

PRIMENA DIVERZITI TEHNIKE ZA SMANJENJE UTICAJA α -k- μ -g I k- μ -g FEDINGA NA PERFORMANSE BEŽIČNOG SISTEMA

By Miloš Perić

UNIVERZITET SINGIDUNUM
BEOGRAD
DEPARTMAN ZA POSLEDIPLOMSKE STUDIJE

DOKTORSKA DISERTACIJA

**PRIMENA DIVERZITI TEHNIKE ZA
SMANJENJE UTICAJA α - k - μ - g I k - μ - g FEDINGA
NA PERFORMANSE BEŽIČNOG SISTEMA**

MENTOR

Prof. dr Petar Spalević

KANDIDAT

Miloš Perić 46609/2018

Beograd, 2021.

UNIVERSITY OF SINGIDUNUM
BELGRADE
DEPARTMAN ZA POSLEDIPLOMSKE STUDIJE

DEPARTMENT FOR PHD STUDIES

**APPLICATION OF DIVERSE TECHNIQUES
TO REDUCE THE IMPACT OF α - k - μ - g AND k - μ - g
FEDING ON WIRELESS PERFORMANCE**

MENTOR

PhD Petar Spalević

CANDIDATE

Miloš Perić 46609/2018

Belgrade, 2021.

mojim roditeljima

Mentor:

1. dr Petar Spalević, redovni profesor Univerziteta Singidunum u Beogradu

Članovi komisije:

1.

2.

3.

Datum odbrane:

Na ovom mestu želim da se zahvalim svima koji su pomogli u izradi ove teze, a posebno:

dr Petru Spaleviću, redovnom¹ profesoru univerziteta Singidunum, mom učitelju, koji mi je omogućio da se upoznam sa lepotama nauke i da budem istrajan u radu.

Članovima komisije za odbranu rada na kolegijalnoj podršci, korisnim savetima, razumevanju i saradnji tokom realizacije ovog rada.

Kolegama i koleginicama koji su angažovani u procesu nastave i naučno-istraživačkog rada na studijskom programu Elektrotehnika i računarstvo Univerziteta Singidunum Beograd na podršci, savetima, sugestijama, prenesenom znanju koje su mi pružili tokom ovih godina.

Mojoj porodici, jer daje smisao svakom naporu i odricanju.

Mojim roditeljima za uzor, podstrek i podršku.

PRIMENA DIVERZITI TEHNIKE ZA SMANJENJE, UTICAJA α -k- μ -g I k- μ -g FEDINGA NA PERFORMANSE BEŽIČNIH SISTEMA

Sažetak

U ovoj tezi izvršena je analiza performansi bežičnog prenosa signala u prisustvu α -k- μ -g i k- μ -g fedinga u kanalu. Izvedeni su izrazi u zatvorenom obliku za funkcije gustine verovatnoće raspodele i kumulativnu funkciju raspodele odnosa signal-šum (SNR) na prijemu kada se bežični prenos vrši kroz kanale sa fedingom. Primenjene su standardne mere kvaliteta odnosno performansi primljenog signala, kao što su verovatnoća otkaza (OP - Outage probability) i srednji broj osnih preseka (LCR- Level Crossing Rate), koje su dobijene za slučajevne prenosa u funkciji različitih vrednosti parametara sistema. Poboljšanje ovih mera performansi analizirano je za slučaj kada su kada su na prijemnoj strani korišćene prostorne diverziti tehnike kombinovanja. U tezi je razmatrano nekoliko tehnika kombinovanja signala na prijemu. Korišćene su tehnika selektivnog kombinovanja signala (SC-Selection Combining) i tehnika kombinacija signala sa maksimalnim odnosom (MRC-Maximal Ratio Combining), u cilju procene mogućnosti slabljenja uticaja fedinga pri prenosu signala u kanalu. Izvršena je i analiza istovremenog uticaja pojavljive fedinga i efekta senke pri bežičnom prenosu signala, a razmatrane su mogućnosti istovremene primene tehnika makro-diverziti kombinovanja gore navedenih prostornih diverziti tehnika, kako bi se smanjili ovi štetni efekti uticaja smetnji i poboljšao kvalitet signala na prijemnoj strani. Rezultati dobijeni u ovoj tezi, pokazuju da se primenom pristupa predloženih u disertaciji može postići smanjenje štetnih efekata α -k- μ -g i k- μ -g fedinga u kanalu pri različitim scenarijima bežičnog prenosa.

Ključne reči: Modeli fedinga, kapacitet kanala, gustina verovatnoće, verovatnoća otkaza, SC kombiner.

Naučna oblast: Elektrotehnika i računarstvo.

Uža naučna oblast: Telekomunikacije.

APPLICATION OF DIVERSE TECHNIQUES TO REDUCE THE IMPACT OF α - k - μ - g AND k - μ - g FADING ON WIRELESS PERFORMANCE

5

Abstract

In this thesis, performance analysis of wireless transmission over α - k - μ - g and k - μ - g fading channels has been investigated. Closed-form expressions have been derived for the probability density function (PDF) and cumulative distribution function (CDF) of the received signal-to-noise ratio (SNR) for such observed channel. Standard performance measures of received signal, such as outage probability (OP) and level crossing rate (LCR) will be obtained for this transmission case, in the function of various values of system parameters. Further, improvement of these performance measures has been analyzed for the case when space diversity was used at the reception. Several space diversity techniques, namely selection combining (SC) and maximal-ratio combining (MRC) have been considered in the thesis in order to point out how fading influence could be reduced. Finally, simultaneous multipath fading and shadowing occurrence has been analyzed, and macro-diversity reception combining has been considered along with micro-diversity combining in order to mitigate these harmful effects and improve reception signal quality. Obtained results from thesis have shown that proposed approach guarantees reduction of harmful effects of observed α - k - μ - g and k - μ - g fading occurrence in various wireless transmission scenarios.

Key words: Fading models, channel capacity, probability density, outage probability, SC combiner.

Scientific field: Electrical engineering and telecommunications.

Scientific subfield: Telecommunications.

Sadržaj

1.	UVOD	1
1.1	Predmet i cilj istraživanja	1
1.2	Istraživačka pitanja, hipoteze i metode istraživačkog rada	4
1.3	Struktura istraživačkog rada	5
2.	KARAKTERISTIKE ANVELOPE SIGNALA U FEDING KANALU	15
3.	(k - μ) SLUČAJNI PROCES	39
3.1.	Relijev kanal	62
3.2.	Rajsov kanal	66
3.3.	Vejbulov kanal	71
4.	NEKE TRANSFORMACIJE RASPODELE	77
4.1.	Transformacije Nakagami-m slučajne promenljive	87
5.	SELEKTIVNI KOMBINER	102
5.1.	Selektivni kombiner sa dva ulaza	104
5.2.	Selektivni kombiner sa tri ulaza	107
6.	MAKRODIVERZITI KOMUNIKACIJE	110
7.	Primena diverziti tehnike kod 6G bežičnih komunikacionih sistema	124
7.1	Specifikacije i zahtevi	126
7.2.	Primena	128
7.3.	Osnovne primene 6G tehnologije	131
7.4.	Standardizacija	137
7.5.	Izazovi i pravci istraživanja	138
8.	ZAKLJUČAK	141
	LITERATURA	147
	BIOGRAFIJA AUTORA	
	1566	
	IZJAVE AUTORA	
	1577	

SPISAK SLIKA

Oznaka	Naslov	Strana
6 Slika 3.1	1 Kumulativna verovatnoća signala ($k-\mu$) slučajne promenljive	44
Slika 3.2	Kumulativna verovatnoća u zavisnosti od anvelope signala x	46
Slika 3.3	Verovatnoća otkaza bežičnog digitalnog telekomunikacionog sistema	47
Slika 3.4	Kumulativna verovatnoća ($k-\mu$) slučajnog procesa u zavisnosti od anvelope signala	50
Slika 3.5	Kumulativna verovatnoća ($k-\mu$) slučajnog procesa	51
Slika 3.6	Verovatnoća otkaza bežičnog digitalnog telekomunikacionog sistema	52
Slika 3.7	Kumulativna verovatnoća ($k-\mu$) slučajne promenljive	53
Slika 3.8	Kumulativna verovatnoća bežičnog digitalnog telekomunikacionog sistema	54
Slika 3.9	Kumulativna verovatnoća signala u zavisnosti od anvelope signala	55
Slika 3.10	Kumulativna verovatnoća signala	56
Slika 3.11	Kumulativna verovatnoća signala u zavisnosti od anvelope signala	58
Slika 3.12	Kumulativna verovatnoća signala u zavisnosti od anvelope signala x	59
Slika 3.13	Kumulativna verovatnoća signala u zavisnosti od anvelope signala	60
Slika 5.1	Selektivni kombiner sa dva ulaza	104
Slika 5.2	1 Selektivni kombiner sa tri ulaza	107
Slika 6.1	1 Makrodiverziti sistem sa makrodiverziti prijemnikom i dva mikrodiverziti SC prijemnika	112

1. UVOD

1.1 Predmet i cilj istraživanja

Predmet istraživanja disertacije su faktori koji utiču na kvalitet prenosa signala prilikom prostiranja bežičnog signala od prijemnika do predajnika koji su pod konstantnim uticajem fizičkih pojava koje dovode do pojave smetnji. Fizičke pojave koje dovode do smetnji u bežičnom komunikacionom kanalu najčešće su difrakcija, refleksija, rasejanje ili disperzija. Do refleksije talasa dolazi kada radio talas naiđe na prepreku, kao što je glatka površina čije su dimenzije mnogo veće od talasne dužine radio talasa. Kao posledica dolazi do formiranja sekundarnog zračenja iza takve prepreke koje omogućuje da se komunikacija uspostavi i u slučajevima, kada između prijemnika i predajnika ne postoji direktna linija optičke vidljivosti (*LOS - Line Of Sight*) i u tim slučajevima dolazi do prelamanja talasa. Kada se radio signal prostire kroz okolinu u kojoj se nalazi veliki broj predmeta čije su veličine male u poređenju sa talasnom dužinom nastaje rasejavanje talasa. Interakcija talasa sa predmetima koji okružuju okolinu prostiranja, prouzrokuje da na izlaz prijemnika pristiže veliki broj kopija poslatog signala sa različitim faznim pomerajem, kašnjenjem i slabljenjem na prijemu [1-3].

Feding predstavlja brzu promenu amplitudu signala na kratkim rastojanjima kada se opadanje snage signala usled prostiranja ne mora uzeti u obzir. Pojava multipath fedinga predstavlja fedinga koja je posledica istovremenog prostiranja signala po više putanja. Feding se može javiti i kao posledica efekta senke shadowing feding. U praksi se koriste različite raspodele za opisivanje anvelope signala i razne prostorne diverzitetne tehnike da bi se neutralizovao negativni uticaj fedinga (brzog i sporog) na standardne karakteristike sistema. Najčešće korišćene tehnike kombinovanja koje se koriste za umanjenje posledice fedinga na kvalitet performansi sistema su: tehnika selektivnog kombinovanja SC (*Selection Combining*), MRC tehnika (*Maximum Ratio Combining*), EGC tehnika (*Equal Gain Combining*), i SSC tehnika (*Switch and Stay Combining*). Danas, usled velikog porasta broja mobilnih komunikacionih servisa i internet pristupa različitim oblicima, od izuzetnog je značaja da se izvrši optimizacija komunikacionih sistema, a naročito bežičnih komunikacionih mreža i sistema. [4-6].

Cilj istraživanja je utvrđivanje karakteristika prenosa signala u feding okruženju u prisustvu različitih smetnji koje se javljaju, kako bi se odredio optimalni prenos signala i odredile optimalne vrednosti parametara takvog prenosa [7], [8].

Očekivani naučni doprinos, ogleda se u određivanju:

- (α -k- μ -g) i (k- μ -g) gustine verovatnoće
- kumulativne verovatnoće (α -k- μ -g) i (k- μ -g) slučajne promenjive,
- karakteristične funkcije (α -k- μ -g) i (k- μ -g) slučajne promenjive, i

- momenata (α -k- μ -g) i (k- μ -g) slučajne promenjive.

U pogledu momenata varijabli, određuju se:

- srednja veličina ili prvi moment,
- srednja kvadratna veličina ili drugi moment, i
- srednja kubna veličina ili treći moment.

Posebno je značajno izračunati drugi centralni moment, ili varijansu (α -k- μ -g), kao i (k- μ -g) slučajne promenjive. Na osnovu toga, odrede se združene gustine verovatnoće (α -k- μ -g) i (k- μ -g) slučajne promenjive, kao i prvi izvod (α -k- μ -g) i (k- μ -g) slučajne promenjive. Uz pomoć združene gustine verovatnoće izračunava se srednji broj osnih preseka (α -k- μ -g) i (k- μ -g) nasumičnog procesa. Srednje vreme trajanja otkaza sistema, kada je prisutan (α -k- μ -g) i (k- μ -g) feding, izračunava se kao verovatnoća da je (α -k- μ -g) i (k- μ -g) signal manji od unapred određenog praga prijema [9-12].

Količnik mogućnosti otkaza i srednje vrednosti osnih preseka predstavlja srednje vreme trajanja otkaza sistema. Srednja vrednost prvog izvoda slučajnog preseka je data kao srednja vrednost osnih preseka. Združena gustina verovatnoće (α -k- μ -g) i (k- μ -g) slučajnog procesa i prvog izvoda (α -k- μ -g) i (k- μ -g) slučajnog procesa jednaka je proizvodu (α -k- μ -g) i (k- μ -g) slučajne promenjive i Gausove gustine verovatnoće prvog izvoda (α -k- μ -g) i (k- μ -g) slučajne promenjive. Verovatnoća otkaza i verovatnoća greške su prvog reda performanse bežičnog radio telekomunikacionog sistema. Srednja vrednost osnih preseka (α -k- μ -g) i (k- μ -g) nasumičnog procesa i srednje vreme trajanja otkaza su performanse drugog reda bežičnog telekomunikacionog sistema [13-15].

U cilju karakterizacije ovakvih bežičnih sistema, posmatra se selektivni kombiner sa dva ulaza i određuje njegova karakteristika gustine verovatnoće. Ova gustina verovatnoće ima dva sabiraka. Svaki od ovih sabiraka jednak je proizvodu gustine verovatnoće na jednom ulazu (α -k- μ -g), ili (k- μ -g) slučajne promenljive i kumulativne verovatnoće (α -k- μ -g), ili (k- μ -g) slučajne promenljive na drugom ulazu. Kumulativna mogućnost signala na izlazu iz (SC) kombinera sa dva ulaza jednaka je proizvodu kumulativnih verovatnoća signala na oba ulaza. Na osnovu izloženog, izračunava se i karakteristična funkcija signala na izlazu iz (SC) kombinera. Ova karakteristična funkcija je jednaka Furijevoj transformaciji gustine verovatnoće signala na izlazu iz (SC) kombinera sa dva ulaza. U cilju potpune karakterizacije statističkih osobina kombinera, određeni su sukcesivno [16], [17]:

- 1. moment, 2. moment i 3. moment signala na izlazu iz SC kombinera;
- združena gustina verovatnoće signala na izlazu iz SC kombinera i prvog izvoda ovog signala;
- srednja vrednost osnih preseka signala na izlazu iz SC kombinera [18];
- srednje vreme trajanja otkaza sistema kada je prisutan (α -k- μ -g), ili (k- μ -g) feding.

U slučaju primene MRC kombinera, primenom gustine verovatnoće određuje se:

- kumulativna mogućnost signala na izlazu iz MRC kombinera,
- karakteristična funkcija signala na izlazu iz MRC kombinera, i
- moment signala na izlazu istog.

Posebno je značajna kvalitativno-kvantitativna karakterizacija karakteristika sistema sa MRC kombinerom kada se na ulazima pojavljuje nezavisan (α -k- μ -g), ili (k- μ -g) feding. Na osnovu prethodno izračunatih parametara, vrši se izračunavanje združene gustine verovatnoće (α -k- μ -g) ili (k- μ -g) slučajne promenljive na izlazu iz MRC kombinera i prvog izvoda signala na izlazu iz MRC kombinera. Srednja vrednost osnih preseka signala na izlazu iz MRC kombinera se izračunava kao srednja vrednost prvog izvoda prvog slučajnog procesa, a srednje vreme trajanja otkaza MRC bežičnog prijemnika sistema se izračunava kao količnik mogućnosti otkaza i srednjeg broja osnih preseka signala. [2], [19].

Gustina verovatnoće i kumulativna verovatnoća proizvoda i količnika signala na izlazu iz MRC kombinera izračunava se kada se na njegovom ulazu pojavljuje (α -k- μ -g) ili (k- μ -g) feding. Imajući u vidu prethodno određene karakteristične parametre slučajnog procesa izračunava se:

- gustina verovatnoće,
- karakteristična funkcija,
- kumulativna verovatnoća,
- prvi, drugi i treći moment signala na izlazu iz svakog mikrodiverziti sistema,

Korišćenjem prethodno navedenih parametara kvantitativno se određuju karakteristike signala na izlazu iz makrodiverziti sistema.

Mikrodiverziti prijemnici smanjuju uticaj brzog (α -k- μ -g), ili (k- μ -g) fedinga na učinak sistema, a makrodiverziti sistem smanjuje uticaj sporog Gama fedinga na produktivnost sistema. U sistemu je prisutno sporo prostiranje signala po više puteva ili brzo prostiranje signala po više puteva. Brzo prostiranje signala po više puteva nastaje zbog odbijanja, prelamanja, savijanja ili rasipanja talasa. Ovo prostiranje signala po više puteva ima (α -k- μ -g), ili (k- μ -g) raspodelu. Sporo prostiranje signala po više puteva nastaje zbog prostiranja signala kroz šumovite predele. Pošto je ovo sporo prostiranje signala po više puteva, ovo sporo prostiranje signala po više puteva se može aproksimirati sa Log-normalnom raspodelom, ili sa Gama raspodelom. Log-normalna raspodela bolje opisuje sporo prostiranje signala po više puteva. Kada se sporo prostiranje signala po više puteva opisuje Gama raspodelom onda se karakteristike sistema, kao što je verovatnoće otkaza, mogu opisati sa jednostavnim funkcijama [2], [16], [17], [20].

Očekivani rezultat koji će se dobiti nakon izvedenog istraživanja je taj, da će se primenjene hipoteze dokazati, ili opovrgnuti.

1.2 Istraživačka pitanja, hipoteze i metode istraživačkog rada

Polazeći od predmeta i cilja istraživanja u ovoj disertaciji u nastavku rada definisana su ključna istraživačka pitanja, koja su bila osnov za postavljanje istraživačkih hipoteza.

Početna opšta hipoteza od koje se krenulo u istraživanje je: Da se primenom diverziti tehnike smanjenje uticaj α -k- μ -g i k- μ -g fedinga na performanse bežičnog sistema između predajnika i prijemnika.

Na osnovu početne hipoteze definisane su i pojedinačne hipoteze koje su korišćene u disertaciji i one su:

- Komunikacija između predajnika i prijemnika se odvija, iako određene fizičke pojave kao što su refleksija, difrakcija i rasejanje utiču na smetnje i slabljenje signala.
- Svaka interakcija talasa između predajnika i prijemnika sa objektima koji postoje u blizini prostiranja talasa, izaziva da na ulaz prijemnika pristiže veliki broj kopija poslatog signala sa drugačijim slabljenjem, faznim pomerajem i kašnjenjem pri recepciji signala.

Primenjene metode istraživanja

- Istraživanje koje je prikazano u ovoj disertaciji, zasniva se na osnovu raznih naučnih metoda kao što su: analitička metoda, metoda modelovanja i simulacije, kao i statističke metode. Statističke karakteristike prvog i drugog reda, biće detaljno razmotrene za različite uslove prostiranja koji će biti detaljno obrađeni u ovoj disertaciji.
- Korišćenjem različite literature proučeni su rezultati istraživanja drugih autora koji su se bavili problematikom varijacija anvelope signala u kanalima sa fedingom, koristeći razne raspodele. Amplitude signala se modeluju Relijevom, Rajsovom raspodelom, Vejbulovom raspodelom, Nakagami-m, (K) i (Kg) raspodelom, (generalizovana-K), (α - μ), (k- μ), (η -m) raspodelom.
- Biće primenjena metoda kompleksnog posmatranja i analiza sadržaja prilikom dobijanja rezultata koji su preuzeti iz istraživanja sa drugih eminentnih ustanova koja se bave ovom problematikom i iz raznih naučnih radova, koje su navedene u literaturi. Pribavljeni podaci potiču i iz navedenih radova publikovanih u relevantnim naučnim časopisima visoke kategorije M21-M23 i sa relevantnih naučnih skupova i konferencija. Ovi naučni rezultati su korišćeni u cilju definisanja pravca istraživanja problema primene diverziti tehnike za umanjenje uticaja (α -k- μ -g) i (k- μ -g) fedinga na performanse bežičnog sistema
- Primenom analitičkog metoda, kao i metoda simulacije biće utvrđene mogućnosti primena diverziti tehnike za smanjenje uticaja (α -k- μ -g) i (k- μ -g) fedinga na performanse bežičnog sistema. Nakon utvrđivanja mogućnosti prenosa u navedenim sistemima, biće razmatran optimalan način prenosa, i određene optimalne vrednosti parametara takvog prenosa. Na ovaj način biće primenjene i metoda analize i sinteze.

1.3 Struktura istraživačkog rada

Pored uvida i zaključka, disertaciju sačinjavaju i pet poglavlja.

U **prvom poglavlju** razmatran je fading koji se stvara zbog prostiranja signala po više putanja. Zbog pojave smetnji usled prelamanja, odbijanja, rasipanja i savijanja elektromagnetnog talasa, anvelopa signala je slučajne prirode. U ovom slučaju anvelopa signala se opisuje nekom utvrđenom raspodelom.

U **drugom poglavlju** anvelopa signala opisana je $(k-\mu)$ raspodelom. Stepenuvanjem $(k-\mu)$ slučajne varijable na drugi može se predstaviti kao zbir kvadrata 2μ kvadrata Gausove slučajne varijable. Ove Gausove slučajne varijable imaju iste varijanse i srednje vrednosti su im nula. Ali, bar kod jedne Gausove slučajne varijable srednje vrednosti su različite od nule i međusobno su nezavisne. $k-\mu$ raspodela, pripada grupi (χ^2) raspodela na osnovu koje se može odrediti gustina verovatnoće $k-\mu$ slučajne varijable. Uz pomoć ove $k-\mu$ gustine verovatnoće, izračunava se [21], [22]:

- kumulativna gustina verovatnoće $k-\mu$ slučajne varijable,
- karakteristična funkcija ili srednja eksponencijalna vrednost $k-\mu$ nasumične varijable,
- prvi, drugi, treći i n-ti moment $k-\mu$ nasumične varijable.

1 Združena gustina verovatnoće $(k-\mu)$ nasumične varijable i prvi izvod od $(k-\mu)$ nasumične varijable jednak je proizvodu $k-\mu$ gustine verovatnoće i Gausove gustine verovatnoće. Zatim se razmatra združena gustina verovatnoće $(k-\mu)$ nasumične varijable i 1. izvod $(k-\mu)$ varijable. Pomoću ove združene gustine verovatnoće $(k-\mu)$ nasumične varijable, može se izračunati srednji broj osnih preseka $k-\mu$ nasumičnog procesa. Srednja vrednost osnih preseka $k-\mu$ nasumičnog procesa, će se izračunati kao srednja vrednost 1. izvoda $(k-\mu)$ nasumičnog procesa. $k-\mu$ slučajni proces se razmatra u dva trenutka vremena i određuje se za dve $(k-\mu)$ slučajne promenljive [23],[24]:

- združena gustina verovatnoće,
- zatim njegova združena kumulativna verovatnoća,
- združena karakteristična funkcija,
- združen prvi, drugi i treći moment, kao i združen n-ti moment.

Zatim se određuje združena gustina verovatnoće za tri $(k-\mu)$ nasumične varijable i prvi izvodi za tri $(k-\mu)$ nasumične varijable.

U **trećem poglavlju** se razmatra transformacija $(k-\mu)$ slučajne promenljive. Formirana je varijabla koja je dobijena kvadriranjem $(k-\mu)$ slučajne promenljive. Za ovu promenljivu se izračunava:

- gustina verovatnoće kvadrirane,
- kumulativna gustina verovatnoće ,

- karakteristična funkcija,
- prvi, drugi i treći moment.

Zatim, treba odrediti združenu gustinu verovatnoće $(k-\mu)$ kvadrirane varijable i 1. izvod $(k-\mu)$ na kvadrat varijable. Korišćenjem ove združene gustine verovatnoće, određuje se srednja vrednost osnih preseka kvadrirane $k-\mu$ varijable.

Kvadrirana $(k-\mu)$ varijabla se posmatra u dva trenutka vremena, tako da je moguće na osnovu ovoga odrediti za dve kvadrirane slučajne promenljive:

- združenu gustinu verovatnoće,
- združenu kumulativnu verovatnoću,
- združenu karakterističnu funkciju,
- združen prvi, drugi, treći i n -ti moment.

Mogu se takođe razmatrati i tri kvadrirane $(k-\mu)$ varijable, tako da se određuje:

1.
 - združena gustina verovatnoće,
 - združena kumulativna verovatnoća,
 - združena karakteristična funkcija,
 - prvi, drugi, treći i četvrti produkti moment za tri kvadrirane $k-\mu$ varijable.

Na osnovu toga određuje se združena gustina verovatnoće za tri kvadrirane $k-\mu$ varijable i prvi izvod za tri kvadrirane $k-\mu$ varijable. Takođe, se razmatra kvadrirana $k-\mu$ slučajna varijable koja se dobija na taj način što se $k-\mu$ varijabla stepenuje na treći [25].

Transformacionom metodom, dobija se gustina verovatnoće stepenovane $k-\mu$ varijable na treći. Pomoću ove gustine verovatnoće stepenovane $k-\mu$ varijable na treći, izračunava se:

- kumulativna gustina verovatnoće,
- karakteristična funkcija,
- prvi, drugi, treći i četvrti moment stepenovane $(k-\mu)$ varijable na treći.

Izračunava se moment n -tog reda stepenovane $(k-\mu)$ varijable na treći. Sledeći korak, je da se odredi združena gustina verovatnoće stepenovane $(k-\mu)$ varijable na treći pa da se nađe prvi izvod stepenovane $(k-\mu)$ varijable na treći. Uz pomoć združene gustine verovatnoće, određuje se srednja vrednost osnih preseka stepenovanog $(k-\mu)$ nasumičnog procesa na treći. Takođe, moguće je stepenovani $(k-\mu)$ slučajni proces na treći razmatrati u dva, tri i četiri trenutka vremena, tako da se određuje:

1.
 - združena gustina verovatnoće,
 - združena kumulativna verovatnoća,
 - združena karakteristična funkcija,
 - združen prvi moment,
 - združen drugi moment, i
 - združen treći moment.

Stepenovana ($k-\mu$) varijabla na treći, može se posmatrati u tri momenta vremena. Potrebno je odrediti:

- združenu gustinu verovatnosti,
- združenu kumulativnu verovatnost,
- združenu karakterističnu funkciju,
- združen prvi, drugi i treći produktni moment.

Pored tri trenutka vremena moguće je razmatrati stepenovanu ($k-\mu$) varijablu na treći i u četiri trenutka vremena. Zatim određujemo [26]:

- združenu gustinu verovatnosti,
- združenu kumulativnu verovatnost,
- združenu karakterističnu funkciju,
- združen prvi, drugi i reći moment

U tom slučaju ($k-\mu$) varijabla ima dva kriterijuma.

Kriterijum (k) se zove Rajsov faktor koji se definiše kao količnik snage korisnog signala snage i signala rasipanja. Parametar (μ) određuje broj klastera u propagacionoj sredini. Parametar (k) može da bude promenljiv. Rajsov faktor može da ima neku raspodelu. Razmatran je slučaj kada Rajsov faktor može da ima Relijevu raspodelu. U ovom slučaju, Rajsov faktor može da ima [27]:

- Relijevu gustinu verovatnoće,
- Relijevu kumulativnu gustinu verovatnoće,
- Relijevu karakterističnu funkciju
- Relijev prvi, drugi i treći moment.

Rajsov faktor ima Relijevu gustinu verovatnoće, a prvi izvod Rajsovog faktora ima Gausovu gustinu verovatnoće. Ovako se dobija združena gustina verovatnoće Rajsovog faktora i prvog izvoda Rajsovog faktora.

Uz pomoć združene gustine verovatnoće, odredi se srednji broj osnih preseka Rajsovog faktora. Takođe, se odredi združenu gustinu verovatnoće Rajsovog faktora, kao i njegov prvi i treći izvod. Nakon toga, izračuna se združena gustina verovatnoće u dva trenutka vremena prvog i trećeg izvoda. Dalje, je moguće odrediti združenu gustina verovatnoće Rajsovog faktora u dva trenutka vremena, prvog i drugog izvoda. Parametar (μ), može takođe da bude promenljiv i može da se razmatra u jednom trenutku vremena. Ovaj parametar može da ima Relijevu gustinu verovatnoće, zatim njegovu kumulativnu gustinu verovatnoće, Relijevu karakterističnu funkciju, Relijev prvi, drugi, treći, četvrti i peti moment, kao i združenu kumulativnu verovatnoću Rajsovog faktora, združenu karakterističnu funkciju Rajsovog faktora, združen prvi, drugi i treći moment Rajsovog faktora [14], [28].

Parametar (μ) može da ima združenu Relijevu gustinu verovatnoće, a njegov prvi izvod (μ) ima Gausovu gustinu verovatnoće. Uz pomoću gustine verovatnoće, izračuna se srednja vrednost

osnih preseka parametara (μ). On je jednak srednjem broju prvog izvoda slučajnog procesa (μ). Parametar (μ) posmatra se u dva momenta vremena. Na osnovu toga dobijena je [29]:

- združena gustina,
- združena kumulativna gustina verovatnosti,
- združena karakteristična funkcija,
- združen prvi, drugi i treći moment za dve vrednosti parametra (μ).

Parametar (μ) se posmatra u tri trenutka vremena i određuje se za tri njegove vrednosti:

- združena gustina,
- združena kumulativna gustina verovatnoće,
- združena karakteristična funkcija,
- združen prvi, drugi i treći moment.

Posmatra se i parametar (Ω). Gustina verovatnoće može da bude Relijeva, Rajsova, Gausova i Nakagami-m. Na osnovu ovoga za tri vrednosti parametra (μ) dobija se:

- kumulativna verovatnoća,
- karakteristična funkcija,
- prvi, drugi, treći, četvrti i peti moment parametara.

Određuje se združena gustina verovatnosti i prvog izvoda parametara (Ω). Uz pomoć ove združene gustine verovatnoće, sračuna se srednja vrednost osnih preseka nasumičnog procesa (Ω).

Srednja vrednost osnih preseka parametara (Ω) jednaka je srednjem broju prvog izvoda nasumičnog procesa (Ω). Ovaj parametar (Ω) posmatra se u dva trenutka vremena. Na osnovu ovoga, odredi se za dve vrednosti parametra (Ω) u dva trenutka vremena [30]:

- združena gustina,
- združena kumulativna gustina verovatnoće,
- združena karakteristična funkcija,
- združen prvi, drugi, i treći moment.

Sledeće je, da se odredi združena gustina verovatnoće i prvi izvod za dve vrednosti parametra (Ω) u dva trenutka vremena. Takođe, razmatra se slučaj kada su parametri (k) i (μ) promenljivi, odnosno kada Rajsov faktor ima Relijevu gustinu verovatnoće i parametar (μ) ima takođe Relijevu gustinu verovatnoće.

Metodom usrednjavanja, izračuna se za ($k-\mu$) slučajne promenljive kada su parametri (k) i (μ) varijable i imaju Relijevu gustinu verovatnoće:

- gustinu verovatnoće,
- kumulativnu gustinu verovatnoće,
- karakterističnu funkciju ($k-\mu$) varijable,
- prvi, drugi i treći moment ($k-\mu$) varijable.

Parametar (k) se razmatra u dva trenutka vremena, i to u slučaju kada je združena gustina verovatnoće za ove dve ($k-\mu$) promenljive Relijeve. Na osnovu ovoga, odredi se:

- združena gustina verovatnoće,
- združena kumulativna gustina verovatnoće,
- združena karakteristična funkcija,
- združen prvi, drugi i treći moment.

Razmatra se i slučaj, kao drugi, kada su parametri (k) i (Ω) slučajne promenljive i tada se odredi [31]:

- gustina verovatnoće ($k-\mu$) varijable, kada su (k) i (Ω) Relijeve promenljive,
- kumulativna verovatnoća ($k-\mu$) varijable kada su (k) i (Ω) slučajne Relijeve promenljive,
- karakteristična funkcija ($k-\mu$) varijable, kada (k) i (Ω) imaju Relijevu raspodelu,
- prvi, drugi i treći moment varijable ($k-\mu$). kada (k) i (Ω) imaju Relijeve gustinu verovatnoće.

U radu, se analizira i slučaj, kada su parametri (Ω) i (μ) slučajne promenljive, i tada se odredi:

- gustina verovatnoće ($k-\mu$) varijable kada su navedeni parametri promenljivi i imaju Relijevu gustinu verovatnoće,
- kumulativna verovatnoća ($k-\mu$) varijable kada su navedeni parametri slučajne promenljive,
- karakterističnu funkciju ($k-\mu$) varijable kada navedeni parametri slučajne promenljive,
- prvi, drugi i treći moment. ($k-\mu$) varijable kada su (Ω) i (μ) slučajne promenljive.

Analizira se slučaj kada su parametri (k), (Ω) i (μ) slučajne promenljive i imaju Relijeve gustinu verovatnoće. Takođe, za ovaj slučaj, se izračuna [4-6], [32]:

- gustina verovatnoće,
- kumulativna verovatnoća,
- karakteristična funkcija,
- prvi, drugi i treći moment.

Slučajna promenljiva ($k-\mu$) poseduje 2 faktora:

- Faktor (k) se naziva Rajsov faktor i definisan je kao količnik snage korisnog signala i snage signala rasipanja.
- Faktor (μ) određuje količinu klastera u propagacionoj sredini.

Parametar (k) je promenljiv i ima neku raspodelu. Analizira se slučaj, kada Rajsov faktor ima Relijevu raspodelu. U ovom slučaju, Rajsov faktor ima:

- Relijevu gustinu verovatnoće,
- Relijevu kumulativnu gustinu verovatnoće,
- Relijevu karakterističnu funkciju,

- Relijev prvi, drugi i treći moment.

Pored toga, što Rajsov faktor ima Relijevu gustinu verovatnoće, njegov prvi izvod ima Gausovu gustinu verovatnoće.

Ovako se određuje združena gustina verovatnoće Rajsovog faktora i njegovog 1. izvoda. Uz pomoć ove združene gustine verovatnosti, odredi se srednja vrednost osnih preseka Rajsovog faktora. Potom, se određuje združena gustina verovatnoće Rajsovog faktora i Rajsovog prvog i trećeg izvoda. Takođe, se odredi u dva trenutka vremena združena gustina verovatnoće prvog i trećeg izvoda Rajsovog faktora. Zatim, se odredi združena gustina verovatnoće Rajsovog faktora u dva trenutka vremena, prvog i drugog izvoda [7], [9].

Parametar (μ), je takođe promenljiv i razmatra se u jednom trenutku vremena. Takođe, on ima [33]:

- Relijevu gustinu verovatnoće [24],
- njegovu kumulativnu gustinu verovatnoće,
- karakterističnu funkciju,
- prvi, drugi, treći, četvrti i Relijev peti moment,
- združenu kumulativnu verovatnoću Rajsovog faktora,
- združenu karakterističnu funkciju Rajsovog faktora,
- združen prvi, drugi i treći moment Rajsovog faktora.

Parametar (μ) ima združenu Relijevu gustinu verovatnoće, a prvi izvod parametara (μ) ima Gausovu gustinu verovatnoće [6], [34].

Uz pomoć ove gustine verovatnoće, izračuna se srednja vrednost osnih preseka parametara (μ). Ova srednja vrednost osnih preseka parametara (μ) jednaka je srednjoj vrednosti prvog izvoda slučajnog procesa (μ). Parametar (μ) se posmatra u dva trenutka vremena. Na osnovu ovoga se odrediti za dve vrednosti parametra (μ):

- združena gustina,
- združena kumulativna gustina verovatnoće,
- združena karakteristična funkcija,
- združen prvi, drugi i treći moment.

Parametar (μ) se posmatra u tri trenutka vremena i na osnovu toga se odredi za tri vrednosti parametra (μ):

- združena gustina,
- združena kumulativna gustina verovatnoće,
- združena karakteristična funkcija,
- združen prvi, drugi i treći moment.

Posmatra parametar (Ω). Gustina verovatnoće može da bude Relijeva, Rajsova, Gausova i Nakagami-m. Na osnovu ovoga za parametar (Ω) odredi se:

- 1
 - kumulativna verovatnoća,
 - karakteristična funkcija,
 - prvi, drugi, treći, četvrti i peti moment.

Određuje združena gustina verovatnosti parametara (Ω) i prvog izvoda parametara (Ω). Pomoću ove združene gustine verovatnosti, odredi se srednja vrednost osnih preseka nasumičnog procesa (Ω). Srednja vrednost osnih preseka parametara (Ω) jednaka je srednjoj vrednosti prvog izvoda nasumičnog procesa (Ω). Parametar (Ω) se posmatra u dva trenutka vremena.

Na osnovu ovoga se odredi za parametar (Ω), za dve vrednosti parametra u dva trenutka vremena:

- združena gustina,
- združena kumulativna gustina verovatnoće,
- združena karakteristična funkcija,
- združen prvi, drugi i treći moment.

Sada se određuje zajednička gustina verovatnosti za dve vrednosti parametra (Ω) u dva momenta vremena i prvog izvoda za dve vrednosti parametra (Ω) u dva trenutka vremena. Razmatra slučaj kada su parametri (k) i (μ) promenljivi.

Analizira slučaj kada Rajsov faktor ima Relijevu gustinu verovatnoće i parametar (μ) ima Relijevu gustinu verovatnoće. Metodom usrednjavanja kada su parametri (k) i (μ) slučajne promenljive i imaju Relijevu gustinu verovatnoće, odredi se:

- gustina verovatnoće slučajne promenljive,
- kumulativna gustina verovatnoće slučajne promenljive kada su parametri (k) i (μ) promenljivi i imaju Relijevu gustinu verovatnoće,
- karakteristična funkcija slučajne promenljive kada su parametri (k) i (μ) promenljivi i imaju Relijevu gustinu verovatnoće, prvi moment slučajne promenljive kada su parametri (k) i (μ) promenljivi i imaju Relijevu gustinu verovatnoće,
- drugi i treći moment slučajne promenljive kada su parametri (k) i (μ) promenljivi i imaju Relijevu gustinu verovatnoće.

Parametar (k) može da se razmatra u dva trenutka vremena. Razmatra se slučaj, kada je združena gustina verovatnoće za dve ($k-\mu$) varijable Relijeva. Na osnovu ovoga za ove dve varijable, određuje se [35]:

- združena gustina verovatnoće,
- združena kumulativna gustina verovatnoće,
- združena karakteristična funkcija,
- združen prvi moment, drugi i treći moment.

Vrši se razmatranje za slučaj kada su parametri (k) i (Ω) slučajne promenljive ($k-\mu$), i za ovaj slučaj mogu da se odrede:

- gustina verovatnoće ($k-\mu$) varijable kada su (k) i (Ω) Relijeve varijable,

- kumulativna verovatnoća $(k-\mu)$ varijable kada su (k) i (Ω) slučajne Relijeve promenljive,
- karakteristična funkcija $(k-\mu)$ varijable kada (k) i (Ω) imaju Relijevu raspodelu,
- prvi, drugi i treći moment varijable kada (k) i (Ω) imaju Relijeve gustinu verovatnoće.

Razmatra se slučaj kada su parametri (Ω) i (μ) slučajne promenljive $(k-\mu)$ i za ovaj slučaj može da se odredi:

- gustina verovatnoće $(k-\mu)$ varijable kada su (Ω) i (μ) promenljivi i imaju Relijevu gustinu verovatnoće,
- kumulativna verovatnoća $(k-\mu)$ varijable kada su (Ω) i (μ) nasumične varijable,
- karakteristična funkcija $(k-\mu)$ varijable kada (Ω) i (μ) nasumične varijable,
- prvi, drugi i treći moment $(k-\mu)$ slučajne promenljive kada (Ω) i (μ) slučajne promenljive.

Razmatra se slučaj kada su parametri (k) , (Ω) i (μ) slučajne promenljive i imaju Relijevu gustinu verovatnoće. Za ovaj slučaj može se izračunati:

- gustina verovatnoće, ako (k) , (Ω) i (μ) slučajne promenljive imaju Relijevu gustinu verovatnoće,
- kumulativnu verovatnoću, ako (k) , (Ω) i (μ) slučajne promenljive imaju Relijevu gustinu verovatnoće,
- karakterističnu funkciju $(k-\mu)$, ako varijable (k) , (Ω) i (μ) slučajne promenljive i imaju Relijevu gustinu verovatnoće,
- prvi, drugi i treći moment $(k-\mu)$ varijable kada (k) , (Ω) i (μ) slučajne promenljive i imaju Relijevu gustinu verovatnoće.

U četvrtom poglavlju je razmatran selektivni kombiner koji ima dva ulaza. Prisutan je $(k-\mu)$ fading na ulazima. Izračunata je gustina verovatnosti signala na izlazu iz SC prijemnika. Uz pomoć ove gustine verovatnosti signala određuju se na izlazu iz SC prijemnika sa dva ulaza:

- kumulativna verovatnoća signala,
- karakteristična funkcija signala,
- prvi, drugi i treći moment.

Zatim, može da se izračuna na izlazu iz SC kombinera koji ima dva ulaza:

- združena gustina verovatnoće signala, i
- prvi izvod signala.

Uz pomoć ove zajedničke gustine verovatnosti signala izračunava se srednji broj osnih preseka signala na izlazu iz SC selektivnog kombinera sa dva ulaza.

Signal na izlazu iz SC kombinera sa dva ulaza, može se posmatrati u dva, tri i četiri trenutka vremena. Za ovaj signal može se izračunati:

- združena gustina verovatnosti signala,
- združena kumulativna verovatnost signala,

- združena karakteristična funkcija signala,
- združen prvi, drugi i treći produktni moment signala.

Sledi razmatranje selektivnog kombinera sa tri ulaza. Signal na izlazu iz SC prijemnika sa 3 ulaza koji je jednak signalu sa onog ulaza na kome je signal najveći. Ovako može da se odredi:

- gustina verovatnosti,
- kumulativna verovatnoća,
- karakteristična funkcija,
- prvi, drugi i treći moment.

Sledi izračunavanje zajedničke gustina verovatnosti signala i prvi izvod signala na izlazu iz SC selektivnog kombinera sa tri ulaza. Uz pomoću ove zajedničke gustine verovatnosti signala, određuje se srednja vrednost osnih preseka signala na izlazu iz SC prijemnika sa tri ulaza.

Signal na izlazu iz SC kombinera sa tri ulaza posmatra se u dva trenutka vremena i određuje se:

- združena gustina verovatnoće signala,
- združena kumulativna verovatnoća,
- združena karakteristična funkcija,
- združeni prvi, drugi, treći i četvrti moment signala.

U petom poglavlju razmatrani su makrodiverziti sistemi, koji se koriste da bi se neutralizovao negativni uticaj brzog i sporog fejdina na standardne karakteristike sistema. Makrodiverziti sistemi sadrže dva, tri, četiri ili više mikrodiverziti prijemnika i jednog makrodiverziti prijemnika. Mikrodiverziti prijemnici smanjuju uticaj brzog prostiranja signala po više linije puteva na performanse sistema, a makrodiverziti prijemnik umanjuje uticaj sporog propagiranja signala po više putanja na karakteristike sistema. Razmatran je slučaj kada makrodiverziti sistem ima dva mikrodiverziti prijemnika.

Svaki mikrodiverziti prijemnik ima 2 ulaza. Na ulazima se nalazi $(k-\mu)$ feдинг. Na osnovu ovoga, može se izračunati na izlazima iz prvog i drugog mikrodiverziti prijemnika:

- gustina verovatnoće,
- kumulativna verovatnoća,
- karakteristična funkcija,
- prvi, drugi i treći moment signala.

Signal na izlazu iz makrodiverziti SC prijemnika jednak je signalu sa njegovih ulaza koji poseduje veću snagu. Snaga se menja pod uticajem sporog prostiranja signala po više puteva. Spori feдинг ima Gama raspodelu i može biti korelisan ili nekorelisan sa odgovarajućom koeficijentom korelacije. Zatime je izračunata gustina verovatnoće signala na izlazu iz SC kombinera, kada je na ulazima u SC kombiner prisutan $k-\mu$ feдинг. Moguće je izračunati kumulativnu verovatnoću, karakterističnu funkciju, prvi, drugi i treći moment signala na izlazu

iz makrodiverziti sistema kada je na njegovim ulazima pri¹tan Nakagami-m feding, Rajsov feding i Relijev feding. Moguće je odrediti srednju vrednost osnih preseka signala na izlazu iz makrodiverziti SC kombinera. Srednja vrednost osnih preseka signala na izlazu iz makrodiverziti SC kombinera jednaka je srednjem broju prvog izvoda signala na izlazu iz makrodiverziti SC kombinera. Može se razmatrati i makrodiverziti SC prijemnik sa tri mikrodiverziti SC prijemnika [23], [36].

Mikrodiverziti SC prijemnici imaju dva, tri, četiri i više ulaza. Kod ovih mikrodiverziti prijemnika, može se izračunati na izlazu iz makrodiverziti prijemnika sa tri mikrodiverziti prijemnika [37], [38]:

- gustina raspodele na izlazu,
- kumulativna raspodela na izlazu,
- karakteristična funkcija ili srednja eksponencijalna vrednost na izlazu,
- prvi, drugi i treći moment.

Sledi izračunavanje srednje vrednosti osnih preseka signala na izlazu iz makrodiverziti sistema kao i ¹verovatnoća otkaza sistema ili performanse sistema.[18].

⁴ U šestom poglavlju doktorske disertacije navode se bitni zaključci izvršenog istraživanja teorijske i praktične implikacije izračunatih rezultata. Disertacija se završava naglašavanjem bitnih ograničenja sprovedene analize i prepoznavanjem budućih pravaca istraživanja.

Na kraju je predstavljen zaključak disertacije, koji je dobijen torijskom analizom i eksperimentalnom numeričkom i grafičkom evaluacijom.

2. KARAKTERISTIKE ANVELOPE SIGNALA U FEDING KANALU

¹Feding nastaje zbog prostiranja signala po više linija puteva [7], [34]. Signal se emituje po više linija putanja zbog rasipanja talasa, odbijanja talasa, savijanja talasa i prelamanja talasa. Sketering polje koje se ovom prilikom formira, može da bude homogeno i nehomogeno. Homogeno sketering polje pretpostavlja da u svakoj tački elektromagnetni talas postoji u svim pravcima. Kada se mobilni pretplatnik kreće u homogenom polju rasipanja, zbog Doplerovog efekta se formira Doplerov spektar. Svaka od komponenata elektromagnetnog talasa formira talas pomeren u spektru srazmeran komponenti brzine u odgovarajućem pravcu. Na ulazu u prijemnik se pojavljuje više uskopojsnih elektromagnetnih talasa koji se sabiraju i formiraju ekvivalentni uskopojsni signal. Ovaj uskopojsni signal ima amplitudu i fazu. Amplituda signala je promenljiva i predstavlja feding. Važno je odrediti statističke karakteristike signala da bi mogli da se odrede performanse bežičnog telekomunikacionog sistema [42]. Signal na ulazu u prijemnik može da se sastoji od više komponenata. Ove komponente mogu da imaju približno iste amplitude i uniformno raspodeljene faze [18], [39-41].

U ovom slučaju nema dominantnih komponenata. Ako postoji veći broj ovih komponenti, onda je zbir komponenata u fazi Gausov slučajni proces, a takođe je zbir komponenata na kvadrat Gausov slučajni proces. Ovo je prema centralnoj graničnoj teoremi. Transformacionom metodom može se odrediti gustina verovatnoće anvelope ekvivalentnog uskopojsnog signala Gausovog slučajnog procesa. Ova anvelopa ima Relijevu raspodelu. Prostiranja signala po više puteva nastalo na ovaj način naziva se Relijev feding [2], [42-44].

Relijeva raspodela opisuje anvelopu signala u Relijevom kanalu [11], [45], [46]. Odgovarajućom integracijom može se odrediti kumulativna verovatnoća Relijeve slučajne varijable. Kumulativna verovatnoća Relijeve slučajne varijable je verovatnoća otkaza bežičnog telekomunikacionog sistema koji radi u Relijevom feding kanalu. Verovatnoća da se i anvelopa signala nađe u nekom otkazu jednaka je razlici dve kumulativne verovatnoće. Karakteristična funkcija Relijeve slučajne varijable se dobija usrednjavanjem eksponencijalne funkcije [41], [47].

Karakteristična funkcija i gustina verovatnoće su Furijev transformacioni par. Furijeva transformacija jednaka je razlici dve kumulativne verovatnoće. Karakteristična funkcija Relijeve slučajne varijable se dobija usrednjavanjem eksponencijalne funkcije. Furijeova transformacija karakteristične funkcije predstavlja gustinu verovatnoće inverzne Furijeove transformacije, a karakteristična funkcija je njena gustina verovatnoće. Verovatnoća greške i verovatnoća otkaza bežičnog telekomunikacionog kanala mogu se izračunati pomoću gustine verovatnoće i karakteristične funkcije [48], [49].

Momenti Relijeve slučajne varijable se dobijaju, kao srednja vrednost od stepene funkcije. Najvažniji momenti su I ¹moment, ili srednja veličina signala, II moment ili srednja kvadratna

veličina signala i III moment, ili srednja kubna veličina signala [14], [50]. Drugi moment je snaga signala. Varijansa signala je drugi centralni moment. Standardna devijacija je kvadratni koren iz varijanse. Mogu se formirati dva uskopojasna Gausova procesa [51], [52]. Svaki od procesa se sastoji od Gausove komponente u fazi i Gausove komponente na kvadrat. Gausove komponente u fazi su korelisane i Gausove komponente na kvadrat su takođe korelisane. Step en korelecije je određen koeficijentom korelacije. Svaki od ovih uskopojasnih procesa ima anvelopu u fazi. Potrebno je odrediti združenu gustinu verovatnoće dve anvelope. Ovo je združena gustina verovatnoće dve Relijeve slučajne varijable. Moguće je odrediti za dve Relijeve slučajne varijable [38], [53]:

- kumulativnu gustinu verovatnoće,
- karakteristične funkcije, i
- produktni momenti.

Združena gustina verovatnoće i združena karakteristična funkcija za dve Relijeve slučajne varijable su Furijev transformacioni par. Step enovanjem Relijeve slučajne varijable stepenom dva, dobija se zbir kvadrata dve Gausove slučajne varijable. Prvi izvod od Relijeve slučajne varijable jednak je Gausovoj slučajnoj promenljivoj. Prvi izvod od Relijeve slučajne varijable jednak je linearnoj transformaciji Gausovih slučajnih promenljivih. Linearna transformacija Gausovih nasumične varijable je Gausova nasumična varijabla. Zatim, sledi da je I izvod od Relijeve nasumične varijable Gausova nasumična varijabla [45], [54].

Relijeva slučajna varijabla i prvi izvod od Relijeve slučajne varijable su nezavisne, zbog ovoga je združena gustina raspodele Relijeve nasumične varijable i prvog izvoda Relijeve nasumične varijable jednak proizvodu Relijeve gustine verovatnoće i Gausove gustine verovatnoće. Uz pomoć ove gustine verovatnoće određuje se srednja vrednost osnih preseka Relijevog nasumičnog procesa. Srednja vrednost osnih preseka Relijevog slučajnog procesa jednaka je srednjem broju I izvoda Relijevog nasumičnog procesa. Određuje se združena gustina raspodele dve Relijeve nasumične varijable i I izvoda dve Relijeve nasumične varijable. Gustina raspodele dužine vremenskih isečaka osnog preseka je srazmerna združenoj gustini verovatnoće dve Relijevog procesa u dva trenutka vremena i prvih izvoda u ovim trenucima vremena. Može da se formiraju tri uskopojasna Gausova slučajna procesa [37].

Tri Gausove komponente u fazi su korelisane kao i tri Gausove komponente u kvadraturi. Ove komponente mogu da budu različito korelisane. Komponente u fazi imaju združenu Gausovu gustinu verovatnoće, koja je određena korelacionom matricom. Korelaciona matrica može da bude eksponencijalna, ravnomerna, a može da bude i pravilna. Svaka korelaciona matrica jednaka je srednjoj vrednosti dve Gausove nasumične varijable. Transformacionom metodom određuje se združena gustina raspodele tri Relijeve nasumične varijable. Uz pomoć ove združene gustine raspodele određuje se:

- kumulativna raspodela tri Relijeve nasumične varijable,
- karakteristična funkcija 3 Relijeve nasumične varijable, i

- produkti momenti 3 Relijeve nasumične varijable.

U MATLAB-u se simulira Relijev slučajni proces i određuje se Relijev slučajni vektor, čiji su članovi jednaki uzorcima Relijevog slučajnog procesa. Ovaj vektor može da bude proizvoljne dužine. Primenjuje se pravilo da je kvadrat Relijeve slučajne promenljive jednak zbiru dva kvadrata Gausove nasumčne varijable.

Formiraju se u MATLAB-u dva Gausova vektora proizvoljne dužine. Ovi Gausovi vektori imaju srednju vrednost nula i varijansu jednaku jedan. Oba Gausova vektora se pomnože konstantom koja je srazmerna sa odgovarajućom varijansom. Vektor se pomnoži konstantom tako što se svaki član vektora pomnoži konstantom. Zatim se oba vektora kvadriraju. Vektor se diže na kvadrat na taj način što se svaki član vektora kvadrira. Zatim se dva vektora na kvadrat saberu. Formira se novi vektor sabiranjem dva vektora, čije je svaki član jednak zbiru dva odgovarajuća člana vektora sabiraka. Novo dobijeni vektor se zatim korenuje tako što se formira novi vektor kod koga se svaki član dobija korenovanjem određenog člana aktuelnog vektora. Na ovaj način je dobijen Relijev vektor, čiji su članovi uzorci Relijevog nasumičnog procesa. Zatim može da se formira histogram Relijevog vektora. Na apcisi histograma su Relijeve anvelope, a na ordinati brojevi uzoraka između dve anvelope.

Histogram je srazmeran gustini verovatnoće. Normalizovan histogram aproksimira Relijevu raspodelu. Normalizovan histogram se dobija na taj način što se svaka vrednost na ordinati pomnoži sa dužinom vektora. Tačnost aproksimacije zavisi od dužine Relijevog vektora. Tačnost aproksimacije se povećava povećanjem dužine vektora. Iz Relijevog vektora, može da se odredi kumulativna verovatnoća. Na apcisi su vrednosti Relijeve promenljive, a na ordinati je broj uzoraka u Relijevom vektoru koji su manji od vrednosti na apcisi. Svaka vrednost na ordinati se podeli sa brojem uzoraka. Dobijena kriva je aproksimacija Relijeve kumulativne verovatnoće.

Tačnost dobijene aproksimacije zavisi od dužine vektora. Za velike vrednosti anvelope, kumulativna verovatnoća Relijeve slučajne promenljive se približava jedinici. Pomoću Relijevog vektora mogu se odrediti momenti Relijeve slučajne promenljive. Članovi Relijevog vektora se saberu, a zatim dobijeni zbir podeli sa dužinom vektora, što predstavlja prvi moment ili srednju vrednost. Kada članovi Relijevog vektora kvadriramo, a potom saberemo, pa tako nastali rezultat podelimo sa veličinom vektora, gde ta dobivena vrednost predstavlja drugi moment ili srednja kvadratna vrednost. Kada se članovi Relijevog vektora podignu na treći stepen, a zatim saberu, pa tako dobijeni zbir podeli sa dužinom vektora, gde ta dobijena vrednost predstavlja treći moment ili srednju kubnu vrednost.

Varijansa Relijevog vektora se dobija tako što se kreira novi vektor čiji je svaki član jednak razlici određenog člana Relijevog vektora i srednje vrednosti Relijevog vektora. Zatim se članovi ovako dobijenog vektora kvadriraju, a potom saberu i nastali zbir se podeli sa dužinom vektora. Pomoću Relijevog vektora može se odrediti srednja vrednost osnih preseka Relijevog nasumičnog procesa za određenu vrednost anvelope. Srednja vrednost osnih preseka može biti određena na sledeći način:

- prvo formiramo novi vektor koji je jednak razlici Relijeveg vektora i vrednosti Relije anvelope za koju određuje srednja vrednost broja osnih preseka.
- zatim formiramo drugi vektor čiji je svaki član jednak proizvodu dva susedna člana od ovako dobijenog vektora.
- broj negativnih vrednosti ovako dobijenog vektora jednaka je srednjem broju osnih preseka.

Rajsova raspodela opisuje anvelopu signala u kanalima gde postoji dominantna komponenta [55], [56]. Moguće je formirati Gausov uskopojasni proces, koji se sastoji od dominantne komponente i sume sinusoida u fazi i sume sinusoida na kvadrat. Sve sinusoidne imaju istu amplitudu, a faze su im uniformno raspodeljene. Ako je broj sinusoida dovoljno veliki, onda suma sinusnih talasima Gausova gustinu verovatnoće. Na ovaj način se formira Gausova komponenta u fazi i Gausova komponenta na kvadrat. Pored ovoga postoji i dominantna komponenta koja je zbog jednostavnosti u fazi [57].

Anvelopa ovako dobijenog uskopojasnog procesa ima Rajsovu gustinu verovatnoće, koja se dobija odgovarajućom transformacijom. Iz gustine verovatnoće, moguće je odrediti:

- Rajsova kumulativnih raspodela,
- Rajsova karakterističnih funkcije, i
- Rajsovi obični i centralni moment.

Potrebno je izračunati Rajsov:

- moment ili Rajsovu srednju vrednost,
- 2. moment ili Rajsovu srednju kvadratnu vrednost, odnosno snagu Rajsovog signala, i
- moment ili srednju kubnu vrednost Rajsove anvelope.

Mogu se formirati dva Gausova uskopojasnog procesa od kojih svaki ima dominantnu komponentu u fazi. Ovi signali se formiraju kada imamo optičku vidljivost između predajnika i prijemnika i sketering polje je homogeno.

Združena gustina verovatnoće anvelope ova dva uskopojasnog procesa određuje se odgovarajućom transformacijom. Odgovarajuće komponente su u fazi, Gausove i nezavisne su. Takođe, odgovarajuće komponente u na kvadrat su Gausove i korelisane su. Na ovaj način se dobija združena Rajsova gustina verovatnoće za dve nasumične promenljive. Uz pomoć ove združene gustine verovatnoće moguće je odrediti za dve Rajsove slučajne varijable [58]:

- združena kumulativna verovatnoća,
- združene karakteristične funkcije, i
- združen produktni moment.

Prvi produktni moment jednak je proizvodu dve Rajsove nasumične varijable. Drugi produktni moment jednak je srednjoj vrednosti proizvoda kvadrata dve Rajsove slučajne promenljive. Treći produktni moment jednak je srednjoj vrednosti proizvoda kubova dve Rajsove slučajne varijable. Mogu se formirati N Gausovih slučajnih procesa, koji se sastoje od Gausove

komponente u fazi, Gausove komponente u kvadraturi i dominantne komponente u fazi. Svih N Gausovih slučajnih komponenti su korelisani i formirana je odgovarajuća korelaciona matrica.

Korelaciona matrica je najčešće eksponencijalna. Ovakva korelaciona matrica odgovara signalima na antenama koje su na istim rastojanjima. Na ovaj način određuje se združena gustina verovatnoće N Rajsovih nasumičnih varijabli. Pomoću ove združene gustine verovatnoće, može da se odrede N Rajsovih slučajnih promenljivih

- združena karakteristična funkcija,
- združena kumulativna verovatnoća, i
- združeni produktni momenti.

Kvadrat Rajsove nasumične varijable jednak je zbiru kvadrata dve Gausove nasumične varijable. Ove dve Gausove slučajne promenljive imaju jednake varijanse, a srednja vrednost bar jedne Gausove slučajne promenljive je različita od nule. Prvi izvod od Rajsove slučajne promenljive je linearna transformacija dve Gausove slučajne varijable, pošto I izvod od Gausove nasumične varijable je Gausova nasumična varijabla.

Iz ovoga se dobija združena gustina raspodele Rajsove nasumične varijable i njenog I izvoda koji je jednak proizvodu Rajsove gustine raspodele i Gausove gustine raspodele. Uz pomoć ove združene gustine raspodele, određuje se srednja vrednost osnih preseka Rajsovog nasumičnog procesa. Srednja vrednost osnih preseka Rajsovog slučajnog procesa jednaka je srednjem broju prvog izvoda Rajsove slučajne promenljive. Moguće je odrediti združenu gustinu verovatnoće dve Rajsove slučajne promenljive i prvi izvod dve Rajsove varijable. Na osnovu ovoga, može se odrediti gustina verovatnoće dužine osnih preseka Rajsovog slučajnog procesa. Uz pomoću ove gustine verovatnoće određuje se:

- kumulativna raspodela dužine osnih preseka,
- karakteristična funkcija dužine osnih preseka, i
- momenti dužine osnih preseka.

Potrebno je izračunati srednji broj dužine osnih preseka i srednji kvadratni broj dužine osnih preseka.

Srednja vrednost dužine osnih preseka, je verovatnoća prekida bežičnog telekomunikacionog sistema koji radi u kanalu sa Rajsovim fejdinom. U MATLAB-u se može odrediti Rajsov slučajni vektor određene dužine. Rajsov vektor se formira tako što: prvo se formiraju dva Gausova vektora. Ovi vektori imaju jediničnu varijansu i srednje vrednosti su im nula. Zatim se ova dva vektora pomnože sa konstantom koja je srazmerna varijansi. Jednom od vektora se doda konstanta koja odgovara srednjoj vrednosti, odnosno u fading kanalima odgovara dominantnoj komponenti. Konstanta se dodaje vektoru na taj način što se formira novi vektor u kome se svakom članu doda konstanta. Ovako izračunati Gausovi vektori se kvadriraju i saberu. Uz pomoć izračunatog zbira se određuje kvadratni koren. Izračunati vektor ima vrednosti članova koji su jednaki uzorcima Rajsovog

nasumičnog procesa. Zatim, se određuje histogram Rajsovog slučajnog procesa. Iz histograma se određuju gustina verovatnoće i kumulativna verovatnoća. Tačnost ove aproksimacije zavisi od dužine Rajsovog vektora. Mogu se odrediti Rajsovi momenti i srednja vrednost osnih preseka Rajsovog nasumičnog procesa.

Nakagami - m raspodela koristi se da bi se opisala anvelopa signala u feding kanalima gde postoje uslovi da se formira dominantna komponenta [20], [54], [59]. Ova raspodela ima parametar (m) koji se zove oštrina fedinga. Parametar (m) uzima vrednost od 0,5 do beskonačnosti. Relijeva raspodela i jednostrana Gausova raspodela se dobija uz pomoć Nakagami-m raspodele koja je generalna raspodela. Za $m = 1$ Nakagami - m feding kanal postaje Rajsov feding kanal, a za $m = 0,5$ od Nakagami - m raspodela dobija se jednostrana Gausova raspodela.

Kada parametar (m) teži beskonačnosti, Nakagami - m feding kanal postaje kanal bez prisustva prostiranja signala po više puteva. Kvadrat Nakagami - m nasumične varijable jednak je zbiru $2(m)$ kvadrata nasumičnih varijabli. Ove Gausove nasumične varijable imaju srednje vrednosti 0 i međusobno su nezavisne. Iz ove relacije se mogu odrediti Nakagami-m gustina verovatnoće. Pomoću ove gustine verovatnoće, može da se odredi za Nakagami-m slučajne varijable [32], [34]:

- kumulativna verovatnoća,
- karakteristična funkcija, i
- prvi, drugi i treći moment.

Može da se razmatra bežični mobilni telekomunikacioni sistem koji radi preko Nakagami-m feding kanala. Za ovaj sistem može da se izračuna verovatnoća otkaza, kapacitet kanala, iznos fedinga i verovatnoća greške. Verovatnoća greške može da se odredi za koherentne modulacione formate i za nekoherentne modulacione formate. Takođe, može da se odredi i verovatnoća greške za kvadratne modulacione formate. Može da se razmatraju dve Nakagami-m slučajne varijable [2], [13].

Kvadrat svake od ove dve Nakagami-m slučajne varijable, piše se kao zbir $(2m)$ kvadrata Gausovih nasumičnih varijabli. Sve ove Gausove nasumične varijable, imaju srednje vrednosti nula i imaju iste varijanse. Svaka od vrednosti Gausovih nasumičnih varijabli je korelisana. Ovako je moguće odrediti združena gustina raspodele dve korelisane Gama gustine verovatnoće. Uz pomoć ove združene gustine raspodele, moguće je da se izračuna združena kumulativna raspodela dve Nakagami-m nasumične varijable i karakteristična funkcija dve korelisane Nakagami-m slučajne promenljive. Takođe, može da se odrede i produktni momenti dve Nakagami-m slučajne promenljive. Mogu da se odrede prvi, drugi i treći produktni momenti. Prvi produktni moment je autokorelaciona funkcija Nakagami-m slučajnog procesa. Mogu da se razmatraju tri Nakagami-m slučajne promenljive. Kvadrat svake od ove tri Nakagami - m nasumične varijable, može da se napiše kao zbir kvadrata Gausovih nasumičnih varijabli, koje

su nezavisne, imaju srednju vrednost nula i imaju iste varijanse. Ove odgovarajuće tri Gausove komponente su korelisane, a ovo je definisano korelacionom matricom [60], [61].

Transformacionom metodom određuje se združena gustina verovatnoće tri Nakagami-m slučajne varijable. Pomoću nje određuje se za tri Nakagami-m slučajne varijable:

- združena kumulativna verovatnoća,
- združena karakteristična funkcija, i
- produkti momenti.

Na sličan način određuje se združena gustina raspodele četiri Nakagami - m nasumične varijable, a zatim se razmatra relacija da je kvadrat Nakagami - m nasumične varijable jednak zbiru (2m) kvadrata Gausovih nasumičnih varijabli. U tom slučaju, određuje se prvi izvod od obe strane ove jednačine, odnosno dobija se prvi izvod od Nakagami-m slučajne promenljive, što predstavlja linearnu kombinaciju Gausovih slučajnih varijabli.

Prvi izvod od Gausovih nasumičnih varijabli je Gausova nasumična promenljiva. Na osnovu ovoga se dobija da su Nakagami - m nasumična varijabla i njen prvi izvod, odnosno od Nakagami-m slučajne varijable je Gausova slučajna varijabla. Združene, gustina verovatnoće Nakagami-m slučajne promenljive i prvi njen izvod je Nakagami-m gustina verovatnoće i Gausova gustina verovatnoće.

Varijansa prvog izvoda Nakagami-m slučajne promenljive, srazmerna je kvadratu Doplerove frekvence i srednje snage Nakagami-m slučajnog procesa, a obrnuto je srazmerna od oštine Nakagami-m fadinga. Na osnovu ove združene gustine verovatnoće Nakagami-m slučajne promenljive, određuje se srednja vrednost osnih preseka Nakagami - m nasumičnog procesa, kao i srednja vrednost 1. izvoda od Nakagami - m nasumičnog procesa. Tako se formira za dve Nakagami - m nasumične varijable združena gustina verovatnoće i 1.izvod za ove dve Nakagami-m nasumične varijable. Gustina verovatnoće vremenskog isječaka, srazmerna je ovoj združenoj gustini verovatnoće. Pomoću ove združene gustine raspodele, moguće je odrediti [20], [62]:

- kumulativna raspodela vremenskih isječaka,
- karakteristična funkcija vremenskih isječaka,
- i momenti vremenskih isječaka.

Potrebno je izračunati za vremenske isječke:

- srednju vrednost,
- srednju kvadratnu vrednost, i
- varijansu vremenskih isječaka.

Srednja vrednost vremenskih isječaka je_srednje vreme trajanja otkaza bežičnog TK sistema koji funkcioniše u Nakagami-m fejdin kanal.

Relijev nasumični vektor se formira u MATLAB-u na sledeći način: prvo se formiraju (2m) Gausovi vektori proizvoljne dužine. Ovi Gausovi vektori su međusobno nezavisni, poseduju

srednje vrednosti nula i poseduju jediničnu varijansu. Potom se, $(2m)$ Gausovi vektori pomnože sa konstantom koja je srazmerna sa varijansom. Ovako dobijeni Gausovi vektori se dižu na kvadrat i saberu. Zatim se, izvedeni vektor korenuje. Članovi dobijenog vektora su izrazi Nakagami-m slučajnog procesa. Normalizovan histogram ovog vektora aproksimira Nakagami-m gustinu verovatnoće. Zatim se, aproksimira kumulativna verovatnoća Nakagami-m slučajne promenljive. Tačnost ove aproksimacije zavisi od dužine Nakagami-m slučajnog vektora. Pomoću Nakagami-m slučajnog vektora, odredi se aproksimativno prvi, drugi i treći moment Nakagami-m slučajne varijable [17], [51].

Tačnost ove aproksimacije zavisi od dužine vektora. Aproksimativno se izračuna srednji broj onih preseka Nakagami - m nasumičnog procesa. Takođe, razmatra se statistička karakteristika zbira dve Nakagami-m slučajne varijable. Gustina verovatnoće zbira dve Nakagami-m slučajne varijable jednaka je konvolucionom integralu gustine verovatnoće sabiraka.

Pomoću ove gustine verovatnoće, odredi se za dve Nakagami-m slučajne varijable:

- kumulativna verovatnoća zbira,
- karakteristična funkcija zbira, i
- momenti zbira.

Dve Nakagami-m slučajne varijable mogu da budu korelisane, ili nekorelisane. Ovi rezultati se primenjuju za analizu performansi bežičnog telekomunikacionog sistema, koji koristi EGC prijemnik sa dva ulaza da bi se smanjio uticaj brzog N Nakagami - m fadinga na verovatnoću otkaza bežičnog telekomunikacionog sistema i verovatnoću greške sistema, kao i kapacitet kanala. Signal na izlazu iz EGC kombinera sa dva ulaza, jednaka je zbiru dve Nakagami - m slučajne varijable. Određuju se za količnik dve Nakagami-m slučajne varijable [63]:

- gustina verovatnoće,
- kumulativna verovatnoća,
- karakteristična funkcija, i
- moment.

Dve Nakagami-m nasumične varijable mogu da budu: korelisane ili nekorelisane. Statističke karakteristike količnika dve Nakagami-m slučajne promenljive ima primenu za analizu performansi bežičnog telekomunikacionog sistema, koji radi u interferencom ograničenom kanalu. Kod ovih sistema snaga interference je znatno veća od snage Rajsovog šuma, tako da se uticaj šuma na verovatnoću pojave greške i verovatnoću otkaza može izostaviti. Celularni sistemi su celularno ograničeni sistemi. [25], [64]

Celularni sistemi se formiraju da bi se povećao kapacitet kanala. Kapacitet kanala je veći, odnosno doprinos celularne konfiguracije je efikasniji kada je broj ćelija veći, odnosno površina svake ćelije manja. Ali, u ovom slučaju snaga međukanalne interference je veća, i onda se pojavljuje verovatnoća greške. Kod ovih sistema su statističke karakteristike odnosa dve Nakagami-m slučajne varijable značajne za određivanje verovatnoće greške, verovatnoće otkaza i

kapaciteta kanala. Važno je, takođe razmatrati statističke karakteristike proizvoda dve Nakagami-m slučajne varijable, koje mogu da budu korelisane i nekorelisane.

Potrebno je da se odredi za proizvod dve Nakagami-m slučajne varijable:

- gustina verovatnoće,
- kumulativna verovatnoća,
- karakteristična funkcija, i
- obični i centralni momenti.

Takođe, se određuje:

- I moment ili srednja vrednost signala,
- II moment ili srednja kvadratna vrednost signala, i
- III moment ili srednje kubna vrednost signala.

Dobijeni rezultati mogu se primeniti za analizu performansi bežičnog digitalnog Relijevo telekomunikacionog sistema sa dve deonice na kojima je prisutan Nakagami-m fading. Signal na izlazu iz druge deonice jednak je proizvodu 2 Nakagami-m slučajne varijable. Određuje se združena gustina raspodele proizvoda 2 Nakagami - m nasumične varijable i I izvoda proizvoda dve Nakagami - m nasumične varijable.

Uz pomoć ove združene gustine raspodele proizvoda dve Nakagami - m slučajne varijable, određuje se srednja vrednost osnih preseka proizvoda dva Nakagami - m nasumična procesa. Ova srednja vrednost osnih preseka se računa kao prosečna vrednost od I izvoda proizvoda dva Nakagami-m slučajnog procesa. Zatim, se razmatra maksimum dve Nakagami-m slučajne varijable i određuje gustina raspodele maksimuma dve Nakagami - m nasumične varijable. Uz pomoć ove gustine verovatnoće, odredi se za maksimum dve Nakagami-m slučajne promenljive [65]:

- kumulativna verovatnoća maksimuma,
- karakteristična funkcija maksimuma, i
- obični i centralni momenti maksimuma.

Određuje se za dve Nakagami-m slučajne varijable:

- I moment ili srednja vrednost signala,
- II moment ili srednja kvadratna vrednost signala, i
- III moment ili srednje kubna vrednost signala.

Ovi rezultati imaju primenu za određivanje: verovatnoće greške i verovatnoću otkaza bežičnih telekomunikacionih mobilnih sistema koji koriste selektivni kombiner sa 2 ulaza, da bi se smanjio uticaj Nakagami - m fadinga na karakteristike sistema. Sada, se određuje srednji broj osnih preseka maksimuma dve Nakagami - m slučajna procesa. Ovakav izraz se može upotrebiti za dobijanje srednjeg vremena trajanja bežičnih telekomunikacionih radio sistema sa selektivnim

kombinerom. Takođe, se razmatra minimum dve Nakagami-m slučajne varijable. Može da se odredi za minimum dve Nakagami-m slučajne promenljive [5]:

- gustina verovatnoće,
- kumulativna verovatnoća,
- karakteristična funkcija, i
- obični i centralni momenti.

Za minimum dve Nakagami - m slučajne varijable određujemo:

- I moment ili srednju vrednost signala,
- II moment ili srednju kvadratnu vrednost signala, i
- III moment ili srednju kubnu vrednost signala.

Zatim se, izračuna srednji broj osnih preseka za minimum dva Nakagami-m slučajna procesa.

Ovi rezultati imaju primenu za određivanje verovatnoće otkaza bežičnih relejnih telekomunikacionih sistema sa dve deonice. Verovatnoće otkaza ovog sistema, jednaka je kumulativnoj verovatnoći minimuma dve Nakagami-m slučajne promenljive [66].

Vejbulova slučajna promenljiva se upotrebljava da opiše anvelopu signala u kanalima gde je polje rasipanja (sketering polje) homogeno [25], [67]. U ovom slučaju komponenta u fazi i komponenta na kvadrat nemaju Gausovu gustinu verovatnoće. Komponenta u fazi može da se napiše kao zbir slučajnih talasa sa uniformno raspoređenim fazama. Međutim, amplitude ovih talasa su različite i nema ih dovoljno, da bi važila centralna granična teorema.

Zbog ovoga, ova suma nema Gausovu gustinu verovatnoće. Iz istog razloga i komponenta na kvadrat nema Gausovu gustinu verovatnoće. Ako se prenos signala odvija u okviru jednog klastera i ako ne postoji optička vidljivost između predajnika i prijemnika, onda se uzorci Vejbulovog nasumičnog procesa mogu dobiti nelinearnom transformacijom uzoraka Relijevo nasumičnog procesa. Vejbulova slučajna promenljiva se dobija stepenovanjem Relijeve slučajne varijable. Na osnovu ovoga se transformacionom metodom dobija Vejbulova gustina verovatnoće, kao i kumulativna verovatnoća Vejbulove nasumične varijable, karakteristične funkcije Vejbulove nasumične varijable i obični i centralni momenti Vejbulove nasumične varijable [30], [31].

Transformacionom metodom, se iz združene gustine verovatnoće Relijeve slučajne promenljive i prvog izvoda Relijeve slučajne varijable određuje združena gustina verovatnoće. Pomoću nje, određuje se srednji broj osnih preseka Vejbulovog nasumičnog procesa. Ovaj broj se dobija kao srednji broj od I izvoda Vejbulovog nasumičnog procesa. Određuje se združena gustina raspodele Vejbulovog nasumičnog procesa u dva trenutka vremena i njen prvi izvod u ta dva trenutka vremena. Pomoću ove združene gustine verovatnoće može da se odredi gustina verovatnoće vremenskih otkaza Vejbulovog slučajnog procesa [16], [44].

Transformacionom metodom se iz združene gustine verovatnoće dve Vejbulove slučajne promenljive, koristeći izraz za združenu gustinu verovatnoće dve Relijeve slučajne promenljive, izračunava za dve Vejbulove slučajne promenljive:

- združena kumulativna verovatnoća,
- združena karakteristična funkcija, i
- obični i centralni momenti dve.

Združena gustina raspodele tri Vejbulove nasumične varijable, dobija se transformacionom metodom združene gustine verovatnoće tri Relijeve nasumične varijable [21], [68].

Koristeći združene gustine verovatnoće tri Vejbulove slučajne varijable, određuje se:

- kumulativna verovatnoća,
- karakteristična funkcija tri Vejbulove slučajne varijable, i
- obični i centralni momenti tri Vejbulove slučajne varijable.

Određuje se združena gustine verovatnoće tri Vejbulove nasumične varijable i prvih izvoda tri Vejbulove nasumične varijable. Razmatra se zbir tri Vejbulove slučajne varijable. Potrebno je da se odredi za zbir tri Vejbulove slučajne varijable [26], [69]:

- gustina verovatnoće,
- kumulativna verovatnoća zbira,
- karakteristična funkcija, i
- obični i centralni momenti.

Ovi rezultati se primenjuju za dobijanje karakteristika bežičnog TK sistema koji ima EGC prijemnik sa tri ulaza radi smanjenja uticaja Vejbulovog fejdinga na verovatnoću greške sistema, verovatnoću otkaza sistema i kapacitet kanala.

Koristeći izvedene izraze izračunava se verovatnoća greške, verovatnoća otkaza i kapacitet kanala. Izračunava se srednja vrednost osnih preseka zbira tri Vejbulove slučajne promenljive. Koristeći gore navedeno, određuje se srednja vrednost vremena trajanja otkaza bežičnog TK sistema koji koristi EGC prijemnik sa tri ulaza. U MATLAB - u se formira nasumični Vejbulov vektor. Prvo se kreiraju 2 Gausova vektora sa jediničnim varijansama sa srednjim vrednostima 0. Zatim, se Gausovi vektori pomnože sa konstantom koja je srazmerna sa odgovarajućom varijansom. Ovako dobijeni Gausovi vektori se dižu na kvadrat i saberu se. Formira se novi vektor koji je jednak kvadratnom korenu prethodno dobijenog vektora. Dobijeni vektor se stepenuje i dobija se Vejbulov vektor. Vektor se stepenuje na taj način što se stepenuje svaki član vektora. Za ovako dobijeni vektor se može odrediti histogram. Normalizovani histogram se dobija na taj način što sve vrednosti na ordinati podele sa veličinom vektora. Dobijeni normalizovani histogram aproksimira Vejbulovu gustinu raspodele. Tačnost aproksimacije zavisi od dužine vektora.

Takođe, se određuje kumulativna verovatnoća Vejbulove slučajne varijable. Kao i u prethodnom slučaju, tačnost ove aproksimacije zavisi od dužine Vejbulovog vektora. Pomoću Vejbulovog vektora, može se izračunati prvi, drugi, treći moment i varijansa Vejbulove slučajne varijable. Aproksimacijom se može odrediti srednji broj osnih preseka Vejbulovog slučajnog procesa. Tačnost ove aproksimacije zavisi od dužine Vejbulovog vektora. Razmatra se proizvod tri Vejbulove slučajne varijable, a zatim se određuje za proizvod tri Vejbulove slučajne promenljive [70]:

- gustina verovatnoće,
- kumulativna verovatnoća,
- karakteristična funkcija, i
- obični i centralni moment.

Izračunava se prvi, drugi, treći moment i varijansa proizvoda tri Vejbulove slučajne varijable.

Ovi rezultati se koriste za izračunavanje performansi bežičnog relejnog sistema sa tri sekcije u kojima je prisutan Vejbulov fading. Zatim, se određuje verovatnoća greške relejnog sistema, verovatnoća otkaza sistema i kapacitet kanala. Koristeći izvedene izraze izračunava se verovatnoća greške, verovatnoća otkaza relejnog sistema i iznos fadinga relejnog sistema. Takođe, izračunava se i srednji broj osnih preseka. Zatim se izračunava gustina verovatnoće, kumulativna verovatnoća, karakteristična funkcija, kao i momenti zbira dve Vejbulove slučajne varijable, količnika dve Vejbulove slučajne varijable, proizvoda dve Vejbulove slučajne varijable, maksimuma dve Vejbulove slučajne varijable, minimuma dve Vejbulove slučajne varijable. Vejbulova slučajna promenljiva ima parametar (α) koji se naziva parametar nelinearnosti. Kada je parametar ($\alpha = 2$), onda Vejbulov fading kanal postaje Relijev fading kanal. Kada parametar nelinearnosti teži ka beskonačnosti, Vejbulov fading kanal postaje kanal bez prisustva fadinga. Kada parametar (α) raste, onda oštrina fadinga opada.

(k- μ) raspodela se koristi da opiše anvelopu signala kada postoji više dominantnih komponenti, a signal se prostire po više klastera [16], [71], [72]. Ovakva raspodela poseduje 2 parametra. Parametar(k) je Rajsov faktor i jednak je količniku snage dominantnih komponenti i snage skatering komponenti. Rajsov faktor raste, kada raste snaga dominantnih komponenti, a opadaju snage skatering komponenti. Parametar (μ) je u zavisnosti sa brojem klastera. (k - μ) raspodela je generalna raspodela tako da Nakagami - m, Rajsova i Relijeva raspodela se mogu izračunati iz ove raspodele kao slučajevi koji su specijalni. Za ($\mu = 1$) raspodela prelazi u Rajsovu raspodelu, za (k = 0) raspodela prelazi u Nakagami-m raspodelu, za (k = 0) i ($\mu = 1$) raspodela postaje Relijeva raspodela. Kvadrat raspodele moguće je napisati kao zbir (2μ) kvadrata Gausovih nasumičnih varijabli. Ovakve Gausove nasumične varijable imaju iste varijanse i međusobno su nezavisne [12], [55].

Srednja vrednost ovih Gausovih komponenti, je različita od nule. Pomoću ove relacije, određuje se gustina verovatnoće (k- μ) slučajne varijable, a zatim, se za nju izračunava:

- kumulativna verovatnoća,
- karakteristična funkcija,
- produkti i obični momenti .

Izračunava se prvi, drugi i treći moment, kao i varijansa ove $(k - \mu)$ slučajne varijable. Razmatraju se dve $(k - \mu)$ nasumične varijable. Kvadrat svake od dve $(k - \mu)$ nasumične varijable, može da se napiše kao suma od (2μ) na kvadrat Gausovih nasumičnih varijabli, koje su nezavisne, imaju jednake varijanse i imaju srednje vrednosti.

Svaki par odgovarajućih Gausovih promenljivih je korelisan. Na ovaj način, izračunava se združena gustina verovatnoće dve $(k - \mu)$ nasumične varijable. Uz pomoć združene gustine raspodele dve $(k - \mu)$ slučajne varijable, može da se izračuna [10], [11]:

- združena kumulativna gustina verovatnoće,
- združena karakteristična funkcija, i
- združeni produkti momenti.

Sada se izračunaju prvi, drugi i treći produkti moment. Prvi produkti moment jednak je srednjoj vrednosti od proizvoda dve $(k - \mu)$ slučajne promenljive. Drugi produkti moment jednak srednjoj vrednosti proizvoda kvadrata dve $(k - \mu)$ slučajne varijable je i treći produkti moment jednak srednjoj vrednosti proizvoda kubova dve $(k - \mu)$ slučajne promenljive. Takođe, razmatraju se tri slučajne promenljive i to se napiše kao zbir (2μ) kvadrata Gausovih slučajnih promenljivih, koje imaju iste varijanse i međusobno su nezavisne. Svaka od ovih Gausovih komponenti, može imati srednje vrednosti [51], [73].

Iz ovoga moguće je izračunati združenu gustinu raspodele tri $(k - \mu)$ nasumične varijable. Pomoću ove združene gustine verovatnoće tri $(k - \mu)$ slučajne varijable, izračuna se za tri slučajne varijable [70]:

- združena kumulativna gustina verovatnoće,
- združena karakteristična funkcija, i
- združeni produkti momenti.

Takođe, se izračunaju prvi, drugi i treći produkti moment, tako da je:

- prvi produkti moment jednak je srednjoj vrednosti od proizvoda tri $(k - \mu)$ slučajne varijable.
- drugi produkti moment jednak srednjoj vrednosti proizvoda kvadrata tri $(k - \mu)$ slučajne promenljive, i
- treći produkti moment jednak srednjoj vrednosti proizvoda kubova tri $(k - \mu)$ slučajne varijable.

Kvadrat $(k - \mu)$ slučajne varijable, moguće je napisati kao sumu od (2μ) kvadrata Gausovih nasumičnih varijabli. Te Gausove nasumične varijable imaju iste varijanse i međusobno su nezavisne. Zatim, se odredi prvi izvod od obe strane ovog izraza. Prvi izvod od Gausove slučajne varijable je Gausova nasumična varijabla. Dalje sledi da je I izvod od $(k - \mu)$ nasumične

varijable, Gausova nasumična varijabla. Nasumična varijabla i I izvod od $(k - \mu)$ nasumične varijable su nezavisne nasumične varijable.

Zdržena gustina raspodele $(k - \mu)$ nasumične varijable i I izvod od $(k - \mu)$ nasumične varijable, jednak je proizvodu $(k - \mu)$ gustine verovatnoće i Gausve gustine verovatnoće. Uz pomoć ovkve združne gustine verovatnoće, moguće je izračunati srednju vrednost osnih preseka $(k - \mu)$ slučajnog procesa. Izračuna se i združena gustina verovatnoće 2 $(k - \mu)$ nasumične varijable i prvi izvod od dve $(k - \mu)$ slučajne varijable. Uz pomoć ove zdržene gustini verovatnoće, može da se izračuna gustina verovatnoće osnih isečaka $(k - \mu)$ slučajnog procesa. Zatim, se izračuna gustina verovatnoće osnih isečaka, kumulativna verovatnoće osnih isečaka i momenti osnih isečaka. Dalje se razmatra, proizvod tri $(k - \mu)$ slučajne promenljive. Transformacionom metodom, se izračuna gustina verovatnoće proizvoda tri $(k - \mu)$ slučajne promenljive. Zatim, se izračuna kumulativna verovatnoća proizvoda tri $(k - \mu)$ nasumične varijable, karakteristična funkcija proizvoda tri $(k - \mu)$ nasumične varijable i obični i produktni momenti proizvoda 3 $(k - \mu)$ nasumične varijable. Takođe, se izračuna i zdržena gustina verovatnoće proizvoda tri $(k - \mu)$ nasumične varijable I izvod od tri $(k - \mu)$ nasumične varijable. Uz pomoć ove zdržene gustine raspodele, može da se izračuna srednja vrednost osnih preseka proizvoda tri $(k - \mu)$ slučajnih procesa.

Dobijeni rezultati mogu da se primene za analizu performansi bežičnih relejnih telekomunikacionih sistema sa tri deonice u kojima je prisutan $(k - \mu)$ brzi fading. Zatim, se razmatra količnik proizvoda dve $(k - \mu)$ nasumične varijable i jedne $(k - \mu)$ nasumične varijable. Transformacionom metodom, se izračuna gustina verovatnoće ovog količnika. Uz pomoć ove gustine verovatnoće, određuju su:

- kumulativna verovatnoća,
- karakteristične funkcije, i
- produktni momenti količnika proizvoda dve $(k - \mu)$ nasumične varijable i jedne $(k - \mu)$ nasumične varijable.

Naredni korak je izračunavanje prvog, drugog i trećeg produktnog momenta i varijanse. Zatim, sledi izračunavanje združene gustine verovatnoće od količnika proizvoda 2 $(k - \mu)$ nasumične varijable i jedne $(k - \mu)$ nasumične varijable i njegovog I izvoda. Pomoću ove združene gustine verovatnoće, izračuna se srednja vrednost osnih preseka količnika proizvoda 2 $(k - \mu)$ nasumične varijable i jedne $(k - \mu)$ nasumične promenljive. Nakon toga, određuje se združena gustina verovatnoće dve $(k - \mu)$ slučajne promenljive, od kojih je svaka jednaka količniku proizvoda dve $(k - \mu)$ nasumične varijable i jedne $(k - \mu)$ nasumične varijable. Pomoću ovih izraza, određuje se verovatnoća otkaza i verovatnoća greške bežičnog relejnog telekomunikacionog sistema sa 2 deonice, koji radi u $(k - \mu)$ kanalu, a u prisustvu $(k - \mu)$ međukanalne interference. Takođe, se određuje srednji broj osnih preseka rezultujućeg odnosa signala i interference spomenutog relejnog sistema. Zatim, se razmatra količnik $(k - \mu)$ slučajne varijable i proizvod dve $(k - \mu)$ slučajne varijable i izračuna gustina verovatnoće količnika $(k - \mu)$

nasumične varijable i proizvoda dve $(k-\mu)$ nasumične varijable. Pomoću ove gustine verovatnoće, određuje se kumulativna verovatnoća, karakteristična funkcija i obični i centralni moment količnika $(k-\mu)$ nasumične varijable i proizvoda dve $(k-\mu)$ nasumične varijable. Izračuna se I, II i III moment i varijansa i određuje se združena gustina raspodele količnika jedne $(k-\mu)$ nasumične promenljive i proizvoda dve $(k-\mu)$ nasumične promenljive i njegovog I izvoda. Uz pomoć ove zdržene gustine raspodele, izračuna se srednja vrednost osnih preseka količnika jednog $(k-\mu)$ slučajnog procesa i proizvoda dva $(k-\mu)$ nasumična procesa. Takođe, vrši se razmatranje dve slučajne promenljive, od kojih je svaka jednaka količniku jedne $(k-\mu)$ nasumične promenljive i proizvodu 2 $(k-\mu)$ nasumične varijable. Onda se, određuje:

- združena gustina verovatnoće,
- kumulativna gustina verovatnoće,
- karakteristična funkcija, i
- produkti momenti ove dve slučajne varijable.

Zatim, se formira $(k-\mu-g)$ slučajna promenljiva i $(k-\mu-g)$ slučajni proces. $(k-\mu-g)$ slučajna promenljiva se dobija kada je snaga $(k-\mu)$ slučajne promenljive, srednja snaga promenljive i poseduje Gama raspodelu. Odgovarajućim usrednjavanjem izračunavaju se;

- gustine verovatnoće;
- kumulativna verovatnoća;
- karakteristična funkcija, i
- momenti $(k-\mu-g)$ nasumične varijable.

Razmatraju se dve $(k-\mu-g)$ slučajne promenljive i određuju se:

- njihova združena gustina verovatnoće,
- kumulativna verovatnoća,
- karakteristična funkcija, i
- produkti momenti.

Može da se formira $(\alpha-k-\mu)$ slučajna promenljiva i $(\alpha-k-\mu)$ slučajni proces [74]. Uzorci $(\alpha-k-\mu)$ slučajnog procesa, se dobijaju stepenovanjem uzoraka $(k-\mu)$ slučajnog procesa. Za ovu slučajno promenljivu, izračuna se:

- gustina verovatnoće,
- kumulativna verovatnoća,
- karakteristična funkcija, i
- momenti.

Transformacionom metodom, određuje se združena gustina raspodele $(\alpha-k-\mu)$ nasumične varijable i njegovog I izvoda. Pomoću ove združene gustne raspodele, određuje se srednja vrednost osnih preseka $(\alpha-k-\mu)$ nasumičnog procesa. Zatim, se izračuna združena gustina verovatnoće 2 $(\alpha-k-\mu)$ nasumične varijable, da bi se izračunala kumulativna verovatnoća, karakteristična funkcija i produkti momenti dve $(\alpha-k-\mu)$ nasumične

promenljive, kao i $(\alpha - k - \mu)$ raspodela, što se koristi da bi se opisala anvelopa signal u kanalima gde ima više dominantnih komponenti i klastera, a sredina je nelinearna.

Zatim, se razmatra $(\alpha - k - \mu - g)$ slučajna varijabla. Transformacionom metodom, određuje se gustina verovatnoće $(\alpha - k - \mu - g)$ slučajne promenljive. Nakon toga, se izračuna kumulativna verovatnoća, karakteristična funkcija i produktni i obični momenti od $(\alpha - k - \mu - g)$ nasumične varijable. A onda, se izračunaju:

- I momenti ili srednje vrednost signala,
- II momeni ili srednje kvadratna vrednost signala,
- III momeni ili srednje kubna vrednost signala, i
- varijansa signala odnosno drugi centralni moment.

Razmatraju se dve $(\alpha - k - \mu - g)$ slučajne varijable i određuje:

- združena gustina verovatnoće,
- združena kumulativna raspodela,
- združena karakteristične funkcije, i
- združeni produktni momenti dve $(\alpha - k - \mu - g)$ nasumične varijable.

Takođe, razmatraju se tri $(\alpha - k - \mu - g)$ slučajne varijable i izračunava:

- združena gustina verovatnoće,
- združene kumulativne verovatnoće,
- združena karakteristične funkcije, i
- združeni produktni momenti tri $(\alpha - k - \mu - g)$ nasumične varijable.

Potom, određujemo združenu gustinu verovatnoće $(\alpha - k - \mu - g)$ nasumične varijable i izvoda od $(\alpha - k - \mu - g)$ nasumične varijable. Pomoću ove združene gustine verovatnoće, određuje se srednja vrednost osnih preseka od $(\alpha - k - \mu - g)$ nasumičnog procesa. Slučajni $(k - \mu)$ vektor može se formirati u MATLAB-u. Prvo se formiraju (2μ) Gausovih vektora proizvoljne dužine, koji su nezavisni i imaju srednju vrednost nula i varijansu jednaku jedan. Oba Gausova vektora se pomnože konstantom koja je srazmerna sa odgovarajućom varijansom. Zatim, se svakom od ovih vektora doda konstanta koja je srazmerna srednjoj vrednosti u odgovarajućem klasteru. Ovako dobijeni vektori se dižu na kvadrat i saberu i od tako izračunatog vektora se izračuna kvadratni koren. Članovi dobijenog vektora su uzorci $(k - \mu)$ nasumičnog procesa. Zatim, se formira histogram slučajnog vektora i normalizovan histogram $(k - \mu)$ slučajnog vektora. Na ovaj način se dobija aproksimacija gustina verovatnoće. Određuju se momenti $(k - \mu)$ nasumičnog vektora i određuju se aproksimativno srednja vrednost osnih preseka $(k - \mu)$ nasumičnog procesa. Na sličan način se formira $(k - \mu)$ nasumični vektor, $(\alpha - k - \mu)$ nasumični vektor i $(\alpha - k - \mu - g)$ nasumični vektor.

$(\eta - \mu)$ raspodela opisuje anvelopu signala u fading kanalima kada su komponente u fazi i na kvadrat različite snage [24], [43], [75]. Kvadrat $(\eta - \mu)$ nasumične varijable se piše kao zbir (2μ) kvadrata Gausovih nasumičnih varijabli. Ove Gausove komponente međusobno su ne zavisne i

poseduju srednju vrednost 0. Varijansa prvih (μ) Gausovih nasumičnih varijabli je (σ_1^2), a varijansa drugih (μ) nasumičnih varijabli je (σ_2^2). Na osnovu ovoga, izračuna se: za ($\eta-\mu$) slučajne promenljive [57], [58]:

- gustina verovatnoće,
- kumulativna verovatnoća,
- karakteristična funkcija, i
- obični i centralni momenti.

Određen je prvi, drugi, treći moment i varijansa ($\eta-\mu$) slučajne promenljive. Zatim, se razmatraju dve ($\eta-\mu$) slučajne promenljive. Kvadrat svake od ovih slučajnih promenljivih, piše kao suma (2μ) kvadrata Rajsovih slučajnih promenljivih, koje su nezavisne, a srednje vrednosti su im nula, kao i varijansa prvih (μ) Gausovih nasumičnih varijabli je (σ_1^2), a drugih (μ) Gausovih nasumičnih varijabli je (σ_1^2).

Po osnovu navedenog, se izračunava za dve ($\eta-\mu$) slučajne varijable:

- združena gustina verovatnoće,
- združena kumulativna verovatnoća,
- združena karakteristična funkcija, i
- združeni produktni momenti.

Zatim, se izračunava prvi, drugi i treći moment dve ($\eta-\mu$) slučajne promenljive. Onda se mogu razmatrati tri ($\eta-\mu$) slučajne varijable. Kvadrat svake od ove tri ($\eta-\mu$) nasumične varijable, piše se kao zbir (2μ) kvadrata nezavisnih Gausovih nasumičnih varijabli, koje imaju srednje vrednosti nula, a varijansa prvih (μ) Gausovih nasumičnih varijabli je (σ_1^2), a drugih (μ) Gausovih nasumičnih varijabli je (σ_2^2).

Iz svega navedenog, može se izračunati za tri ($\eta-\mu$) slučajne varijable:

- združena gustina verovatnoće,
- združena kumulativna verovatnoća,
- združena karakteristična funkcija, i
- združeni produktni momenti.

Zatim, se izračuna prvi, drugi i treći produktni moment tri ($\eta-\mu$) slučajne promenljive. Pomoću zbira dve ($\eta-\mu$) slučajne varijable može se odrediti za dve ($\eta-\mu$) slučajne varijable:

- gustina verovatnoće,
- kumulativna verovatnoća,
- karakteristična funkcija, i
- momenti zbira.

Razmatra se proizvod dve ($\eta-\mu$) slučajne promenljive, a zatim se izračunaju [76]:

- gustine verovatnoće,
- kumulativne verovatnoće,
- karakteristične funkcije, i
- obični i centralni moment proizvoda dve $(\eta - \mu)$ korelisane nasumične varijable.

Nadalje se razmatra količnik dve $(\eta - \mu)$ slučajne varijable i izračuna se [77]:

- gustina verovatnoće,
- kumulativna verovatnoća,
- karakteristična funkcija, i
- produkti moment količnika dve $(\eta - \mu)$ nasumične varijable.

Onda, se razmatra maksimum dve $(\eta - \mu)$ slučajne promenljive i se izračuna:

- gustina verovatnoće,
- kumulativna verovatnoća,
- karakteristična funkcija, i
- obični i centralni momenti maksimuma dve $(\eta - \mu)$ slučajne promenljive.

Razmatra se minimum dve $(\eta - \mu)$ slučajne varijable i izračunju se:

- gustine verovatnoće,
- kumulativne verovatnoće,
- karakteristične funkcije, i
- obični i centralni moment minimuma dve $(\eta - \mu)$ nasumične varijable.

Kvadrat $(\eta - \mu)$ nasumične promenljive, piše se kao zbir (2μ) kvadrata nezavisnih Gausovih nasumičnih varijabli, srednje vrednosti su im nula, a varijansa prvih (μ) Gausovih nasumičnih varijabli je (σ_1^2) , a drugih (μ) Gausovih nasumičnih varijabli je (σ_2^2) [24], [44].

Zatim, se odredi prvi izvod za obe strane ove jednačine. I izvod od Gausove nasumične varijable je Gausova nasumična varijabla. Iz ovoga, se dobija prvi izvod $(\eta - \mu)$ slučajne varijable i to je linearna transformacija Gausovih slučajnih promenljivih. Onda, se izračuna združena gustina verovatnoće $(\eta - \mu)$ nasumične varijable i I izvoda $(\eta - \mu)$ nasumične varijable [22].

Takođe, razmatra se količnik produkta dve $(\eta - \mu)$ nasumične varijable i jedne $(\eta - \mu)$ nasumične varijable i izračuna se:

- gustina verovatnoće,
- kumulativna verovatnoća,
- karakteristična funkcija, i
- njihovi momenti.

Odredi se, količnik jedne $(\eta - \mu)$ nasumične varijable i produkt od dve $(\eta - \mu)$ nasumične varijable, da bi se izračunala:

- gustina verovatnoće,

- kumulativna verovatnoća,
- karakteristična funkcija, i
- obični i centralni momenti.

Zatim, se odredi zbir ($\eta-\mu$) nasumične varijable i proizvod dve ($\eta-\mu$) nasumične varijable i izračuna se:

- gustina verovatnoće,
- kumulativna verovatnoća,
- karakteristična funkcija, i
- obični i centralni momenti.

Razmatra se, količnik zbira dve ($\eta-\mu$) slučajne varijable i odredi se [21], [78]:

- gustina verovatnoće,
- kumulativna verovatnoća,
- karakteristična funkcija, i
- obični i centralni momenti.

Zatim se, odredi proizvod od zbira dve ($\eta-\mu$) slučajne varijable i izračuna se:

- gustina verovatnoće, kumulativna verovatnoća,
- karakteristična funkcija,
- obični i centralni momenti proizvoda.

Razmatra se, zbir tri ($\eta-\mu$) slučajne promenljive i odredi se:

- gustina verovatnoće,
- kumulativna verovatnoća,
- karakteristična funkcija,
- obični i produktni momenti.

Analizira se, maksimum tri ($\eta-\mu$) slučajne promenljive i odredi se:

- gustina verovatnoće,
- kumulativna verovatnoća,
- karakteristična funkcija,
- obični i centralni momenti.

Takođe, se analizira minimum tri ($\eta-\mu$) slučajne promenljive i odredi se:

- gustina verovatnoće,
- kumulativna verovatnoća,
- karakteristična funkcija,
- obični i centralni momenti.

Kod rešavanja problemima prostiranja signala u praksi, formira se ($\eta-\mu-g$) slučajna promenljiva. Ova slučajna promenljiva, dobija se na taj način, što je kod ($\eta-\mu$) slučajne promenljive srednja snaga promenljive i ima Gama raspodelu. Gustina verovatnoće ($\eta-\mu-g$)

slučajne promenljive se dobija tako što se $(\eta-\mu)$ raspodela usrednjava po slučajnoj amplitudi. Pomoću ove gustine verovatnoće dobija se za $(\eta-\mu-g)$ slučajnu promenljivu:

- kumulativna verovatnoća,
- karakteristična funkcija, i
- momenti.

Za slučajnu promenljivu $(\eta-\mu-g)$ računaju se:

- I momenti ili srednje vrednosti,
- II momenti ili srednje kvadratne vrednosti, i
- III momenti ili kubne srednje vrednosti slučajne promenljive.

Onda se, odredi za dve $(\eta-\mu-g)$ slučajne promenljive:

- združena gustina verovatnoće,
- združena kumulativna verovatnoća,
- združena karakteristična funkcija, i
- produktni moment.

Formira $(\alpha-\eta-\mu)$ slučajna promenljiva i $(\alpha-\eta-\mu)$ slučajni proces.

Uzorci $(\alpha-\eta-\mu)$ slučajnog procesa se dobija stepenovanjem uzoraka $(\eta-\mu)$ nasumičnog procesa. Transformacionom metodom, se za $(\alpha-\eta-\mu)$ slučajne promenljive odredi:

- gustina verovatnoće,
- kumulativna verovatnoća,
- karakteristična funkcija, i
- obični i centralni momenti.

Izračunavaju se onda:

- I momenti ili srednje vrednosti,
- II momenti ili srednje kvadratne vrednosti, i
- III momenti ili srednje kubne vrednosti.

Onda se razmatra $(\alpha-\eta-\mu-g)$ slučajna promenljiva. Transformacionom metodom, se za $(\alpha-\eta-\mu-g)$ nasumične varijable odredi:

- gustina verovatnoće,
- kumulativna verovatnoća,
- karakteristična funkcija, i
- obični i centralni moment.

Izračuna se za $(\alpha-\eta-\mu-g)$ slučajne promenljive:

- združena gustina verovatnoće, i
- prvi izvod.

Koristeći, združene gustine raspodele izračuna se srednji broj osnih preseka nasumičnog procesa.

$(\lambda-\mu)$ raspodela opisuje anvelopu signala u nelinearnim sredinama gde su komponente u fazi i na kvadrat uskopojasnog slučajnog procesa korelisane [52], [67], [79]. Kvadrat $(\eta-\mu)$ nasumične varijable jednak je sumi (2μ) kvadrata Gausovih nasumičnih varijabli. Gausove nasumične varijable su nezavisne i poseduju iste varijanse i srednja vrednost im je nula. Svake dve Gausove komponente u fazi i na kvadrat su korelisane. Na osnovu ovoga, odredi se za $(\lambda-\mu)$ slučajne promenljive [20], [62], [80]:

- gustina verovatnoće,
- karakteristična funkcija,
- kumulativna verovatnoća.

Onda se određuju:

- srednje vrednosti,
- srednje kvadratne vrednosti,
- srednje kubne vrednosti, i
- varijanse.

Takođe, analiziraju se dve $(\lambda-\mu)$ nasumične varijable.

Kvadrat svake od ove dve $(\lambda - \mu)$ nasumične varijable napiše se kao zbir (2μ) kvadrata Gausovih nasumičnih varijabli koje su nezavisne i srednje vrednosti su im nula. Na osnovu ovoga može da se izračuna za zbir dve $(\lambda-\mu)$ slučajne promenljive:

- združena gustina verovatnoće,
- združene kumulativne verovatnoće,
- združene karakteristične funkcije, i
- združeni produktni moment.

Pomoću zbira dve $(\lambda-\mu)$ nasumične promenljive izračuna se:

- gustina verovatnoće,
- kumulativna verovatnoća,
- karakteristična funkcija, i
- obični i centralni momenti.

Pomoću količnika dve $(\lambda-\mu)$ slučajne promenljive odredi se:

- gustina verovatnoće,
- kumulativna verovatnoća,
- karakteristična funkcija, i
- obični i centralni momenti..

Razmatra se proizvod dve $(\lambda-\mu)$ slučajne promenljive i odredi se:

- gustina verovatnoće,
- karakteristična funkcija,
- kumulativna verovatnoća, i
- moment proizvoda.

Izračuna se maksimum dve $(\lambda - \mu)$ slučajne promenljive i odrede se [81]:

- gustina verovatnoće,
- karakteristične funkcije,
- kumulativne verovatnoće, i
- obični i centralni moment maksimuma.

Pomoću minimuma dve $(\lambda - \mu)$ nasumične varijable odredi se:

- gustina verovatnoće,
- kumulativna verovatnoća,
- karakteristična funkcija, i
- obični i centralni momenti minimuma.

U praksi se javljaju slučajevi gde je potrebno formirati $(\lambda - \mu - g)$ slučajne varijable. Za ovu slučajnu promenljivu sračuna se gustina verovatnoće usrednjavanjem uslovne $(\lambda - \mu)$ gustine verovatnoće. Zatim se odredi za $(\lambda - \mu - g)$ slučajnu varijablu [38]:

- kumulativna verovatnoća,
- karakteristična funkcija, i
- obični i centralni momenti.

Zatim se, odredi združena gustina verovatnoće $(\lambda - \mu - g)$ slučajne varijable i njenog I izvoda i pomoću ove združene gustine raspodele odredi se srednja vrednost osnih preseka $(\lambda - \mu - g)$ slučajnog procesa. Onda se, formira $(\alpha - \lambda - \mu)$ slučajne varijable i $(\alpha - \lambda - \mu)$ slučajni proces. Uzorci $(\alpha - \lambda - \mu)$ slučajnog procesa se dobijaju stepenovanjem uzoraka $(\lambda - \mu)$ slučajnog procesa. Transformacionim metodom za $(\alpha - \lambda - \mu)$ slučajnog procesa, izračuna se:

- gustina verovatnoće,
- kumulativna verovatnoća,
- karakteristična funkcija, i
- obični i centralni moment.

Nakon toga, na osnovu prethodno izračunatih parametara od $(\alpha - \lambda - \mu)$ slučajne varijable se određuje:

- I moment,
- II i III moment.

Naredno je izračunavanje združene gustine verovatnoće $(\alpha - \lambda - \mu)$ varijable i I izvoda od $(\alpha - \lambda - \mu)$ nasumične varijable. Uz pomoć te združene gustine raspodele, izračunava se srednja

vrednosti osnih preseka $(\alpha-\lambda-\mu)$ nasumičnog procesa. Nakon toga, se razmatra $(\alpha-\lambda-\mu-g)$ varijabla i $(\alpha-\lambda-\mu-g)$ slučajni proces.

Odgovarajućim usrednjavanjem i transformacijom, izračuna gustina verovatnoće $(\alpha-\lambda-\mu-q)$ varijable. Takođe se od $(\alpha-\lambda-\mu-g)$ varijable, izračuna:

- kumulativna verovatnoća,
- karakteristična funkcija, i
- obični i centralni momenti.

Nakon toga se od $(\alpha-\lambda-\mu-g)$ varijable, izračunavaju:

- srednje vrednosti,
- srednje kvadratne vrednosti,
- srednje kubne vrednosti, i
- varijanse.

Razmatra se, $(k-\eta-\mu)$ varijable i od $(k-\eta-\mu)$ varijable određuju se:

- gustine verovatnoće,
- karakteristične funkcije,
- kumulativne verovatnoće, i
- obični i centralni moment.

Od $(k-\eta-\mu)$ varijable sada formiramo $(k-\eta-\mu-g)$ slučajne promenljive, $(\alpha-k-\eta-\mu)$ varijable i $(\alpha-\lambda-\mu-g)$ varijable. Zatim se, razmatraju $(k-\lambda-\mu)$ varijable i može se od $(k-\lambda-\mu)$ varijable odrediti:

- gustina verovatnoće,
- karakteristična funkcija,
- kumulativna verovatnoća, i
- obični i centralni momenti.

Nakon toga, formiraju se $(k-\lambda-\mu-g)$ varijable, $(\alpha-k-\lambda-\mu)$ varijable i $(\alpha-k-\lambda-\mu-g)$ varijable.

Zatim se, formira $(\lambda-\eta-\mu)$ slučajna promenljiva. Transformacionim metodom se od $(\lambda-\eta-\mu)$ slučajne promenljive se odredi:

- gustina verovatnoće,
- kumulativna verovatnoća,
- karakteristična funkcija, i
- obični i centralni momenti.

Zatim se, formira $(\lambda-\eta-\mu-g)$ slučajna promenljiva, $(\alpha-\lambda-\mu-q)$ slučajna promenljiva i $(\alpha-\lambda-\eta-\mu-g)$ slučajna promenljiva. Nakon toga, formira se $(k-\lambda-\eta-\mu)$ slučajna promenljiva. Zatim se od $(k-\lambda-\eta-\mu)$ slučajne promenljive, izračuna:

- gustina verovatnoće,
- karakteristična funkcija,

- kumulativna verovatnoća, i
- produktni i obični moment.

Potrebno je od $(k-\lambda-\eta-\mu)$ slučajne promenljive izračunavati:

- I momenti ili srednju vrednost,
- II momenti ili srednju kvadratnu vrednost, i
- III momenti ili srednju kubnu vrednost.

Moguće je iz $(k-\lambda-\eta-\mu)$ slučajne promenljive, odrediti:

- združene gustine verovatnoće,
- združene kumulativne verovatnoće,
- združene karakteristične funkcije, kao i
- združeni produktni momenti.

Zatim se, formira $(k-\lambda-\eta-\mu-g)$ slučajna promenljiva, $(\alpha-k-\lambda-\eta-\mu)$ slučajna promenljiva i $(\alpha-k-\lambda-\eta-\mu-g)$ slučajna promenljiva. $(\alpha-k-\lambda-\eta-\mu-g)$ slučajna promenljiva je generalna slučajna promenljiva. Ova slučajna promenljiva ima šest parametara.

3. $(k-\mu)$ SLUČAJNI PROCES

$(k-\mu)$ slučajna promenljiva poseduje 2 parametra. Parametar (k) se naziva Rajsov faktor koji se definiše kao količnik snage korisnog signala i snage signala rasipanja [14], [50]. Parametar (μ) određuje broj klastera u propagacionoj sredini. Parametar (k) je promenljiv Rajsov faktor i ima neku raspodelu. Razmatra se slučaj kada Rajsov faktor ima Relijevu raspodelu. U ovom slučaju, Rajsov faktor ima Relijevu:

- gustinu verovatnoće,
- kumulativnu gustinu verovatnoće,
- karakterističnu funkciju,
- prvi, drugi i treći moment.

Rajsov faktor ima Relijevu gustinu verovatnoće, a prvi izvod Rajsovog faktora ima Gausovu gustinu verovatnoće. Ovako se može odrediti združena gustina verovatnoće Rajsovog faktora i I izvoda Rajsovog faktora.

Pomoću združene gustine verovatnoće, odredi se srednji broj osnih preseka Rajsovog faktora, a onda se, odredi združena gustina verovatnoće Rajsovog faktora, prvog i trećeg izvoda Rajsovog faktora.

Nakon toga se odredi:

- združena gustina verovatnoće Rajsovog faktora u dva trenutka vremena,
- prvog izvoda Rajsovog faktora u dva trenutka vremena, i
- trećeg izvoda Rajsovog faktora.

Zatim se, za dva trenutka vremena odredi združena gustina verovatnoće Rajsovog faktora, prvog izvoda Rajsovog faktora u i drugog izvoda Rajsovog faktora.

Parametar (μ) , može takođe da bude promenljiv i razmatra se u jednom trenutku vremena. Parametar (μ) može da ima:

- Relijevu gustinu verovatnoće,
- Relijevu kumulativnu gustinu verovatnoće,
- Relijevu karakterističnu funkciju,
- Relijev prvi, drugi, treći, četvrti i peti moment.
- Združenu kumulativnu verovatnoću Rajsovog faktora,
- Združenu karakterističnu funkciju Rajsovog faktora,
- Združen prvi, drugi, i treći moment Rajsovog faktora.

Parametar (μ) može imati združenu Relijevu gustinu verovatnoće, a prvi izvod parametra (μ) ima Gausovu gustinu verovatnoće. Uz pomoć gustine verovatnoće, izračunava se srednja vrednost osnih preseka parametara.

Srednja vrednost osnih preseka parametara (μ) jednak je srednjoj vrednosti prvog izvoda slučajnog procesa .

Parametar (μ) se posmatra u dva trenutka vremena. Na osnovu navedenog odrede vrednosti parametra (μ) za posmatrane trenutke [23]:

- združena gustina verovatnoće,
- združena kumulativna gustina verovatnoće,
- združena karakteristična funkcija,
- združen prvi, drugi i treći moment.

Parametar (μ), se dalje posmatra u tri trenutka vremena, na osnovu kojih se odrede:

- združena gustina verovatnoće,
- združena kumulativna gustina verovatnoće,
- združena karakteristična funkcija,
- združen prvi, drugi i treći momenat.

Sada se posmatra parametar (Ω).

Gustina verovatnoće može da bude Relijeva, Rajsova, Gausova i Nakagami-m. Na osnovu čega se može odrediti [57]:

- kumulativna verovatnoća parametara (Ω) ,
- karakteristična funkcija parametara (Ω) ,
- prvi, drugi, treći, četvrti i peti moment parametara (Ω).

Združena gustina verovatnoće parametara (Ω) i I izvoda parametara (Ω), određuje se nakon određivanja prethodnih parametara (Ω). Uz pomoć združene gustine verovatnoće, se odredi srednja vrednost osnih preseka slučajnog procesa. Srednja vrednost osnih preseka parametara (Ω) jednak je srednjoj vrednosti od I prvog izvoda slučajnog procesa. Parametar (Ω) se posmatra u dva trenutka vremena.

Na osnovu vredosti parametra (Ω) u dva trenutka vremena odredi se:

- združena gustina,
- združena kumulativna gustina verovatnoće,
- združena karakteristična funkcija,
- združen prvi, drugi i treći moment.

Sledeći korak je određivanje za dve vrednosti parametra (Ω), u dva trenutka vremena:

- združene gustine verovatnoće, i
- prvog izvoda.

Razmatramo slučaj kada su parametri (k) i (μ) promenljivi, odnosno slučaj kada Rajsov faktor ima Relijevu gustinu verovatnoće i parametar (μ) ima Relijevu gustinu verovatnoće. Metodom usrednjavanja, kada su parametri (k) i (μ) slučajne promenljive i imaju Relijevu gustinu verovatnoće odredi se [82]:

- gustina verovatnoće,
- kumulativna gustina verovatnoće,
- karakteristična funkcija,
- prvi moment, drugi i treći moment.

Parametar (k) može da se razmatra u dva trenutka vremena [83].

Analizira se, slučaj kada je združena gustina verovatnoće za dve ($k - \mu$) slučajne promenljive Relijeva za koje se odredi:

- združena gustina verovatnoće,
- združena kumulativna gustina verovatnoće,
- združena karakteristična funkcija,
- združen prvi, drugi i treći moment.

Razmatramo slučaj kada su parametri (k) i (Ω) slučajne promenljive i za ovaj slučaj se određuje [84]:

- gustina verovatnoće ($k - \mu$) nasumične varijable kada su ($k - \Omega$) Relijeve nasumične varijable,
- kumulativna verovatnoća ($k - \mu$) nasumične varijable kada su ($k - \Omega$) slučajne Relijeve promenljive,
- karakteristična funkcija ($k - \mu$) slučajne promenljive kada ($k - \Omega$) imaju Relijevu raspodelu,
- prvi, drugi i treći moment ($k - \mu$) slučajne promenljive kada ($k - \Omega$) imaju Relijeve gustinu verovatnoće.

Analiziramo i slučaj kada su parametri (Ω) i (μ) slučajne promenljive i za ovaj slučaj određuje se [85]:

- gustina verovatnoće ($k - \mu$) nasumične varijable kada su (Ω) i (μ) promenljivi i imaju Relijevu gustinu verovatnoće,

- kumulativnu verovatnoću $(k-\mu)$ slučajne promenljive kada su (Ω) i (μ) slučajne promenljive,
- karakterističnu funkciju $(k-\mu)$ slučajne promenljive kada su (Ω) i (μ) slučajne promenljive,
- prvi i drugi moment slučajne promenljive kada (Ω) i (μ) su slučajne promenljive i imaju Relijevu gustinu verovatnoće i treći moment slučajne promenljive kada su (Ω) i (μ) slučajne promenljive.

Slučaj kada su parametri (k) , (Ω) i (μ) slučajne promenljive $(k-\mu)$ i imaju Relijevu gustinu verovatnoće, razmatramo i za navedene parametre se izračuna:

- gustina verovatnoće,
- kumulativnu verovatnoću,
- karakterističnu funkciju,
- prvi, drugi i treći moment;

$(k-\mu)$ raspodela ima oblik:

$$p_r(r) = \frac{2\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{k\mu} n^{\frac{\mu+1}{2}}} \sum_{j=0}^{\infty} \left(\mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{n}} \right)^{2j+\mu-1} \frac{1}{j! \Gamma(j+\mu)} r^{2j+2\mu-1} e^{-\frac{\mu(k+1)r^2}{n}}, \quad r \geq 0 \quad (3.1)$$

gde je k je slučajna promenljiva i ima jednostranu Gausovu raspodelu:

$$p_k(k) = a e^{-\alpha k^2}, \quad k \geq 0 \quad (3.2)$$

Usrednjavanjem se dobija:

$$\begin{aligned} p_r(r) &= \int_0^{\infty} d_k p_k(k) p_r(r/k) = \\ &= \int_0^{\infty} d_k \frac{2\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{k\mu} n^{\frac{\mu+1}{2}}} \sum_{j=0}^{\infty} \left(\mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{n}} \right)^{2j+\mu-1} \frac{1}{j! \Gamma(j+\mu)} r^{2j+2\mu-1} e^{-\frac{\mu(k+1)r^2}{n}} a e^{-\alpha k^2} = \\ &= \frac{2\mu\alpha}{n^{\frac{\mu+1}{2}}} \sum_{j=0}^{\infty} \left(\frac{\mu}{\sqrt{n}} \right)^{2j+\mu-1} \frac{1}{j! \Gamma(j+\mu)} r^{2j+2\mu-1} \int_0^{\infty} d_k \frac{(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{k\mu}} e^{-\frac{\mu(k+1)r^2}{n}} e^{-\alpha k^2} \end{aligned} \quad (3.3)$$

Na slici 3.1 prikazana je kumulativna verovatnoća signala $(k-\mu)$ nasumične varijable i ona je izračunata pomoću gustine verovatnoće $(k-\mu)$ slučajne promenljive.

Kvadrat nasumične varijable jednak je zbiru (2μ) kvadrata Gausovih nasumičnih varijabli. Ove Gausove nasumične varijable imaju istu varijansu i međusobno su nezavisne.

Gausove komponente imaju srednje vrednosti različite od nule. Neke srednje vrednosti mogu da budu jednake nuli, ali treba bar jedna srednja vrednost da bude različita od nule.

Na slici 3.1 prikazane su četiri krive za koje je Rajsov faktor $k=2$, a parametar (μ) uzima vrednost od $\mu=1, \mu=2, \mu=3$ i $\mu=4$.

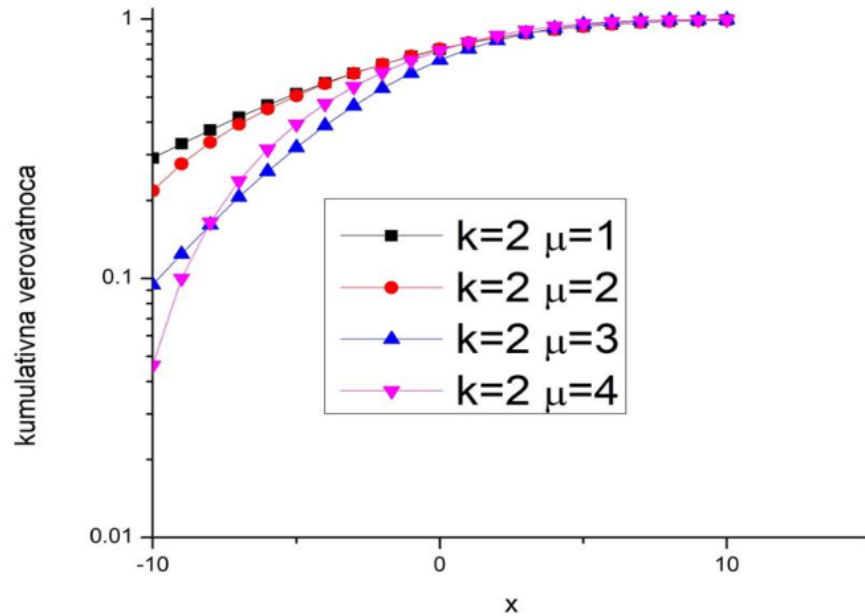
Kumulativna verovatnoća raste kako raste anvelopa signala i za veće vrednosti anvelope signala kumulativna verovatnoća signala se približava jedinici.

Uslovna gustina verovatnoće k - μ anvelope je:

$$p_r\left(\frac{r}{k}\right) = \frac{2\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{k\mu\Omega^{\frac{\mu+1}{2}}}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{\Omega}} \right)^{2i_1+\mu-1} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+\mu)} r^{2i_1+2\mu-1} e^{-\frac{\mu(k+1)}{\Omega} r^2}, \quad r \geq 0 \quad (3.4)$$

Rajsov faktor (k) ima raspodelu:

$$p_k(k) = \alpha k^2 e^{-\alpha k}, \quad k \geq 0 \quad (3.5)$$



Slika 3.1. Kumulativna verovatnoća signala (k - μ) nasumične varijable

Usrednjavanjem se dobija:

$$p_r(r) = \int_0^{\infty} d_k p_r(r/k) p_k(k) =$$

$$\begin{aligned}
& \frac{2\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{k\mu} \Omega^{\frac{\mu+1}{2}}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{\Omega}} \right)^{2i_1+\mu-1} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+\mu)} r^{2i_1+2\mu-1} e^{-\frac{\mu(k+1)}{\Omega} r^2} a k^2 e^{-\alpha k} \\
&= \frac{2\mu}{\Omega^{\frac{\mu+1}{2}}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\mu \frac{1}{\sqrt{\Omega}} \right)^{2i_1+\mu-1} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+\mu)} r^{2i_1+2\mu-1} \int_0^{\infty} d_k \frac{(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}} k^2}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{k\mu}} e^{-\frac{\mu(k+1)}{\Omega} r^2} e^{-\alpha k}
\end{aligned} \quad (3.6)$$

Na slici 3.2 prikazana je kumulativna verovatnoća u zavisnosti od anvelope signala. Krive su date za razne vrednosti parametra (k) i parametra (μ).

Za sve vrednosti parametra (k) i parametra (μ) prikazane su po dve krive.

Jedna od ove dve krive je dobijena egzaktno, odnosno integrali su tačno izračunati, a druga kriva je dobijena aproksimativno pomoću redova. Sve krive teže ka jedinici.

Parametar (k) uzima vrednost tri i četiri, a parametar (μ) uzima vrednost od jedan do četiri. Uticaj anvelope signala na kumulativnu verovatnoću signala je veći za manje vrednosti anvelope signala [73], [86].

Uticaj parametara (k) na kumulativnu verovatnoću je veći za male vrednosti parametara (μ). Kako raste anvelope signala, opada uticaj parametara (k) na kumulativnu verovatnoću [87], [88].

Uslovna gustina anvelope k - μ fedinga je [33]:

$$p_r(r/k) = \frac{2\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{k\mu} \Omega^{\frac{\mu+1}{2}}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{\Omega}} \right)^{2i_1+\mu-1} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+\mu)} r^{2i_1+2\mu-1} e^{-\frac{\mu(k+1)}{\Omega} r^2}, \quad r \geq 0 \quad (3.7)$$

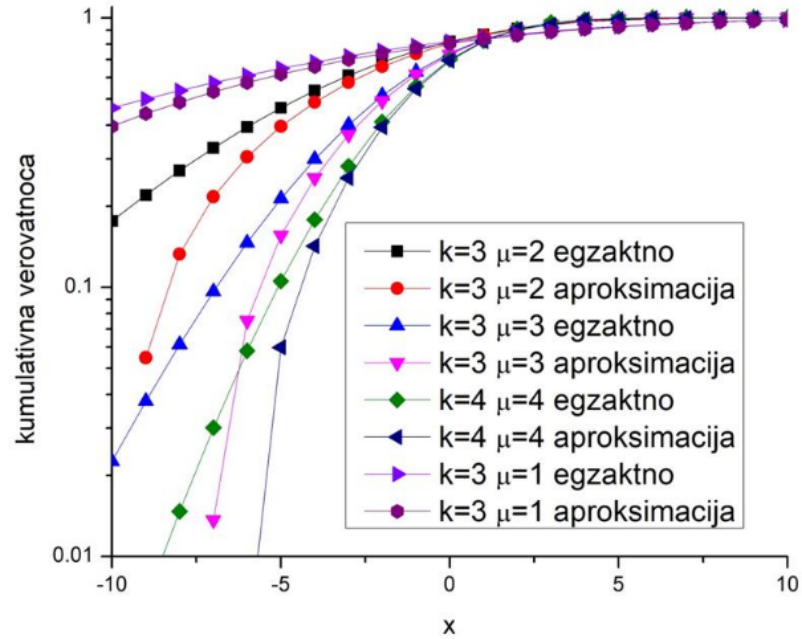
Rajsov faktor k ima raspodelu:

$$p_k(k) = a e^{-\alpha k}, \quad k \geq 0 \quad (3.8)$$

Usrednjavanjem se dobija [89]:

$$\begin{aligned}
p_r(r) &= \int_0^{\infty} d_k p_r\left(\frac{r}{k}\right) p_k(k) \\
&= \int_0^{\infty} d_k \frac{2\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{k\mu} \Omega^{\frac{\mu+1}{2}}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{\Omega}} \right)^{2i_1+\mu-1} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+\mu)} r^{2i_1+2\mu-1} e^{-\frac{\mu(k+1)}{\Omega} r^2} a e^{-\alpha k} \\
&= a \frac{2\mu}{\Omega^{\frac{\mu+1}{2}}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\mu \frac{1}{\sqrt{\Omega}} \right)^{2i_1+\mu-1} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+\mu)} r^{2i_1+2\mu-1}
\end{aligned}$$

$$\int_0^\infty d_k \frac{(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} \Omega^{\frac{\mu+1}{2}}} \left(\sqrt{k(k+1)} \right)^{2i_1+\mu-1} e^{-\frac{\mu(k+1)}{\Omega} r^2 - \alpha k} \quad (3.9)$$



Slika 3.2. Kumulativna verovatnoća u zavisnosti od anvelope signala x

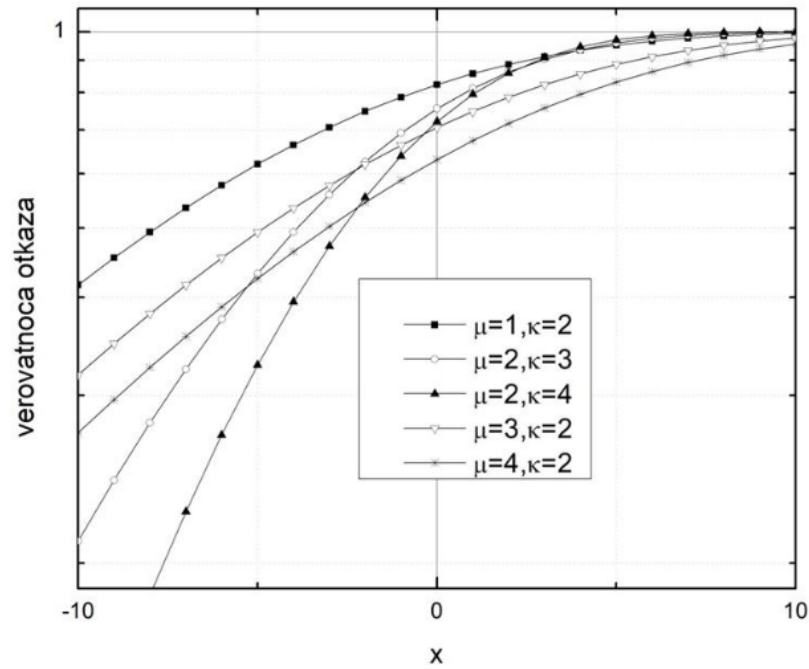
Na slici 3.3 prikazana je verovatnoća otkaza bežičnog digitalnog telekomunikacionog sistema.

Verovatnoća otkaza je aproksimacija kumulativne verovatnoće i ona raste kako raste anvelopa signala. Verovatnoća otkaza se približava jedinici za veće vrednosti anvelope signala.

Uticaj parametara (k) na verovatnoću otkaza je veći za manje vrednosti parametara (μ). Uticaj parametara (k) na vrednost verovatnoće otkaza je veći za manje vrednosti parametara (μ).

Parametar (μ) je promenljiv i ima Relijevu raspodelu:

$$p_r(r/\mu) = \frac{2\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{k\mu} \Omega^{\frac{\mu+1}{2}}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{\Omega}} \right)^{2i_1+\mu-1} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+\mu)} r^{2i_1+2\mu-1} e^{-\frac{\mu(k+1)}{\Omega} r^2}, r \geq 0 \quad (3.10)$$



Slika 3.3. Verovatnoća otkaza bežičnog digitalnog telekomunikacionog sistema

Usrednjavanjem se dobija:

$$\begin{aligned}
 & p_r(r) \\
 &= \int_0^\infty d_\mu p_r\left(\frac{r}{\mu}\right) p_\mu(\mu) \int_0^\infty d_\mu \frac{2\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{k\mu\Omega^{\frac{\mu+1}{2}}}} \sum_{i_1=0}^\infty \left(\mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{\Omega}} \right)^{2i_1+\mu-1} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+\mu)} \\
 & r^{2i_1+2\mu-1} e^{-\frac{\mu(k+1)}{\Omega} r^2} \frac{2\mu}{\Omega_1} e^{\frac{-\mu}{\Omega_1}} = \\
 & 2\mu \frac{2}{\Omega^{\frac{\mu+1}{2}}} \sum_{i_1=0}^\infty \left(\sqrt{\frac{k(k+1)}{\Omega}} \right)^{2i_1-1} \frac{1}{i_1!} r^{2i_1-1} \int_0^\infty d_\mu \frac{2\mu}{\Omega_1} e^{\frac{-\mu^2}{\Omega_1}} \frac{2\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{k\mu\Omega^{\frac{\mu+1}{2}}}} \mu^{2i_1+\mu-1} = \\
 & \left(\sqrt{\frac{k(k+1)}{\Omega}} \right)^\mu r^{2\mu} e^{-\frac{\mu(k+1)}{\Omega} r^2}
 \end{aligned} \tag{3.11}$$

Na slici 3.4 prikazana je kumulativna verovatnoća($k - \mu$) slučajnog procesa u zavisnosti od anvelope signala[90]. Prikazane su pet krive. Za svih pet krivih Rajsov faktor k uzima vrednosti 5. Parametar (μ) uzima vrednosti $\mu = 2, \mu = 3, \mu = 4, \mu = 5$ i $\mu = 8$.

Kumulativna verovatnoća raste kako raste anvelopa signala [91].

Prvi izvod funkcije opada kako raste anvelopa signala, što znači da je kumulativna verovatnoća najveća za male vrednosti anvelope signala.

Razmatra se slučaj kada parametar (μ) ima jednostranu Gausovu raspodelu:

$$p_{\mu}(\mu) = ae^{-\alpha\mu^2}, \quad \mu \geq 0 \quad (3.12)$$

Uslovna gustina verovatnoće od r je:

$$p_r(r/\mu) = \frac{2\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{k\mu} \Omega^{\frac{\mu+1}{2}}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{\Omega}} \right)^{2i_1+\mu-1} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+\mu)} r^{2i_1+2\mu-1} e^{-\frac{\mu(k+1)}{\Omega} r^2}, \quad r \geq 0 \quad (3.13)$$

Usrednjavanjem se dobija:

$$\begin{aligned} p_r(r) &= \int_0^{\infty} d_{\mu} p_{\mu}(r) p_r\left(\frac{r}{\mu}\right) = \\ &= \int_0^{\infty} d_{\mu} a e^{-\alpha\mu^2} \frac{2\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{k\mu} \Omega^{\frac{\mu+1}{2}}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{\Omega}} \right)^{2i_1+\mu-1} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+\mu)} r^{2i_1+2\mu-1} e^{-\frac{\mu(k+1)}{\Omega} r^2} = \\ &= 2a \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\sqrt{\frac{k(k+1)}{\Omega}} \right)^{2i_1-1} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+\mu)} r^{2i_1-1} \int_0^{\infty} d_{\mu} e^{-\alpha\mu^2} \frac{\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{k\mu} \Omega^{\frac{\mu+1}{2}}} \mu^{2i_1+\mu-1} \\ &\quad \left(\sqrt{\frac{k(k+1)}{\Omega}} \right)^{\mu} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+\mu)} r^{2\mu} e^{-\frac{\mu(k+1)}{\Omega} r^2} \end{aligned} \quad (3.14)$$

Na slici 3.5 prikazana je kumulativna verovatnoća($k - \mu$) slučajnog procesa u zavisnosti od anvelope signala koja je pod uticajem prostiranja signala po više puteva.

Pomoću ove kumulativne verovatnoće, izračuna se za ($k-\mu$) slučajni proces:

- karakteristična funkcija,
- prvi, drugi i treći moment.

Parametar (μ) može da ima raspodele:

$$p_{\mu}(\mu) = \alpha e^{-\alpha\mu^2}, \mu \geq 0 \quad (3.15)$$

$$p_{\mu}(\mu) = \alpha\mu e^{-\alpha\mu^2}, \mu \geq 0 \quad (3.16)$$

$$p_{\mu}(\mu) = \alpha\mu^2 e^{-\alpha\mu^2}, \mu \geq 0 \quad (3.17)$$

$$p_{\mu}(\mu) = \alpha\mu^3 e^{-\alpha\mu^2}, \mu \geq 0 \quad (3.18)$$

$$p_{\mu}(\mu) = \alpha\mu^4 e^{-\alpha\mu^2}, \mu \geq 0 \quad (3.19)$$

$$p_{\mu}(\mu) = \alpha\mu^5 e^{-\alpha\mu^2}, \mu \geq 0 \quad (3.20)$$

$$p_{\mu}(\mu) = \alpha e^{-\alpha\mu}, \mu \geq 0 \quad (3.21)$$

$$p_{\mu}(\mu) = \alpha\mu e^{-\alpha\mu}, \mu \geq 0 \quad (3.22)$$

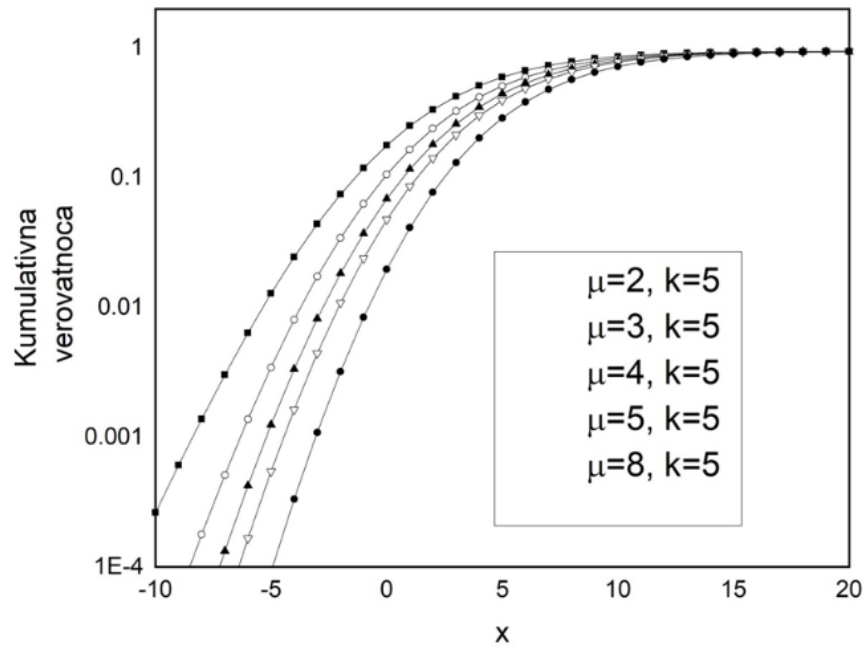
$$p_{\mu}(\mu) = \alpha\mu^2 e^{-\alpha\mu}, \mu \geq 0 \quad (3.23)$$

$$p_{\mu}(\mu) = \alpha\mu^3 e^{-\alpha\mu}, \mu \geq 0 \quad (3.24)$$

$$p_{\mu}(\mu) = \alpha\mu^4 e^{-\alpha\mu}, \mu \geq 0 \quad (3.25)$$

$$p_{\mu}(\mu) = \alpha\mu^5 e^{-\alpha\mu}, \mu \geq 0 \quad (3.26)$$

$$p_{\mu}(\mu) = \alpha\mu^6 e^{-\alpha\mu}, \mu \geq 0 \quad (3.27)$$



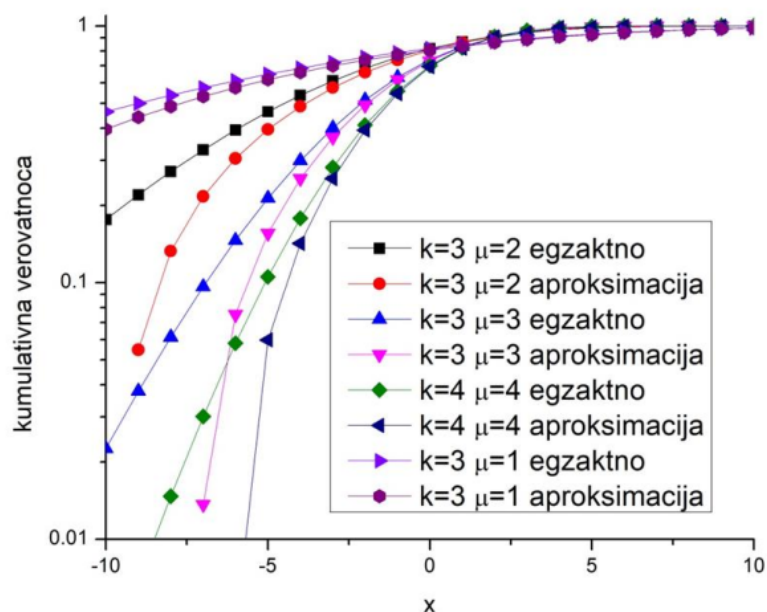
Slika 3.4. Kumulativna verovatnoća (k-μ) slučajnog procesa u zavisnosti od anvelope signala

Raspodela anvelope kod (k-μ) fedinga je:

$$p_x(x/\Omega) = \frac{2\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{k\mu\Omega^{\frac{\mu+1}{2}}}} \sum_{j=0}^{\infty} \left(\mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{n}} \right)^{2j+\mu-1} \frac{1}{j!\Gamma(j+\mu)} x^{2j+2\mu-1} e^{-\frac{\mu(k+1)}{n} x^2}, x \geq 0 \quad (3.28)$$

Usrednjavanjem se dobija:

$$\begin{aligned} p_x(x) &= \int_0^{\infty} d\Omega p_x\left(\frac{x}{\Omega}\right) p_{\Omega}(\Omega) = \\ &= \int_0^{\infty} d\Omega \frac{2\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{k\mu\Omega^{\frac{\mu+1}{2}}}} \sum_{j=0}^{\infty} \left(\mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{n}} \right)^{2j+\mu-1} \frac{1}{j!\Gamma(j+\mu)} x^{2j+2\mu-1} e^{-\frac{\mu(k+1)}{n} x^2} a_1 \Omega^{\alpha-1} e^{-\alpha_2 \Omega^{\alpha}} = \\ &= \frac{2\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{k\mu}} \sum_{j=0}^{\infty} \left(\mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{n}} \right)^{2j+\mu-1} \frac{1}{j!\Gamma(j+\mu)} x^{2j+2\mu-1} \\ &= \int_0^{\infty} d\Omega \frac{1}{n^{\frac{\mu+1}{2}}} \frac{1}{n^{1+\frac{\mu-1}{2}}} \Omega^{\alpha-1} e^{-\frac{\mu(k+1)}{n} x^2} e^{-\alpha_2 \Omega^{\alpha}} \end{aligned} \quad (3.30)$$



Slika 3.5. Kumulativna verovatnoća (k-μ) slučajnog procesa

Na slici 3.6 prikazana je verovatnoća otkaza bežičnog digitalnog telekomunikacionog sistema u prisustvu (k-μ) fedinga. Kao i u prethodnom slučaju, krive verovatnoće otkaza rastu i teže ka jedinici. Prikazane su krive za je $\mu = 1, k = 2$; $\mu = 2, k = 3$; $\mu = 2, k = 4$; $\mu = 3, k = 2$ i $\mu = 4, k = 2$.

Za neke vrednosti, krive pokazuju anomalije, odnosno menjaju se uticajem parametra (k) i (μ), tako da se krive seku. Parametar (k) je odnos snage korisnog signala i snage fedinga [54], [58].

Anvelopa (k-μ) fedinga ima raspodelu:

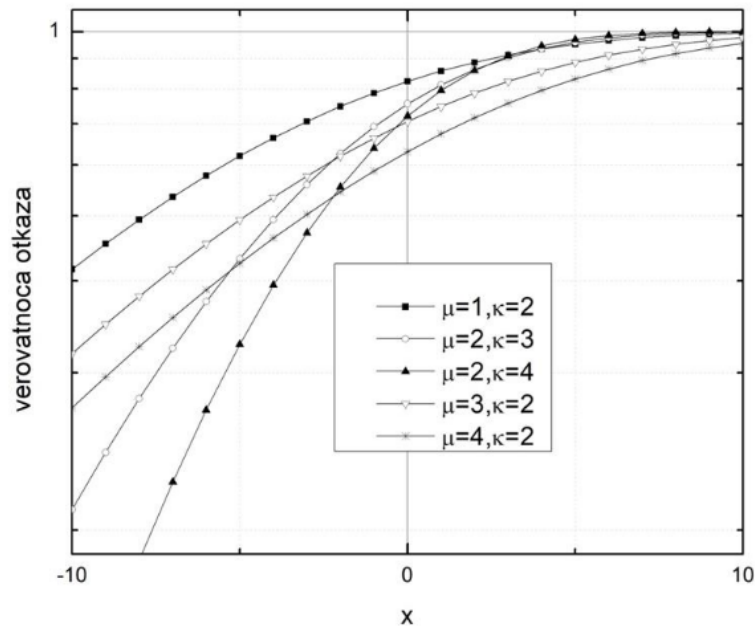
$$p_x\left(\frac{x}{\Omega}\right) = \frac{2\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{k\mu} \Omega^{\frac{\mu+1}{2}}} \sum_{j=0}^{\infty} \left(\mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{\Omega}} \right)^{2j+\mu-1} \frac{1}{j! \Gamma(j+\mu)} x^{2j+2\mu-1} e^{-\frac{\mu(k+1)}{\Omega} x^2}, x \geq 0 \quad (3.31)$$

Srednja snaga (Ω) ima jednostranu Gausovu raspodelu:

$$p_{\Omega}(\Omega) = a_1 e^{-b_1 \Omega^2}, \quad \Omega \geq 0 \quad (3.32)$$

Usrednjavanjem se dobija:

$$p_x(x) = \int_0^\infty d\Omega p_x(x/\Omega) p_\Omega(\Omega) = \int_0^\infty d\Omega \frac{2\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{k\mu\Omega^{\frac{\mu+1}{2}}}} \sum_{j=0}^\infty \left(\mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{\Omega}} \right)^{2j+\mu-1} \frac{1}{j! \Gamma(j+\mu)} x^{2j+2\mu-1} a_1 e^{-b_1 \Omega^2} \quad (3.33)$$



Slika 3.6. Verovatnoća otkaza bežičnog digitalnog telekomunikacionog sistema u prisustvu $(k-\mu)$ fedinga

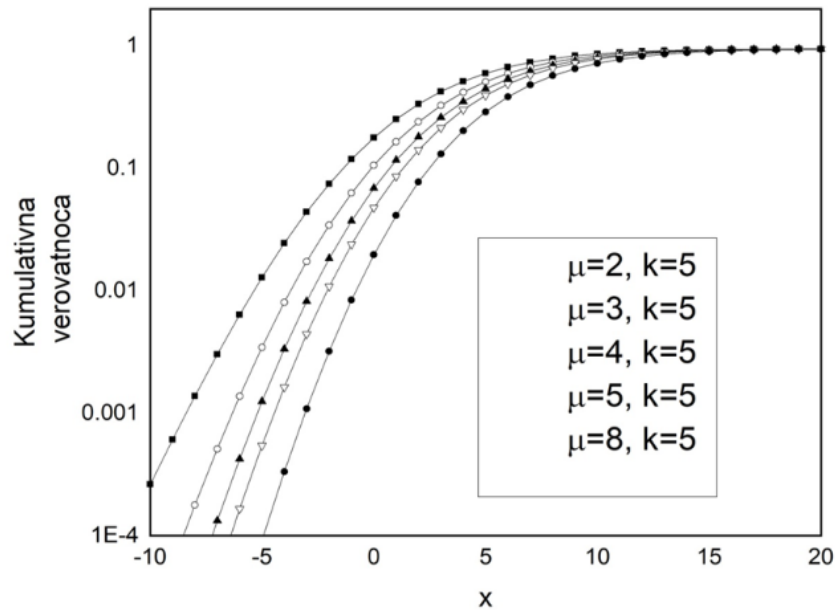
Na slici 3.7 prikazana je kumulativna verovatnoća $(k-\mu)$ nasumične varijable u zavisnosti od anvelope signala koji se pojavljuje na ulazima u SC kombiner u prisustvu prostiranja signala po više puteva koji nastaju u propagacionoj okolini sa više klastera. Prikazane su pet krivih za koje je $\mu=2, \kappa=5$; $\mu=3, \kappa=5$; $\mu=4, \kappa=5$ i $\mu=8, \kappa=5$. Za ove krive srednja snaga signala $\Omega=4$. Sve ove krive su rastuće funkcije. Za velike vrednosti anvelope signala ove krive teže jedinici.

Srednja snaga Ω ima raspodelu:

$$p_\Omega(\Omega) = a_1 \Omega e^{-a\Omega}, \quad \Omega \geq 0 \quad (3.34)$$

Usrednjavanjem se dobija:

$$p_x(x) = \int_0^\infty d\Omega p_x(x/\Omega) p_\Omega(\Omega) = \int_0^\infty d\Omega \frac{2\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{k\mu\Omega^{\frac{\mu+1}{2}}}} \sum_{j=0}^\infty \left(\mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{\Omega}} \right)^{2j+\mu-1} \frac{1}{j! \Gamma(j+\mu)} x^{2j+\mu-1} e^{-\frac{\mu(k+1)}{\Omega} x^2} a_1 \Omega e^{-a\Omega} \quad (3.35)$$



Slika 3.7. Kumulativna verovatnoća (k-μ) slučajne promenljive

Na slici 3.8 prikazana je kumulativna verovatnoća bežičnog digitalnog telekomunikacionog sistema u zavisnosti od (k-μ) anvelope signala. Prikazane su osam krivih za koje parametri i uzimaju razne vrednosti.

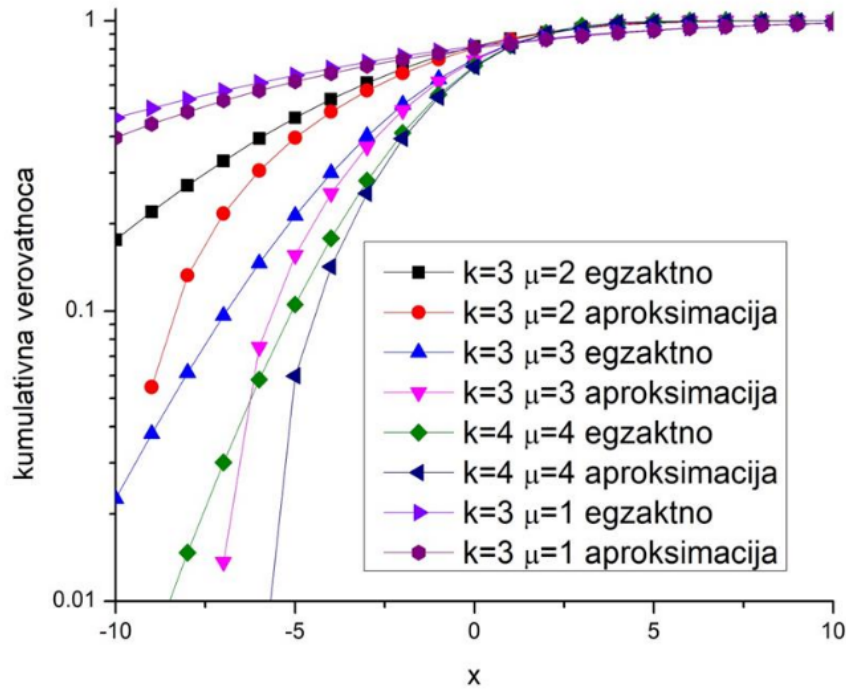
Prikazane su egzaktno dobijene krive i aproksimativno dobijene krive, koje su dobijene rešavanjem integrala pomoću Beselovih funkcija. Aproksimativno dobijene krive su izračunate pomoću slučajnih vektora.

Parametri Ω i μ su promenljivi:

$$p_\Omega(\Omega) = a_1 \Omega e^{-a_1 \Omega}, \Omega \geq 0 \quad (3.36)$$

$$p_\mu(\mu) = a_2 \mu e^{-a_2 \mu}, \mu \geq 0 \quad (3.37)$$

$$p_x(x/\Omega, \mu) = \frac{2\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{k\mu\Omega^{\frac{\mu+1}{2}}}} \sum_{j=0}^{\infty} \left(\mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{\Omega}} \right)^{2j+\mu-1} \frac{1}{j! \Gamma(j+\mu)} x^{2j+\mu-1} e^{-\frac{\mu(k+1)}{\Omega} x^2} \quad (3.38)$$



Slika 3.8. Kumulativna verovatnoća bežičnog digitalnog telekomunikacionog sistema

Usrednjavanjem se dobija:

$$p_x(x) = \int_0^{\infty} d\Omega \int_0^{\infty} d\mu p_x\left(\frac{x}{\Omega}, \mu\right) p_{\Omega}(\Omega) p_{\mu}(\mu) = \int_0^{\infty} d\Omega \int_0^{\infty} d\mu \frac{\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{k\mu\Omega^{\frac{\mu+1}{2}}}} \sum_{j=0}^{\infty} \left(\mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{\Omega}} \right)^{2j+\mu-1} \frac{1}{j! \Gamma(j+\mu)} x^{2j+\mu-1} e^{-\frac{\mu(k+1)}{\Omega} x^2} a_1 \Omega e^{-\alpha_1 \Omega} a_2 \Omega e^{-\alpha_2 \Omega} \quad (3.39)$$

Na slici 3.9 prikazana je kumulativna verovatnoća signala u zavisnosti od anvelope signala kada je snaga signala $\Omega=6$. Prikazane su pet krivih za koje je $\mu=2, k=5$; $\mu=3, k=5$; $\mu=4, k=5$; $\mu=5, k=5$ i $\mu=8, k=5$. Kumulativna verovatnoća raste kako raste anelopa signala.

Uticaj anvelope signala na kumulativnu verovatnoću je veći za manje vrednosti anvelope signala. Kumulativna verovatnoća raste kako raste anvelopa signala. Kumulativna verovatnoća teži ka jedinici [92].

Parametri Ω , μ i k su promenljivi i imaju raspodele:

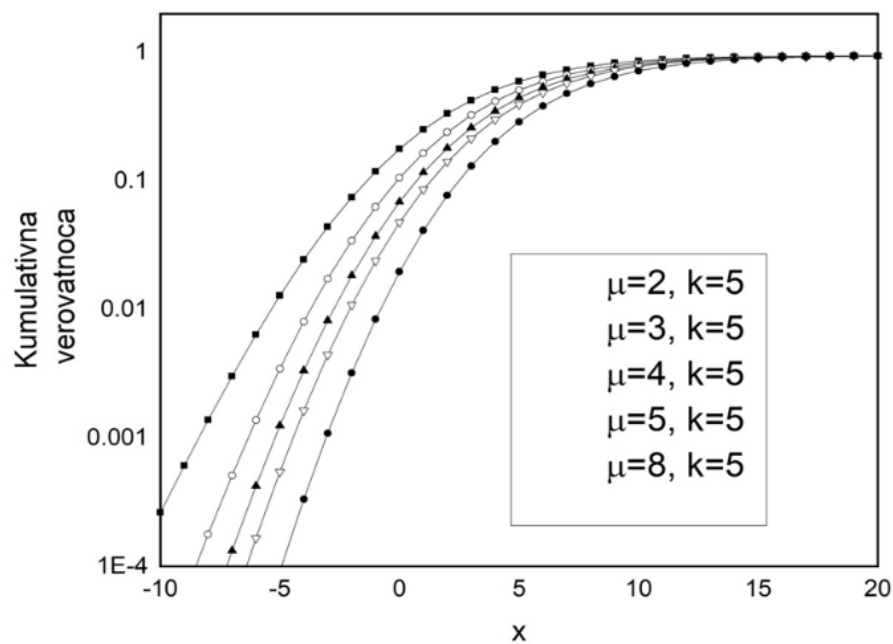
$$p_{\Omega}(\Omega) = \alpha_1 \Omega e^{-\alpha_1 \Omega}, \quad \Omega \geq 0 \quad (3.40)$$

$$p_{\mu}(\mu) = \alpha_2 \mu e^{-\alpha_2 \mu}, \quad \mu \geq 0 \quad (3.41)$$

$$p_k(k) = \alpha_3 k e^{-\alpha_3 k}, \quad k \geq 0 \quad (3.42)$$

Uslovna gustina verovatnoće od x je:

$$p_x\left(\frac{x}{\Omega}, \mu, k\right) = \frac{\frac{\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{k\mu} \Omega^{\frac{\mu+1}{2}}}}{\sum_{j=0}^{\infty} \left(\mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{\Omega}} \right)^{2j+\mu-1} \frac{1}{j! \Gamma(j+\mu)} x^{2j+\mu-1} e^{-\frac{\mu(k+1)}{\Omega} x^2}} \quad (3.43)$$



Slika 3.9. Kumulativna verovatnoća signala u zavisnosti od anvelope signala

Usrednjavanjem se dobija:

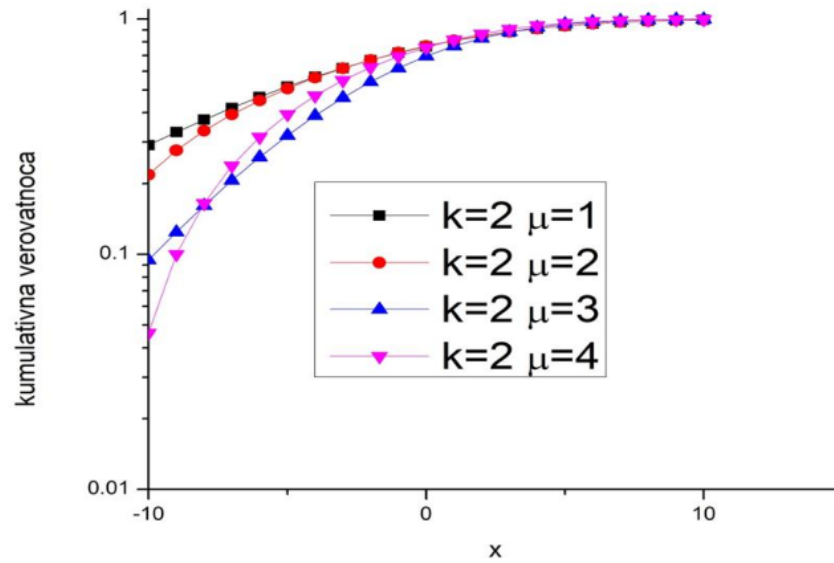
$$p_x(x) = \int_0^\infty d\Omega \int_0^\infty d\mu \int_0^\infty dk p_x\left(\frac{x}{\Omega}, \mu, k\right) p_\Omega(\Omega) p_\mu(\mu) p_k(k) =$$

$$\int_0^\infty d\Omega \int_0^\infty d\mu \int_0^\infty dk \frac{2\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{k\mu} \Omega^{\frac{\mu+1}{2}}} \sum_{j=0}^{\infty} \left(\mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{\Omega}} \right)^{2j+\mu-1} \frac{1}{j! \Gamma(j+\mu)} x^{2j+2\mu-1} e^{-\frac{\mu(k+1)}{\Omega} x^2}$$

$$a_1 \Omega e^{-\alpha_1 \Omega} a_2 \Omega e^{-\alpha_2 \Omega} a_3 k e^{-\alpha_3 k} \quad (3.44)$$

Na slici 3.10 prikazana je kumulativna verovatnoća signala Ω zavisnosti od anvelope signala x . Za ove krive je $\Omega = 1$. Prikazane su četiri krive za koje je $\mu = 1, k = 2$; $\mu = 2, k = 2$; $\mu = 3, k = 3$; $\mu = 4, k = 2$ [72], [93].

Kumulativna verovatnoća je rastuća funkcija i teži ka jedinici. Kumulativna verovatnoća je dobijena pomoću gustine verovatnoće k - μ slučajne promenljive odgovarajućom numeričkom integracijom. Korišćene su Gaus-lognormalne funkcije. U ovom slučaju greška integracije je mala.



Slika 3.10. Kumulativna verovatnoća signala dobijena pomoću gustine verovatnoće k - μ slučajne promenljive

Parametri Ω i k imaju raspodele:

$$p_{\Omega}(\Omega) = a_1 \Omega e^{-\alpha_1 \Omega^2}, \Omega \geq 0 \quad (3.45)$$

$$p_k(k) = a_2 k e^{-\alpha_2 k^2}, k \geq 0 \quad (3.46)$$

Uslovna gustina verovatnoće od x je:

$$p_x(x/k, \Omega) = \frac{2\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{k\mu\Omega^{\frac{\mu+1}{2}}}} \sum_{j=0}^{\infty} \left(\mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{\Omega}} \right)^{2j+\mu-1} \frac{1}{j!\Gamma(j+\mu)} x^{2j+2\mu-1} e^{-\frac{\mu(k+1)}{\Omega} x^2} \quad (3.47)$$

Usrednjavanjem se dobija:

$$p_x(x) = \int_0^{\infty} d_{\Omega} \int_0^{\infty} d_k \frac{2\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{k\mu\Omega^{\frac{\mu+1}{2}}}} \sum_{j=0}^{\infty} \left(\mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{\Omega}} \right)^{2j+\mu-1} \frac{1}{j!\Gamma(j+\mu)} x^{2j+2\mu-1} e^{-\frac{\mu(k+1)}{\Omega} x^2} a_1 \Omega e^{-\alpha_1 \Omega^2} a_2 k e^{-\alpha_2 k^2} \quad (3.48)$$

Na slici 3.11 prikazana je kumulativna verovatnoća signala u zavisnosti od anvelope signala. Kumulativna verovatnoća je rastuća funkcija i približava se jedinici za velike vrednosti anvelope signala [21].

Prikazane su egzaktne vrednosti dobijene rešavanjem integrala pomoću Čebiševljevih funkcija. Aproksimativne vrednosti su dobijene rešavanjem integrala pomoću slučajnih vektora. Parametar $\Omega=4$, gde parametar Ω predstavlja srednju kvadratnu vrednost signala [94].

Parametri Ω i μ su promenljivi i imaju raspodele [95]:

$$p_{\Omega}(\Omega) = a_1 \Omega e^{-\alpha_1 \Omega^2}, \Omega \geq 0 \quad (3.49)$$

$$p_{\mu}(\mu) = a_2 \mu e^{-\alpha_2 \mu^2}, \mu \geq 0 \quad (3.50)$$

Uslovna gustina verovatnoće od (x) je:

$$p_x(x/k, \Omega) = \frac{2\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{k\mu\Omega^{\frac{\mu+1}{2}}}} \sum_{j=0}^{\infty} \left(\mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{\Omega}} \right)^{2j+\mu-1} \frac{1}{j!\Gamma(j+\mu)} x^{2j+2\mu-1} e^{-\frac{\mu(k+1)}{\Omega} x^2} \quad (3.51)$$

Usrednjavanjem se dobija:

$$p_x(x) = \int_0^{\infty} d_{\Omega} \int_0^{\infty} d_k p_x(x/\Omega, \mu) p_{\Omega}(\Omega) p_{\mu}(\mu) = \frac{2\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{k\mu\Omega^{\frac{\mu+1}{2}}}} \sum_{j=0}^{\infty} \left(\mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{\Omega}} \right)^{2j+\mu-1} \frac{1}{j!\Gamma(j+\mu)} x^{2j+2\mu-1} e^{-\frac{\mu(k+1)}{\Omega} x^2} a_1 \Omega e^{-\alpha_1 \Omega^2} b_1 \mu e^{-\alpha_2 \mu^2} \quad (3.52)$$

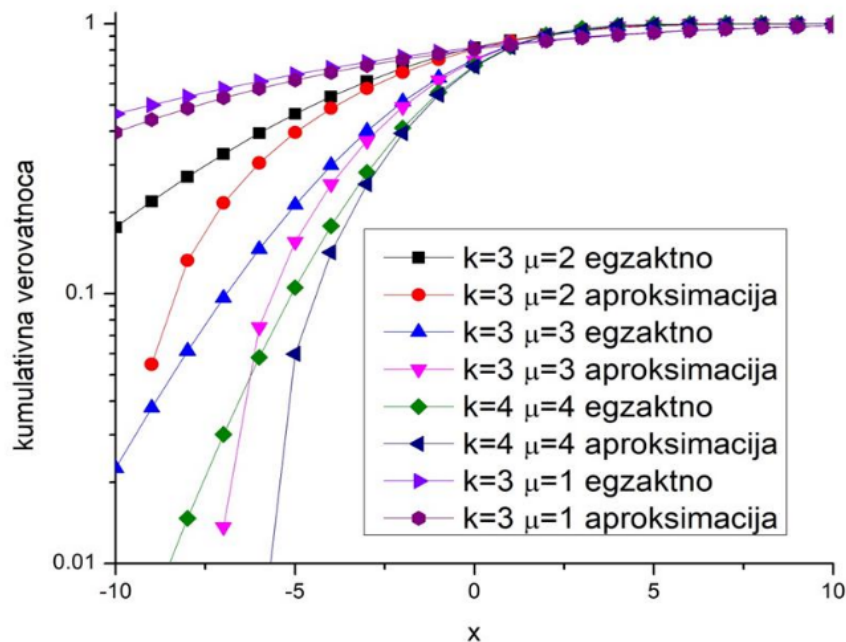
Na slici 3.12 prikazana je kumulativna verovatnoća signala u zavisnosti od anvelope signala x . Prikazane su pet krivih za koje je $\mu = 1, k = 2$; $\mu = 2, k = 3$; $\mu = 2, k = 4$; $\mu = 3, k = 2$ i $\mu = 4, k = 2$ [53].

I u ovom slučaju krive verovatnoće otkaza se međusobno seku. Krive su rastuće funkcije i teže ka jedinici. Uticaj parametra μ na kumulativnu verovatnoću je veći za manje vrednost parametra k . Uticaj parametra k na kumulativnu verovatnoću je veći za manje vrednost parametra μ .

Parametri k i μ su promenljivi i imaju raspodele:

$$p_k(k) = a_1 k e^{-a_1 k^2}, \quad \mu \geq 0 \quad (3.53)$$

$$p_\Omega(\Omega) = a_2 \Omega e^{-a_2 \Omega^2}, \quad \Omega \geq 0 \quad (3.54)$$



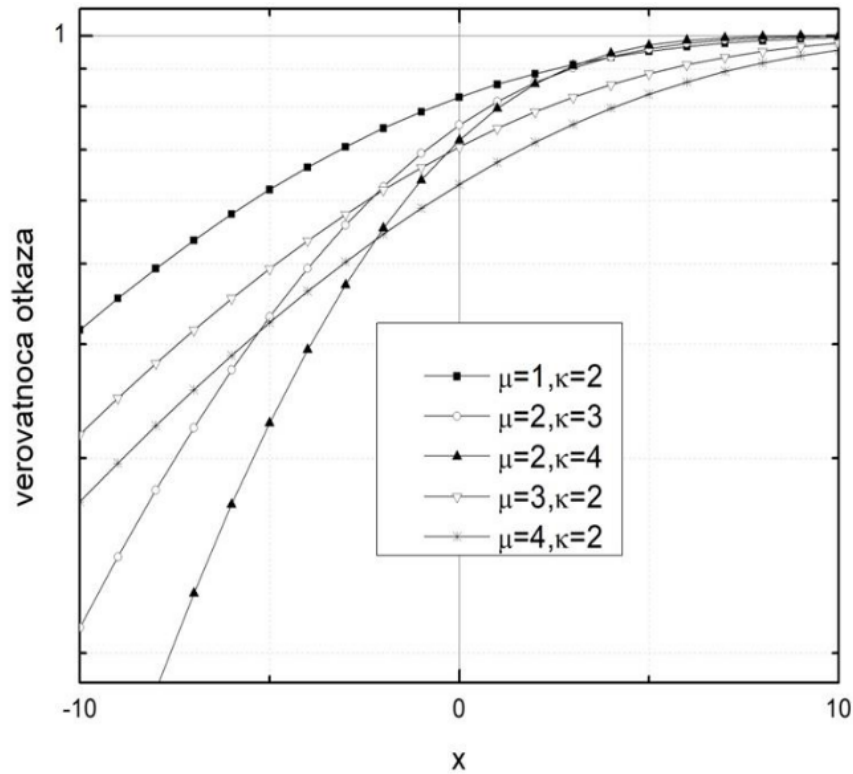
Slika 3.11. Kumulativna verovatnoća signala u zavisnosti od anvelope signala

Uslovna gustina verovatnoće od x je:

$$p_x(x/k, \Omega) = \frac{2\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{k\mu\Omega^{\frac{\mu+1}{2}}}} \sum_{j=0}^{\infty} \left(\mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{\Omega}} \right)^{2j+\mu-1} \frac{1}{j!\Gamma(j+\mu)} x^{2j+2\mu-1} \quad (3.55)$$

Usrednjavanjem se dobija:

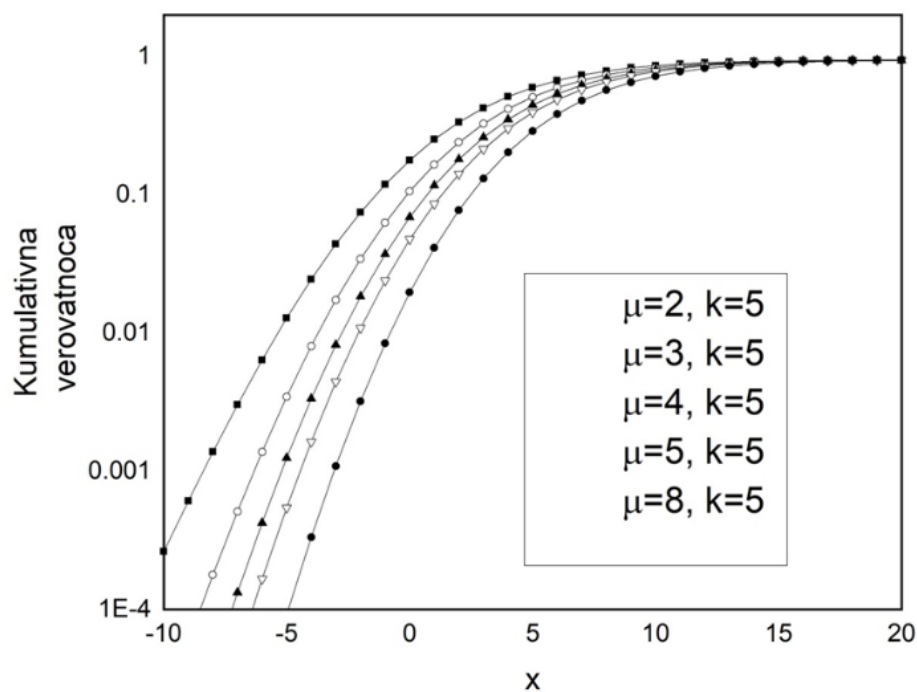
$$\begin{aligned} p_x(x) &= \int_0^{\infty} d_k \int_0^{\infty} d_{\Omega} p_x\left(\frac{x}{k}, \Omega\right) p_k(k) p_{\Omega}(\Omega) \\ &= \int_0^{\infty} d_k \int_0^{\infty} d_{\Omega} \frac{2\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{k\mu\Omega^{\frac{\mu+1}{2}}}} \sum_{j=0}^{\infty} \left(\mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{\Omega}} \right)^{2j+\mu-1} \\ &\quad \frac{1}{j!\Gamma(j+\mu)} x^{2j+2\mu-1} e^{-\frac{\mu(k+1)}{\Omega} x^2} * a_1 k e^{-\alpha_1 k^2} a_2 \Omega e^{-\alpha_2 \Omega^2} \end{aligned} \quad (3.56)$$



Slika 3.12. Kumulativna verovatnoća signala u zavisnosti od anvelope signala x

Na slici 3.13 prikazana je kumulativna verovatnoća signala u zavisnosti od anvelope signala. Prikazane su pet krivih. Za ove krive je $\Omega = 10$. Za prikazane krive je $\mu = 2, k=5$; $\mu = 3, k=5$; $\mu = 4, k=5$; $\mu = 5, k=5$ i $\mu = 8, k=5$ [21], [90].

Krive rastu i aproksimativno teže ka jedinici. Krive su dobijene primenom Gausovih Hermitovih polinoma. Uticaj parametra (μ) na kumulativnu verovatnoću je veći za manje vrednost anvelope signala. Kumulativna verovatnoća je izračunata pomoću gustine verovatnoće ($k-\mu$) nasumične varijable. Mogu se izračunati i momenti ($k-\mu$) nasumične varijable.



Slika 3.13. Kumulativna verovatnoća signala u zavisnosti od anvelope signala

Parametri (μ) ima raspodelu:

$$p_{\mu}(\mu) = \alpha_1 \mu^2 e^{-\alpha \mu^4}, \quad \mu \geq 0 \quad (3.57)$$

Uslovna gustina verovatnoće od x je:

$$p_x(x/k, \Omega) = \frac{2\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{k\mu} \Omega^{\frac{\mu+1}{2}}} \sum_{j=0}^{\infty} \left(\mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{\Omega}} \right)^{2j+\mu-1} \frac{1}{j! \Gamma(j+\mu)} x^{2j+2\mu-1} \quad (3.58)$$

Usrednjavanjem se dobija:

$$p_x(x) = \int_0^{\infty} d_{\mu} p_x(x/\mu) \quad (3.59)$$

$$p_{\mu}(\mu) = \int_0^{\infty} d_{\mu} \frac{2\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{k\mu} \Omega^{\frac{\mu+1}{2}}} \sum_{j=0}^{\infty} \left(\mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{\Omega}} \right)^{2j+\mu-1} \frac{x^{2j+2\mu-1}}{j! \Gamma(j+\mu)} e^{-\frac{\mu(k+1)}{\Omega} x^2} a_1 \mu^2 e^{-\alpha \mu^4} \quad (3.60)$$

Parametri (μ) ima raspodelu:

$$p_{\mu}(\mu) = a_1 \mu^{\alpha_1} e^{-\alpha_2 \mu} I_0(b\mu) \quad (3.61)$$

Uslovna gustina verovatnoće od x je:

$$p_x(x/\mu) = \frac{2\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{k\mu} \Omega^{\frac{\mu+1}{2}}} \sum_{j=0}^{\infty} \left(\mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{\Omega}} \right)^{2j+\mu-1} \frac{1}{j! \Gamma(j+\mu)} x^{2j+2\mu-1} e^{-\frac{\mu(k+1)}{\Omega} x^2} \quad (3.62)$$

Usrednjavanjem se dobija:

$$p_x(x) = \int_0^{\infty} d_{\mu} p_x(x/\mu) p_{\mu}(\mu) = \int_0^{\infty} d_{\mu} \frac{2\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{k\mu} \Omega^{\frac{\mu+1}{2}}} \sum_{j=0}^{\infty} \left(\mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{\Omega}} \right)^{2j+\mu-1} \frac{x^{2j+2\mu-1}}{j! \Gamma(j+\mu)} e^{-\frac{\mu(k+1)}{\Omega} x^2} a_1 \mu^{\alpha_1} e^{-\alpha_2 \mu} I_0(b\mu) \quad (3.63)$$

Parametri (μ) ima raspodelu:

$$p_{\mu}(\mu) = a_1 \mu^{\alpha_1} e^{-\alpha_2 \mu} I_0(b\mu), \mu \geq 0 \quad (3.64)$$

$$p_{\Omega}(\Omega) = b_1 \Omega^{b_1} e^{-\alpha_3 \Omega^2}, \Omega \geq 0 \quad (3.65)$$

Uslovna gustina verovatnoće od μ je:

$$p_x(x/\mu\Omega) = \frac{2\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{k\mu} \Omega^{\frac{\mu+1}{2}}} \sum_{j=0}^{\infty} \left(\mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{\Omega}} \right)^{2j+\mu-1} \frac{1}{j! \Gamma(j+\mu)} x^{2j+2\mu-1} e^{-\frac{\mu(k+1)}{\Omega} x^2} \quad (3.66)$$

Usrednjavanjem se dobija:

$$\begin{aligned}
p_x(x) &= \int_0^\infty d_\mu \int_0^\infty d_\Omega p_x(x/\Omega\mu) p_\Omega(\Omega) p_\mu(\mu) \\
&= \int_0^\infty d_\mu \int_0^\infty d_\Omega \frac{2\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{k\mu} \Omega^{\frac{\mu+1}{2}}} \sum_{j=0}^\infty \left(\mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{\Omega}} \right)^{2j+\mu-1} \frac{1}{j! \Gamma(j+\mu)} x^{2j+2\mu-1} \\
&\quad e^{\frac{-\mu(k+1)}{\Omega}} a_1 \mu^{\alpha_1} e^{-\alpha_2 \mu^2} b_1 \Omega^{b_1} e^{-\beta_2 \Omega^2}
\end{aligned} \tag{3.67}$$

3.1. Relijev kanal

Združena gustina verovatnoće od dve Rajsove slučajne promenljive je:

$$p_{r_1 r_2}(r_1 r_2) = \frac{r r_1 r_2}{\sigma^4(1-r^2)} e^{\frac{-r_1^2 + r_2^2}{2\sigma^2(1-r^2)}} I_0$$

$$\left(\frac{r r_1 r_2}{\sigma^2(1-r^2)} \right) = \frac{r r_1 r_2}{\sigma^4(1-r^2)} e^{\frac{-r_1^2 + r_2^2}{2\sigma^2(1-r^2)}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\frac{r}{2\sigma^2(1-r^2)} \right)^{2i_1} \frac{1}{i_1!} r_1^{2i_1} r_2^{2i_1} =$$

$$\frac{r}{\sigma^4(1-r^2)} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\frac{r}{2\sigma^2(1-r^2)} \right)^{2i_1} \frac{1}{i_1!} r_1^{2i_1+1} r_2^{2i_1+1} e^{\frac{-r_1^2 + r_2^2}{2\sigma^2(1-r^2)}} \quad (3.68)$$

Relacije između r_1, r_2 i c_1, c_2 su:

$$c_1 = \log(1 + r_1^2) \quad (3.69)$$

$$c_2 = \log(1 + r_2^2) \quad (3.70)$$

$$r_1 = (e^{c_1} - 1)^{1/2} \quad (3.71)$$

$$r_2 = (e^{c_2} - 1)^{1/2} \quad (3.72)$$

Združena gustina verovatnoće od c_1 i c_2 je:

$$p_{c_1 c_2}(c_1 c_2) = |J| p_{r_1 r_2} \left((e^{c_1} - 1)^{1/2}, \left(\frac{1}{2} (e^{c_2} - 1)^{-1/2} \right) \right) \quad (3.73)$$

gde je:

$$J = \begin{vmatrix} \frac{\partial r_1}{\partial c_1} & \frac{\partial r_1}{\partial c_2} \\ \frac{\partial r_2}{\partial c_1} & \frac{\partial r_2}{\partial c_2} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \frac{1}{2} (e^{c_1} - 1)^{-1/2} e^{c_1} & 0 \\ 0 & \frac{1}{2} (e^{c_2} - 1)^{-1/2} e^{c_2} \end{vmatrix} = \frac{1}{4} \frac{e^{c_1+c_2}}{(e^{c_1}-1)^{1/2} (e^{c_2}-1)^{1/2}} \quad (3.74)$$

Zamenom (3.74) u (3.73) se dobija:

$$p_{c_1 c_2}(c_1 c_2) = \frac{e^{c_1+c_2}}{4(e^{c_1}-1)^{1/2} (e^{c_2}-1)^{1/2}} \frac{r}{\sigma^4(1-r^2)} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\frac{r}{2\sigma^2(1-r^2)} \right)^{2i_1} \frac{1}{i_1!} (e^{c_1} - 1)^{\frac{1}{2}(2i_1+1)} (e^{c_2} - 1)^{\frac{1}{2}(2i_2+1)} e^{\frac{-e^{c_1}-1+e^{c_2}-1}{2\sigma^2(1-r^2)}} =$$

$$\frac{e^{c_1+c_2}}{4(e^{c_1}-1)^{1/2} (e^{c_2}-1)^{1/2}} \frac{r}{\sigma^4(1-r^2)} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\frac{r}{2\sigma^2(1-r^2)} \right)^{2i_1} \frac{1}{i_1!} (e^{c_1} - 1)^{i_1+1/2} (e^{c_2} - 1)^{i_2+1/2} e^{\frac{-e^{c_1}+e^{c_2}-2}{2\sigma^2(1-r^2)}} \quad (3.75)$$

Združena gustina verovatnoće od r_1, r_2, r_1^i i r_2^i je:

$$p_{r_1 r_2 r_1^i r_2^i}(r_1 r_2 r_1^i r_2^i) = \frac{r r_2 r_2}{\sigma^4(1-r^2)} e^{\frac{-r_1^2+r_2^2}{2\sigma^2(1-r^2)}} I_0\left(\frac{r r_2 r_2}{\sigma^2(1-r^2)}\right) \frac{1}{2\sigma_1^2(1-\rho^2)} e^{\frac{-r_1^2+2\rho r_1 r_2^i+r_2^i^2}{2\sigma^2(1-\rho^2)}} =$$

$$\frac{r r_2 r_2}{\sigma^4(1-r^2)} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\frac{r}{2\sigma^2(1-r^2)}\right)^{2i_1} \frac{1}{i_1!} r_1^{2i_1+1} + r_2^{2i_1+1} e^{\frac{-r_1^2+r_2^2}{2\sigma^2(1-r^2)}} \frac{1}{2\sigma_1^2(1-\rho^2)} e^{\frac{-r_1^2+2\rho r_1 r_2^i+r_2^i^2}{2\sigma^2(1-\rho^2)}} \quad (3.76)$$

Relacije između $r_1 r_2 r_1^i r_2^i$ i $c_1 c_2 c_1^i c_2^i$:

$$c_1 = \log(1 + r_1^2) \quad (3.77)$$

$$c_2 = \log(1 + r_2^2) \quad (3.78)$$

$$r_1 = (e^{c_1} - 1)^{1/2} \quad (3.79)$$

$$r_2 = (e^{c_2} - 1)^{1/2} \quad (3.80)$$

$$c_1^i = \frac{2r_1 r_1^i}{1+r_1^2} \quad (3.81)$$

$$c_2^i = \frac{2r_2 r_2^i}{1+r_2^2} \quad (3.82)$$

$$r_1^i = \frac{1}{2}(e^{c_1} - 1)^{-1/2} e^{c_1 c_1^i/2} \quad (3.83)$$

$$r_2^i = \frac{1}{2}(e^{c_2} - 1)^{-1/2} e^{c_2 c_2^i/2} \quad (3.84)$$

Združena gustina verovatnoće od $c_1 c_2 c_1^i c_2^i$ je:

$$p_{c_1 c_2 c_1^i c_2^i}(c_1 c_2 c_1^i c_2^i) =$$

$$|J_1| p_{r_1 r_2 r_1^i r_2^i} \left((e^{c_1} - 1)^{1/2}, (e^{c_2} - 1)^{1/2}, \frac{1}{2}(e^{c_1} - 1)^{-1/2} e^{c_1 c_1^i/2}, \frac{1}{2}(e^{c_2} - 1)^{-1/2} e^{c_2 c_2^i/2} \right) \quad (3.85)$$

gde je:

$$\begin{aligned}
I_1 &= \begin{vmatrix} \frac{\partial r_1}{\partial c_1} & \frac{\partial r_1 \partial r_1}{\partial c_2 \partial c_1} & \frac{\partial r_1}{\partial c_2} \\ \frac{\partial r_2}{\partial c_1} & \frac{\partial r_2 \partial r_2}{\partial c_2 \partial c_1} & \frac{\partial r_2}{\partial c_2} \\ \frac{\partial r_1'}{\partial c_1} & \frac{\partial r_1' \partial r_1'}{\partial c_2 \partial c_1} & \frac{\partial r_1'}{\partial c_2} \\ \frac{\partial r_2'}{\partial c_1} & \frac{\partial r_2' \partial r_2'}{\partial c_2 \partial c_1} & \frac{\partial r_2'}{\partial c_2} \end{vmatrix} = \\
&= \begin{vmatrix} \frac{1}{2}(e^{c_1} - 1)^{-\frac{1}{2}} e^{c_1} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{2}(e^{c_1} - 1)^{-\frac{1}{2}} e^{c_1} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{2}(e^{c_1} - 1)^{-\frac{1}{2}} e^{c_1} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{2}(e^{c_1} - 1)^{-\frac{1}{2}} e^{c_1} \end{vmatrix} = \\
&= \frac{e^{2c_1} e^{2c_2}}{16(e^{c_1} - 1)(e^{c_2} - 1)} \quad (3.86)
\end{aligned}$$

Zamenom (3.86) u (3.85) se dobija:

$$\begin{aligned}
p_{c_1 c_2 c_1 c_2}(c_1 c_2 c_1 c_2) &= \frac{e^{2c_1} e^{2c_2}}{16(e^{c_1} - 1)(e^{c_2} - 1)} \frac{r}{\sigma^4(1-r^2)} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\frac{r}{2\sigma^2(1-r^2)} \right)^{2i_1} \frac{1}{i_1!} (e^{c_1} - 1)^{i_1 + \frac{1}{2}} \\
&= (e^{c_2} - 1)^{i_1 + \frac{1}{2}} e^{\frac{-e^{c_1} + e^{c_2} - 2}{2\sigma^2(1-r^2)}} \frac{1}{2\sigma_1^2(1-\rho^2)} \\
&= e^{\frac{-1}{2\sigma^2(1-\rho^2)} \left(\frac{1}{4}(e^{c_1} - 1)^{-1} e^{2c_1 c_1^2} - 2\rho \frac{1}{2}(e^{c_1} - 1)^{-\frac{1}{2}} e^{c_1 c_1^2} \frac{1}{2}(e^{c_2} - 1)^{-\frac{1}{2}} e^{c_2 c_2^2} + \frac{1}{4}(e^{c_2} - 1)^{-1} e^{2c_2 c_2^2} \right)} \quad (3.87)
\end{aligned}$$

Srednji broj osnih preseka je:

$$N_1 = \int_0^\infty \int_0^\infty d_{c_1} d_{c_2} p_{c_1 c_2 c_1 c_2}(c_1 c_2 c_1 c_2) \quad (3.88)$$

$$N_2 = \int_0^\infty d_{c_1} \int_0^\infty d_{c_2} c_1^2 c_2^2 p_{c_1 c_2 c_1 c_2}(c_1 c_2 c_1 c_2) \quad (3.89)$$

$$N_3 = \int_0^\infty d_{c_1} \int_0^\infty d_{c_2} c_1 c_2 c_1^2 c_2^2 p_{c_1 c_2 c_1 c_2}(c_1 c_2 c_1 c_2) \quad (3.90)$$

$$N_4 = \int_0^\infty d_{c_1} \int_0^\infty d_{c_2} \int_0^\infty d_{c_1} \int_0^\infty d_{c_2} c_1 c_2 c_1 c_2 p_{c_1 c_2 c_1 c_2}(c_1 c_2 c_1 c_2) \quad (3.91)$$

$$N_5 = \int_0^\infty d_{c_1} \int_0^\infty d_{c_2} \int_0^\infty d_{c_1} c_1 c_2 c_1 p_{c_1 c_2 c_1 c_2}(c_1 c_2 c_1 c_2) \quad (3.92)$$

$$N_6 = \int_0^\infty d_{c_1} \int_0^\infty d_{c_2} \int_0^\infty d_{c_1} \int_0^\infty d_{c_2} c_1^2 c_2^2 c_1 c_2 p_{c_1 c_2 c_1 c_2}(c_1 c_2 c_1 c_2) \quad (3.93)$$

$$N_7 = \int_0^\infty d_{c_1} \int_0^\infty d_{c_2} \int_0^\infty d_{c_1} \int_0^\infty d_{c_2} c_1 c_2 c_1^2 c_2^2 p_{c_1 c_2 c_1 c_2}(c_1 c_2 c_1 c_2) \quad (3.94)$$

$$N_8 = \int_0^\infty d_{c_1} \int_0^\infty d_{c_2} \int_0^\infty d_{c_1} \int_0^\infty d_{c_2} c_1^2 c_2^2 c_1^2 c_2^2 p_{c_1 c_2 c_1 c_2}(c_1 c_2 c_1 c_2) \quad (3.95)$$

$$N_9 = \int_0^\infty d_{c_1} \int_0^\infty d_{c_2} \int_0^\infty d_{c_1} \int_0^\infty d_{c_2} c_1^3 c_2^3 c_1^3 c_2^3 p_{c_1 c_2 c_1 c_2}(c_1 c_2 c_1 c_2) \quad (3.96)$$

3.2. Rajsov kanal

Gustina verovatnoće Rajsove slučajne promenljive je:

$$p_r(r) = \frac{2(k+1)r}{e^{k/n}} e^{-\frac{k+1}{n}r^2} I_0\left(2\sqrt{\frac{k(k+1)}{n}}r\right) = \frac{2(k+1)}{e^{k/n}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\frac{k(k+1)}{n}\right)^{i_1} \frac{1}{(i_1!)^2} r^{2i_1+1} e^{-\frac{(k+1)}{n}r^2} \quad (3.97)$$

Kapacitet je:

$$c = \log(1 + r^2) \quad (3.98)$$

$$r = (e^c - 1)^{1/2} \quad (3.99)$$

Gustina verovatnoće trenutnog kapaciteta jednaka je:

$$p_c(c) = \left| \frac{dr}{dc} \right| p_r((e^c - 1)^{1/2}) \quad (3.100)$$

gde je:

$$\frac{dr}{dc} = \frac{1}{2} (e^c - 1)^{-1/2} e^c \quad (3.101)$$

Zamenom (3.101) u (3.100) se dobija:

$$p_c(c) = \frac{1}{2} (e^c - 1)^{-1/2} e^c \frac{2(k+1)}{e^{k/n}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\frac{k(k+1)}{n}\right)^{i_1} \frac{1}{(i_1!)^2} (e^c - 1)^{i_1+1/2} e^{-\frac{(k+1)}{n}(e^c-1)} \quad (3.102)$$

Združena gustina verovatnoće od r i r^2 je:

$$p_{rr^2}(rr^2) = \frac{2(k+1)}{e^{k/n}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\frac{k(k+1)}{n}\right)^{i_1} \frac{1}{(i_1!)^2} r^{2i_1+1} e^{-\frac{(k+1)}{n}r^2} \frac{1}{\sqrt{2\pi\beta}} e^{-\frac{r^2}{2\beta^2}} \quad (3.103)$$

gde je:

$$\beta^2 = \pi^2 f_m^2 \frac{n}{(k+1)} \quad (3.104)$$

Relacije između (r, c) i $(r^2, \hat{c})$ su:

$$c = \log(1 + r^2) \quad (3.105)$$

$$r = (e^c - 1)^{1/2} \quad (3.106)$$

$$\hat{c} = \frac{2r}{1+r^2} \quad (3.107)$$

$$r = \frac{1}{2}(e^c - 1)^{-1/2} e^c c \quad (3.108)$$

Združena gustina verovatnoće od c i c je:

$$p_{cc}(cc) = |J| p_{rr} \left((e^c - 1)^{1/2}, \left(\frac{1}{2} (e^c - 1)^{-1/2} e^c c \right) \right) \quad (3.109)$$

gde je Jakobijan jednak:

$$J = \begin{vmatrix} \frac{\partial r}{\partial c} & \frac{\partial r}{\partial c} \\ \frac{\partial c}{\partial c} & \frac{\partial c}{\partial c} \end{vmatrix} = \quad (3.110)$$

Zamenom(3.110) u (3.109) se dobija:

$$p_{cc}(cc) = \frac{1}{4} \frac{e^{2c}}{(e^c - 1)} \frac{2(k+1)}{e^k \Omega} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\frac{k(k+1)}{\Omega} \right)^{i_1} \frac{1}{(i_1!)^2} (e^c - 1)^{i_1+1/2} \\ e^{-\frac{k+1}{\Omega}(e^c-1)} \frac{1}{\sqrt{2\pi\beta}} e^{\frac{-1}{2\beta} \frac{1}{4}(e^c-1)^{-1} e^{2c} c^2} \quad (3.111)$$

Srednji broj osnih preseka je:

$$p_{r_1 r_2}(r_1 r_2) = \\ \frac{r_1 r_2 (k+1)^2}{\beta_1^2 (1-r^2)} e^{\frac{-(r_1^2 + r_2^2)(k+1) + 4k\beta(1-r)}{2\beta(1-r^2)}} \sum_{i=0}^{\infty} \varepsilon_i I_i \left(\frac{r_1 r_2 r(k+1)}{\beta(1-r^2)} \right) I_i \left(\frac{r_1}{(1+r)} \sqrt{\frac{2k(k+1)}{\beta}} \right) I_i \left(\frac{r_2}{(1+r)} \sqrt{\frac{2k(k+1)}{\beta}} \right) = \\ \frac{r_1 r_2 (k+1)^2}{\beta_1^2 (1-r^2)} e^{\frac{-24k\beta(1-r)}{2\beta(1-r^2)(1+r)}} \sum_{i=0}^{\infty} \varepsilon_i \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\frac{r(k+1)}{\beta(1-r^2)} \right)^{2i_1+i} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+i-1)} \\ \sum_{i_2=0}^{\infty} \left(\frac{1}{(1+r)} \sqrt{\frac{2k(k+1)}{\beta}} \right)^{2i_2+i} \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2+i-1)} \sum_{i_3=0}^{\infty} \left(\frac{1}{(1+r)} \sqrt{\frac{2k(k+1)}{\beta}} \right)^{2i_3+i} \frac{1}{i_3! \Gamma(i_3+i-1)} \\ r_1^{1+2i_1+i+2i_2+i} r_2^{1+2i_1+i+2i_3+i} e^{\frac{-(r_1^2 + r_2^2)(k+1)}{2\beta(1-r^2)}} \quad (3.113)$$

Relacije između $r_1 r_2$ i $c_1 c_2$ su:

$$c_1 = \log(1 + r_1^2) \quad (3.114)$$

$$c_2 = \log(1 + r_2^2) \quad (3.115)$$

$$r_1 = (e^{c_1} - 1)^{1/2} \quad (3.116)$$

$$r_2 = (e^{c_2} - 1)^{1/2} \quad (3.117)$$

Združena **gustina verovatnoće** od c_1 i c_2 **je** [97]:

$$p_{c_1 c_2}(c_1 c_2) = |J| p_{r_1 r_2} \left((e^{c_1} - 1)^{1/2}, \left(\frac{1}{2} (e^{c_2} - 1)^{1/2} \right) \right) \quad (3.118)$$

gde je:

$$J = \begin{vmatrix} \frac{\partial r_1}{\partial c_1} & \frac{\partial r_1}{\partial c_2} \\ \frac{\partial r_2}{\partial c_1} & \frac{\partial r_2}{\partial c_2} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \frac{1}{2} (e^{c_1} - 1)^{-1/2} e^{c_1} & 0 \\ 0 & \frac{1}{2} (e^{c_2} - 1)^{-1/2} e^{c_2} \end{vmatrix}$$

$$= \frac{e^{c_1} e^{c_2}}{4 (e^{c_1} - 1)^{1/2} (e^{c_2} - 1)^{1/2}} \quad (3.119)$$

Zamenom (2.119) u (2.118) **se dobija:**

$$p_{c_1 c_2}(c_1 c_2) = \frac{e^{c_1} e^{c_2}}{4 (e^{c_1} - 1)^{1/2} (e^{c_2} - 1)^{1/2} \beta^2 (1 - r^2)} e^{\frac{-2k}{(1+r)}}$$

$$\sum_{i=0}^{\infty} \varepsilon_i \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\frac{r(k+1)}{\beta(1-r^2)} \right)^{2i_1+i} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+i-1)}$$

$$\sum_{i_2=0}^{\infty} \left(\frac{1}{(1+r)} \sqrt{\frac{2k(k+1)}{\beta}} \right)^{2i_2+i} \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2+i-1)}$$

$$\sum_{i_3=0}^{\infty} \left(\frac{1}{(1+r)} \sqrt{\frac{2k(k+1)}{\beta}} \right)^{2i_3+i} \frac{1}{i_3! \Gamma(i_3+i-1)}$$

$$(e^{c_1} - 1)^{i_1+i_2+i+1/2} (e^{c_2} - 1)^{i_1+i_2+i+1/2} e^{\frac{-(k+1)}{2\beta^2(1-r^2)}(e^{c_1}-1+e^{c_2}-1)} \quad (3.120)$$

Srednji broj osnih preseka:

$$N_1 = \int_0^{\infty} d_{c_1} \int_0^{\infty} d_{c_2} c_1 c_2 p_{c_1 c_2}(c_1 c_2) \quad (3.121)$$

$$N_2 = \int_0^{\infty} d_{c_1} \int_0^{\infty} d_{c_2} c_1^2 c_2^2 p_{c_1 c_2}(c_1 c_2) \quad (3.122)$$

$$N_3 = \int_0^\infty d_{c_1} \int_0^\infty d_{c_2} c_1^\rho c_2^q p_{c_1 c_2}(c_1 c_2) \quad (3.123)$$

Združena gustina verovatnoće od r_1, r_2, r_1^i i r_2^i je:

$$\begin{aligned} p_{r_1 r_2 r_1^i r_2^i}(r_1 r_2 r_1^i r_2^i) &= \frac{(k+1)^2}{\beta^2 (1-r^2)} e^{\frac{-2k}{(1+r)}} \sum_{i=0}^\infty e_i \sum_{i_1=0}^\infty \left(\frac{r(k+1)}{\beta(1-r^2)} \right)^{2i_1+i} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+i-1)} \\ &\sum_{i_2=0}^\infty \left(\frac{1}{(1+r)} \sqrt{\frac{2k(k+1)}{\beta}} \right)^{2i_2+i} \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2+i-1)} \sum_{i_3=0}^\infty \left(\frac{1}{(1+r)} \sqrt{\frac{2k(k+1)}{\beta}} \right)^{2i_3+i} \frac{1}{i_3! \Gamma(i_3+i-1)} \\ &r_1^{1+2i_1+2i_2+2i_3} + r_2^{1+2i_1+2i_2+2i_3} e^{\frac{-(r_1^2+r_2^2)(k+1)}{2\beta(1-r^2)}} \frac{1}{2\pi \sigma_1^2(1-\rho^2)} e^{\frac{-r_1^2+2\rho r_1 r_2+r_2^2}{2\sigma_1^2(1-\rho^2)}} \end{aligned} \quad (3.124)$$

Relacije između $r_1 r_2 r_1^i r_2^i$ i $c_1 c_2 c_1^i c_2^i$ su:

$$c_1 = \log(1 + r_1^2) \quad (3.125)$$

$$c_2 = \log(1 + r_2^2) \quad (3.126)$$

$$r_1 = (e^{c_1} - 1)^{1/2} \quad (3.127)$$

$$r_2 = (e^{c_2} - 1)^{1/2} \quad (3.128)$$

$$c_1^i = \frac{2}{1+r_1^2} r_1^i r_1^i \quad (3.129)$$

$$c_2^i = \frac{2}{1+r_2^2} r_2^i r_2^i \quad (3.130)$$

$$r_1^i = \frac{1}{2} (e^{c_1} - 1)^{-1/2} e^{c_1} c_1^i \quad (3.131)$$

$$r_2^i = \frac{1}{2} (e^{c_2} - 1)^{-1/2} e^{c_2} c_2^i \quad (3.132)$$

Združena gustina verovatnoće od $c_1 c_2 c_1^i c_2^i$ je [98]:

$$\begin{aligned} p_{c_1 c_2 c_1^i c_2^i}(c_1 c_2 c_1^i c_2^i) &= \\ &\left((e^{c_1} - 1)^{1/2}, (e^{c_2} - 1)^{1/2}, \frac{1}{2} (e^{c_1} - 1)^{-1/2} e^{c_1} c_1^i, \frac{1}{2} (e^{c_2} - 1)^{-1/2} e^{c_2} c_2^i \right) \end{aligned} \quad (3.133)$$

gde je:

$$J = \begin{vmatrix} \frac{\partial r_1}{\partial c_1} & \frac{\partial r_1 \partial r_1}{\partial c_2 \partial c_1} & \frac{\partial r_1}{\partial c_2} \\ \frac{\partial r_2}{\partial c_1} & \frac{\partial r_2 \partial r_2}{\partial c_2 \partial c_1} & \frac{\partial r_2}{\partial c_2} \\ \frac{\partial r_3}{\partial c_1} & \frac{\partial r_3 \partial r_3}{\partial c_2 \partial c_1} & \frac{\partial r_3}{\partial c_2} \end{vmatrix} = \frac{e^{2c_1} e^{2c_2}}{16(e^{c_1}-1)(e^{c_2}-1)} \quad (3.134)$$

Zamenom (3.134) u (3.133) se dobija [99]:

$$\begin{aligned} p_{c_1 c_2 c_1 c_2}(c_1 c_2 c_1 c_2) &= \frac{e^{2c_1} e^{2c_2}}{16(e^{c_1}-1)(e^{c_2}-1)} \frac{(k+1)^2}{\beta^2(1-r^2)} e^{\frac{-2k}{(1+r)}} \sum_{i=0}^{\infty} \varepsilon_i \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\frac{r(k+1)}{\beta(1-r^2)} \right)^{2i_1+i} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+i-1)} \\ &\sum_{i_2=0}^{\infty} \left(\frac{1}{(1+r)} \sqrt{\frac{2k(k+1)}{\beta}} \right)^{2i_2+i} \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2+i-1)} \sum_{i_3=0}^{\infty} \left(\frac{1}{(1+r)} \sqrt{\frac{2k(k+1)}{\beta}} \right)^{2i_3+i} \frac{1}{i_3! \Gamma(i_3+i-1)} (e^{c_1} - \\ &1)^{i_1+i_2+i+\frac{1}{2}} (e^{c_2} - 1)^{i_1+i_3+i+\frac{1}{2}} e^{\frac{-(k+1)}{2\beta^2(1-r^2)}(e^{c_1}-1+e^{c_2}-1)} \frac{1}{2\sigma^2(1-\rho^2)} \\ &e^{\frac{-1}{2\sigma^2(1-\rho^2)}} \left(\frac{1}{4} (e^{c_1}-1)^{-1} e^{2c_1 c_1^2} + \rho \left(\left(\frac{1}{2} (e^{c_1}-1)^{\frac{1}{2}} e^{c_1 c_1} \right) \left(\frac{1}{2} (e^{c_2}-1)^{\frac{1}{2}} e^{c_2 c_2} \right) \right) + \frac{1}{4} ((e^{c_2}-1)^{-1} e^{2c_2 c_2^2}) \right) \end{aligned} \quad (3.135)$$

3.3. Wejbulov kanal

Združena gustina verovatnoće dve Relijeve slučajne promenljive je:

$$p_{R_1 R_2}(R_1 R_2) = \frac{r}{\sigma^4(1-r^2)} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\frac{r}{2\sigma^2(1-r^2)} \right)^{2i_1} \frac{1}{(i_1!)^2} R_1^{2i_1+1} R_2^{2i_1+1} e^{-\frac{(R_1^2+R_2^2)}{2\sigma^2(1-r^2)}} \quad (3.136)$$

Relacije između Relijevih slučajnih promenljivih R_1 i R_2 Wejbulovih slučajnih promenljivih $r_1 r_2$:

$$r_1 = R_1^{\frac{2}{\alpha}} \quad (3.137)$$

$$r_2 = R_2^{\frac{2}{\alpha}} \quad (3.138)$$

$$c_1 = \log(1 + r_1^2) \quad (3.139)$$

$$c_2 = \log(1 + r_2^2) \quad (3.140)$$

Združena ¹gustina verovatnoće od r_1 i r_2 je:

$$p_{r_1 r_2}(r_1 r_2) = |J| |J| p_{R_1 R_2} \left(r_1^{\frac{\alpha}{2}}, r_2^{\frac{\alpha}{2}} \right) \quad (3.141)$$

gde je:

$$J = \begin{vmatrix} \frac{\partial R_1}{\partial r_1} & \frac{\partial R_1}{\partial r_2} \\ \frac{\partial R_2}{\partial r_1} & \frac{\partial R_2}{\partial r_2} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \frac{\alpha}{2} r_1^{\frac{\alpha}{2}-1} & 0 \\ 0 & \frac{\alpha}{2} r_2^{\frac{\alpha}{2}-1} \end{vmatrix} = \frac{\alpha^2}{4} r_1^{\frac{\alpha}{2}-1} r_2^{\frac{\alpha}{2}-1} \quad (3.142)$$

Zamenom (3.142) u (3.141) se dobija:

$$p_{r_1 r_2}(r_1 r_2) = \frac{\alpha^2}{4} r_1^{\frac{\alpha}{2}-1} r_2^{\frac{\alpha}{2}-1} \frac{r}{\sigma^4(1-r^2)} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\frac{r}{2\sigma^2(1-r^2)} \right)^{2i_1} \frac{1}{(i_1!)^2} r_1^{\alpha i_1 + \alpha/2} r_2^{\alpha i_1 + \alpha/2} e^{-\frac{(r_1^{\alpha/2} + r_2^{\alpha/2})}{2\sigma^2(1-r^2)}} =$$

$$\frac{\alpha^2}{4} \frac{r}{\sigma^4(1-r^2)} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\frac{r}{2\sigma^2(1-r^2)} \right)^{2i_1} \frac{1}{(i_1!)^2} r_1^{\alpha i_1 + \alpha - 1} r_2^{\alpha i_1 - 1 + \alpha} e^{-\frac{(r_1^{\alpha/2} + r_2^{\alpha/2})}{2\sigma^2(1-r^2)}} \quad (3.143)$$

Relacije između $r_1 r_2$ i $c_1 c_2$ su:

$$c_1 = \log(1 + r_1^2) \quad (3.144)$$

$$c_2 = \log(1 + r_2^2) \quad (3.145)$$

$$r_1 = (e^{c_1} - 1)^{1/2} \quad (3.146)$$

$$r_2 = (e^{c_2} - 1)^{1/2} \quad (3.147)$$

Združena ¹gustina verovatnoće od c_1 i c_2 je:

$$p_{c_1 c_2}(c_1 c_2) = |J| p_{r_1 r_2} \left((e^{c_1} - 1)^{1/2}, \left(\frac{1}{2} (e^{c_2} - 1)^{1/2} \right) \right) \quad (3.148)$$

gde je:

$$J = \begin{vmatrix} \frac{\partial r_1}{\partial c_1} & \frac{\partial r_1}{\partial c_2} \\ \frac{\partial r_2}{\partial c_1} & \frac{\partial r_2}{\partial c_2} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \frac{1}{2} (e^{c_1} - 1)^{-1/2} e^{c_1} & 0 \\ 0 & \frac{1}{2} (e^{c_2} - 1)^{-1/2} e^{c_2} \end{vmatrix} = \frac{e^{c_1} e^{c_2}}{4 (e^{c_1} - 1)^{1/2} (e^{c_2} - 1)^{1/2}} \quad (3.149)$$

Zamenom (3.149) u (3.148) se dobija:

$$p_{c_1 c_2}(c_1 c_2) = \frac{e^{c_1} e^{c_2}}{4 (e^{c_1} - 1)^{1/2} (e^{c_2} - 1)^{1/2}} \frac{\alpha^2}{4} \frac{r}{\sigma^4 (1 - r^2)} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\frac{r}{2\sigma^2 (1 - r^2)} \right)^{2i_1} \frac{1}{(i_1!)^2} (e^{c_1} - 1)^{\frac{\alpha}{2} i_1 + \frac{\alpha}{2} - \frac{1}{2}} (e^{c_2} - 1)^{\frac{\alpha}{2} i_1 + \frac{\alpha}{2} - \frac{1}{2}} e^{\frac{-e^{c_1} + e^{c_2} - 2}{2\sigma^2 (1 - r^2)}} \quad (3.150)$$

Srednji broj osnih preseka je:

$$N_1 = \int_0^{\infty} d_{c_1} \int_0^{\infty} d_{c_2} c_1 c_2 w_{c_1 c_2}(c_1 c_2) \quad (3.151)$$

$$N_2 = \int_0^{\infty} d_{c_1} \int_0^{\infty} d_{c_2} c_1^2 c_2^2 w_{c_1 c_2}(c_1 c_2) \quad (3.152)$$

Združena gustina verovatnoće od dve Rajsove slučajne promenljive R_1, R_2 i njenih izvoda (R_1) i (R_2) je:

$$p_{R_1 R_2 \dot{R}_1 \dot{R}_2}(R_1 R_2 \dot{R}_1 \dot{R}_2) = \frac{r}{\sigma^4 (1 - r^2)} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\frac{r}{2\sigma^2 (1 - r^2)} \right)^{2i_1} \frac{1}{i_1!^2} R_1^{2i_1+1}$$

$$R_2^{2i_1+1} e^{\frac{-(r_1^2+r_2^2)}{2\sigma^2(1-\rho^2)}} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_1(1-\rho^2)}} e^{\frac{-R_1^2+\rho R_1 R_2+R_2^2}{2\sigma^2(1-\rho^2)}} \quad (3.153)$$

Relacije između $r_1 r_2 r_1^i r_2^i$ i $c_1 c_2 c_1^i c_2^i$:

$$r_1 = R_1^{\frac{\alpha}{2}} \quad (3.154)$$

$$r_2 = R_2^{\frac{\alpha}{2}} \quad (3.155)$$

$$R_1 = r_1^{\frac{\alpha}{2}} \quad (3.156)$$

$$R_2 = r_2^{\frac{\alpha}{2}} \quad (3.157)$$

$$r_1^i = \frac{2}{\alpha} R_1^{\frac{\alpha}{2}-1} \dot{R}_1 \quad (3.158)$$

$$r_2^i = \frac{2}{\alpha} R_2^{\frac{\alpha}{2}-1} \dot{R}_2 \quad (3.159)$$

$$\dot{R}_1 = \frac{\alpha}{2} r_1^{\frac{\alpha}{2}-1} r_1^i \quad (3.160)$$

$$\dot{R}_2 = \frac{\alpha}{2} r_2^{\frac{\alpha}{2}-1} r_2^i \quad (3.161)$$

Združena gustina verovatnoće od $r_1 r_2 r_1^i r_2^i$ je:

$$p_{r_1 r_2 r_1^i r_2^i}(r_1 r_2 r_1^i r_2^i) = |J| p_{R_1 R_2 R_1^i R_2^i} \left(r_1^{\frac{\alpha}{2}}, r_2^{\frac{\alpha}{2}}, \frac{\alpha}{2} r_1^{\frac{\alpha}{2}-1}, \frac{\alpha}{2} r_2^{\frac{\alpha}{2}-1} \right) \quad (3.162)$$

gde je:

$$J = \begin{vmatrix} \frac{\partial R_1}{\partial r_1} & \frac{\partial R_1}{\partial r_2} \frac{\partial R_1}{\partial r_1^i} & \frac{\partial R_1}{\partial r_2^i} \\ \frac{\partial R_2}{\partial r_1} & \frac{\partial R_2}{\partial r_2} \frac{\partial R_2}{\partial r_1^i} & \frac{\partial R_2}{\partial r_2^i} \\ \frac{\partial R_1^i}{\partial r_1} & \frac{\partial R_1^i}{\partial r_2} \frac{\partial R_1}{\partial r_1^i} & \frac{\partial R_1^i}{\partial r_2^i} \\ \frac{\partial R_2^i}{\partial r_1} & \frac{\partial R_2^i}{\partial r_2} \frac{\partial R_2}{\partial r_1^i} & \frac{\partial R_2^i}{\partial r_2^i} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \frac{\alpha}{2} r_1^{\frac{\alpha}{2}-1} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{\alpha}{2} r_2^{\frac{\alpha}{2}-1} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\alpha}{2} r_1^{\frac{\alpha}{2}-1} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{\alpha}{2} r_2^{\frac{\alpha}{2}-1} \end{vmatrix} = \frac{\alpha^4}{16} r_1^{\alpha-2} r_2^{\alpha-2} \quad (3.163)$$

Zamenom (3.163) u (3.162) se dobija združena gustina verovatnoće dve Vejbulove slu-čajne promenljive i njihovih prvih izvoda u obliku [4], [92]:

$$\begin{aligned}
 p_{r_1 r_2 r_1^i r_2^i} (r_1 r_2 r_1^i r_2^i) = \\
 \frac{\alpha^4}{16} r_1^{\alpha-2} r_2^{\alpha-2} \frac{r}{\sigma^4 (1-r^2)} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\frac{r}{2\sigma^2 (1-r^2)} \right)^{2i_1} \frac{1}{(i_1!)^2} r_1^{\frac{\alpha}{2}(2i_1+1)} r_2^{\frac{\alpha}{2}(2i_1+1)} e^{\frac{-r_1^2+r_2^2}{2\sigma^2(1-r^2)}} \frac{1}{2\pi\sigma_1^2(1-\rho^2)} \\
 e^{\frac{-1}{2\sigma^2(1-\rho^2)} \left(\frac{\alpha^2}{4} r_1^{\alpha-2} r_1^{\frac{\alpha}{2}} - \rho \frac{\alpha\alpha}{2\sigma^2} r_1^{\frac{\alpha}{2}-1} r_2^{\frac{\alpha}{2}-1} r_1 r_2 + \frac{\alpha^2}{4} r_2^{\alpha-2} r_2^{\frac{\alpha}{2}} \right)} = \frac{r}{\sigma^4 (1-r^2)} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\frac{r}{2\sigma^2 (1-r^2)} \right)^{2i_1} \frac{1}{(i_1!)^2} \\
 \frac{\alpha^4}{16} r_1^{\alpha-2} r_2^{\alpha-2} r_1^{\alpha i_1 + \frac{\alpha}{2}} r_2^{\alpha i_1 + \frac{\alpha}{2}} e^{\frac{-r_1^2+r_2^2}{2\sigma^2(1-r^2)}} \frac{1}{2\pi\sigma_1^2(1-\rho^2)} \\
 e^{\frac{-1}{2\sigma^2(1-\rho^2)} \left(\frac{\alpha^2}{4} r_1^{\alpha-2} r_1^{\frac{\alpha}{2}} - \rho \frac{\alpha\alpha}{2\sigma^2} r_1^{\frac{\alpha}{2}-1} r_2^{\frac{\alpha}{2}-1} r_1 r_2 + \frac{\alpha^2}{4} r_2^{\alpha-2} r_2^{\frac{\alpha}{2}} \right)} \quad (3.164)
 \end{aligned}$$

Relacije između $r_1 r_2 r_1^i r_2^i$ i $c_1 c_2 c_1^i c_2^i$ su:

$$c_1 = \log(1 + r_1^2) \quad (3.165)$$

$$c_2 = \log(1 + r_2^2) \quad (3.166)$$

$$r_1 = (e^{c_1} - 1)^{1/2} \quad (3.167)$$

$$r_2 = (e^{c_2} - 1)^{1/2} \quad (3.168)$$

$$c_1^i = \frac{2r_1}{1+r_1^2} r_1^i \quad (3.169)$$

$$c_2^i = \frac{2r_2}{1+r_2^2} r_2^i \quad (3.170)$$

$$r_1^i = \frac{1}{2} (e^{c_1} - 1)^{-1/2} e^{c_1} c_1^{i-2} \quad (3.171)$$

$$r_2^i = \frac{1}{2} (e^{c_2} - 1)^{-1/2} e^{c_2} c_2^{i-2} \quad (3.172)$$

Združena gustina verovatnoće od $c_1 c_2 c_1^i c_2^i$ je:

$$\begin{aligned}
 p_{c_1 c_2 c_1^i c_2^i} (c_1 c_2 c_1^i c_2^i) = \\
 = |J| p_{r_1 r_2 r_1^i r_2^i} \left((e^{c_1} - 1)^{1/2}, (e^{c_2} - 1)^{1/2}, \frac{1}{2} (e^{c_1} - 1)^{-1/2} e^{c_1} c_1^i, \frac{1}{2} (e^{c_2} - 1)^{-1/2} e^{c_2} c_2^i \right) \quad (3.173)
 \end{aligned}$$

$$I = \frac{e^{2c_1} e^{2c_2}}{16(e^{c_1}-1)(e^{c_2}-1)} \quad (3.174)$$

Zamenom (3.143) u (3.142) se dobija [70]:

$$p_{c_1 c_2 c_1 c_2}(c_1 c_2 c_1 c_2) = \frac{e^{2c_1} e^{2c_2}}{16(e^{c_1}-1)(e^{c_2}-1)} \frac{r}{\sigma^4(1-r^2)} \frac{\alpha^4}{16} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\frac{r}{2\sigma^2(1-r^2)} \right)^{2i_1} \frac{1}{(i_1!)^2} \\ (e^{c_1}-1)^{\frac{1}{2}(\alpha i_1 + \frac{\alpha}{2} + \alpha - 2)} (e^{c_2}-1)^{\frac{1}{2}(\alpha i_1 + \frac{\alpha}{2} + \alpha - 2)} e^{\frac{-1}{2\sigma^2(1-\rho^2)} \left((e^{c_1}-1)^{\frac{\alpha}{2}} + (e^{c_2}-1)^{\frac{\alpha}{2}} \right)} \frac{1}{2\pi\sigma_1^2(1-\rho^2)} \\ e^{\frac{-\alpha^2}{\sigma^2(1-r^2)} \left((e^{c_1}-1)^{\frac{1}{2}} (e^{c_1}-1)^{-\frac{1}{4}} e^{2c_1} c_1^{\frac{1}{2}} + \rho \frac{1}{2} (e^{c_1}-1)^{\frac{-1}{2}} e^{c_1} \frac{1}{2} (e^{c_2}-1)^{\frac{-1}{2}} e^{c_2} c_1 c_2 + \frac{1}{4} \left((e^{c_2}-1)^{-1} e^{2c_2} c_2^2 \right) \right)} \quad (3.175)$$

Neka je:

$$y = f(c_1 c_2 c_1 c_2) \quad (3.176)$$

Gustina verovatnoće je:

$$p_y(y/c_2 c_1 c_2) = \left| \frac{dc_1}{dy} \right| w_{c_1}(f^{-1}(c_2 c_1 c_2)) \quad (3.177)$$

$$p_y(y) = \int_0^\infty d_{c_2} \int_0^\infty d_{c_1} \int_0^\infty d_{c_2} p_y(y/c_2 c_1 c_2) p_{c_1 c_2 c_1 c_2}(c_1 c_2 c_1 c_2) \quad (3.178)$$

Gustina verovatnoće osnih intervala:

$$p_x(x) = k p_{c_1 c_2 c_1 c_2}(c_1 c_2 c_1 c_2) \quad (3.179)$$

Srednji broj osnih preseka je:

$$N_1 = \int_0^\infty d_{c_1} \int_0^\infty d_{c_2} c_1 c_2 p_{c_1 c_2 c_1 c_2}(c_1 c_2 c_1 c_2) \quad (3.180)$$

$$N_2 = \int_0^\infty d_{c_1} \int_0^\infty d_{c_2} c_1 c_2 p_{c_1 c_2 c_1 c_2}(c_1 c_2 c_1 c_2) \quad (3.181)$$

$$N_3 = \int_0^\infty d_{c_1} \int_0^\infty d_{c_2} c_1^2 c_2^2 p_{c_1 c_2 c_1 c_2}(c_1 c_2 c_1 c_2) \quad (3.182)$$

$$N_4 = \int_0^\infty d_{c_1} \int_0^\infty d_{c_2} \int_0^\infty d_{c_1} \int_0^\infty d_{c_2} c_1 c_2 c_1 c_2 p_{c_1 c_2 c_1 c_2}(c_1 c_2 c_1 c_2) \quad (3.183)$$

$$N_5 = \int_0^\infty d_{c_1} \int_0^\infty d_{c_2} c_1^2 c_2^2 p_{c_1 c_2 c_1 c_2}(c_1 c_2 c_1 c_2) \quad (3.184)$$

$$N_6 = \int_0^\infty d_{c_1} \int_0^\infty d_{c_2} \int_0^\infty d_{c_1} \int_0^\infty d_{c_2} c_1^2 c_2^2 c_1^2 c_2^2 p_{c_1 c_2 c_1 c_2}(c_1 c_2 c_1 c_2) \quad (3.185)$$

$$N_7 = \int_0^\infty d_{c_1} \int_0^\infty d_{c_2} \int_0^\infty d_{c_1} c_1 c_2 c_1 p_{c_1 c_2 c_1 c_2}(c_1 c_2 c_1 c_2) \quad (3.186)$$

$$N_8 = \int_0^\infty d_{c_1} \int_0^\infty d_{c_2} \int_0^\infty d_{c_1} \int_0^\infty d_{c_2} c_1^p c_2^q c_1^n c_2^m p_{c_1 c_2 c_1 c_2}(c_1 c_2 c_1 c_2) c_1 c_2 c_1 \quad (3.187)$$

4. NEKE TRANSFORMACIJE RASPODELE

Razmatra se transformacija $(k-\mu)$ slučajne promenljive [14], [100], formira se slučajna promenljiva koja je dobijena kvadriranjem $(k-\mu)$ slučajne promenljive. Za ovu kvadriranu $(k-\mu)$ slučajnu promenljivu izračuna se:

- gustina verovatnoće,
- kumulativna gustina verovatnoće,
- karakteristična funkcija,
- prvi, drugi i treći moment.

Onda, se odredi združena gustina verovatnoće kvadrirane $(k-\mu)$ nasumične varijable i njen I izvod. Pomoću ove združene gustine verovatnoće kvadrirane $(k-\mu)$ nasumične varijable, izračuna se srednja vrednost osnih preseka kvadrirane $(k-\mu)$ nasumične varijable i on je jednak srednjem broju I izvoda kvadrirane $(k-\mu)$ nasumične varijable. Kvadrirana $(k-\mu)$ slučajna promenljiva se posmatra u dva trenutka vremena i odredi se:

- združena kumulativna verovatnoća,
- združena karakteristična funkcija,
- združeni prvi, drugi, treći moment i n-ti moment.

Analiziraju se tri kvadrirane $(k-\mu)$ slučajne promenljive i za njih se odredi:

- združena gustinu verovatnoće,
- združenu kumulativnu verovatnoću,
- združenu karakterističnu funkciju,
- združeni prvi, drugi, treći i četvrti produktni moment.

Odredi se združena gustina verovatnoće za tri kvadrirane $(k-\mu)$ slučajne promenljive, kao i njihov prvi izvod.

U narednom proračunu, razmatra se kvadrirana $(k-\mu)$ slučajna promenljiva koja se dobija na taj način što se $(k-\mu)$ slučajna promenljiva stepenuje na treći. Transformacionom metodom, se za slučajnu promenljivu $(k-\mu)$ koja je stepenovana na treći se dobija:

- gustina verovatnoće,
- kumulativna gustina verovatnoće,
- karakteristična funkcija,
- prvi, drugi, treći i četvrti moment.

Moguće je odrediti **moment** n -tog reda stepenovane $(k-\mu)$ slučajne promenljive na treći. Zato je, potrebno odrediti za stepenovanu $(k-\mu)$ slučajnu promenljivu na treći i odrediti:

- združenu gustinu verovatnoće, i
- prvi izvod.

Koristeći sračunatu združenu gustinu verovatnoće, odredi se srednji broj osnih preseka stepenovanog $(k-\mu)$ slučajnog procesa na treći i on je jednak srednjoj vrednosti prvog izvoda stepenovanog $(k-\mu)$ slučajnog procesa na treći. Stepenovani $(k-\mu)$ slučajni proces na treći se razmatra u dva trenutka vremena i odredi se za stepenovanu $(k-\mu)$ slučajnu promenljivu na treći u dva trenutka vremena:

- združena gustina verovatnoće stepenovane,
- združena kumulativna verovatnoća stepenovane,
- združena karakteristična funkcija,
- združen prvi, drugi i treći moment.

Stepenovana $(k-\mu)$ slučajna promenljiva, na treći, posmatra se u tri trenutka vremena i za stepenovanu $(k-\mu)$ slučajnu promenljivu na treći u tri trenutka vremena, se nakon toga doredi:

1.
 - združena **gustina verovatnoće**,
 - združena **kumulativna verovatnoća**,
 - združena **karakteristična funkcija**,
 - združeni **prvi, drugi i treći produktni moment**.

Sledeći proračunu predstavlja razmatranje stepenovane $(k-\mu)$ slučajne promenljive na treći u četiri trenutka vremena, i na osnovu toga za stepenovanu $(k-\mu)$ slučajnu promenljivu na treći u četiri trenutka vremena se odredi:

1.
 - združena **gustina verovatnoće**,
 - združena **kumulativna verovatnoća**,
 - združena **karakteristična funkcija**,
 - združeni **prvi, drugi i treći moment**.

$(k-\mu)$ slučajna promenljiva ima dva parametra.

Gustina verovatnoće od (x) je:

$$p_x(x) = \frac{2\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{\frac{k\mu}{2}} \Gamma(\frac{\mu+1}{2})} \sum_{i=0}^{\infty} \left(\mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{n}} \right)^{2i+\mu-1} \frac{1}{i! \Gamma(i+\mu)} x^{2i+2\mu-1} e^{-\frac{\mu(k+1)}{n} x^2}, x \geq 0 \quad (4.1)$$

Neka je:

$$y = x^2 \quad (4.2)$$

$$x = y^{\frac{1}{2}} \quad (4.3)$$

gde je:

$$\frac{dx}{dy} = \frac{1}{2} y^{-\frac{1}{2}} \quad (4.4)$$

Uslovna gustina verovatnoće je [60], [61]:

$$p_y(y) = \left| \frac{dx}{dy} \right| p_x \left(y^{\frac{1}{2}} \right) \quad (4.5)$$

Gustina verovatnoće od (y) je [102]:

$$p_y(y) = \frac{1}{2} y^{-\frac{1}{2}} \frac{2\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{k\mu} \Omega^{\frac{\mu+1}{2}}} \sum_{i=0}^{\infty} \left(\mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{\Omega}} \right)^{2i+\mu-1} \frac{1}{i! \Gamma(i+\mu)} x^{2i+2\mu-1} y^{i+\mu-\frac{1}{2}} e^{-\frac{\mu(k+1)}{\Omega} y} =$$

$$\frac{\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{k\mu} \Omega^{\frac{\mu+1}{2}}} \sum_{i=0}^{\infty} \left(\mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{\Omega}} \right)^{2i+\mu-1} \frac{1}{i! \Gamma(i+\mu)} y^{i+\mu-1} e^{-\frac{\mu(k+1)}{\Omega} y} \quad (4.6)$$

Neka je:

$$y = e^x \quad (4.7)$$

$$x = l_n y \quad (4.8)$$

gde je:

$$\frac{dx}{dy} = \frac{1}{y} \quad (4.9)$$

Uslovna gustina verovatnoće je:

$$p_y(y) = \left| \frac{dx}{dy} \right| p_x(l_n y) \quad (4.10)$$

Gustina verovatnoće od (y) je [59]:

$$p_y(y) = \frac{1}{y} \frac{2\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{k\mu} \Omega^{\frac{\mu+1}{2}}} \sum_{i=0}^{\infty} \left(\mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{\Omega}} \right)^{2i+\mu-1} \frac{1}{i! \Gamma(i+\mu)} (l_n y)^{2i+2\mu-1} e^{-\frac{\mu(k+1)}{\Omega} y} =$$

$$\frac{2\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{k\mu} \Omega^{\frac{\mu+1}{2}}} \sum_{i=0}^{\infty} \left(\mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{\Omega}} \right)^{2i+\mu-1} \frac{1}{i! \Gamma(i+\mu)} \frac{1}{y} (l_n y)^{2i+2\mu-1} e^{-\frac{\mu(k+1)}{\Omega} y} \quad (4.11)$$

Neka je:

$$y = l_n x \quad (4.12)$$

$$x = e^y \quad (4.13)$$

gde je:

$$\frac{d_x}{d_y} = e^y \quad (4.14)$$

Uslovna gustina verovatnoće je [6], [100]:

$$p_y(y) = \left| \frac{d_x}{d_y} \right| p_x(e^y) \quad (4.15)$$

Gustina verovatnoće od (y) je:

$$p_y(y) = e^y \frac{2\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{k\mu} \Omega^{\frac{\mu+1}{2}}} \sum_{i=0}^{\infty} \left(\mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{\Omega}} \right)^{2i+\mu-1} \frac{1}{i! \Gamma(i+\mu)} e^{2iy+\mu y-y+y} e^{-\frac{\mu(k+1)}{\Omega} e^{2y}}, y \geq 0 \quad (4.16)$$

Neka je:

$$y = x^n \quad (4.17)$$

$$x = y^{\frac{1}{n}} \quad (4.18)$$

gde je:

$$\frac{d_x}{d_y} = \frac{1}{n} y^{\frac{1}{n}-1} \quad (4.19)$$

Uslovna gustina verovatnoće je:

$$p_y(y) = \left| \frac{d_x}{d_y} \right| p_x\left(y^{\frac{1}{n}}\right) \quad (4.20)$$

Gustina verovatnoće od (y) je:

$$p_y(y) = \frac{1}{n} y^{\frac{1}{n}-1} \frac{2\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{k\mu} \Omega^{\frac{\mu+1}{2}}} \sum_{i=0}^{\infty} \left(\mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{\Omega}} \right)^{2i+\mu-1} \frac{1}{i! \Gamma(i+\mu)} \left(y^{\frac{1}{n}}\right)^{2i+\mu-1} e^{-\frac{\mu(k+1)}{\Omega} y^{\frac{2}{n}}} =$$

$$\frac{2\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{k\mu} \Omega^{\frac{\mu+1}{2}}} \sum_{i=0}^{\infty} \left(\mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{\Omega}} \right)^{2i+\mu-1} \frac{1}{i! \Gamma(i+\mu)} y^{\frac{2i}{n} + \frac{\mu}{n} + \frac{1}{n} - 1} e^{-\frac{\mu(k+1)}{\Omega} y^{\frac{2}{n}}} \quad (4.21)$$

Neka je:

$$y = x^5 \quad (4.22)$$

$$x = y^{\frac{1}{5}} \quad (4.23)$$

gde je:

$$\frac{dx}{dy} = \frac{1}{5} y^{\frac{1}{5}-1} = \frac{1}{5} y^{-\frac{4}{5}} = \frac{1}{5\sqrt[5]{y^4}} \quad (4.24)$$

Uslovna gustina verovatnoće je [103]:

$$p_y(y) = \left| \frac{dx}{dy} \right| p_x \left(y^{\frac{1}{5}} \right) \quad (4.25)$$

Gustina verovatnoće od (y) je:

$$p_y(y) = \frac{1}{5\sqrt[5]{y^4}} \frac{2\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{k\mu} n^{\frac{\mu+1}{2}}} \sum_{i=0}^{\infty} \left(\mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{n}} \right)^{2i+\mu-1} \frac{1}{i! \Gamma(i+\mu)} y^{\frac{1}{5}(2i+\mu-1)} e^{-\frac{\mu(k+1)}{n}} y^{\frac{\mu}{5}} \quad (4.26)$$

Neka je:

$$y = \frac{x+1}{x+2} \quad (4.27)$$

$$yx + 2y = x + 1 \quad (4.28)$$

$$yx - x = 1 - 2y \quad (4.29)$$

$$x = \frac{1-2y}{y-1} \quad (4.30)$$

gde je:

$$\frac{dx}{dy} = \frac{-2(y-1) - (1-2y)}{(y-1)^2} = \frac{1}{(y-1)^2} \quad (4.31)$$

Uslovna gustina verovatnoće je:

$$p_y(y) = \left| \frac{dx}{dy} \right| p_x \left(\frac{1-2y}{y-1} \right) = \frac{1}{(y-1)^2} p_x \left(\frac{1-2y}{y-1} \right) \quad (4.32)$$

Gustina verovatnoće od (y) je:

$$p_y(y) = \frac{1}{(y-1)^2} \frac{2\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{k\mu} \Omega^{\frac{\mu+1}{2}}} \sum_{i=0}^{\infty} \left(\mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{\Omega}} \right)^{2i+\mu-1} \frac{1}{i! \Gamma(i+\mu)} \left(\frac{1-2y}{y-1} \right)^{2i+\mu-1} e^{\frac{-\mu(k+1)}{\Omega} \left(\frac{1-2y}{y-1} \right)^2} =$$

$$\frac{2\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{k\mu} \Omega^{\frac{\mu+1}{2}}} \sum_{i=0}^{\infty} \left(\mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{\Omega}} \right)^{2i+\mu-1} \frac{1}{i! \Gamma(i+\mu)} \frac{1}{(y-1)^2} \left(\frac{1-2y}{y-1} \right)^{2i+\mu-1} e^{\frac{-\mu(k+1)}{\Omega} \left(\frac{1-2y}{y-1} \right)^2} \quad (4.33)$$

Neka je:

$$y = \frac{x^2+1}{x+1} \quad (4.34)$$

$$yx + y = x^2 + 1 \quad (4.35)$$

$$x^2 - yx - y + 1 = 0 \quad (4.36)$$

$$x^2 - yx - (y-1) = 0 \quad (4.37)$$

$$x_{1/2} = \frac{y \pm \sqrt{y^2 - 4y - 4}}{2} \quad (4.38)$$

$$x = \frac{y + \sqrt{y^2 - 4y - 4}}{2} \quad (4.39)$$

gde je:

$$\frac{dx}{dy} = \frac{1}{2} + \frac{1}{4} (y^2 + 4y - 4)^{-\frac{1}{2}} (2y + 4) \quad (4.40)$$

Uslovna gustina verovatnoće je:

$$p_y(y) = \left| \frac{dx}{dy} \right| p_x \left(\frac{y + \sqrt{y^2 - 4y - 4}}{2} \right) \quad (4.41)$$

Gustina verovatnoće od (y) je:

$$p_y(y) = \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{4} (y^2 - 4y - 4)^{-\frac{1}{2}} (2y + 4) \right)$$

$$\frac{2\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{k\mu} \Omega^{\frac{\mu+1}{2}}} \sum_{i=0}^{\infty} \left(\mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{\Omega}} \right)^{2i+\mu-1} \frac{1}{i! \Gamma(i+\mu)} \left(\frac{y + \sqrt{y^2 - 4y - 4}}{2} \right)^{2i+\mu-1} \quad (4.42)$$

$$p_y(y) = \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{4} (y^2 - 4y - 4)^{-1/2} (2y + 4) \right)$$

$$\begin{aligned}
& \frac{2\mu(k+1)^{\frac{\mu+1}{2}}}{k^{\frac{\mu-1}{2}} e^{k\mu} \Omega^{\frac{\mu+1}{2}}} \sum_{i=0}^{\infty} \left(\mu \sqrt{\frac{k(k+1)}{\Omega}} \right)^{2i+\mu-1} \\
& \frac{1}{i! \Gamma(i+\mu)} \left(\frac{y + \sqrt{y^2 - 4y - 4}}{2} \right)^{2i+\mu-1} e^{-\frac{\mu(k+1)}{\Omega} \left(\frac{y + \sqrt{y^2 - 4y - 4}}{2} \right)^2} \\
& p_{x_1}(x_1) = \frac{2\mu_1(k_1+1)^{\frac{\mu_1+1}{2}}}{k_1^{\frac{\mu_1-1}{2}} e^{k_1\mu_1} \Omega_1^{\frac{\mu_1+1}{2}}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\mu_1 \sqrt{\frac{k_1(k_1+1)}{\Omega_1}} \right)^{2i_1+\mu_1-1} \\
& \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+\mu_1)} x_1^{2i_1+2\mu_1-1} e^{-\frac{\mu_1(k_1+1)}{\Omega_1} x_1^2}, x_1 \geq 0
\end{aligned} \tag{4.43}$$

$$\begin{aligned}
& p_{x_2}(x_2) = \frac{2\mu_2(k_2+1)^{\frac{\mu_2+1}{2}}}{k_2^{\frac{\mu_2-1}{2}} e^{k_2\mu_2} \Omega_2^{\frac{\mu_2+1}{2}}} \sum_{i_2=0}^{\infty} \left(\mu_2 \sqrt{\frac{k_2(k_2+1)}{\Omega_2}} \right)^{2i_2+\mu_2-1} \\
& \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2+\mu_2)} x_2^{2i_2+2\mu_2-1} e^{-\frac{\mu_2(k_2+1)}{\Omega_2} x_2^2}, x_2 \geq 0
\end{aligned} \tag{4.44}$$

Razmatraju se dve slučajne promenljive (x_1) i (x_2) i na osnovu njih određuje se:

$$x = x_1 x_2 \tag{4.45}$$

$$x_1 = \frac{x}{x_2} \tag{4.46}$$

Neka je:

$$\begin{aligned}
& p_{x_1}(x_1) = \frac{2\mu_1(k_1+1)^{\frac{\mu_1+1}{2}}}{k_1^{\frac{\mu_1-1}{2}} e^{k_1\mu_1} \Omega_1^{\frac{\mu_1+1}{2}}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\mu_1 \sqrt{\frac{k_1(k_1+1)}{\Omega_1}} \right)^{2i_1+\mu_1-1} \\
& \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+\mu_1)} x_1^{2i_1+2\mu_1-1} e^{-\frac{\mu_1(k_1+1)}{\Omega_1} x_1^2}, x_1 \geq 0
\end{aligned} \tag{4.47}$$

$$\begin{aligned}
& p_{x_2}(x_2) = \frac{2\mu_2(k_2+1)^{\frac{\mu_2+1}{2}}}{k_2^{\frac{\mu_2-1}{2}} e^{k_2\mu_2} \Omega_2^{\frac{\mu_2+1}{2}}} \sum_{i_2=0}^{\infty} \left(\mu_2 \sqrt{\frac{k_2(k_2+1)}{\Omega_2}} \right)^{2i_2+\mu_2-1} \\
& \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2+\mu_2)} x_2^{2i_2+2\mu_2-1} e^{-\frac{\mu_2(k_2+1)}{\Omega_2} x_2^2}, x_2 \geq 0
\end{aligned} \tag{4.48}$$

Uslovna gustina verovatnoće je:

$$p_x(x/x_2) = \left| \frac{d_{x_1}}{d_x} \right| p_{x_1} \left(\frac{x}{x_2} \right) \quad (4.49)$$

gde je:

$$\frac{d_{x_1}}{d_x} = \frac{1}{x_2} \quad (4.50)$$

Zamenom (3.50) u (3.49) se dobija:

$$p_x(x/x_2) = \frac{1}{x_2} p_{x_1} \left(\frac{x}{x_2} \right) \quad (4.51)$$

Gustina verovatnoće od (x) je:

$$\begin{aligned} p_x(x) &= \int_0^\infty d_{x_2} \frac{1}{x_2} p_{x_1} \left(\frac{x}{x_2} \right) p_{x_2}(x_2) = \\ &= \frac{2\mu_1(k_1+1)^{\frac{\mu_1+1}{2}}}{k_1^{\frac{\mu_1-1}{2}} e^{k_1\mu_1} \Omega_1^{\frac{\mu_1+1}{2}}} \sum_{i_1=0}^\infty \left(\mu_1 \sqrt{\frac{k_1(k_1+1)}{\Omega_1}} \right)^{2i_1+\mu_1-1} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+\mu_1)} \\ &= \frac{2\mu_2(k_2+1)^{\frac{\mu_2+1}{2}}}{k_2^{\frac{\mu_2-1}{2}} e^{k_2\mu_2} \Omega_2^{\frac{\mu_2+1}{2}}} \sum_{i_2=0}^\infty \left(\mu_2 \sqrt{\frac{k_2(k_2+1)}{\Omega_2}} \right)^{2i_2+\mu_2-1} \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2+\mu_2)} x^{2i_1+2\mu_1-1} \\ &= \int_0^\infty d_{x_2} x_2^{-1-2i_1-2\mu_1+1+2i_2+2\mu_2-1} e^{\frac{-\mu_1(k_1+1)x^2}{\Omega_1} - \frac{\mu_2(k_2+1)x^2}{\Omega_2}} \end{aligned} \quad (4.52)$$

Neka je:

$$x = \frac{x_1}{x_2} \quad (4.53)$$

$$x_1 = x x_2 \quad (4.54)$$

Uslovna gustina verovatnoće je [17]:

$$p_x(x/x_2) = \left| \frac{d_{x_1}}{d_x} \right| p_{x_1}(x x_2) \quad (4.55)$$

gde je:

$$\frac{d_{x_1}}{d_x} = \frac{1}{x_2} \quad (4.56)$$

Gustina verovatnoće od (x) je:

$$\begin{aligned}
p_x(x) &= \int_0^\infty d_{x_2} \frac{1}{x_2} p_{x_1}(xx_2) p_{x_2}(x_2) = \frac{2\mu_1(k_1+1)^{\frac{\mu_1+1}{2}}}{k_1^{\frac{\mu_1-1}{2}} e^{k_1\mu_1} \Omega_1^{\frac{\mu_1+1}{2}}} \sum_{i_1=0}^\infty \left(\mu_1 \sqrt{\frac{k_1(k_1+1)}{\Omega_1}} \right)^{2i_1+\mu_1-1} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+\mu_1)} \\
&\quad \frac{2\mu_2(k_2+1)^{\frac{\mu_2+1}{2}}}{k_2^{\frac{\mu_2-1}{2}} e^{k_2\mu_2} \Omega_2^{\frac{\mu_2+1}{2}}} \sum_{i_2=0}^\infty \left(\mu_2 \sqrt{\frac{k_2(k_2+1)}{\Omega_2}} \right)^{2i_2+\mu_2-1} \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2+\mu_2)} x^{2i_1+2\mu_1-1} \\
&\quad \int_0^\infty d_{x_2} x_2^{-1-2i_1-2\mu_1+1+2i_2+2\mu_2-1} e^{-\frac{\mu_1(k_1+1)}{\Omega_1}(xx_2)^2 - \frac{\mu_2(k_2+1)}{\Omega_2}x_2^2} = \\
&\quad \frac{2\mu_1(k_1+1)^{\frac{\mu_1+1}{2}}}{k_1^{\frac{\mu_1-1}{2}} e^{k_1\mu_1} \Omega_1^{\frac{\mu_1+1}{2}}} \sum_{i_1=0}^\infty \left(\mu_1 \sqrt{\frac{k_1(k_1+1)}{\Omega_1}} \right)^{2i_1+\mu_1-1} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+\mu_1)} \\
&\quad \frac{2\mu_2(k_2+1)^{\frac{\mu_2+1}{2}}}{k_2^{\frac{\mu_2-1}{2}} e^{k_2\mu_2} \Omega_2^{\frac{\mu_2+1}{2}}} \sum_{i_2=0}^\infty \left(\mu_2 \sqrt{\frac{k_2(k_2+1)}{\Omega_2}} \right)^{2i_2+\mu_2-1} \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2+\mu_2)} x^{2i_1+2\mu_1-1} \\
&\quad \int_0^\infty d_{x_2} x_2^{2i_1+2\mu_1+2i_2+2\mu_2-3} e^{-\left(\frac{\mu_1(k_1+1)}{\Omega_1}x^2 + \frac{\mu_2(k_2+1)}{\Omega_2}x_2^2\right)} x_2^2
\end{aligned} \tag{4.57}$$

Neka je:

$$x = x_1 + x_2 \tag{4.58}$$

$$x_1 = x - x_2 \tag{4.59}$$

Uslovna gustina verovatnoće je [104]:

$$p_x\left(\frac{x}{x_2}\right) = \left| \frac{d_{x_1}}{d_x} \right| p_{x_1}(x - x_2) \tag{4.60}$$

gde je:

$$\frac{d_{x_1}}{d_x} = 1 \tag{4.61}$$

Gustina verovatnoće od x je:

$$p_x\left(\frac{x}{x_2}\right) = p_{x_1}(x - x_2) \tag{4.62}$$

$$\begin{aligned}
p_x(x) &= \int_0^x d_{x_2} p_{x_1}(x-x_2) p_{x_2}(x_2) \\
&= \frac{2\mu_1(k_1+1)^{\frac{\mu_1+1}{2}}}{k_1^{\frac{\mu_1-1}{2}} e^{k_1\mu_1} \Omega_1^{\frac{\mu_1+1}{2}}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\mu_1 \sqrt{\frac{k_1(k_1+1)}{\Omega_1}} \right)^{2i_1+\mu_1-1} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+\mu_1)} \\
&\quad \frac{2\mu_2(k_2+1)^{\frac{\mu_2+1}{2}}}{k_2^{\frac{\mu_2-1}{2}} e^{k_2\mu_2} \Omega_2^{\frac{\mu_2+1}{2}}} \sum_{i_2=0}^{\infty} \left(\mu_2 \sqrt{\frac{k_2(k_2+1)}{\Omega_2}} \right)^{2i_2+\mu_2-1} \\
&\quad \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2+\mu_2)} \int_0^x d_{x_2} (x-x_2)^{2i_1+\mu_1-1} x_2^{2i_2+\mu_2-1} \\
&\quad e^{\frac{-\mu_1(k_1+1)}{\Omega_1}(x-x_2)^2 - \frac{\mu_2(k_2+1)}{\Omega_2} x_2^2}
\end{aligned} \tag{4.63}$$

4.1. Transformacije Nakagami-m slučajne promenljive

Nakagami-m nasumična varijabla poseduje 2 parametra[43], [52]. Prvi parametar je parametar (m), a drugi parametar je parametar (Ω) [4], [5].

Ovi parametri se mogu meriti na osnovu momenta Nakagami-m slučajnog procesa. Kada je (m) ceo broj, onda je kvadrat Nakagami - m slučajnog procesa jednak zbiru kvadrata nezavisnih Gausovih nasumičnih procesa, koji imaju srednju vrednost nula i istu varijansu. Na osnovu ove definicije za Nakagami-m slučajne promenljive izračuna se:

- gustina verovatnoće,
- pomoću nje izračuna se ¹ kumulativna verovatnoća ,
- zatim karakteristična funkcija ,
- prvi moment , drugi i treći moment.

Za Nakagami-m nasumične varijable odredi se združena gustina verovatnoće i I izvoda Nakagami-m nasumične varijable. Uz pomoć ove združene gustine verovatnoće odredi se srednji broj osnih preseka Nakagami - m slučajnog procesa. Nakagami-m varijabla i njen Iizvod su međusobno nezavisni[5].

I izvod Nakagami - m slučajne promenljive, poseduje Gausovu gustinu verovatnoće. Na osnovu toga je združena gustina verovatnoće Nakagami - m nasumične varijable i Iizvoda Nakagami - m nasumične varijable jednaka proizvodu Nakagami-m gustine verovatnoće i Gausove gustine verovatnoće. Srednja vrednost osnih preseka Nakagami-m nasumičnog procesa, može se izračunati kao srednji broj Iizvoda Nakagami-m nasumičnog procesa. Formiraju se dve sume kvadrata (2m) Gausovih slučajnih promenljivih. Ove Gausove slučajne promenljive su međusobno nezavisne. Na osnovu ovoga za dve Nakagami-m slučajne promenljive, odredi se [9]:

- ¹ združena gustina verovatnoće,
- združena kumulativna verovatnoća ,
- združena karakteristična funkcija,
- prvi moment , drugi i treći moment.

Takođe, moguće je za dve Nakagami-m slučajne promenljive izračunati:

- gustinu verovatnoće proizvoda,
- kumulativnu verovatnoću proizvoda,
- karakterističnu funkciju proizvoda,
- prvi , drugi i treći moment proizvoda

Neophodno je, izračunati i srednju vrednost osnih preseka proizvoda 2 Nakagami - m nasumične promenljive. Zatim se izračuna za dve Nakagami-m slučajne promenljive:

- združena gustina verovatnoće proizvoda, i
- prvog izvoda od proizvoda od dve Nakagami-m slučajne promenljive.

Srednja vrednost osnih preseka, se dobija kao srednji broj od I izvoda proizvoda dve Nakagami - m slučajne promenljive. Proizvod dve Nakagami-m slučajne promenljive se posmatra u dva trenutka vremena i na ovaj način formiraju se dve slučajne promenljive, Na osnovu ovoga se izračuna:

- združena ¹gustina verovatnoće,
- združena kumulativna verovatnoća,
- združena karakteristična funkcija,
- prvi moment, drugi i treći moment.

Zatim se, formira količnik dve Nakagami-m slučajne promenljive i izračuna:

- ¹gustina verovatnoće,
- kumulativna verovatnoća,
- karakteristična funkcija,
- prvi, drugi i treći moment.

Odredi se združena gustina verovatnoće količnika 2 Nakagami - m nasumične varijable i I izvoda količnika 2 Nakagami - m nasumične varijable. Uz pomoć združene gustine verovatnoće izračuna se srednja vrednost osnih preseka količnika dve Nakagami-m slučajne promenljive. Takođe, on se izračuna i kao srednja vrednost od I izvoda količnika dve Nakagami - m slučajne promenljive.

Razmatraju se tri slučajne promenljive, od kojih je svaka jednaka količniku dve Nakagami-m slučajne promenljive. Na osnovu ovoga, za tri količnika po dve Nakagami-m slučajne promenljive, odredi se:

- ¹združena gustina verovatnoće,
- združena kumulativna verovatnoća,
- združena karakteristična funkcija,
- prvi, drugi i treći moment.

Onda se analiziraju sledeće srednje vrednosti dve Nakagami-m slučajne promenljive:

- proizvoda količnika,

- kvadrata količnika,
- kuba količnika.
- proizvoda dva količnika i kvadrata,
- proizvoda količnika i dva kuba količnika
- proizvoda tri kuba količnika.

Odredi se za po dve Nakagami-m slučajne promenljive [24], [90]:

- združena gustina verovatnoće četiri količnika,
- združena kumulativna verovatnoća četiri količnika,
- združena karakteristična funkcija četiri količnika,
- prvi, drugi i treći moment četiri količnika po dve Nakagami - m nasumične varijable.

Nakagami - m nasumična varijabla (z) poseduje gustinu verovatnoće:

$$p_z(z) = \frac{2}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m z^{2m-1} e^{-\frac{m}{\Omega}z^2}, z \geq 0 \quad (4.64)$$

Neka je:

$$y = z^2 \quad (4.65)$$

$$z = y^{\frac{1}{2}} \quad (4.66)$$

¹ Gustina verovatnoće od (y) je:

$$p_y(y) = \left| \frac{dz}{dy} \right| p_z\left(y^{\frac{1}{2}}\right) \quad (4.67)$$

gde je :

$$\frac{dz}{dy} = \frac{1}{2} y^{-\frac{1}{2}} = \frac{1}{2\sqrt{y}} \quad (4.68)$$

Zamenom (4.68) u (4.67) se dobija:

$$p_y(y) = \frac{1}{2\sqrt{y}} p_z\left(y^{\frac{1}{2}}\right) = \frac{1}{2\sqrt{y}} \frac{2}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m \left(y^{\frac{1}{2}}\right)^{2m-1} e^{-\frac{m}{\Omega}y} = \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m y^{m-\frac{1}{2}-\frac{1}{2}} e^{-\frac{m}{\Omega}y} =$$

$$\frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m y^{m-1} e^{-\frac{m}{\Omega}y}, y \geq 0 \quad (4.69)$$

Neka je:

$$y = z^3 \quad (4.70)$$

$$z = y^{\frac{1}{3}} \quad (4.71)$$

Gustina verovatnoće od (y) je:

$$p_y(y) = \left| \frac{dz}{dy} \right| p_z \left(y^{\frac{1}{3}} \right) \quad (4.72)$$

gde je:

$$\frac{dz}{dy} = \frac{1}{3} y^{-\frac{2}{3}} \quad (4.73)$$

Zamenom se (4.73) u (4.72) dobija:

$$\begin{aligned} p_y(y) &= \frac{1}{3} y^{-\frac{2}{3}} p_z \left(y^{\frac{1}{3}} \right) = \frac{1}{3} y^{-\frac{2}{3}} \frac{2}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega} \right)^m \left(y^{\frac{1}{3}} \right)^{2m-1} e^{-\frac{m}{\Omega} \left(y^{\frac{1}{3}} \right)^3} \\ \frac{2}{3} \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega} \right)^m y^{\frac{2m-1}{3} - \frac{2}{3}} e^{-\frac{m}{\Omega} y^{\frac{2}{3}}} &= \frac{2}{3} \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega} \right)^m y^{\frac{2m}{3}-1} e^{-\frac{m}{\Omega} y^{\frac{2}{3}}} \end{aligned} \quad (4.74)$$

Moment (m_1) od (y) je:

$$\begin{aligned} m_1 = \hat{y} &= \int_0^\infty dy y p_y(y) = \int_0^\infty dy y \frac{2}{3} \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega} \right)^m y^{\frac{2m}{3}-1} e^{-\frac{m}{\Omega} y^{\frac{2}{3}}} = \frac{2}{3} \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega} \right)^m \\ &\int_0^\infty dy y^{\frac{2m}{3}} e^{-\frac{m}{\Omega} y^{\frac{2}{3}}} \end{aligned} \quad (4.75)$$

$$y^{\frac{2}{3}} = x \quad (4.76)$$

$$y = x^{\frac{3}{2}} \quad (4.77)$$

$$d_y = \frac{3}{2} x^{\frac{1}{2}} d_x \quad (4.78)$$

$$d_x = \frac{2}{3} y^{-\frac{1}{3}} d_y \quad (4.79)$$

Zamenom (4.77) i (4.78) u (4.75) se dobija:

$$\begin{aligned}
m_1 &= \frac{2}{3} \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m \int_0^\infty \frac{3}{2} x^{\frac{1}{2}} d_x \left(x^{\frac{2}{3}}\right)^{\frac{2}{3}m} e^{-\frac{m}{\Omega}x} = \\
&= \frac{2}{3} \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m \frac{3}{2} \int_0^\infty d_x x^{m+\frac{1}{2}} e^{-\frac{m}{\Omega}x} = \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m \left(\frac{\Omega}{m}\right)^{m+\frac{3}{2}} \Gamma\left(m+\frac{3}{2}\right) = \\
&= \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{\Omega}{m}\right)^{\frac{3}{2}} \Gamma\left(m+\frac{3}{2}\right)
\end{aligned} \tag{4.80}$$

Moment (m_2) od (y) je:

$$\begin{aligned}
m_2 &= y'^2 = \int_0^\infty d_y y^2 p_y(y) = \int_0^\infty d_y y^2 \frac{2}{3} \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m y^{\frac{2m}{3}-1} e^{-\frac{m}{\Omega}y^{\frac{2}{3}}} = \\
&= \frac{2}{3} \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m \int_0^\infty d_y y^{\frac{2m}{3}-1+2} e^{-\frac{m}{\Omega}y^{\frac{2}{3}}}
\end{aligned} \tag{4.81}$$

Uvodi se smena:

$$y^{\frac{2}{3}} = x \tag{4.82}$$

$$y = x^{\frac{3}{2}} \tag{4.83}$$

$$d_y = \frac{3}{2} x^{\frac{1}{2}} d_x \tag{4.84}$$

$$d_x = \frac{2}{3} y^{-\frac{1}{3}} d_y \tag{4.85}$$

Zamenom (4.83) i (4.84) u (4.81) se dobija:

$$\begin{aligned}
m_2 &= \frac{2}{3} \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m \int_0^\infty \frac{3}{2} x^{\frac{1}{2}} d_x \left(x^{\frac{2}{3}}\right)^{\frac{2}{3}m+1} e^{-\frac{m}{\Omega}x} = \\
&= \frac{3}{2} \int_0^\infty d_x x^{m+\frac{3}{2}+\frac{1}{2}} e^{-\frac{m}{\Omega}x} = \frac{3}{2} \int_0^\infty d_x x^{m+2+1-1} e^{-\frac{m}{\Omega}x} = \\
&= \frac{3}{2} \left(\frac{\Omega}{m}\right)^{m+3} \Gamma(m+3)
\end{aligned} \tag{4.86}$$

Moment (m_3) od (y) je:

$$m_3 = y'^3 = \int_0^\infty d_y y^3 p_y(y) = \int_0^\infty d_y y^{\frac{2}{3}} \frac{1}{\frac{2}{3} \Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m y^{\frac{2m}{3}-1} e^{\frac{-m}{\Omega} y^{\frac{2}{3}}} \quad (4.87)$$

Uvodi se smena:

$$y^{\frac{2}{3}} = x \quad (4.88)$$

$$y = x^{\frac{3}{2}} \quad (4.89)$$

$$d_y = \frac{3}{2} x^{\frac{1}{2}} d_x \quad (4.90)$$

$$d_x = \frac{2}{3} y^{\frac{-1}{3}} d_y \quad (4.91)$$

Zamenom (4.89) i (4.90) u (4.87) se dobija:

$$\begin{aligned} m_3 &= \frac{2}{3} \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m \int_0^\infty d_y y^{\frac{2}{3}m-1+3} e^{\frac{-m}{\Omega} y^{\frac{2}{3}}} = \\ &= \frac{2}{3} \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m \int_0^\infty d_y y^{\frac{2}{3}m+2} e^{\frac{-m}{\Omega} y^{\frac{2}{3}}} = \\ &= \frac{2}{3} \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m \int_0^\infty \frac{3}{2} x^{\frac{1}{2}} d_x \left(x^{\frac{3}{2}}\right)^{\frac{2}{3}m+2} e^{\frac{-m}{\Omega} x} = \\ &= \frac{2}{3} \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m \frac{3}{2} \int_0^\infty d_x x^{\frac{1}{2}+m+3} e^{\frac{-m}{\Omega} x} = \\ &= \frac{3}{2} \int_0^\infty d_x x^{m+\frac{7}{2}+1-1} e^{\frac{-m}{\Omega} x} = \frac{3}{2} \int_0^\infty d_x x^{m+\frac{9}{2}-1} e^{\frac{-m}{\Omega} x} = \\ &= \frac{2}{3} \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m \left(\frac{\Omega}{m}\right)^{m+\frac{9}{2}} \Gamma\left(m+\frac{9}{2}\right) \end{aligned} \quad (4.92)$$

Moment (m_4) od (y) je:

$$m_4 = y'^4 = \int_0^\infty d_y y^4 p_y(y) = \int_0^\infty d_y y^{4\frac{2}{3}} \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m y^{\frac{2m}{3}-1} e^{-\frac{m}{\Omega} y^{\frac{2}{3}}} =$$

$$\frac{2}{3} \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m \int_0^\infty d_y y^{\frac{2m}{3}-1+4} e^{-\frac{m}{\Omega} y^{\frac{2}{3}}} = \frac{2}{3} \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m \int_0^\infty d_y y^{\frac{2m}{3}+3} e^{-\frac{m}{\Omega} y^{\frac{2}{3}}} \quad (4.93)$$

Uvodi se smena:

$$y^{\frac{2}{3}} = x \quad (4.94)$$

$$y = x^{\frac{3}{2}} \quad (4.95)$$

$$d_y = \frac{3}{2} x^{\frac{1}{2}} d_x \quad (4.96)$$

$$d_x = \frac{2}{3} y^{-\frac{1}{3}} d_y \quad (4.97)$$

Zamenom (4.95) i (4.96) u (4.93) se dobija:

$$m_4 = \frac{2}{3} \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m \int_0^\infty \frac{3}{2} x^{\frac{1}{2}} d_x \left(x^{\frac{3}{2}}\right)^{\frac{2}{3}m+3} e^{-\frac{m}{\Omega} x} = \frac{2}{3} \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m \frac{3}{2} \int_0^\infty d_x x^{m+\frac{3}{2}+\frac{1}{2}} e^{-\frac{m}{\Omega} x} =$$

$$\frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m \int_0^\infty d_x x^{m+5} e^{-\frac{m}{\Omega} x} = \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m \left(\frac{\Omega}{m}\right)^{m+6} \Gamma(m+6) = \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{\Omega}{m}\right)^6 \Gamma(m+6) \quad (4.98)$$

Moment (m_5) je:

$$m_5 = y'^5 = \int_0^\infty d_y y^5 p_y(y) = \int_0^\infty d_y y^{5\frac{2}{3}} \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m y^{\frac{2m}{3}-1} e^{-\frac{m}{\Omega} y^{\frac{2}{3}}} =$$

$$\frac{2}{3} \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m \int_0^\infty d_y y^{\frac{2m}{3}-1+5} e^{-\frac{m}{\Omega} y^{\frac{2}{3}}} = \frac{2}{3} \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m \int_0^\infty d_y y^{\frac{2m}{3}+4} e^{-\frac{m}{\Omega} y^{\frac{2}{3}}} \quad (4.99)$$

Uvodi se smena:

$$y^{\frac{2}{3}} = x \quad (4.100)$$

$$y = x^{\frac{3}{2}} \quad (4.101)$$

$$d_y = \frac{3}{2} x^{\frac{1}{2}} d_x \quad (4.102)$$

$$d_x = \frac{2}{3} y^{-\frac{1}{3}} d_y \quad (4.103)$$

Zamenom (4.101) i (4.102) u (4.99) se dobija [46]:

$$\begin{aligned}
 m_5 &= \frac{2}{3} \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m \int_0^\infty \frac{3}{2} x^{\frac{1}{2}} d_x \left(x^{\frac{3}{2}}\right)^{\frac{2}{3}m+4} e^{\frac{-m}{\Omega}x} = \frac{2}{3} \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m \frac{3}{2} \int_0^\infty d_x x^{m+6+\frac{1}{2}} e^{\frac{-m}{\Omega}x} = \\
 &= \frac{2}{3} \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m \frac{3}{2} \int_0^\infty d_x x^{m+\frac{13}{2}} e^{\frac{-m}{\Omega}x} = \frac{2}{3} \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m \left(\frac{\Omega}{m}\right)^{m+\frac{15}{2}} \Gamma\left(m+\frac{15}{2}\right) = \\
 &= \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{\Omega}{m}\right)^{\frac{15}{2}} \Gamma\left(m+\frac{15}{2}\right)
 \end{aligned} \tag{4.104}$$

Neka je:

$$y^{\frac{3}{2}} = x \tag{4.105}$$

$$y = x^{\frac{2}{3}} \tag{4.106}$$

$$d_y = \frac{5}{2} x^{\frac{2}{3}} d_x \tag{4.107}$$

$$d_x = \frac{2}{5} y^{\frac{-1}{2}} d_y \tag{4.108}$$

Moment (m_1) je:

$$\begin{aligned}
 m_1 &= \dot{y} = \int_0^\infty d_y y p_y(y) = \int_0^\infty d_y y \frac{2}{5} \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m y^{\frac{2m}{3}-\frac{2}{3}} e^{\frac{-m}{\Omega}y^{\frac{3}{2}}} = \frac{2}{5} \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m \\
 &= \int_0^\infty d_y y^{\frac{2m}{3}-\frac{2}{3}+1} e^{\frac{-m}{\Omega}y^{\frac{3}{2}}} = \frac{2}{5} \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m \int_0^\infty d_y y^{\frac{2m}{3}-\frac{2}{3}+2-1} e^{\frac{-m}{\Omega}y^{\frac{3}{2}}} = \\
 &= \frac{2}{5} \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m \int_0^\infty d_y y^{\frac{2m}{3}+\frac{3}{3}-1} e^{\frac{-m}{\Omega}y^{\frac{3}{2}}} = \frac{2}{5} \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m \int_0^\infty d_y y^{\frac{2m}{3}+\frac{3}{3}} e^{\frac{-m}{\Omega}y^{\frac{3}{2}}}
 \end{aligned} \tag{4.109}$$

Neka je:

$$y^{\frac{3}{2}} = x \tag{4.110}$$

$$y = x^{\frac{2}{3}} \tag{4.111}$$

$$d_y = \frac{5}{2} x^{\frac{2}{3}} d_x \tag{4.112}$$

$$d_x = \frac{2}{5} y^{\frac{-1}{5}} d_y \quad (4.113)$$

Moment (m_1) je:

$$\begin{aligned} m_1 &= \frac{2}{5} \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m \int_0^\infty \frac{5}{2} x^{\frac{5}{2}} d_x \left(x^{\frac{5}{2}}\right)^{\frac{2}{5}m+\frac{3}{5}} e^{\frac{-m}{\Omega}x} = \\ &= \frac{2}{5} \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m \frac{5}{2} \int_0^\infty d_x x^{\frac{5}{2}+m+\frac{3}{2}} e^{\frac{-m}{\Omega}x} = \frac{5}{2} \int_0^\infty d_x x^{m+3} e^{\frac{-m}{\Omega}x} = \frac{5}{2} \left(\frac{\Omega}{m}\right)^{m+4} \Gamma(m+4) \end{aligned} \quad (4.114)$$

Moment (m_2) je:

$$\begin{aligned} m_2 &= y'^2 = \int_0^\infty d_y y^2 p_y(y) = \int_0^\infty d_y y^2 \frac{2}{5} \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m y^{\frac{2m-5}{5}+2} e^{\frac{-m}{\Omega}y^{\frac{5}{2}}} = \frac{2}{5} \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m \\ &\int_0^\infty d_y y^{\frac{2m-5}{5}+2} e^{\frac{-m}{\Omega}y^{\frac{5}{2}}} \end{aligned} \quad (4.115)$$

Uvodi se smena:

$$y^{\frac{5}{2}} = x \quad (4.116)$$

$$y = x^{\frac{2}{5}} \quad (4.117)$$

$$d_y = \frac{5}{2} x^{\frac{3}{5}} d_x \quad (4.118)$$

$$d_x = \frac{2}{5} y^{\frac{-5}{2}} d_y \quad (4.119)$$

Zamenom (4.117) i (4.118) u (4.115) se dobija:

$$\begin{aligned} m_2 &= \frac{2}{5} \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m \int_0^\infty \frac{5}{2} x^{\frac{3}{5}} d_x \left(x^{\frac{2}{5}}\right)^{\frac{2}{5}m-\frac{3}{5}} e^{\frac{-m}{\Omega}x} = \\ &= \frac{2}{5} \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m \frac{5}{2} \int_0^\infty d_x x^{m+\frac{3}{5}-4} e^{\frac{-m}{\Omega}x} = \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m \int_0^\infty d_x x^{m-\frac{5}{5}} e^{\frac{-m}{\Omega}x} = \\ &= \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m \left(\frac{\Omega}{m}\right)^{m-\frac{3}{2}} \Gamma\left(m-\frac{3}{2}\right) = \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^{\frac{3}{2}} \Gamma\left(m-\frac{3}{2}\right) \end{aligned} \quad (4.120)$$

Moment (m_3) je:

$$m_3 = y'^3 = \int_0^\infty d_y y^3 p_y(y) = \int_0^\infty d_y y^3 \frac{2}{5} \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m y^{\frac{2m-5}{5}+3} e^{\frac{-m}{\Omega}y^{\frac{5}{2}}} =$$

$$\frac{2}{5} \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m \int_0^\infty d_y y^{\frac{2m}{5} - \frac{2}{5} + 3} e^{\frac{-m}{\Omega} y^{\frac{2}{5}}} \quad (4.121)$$

Uvodi se smena:

$$y^{\frac{2}{5}} = x \quad (4.122)$$

$$y = x^{\frac{5}{2}} \quad (4.123)$$

$$d_y = \frac{5}{2} x^{\frac{3}{2}} d_x \quad (4.124)$$

$$d_x = \frac{2}{5} y^{\frac{-3}{5}} d_y \quad (4.125)$$

Zamenom se (4.123) i (4.124) u (4.121) dobija:

$$\begin{aligned} m_3 &= \frac{2}{5} \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m \int_0^\infty \frac{5}{2} x^{\frac{3}{2}} d_x \left(x^{\frac{5}{2}}\right)^{\frac{2}{5}m - \frac{2}{5} + 3} e^{\frac{-m}{\Omega} x} = \\ &= \frac{2}{5} \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m \frac{5}{2} \int_0^\infty d_x x^{\frac{3}{2}} x^{m-1+3} e^{\frac{-m}{\Omega} x} = \\ &= \frac{2}{5} \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m \frac{5}{2} \int_0^\infty d_x x^{m+\frac{3}{2}-1+3} e^{\frac{-m}{\Omega} x} = \frac{5}{2} \frac{2}{5} \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m \int_0^\infty d_x x^{m+\frac{9}{2}-1} e^{\frac{-m}{\Omega} x} = \\ &= \left(\frac{\Omega}{m}\right)^{m+\frac{9}{2}} \Gamma\left(m+\frac{9}{2}\right) \end{aligned} \quad (4.126)$$

Moment (m_4) je:

$$\begin{aligned} m_4 &= y'^4 = \int_0^\infty d_y y^4 p_y(y) = \int_0^\infty d_y y^4 \frac{2}{5} \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m y^{\frac{2m}{5} - \frac{2}{5}} e^{\frac{-m}{\Omega} y^{\frac{2}{5}}} = \\ &= \frac{2}{5} \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m \int_0^\infty d_y y^{\frac{2m}{5} - \frac{2}{5} + 4} e^{\frac{-m}{\Omega} y^{\frac{2}{5}}} = \frac{2}{5} \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m \int_0^\infty d_y y^{\frac{2m}{5} + \frac{18}{5}} e^{\frac{-m}{\Omega} y^{\frac{2}{5}}} \end{aligned} \quad (4.127)$$

Uvodi se smena:

$$y^{\frac{2}{5}} = x \quad (4.128)$$

$$y = x^{\frac{5}{2}} \quad (4.129)$$

$$d_x = \frac{2}{5} y^{\frac{-2}{5}} d_y \quad (4.131)$$

Zamenom (4.129) i (4.130) u (4.127) se dobija:

$$\begin{aligned} m_4 &= \frac{2}{5} \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m \int_0^\infty \frac{5}{2} x^{\frac{3}{2}} d_x \left(x^{\frac{5}{2}}\right)^{\frac{2}{5}m + \frac{18}{5}} e^{\frac{-m}{\Omega}x} = \frac{2}{5} \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m \frac{5}{2} \int_0^\infty d_x x^{m + \frac{3}{2} + 9} e^{\frac{-m}{\Omega}x} = \\ &= \frac{2}{5} \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m \frac{5}{2} \int_0^\infty d_x x^{m + \frac{21}{2}} e^{\frac{-m}{\Omega}x} = \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m \left(\frac{\Omega}{m}\right)^{m + \frac{23}{2}} \Gamma\left(m + \frac{23}{2}\right) = \\ &= \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{\Omega}{m}\right)^{\frac{23}{2}} \Gamma\left(m + \frac{23}{2}\right) \end{aligned} \quad (4.132)$$

Moment (m_5) je:

$$\begin{aligned} m_5 &= y'^5 = \int_0^\infty d_y y^5 p_y(y) = \int_0^\infty d_y y^5 \frac{2}{5} \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m y^{\frac{2m}{5} - \frac{2}{5}} e^{\frac{-m}{\Omega}y^{\frac{5}{2}}} = \\ &= \frac{2}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m \int_0^\infty d_y y^{\frac{2m}{5} - \frac{2}{5} + 5} e^{\frac{-m}{\Omega}y^{\frac{5}{2}}} = \frac{2}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m \int_0^\infty d_y y^{\frac{2m}{5} + \frac{23}{5}} e^{\frac{-m}{\Omega}y^{\frac{5}{2}}} \end{aligned} \quad (4.133)$$

Uvodi se smena:

$$y^{\frac{5}{2}} = x \quad (4.134)$$

$$y = x^{\frac{2}{5}} \quad (4.135)$$

$$d_y = \frac{5}{2} x^{\frac{3}{5}} d_x \quad (4.136)$$

$$d_x = \frac{2}{5} y^{\frac{-2}{5}} d_y \quad (4.137)$$

Zamenom (4.135) i (4.136) u (4.133) se dobija:

$$\begin{aligned} m_5 &= \frac{2}{5} \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m \int_0^\infty \frac{5}{2} x^{\frac{3}{2}} d_x \left(x^{\frac{5}{2}}\right)^{\left(\frac{2}{5}m + \frac{23}{5}\right)} e^{\frac{-m}{\Omega}x} = \frac{2}{5} \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m \frac{5}{2} \int_0^\infty d_x x^{m + \frac{3}{2} + \frac{23}{2}} e^{\frac{-m}{\Omega}x} = \\ &= \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m \int_0^\infty d_x x^{m + 13} e^{\frac{-m}{\Omega}x} = \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m \left(\frac{\Omega}{m}\right)^{m + 14} \Gamma(m + 14) \\ &= \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{\Omega}{m}\right)^{14} \Gamma(m + 14) \end{aligned} \quad (4.138)$$

Moment (m_6) je:

$$\begin{aligned}
m_6 = y'^6 &= \int_0^\infty d_y y^6 p_y(y) = \int_0^\infty d_y y^6 \frac{2}{5} \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m y^{\frac{2m}{5} - \frac{2}{5}} e^{\frac{-m}{\Omega} y^{\frac{2}{5}}} = \\
&= \frac{2}{5} \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m \int_0^\infty d_y y^{\frac{2m}{5} - \frac{2}{5} + 6} e^{\frac{-m}{\Omega} y^{\frac{2}{5}}} = \frac{2}{5} \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m \int_0^\infty d_y y^{\frac{2m}{5} + \frac{28}{5}} e^{\frac{-m}{\Omega} y^{\frac{2}{5}}}
\end{aligned} \tag{4.139}$$

Uvodi se smena:

$$y^{\frac{2}{5}} = x \tag{4.140}$$

$$y = x^{\frac{5}{2}} \tag{4.141}$$

$$d_y = \frac{5}{2} x^{\frac{3}{2}} dx \tag{4.142}$$

$$d_x = \frac{2}{5} y^{-\frac{3}{5}} dy \tag{4.143}$$

Zamenom (4.141) i (4.142) u (4.139) se dobija:

$$\begin{aligned}
m_6 &= \frac{2}{5} \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m \int_0^\infty \frac{5}{2} x^{\frac{3}{2}} d_x \left(x^{\frac{5}{2}}\right)^{\frac{2}{5}m + \frac{28}{5}} e^{\frac{-m}{\Omega} x} = \frac{2}{5} \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m \frac{5}{2} \int_0^\infty d_x x^{\frac{3}{2}} x^{m+14} e^{\frac{-m}{\Omega} x} = \\
&= \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m \int_0^\infty d_x x^{m+\frac{31}{2}} e^{\frac{-m}{\Omega} x} = \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m \left(\frac{\Omega}{m}\right)^{m+\frac{33}{2}} \Gamma\left(m+\frac{33}{2}\right) = \\
&= \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{\Omega}{m}\right)^{\frac{33}{2}} \Gamma\left(m+\frac{33}{2}\right)
\end{aligned} \tag{4.144}$$

Moment m_7 je:

$$\begin{aligned}
m_7 = y'^7 &= \int_0^\infty d_y y^7 p_y(y) = \int_0^\infty d_y y^7 \frac{2}{5} \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m y^{\frac{2m}{5} - \frac{2}{5}} e^{\frac{-m}{\Omega} y^{\frac{2}{5}}} = \\
&= \frac{2}{5} \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m \int_0^\infty d_y y^{\frac{2m}{5} - \frac{2}{5} + 7} e^{\frac{-m}{\Omega} y^{\frac{2}{5}}} = \frac{2}{5} \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m \int_0^\infty d_y y^{\frac{2m}{5} + \frac{33}{5}} e^{\frac{-m}{\Omega} y^{\frac{2}{5}}}
\end{aligned} \tag{4.145}$$

Neka je:

$$y^{\frac{2}{5}} = x \tag{4.146}$$

$$y = x^{\frac{5}{2}} \tag{4.147}$$

$$d_y = \frac{5}{2} x^{\frac{5}{2}} d_x \quad (4.148)$$

$$d_x = \frac{2}{5} y^{-\frac{5}{2}} d_y \quad (4.149)$$

Zamenom (4.147) i (4.148) u (4.145) se dobija:

$$\begin{aligned} m_7 &= \frac{2}{5} \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m \int_0^\infty \frac{5}{2} x^{\frac{5}{2}} d_x \left(x^{\frac{5}{2}}\right)^{\frac{2}{5}m + \frac{33}{5}} e^{\frac{-m}{\Omega}x} = \frac{2}{5} \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m \frac{5}{2} \int_0^\infty d_x x^{\frac{5}{2}} x^{m + \frac{33}{2}} e^{\frac{-m}{\Omega}x} = \\ &= \frac{2}{5} \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m \frac{5}{2} \int_0^\infty d_x x^{m+18} e^{\frac{-m}{\Omega}x} = \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m \left(\frac{\Omega}{m}\right)^{m+19} \Gamma(m+19) = \\ &= \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{\Omega}{m}\right)^{19} \Gamma(m+19) \end{aligned} \quad (4.150)$$

Moment (m_8) je:

$$\begin{aligned} m_8 &= y^8 = \int_0^\infty d_y y^8 p_y(y) = \int_0^\infty d_y y^8 \frac{2}{5} \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m y^{\frac{2m}{5} - \frac{2}{5}} e^{\frac{-m}{\Omega}y^{\frac{5}{2}}} = \frac{2}{5} \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m \\ &= \int_0^\infty d_y y^{\frac{2m}{5} - \frac{2}{5} + 8} e^{\frac{-m}{\Omega}y^{\frac{5}{2}}} = \frac{2}{5} \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m \int_0^\infty d_y y^{\frac{2m}{5} + \frac{38}{5}} e^{\frac{-m}{\Omega}y^{\frac{5}{2}}} \end{aligned} \quad (4.151)$$

Neka je:

$$y^{\frac{5}{2}} = x \quad (4.152)$$

$$y = x^{\frac{2}{5}} \quad (4.153)$$

$$d_y = \frac{5}{2} x^{\frac{3}{2}} d_x \quad (4.154)$$

$$d_x = \frac{2}{5} y^{-\frac{3}{2}} d_y \quad (4.155)$$

Zamenom (4.153) i (4.154) u (4.151) se dobija [9]:

$$\begin{aligned} m_8 &= \frac{2}{5} \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m \int_0^\infty \frac{5}{2} x^{\frac{3}{2}} d_x \left(x^{\frac{2}{5}}\right)^{\frac{2}{5}m + \frac{38}{5}} e^{\frac{-m}{\Omega}x} = \frac{2}{5} \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m \frac{5}{2} \int_0^\infty d_x x^{\frac{3}{2}} x^{m + \frac{14}{2}} e^{\frac{-m}{\Omega}x} = \\ &= \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m \int_0^\infty d_x x^{m + \frac{31}{2}} e^{\frac{-m}{\Omega}x} = \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m \left(\frac{\Omega}{m}\right)^{m + \frac{33}{2}} \Gamma\left(m + \frac{33}{2}\right) = \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{\Omega}{m}\right)^{\frac{33}{2}} \end{aligned} \quad (4.156)$$

Moment (m_9) je [105]:

$$m_9 = y^9 = \int_0^\infty d_y y^9 p_y(y) = \int_0^\infty d_y y^9 \frac{2}{5} \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m y^{\frac{2m}{5} - \frac{2}{5}} e^{\frac{-m}{\Omega} y^{\frac{2}{5}}} =$$

$$\frac{2}{5} \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m \int_0^\infty d_y y^{\frac{2m}{5} - \frac{2}{5} + 9} e^{\frac{-m}{\Omega} y^{\frac{2}{5}}} = \frac{2}{5} \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m \int_0^\infty d_y y^{\frac{2m}{5} + \frac{48}{5}} e^{\frac{-m}{\Omega} y^{\frac{2}{5}}} \quad (4.157)$$

Neka je:

$$y^{\frac{2}{5}} = x \quad (4.158)$$

$$y = x^{\frac{5}{2}} \quad (4.159)$$

$$d_y = \frac{5}{2} x^{\frac{5}{2}} d_x \quad (4.160)$$

$$d_x = \frac{2}{5} y^{-\frac{5}{2}} d_y \quad (4.161)$$

Zamenom (4.159) i (4.160) u (4.157) se dobija [6], [34]:

$$m_9 = \frac{2}{5} \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m \int_0^\infty \frac{5}{2} x^{\frac{5}{2}} d_x \left(x^{\frac{5}{2}}\right)^{\frac{2}{5}m + \frac{48}{5}} e^{\frac{-m}{\Omega} x} =$$

$$\frac{2}{5} \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m \frac{5}{2} \int_0^\infty d_x x^{m + \frac{48}{2}} e^{\frac{-m}{\Omega} x} = \frac{2}{5} \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m \frac{5}{2} \int_0^\infty d_x x^{m + 24} e^{\frac{-m}{\Omega} x} =$$

$$\frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m \left(\frac{\Omega}{m}\right)^{m + 24} \Gamma(m + 24) = \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{\Omega}{m}\right)^{24} \Gamma(m + 24) \quad (4.162)$$

Moment (m_{10}) je:

$$m_{10} = y^{10} = \int_0^\infty d_y y^{10} p_y(y) = \int_0^\infty d_y y^{10} \frac{2}{5} \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m y^{\frac{2m}{5} - \frac{2}{5}} e^{\frac{-m}{\Omega} y^{\frac{2}{5}}} =$$

$$\frac{2}{5} \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m \int_0^\infty d_y y^{\frac{2m}{5} - \frac{2}{5} + 10} e^{\frac{-m}{\Omega} y^{\frac{2}{5}}} = \frac{2}{5} \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m \int_0^\infty d_y y^{\frac{2m}{5} + \frac{48}{5}} e^{\frac{-m}{\Omega} y^{\frac{2}{5}}} \quad (4.163)$$

Neka je:

$$y^{\frac{2}{5}} = x \quad (4.164)$$

$$y = x^{\frac{5}{2}} \quad (4.165)$$

$$d_y = \frac{5}{2} x^{\frac{3}{2}} d_x \quad (4.166)$$

$$d_x = \frac{2}{5} y^{-\frac{2}{5}} d_y \quad (4.167)$$

Zamenom (4.165) i (4.166) u (4.163) se dobija [106]:

$$\begin{aligned} m_{10} &= \frac{2}{5} \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega} \right)^m \int_0^\infty \frac{5}{2} x^{\frac{3}{2}} d_x \left(x^{\frac{5}{2}} \right)^{\frac{2}{5}m + \frac{48}{5}} e^{\frac{-m}{\Omega} x} = \\ &= \frac{2}{5} \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega} \right)^m \frac{5}{2} \int_0^\infty d_x x^{\frac{3}{2}} x^{m+24} e^{\frac{-m}{\Omega} x} = \frac{2}{5} \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega} \right)^m \frac{5}{2} \int_0^\infty d_x x^{m+24+\frac{3}{2}} e^{\frac{-m}{\Omega} x} = \\ &= \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega} \right)^m \left(\frac{\Omega}{m} \right)^{m+\frac{53}{2}} \Gamma \left(m + \frac{53}{2} \right) = \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{\Omega}{m} \right)^{\frac{53}{2}} \Gamma \left(m + \frac{53}{2} \right) \end{aligned} \quad (4.168)$$

5. SELEKTIVNI KOMBINER

U ovom poglavlju, razmatran je selektivni kombiner sa dva ulaza [71], [99]. Na ulazima je prisutan fading. Izračunata je gustina verovatnoće signala na izlazu koja ima dva sabiraka. Svaki sabirak ima po dva člana:

- Prvi član, je gustina verovatnoće signala na jednom od ulaza,
- Drugi član, je kumulativna verovatnoća signala na drugom ulazu.

Na ovaj način se formira izraz na izlazu iz (SC) prijemnika sa dva ulaza za:

- gustinu verovatnoće signala,
- kumulativnu verovatnoću signala,
- karakterističnu funkciju signala,
- I, II i III momenti signala.

Zatim, se izračuna na izlazu iz(SC) prijemnika sa dva ulaza:

- združena gustina verovatnoće signala, i
- I izvoda signala.

Ova združena gustina verovatnoće ima dva sabiraka. Svaki od ovih sabiraka ima dva činioća:

- Prvi činilac je združena kumulativna verovatnoća signala i prvog izvoda signala na jednom od ulaza u (SC) prijemnik.
- Drugi činilac je kumulativna verovatnoća signala na drugom ulazu u (SC) kombiner.

Na ovaj način, izračuna se združena gustina verovatnoće signala na izlazu iz (SC)prijemnika i I izvoda signala na izlazu iz (SC)prijemnika. Izračuna se srednja vrednost osnh preseka signala na izlazu iz (SC)kombajnera sa dva ulaza, kao srednji broj I izvoda signala.

Signal na izlazu iz (SC)kombajnera sa dva ulaza, posmatra se u dva, tri i u četiri trenutka vremena. Zatim, se izračuna na izlazu iz SC kombinera sa dva ulaza u dva, tri i u četiri trenutka vremena:

- združena gustina verovatnoće signala,
- združena kumulativna verovatnoća signala,
- združena karakteristična funkcija signala,
- združen prvi, drugi i treći produkti moment signal,

Onda, se razmatra selektivni kombiner sa tri ulaza. Signal na izlazu iz (SC) prijemnika, isti je kao signal sa onog ulaza na kome je signal najveći. Gustina verovatnoće ovog signala ima tri sabiraka. Svaki sabirak ima tri činioća:

- Prvi činilac, je gustina verovatnoće signala na jednom od ulaza.
- Ostala dva činilaca, su kumulativna verovatnoća signala na druga dva ulaza.

Na ovaj način se određuje na izlazu iz (SC) kombinera sa tri ulaza:

- gustina verovatnoće signala,
- kumulativna verovatnoća signala,
- karakteristična funkcija signala,
- prvi, drugi i treći moment signal.

Onda, se izračuna na izlazu iz (SC) kombajnera sa tri ulaza:

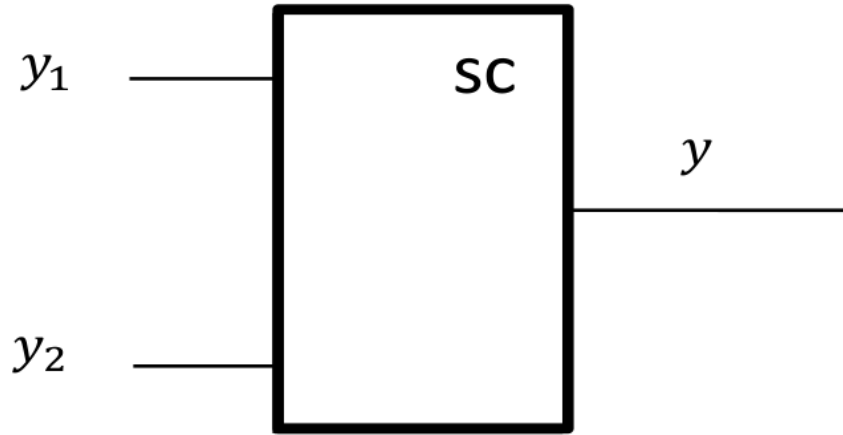
- združena gustina verovatnoće signala i I izvoda signala, i
- srednja vrednost osnih preseka signala.

Srednji vrednost osnih preseka signala na izlazu iz (SC) kombinera sa 3 ulaza izračuna se kao srednja vrednost od prvog izvoda signala na izlazu iz SC kombinera sa 3 ulaza. Signal na izlazu iz (SC) prijemnika sa tri ulaza posmatra se u 2 momenta vremena i onda se odredi:

- združena gustina verovatnoće signal,
- združena kumulativna verovatnoća signal,
- združena karakteristična funkcija signala,
- združeni prvi, drugi, treći i četvrti moment signala.

5.1. Selektivni kombiner sa dva ulaza

Analizira se (SC) kombajner sa 2 ulaza. Na ulazima se pojavljuje $(k - \mu)$ fejding. Model koji se razmatra prikazan je na slici 5.1.



Slika 5.1 Selektivni kombajner sa 2 ulaza

Gustina verovatnoće od (y_1) je:

$$p_{y_1}(y_1) = \frac{2\mu_1(k_1+1)^{\frac{\mu_1+1}{2}}}{k_1^{\frac{\mu_1-1}{2}} e^{k_1\mu_1} \Omega_1^{\frac{\mu_1+1}{2}}} \sum_{j_1=0}^{\infty} \left(\mu_1 \sqrt{\frac{k_1(k_1+1)}{\Omega_1}} \right)^{2j_1+\mu_1-1} \frac{1}{j_1! \Gamma(j_1+\mu_1)} y_1^{2j_1+\mu_1} e^{-\frac{\mu_1(k_1+1)}{\Omega_1} y_1^2}, y_1 \geq 0 \quad (5.1)$$

Gustina verovatnoće od (y_2) je:

$$p_{y_2}(y_2) = \frac{2}{\Gamma(m_2)} \left(\frac{m_2}{\Omega_2} \right)^{m_2} y_2^{2m_2-1} e^{-\frac{m_2}{\Omega_2} y_2^2}, y_2 \geq 0 \quad (5.2)$$

Kumulativna verovatnoća od (y_1) je [32], [34]:

$$F_{y_1}(y_1) = \int_0^{y_1} d_t p_{y_1}(t) = \frac{2\mu_1(k_1+1)^{\frac{\mu_1+1}{2}}}{k_1^{\frac{\mu_1-1}{2}} e^{k_1\mu_1} \Omega_1^{\frac{\mu_1+1}{2}}} \sum_{j_1=0}^{\infty} \left(\mu_1 \sqrt{\frac{k_1(k_1+1)}{\Omega_1}} \right)^{2j_1+\mu_1-1} \frac{1}{j_1! \Gamma(j_1+\mu_1)}$$

$$\int_0^{y_1} d_t t^{2j_1+\mu_1} e^{\frac{-\mu_1(k_1+1)}{\Omega_1} t^2} = \frac{2\mu_1(k_1+1)^{\frac{\mu_1+1}{2}}}{k_1^{\frac{\mu_1-1}{2}} e^{k_1\mu_1\Omega_1} \Omega_1^{\frac{\mu_1+1}{2}}} \sum_{j_1=0}^{\infty} \left(\mu_1 \sqrt{\frac{k_1(k_1+1)}{\Omega_1}} \right)^{2j_1+\mu_1-1} \frac{1}{j_1! \Gamma(j_1+\mu_1)} \gamma\left(2j_1+\mu_1, \frac{\mu_1(k_1+1)}{\Omega_1} y_1^2\right) \quad (5.3)$$

Kumulativna verovatnoća od (y_2) je:

$$F_{y_2}(y_2) = \frac{2}{\Gamma(m_2)} \gamma\left(m_2, \frac{m_2}{\Omega_2} y_2^2\right) \quad (5.4)$$

Kumulativna verovatnoća od (y) je:

$$F_y(y) = F_{y_1}(y_1) F_{y_2}(y_2) = \frac{2\mu_1(k_1+1)^{\frac{\mu_1+1}{2}}}{k_1^{\frac{\mu_1-1}{2}} e^{k_1\mu_1\Omega_1} \Omega_1^{\frac{\mu_1+1}{2}}} \sum_{j_1=0}^{\infty} \left(\mu_1 \sqrt{\frac{k_1(k_1+1)}{\Omega_1}} \right)^{2j_1+\mu_1-1} \frac{1}{j_1! \Gamma(j_1+\mu_1)} \gamma\left(2j_1+\mu_1, \frac{\mu_1(k_1+1)}{\Omega_1} y^2\right) \frac{2}{\Gamma(m_2)} \gamma\left(m_2, \frac{m_2}{\Omega_2} y^2\right) \quad (5.5)$$

Gustina verovatnoće od (y) je:

$$\begin{aligned} p_y(y) &= p_{y_1}(y) F_{y_2}(y) + p_{y_2}(y) F_{y_1}(y) \\ &= \frac{2\mu_1(k_1+1)^{\frac{\mu_1+1}{2}}}{k_1^{\frac{\mu_1-1}{2}} e^{k_1\mu_1\Omega_1} \Omega_1^{\frac{\mu_1+1}{2}}} \sum_{j_1=0}^{\infty} \left(\mu_1 \sqrt{\frac{k_1(k_1+1)}{\Omega_1}} \right)^{2j_1+\mu_1-1} \frac{1}{j_1! \Gamma(j_1+\mu_1)} y_1^{2j_1+\mu_1} e^{\frac{-\mu_1(k_1+1)}{\Omega_1} y^2} \\ &\quad \frac{2}{\Gamma(m_2)} \gamma\left(m_2, \frac{m_2}{\Omega_2} y^2\right) + \frac{2}{\Gamma(m_2)} \left(\frac{m_2}{\Omega_2}\right)^{m_2} y^{2m_2-1} e^{\frac{-m_2}{\Omega_2} y^2} \frac{2\mu_1(k_1+1)^{\frac{\mu_1+1}{2}}}{k_1^{\frac{\mu_1-1}{2}} e^{k_1\mu_1\Omega_1} \Omega_1^{\frac{\mu_1+1}{2}}} \\ &\quad \sum_{j_1=0}^{\infty} \left(\mu_1 \sqrt{\frac{k_1(k_1+1)}{\Omega_1}} \right)^{2j_1+\mu_1-1} \frac{1}{j_1! \Gamma(j_1+\mu_1)} \gamma\left(2j_1+\mu_1, \frac{\mu_1(k_1+1)}{\Omega_1} y^2\right) \end{aligned} \quad (5.6)$$

Karakteristična funkcije od (y) je [7]:

$$M_y(s) = e^{js} = \int_0^{\infty} d_y e^{ys} p_y(y) \quad (5.7)$$

Moment prvog reda od (y) je [6]:

$$m_1 = \dot{y} = \int_0^{\infty} d_y y p_y(y) \quad (5.8)$$

Moment drugog reda od (y) je:

$$m_2 = y'^2 = \int_0^\infty d_y y^2 p_y(y) \quad (5.9)$$

Moment trećeg reda od (y) je:

$$m_3 = y'^3 = \int_0^\infty d_y y^3 p_y(y) \quad (5.10)$$

Moment četvrtog reda od (y) je:

$$m_4 = y'^4 = \int_0^\infty d_y y^4 p_y(y) \quad (5.11)$$

Moment petog reda od (y) je:

$$m_5 = y'^5 = \int_0^\infty d_y y^5 p_y(y) \quad (5.12)$$

Moment šestog reda od (y) je:

$$m_6 = y'^6 = \int_0^\infty d_y y^6 p_y(y) \quad (5.13)$$

Moment sedmog reda od (y) je:

$$m_7 = y'^7 = \int_0^\infty d_y y^7 p_y(y) \quad (5.14)$$

Moment osmog reda od (y) je:

$$m_8 = y'^8 = \int_0^\infty d_y y^8 p_y(y) \quad (5.15)$$

Moment devetog reda od (y) je:

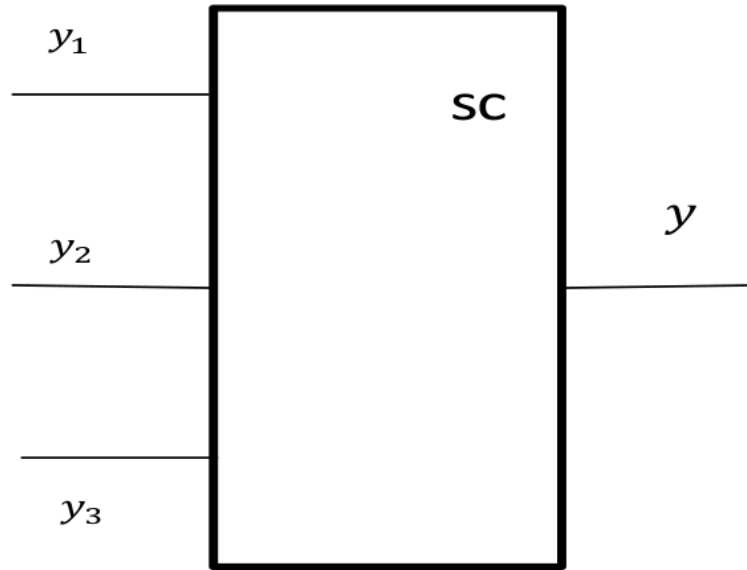
$$m_9 = y'^9 = \int_0^\infty d_y y^9 p_y(y) \quad (5.16)$$

Moment desetog reda od (y) je:

$$m_{10} = y'^{10} = \int_0^\infty d_y y^{10} p_y(y) \quad (5.17)$$

5.2. Selektivni kombiner sa tri ulaza

Analizira se (SC) kombajner sa tri ulaza. Na ulazima se pojavljuje $(k - \mu)$ fejdging. Model koji se razmatra prikazan je na slici 5.2:



Slika 5.2 Selektivni kombajner sa 3 ulaza

Gustina verovatnoće od (y_1) je:

$$p_{y_1}(y_1) = \frac{2}{\Gamma(m_1)} \left(\frac{m_1}{n_1} \right)^{m_1} y_1^{2m_1-1} e^{-\frac{m_1}{n_1} y_1^2}, y_1 \geq 0 \quad (5.18)$$

Gustina verovatnoće od (y_2) je:

$$p_{y_2}(y_2) = \frac{2 \mu_2 (k_2 + 1)^{\frac{\mu_2 + 1}{2}}}{k_2^{\frac{\mu_2 - 1}{2}} e^{k_2 \mu_2} n_2^{\frac{\mu_2 + 1}{2}}} \sum_{j_2=0}^{\infty} \left(\mu_2 \sqrt{\frac{k_2 (k_2 + 1)}{n_2}} \right)^{2j_2 + \mu_2 - 1} \frac{1}{j_2! \Gamma(j_2 + \mu_2)} y_2^{2j_2 + \mu_2} e^{-\frac{m_2 (k_2 + 1)}{n_2} y_2^2}, y_2 \geq 0 \quad (5.19)$$

Gustina verovatnoće od (y_3) je:

$$p_{y_3}(y_3) = \frac{2\mu_3(k_3+1)^{\frac{\mu_3+1}{2}}}{k_3^{\frac{\mu_3-1}{2}} e^{k_3\mu_3} \Omega_3^{\frac{\mu_3+1}{2}}} \sum_{j_3=0}^{\infty} \left(\mu_3 \sqrt{\frac{k_3(k_3+1)}{\Omega_3}} \right)^{2j_3+\mu_3-1} \frac{1}{j_3! \Gamma(j_3+\mu_3)} y_3^{2j_3+\mu_3} e^{\frac{-m_3(k_3+1)}{\Omega_3} y_3^2}, y_3 \geq 0 \quad (5.20)$$

Kumulativna verovatnoća od (y_1) je:

$$F_{y_1}(y_1) = \frac{1}{\Gamma(m_1)} \gamma\left(m_1, \frac{m_1}{\Omega_1} y_1^2\right), y_1 \geq 0 \quad (5.21)$$

Kumulativna verovatnoća od (y_2) je:

$$F_{y_2}(y_2) = \frac{2\mu_2(k_2+1)^{\frac{\mu_2+1}{2}}}{k_2^{\frac{\mu_2-1}{2}} e^{k_2\mu_2} \Omega_2^{\frac{\mu_2+1}{2}}} \sum_{j_2=0}^{\infty} \left(\mu_2 \sqrt{\frac{k_2(k_2+1)}{\Omega_2}} \right)^{2j_2+\mu_2-1} \frac{1}{j_2! \Gamma(j_2+\mu_2)} \frac{1}{2} \left(\frac{\Omega_2}{\mu_2(k_2+1)} \right)^{j_2+\frac{\mu_2}{2}+\frac{1}{2}} y_2^2 \Gamma\left(j_2 + \frac{\mu_2}{2} + \frac{1}{2}\right) \quad (5.22)$$

Kumulativna verovatnoća od (y_3) je:

$$F_{y_3}(y_3) = \frac{2\mu_3(k_3+1)^{\frac{\mu_3+1}{2}}}{k_3^{\frac{\mu_3-1}{2}} e^{k_3\mu_3} \Omega_3^{\frac{\mu_3+1}{2}}} \sum_{j_3=0}^{\infty} \left(\mu_3 \sqrt{\frac{k_3(k_3+1)}{\Omega_3}} \right)^{2j_3+\mu_3-1} \frac{1}{j_3! \Gamma(j_3+\mu_3)} \frac{1}{2} \left(\frac{\Omega_3}{\mu_3(k_3+1)} \right)^{j_3+\frac{\mu_3}{2}+\frac{1}{2}} y_3^2 \Gamma\left(j_3 + \frac{\mu_3}{2} + \frac{1}{2}\right) \quad (5.23)$$

Kumulativna verovatnoća od (y) je:

$$F_y(y) = F_{y_1}(y) F_{y_2}(y) F_{y_3}(y) \quad (5.24)$$

Gustina verovatnoće od (y) je:

$$p_y(y) = p_{y_1}(y) F_{y_2}(y) F_{y_3}(y) + p_{y_2}(y) F_{y_1}(y) F_{y_3}(y) + p_{y_3}(y) F_{y_1}(y) F_{y_2}(y) \quad (5.25)$$

Karakteristična funkcije od (y) je:

$$M_y(s) = e^{fs} = \int_0^{\infty} d_y e^{ys} p_y(y) \quad (5.26)$$

Moment prvog reda od (y) je [22]:

$$m_1 = \hat{y} = \int_0^{\infty} d_y y p_y(y) \quad (5.27)$$

Moment drugog reda od (y) je:

$$m_2 = y'^2 = \int_0^\infty d_y y^2 p_y(y) \quad (5.28)$$

Moment trećeg reda od (y) je:

$$m_3 = y'^3 = \int_0^\infty d_y y^3 p_y(y) \quad (5.29)$$

Moment četvrtog reda od (y) je:

$$m_4 = y'^4 = \int_0^\infty d_y y^4 p_y(y) \quad (5.30)$$

Moment petog reda od (y) je:

$$m_5 = y'^5 = \int_0^\infty d_y y^5 p_y(y) \quad (5.31)$$

Moment šestog reda od (y) je:

$$m_6 = y'^6 = \int_0^\infty d_y y^6 p_y(y) \quad (5.32)$$

Moment sedmog reda od (y) je:

$$m_7 = y'^7 = \int_0^\infty d_y y^7 p_y(y) \quad (5.33)$$

Moment osmog reda od (y) je:

$$m_8 = y'^8 = \int_0^\infty d_y y^8 p_y(y) \quad (5.34)$$

Moment devetog reda od (y) je:

$$m_9 = y'^9 = \int_0^\infty d_y y^9 p_y(y) \quad (5.35)$$

Moment desetog reda od (y) je:

$$m_{10} = y'^{10} = \int_0^\infty d_y y^{10} p_y(y) \quad (5.36)$$

6. MAKRODIVERZITI KOMUNIKACIJE

Makrodiverziti sistemi, koriste se da bi se istovremeno smanjio uticaj sporog i brzog fejdina na performanse sistema[29], [48]. Makrodiverziti sistemi se sastoje od dva, tri, četiri ili više mikrodiverziti prijemnika i jednog makrodiverziti prijemnika.

Mikrodiverziti prijemnik, umanjuje uticaj brzog propagiranja signala po više putanja na karakteristike sistema, a makrodiverziti prijemnik umanjuje uticaj sporog propagiranja signala po više putanja na karakteristike sistema.

Analizira se, slučaj kada makrodiverziti sistem ima dva mikrodiverziti prijemnika. Svaki mikrodiverziti prijemnik ima po 2 ulaza. Na ulazima je prisutan $(k - \mu)$ fejdina. Signal na izlazu iz prvog (SC) prijemnika jednak je onom signalu sa njegovih ulaza koji je veći, odnosno signal na izlazu iz (SC) prijemnika koji je jednak je maksimumu signala sa njegovih ulaza.

Takođe, signal na izlazu iz II mikrodiverziti prijemnika jednak je maksimumu signala sa njegovim ulazima. Na ulazima u II mikrodiverziti prijemnik prisutan je $(k - \mu)$ fejdina. Na osnovu ovoga, izračuna se na izlazima iz prvog i drugog mikrodiverziti prijemnika:

- gustina verovatnoće,
- kumulativna verovatnoća,
- karakteristična funkcija,
- prvi moment, drugi i treći moment signala.

Gustina verovatnoće signala na izlazu iz prvog mikrodiverziti (SC) prijemnika ima dva sabiraka. Svaki sabirak ima dva činilaca:

- Prvi činilac je gustina verovatnoće na jednom ulazu, i
- drugi činilac je kumulativna verovatnoća signala na drugom ulazu.

Uz pomoć gustine verovatnoće, izračuna se kumulativna verovatnoća signala na izlazima iz mikrodiverziti (SC) prijemnika i ona je jednaka je proizvodu kumulativnih verovatnoća signala na njegovim ulazima. Uz pomoć ove kumulativne verovatnoće, izračuna se gustina verovatnoće signala na izlazu iz (SC) prijemnika i ona se izračuna, kao prvi izvod iz kumulativne verovatnoće. Signal na izlazu iz makrodiverziti (SC) prijemnika jednak je onom signalu sa njegovih ulaza koji ima najveću snagu.

Snaga se menja pod uticajem sporog prostiranja signala po više puteva. Sporo prostiranje signala po više puteva ima Gama raspodelu i može biti korelisan ili nekorelisan sa odgovarajućom koeficijentom korelacije. Na ovaj način se izračuna gustina verovatnoće signala na izlazu iz (SC) prijemnika, kada je na ulazima u (SC) prijemnik prisutan $(k - \mu)$ fejdina.

Gustina verovatnoće signala na izlazu iz makrodiverziti prijemnika, kada je na ulazu u makrodiverziti prijemnik prisutan Nakagami-m fejdng izračuna se na taj način, kada se u dobijeni rezultat stavi da je $k=0$. Kada je na ulazima prisutan Rajsov fedng, onda se u dobijeni rezultat stavi da je $\mu=1$, a kada je na ulazima takođe prisutan Relijev fedng onda je gustina verovatnoće signala na izlazu jednaka kada se u dobijeni rezultat stavi da je $k=0$ i $\mu=1$.

Na sličan način, izračuna se na izlazu iz makrodiverziti sistema kada je na njegovim ulazima prisutan Nakagami - m fedng, Rajsov fedng i Relijev fejdng:

- kumulativna verovatnoća signala,
- karakteristična funkcija signala,
- prvi, drugi i treći moment signala.

Zatim, se odrediti srednji broj osnih preseka signala koji je na izlazu iz makrodiverziti (SC) prijemnika, kao i združena gustina verovatnoće signala na izlazu iz makrodiverziti (SC) prijemnika i prvog izvoda signala na izlazu iz istog prijemnika. Srednja vrednost osnih preseka signala na izlazu iz makrodiverziti (SC) prijemnika jednak je srednjoj vrednosti I izvoda signala na izlazu iz makrodiverziti (SC) prijemnika. Neophodno je da se analizira i makrodiverziti (SC) prijemnik sa tri mikrodiverziti (SC) prijemnika.

Mikrodiverziti (SC) prijemnici imaju dva, tri, četiri i više ulaza. Kod ovih mikrodiverziti prijemnika, izračuna se na izlazu:

- gustina verovatnoće signala,
- kumulativna verovatnoca signala,
- karakteristična funkcija signala,
- prvi, drugi i treći momenti signala na izlazu iz makrodiverziti prijemnika sa tri mikrodiverziti prijemnika.

Kumulativna verovatnoća signala na izlazu iz makrodiverziti sistema, izračuna se kao proizvod kumulativnih verovatnoća signala na izlazima iz tri mikrodiverziti prijemnika. Na sličan način, se računa i srednja vrednost osnih preseka signala koji se nalaze na izlazu iz makrodiverziti sistema kao i verovatnoca otkaza.

Analizira se makrodiverziti sistem sa makrodiverziti prijemnikom i 2 mikrodiverziti (SC)prijemnika. Model koji je razmatran je prikazan na slici 6.1:

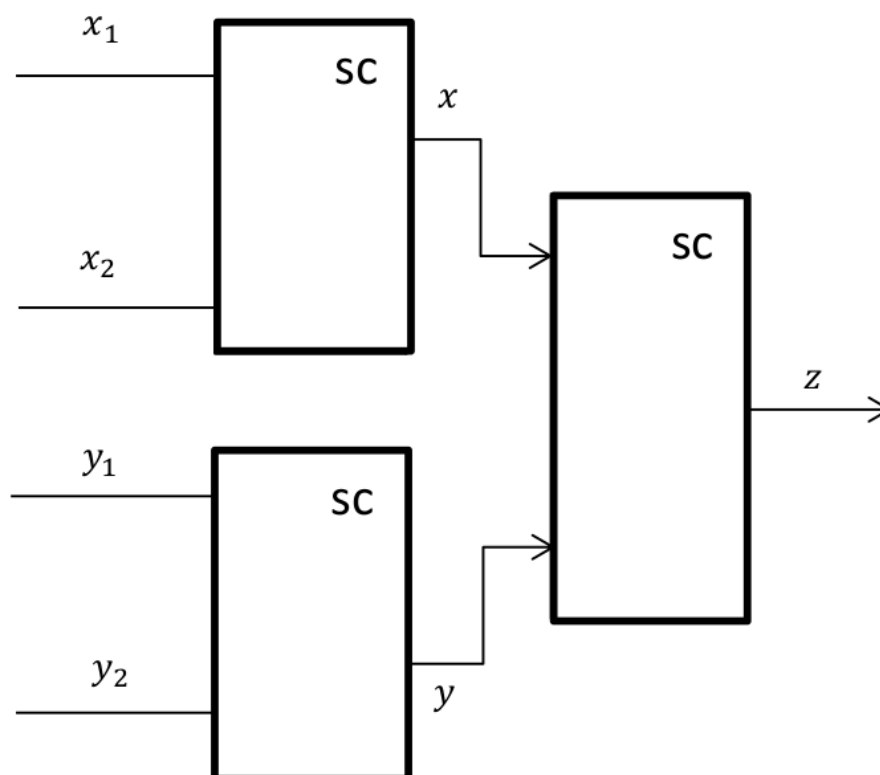
Neka je:

$$x = \max(x_1, x_2) \quad (6.1)$$

$$y = \max(y_1, y_2) \quad (6.2)$$

$$z = \max(x, y)$$

(6.3)



Slika 6.1. Makrodiverziti sistem sa makrodiverziti prijemnikom i 2 mikrodiverziti (SC) prijemnika

Raspodela anvelopa fedinga [7]:

$$p_x(x/\Omega_1) = p_{x_1}(x)F_{x_2}(x) + p_{x_2}(x)F_{x_1}(x) \quad (6.4)$$

$$p_y(y/\Omega_2) = p_{y_1}(y)F_{y_2}(y) + p_{y_2}(y)F_{y_1}(y) \quad (6.5)$$

¹ Gustina verovatnoće od (x_1) je:

$$p_{x_1}(x_1) = \frac{2\mu_1(k_1+1)^{\frac{\mu_1+1}{2}}}{k_1^{\frac{\mu_1-1}{2}} e^{k_1\mu_1} \Omega_1^{\frac{\mu_1+1}{2}}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\mu_1 \sqrt{\frac{k_1(k_1+1)}{\Omega_1}} \right)^{2i_1+\mu_1-1} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+\mu_1)} x_1^{2i_1+2\mu_1-1} e^{-\frac{\mu_1(k_1+1)}{\Omega_1} x_1} \quad (6.6)$$

Gustina verovatnoće od (x_2) je [6]:

$$p_{x_2}(x_2) = \frac{2\mu_1(k_1+1)^{\frac{\mu_1+1}{2}}}{k_1^{\frac{\mu_1-1}{2}} e^{k_1\mu_1} \Omega_1^{\frac{\mu_1+1}{2}}} \sum_{i_2=0}^{\infty} \left(\mu_1 \sqrt{\frac{k_1(k_1+1)}{\Omega_1}} \right)^{2i_2+\mu_1-1} \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2+\mu_1)} x_2^{2i_2+2\mu_1-1} e^{-\frac{\mu_1(k_1+1)}{\Omega_1} x_2} \quad (6.7)$$

Gustina verovatnoće od (y_1) je:

$$p_{y_1}(y_1) = \frac{2\mu_1(k_1+1)^{\frac{\mu_1+1}{2}}}{k_1^{\frac{\mu_1-1}{2}} e^{k_1\mu_1} \Omega_2^{\frac{\mu_1+1}{2}}} \sum_{i_3=0}^{\infty} \left(\mu_1 \sqrt{\frac{k_1(k_1+1)}{\Omega_2}} \right)^{2i_3+\mu_1-1} \frac{1}{i_3! \Gamma(i_3+\mu_1)} y_1^{2i_3+2\mu_1-1} e^{-\frac{\mu_1(k_1+1)}{\Omega_2} y_1}, \quad y_1 \geq 0 \quad (6.8)$$

Gustina verovatnoće od (y_2) je:

$$p_{y_2}(y_2) = \frac{2\mu_1(k_1+1)^{\frac{\mu_1+1}{2}}}{k_1^{\frac{\mu_1-1}{2}} e^{k_1\mu_1} \Omega_2^{\frac{\mu_1+1}{2}}} \sum_{i_4=0}^{\infty} \left(\mu_1 \sqrt{\frac{k_1(k_1+1)}{\Omega_2}} \right)^{2i_4+\mu_1-1} \frac{1}{i_4! \Gamma(i_4+\mu_1)} y_2^{2i_4+2\mu_1-1} e^{-\frac{\mu_1(k_1+1)}{\Omega_2} y_2}, \quad y_2 \geq 0 \quad (6.9)$$

Parametri snage, Ω_1 i Ω_2 , imaju Gama raspodelu.

Srednja snaga (Ω) takođe, ima Gama raspodelu:

$$p_{\Omega_1 \Omega_2}(\Omega_1 \Omega_2) = (\Omega_1 \Omega_2)^{\frac{c-1}{2}} \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho)\rho^{\frac{c-1}{2}} \Omega_0^{c+1}} I_{c-1} \left(\frac{2}{\Omega_0(1-\rho)} \sqrt{\rho \Omega_1 \Omega_2} \right) e^{\frac{-\Omega_1+\Omega_2}{\Omega_0(1-\rho)}} = \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho)\rho^{\frac{c-1}{2}} \Omega_0^{c+1}} (\Omega_1 \Omega_2)^{\frac{c-1}{2}} I_{c-1} \left(\frac{2}{\Omega_0(1-\rho)} \sqrt{\rho \Omega_1 \Omega_2} \right) e^{\frac{-\Omega_1+\Omega_2}{\Omega_0(1-\rho)}} \quad (6.10)$$

Gustina verovatnoće od (z) je:

$$p_z(z) = p_x(z)F_y(z) + p_y(z)F_x(z) \quad (6.11)$$

1 Kumulativna verovatnoća od (x_1) je:

$$\begin{aligned} F_{x_1}(x_1) &= \int_0^{x_1} d_t p_{x_1}(t) = \frac{2\mu_1(k_1+1)^{\frac{\mu_1+1}{2}}}{k_1^{\frac{\mu_1-1}{2}} e^{k_1\mu_1} \Omega_1^{\frac{\mu_1+1}{2}}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\mu_1 \sqrt{\frac{k_1(k_1+1)}{\Omega_1}} \right)^{2i_1+\mu_1-1} \\ &\quad \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1 + \mu_1)} \int_0^{x_1} d_t t^{2i_1+2\mu_1-1} e^{-\frac{\mu_1(k_1+1)}{\Omega_1} t^2} = \\ &\quad \frac{2\mu_1(k_1+1)^{\frac{\mu_1+1}{2}}}{k_1^{\frac{\mu_1-1}{2}} e^{k_1\mu_1} \Omega_1^{\frac{\mu_1+1}{2}}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\mu_1 \sqrt{\frac{k_1(k_1+1)}{\Omega_1}} \right)^{2i_1+\mu_1-1} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1 + \mu_1)} \frac{1}{2} \left(\frac{\Omega_1}{\mu_1(k_1+1)} \right)^{i_1+\mu_1} \\ &\quad \gamma\left(i_1 + \mu_1, \frac{\mu_1(k_1+1)}{\Omega_1} x_1^2\right) \end{aligned} \quad (6.12)$$

Kumulativna verovatnoća od (x_2) je:

$$\begin{aligned} F_{x_2}(x_2) &= \int_0^{x_2} d_t p_{x_2}(t) = \frac{2\mu_1(k_1+1)^{\frac{\mu_1+1}{2}}}{k_1^{\frac{\mu_1-1}{2}} e^{k_1\mu_1} \Omega_1^{\frac{\mu_1+1}{2}}} \sum_{i_2=0}^{\infty} \left(\mu_1 \sqrt{\frac{k_1(k_1+1)}{\Omega_1}} \right)^{2i_2+\mu_1-1} \\ &\quad \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2 + \mu_2)} \int_0^{x_2} d_t t^{2i_2+2\mu_1-1} e^{-\frac{\mu_1(k_1+1)}{\Omega_1} t^2} = \\ &\quad \frac{2\mu_1(k_1+1)^{\frac{\mu_1+1}{2}}}{k_1^{\frac{\mu_1-1}{2}} e^{k_1\mu_1} \Omega_1^{\frac{\mu_1+1}{2}}} \sum_{i_2=0}^{\infty} \left(\mu_1 \sqrt{\frac{k_1(k_1+1)}{\Omega_1}} \right)^{2i_2+\mu_1-1} \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2 + \mu_1)} \\ &\quad \frac{1}{2} \left(\frac{\Omega_1}{\mu_1(k_1+1)} \right)^{i_1+\mu_1} \gamma\left(i_1 + \mu_1, \frac{\mu_1(k_1+1)}{\Omega_1} x_2^2\right) \end{aligned} \quad (6.13)$$

Kumulativna verovatnoća od (y_1) je:

$$F_{y_1}(y_1) = \int_0^{y_1} d_t p_{y_1}(t) = \frac{2\mu_1(k_1+1)^{\frac{\mu_1+1}{2}}}{k_1^{\frac{\mu_1-1}{2}} e^{k_1\mu_1} \Omega_2^{\frac{\mu_1+1}{2}}} \sum_{i_3=0}^{\infty} \left(\mu_1 \sqrt{\frac{k_1(k_1+1)}{\Omega_2}} \right)^{2i_3+\mu_1-1}$$

$$\frac{1}{i_3! \Gamma(i_3 + \mu_1)} \frac{1}{2} \left(\frac{\Omega_2}{\mu_1(k_1 + 1)} \right)^{i_3 + \mu_1} \gamma \left(i_3 + \mu_1, \frac{\mu_1(k_1 + 1)}{\Omega_2} y_1^2 \right) \quad (6.14)$$

Kumulativna verovatnoća od (y_2) je:

$$F_{y_2}(y_2) = \int_0^{y_2} d_t p_{y_2}(t) = \frac{2\mu_1(k_1 + 1)^{\frac{\mu_1 + 1}{2}}}{k_1^{\frac{\mu_1 - 1}{2}} e^{k_1 \mu_1} \Omega_2^{\frac{\mu_1 + 1}{2}}} \sum_{i_4=0}^{\infty} \left(\mu_1 \sqrt{\frac{k_1(k_1 + 1)}{\Omega_2}} \right)^{2i_4 + \mu_1 - 1} \frac{1}{i_4! \Gamma(i_4 + \mu_1)} \frac{1}{2} \left(\frac{\Omega_2}{\mu_1(k_1 + 1)} \right)^{i_4 + \mu_1} \gamma \left(i_4 + \mu_1, \frac{\mu_1(k_1 + 1)}{\Omega_2} y_2^2 \right) \quad (6.15)$$

Gustina verovatnoće od (x) je:

$$\begin{aligned} p_x(x) &= p_{x_1}(x) F_{x_2}(x) + p_{x_2}(x) F_{x_1}(x) = \\ &= \frac{2\mu_1(k_1 + 1)^{\frac{\mu_1 + 1}{2}}}{k_1^{\frac{\mu_1 - 1}{2}} e^{k_1 \mu_1} \Omega_1^{\frac{\mu_1 + 1}{2}}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\mu_1 \sqrt{\frac{k_1(k_1 + 1)}{\Omega_1}} \right)^{2i_1 + \mu_1 - 1} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1 + \mu_1)} \\ &\quad x_1^{2i_1 + 2\mu_1 - 1} e^{-\frac{\mu_1(k_1 + 1)}{\Omega_1} x^2} \frac{2\mu_1(k_1 + 1)^{\frac{\mu_1 + 1}{2}}}{k_1^{\frac{\mu_1 - 1}{2}} e^{k_1 \mu_1} \Omega_1^{\frac{\mu_1 + 1}{2}}} \sum_{i_2=0}^{\infty} \left(\mu_1 \sqrt{\frac{k_1(k_1 + 1)}{\Omega_1}} \right)^{2i_2 + \mu_1 - 1} \\ &\quad \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2 + \mu_1)} \frac{1}{2} \left(\frac{\Omega_1}{\mu_1(k_1 + 1)} \right)^{i_2 + \mu_1} \gamma \left(i_2 + \mu_1, \frac{\mu_1(k_1 + 1)}{\Omega_1} x^2 \right) + \\ &\quad \frac{2\mu_1(k_1 + 1)^{\frac{\mu_1 + 1}{2}}}{k_1^{\frac{\mu_1 - 1}{2}} e^{k_1 \mu_1} \Omega_1^{\frac{\mu_1 + 1}{2}}} \sum_{i_3=0}^{\infty} \left(\mu_1 \sqrt{\frac{k_1(k_1 + 1)}{\Omega_1}} \right)^{2i_3 + \mu_1 - 1} \frac{1}{i_3! \Gamma(i_3 + \mu_1)} \\ &\quad x^{i_3 + \mu_1} e^{-\frac{\mu_1(k_1 + 1)}{\Omega_1} x^2} \frac{2\mu_1(k_1 + 1)^{\frac{\mu_1 + 1}{2}}}{k_1^{\frac{\mu_1 - 1}{2}} e^{k_1 \mu_1} \Omega_1^{\frac{\mu_1 + 1}{2}}} \sum_{i_4=0}^{\infty} \left(\mu_1 \sqrt{\frac{k_1(k_1 + 1)}{\Omega_1}} \right)^{2i_4 + \mu_1 - 1} \\ &\quad \frac{1}{i_4! \Gamma(i_4 + \mu_1)} \frac{1}{2} \left(\frac{\Omega_1}{\mu_1(k_1 + 1)} \right)^{i_4 + \mu_1} \gamma \left(i_4 + \mu_1, \frac{\mu_1(k_1 + 1)}{\Omega_1} x^2 \right) \end{aligned} \quad (6.16)$$

Kumulativna verovatnoća od (y) je:

$$F_y(y) = F_{y_1}(y) F_{y_2}(y) =$$

$$\begin{aligned}
& \frac{2\mu_1(k_1+1)^{\frac{\mu_1+1}{2}}}{k_1^{\frac{\mu_1-1}{2}} e^{k_1\mu_1}\Omega_2^{\frac{\mu_1+1}{2}}} \sum_{i_5=0}^{\infty} \left(\mu_1 \sqrt{\frac{k_1(k_1+1)}{\Omega_2}} \right)^{2i_5+\mu_1-1} \frac{1}{i_5! \Gamma(i_5+\mu_1)} \\
& \frac{1}{2} \left(\frac{\Omega_2}{\mu_1(k_1+1)} \right)^{i_5+\mu_1} \gamma \left(i_5+\mu_1, \frac{\mu_1(k_1+1)}{\Omega_2} y^2 \right) \\
& \frac{2\mu_1(k_1+1)^{\frac{\mu_1+1}{2}}}{k_1^{\frac{\mu_1-1}{2}} e^{k_1\mu_1}\Omega_2^{\frac{\mu_1+1}{2}}} \sum_{i_4=0}^{\infty} \left(\mu_1 \sqrt{\frac{k_1(k_1+1)}{\Omega_2}} \right)^{2i_4+\mu_1-1} \frac{1}{i_4! \Gamma(i_4+\mu_1)} \\
& \frac{1}{2} \left(\frac{\Omega_2}{\mu_1(k_1+1)} \right)^{i_4+\mu_1} \gamma \left(i_4+\mu_1, \frac{\mu_1(k_1+1)}{\Omega_2} y^2 \right)
\end{aligned} \tag{6.17}$$

Gustina verovatnoće slučajne promenljive (x) je [34], [44]:

$$p_x(x) = p_{x_1}(x)F_{x_2}(x) + p_{x_2}(x)F_{x_1}(x) \tag{6.18}$$

1 Kumulativna verovatnoća od (z) je:

$$F_x(z) = F_{x_1}(z)F_{y_1}(z) = F_{x_1}(z)F_{x_2}(z)F_{y_1}(z)F_{y_2}(z) \tag{6.19}$$

Kumulativna verovatnoća od (x) je:

$$\begin{aligned}
F_x(z) &= F_{x_1}(z)F_{x_2}(z) = \frac{2\mu_1(k_1+1)^{\frac{\mu_1+1}{2}}}{k_1^{\frac{\mu_1-1}{2}} e^{k_1\mu_1}\Omega_1^{\frac{\mu_1+1}{2}}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\mu_1 \sqrt{\frac{k_1(k_1+1)}{\Omega_1}} \right)^{2i_1+\mu_1-1} \\
& \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+\mu_1)} \frac{1}{2} \left(\frac{\Omega_1}{\mu_1(k_1+1)} \right)^{i_1+\mu_1} \gamma \left(i_1+\mu_1, \frac{\mu_1(k_1+1)}{\Omega_1} x^2 \right) \\
& \frac{2\mu_1(k_1+1)^{\frac{\mu_1+1}{2}}}{k_1^{\frac{\mu_1-1}{2}} e^{k_1\mu_1}\Omega_1^{\frac{\mu_1+1}{2}}} \sum_{i_2=0}^{\infty} \left(\mu_1 \sqrt{\frac{k_1(k_1+1)}{\Omega_1}} \right)^{2i_2+\mu_1-1} \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2+\mu_1)} \\
& \frac{1}{2} \left(\frac{\Omega_1}{\mu_1(k_1+1)} \right)^{i_2+\mu_1} \gamma \left(i_2+\mu_1, \frac{\mu_1(k_1+1)}{\Omega_1} x^2 \right)
\end{aligned} \tag{6.20}$$

Kumulativna verovatnoća od (y) je [5], [18], [107]:

$$\begin{aligned}
F_y(y) &= F_{y_1}(y)F_{y_2}(y) = \frac{2\mu_1(k_1+1)^{\frac{\mu_1+1}{2}}}{k_1^{\frac{\mu_1-1}{2}} e^{k_1\mu_1}\Omega_2^{\frac{\mu_1+1}{2}}} \sum_{i_3=0}^{\infty} \left(\mu_1 \sqrt{\frac{k_1(k_1+1)}{\Omega_2}} \right)^{2i_3+\mu_1-1} \\
&\quad \frac{1}{i_3! \Gamma(i_3+\mu_1)} \frac{1}{2} \left(\frac{\Omega_2}{\mu_1(k_1+1)} \right)^{i_3+\mu_1} \gamma \left(i_3+\mu_1, \frac{\mu_1(k_1+1)}{\Omega_2} y^2 \right) \\
&\quad \frac{2\mu_1(k_1+1)^{\frac{\mu_1+1}{2}}}{k_1^{\frac{\mu_1-1}{2}} e^{k_1\mu_1}\Omega_2^{\frac{\mu_1+1}{2}}} \sum_{i_4=0}^{\infty} \left(\mu_1 \sqrt{\frac{k_1(k_1+1)}{\Omega_2}} \right)^{2i_4+\mu_1-1} \frac{1}{i_4! \Gamma(i_4+\mu_1)} \\
&\quad \frac{1}{2} \left(\frac{\Omega_2}{\mu_1(k_1+1)} \right)^{i_4+\mu_1} \gamma \left(i_4+\mu_1, \frac{\mu_1(k_1+1)}{\Omega_2} y^2 \right)
\end{aligned} \tag{6.21}$$

Kumulativna verovatnoća od (z) je:

$$F_z(z) = F_x(z)F_y(z) \tag{6.22}$$

$$F_x(z/\Omega_1)F_y(z/\Omega_2) = F_z(z/\Omega_1, \Omega_2) \tag{6.23}$$

Usrednjavanjem se dobija:

$$\begin{aligned}
F_z(z) &= F_z(z/\Omega_1, \Omega_2) = \int_0^{\infty} d\Omega_1 \int_0^{\infty} d\Omega_2 F_z(z/\Omega_1, \Omega_2) p_{\Omega_1\Omega_2}(\Omega_1\Omega_2) \\
&\quad \int_0^{\infty} d\Omega_1 \int_0^{\infty} d\Omega_2 F_x(z)F_y(z) p_{\Omega_1\Omega_2}(\Omega_1\Omega_2) = \\
&\quad \int_0^{\infty} d\Omega_1 \int_0^{\infty} d\Omega_2 F_x(z)F_y(z) \frac{1}{\Gamma(c)(1-\rho)\rho^{\frac{c-1}{2}}\Omega_0^{c+1}} (\Omega_1\Omega_2)^{\frac{c-1}{2}} I_{c-1} \left(\frac{2}{\Omega_0(1-\rho)} \sqrt{\rho\Omega_1\Omega_2} \right) e^{\frac{-\Omega_1+\Omega_2}{\Omega_0(1-\rho)}} \\
&\quad \int_0^{\infty} d\Omega_1 \int_0^{\infty} d\Omega_2 \frac{2\mu_1(k_1+1)^{\frac{\mu_1+1}{2}}}{k_1^{\frac{\mu_1-1}{2}} e^{k_1\mu_1}\Omega_1^{\frac{\mu_1+1}{2}}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\mu_1 \sqrt{\frac{k_1(k_1+1)}{\Omega_1}} \right)^{2i_1+\mu_1-1} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+\mu_1)} \\
&\quad \frac{1}{2} \left(\frac{\Omega_1}{\mu_1(k_1+1)} \right)^{i_1+\mu_1} \gamma \left(i_1+\mu_1, \frac{\mu_1(k_1+1)}{\Omega_1} z^2 \right)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \frac{2\mu_1(k_1+1)^{\frac{\mu_1+1}{2}}}{k_1^{\frac{\mu_1-1}{2}} e^{k_1\mu_1}\Omega_1^{\frac{\mu_1+1}{2}}} \sum_{i_2=0}^{\infty} \left(\mu_1 \sqrt{\frac{k_1(k_1+1)}{\Omega_1}} \right)^{2i_2+\mu_1-1} \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2+\mu_1)} \\
& \frac{1}{2} \left(\frac{\Omega_1}{\mu_1(k_1+1)} \right)^{i_2+\mu_1} \gamma \left(i_2+\mu_1, \frac{\mu_1(k_1+1)}{\Omega_1} z^2 \right) \\
& \frac{2\mu_1(k_1+1)^{\frac{\mu_1+1}{2}}}{k_1^{\frac{\mu_1-1}{2}} e^{k_1\mu_1}\Omega_2^{\frac{\mu_1+1}{2}}} \sum_{i_3=0}^{\infty} \left(\mu_1 \sqrt{\frac{k_1(k_1+1)}{\Omega_2}} \right)^{2i_3+\mu_1-1} \frac{1}{i_3! \Gamma(i_3+\mu_1)} \\
& \frac{1}{2} \left(\frac{\Omega_2}{\mu_1(k_1+1)} \right)^{i_3+\mu_1} \gamma \left(i_3+\mu_1, \frac{\mu_1(k_1+1)}{\Omega_2} z^2 \right) \\
& \frac{2\mu_1(k_1+1)^{\frac{\mu_1+1}{2}}}{k_1^{\frac{\mu_1-1}{2}} e^{k_1\mu_1}\Omega_2^{\frac{\mu_1+1}{2}}} \sum_{i_4=0}^{\infty} \left(\mu_1 \sqrt{\frac{k_1(k_1+1)}{\Omega_2}} \right)^{2i_4+\mu_1-1} \frac{1}{i_4! \Gamma(i_4+\mu_1)} \\
& \frac{1}{2} \left(\frac{\Omega_2}{\mu_1(k_1+1)} \right)^{i_4+\mu_1} \gamma \left(i_4+\mu_1, \frac{\mu_1(k_1+1)}{\Omega_2} z^2 \right)
\end{aligned} \tag{6.24}$$

Srednji broj osnih preseka od (x_1) je:

$$N_{x_1} = \int_0^\infty d_{x_1} x_1 p_{x_1 x_1} (x_1 x_1) \tag{6.25}$$

Srednji broj osnih preseka od (x_2) je:

$$N_{x_2} = \int_0^\infty d_{x_2} x_2 p_{x_2 x_2} (x_2 x_2) \tag{6.26}$$

Srednji broj osnih preseka od (y_1) je:

$$N_{y_1} = \int_0^\infty d_{y_1} y_1 p_{y y_1} (y y_1) \tag{6.27}$$

Srednji broj osnih preseka od (y_2) je:

$$N_{y_2} = \int_0^\infty d_{y_2} y_2 p_{y_2 y_2} (y_2 y_2) \tag{6.28}$$

Srednji broj osnih preseka od (x) je:

$$N_x = N_{x_1} F_{x_2}(x) + N_{x_2} F_{x_1}(x) \tag{6.29}$$

Srednji broj osnih preseka od (y) je [52]:

$$N_y = N_{y_1} F_{y_2}(y) + N_{y_2} F_{y_1}(y) \quad (6.30)$$

1
Srednji broj osnih preseka od (z) je:

$$N_z = N_x F_y(z) + N_y F_x(z) \quad (6.31)$$

Srednji broj osnih preseka od (x₁) je:

$$N_{x_1} = \int_0^\infty d_{x'_1} x'_1 p_{x_1 x'_1}(x_1 x'_1) \quad (6.32)$$

1
Gustina verovatnoće od (x₁x'₁) je:

$$p_{x_1 x'_1}(x_1 x'_1) = \frac{2\mu_1(k_1+1)^{\frac{\mu_1+1}{2}}}{k_1^{\frac{\mu_1-1}{2}} e^{k_1\mu_1} \Omega_1^{\frac{\mu_1+1}{2}}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\mu_1 \sqrt{\frac{k_1(k_1+1)}{\Omega_1}} \right)^{2i_1+\mu_1-1} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+\mu_1)} x_1^{2i_1+2\mu_1-1} e^{\frac{-\mu_1(k_1+1)}{\Omega_1}} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\beta_1} e^{\frac{-x'^2_1}{2\beta_1}} \quad (6.33)$$

Gustina verovatnoće od (x₂x'₂) je:

$$p_{x_2 x'_2}(x_2 x'_2) = \frac{2\mu_1(k_1+1)^{\frac{\mu_1+1}{2}}}{k_1^{\frac{\mu_1-1}{2}} e^{k_1\mu_1} \Omega_1^{\frac{\mu_1+1}{2}}} \sum_{i_2=0}^{\infty} \left(\mu_1 \sqrt{\frac{k_1(k_1+1)}{\Omega_1}} \right)^{2i_2+\mu_2-1} \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2+\mu_1)} x_2^{2i_2+2\mu_1-1} e^{\frac{-\mu_1(k_1+1)}{\Omega_1}} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\beta_1} e^{\frac{-x'^2_2}{2\beta_1}} \quad (6.34)$$

Gustina verovatnoće od (y₁y'₁) je:

$$p_{y_1 y'_1}(y_1 y'_1) = \frac{2\mu_1(k_1+1)^{\frac{\mu_1+1}{2}}}{k_1^{\frac{\mu_1-1}{2}} e^{k_1\mu_1} \Omega_2^{\frac{\mu_2+1}{2}}} \sum_{i_3=0}^{\infty} \left(\mu_1 \sqrt{\frac{k_1(k_1+1)}{\Omega_2}} \right)^{2i_3+\mu_1-1} \frac{1}{i_3! \Gamma(i_3+\mu_1)} y_1^{2i_3+2\mu_1-1} e^{\frac{-\mu_1(k_1+1)}{\Omega_2}} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\beta_2} e^{\frac{-y'^2_1}{2\beta_2}} \quad y_1 \geq 0 \quad (6.35)$$

Gustina verovatnoće od (y₂y'₂) je:

$$p_{y_2 y_2}(y_2 y_2) = \frac{2\mu_1(k_1+1)^{\frac{\mu_1+1}{2}}}{k_1^{\frac{\mu_1-1}{2}} e^{k_1\mu_1\Omega_2} \Omega_2^{\frac{\mu_1+1}{2}}} \sum_{i_4=0}^{\infty} \left(\mu_1 \sqrt{\frac{k_1(k_1+1)}{\Omega_2}} \right)^{2i_4+\mu_1-1} \frac{1}{i_4! \Gamma(i_4+\mu_1)} y_2^{2i_4+2\mu_1-1} e^{\frac{-\mu_1(k_1+1)}{\Omega_2} y_2^2} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\beta_2} e^{\frac{-y_2^2}{2\beta_2^2}} y_2 \geq 0 \quad (6.36)$$

1

Gustina verovatnoće od $(x\dot{x})$ je:

$$\begin{aligned} p_{x\dot{x}}(x\dot{x}) &= p_{x_1 x_1}(x\dot{x}) F_{x_2}(x) + p_{x_2 x_2}(x\dot{x}) F_{x_1}(x) = \\ &= \frac{2\mu_1(k_1+1)^{\frac{\mu_1+1}{2}}}{k_1^{\frac{\mu_1-1}{2}} e^{k_1\mu_1\Omega_1} \Omega_1^{\frac{\mu_1+1}{2}}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\mu_1 \sqrt{\frac{k_1(k_1+1)}{\Omega_1}} \right)^{2i_1+\mu_1-1} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+\mu_1)} x^{2i_1+2\mu_1-1} e^{\frac{-\mu_1(k_1+1)}{\Omega_1} x^2} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\beta_1} e^{\frac{-\dot{x}^2}{2\beta_1^2}} \\ &+ \frac{2\mu_1(k_1+1)^{\frac{\mu_1+1}{2}}}{k_1^{\frac{\mu_1-1}{2}} e^{k_1\mu_1\Omega_1} \Omega_1^{\frac{\mu_1+1}{2}}} \sum_{i_2=0}^{\infty} \left(\mu_1 \sqrt{\frac{k_1(k_1+1)}{\Omega_1}} \right)^{2i_2+\mu_1-1} \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2+\mu_1)} \\ &\frac{1}{2} \left(\frac{\Omega_1}{\mu_1(k_1+1)} \right)^{i_2+\mu_1} \gamma \left(i_2+\mu_1, \frac{\mu_1(k_1+1)}{\Omega_1} x^2 \right) + \\ &+ \frac{2\mu_1(k_1+1)^{\frac{\mu_1+1}{2}}}{k_1^{\frac{\mu_1-1}{2}} e^{k_1\mu_1\Omega_1} \Omega_1^{\frac{\mu_1+1}{2}}} \sum_{i_3=0}^{\infty} \left(\mu_1 \sqrt{\frac{k_1(k_1+1)}{\Omega_1}} \right)^{2i_3+\mu_1-1} \frac{1}{i_3! \Gamma(i_3+\mu_1)} \\ &x^{2i_3+2\mu_1-1} e^{\frac{-\mu_1(k_1+1)}{\Omega_1} x^2} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\beta_1^2} e^{\frac{-\dot{x}^2}{2\beta_1^2}} \\ &+ \frac{2\mu_1(k_1+1)^{\frac{\mu_1+1}{2}}}{k_1^{\frac{\mu_1-1}{2}} e^{k_1\mu_1\Omega_1} \Omega_1^{\frac{\mu_1+1}{2}}} \sum_{i_4=0}^{\infty} \left(\mu_1 \sqrt{\frac{k_1(k_1+1)}{\Omega_1}} \right)^{2i_4+\mu_1-1} \frac{1}{i_4! \Gamma(i_4+\mu_1)} \end{aligned}$$

$$\frac{1}{2} \left(\frac{\Omega_1}{\mu_1(k_1+1)} \right)^{i_4+\mu_1} \gamma \left(i_4 + \mu_1, \frac{\mu_1(k_1+1)}{\Omega_1} x^2 \right) \quad (6.37)$$

Gustina verovatnoće od $(y\dot{y})$ je:

$$p_{y\dot{y}}(y\dot{y}) = p_{y_1\dot{y}_1}(y\dot{y})F_{y_2}(y) + p_{y_2\dot{y}_2}(y\dot{y})F_{y_1}(y) \quad (6.38)$$

Gustina verovatnoće od $(y_1\dot{y}_1)$ je:

$$p_{y_1\dot{y}_1}(y_1\dot{y}_1) = \frac{2\mu_1(k_1+1)^{\frac{\mu_1+1}{2}}}{k_1^{\frac{\mu_1-1}{2}} e^{k_1\mu_1\Omega_2} \frac{\mu_1+1}{2}} \sum_{i_s=0}^{\infty} \left(\mu_1 \sqrt{\frac{k_1(k_1+1)}{\Omega_2}} \right)^{2i_s+\mu_1-1} \frac{1}{i_s! \Gamma(i_s+\mu_1)} y_1^{2i_s+2\mu_1-1} e^{-\frac{\mu_1(k_1+1)}{\Omega_2} y_1^2} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\beta_2} e^{-\frac{\dot{y}_1^2}{2\beta_2}} \quad (6.39)$$

Gustina verovatnoće od $(y_2\dot{y}_2)$ je:

$$p_{y_2\dot{y}_2}(y_2\dot{y}_2) = \frac{2\mu_1(k_1+1)^{\frac{\mu_1+1}{2}}}{k_1^{\frac{\mu_1-1}{2}} e^{k_1\mu_1\Omega_2} \frac{\mu_1+1}{2}} \sum_{i_s=0}^{\infty} \left(\mu_1 \sqrt{\frac{k_1(k_1+1)}{\Omega_2}} \right)^{2i_s+\mu_1-1} \frac{1}{i_s! \Gamma(i_s+\mu_1)} y_2^{2i_s+2\mu_1-1} e^{-\frac{\mu_1(k_1+1)}{\Omega_2} y_2^2} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\beta_2} e^{-\frac{\dot{y}_2^2}{2\beta_2}} \quad (6.40)$$

Gustina verovatnoće od $(y\dot{y})$ je:

$$p_{y\dot{y}}(y\dot{y}) = \frac{2\mu_1(k_1+1)^{\frac{\mu_1+1}{2}}}{k_1^{\frac{\mu_1-1}{2}} e^{k_1\mu_1\Omega_2} \frac{\mu_1+1}{2}} \sum_{i_1=0}^{\infty} \left(\mu_1 \sqrt{\frac{k_1(k_1+1)}{\Omega_2}} \right)^{2i_1+\mu_1-1} \frac{1}{i_1! \Gamma(i_1+\mu_1)} y^{2i_1+2\mu_1-1} e^{-\frac{\mu_1(k_1+1)}{\Omega_2} y^2} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\beta_1} e^{-\frac{\dot{y}^2}{2\beta_1}} + \frac{2\mu_1(k_1+1)^{\frac{\mu_1+1}{2}}}{k_1^{\frac{\mu_1-1}{2}} e^{k_1\mu_1\Omega_2} \frac{\mu_1+1}{2}} \sum_{i_2=0}^{\infty} \left(\mu_1 \sqrt{\frac{k_1(k_1+1)}{\Omega_2}} \right)^{2i_2+\mu_1-1} \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2+\mu_1)} y^{2i_2+2\mu_1-1} e^{-\frac{\mu_1(k_1+1)}{\Omega_2} y^2} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\beta_2} e^{-\frac{\dot{y}^2}{2\beta_2}}$$

$$\begin{aligned}
& \frac{1}{2} \left(\frac{\Omega_2}{\mu_1(k_1+1)} \right)^{i_2+\mu_1} \gamma \left(i_2 + \mu_1, \frac{\mu_1(k_1+1)}{\Omega_2} y^2 \right) \\
& + \frac{2\mu_1(k_1+1)^{\frac{\mu_1+1}{2}}}{k_1^{\frac{\mu_1-1}{2}} e^{k_1\mu_1\Omega_2^{\frac{\mu_1+1}{2}}}} \sum_{i_2=0}^{\infty} \left(\mu_1 \sqrt{\frac{k_1(k_1+1)}{\Omega_2}} \right)^{2i_2+\mu_1-1} \frac{1}{i_2! \Gamma(i_2 + \mu_1)} \\
& y^{2i_2+2\mu_1-1} e^{-\frac{\mu_1(k_1+1)}{\Omega_1} y^2} \frac{1}{\sqrt{2\pi\beta_1}} e^{\frac{-y^2}{2\beta_1}} \\
& \frac{2\mu_1(k_1+1)^{\frac{\mu_1+1}{2}}}{k_1^{\frac{\mu_1-1}{2}} e^{k_1\mu_1\Omega_2^{\frac{\mu_1+1}{2}}}} \sum_{i_4=0}^{\infty} \left(\mu_1 \sqrt{\frac{k_1(k_1+1)}{\Omega_2}} \right)^{2i_4+\mu_1-1} \frac{1}{i_4! \Gamma(i_4 + \mu_1)} \\
& \frac{1}{2} \left(\frac{\Omega_2}{\mu_1(k_1+1)} \right)^{i_4+\mu_1} \gamma \left(i_4 + \mu_1, \frac{\mu_1(k_1+1)}{\Omega_2} y^2 \right)
\end{aligned} \tag{6.41}$$

Kumulativna verovatnoća od (zž) je:

$$F_{z\bar{z}}(z\bar{z}/\Omega_1, \Omega_2) = F_{xx}(z\bar{z}/\Omega_1)F_y(z/\Omega_2) + F_{yy}(z\bar{z}/\Omega_2)F_x(z/\Omega_1) \tag{6.42}$$

Srednja vrednost osnih preseka od (x) je:

$$N_x = N_{x_1} F_{x_2}(x) + N_{x_2} F_{x_1}(x) \tag{6.43}$$

Srednji vrednost osnih preseka od (y) je:

$$N_y = N_{y_1} F_{y_2}(y) + N_{y_2} F_{y_1}(y) \tag{6.44}$$

Srednji broj osnih preseka od (z) je:

$$N_z = N_x F_y(y) + N_y F_x(x) = N_x \left(F_{y_1}(y) F_{y_2}(y) \right) + N_y \left(F_{x_1}(x) F_{x_2}(x) \right) \tag{6.45}$$

Srednja vrednost od [108]:

$$m_{11} = x'_1 \tag{6.46}$$

$$m_{12} = x'_2 \tag{6.47}$$

$$m_{13} = y'_1 \tag{6.48}$$

$$m_{14} = y_2' \quad (6.49)$$

$$m_{1x} = m_{11}F_{x_2}(x) + m_{12}F_{x_1}(x) \quad (6.50)$$

$$m_{1y} = m_{13}F_{y_2}(y) + m_{14}F_{y_1}(y) \quad (6.51)$$

$$m_{1z} = m_{1x}F_y(z) + m_{1y}F_x(z) \quad (6.52)$$

Srednja vrednost od [109]:

$$m_{2x_1} = x_1'^2 \quad (6.53)$$

$$m_{2x_2} = x_2'^2 \quad (6.54)$$

$$m_{2y_1} = y_1'^2 \quad (6.55)$$

$$m_{2y_2} = y_2'^2 \quad (6.56)$$

$$m_{2x} = m_{2x_1}F_{x_2}(x) + m_{2x_2}F_{x_1}(x) \quad (6.57)$$

$$m_{2y} = m_{2y_1}F_{y_2}(y) + m_{2y_2}F_{y_1}(y) \quad (6.58)$$

$$m_{2z} = m_{2x}F_y(z) + m_{2y}F_x(z) \quad (6.59)$$

Srednja vrednost od [110]:

$$m_{3x_1} = x_1'^3 \quad (6.60)$$

$$m_{3x_2} = x_2'^3 \quad (6.61)$$

$$m_{3y_1} = y_1'^3 \quad (6.62)$$

$$m_{3y_2} = y_2'^3 \quad (6.63)$$

$$m_{3x} = m_{3x_1}F_{x_2}(x) + m_{3x_2}F_{x_1}(x) \quad (6.64)$$

$$m_{3y} = m_{3y_1}F_{y_2}(y) + m_{3y_2}F_{y_1}(y) \quad (6.65)$$

7. Primena diverziteti tehnike kod 6G bežičnih komunikacionih sistema

Potražnja za bežičnim povezivanjem eksponencijalno je porasla tokom poslednjih nekoliko decenija. Komunikacije pete generacije (5G), sa daleko više funkcija od komunikacija četvrte generacije, uskoro će biti primenjene širom sveta. Nova paradigma bežične komunikacije, sistem šeste generacije (6G), uz punu podršku veštačke inteligencije, trebalo bi da bude primenjen između 2027. i 2030. Pored 5G, neka osnovna pitanja koja treba rešiti su veći sistemski kapacitet, veća brzina prenosa podataka, niža kašnjenja, veća sigurnost i poboljšani kvalitet usluge (QoS) u poređenju sa 5G sistemom. Predstavićemo viziju buduće 6G bežične komunikacije i njenu mrežnu arhitekturu. Opisatićemo nove tehnologije kao što su veštačka inteligencija, teraherc komunikacija, bežična optička tehnologija, optička mreža slobodnog prostora, blok lanac, trodimenzionalno umrežavanje, kvantne komunikacije, bespilotne letelice, bežična komunikacija, integracija bežičnih informacija i prenos energije, integrisano očitavanje i komunikacija, integrisane pristupne mrežne mreže, dinamičko presecanje mreže, holografsko oblikovanje snopa, backscatter komunikacija, inteligentna reflektujuća površina, proaktivno keširanje i analitika velikih podataka koji mogu pomoći razvoju 6G arhitekture u garantovanju QoS-a. Pored toga, predstavljene su očekivane aplikacije sa 6G komunikacionim zahtevima i moguće tehnologije. Takođe opisujemo potencijalne izazove i pravce istraživanja za postizanje ovog cilja.

Brzi razvoj raznih novih aplikacija, poput veštačke inteligencije (AI), virtualne stvarnosti (VR), trodimenzionalnih (3D) medija i Interneta svega (IoE), doveo je do ogromnog obima prometa. Globalni obim mobilnog prometa bio je 7.462 EB / mesec u 2010. godini, a predviđa se da će ovaj promet biti 2016 EB / mesec u 2030. godini. [142] Ova statistika pokazuje važnost poboljšanja komunikacionih sistema. Idemo ka društvu potpuno automatizovanih sistema daljinskog upravljanja. Autonomni sistemi postaju popularni u svim oblastima društva, uključujući industriju, zdravstvo, puteve, okeane i svemir. S tim u vezi, milioni senzora integrisani su u gradove, vozila, domove, industriju, hranu, igračke i druga okruženja kako bi pružili pametan život i automatizovane sisteme. Stoga će biti potrebna velika brzina prenosa podataka sa pouzdanom poveziivošću za podršku ovim aplikacijama. U određenim delovima sveta bežične mreže pete generacije (5G) već su postavljene. [143]

5G mreže neće imati kapacitet da isporuče potpuno automatizovanu i inteligentnu mrežu koja sve pruža kao uslugu. Iako će 5G komunikacioni sistemi ponuditi značajna poboljšanja u odnosu na postojeće sisteme, oni neće moći da ispune zahteve budućih inteligentnih i automatizovanih sistema u nastajanju nakon deset godina. 5G mreža će pružiti nove funkcije i pružiti bolji kvalitet usluge (QoS) u poređenju sa komunikacijom četvrte generacije (4G). 5G tehnologija uključuje nekoliko novih dodatnih tehnika, kao što su novi frekvencijski opsezi (npr. Milimetarski talas (mmWave) i optički spektri), napredna upotreba i upravljanje spektrom, kao i integracija licenciranih i nelicenciranih opsega. Uprkos tome, brzi rast orijentisan na podatke i automatizovane sisteme može premašiti mogućnosti 5G bežičnih mreža. 5G komunikacija je znatno previdela konvergenciju komunikacionih, inteligencijskih, senzorskih, kontrolnih i računskih funkcija. Međutim, buduće IoE aplikacije će zahtevati ovu konvergenciju. Određeni uređaji, kao što su VR uređaji, moraju da pređu 5G (B5G), jer zahtevaju najmanje 10 Gbps brzine prenosa podataka. [144]

Prednosti 6G sistema su:

- (i) izuzetno visoke brzine prenosa podataka po uređaju,
- (ii) veoma veliki broj povezanih uređaja,
- (iii) globalna povezanost,
- (iv) veoma malo kašnjenje,
- (v) smanjenje potrošnje energije uređajima Internet of Things (IoT) bez baterija,
- (vi) izuzetno visokom pouzdanošću povezivanja; i
- (vii) povezanom inteligencijom sa mogućnostima mašinskog učenja.

Novi zahtevati sistema šeste generacije (6G) uključuju:

- (i) masivne interfejsse čovek-mašina,
- (ii) sveprisutno računarstvo u oblaku pri upravljanju mrežom,
- (iii) spajanje više senzornih podataka za stvaranje mapa sa više stihova i različite iskustva sa mešovitom stvarnošću; i
- (iv) preciznost u otkrivanju i aktiviranju za kontrolu fizičkog sveta.

Da bi postigli cilj, 6G komunikacioni sistemi, i prevazišli ograničenja 5G za podršku novim izazovima, B5G bežični sistemi moraće da se razviju sa novim atraktivnim karakteristikama. 6G komunikacione mreže ispuniće zaostajanja 5G sistema uvođenjem nove sinteze budućih usluga kao što su inteligencija senzora okoline i nova interakcija čovek-čovek i čovek-mašina, sveobuhvatno uvođenje AI i uključivanje novih tehnologija kao što su teraherci (THz), Trodimenzionalno (3D) umrežavanje, kvantne komunikacije, holografsko oblikovanje snopa, backscatter komunikacija, inteligentna reflektujuća površina (IRS) i proaktivno keširanje. Ključni pokretači 6G biće konvergencija svih prošlih karakteristika, kao što su denzifikacija mreže, velika propusnost, velika pouzdanost, mala potrošnja energije i masivna povezanost. 6G sistem bi takođe nastavio trendove prethodnih generacija, koji su uključivali nove usluge uz dodatak novih tehnologija. Nove usluge uključuju AI, pametne nosive uređaje, implantate, autonomna vozila, računarske uređaje za stvarnost, senziranje i 3D mapiranje. Najkritičniji zahtev za 6G bežične mreže je sposobnost rukovanja velikim količinama podataka i povezivanjem sa velikom brzinom podataka po uređaju. Paradigma 5G će se dalje razvijati i proširivati u 6G. Međutim, 6G sistem će povećati performanse i maksimizirati korisnički QoS nekoliko puta više od 5G, zajedno sa nekim uzbudljivim karakteristikama. Može da zaštiti sistem, osigura korisničke podatke i pruži udobne usluge. Očekuje se da će 6G komunikacioni sistem biti globalni komunikacioni objekat. Predviđeno je da brzina prenosa podataka po korisniku u 6G u mnogim slučajevima bude približno 1 Tbps. Očekuje se da 6G sistem pruža istovremeno bežično povezivanje koje je 1000 puta veće od 5G. Štaviše, očekuje se i komunikacija ultra-velikog dometa sa kašnjenjem manjim od 1 ms. Najuzbudljivija karakteristika 6G je uključivanje potpuno podržane inteligencije za upravljanje autonomnim sistemima. Video saobraćaj će verovatno biti dominantan među različitim sistemima za prenos podataka u 6G komunikaciji. Najvažnije tehnologije koje će biti pokretačka snaga 6G su THz opseg, AI, optička bežična komunikacija (OVC), 3D umrežavanje, bespilotne letelice (UAV), IRS i bežični prenos snage. Iako je skoro nemoguće identifikovati

svaki detalj 6G tokom trenutnog vremenskog okvira, verujemo da ćemo analizom urađenom u ovoj disertaciji dati pravi smer za buduće istraživače.

7.1 Specifikacije i zahtevi

Sistemi 5G tehnologije su kompatibilni sa kompromisima pri rešavanju nekoliko problema, kao što su propusnost, kašnjenje, energetska efikasnost, troškovi primene, pouzdanost i složenost hardvera, stoga 5G neće moći da zadovolji zahteve tržišta narednih godina. Tada će 6G popuniti prazninu između 5G i potražnje na tržištu. Na osnovu prethodnih trendova i predviđanja budućih potreba, glavni ciljevi 6G sistema su:

- (i) izuzetno visoke brzine prenosa podataka po uređaju,
- (ii) veoma veliki broj povezanih uređaja,
- (iii) globalna povezanost,
- (iv) veoma malo kašnjenje,
- (v) smanjenje potrošnje energije uređajima Internet of Things (IoT) bez baterija,
- (vi) izuzetno visokom pouzdanosti povezivanja; i
- (vii) povezanom inteligencijom sa mogućnostima mašinskog učenja.

Očekuje se da će 6G-u biti potrebni novi pokretački pokretači ključnih pokazatelja učinka (KPI) pored KPI-ja 5G komunikacionih sistema. Mnogi KPI-jevi 5G sistema takođe važe za 6G, dok neki moraju da se pregledaju i novi KPI moraju da se razmotre za 6G. Komunikacioni sistemi od 5 GB ponovo ciljaju u većini tehnoloških domena da povećaju odgovarajuću sposobnost za faktor 10–100 u poređenju sa prethodnom generacijom komunikacionih sistema. Predlog za KPI-je za 6G komunikaciju na sledeći način: maksimalna brzina prenosa podataka od 1 Tbps, kašnjenje radija od 0,1 ms, vek trajanja baterije 20 godina, povezanost uređaja od 100 / m³, povećanje prometa od 10,00 puta, povećanje energetske efikasnosti 10 puta, maksimalni ispad 1 od 1 miliona i preciznost pozicioniranja 10 cm u zatvorenom i 1 m spolja. Početni 6G KPI mogu se široko klasifikovati u dve kategorije: [145]

- (i) KPI zasnovane na tehnologiji i produktivnosti; i
- (ii) KPI održivosti i društvenih pokreta.

Prva kategorija uključuje KPI za nekoliko parametara kao što su podrhtavanje, budžet veze, prošireni domet / pokrivenost, 3D mapiranje, mobilni širokopojasni pristup, tačnost pozicioniranja, cena i ušteda energije. Druga kategorija uključuje KPI za nekoliko parametara kao što su standardizacija, privatnost / sigurnost / poverenje, sve otvorenog koda, etika, obaveštajni podaci i slučajevi globalne upotrebe. KPI-i koji se odnose na kapacitet, efikasnost spektra, energetska efikasnost, brzinu prenosa podataka, kašnjenje i povezanost osnovni su zahtevi svih tradicionalnih komunikacionih sistema. Međutim, KPI-ovi u pogledu bezbednosti i obaveštajnih podataka su novo dizajnirani za 6G. Svi potencijalni KPI-ovi prema 6G sistemima biće postignuti zajedno sa razvojem 5G sistema.

A. Zahtevi

Očekuje se da će 6G komunikacioni sistemi biti predstavljeni sledećim vrstama usluga povezanih sa KPI: [146]

- Sveprisutni mobilni ultraširokopojasni pristup (uMUB)
- ultrabrzi sa komunikacijom sa malim kašnjenjem (uHSLLC)
- masivna komunikacija mašinskog tipa (mMTC)
- izuzetno velika gustina podataka (uHDD)

Sledeći ključni faktori će okarakterisati 6G komunikacioni sistem:

- AI integrisana komunikacija
- taktilni internet
- Visoka energetska efikasnost
- Niska zakrčenost i zagušenje pristupne mreže
- Poboljšana sigurnost podataka

Procenjuje se da će 6G sistem imati 1000 puta veću simultanu bežičnu povezanost od 5G sistema. U poređenju sa poboljšanim mobilnim širokopojasnim pristupom (eMBB) u 5G, očekuje se da će 6G sadržati sveprisutne usluge, tj. uMUB. Izuzetno pouzdana komunikacija sa malim kašnjenjem, koja je ključna 5G karakteristika, biće ponovo osnovni pokretač u 6G komunikaciji koja pruža uHSLLC dodavanjem funkcija kao što je E2E kašnjenje manje od 1 ms [114], više od 99,99999% pouzdanosti [115] i maksimalnu brzinu prenosa podataka od 1 Tbps. Masivno povezani uređaji (do 10 miliona / km²) biće obezbeđeni u 6G komunikacionom sistemu. Očekuje se da 6G ima za cilj da obezbedi pokrivenost Gbps svuda sa pokrivanjem novih sredina kao što su nebo (10.000 km) i more (20 nautičkih milja). Zapreminska spektralna efikasnost, za razliku od često korišćene spektralne efikasnosti područja, biće mnogo bolja u 6G. 6G sistem će pružiti izuzetno dugo trajanje baterije i naprednu baterijsku tehnologiju za prikupljanje energije. U 6G sistemima mobilni uređaji neće morati posebno da se pune.

B. Nove mrežne karakteristike

Satelitsko integrisana mreža: Satelitska komunikacija je neophodna da bi se obezbedila sveprisutna povezanost. To su gotovo neograničene geografske okolnosti. Može podržati globalno pokrivanje različitih geografskih lokacija kao što su kopno, more, vazduh i nebo da bi služili sveprisutnoj povezanosti korisnika. Otuda se, kako bi se obezbedila neprekidna širokopojasna globalna mobilna kolektivnost, očekuje integracija zemaljskih i satelitskih sistema kako bi se postigao cilj 6G. Integrisanje zemaljskih, satelitskih i vazdušnih mreža u jedan bežični sistem biće presudno za 6G.

Povezana inteligencija: Za razliku od ranije generacije bežičnih komunikacionih sistema, 6G će biti transformativan i ažuriraće bežični napredak sa „povezanih stvari“ na „povezanu inteligenciju“. [116] AI će biti uveden u svakom koraku procesa komunikacije, kao i upravljanje radio resursima. Široko uvođenje AI proizvešće novu paradigmu komunikacionih sistema. U poređenju sa 5G, kompletan AI sistem mora biti potreban za ultra guste složene mrežne scenarije 6G, omogućavajući inteligentnim komunikacionim uređajima da steknu i izvrše postupak raspodele resursa.

Besprekorna integracija bežičnog prenosa informacija i prenosa energije: 6G bežične mreže takođe će prenositi snagu za punjenje baterijskih uređaja, poput pametnih telefona i senzora. Stoga će bežični prenos informacija i energije biti integrisan.

Sveprisutna super 3D povezanost: Pristup mreži i osnovnim mrežnim funkcijama na bespilotnim letelicama i satelitima sa vrlo niskom zemljinom orbitom učiniće super-3D povezanost u 6G univerzalnom.

C. Opšti zahtevi karakteristika mreža

Mreže malih ćelija: Ideja o malim ćelijama je bila uvedena za poboljšanje kvaliteta primljenog signala kao posledica propusnosti, energetske efikasnosti i poboljšanja spektralne efikasnosti u ćelijskim sistemima. Kao rezultat, mreže malih ćelija su suštinska karakteristika komunikacionih sistema 5G i šire (5GB). Stoga, 6G komunikacioni sistemi takođe usvajaju ovu mrežnu karakteristiku.

Ultra-guste heterogene mreže: Ultra-guste heterogene mreže biće još jedna kritična karakteristika 6G komunikacionih sistema. Višeslojne mreže koje se sastoje od heterogenih mreža poboljšaće ukupni QoS i smanjiti troškove.

Backhaul velikog kapaciteta: Backhaul konekciju moraju da karakterišu backhaul mreže velikog kapaciteta kako bi podržale značajan obim 6G podatkovnog prometa. Optička vlakna velike brzine i bežični optički sistemi (FSO) moguća su rešenja za ovaj problem.

Radarska tehnologija integrisana sa mobilnim tehnologijama: Lokalizacija visoke tačnosti sa komunikacijom takođe je jedna od karakteristika bežičnog komunikacionog sistema 6G. Stoga će radarski sistemi biti integrisani sa 6G mrežama.

Softverizacija i virtualizacija: Softverizacija i virtualizacija su dve ključne karakteristike koje su osnova procesa dizajniranja u mrežama od 5 GB kako bi se osigurala fleksibilnost, rekonfigurabilnost i programabilnost. Pored toga, omogućiće da se milijarde uređaja dele na zajedničkoj fizičkoj infrastrukturi..

7.2. Primena

Sve mrežne instrumentacije, upravljanje, obrada signala na fizičkom nivou, upravljanje resursima, komunikacija zasnovana na uslugama itd. biće uključeni korišćenjem AI. Podstaci će revoluciju Industrije 4.0, koja je digitalna transformacija industrijske proizvodnje. 6G aplikacije mogu se okarakterisati pod uslugama uMUB, uHLSLLC, mMTC i uHDD. Superiorne karakteristike 6G će ubrzati izgradnju pametnih društava što će dovesti do poboljšanja kvaliteta života, praćenja životne sredine i automatizacije koristeći M2M komunikaciju zasnovanu na AI i prikupljanje energije. [117] Ova aplikacija se može okarakterisati u svim uslugama uMUB, uHLSLLC, mMTC i uHDD. 6G bežična povezanost učiniće naše društvo super pametnim upotrebom pametnih mobilnih uređaja, autonomnih vozila itd. Pored toga, mnogi gradovi na svetu će primeniti leteće taksije zasnovane na bežičnoj tehnologiji 6G. Pametne kuće postaju stvarnost, jer se bilo kojim uređajem na udaljenoj lokaciji može upravljati pomoću komande date sa pametnog uređaja.

Proširena realnost: Usluge proširene realnosti (u daljem tekstu XR), uključujući proširenu realnost (AR), mešovitu realnost (MR) i VR su ključne karakteristike 6G komunikacionih

sistema. Sve ove funkcije koriste 3D objekte i AI kao svoje ključne elemente u vožnji. Pored pružanja perceptivnih zahteva za računarstvom, kognicijom, skladištenjem, ljudskim čulima i fiziologijom, 6G će pružiti zaista obuzimajuće AR/MR/VR iskustvo zajedničkom dizajnerskom integracijom i visokokvalitetnom 6G bežičnom vezom.[118] Napredne karakteristike nosivih uređaja kao što su XR uređaji, slike i hologrami visoke definicije i pet čula komunikacije ubrzavaju priliku za obavljanje komunikacije čovek-čovek i stvari. Inovativna zabava i poslovne usluge kao što su igre na sreću, gledanje i sport pružaju se bez ograničenja vremena i mesta. VR je računarsko simulirano 3D iskustvo u kojem računarske tehnologije koriste stvarne slušalice da bi stvorile realne senzacije i replicirale stvarno okruženje ili stvorile imaginarni svet. Stvarno VR okruženje uključuje svih pet čula. AR je živi prikaz stvarnog fizičkog sveta čiji su elementi uvećani raznim računalno generisanim senzorskim ulazima, kao što su audio, video, vizuelni podaci i podaci sistema globalnog pozicioniranja (GPS). Koristi postojeću stvarnost i dodaje joj se pomoću neke vrste uređaja. MR spaja stvarni i virtuelni svet da bi stvorio novu atmosferu i vizualizacije za interakciju u realnom vremenu. Takođe se ponekad naziva hibridnom stvarnošću. Jedna od kritičnih karakteristika MR je da veštački i stvarni sadržaj mogu da reaguju jedni na druge u realnom vremenu. XR se odnosi na sva kombinovana stvarna i virtuelna okruženja i interakcije čovek-mašina koje generišu računarska tehnologija i nosivi uređaji. Obuhvata sve njegove opisne oblike, kao što su AR, VR i MR. Okuplja AR, VR i MR pod jednim terminom.

Velika brzina prenosa podataka, mala kašnjenja i visoko pouzdana bežična povezanost obezbeđena u 6G sistemu veoma su važni za originalno XR (tj. AR, VR i MR) iskustvo. Usluga 6G, uHLSLLC, omogućiće uspešno korišćenje XR aplikacija u budućnosti.

Povezana robotika i autonomni sistemi: Trenutno, nekoliko istraživača automobilske tehnologije istražuje automatizovana i povezana vozila. Evolucija sistema automatizacije usmerenih na podatke trenutno nadmašuje znanje 5G. U nekim domenima aplikacija zahteva čak i više od 10 Gbps brzine prenosa, kao što su XR uređaji. 6G sistemi će pomoći u primeni povezanih robota i autonomnih sistema. Primer takvog sistema je dron-ispорука UAV sistema. Automatizovano vozilo zasnovano na bežičnoj komunikaciji 6G može dramatično promeniti naš svakodnevni životni stil. 6G sistem promoviše stvarnu primenu samovozećih automobila (autonomnih automobila ili automobila bez vozača). Samovozeće vozilo percipira okolinu kombinujući niz senzora, poput detekcije i dometa svetlosti (LiDAR), radara, GPS-a, sonara, odometrije i inercijalnih mernih jedinica. Usluge mMUB i uHLSLLC u 6G sistemu potvrdiće pouzdanost povezanost vozila do svega (V2Ks) i vozila do servera. UAV je vrsta bespilotne letelice. 6G mreže podržaće zemaljski kontroler i sistemsku komunikaciju između UAV-a i zemlje. Štaviše, UAV će se koristiti za podršku bežičnom emitovanju i prenosu velike brzine kada čelijska bazna stanica (BS) odsustvuje ili ne radi.

Bežične interakcije mozak-računar: Interfejs mozak-računar (BCI) pristup je kontroli uređaja koji se svakodnevno koriste u pametnim društvima, posebno kod kućnih aparata i medicinskih aparata. To je direktan put komunikacije između mozga i spoljnih uređaja. [119] BCI prikuplja moždane signale koji se prenose na digitalni uređaj i analizira i interpretira signale u dalje naredbe ili radnje. BCI usluge zahtevaju veće pokazatelje performansi u poređenju sa onim što pruža 5G. Bežični BCI zahteva zagarantovane velike brzine prenosa podataka, izuzetno niska kašnjenja i izuzetno visoku pouzdanost. Na primer, komunikacija između mozga i stvari zahteva vrlo visoku propusnost (> 10 Gbps) i izuzetno pouzdanu povezanost. Karakteristike uHLSLLC i

uMTC u 6G bežičnoj komunikaciji podržaće stvarnu primenu BCI sistema za pametan život.[120]

Haptična komunikacija: Haptična komunikacija je grana neverbalne komunikacije koja koristi osećaj dodira. Predložena bežična komunikacija 6G podržaće haptičnu komunikaciju; daljinski korisnici moći će da uživaju u haptičnim iskustvima kroz interaktivne sisteme u realnom vremenu. Ova vrsta komunikacije se široko koristi u nekoliko polja kao što su senzori inteligencije i robotike, fizički osposobljeni ljudi da uče dodiranjem, medicinske haptičke metode u hirurgiji i igre na sreću. Implementaciju haptičnih sistema i aplikacija mogu olakšati funkcije uHLSLLC, mMTC i uHDD 6G komunikacionih mreža. [121]

Pametna zdravstvena zaštita i biomedicinska komunikacija: 6G bežične mreže će takođe imati koristi od medicinskih zdravstvenih sistema zbog inovacija, kao što su AR/VR, holografika teleprisutnost, mobilno računarsko računanje i AI, koji će pomoći u izgradnji pametnih zdravstvenih sistema. 6G mreža će omogućiti pouzdan sistem daljinskog nadzora za zdravstvene sisteme. Čak i daljinska operacija biće omogućena korišćenjem 6G komunikacije. 6G mreža sa velikom brzinom podataka, malim kašnjenjem, ultra pouzdana (bez greške) mreža će pomoći u brzom i pouzdanom prenosu velikih količina medicinskih podataka, poboljšavajući pristup nezi i kvalitetu nege. S druge strane, THz, jedna od kritičnih pogonskih tehnologija 6G, ima sve veću potencijalnu upotrebu u zdravstvenim uslugama, poput impulsnog snimanja teraherca u dermatologiji, oralnoj zdravstvenoj zaštiti, farmaceutskoj industriji i medicinskom snimanju. Takođe, biomedicinska komunikacija je suštinska perspektiva bežičnog komunikacionog sistema 6G. Senzori u telu sa obezbeđivanjem komunikacionih tehnologija bez baterije su pretežno poželjni za pouzdano i dugoročno nadgledanje. Senzori tela mogu da priušte pouzdano i kontinuirano praćenje ljudskih fizioloških signala za primenu u kliničkoj dijagnostici, atletici i interfejsu čovek-mašina. Sistem za međusobno povezivanje senzora tela bez baterija koji je kompatibilan sa bliskim poljem predstavljen je u R. Lin et al. sa mogućnošću uspostavljanja bežičnog napajanja i veza za prenos podataka između udaljenih tačaka oko tela. Usluge uMUB i uHLSLLC od 6G mogu okarakterisati ove aplikacije. [122]

Automatizacija i proizvodnja: 6G će pružiti potpunu automatizaciju zasnovanu na AI. Izraz „automatizacija“ odnosi se na automatsku kontrolu procesa, uređaja i sistema. Industrijska Revolucija 4.0 započeta je sa 5G, što je proizvodni proces zasnovan na kiber-fizičkom sistemu koji koristi automatizaciju i razmenu podataka. 6G će u potpunosti okarakterisati sistem automatizacije svojim ometajućim setom tehnologija. Sistemi za automatizaciju 6G će pružiti visoko pouzdane, skalabilne i sigurne komunikacije koristeći visoku brzinu prenosa podataka i obezbeđivanje sa malim kašnjenjem, tj. uHLSLLC, mMTC i uHDD usluge. 6G sistem će takođe obezbediti integritet mreže jer obezbeđuje prenos podataka bez grešaka bez gubitka podataka između prenosa i prijema. [123]

Prenos informacija sa pet čula: Da bi osetili svet oko sebe, ljudi koriste svojih pet čula, čulo sluha, vida, ukusa, mirisa i dodira. Komunikacioni sistemi 6G će daljinski prenositi podatke dobijene iz pet čula. Ova tehnologija koristi neurološki proces kroz senzornu integraciju. Otkriva senzacije iz ljudskog tela i okoline i efikasno koristi telo u okruženju i lokalnim okolnostima. BCI tehnologija efikasno pojačava ovu aplikaciju.[124]

Internet svega: IoE je neprimetna integracija i autonomna koordinacija između velikog broja računarskih elemenata i senzora, predmeta ili uređaja, ljudi, procesa i podataka koji koriste

internet infrastrukturu. 5G ima revolucionarne ciljeve za IoE transformišući tradicionalni izgled mobilne komunikacije. Međutim, 5G se smatra početkom IoE-a i bavi se mnogim izazovima od standardizacije do komercijalizacije. 6G sistem će pružiti potpunu IoE podršku. U osnovi je to vrsta IoT-a, krovni termin koji integriše četiri svojstva, kao što su podaci, ljudi, procesi i fizički uređaji, u jedan okvir. IoT se uglavnom odnosi na fizičke uređaje ili predmete i međusobnu komunikaciju, ali IoE uvodi mrežnu inteligenciju kako bi povezao sve ljude, podatke, procese i fizičke objekte u jedan sistem. IoE se koristi za pametna društva, kao što su pametni automobili, pametno zdravlje i pametne industrije. Upotreba energetski efikasnih čvorova senzora smatra se jednim od kritičnih ograničenja koja podržavaju masovnu IoE povezanost u 6G. Ekstenzivne mrežne, mreže male snage (LPVAN) imaju taj potencijal da podrže umrežavanje širokog područja (do 20 km) sa dugim vekom trajanja baterije (> 10 godina) i malim troškovima primene. Otuda LPVAN komercijalno učestvuje u većini slučajeva korišćenja IoE. Ovu aplikaciju mogu podržati funkcije uMUB, uHLSLLC i uHDD 6G komunikacije.[125]

7.3. Osnovne primene 6G tehnologije

Na osnovu prethodnog razvoja mobilnih mreža, u početku, 6G mreže su uglavnom zasnovane na 5G arhitekturi, nasleđujući prednosti postignute u 5G. Neke nove tehnologije će biti dodate, a neke 5G tehnologije će biti poboljšane u 6G. Otuda će 6G sistem pokretati mnoge tehnologije.

Veštačka inteligencija: Inteligencija je osnovna karakteristika 6G autonomnih mreža. Stoga je najkritičnija i novo predstavljena tehnologija za 6G komunikacione sisteme AI. Nije bilo učešća AI za 4G komunikacione sisteme. Predstojeći 5G komunikacioni sistemi podržaće delimični ili vrlo ograničeni AI. Međutim, 6G će u potpunosti podržati AI za automatizaciju. AI-ojačani 6G će pružiti puni potencijal radio signala i omogućiti transformaciju sa kognitivnog radija na inteligentni radio. Napredak u mašinskom učenju stvara inteligentnije mreže za komunikaciju u realnom vremenu u 6G. Uvođenje AI u komunikaciju pojednostaviće i poboljšati transport podataka u realnom vremenu. Koristeći brojne analitike, AI može odrediti način na koji se obavlja složeni ciljni posao. AI povećava efikasnost i smanjuje kašnjenje obrade koraka komunikacije. AI se može koristiti za brzo obavljanje zadataka kao što su primopredaja i odabir mreže. AI će takođe igrati vitalnu ulogu u M2M, komunikaciji čovek-čovek i čovek-mašina. Takođe podstiče komunikaciju u BCI. Komunikacioni sistemi zasnovani na AI biće podržani od metamaterijala, inteligentnih struktura, inteligentnih mreža, inteligentnih uređaja, inteligentnog kognitivnog radija, samoodrživih bežičnih mreža i mašinskog učenja. Stoga će AI tehnologija pomoći u postizanju ciljeva usluga uMUB, uHLSLLC, mMTC i uHDD u 6G komunikaciji. Nedavni napredak omogućava primenu mašinskog učenja na obradu RF signala, rudarstvo spektra i mapiranje spektra. Kombinovanje fotonskih tehnologija sa mašinskim učenjem podstaci će razvoj AI u 6G da bi se stvorio kognitivni radio sistem zasnovan na fotonici. Fizički sloj usvaja enkoder-dekoder zasnovan na AI, dubinsko učenje za procenu stanja kanala i automatsku klasifikaciju modulacije. Za sloj veze podataka i transportni sloj, detaljna raspodela resursa zasnovana na učenju i inteligentno predviđanje i upravljanje saobraćajem opsežno su proučavani kako bi se ispunili zahtevi 6G. Latencija će se značajno smanjiti primenom mašinskog učenja i velikih podataka kako bi se odredio najbolji način prenosa informacija između krajnjih korisnika pružanjem prediktivne analize. [126]

Terahertz komunikacija: Spektralna efikasnost se može povećati povećanjem propusnog opsega. To se može postići širenjem propusnog opsega i primenom naprednih masivnih

tehnologija sa više ulaza sa više izlaza (MIMO). 5G uvodi frekvencije mmVave za veće brzine prenosa podataka i omogućava nove aplikacije. Međutim, 6G ima za cilj pomeranje granica frekvencijskog opsega do THz kako bi zadovoljio još veću potražnju. RF opseg je skoro iscrpljen i sada je nedovoljan da zadovolji visoke zahteve 6G. THz opseg će igrati važnu ulogu u 6G komunikaciji. THz opseg je zamišljen kao sledeća granica komunikacije velikom brzinom podataka. THz talasi, poznati i kao submilimetarsko zračenje, obično se odnose na frekvencijski opseg između 0,1 THz i 10 THz sa odgovarajućim talasnim dužinama u opsegu 0,03 mm – 3 mm. Prema preporukama ITU-R (ITU Radiokomunikacionog sektora), opseg opsega od 275 GHz – 3 THz glavni je deo opsega THz za ćelijske komunikacije. Kapacitet 6G ćelijske komunikacije će se povećati dodavanjem THz opsega (275 GHz – 3THz) opsegu mmVave (30–300 GHz). Opseg u opsegu od 275 GHz – 3 THz još uvek nije dodeljen za bilo koju svrhu u celom svetu; stoga ovaj opseg ima potencijal da postigne željene visoke brzine prenosa podataka. Kada se ovaj THz opseg doda postojećem mmVave opsegu, ukupan kapacitet opsega povećava se najmanje 11,11 puta. Od definisanih opsega THz, 275 GHz – 3THz i 275 GHz – 300 GHz leže na mmVave-u, a 300 GHz-3 THz leže na dalekom infracrvenom (IR) frekvencijskom opsegu. Iako je opseg od 300 GHz – 3 THz deo optičkog opsega, on se nalazi na granici optičkog opsega i odmah iza RF opsega. Dakle, ovaj opseg od 300 GHz – 3 THz pokazuje prilično slične karakteristike sa RF. THz povećava potencijale i izazove visokofrekventne komunikacije. Kritična svojstva THz interfejsa uključuju (i) široko dostupnu širinu opsega za podršku vrlo visokim brzinama prenosa podataka (ii) visoki gubitak puta koji nastaje usled visoke frekvencije (visoko usmerene antene će najverovatnije biti neophodne). [127] Uske širine snopa koje generišu visoko usmerene antene smanjuju smetnje. THz komunikacione tehnologije će ubrzati pružanje usluga uMUB, uHSLC i uHDD u 6G komunikaciji. THz komunikacija će poboljšati potencijale 6G podržavajući bežičnu kogniciju, detekciju, slikanje, komunikaciju i pozicioniranje. Zbog kraće talasne dužine, THz frekventni opseg u 6G je koristan za ugrađivanje velikog broja antena koje nude stotine zraka u poređenju sa mmVave opsegom. Spektralna efikasnost se može poboljšati korišćenjem multipleksiranja orbitalnog ugaonog momenta (OAM). To se može postići superponiranjem više elektromagnetnih talasa koji imaju različite OAM režime. [128] Moguće je smanjiti agregirane interferencije co-kanala i ozbiljne gubitke širenja za mmVave i THz opsege formiranjem super uskih snopova. Da bi se prevazišlo veoma visoko atmosfersko slabljenje pri komunikaciji opsega THz, koristiće se visoko usmerene antenske olovke. Štaviše, kvadratna frekvencija antene sa fiksnim otvorom poboljšava pojačanje i usmerenost, što je takođe prednost za THz komunikaciju. [129]

Optička bežična komunikaciona tehnologija: OVC tehnologije su predviđene za 6G komunikaciju, kao dodatak RF komunikacijama za sve moguće mreže za pristup uređajima; ove mreže takođe pristupaju mrežnoj povezanosti sa mrežom backhaul / fronthaul. OVC tehnologije se koriste od 4G komunikacionih sistema. Međutim, namenjen je široj upotrebi kako bi se udovoljilo zahtevima 6G komunikacionih sistema. OVC tehnologije, kao što su vernost svetlosti, VLC komunikacija, komunikacija optičkom kamerom i FSO komunikacija zasnovana na optičkom opsegu, već su dobro poznate tehnologije. Ove komunikacione tehnologije će se široko koristiti u nekoliko aplikacija kao što su V2Ks komunikacija, pozicioniranje mobilnih robota u zatvorenom, VR i podvodni OVC. Komunikacije zasnovane na bežičnim optičkim tehnologijama mogu pružiti vrlo visoke brzine prenosa podataka, niska kašnjenja i sigurne komunikacije. LiDAR, koji se takođe zasniva na optičkom opsegu, obećavajuća je tehnologija za 3D mapiranje vrlo visoke rezolucije u 6G komunikaciji. OVC će samouvereno poboljšati podršku usluga

uMUB, uHSLLC, mMTC i uHDD u 6G komunikacionim sistemima. Napredak u tehnologiji svetlosnih dioda (LED) i tehnikama multipleksiranja dva su ključna pokretača za OVC u 6G. Belo svetlo zasnovano na različitim talasnim dužinama će biti od koristi za ubrzanje performansi propusnosti putem multipleksiranja sa talasnom dužinom, što dovodi do potencijalno 100+ Gbps za VLC pristupne tačke sa izuzetno velikom brzinom prenosa podataka. Dodavanje masovne paralelizacije microLED nizova poboljšaće dalju brzinu prenosa podataka do ciljanih Tbps 6G komunikacije. [130]

FSO fronthaul / backhaul mreža za: Nije uvek moguće povezati optička vlakna kao povratnu mrežu zbog udaljenih geografskih lokacija i složenosti. Štaviše, instaliranje veza optičkih vlakana za mreže malih ćelija možda neće biti isplativo rešenje. Mreža FHA za fronthaul / backhaul mrežu je na delu za komunikacione sisteme od 5 GB. Karakteristike predajnika i prijemnika FSO sistema slične su karakteristikama mreža optičkih vlakana. Stoga je prenos podataka u FSO sistemu uporediv sa sistemom optičkih vlakana. Stoga je, zajedno sa mrežama optičkih vlakana, FSO odlična tehnologija za obezbeđivanje fronthaul / backhaul konekcije u 6G. Korišćenjem FSO-a moguće je imati komunikaciju vrlo velikog dometa čak i na udaljenosti većoj od 10.000 km. FSO podržava povezivanje fronthaul/backhaul-a velikog kapaciteta za udaljena i ne-udaljena područja, kao što su more, svemir, podmorje, izolovana ostrva; FSO takođe podržava ćelijsku BS povezanost. FSO fronthaul/backhaul je uobičajeno pitanje u mrežama 5G i 6G. Međutim, FSO je kritičniji u 6G, jer (i) zahteva povezivanje fronthaul/backhaul povezivanja većeg kapaciteta i (ii) biće mu potreban veći broj daljinskog povezivanja u poređenju sa 5G. FSO komunikacija može podržati obe funkcije i postala je suštinsko pitanje za 6G komunikacioni sistem za unapređenje usluga uMUB i uHSLLC. LD predajnik proizvodi uske snopove fokusirane svetlosti. Ovi snopovi se koriste za uspostavljanje komunikacije od tačke do tačke sa velikom brzinom prenosa podataka između predajnika i prijemnika. FSO sistemi koriste lasersku tehnologiju za prenos signala. Komunikacija na daljinu je moguća zbog optičkog oblikovanja snopa u sistemima FSO. FSO/RF hibridni sistem biće jedna od kritičnih karakteristika povezivanja fronthaul/backhaul zasnovana na FSO u 6G radi prevazilaženja ograničenja atmosferskih efekata. [131]

Masivni MIMO i inteligentne reflektujuće površine: Masivna MIMO tehnologija biće presudna u 6G sistemu za podršku uHSLLC, mMTC i uHDD uslugama. Jedan od osnovnih načina za poboljšanje spektralne efikasnosti je primena MIMO tehnike. Kada se razvije MIMO tehnika, razvija se i spektralna efikasnost. Stoga će masivni MIMO biti sastavni deo i 5G i 6G sistema zbog potrebe za boljom spektralnom i energetsom efikasnošću, većim brzinama prenosa podataka i višim frekvencijama. U poređenju sa 5G, očekujemo da se prebacimo sa tradicionalnog masivnog MIMO-a na IRS u 6G bežičnim sistemima kako bismo ponudili velike površine za bežične komunikacije i heterogene uređaje. [132] IRS je nedavna hardverska tehnologija koja ima ogroman potencijal ka energetske efikasnoj zelenoj komunikaciji. Takođe je poznata i kao meta-površina, sastoji se od mnogih reflektujućih diodnih jedinica koje mogu da odražavaju bilo koji upadajući elektromagnetni signal sa podesivim faznim pomakom. Rekonfigurabilne inteligentne površine zamišljene su kao masivni MIMO 2.0 u 6G. Ovi materijali mogu integrisati indeksnu modulaciju kako bi povećali spektralnu efikasnost u 6G mrežama. Gradientno spuštanje i frakciono programiranje značajno optimizuje inteligentne površinske fazne pomake i prenose snagu, redom. Sa tim podesivim odrazom fazno pomaknuti signal i prenošeni signal, takođe možemo poboljšati energetske efikasnost sistema. Ova tehnologija će se smatrati odličnim rešenjem za maksimalizovanje brzine prenosa podataka i smanjenje snage prenosa u predstojećim 6G mrežama. [133]

Blockchain: Blockchain je suštinska tehnologija za upravljanje masivnim podacima u budućim komunikacionim sistemima. Blockchain tehnologija je samo jedan od oblika tehnologije distribuirane knjige. Distribuirana knjiga je baza podataka koja se distribuira kroz brojne čvorove ili računarske uređaje. Svaki čvor replicira i čuva identičnu kopiju glavne knjige. Peer-to-peer mreže upravljaju lancima blokova. Može postojati bez nadzora centralizovanog autoriteta ili servera. Podaci na blok lancu se prikupljaju i strukturiraju u blokove. Blokovi su povezani i osigurani pomoću kriptografije. Blockchain je u osnovi savršena dopuna masivnom IoT-u sa poboljšanom sigurnošću, privatnošću, interoperabilnošću, pouzdanošću i skalabilnošću. Zbog toga će blockchain tehnologija pružiti nekoliko pogodnosti, kao što su interoperabilnost između uređaja, mogućnost da se identifikuje predhodna i buduća lokacija masivnih podataka, autonomne interakcije različitih IoT sistema i pouzdanost za masovnu povezanost 6G komunikacionih sistema kako bi se postigao cilj uHSLLC usluge. Blockchain gradi poverenje između umreženih aplikacija, poništavajući potrebu pouzdanih posrednika. Integralne karakteristike blockchain-a, poput decentralizovane otpornosti na neovlašćenu upotrebu i tajnost, stvaraju priliku da ga učine idealnim za brojne aplikacije u 6G komunikaciji. Stvara siguran i provediv pristup za upravljanje spektrom uspostavljanjem transparentnosti, verifikovanih transakcija i sprečavanjem neovlašćenog pristupa. Blockchain kombinuje distribuiranu mrežnu strukturu, mehanizam konsenzusa i naprednu kriptografiju koja predstavlja obećavajuće funkcije koje nisu dostupne u postojećim strukturama. Distribuirana priroda eliminiše problem jedne tačke kvara i poboljšava sigurnost. Glavni izazov blockchain umrežavanja u 5G je propusnost (10 ~ 1000 transakcija u sekundi). Još jedan izazov je potražnja za lokalnom i međunarodnom standardizacijom i regulisanjem masovnog usvajanja blockchaina u 5G. Ipak, 5G razmatra pitanje nesmetane interoperabilnosti između različitih blockchain platformi. Ovih nekoliko ograničenja se mogu ublažiti u 6G korišćenjem konsenzusnih algoritama, primenom nove Blockchain arhitekture i tehnike deljenja, i povećanjem veličine bloka mreže. [134]

3D umrežavanje: 6G sistem će integrisati zemaljsku i vazdušnu mrežu kako bi podržao komunikaciju za korisnike u vertikalnom produžetku. 3D BS pružaju se preko satelita i UAV-a sa niskom orbitom. Dodavanjem novih dimenzija u pogledu nadmorske visine i srodnih stepena slobode 3D povezanost se znatno razlikuje od konvencionalnih 2D mreža. Heterogene mreže 6G će pružiti 3D pokrivenost. Decentralizovane 6G mreže sa integracijom zemaljskih mreža, UAV mreža i satelitskih sistema istinski ostvaruju globalnu pokrivenost i strogi neometani pristup, čak i za okeanska i planinska područja. [135]

Kvantne komunikacije: Učvršćivanje učenja bez nadzora u mrežama daju se u kontekstu 6G mreža. Pristupi učenja pod nadzorom neće biti izvodljivi za označavanje velikih količina podataka generisanih u 6G. Učenje bez nadzora nije potrebno označavati. Stoga se ova tehnika može koristiti za autonomnu izgradnju reprezentacija složenih mreža. Kombinovanjem učvršćivanjem učenja i učenja bez nadzora, moguće je upravljati mrežom na istinski autonomni način. Napredne tehnologije kvantnog računanja i kvantne komunikacije biće primenjene kako bi pružile rigoroznu sigurnost od različitih sajber-napada u 6G. Nova paradigma kvantnog računanja, kvantnog mašinskog učenja i njihove sinergije sa komunikacionim mrežama smatra se osnovnim 6G pokretačem. Eskalacija kvantnog računanja i inženjeringa potrebna je za rešavanje složenih zadataka. Kvantne komunikacije nude snažnu sigurnost primenom kvantnog ključa na osnovu kvantne teoreme o kloniranju i principu nesigurnosti. Informacije su kodirane u kvantnom stanju pomoću fotona ili kvantnih čestica i ne može im se pristupiti niti ih klonirati bez

neovlašćenog korišćenja zbog kvantnih principa. Pored toga, kvantne komunikacije poboljšavaju protok zbog superpozicione prirode kubita. [136]

Bespilotne letelice: UAV ili dronovi su bitan element 6G bežične komunikacije. U mnogim slučajevima se bežična veza sa velikom brzinom podataka pruža pomoću UAV-a tehnologija. BS entiteti su instalirani u UAV-ima da bi se obezbedila ćelijska povezanost. UAV ima određene karakteristike koje se ne mogu naći u fiksnoj BS infrastrukturi, kao što su lako raspoređivanje, jake veze vidnog polja i stepeni slobode sa kontrolisanom mobilnošću. Tokom vanrednih situacija, poput prirodnih katastrofa, primena zemaljske komunikacione infrastrukture nije ekonomski izvodljiva, a ponekad nije moguće pružiti bilo kakvu uslugu u nestabilnim sredinama. UAV se lako mogu nositi sa ovim situacijama. UAV će biti nova paradigma na polju bežične komunikacije. Ova tehnologija može olakšati osnovne zahteve bežičnih mreža koje su uMUB, uHSLLC, mMTC i uHDD. UAV se takođe mogu koristiti u nekoliko svrha, kao što su jačanje mrežne povezanosti, otkrivanje požara, hitne službe u slučaju katastrofa, bezbednost i nadzor, nadgledanje zagađenja, praćenje parkinga, nadgledanje nesreća i još mnogo toga. Stoga je UAV tehnologija prepoznata kao jedna od osnovnih tehnologija za 6G komunikaciju. U I. Zeng i saradnici, diskutovali su o povratnoj raspršenoj komunikaciji sa omogućenim UAV-om koja može da pomogne u nekoliko komunikacionih zadataka (npr. Napajanje ambijentalne energije i stvaranje povoljnih uslova kanala za daljinske senzore). Kombinacija nekoherentnih šema detekcije i UAV aplikacija može stvoriti vazdušni interfejs pogodan za 6G bežične mreže. Štaviše, robusna raspodela resursa zasnovana na učenju može biti odličan izbor za realizaciju UAV-a za 6G inteligenciju. [137]

Bezćelijske komunikacije: Tesna integracija više frekvencija i različitih komunikacionih tehnologija biće presudne u 6G sistemima. Kao rezultat, korisnik će se pomeriti bez poteškoća sa jedne mreže na drugu mrežu bez potrebe za bilo kakvim ručnim konfiguracijama na uređaju. U 6G, koncept konvencionalne ćelijske i ortogonalne komunikacije biće prebačen na bezćelijsku i neortogonalnu komunikaciju. Najbolja mreža se automatski bira između dostupne komunikacione tehnologije. Ovo će razbiti ograničenja koncepta ćelija u bežičnim komunikacijama. Trenutno premeštanje korisnika iz jedne ćelije u drugu ćeliju uzrokuje previše primopredaje u gustim mrežama. Takođe, uzrokuje greške u primopredaji, kašnjenja u primopredaji, gubitke podataka i ping-pong efekat. Komunikacija bez 6G ćelije prevazići će sve ovo i pružiti bolji QoS. Bezćelijska komunikacija će se postići višestrukim povezivanjem i višeslojnim hibridnim tehnikama i različitim i heterogenim radio-uređajima u uređajima.

Integracija bežičnog prenosa informacija i prenosa energije: VIET u komunikaciji biće jedna od najinovativnijih tehnologija u 6G. VIET koristi ista polja i talase kao i bežični komunikacioni sistemi. Senzori i pametni telefoni se pune korišćenjem bežičnog prenosa snage tokom komunikacije. VIET je obećavajuća tehnologija za produženje veka trajanja bežičnih sistema za punjenje baterija. Stoga će uređaji bez baterija biti podržani u 6G vezama. Štaviše, odeća sa bliskim poljem stvara mogućnost za kontinuirano fiziološko praćenje pomoću senzora bez baterija u medicinskom sektoru. [138]

Integracija senzora i komunikacije: Ključni pokretač autonomnih bežičnih mreža je sposobnost kontinuiranog osećanja dinamički promenljivih stanja okoline i razmene informacija između različitih čvorova. U 6G, senzor će biti čvrsto integrisan sa komunikacijom za podršku autonomnim sistemima. Ogroman broj senzorskih objekata, komplikovani komunikacijski

resursi, računarski resursi na više nivoa i resursi keš memorije na više nivoa su pravi izazovni faktori za postizanje ove integracije.

Integracija pristupnih mreža: Gustina pristupnih mreža u 6G biće ogromna. Svaka pristupna mreža odnosi se na povratnu vezu, kao što su optička vlakna i FSO mreže. Pristupne i povratne mreže su čvrsto integrisane kako bi se mogle rukovati većinom pristupnih mreža.

Dinamično rezanje mreže: Dinamično rezanje mreže omogućava mrežnom operateru da dozvoli namenskim virtuelnim mrežama da podržavaju optimizovano pružanje bilo koje usluge širokom spektru korisnika, vozila, mašina i industrije. To je jedan od osnovnih elemenata za upravljanje kada su mnogi korisnici povezani na veliki broj heterogenih mreža u komunikacionim sistemima od 5 GB. Softverski definisano umrežavanje i virtuelizacija mrežnih funkcija su osnovne tehnike koje omogućavaju dinamičko rezanje mreže. Oni utiču na paradigmu računarstva u oblaku pri upravljanju mrežom, tako da mreža ima centralizovani kontroler za dinamičko upravljanje i upravljanje protokom saobraćaja i orkestriranje alokacije mrežnih resursa za optimizaciju performansi. Holografsko oblikovanje snopa: Oblikovanje snopa je postupak obrade signala pomoću kojeg može biti niz antena usmeren za prenos radio signala u određenom smeru. To je podskup pametnih antena ili naprednih antenskih sistema. Tehnika oblikovanja snopa ima nekoliko prednosti, kao što su visok odnos signala i šuma, sprečavanje smetnji i odbijanje i visoka efikasnost mreže. Holografsko oblikovanje snopa (HBF) je nova metoda za oblikovanje snopa koja se znatno razlikuje od MIMO sistema jer koristi softverski definisane antene. HBF je povoljan pristup u 6G za efikasan i fleksibilan prenos i prijem signala u višeantenskim komunikacionim uređajima. Na polju zaštite fizičkog sloja, bežični prenos snage, povećana mrežna pokrivenost i pozicioniranje HBF mogu da igraju značajne uloge. [139]

Analitika velikih podataka: Analitika velikih podataka je složen proces za analizu različitih skupova velikih podataka ili velikih podataka. Ovaj postupak otkriva informacije, kao što su skriveni obrasci, nepoznate korelacije i naklonosti kupaca, kako bi se osiguralo sveobuhvatno upravljanje podacima. Veliki podaci se prikupljaju iz različitih izvora, kao što su video snimci, društvene mreže, slike i senzori. Ova tehnologija se široko koristi za rukovanje velikom količinom podataka u 6G sistemima. Očekuje se da će izgledi za korišćenje ogromne količine podataka, analitike velikih podataka i alata za duboko učenje unaprediti 6G mreže automatizacijom i samo-optimizacijom. Jedan primer primene analitike velikih podataka je smanjenje kašnjenja E2E. Kombinacija mašinskog učenja i velikih podataka odrediće najbolji put za korisničke podatke kroz prediktivnu analitiku za smanjenje kašnjenja E2E u 6G sistemima.

Povratna komunikacija: Ambijentalno raspršene bežične komunikacije omogućava interakciju između dva uređaja bez baterije korišćenjem postojećih RF signala kao što su ambijentalna televizija i ćelijski prenos. Razumna brzina prenosa podataka može se postići u kratkom opsegu komunikacije. Mali nadzorni signali mogu se prenositi pomoću senzora koji neće trošiti nikakvu energiju. Čvorovi bez baterije u povratnim komunikacionim sistemima čine ga potencijalnim kandidatom za masovno povezivanje u budućim 6G mrežama. Međutim, postoji kritičan zahtev za postizanje tačnog stanja faze i stanja kanala na mrežnim čvorovima u takvim sistemima. Nekoherentna komunikacija može se smatrati obećavajućim mehanizmom za ispunjavanje ovih zahteva. Štaviše, nekoherentna povratna raspršena komunikacija može pružiti optimizovano korišćenje resursa i poboljšanje usluga u mrežnim uređajima. [140]

Proaktivno keširanje: Masovno postavljanje mreža malih ćelija za 6G je jedna od kritičnih briga za značajno poboljšanje mrežnog kapaciteta, pokrivenosti i upravljanja mobilnošću. To će prouzrokovati kolosalno preopterećenje saobraćaja na downlink-u na BS-ima. Proaktivno keširanje postalo je osnovno rešenje za smanjenje kašnjenja pristupa i rasterećenja saobraćaja, poboljšavajući korisnički kvalitet iskustva. Međutim, opsežna istraživanja zajedničke optimizacije proaktivnog keširanja sadržaja, upravljanja smetnjama, inteligentne šeme kodiranja i tehnika raspoređivanja od suštinskog su značaja za 6G komunikaciju.

Mobilno računarsko računanje: Zbog distribuiranih masivnih oblak aplikacija, unapređeno mobilno računanje na ivicama (MEEC) postaje ključni deo 6G tehnologija. Primena MEEC-a zasnovanog na AI dovešće do izračunavanja analize velikih podataka i kontrole sistema. Ivična inteligencija je paradigma u nastajanju koja zadovoljava podsticajne zahteve predstojećih sveprisutnih scenarija usluga heterogenih računanja, komunikacije i visoko-dimenzijskih konfiguracija. Različiti tipovi 6G usluga mogu okarakterisati gore predstavljene nove tehnologije. Svaka tehnika može pojačati jednu ili više usluga.

7.4. Standardizacija

Istraživačke aktivnosti na 6G su u početnoj fazi. Mnogi istraživači su 6G definisali kao B5G ili 5G +. Preliminarne istraživačke aktivnosti već su započete u Sjedinjenim Američkim Državama.

Međunarodna telekomunikaciona unija: Aktivnosti na standardizaciji 5G ITU sektora radiokomunikacija ITU-R bile su zasnovane na IMT-2020. Shodno tome, ITU-R verovatno objavljuje IMT-2030, koji sumira moguće zahteve mobilnih komunikacija u 2030. godini (tj. 6G).

6G bežični samit: Uspešan prvi bežični samit 6G održan je u Laponiji u Finskoj, marta 2019. Održane su opsežne praktične diskusije među naučnicima, zainteresovanim stranama u industriji i dobavljačima iz celog sveta. Na samitu su bili prisutni pionirski istraživači bežične komunikacije. Štaviše, samitu su prisustvovala i vodeće svetske telekomunikacione kompanije. Samit 6G pokrenuo je diskusije o kritičnim pitanjima, poput motivacije za 6G, načina prelaska sa 5G na 6G, trenutnih industrijskih trendova za 6G i tehnologija koje omogućavaju.

Nekoliko istraživačkih radova predstavilo je pravce istraživanja 6G. Prvi bežični samit 6G pokrenuo je proces identifikacije ključnih pokretača, istraživačkih zahteva, izazova i osnovnih istraživačkih pitanja vezanih za 6G. Na osnovu izjave o viziji sa prvog 6G bežičnog samita: sveprisutna bežična inteligencija, objavljen je beli papir. Ovaj beli papir je prva verzija godišnje revidirane serije istraživačkih vizija 6G. Svake godine će se ova bela knjiga ažurirati na osnovu godišnjeg 6G bežičnog samita. Cilj ovog prvog izdanja beleške je da identifikuje ključne pokretače, istraživačke zahteve, izazove i osnovna istraživačka pitanja u vezi sa 6G. Štaviše, ova bela knjiga ukratko se bavi društvenim i poslovnim pokretačima za slučajevne upotrebe 6G, 6G i nove forme uređaja, 6G spektar, napredak i izazove radio-hardvera, fizički sloj i bežični sistem, 6G umrežavanje i nove servise. Još jedan beli papir „5G Evolution and 6G“ objavio je NTT DOCOMO INC., Japan. Ova bela knjiga opisuje NTT. [115]

DOCOMO-ovi trenutni tehnički izgledi za razvoj 5G i 6G. Ukratko se govori o pravcu razvoja 5G i zahtevima i slučajevima korišćenja 6G, 6G i oblastima tehnoloških studija. Ova bela

knjiga predviđa kolaborativni pristup industrije, univerziteta i vlade radi podsticanja diskusija i ažuriranja sadržaja u različitim industrijama

7.5. Izazovi i pravci istraživanja

Potrebno je rešiti nekoliko tehničkih problema da bi se razvili 6G komunikacioni sistemi uspešno. Nekoliko mogućih zabrinutosti su ukratko razmatrani u nastavku.

Veliko širenje i atmosferska apsorpcija THz: Visoke frekvencije THz pružaju velike brzine prenosa podataka. Međutim, THz opsezi moraju da prevaziđu značajan izazov za prenos podataka na relativno velikim udaljenostima zbog visokih gubitaka širenja i karakteristika apsorpcije u atmosferi. Potreban nam je novi dizajn arhitekture primopredajnika za THz komunikacione sisteme. Prijemnik mora biti u stanju da radi na visokim frekvencijama, a mi moramo da obezbedimo punu upotrebu široko dostupnih propusnih opsega. Minimalan dobitak i efektivna površina različitih THz opsega antena je još jedan izazov THz komunikacije. Takođe treba razmotriti zdravstvene i sigurnosne probleme povezane sa komunikacijom THz opsega.

Kompleksnost u upravljanju resursima za 3D umrežavanje: 3D umrežavanje prošireno je u vertikalnom smeru. Stoga je dodata nova dimenzija. Štaviše, više protivnika može presresti legitimne informacije, što može značajno pogoršati ukupne performanse sistema. Stoga su nove tehnike za upravljanje resursima i optimizacija za podršku mobilnosti, protokol rutiranja i višestruki pristup neophodne. Zakazivanju je potreban novi mrežni dizajn.

Heterogena hardverska ograničenja: U 6G, ogroman broj heterogenih tipova komunikacionih sistema, kao što su frekvenijski opsezi, komunikacione topologije, usluga isporuka i tako dalje, biće uključeni. Štaviše, pristupne tačke i mobilni terminali će se značajno razlikovati u hardverskim podešavanjima. Masivna MIMO tehnika će se dalje nadograditi sa 5G na 6G, a ovo će možda zahtevati složeniju arhitekturu. Takođe će zakomplikovati komunikacijski protokol i dizajn algoritma. Međutim, mašinsko učenje i AI biće uključeni u komunikaciju. Štaviše, dizajn hardvera za različite komunikacione sisteme je različit. Učenje bez nadzora i pojačanja takođe može stvoriti složenost u primeni hardvera. Zbog toga će biti izazov integrisati sve komunikacione sisteme u jednu platformu.

Autonomni bežični sistemi: 6G mreža pružaće potpunu podršku sistemima za automatizaciju kao što su autonomno vozilo, bespilotne letelice i industrija 4.0 zasnovana na AI. Da bismo napravili autonomne bežične sisteme, treba da imamo konvergenciju mnogih heterogenih podсистема, kao što su autonomno računanje, interoperabilni procesi, sistem sistema, mašinsko učenje, autonomni oblak, mašine sistema i heterogeni bežični sistemi. Dakle, ukupan razvoj sistema postaje složen i izazovan. Na primer, razvijanje potpuno autonomnog sistema za vozilo bez vozača biće mnogo izazovnije jer istraživači 6G treba da dizajniraju potpuno automatizovana samovozna vozila koja imaju bolji učinak od vozila koja kontroliše čovek.

Modeliranje sub-mmWave (THz) frekvencija: Karakteristike širenja mmWave i sub-mmWave (THz) podležu atmosferskim uslovima; stoga se vide upijajući i disperzivni efekti. Klimatski uslovi se često menjaju i stoga su vrlo nepredvidivi. Stoga je modeliranje kanala ovog opsega relativno složeno i ovaj opseg nema savršen model kanala. [141]

Sposobnost uređaja: 6G sistem će pružiti nekoliko novih karakteristika. Uređaji, poput pametnih telefona, trebalo bi da imaju sposobnost da se nose sa novim funkcijama. Naročito je

izazov podržati protok Tbps, AI, KSR i integrisano očitavanje sa komunikacionim funkcijama pomoću pojedinačnih uređaja. 5G uređaji možda ne podržavaju nekoliko 6G karakteristika, a poboljšanje mogućnosti 6G uređaja može takođe povećati troškove. Očekuje se da će broj uređaja za 5G dostići milijarde. Kada se komunikaciona infrastruktura pređe sa 5G na 6G, kompatibilnost tih 5G uređaja na 6G je kritično pitanje. Ova kompatibilnost olakšava krajnjim korisnicima upotrebu i štedi mnogo novca. Zbog toga 6G treba da da prioritet integrisanim računarsko-računarskim uređajima, poboljšanju performansi računara i tako dalje na osnovu tehnološke kompatibilnosti sa 5G.

Povezivanje backhaul-a velikog kapaciteta: Pristupne mreže u 6G imaju vrlo veliku gustinu. Štaviše, ove pristupne mreže su raznolike i raširene u geografskom položaju. Svaka od ovih pristupnih mreža podržaće vezu sa velikom brzinom prenosa podataka za različite tipove korisnika. Backhaul mreže u 6G moraju da podnesu ogromne količine podataka za povezivanje između pristupnih mreža i osnovne mreže radi podrške uslugama velike brzine prenosa podataka na nivou korisnika; u suprotnom stvoriće se usko grlo. Optička vlakna i FSO mreže su moguća rešenja za povezivanje backhaul-a velikog kapaciteta; stoga je svako poboljšanje kapaciteta ovih mreža izazov za eksponencijalno rastuće zahteve za podacima od 6G.

Upravljanje spektrom i smetnjama: Zbog oskudnosti resursa spektra i problema sa smetnjama, od suštinske je važnosti efikasno upravljanje 6G spektrima, uključujući strategije podele spektra i inovativne tehnike upravljanja spektrom. Efikasno upravljanje spektrom je neophodno za postizanje maksimalne upotrebe resursa uz maksimizaciju QoS-a. U 6G istraživači, treba da se pozabave problemima poput toga kako deliti spektar i kako upravljati mehanizmima spektra u heterogenim mrežama koje sinhronizuju prenose na istoj frekvenciji. Istraživači takođe treba da istraže kako se smetnje mogu otkazati pomoću standardnih metoda za poništavanje smetnji, kao što su paralelno poništavanje smetnji i uzastopno poništavanje smetnji.

Upravljanje snopom u THz komunikacijama: Snop formiran kroz velike MIMO sisteme je obećavajuća tehnologija za podršku komunikaciji sa velikom brzinom podataka. Međutim, upravljanje snopom u sub-mmVave-u, odnosno THz opsegu predstavlja izazov zbog karakteristika širenja sub-mmVave-a. Stoga će efikasno upravljanje snopom protiv nepovoljnih karakteristika širenja predstavljati izazov za masivne MIMO sisteme. Štaviše, za neprimetnu predaju takođe je važno efikasno odabrati optimalni snop u sistemima velikih brzina.

Sigurnost fizičkog sloja: 6G mreže su usredsređene na čoveka, jer su komunikacije usmerene na čoveka najvažnija među mnogim 6G aplikacijama. Prema tome, sigurnost, tajnost i privatnost trebale bi biti ključne karakteristike 6G mreža. 5G sistemi nastavljaju sa nekoliko bezbednosnih izazova u pogledu decentralizacije, transparentnosti, interoperabilnosti podataka i ranjivosti u privatnosti mreže. U 6G, trenutne metode regulacije i procesa privatnosti i sigurnosti nisu dovoljne za održavanje fizičke sigurnosti mreže. Tradicionalni algoritmi šifrovanja zasnovani na kriptosistemima javnog ključa Rivest – Shamir – Adleman (RSA) pružaju sigurnost i tajnost prenosa u 5G mrežama. Međutim, RSA kriptosistemi postali su nesigurni pod pritiskom velikih podataka i AI tehnologija. Kao posledica toga, nova tehnika privatnosti na fizičkom sloju treba da se razvije za buduće 6G komunikacije zasnovane na velikim podacima i AI. Dizajn zaštite fizičkog sloja i sigurne interakcije sa gornjim slojevima su obavezni u 6G. Tehnologije fizičke sigurnosti i distribucija kvantnog ključa preko VLC-a su vitalna rešenja za obezbeđivanje sigurnosti u 6G. Očekuje se da će se kvantno računanje velikih razmera povećati zbog masovnog razvoja ivične infrastrukture i infrastrukture u oblaku, asimetrična kriptografija može povećati

svoj istraživački interes u ovoj oblasti. Korišćenje mašinskog učenja u automatizovanoj bezbednosti u oblasti mrežne virtuelizacije i softvarization će pomoći u otkrivanju i sprečavanju napada na optimalan način.

Planiranje ekonomske perspektive: Ekonomska perspektiva je takođe važna za postavljanje 6G komunikacije. Nova primena 6G prouzrokuje znatne troškove mrežne infrastrukture. Međutim, transformacija 5G sistema u 6G sistem i pravilno planiranje mogu smanjiti troškove. Dakle, potencijal za infrastrukturu, podatke i deljenje spektra mora se na odgovarajući način istražiti kako bi 6G mreža postala isplativa. Interakcija između očekivanih tehnologija za omogućavanje 6G, aplikacija, regulacije spektra i poslovnih modela, kao i glatka transformacija sa 5G na 6G, veoma je presudna za razvoj isplativih 6G sistema. Patvari i sar. proučavali su potencijalne dugoročne i kratkoročne transformativne i remetilačke uticaje. Njihova predložena rešenja za smanjenje troškova primene i razvoj dugoročnih održivih poslovnih modela za deljenje mrežne infrastrukture, deljenje javne infrastrukture, deljenje radio-spektra i deljenje podataka mogu biti veoma korisna za očekivane 6G komunikacione sisteme. Njihov predloženi metod može da obezbedi ukupno smanjenje troškova primene za 40–60% u poređenju sa predviđenim troškovima. Stoga se moguće rešenje za smanjenje troškova primene može odrediti kao deljenje infrastrukture, neutralni hosting i licenciranje spektra zasnovano na lokaciji.

8. ZAKLJUČAK

U ovoj doktorskoj disertaciji su razmatrani feding i diverziti tehnike koje smanjuju uticaj fedinga na performanse sistema, pri prostiranju talasa između predajnika i prijemnika [111 - 113]. U radu je definisan, takozvani slučajni proces i polazna osnova za rad je, da je kvadrat nasumične varijable jednak je zbiru kvadrata (2μ) nezavisnih Gausovih nasumičnih varijabli sa istom varijansom. Na ovaj način određena je gustina verovatnoće slučajne varijable. Pomoću nje, za slučajnu varijablu određeni su:

- kumulativna verovatnoća,
- karakteristična funkcija,
- prvi, drugi i treći moment.

Zatim, su određeni:

- združena gustina verovatnoće slučajne varijable,
- združena kumulativna gustina verovatnoće za dve slučajne varijable,
- združena karakteristična funkcija za dve slučajne varijable,
- združen prvi, drugi i treći moment za dve slučajne varijable i prvog izvoda slučajne varijable.

Pomoću definisane združene gustine verovatnoće, izračunat je srednja vrednost osnih preseka slučajnog procesa. On je jednak srednjem broju I izvoda nasumičnog procesa. Slučajni proces ima dva parametra (k) i (μ). Pored ovih parametara i srednja snaga može da se usvoji da je parametar. U radu je razmatran slučaj, kada su ovi parametri slučajne veličine i mogu biti promenljivi. Statističke karakteristike slučajne promenljive su izračunati za slučaj kada parametri (k) i (μ) imaju Relijevu gustinu verovatnoće.

Prvo je razmatran slučaj, kada Rajsov faktor (k) ima Relijevu gustinu verovatnoće i za ovaj slučaj je određena gustina verovatnoće slučajne varijable. Pomoću nje, za slučajne promenljive određene su:

- kumulativna verovatnoća,
- karakteristična funkcija,
- prvi, drugi i treći moment.

Dalja analiza, razmatra slučaj kada je stepen slučajne raspodele na treći stepen. U tom slučaju, određena je gustina verovatnoće stepenovane slučajne varijable na treći stepen.

Pomoću ove gustine verovatnoće za stepenovane slučajne varijable na treći stepen, izračunate su:

- kumulativna gustina verovatnoće,
- karakteristična funkcija, i
- prvi, drugi i treći moment.

Transformacionom metodom, određena je združena gustina verovatnoće stepenovane slučajne varijable na treći stepen i prvog izvoda stepenovane slučajne varijable na treći stepen. Zatim, koristeći izračunate združene gustine verovatnoće, određeni su srednji broj osnih preseka stepenovane slučajne varijable na treći stepen. Srednja vrednost osnih preseka jednak je srednjoj vrednosti od I izvoda stepenovane slučajne varijable na treći stepen. Takođe, analizirane su dve slučajne varijable i formirana je nasumična varijabla, koja je jednaka proizvodu 2 nasumične varijable.

U radu je, takođe izračunata gustina verovatnoće proizvoda dve nasumične varijable. Pomoću ove gustine verovatnoće izračunata je za dve slučajne varijable:

- kumulativna gustina verovatnoće proizvoda,
- karakteristična funkcija proizvoda,
- prvi, drugi i treći moment proizvoda.

Zatim, je formirana združena gustina verovatnoće proizvoda 2 nasumične promenljive i njenog I izvoda. Uz pomoć ove združene gustine verovatnoće, određena je srednja vrednost osnih preseka proizvoda 2 nasumične varijable. Srednja vrednost osnih preseka proizvoda 2 nasumične varijable jednak je srednjoj vrednosti prvog izvoda proizvoda dve slučajne varijable. Takođe, u radu je razmatran količnik dve slučajne varijable i izračunata je gustina verovatnoće količnika dve slučajne varijable. Pomoću ove gustine verovatnoće za količnik dve slučajne varijable, određena je:

- kumulativna verovatnoća,
- karakteristična funkcija,
- prvi, drugi i treći moment količnika.

U nastavku rada, za dve slučajne promenljive definisana je združena gustina verovatnoće količnika i njegovog I izvoda. Uz pomoću združene gustine verovatnoće, određena je srednja vrednost osnih preseka količnika dve nasumične varijable. Srednja vrednost osnih preseka količnika 2 nasumične varijable, jednak je srednjoj vrednosti prvog izvoda količnika dve slučajne varijable. Takođe, količnik dve slučajne varijable je posmatran u dva trenutka vremena, a zatim se izračunata za količnik dve slučajne varijable u dva trenutka vremena:

- združena ¹gustina verovatnoće,
- združena kumulativna verovatnoća, združena karakteristična funkcija,
- združen prvi, drugi i treći moment.

U radu razmatran selektivni kombiner sa dva ulaza. Na ulazima je prisutan fading. Izračunata je gustina verovatnoće signala na izlazu koja ima dva sabiraka. Svaki sabirak ima po dva člana. Prvi član je gustina verovatnoće signala na jednom od ulaza. Drugi član je kumulativna verovatnoća signala na drugom ulazu. Na ovaj način, je formiran izraz za gustinu verovatnoće signala na izlazu iz (SC)prijemnika. Pomoću ove gustine verovatnoće signala, na izlazu iz (SC)prijemnika sa dva ulaza, određena je:

- kumulativna verovatnoca signala,
- karakteristicna funkcija signala ,
- prvi, drugi i treći moment signal.

Izvršeno je izračunavanje združene gustine verovatnoće signala i I izvoda signala na izlazu iz (SC)prijemnika sa dva ulaza. Ova združena gustina verovatnoće ima dva sabiraka. Svaki od ovih sabiraka ima dva činioca.

Prvi činilac na jednom od ulaza u (SC) prijemnik je združena kumulativna verovatnoća signala i prvog izvoda signala. Drugi činilac, je kumulativna verovatnoća signala na drugom ulazu u (SC) kombiner.

Na ovaj način, je izračunata je na izlazu iz (SC) prijemnika, združena gustina verovatnoće signala i I izvoda signala. Uz pomoć izračunate združene gustine verovatnoće signala, definisana je srednja vrednost osnih preseka signala na izlazu iz (SC) kombinera sa 2 ulaza. Srednja vrednost osnih preseka signala na izlazu iz (SC) kombinera sa dva ulaza izračunat je i kao srednja vrednost prvog izvoda signala na izlazu iz (SC) kombinera sa 2 ulaza. Signal na izlazu iz (SC) kombinera sa 2 ulaza, posmatra se u dva trenutka vremena.

Izvršeno je izračunavanje na izlazu iz (SC) kombinera sa dva ulaza u dva trenutka vremena:

- združene gustine verovatnoće signala,
- združene kumulativne verovatnoće signala,
- združene karakteristične funkcije signala,
- združenog prvog, drugog i trećeg produktnog momenta signala.

Takođe, je posmatran signal na izlazu iz (SC)kombinera sa 2 ulaza u tri trenutka vremena i izračunato je:

- združena gustina verovatnoce signala,
- združena kumulativna verovatnoca signala,
- združena karakteristična funkcija signala,
- združen prvi, drugi i treći produktni moment signala.

Zatim, je posmatran signal na izlazu iz (SC)prijemnika sa 2 ulaza u četiri trenutka vremena i određena je:

- združena gustina verovatnoce signala,
- združena kumulativna verovatnoca signala,
- združena karakteristična funkcija signala,
- združen prvi, drugi i treći produktni moment signala.

Onda, je razmatran selektivni kombiner sa tri ulaza. Signal_koji je na izlazu iz (SC) prijemnika jednak je signalu sa onog ulaza na kome je signal najveći. Gustina verovatnoce ovog signala ima tri sabiraka. Svaki sabirak ima tri činioaca. Prvi činilac je gustina verovatnoce signala na jednom od ulaza. Ostala dva činioaca su kumulativna verovatnoća signala na druga dva ulaza. Na ovaj način se određuje gustina verovatnoce signala na izlazu iz (SC) kombinera sa tri ulaza. Pomoću ove gustine verovatnoce signala, izračunata je na izlazu iz (SC)prijemnika sa tri ulaza:

- kumulativna verovatnoća signala,
- karakteristična funkcija signala,
- prvi moment, drugi i treći moment signala.

Nakon toga, je izračunata združena gustina verovatnoce signala na izlazu iz (SC) kombinera sa 3 ulaza i prvog izvoda signala na izlazu iz SC kombinera sa tri ulaza. Uz pomoć združene gustine verovatnoce signala izračunata je srednja vrednost osnih preseka signala na izlazu iz (SC) kombinera sa tri ulaza. Srednji broj osnih preseka signala, na izlazu iz (SC) kombinera sa tri ulaza izračunat je kao srednja vrednost od prvog izvoda signala na izlazu iz (SC) kombinera sa tri ulaza.

Signal koji je na izlazu iz (SC)prijemnika sa tri ulaza posmatran je u 2 trenutka vremena i na osnovu toga određena je na izlazu:

- združena gustina verovatnoce signala,
- združena kumulativna verovatnoća signala,
- združena karakteristična funkcija signala,
- združeni prvi, drugi, treći i četvrti moment signala.

U zadnjoj glavi, razmatrani su makrodiverziti sistemi koji se koriste da se istovremeno smanji uticaj sporog i brzog fejdginga na karakteristike sistema. Makrodiverziti sistemi se sastoje od dva, tri, četiri ili više mikrodiverziti prijemnika i jednog makrodiverziti prijemnika. Mikrodiverziti prijemnici smanjuju uticaj brzog prostiranja signala po više puteva na performanse sistema, a makrodiverziti prijemnik umanjuje uticaj sporog propagiranja signala po više putanja na karakteristike sistema. Takođe, je razmatran slučaj kada makrodiverziti sistem ima dva mikrodiverziti prijemnika. Svaki mikrodiverziti prijemnik ima po 2 ulaza. Na ulazima je takođe prisutan fejdging. Signal koji je na izlazu iz prvog (SC) prijemnika jednak je onom signalu sa njegovih ulaza koji je veći, odnosno signal na izlazu iz (SC) prijemnika jednak je maksimumu

signala sa njegovih ulaza. Takođe, signal na izlazu iz drugog mikrodiverziti prijemnika jednak je maksimumu signala sa njegovim ulazima.

Na ulazima u drugi mikrodiverziti prijemnik prisutan je feding. Na osnovu ovoga, izračunata je na izlazima iz prvog i drugog mikrodiverziti prijemnika:

- gustina verovatnoće,
- kumulativna verovatnoća,
- karakteristična funkcija,
- prvi, drugi i treći moment signala.

Signal na izlazu iz makrodiverziti (SC) prijemnika jednak je onom signalu sa njegovih ulaza koji ima najveću snagu. Snaga se menja pod uticajem sporog fedinga. Sporo prostiranje signala po više puteva ima Gama raspodelu koja može biti korelisana i nekorelisana sa odgovarajućim koeficijentom korelacije. Na ovaj način, je izračunata gustina verovatnoće signala na izlazu iz (SC) prijemnika, kada je na ulazima u (SC) prijemnik prisutan feding.

Na osnovu izloženog, izračunata je na izlazu iz makrodiverziti sistema, kada je na njegovim ulazima prisutan Nakagami - m feding, Rajsov feding i Relijev feding:

- kumulativna verovatnoću,
- karakterističnu funkciju,
- prvi, drugi i treći moment signala.

Zatim, je određena srednja vrednost osnih preseka signala na izlazu iz makrodiverziti (SC) prijemnika. Ovo je urađeno na dva načina. Po prvom načinu, određena je združena gustina verovatnoće signala na izlazu iz makrodiverziti (SC) prijemnika i I izvoda signala na izlazu iz makrodiverziti (SC) prijemnika.

Srednja vrednost osnih preseka signala na izlazu iz makrodiverziti (SC) prijemnika jednak je srednjem broju I izvoda signala na izlazu iz makrodiverziti (SC) prijemnika. Analiziran je i makrodiverziti (SC) prijemnik sa tri mikrodiverziti (SC) prijemnika. Mikrodiverziti (SC) prijemnici imaju dva, tri, četiri i više ulaza. Kod ovih mikrodiverziti prijemnika, izračunata je na izlazu iz makrodiverziti prijemnika sa tri mikrodiverziti prijemnika. :

- gustina verovatnoće,
- kumulativna verovatnoća,
- karakteristična funkcija,
- prvi moment, drugi i treći moment signala.

Kumulativna verovatnoca signala na izlazu iz makrodiverziti sistema izračunata je kao proizvod kumulativnih verovatnoća signala na izlazima iz 3 mikrodiverziti prijemnika. Na sličan

način, je izračunat i ¹ srednji broj osnih preseka signala na izlazu iz makrodiverziti sistema, kao i verovatnoća otkaza.

U zadnjem poglavlju je dat osvrt na budućnost bežičnih komunikacija uvođenjem 6G bežičnih komunikacija. Značaj diverziti tehnika analiziranih u ovom radu, kao i izvedenih proračuna od velikog su značaja za razvoju bežičnih komunikacija u prisustvu različitih smetnji. Prikazani proračuni i analize u radu, utvrdile su karakteristike prenosa signala u fading okruženju u prisustvu različitih smetnji koje se javljaju i odredili optimalni prenos signala i optimalne vrednosti parametara takvog prenosa..

LITERATURA

- [1] D. Stefanovic, M. Peric, D. Djošić, I. Marjanović, V. Velickovic, M. Stefanovic "Wireless Communication System Performance in the presence Weibull Fading and α - μ co-Channel Interference", <http://yuinfo.org/-Kopaonik> 2017.
- [2] J. Reig, "Multivariate Nakagami-m distribution with constant correlation model", Int. J. Electron. Commun. (AEUE), DOI: 10.1016/j.aeue.2007.10.009, 2007.
- [3] A.A. Abu-Dayya and N.C. Beaulieu, "Analysis of switched diversity systems on generalized-fading channels", IEEE Trans. Commun., vol. 42, pp. 2959-2966, 1994.
- [4] P. Papoulis, "Probability, Random Variables, and Stochastic Processes", 4th edition, McGraw-Hill Europe, (2002).
- [5] M.K. Simon, and M.S. Alouini, "Digital Communications Over Fading Channels". Wiley, 2nd edition, (2005).
- [6] M. Stefanovic, et. al. „The CCI Effect on System Performance in kappa-mu fading channels“, TTEM, vol. 7, no.1, pp. 88-92, 2012.
- [7] P. Spalevic, & S. Panic, "Fading and Interference Mitigation in Wireless Communications", CRC Press, USA, 2013.
- [8] J. Cheng, C. Tellambura, and N. C. Beaulieu, "Performance analysis of digital modulations on Weibull fading channel", Proceedings of the IEEE Vehicular Technology Conference, pp. 236-240, 2003.
- [9] N. C. Sagias, and G. K. Karagiannidis, "Gaussian class multivariate Weibull distributions: Theory and applications in fading channel", IEEE Transactions on Information Theory, vol. 51, issue 10, pp. 3608-3619, 2005.
- [10] A. A. Abu-Dayya and N. C. Beaulieu, "Switched diversity on microcellular Ricean channels", IEEE Trans. Veh. Technol., vol. 43, pp. 970-976, 1994.
- [11] Y. C. Ko, M. S. Alouini and M. K. Simon, "Analysis and optimization of switched diversity systems", IEEE Trans. Veh. Technol., vol. 49, pp. 1569-1574, 2000.
- [12] M.C. Stefanovic, D.S. Krstic, M. Petrovic, Dj. Bandjur, "The Joint Probability Density Function of the SSS Combiner Output Signal at Two Time Instants in the Presence of Rayleigh Fading", The Second European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP 2007), The Edinburgh International Conference Centre, UK, 11 – 16. November 2007.
- [13] I. Marjanovic, D. Rancic, D. Aleksic, D. Milic, M. Stefanovic, "Statistics of ratio of two weibull random variables with different parameters", 7th International Scientific Conference On Defensive Technologies OTEH 2016, Beograd Serbia, 6-7 October 2016.
- [14] S. Suljovic, D. Milic, V. Doljak, I. Marjanovic, M. Stefanovic, "Level crossing rate of wireless system over cellular non linear fading channel in the presence of co-channel interference" <http://www.infoteh.rs.ba/-Jahorina> 2017.
- [15] A. Melnikov, "Cellular Networks: Positioning", Performance Analysis, reliability, InTech, 2011.
- [16] J. Cody, "An Overview of Software Development for Special Functions", Lecture Notes in Mathematics, 506, Numerical Analysis Dundee, G. A. Watson (ed.), Springer Verlag, Berlin, 1976.

- [17] M. Nakagami, "The m -distribution- A general formula of intensity distribution of rapid fading", in Statistical Methods in Radio Wave Propagation, Oxford, U.K.: Pergamon Press, pp. 3–36, 1960.
- [18] W.C.Y. Lee. "Mobile communications engineering", New York: Mc-Graw-Hill; 2001.
- [19] M. Peric, D. Stefanovic, C. Stefanovic, D Pavlovic, D Milic, M Stefanovic, "Average fade saturation of SIR based selection diversity over fading channel in the presence of cochannel interference", Technics Technologies Education Management/TTEM, vol. 8, no. 3, pp. 1231-1236, 2013.
- [20] I. S. Gradshteyn and I. M. Ryzhik, "Table of Integrals, Series, and Products", 5th ed. San Diego, CA: Academic Press, 1994.
- [21] P. Stavroulakis: "Interference Analysis and Reduction for Wireless Systems", London, Artech house, 2003.
- [22] A. A. Abu-Dayya and N. C. Beaulieu, "Switched diversity on microcellular Ricean channels", IEEE Trans. Veh. Technol., vol. 43, pp. 970-976, 1994.
- [23] A. D. Whalen, "Detection in signals in noise, Bell Telephone Laboratories Whippany", New Jersey, Academic Press, New York, San Francisco, London, 1971.
- [24] G. Lukatela, "The statistical telecommunication theory and information theory", Gradjevinska knjiga, Beograd, 1981.
- [25] J.W. Craig, "A new simple and exact result for calculating the probability of error for two-dimensional signal constellations" IEEE MILCOM '91 Conf. Rec., Boston, MA, pp. 25.5.1–25.5.5
- [26] M. S. Alouni, M. K.Simon, "Outage probality of dual branch diversity over correlated lognormal fading chanel", 5th Nordic Signal Processing Symo, Tromso-Trondheim, Norway, Oct. 2002.
- [27] M. K. Simon, S. M. Hinedi, and W. C. Lindsey, "Digital Communication Techniques-Signal Design and Detection", Englewood Cliffs, NJ: PTR Prentice-Hall, 1995.
- [28] H. Hashemi, "The indoor radio propagation channel". Proceedings of the IEEE, vol.81, pp. 943–968, 1993.
- [29] G.L.Stuber, "Principles of Mobile Communications", Norwell, MA: Kluwer Academic Publishers, 1996.
- [30] A. Matovic, E. Mekic, N. Sekulovic, M. Stefanovic, M.Matovic and C. Stefanovic, "The distribution of the ratio of the products of two independent α - μ variates and its application in the performance analysis of relaying communication systems", Matehmatical Problems in Engineering, Hindawi Publishing, vol. 2013, Article ID 147106, 6 pages, ISSN:1563-5147, 2013.doi:10.11.1155/2013/147106.2013.
- [31] M. Matovic, S. R.Panic, Z. Popovic, M. Stefanovic, J. Zivanic, M. Peric, "Eta-Mu modeled multipath propagation og electromagnetic waves" , TTEM journal, Vol.7, No2, pp.456-461, 2012.
- [32] S. Panic, et.al. "Second order statistics of selection macro-diversity system operating over Gamma shadowed fading channels", EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, Article ID 631204, pp. 1-7, 2011
- [33] W. C. Y. Lee, "Mobile communications Design Fundamentals", Wiley. Abu-Dayya, A. A. and Beaulieu, C. N. Micro- and Macrodiversity MDPSK on Shadowed Frequency-Slective

- Channels. IEEE Transactions on Wireless Communications, vol.43, no.8, pp.2334-2342, 1995.
- [34] E. W. Stacy, "A generalization of the Gamma distribution" Annals Mathematical Statistics, vol. 33, no.3, pp. 1187 – 1192, (1962).
 - [35] M. A. Blanco, "Diversity receiver performance in Nakagami fading" in Proc. 1983 IEEE Southeastern Conf. Orlando, pp.529-532.
 - [36] S. Panic et al. "Second-order statistics of selection macro-diversity system operating over Gamma shadowed fading channels $k-\mu$ fading channels", EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, vol. 2011, Article ID 151, pp.1-7, 2011.
 - [37] S. Okui, "Effects of SIR selection diversity with two correlated branches in the m -fading channel", IEEE Trans Commun; 48:1631–3, 2000.
 - [38] P. Shankar, "Error rates in generalized shadowed fading channels", Wireless Personal Comm., vol. 28, No. 3, 233-238, Feb. 2004.
 - [39] M. Stefanovic, et al., "Statistics of signal envelope in composite multipath fading/shadowing microcellular environment", TTEM, vol.6, no.4, pp. 1147-1151, 2011.
 - [40] P. M. Shankar, "Error rates in generalized shadowed fading channels", Wireless Personal Communications, vol.28, no.3, pp. 1-6, 2004.
 - [41] D.V. Bandjur, M.C. Stefanovic and M.V. Bandjur, "Performance analysis of SSC diversity receivers over correlated Ricean fading channels in the presence of co- channel interference", Electronic letters, vol.44, no.9, pp. 587-588, 2008.
 - [42] M. Stefanovic, D. Milovic, A. Mitic, M. Jakovljevic, "Performance analysis of system with selection combining over correlated Weibull fading channels in the presence of cochannel interference", AEU – International Journal of Electronics and Communications, vol.62, Issue 9, pp. 695-700, October 2008.
 - [43] P. M. Kostic, "Analytical approach to performance analysis for channel subject to shadowing and fading", IEEE Proceedings Communications, vol.152, no.6, pp.821-827, 2005.
 - [44] G.Stuber, "Principles of Mobile Communication", Boston: Kluwer Academic Publishers; 2000.
 - [45] M. Nakagami, "The m -distribution- A general formula of intensity distribution of rapid fading", in Statistical Methods in Radio Wave Propagation, Oxford, U.K.: Pergamon Press, pp. 3–36, 1960.
 - [46] Y.-C. Ko, "Analysis and optimization of switched diversity systems", IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 49, no. 5, pp. 1813–1831, 2000.
 - [47] I. Gradshteyn, I. Ryzhik, "Tables of Integrals, series, and products", Academic Press.Pierce J. N. and Stein, S. 1960.
 - [48] G. L. Stuber, "Principles of Mobile Communication", 2nd edition, Kluwer, 2001.
 - [49] S. Zdravkovic, D. Aleksic, I. Marijanovic, G. Petkovic, D. Djosic, P. Milacic, "Level Crossing Rate of Ratio of Product of Two Random Variables and Random Variable Evaluated by Laplace Approximation formula", 12 International Conference on Applied Electromagnetics-PEC-2015 August 31-September 02, 2015 Niš, Srbija.
 - [50] D.S. Krstic, M.C. Stefanovic, D.A. Aleksic, I. Marijanović, G. Petrovic "Performance of Macrodiversity System with Two SC Microdiversity Receivers in the Presence of Rician

- Fading*", Recent Advances in Communication, Proceedings of the 19th International Conference on Communication, Zakynthos Island, Greece, July 16-20, pp. 161-166, 2015, ISBN:978-1-61804-318-4
- [51] M. D. Yacoub, "*The $\alpha - \mu$ distribution: A physical fading model for the Stacy distribution*", IEEE Transactions on Vehicular Tehnology, vol.56, issue 1, pp.27–34, 2007.
 - [52] Y. C. Ko, M. S. Alouini and M. K. Simon, "*Analysis and optimization of switched diversity systems*", IEEE Trans. Veh. Technol., vol. 49, pp.1569-1574, 2000.
 - [53] F. A. Ramos, V. Kontorovitch and M. Lara, "*On the Generalized and Modified Suzuki Model (GMSM): Approximations and Level Crossing Statistics*", Proceedings of International Conference on Electrical and Electrinics Engineering, pp.110-113, 2005.
 - [54] A.L. Brandao, L.B. Lopez, D.C. McLernon, "*Co-channel interference estimation for M-ary PSK modulated signals*", IEEE Wireless Pers Commun; 1(1): 23–32, 1994.
 - [55] Stacy, E. W. "*A generalization of the Gamma distribution*", Annals Mathematical Statistics, vol.33, no. 3, pp. 1187–1192, 1962.
 - [56] J.C. Filho and M. Yacoub, "*DHighly accurate η - μ approximation to sum of M independent non- identical Hoyt variates*", IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, vol.4, no 1, pp.436-438.
 - [57] I. Kostic, "*Analytical approach to performance analysis for channel subject to shadowing and fading*", IEE Proc Comm., Volume: 152, Issue: 6, pp. 821- 827, Dec. 2005.
 - [58] P. M. Shankar, "*Analysis of microdiversity and dual channel macrodiversity in shadowed fading channels using a compound fading model*", Int. J. Electron. Commun. (AEU), 62, pp. 445-449, 2008.
 - [59] G. K. Karagiannidis, "*Performance analysis of SIR-based dual selection diversity over correlated Nakagami-m fading channels,*" IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2003, vol. 52, no. 5, pp. 1207–1216, 2003.
 - [60] M. D. Yacoub, "*The α - μ distribution: A physical fading model for the Stacy distribution*", IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 56, issue 1, pp. 27-34, 2007.
 - [61] M. D. Yacoub, "*The α - μ distribution: a general fading distribution*", Proceeding of the 13th International Symposium on Personal, Indoor, and Mobile Radio Communications, vol.2, pp. 629-633, 2002.
 - [62] N. Youssef, W. ElBahari, M. Patzold and S. ElAsmi, "*On the crossing statistics of phase processes and random FM noise in Nakagami-q mobile fading channels*", IEEE Transactions on Wireless Communications, vol.4, no.1, pp. 24-29, 2005.
 - [63] M. K. Simon and M.-S Alouini, "Digital Communication over Fading Channels", 1st ed. New York: Wiley, 2000.
 - [64] G. L. Stuber, "Mobile communication", Kluwer; USA, 2003, 2nd edn ; USA, 2003.
 - [65] P.M. Shankar, "*Outage probabilities in shadowed fading channels using a compound pdf model*", IEE Proc Comm 152, pp. 828–832, 2005.
 - [66] R. G. Vanghn and J. B. Anderson, "*Antena diversity in mobile communications,*" IEEE Trans. Veh. Technol. vol. VT-36, pp. 149–172, 1987.
 - [67] M. Peric, B. Jaksic, S, D. Aleksic, D. Randjelovic, M. Stefanovic "*Outage Probability of Macrodiversity Reception in the Presence of Fading and Weibull Co-Channel Interference*", -Technical gazette, vol. 25, br. 2, str. 376-381, 2018.

- [68] W.-C. Jeong and J.-M. Chung, "Analysis of macroscopic diversity combining of MIMO signals in mobile communications", Int J Electron Comm (AEÜ) 59, pp. 454–462, 2005.
- [69] M.Č. Stefanović, "Performanse digitalnih telekomunikacionih sistema", Elektronski fakultet, Niš 2000.
- [70] A.A. Abu-Dayya and N. C. Beaulieu, "Analysis of switched diversity systems on generalized – fading channels", IEEE Trans. Commun., vol. 42, pp. 2959–2966, 1994.
- [71] S. Cotton, W. and J. Guy, "The $k-\mu$ Distribution Applied to the Analysis of Fading in Body to Body Communication Channels for Fire and Rescue Personnel", IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, vol.7, pp.66–69, 2008.
- [72] A. Abu-Dayya, N. C. Beaulieu, "Outage probabilities of diversity cellular systems with co-channel interference in Nakagami fading". Trans Veh Technol, vol. 41, pp. 343–55, 1992.
- [73] J. Filho, and M. D. Yacoub, "Highly accurate $k-\mu$ approximation to sum of M independent non-identical Ricean variates", Electronics Letters, vol.41, no 6, pp.338–339, 2005.
- [74] M. S. Alouini: "Some new results in the performance analysis of multihop and diversity systems", BEATS Seminar, October 10, 2002.
- [75] D.B. Da Costa and M.D. Yacoub "The $\eta-\mu$ joint phase-envelope distribution", IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, vol.6, no 1, pp.195–198, 2007.
- [76] D. Stefanovic, S. Panic, P. Spalevic, "Second Order Statistics of SC Macrodiversity System Operating over Gamma Shadowed Nakagami-m fading channels", International Journal of Electronics and Communications (AEUE), vol.65, Issue 5, pp. 413–418, 2011.
- [77] P. S. Bithas and P. T. Mathiopoulos, "Performance analysis of SSC diversity receivers over correlated ricean fading satellite channels", EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, vol. 2007, [88] Article ID 25361, 9 pages, 2007.
- [78] I.S. Gradshteyn and I.M. Ryzhik, "Table of integrals, series, and products", 5th ed., Academic, San Diego, CA, 1994.
- [79] M. D. Yacoub "The $k-\mu$ and the $\eta-\mu$ distribution", IEEE Antennas and Propagation Magazine, vol.49, no 1, pp. 68–81, 2007.
- [80] P. Papoulis, "Probability, Random Variables, and Stochastic Processes", 4th edition, McGraw-Hill Europe. Carozzi, T.D. Radio waves in ionosphere: Propagation, generation, and detection. Ph.D.dissertation, Uppsala University, Sweden, 2002.
- [81] D. V. Bandjur, M.C. Stefanovic, M.V. Bandjur, "Performance Analysis of SSC Diversity Receivers over Correlated Ricean Fading Channels in the Presence of Co-channel Interference", Electronic letters; Vol. 44, Issue 9, pp 587–588, 2008.
- [82] S. Wolfram, "The Mathematica Book", 4th Edition, Wolfram Research Inc. USA, 1999.
- [83] C. Tellambura, A. Annamalai and V. K. Bhargava, "Unified analysis of switched diversity systems in independent and correlated fading channels", IEEE Trans. Commun., vol. 49, pp. 1955–1965, 2001.
- [84] K. Peppas, et. al "Sum of non-identical squared $\eta-\mu$ variates and applications in the performance analysis of DS-CDMA systems", IEEE Transactions on Wireless Communications, vol.9, issue 9, pp. 2718–2723, 2010.
- [85] A. Abdi and M. Kaveh, "On the utility of Gamma PDF in modeling shadow fading (slow fading)", Proceedings of the IEEE Vehicular Tehnology Conference, vol.3, pp. 2308–2312.

- [86] M. K.Simon, M.-S. Alouni, "Digital Communication over Fading Channels", New York, 2000.
- [87] M. Milisic, M. Hamza & M. Hadjialic, "*BEP/SEP and Outage Performance Analysis of L-Branch Maximal-Ratio Combiner for $k-\mu$ Fading*", International Journal of the Digital Multimedia Broadcasting, vol.2009, Article ID 573404, pp.1-8, 2009.
- [88] P.S. Bithas, P.T. Mathiopoulos, and G.K. Karagiannidis, "*Switched Diversity Receivers over Correlated Weibull Fading Channels*", Proceedings International Workshop on Satellite and Space Communications (IWSSC);Leganes, Spain, Sep. 2006.
- [89] I. Trigui et al. "*On the Level Crossing Rate and Average Fade Duration of Composite Multipath/Shadowing Channels*", Proceedings of, IEEE Global Telecommunications Conference, pp.1- 5, 2008.
- [90] P.M. Shankar, "*Outage analysis in wireless channels with multiple interferers subject to shadowing and fading using a compound pdf model*", Int. J. Electron. Commun. (AEÜ), 61, 255 – 261, 2007.
- [91] P.S. Bithas, N.C. Sagias, P.T. Mathiopoulos, G.K. Karagiannidis and A.A. Rontogiannis, "*On the performance analysis of digital communications over generalized-K fading channels*", IEEE Comm Lett 10, pp. 353–355, 2006.
- [92] S.L. Cotton and W. G. Scanlon, "*Higher-order statistics for kappa-mu Distribution*", Electronic Letters, vol.43, no. 22, pp. 1215-1217, 2007.
- [93] M. J. Ho and G. L. Stuber, "*Co-channel interference of microcellular systems on shadowed Nakagami fading channels*," Proc. IEEE Veh. Technol. Conf. (VTC'93), Secaucus, NJ, pp. 568–571, May 1993.
- [94] J. Salo, L. Vuokko, H. El-Sallabi, and P. Vainikainen, "*An additive model As physical basis for shadow fading*", IEEE Vehicular on Tehnology, vol.56, no. 1, 2007.
- [95] H. Suzuki "*A statistical model for urban radio propagation*", IEEE Transactions on Communications, vol. 25, no. 7, pp. 673-680, 1997.
- [96] M. K. Simon and M.-S. Alouini, "*A unified approach to the performance analysis of digital communications over generalized fading channels*," IEEE Proc., vol. 86, no. 9, pp. 1860–1877, Sept 1998.
- [97] J. G. Proakis, 2Digital Communications2, 3rd ed. New York, NY: McGraw-Hill, 1995
- [98] I. S. Gradshteyn and I. M. Ryzhik, "*Table of Integrals, Series, and Products*", 5th ed. San Diego, CA: Academic Press, 1994.
- [99] M.C. Stefanovic, D. S. Krstic, M. Petrovic, Dj. Bandjur, "*The Joint Probability Density Function of the SSS Combiner Output Signal at Two Time Instants in the Presence of Rayleigh Fading*", The Second European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP 2007), The Edinburgh International Conference Centre, UK, 11 – 16. November 2007.
- [100] M. Stefanovic, et al. "*Performance analysis of system with selection combining over correlated Weibull fading channels in the presence of cochannel interference*", Int J Electron Commun (AEU), doi: 10.1016/j.aeue.2007.09.006, 2007.
- [101] A. Abdi, W. C. Lau, M. S. Alouini, M. Kaveh, "*A new simple model for land mobile satellite channels: first-and-second-order statistics*". IEEE Transactions on Wireless Communications, vol.2, no.2, pp. 519-528, 2003.

- [102] T. Tan, N. Bealieu, "Infinite series representation of the bivariate Rayleigh and Nakagami-m distributions", IEEE Trans. Commun., vol. 45, pp. 1159–1161, 1997.
- [103] M. S. Alouini, "A New Look at the Performance Analysis of Diversity Systems over Fading Channels: The MGF-Based Approach", Trondheim, Norway, September 7, 1999.
- [104] C. Tellambura, A. Annamalai and V. K. Bhargava, "Unified analysis of switched diversity systems in independent and correlated fading channels", IEEE Trans. Commun., vol. 49, pp. 1955–1965, 2001.
- [105] I. Gradshteyn and I. Ryzhik, Tables of Integrals, Series, and Products, Academic Press, New York, NY, USA, 1980.
- [106] M. S. Alouini, and M. K. Simon, "Postdetection Switched Combining- A simple Diversity Scheme With Improved BER Performance", IEEE Trans. on Commun., vol. 51, No 9, pp.1591-1602, September 2003.
- [107] G. K. Karagiannidis, D. A. Zogas, and S. A. Kotsopoulos, "On the multivariate Nakagami-m distribution with exponential correlation", IEEE Trans. Commun., vol. 51, pp. 1240–1244, 2003.
- [108] X. Dong and N.C. Beaulieu, "Average Level Crossing Rate and Average Fade Duration of Selection Diversity", IEEE Communication Letters, vol. 10, no. 5, pp. 396-399.
- [109] W.C.Y. Lee, "Mobile communications engineering", Mc-Graw-Hill New York, USA, 2001.
- [110] M. D. Yacoub, "The $\alpha - \mu$ distribution: A general fading distribution. Proceeding of the 13th International Symposium on Personal, Indoor, and Mobile Radio Communications, vol.2, pp.629-633, 2007.
- [111] G. Lukatela, "Statistička teorija telekomunikacija i teorija informacija", Gradjevinska knjiga, Beograd, 1981.
- [112] J. Cody, "An Overview of Software Development for Special Functions", Lecture Notes in Mathematics, 506, Numerical Analysis Dundee, G. A. Watson (ed.), Springer Verlag, Berlin, 1976.
- [113] M. Č. Stefanović, "Detekcija signala u belom i obojenom Gausovom šumu", Elektronski fakultet, Niš 1999.
- [114] F. Tariq et al., "A speculative study on 6G," arXiv:1902.06700.
- [115] White paper, 5G evolution and 6G, NTT DOCOMO, INC., Jan. 2020.
- [116] K. B. Letaief et al, "The roadmap to 6G - AI empowered wireless networks," IEEE Communications Magazine, vol. 57, no. 8, pp. 84-90, Aug. 2019.
- [117] (2019). 6G. [Online]. Available: <http://mmwave.dei.unipd.it/research/6g/>
- [118] W. Saad, M. Bennis, and M. Chen, "A vision of 6G wireless systems: Applications, trends, technologies, and open research problems," *IEEE Network*, Oct. 2019.
- [119] A. K. Tripathy, S. Chinara, and M. Sarkar, "An application of wireless brain-computer interface for drowsiness detection," *Biocybernetics and Biomedical Engineering*, vol. 36, no. 1, pp. 276-284, 2016.
- [120] S. R. A. Jafri, et al, "Wireless brain computer interface for smart home and medical system," *Wireless Personal Communications*, vol. 106, no. 4, pp. 2163-2177, Jun. 2019.

- [121] PR Newswire. (2019). *5G and the haptic internet: Emerging technologies, solutions and market opportunities*. [Online]. Available: <https://www.prnewswire.com/news-releases/5g-and-the-haptic-internet-emerging-technologies-solutions-and-market-opportunities-300184874.html>
- [122] R. Lin *et al.*, "Wireless battery-free body sensor networks using near-field-enabled clothing," *Nature Communication*, vol. 11, article no. 444, pp. 1-10, Jan. 2020.
- [123] R. Gravina, P. Aliniab, H. Ghasemzadehb, and G. Fortino, "Multi-sensor fusion in body sensor networks: State-of-the-art and research challenges," *Information Fusion*, volume 35, pp. 68-80, May 2017.
- [124] Internet of Everything. (2019). *Internet of everything (IoE)*. [Online]. Available: <https://ioe.org/>
- [125] CISCO. (2019). *The internet of everything*. [Online]. Available: https://www.cisco.com/c/dam/en_us/about/business-insights/docs/ioe-value-at-stake-public-sector-analysis-faq.pdf
- [126] P. Yang, Y. Xiao, M. Xiao, and S. Li, "6G wireless communications: Vision and potential techniques," *IEEE Network*, vol. 33, no. 4, pp. 70-75, Jul./Aug. 2019.
- [127] I. F. Akyildiz, J. M. Jornet, and C. Han, "Terahertz band: Next frontier for wireless communications," *Physical Communication*, vol. 12, Sep. 2014, pp. 16-32.
- [128] K. Tekbıyık, A. R. Ekti, G. K. Kurt, and A. Görçinad, "Terahertz band communication systems: Challenges, novelties and standardization efforts," *Physical Communication*, vol. 35, Aug. 2019.
- [129] ITU-R SM.2352-0, *Technology trends of active services in the frequency range 275-3 000 GHz*, Jun. 2015.
- [130] M. Z. Chowdhury, M. T. Hossan, A. Islam, and Y. Min Jang, "A comparative survey of optical wireless technologies: Architectures and applications," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 9819–10220, Jan. 2018.
- [131] M. Z. Chowdhury, M. K. Hasan, M. Shahjalal, M. T. Hossan and Y. M. Jang, "Optical wireless hybrid networks: Trends, opportunities, challenges, and research directions," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, Jan. 2020.
- [132] H. Gao, Y. Su, S. Zhang, and M. Diao, "Antenna selection and power allocation design for 5G massive MIMO uplink networks," *China Communications*, vol. 16, no. 4, pp. 1-15, Apr. 2019.
- [133] E. Basar, M. Di Renzo, J. de Rosny, M. Debbah, M. Alouini, and R. Zhang, "Wireless communications through reconfigurable intelligent surfaces," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 116753-116773, Aug. 2019.
- [134] T. Nguyen, N. Tran, L. Loven, J. Partala, M. Kechadi and S. Pirttikangas, "Privacy-aware blockchain innovation for 6G: Challenges and opportunities," in *Proc. 6G Wireless Summit*, Levi, Finland, Mar. 2020, pp. 1-5.
- [135] C. Pan, J. Yi, C. Yin, J. Yu and X. Li, "Joint 3D UAV placement and resource allocation in software-defined cellular networks with wireless backhaul," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 104279-104293, 2019.

- [136] T. Huang, W. Yang, J. Wu, J. Ma, X. Zhang and D. Zhang, "A survey on green 6G network: Architecture and technologies," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 175758-175768, 2019.
- [137] Y. Zeng, R. Zhang, and T. J. Lim, "Wireless communications with unmanned aerial vehicles: opportunities and challenges," *IEEE Communications Magazine*, vol. 54, no. 5, pp. 36-42, May 2016.
- [138] H. Wang, W. Wang, X. Chen, and Z. Zhang, "Wireless information and energy transfer in interference aware massive MIMO systems," in *Proc. IEEE Global Communications Conference*, Austin, TX, 2014, pp. 2556-2561.
- [139] X. Shen *et al.*, "AI-assisted network-slicing based next-generation wireless networks," *IEEE Open Journal of Vehicular Technology*, vol. 1, pp. 45-66, Jan. 2020.
- [140] S. J. Nawaz, S. K. Sharma, B. Mansoor, M. N. Patwary, N. M. Khan, "Non-coherent and backscatter communications: enabling ultra-massive connectivity in the era beyond 5G," *arXiv:2005.10937v2*.
- [141] Y. Golovachev, A. Etinger, G. A. Pinhasi, and Y. Pinhasi, "Propagation properties of sub-millimeter waves in foggy conditions," *Journal of Applied Physics*, Apr. 2019.
- [142] S. Mumtaz *et al.*, "Terahertz communication for vehicular networks," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 66, no. 7, pp. 5617-5625, Jul. 2017.
- [143] ITU-R M.2370-0, *IMT traffic estimates for the years 2020 to 2030*, Jul. 2015.
- [144] H. Viswanathan and P. E. Mogensen, "Communications in the 6G era," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 57063-57074, March 2020.
- [145] B. Li, Z. Fei, and Y. Zhang, "UAV communications for 5G and beyond: Recent advances and future trends," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 6, no. 2, pp. 2241-2263, Apr. 2019.
- [146] K. David and H. Berndt, "6G vision and requirements: Is there any need for beyond 5G?," *IEEE Vehicular Technology Magazine*, vol. 13, no. 3, pp. 72-80, Sep. 2018.

BIOGRAFIJA AUTORA

Miloš Perić je rođen godine u Nišu, Republika Srbija. Osnovnu školu završio je u Nišu, kao i srednju školu-gimnaziju "Svetozar Marković" – matematički smer. Elektronski fakultet u Nišu, na smeru računarska tehnika i informatika, završava 2011.god. gde stiče zvanje diplomirani inženjer elektrotehnike-smer računarska tehnika i informatika. Doktorske studije upisuje 2018. god. na fakultetu Singidunum, Beograd. Radno iskustvo: Od 2008 - 2012 angažovan na poslovima projektanta, sistem administratora – DMM-inženjering: Održavanje mreže, hardware, operativnog sistema, software, backup, security, priprema za štampu, projektovanje. Od 2012 angažovan na poslu predavača - IT Centar -predavač na sledećim kursovima: - MCITP Server 2008 R2; - MCSA Server 2008 R2 - MCSA Server 2012 R2- MCSA & MCSE Server 2016. Od 2012 – 2013 zaposlen kao profesor - ETŠ Mija Stanimirović. Nastavnik na predmetima: - Nacrtna geometrija sa tehničkim crtanjem (Autokad, ORked, Korel); - Elektrotehnički materijali. Od 2013 – 2018 angažovan na poslovima Sistem Administratora - Visoka Tehnička škola Održavanje mreže: Cisco, Mikrotik; Održavanje servera 2016, 2012R2, 2008, 2003, ISA (Domen kontroleri, Aktivni direktorijum, GPO, WSUS, WDS, DNS, DHCP, VPN, Radius, IIS, Fajl server, Backup) Održavanje radnih stanica: Win 10, Win 8.1, Win 7, (Sigurnost, privilegije i prava pristupa, antivirus i zaštitni zid, rezervne kopije), Virtuelizacija (VMware & Hyper-v), Skladište podataka. Od 2018 zaposlen kao projektant informatičke infrastrukture - Visoka Tehnička škola u Nišu, angažovan na poslovima Server ili Linuks virtuelna okruženja; Server Virtuelizacija i virtuelna desktop okruženja, Skladištenje, SAN, NAS i sigurnosne tehnologije; Aktivni direktorijum, domen kontroler, IIS; Mreža; Držanje praktične nastave; Mikrotik Akademski instruktor. Višegodišnje iskustvo na poslovima sistem administratora i projektanta je stekao u Visokoj Tehničkoj školi u Nišu i firmi DMM- inženjering, a stekao je i značajno pedagoško iskustvo tokom rada u ETŠ- Mija Stanimirović u Nišu i kao predavač u IT Centru u Nišu.

Napisao je 2 (dva) rada koja su objavljena u međunarodnim časopisima sa SCI liste (Science Citation Index), kao i radove objavljene u međunarodnim časopisima, radove saopštene na međunarodnim skupovima i štampani u odgovarajućim zbornicima radova i radove saopšteni na nacionalnim skupovima i štampani u odgovarajućim zbornicima radova.

IZJAVE AUTORA

Изјава о ауторству

Име и презиме аутора Милош Перић

Број индекса _____

Изјављујем

да је докторска дисертација под насловом

Примена диверзити технике за смањенје утицаја α - k - μ - g и k - μ - g фединга на перформансе безичних система

- резултат сопственог истраживачког рада;
- да дисертација у целини ни у деловима није била предложена за стицање друге дипломе према студијским програмима других високошколских установа;
- да су резултати коректно наведени и
- да нисам кршио ауторска права и користио интелектуалну својину других лица.

Потпис аутора

У Београду, 2020. године

Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада

Име и презиме аутора Милош Перић

Број индекса _____

Студијски програм _____

Наслов рада Примена диверзити технике за смањење утицаја α-k-и -g и k-и -g фединга на перформансе бежичних система

Ментор Проф. Др Петар Спалевић, редован професор, Универзитет Сингидумум у Београду, Технички факултет у К.Митровици

Изјављујем да је штампана верзија мог докторског рада истоветна електронској верзији коју сам предао/ла ради похрањена у **Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Београду**.

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци везани за добијање академског назива доктора наука, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране рада.

Ови лични подаци могу се објавити на мрежним страницама дигиталне библиотеке, у електронском каталогу и у публикацијама Универзитета у Београду.

Потпис аутора

У Београду, _____ .2020. године

PRIMENA DIVERZITI TEHNIKE ZA SMANJENJE UTICAJA α-k-μ-g I k-μ-g FEDINGA NA PERFORMANSE BEŽIČNOG SISTEMA

ORIGINALITY REPORT

7%

SIMILARITY INDEX

PRIMARY SOURCES

1	fedorani.ni.ac.rs Internet	1479 words — 5%
2	pesnicky.orava.sk Internet	292 words — 1%
3	tesla.pmf.ni.ac.rs Internet	73 words — < 1%
4	fedorabg.bg.ac.rs Internet	61 words — < 1%
5	www.infoteh.rs.ba Internet	57 words — < 1%
6	repozitorij.unizg.hr Internet	42 words — < 1%

EXCLUDE QUOTES ON

EXCLUDE MATCHES < 15 WORDS

EXCLUDE BIBLIOGRAPHY ON