



UNIVERZITET SINGIDUNUM

FAKULTET ZA INFORMATIKU I MENADŽMENT

Bulevar Zorana Đinđića, br. 44

DEPARTMAN ZA POSLEDIPLOMSKE STUDIJE

MASTER STUDIJE

- Master rad -

Bežične MESH mreže



UNIVERZITET SINGIDUNUM

FAKULTET ZA INFORMATIKU I MENADŽMENT

Bulevar Zorana Đinđića, br. 44

Mentor:

Kandidat:

Dr Ranko Popović

Ivan Milovanović

Niš, 2009.

SADRŽAJ

1	UVOD	5
2	METODOLOGIJA NAUČNOG ISTRAŽIVANJA	6
	2.1 Predmet istraživanja	6
	2.2 Hipotetički okvir istraživanja	6
	2.3 Ciljevi i zadaci istraživanja	7
	2.4 Metodi i tok istraživačkog procesa	8
3	ISTORIJAT	9
4	RAZVOJ TEHNOLOGIJE Wi-Fi	11
	4.1 802.11	11
	4.2 802.11 – 1997	11
	4.3 802.11a – 1999	12
	4.4 802.11b – 1999	13
	4.5 802.11g – 2003	14
	4.6 802.11n – 2009	14
5	WIRELESS MESH SISTEMI	16
	5.1 Uvod	16
	5.2 Vrste arhitektura WMN mreža po topologiji mreže	17
	5.2.1 Ravni WMN	18
	5.2.2 Hijerarhijski WMN	19
	5.2.3 Hibridni WMN	20
	5.3 Multiradio multikanalne MESH mreže	21
	5.4 Bežične MESH mreže bazirane na IEEE 802.11 standardu	23
	5.5 Rutiranje u bežičnim MESH mrežama	24
	5.6 Srednja pristupna kontrola (MAC) u bežičnim MESH mrežama	26
	5.7 Bezbednost u bežičnim MESH mrežama	27
	5.8 Bežični MESH za primenu u javnoj bezbednosti	29
6	BLISKA BUDUĆNOST	30
	6.1 Standardizacija bežične LAN MESH mreže IEEE 802.11s	30
7	BALANSIRANJE OPTERAĆENJA - SAŽETAK	31
8	UVODNI OPIS BALANSIRANJA OPTEREĆENJA	33
9	BALANSIRANJE OPTEREĆENJA NA GEJTVEJU U WMN	35
	9.1 Pokretno balansiranje opterećenja na osnovu granica (MBLB)	37
	9.1.1 Pristup najkraće pokretne granice na bazi putanje	37
	9.1.2 Pristup opterećenosti pokretne granice na bazi indeksa	37
	9.2 Particionisano balansiranje opterećenja bazirano na hostu (PHLB)	38
	9.2.1 Pristup centralizovanog particionisanja hosta	38
	9.2.2 Pristup distribuisanog particionisanja hosta	39
	9.3 Probabilistično balansiranje opterećenja na bazi stripinga (PSLB)	39
	9.3.1 Pristup probabilističkog stripinga svih čvorišta	40
	9.3.2 Pristup probabilističkog stripinga graničnih čvorišta	40
10	OPTEREĆENJE CENTRA U WMN	41
11	QoS (Quality of Service) U MIKROTIK RUTERIMA	44
	11.1 Česta pitanja	44
	11.2 Mangle	45
	11.3 HTB(Hierarchical Token Bucket)	45

11.4	Paket flou u QoS-u	46
11.5	Dupli QoS	46
11.6	Stablo redova	47
11.7	Upotreba	47
12	PRAKTIČNA PRIMENA	48
12.1	Ograničavanje klijenata	48
12.2	PCQ	48
12.3	Adresne liste	51
12.4	Obeležavanje paketa	52
12.5	PCQ veličina reda	56
12.6	PCQ podešavanja	57
13	OSTALA REŠENJA ZA BALANSIRANJE OPTEREĆENJA U WMN MREŽAMA	58
13.1	Ad-hoc rutiranje balansiranja opterećenja (LBAR)	59
13.2	Balansiranje opterećenja (AODV)	60
14	OTVORENI PROBLEMI	60
15	PRAKTIČAN RAD	62
15.1	Uvod	62
16	Realizacija	63
16.1	Projektovanje sistema	63
17	OPIS IZVEDENIH RADOVA	64
17.1	Zgrada sedišta firme Irvias International – IAP	65
17.2	Lokal firme Millhouse Computers „Gradski“ – MWG	66
17.3	Millhouse computers - lokal – “Pobedina” – MWR	67
17.4	O strukturi mreže	68
18	Veb interfejs MOTOMESH DUO UREĐAJA	70
19	ZAKLJUČAK	79
20	LITERATURA	80

1. Uvod

Bežični sistemi postaju deo naše sadašnjosti i olakšavaju komunikaciju kako između uređaja, tako i međuljudsku komunikaciju. Bežične MESH mreže mogu, u bliskoj budućnosti, dodatno da olakšaju komunikaciju. Dat je prikaz bežičnih rešenja koje su krčile put bežičnim komunikacijama i prednosti i mane raznih MESH sistema u različitim uslovima eksploatacije. U uvodnom delu posmatramo prednosti jednog MESH sistema u odnosu na ogromnu količinu alternativnih solucija. Čvorišta se lako i jednostavno postavljaju i automatski konfigurišu. Što je više čvorišta veća je i snažnija mreža. Oslanjaju se na istim bežičnim standardima kao i najrasprostranjeniji uređaji (802.11 a, b i g). Praktičan je kada nema Ethernet priključaka, kao na primer spoljašnjim prostorima za koncert, skladištima, ili nekoj većoj transportnoj okolini. MESH sistemi su izuzetno korisni u mrežnim konfiguracijama (NLoS - Non-Line-of-Sight), bez vidika, gde je bežični signal privremeno blokiran. MESH mreže se same konfigurišu, sistem automatski ugrađuje novo čvorište u postojeću strukturu bez dodatnog podešavanja mrežnog administratora. Takođe, MESH mreže se same "leče", pošto mreža automatski nalazi najbržu i najpouzdaniju putanju da pošalje podatke, čak i kada su čvorišta blokirana ili gube svoj signal. Takva mreža sprečava zagušenja na LAN mreži, pošto paketi koji se šalju u lokalnu, ne moraju da putuju do centralnog servera. Zbog svoje lake instalacije i deinstalacije, lako se adaptira na potrebe i jednostavno se širi na željeni način.

2. Metodologija naučnog istraživanja

2.1 Predmet istraživanja

Predmet našeg istraživanja predstavljaju MESH mreža, njihov način funkcionisanja, platforme koje su potrebne za funkcionisanje, kao i upotreba takvih sistema u različitim uslovima eksploatacije.

2.2 Hipotetički okvir istraživanja

Hipotetički okvir istraživanja sastoji se od sledećih hipoteza:

Generalna hipoteza:

- Razvojem savremene računarske opreme i telekomunikacionih kanala, došlo je do potrebe za pouzdanim pristupom bežičnom internetu.

Posebna hipoteza:

- Razvoj Wi-Fi tehnologije.
- Bežični MESH sistemi kao optimalna budućnost bežičnog Interneta.
- Standardizacija 802.11s LAN MESH mreže.
- Primena balansiranja opterećenja i njegovih alternativa.

2.3 Ciljevi i zadaci istraživanja

Naučni cilj master rada je istraživanje i sistematizacija znanja o MESH mrežama, kao i tehničko predstavljanje primenjenog rešenja.

Društveni cilj istraživanja predstavlja udovoljavanje praktičnim potrebama. Rezultati istraživanja treba da budu upotrebljeni kod korisnika interneta.

Osnovni pojmovi koji su od značaja za pristupni rad su:

-802.11

-Internet

-MESH

- Balansiranje opterećenja

-QoS

2.4 Metodi i tok istraživačkog procesa

Uzimajući u obzir specifičnosti i obim proučavanog predmeta istraživanja u prvom projektnom zadatku upotrebljene su različite metode kako bi se zadovoljili osnovni metodološki zahtevi objektivnost, pouzdanost i opštost i sistematičnost.

Primenjene su sledeće metode i tehnike:

- deduktivna i induktivna metoda;
- metod analize i sinteze
- komparativna metoda

Primenom ovih metoda kako govore dosadašnji rezultati istraživanja moguće je validno ostvarenje naučnog i društvenog cilja istraživanja. Pristup istraživanju je intrigrativan, sintetički, u tom smislu ni jednom metodološkom postupku se ne daje isključiva prednost.

U prikupljanju podataka biće primenjeni: ispitivanje i metoda analize sadržaja dokumenata. Analiza će biti ostvarena:

- Na nivou sekundarne analize rezultata ranijih istraživanja i adekvatne literature

Polazeći od postavljenih hipoteza i ciljeva istraživanja proistekla je struktura samog rada.

3. Istorijat

Nikola Tesla je predvideo da će se javiti potreba za bežičan način prenosa energije i podataka. On je u periodu od 1891. do 1917. posvetio upravo bežičnim komunikacijama i bežičnoj tranzmisiji energije kada je američka vojska uništila njegov nedovršeni toranj u „Wardenclyffe-u“ iz koje je hteo, bežičnim putem pomoću planete zemlje da pošalje električnu energiju do Francuske.



SLIKA 1. Teslin toranj u Wardenclyffe-u

Razvoj Interneta je stvorio jaku potrebu za brzim i sigurnim bežičnim prenosom podataka i u zadnjih deset godina se beleži ogroman rast kvaliteta, proširenja infrastrukture, povećanje bezbednosti i smanjenje troškova u bežičnim komunikacijama. Neprofitabilna organizacija koja čuva tehnološke inovacije širom sveta zarad čovečanstva, *Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. (IEEE)*, standardizuje sve vrste protoka, pa i bežični Internet. Oznaka za bežični Internet po IEEE standardu je 802.11 sa sufiksima a,b,g,n, u zavisnosti od revizije i tehničkih karakteristika. Tabela 2 prikazuje spisak i opis svih protoka 802 standarda.

STANDARD	OPIS
802.1	„Bridging“ umrežavanje i menadzment mreže
802.2	Logička kontrola linkova
802.3	Ethernet
802.4	Magistrala za token-e
802.5	Definiše MAC sloj za krug tokena
802.6	Mreža u oblasti metropole (MAN)
802.7	Broadband LAN putem koaksijalnog kabla
802.8	TAG optičkog vlakna
802.9	Integrisan servis u LAN-u
802.10	Interoperabilna LAN bezbednost
802.11 a/b/g/n	Bežični LAN i MESH (Wi-Fi)
802.12	Prioritetni zahtevi
802.13	Nema zvaničnu primenu
802.14	Kablovski modemi
802.15	Bežični PAN
802.15.1	Sertifikovano za Bluetooth
802.15.4	Sertifikovano za ZigBee
802.16	Broadband bežični pristup (WiMAX)
802.16e	Broadband bežični pristup (mobilni)
802.16.1	Lokalni multipoint servis distribucije
802.17	Media independent handover (MIH)
802.18	Radio regulatorni TAG
802.19	TAG koegzistencije
802.20	Pokretni broadband bežični pristup
802.21	Resilient paket ring (RPR)
802.22	Bežična mreža regionalne oblasti
802.23	Širokopojasni ISDN

TABELA 1: spisak i opis svih protoka 802 standarda

4. Razvoj tehnologije Wi-Fi

4.1 802.11

Skup IEEE standarda koji čine *wireless local area network (WLAN)* standardi kompjuterske komunikacije u opsegu 2.4GHz, 3.6GHz i 5GHz spektra. Postoji nekoliko specifikacija u 802.11 standardu.

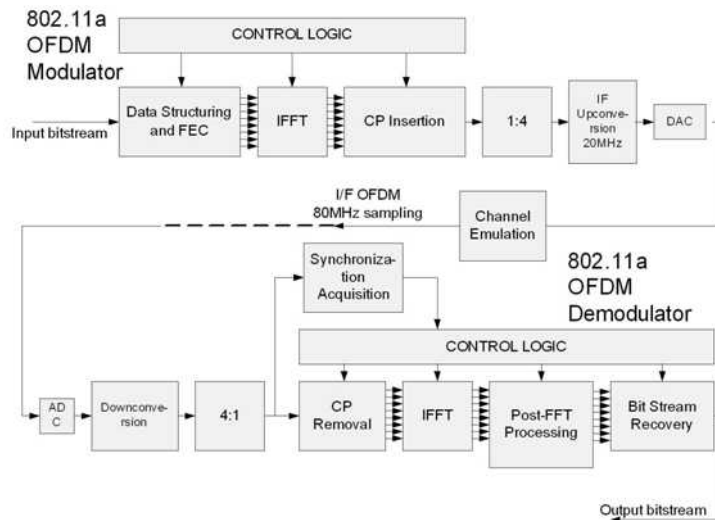
4.2 802.11 - 1997

Prva verzija standarda IEEE 802.11 je izdata 1997. godine, a klarifikovana 1999. godine i danas je već zastarela. Radila je na opsegu 2.4GHz i imala je propusnu moć od 1 ili 2 Mbps, koristeći FHSS i DSSS sekvence za širenje spektruma. Zbog svog minimalnog

propusnog opsega, nesigurnosti i nezaštićenosti vrlo brzo su se pojavile nove revizije standarda.

4.3 802.11a - 1999

Ubrzo posle 802.11 standarda izašao je 802.11a standard koji se odnosio na 5GHz-ni opseg i doneo je propusnu moć od 54Mbps. Standard 802.11a umesto FHSS i DSSS sekvence za širenje spektruma, koristi OFDM. Opseg od 5GHz daje značajnu prednost zbog manje interferencija, pošto je manje zastupljen od 2.4GHz.



SLIKA 2: Primer funkcionisanja 802.11a standarda

4.4 802.11b - 1999

U isto vreme kada je izašao 802.11a standard, pojavio se unapređeni 802.11 standard, nazvan 802.11b, u javnosti popularno nazvan „Wi-Fi“ (Slika 3). Povećana propusna moć od 11Mbps na istom 2.4GHz-nom opsegu, upotrebom samo DSSS sekvence za širenje spektruma i činjenica da je direktna revizija 802.11 standarda, omogućuju mu bežičnu primenu koja može da se poredi sa Ethernet-om. Veliki nedostatak upotrebe 2.4GHz-nog opsega je u tome što ga mnogi uređaji (Bluetooth, bežični telefoni, mikrotalasne peći...) koriste, pa dolazi do interferencija u komunikaciji.



SLIKA 3: Prvi logotip za popularnu Wi-Fi mrežu

4.5 802.11g - 2003

Juna 2003. godine se pojavila treća revizija 802.11 standarda sa sufiksom g. Kao i prethodna 802.11b, radi u opsegu 2.4GHz i sa istom tranzmisionom šemom (OFDM) kao 802.11a. Propusna moć je 54Mbps i potpuno hardverski kompatibilna sa 802.11b standardom. Zbog tih karakteristika, ubrzo je postao široko zastupljen. Na 802.11g standard

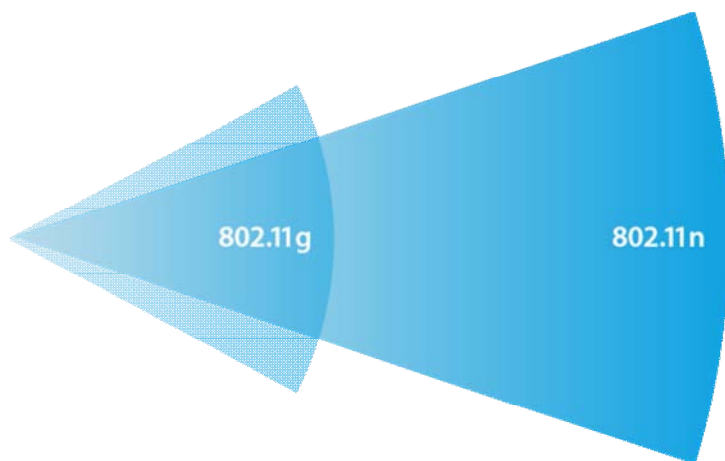
se najviše čekalo zbog usaglašavanja rada korisnika sa 802.11b i 802.11g u isto vreme. Uprkos uloženom trudu kada postoji 802.11b korisnik, usporava 802.11g protokol.

4.6 802.11n - 2009

Još ne standardizovan 802.11n bi trebalo da drastično poboljša tehničke karakteristike bežičnih mreža u svetu. Standardizacija se očekuje novembra 2009. godine, a uveliko su već na tržištu 802.11-Draft N proizvodi raznih proizvođača i namena. Tehničke karakteristike su značajan korak napred, tako da je sada propusna moć 600Mbps i domet postaje udvostručen, što je do sada bilo nepojmljivo. Nova funkcija je „multiple-input multiple-output“ (MIMO), koji koristi više dolaznih i odlaznih antena da poboljša signal i performanse sistema sveukupno. Standard 802.11n koristi i 2.4GHz i 5GHz-ni opseg i potpuno je hardverski kompatibilan sa 802.11a i 802.11b standardima.



SLIKA 4: Restilizovani logotip Wi-Fi sa svim standardima

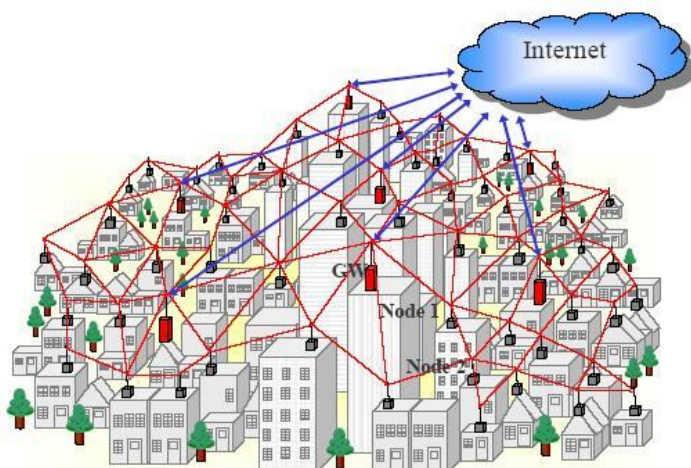


SLIKA 5: Grafički prikaz prostiranja 802.11n standarda u odnosu na 802.11g standarda

5. Bežični MESH sistemi

5.1 Uvod

„Wireless mesh network“ (WMN) je radikalna mreža iz stalno razvijajućih bežičnih mreža koja označava razdvajanje od tradicionalnih centralizovanih bežičnih sistema kao što su mreže za mobilnu telefoniju i bežični LAN. Slično promeni paradigme do koje je došlo kasnih šezdesetih i početkom sedamdesetih koja je dovela do jako uspešne i distribuirane žičane mreže Internet-a, WMN obećava smernice u budućnosti bežičnih mreža. Glavna prednosti WMN-a leže u njegovoj otpornosti od kvarova u mreži, jednostavnosti postavljanja mreže i mogućnosti za brodbend. Za razliku od mreže za mobilnu telefoniju, gde kvar jedne bazne stanice dovodi do nedostupnosti šireg geografskog područja, WMN pruža visoku toleranciju ka greškama, čak i kada veći broj čvorišta prestane da radi. Uprkos tome što je, po definiciji, WMN svaka bežična mreža koja ima, ili jednim delom, ili punu MESH topologiju mreže, praktične WMN mreže se prepoznaju po statičkim bežičnim relejnim čvorovima koji pružaju distribuiranu infrastrukturu za pokretne klijentske čvorove nad topologijom koja je delom MESH. Bez obzira što su „ad hoc“ bežični sistemi slični WMN, protokoli i dizajn arhitekture za „ad hoc“ bežične sisteme, rade jako loše kada se primene na WMN. Zato se kriterijumi optimalnog dizajna razlikuju za ove mreže. Ove razlike u dizajnu su primarno potekle od apliciranja i plasmana zadataka i opterećenja resora u ovim mrežama.



SLIKA 6: MESH metropola, potpuno umrežen grad (crvena su Internet čvorišta)

Opis	"Ad Hoc" bežična mreža	MESH bežična mreža
Topologija mreže	Vrlo dinamična	Polu-statična
Mobilnost relejnig čvorišta	Srednja do visoka	Niska
Potrošnja energije	Visoka	Niska
Infrastrukturni uslovi	Bez infrastrukture	Polufiksirana ili potpuno fiksirana
Relejnost	Releji su pokretna čvorišta	Releji su fiksna čvorišta
Plasiranje	Jednostavno za plasman	Zahteva određeno planiranje
Karakteristike saobraćaja	Korisnički saobraćaj	Korisnički i cenzurisani saobraćaj

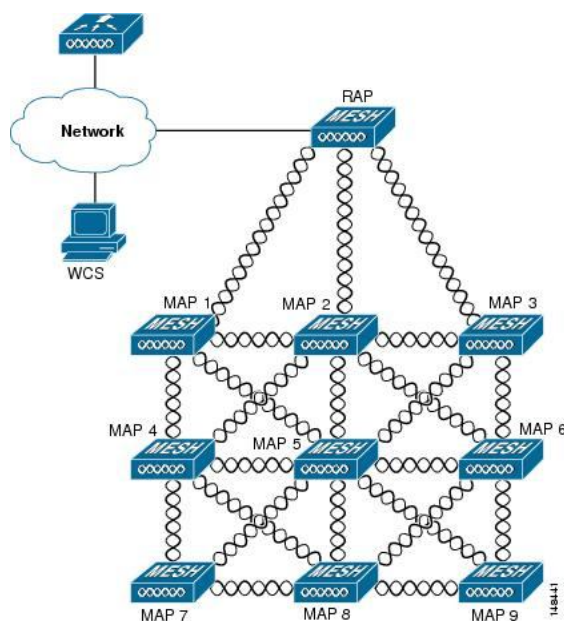
TABELA 2: Poređenje karakteristika "Ad Hoc" bežične mreže i MESH bežične mreže

5.2 Vrste arhitektura WMN mreža po topologiji mreže

Arhitektura WMN mreže može biti dizajnirana na tri različita načina po topologiji mreže: ravni WMN, hierarhijski WMN i hibridni WMN.

5.2.1 Ravni WMN

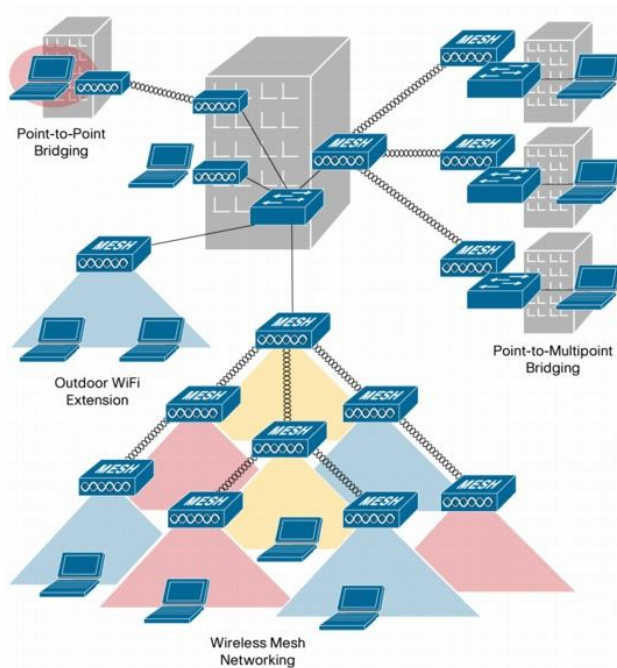
U ravnom WMN, mreža se kreira od klijentskih mašina koje postupaju i kao hostovi i kao ruteri. Ovde, je svako čvorište na istom nivou kao i njihova pristupna tačka. Čvorišta bežičnih korisnika se međusobno koordiniraju da dovedu rutiranje, mrežno konfigurisanje, rezervisanje servisa, rezervisanje ostalih aplikacija. Ova arhitektura je najbliža "Ad Hoc" bežičnoj mreži i najjednostavnija je među tri WMN arhitektura. Glavna prednost ove arhitekture je njena jednostavnost, a mana je manjak skalabilnosti mreže i veliko zauzeće resora. Problematika pri dizajniranju ravne WMN mreže je šema za adresiranje, rutiranje i šema otkrivanja usluga. U ravnom WMN, adresiranje postaje usko grlo za skalabilnost mreže.



SLIKA 7: Ravna WMN mreža

5.2.2 Hijerarhijski WMN

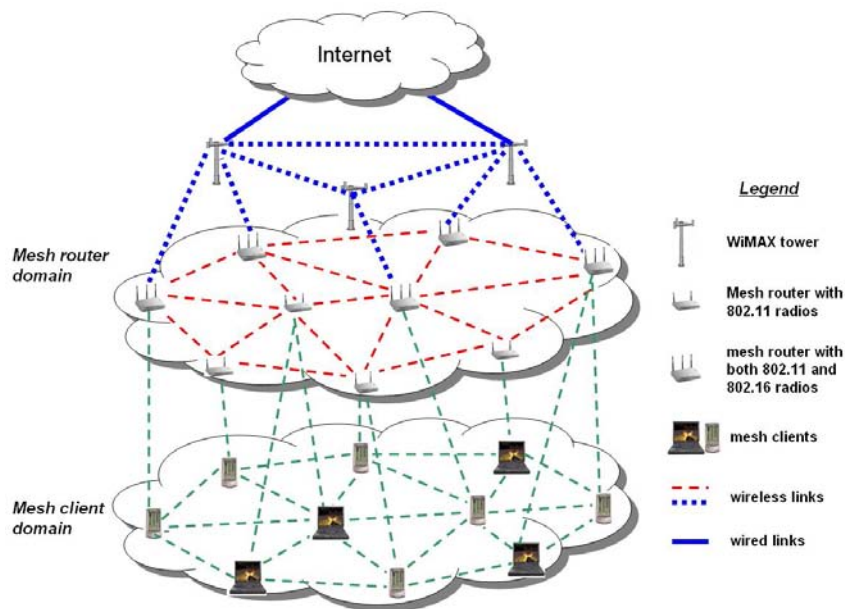
U hijerarhijskom WMN, mreža ima više redova, ili hijerarhijskih nivoa, u kojima su WMN klijentska čvorišta najniže u hijerarhiji. Ova klijentska čvorišta mogu da komuniciraju sa WMN "kičmom" koju formiraju WMN ruteri. U većini slučajeva WMN čvorišta su posvećena tako da formiraju WMN "kičmu" mreže. To znači da "kičmena" čvorišta ne mora da uspostavljaju u prekidaju saobraćaj podataka kao što to rade WMN klijentska čvorišta. Odgovornost da se samoorganizuju i održavaju "kičmu" mreže imaju WMN ruteri, od kojih su neki u "kičmi" mreže i mogu imati eksterni interfejs ka Internetu, a takva čvorišta se nazivaju gejtvej čvorišta.



SLIKA 8: Hijerarhijska WMN mreža

5.2.3 Hibridni WMN

Ovo su specijalni slučajevi hijerarhijskih WMN, gde WMN koristi druge bežične mreže za komunikaciju. Primer za bežične mreže koje mogu da se koriste poseduju arhitekturu baziranu na WMN, kao što su: mreže mobilne telefonije, WiLL mreže, WiMAX mreže, ili satelitske mreže. Praktično rešenje za aplikacije za hitni odziv u kompleksnim hibridnim WMN, je CalMesh platforma. Pošto razvoj WMN mreža u velikoj meri zavisi od toga kako radi sa drugim, postojećim solucijama bežične mreže, ova arhitektura postaje vrlo bitna u razviću WMN mreža.



SLIKA 9: Hibridna WMN mreža

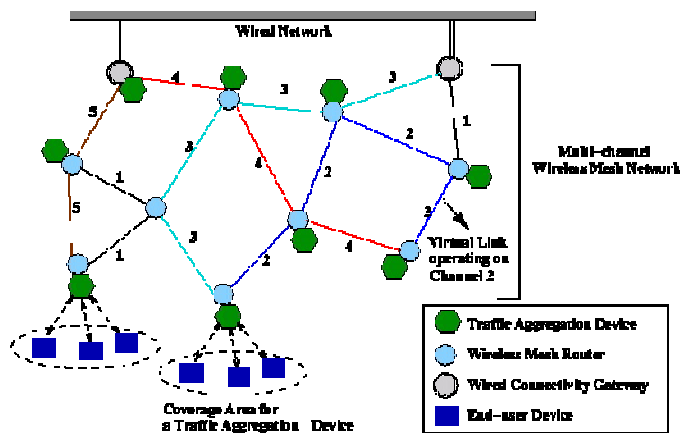
5.3 Multiradio multikanalne MESH mreže

Pojavljivanje jeftine i efikasne tehnologije za bežičan pristup kao što je IEEE 802.11, za mobilnog krajnjeg korisnika, značajno menja način komuniciranja i upotrebu računara. Njen uspeh danas je najvećim delom zbog plasmana u segmentima kućne upotrebe, kod malih preduzeća i raznih "hot spot" varijanti, gde ima ograničenu pokrivenost i obslužuje mali broj korisnika istovremeno. Trenutno postoji primetno interesovanje da se prošire IEEE 802.11 mreže na segment velikih preduzeća, gde bi se pružio širokoprostorni, širokopojasni pristup velikom broju korisnika. Ovo zahteva poliferciju pristupnih tačaka preko željenog prostora pokrivenosti. Širokoprostorna pokrivenost upotrebom IEEE 802.11 BSS (osnovni set za obslužavanje), bi prirodno imala na umu principe izgrađivanja celularnih sistema za uspešno skaliranje. Ključ za jednopoltežno skaliranje kapaciteta, je baziran na prostorno, ponovno korišćenje frekvencije. Davajući bilo koj broj ortogonalnih kanala, komšijskim pristupnim tačkama se zadaje dostupni ortogonalni set na sistematski način. Rezultanta signal prema interferenciji plus stepen šumova (SINR) na ivici BSS-a, uz nasleđena podešavanja IEEE 802.11, distribuiran koordinacionom funkcijom (DFC), protokol onda u osnovi određuje protok koji je moguće sakupiti po ćeliji.

Skaliranje ukupne propusnosti mreže preko oblasti pokrivenosti se direktno odnosi na smanjenje distance između AP-a istih kanala, bez degradiranja SNR na ivici ćelije. Ovo se može postići kombinacijom pristupa, od kojih je najočigledniji, mogućnost povećanja sistemskog bendvita (isto kao više ortogonalnih kanala) . Trenutno je jako mali broj takvih ortogonalnih kanala dostupno: tri u IEEE 802.11b (2.4 GHz) i dvanaest u 802.11a (5 GHz). Uprkos očekivanjima da će se dodeliti veći broj kanala za nelicenciranu upotrebu, postaje jasno da se ne treba oslanjati samo na tu opciju. Shodno tome, za bilo koj bendvit sistema,

optimizacija performansi mreže neophodno zahteva poboljšanje ukupnog steka protokola. Obećavajuća opcija za skaliranje kapaciteta bežične pristupne mreže je da se konfigurira MESH sloj 2, koji se planira unutar IEEE 802.11s. Ovo dalje implicira da direktan, bežično međupovezan, set MESH čvorišta formira multihop mrežu. Ova čvorišta bi se sastojala od AP-a koji dozvoljavaju direktan klijentski pristup, kao i od rutera koji bi samo usmeravali pakete između ostalih MESH delova. "Ad Hoc" priroda postavljanja MESH čvorišta rezultira u značajnom prostornom varijabilitetu multipristupnoj interferenciji (MAI), viđenoj na bilo kojoj lokaciji čvorišta, koja dovodi do varijabilnog, zavisnog od lokacije propusnosti čvorišta. Zato, efektna modifikacija mehanizma topologije uključujući: kontrolu snage, klastering čvorišta i dodelu kanala (CA), dovodi do bitnog stepena dizajnerske slobode.

Standardne multihop bežične mreže su se skoro isključivo sastojale od singl-radio elemenata. Zbog više razloga mreže sa dodelom kanala za singl-radio MESH, ne bi mogle da efikasno skaliraju da bi eksploatisale rastući bendvit sistema koji je dostupan. Zato upotreba mutiradio čvorišta u MESH mreži dovodi do pružanja najboljih uslova za skaliranje mreže. Višestruki radio znatno povećava potencijal za poboljšanje izbora kanala i formacije rute, dok MESH dozvoljava menadžment pročišćenije interferencije i kontrolu topologije.

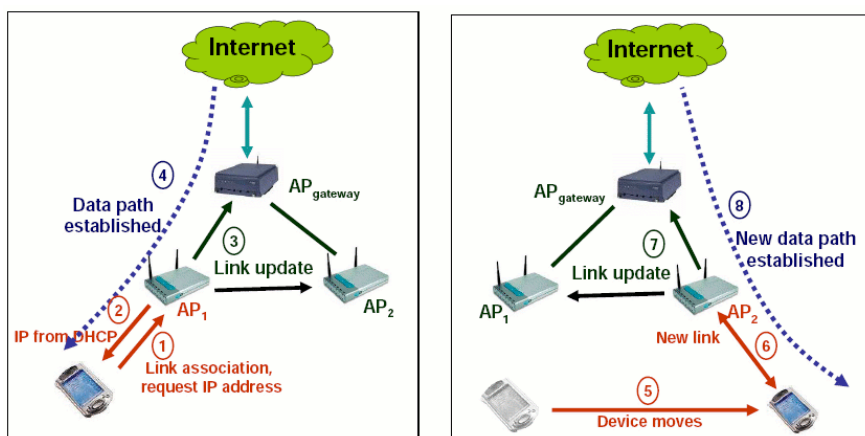


SLIKA 10: Multiradio multikanalna MESH mreža

5.4 Bežične MESH mreže bazirane na IEEE 802.11 standardu

IEEE 802.11 postaje apsolutni standard za plasiranje kućne i poslovne bežične LAN mreže. Većina tih plasmana funkcionira u infrastrukturnom modu, gdje set pristupnih tačaka služi kao komunikacioni hab za mobilne stanice koji pruža ulazne tačke na Internet. Trenutna uloga IEEE 802.11 standarda, je limitirana na komunikaciju između mobilnog klijenta i AP. Ekonomija razmere čini IEEE 802.11 standard, poželjnu alternativu čak i da bi se međusobno povezali ti AP-ovi, formirajući WMN.

Da bi se omogućila takva primena, IEEE 802.11 standard podržava dva dodatna moda rada: Ad Hoc mod, za formiranje singl-hop Ad Hoc mreže, gdje čvorišta međusobno komuniciraju direktno, bez upotrebe AP-a; i mod bežičnog distribucionog sistema (WDS), za formiranje point-to-point AP relejnih linkova, gdje svaki AP nije samo bazna stanica, već i bežično relejno čvorište. Mora da se naglasi da pre nego što IEEE 802.11 može da se upotrebi da formira efektivan WMN, mora da se razmotri nekoliko problema po pitanju: performansi, bezbednosti i menadzmenta. Sa gledišta performansi, nizak kapacitet „end-to-end” mreže i njeno nefer distribuiranje među tokove, su dva najčešće pominjana problema sa WMN zasnovanog na IEEE 802.11 standardu.



SLIKA 11: Bežična MESH mreža bazirana na IEEE 802.11 standardu

5.5 Rutiranje u bežičnim MESH mrežama

WMN mreže su novi trend u bežičnim komunikacijama, obećavajući bolju fleksibilnost, pouzdanost i performanse nad standardnim WLAN mrežama. WMN igrači brojno rastu i postoji nekoliko bežičnih MESH kompanija, koje već prodaju svoja rešenja za WMN. Čak štaviše, postoji široka podrška za MESH mreže u standardizacionim grupama kao što su: IEEE 802.11, IEEE 802.15 i IEEE 802.16.

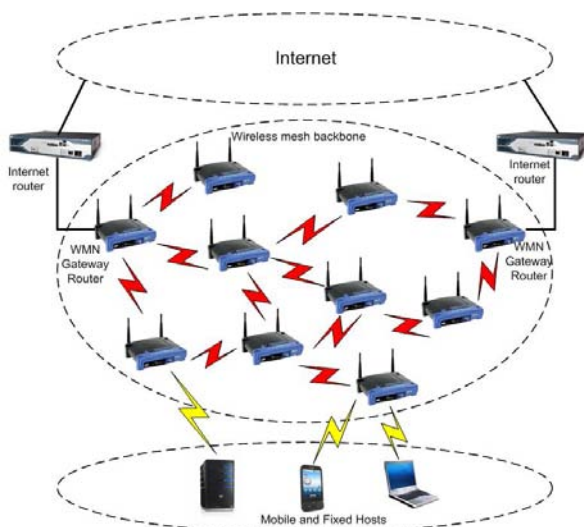
WMN i mobilni Ad Hoc networking koriste isti ključni koncept – komunikacija između čvorišta preko više bežičnih hopova na grafu MESH mreže. Uprkos tome, imaju različite aspekte. Mobilne Ad Hoc mreže (MANET), imaju akademsku pozadinu i fokusirane su na uređaje krajnjih korisnika, mobilnost i Ad Hoc mogućnosti. WMN imaju poslovnu pozadinu i uglavnom su fokusirani na statičke uređaje, pouzdanost, kapacitet mreže i praktičnog plasmana. Uprkos tome, mogu se često naći obe varijante i njihove varijacije u raznim opisima i člancima na tu temu.

Sušta funkcionalnost bežičnog multihop Ad Hoc umrežavanja, kao i WMN je mogućnost rutiranja. Protokoli rutiranja omogućuju neophodne putanje kroz WMN, tako da čvorišta mogu da komuniciraju na dobrim ili optimalnim putanjama, preko više bežičnih hupova. Protokoli rutiranja mora da imaju u vidu teško radio okruženje, sa njegovim često menjajućim uslovima i treba da podržavaju pouzdanu i efikasnu komunikaciju preko MESH mreže.

Pošto WMN dele osnovne karakteristike sa bežičnim Ad Hoc mrežama, protokoli rutiranja koji su razvijeni za MANET, se mogu primeniti na WMN. Na primer, Majkrosoft MESH mreže su napravljene na osnovu dinamičnog rutiranja izvora (DSR), mnoge kompanije koriste „Ad Hoc on-demand vector distance“ (AODV) rutiranje. Nekada se suština koncepta postojećih protokola za rutiranje proširi da zadovolji specijalne zahteve WMN-a, kao što je to slučaj sa radio-svesne metrike rutiranja u IEEE 802.11s WLAN MESH mrežnom standardu.

Uprkos dostupnosti mnogih protokola za rutiranje u Ad Hoc mrežama, dizajn protokola za rutiranje za WMN je još uvek oblast za istraživanje iz više razloga:

- U mnogim WMN, veliki broj čvorišta su ili statična ili imaju vrlo ograničenu pokretljivost i ne oslanjaju se na baterijama. Zato je fokusiranje algoritama za rutiranje na poboljšanje protoka ili performansi pojedinih prenosa, umesto kopiranja sa mobilnošću ili minimiziranju upotrebe napajanja.
- Distanca između čvorišta se može skratiti u WMN, koji povećava kvalitet linka i stopu prenosa. Zbog kraće distance povećava se interferencija između hopova, koja smanjuje dostupni bendvit na svakom linku. Rekažći to nova metrika rutiranja mora da se otkrije i podesi tako da poboljša performace protokola rutiranja u multiradio multihop WMN.
- U multiradio multihop WMN, protokol rutiranja ne treba samo da odabere putanju među različitim čvorištima, već takođe mora da odabere najprikladniji kanal ili radio na putanji svakog MESH čvorišta. Zato metrike rutiranja mora da se razvije i podesi tako da iskoristi višestruki radio u WMN-u.
- U WMN-u, unakrsno-slojni dizajn postaje neophodnost, pošto promena putanje rutiranja uključuju promenu kanala ili radija u multiradio multikanalnom MESH čvorištu.



SLIKA 12: Rutiranje u bežičnim MESH mrežama

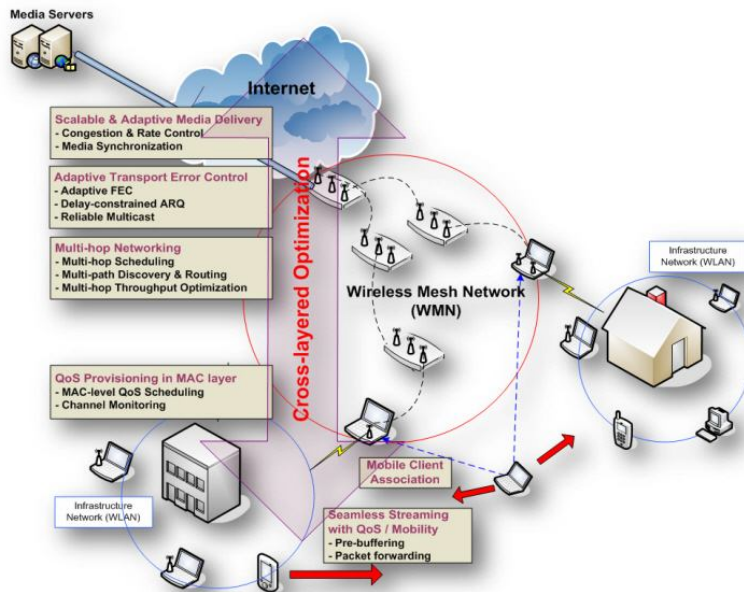
5.6 Srednja pristupna kontrola (MAC) u bežičnim MESH mrežama

WMN je idealna tehnologija za pružanje brzog i lakog pristupa mreži, na mestima gde je infrastrukturu mreže teško postaviti ili je uništena. WMN je jednako prikladan za low-kost proširenje pristupa mreže na većoj površini. Tipični slučaj za postavljanje uključuje: mreže javne bezbednosti, kućne mreže, kancelarijske mreže i mreže javnog pristupa. Na primer u mrežama javnog pristupa, WMN postavlja bežične rutere koji se nazivaju MESH tačke (MP) na osvetljenju duž ulica, da bi se formirala multihop bežična potpora sa prihvatljivim performansama i povezanosti.

U WMN-u, MAC protokol igra bitnu ulogu u koordiniranju pristupa kanalima između čvorišta. Najstandardniji MAC protokoli su dizajnirani za čvorišta sa omnidirekcionim antenama i za deljenje jednog kanala. U primere spadaju: Aloha, Slotted Aloha, CSMA i CSMA sa izbegavanjem kolizije (CSMA/CA). Dva MAC protokola definisana u IEEE 802.11 standardima su IEEE 802.11 MAC protokol i IEEE 802.11e QoS MAC protokol, su jednokanalni MAC protokoli napravljeni za čvorišta sa omnidirekcionim antenama. Bez obzira što su jednokanalni MAC protokoli robustni i laki za implementaciju, WMN na takvim rudimentarnim MAC-ovima, bi imali za posledicu niske propusnosti, zbog kolizija i interferencija koje bi prouzrokovalo multihop rutiranje. Primer, maksimalni propust za takav system bi mogao da bude jedna sedmina nominalnog protoka linka, kada se IEEE 802.11 MAC koristi. Rezultat toga bi bila prisutnija i češća zagušenost mreže, što bi onemogućili aplikacije koje intenzivno koriste bendvit, kao što je video komunikacija.

Da bi se posvetili problemu propusta u multihop MESH mreži, predlažu se MAC protokoli koji istražuju alternativni fizički sloj tehnologija, kao što su direkcionane antene (uključujući i smart antene). Osnovna ideja je da se redukuje interferencija dometa predajnika i da se poboljša ponovno korišćenje prostornih kanala, korišćenjem direkcionih antena. Još jedna efektna solucija za problem niskog propusta je da se koristi više kanala na MESH čvorištu, dozvoljavajući transmisijsku na tim kanalima. IEEE 802.11b PHY standard za WLAN, pruža tri ortogonalna kanala, dok IEEE 802.11a pruža 12 nepreklapajućih kanala. Takvi ortogonalni kanali mogu da se upotrebe uporedo u komšiluku bez međusobnog

preklapanja. Konsekventno, bilo je značajnog napora u razvijanju takvih multikanalnih MAC protokola koji efikasno mogu da dodele kanale MESH čvorištima i da koordiniraju podelu tih kanala.



SLIKA 13: MAC u MESH mrežama

5.7 Bezbednost u bežičnim MESH mrežama

WMN je eksponiran istim osnovnim pretnjama koje su česte i u žičnim i bežičnim mrežama: poruke se mogu presretati, mogu se prepravljati, zadržati, odgovoriti i nove poruke se mogu ubaciti. Mreža i pružani resorsi mogu biti pristupljeni bez autorizacije i mogu biti postavljene nedostupne od strane DoS napada.

Generički bezbednosni servisi koji pobeđuju ove pretnje su:

- **Poverljivost:** Podatci se prikazuju samo licima kojima su namenjeni.
- **Integritet:** Podatci se ne mogu modifikovati neprimetno.
- **Autentičnost:** Entitet poseduje tvrdjeni identitet.
- **Kontrola pristupa:** Osigurava da se samo autorizovane akcije mogu izvršiti.
- **Neopovrgavanje:** Štiti protiv entiteta koji učestvuju u razmenu komunikacije, a kasnije krivo poriču da nije izvršena razmena.
- **Dostupnost:** Omogućuje da autorizovane akcije mogu da se dese.

Dalje bezbednosne usluge su privatnost korisnika (anonimnost, pseudonimnost, profilisanje korisnika i trejsing), poverljivost protoka saobraćaja (koji entiteti komuniciraju), ili čak zaštita činjenice da se komunikacija izvršava.

Zaštita saobraćaja komunikacije znači poverljivost (enkripcija), autentifikacija partnera koji komuniciraju, kao i zaštita integriteta i autentičnosti poruka koje su poslate. Zaštita integriteta se ne odnosi samo na integritet pojedinačne poruke, već i pravilan redosled poruka.

5.8 Bežični MESH za primenu u javnoj bezbednosti

Pouzdana i efikasna komunikacija je apsolutno krucijalna za javnu bezbednost i hitne odzive usled katastrofe. Skoriji događaji kao što su septembar 11. i uragan Katrina su pokazali da postojeće neadekvatnosti u komunikaciji moraju da se odstrane. Jedan od značajnijih problema tokom ovih katastrofa je nedostatak interoperabilnosti između komunikacione opreme koji koriste službe javne bezbednosti. Primitivna alternative koja je morala da se koristi su bili vikanje, ručni signal i pisane poruke. Još jedan problem za komunikaciju tih službi je bio jako oslanjanje na infrastrukturu zemaljske komunikacije kao što su fiksna telefonija i mobilna telefonija, kao i kopneni mobilni radio (LMR), ograničen na infrastrukturu. Uragan Katrina je počupala stotine bežičnih baznih stanica, iskidala veliki broj vitalnih komunikacionih kablova i poplavila centralne kcelarije. Takva situacija je dovela ostatak infrastrukture u opterećenje do granice neupotrebljivosti. Jaka zavisnost od "point-to-point" komunikacionih linkova i ograničena stopa redundantnosti, daje ovim sistemima nedovoljan nivo robustnosti u slučajevima katastrofe. Još jedna mana u komunikaciji službi za javnu bezbednost je nedostatak podrške za brodbend. Jasno je da multimedialne aplikacije koje koriste brodbend internet, imaju potencijal da poboljšaju efikasnost tih službi. Pristup i stvarnom vremenu ljučnim podacima, kao što su mape visoke rezolucije, ili planovi objekata mogu biti jako bitni za delovanje u situacijama. Biti u mogućnosti da se pošalje "zivi" video snimak sa mesta dešavanja do koordinacionog centra, bi u mnogome povećala efikasnost donošenje odluke. S obzirom da trenutne mreže ne pružaju adekvatnu podršku, WMN može da pruži zanimljivo rešenje ove problematike. Ključne karakteristike WMN-a kao što su podrška brodbenda, tolerancija kvara i visok nivo interoperabilnosti pružaju odličan potencijal kao platforma za službe javne bezbednosti.

6 Bliska budućnost

6.1 Standardizacija bežične LAN MESH mreže IEEE 802.11s

Jedna od tehnologija koja nam može promeniti život u narednih nekoliko godina je WMN. Ova tehnologija je bila među nama skoro isto koliko i WLAN, ali nikada nije mogla da opsedne industriju bežične opreme kao u skorije vreme. Kako popularnost WMN-a raste, krajnji korisnici zahtevaju sve veći bendvit, bolju pokrivenost i poboljšanu pouzdanost. Danas, još uvek ne postoji oficijalni standard za WMN. Kako je povećano interesovanje za ovu tehnologiju, tako postaje plodnije polje za standardizacije. Industrija je sakupila razne IEEE 802 radne grupe da standardizuju WMN sa pravim komponentama i uokvire ga. Ti standardi mogu da pokrenu široko rasprostranjenu prihvaćenost WMN-a širom sveta. U IEEE-u rade na standard pod kodnim nazivom 802.11s koji bi se u naredne dve godine standardizovao i od koga bi mogli da vide poboljšanje svi ljudi širom sveta.



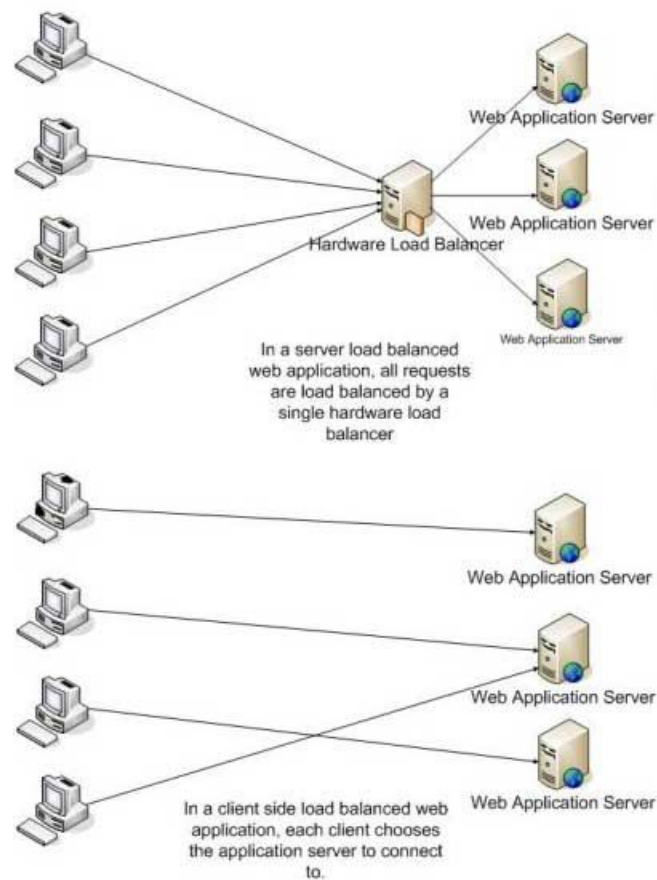
SLIKA 14: MESH mreža široko implementirana u ključne sisteme jedne metropole

7. Balansiranje opterećenja - sažetak

U bežičnoj MESH mreži (WMN) balansiranje opterećenja je ključno za efikasno korišćenje kapaciteta mreže. Efekti nebalansiranog opterećenja uključuju opterećenje gejtveja i usko grlo za formaciju čvorišta. Gejtvej čvorišta povezuju WMN na Internet. Agregacija saobraćaja na tim čvorištima stvara neravnomerno opterećenje na određenim gejtvejima koji dovode do zagušenja, gubitaka paketa i preopterećenje bafera na njima. U prilog tome konekcija gejtveja se ograničava bentvitom. Zato je balansiranje opterećenja u WMN-u kritično za poboljšanje upotrebe bendvita i skalabilnosti mreže. Još jedan problem koji se javlja od nebalansiranog opterećenja u WMN-u je što čak i sa uniformnom gustinom čvorišta i uniformnom gustinom saobraćaja dolazi do opterećenja centra. Ovo je najviše zbog rutiranja najkraćeg puta. U takvim šemama za rutiranje, WMN čvorišta koja su bliža centru mreže oslanjaju se na više takvih putanja, u odnosu na čvorišta koja su dalje od centra i tako postaju tačka povezivanja. WMN čvorišta koja se oslanjaju na previše putanja istroše svoje resorse kao što je bendvit, moć procesiranja i kapacitet skladištenja na statičkim WMN. Čak u pokretnim WMN čvorištima sa ograničenim rezervama baterije, balansiranje opterećenja dobija još više na značaju. Neuniformisano opterećenje WMN-a sprečava efektivno prenošenje podataka i time redukuje bendvit postignut na čvorištima. Dalje sledi da se broj kolizija tokom transmisije povećava, povećanjem sadržaja za određeno čvorište, što dovodi do degradacije u propusnosti. Takođe, upotreba bendvita na bilo kom delu mreže zavisi od broja čvorišta koji konkurišu za bendvit u regiji i od količine saobraćaja na svakim od njih. Regija maksimalnog korišćenja bendvita postaje usko grlo za opterećenje cele mreže.

U prilog gejtvej čvorištima i centru mreže, određena čvorišta su locirana na ključnim pozicijama u WMN-u i formiraju usko grlo mreže. Na takvim čvorištima je najveća verovatnoća da dođe do opterećenja, dok na normalnim čvorištima, gejtvej čvorištima i čvorištima u centru mreže. Zato je balansiranje opterećenja glavni elemenat u poboljšanju dostižne propusnosti kao i za poboljšanje skalabilnosti WMN-a.

Solucije za balansiranje opterećenja postavljene na gejtveju, o kojima je reč, pokušavaju da rasporede opterećenje koje se može javiti u WMN-u sa više gejtvej čvorišta. Šeme za rutiranje na osnovu prstena sprovode opterećenja preko periferije mreže do centra mreže.



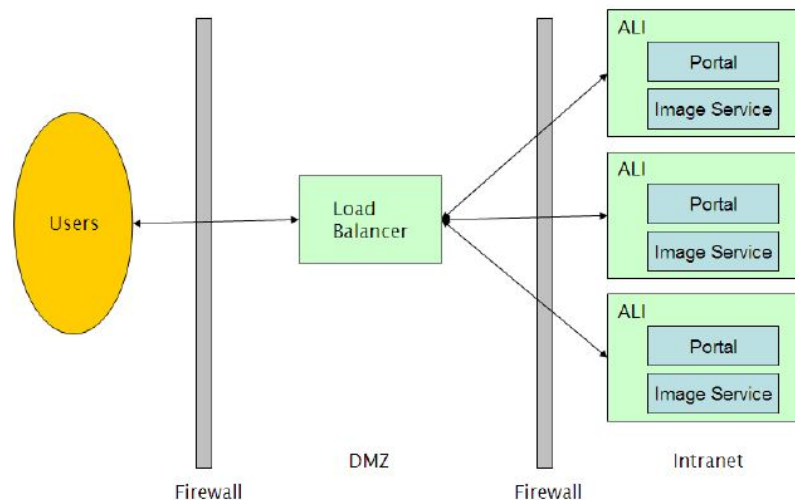
Slika 15: Primer balansirane i nebalansirane mreže

8. Uvodni opis balansiranja opterećenja

Upotrebom multihop bežičnog relejea, povećanjem broja korisnika i veoma ograničenim elektromagnetnim spektrumom, WMN je ograničen na dva glavna resora: bendvit i kapacitet mreže. Dok se bendvit oslanja na stopu podataka koji su prenosivi preko radio interfejsa, kapacitet se oslanja na kapacitet transporta podataka koji su dostupni na svakom čvorištu u mreži. Mnogi pokušaji su načinjeni da se optimalno upotrebi dostupan bendvit, a balansiranje opterećenja je jedan od njih. Glavna motivacija iza otkrivanja tehnika balansiranja opterećenja je njihova mogućnost da pruže veći kapacitet mreže i uravnoteženiji rad da raspoloživim resursima, da bi se dostigla veća propusnost za čvorišta. Na primer, adrese za rutiranje u balansiranju opterećenja predstavljaju problem za ona čvorišta koja se nalaze na više najkraćih putanja, što ponovo dovodi do neravnomernog raspoređivanja. U sistemu gde je mobilnost visoka, ovaj problem nije toliko značajan kao u WMN-u, pošto mobilnost može da izazove da mobilna čvorišta, koja su nepovoljno locirana, na mesto gustog saobraćaja pređu na deo koji nije toliko zauzet i obrnuto, tako u proseku svako čvorište obradi podjednaku količinu podataka. Za razliku od autonomnih ad hoc bežičnih mreža, WMN je primarno dizajniran da pruži povezanost na Internet infrastrukturi žične mreže. Zato, da bi se poboljšala dostupnost bendvita u mreži, često se praktikuje dodavanje više gejtveja na WMN. Značajni problemi koji se javljaju usled nebalansiranog opterećenja na WMN-u su: degradacija kapaciteta indukovana relejem, preopterećenje određenih gejtvej čvorišta, preopterećenje WMN čvorišta koja su blizu centra mreže i preopterećenje čvorišta koja čine usko grlo. Veći izazovi u rešavanju svih ovih problema i postojeća rešenja koja pokušavaju da ih reše su predstavljena. Upotreba WMN-a pruža brz i jeftin pristup Internetu za rezidentne i mobilne korisnike. U WMN-u saobraćaj se rutira

upotrebom više hop-a do gejtveja koji je povezan na Internet. U datoj mreži, možda postoji više gejtveja, pa oblasti koje su blizu gejtveja i sami gejtveji mogu postati usko grlo u mreži, što bi rezultiralo do gubitka većih paketa zbog zagušenosti.

Upotreba multihop relejnosti u WMN-u stvara određene probleme koji su specifični tim mrežama. Najistaknutiji među njima je opterećenje i interferencija indukovana relejem. Kada se taj proces primeni na jednokanalne sisteme sa višepristupnim protokolom za nosioca, sprečava naizmeničnu tranzmisiju po bližnjim hopovima. U linearnoj string topologiji WMN-a, tokom tranzmisije prvog hopa, makar naredna dva hopa ne mogu da nastave sa tranzmisijom. Ovo skoro ograničava kapacitet, postignut multihop relejnom putanjom u poređenju sa fizičkim slojem stope podataka. U idealnim uslovima, multihop propusnost koja je postignuta je manje od trećine fizičkog sloja stope podataka. Prisustvom interferencije, ovaj kapacitet se dalje smanjuje. Zato, degradacija koja se odnosi na proces relejnosti sprečava efikasno korišćenje kanala i jedan od metoda da se poboljša kapacitet mreže je upotreba balansiranja opterećenja.



Slika 16: Grafički prikaz balansiranja opterećenja

9. Balansiranje opterećenja na gejtveju u WMN-u

Čvorišta gejtveja povezuju WMN na žičnu mrežu i uglavnom na Internet. Zato se agregacija saobraćaja dešava na gejtvej čvorištima što odmah ograničava kapacitete WMN-a. U prilog ograničenim kapacitetima, gejtvej čvorište praktično širi mnogo više energije za obuhvatanje veliki broja paketa koje prosleđuje i ta velika potrošnja energije do bržeg kvara na gejtvej čvorištima u WMN-u koji zavisi od energije. Zato, gejtvej balansiranje opterećenja dobija na bitnosti da bi se postiglo sledeće:

- Efikasna alokacija saobraćaja
- Efikasna upotreba povratnih linkova
- Maksimalna upotreba kapaciteta mreže
- Smanjenje potrošnje resorsa na gejtvej čvorištima
- Sprečavanje uticaja nebalansiranog saobraćaja zbog mobilnosti čvorišta

U WMN-u sa više gejtveja, balansiranje opterećenja postaje posebno bitno kada postoje povratni linkovi sa niskim bendvitom. Povratne mreže mogu biti heterogenog tipa. Na primer, WMN može da koristi veliki izbor povratnih mreža kao što su žičane mreže, bežični LAN, mobilne mreže kao što su GPRS, UMTS i CDMA 2000, WiMAX mreže i satelitske linkove. Tip i karakteristike mreže utiču na bendvit i kašnjenje kod gejtveja povratne mreže. WLAN povratna veza u zavisnosti od korišćene tehnologije, može da podrži stope podataka od 1 Mbps (IEEE 802.11) do 54 Mbps (IEEE 802.11 a/g), a kod mobilnih mreža može da pruža od 100Kbps do 2 Mbps protoka.

Od opterećenja saobraćaja i varijanta opterećenja, preko seta gejtveja je dinamičan, povećava nebalans opterećenja zahteva parametre koji reflektuju varijaciju opterećenja. Jedna mera za kvantifikovanje gradijenta preko gejtveja je indeks balansa opterećenja (ILB) koja se definiše kao:

$$ILB = \frac{\max\{LI_i\} - \min\{LI_i\}}{\max\{LI_i\}}$$

gde se LI_i odnosi na indeks opterećenja, određenog gejtveja i , koji se definiše kao $LI_i = \frac{\sum_{k \in N} \beta_{ki} \times T_k}{C_i}$. Ovde je faktor β_{ki} deo saobraćaja čvorišta k koja se šalje kroz gejtvej i . Tk je ukupni generisani saobraćaj sa čvorišta k , a C_i je kapacitet ili bendvit povezanih linkova na gejtvej čvorište i . U suštini, LI predstavlja deo povezanog linka gejtveja koji koristi dato čvorište k , a ILB reflektuje varijaciju među gejtvejima. Vrednost LI se kreće od nule do jedan, gde jedan znači 100% opterećeni gejtvej. Zato, cilj svake šeme za balansiranje opterećenja je da se dostigne ILB vrednost sto je nmanje moguća. Takođe je moguće da gejtveju može da nestane kapacitet bendvita na njegovom povezanom linku. U takvim slučajevima se primenjuje solucija za fer planiranje, ili solucija kontrole potrošnje. To je neophodno da se izbegnu problemi stalnog zadržavanja sa kojima se suočavaju paketi koji su prosleđeni kroz gejtvej čvorišta. Veće kategorije balansiranja opterećenja gejtveja su: pokretno balansiranje opterećenja na osnovu granica (MBLB), particionisano balansiranje opterećenja bazirano na hostu (PHLB) i probabilistično balansiranje opterećenja na bazi stripinga (PSLB).

9.1 Pokretno balansiranje opterećenja na osnovu granica (MBLB)

Primarni cilj MBLB pristupa je da definiše fleksibilnu granicu oko svakog gejtvej čvorišta, gde se WMN čvorišta koja otkazu unutar granice usmere da komuniciraju kroz taj gejtvej. Da bi se rešila varijacija u opterećenju saobraćaja sa kojima se suočavaju gejtveji, granični region se periodično redefiniše. Postoje dva pristupa: pristup najkraće pokretne granice na bazi putanje i pristup opterećenosti pokretne granice na bazi indeksa.

9.1.1 Pristup najkraće pokretne granice na bazi putanje

Glavna prednost ovog pristupa je jednostavnost. Osnovni problemi sa ovom šemom su: prohtevi saobraćaja WMN čvorišta ne moraju biti jednaka i zato je postizanje palansiranja opterećenja jako teško, distribucija gejtvej čvorišta unutar mreže ne mora biti uniformna, pa u takvim slučajevima nebalansirana opterećenja će biti proporcionalna razlici u broju čvorišta koja su bliža svakom od gejtvej čvorišta i WMN čvorišta se mogu takođe distribuirati neravnomerno i nekada se čvorišta kreću unutar mreže dovodeći do visokog imbalancea saobraćaja i rapidnim fluktuacijama na opterećenju čvorišta.

9.1.2 Pristup opterećenosti pokretne granice na bazi indeksa

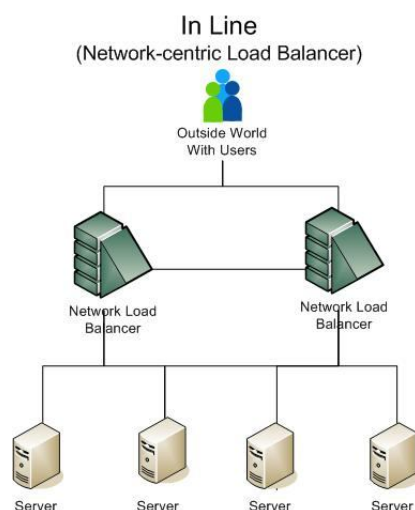
Pristup opterećenosti pokretne granice na bazi indeksa pruža dinamičnije balansiranje opterećenja u odnosu na pristup najkraće pokretne granice na bazi putanje.

9.2 Particionisano balansiranje opterećenja bazirano na hostu (PHLB)

PHLB pristup klasifikuje set čvorišta u nekoliko grupa, gde je svaka određena da bude obslužena određenom gejtvej čvorištu. Uprkos tome što je ovakav pristup sličan MBLB metodama, bitna razlika se javlja iz činjenice da ne postoje jasne granice u ovoj metodi. Zbog toga članovi svake grupe mogu da budu prisutni nasumice unutar mreže. Dva glavna pristupa su: pristup centralizovanog particionisanje hosta i pristup distribuisanog particionisanja hosta.

9.2.1 Pristup centralizovanog particionisanje hosta

Prednost ove šeme je njena mogućnost da pruži soluciju blisku optimalnoj pošto se alokacija primarno izvršava od strane centralizovanog server. Ova šema pati od nekoliko mana kao što su u glavnom velika razmena informacija sakupljajući informacije o saobraćaju i opterećenju sa čvorišta i gejtveja i zahtevnost za mogućnost velike sposobnosti procesiranja za alokacioni proces.



Slika 17: Centralizovano balansiranje opterećenja

9.2.2 Pristup distribuisanog particionisanja hosta

DHP pristup rešava neke od mana centralizovanog pristupa. U ovom slučaju, formira se logička mreža od strane čvorišta gejtveja da bi se razmenile informacije koje se tiču opterećenja i saobraćaja. Da bi se formirala logička mreža, gejtvej može da koristi bežične linkove između WMN čvorišta. Uprkos tome što je ovaj pristup bolji od centralizovanog, takođe ima nekoliko mana. Glavna mana je da ova šema zavisi od preciznosti informacija razmenjenih između gejtvej čvorišta preko logičke mreže. Zato logička mreža mora da bude povezana i formacija povezane topologije može rezultovati u značajnu kontrolu sveukupno.

9.3 Probabilistično balansiranje opterećenja na bazi stripinga (PSLB)

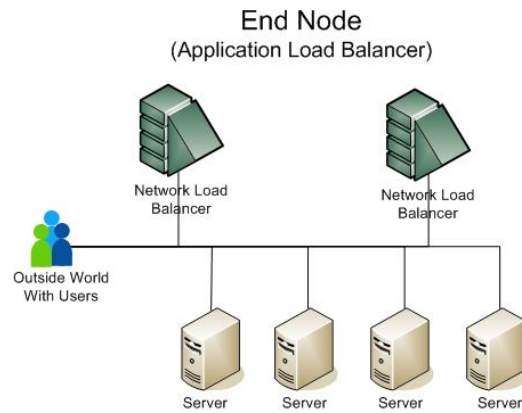
U gore pomenutim MBLB i PHLB pristupima, svako čvorište WMN-a koristi samo jedan gejtvej za njegovu eksternu komunikaciju. Zato je jako komplikovano postići savršeno balansiranje opterećenja. U PSLB pristupu, svako čvorište može da koristi više gejtvej čvorišta uporedo i zato je, makar teoretski, moguće perfektno balansiranje opterećenja. Dva glavna pristupa za tako nešto su: pristup probabilističkog stripinga svih čvorišta i pristup probabilističkog stripinga graničnih čvorišta.

9.3.1 Pristup probabilističkog stripinga svih čvorišta

Po ovoj šemi, svako WMN čvorište u mreži identifikuje sva gejtvej čvorišta u mreži i pokušava da pošalje deo njegovog saobraćaja kroz svaki gejtvej. Ovde se striping odnosi na deobu saobraćaja na više gejtveja odjednom. Svako gejtvej čvorište javlja svoj kapacitet kroz mrežu na način sličan pristupu pokretnog balansiranja opterećenja na osnovu granica. Informacije o kapacitetu svih gejtvej čvorišta sakupljaju sva WMN čvorišta. Na osnovu kapaciteta svih gejtvej čvorišta, određeno WMN čvorište procenjuje koliki deo njegovog saobraćaja može biti poslato kroz svaki gejtvej. Povezanost svakog gejtveja se suočava sa različitim kašnjenjem performansi i zato, ukupnoj konekciji može da se desi veliko preusmeravanje paketa, što rezultuje velikim brojem retransmisije.

9.3.2 Pristup probabilističkog stripinga graničnih čvorišta

U poređenju sa gore pomenutom šemom, samo određeni broj WMN čvorišta biraju da primene probabilistički striping. Ova šema se takođe zove polovično probabilističko rutiranje i to je kombinacija pristupa pokretnog balansiranja opterećenja na osnovu granica i pristupa probabilističkog stripinga. U ovom slučaju samo granična čvorišta, čvorišta koja su na granici sličnoj kao region pokrivanja gejtveja u MBLB šemi, upošljavaju probabilistički striping. Zato, svako granično WMN čvorište može da koristi samo određenu količinu dostupnih gejtvej čvorišta. Broj dostupnih gejtveja se određuje po broju gejtveja koji se javljaju svakom čvorištu. Ova solucija, uprkos činjenici da je dobra za bolje balansiranje opterećenja, nije korisna za dolazeće konekcije u poređenju sa gore navedenim pristupima. To je zato što se dolazeće konekcijene ne stripuju pod ovom šemom, pošto sami gejtveji nisu svesni situacije u balansiranju opterećenja.



Slika 17: Balansiranje opterećenja na bazi graničnih čvorišta

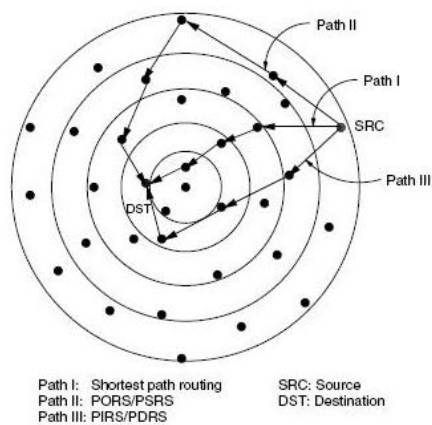
10. Opterećenje centra u WMN-u

Slično opterećenju gejtveja, još jedna bitna stavka u WMN-u je opterećenje centra koja se odnosi na problem sa čvorištima koji su locirani blizu geografskog centra mreže i tu se preopterećuju u odnosu na druga čvorišta u mreži. Takvo preopterećenje je prisutno u svim vrstama multihop bežičnim mrežama i glavni razlog iza opterećenja centra su: čvorišta blizu centra mreže se oslanjaju više na rute najkraćih putanja nego na ostala čvorišta u mreži, upotreba multihop relejunga i relativno statična priroda WMN-a. Uprkos tome što se multihop relejing koristi više vrsta mreža kao što su ad hoc bežične mreže, opterećenje centra tu nije ozbiljan problem zbog relativno visoke dinamike topologije ad hoc bežične mreže. Takve šeme se mogu detaljno klasifikovati u sledeće tipove:

1. Mreže u kojima se informacije o saobraćaju i opterećenju na svakom WMN čvorištu prenose na svim susednim čvorištima. U takvim slučajevima, susedna čvorišta mogu da odluče da promene sledeći hop koji može da bude manje opterećen. Ovaj pristup je prikladniji za „hop to hop“ sistem rutiranja.
2. Mreže u kojima se informacije o saobraćaju i opterećenju na svakom WMN čvorištu prenose na sva ostala čvorišta u WMN tako da se može koristiti rutiranje izvora i balansiranje opterećenja.
3. Mreže u kojima se informacije o saobraćaju i opterećenju na svakom WMN čvorištu prenose kroz centralno čvorište koje pomaže svim čvorištima u WMN-u u pronalaženju manje opterećene rute. Ovaj pristup je najprikladniji za hibridni WMN gde je dostupno centralno čvorište. Primer takve arhitekture sadrži poboljšani bežični protok u lokalnom lup-u (TWILL) i multihop ćelijske mreže (MCN).

Sve gore navedene šeme imaju svoje prednosti i mane. Prednost prvog pristupa je u tome što informacija o opterećenju ne mora da bude širena kroz celu mrežu i zato se izbegava preplavlivanje. U isto vreme prvi pristup može biti u gubitku kada se uporedi sa drugim gde nema ograničenja u broju hopova koje paket izvrši da bi stigao do destinacije. Čak u nekim slučajevima paket može da završi u lup-u ako nije eksplicitno rešen u šemi. Dalje, postoji mogućnost oscilacije opterećenja usled dinamičnog pristupa rutiranja na osnovu opterećenja. Ovo je zato što kada su čvorišta informisana da su neka čvorišta ili gejtveji malo opterećeni dok su druga jako opterećena, svim čvorištima se može desiti da šalju podatke manje opterećenim gejtvejima, rezultujući brzim fluktuacijama u opterećenju između manje opterećenih i više opterećenih čvorišta i obrnuto. Treća kategorija nije uvek izvodljiva u WMN mreži zato što zahteva centralizovano čvorište za praćenje aktivnosti balansiranja opterećenja. U prilog tome, prenošenje informacija o saobraćaju i opterećenju na svako čvorište u mreži može da dovede do skalabilnosti i problema sa performansama na centralizovanom čvorištu u većoj WMN.

Problem sa opterećenjem centra se takođe naziva problem prstenaste formacije u ad hoc bežičnoj mreži gde čvorišta koja su ograničenog napajanja otkazuju mnogo ranije u centru mreže, dovodeći do mreže u obliku prstena. Ovaj problem izaziva povećano kašnjenje MAC konekcije, gubitak paketa i koliziju koja dovodi do degradacije performansi u centralnom regionu mreže. Glavni razlog iza opterećenja centra je korišćenje protokola rutiranja koji nalaze najkraće putanje, ili koje koje koriste metriku za rutiranje koja sakuplja približno najkraću rutu.



Slika 18: Primer rutiranja korišćenjem raznih šema

11. QoS (Quality of Service) u Mikrotik ruterima

11.1 Česta pitanja

Da li je moguće da se prioritetizuje saobraćaj po tipu za svakog korisnika ponaosob, dok idalje postoje striktna ograničenja po korisniku na istom ruteru?

Da

Šta mi je potrebno da se postigne to?

Potrebni su:

- 1) „Packet Flow“ dijagram;
- 2) HTB („queue“ drvo);
- 3) Mangle;
- 4) PCQ;
- 5) Lista adresa.

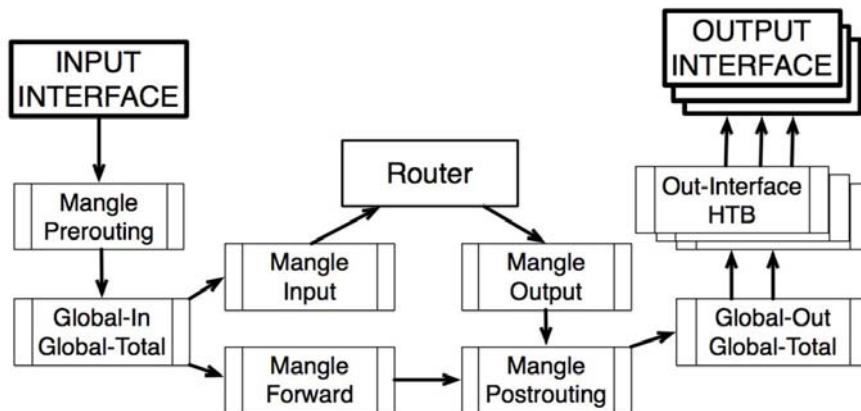
11.2 Mangle

Mangle omogućuje da se označe IP paketi specijalnim oznakama. Te oznake koriste i drugi ruteri kao na primer menadžment za rutiranje i bendvit da se identifikuju paketi. Ponekada se menadžment koristi da se modifikujuneka polja u IP hederu, kao što su TOS (DSCP) i TTL polja.

11.3 HTB(Hierarchical Token Bucket)

Sve implantacije menadžmenta bendvita u operativnom sistemu rutera se zasnivaju na HTB-u. HTB omogućuje da se kreira struktura redosleda i odredi odnos između redova. Operativni sistem rutera podržava 3 virtuelna HTB-a (globalni ulazni, ukupan globalni i globalni izlazni) i još jedan pre svakog izlaznog interfejsa.

11.4 Paket flou u QoS-u



Ovaj dijagram je kreiran iz dijagrama za paket flou, ruterovog operativnog sistema.

11.5 Dupli QoS

Moguće je označiti i uobličiti saobraćaj dva puta u istom ruteru:

Mangle lanac prerutiranje - za primarno označavanje globalnih ulaznih HTB-a;

Mangle lanac napred ili postrutiranje za sekundarno označavanje globalnih izlaznih HTB-a.

Dupli QoS je jedino moguć kada imamo stablo redova.

11.6 Stablo redova

Stablo redova je isključivo u jednom pravcu i može biti postavljeno na bilo koj dostupni HTB. Njegovi redovi nemaju nikakav redosled (sav saobraćaj se procesira simultano). Svi mlađi redovi moraju imati dodeljene oznake paketa sa "/ip firewall mangle" uređaja. Ako budu postavljeni u istom HTB, jednostavni redovi će preuzeti sav saobraćaj od stabla redova.

11.7 Upotreba

Mangle i stablo redova se koriste da:

Označimo saobraćaj po tipu saobraćaja u mangle lancu;

Prerutiramo;

Prioritetizujemo i ograničimo saobraćaj po tipu u globalno ulazni HTB;

Premarkiramo saobraćaj po klijentima u mangle lancu napred;

Ograničimo saobraćaj po klijentu u HTB interfejsu.

Neophodno je da količinu mangle-a i pravila svedemo na minimum da bi se poboljšale performanse ovakve konfiguracije.

12. Praktična primena

12.1 Ograničavanje klijenta

Imamo više od 400 klijenata i tri različita tipa konekcija:

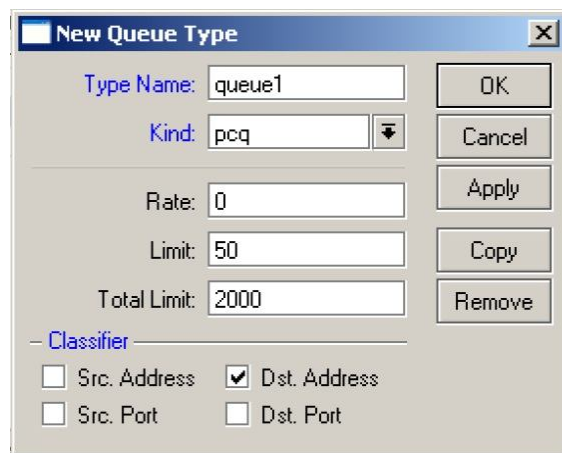
Biznis konekcija (4Mbps/1Mbps),

Standardna konekcija (750kbps/250kbps)

Osnovna konekcija (375kbps/125kbps)

12.2 PCQ

Red po konekciji je vrsta reda koja je sposobna da odvoji saobraćaj u pod-protoke na osnovu odabranih klasifikatora. Svaki pod-protok ide kroz FIFO red čija je veličina određena opcijom "PCQ-limit", a maksimalna stopa određena opcijom "PCQ-rate".



New Queue Type

Type Name:

Kind: ▾

Rate:

Limit:

Total Limit:

Buttons: OK, Cancel, Apply, Copy, Remove

- Classifier

☐ Src. Address ☒ Dst. Address

☐ Src. Port ☐ Dst. Port

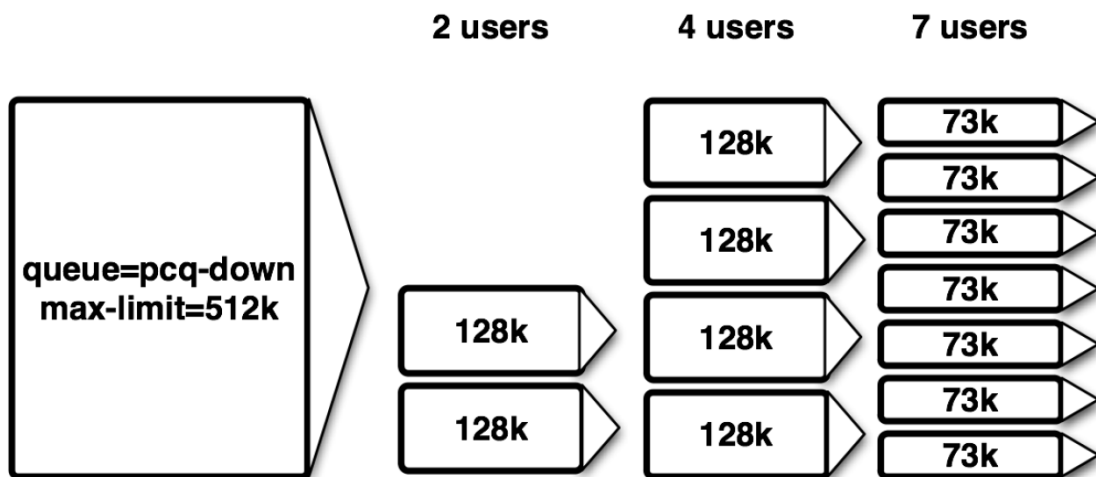
Da bi se osiguralo da svaki PCQ pod-protok predstavlja jednog specifičnog klijenta, moramo napraviti dva različita PCQ tipa:

PCQ_upload - izvorna adresa kao klasifikator

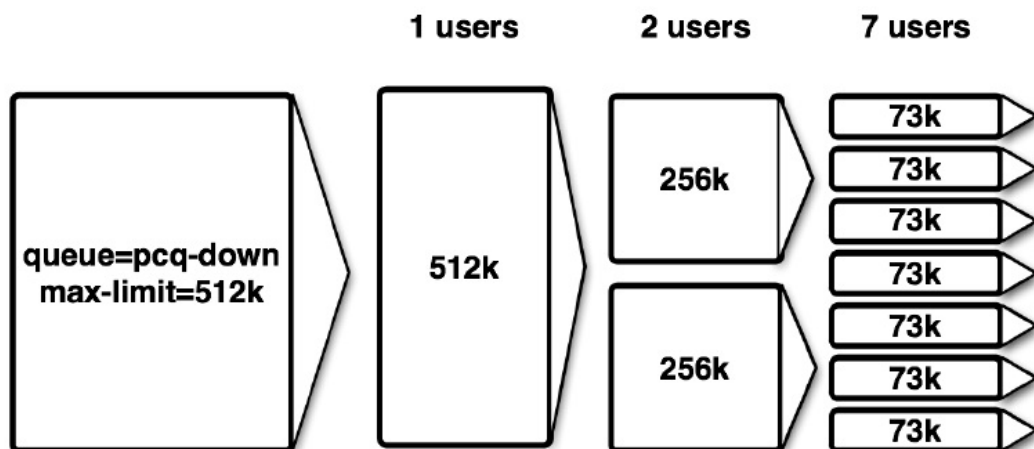
PCQ_download - destinaciona adresa kao klasifikator

PCQ će podjednako distribuirati dostupan saobraćaj između pod-redova dok se ne dostigne stopa PCQ-a (ako je postavljena).

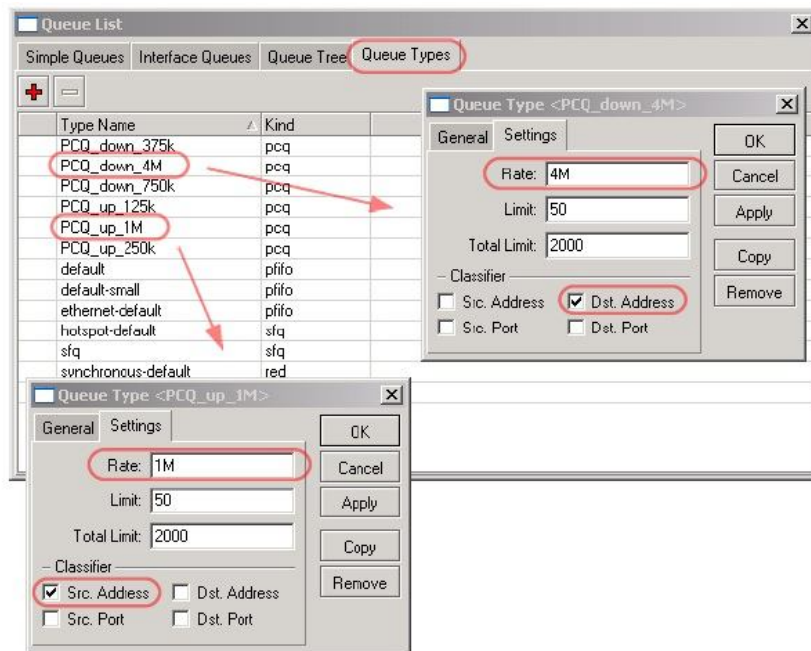
pcq-rate=128000



pcq-rate=0



Slika 19: Grafički prikaz podešavanja PCQ-a



Slika 20: Prikaz podešavanja u konzoli Winbox

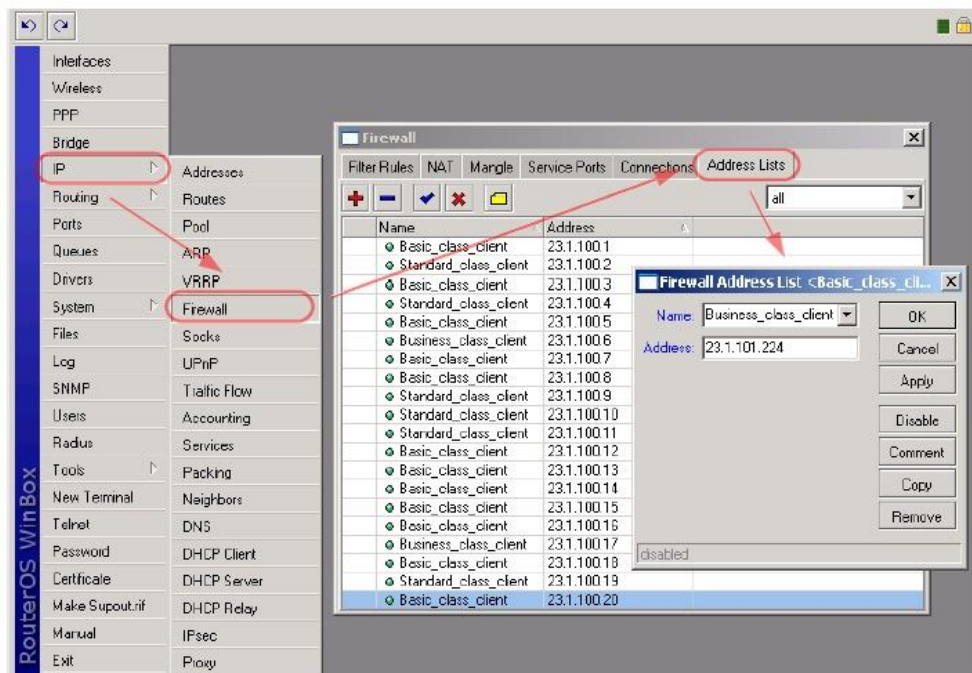
12.3 Adresne liste

Adresne liste su uvedene da se dodeli isto firewall pravilo velikom rasponu IP adresa u isto vreme, smanjujući ukupan broj firewall pravila i povećavajući performanse rutera. Mogu se kreirati:

manuelno,

automatski (iz ppp profila) - samo se specifikizira opcija adresne liste i čim se klijent konektuje, dodaje se adekvatnoj adresnoj listi,

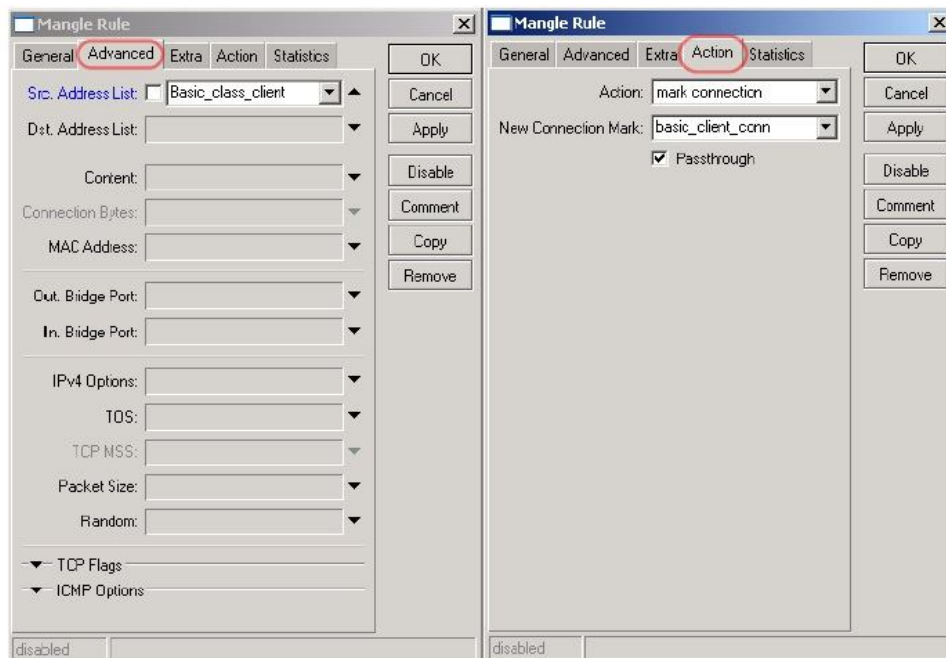
Automatski iz RADIUS-a - atributom "Mikrotik:19"



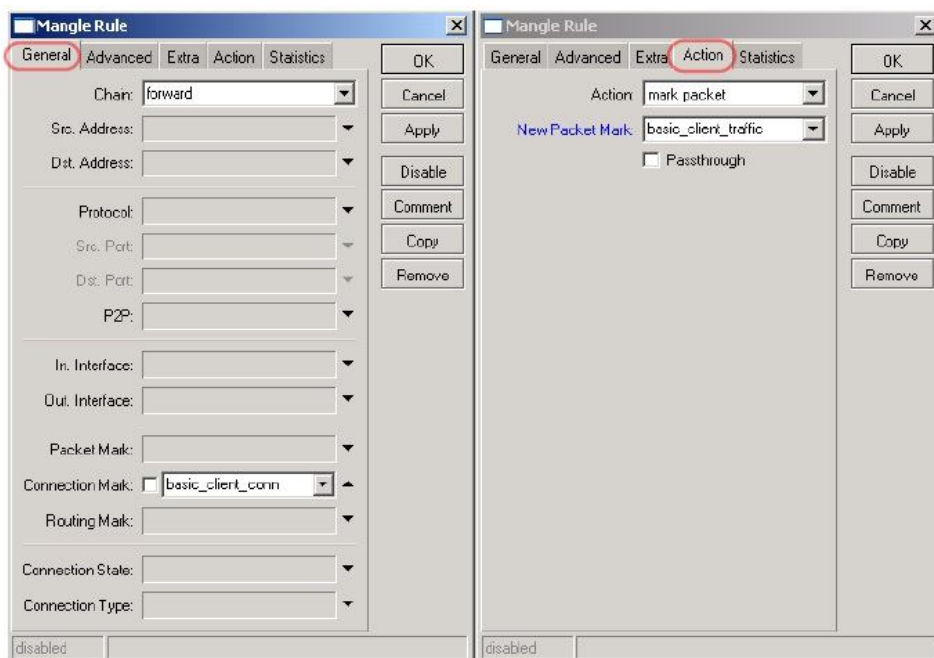
Slika 21: Adresne liste u Winboxu

12.4 Obeležavanje paketa

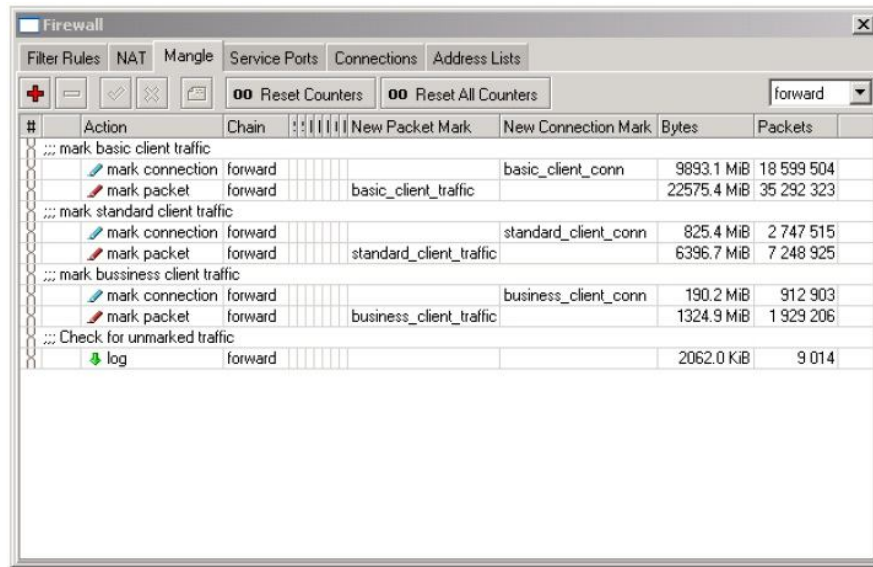
Upotrebom funkcije "connection-mark" se klasifikuju sve konekcije na osnovu klijentske adresne liste. Funkcija "packet-mark" klasifikuje sav saobraćaj na osnovu oznaka konekcija.



Slika 22: Podašavanje označavanja konekcije



Slika 23: Podešavanje označavanja paketa



Slika 24: Mangle podešavanja (Winbox prikaz)

```
/ ip firewall mangle
add chain=forward src-address-list=Basic_class_client action=mark-connection \
    new-connection-mark=basic_client_conn passthrough=yes comment="mark basic \
    client traffic" disabled=no
add chain=forward connection-mark=basic_client_conn action=mark-packet \
    new-packet-mark=basic_client_traffic passthrough=no comment="" disabled=no
add chain=forward src-address-list=Standard_class_client \
    action=mark-connection new-connection-mark=standard_client_conn \
    passthrough=yes comment="mark standard client traffic" disabled=no
add chain=forward connection-mark=standard_client_conn action=mark-packet \
    new-packet-mark=standard_client_traffic passthrough=no comment="" \
    disabled=no
add chain=forward src-address-list=Business_class_client \
    action=mark-connection new-connection-mark=business_client_conn \
    passthrough=yes comment="mark bussiness client traffic" disabled=no
add chain=forward connection-mark=business_client_conn action=mark-packet \
    new-packet-mark=business_client_traffic passthrough=no comment="" \
    disabled=no
add chain=forward action=log log-prefix="" comment="Check for unmarked \
    traffic" disabled=no
```

Slika 26: Mangle podešavanja (eksportovani prikaz)

Queue List

Simple QueuesInterface QueuesQueue TreeQueue Types

00 Reset Counters00 Reset All Counters

Name	Parent	Packet Mark	Limit At	Max Limit
 Total_download	local_ether1		0	0
 basic_client_download	Total_download	basic_client_traffic	0	0
 business_client_download	Total_download	business_client_traffic	0	0
 standard_client_download	Total_download	standard_client_traffic	0	0
 Total_upload	public_ether3		0	0
 basic_client_upload	Total_upload	basic_client_traffic	0	0
 business_client_upload	Total_upload	business_client_traffic	0	0
 standard_client_upload	Total_upload	standard_client_traffic	0	0

0 B queued0 packets queued

Slika 25: Drvo redova (Winbox prikaz)

```

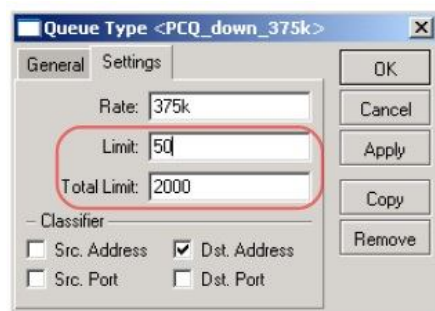
/ queue tree
add name="Total_download" parent=local_ether1 packet-mark="" limit-at=0 \
queue=default priority=1 max-limit=0 burst-limit=0 burst-threshold=0 \
burst-time=0s disabled=no
add name="basic_client_download" parent=Total_download \
packet-mark=basic_client_traffic limit-at=0 queue=PCQ_down_375k priority=8 \
max-limit=0 burst-limit=0 burst-threshold=0 burst-time=0s disabled=no
add name="standard_client_download" parent=Total_download \
packet-mark=standard_client_traffic limit-at=0 queue=PCQ_down_750k \
priority=4 max-limit=0 burst-limit=0 burst-threshold=0 burst-time=0s \
disabled=no
add name="business_client_download" parent=Total_download \
packet-mark=business_client_traffic limit-at=0 queue=default priority=1 \
max-limit=0 burst-limit=0 burst-threshold=0 burst-time=0s disabled=no
add name="Total_upload" parent=public_ether3 packet-mark="" limit-at=0 \
queue=default priority=8 max-limit=0 burst-limit=0 burst-threshold=0 \
burst-time=0s disabled=no
add name="basic_client_upload" parent=Total_upload \
packet-mark=basic_client_traffic limit-at=0 queue=PCQ_up_125k priority=8 \
max-limit=0 burst-limit=0 burst-threshold=0 burst-time=0s disabled=no
add name="standard_client_upload" parent=Total_upload \
packet-mark=standard_client_traffic limit-at=0 queue=PCQ_up_250k \
priority=4 max-limit=0 burst-limit=0 burst-threshold=0 burst-time=0s \
disabled=no
add name="business_client_upload" parent=Total_upload \
packet-mark=business_client_traffic limit-at=0 queue=PCQ_up_1M priority=1 \
max-limit=0 burst-limit=0 burst-threshold=0 burst-time=0s disabled=no

```

Slika 27: Drvo redova (eksportovani prikaz)

12.5 PCQ veličina reda

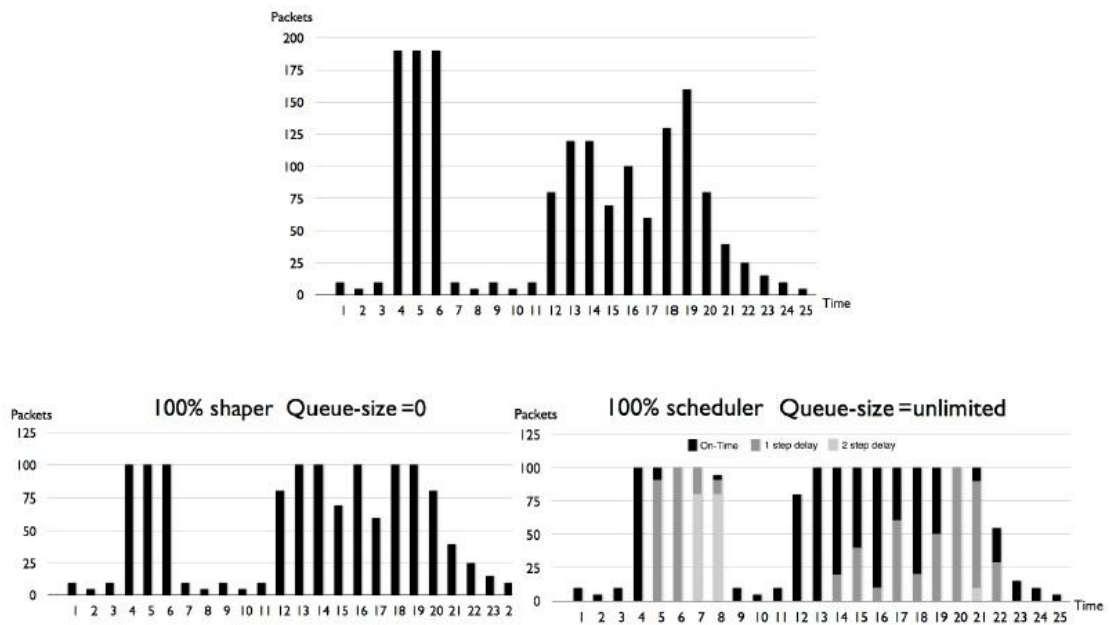
Već 40 korisnika može da popuni red. Zato je neophodno da se poveća "total_limit" i smanji vrednost polja "limit". Treba makar 10-20 mesta za pakete u redu da budu dostupna po korisniku.



Total_limit = X can take up to
 $X \cdot (2000 \text{ bytes} + 200 \text{ bytes})$ of RAM

2000 bytes – buffer for 1 packet
200 bytes – service data for 1 packet

total_limit = 2000 =< 4,2MB RAM
total_limit = 5000 =< 10,5MB RAM



Slika 28: Grafici za prikaz veličine redova

12.6 PCQ podešavanja

Ima ~340 klijenata osnovne klase:

pcq_limit = 40

pcq_total_limit = 7000 (~20*340) (~15MB)

Ima ~40 klijenata standardne klase:

pcq_limit = 30

pcq_total_limit = 1000 (~20*40) (~2MB)

Ima ~20 klijenata biznis klase:

pcq_limit = 20 (!!!)

pcq_total_limit = 500 (~20*20) (~1MB)

13. Ostala rešenja za balansiranja opterećenja u WMN mrežama

Pored opterećenja gejtveja i opterećenja centra, postoje drugi problemi koji se javljaju iz nebalansiranog opterećenja u mnogo lokalnijem smislu u WMN-u. Na primer, određena kritična čvorišta mogu biti usko grlo, slično kao čvorišta koja premošćavaju bez kojih bi se stvorila podela mreže. U nekim slučajevima, lokalno visoki nebalans opterećenja može da rezultuje padu performansi zbog zagušenja, gubitak paketa i prepunjenje bafera. Dve solucije za balansiranje opterećenja koje koriste rutiranje balansiranja opterećenja na zahtev su: ad hoc rutiranje balansiranje opterećenja (LBAR) i balansiranje opterećenja (AODV).

13.1 Ad hoc rutiranje balansiranje opterećenja (LBAR)

LBAR protokol je protokol za rutiranje sa metrikom za rutiranje, stepenom aktivnosti čvorišta, koja nasledno predstavlja opterećenje putanje. Zato, LBAR pokušava da pronađe putanju koja izbegava zagušena mesta unutar mreže. Proces pronalaženja putanje se sastoji iz dve faze: prednja faza, tokom koje se paket za postavljanje rute šalje sa izvornog čvorišta da pronađe novu putanju ka destinacionom čvorištu i zadnja faza u kojoj se paket rute-ACK šalje nazad sa destinacionog čvorišta do izvornog čvorišta. U prednjoj fazi, izvorno čvorište emituje paket za postavljanje rute koji sadrži cenu rutiranja (RC), stepen aktivnosti čvorišta, svim njegovim susedima i polje ispresecane putanje. RC koji se sadrži u paketu za postavljanje rute prikazuje stepen aktivnosti čvorišta i prikaz opterećenja saobraćaja na bilo kom čvorištu između izvora do čvorišta na kome je trenutno.

LBAR protokol bolje funkcioniše u smislu stope dostave paketa, prosečnog kašnjenja i normalizovanom opterećenju rutiranja u poređenju sa normalnim protokolima za rutiranje kao što su AODV i DSR. Uticaj balansiranja opterećenja je evidentan u povišenim performansama LBAR-a sa povećanim opterećenjem mreže i brojem čvorišta.

13.2 Balansiranje opterećenja (AODV)

Ad hoc Balansiranje opterećenja na zahtev udaljenog vektora (LB-AODV) protokol za rutiranje je za WMN i ad hoc bežične mreže sa gejtvej čvorištima. Ovom solucijom, balansiranje opterećenja je kontrolisano gejtvej čvorištima, grupisajući izvorna čvorišta u nekoliko nepreklopajućih grupa.

WMN čvorišta koja imaju pakete podataka za emitovanje se zovu izvorna čvorišta, a WMN čvorišta koja imaju validnu rutu do gejtvej čvorišta se zovu aktivna čvorišta. Ona čvorišta koja nisu ni izvorna niti su članovi bilo koje od postojećih grupa su poznata kao obična čvorišta. Cilj ovakve klasifikacije je da se unapred redukuje kontrola i rutiranje tako što se ograničava slanje paketa za kontrolu kroz nekoliko grupa. Na primer, običnim čvorištima je dozvoljeno da proslede relej i paketa za kontrolu i paketa koji pripadaju svakom drugom čvorištu, a kod članova grupe je dozvoljeno da proslede samo one pakete koji su potekli od članova iste grupe.

Kada link prestane da funkcioniše zbog bilo mobilnosti, interferencije ili slabljenja, ivična čvorišta takvog linka to identifikuju i generišu paket za grešku u rutiranju (RERR) i šalju ka izvornom čvorištu na sličan način kao AODV protokol rutiranja. Kada jednom izvorno čvorište primi paket RERR od bilo kog čvorišta, reinicira grupu RREQ. Paket RREQ sadrži identifikator grupe. U ovom slučaju, čvorišta koja nisu članovi te grupe samo sklone paket i tako izbegnu dalje emitovanje. Zbog toga samo aktivno čvorište ili izvorno čvorište koje pripada istoj grupi je privilegovano da se odazove. U nedostatku bilo kog dostupnog čvorišta koje je član grupe da se odazove GRREQ u određenom vremenu, izvorno čvorište će inicirati novi RREQ paket i početi novi proces za pronalaženje putanje.

14. Otvoreni problemi

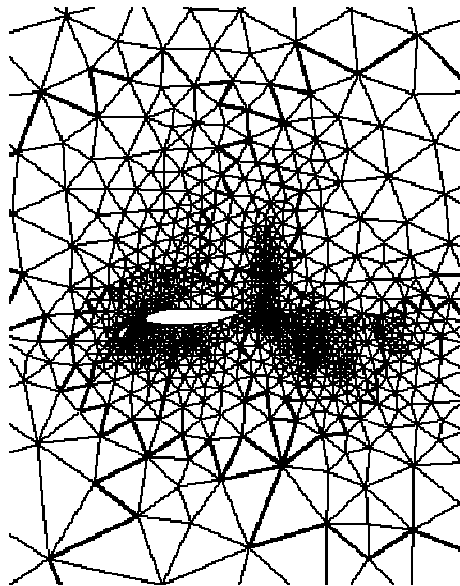
Uprkos tome što postoji veliki broj solucija za balansiranje opterećenja u WMN-u, idalje postoji dosta otvorenih problema. Prva se tiče stabilnosti saobraćaja koja se javlja zbog rapidnih fluktuacija usled korišćenja šema za balansiranje opterećenja. Merenje stabilnosti saobraćaja i njegov uticaj još uvek nisu dobro proučene. Drugi problem koji nije

dobro proučen je striping bendvita za balansiranje opterećenja i njegov uticaj na performanse protokola visokog sloja kao što je TCP. Pošto protokoli transportnog sloja kao što je TCP pate od ogromnog broja pogrešno poručenih paketa, postaje veoma bitno da se proučava uticaj na performanse visokoslojnih protokola kada se primene šeme za balansiranje opterećenja koje koriste bendvit striping.

Još jedan problem koji zahteva pažnju i istraživanje je kvantifikacija relacija između strategije rutiranja i nebalansiranja opterećenja. Na primer, uprkos tome što su šeme za rutiranje na bazi prstena od pomoći, nivo paketa opterećenja saobraćaja kao funkcija šema za rutiranje još nije precizno procenjena. U prilog tim problemima, balansiranje opterećenja se može postići čak i upotrebom kontrole prijema poziva. Čak opunomoćavanjem protokola za rutiranje sa kontrolom prijema poziva može pomoći balansiranju opterećenja.

Najbitniji problem koji nije rešen je nepoznata relacija između dostižnog kapaciteta i balansiranja opterećenja. Teoretsko ograničenje kapaciteta koje pruža WMN, se ne može postići bez posedovanja sistema koji je podjednako izbalansiran u smislu opterećenja.

Zaključak je da postoji veliki broj ne rešenih problema kojima je neophodno rešenje da bi se postiglo balansiranje opterećenja u WMN-u.



Slika 29: Grafički prikaz lošeg balansiranja opterećenja

15. Praktičan rad

15.1 Uvod

Sve veća potreba za kvalitetnijom infrastrukturom, vodila je ka rešenju koje mora biti robusno, jednostavno za proširenje mreže i finansijski prihvatljivo. Ekspertski tim niškog provajdea, firme „Medianis“ d.o.o. je pronašao soluciju u bežičnoj MESH mreži. Rešenje koje se sada vrlo uspešno koristi u svetu, je potpuno novo na našem tržištu. Pošto ni jedno uputstvo i teoretsko polemisanje ne može da zameni praktičnu primenu i eksploataciju u realnim uslovima, krenulo se na montažu sistema. Odabir proizvođača je sveden na „starosedeoce“ u bežičnim komunikacijama „Motorolu“ i njegovo „MOTOMESH DUO“ rešenje. Specifikacija opreme je pokazivala optimalni spoj performansi i stabilnosti bez velikog obzira na finansijsku komponentu. Slike upotrebljene u ovom radu su prikaz konkretnih podešavanja na "živom" sistemu u Nišu.

16. Realizacija

16.1 Projektovanje sistema

Pri projektovanju, ovako malog sistema MESH mreže zadatak nije bio naći ekonomski isplativo rešenje, već pouzdano i sertifikovano od strane jednog od vodećih proizvođača telekomunikacione opreme. U trenutku traženja tehničkog rešenja, jedini komercijalni proizvod koji je zadovoljavao standarde bio je „MOTOROLA MOTOMESH DUO“. Zbog svog izuzetnog korisnički orijentisanog interfejsa i lakoće postavljanja na terenu, kao i odlične podrške za našu zemlju, izbor je bio logičan.

17. Opis izvedenih radova

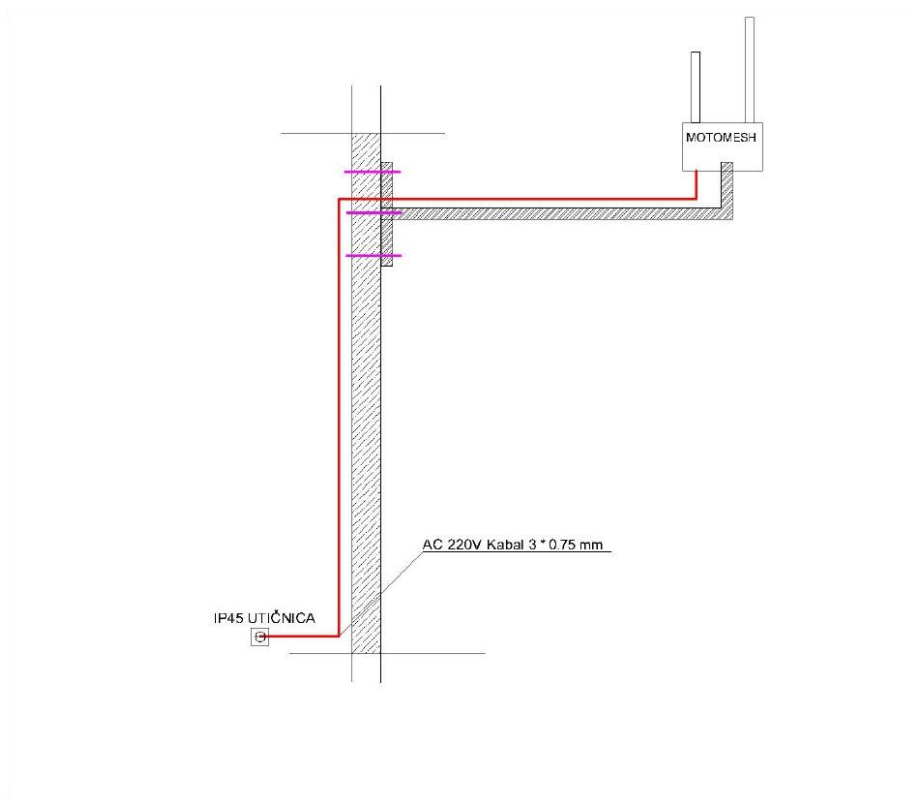
Radova je bilo na 3 značajne lokacije: Zgrada sedišta firme Irvias International – IAP, lokal firme Millhouse Computers „Gradski“ – MWG i drugi lokal firme Millhouse Computers „Pobedina“ – MWR. Sledi pojedinačni opis izvedenih radova.



MOTOMESH DUO

17.1 Zgrada sedišta firme Irvias International – IAP

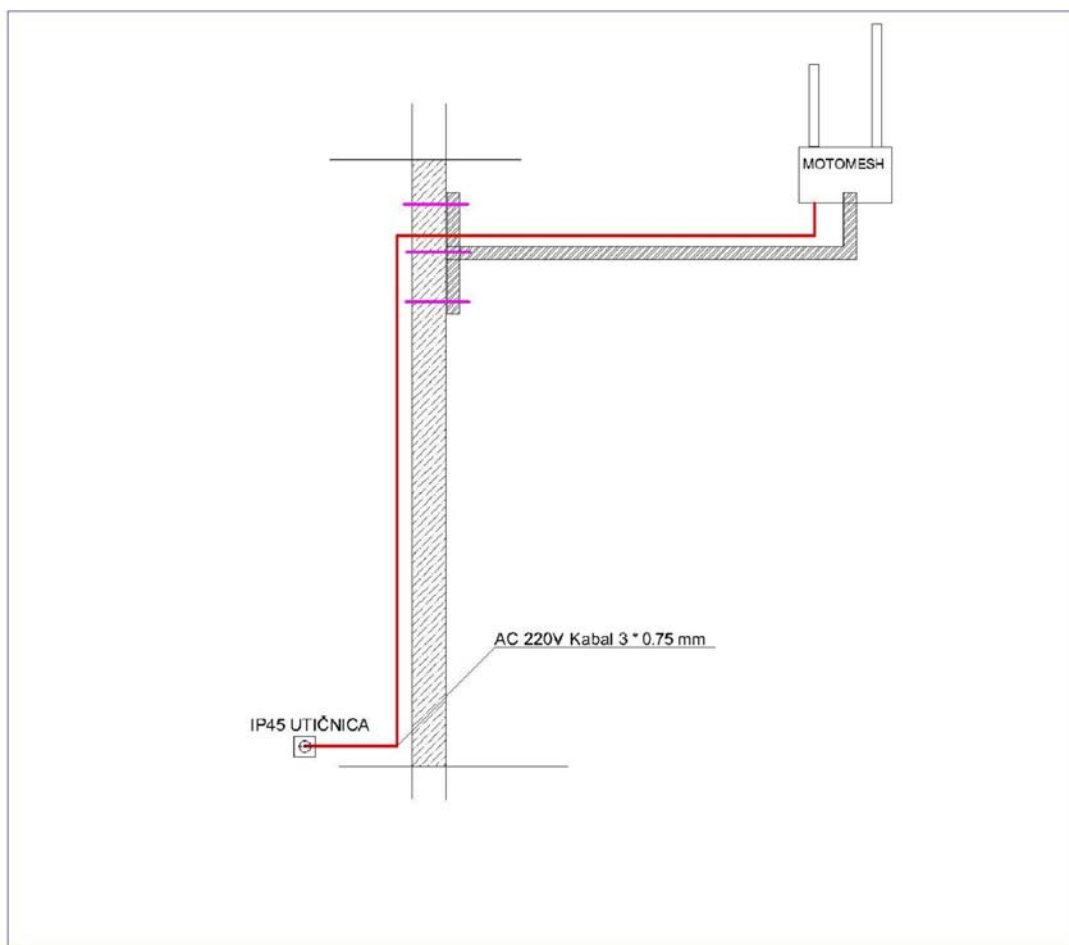
MOTOMESH uređaj je montiran na pocinkovani nerđajući stub dužine 100 cm i visine 15 cm. Stub je pričvršćen na zid terase sa četiri prolazna brezona dužine 20 cm. Upotrebljen je kabl za napajanje koji fabrički dolazi uz MOTOMESH duo, posto je bio adekvatne dužine. Na kraju kabla je montirana utičnica od 220 volti. Strujni kabl je pričvršćen za pocinkovani stub izolir trakom. Sa krova zgrade, na kojoj se nalazi Mikrotik RuterBoard Point to Point, uređaj je provučen u UTP kabl kategorije 5E. Ukrimpovan sa obe strane, jedan kraj je uvučen kroz IP65 uvodnik kabla na Mikrotik RuterBoard uređaju, a drugi kraj kroz uvodnik kabla koji fabrički stiže u MOTOMESH DUO uređaje. Priključen je sa obe strane u odgovarajuće konektore. Strujni kabl je uključen u IP65 utičnicu od 220 volti koja se nalazi na terasi.



Slika 30: Opis izvedenog stanja na lokaciji Irvias International-a

17.2 Lokal firme Millhouse Computers „Gradski“ – MWG

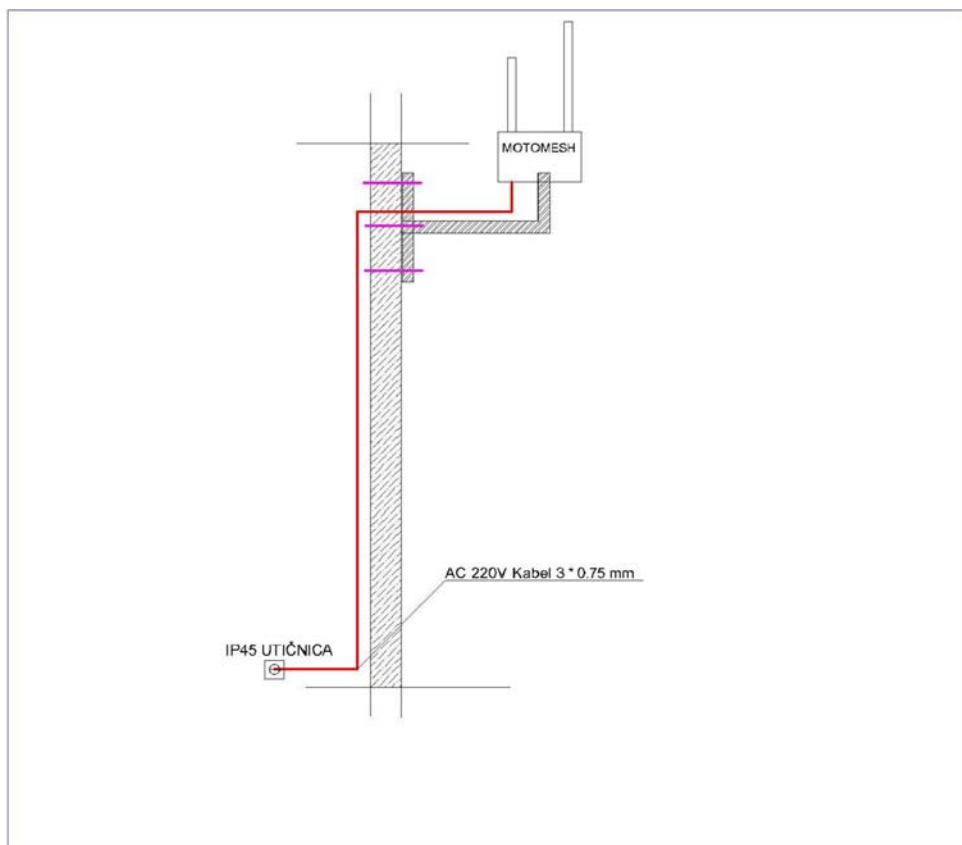
Motorola Mesh uređaj je montiran na pocinkovani nerđajući stub dužine 100cm i visine 15cm. Stub je pričvršćen za zid lokala sa četiri tipla veličine 100x10mm. Upotrebljen je kabal za napajanje koji fabrički dolazi uz Motorolu MeshDuo, i dodatni kabal dužine pet metara. Na kraju kabla je montirana utičnica za 220 volti, a kabal je pričvršćen za pocinkovani stub izolir trakom. Strujni kabal je uključen u 220v utičnicu koja se nalazi u lokalu.



Slika 31: Opis izvedenog stanja na lokaciji Millhouse Computers lokal "Gradski"

17.3 Millhouse computers - lokal – “Pobedina” – MWR

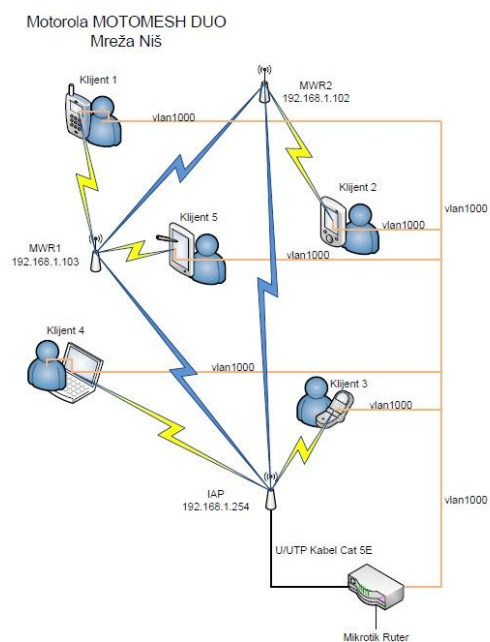
Motorola Mesh uređaj je montiran na pocinkovani nerđajući stub dužine 50cm i visine 15cm. Stub je pričvršćen za zid lokala sa četiri tipla veličine 100x10mm. Upotrebljen je kabal za napajanje koji fabrički dolazi uz Motorolu MeshDuo, i dodatni kabal dužine pet metara. Na kraju kabla je montirana utičnica za 220 volti, a kabal je pričvršćen za pocinkovani stub izolir trakom. Strujni kabal je uključen u 220v utičnicu koja se nalazi u lokalima.



Slika 32: Opis izvedenog stanja na lokaciji Millhouse Computers lokal – “Pobedina”

17.4 O strukturi mreže

Sa ove tri lokacije je pokriven ceo uži centar grada i pristup mreži u probnom periodu je bio besplatan. Tako se najbolje testirala stabilnost i robusnost sistema, pošto je u nekom momentu opsluživao preko 100 istovremeno, dokazivajući svoje kvalitete i beskompromisni dizajn mreže.



Slika 33: Grafički prikaz MESH mreže u Nišu

Detaljne karakteristike i mogućnosti tehničkog rešenja

MOTOMESH DUO • 4300-58 RADIO CHARACTERISTICS	
IEEE 802.11b/g Radio (20MHz Channel)	2.400 to 2.483GHz
IEEE 802.11a Radio (20MHz Channel)	5.725 to 5.825GHz
RF Modulation	CCK (802.11b), OFDM (802.11a/g)
Transmit Power (Maximum)	35dBm EIRP (802.11b/g), 34 dBm EIRP (802.11a) • Settable in 1dB increments
Receive Sensitivity	802.11b: -92dBm @ 11 Mbps to -100dBm @ 1 Mbps 802.11g: -78dBm @ 54 Mbps to -95dBm @ 6 Mbps 802.11a: -77dBm @ 54 Mbps to -93dBm @ 6 Mbps
Antenna Type	N-Type • Two (2) omnidirectional: 8dBi for 2.4GHz and 10dbi for 5.8GHz
ROUTING	
Technology	MeshConnex routing with Layer 1 situational-awareness
Protocol	Patented, Layer 2, hybrid proactive/reactive routing
NETWORK	
Network Management Software	EMS on Linux OS via SNMPv1, SNMPv2c or secure SNMPv3 • Web Interface via HTTPS (SSL) • 802.11 and MOTOMESH MIBs
Network Interface	Weatherized 10/100 Base-T Ethernet (RJ-45) port with surge suppression
Network Segmentation	16 VAPs (Multiple SSIDs with VLAN mapping)
Quality of Service (QoS)	802.11e, weighted fair queuing and IP precedence bits (ToS) supported via DSCP
SECURITY	
Client Encryption Support	WEP, WPA (TKIP) and WPA2 (AES, 802.11i)
Intra-Mesh Encryption	SecureMesh with AES
Authentication	802.1X (Infrastructure/Client) and MAC address hardware authentication
TCP/IP Filtering	Broadcast storm and port filtering
POWER	
Power Input	90-264 VAC (with +/- 20% variation at 47-63Hz) or Optional 10.8-14VDC (2.5A Max)
Power Connector	Weatherized NEMA 5-15 power cord • 12 ft (3.66m)
Power Consumption	15W to 30W (with PoE device)
Power over Ethernet (PoE)	Support for Canopy PoE, or 802.3af Standard PoE device
PHYSICAL	
Dimensions	9" x 6" x 3.5" (23.1cm x 15.2cm x 8.9cm) • 189in ³ (3097cm ³)
Weight	4.5 lbs (2.04kg)
Packaging	Outdoor, all-weather enclosure (NEMA 4 / IP54)
Mounting	3" (7.62cm) diameter post mounting
ENVIRONMENTAL & REGULATORY	
Temperature Range	-30 to 60 °C (-22 to 140 °F)
Humidity	0 to 95%, non-condensing at 50 °C (122 °F)
Regulatory Certifications	FCC Part 15, CE, MET Mark / CSA / UL, RoHS / CMM / WEEE, Industry Canada
AVAILABLE OPTIONS & ACCESSORIES	
Mounting	Lamp post mount bracket assembly
Antennas	4 or 6dBi omnidirectional for 2.4GHz, 6dBi omnidirectional for 5.8GHz
Power Plug Adapters	AC photo cell adapter and US, EU, and AU Power Plug Adapters
Power over Ethernet (PoE) Adapters	Canopy Connect or IEEE 802.3af PoE

18. Veb interfejs MOTOMESH DUO UREĐAJA

Veb interfejs MOTOMESH DUO uređaja je jednostavan za upotrebu i veoma je intuitivan, a sa druge strane nudi dovoljno opcija naprednom korisniku u vidu zaštite i optimizacije mreže, tako da ne ostavlja prostor za dodatnim „tweakovanjem“. Sa kombinacijom podrške VLAN-a i standarda 802.11e QoS, provajder može da kreira raznolike servise koje će im omogućiti da ponude slojevite pakete usluga. Sa P2P Blokiranjem provajder sada ima efikasan način da upravlja aplikacijama za naplaćivanje i scenarija praćenja klijenata.

Početno konfigurisanje uređaja je postavljeno da svi budu inteligentne pristupne tačke. Koristi se standardni „Windows Network Connections“ dijalog, podešavajući IP adresu uređaja na defoltnu IP adresu veb interfejsa (192.168.1.1). Dalje pristupanje veb interfejsu je takođe standardno, preko veb brauzera.

Sledi prikaz konkretnih podešavanja na samom interfejsu i njihovo objašnjenje.

MOTOMESH™ DUO

General	IP Address	Ethernet	Mesh	Mesh Security	Radio	Services	VAP	Firmware	Net-Perf	Reset Device	Factory Settings
AP Name: TEST		Device UpTime: 7 days 22:39:58									
Current IP Address: 192.168.1.254		MAC Addresses WLAN 0: 00:19:5e:b4:fc:d6 WLAN 1: 00:19:5e:b4:fc:d7 Ethernet: 00:19:5e:b4:fc:d5									
Country Code: United Kingdom		Country Code Locked: ☐ True ☒ False									
Device Type: ☒ IAP ☐ Wireless Router		WEB Login Credentials Username: Admin Password: ...									
Apply		Cancel									
All fields in this color need a reboot to be taken into effect.											
© Copyright 2000 - 2008 Motorola, Inc. All rights reserved.											

Find: ZID Next Previous Highlight all Match case

Veb interfejsu ne moze da se pristupi sa strane korisnika. Za pristup se koristi ne tagovani VLAN koji je integrisan sa servisnim vAP-om po unapred definisanim pravilima.

Pri ulasku na web interfejs general tab nudi osnovna podešavanja uređaja, kao što su ime pristupne tačke, informacije o IP, MAC adresama, trenutnom modu uređaja i podešavanje pristupnih parametara.

MOTOMESH™ DUO

General

IP Address

Ethernet

Mesh

Mesh Security

Radio

Services

VAP

Firmware

Net-Perf

Reset Device

Factory Settings

Primary IP Settings

IP Configuration

IP Address:
192.168.1.254

Subnet Mask:
255.255.255.0

Gateway IP:
192.168.1.1

DNS Server IP:
212.200.96.6

DHCP Mode

☒ Dynamic

☐ Static

Static IP Configuration

IP Address:
0.0.0.0

Subnet Mask:
0.0.0.0

Gateway IP:
192.168.1.1

DNS Server IP:
0.0.0.0

Web Management IP Settings

Second Static IP Configuration

IP Address:
192.168.1.3

Subnet Mask:
255.255.255.0

Apply

Cancel

All fields in this color need a reboot to be taken into effect.

© Copyright 2000 - 2008 Motorola, Inc. All rights reserved.

IP address tab nudi glavna podešavanja vezanih za IP adrese. Tu se nalazi podešavanje IP adrese LAN maske, IP gejtveja kao i IP DNS servera. Na ovom tabu se takođe određuje mod za DHCP kao i konfiguracija statičke IP adrese za podešavanja uređaja.

MOTOMESH™ DUO

General

IP Address

Ethernet

Mesh

Mesh Security

Radio

Services

VAP

Firmware

Net-Perf

Reset Device

Factory Settings

Ethernet 0 Settings

Ethernet Auto Mode:
☒ Enable ☐ Disable

Ethernet Duplex Mode:
☒ Full ☐ Half

Auto Negotiation Link Status:
Completed

Ethernet Speed Mode:
100 Mbps

Ethernet 2 Settings

Ethernet Auto Mode:
☒ Enable ☐ Disable

Ethernet Duplex Mode:
☒ Full ☐ Half

Auto Negotiation Link Status:
Down

Ethernet Speed Mode:
100 Mbps

Backhaul Port:ETHERNET-0

Ethernet-0 VLAN Configuration

VLAN ID:
4095

VLAN QoS Priority Level:
7-Highest - Network Controlled

VLAN Tag Stripping
☐ Enabled ☒ Disabled

VLAN Mode:
Cap

Ethernet-2 VLAN Configuration

VLAN ID:
4095

VLAN QoS Priority Level:
7-Highest - Network Controlled

VLAN Tag Stripping
☐ Enabled ☒ Disabled

VLAN Mode:
Cap

Apply

Cancel

All fields in this color need a reboot to be taken into effect.

© Copyright 2000 - 2008 Motorola, Inc. All rights reserved.

Find: ZIDNextPreviousHighlight allMatch case

U tabu Ethernet se nalaze ključna podešavanja za način rada eterneta kao što su brzina, režim rada i konfigurisanje vLAN konekcije.

MOTOMESH™ DUO

General IP Address Ethernet **Mesh** Mesh Security Radio Services VAP Firmware Net-Perf Reset Device Factory Settings

Select RADIO: RADIO-54

RADIO-54

MeshConnex: ☒ Enabled ☐ Disabled

Mesh ID: **Mesh ID Discriminator:** ☒ Enabled ☐ Disabled

Mesh Peer Forwarding

Enable Mesh Peer Forwarding: ☒

Peer State Routing: ☒ Enabled ☐ Disabled	Peer Route Request Servicing: ☒ Enabled ☐ Disabled
IAP Unicast Packet Reflection: ☒ Enabled ☐ Disabled	IAP Groupcast Packet Reflection: ☒ Enabled ☐ Disabled
Attempt to Discover Peer Routes: ☒ Enabled ☐ Disabled	Vap to Mesh Forwarding on IAPs: ☒ Enabled ☐ Disabled

*Note: Intra-Vap Forwarding is in the Vap tab, Inter-Vap Forwarding is in the Services tab

All fields in this color need a reboot to be taken into effect.

© Copyright 2000 - 2008 Motorola, Inc. All rights reserved.

Find: ZID Next Previous Highlight all Match case

Tab Mesh jasno podešava MESH karakteristike. Mesh id diskriminator je funkcija koja, ako je uključena, dozvoljava da dođe do “mešovanja” samo sa uređajima koji imaju isti MESH ID.

MOTOMESH™ DUO

General	IP Address	Ethernet	Mesh	Mesh Security	Radio	Services	VAP	Firmware	Net-Perf	Reset Device	Factory Settings
---------	------------	----------	------	----------------------	-------	----------	-----	----------	----------	--------------	------------------

Select RADIO:

RADIO-54

Radio Frequency:

Mesh ID: SNMPv3 Device Password:

Security Policy

Mesh Security Level at Boot:

PSK Related

Pass Phrase:

PSK Life Time:

EAP Settings

EAP Identity:

EAP Username:

EAP Password:

R0 Key Holder

R0 Key Holder ID:

R0 Key Holder IP:

R0 Key Holder Port:

RADIUS Authentication Certificate

Group Transient Key Lifetime

Group Master Key

Mobility Domain Identifier

Find: ZID Next Previous Highlight all Match case

U MESH security tabu se čita MESH id sa diskriminatora, podešava PSK(pre shared key) enkripcija između uređaja i nameštaju parametric za radius server.

MOTOMESH™ DUO

General

IP Address

Ethernet

Mesh

Mesh Security

Radio

Services

VAP

Firmware

Net-Perf

Reset Device

Factory Settings

Select RADIO:

RADIO-54

RADIO-54

Radio Frequency:

5660 GHz

Channel Rescan:

Idle

Start Scan

Wireless Local Area Network:

Enabled

Disabled

Wireless LAN Mode:

802.11a

Channel Frequency

Auto Channel Selection:

Enabled

Disabled

5500 (IEEE 100)	5520 (IEEE 104)	5540 (IEEE 108)	5560 (IEEE 112)	5580 (IEEE 116)	5600 (IEEE 120)
5620 (IEEE 124)	5640 (IEEE 128)	5660 (IEEE 132)	5680 (IEEE 136)	5700 (IEEE 140)	

Transmit Power Level

Requested Transmit Power:

10

Max. Transmit Power:

24

Current Transmit Power:

10

RTS Threshold:

64

Antenna Gain:

10

ANI Related

ANI Selection:

Auto

Manual

Minimum Signal Strength:

.86

Current Values

Noise Immunity Level:

0

Finite Impulse Response:

0

Spur Immunity Level:

2

OFDM Weak Signal Detection:

On

Off

CCK Weak Signal Detection:

On

Off

Desired Values

Noise Immunity Level:

0

Finite Impulse Response:

0

Spur Immunity Level:

1

OFDM Weak Signal Detection:

On

Off

CCK Weak Signal Detection:

On

Off

Find: ZID

Next

Previous

Highlight all

Match case

75

General
IP Address
Ethernet
Mesh
Mesh Security
Radio
Services
VAP
Firmware
Net-Perf
Reset Device
Factory Settings

Select RADIO:
RADIO-24

RADIO-24

Radio Frequency:
2422 GHz

Channel Rescan:
☒ Idle
☐ Start Scan

Wireless Local Area Network:
☒ Enabled
☐ Disabled

Wireless LAN Mode:
802.11g

G-Only Mode Lock:
☐ Enabled
☒ Disabled

Channel Frequency

Auto Channel Selection:
☐ Enabled
☒ Disabled

☐ 2412 (IEEE 1)	☐ 2417 (IEEE 2)	☒ 2422 (IEEE 3)	☐ 2427 (IEEE 4)	☐ 2432 (IEEE 5)	☐ 2437 (IEEE 6)	☐ 2442 (IEEE 7)
☐ 2447 (IEEE 8)	☐ 2452 (IEEE 9)	☐ 2457 (IEEE10)	☐ 2462 (IEEE11)	☐ 2467 (IEEE12)	☐ 2472 (IEEE13)	

Transmit Power Level

Requested Transmit Power:
23

Max. Transmit Power:
23

Current Transmit Power:
12

RTS Threshold:
2347

Antenna Gain:
8

ANI Related

ANI Selection:
☒ Auto
☐ Manual

Minimum Signal Strength:
-86

Current Values

Noise Immunity Level:
3

Finite Impulse Response:
2

Spur Immunity Level:
7

OFDM Weak Signal Detection:
☒ On
☐ Off

CCK Weak Signal Detection:
☒ On
☐ Off

Desired Values

Noise Immunity Level:
0

Finite Impulse Response:
0

Spur Immunity Level:
1

OFDM Weak Signal Detection:
☒ On
☐ Off

CCK Weak Signal Detection:
☒ On
☐ Off

Find: ZID
Next
Previous
Highlight all
Match case

Odvojeno se podešava signal na 5GHz, a odvojeno na 2.4GHz, što se mora istaknuti kao još jedna prednost MOTOMESH DUO uređaja.

76

MOTOMESH™ DUO

General	IP Address	Ethernet	Mesh	Mesh Security	Radio	Services	VAP	Firmware	Net-Perf	Reset Device	Factory Settings
---------	------------	----------	------	---------------	-------	----------	-----	----------	----------	--------------	------------------

SSH Server

☒ Enabled ☐ Disabled

VLAN Configuration

☒ Enabled ☐ Disabled

Management VLAN ID: Membership Format: 1, 10-100, 200, 3000-3000

WDS Membership WLAN 0:

WDS Membership WLAN 1:

Backhaul Detection

☒ Enabled ☐ Disabled

Backhaul Detection Drop Threshold:

Backhaul Detection Reply Threshold:

Backhaul Detection Failure Period:

Backhaul Detection Failure Ping Period:

Backhaul Detection Recovery Ping Period:

Backhaul Detection Target Address:

Inter-Vap Forwarding: ☐ Enable ☒ Disable

Enabled Services

2.4 GHz Radio Access:	☒	2.4 GHz Client Access:	☒
5.X GHz Radio Access:	☒	5.X GHz Client Access:	☒
Ethernet Access:	☒	Radio License Key:	XXXX XXXX XXXX XXXX XXXX XXXX XXXX

All fields in this color need a reboot to be taken into effect.

© Copyright 2000 - 2008 Motorola, Inc. All rights reserved.

Sadržaj taba Services otkriva podešavanja za SSH (Secure Shell) servere, što znači da uređaj može još finije da se podesi preko terminal, posto su tim putem obimnija podešavanja od veb interfejsa.

MOTOMESH™ DUO

General
IP Address
Ethernet
Mesh
Mesh Security
Radio
Services
VAP
Firmware
Net-Port
Reset Device
Factory Settings

Select RADIO 24 View:
VAP 1
Go Back

SSID:
ZooMie
VAP Management
Current Operational Status:
Active
Action To Perform:
No Operation

VAP Authentication Settings

Encryption Enabled:
True
Authentication Type:
None
VAP Auth Help

Encryption Key Cipher Mode:
Auto
Default Shared WEP Key:
1
Encryption Key Source:
None

Authentication Passphrase:
Suppress SSID Broadcasts:
True

Radio Settings

Radius Authentication Server:
Use Radius Secret:
Radius Authentication Port:
1812
Radius Authentication Shared Secret:

VLAN Settings

Vlan ID:
1000
Vlan QoS Priority Level:
6-High-Voice
Vlan Tag Stripping:
Enable
Disable
Vlan Mode:
Cap

General Settings

Number of Client Associations:
8
Client Associations:
Enable
Disable

Intra Vap Forwarding:
Enable
Disable

Apply
Cancel

Tab VAP služi za kreiranje virtuelne pristupne tačke koja radi samo sa korisnicima koji u na 2.4GHz i time rastereti uređaj. VAP ima sedam nivoa prioriteta koji mu pomažu da razgraniči klijente većeg prioriteta, a i sadržaj koji je bitnije da stigne klijentu.

Ostala tri taba služe za apdejtovanje verzije veb interfejsa i sadržaje vezane za resetovanje uređaja.

19. Zaključak

Ovaj rad je bio opšti uvod u svet bežičnih komunikacija. Opisivao je putanju razvoja bežične komunikacije po standardima. Kompletan princip rada WMN mreža i karakteristične podele sistema. Opisan je i način rutiranja i sistemi zaštite podataka. Prikazan je i širok spektar primene WMN mreža u javnim sistemima i dalji napredak u komunikaciji koji se postiže širenjem WMN mreže. Rešavanjem pojedinih problema koji se javljaju u upotrebi ovakvog sistema, se dolazi do najbolje solucije za širenje mreže u gusto naseljenim sredinama. Sledeći rad ulazi duboko u temu balansiranja opterećenja na sistemima sa MESH arhitekturom i analiza postojećih rešenja i otvara pitanja koja mora da se što pre odgovore da bi MESH bio prihvaćen kao najbolja solucija za budućnost bežičnih mreža.

U bežičnoj MESH mreži (WMN) balansiranje opterećenja je ključno za efikasno korišćenje kapaciteta mreže. Efekti nebalansiranog opterećenja uključuju opterećenje gejtveja i usko grlo za formaciju čvorišta. U radu je prikazano nekoliko rešenja koja sa manje ili više uspešnosti rešava taj problem, kao i alternativa u vidu QoS solucije. QoS je jedini primenjeni vid balansiranja opterećenja koji se realno primenjuje na živom MESH sistemu u Nišu.

Realizovani projekat MESH sistema u Nišu funkcioniše uspešno i konstantno se širi baza njegovih korisnika. Sistem na bazi "MOTOMESH DUO" kompanije Motorola se pokazao toliko uspešno, da se planira projekat od 700 čvorišta širom grada koji će imati isti princip rada i podešavanja kao i ova tri čvorišta, što samo pokazuje robustnost i pouzdanost sistema.

20. Literatura

1. "Auerbach Wireless Mesh Networking Architectures Protocols and Standards" Dec. 2006

2. "Fixed Broadband Wireless System Design"

HARRY R. ANDERSON, Ph.D., P.E.

3. "wireless a-z"

Nathan J. Muller

4. "Wireless Communications over MIMO Channels"

Volker Kuhn

5. "Wireless Communications: The Future"

Professor William Webb

6. QoS Megis -

MikroTik RouterOS Workshop QoS Best Practice

Prague MUM Czech Republic 2009

7. MOTOMESH Duo Sales Guide

8. MOTOROLA MOTOMESH DUO - instructions manual

9. S.M. Chen, P. Lin, D-W Huang, S-R Yang, "A study on distributed/centralized scheduling for wireless mesh network" in Proceedings of the 2006 International Conference on Wireless Communications and Mobile Computing, pp 599 - 604. Vancouver, British Columbia, Canada. 2006

10. J. Jun, M.L. Sichitiu, "The nominal capacity of wireless mesh networks", in IEEE Wireless Communications, vol 10, 5 pp 8-14. October 2003

11. IEEE 802 Wireless Systems

Protocols, Multi-hop Mesh/Relaying, Performance and Spectrum Coexistence

Bernhard H. Walke

ComNets, RWTH Aachen University, Germany

Stefan Mangold

Swisscom Innovations, Switzerland

Lars Berlemann

ComNets, RWTH Aachen University, Germany