

OTKLANJANJE INTERFERENCIJE WIRELESS MESH MREŽAMA PUTEM BINARNO SIMETRIČNIH KANALA

Alen Kamiš¹, Aleksandar Zakić², Saša Kukolj³

¹Visoka škola za uslužni biznis Istočno Sarajevo - Sokolac, Cara Lazara bb 71350 Sokolac, Istočno Sarajevo, Bosna i Hercegovina, alen@yub.edu.ba

²Alfa BK Univerzitet, Novi Beograd, Bulevar maršala Tolbuhina 8 11070 Novi Beograd, Srbija, aleksandar.zakic@alfa.edu.rs

³Fakultet za menadžment, Sremski Karlovci, Njegoševa 1a 21205 Sremski Karlovci, Srbija, sasa.kukolj@famns.edu.rs

REVIEW SCIENTIFIC PAPER

ISSN 2637-2150

e-ISSN 2637-2614

UDK 004.056.55:621.39J:003.26

DOI 10.7251/STED2302074K

COBISS.RS-ID 139429633

Primljen rad: 18.07.2023.

Prihvaćen rad: 28.08.2023.

Publikovan rad: 29.11.2023.

<http://stedj-univerzitetpim.com>

Korespondentni autor:

Alen Kamiš, Visoka škola za uslužni biznis Istočno Sarajevo - Sokolac, Cara Lazara bb 71350 Sokolac, Istočno Sarajevo, Bosna i Hercegovina, alen@yub.edu.ba



Copyright © 2022 Alen Kamiš, et al.; published by UNIVERSITY PIM. This work licensed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivs 4.

SAŽETAK

Ovaj rad prezentuje binarni simetrični kanal kao uobičajen model komunikacijskog kanala koji se koristi u teoriji kodiranja i teoriji informacija. Pošto u kanalu nema šuma, kašnjenje prijenosa podataka je vrlo malo zbog čega se podaci mogu prenositi brzo i u realnom vremenu, a bez mnogo grešaka što u velikoj mjeri određuje njegovu praktičnu primjenu. Stoga će u radu biti izloženi teorijski osnovi funkcionisanja samog kanala i njegove praktične prednosti. Također će biti objašnjen koncept binarnog kodiranja sa upotrebom blok kodova koji

stvaraju mogućnost ispravljanja eventualnih grešaka kao i primjena binarnog simetričnog kanala u poboljšanju interferencije signala kad Wireless Mesh mreža.

Cljučne riječi: Binarni simetrični kanal, kodiranje, blok kodovi, WMN interferencija.

UVOD

Binarni simetrični kanal (skraćeno BSC) je jedan od najjednostavnijih modela komunikacionih kanala i čini početnu tačku u proučavanju teorije informacija i teorije kodiranja. Ovaj model je od izuzetne važnosti jer izgrađuje osnovu za složenije modele kanala.

Iako je model jednostavan, ima brojne upotrebe u stvarnom životu. Osim nesporne primjene u teoriji komunikacija postoje i druga područja u kojima je binarni proces tranzicije BSC-a od pomoći, npr. moguće je proučavati performanse kodova za otkrivanje grešaka / ispravljanje grešaka za čvrste diskove koristeći model binarnog simetričnog kanala.

Kao bešumni kanal odlikuje se niskom latencijom i visokim kvalitetom signala pri čemu je maksimalna brzina prijenosa podataka visoka. Iz tog razloga je pogodan za kritične aplikacije koje zahtijevaju visoku pouzdanost i preciznost, kao što su medicinska oprema, vojna komunikacija i svemirski sistemi. Budući da je teorijski koncept jednostavan je za dizajn i simuliranje u kontrolisanom okruženju što omogućava istraživačima da proučavaju teorijske granice komunikacijskih sistema bez brige o praktičnim ograničenjima.

DISKRETNİ KANAL BEZ MEMORIJE

Kad god se informacija prenosi s jednog mjesta na drugo (npr. putem satelita) ili se pohranjuje radi kasnijeg preuzimanja (npr. na magnetnoj traci ili optičkom disku), prijemnik se može suočiti s greškama zbog buke ili sa drugim greškama. Kada se ove informacije predstavljaju na digitalni način, koriste se tzv. kodovi za ispravljanje grešaka koji omogućavaju ispravljanje ovih grešaka.

U navedenom kontekstu uvijek će biti dvije strane uključene u prijenos informacija: pošiljalac poruke i primalac. Medij putem kojeg se informacija šalje, zajedno sa svojim karakteristikama, naziva se kanal. Ove karakteristike se sastoje od ulaznog alfabeta X , izlaznog alfabeta Y i funkcije vjerovatnoće prijelaza P , koja daje vjerovatnoću $P(y | x)$ da je primljen simbol y u Y s obzirom da je prenijeto x u X .



Slika 1. Diskretni kanal bez memorije.

Binarni simetrični kanal

Poseban slučaj diskretnog kanala bez memorije je binarni simetrični kanal sa kanalnom matricom $J = K = 2$. Binarni simetrični kanal je od velikog teorijskog i praktičnog značaja. Kod binarnog simetričnog kanala, greške se mogu dogoditi tokom prijenosa simbola. Greške mogu biti uzrokovane različitim faktorima, kao što su interferencija, ometanje signala ili pogreške u kodiranju i dekodiranju. Kada se dogodi greška, prenesena vrijednost može se razlikovati od izvorne vrijednosti.

Ovaj kanal je bešuman u konvencionalnom smislu jer ne sadrži slučajni aditivni šum koji kviri preneseni signal. S druge strane, vjerovatnoću preokretanja možemo posmatrati kao neku vrstu šuma koja uzrokuje pogrešno dekodiranje prenesenog simbola (Yadav et al., 2021).

Binarni simetrični kanal je komunikacioni kanal koji prenosi dva simbola, predstavljena binarnim ciframa 0 i 1. Kanal ima dva ulazna simbola ($x_0 = 0, x_1 = 1$) i dva izlazna simbola ($y_0 = 0, y_1 = 1$). Ovaj

Dakle, u situaciji kada na izlazu diskretnog kanala pojavljivanje simbola ne zavisi od prethodno primljenih signala radi se o diskretnom kanalu bez memorije. Tu je $P(Y_y | X_x)$ uslovna vjerovatnoća da će se simbol Y_y pojaviti na izlazu kanala ako je poslat simbol X_x .

Diskretni kanal bez memorije je statistički model sa ulazom X i izlazom Y koji je bučna verzija X ; i X i Y su slučajne varijable. U svakoj jedinici vremena, kanal prihvata ulazni simbol X odabrano iz abecede x , a kao odgovor, emituje izlazni simbol Y iz abeceda y . Za kanal se kaže da je „diskretna“ kada oba simbola x i y imaju konačne veličine. Kaže se da je „bez memorije“ kada trenutni izlazni simbol zavisi samo od trenutnog ulaznog simbolu, a ne od bilo kojeg od prethodnih (Al Falahy, 2023).

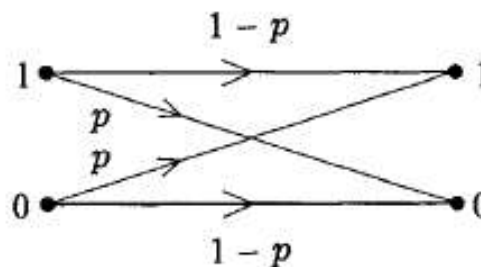
kanal karakteriše simetrija u smislu da je vjerovatnoća greške pri prijenosu jednaka za obje vrijednosti odnosno jer je vjerovatnoća primanja simbola 1 ako se pošalje simbol 0 jednaka vjerovatnoći primanja simbola 0 ako se pošalje simbol 1. Uslovna vjerovatnoća greške je označena sa p (Rosenberg, 2003).

$$P_{10} = P(y = 1 | x = 0) \quad (1)$$

$$P_{01} = P(y = 0 | x = 1) \quad (2)$$

$$P_{10} = P_{01} = p \quad (3)$$

Na slici 2. prikazan je dijagram vjerovatnoće prijelaza binarnog simetričnog kanala.



Slika 2. Binarni simetrični kanal (Orlitsky, 2003).

Vjerovatnoća da je primljeni simbol zapravo jednak prenesenom simbolu je data sa $1 - p$, dok je vjerovatnoća da nisu jednaki jedno drugom označena sa p , za neki $0 \leq p \leq 1$. Ako odaslani i primljeni simboli nisu međusobno jednaki kaže se da je došlo do greške.

Ovdje će se uvijek pretpostaviti da je $0 \leq p \leq \frac{1}{2}$. Kada se koristi BSC, naravno jedan mora pretvoriti informacije u tok binarnih podataka i po dolasku oporaviti originalne informacije. Iz tog razloga je zgodnije predstavljati informacije sekvenca kao binarni niz.

Da bi se prenijelo 1 preko BSC-a, sa vjerovatnoćom greške p , može se povećati pouzdanost prijenosa ponavljanjem prijenosa svakog bita nekoliko puta, npr. pet puta. Primalac može koristiti prostu većinu glasova o primljenom nizu da odluči šta je najvjerovatnije preneseni bit. Na primjer, ako se primi 1, 1, 0, 0, 1, najvjerovatnije je prenesena sekvenca 1, 1, 1, 1, 1. Ako su se tokom prijenosa dogodile najviše dvije greške prijemnik će napraviti ispravnu procjenu prenesene informacije. Međutim, sa ovim sistemom je moguće da prijemnik napravi grešku ako se dogodilo tri ili više grešaka.

Kapacitet kanala

Uobičajeni koncept kapaciteta kanala C (upotreba bitova/kanala) za komunikacione kanale jeste takav da ako je brzina prijenosa R (također upotreba bitova/kanala) manja od C , tada postoji šema kodiranja i dekodiranja koja čini grešku u prijenosu proizvoljno malom; u suprotnom, podaci ne mogu biti pouzdano prenijeti (MacKay, 2005).

Za najjednostavniji slučaj diskretnih kanala bez memorije, kapacitet kanala je:

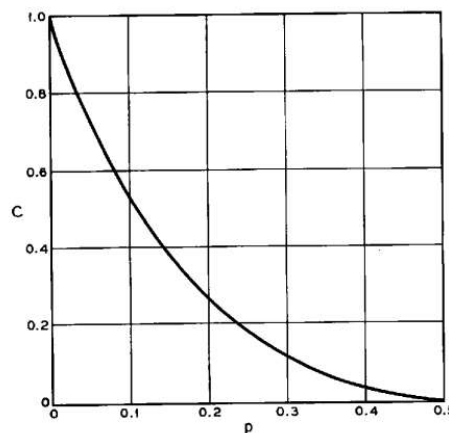
$$C = \max_{P_x} I(X; Y) \quad (4)$$

gdje je P_x distribucija ulaza.

Binarni simetrični kanal ima kapacitet kanala od $1 - H(p)$, pri čemu je (Li, 2016):

$$H(p) = -p \log p - (1 - p) \log (1 - p) \quad (5)$$

Na slici 3. dat je primjer šeme grafika binarnog simetričnog kanala.

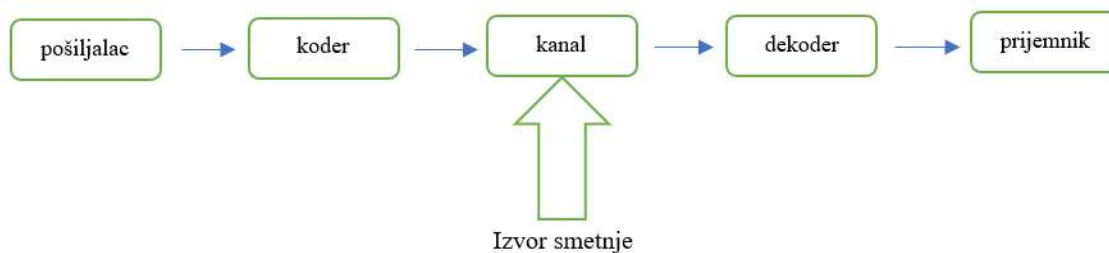


Slika 3. Kapacitet binarnog simetričnog kanala (Slepian, 1956).

Iz ilustracije kapaciteta, možemo primijetiti da kada je $p = 0.5$, kapacitet se smanjuje na 0. To je zato što imamo jednaku vjerovatnoću uspješnog i neuspješnog prijenosa. Drugim riječima, ne znamo da li je preneseni bit preokrenut. S druge strane, ako je $p \rightarrow 1$ ili $p \rightarrow 0$ imamo 100% sigurnost da je prijenos bio uspješan ili 100% sigurnost da je preneseni bit preokrenut. Odnosno, znamo sa apsolutnom sigurnošću šta je bio preneseni simbol (bit). Ovo čini kapacitet kanala $C = 1$ bit po korištenju kanala.

BINARNO KODIRANJE

Kanal, koder i dekođer zajedno sa pošiljaocem i prijemnikom čine takozvani komunikacioni sistem (Höst, 2007) (prikazan na slici 4). Binarni koder transformiše binarne (informacijske) simbole u tzv. kodne riječi. Skup svih mogućih kodnih riječi naziva se binarni blok $[n, k]$. Koordinate kodne riječi su ulazni simboli za BSC. Dekoder preslikava primljene n -tuple natrag u najvjerovatnije prenesene n -tuple i dalje natrag na originalne k -tuple. Treba imati na umu da će najvjerovatnije prenesena kodna riječ biti kodna riječ koja se razlikuje od primljenog vektora u najmanjem broju koordinata (pošto je $p \leq 0.5$). Dekoder koji uvijek pronađe najbližu kodnu riječ naziva se dekođer maksimalne vjerovatnoće.



Slika 4. Komunikacioni sistem.

Binarni simetrični kanal prenosi određene odabrane sekvence, zvane kodne tačke. Tokom prijenosa neke od ovih binarnih cifara se mogu promijeniti, tj. može doći do grešaka. Upotrebom blok kodova, pošiljalac može dostaviti informacije primaocu na pouzdaniji način nego bez upotrebe takvih kodova. Blok kod je kod koji koristi sekvence binarnih cifara, 1 i 0, fiksne dužine (n).

Ako se prenosi data kodna riječ, vjerovatnoća da će biti primljena bez greške je q^n . S druge strane, vjerovatnoća da će doći do jedne greške u određenoj poziciji je pq^{n-1} . Vjerovatnoća i grešaka na i određenim pozicijama je $p^i q^{n-i}$. Ako je $q > p$, vjerovatnije

je da će primljeni blok biti bez grešaka nego da će se pojaviti bilo koja specifična sekvenca sa jednom greškom. Također, bilo koja primljena sekvenca sa jednom greškom je vjerovatnija od primljene sekvence sa dvije greške, itd.

Kod primaoca se mora donijeti odluka o tome koja je kodna tačka prenesena, tj. primljena sekvenca mora biti dekodirana. Ovo je moguće uraditi prema sistemu prikazanom u tabeli 1. Kodne tačke su navedene u nizu na vrhu tabele, a ispod svake kodne tačke su date sve ostale sekvence od n binarne cifre koje će se „dekodirati“.

Tabela 1. Primjer standardnog niza binarnog koda za $n = 5$

00000	01011	10110	Kodne tačke
00001	01010	10111	
00010	01001	10100	
00100	01111	10010	
01000	00011	11110	Druge primljene sekvence
10000	11011	00110	
01100	00111	11010	
00101	01110	10011	

Vjerovatnoća greške za kod može se izračunati prema naprijed datoj tabeli. Vjerovatnoća ispravnog dekodiranja ako je data kodna tačka prenesena jednaka je vjerovatnoći da je primljeni niz onaj koji je naveden ispod prenesene kodne riječi (Pang et al., 2022). Ako razmotrimo kolonu dva u tabeli 1 vidjećemo da sama kodna tačka ne uključuje greške, pa stoga ima vjerovatnoću q^n . Sljedećih pet sekvenci u nizu ispod rezultat je pojedinačne greške zbog čega imaju vjerovatnoću pq^{n-1} . Posljednje dvije

sekvence su dvostruke greške i stoga imaju vjerovatnoću $p^2 q^{n-2}$. Dakle, ukupna vjerovatnoća ispravnog dekodiranja ako se prenosi ova kodna tačka izražena je sljedećom formulom:

$$Q = q^n + 5pq^{n-1} + 2p^2q^{n-2} \quad (6)$$

Za kod u cjelini vjerovatnoća greške je prosječna vjerovatnoća greške za sve kodne

Kamiš, A., et al. (2023). Uklanjanje interferencije Wireless MESH mrežama putem binarno simetričnih kanala. *STED Journal*, 5(2), 74-83.

tačke. Ako su korištene kodne tačke sa jednakom frekvencijom, onda je prosječna vjerovatnoća greške određena kao zbir vjerovatnoća greške za pojedinačne kodne tačke podjeljen sa brojem kodnih tačaka (Barg & McGregor, 2005).

Kodovi za provjeru parnosti

Blok kodovi se mogu podijeliti na kodove za provjeru parnosti i provjeru neparnosti. Kada govorimo o kodovima za provjeru pariteta u takvom kodu k pozicije se koriste kao informativne pozicije, a u njima su dozvoljene sve kombinacije jedinica i nula. Simboli u preostalim $n - k$ pozicijama su određeni od bitova informacija po „paritetu provjere“.

Kod prikazan u tabeli 1 je kod za provjeru parnosti. Prva dva mjesta su informativni bitovi. Četvrti bit je provjera pariteta na oba informativna mjesta – biće 1 ako ima neparan broj jedinica na informativnim mjestima odnosno 0 ako postoji paran broj jedinica na informativnim mjestima. Treći bit je provjera pariteta samo na prvom bitu, dok je peti bit provjera pariteta samo na drugom bitu.

Budući da su skupovi obrazaca grešaka koji su ispravljeni isti za cijelu kodnu tačku u abecedi za provjeru parnosti, vjerovatnoća ispravnog dekodiranja je ista za sve kodne tačke. U stvari, ova vjerovatnoća se može izračunati samo ako su poznate sekvence u prvoj koloni, tj. vođe koseta.

Na primjer, u kodu prikazanom u tabeli 1, prvi niz u koloni jedan ima težinu nula, tj. nema 1. Sljedećih pet sekvenci imaju težinu jedan, a posljednje dvije imaju težina dva. Vjerovatnoća tačnog dekodiranja za kodnu tačku svih nula, i stoga za svaku kodnu tačku, je:

$$Q = q^n + 5pq^4 + 2p^2q^3 \quad (7)$$

Šeme ispravljanja grešaka

Najjednostavnija šema detekcije greške je bit za provjeru parnosti, naime, zbir informativnih bitova se dodaje kodnoj riječi. Na primjer, kada su originalni informativni bitovi 1100111, sekvenca bitova koja se prenosi je 11001111, gdje je posljednji bit 1 bit za provjeru parnosti. Ako dođe do greške u jednom od informativnih bitova i prijemnik

prima 11001110, tada se greška može detektovati pošto je bit za provjeru parnosti nejednak zbiru informativnih bitova (Li, 2016).

U šemi kodiranja ispravljanja grešaka, tipične greške u prijenosu mogu se ispraviti na prijemniku bez retransmisije. Mogućnost ispravljanja grešaka je zagarantovana dodavanjem redundancije informativnim bitovima. Ako uzmemo najjednostavniji kod za ponavljanje, na primjer kada prenosimo bit 1, možemo ga prenijeti tri puta i tako poslati izlazni niz bitova 111. Dekoder koristi pravilo većine; odnosno odluka je najčešći bit u primljenoj sekvenci. Dakle, ako postoji jedna greška u prijenosu a dekodeer prima bitove 011, dekodeer može tvrditi da je informativni bit zapravo 1 i tako ispraviti grešku. Brzina prijenosa, koja se obično označava sa R , je definisana kao omjer između broja informativnih bitova i broja kodiranih bitova. Gornji primjer ponavljanja koda ima brzinu prijenosa $1/3$. Što je manji R je, što je više redundancije dodano i prijenos je pouzdaniji. Međutim, manji R također koristi više komunikacijskog pojasa od predajnika jer treba poslati više kodiranih bitova u isto vrijeme pa je potreban kompromis između pouzdanost i potrošnja resursa (Raja Durai et al., 2020).

PRIMJENA BSC U POBOLJŠANJU INTERFERENCIJE SIGNALA KOD WIRELESS MESH MREŽA

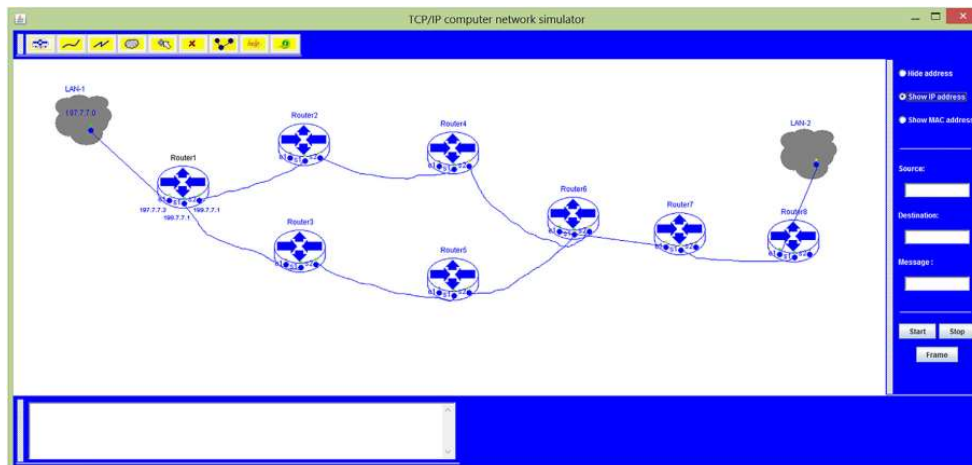
Bežične mesh mreže (WMN) su komunikacione mreže gdje sve različite vrste uređaja djeluju kao čvorovi u mreži, povezani međusobno bežičnim linkovima koji formiraju bežičnu multihop mrežu (Akyildiz et al., 2005). Tipovi čvorova mogu biti računari, laptopovi, ugrađeni uređaji itd., a broj čvorova može da ide i do nekoliko hiljada. U zavisnosti od mogućnosti čvorova, oni mogu imati ulogu mesh klijenta ili mesh rutera.

WMN imaju hijerarhijsku arhitekturu gdje mesh ruteri formiraju bežičnu kičmu i mesh klijenti koji su povezani s tom kičmom komuniciraju s drugim mesh klijentima povezanim s istom bežičnom kičmom. WMN su obećavajuće mreže koje mogu biti zamjena za postojeće mreže u različitim scenarijima.

Kamiš, A., et al. (2023). Uklanjanje interferencije Wireless MESH mrežama putem binarno simetričnih kanala. *STED Journal*, 5(2), 74-83.

Prilikom testova otklanjanja šuma i smanjenja interferencije WMN korištena je virtualna platforma kao virtualni simulator, bazirana na Ubuntu 22.04 serveru, na kojem je je podignuta konternizacija aplikacija

(Doker platforma) pri čemu je svaki kontejner – Docker instanca predstavljala zasebni wireless mesh čvor. Grafički prikaz virtualne platforme prikazan je na sljedećem grafu:



Slika 5. Prikaz wireless mesh mreže i čvorova.

Prilikom testiranja testovi su vršeni na dinamičkim rotiranjima protokola Babel i BMX6.

Babel je rutirajući protokol baziran na destination-sequence distance-vector (DSDV) konceptu, što je opisano u RFC 6126 (Chroboczek, 2011). On koristi Bellman-Ford protokol i uvjete za odbacivanje ruta koje mogu uzrokovati petlje. Babel je implementacija Babel protokola koju je razvio i održava Juliusz Chroboczek, također autor RFC 6126. RFC 6126 ne specificira strategiju za izračunavanje troškova linka i metriku rute. U Babel-u se koristi varijanta pod nazivom Expected Transmission Count (ETX) za ove izračune.

"B.A.T.M.A.N. eksperimentalna verzija 6 (BMX6) je nastala kao nasljednik B.A.T.M.A.N. eksperimentalnog daemona (BMXd), koji se odvojio kao nezavisna grana iz B.A.T.M.A.N. protokola (Neumann et al., 2008). BMX6 je razvijen s ciljem istraživanja i testiranja novih pristupa usmjeravanju i kontekstu u širenju mreže, s fokusom na izazove povezane s IPv6 adresnim prostorom, konfiguracijom čvorova i rukovanjem konfliktnim čvorovima. Također, BMX6 je dizajniran za efikasno stanje širenja putem jasnog razlikovanja između lokalnog i

globalnog te statičkog i dinamičnog stanja, uz smanjenje protoka zaglavlja."

Mjerenja performansi izvršena su sa Iperf i Nperf software-ima koja omogućuju nam te karakteristike i mogućnosti.

Iperf je moćan alat za mjerenje performansi wireless mesh mreže. Pruža mogućnost da se testira propusnost mreže, latenciju i gubitke paketa unutar mesh mreže. Iperf omogućuje generiranje opterećenja na mreži kako bi procijenili njezinu maksimalnu brzinu prijenosa podataka i otkrili potencijalna „uska grla“ mreže. Ovaj alat pruža detaljne izvještaje i rezultate mjerenja, omogućujući da se identificira i riješi probleme u mreži te optimizira performanse wireless mesh mreže.

Nperf je koristan alat za mjerenje performansi wireless mesh mreže. Omogućuje da se testira brzinu prijenosa podataka i latenciju unutar mesh mreže kako bi se dobio uvid u njezine performanse. Nperf pruža detaljne rezultate koji pomažu u analizi kvalitete veze i identifikaciji potencijalnih problema. Bez obzira da li u fazi implementacije, održavanja ili optimizacije wireless mesh mreže, Nperf može pomoći u boljem razumijevanju njezinih performansi i poboljšanju kvalitete mreže.

Kamiš, A., et al. (2023). Uklanjanje interferencije Wireless MESH mrežama putem binarno simetričnih kanala. *STED Journal*, 5(2), 74-83.

Na slici 6 i 7 prikazani su primjeri testiranja Iperf i Nperf prilikom testiranja.

```
Command Prompt
C:\iperf>iperf3 -c 192.168.100.10
Connecting to host 192.168.100.10, port 5201
[ 4] local 192.168.100.22 port 24584 connected to 192.168.100.10
[ ID] Interval      Transfer      Bandwidth
[ 4] 0.00-1.00 sec  356 MBytes   2.98 Gbits/sec
[ 4] 1.00-2.00 sec  384 MBytes   3.22 Gbits/sec
[ 4] 2.00-3.00 sec  396 MBytes   3.32 Gbits/sec
[ 4] 3.00-4.00 sec  403 MBytes   3.38 Gbits/sec
[ 4] 4.00-5.00 sec  403 MBytes   3.38 Gbits/sec
[ 4] 5.00-6.00 sec  400 MBytes   3.36 Gbits/sec
[ 4] 6.00-7.00 sec  418 MBytes   3.51 Gbits/sec
[ 4] 7.00-8.00 sec  392 MBytes   3.29 Gbits/sec
[ 4] 8.00-9.00 sec  375 MBytes   3.15 Gbits/sec
```

Slika 6. Primjer Iperf testiranja jednog od čvorova.



Slika 7. Primjer Nperf testiranja jednog od čvorova.

U tabeli 2 su prikazani rezultati istraživanja i rezultati koji su dobijeni prilikom otklanjanja šuma i interferencije

wireless signala između uređaja, dok su grafički podaci iz tabele 2 prikazani na slici 8.

Uzimajući u obzir aritmetičku sredinu proračuna za dinamičke protokole Babel i BMX6, dolazimo do zanimljivog zaključka da primjena binarnih simetričnih kanala rezultira poboljšanjem signala od oko 6%. Ovo predstavlja značajan napredak u performansama wireless mesh mreža i vrijedan rezultat za istraživače i inženjere u području mrežnih tehnologija.

Ova poboljšanja signala imaju pozitivan utjecaj na kvalitetu veze unutar mesh mreže. Povećanje signala za 6% znači da su čvorovi mreže u mogućnosti bolje komunicirati međusobno, smanjujući gubitak podataka i poboljšavajući brzinu prijenosa.

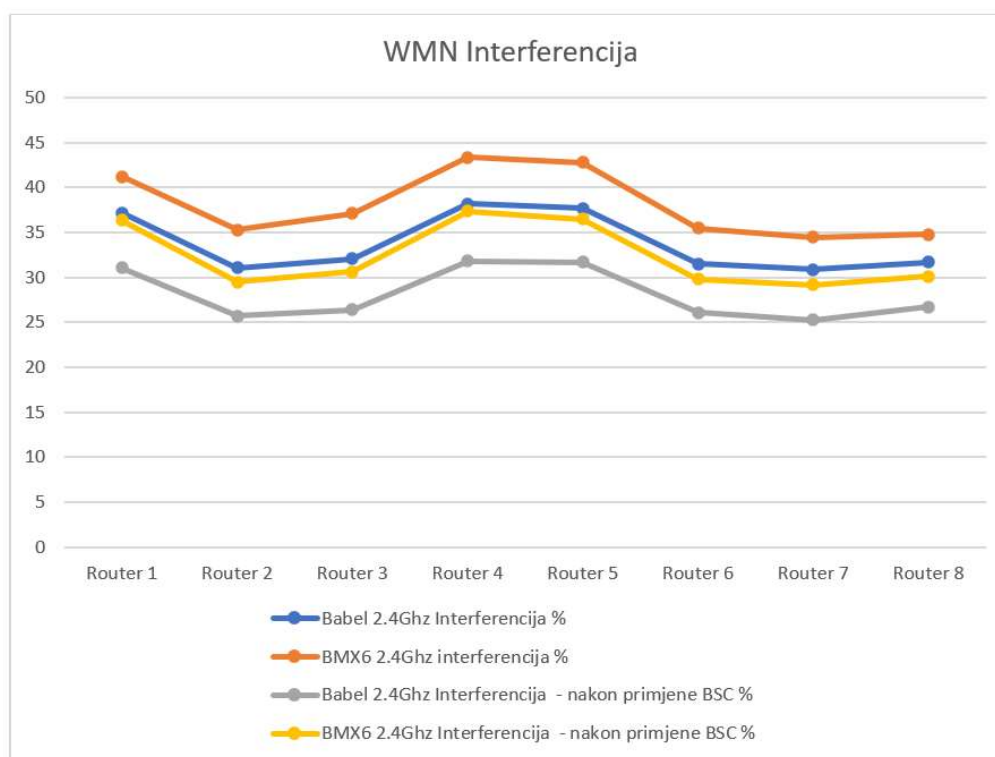
Ovo dostignuće ima praktične implikacije za primjenu wireless mesh mreža u raznim scenarijima, uključujući umrežavanje velikih područja, urbana okruženja ili industrijske postavke. Poboljšanje signala za 6% pruža veću pouzdanost i stabilnost mreže, čime se poboljšava korisničko iskustvo i otvara mogućnost za implementaciju naprednih usluga i aplikacija koje zahtijevaju brzu i pouzdanu mrežnu vezu.

Ovaj rezultat također naglašava važnost daljnjeg istraživanja i razvoja u području dinamičkih protokola poput Babel i BMX6. Kontinuirano poboljšanje performansi i učinkovitosti wireless mesh mreža ključno je za praćenje rastućih potreba povezanih uređaja i digitalne transformacije.

U konačnici, postignuća poput ovog ukazuju na potencijal wireless mesh mreža kao pouzdane i napredne mrežne infrastrukture, te nam pružaju nadu za daljnji napredak u području bežičnih komunikacija i povezanosti.

Tabela 2. Rezultiti otklanjanja šuma i interferencije između uređaja.

Čvor	Babel 2,4Ghz Interferencija %	BMX6 2,4Ghz interferencija %	Babel 2,4Ghz Interferencija - nakon primjene BSC %	BMX6 2,4Ghz Interferencija - nakon primjene BSC %
Router 1	37,2	41,2	31,1	36,4
Router 2	31,1	35,3	25,7	29,5
Router 3	32,1	37,1	26,4	30,6
Router 4	38,2	43,4	31,8	37,4
Router 5	37,7	42,8	31,7	36,5
Router 6	31,5	35,5	26,1	29,8
Router 7	30,9	34,5	25,3	29,2
Router 8	31,7	34,8	26,7	34,8



Slika 8. Grafički prikaz preformansi prije i nakon testiranja sa BSC-om.

ZAKLJUČCI

Binarni simetrični kanal je komunikacijski kanal koji se koristi za prijenos binarnih simbola, predstavljenih sa 0 i 1. Ova vrsta kanala ima praktične prednosti u mnogim područjima, uključujući komunikacije u stvarnom vremenu i primjenu u teoriji kodiranja.

U kontekstu wireless mesh mreža, primjena binarnih simetričnih kanala donosi značajna poboljšanja u kvaliteti signala. Ove mreže se sastoje od čvorova koji djeluju kao uređaji u mreži, povezani bežičnim vezama koje tvore bežičnu multihop zvanu mesh

mrežu. Upravo primjenom binarnih simetričnih kanala u ovom kontekstu postižu se impresivni rezultati u smanjenju šuma i interferencije.

U teoriji kodiranja, blok kodovi koji se koriste u binarnom kodiranju omogućavaju pouzdan prijenos informacija. Ovi kodovi koriste sekvence fiksnih duljina binarnih brojeva 1 i 0. Oni pružaju jednostavnu detekciju i ispravljanje pogrešaka, čime se osigurava pouzdanost komunikacije.

Primjena binarnih simetričnih kanala u wireless mesh mrežama ima potencijal da unaprijedi performanse mreže, poboljša

Kamiš, A., et al. (2023). Uklanjanje interferencije Wireless MESH mrežama putem binarno simetričnih kanala. *STED Journal*, 5(2), 74-83.

kvalitetu veze i smanji smetnje. To znači da se podaci mogu pouzdano i brže prenositi unutar mreže, pružajući bolje iskustvo korisnicima i otvarajući mogućnosti za primjenu naprednih usluga i aplikacija.

Upotreba binarnih simetričnih kanala donosi značajne prednosti u poboljšanju signala i kvalitete veze u wireless mesh mrežama. Ovaj pristup može rezultirati pouzdanijim, efikasnijim i stabilnijim komunikacijskim sustavom, potičući daljnji razvoj i primjenu ovih mreža u raznim kontekstima.

Daljnje istraživanje i razvoj u području primjene binarnih simetričnih kanala u wireless mesh mrežama trebalo bi se usredotočiti na optimizaciju protokola, smanjenje interferencije, povećanje kapaciteta, poboljšanje sigurnosti i skalabilnosti, te validaciju u stvarnim scenarijima. Ove preporuke mogu pomoći u daljnjem napretku ove tehnologije i ostvarivanju njezinog punog potencijala.

LITERATURA

- Akyildiz, I. F., Wang, X., & Wang, W. (2005). Wireless mesh networks: a survey. *Computer networks*, 47(4), 445–487. [10.1016/j.comnet.2004.12.001](https://doi.org/10.1016/j.comnet.2004.12.001)
- Al Falahy, N. (2023). *Discrete memoryless channels*. Preuzeto 11.06.2023. sa <https://www.uoanbar.edu.iq/eStoreImages/Bank/2668.pdf>
- Barg, A., & McGregor, A. (2005). Distance Distribution of Binary Codes and the Error Probability of Decoding. *IEEE Transactions on Information Theory*, 51(12), 4237–4246.
- Chroboczek, J. (2021). *The Babel Routing Protocol RFC 8966*.
- Höst, S. (2007)., *A Short Introduction to Digital Communications*. Preuzeto 02.04.2023. sa https://www.researchgate.net/publication/265490002_A_Short_Introduction_to_Digital_Communications
- Li, H., (2016). Basics of communications. *Communications for Control in Cyber Physical Systems, Theory, Design and Applications in Smart Grids*, 9–30.
- MacKay, D. (2005). *Information Theory, Inference, and Learning Algorithms*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Neumann, A., Aichele, C., Lindner, M., & Wunderlich, S. (2008). Better approach to mobile ad-hoc networking (B.A.T.M.A.N.). *IETF draft*, 1-24.
- Orlitsky, A., (2003). Information Theory. In: Encyclopedia of Physical Science and Technology (Third Edition). *Academic press*, 751-769.
- Pang, J., MahdaviFar, H., & Pradhan, S., (2022). New Bounds on the Size of Binary Codes with Large Minimum Distance. *IEEE International Symposium on Information Theory (ISIT)*, 1963-1968. Espoo, Finland.
- Raja Durai, R. S., Devi, M., & Kumar, A., (2020). Multiple-rate error-correcting coding scheme. *Applicable Algebra in Engineering, Communication and Computing*, 33, 117–134.
- Rosenberg, B., (2003). Noisy channels and cryptography. Preuzeto 14.04.2023. sa https://www.cs.miami.edu/home/burt/learning/Csc609.032/notes/bsc_crypto.pdf
- Slepian, D. (1956). A Class of Binary Signaling Alphabets. *Bell System Technical Journal*, 35(1), 203–234.
- Yadav, A. K., Mamindlapally, M., Budkuley, A. J., & Mishra, M., (2021). Commitment over Compound Binary Symmetric Channels [Paper presentation]. *National Conference on Communications (NCC)*, pp. 1-6. Kanpur, India.

ELIMINATION OF INTERFERENCE WITH WIRELESS MESH NETWORKS THROUGH BINARY SYMMETRICAL CHANNELS

Alen Kamiš¹, Aleksandar Zakić², Saša Kukulj³

¹*The College of Service Business, Cara Lazara bb, 71350 Sokolac, Istočno Sarajevo, Bosna i Hercegovina, alen@vub.edu.ba*

²*Alfa BK University, Novi Beograd, Bulevar maršala Tolbuhina 8 11070 Novi Beograd, Serbia, aleksandar.zakic@alfa.edu.rs*

³*Faculty of management, Sremski Karlovci, Njegoševa 1a 21205 Sremski Karlovci, Serbia, sasa.kukulj@famns.edu.rs*

REVIEW SCIENTIFIC PAPER

ISSN 2637-2150

e-ISSN 2637-2614

UDC 004.056.55:621.39J:003.26

DOI 10.7251/STED2302074K

COBISS.RS-ID 139429633

Paper Submitted: 18.07.2023.

Paper Accepted: 28.08.2023.

Paper Published: 29.11.2023.

<http://stedj-univerzitetpim.com>

Corresponding Author:

Alen Kamiš, The College of Service Business, Cara Lazara bb, 71350 Sokolac, Istočno Sarajevo, Bosna i Hercegovina, alen@vub.edu.ba



Copyright © 2022 Alen Kamiš, et al.; published by UNIVERSITY PIM. This work licensed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivs 4.

ABSTRACT

This paper presents the binary symmetric channel as a common model of the communication channel used in theory of coding and theory of information. Since there is no noise in the channel, the data transmission delay is very small, which is why data can be transmitted quickly and in real time, without many errors, which greatly determines its practical application. Therefore, the theoretical basis of the functioning of the channel itself and its practical advantages will be presented in the text. The concept of binary coding will also be explained with the use of block codes that create the possibility of correcting eventual errors, as well as the application of a binary symmetric channel in improving signal interference when using a wireless network.

Keywords: The binary symmetric channel, coding, block codes, WMN interference.