

UNIVERZA V LJUBLJANI
FAKULTETA ZA ELEKTROTEHNIKO

Jan Kodrič

SAMOORGANIZIRANO OMREŽJE V SISTEMIH LTE
SELF-ORGANISING NETWORK IN LTE SYSTEMS

DIPLOMSKO DELO VISOKOŠOLSKEGA STROKOVNEGA ŠTUDIJA

Ljubljana, 2016

UNIVERZA V LJUBLJANI
FAKULTETA ZA ELEKTROTEHNIKO

Jan Kodrič

SAMOORGANIZIRANO OMREŽJE V SISTEMIH LTE
SELF-ORGANISING NETWORK IN LTE SYSTEMS

DIPLOMSKO DELO VISOKOŠOLSKEGA STROKOVNEGA ŠTUDIJA

Mentor: viš. pred. dr. Urban Burnik

Ljubljana, 2016

List teme

Zahvala

Zahvalil bi se višjemu predavatelju dr. Urbanu Burniku, mentorju, ki mi je s svojim znanjem pomagal pri izdelavi diplomskega dela in s tem istočasno razširil moje znanje.

Zahvaliti bi se želel tudi svoji družini in prijateljem, ki so me v času pisanja diplomskega dela podpirali, spodbujali in razumeli, če so bili kdaj zapostavljeni na račun diplomskega dela.

KAZALO

POVZETEK	1
ABSTRACT	3
1. UVOD	5
2. Mobilno omrežje LTE	6
2.1 Jedrno omrežje EPC (Evolved Packet Core)	6
2.2 Radijski del omrežja E-UTRAN	8
3. Samoorganizirano omrežje - SON	11
3.1. Razlogi za uvedbo SON-a	11
3.2. Proces SON	12
3.3 Koraki SON	13
3.3.1 Samokonfiguracija omrežja	13
3.3.2 Samooptimizacija omrežja	15
3.3.3 Samoozdravljivost omrežja	21
3.4 Arhitekture SON-a	23
3.4.1 Centralizirana arhitektura	23
3.4.2 Porazdeljena arhitektura	24
3.4.3 Hibridna arhitektura	25
3.5. Pridobitve z uvedbo SON-a	26
4. Praktičen primer uporabe SON-a	27
5. Zaključek	33
6. Viri	34

KAZALO SLIK

Slika 1: Arhitektura LTE-omrežja.....	7
Slika 2: Signal SC-FDMA [2]	8
Slika 3: Modulaciji OFDMA in SC-FDMA [3]	8
Slika 4: Signal OFDM [2]	9
Slika 5: Časovno-frekvenčni multipleks pri OFDMA [2]	9
Slika 6: Potek procesa SON	12
Slika 7: Primer samokonfiguracije, samooptimizacije in samoozdravljivosti.....	13
Slika 8: Primer samokonfiguracije: Samodejno določanje sosedskih relacij (ANR)	14
Slika 9: Primer samooptimizacije: Stanje mirovanja.....	18
Slika 10: Bazna postaja, ki uporablja energijo vetra in sonca kot obnovljiv vir energije [4].....	19
Slika 11: Dvojna antena (dva frekvenčna posova), ki ji je mogoče spreminjati naklon (RET-antena) [5] ..	20
Slika 12: Prikaz izpadle celice in kako samoozdravljivo omrežje odpravi težavo [6].....	23
Slika 13: Primeri arhitektur SON-a [7]	23
Slika 14: Primer relacije eNB A–eNB C preko eNB B.....	27
Slika 15: Primer relacije eNB A–eNB C brez posrednih baznih postaj	27
Slika 16: Prikaz števila relacij 1. 1. 2015.....	29
Slika 17: Prikaz števila relacij 4. 5. 2015.....	30
Slika 18: Prikaz števila relacij 7. 9. 2015	31
Slika 19: Prikaz števila relacij 2. 2. 2016.....	32

KAZALO TABEL

Tabela 1: Zapis relacij s številom procedur nekega programa, ki ga uporablja ponudnik za nadzor baznih postaj.....	28
--	----

SEZNAM KRATIC

16QAM	16-Quadrature Amplitude Modulation	16-kvadraturna amplitudna modulacija
3GPP	3rd Generation Partnership Project	Partnerski projekt 3. generacije
64QAM	64-Quadrature Amplitude Modulation	64-kvadraturna amplitudna modulacija
ANR	Automatic Neighbour Relation	Samodejno določanje sosedskih relacij
BTS	Base Transceiver Station	Bazna postaja
CAPEX	CAPital Expenditure	Stroški začetne naložbe
CCO	Coverage and Capacity Optimization	Optimizacija pokritosti in zmogljivosti
CSFB	Circuit Switched FallBack	Ena od rešitev za klic preko LTE-omrežja
DFT	Discrete Fourier Transform	Diskretna Fourierova transformacija
DFT-s-OFDM	DFT-spread-OFDM	Način generiranja signala
DRC	Dynamic Radio Configuration	Metoda, ki jo uporablja eNodeB za konfiguracijo radijskega dela
EPS	Evolved Packet System	Razviti paketni sistem, ki se uporablja v LTE-omrežju
E-UTRAN	Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network	Razvito univerzalno zemeljsko radijsko dostopovno omrežje
FDMA	Frequency Division Multiple Acces	Frekvenčno porazdeljen sodostop
GAN	Generic Access Network	Generično dostopovno omrežje
HSPA	High-Speed Packet Access	Paketni dostop z visoko hitrostjo
HSS	Home Subscriber Server	Strežnik z informacijami domačih naročnikov
IMS	IP Multimedia Subsystem	Podsistem IP-protokola, ki skrbi za multimedijski prenos
IP	Internet Protocol	Internetni protokol
Ipssec	Internet Protocol Security	Varnostni protokol IP
KPI	Key Performance Indicator	Ključni indikatorji zmogljivosti
LTE	Long Term Evolution	Standard, uporabljen v 3,5G, predhodnik 4G
LTE-A	Long Term Evolution-Advanced	Nadgradnja LTE-standarda, 4G

MME	Mobility management entity	Enota upravljanja mobilnosti
MSC	Mobile Switching Center	Mobilni preklopni center
NGMN	Next Generation Mobile Networks	Skupina več svetovnih mobilnih ponudnikov, proizvajalcev, operaterjev in razvojnih inštitutov
NML	Network Management Layer	Sloj upravljanja omrežja
NMT	Nordic Mobile Telephone	Nordijska mobilna telefonija, 1G
NSN	Nokia Siemens Networks	Finsko-nemški proizvajalec omrežne opreme
OFDM	Orthogonal Frequency-Division Multiplexing	Ortogonalni frekvenčni multipleks
OFDMA	Orthogonal Frequency-Division Multiple Access	Ortogonalni frekvenčno deljen sodostop
OPEX	OPerational Expenditures	Stroški delovanja omrežja
PDN	Packet Data Network	Paketno podatkovno omrežje
P-GW	PDN GateWay	Prehod v PDN
QPSK	Quadrature Phase-Shift Keying	Kvadraturna modulacija s faznim pomikom
RACH	Random Access Channel	Kanal z naključnim dostopom
RAN	Radio Access Network	Radijsko dostopovno omrežje
RET antenna	Remote Electrical Tilt antenna	Antena z oddaljenim električnim naklonom
SC-FDMA	Single Carrier FDMA	Frekvenčno porazdeljen dostop z enim nosilcem
S-GW	Serving GateWay	Strežniški prehod
SMS	Short Message Service	Storitev kratkih sporočil
SON	Self-Organizing Networks	Samoorganizirana omrežja
SVLTE	Simultaneous Voice and LTE	Hkraten prenos podatkov in klica skozi LTE
TLS	Transport Layer Security	Varnost transportnega nivoja
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System	Tretja generacija mobilnih omrežij
VLR	Visitor Location Register	Register gostujočih naročnikov
VoLTE	Voice Over LTE	Govor preko LTE-omrežja
VoLGA	Voice over LTE via GAN	Govor preko LTE-omrežja s koriščenjem GAN-standarda

POVZETEK

Diplomsko delo opisuje tehnologijo samoorganiziranega omrežja (SON), kaj to sploh je, njegove funkcionalnosti in možne arhitekture, pred tem pa na kratko o LTE-omrežju, v katerem se SON uporablja.

SON se v prihodnosti vidi kot nujo, saj brez funkcij za avtomatizacijo nastavitvev, optimizacij, zdravljenja omrežja, ki jih SON vsebuje, mobilno omrežje, kot ga poznamo, ne bi dolgo optimalno delovalo, saj je iz dneva v dan vse več končnih naprav, ki se poslužujejo mobilnega omrežja. Prav avtomatizacija pa je bistvena stvar SON-a, z njo poskrbimo za manj napak, povzročenih s strani človeka. Ker je cilj SON-a, da omrežje deluje kolikor se da samostojno, se zmanjšata OPEX (Operational Expenditures – stroški delovanja omrežja) in CAPEX (Capital Expenditure – stroški začetne naložbe), saj se avtomatizira tudi nadaljnja rast omrežja.

Ključne besede:

SON, LTE, eNodeB, samooptimizacija, optimizacija mobilnega omrežja, mobilne celice.

ABSTRACT

The thesis describes technology of self-organized network (SON), what that is, it's functionalities and possible architectures but before that briefly about LTE network in which SON is put in to practical use.

Son is a must in the future, because without functions for automatic configuration, optimization, network healing, which SON consist of, mobile network as we know it would not function optimally since there is more and more user equipments connecting to mobile network. SON's main feature is automation with which we minimize human errors and autonomize the network as much as we can with reducing OPEX (Operational Expenditures) and CAPEX (Capital Expenditure) since further scalability of the network is also autonomized.

KEY WORDS:

SON, LTE, eNodeB, self-optimization, mobile network optimization, mobile cells.

1. UVOD

Z velikostjo aparata, avtonomijo baterije, velikostjo zaslona pa se je širila tudi tehnologija mobilnih komunikacij. Od prvotne NMT (Nordic Mobile Telephone), ki je omogočala klicanje, GSM (Global System for Mobile Communications), GPRS (General Packet Radio Service), tehnologija, ki je omogočala paketni prenos mobilnih podatkov, nato UMTS (Universal Mobile Telecommunications System), HSPA (High-Speed Packet Access), od prve vse do sedanje četrte generacije, generacije, ki vsebuje standard LTE (Long Term Evolution). Tehnologije pa so tiste, ki so omogočile, da iz prvotnega klicanja mobilni telefon uporabljamo sedaj tudi za sprejemanje MMS sporočil, opravljanje video klicev, brskanje po spletu s hitrostjo do 150 Mb/s (približno 19MB/s). Mobilno omrežje LTE omogoča hiter in učinkovit prenos podatkov. Poleg optimizacije hitrosti prenosa skrajša tudi dostopovni čas (ping). S temi prednostmi se LTE potencialno načrtuje tudi kot nadomestilo za fiksni internet na področjih, kjer je izgradnja fiksnega internetnega dostopa do uporabnikov prevelik finančni vložek. V dobi, v kateri živimo, je LTE s svojimi lastnostmi kot mobilno omrežje potreben za sedanje in prihodnje potrebe naročnikov, saj je zahtevnost naročnikov vse večja – od hitrega nalaganja spletnih strani, trenutne sinhronizacije socialnih omrežij, do HD video vsebin itd.

Vse več tehnologij različnih ponudnikov, veliko uporabnikov, optimiziranje omrežja, vzdrževanje omrežja, vse to in še več razlogov bi se našlo kot odgovor na vprašanje, zakaj potrebujemo tehnologijo, kot je SON. Večji problem, ki ga tehnologija SON rešuje, je ustvarjen s strani večje koncentracije uporabnikov na omejenem prostoru. Npr. večja mesta, kjer je, da zagotovijo dostop do vsebin vsem uporabnikom, veliko število baznih postaj, ki pokrivajo določen prostor, vendar z ravno pravšnjo oddajno močjo, da se ne prekrivajo s celicami sosednjih baznih postaj. Problem pa je tudi tam, kjer je v določenih urah dneva velik promet mobilnih komunikacij, v ostalih urah pa prometa tam skoraj nič ni. Primer take situacije so industrijske cone, kjer je množična uporaba omrežja v dopoldanskih urah, v večernih urah in ponoči pa uporabe omrežja skorajda ni. SON v takih primerih izključi celice posameznih neuporabljenih baznih postaj in poveča oddajno moč ostalih sosednjih baznih postaj. Tako energetske gledano prihrani na porabi električne energije. Tehnologija SON je dobrodošla tudi za ponudnike mobilnih komunikacij, saj s svojo samoorganiziranostjo ne potrebuje človeškega poseganja potem, ko je v fazi delovanja, in s tem ponudniku ni treba vlagati v število kvalificiranih zaposlenih, ki bi se jih potrebovalo za razna popravila v primeru okvar.

2. Mobilno omrežje LTE

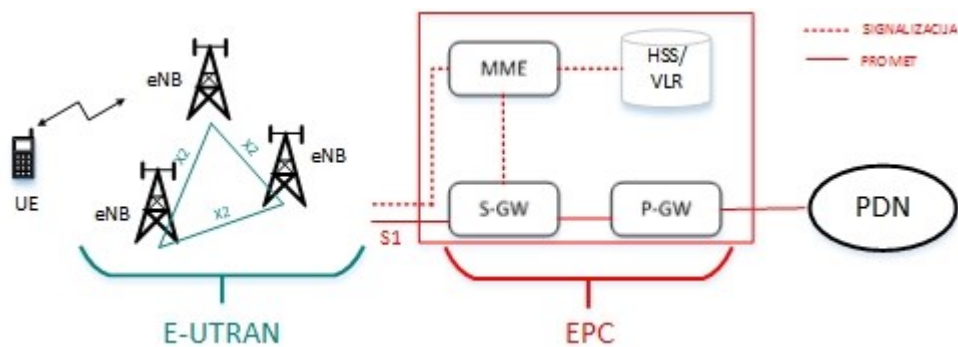
LTE je standard brezžičnih komunikacij z veliko hitrostjo, ne predstavlja nadgradnje HSPA tehnologije, ki je omogočala hitrosti 21Mb/s (2,6 MB/s), ampak čisto novo tehnologijo. Razvila ga je 3GPP (3rd Generation Partnership Project), prvič pa je bil praktično preizkušen konec leta 2009 s strani TeliaSonera (Švedsko telefonsko podjetje). LTE naj bi bil prvi globalni standard, z razliko le v frekvenčnem pasu, v katerem naj bi deloval.

Cilj razvoja LTE je bil povečati zmogljivost prenosa in hitrost v brezžičnih podatkovnih omrežjih z uporabo digitalno sprocesiranih signalov, modulacij signalov in poenostavitve omrežja ter še vedno biti kompatibilen s prejšnjimi tehnologijami druge in tretje generacije.

LTE-omrežje je sestavljeno iz radijskega dela omrežja in jedrnega omrežja. Radijski del omrežja imenujemo E-UTRAN (Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network), jedrno omrežje pa se imenuje EPC (Evolved Packet Core).

2.1 Jedrno omrežje EPC (Evolved Packet Core)

Jedrno omrežje, ki ga poimenujemo EPC (Evolved Packet Core), je sestavljeno iz več elementov, HSS (Home Subscriber Server – Strežnik z informacijami domačih naročnikov)/VLR (Visitor Location Register – Register gostujočih naročnikov) elementa sta prenešena iz prejšnjih tehnologij omrežja in hranita informacije o naročninah registriranih ali gostujočih naročnikov, do katerih vsebin imajo dostop itd. MME (Mobility management entity – Enota upravljanja mobilnosti) skrbi za visokonivojsko delovanje, kot so signalizacijska sporočila in HSS/VLR. PDN (Packet Data Network – paketno podatkovno omrežje), P-GW (PDN GateWay – Prehod v PDN) služi kot prehod med jedrnim paketnim omrežjem in zunanjimi paketnimi podatkovnimi omrežji, S-GW (Serving GateWay – Strežniški prehod) se po prejetju paketa na podlagi signalizacijske informacije odloči, kam posredovati podatke preko P-GW. E-UTRAN in EPC sta med seboj povezana z vmesnikom S1, medtem ko so elementi znotraj EPC povezani z različnimi vmesniki (S3, S4, S5 ...).

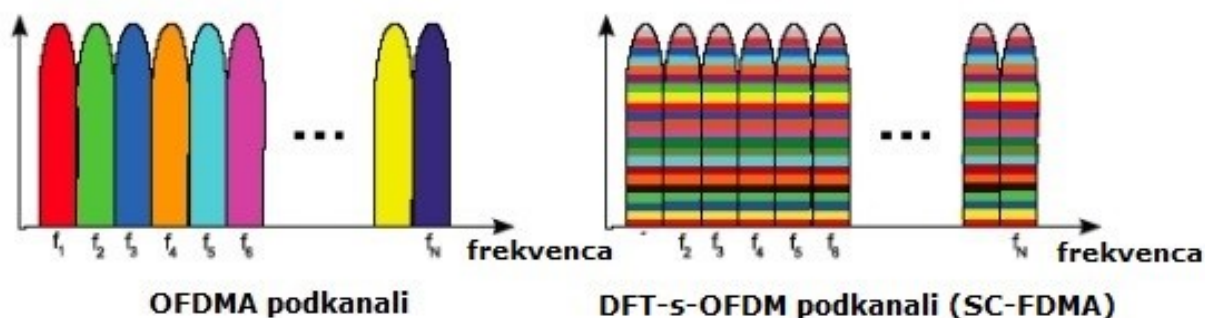


Slika 1: Arhitektura LTE-omrežja

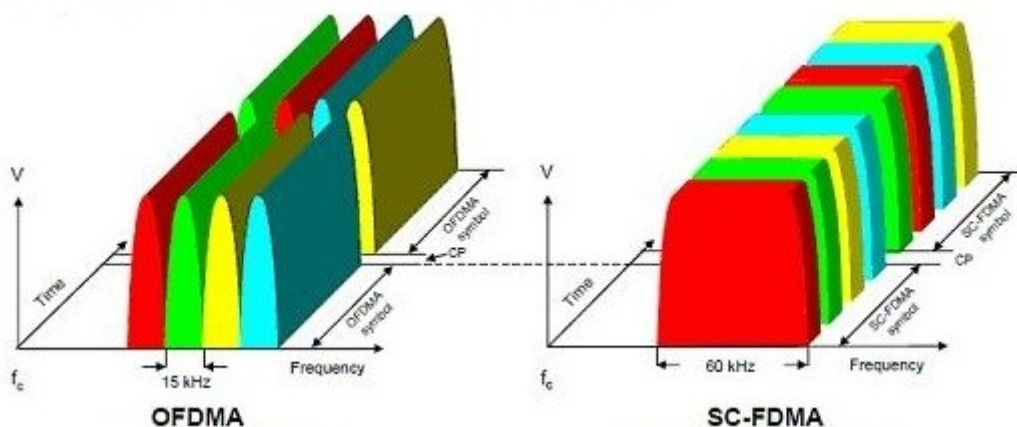
Standard LTE temelji na protokolu IP (Internet Protocol) in s tem podpira le paketni prenos, kjer se uporablja paketna komutacija (packet switching), omrežje s paketnim preklopom prenaša podatke v diskretnih enotah z bloki različnih dolžin, ki jim pravimo paketi. Se pa tu pojavi težava, ker se za govorne klice v GSM in UMTS omrežjih uporablja vodovna komutacija, komutacija, ki vzpostavi direktno fizično povezavo med uporabnikoma. Za prenos govora preko LTE-omrežja pa se je prakticiralo več možnih rešitev. Prvo rešitev, CSFB (Circuit Switched Fall Back), je standardizirala 3GPP. Pri tej rešitvi se v bistvu uporablja različne procese in omrežne elemente, da se omogoči uporaba tehnologij druge in tretje generacije (GSM, UMTS, CDMA2000), ki temeljijo na vodovni komutaciji. CSFB omogoča tudi pošiljanje SMS sporočil. SVLTE (Simultaneous Voice LTE) kot naslednja rešitev omogoča LTE-storitvam, ki se poslužujejo paketne komutacije, da delujejo hkratno z govornimi storitvami, ki uporabljajo vodovno komutacijo. SVLTE tako omogoča zmogljivosti CSFB, istočasno pa se izvajajo paketno komutirane podatkovne storitve. Pomanjkljivost te rešitve je, da se zaradi sočasne uporabe dveh različnih komutacij potrebuje uporaba dveh radijskih kanalov, kar pa ima velik vpliv na porabo baterije. Ponudnikom mobilnih komunikacij najbolj privlačna rešitev je bila VoLGA (Voice over LTE via GAN). Ponudnikom je bil privlačen namen VoLGA, z malo stroški in malo tveganja vpeljati storitve prenosa govora in SMS sporočil. Standard VoLGA bi to lahko dosegel, ker temelji na obstoječem 3GPP standardu Generic Access Network (GAN). GAN omogoča uporabnikom LTE-omrežja uporabo storitev vodovne komutacije, medtem ko prehajajo med dostopnimi omrežji (GSM, UMTS, LTE). Zadnja rešitev, ki je tudi najbolj uporabna, pa se imenuje One Voice, kasneje Voice over LTE (VoLTE). VoLTE temelji na IMS (IP Multimedia Subsystem) podsistemu, ki skrbi za internetne multimedijske storitve in pretvori glasovni klic v prenos podatkov, s čimer se izognemo uporabi vodovne komutacije in se tako uporablja le paketno preklapljanje.[5]

2.2 Radijski del omrežja E-UTRAN

Radijski del LTE-omrežja E-UTRAN (Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network) je sestavljen iz eNB, ki so med seboj povezane z vmesnikom X2 in predstavlja radijski vmesnik med mobilno enoto in jedrnim omrežjem. Za digitalno modulacijo prenosa signala po radijskem delu LTE uporabljamo E-UTRAN v smeri proti uporabniku (Downlink) OFDMA (Orthogonal Frequency-Division Multiple Access), v obratni smeri pa SC-FDMA (Single Carrier FDMA), kar je z diskretno Fourierovo transformacijo (DFT – Discrete Fourier Transform) razširjen OFDMA. [2]



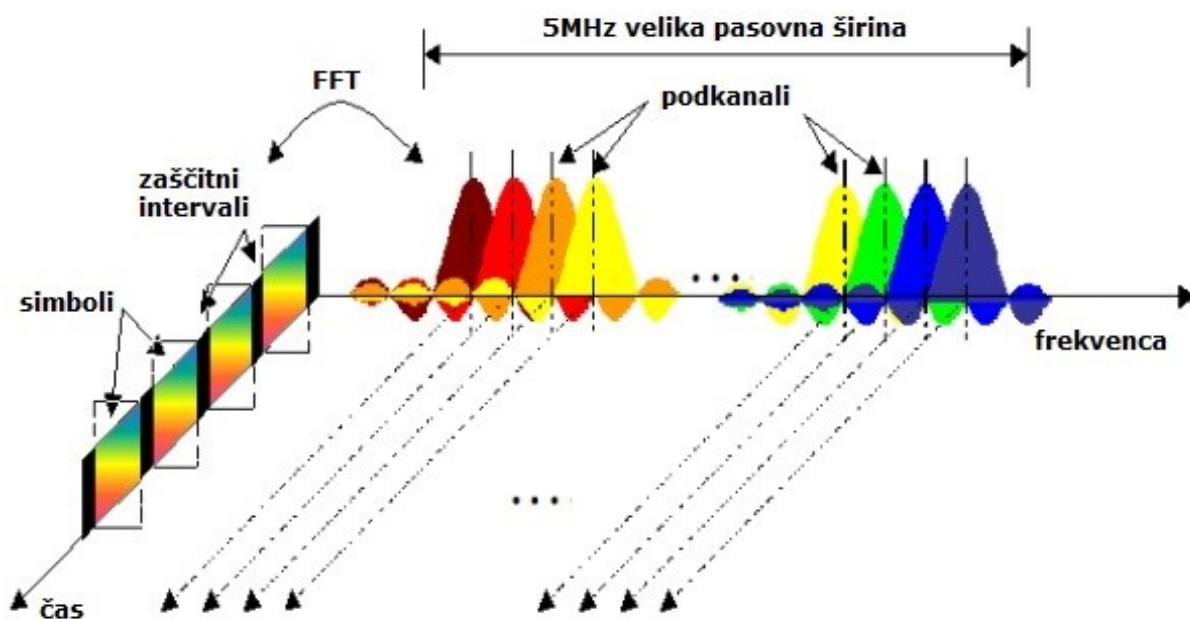
Slika 2: Signal SC-FDMA [2]



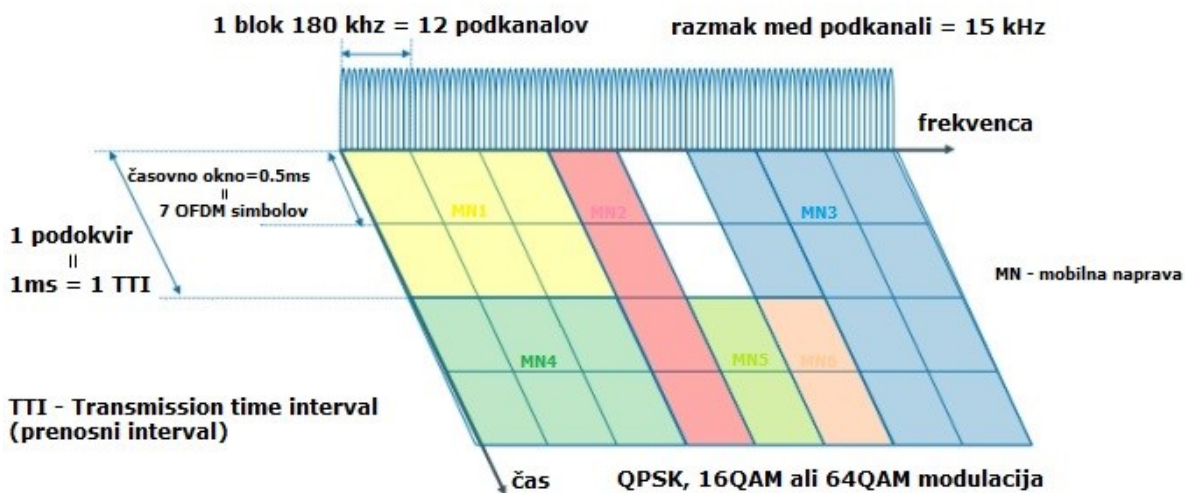
Slika 3: Modulaciji OFDMA in SC-FDMA [3]

OFDM je sestavljena iz frekvenčnega multipleksa in modulacije, deluje pa tako, da pasovno širino razdeli na več kanalov (podkanali), ki so modulirani s podatkovnim signalom različnih uporabnikov. Modulirani so z modulacijami QPSK (Quadrature Phase-Shift Keying), 16QAM (16-Quadrature Amplitude Modulation) in 64QAM (64-Quadrature Amplitude Modulation), dodani so tudi zaščitni intervali (Guard Interval), da se izognemo notranjim interferencam. Tudi pri SC-FDMA se uporabljajo iste modulacije

signala, za način generiranja signala pa je bil izbran DFT-s-OFDM (DFT-spread-OFDM). Pri tem načinu se neko število modulacijskih simbolov z uporabo DFT enake dolžine pretvori v frekvenčni prostor in se nato signal pošlje proti bazni postaji. OFDMA je bila izbrana v smeri proti uporabniku, ker dosežemo visoko spektralno učinkovitost. Za to se porabi veliko virov, kot so zmogljivi procesorji in ojačevalci, ki pa so energijsko zelo potratni, kar pa ne predstavlja problema bazni postaji, temveč zelo velikega mobilnemu telefonu in se zato uporablja v smeri od uporabnika SC-FDMA.



Slika 4: Signal OFDM [2]



Slika 5: Časovno-frekvenčni multipleks pri OFDMA [2]

Za konec pa omenimo še, da 3GPP LTE ne uvršča v četrto generacijo, ki jo je zasnovala ITU organizacija, saj po hitrosti prenosa ne zadošča kriterijem za 4G, čeprav je tehnološko dovolj napreden zanj. LTE-Advanced (LTE-A) standard, ki bo omogočal hitrost prenosa proti uporabniku do 300 Mb/s (37.5 MB/s), pa naj bi bil naslednik LTE in bo štet v 4G.

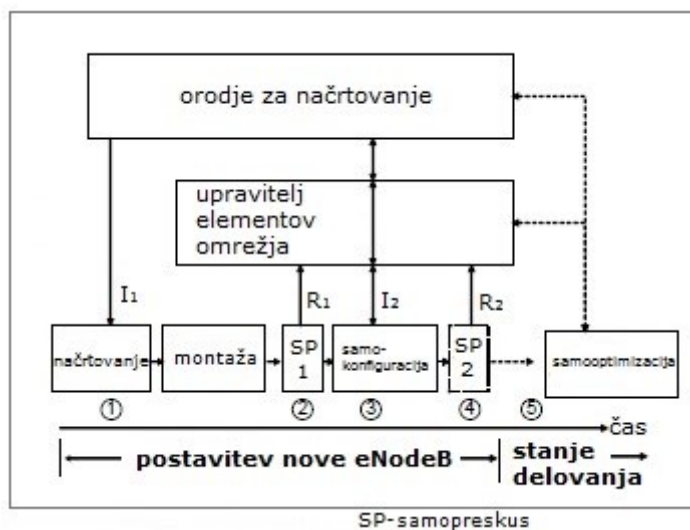
3. Samoorganizirano omrežje - SON

Samoorganizirano omrežje (Self-Organizing Network) je tehnologija, oblikovana tako, da poenostavi in pospeši načrtovanje, konfiguracijo, upravljanje, optimizacijo in odpravo napak na mobilnih radijskih omrežjih. Tehnologijo sta definirali in opredelili organizaciji 3GPP in NGMN (Next Generation Mobile Networks). Lastnosti SON-a se začnejo prvič uporabljati v LTE-omrežjih in nato tudi v ostalih starejših tehnologijah mobilnih omrežij (UMTS). Vse te lastnosti SON-omrežja omogočajo optimalno delovanje omrežja kadarkoli.

3.1. Razlogi za uvedbo SON-a

Nemalo je razlogov za uvedbo SON-a, začnši z vse večjim številom zahtevnih uporabnikov pametnih mobilnih naprav, ki porabijo veliko mobilnih podatkov. Veliko število zahtevnih uporabnikov pa pomeni tudi poudarek na zahtevi po visoki kvaliteti storitev (QoS – Quality of Service), majhni izgubi paketov (Packet loss), številu prevezav, majhen prehodni čas in tako dalje. Po vsem tem pride do zahteve po večjem številu baznih postaj, ki morajo delati optimalno druga ob drugi, pokriti čim več terena in zanesljivo delovati. Na vsaki bazni postaji pa so tudi različne tehnologije omrežij, ki morajo delovati vzporedno. Med razloge lahko uvrstimo tudi poenostavitev upravljanja in vzdrževanje omrežja za čim manjšo ceno. Med pomembne razloge pa sodi tudi zmanjšanje stroškov z zmanjšanjem posredovanja ljudi pri oblikovanju, gradnji in delovanju, kar posledično vodi do manjšega števila napak, storjenih s strani človeka.

3.2. Proces SON



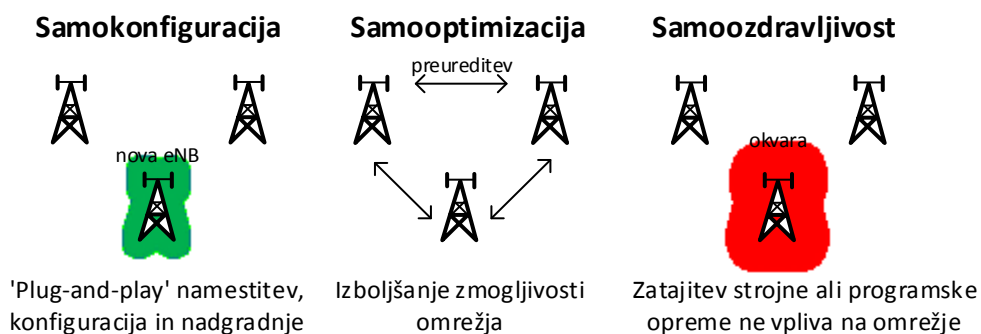
Slika 6: Potek procesa SON

- 1) Prvi korak je proces načrtovanja nove eNB (eNodeB - E-UTRAN Node B, oznaka za bazno postajo, v GSM omrežju BTS) na podlagi tega, kako močno želi, kolikšna želi biti pokritost in nato nastavitve parametrov, kot so lokacija, tip eNB, tip antene, karakteristike celice in potrebna zmogljivost.
- 2) Po fizični postavitvi eNB se začne prvi začetni samopreskus z možnim poročilom (R1) v primeru napake upravitelja elementov omrežja.
- 3) Pri samokonfiguraciji eNB zaprosi za informacije o osnovnih nastavitvah, med drugim tudi IP-naslov, preverjanje prisotnosti eNB in naložitev eNB programske opreme. Pri drugem koraku samokonfiguracije se izvede začetna radijska konfiguracija (I2), podatki so lahko preskrbljeni skozi upravitelja elementov omrežja iz orodja za načrtovanje ali kakšnega drugega samokonfigurativnega primera.
- 4) Izvede se dodatni samopreskus.
- 5) Pri zadnjem koraku, ko se namestitev konča in je eNB pripravljena na uporabo, se lahko izvede testni klic. [4]

3.3 Koraki SON

V SON-u so trije razredi ključnih funkcij:

- samokonfiguracija,
- samooptimizacija in
- samoozdravljivost.



Slika 7: Primer samokonfiguracije, samooptimizacije in samoozdravljivosti

3.3.1 Samokonfiguracija omrežja

Prva funkcionalnost SON-a je samokonfiguracija, ki stremi k uporabi vzorca 'plug-and-play', ki velja za najenostavnejšo obliko konfiguracije neke nove strojne opreme, v našem primeru gre za novo eNB. S tem načinom jo enostavno priključimo že obstoječemu omrežju, v katerega se avtomatsko integriira in nastavi ostale parametre brez človekove interakcije. Ko se nova eNB zažene in se poveže v omrežje, jo ostale sosednje eNB prepoznajo kot novo in avtomatsko prilagodijo svoje parametre (oddajna moč, poraba energije, kot anten itd.), da se ne motijo med seboj in da je izkoristek anten čim boljši.

Samokonfiguracija nove eNB vključuje več lastnosti:

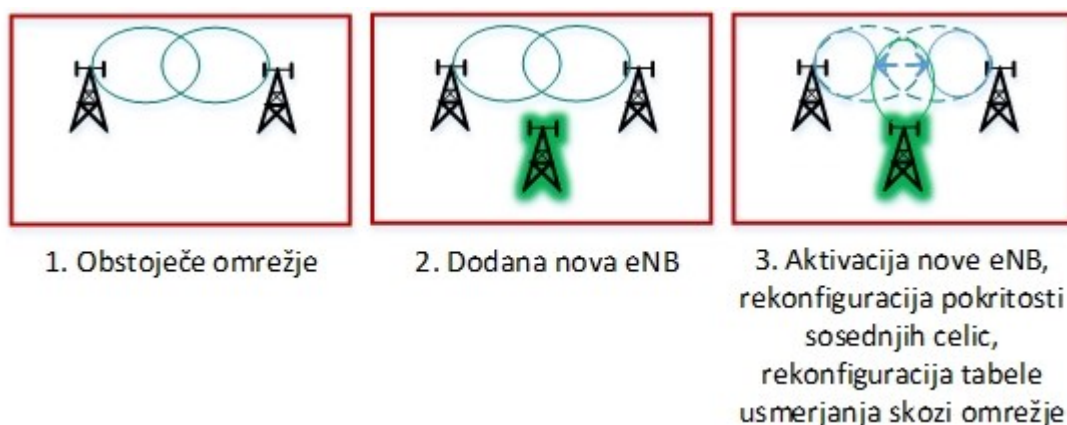
➤ Samodejna konfiguracija parametrov začetnega radijskega prenosa

Konfiguracija parametrov radijskega prenosa je zelo pomemben del v samokonfiguraciji SON-a. Te parametre nastavi eNB sama po svojih zbranih podatkih in ne samo po podatkih, ki so načrtovani, saj je lokacija ene eNB v primerjavi z drugo različna (različna oddaljenost od sosednjih eNB, drugačen relief lokacije, različen pretok prometa, ki poteka na tisti lokaciji itd.) in ker želimo čim večjo zmogljivost, je to časovno potratno. Za to se uporablja metoda, ki se imenuje Dynamic Radio Configuration (DRC), ki omogoča, da se nova eNB prilagodi trenutni topologiji radijskega omrežja, konfigurira pa identiteto celice, moč, ki jo bo oddajala, naklon anten itd.

➤ **Samodejno določanje sosedskih relacij (Automatic Neighbour Relation – ANR)**

Ena izmed najbolj zahtevnih nalog operaterja, ko postavlja nove eNB, je posodobitev razmerja med sosednjimi celicami za tekočo predajo zveze, drugače se aktivna povezava prekine, kar vpliva na kakovost storitev. Ročna posodobitev sosedskih relacij je postala še bolj zahtevna, ko se je omrežje moralo pri predaji zveze sosednji celici odločiti, ali preda zvezo v isti tehnologiji omrežja ali jo spremeni (primer: iz LTE v HSPA). V ta namen je mobilni telefon prejel spisek sosednjih celic s strani eNB/BTS in na podlagi tega spiska se je zveza ali ohranila v isti ali se je spremenila v drugo tehnologijo omrežja.

Elementi SON-a, ki zagotavljajo samokonfiguracijo, vključujejo samodejno konfiguracijo sosednjih celic, kar je možno zelo dobro avtomatizirati. To se posledično pozna na zmogljivosti omrežja, saj se ta spisek avtomatsko optimizira in posodablja, število uspešnih predaj se bo povečalo, število slabih pa upadlo, kar še dodatno razbremeni omrežje.



Slika 8: Primer samokonfiguracije: Samodejno določanje sosedskih relacij (ANR)

Samodejno upravljanje povezljivosti: Sistem samopovezljivosti omogoča možnost novi eNB, da se poveže na sistem za upravljanje domen. Nastavitev povezljivosti je sestavljena iz več faz:

Osnovna nastavitev povezljivosti: Tu nova eNB pridobi začetne IP-nastavitve, ki se jih potrebuje za vzpostavitev zaledne povezave. Začetne IP-nastavitve se lahko naknadno, po nastavitvi, zamenjajo s stalnimi IP-nastavitvami.

Začetna nastavitev varne povezave: Varnost zaledne povezave temelji na uporabi ključev. Varna komunikacija je možna le takrat, ko so ključi nastavljeni in potrjeni, šele takrat se lahko podatki začnejo prenašati.

Identifikacija: Identifikacija je potrebna, da se ve, katere nastavitvene podatke uporabiti, saj nekatere eNB potrebujejo prednastavitvene podatke.

Prenos končnih nastavitvev in prenosnih parametrov: V tej fazi se izvede prenos nastavitvev in parametrov, kot so parametri za oddajne moči, konfiguracija prometnih in signalizacijskih kanalov, relacije med sosednjimi celicami itd.

Nastavitev varne povezave: V tej fazi se prekine začetna varna povezava in se vzpostavi nova stalna varna povezava, ki lahko uporablja TLS (varnost transportnega nivoja - Transport Layer Security) ali IPsec (varnostni protokol IP - Internet Protocol Security).

Samopreskus: Samopreskus je kot del samokonfiguracije SON-a zadolžen, da zagotovi pravilno delovanje opreme, predno se storitve aktivirajo.

Samodejni inventar: Ta lastnost omogoča eNB, da prepozna svoje sposobnosti, katero strojno opremo vsebuje, nivo programske opreme, antene itd. [3]

3.3.2 Samooptimizacija omrežja

Optimizacija je potrebna za zagotovitev, da eNB, ko je enkrat postavljena, deluje kar se da optimalno z največjim izkoristkom. SON lahko analizira zmogljivost in spremeni delovanje omrežja, tako da zadovolji tako ponudnika mobilnih storitev kot uporabnika. Čeprav je bilo omrežje nastavljeno avtomatsko, se lahko njegovo delovanje spremeni, za prilagoditev tem spremembam se v omrežje vključi tehnike SON-a.

Delovanje omrežja se lahko spremeni zaradi:

Spremembe v razširjanju radijskih valov: Optimizacija omrežja SON lahko odpravi težave pri spremembi razširjanja radijskih valov anten. Take težave se lahko pojavijo na primer, ko se v bližini eNB zgradi stolpnica ali obratno, se poruši, že samo na novo zraslo listje na drevesih spomladi povzroči problem razširjanja radijskih valov.

Spremembe v vzorcu prometa: Do te spremembe lahko pride pri povečanju uporabnikov, kot na primer povečanje populacije v celici eNB ali kakšen večdnevni dogodek (koncert ...), kar vodi do nadaljnje optimizacije eNB.

Spremembe v razporeditvi: Postavitev nove eNB je lahko vzrok te spremembe ali optimizacija sosednje eNB, kar vpliva na njene značilnosti.

Vse te spremembe pomenijo, da je treba za pridobitev optimalne zmogljivosti omrežje redno optimizirati. Samooptimizacija omrežja se izvaja na sledečih področjih:

Optimizacija robustnosti mobilnosti

Ta funkcionalnost je ena izmed rutin SON-a, ki omogoča robustnost mobilnosti in predaje zvez znotraj omrežja in cilja na:

- Zmanjšanje deleža zavrženih klicev, ki najpogosteje botruje nezadovoljstvu uporabnikov, zato je ključnega pomena ta delež zmanjšati, da se izboljša kvaliteta omrežja.
- Zmanjšanje nepotrebnih predaj zvez: Nepotrebne predaje zvez vodijo k neučinkoviti porabi omrežnih virov in povečanemu številu zavrženih klicev. Največkrat pride do nepotrebnih predaj zveze pri »ping-pong« pojavu, ki nastane, ko je uporabnik na meji med dvema celicama in pride do predaje zveze med dvema celicama že pri majhni razliki položaja.
- Zmanjšanje problemov stanja pripravljenosti: Ko se prenosna enota zbudi iz stanja pripravljenosti, je potrebna čim hitrejša vzpostavitev povezave.
- Zmanjšanje neuspešnih radijskih povezav: Neuspešne radijske povezave so pojav, do katerega pride kljub temu, da imamo dobro pokritost in zato moramo zagotoviti hitro ponovno vzpostavitev povezave.

Največji problem povzroča menjava celice, do katere pride glede na moč signala. Ker je to največji problem, ki vpliva na robustnost mobilnosti, ga je treba razdeliti na dva tipa predaje zveze med celicama tudi zato, da se bolje razume delovanje in rešitev:

- **Znotrajfrekvenčna predaja (Intra-frequency handover)**

Ta oblika predaje nastane med dvema celicama, ki uporabljata nosilec z isto frekvenco. Do predaje pride takrat, ko je moč signala nove celice večja od obstoječe in ker uporabljata nosilec z isto frekvenco, je mobilni enoti lažje nadzorovati moč signala sosednje in obstoječe celice. To je posebej pomembno pri velikih celicah, kjer je lahko prekrivanje celic majhno, zato je potrebno hitro posredovanje, da se povezava ne prekine, čeprav lahko to vodi do več predaj na meji celic.

- **Medfrekvenčna predaja (Inter-frequency handover)**

Ta oblika pa nastane, ko je frekvenca nosilca različna, kar otežkoči nadzorovanje moči kanalov. Ker mora mobilna enota nadzorovati več kanalov, je zaradi tega manj problemov z interferenco, še posebej na meji med celicami. Tudi tu je potrebno hitro ukrepanje, da se zagotovi predaja še predno gre mobilna enota izven pokritosti trenutne celice. Ker medfrekvenčne predaje manj podležejo interferenci, je tu malo več časa za ukrepanje.

Ti obliki predaje zvez med celicami nam dajo nek vpogled v probleme, ki se lahko pojavijo s predajanjem. Da bi se število teh problemov zmanjšalo, samooptimizacijski procesi SON-a podajajo številne možnosti, ki lahko zmanjšajo probleme predaj:

- Samooptimizacija kot rešitev bi mogla bolje optimizirati meje celice, da dobi boljšo predstavo, kje so meje, in tako omeji »ping-pong« pojav.
- Izvede optimizacijo celičnih mej pogosteje, da se prilagodi raznim spremembam, ki se lahko pojavijo, od dodajanja novih celic, spremembi števila uporabnikov na celici, pojava ali odstranitvi ovir na poti razširjanja radijskih valov itd.
- Izboljšava merilnih zmogljivosti in statističnih analiz samooptimizacije rešitve v povezavi s predajo zvez z namenom bolj natančnih odločitev.

Uravnavanje obremenitve in upravljanje s prometom

Cilj elementov optimizacije uravnavanja obremenitve SON-a je razbremeniti določene celice, ki so bolj obremenjene kot ostale, z uporabo metod, ki omogočajo neopazno rešitev za uporabnika, in še vedno ohranjati investicijo ponudnika na razumni ravni. Ker uporaba prenosa podatkov narašča iz dneva v dan, je upravljanje s prenosom podatkov ključni element samooptimizacije SON-a. Vendar upravljanje s prenosom podatkov, uravnavanje obremenitve in krmiljenje prometa zahtevajo napredno in zelo zahtevno delovanje, saj se izvajajo zelo zapletene odločitve za optimalne rešitve za kakršenkoli primer. Ključna procesa programa za uravnavanje obremenitev in upravljanje s prometom sta:

- Da bi se podatkovni promet izravnal po celotnem omrežju in bi s tem preprečili obremenitev celic, bi morala optimizacija SON-a preusmeriti promet iz bolj obremenjenih celic v manj obremenjene sosednje celice znotraj omejitev dosega pokritosti in interferenc.
- Samooptimizacijski program bi moral biti sposoben zaznati znake premikanja mobilne naprave in s tem zagotoviti optimalno delovanje, ker bi s tem preprečil, da se mobilna naprava, ki se premika, ne bi predala manjšim celicam, ampak večjim celicam z večjo pokritostjo s signalom in bi se tako izognili več predajam zvez.

Varčevanje z energijo

Z vse bolj popularno zeleno energijo in ceno energije je postalo varčevanje z energijo ena izmed glavnih lastnosti optimizacije SON-a. Zmanjšanje emisij ogljikovega dioksida ter prihrank pri stroških zaradi zmanjšanja porabe energije sta glavna spodbujevalca varčevanja z energijo.

Varčevanje z energijo je doseženo tako pri mobilni enoti kot znotraj omrežja, seveda sta uporabljeni povsem drugačni strategiji pri obeh, vendar je temeljna zamisel podobna.

Kar se tiče optimizacije SON-a, se največ energije prihrani na eNB. Da privarčujemo pri energiji, nam ni treba dodajati nekih novih funkcij v omrežje, lahko privarčujemo že čez noč, ko promet upade, so pa tudi druge možnosti, ki lahko doprinesejo k prihranku energije:

- **Zmanjšanje aktivnih nosilcev med časom majhnega prometa:** Marsikatera eNB oddaja določeno število nosilcev, da zadovolji potrebe podatkovnih kapacitet. Med časom majhnega prometa se lahko število nosilcev, ki so aktivni, zmanjša, kar posledično zmanjša tudi porabo energije.
- **Stanje mirovanja:** Na določenih lokacijah je možno preklopiti eNB v stanje pripravljenosti in povečati pokritost drugih sosednjih eNB. Primer lokacije so poslovna področja (industrijske cone), kjer se lahko zgodi, da prometa čez noč in vikende sploh ni. Moramo pa biti pozorni na to, da ne bi s tem, ko bi preklopili eNB v stanje pripravljenosti, naredili luknje v pokritost s signalom, kar bi lahko povzročilo nezadovoljstvo med uporabniki na tisti lokaciji. Stanje pripravljenosti mora biti stanje, s katerega se eNB hitro vzpostavi in je pripravljena za promet.



Slika 9: Primer samooptimizacije: Stanje mirovanja

- **Lokalna proizvodnja energije:** Medtem ko večina eNB porablja energijo iz električnega omrežja, je možno na določenih lokacijah uporabiti kot edini vir energije obnovljivi vir energije, kot so sončne celice, izkoriščanje vetra itd. Za kakšne eNB pa pridobivanje energije iz obnovljivih virov predstavlja tudi edino pridobivanje energije, kot so na primer eNB na lokacijah, kjer električnega omrežja sploh ni (gore, hribi itd.). Slaba lastnost pridobivanja električne energije s pomočjo obnovljivih virov pa je cena.



Slika 10: Bazna postaja, ki uporablja energijo vetra in sonca kot obnovljiv vir energije [4]

Optimizacija pokritosti in zmogljivosti

Zamisel tega elementa samooptimizacije SON-a je prilagoditi parametre, kot so naklon antene, moč oddajnika in povečanje pokritosti s signalom ter istočasno optimizirati zmogljivost z zagotavljanjem, da je nivo interference znotraj celice minimalen.

Optimizacija pokritosti in zmogljivosti (CCO – Coverage and Capacity Optimization) lahko poskrbi za precejšnje prednosti, čeprav je zelo časovno in denarno potratno za ročno upravljanje, dosežena pa je lahko z:

- **Prilagoditev parametrov antene**

Da lahko CCO nastavlja parametre antene, je potrebna antena z oddaljenim električnim naklonom (RET-antena – Remote Electrical Tilt antenna). Za razliko od prejšnjih generacij baznih postaj, kjer so se antene lahko nastavljale le ročno, je zdaj možno nastavljati antene električno. V glavnem gre za nastavljanje naklona, s premikanjem navzgor razširimo mejo celice, vendar moramo paziti, da je pokritost s signalom blizu stolpa z anteno. Sam naklon antene je treba skrbno izbrati, če je naklon premajhen, bodo meje celice blizu eNB in ne bodo mejile na ostale sosednje celice, tako kot bi bilo potrebno, kar posledično vpliva na pojav lukenj v pokritosti in težav pri predaji zvez. Če je naklon antene prevelik, pa pokritost sega čez meje sosednjih celic in pride do interferenc, če celice uporabljajo iste kanale. Tako

mora samooptimizacija ustrezno nastaviti pravilen naklon antene za najbolj optimalno delovanje. [5]



Slika 11: Dvojna antena (dva frekvenčna posova), ki ji je mogoče spreminjati naklon (RET-antena) [5]

- **Prilagoditev parametrov nivoja moči**

Poleg najbolj očitne rešitve z nastavitvami antene je mogoče optimizacijo in prilagoditev uporabiti tudi pri moči. Optimizacija nivoja oddajne moči je bolj zahtevna kot optimizacija antene. Tu se lahko pojavijo težave z obnašanjem ojačevalnikov ali težave z vzajemnostjo mobilne naprave, kar pomeni, da če povečamo oddajno moč na eNB in tako povečamo doseg, kjer lahko mobilna naprava še prejema signal, ni pa možno dovolj povečati moči mobilne naprave, še posebej, če že uporablja maksimalno moč in je že na meji celice.

Optimizacija kanala z naključnim dostopom

Kanal z naključnim dostopom (Random Access Channel – RACH) porablja dragocene vire, je potreben element za dostop in zato je treba najti ravnotežje med dodeljenimi viri, zadostnimi za omogočanje dostopa, ter žrtvovanjem zmogljivosti in porabljenimi viri. RACH je treba nastaviti zelo natančno, tako da skrbi za dovolj veliko število možnosti naključnega dostopa mobilnih naprav znotraj celice. Se pravi, večje kot je število mobilnih naprav, večje bo potrebno število možnosti naključnega dostopa. Avtomatsko nastavljanje RACH-a potrebuje stalno optimizacijo omrežja, da zadovolji spremenljivim razmeram, za doseg tega se uporabljata dva ločena samooptimizacijska mehanizma:

- **Poročanje mobilne naprave**

Tu se uporablja rutina s povratno informacijo. Mobilna naprava sporoči število MAC sinhronizacijskih znakov še predno je bil dostop RACH uspešno zaključen. Če je prišlo do kakšnih zaznanih izgub, se te tudi prijavi.

- **Izmenjava podatkov znotraj bazne postaje**

Izmenjava informacij med eNB kot delom samooptimizacije omrežja za RACH je potrebna, ker imajo lahko nastavitve RACH vpliv na ostale celice. Za prenos informacije med eNB v razvitem paketnem sistemu (Evolved Packet System – EPS) se uporablja X2 vmesnik.

Samooptimizacija omrežja vsebuje veliko postopkov, da zagotavlja celotno funkcionalnost. Čeprav samooptimizacijska omrežja zagotavljajo veliko pridobitev in zmogljivost, rutine, ki jih uporabljajo, niso preproste in tako posledično izvedba samooptimizacije SON-a predstavlja velik vložek operaterja. [3]

3.3.3 Samoozdravljivost omrežja

Dandanes so mobilna omrežja gromozanska in zelo zapletena, tako da ni nobeno presenečenje, če se kdaj zgodi kakšna napaka ali kaj odpove, zato se potreba po lastnosti samoozdravljivosti omrežja povečuje. Samoozdravljivost SON-a omogoča detekcijo napake in njeno odpravo, medtem ko naj bi bilo vse to skrito uporabniku.

Na vseh področjih celičnih omrežij lahko pride do napak, vendar je najbolj kritično področje radijsko dostopovno omrežje (Radio Access Network – RAN), del vsake eNB. Če se napaka pojavi na tem delu, uporabnik, ki se nahaja na lokaciji, ki jo pokriva okvarjena eNB, ne bo mogel dostopati do željenih vsebin, ki mu jih nudi operater, kar vpliva na izgubo dohodka in potencialno izgubo stranke.

Funkcije samoozdravljivosti omrežja:

- **Samoozdravljivost programske opreme** – zmožnost, da se programska oprema v primeru napake zažene v starejši verziji.
- **Samoozdravljivost napak na strojni opremi** – največkrat se tu pojavi napaka na vezjih, ki jih je mogoče zamenjati.
- **Detekcija izpada celice** – zmožnost detekcije okvare celice na daljavo.
- **Vzpostavitev izpadle celice** – zmožnost pomoči pri vzpostavitvi okvarjene celice vključuje detekcijo, diagnostiko napake in seveda avtomatsko odpravo napake skupaj s poročilom napake in rešitve.
- **Nadomestilo izpadle celice** – zmožnost zagotavljanja dostopa do vsebin uporabnikom, medtem ko se, skrito uporabnikom, celica, v kateri je prišlo do napake, popravlja (več v spodnji alineji).

- **Povratek iz nadomestila izpadle celice** – takoj, ko se okvarjena celica postavi in je pripravljena za uporabo, se vse vrne v prvotno stanje pred okvaro.

Da se vse te funkcije izvedejo, je treba v omrežje vpeljati več elementov, ki zaznajo in upravljajo z napakami, ki se pojavijo. Odprava napak pa se poslužuje raznih metod, kot je vgrajen preizkuševalec in nadzorovanje rešitev, kot tudi napredno zbiranje podatkov in analiz. Z uporabo teh metod samoozdravljivega omrežja se lahko problem prepozna in tudi uspešno odpravi, zmanjša pa se tudi čas vpliva problema na omrežje.

Degradacija celice

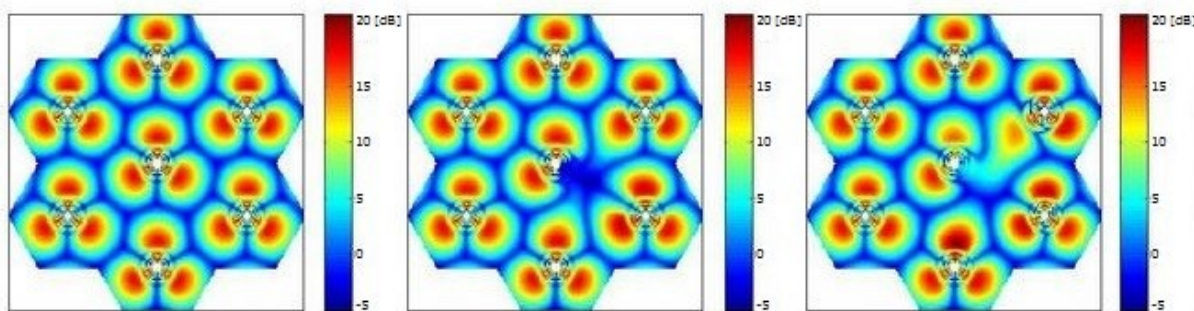
Zaznava in upravljanje degradacije celice igra veliko vlogo funkcije samoozdravljenja omrežja celice. Prvi korak samoozdravljenja omrežja je detekcija napake. Če ne poznamo napake, je nemogoče kakorkoli ukrepati. Ko spremljamo zmogljivost eNB, je treba imeti na voljo meritve ključnih indikatorjev zmogljivosti (Key Performance Indicator – KPI). Medtem ko se nadzoruje razne parametre, kot so oddajna moč in ostale ključne parametre eNB, je treba nadzorovati tudi KPI-je, ki sestavljajo dejansko zmogljivost samega omrežja, ker lahko s tem opazimo kakšen širši problem.

Ko je napaka odkrita, se vključi alarm v delovnem, upravnem in upravljalnem centru, kjer se začnejo tako avtomatski kot ročni ukrepi za odpravo napake.

Sprožitev alarma lahko nastavimo za napake na strojni opremi in programske opremi znotraj celice ali ko KPI širšega omrežja prestopi prag še sprejemljivih omejitev. Ena izmed ključnih težav sistema za odkritje napake je nastavitev mej za še sprejemljive zmogljivosti. Če se nastavi preobširno, se zna zgoditi, da se napake ne bo odkrilo, v primeru, da nastavimo preozko, se nam zna zgoditi, da bomo dobivali lažne alarme. Nobena od teh dveh možnosti ni sprejemljiva, zato bo potrebna optimizacija nastavitve mej.

Nadomestilo izpadle celice

En izmed ključnih elementov samoozdravljenja omrežja je nadomestilo celice, ki je okvarjena. Pri tem je pomembno, da se celotno omrežje odzove zelo hitro, se napako odkrije in se začne postopek nadomestila izpadle celice. Ker vse to poteka zelo hitro, se mora ves postopek izvesti avtomatsko. Takoj po odkritju napake bo eNB poskušala najti rešitev, da ublaži zadevo, ne glede na to, kaj je napaka. Če to ne bo možno zaradi popolne zatajitve celice, bodo pokritost mogle pokriti sosednje celice. Za odpravo napake se uporablja podobna rešitev kot za optimizacijo pokritosti in zmožnosti, se pravi sprememba naklona anten in povečava oddajne moči eNB.

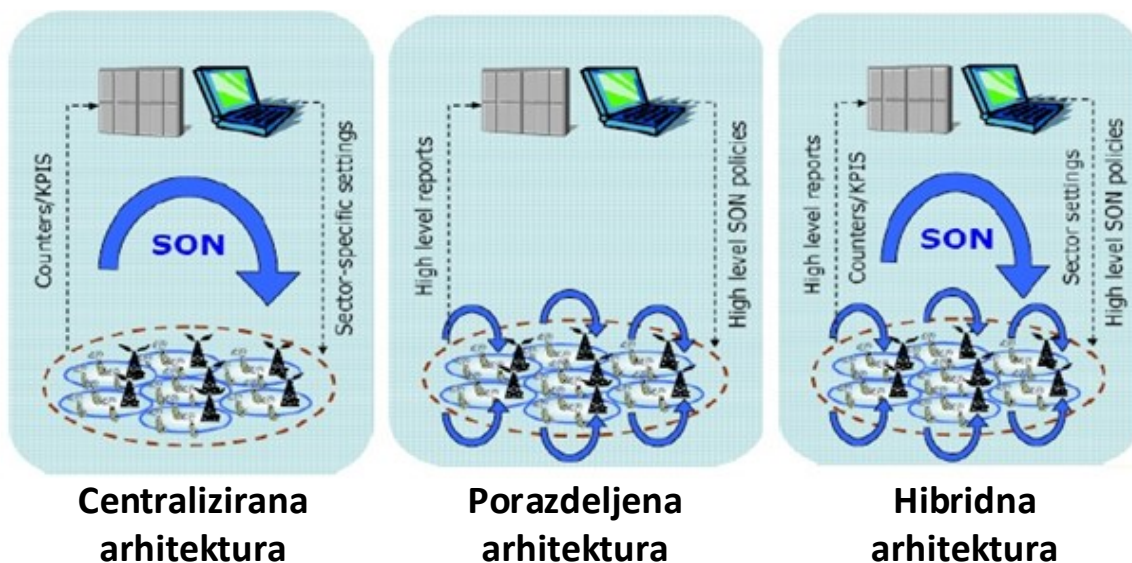


Slika 12: Prikaz izpadle celice in kako samozdravljivo omrežje odpravi težavo [6]

Celična tehnologija samozdravljivosti omrežja se uporablja za ublažitev vpliva izpadle celice ali katere druge napake na omrežje. Ko se napaka pojavi, je pomembno, da se začne njena odprava kar se da hitro, saj je s tem manjši vpliv na zmogljivost omrežja, vse dokler se omrežje ne vrne v stanje pred napako.

3.4 Arhitekture SON-a

Obstajajo tri glavne arhitekture delovanja SON-a: porazdeljena, centralizirana in hibridna arhitektura. Različne funkcije SON-a se lahko izvajajo z različnimi arhitekturami v istem omrežju.



Slika 13: Primeri arhitektur SON-a [7]

3.4.1 Centralizirana arhitektura

V centralizirani arhitekturi SON-a se algoritmi izvajajo v sloju upravljanja omrežja (Network Management Layer – NML). Ukazi, prošnje in podatki nastavljenih parametrov potujejo iz NML v omrežne elemente, medtem ko tečejo podatki meritev in poročila v nasprotno smer. Glavna dobra stvar takega pristopa je

ta, da lahko algoritmi SON-a prevzamejo informacije iz vseh sestavnih delov omrežja in jih upoštevajo pri kasnejši skupni optimizaciji vseh funkcij centraliziranega SON-a in tako globalno optimizirajo omrežje. Ena izmed prednosti te arhitekture pa je tudi odpornost na nestabilnost omrežja, ki ga lahko povzroči skupno delovanje funkcij SON-a z nasprotnimi cilji in ker se nadzor vseh funkcij SON-a izvaja centralizirano, se jih lahko uskladi. Naslednja prednost je, da je možna uporaba rešitev SON-a različnih ponudnikov (Huawei, NSN itd.), ker je možno razne funkcionalnosti dodajati v NML in ne v omrežnih elementih, kjer so že potrebne specifične rešitve ponudnikov.

Slabe lastnosti centralizirane arhitekture SON-a so:

- Dolg odziven čas: Dolg odziven čas omejuje hitrost prilagajanja omrežja na spremembe, kar lahko celo povzroči nestabilnost omrežja.
- Povečan promet na hrbteničnem omrežju: Promet se poveča, ker se podatki meritev pošiljajo iz omrežnih elementov v sistem upravljanja omrežja, ukazi pa v nasprotno smer. Če dodajamo celice k omrežju, bo promet še večji, posebno še, če so dodane piko ali femto celice.
- Skupna točka odpovedi (single point of failure): Če odpove kakšen kritičen del, odpove cel sistem.
- Povečana procesorska moč.

3.4.2 Porazdeljena arhitektura

V porazdeljeni arhitekturi SON-a se algoritmi izvajajo v omrežnih vozliščih in ta si med seboj izmenjujejo sporočila, ki vsebujejo podatke v zvezi s SON. Taka arhitektura omogoča bolj dinamično izvajanje funkcij SON-a kot centralizirana in se tako lahko hitreje prilagodi na spremembe v omrežju, kot je na primer dodajanje novih celic k omrežju, kar pa zanjo ne predstavlja posebne težave.

Glavna slaba lastnost porazdeljene arhitekture je, da skupek vseh opravljenih optimizacij na celičnem sloju ne predstavlja nujno najboljših rešitev za celotno omrežje, ker je posledično težko zagotoviti stabilnost omrežja. Naslednja slaba lastnost pa predstavlja izvajanje funkcij v omrežnih elementih, kar pomeni, da so rešitve SON-a omejene na ponudnika, ki smo si ga izbrali, in tu rešitve ostalih ponudnikov odpadejo.

Čeprav se algoritmi izvajajo v omrežnih elementih, ima sistem upravljanja omrežja moč nadzorovati obnašanje funkcij SON-a, kot je na primer nastavljanje merila optimizacij, sprejemanje poročil in moč ugasniti, če je to potrebno.

3.4.3 Hibridna arhitektura

Pri hibridni arhitekturi SON-a se del algoritmov izvaja na NML, drugi del pa na omrežnih elementih, kar predstavlja kombinacijo centralizirane in porazdeljene arhitekture, kombinacijo centraliziranega usklajevanja SON-funkcij in zmožnost hitrega odziva na spremembe v omrežju.

Na žalost se z dobrimi lastnostmi obeh arhitektur dobi tudi slabe. Pretok podatkov v zvezi s SON v hrbteničnem omrežju bo sorazmeren številu omrežnih elementov v omrežju, podobno velja za procesorsko moč v NML. Ker se del algoritmov izvaja v omrežnih elementih in je vmesnik med centraliziranimi in porazdeljenimi funkcijami SON-a lastniški, se rešitve ostalih ponudnikov ne bodo mogle uporabljati.

Je pa treba omeniti, da beseda »hibridna« arhitektura ni točno določena in jo vsak ponudnik predstavlja drugače.

Centralizirana arhitektura SON-a omogoča operaterju več nadzora nad omrežjem, ker so vse informacije in ves nadzor dostopni na NML-ju. Problem nastane z obvladovanjem, ko se začne dodajati več celic v omrežje, težavo pa predstavlja tudi tveganje izpada omrežja zaradi problematike centraliziranega sistema upravljanja omrežja.

Hibridne rešitve SON-a imajo tudi pomanjkljivost v zvezi z razširljivostjo in ene same točke odpovedi kot centralizirana arhitektura. Ker pa lahko algoritme različno razdelimo med centralizirane in porazdeljene komponente, je pomanjkljivost manjša, a obremenimo hrbtenično omrežje. Ne glede na to, kako je lahko promet v hrbteničnem omrežju majhen in odpravimo pomanjkljivost v zvezi z razširljivostjo, algoritmi ne bodo delovali, če povezava do centralizirane komponente ali če sama centralizirana komponenta odpove. Tako je odpoved v eni sami točki neizogiben problem v tej arhitekturi.

Porazdeljena arhitektura SON-a nima težav z razširljivostjo ali kritično točko odpovedi. Res, da operater nima istega nadzora nad funkcijami SON-a, kot ga ima v centralizirani arhitekturi, vendar sam nadzor in upravljanje funkcij posredno, preko nastavitve parametrov, zadostuje. Predstavlja pa večji izziv usklajevanje različnih funkcij, po možnosti še z nasprotujočim ciljem. Nezmožnost uporabe rešitev različnega ponudnika pri porazdeljeni in hibridni arhitekturi ne igra velike vloge kot pomanjkljivost, saj je skoraj boljše, da so SON-rešitve od samo enega dobavitelja. Če te zatajijo, operater ve, na koga se mora obrniti.

Po primerjavi prednosti in slabosti vseh treh arhitektur se za prihodnost zdi porazdeljena arhitektura najprimernejša odločitev. Da se bo v prihodnosti zadostilo potrebam zmogljivosti omrežja, bo število

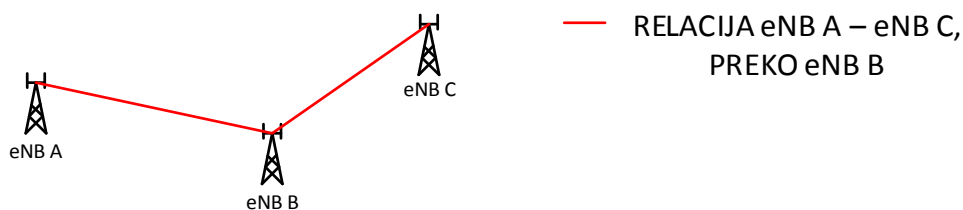
celic (macro, micro, pico, femto itd.) le še naraščalo in ker so mobilna omrežja vsakič bolj zapletena, je pomembno imeti arhitekturo, ki minimizira možnost napak, ki bi vplivale na delovanje omrežja.

3.5. Pridobitve z uvedbo SON-a

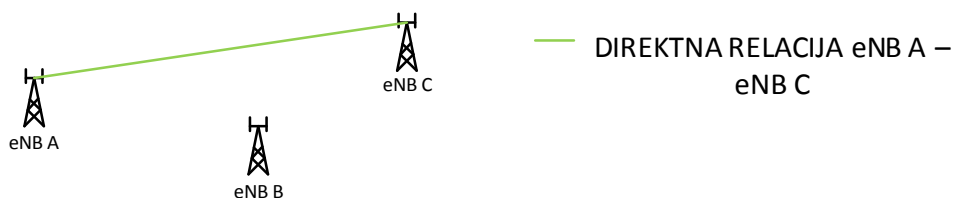
Z uvedbo funkcij samoorganiziranega omrežja v LTE sistem opazno zmanjšamo čas in stroške postavitve nove bazne postaje, kar predstavlja dobrodošlo stvar za ponudnike mobilnih komunikacij. Ponudnikom mobilnih komunikacij SON zmanjša CAPEX, kar ponavadi igra veliko vlogo pri odločitvi ponudnikov o tem ali bodo svoje omrežje nadgradili z novejšo tehnologijo mobilnih sistemov ali nadgradnja za njih predstavlja prevelik finančni zalogaj. SON zmanjša število poseganj v nadzor, optimiziranje, analiziranje in odpravljanja napak s strani človeka. Torej je večina stvari storjena avtomatsko, kar posledično pomeni manj zaposlenih ljudi. Manjše število zaposlenih pa za ponudnika mobilnih komunikacij pomeni zmanjšan OPEX, saj SON skoraj sam skrbi za brezhibno delovanje neke mobilne tehnologije, kot je pri nas LTE. S funkcijami SON-a pa mobilno omrežje optimiziramo kolikor se da, tako da je zmogljivost čim večja. S povečano zmogljivostjo omrežja pa posredno pozitivno vplivamo na uporabniško izkušnjo, ki je en izmed glavnih ciljev ponudnika.

4. Praktičen primer uporabe SON-a

Za praktičen primer uporabe SON-a si bomo ogledali, kako je ta pripomogel razbremeniti omrežje pri poljubno izbrani bazni postaji. SON je v našem primeru, v časovnem obdobju 13 mesecev, pomagal razbremeniti omrežje tako, da je odstranjeval relacije s celicami, na katerih ni bilo veliko prometa in se mu povezava s celico ni zdela nujno potrebna glede na velikost prometa. V obdobju 13 mesecev pa je SON dodajal relacije s celicami, na katerih se je promet mobilnih storitev povečal. Povečan promet preko drugih baznih postaj bi pomenil le obremenitev omrežja. Da bi se temu izognili, je SON izpustil posrednika (vmesno bazno postajo) in se na celico, s katero je imela opazovana celica veliko prometa, povezal direktno, seveda če je bilo to mogoče.



Slika 14: Primer relacije eNB A–eNB C preko eNB B



Slika 15: Primer relacije eNB A–eNB C brez posrednih baznih postaj

Relacije opazovane bazne postaje nek slovenski ponudnik mobilnih komunikacij opazuje s pomočjo internega programa, ki so ga razvili pri ponudniku zaposleni inženirji z namenom lažjega opazovanja bazne postaje.

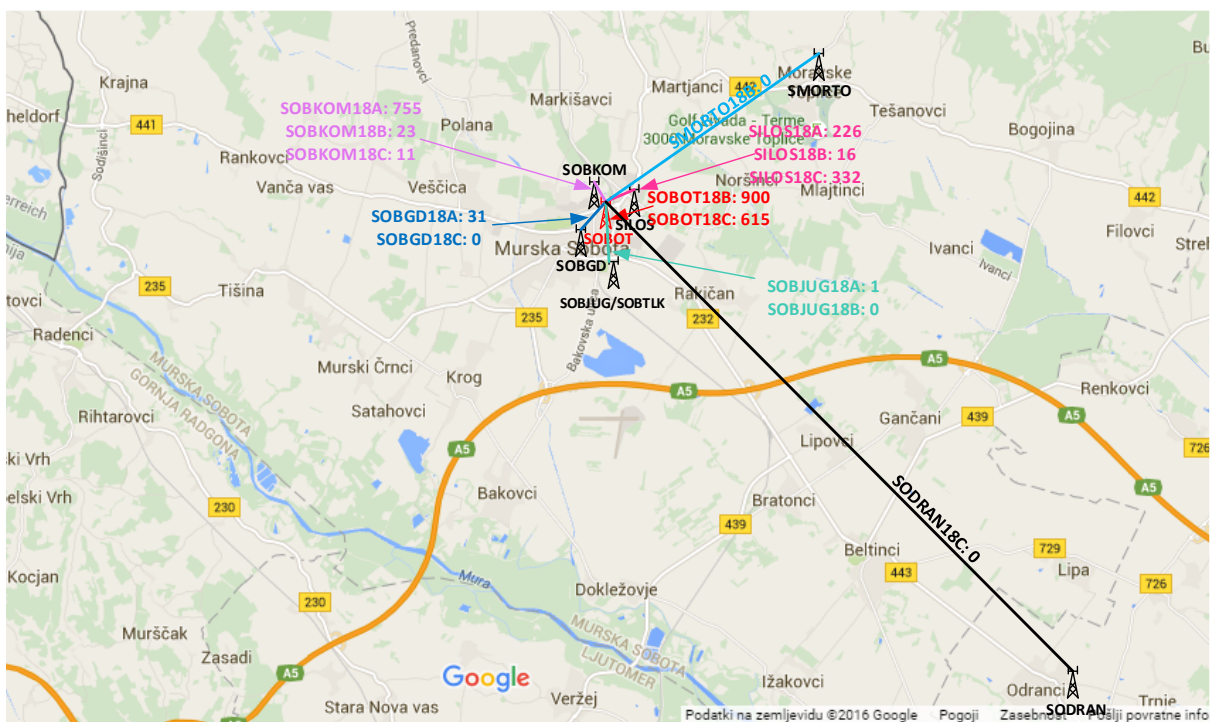
Obrazložitev zapisa: datum.lho: CelicaX-CelicaY število_procedur_na_relaciji

CELICA A	CELICA B	CELICA C
150101.lho:SOBOT18A-SILOS18A 226	150101.lho:SOBOT18B-SILOS18A 42	150101.lho:SOBOT18C-SILOS18A 2
150101.lho:SOBOT18A-SILOS18B 16	150101.lho:SOBOT18B-SILOS18B 121	150101.lho:SOBOT18C-SILOS18B 4
150101.lho:SOBOT18A-SILOS18C 332	150101.lho:SOBOT18B-SILOS18C 288	150101.lho:SOBOT18C-SILOS18C 2
150101.lho:SOBOT18A-SMORTO18B 0	150101.lho:SOBOT18B-SMORTO18C 0	150101.lho:SOBOT18C-SOBGD18A 196
150101.lho:SOBOT18A-SOBGD18A 31	150101.lho:SOBOT18B-SOBGD18A 649	150101.lho:SOBOT18C-SOBGD18B 13
150101.lho:SOBOT18A-SOBGD18C 0	150101.lho:SOBOT18B-SOBGD18B 1	150101.lho:SOBOT18C-SOBGD18C 288
150101.lho:SOBOT18A-SOBJUG18A 1	150101.lho:SOBOT18B-SOBGD18C 2	150101.lho:SOBOT18C-SOBJUG18A 11
150101.lho:SOBOT18A-SOBJUG18B 0	150101.lho:SOBOT18B-SOBJUG18A 64	150101.lho:SOBOT18C-SOBJUG18B 6
150101.lho:SOBOT18A-SOBKOM18A 755	150101.lho:SOBOT18B-SOBJUG18B 30	150101.lho:SOBOT18C-SOBJUG18C 1
150101.lho:SOBOT18A-SOBKOM18B 23	150101.lho:SOBOT18B-SOBJUG18C 0	150101.lho:SOBOT18C-SOBKOM18A 26
150101.lho:SOBOT18A-SOBKOM18C 11	150101.lho:SOBOT18B-SOBKOM18A 387	150101.lho:SOBOT18C-SOBKOM18B 217
150101.lho:SOBOT18A-SOBOT18B 900	150101.lho:SOBOT18B-SOBKOM18B 26	150101.lho:SOBOT18C-SOBKOM18C 5
150101.lho:SOBOT18A-SOBOT18C 615	150101.lho:SOBOT18B-SOBKOM18C 0	150101.lho:SOBOT18C-SOBOT18A 629
150101.lho:SOBOT18A-SODRAN18C 0	150101.lho:SOBOT18B-SOBOT18A 862	150101.lho:SOBOT18C-SOBOT18B 1221
	150101.lho:SOBOT18B-SOBOT18C 1237	150101.lho:SOBOT18C-SODRAN18C 0
	150101.lho:SOBOT18B-SODRAN18C 1	150101.lho:SOBOT18C-SVIDEM18C 0

Tabela 1: Zapis relacij s številom procedur nekega programa, ki ga uporablja ponudnik za nadzor baznih postaj

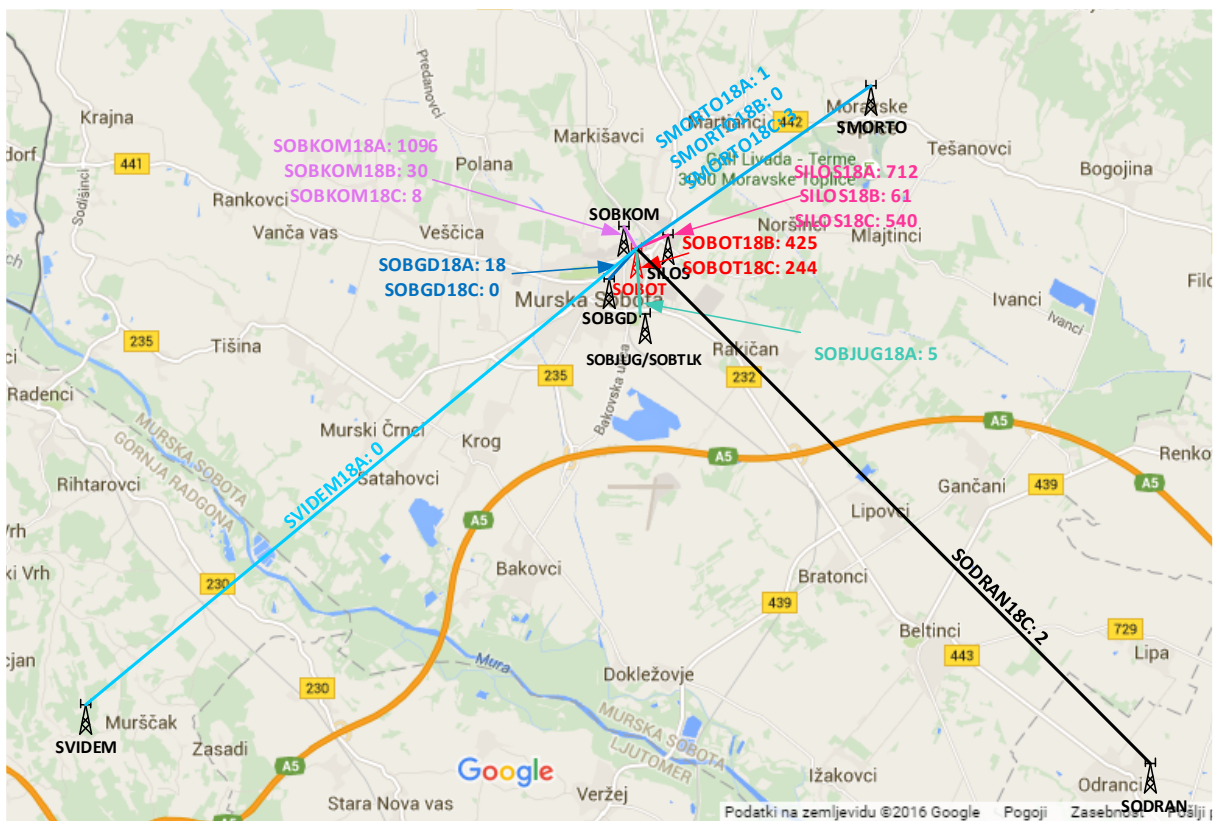
Da bi si lažje predstavljali, kaj je SON dejansko naredil, da je razbremenil omrežje, sem bazno postajo poiskal in iz zapisa razbral tudi ostale bazne postaje, s katerimi je bazna postaja vzpostavila relacije. Vrisal sem jih na približno lokacijo, kjer bazne postaje dejansko stojijo, in pripisal število procedur.

Za opazne spremembe sem izbral vrisovanje relacij s časovnim korakom štirih mesecev. Prvi datum opazovanja je 1. januar 2015, drugi 4. maj 2015, nato 7. september in nazadnje še dokaj svež datum 2. februar letošnjega leta. Opazujemo relacije celice 'A', ki se nahaja na bazni postaji z imenom 'SOBOT'.



Slika 16: Prikaz števila relacij 1. 1. 2015

Pri postavitvi bazne postaje tehniki ročno naložijo spisek relacij, ki so jih dobili iz simulacije, ki jih je naredil drug program, zopet razvit s strani zaposlenih inženirjev pri ponudniku. Prvotni spisek relacij nastane s simulacijo, ki simulira čimbolj optimalno izbiro povezav s sosednjimi baznimi postajami.



Slika 17: Prikaz števila relacij 4. 5. 2015

Po pretečenem časovnem obdobju štirih mesecev že lahko opazimo spremembe pri številu relacij. Nekatere relacije so bile odstranjene in nekatere dodane, vse na podlagi spremljanja števila izvedenih procedur na relacijah.

5. Zaključek

Milijarda prodanih pametnih telefonov po svetu v letu 2013, v letu 2014 pa 1,167 milijarde; to je informacija, ki nam da vedeti, da število mobilnih telefonov iz leta v leto narašča in da je treba za toliko mobilnih telefonov zagotavljati dostop do mobilnega omrežja in njegovih storitev. Treba je upoštevati, da so to samo mobilni telefoni, koliko je še raznih tablic, navadnih telefonov, prenosnikov z omogočenim dostopom do mobilnega omrežja itd. Z naraščanjem števila naprav, povezanih na omrežje, narašča tudi velikost in zapletenost omrežja, ki mora, ne glede na število uporabnikov, delovati optimalno. Avtomatizacija omrežja je rešitev za marsikateri problem. Zmanjša število napak s strani človeka, saj je interakcija človeka z avtomatizacijo omrežja čim manjša, ponudniku mobilnih storitev zmanjša stroške vzdrževanja omrežja in stroške za nadaljnji razvoj omrežja (CAPEX in OPEX), hitrejši čas odprave napak na omrežju itd.

Menim, da je SON tehnologija, ki ima veliko vlogo v prihodnosti, saj bo s svojimi funkcijami vzdrževala mobilno omrežje na optimalni ravni delovanja kljub velikemu številu zahtevnih uporabnikov. Majhna ovira za ponudnika je malo večji začetni finančni vložek, vendar je znotraj daljšega časovnega obdobja začetni finančni vložek ekonomsko upravičen glede na stroške, potrebne za tradicionalno sistemsko vzdrževanje omrežja.

6. Viri

- [1] »LTE (telecommunication) - Wikipedia«, spletni vir, [https://en.wikipedia.org/wiki/LTE_\(telecommunication\)](https://en.wikipedia.org/wiki/LTE_(telecommunication)). Dostopno: september 2015.
- [2] »What you should know about LTE technology – infoter.eu«, spletni vir, http://infoter.eu/cikk/amit_az_lte_tehnologiarol_tudni_kell. Dostopno: september 2015.
- [3] »LTE frame format - blog.163.com«, spletni vir, <http://xy2403.blog.163.com/blog/static/257726320107108504830/>. Dostopno: september 2015.
- [4] »www.voiravantachat.com«, spletni vir, <http://voiravantachat.com/?p=mat%20eolienne>. Dostopno: december 2011.
- [5] »Voice over LTE - VoLTE Tutorial - Radio-Electronics«, spletni vir, <http://www.radio-electronics.com/info/cellulartelecomms/lte-long-term-evolution/voice-over-lte-volte.php>. Dostopno: september 2015
- [6] »What is Antenna Electrical and Mechanical Tilt (and How to use it)? - telecomHall«, spletni vir, <http://www.telecomhall.com/what-is-antenna-electrical-and-mechanical-tilt-and-how-to-use-it.aspx>. Dostopno: september 2015.
- [7] »LTE self organizing networks - Mera«, spletni vir, <http://www.mera.com/competences/mobile-networks/son>. Dostopno: september 2015.
- [8] »Centralized SON – The 3G4G Blog«, spletni vir, <http://blog.3g4g.co.uk/2013/08/centralized-son.html>. Dostopno: september 2015.
- [9] »LTE Overview – tutorialspoint«, spletni vir, http://www.tutorialspoint.com/lte/lte_overview.htm. Dostopno: september 2015.
- [10] »Self Organising Networks, SON - Radio-Electronics«, spletni vir, <http://www.radio-electronics.com/info/cellulartelecomms/self-organising-networks-son/basics-tutorial.php>. Dostopno: september 2015.
- [11] »LTE SON: How Does It Work? – ZTE«, spletni vir, http://wwen.zte.com.cn/endata/magazine/zte technologies/2009year/no5/articles/200905/t20090518_171482.html. Dostopno: september 2015.
- [13] S. Hämmäläinen, H. Sanneck and C. Sartori, LTE Self-Organizing Networks (SON), John Wiley & Sons, 2012, ISBN: 9781119970675.