

Univerza v Ljubljani

Fakulteta za elektrotehniko

Marko Svatovšek

Avtomatizacija upravljanja radijskih mobilnih omrežij

Diplomsko delo

Mentor: viš. pred. dr. Anton Umek

Ljubljana, 2016

Zahvala

Najlepša hvala vsem mojim, ki so mi v času študija in pri njegovem zaključku na takšen ali drugačen način stali ob strani. Vaše razumevanje, podpora in zaupanje niso ostali neopaženi, iz moje strani bo za to hvaležnost vedno prisotna. Prav posebna zahvala gre tudi mojem mentorju. Viš. pred. dr. Anton Umek, najlepša hvala za vse nasvete, strokovno pomoč in vodenje pri nastanku pričujočega dela.

Vsebina

1 Uvod	1
2 Heterogena omrežja	3
3 Samo organizirano omrežje	8
3.1 Samodejna konfiguracija	9
3.1.1 Samodejna konfiguracija enodeB	9
3.1.2 Fizična identiteta celice	12
3.1.3 Samodejno določanje sosedskih relacij	13
3.2 Samodejna optimizacija	15
3.2.1 Optimizacija mobilnosti	15
3.2.2 Uravnovešanje prometa z optimiziranjem mobilnosti	19
3.2.3 Usklajevanje medcelične interference	21
3.2.4 Koordinirana večtočkovna oddaja in sprejem	25
3.2.5 Optimizacija kanala za naključni dostop	28
3.2.6 Zmanjšanje terenskega testiranja omrežja	29
3.2.7 Varčevanje z energijo	33
3.3 Samodejna odprava napak	36
3.3.1 Samodejna odprava napak enodeB	36
3.3.2 Detekcija izpadlih celic	38
4 Zaključek	39
Literatura	41

Kazalo slik

S

Slika 2.01	
zgoščevanje omrežja	4
Slika 2.02	
interferenca relejne postaje	5
Slika 2.03	
razširjeno področje pokrivanja	6
Slika 3.01	
postopek samo konfiguracije <i>enodeB</i>	11
Slika 3.02	
postopek samodejnega določanja sosedskih relacij	14
Slika 3.03	
preprosto izvedena predaja zveze	16
Slika 3.04	
prehitro izvedena predaja zveze	17
Slika 3.05	
predaja zveze napačni celici	18
Slika 3.06	
uravnovešanje prometa	21
Slika 3.07	
usklajevanje medcelične interference	23
Slika 3.08	
izboljšano usklajevanje medcelične interference	24
Slika 3.09	
dinamična izbira točke oddajanja	26
Slika 3.10	
združen prenos	27
Slika 3.11	
varčevanje z energijo v heterogenem omrežju	34
Slika 3.12	
varčevanje z energijo v homogenem omrežju	35

Seznam uporabljenih kratic

3GPP: Third Generation Partnership Project (slv. partnerski projekt tretje generacije)

ABS: Almost Blank Subframes (slv. skoraj prazni podokvirji)

ANR: Automatic Neighbour Relation (slv. samodejno določanje sosedskih relacij)

CA: Carrier Aggregation (slv. združevanje nosilcev)

CGI: Cell Global Identity (slv. globalna identiteta celice)

CoMP: Coordinated Multipoint (slv. koordinirana večtočkovna komunikacija)

CPICH: Common Pilot Channel (slv. skupni poizkusni kanal)

CQI: Channel Quality Indicator (slv. indikator kvalitete kanala)

CR: Cognitive Radio (slv. kognitivni radio)

C-RNTI: Cell Radio Network Temporary Identifier (slv. začasni identifikator v celičnem radijskem omrežju)

CSFB: Circuit Switched Fallback (slv. umik v domeno tokokrogovne komutacije)

CSG: Closed Subscriber Group (slv. zaprta uporabniška skupina)

CSI: Channel State Information (slv. informacija o stanju kanala)

DHCP: Dynamic Host Configuration Protocol (slv. protokol za namestitev dinamičnih gostiteljev)

DL-SCH: Downlink Shared Channel (slv. souporabniški kanal v smeri navzdol)

DNS: Domain Name Server (slv. strežnik domenskih imen)

DPS: Dynamic Point Selection (slv. dinamična izbira točke oddaje)

E_c/N_o : Energy per Chip / Power Density (slv. energija na čip / gostota moči)

eICIC: Enhanced Inter-cell Interference Coordination (slv. izboljšano usklajevanje medcelične interference)

eNodeB: Evolved nodeB (slv. razvito dostopovno vozlišče)

E-UTRAN: Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (slv. razvito univerzalno zemeljsko radijsko dostopovno omrežje)

FDD: Frequency Division Duplex (slv. frekvenčni dvosmerni prenos)

FIFO: First In First Out (slv. prvi noter, prvi ven)

GBR: Guaranteed Bit Rate (slv. zagotovljena bitna hitrost)

GERAN: GSM/EDGE Radio Access Network (slv. omrežje radijskega dostopa GSM/EDGE)

GSM: Global System for Mobile Communications (slv. globalni sistem za mobilne komunikacije)

HARQ: Hybrid Automatic Repeat Request (slv. hibridna avtomatična zahteva po ponovitvi)

HeNB: Home eNodeB (slv. domača postaja)

HetNet: Heterogeneous Network (slv. heterogeno omrežje)

HII: High Interference Indicator (slv. indikator visoke interference)

HSPA: High Speed Packet Access (slv. paketni dostop z visoko hitrostjo)

IoT: Internet of Things (slv. internet stvari)

IP: Internet Protocol (slv. internetni protokol)

IPsec: Internet Protocol Security (slv. varnostni internetni protokol)

ICIC: Inter-cell Interference Coordination (slv. usklajevanje medcelične interference)

IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers (slv. inštitut inženirjev elektrotehnike in elektronike)

JT: Joint Transmission (slv. združen prenos)

LTE: Long Term Evolution (slv. evolucija na daljši rok)

LTE-A: Long Term Evolution Advanced (slv. napredna evolucija na daljši rok)

M2M: Machine to Machine (slv. komunikacija stroj-stroj)

MDT: Minimization of Drive Tests (slv. zmanjšanje terenskega testiranja omrežja)

MIB: Master Information Block (slv. glavni blok informacij)

MIMO: Multiple Input, Multiple Output (slv. več vhodov, več izhodov)

MLB: Mobility Load Balancing Optimization (slv. uravnovešanje prometa z optimiziranjem mobilnosti)

MME: Mobility Management Entity (slv. entiteta upravljanja mobilnosti)

MU: Main Unit (slv. glavna enota)

n-GBR: non Guaranteed Bit Rate (slv. nezagotovljena bitna hitrost)

OI: Overload Indicator (slv. indikator preobremenitve)

OPEX: Operational Expenditures (slv.: stroški delovanja omrežja)

OSG: Open Subscriber Group (slv. odprta uporabniška skupina)

OSS: Operations Support System (slv. sistem za podporo delovanju)

PBCH: Physical Broadcast Channel (slv. fizični kanal z razpršeno oddajo)

PCCH: Paging Control Channel (slv. klicni krmilni kanal)

PCI: Physical Cell Identity (slv. fizična identiteta celice)

PDSCH: Physical Downlink Shared Channel (slv. fizični souporabniški kanal v smeri navzdol)

PnP: Plug and Play (slv. vstavi in poženi)

PRB: Physical Resource Block (slv. fizični blok vira)

RACH: Random Access Channel (slv. kanal z naključnim dostopom)

RIM: RAN Information Management (slv. upravljanje z informacijami dostopovnega omrežja)

RN: Relay Node (slv. relejna postaja)

RNTP: Relative Narrowband Transmit Power (slv. relativno nizka oddajna moč)

RRC: Radio Resource Control (slv. krmiljenje radijskih virov)

RRM: Radio Resource Management (slv. upravljanje z radijskimi viri)

RRU: Remote Radio Unit (slv. oddaljena radijska enota)

RSCP: Received Signal Code Power (slv. kodna moč sprejetega signala)

RSRP: Reference Signal Received Power (slv. prejeta moč referenčnega signala)

RSRQ: Reference Signal Received Quality (slv. sprejeta kvaliteta referenčnega signala)

SGW: Serving Gateway (slv. strežniški prehod)

SIB1: System Information Block 1 (slv. blok sistemskih informacij 1)

SIB2: System Information Block 2 (slv. blok sistemskih informacij 2)

SINR: Signal to Interference plus Noise Ratio (slv. razmerje med signalom in vsoto interference ter šuma)

SI-RNTI: System Information Radio Network Temporary Identifier (slv. sistemske informacije začasnega identifikatorja radijskega omrežja)

SON: Self Organizing Network (slv. samo organizirano omrežje)

TDD: Time Division Duplex (slv. časovni dvosmerni prenos)

UMTS: Universal Mobile Telecommunications System (slv. univerzalni mobilni telekomunikacijski sistem)

UTRAN: Universal Terrestrial Radio Access Network (slv. univerzalno zemeljsko radijsko dostopovno omrežje)

WLAN: Wireless Local Area Network (slv. brezžično lokalno omrežje)

Povzetek

V sodobnih mobilnih omrežjih je dostop do različnih storitev omogočen preko več generacijsko različnih tehnologij radijskega dostopa, zaradi česar je kompleksnost načrtovanja in upravljanja omrežij strmo narasla. Dodaten nivo kompleksnosti predstavlja tudi predlagana heterogena oblika omrežja, s katero se zagotovi visoka kapaciteta in prepustnost sistema. Iz teh razlogov je bil v LTE standardu izdaje 8 definiran koncept samo organiziranega omrežja. Namen posameznih funkcionalnosti je v največji možni meri avtomatizirati postopke konfiguracije, upravljanja in vzdrževanje LTE omrežja z možnostjo omejene aplikacije v omrežjih prejšnjih generacij. Namen diplomske naloge je predstaviti posamezne funkcionalnosti, ki sestavljajo samo organizirano omrežje. V prvem delu naloge so predstavljene posebnosti in osnovne lastnosti heterogenega omrežja. Osrednji del naloge temelji na podrobnem opisu avtomatiziranih postopkov samo organiziranega omrežja kot so fizična identiteta celice, samodejno določanje sosedskih relacij, optimiziranje mobilnosti, uravnovešanje prometa, usklajevanje medcelične interference in varčevanje z energijo. Na koncu sledi zaključna misel o dosedanjem razvoju mobilnih omrežij. Z vnosom logike ter sposobnostjo učenja na podlagi preteklih izkušenj bo nadaljnji razvoj potekal v smeri kognitivnih omrežij.

Ključne besede: mobilna radijska omrežja, heterogena omrežja, načrtovanje omrežja, konfiguriranje omrežja, optimizacija omrežja, samo organizirano omrežje.

Abstract

Access to various services in modern mobile networks is enabled through several different generations of radio access technologies, making the complexity of the design and management of the network severely difficult. An additional level of complexity is also represented by a proposed heterogeneous form of networks, which provide high capacity and throughput of the system. For these reasons it was defined concept of Self Organized Network in the LTE standard release 8. The purpose of individual functionality is in the greatest extent possible automate processes of configuration, management and maintenance of LTE networks with the possibility of limited application in the networks of previous generations. The aim of this thesis is to present individual features that make up the Self Organized Network. The first part presents the basic features and properties of heterogeneous networks. The central part of the thesis is based on a detailed description of the automated processes of Self Organized Networks such as the physical cell identity, automatic neighbour relations, mobility robustness optimisation, mobility load balancing, intercell interference coordination and energy saving. The thesis concludes with the final thought on the current development of mobile networks. Further development will go in the direction of cognitive networks by entering the logic and the ability to learn from past experience.

Keywords: Mobile Radio Networks, Heterogeneous Networks, Network Planning, Network configuration, Network Optimization, Self Organizing Networks.

1 Uvod

Z naraščanjem kompleksnosti mobilnih omrežij se večja potreba po avtomatiziranju določenih procesov vsled optimalnemu delovanju omrežja in zagotavljanja kakovosti storitev končnemu uporabniku. Sodobno omrežje mobilnih operaterjev je lahko sestavljeno iz generacijsko različnih radijskih in jedrnih omrežij, kar predstavlja veliko konkurenčno prednost, saj je dostop do širokega nabora ponujanih multimedijskih storitev tako omogočen vsem uporabnikom. Slabost tako raznolikega omrežja pa je iz vidika upravljanja in vzdrževanja. Zato je zaživel ideja za uvedbo različnih funkcionalnosti, ki bi v največji možni meri poenostavile načrtovanje, konfiguriranje in upravljanje omrežja, ter odpravo napak. Samo organizirano omrežje je bilo definirano v LTE standardu izdaje 8 organizacije 3GPP¹ z možnostjo aplikacije določenih funkcionalnosti v omrežja starejših generacij. Definirane so bile tri glavne kategorije, katerih funkcije sestavljajo SON² omrežje. Samodejna konfiguracija je postopek v katerem novo postavljena bazna postaja sama nastavi in prilagodi lastne parametre potrebne za normalno delovanje na podlagi trenutnih razmer v omrežju, tako imenovani način *'plug and play'*³. Samodejna optimizacija je skupek postopkov, ki delujočim baznim postajam omogočajo na podlagi opravljenih meritev nenehno prilagajale parametrov in algoritmov za najbolj optimalno delovanje. Del te kategorije je tudi varčevanje z energijo, ko se ob zmanjšanju prometa avtomatsko zaustavijo neobremenjene celice ali bazne postaje, pokrivanje katerih nato s prilagoditvijo parametrov prevzamejo sosednje celice. Samodejna odprava napak pa omogoča detekcijo in odpravo napak na opremi, ter prilagoditev pokrivanja prizadetega področja do trajne rešitve napake v kolikor le te ni možno odpraviti avtomatsko. Zaradi zahtevnosti samega koncepta takšnega omrežja se funkcionalnosti razvijajo postopoma skozi različne izdaje standardov LTE⁴ in LTE-A⁵, končni cilj pa je vnesti čim več avtonomije v radijski del omrežja. Omrežja SON niso zanimiva le iz ekonomskega vidika poslovanja mobilnih operaterjev kot orodje za zmanjševanje stroškov obratovanja. Cilj vsakega operaterja je zagotavljanje čim bolj stabilnega omrežja z visokimi prenosnimi hitrostmi in čim manjšimi zakasnitvami, ter z minimalnimi izpadi

¹ 3GPP: Third Generation Partnership Project (slv. partnerski projekt tretje generacije).

² SON: Self Organizing Network (slv. samo organizirano omrežje).

³ PnP: Plug and Play (slv. vstavi in poženi).

⁴ LTE: Long Term Evolution (slv. evolucija na daljši rok).

⁵ LTE-A: Long Term Evolution Advanced (slv. napredna evolucija na daljši rok).

storitev katere uporabniki niti ne bi zaznali. Po nekaterih ocenah mobilna omrežja danes nudijo storitev 6 milijardam terminalov, v bližnji prihodnosti pa bo s komunikacijo stroj-stroj⁶ v omrežju minimalno deset krat več komunicirajočih točk. S prihodom interneta stvari⁷ bo tako zanesljivost delovanja omrežja in prilagodljivost dinamiki prometa ključnega pomena za poslovanje mobilnih operaterjev. V tako dinamičnem okolju dosednji način upravljanja z omrežjem ne bo več mogoč, nizki odzivni časi prilagajanja spremembam kličejo po avtomatizaciji čim večjega dela postopkov upravljanja z omrežjem. Tako imenovano samo organizirano omrežje je prvi korak v prehodu iz tipično statičnih omrežij v dinamična omrežja, katerih kapaciteta in prenosne hitrosti se bodo prilagajale trenutnim razmeram in potrebam v omrežju.

⁶ M2M: Machine to Machine (slv. komunikacija stroj-stroj).

⁷ IoT: Internet of Things (slv. internet stvari).

2 Heterogena omrežja

Klasično mobilno omrežje je sestavljeno iz celic približno istih velikosti in s podobnimi oddajnimi močmi. Moč celice pada s kvadratom razdalje od središča proti njenemu robu. Omrežje je grajeno večinoma z makro celicami, kot je razvidno iz levega dela slike 2.01. njegovo obliko lahko ponazorimo s satovjem. Meje med celicami in s tem parametri za predajo zveze so jasno definirani. Medcelična interferenca je prisotna le na robu, na meji med celicami. Merilo, po katerem končni uporabnik ocenjuje kvaliteto omrežja so zagotovljene vršne prenosne hitrosti. Večina operaterjev je tem zahtevam ugodila z novo dodeljenim frekvenčnim spektrom ter z novimi prenosnimi tehnikami definiranimi v standardu LTE-A. V standardu izdaje 10 so bile definirane tehnike, kot je združevanje nosilcev⁸, uporaba več antenskih sklopov⁹, koordiniranje večtočkovnih sprejemov in oddajanj¹⁰. Poleg vseh tehnik višanja vršnih prenosnih hitrosti in kapacitete omrežja pa je temeljna osnova dobro zasnovano radijsko omrežje, v katerem so razpoložljivi viri izrabljeni v najvišji možni meri. Preprosta tehnika za zagotavljanje dobre pokritosti in visokih oddajnih moči znotraj pokrivanja celotne celice je zgoščevanje radijskega omrežja. Danes so na področjih velike gostote in ali pretoka uporabnikov razdalje med makro celicami padle na zgolj nekaj sto metrov. Ta način zgoščevanja omrežja je omejujoč iz vidika zagotavljanja potrebnih lokacij. Antene makro celic so večjih dimenzij, kar predstavlja svojevrstno težavo pri montaži. Oprema makro celic zahteva namenski prostor velikosti nekaj kvadratnih metrov z urejenim hlajenjem in normalnim dostopom do opreme. Najem takšnih lokacij predstavlja velik strošek, še posebno v mestnih središčih, kjer je zaradi penetracije uporabnikov potreba po večjem številu celic toliko večja. Zato je bila v standardu izdaje 10 ponovno predstavljena ideja heterogenega omrežja¹¹. Ta oblika se je uporabljala že v omrežjih druge generacije mobilnih komunikacij, ker njena izvedba ni pogojena tehnološko, je izvedljiva tudi v prejšnjih izdajah standarda.

Osnovna ideja je več nivojska gradnja omrežja, kjer makro celica zagotavlja pokrivanje širšega geografskega področja, znotraj tega področja pa se z manjšimi celicami manjših oddajnih moči zagotovi potrebna kapaciteta na tako imenovanih vročih točkah. Manjše celice so prav tako uporabne za zagotavljanje pokritosti senčnih področij, kjer

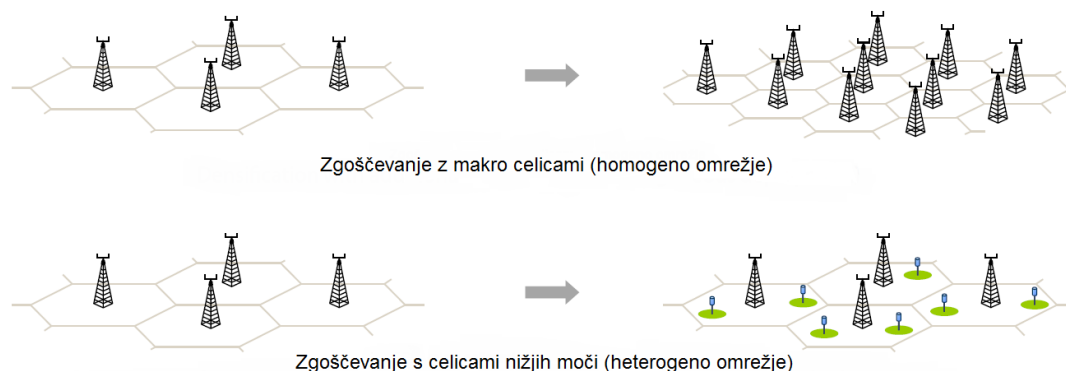
⁸ CA: Carrier Aggregation (slv. združevanje nosilcev).

⁹ MIMO: Multiple Input, Multiple Output (slv. več vhodov, več izhodov).

¹⁰ CoMP: Coordinated Multipoint (slv. koordinirana večtočkovna komunikacija).

¹¹ HetNet: Heterogeneous Network (slv. heterogeno omrežje).

zaradi arhitektonskih ovir pokritosti ni možno zagotoviti z makro celico. Manjše celice ločimo glede na oddajne moči, kategoriziramo pa jih kot mikro in piko celice ter domače postaje¹², posebna izvedba femto celic LTE standarda.



Slika 2.01: zgoščevanje omrežja. Zgornji del slike predstavlja zgoščevanje omrežja z večjim številom makro celic, tako imenovana homogena oblika omrežja. Spodnji del slike prikazuje zgoščevanje omrežja z mikro in piko celicami manjših oddajnih moči, tako imenovana heterogena oblika omrežja. [1, str. 387]

Gradnjo heterogenih omrežij dopolnjuje uporaba relejnih postaj¹³ in oddaljenih radijskih enot¹⁴. Relejne postaje posredujejo sprejet signal in na ta način razširijo področje pokrivanja darovalne celice. Implementacija v omrežje je dokaj enostavna, povezljivost z jedrnim omrežjem je omogočena preko radijskega vmesnika darovalne celice. Delovanje relejnih postaj v omrežju je transparentno, iz vidika enodeB¹⁵ igrajo vlogo terminala, iz vidika terminala igrajo vlogo enodeB. Način posredovanja je odvisen od kompleksnosti relejnih postaj. Osnovna izvedba prejet signal na fizičnem nivoju ojača in ga posreduje naprej, ne glede na prisotnost ciljnega terminala na njenem področju pokrivanja. Glede na dejstvo, da ojača vsak prejet signal, so te relejne postaje primerne le v okolju z visokim razmerjem med signalom in vsoto interference ter šuma¹⁶. Naprednejše relejne postaje delujejo na uporabniški ravni. Prejet signal dekodirajo, ojača se le uporaben signal ne pa tudi interferenca in šum, nato se ojačan signal ponovno kodira in posreduje naprej. Iz tega razloga je ta vrsta relejnih postaj

¹² HeNB: Home enodeB (slv. domača postaja). Nadgrajena oblika femto celice, omogoča pokrivanje notranjih prostorov s 4G signalom, v zasebni lasti uporabnikov.

¹³ RN: Relay Node (slv. relejna postaja).

¹⁴ RRU: Remote Radio Unit (slv. oddaljena radijska enota).

¹⁵ enodeB: Evolved nodeB (slv. razvito dostopovno vozlišče). Bazna postaja četrte generacije mobilnih komunikacij, običajno se uporabljata skrajšavi enodeB ali eNB.

¹⁶ SINR: Signal to Interference plus Noise Ratio (slv. razmerje med signalom in vsoto interference ter šuma).

primerna za okolja z nizkim razmerjem med signalom in vsoto interference ter šuma, zaradi operacije dekodiranja in kodiranja pa vnesejo večje zakasnitve v sistem. V izogib interferenci med povezavama enodeB - relejna postaja in relejna postaja – terminal predstavljeni na sliki 2.02 se uporablja ločevanje prenosa v frekvenčni in ali časovni domeni, v določenih konfiguracijah pa je možno tudi fizično ločevanje anten.



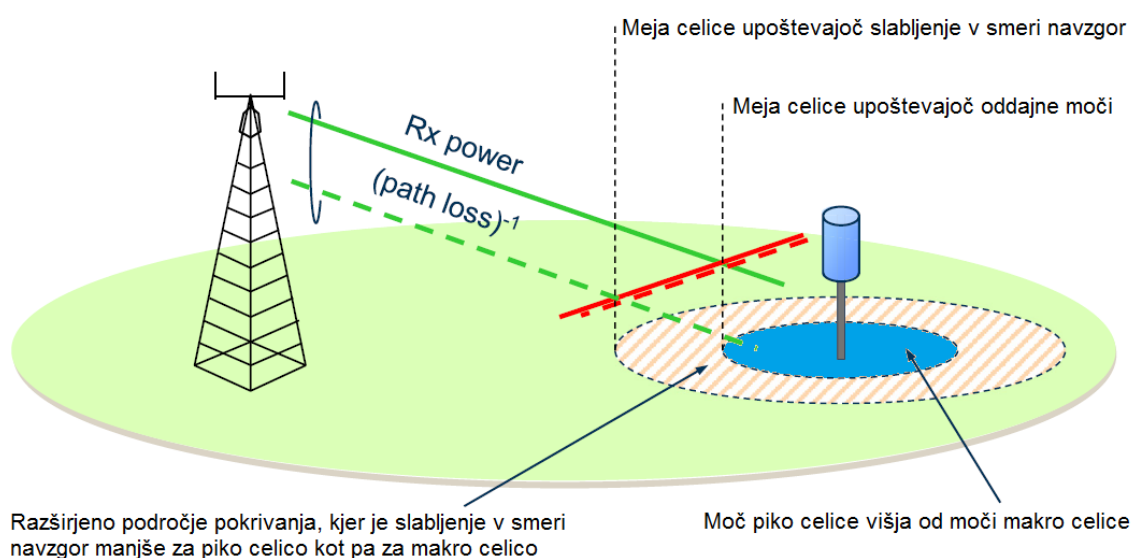
Slika 2.02: interferenca relejne postaje. Prisotna interferenca med radijskima vmesnikoma U_n in U_u . Ločevanje prenosa v časovni domeni zmanjša kapaciteto sistema, ločevanje v frekvenčni domeni zmanjša spektralno učinkovitost, izvedba z fizično ločitvijo anten ni vedno mogoča. [1, str. 415]

Oddaljene radijske enote RRU so samostojne radijske enote z antenskim sklopom, povezane na glavno enoto¹⁷. Povezava je običajno zagotovljena z optičnim vlaknom, možna je tudi izvedba z mikrovalovno povezavo. Ta način gradnje omrežja omogoča gosto porazdelitev oddajno/sprejemnih točk, s svojo zasnovo pa daje dodatne razsežnosti več antenskim MIMO sistemom. Oddaljene radijske enote omogočajo enostavno pokrivanje senčnih območij, pokrivanje notranjosti poslovnih prostorov ter dopolnjujejo pokrivanje visoko prometnih področij. V kolikor zaradi pomanjkanja frekvenčnega spektra ali velikega števila uporabnikov ni mogoče zagotoviti zadostne pokritosti ali kapacitete omrežja, je kot dopolnitev makro nivoja možna uporaba WLAN¹⁸ standarda družine 802.11. Uporaba katerega izmed teh standardov kot dodatna možnost zagotavljanja zadovoljivih kapacitet in prepustnosti sistema je zanimiva alternativa za marsikaterega operaterja, predvsem zaradi možnosti brezplačne uporabe WLAN frekvenčnega spektra. Poleg očitnih prednosti heterogenih omrežij pa gosta razporeditev celic v sistem vnaša visoko interferenco. V homogenih omrežjih izbira celice temelji na izmerjeni moči signala v smeri navzdol. Ker so oddajne moči makro celic enake, izmerjena moč odraža slabljenje v smeri navzgor. Izbira celice

¹⁷ MU: Main Unit (slv. glavna enota). Vlogo glavne enote lahko ima klasična enodeB ali namensko razvita enota, tako imenovana enota osnovnega pasu BBU.

¹⁸ WLAN: Wireless Local Area Network (slv. brezžično lokalno omrežje).

temelječa na moči signala v smeri navzdol je zadovoljiva tudi iz stališča povezave navzgor. Takšen način v heterogenih omrežjih zaradi velikih razlik v oddajnih močeh celic ni možen. Upoštevajoč moč signala v smeri navzdol in slabljenje v smeri navzgor dobimo dve ločeni meji med celicama, predstavljeno na sliki 2.03. Idealna bi bila izbira celice z najmočnejšim signalom v smeri navzdol in celice z najmanjšim slabljenjem v smeri navzgor, kar pa v primeru potrditev HARQ¹⁹ ni mogoče zaradi tesne in časovno kritične soodvisnosti med obema smerema prenosa. [1] V heterogenih omrežjih izbira celice temelji na oceni slabljenja v smeri navzgor. Praktično se ta ocena dobi na podlagi izmerjene moči v smeri navzdol z odmikom, s pomočjo katerega se kompenzira razlika oddajnih moči različnih celic. Na podlagi odmika se razširi področje pokrivanja piko celice. Na ta način se doseže najvišja kapaciteta celice v smeri navzgor.



Slika 2.03: razširjeno področje pokrivanja. Zeleno področje predstavlja pokrivanje makro celice, pokrivanje modrega področja zagotavlja mikro/piko celica. Črtkano področje je tako imenovano razširjeno področje pokrivanja mikro/piko celice, v katerem so prisotne motnje makro celice v smeri navzdol. [1, str. 390]

Zaradi višjih oddajnih moči makro nivoja bo v razširjenem področju pokrivanja močnejši sprejem signala makro celice, rezultat česar bo visoka medcelična interferenca. Tehnike obvladovanja interference so predstavljene v poglavju 3.2.3. Vpliv interference v heterogenih omrežjih je praktično zanemarljiv z uporabo različnih frekvenc na različnih nivojih. Na ta način se običajno obvladuje interferenco v omrežjih druge

¹⁹ HARQ: Hybrid Automatic Repeat Request (slv. hibridna avtomatična zahteva po ponovitvi).

generacije. V omrežju četrte generacije, kjer so prenosne hitrosti in kapaciteta celic odvisni od uporabljenih virov, drobitev frekvenčnega spektra ni zaželjena, cilj je doseči faktor uporabe frekvenc enak ena. S sprostitvijo novega frekvenčnega spektra bi bila smotrna uporaba različnih frekvenc v različnih nivojih omrežja, še posebej s sprostitvijo spektra visokih frekvenc, kateri bi bil edino primeren za uporabo na krajših razdaljah. Glede na možnost uporabe različnih frekvenc v različnih nivojih omrežja je možna tudi uporaba različnega dvosmernega prenosa. Tako je možna konfiguracija makro nivoja z uporabo frekvenčnega dvosmernega prenosa²⁰, na piko nivoju pa z uporabo časovnega dvosmernega prenosa²¹.

Velik negativen vpliv na medcelično interferenco ima tudi uporaba domačih postaj HenB. Sicer uporabne iz vidika zagotavljanja dodatnih kapacitet v omrežju in razbremenitve makro nivoja. Vendar postavitve in zagon domačih postaj ni v operaterjevi domeni, le ta nima nikakršnega nadzora in možnosti upravljanja z njimi. Vnos motenj v omrežje je popolnoma naključen in nepredvidljiv za operaterja. Domače postaje lahko delujejo na tri načine in sicer kot zaprta skupina uporabnikov²², odprta skupina uporabnikov²³ ali v hibridnem načinu. V načinu zaprte skupine uporabnikov se nanjo lahko povežejo le vnaprej določeni terminali, v načinu odprte skupine uporabnikov pa se nanjo lahko poveže vsak terminal v njenem dosegu. V hibridnem načinu je postaja odprta za vse, vendar imajo terminali zaprte skupine višjo prioriteto pri zagotavljanju storitev v primerjavi z ostalimi. V primeru uporabe v načinu zaprte skupine je prisotna visoka interferenca za naključne terminale v področju pokrivanja domače postaje, ki niso del njene skupine. Za obvladovanje te interference se v makro celici uporabljajo skoraj prazni podokvirji²⁴. Ob sprostitvi dodatnega frekvenčnega spektra bi bila smiselna uporaba ločenih, iz strani operaterja vnaprej določenih frekvenčnih kanalov za domače postaje HenB.

²⁰ FDD: Frequency Division Duplex (slv. frekvenčni dvosmerni prenos).

²¹ TDD: Time Division Duplex (slv. časovni dvosmerni prenos).

²² CSG: Closed Subscriber Group (slv. zaprta uporabniška skupina).

²³ OSG: Open Subscriber Group (slv. odprta uporabniška skupina).

²⁴ ABS: Almost Blank Subframes (slv. skoraj prazni podokvirji).

3 Samo organizirano omrežje

Samo organizirano omrežje definirajo posamezne funkcionalnosti, katere na podlagi svojih algoritmov pripomorejo k optimalnejšemu delovanju omrežja ter omogočajo hitrejšo vzpostavitev storitev. Lokacija posameznih algoritmov SON omrežja je odvisna od potrebne odzivnosti ter geografske razsežnosti opravljene spremembe. Hitro odzivne funkcionalnosti z delovanjem na lokalni ravni so porazdeljene po celotnem radijskem omrežju, so del enodeB. Njihov odzivni čas se zmanjša, ker je iz procesa izločena nepotrebna komunikacija z jedrnim omrežjem. Na drugi strani so funkcionalnosti, katerih spremembe so odziv na daljše, statistično opazovanje omrežja. Njihov odziv ima vpliv na večji del omrežja, zato je nujno širše poznavanje delovanja. V ta namen so algoritmi centralizirani kot del sistema za podporo delovanja. V nekaterih primerih pa je potrebna kombinacija obeh porazdelitev, tako imenovana hibridna porazdelitev.

Samo organizirana omrežja pridobivajo na popularnosti, predvsem v večjih omrežjih z velikim številom baznih postaj in slabo načrtovanim radijskim omrežjem. Motivacija za uvedbo SON rešitev v takšnih omrežjih je v prvi vrsti definitivno optimizacija mobilnosti, saj je prekinitev zveze direkten odraz kvalitete omrežja. Singapurski operater SingTel je v svoje omrežje implementiral rešitev družbe Ericsson [2], Indijska operaterja Bharti Airtel in Vodafone sta se odločila za družbo Cisco [3][4], še en Indijski operater Idea Cellular pa se je odločil za SON rešitev družbe Nokia [5] ob modernizaciji svojega omrežja. Uporaba posameznih avtomatiziranih funkcionalnosti je v večini primerov licenčno pogojena, zato je odločitev za njihovo uvedbo odvisna od posameznega operaterja. Odločitev za uvedbo se pretehta na podlagi velikosti in kvalitete obstoječega omrežja ter razlike v obstoječih stroških delovanja omrežja OPEX²⁵ v primerjavi s ceno posameznih licenc.

Posamezne funkcionalnosti delimo na kategorije, odvisno od tega v katerem procesu sodelujejo. V kategorijo samodejne namestitve uvrščamo samodejno namestitev enodeB, samodejno določanje fizične identitete celice ter samodejno določanje sosedskih relacij. V kategorijo samodejne optimizacije uvrščamo optimizacijo mobilnosti, uravnovešanje prometa z optimiziranjem mobilnosti, usklajevanje medcelične interference, optimizacijo kanala za naključni dostop ter varčevanje z

²⁵ OPEX: Operational Expenditures (slv.: stroški delovanja omrežja).

energijo. V isto kategorijo prištevamo zmanjševanje terenskega testiranja omrežja, kljub temu da sama metoda ne vpliva na proces optimizacije, so pa njene meritve ključnega pomena za delovanje omrežja. Je neodvisna od ostalih SON funkcionalnosti, njena uporaba je lahko samostojna. Pogojno bi lahko v kategorijo samodejne optimizacije šteli tudi koordinirano večtočkovno oddajo in sprejem. Čeprav je njena glavna vloga povišanje kapacitete omrežja, ima njeno delovanje na robu celic velik vpliv na zmanjšanje medcelične interference. V kategorijo samodejne odprave napak pa uvrščamo algoritme za samodejno odpravo napak enodeB in detekcijo izpadlih celic. Posamezne funkcionalnosti, delovanje katerih vnaša avtomatizacijo upravljanja v omrežje so podrobneje predstavljene v nadaljevanju. [6]

3.1 Samodejna konfiguracija

Samodejna konfiguracija je vklop novega omrežnega elementa na način *'plug and play'* z namenom čim manjšega posega v pred namestitvene in namestitvene postopke. Ti postopki vključujejo namestitev programske opreme in varnostnih poverilnic, konfiguracijo vmesnikov S1 in X2, določitev fizične identitete, samodejno določanje in vzdrževanje sosedskih relacij. Še vedno pa je odločitev na strani operaterja koliko in kaj bo prepustil samodejnim postopkom. Za primer, namestitev varnostnih poverilnic se lahko izvede v postopku samodejne konfiguracije. Ta način pa je iz varnostnega vidika sporen, še posebno če del komunikacije med enodeB in operaterjevim omrežjem poteka po javnem, nezaščitenem omrežju. V tem primeru lahko pride do napada *'man in the middle'* preden se namestijo varnostne poverilnice in vzpostavi varna komunikacija. Prav tako pa lahko pride do zlorabe v primeru, ko varnostne poverilnice zaupamo osebi, ki jih ročno namesti v bazno postajo. V takšnih primerih je potrebno razumno pretehtati pomembnost avtomatiziranega postopka v primerjavi z zagotavljanjem varnosti. [7]

3.1.1 Samodejna konfiguracija enodeB

Pri gradnji in širjenju radijskega omrežja sta glavna cilja operaterjev zmanjšanje stroškov postavitve nove bazne postaje in skrajšati potreben čas za njen zagon. Zato so v specifikaciji TS32.501 [8] izdaje 8 prvič postavili koncept in zahteve za avtomatsko konfiguracijo enodeB. Na stopnji načrtovanja LTE omrežja je potrebno določiti kapaciteto posamezne enodeB in pokritost, ki jo bo zagotavljala. Z veliko gotovostjo lahko domnevamo, da operater ki gradi omrežje četrte generacije že upravlja vsaj z

enim izmed omrežij prejšnjih generacij. Iz tega razloga so pri načrtovanju v veliko pomoč podatki terenskega testiranja obstoječega omrežja. S pomočjo obstoječih podatkov in namenskega načrtovalskega orodja za simulacijo razširjanja signala se določi konfiguracijo enodeB in njene začetne parametre. Prav tako je v primeru večgeneracijskega sobivanja omrežij najbolj smotrna souporaba obstoječih lokacij. Večina proizvajalcev strojne opreme ima v svoji ponudbi več standardno opremo, namen katere se določi programsko. Na ta način je možno zagotoviti omrežja različnih generacij s konkretnim zmanjšanjem strojne opreme. Tako se zmanjšajo operaterjevi stroški strojne opreme, najema prostora, stroški za hlajenje opreme in prostora ter skupni stroški električne energije. V nadaljevanju bo predstavljen postopek popolnoma avtomatizirane namestitve nove bazne postaje preko omrežja, ki je v domeni operaterja. Po zaključeni fazi načrtovanja se vse datoteke potrebne za namestitev shranijo na OSS²⁶ v konfiguracijski strežnik, programska oprema je shranjena na namenskem strežniku. Na lokaciji terensko osebje poskrbi za namestitev strojne opreme. Ta vključuje namestitev in povezavo antenskega sistema, vzpostavitev prenosnega sistema, povezavo v električno omrežje in zagotovitev rezervnega napajanja.

Po vključitvi bazne postaje se za prvo avtentikacijo uporabi prednaložen proizvajalčev digitalni certifikat, na podlagi katerega se naredi verifikacija strojne opreme. Kot je razvidno iz slike 3.01, celotna namestitev poteka pod okriljem namenskega orodja za nadzor integracije strojne opreme v radijsko omrežje. V drugem koraku DHCP²⁷ strežnik bazni postaji dodeli IP²⁸ naslov, ter sporoči IP naslove strežnika varnostnih poverilnic in DNS²⁹ strežnika ter strežnika s programsko opremo. Iz strežnika varnostnih poverilnic se prenese operaterjevo digitalno potrdilo, ki se v nadalje uporablja za varno komunikacijo, ki običajno temelji na protokolu IPsec³⁰. V četrtem koraku se iz podatkovnega strežnika prenese programska oprema in licence ter se namesti na bazno postajo. Ko je namestitev programske opreme in licenc zaključena, se iz konfiguracijskega strežnika prenesejo parametri radijskega in transportnega omrežja, vnaprej določeni med fazo načrtovanja.

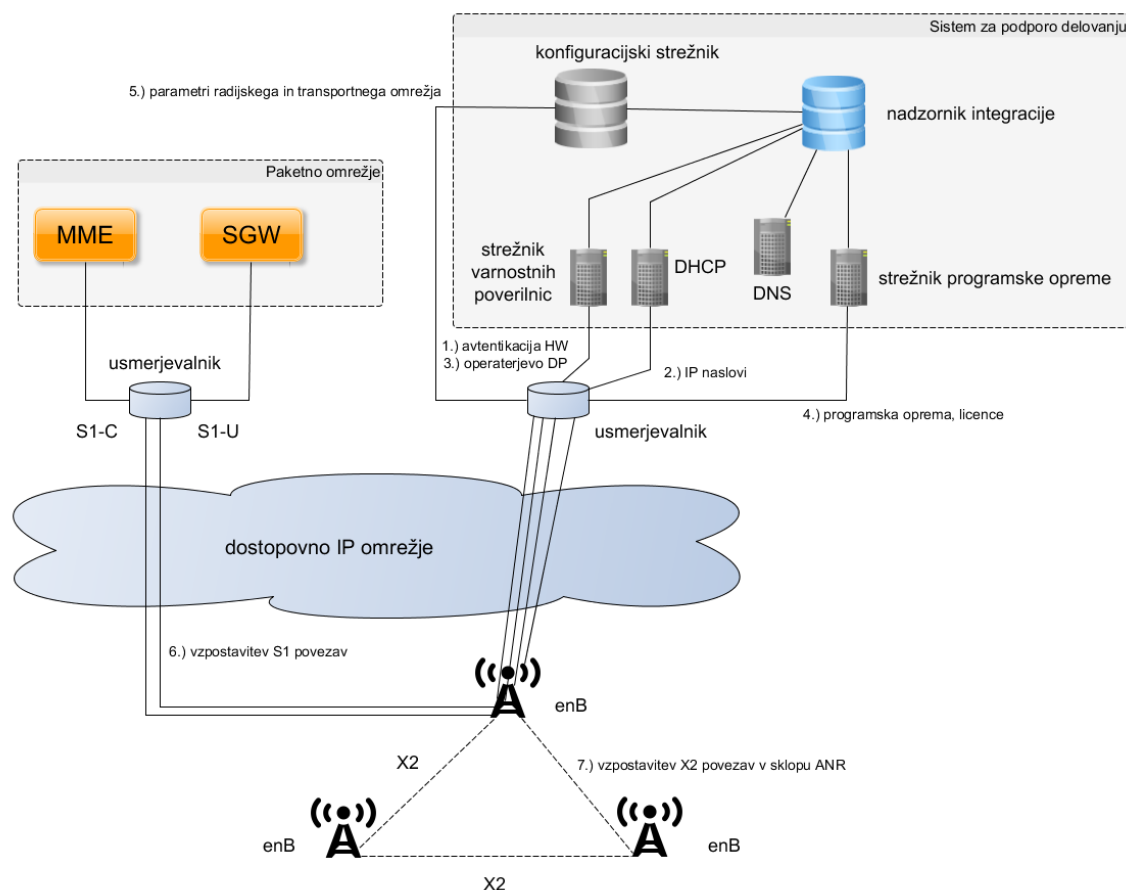
²⁶ OSS: Operations Support System (slv. sistem za podporo delovanju).

²⁷ DHCP: Dynamic Host Configuration Protocol (slv. protokol za namestitev dinamičnih gostiteljev).

²⁸ IP: Internet Protocol (slv. internetni protokol).

²⁹ DNS: Domain Name Server (slv. strežnik domenskih imen).

³⁰ IPsec: Internet Protocol Security (slv. varnostni internetni protokol).



Slika 3.01: postopek samo konfiguracije enodeB. Na sliki je predstavljena popolnoma avtomatizirana namestitev nove bazne postaje četrte generacije v omrežje. V opisanem postopku se predpostavlja minimalna človeška interakcija ter vklop preko operaterjevega zaščitenega prenosnega omrežja. Možna je popolnoma avtomatizirana ali popolnoma ročna konfiguracija, stopnja interakcije je odvisna od posameznega operaterja. Vklop je možen tako preko zaščitenega (zasebnega) kot nezaščitenega (javnega) prenosnega omrežja.

Na podlagi parametrov prenosnega omrežja in varnostnih poverilnic se v naslednjem koraku vzpostavijo vmesniki S1 proti MME³¹ in SGW³². Nato se dokonča konfiguracija celic, ter preveri delovanje. Če je bila namestitev uspešna, se celice odklenejo za promet, prav tako se avtomatsko naredi varnostna kopija celotne konfiguracije. S tem je samo namestitev zaključena, v primeru popolne avtomatizacije se sosedske relacije

³¹ MME: Mobility Management Entity (slv. entiteta upravljanja mobilnosti).

³² SGW: Serving Gateway (slv. strežniški prehod).

in posledično X2 vmesniki konfigurirajo po vzpostavitvi delovanja bazne postaje s funkcionalnostjo ANR³³.

3.1.2 Fizična identiteta celice

Celice, ki sestavljajo radijsko omrežje, potrebujejo na fizičnem nivoju edinstveno identifikacijo, da jih lahko terminali ločijo med seboj. V nasprotnem primeru pride do negotovosti ali celo kolizije. Do negotovosti pride takrat, ko je terminal v eni celici, med poslušanjem radijskega vmesnika pa zazna dve sosednji celici z isto vrednostjo PCI³⁴. Do kolizije pride, ko terminal med poslušanjem radijskega vmesnika zazna celico z isto vrednostjo PCI, kot jo ima trenutna, strežna celica. Zaradi tega lahko pride do težav pri predaji zveze ali v skrajnih primerih do padca zveze. V LTE je določenih 504 možnih vrednosti, ki se uporabljajo za fizično identiteto celice. Ker se omrežje lahko sestoji iz več tisoč celic, se PCI vrednosti večkrat ponavljajo. Zahtevnost določitve prave vrednosti je toliko večja v mestnih središčih z gosto naseljenostjo celic za dvig kapacitete omrežja in v heterogenih omrežjih. Problem je podoben problemu ponovne uporabe frekvence v omrežjih prvih dveh generacij. Tako kot pri ponovnem dodeljevanju frekvenc, se v LTE sistemu ponovno dodeljujejo PCI vrednosti, edina omejitev je, da imajo sosednje celice različne vrednosti in so na ta način znotraj neke skupine celic edinstveno naslovljene. Poglavitno je, da je vzorec ponavljanja dovolj širok, da se v primeru odbojev signalov ali večjega dosega dometa celice zaradi povečane oddajne moči izloči možnost negotovosti ali kolizije. Določanje PCI vrednosti je del načrtovanja omrežja ter je izredno zahtevno in zamudno opravilo. Zato je že v LTE standardu izdaje 8 določeno avtomatsko dodeljevanje PCI novim celicam v omrežju. To se lahko izvede na dva načina. Prvi način je centraliziran, določitev PCI vrednosti se vrši iz sistema za podporo delovanju. Na podlagi meritev omrežja se vzdržuje lista dodeljenih PCI vrednosti za celotno omrežje. Na ta način se lažje avtomatsko določi vrednost za novo bazno postajo. Drugi način pa je porazdeljen, določanje PCI vrednosti se vrši na lokalni ravni. Novo vklopljena bazna postaja med konfiguracijo prejme spisek možnih vrednosti. Na podlagi meritev terminalov v njenem dometu izloči že uporabljene vrednosti. Drug način je, da sosednje celice identificira

³³ ANR: Automatic Neighbour Relation (slv. samodejno določanje sosedskih relacij).

³⁴ PCI: Physical Cell Identity (slv. fizična identiteta celice).

sama s poslušanjem na radijskem vmesniku. Vse zaznane vrednosti PCI izloči iz prejetega spiska in naključno izbere eno izmed prostih vrednosti. [9]

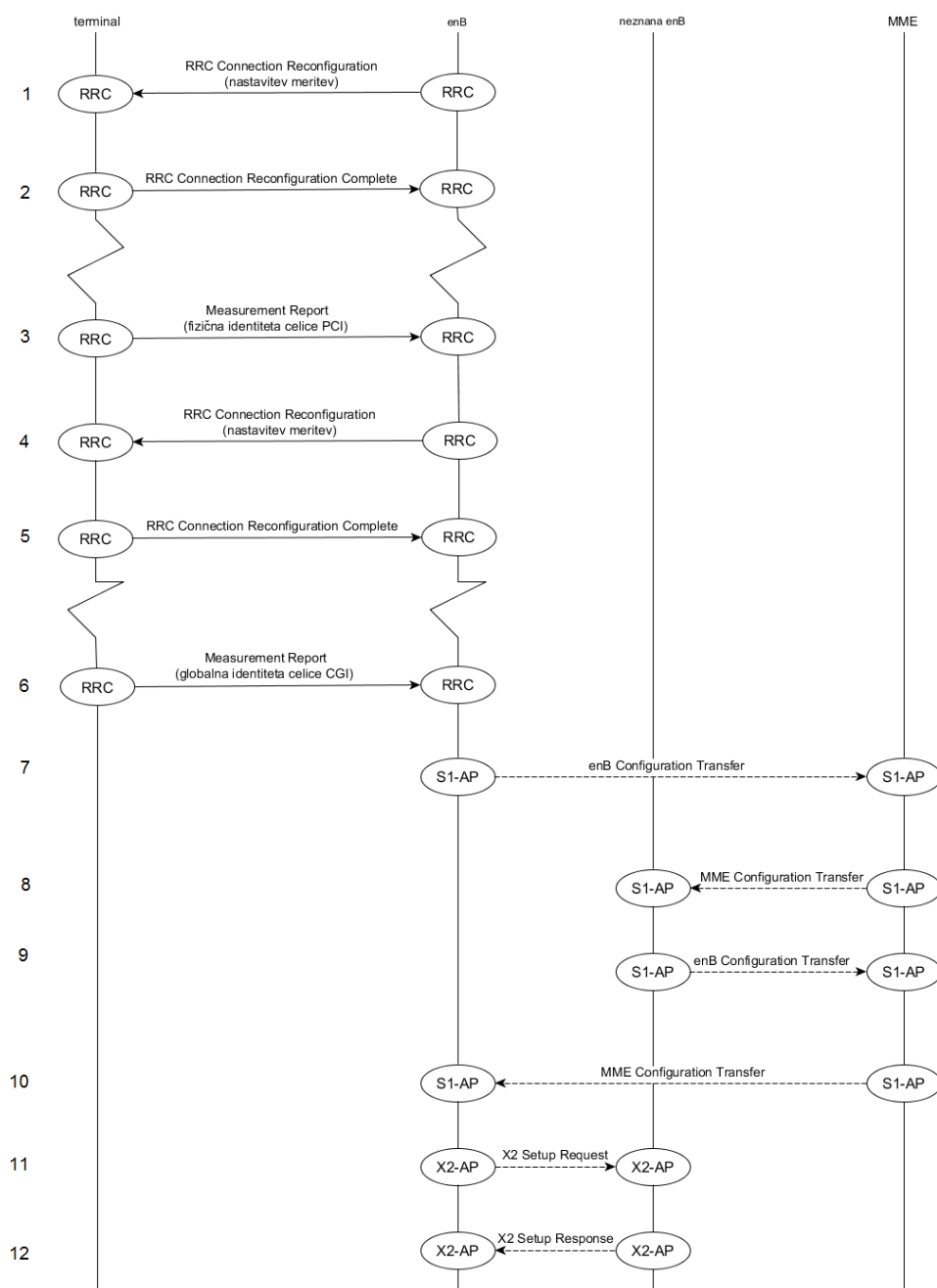
3.1.3 Samodejno določanje sosedskih relacij

Sosedske relacije so ključnega pomena pri zagotavljanju mobilnosti, saj se na podlagi njih določi predaja zveze. Na ta način zveza ostane aktivna ne glede na to, da terminal prehaja med področji pokrivanja različnih celic. Če relacije niso dobro definirane, predaja zveze ni mogoča ali le ta pade med samim postopkom, kar je seveda nedopustno. V omrežjih prejšnjih generacij je določanje sosedskih relacij v domeni načrtovanja omrežja, določajo se na podlagi meritev omrežja, definirane so v kontrolnikih baznih postaj. Te liste so statične, spremembe se izvajajo ročno, prilagodljivost je slaba in časovno zamudna. V 3GPP specifikaciji TS32.511 [10] sta definirani dve možnosti avtomatskega določanja sosedskih relacij. Prva možnost je definicija iz strani OSS pred samim vklopom bazne postaje. Druga možnost pa je, da se po samodejni konfiguraciji in vklopu bazne postaje te relacije določajo na podlagi meritev radijskega vmesnika s poslušanjem novih vrednosti PCI. To lahko izvede novo vklopljena bazna postaja sama ali pa sosedske relacije določi na podlagi meritev terminalov. Liste so dinamične, nenehno se prilagajajo glede na trenutno stanje omrežja, zaradi vodenja statistik se shranjujejo tudi v OSS podatkovno bazo. Samodejno določanje sosedskih relacij na podlagi meritev prejetih iz strani terminalov je predstavljen na sliki 3.02. Najprej enB terminalu določi, katere meritve naj opravlja v omrežju, le ta sporoči uspešno nastavitve meritev. Terminal glede na nastavitve enB sporoča rezultate meritev. V primeru prejema nepoznane vrednosti PCI enB terminalu določi nov nabor meritev. Zanima jo globalna identiteta neznane celice, na podlagi katere bo lahko od MME zahtevala potrebne podatke za vzpostavitev povezave X2. Terminal v SIB1³⁵ sporočilu neznane enB izve potrebne informacije in jih sporoči prvotni enB. Na podlagi prejete vrednosti CGI³⁶ ta po vmesiku S1 pošlje zahtevo MME za IP naslov X2 vmesnika neznane celice. Ker je MME z neznano enB že povezana po vmesniku S1, ji le to zahtevo preprosto posreduje. Nato ta svoj IP naslov X2 vmesnika sporoči nazaj MME, ta pa ga posreduje naprej prvotni enB. Na prejet IP naslov naslovi zahtevo za vzpostavitev X2 povezave in sicer s sporočilom *X2-AP Setup Request*. Neznana enB na to zahtevo odgovori s sporočilom *X2-AP Setup Response*.

³⁵ SIB1: System Information Block 1 (slv. blok sistemskih informacij 1).

³⁶ CGI: Cell Global Identity (slv. globalna identiteta celice).

Med vzpostavljanjem X2 povezave si celici izmenjata podatke o vseh celicah, ki jih nadzirata, vključno z njihovimi CGI, PCI in nosilnimi frekvencami.



Slika 3.02: postopek samodejnega določanja sosedskih relacij. Bazna postaja terminalu določi, katere meritve naj sporoča. Na podlagi nepoznane vrednosti PCI se preveri njeno CGI, na podlagi katere s posredovanjem MME z novo bazno postajo vzpostavi X2 povezavo. [11, str. 293]

V specifikaciji TS32.511 [10] je določeno, da je v novo definirani sosedski relaciji možna konfiguracija X2, med njima je dovoljena predaja zveze in da funkcionalnost sosedsko relacijo lahko po potrebi podre.

3.2 Samodejna optimizacija

Po začetni konfiguraciji in vzpostavitvi delovanja bazna postaja postane aktivni del radijskega omrežja. Okolje, v katerem poteka komunikacija je podvrženo nenehnim spremembam, posledično se spreminjajo pogoji radijskega omrežja. Okoljske spremembe, kot so novozgrajena infrastruktura, vpliv letnih časov na okolje, dnevne posebnosti kot so vremenske razmere in spremembe v koncentraciji prometa ter vklop nove bazne postaje doprinesejo k tem spremembam. V takšnem prenosnem mediju je potreben hiter odziv na spremembe in s prilagoditvijo parametrov zagotavljati čim višjo raven kvalitete storitev. Osnovne funkcionalnosti so bile definirane v standardu LTE izdaje 8, obširno pa so bile določene v izdajah 9 in 10. Funkcionalnost, ko je samodejno določanje sosedskih relacij sicer spada v kategorijo samodejne nastavitve, vendar se zaradi nenehnih sprememb medija intenzivno izvaja tudi med procesom optimizacije.

3.2.1 Optimizacija mobilnosti

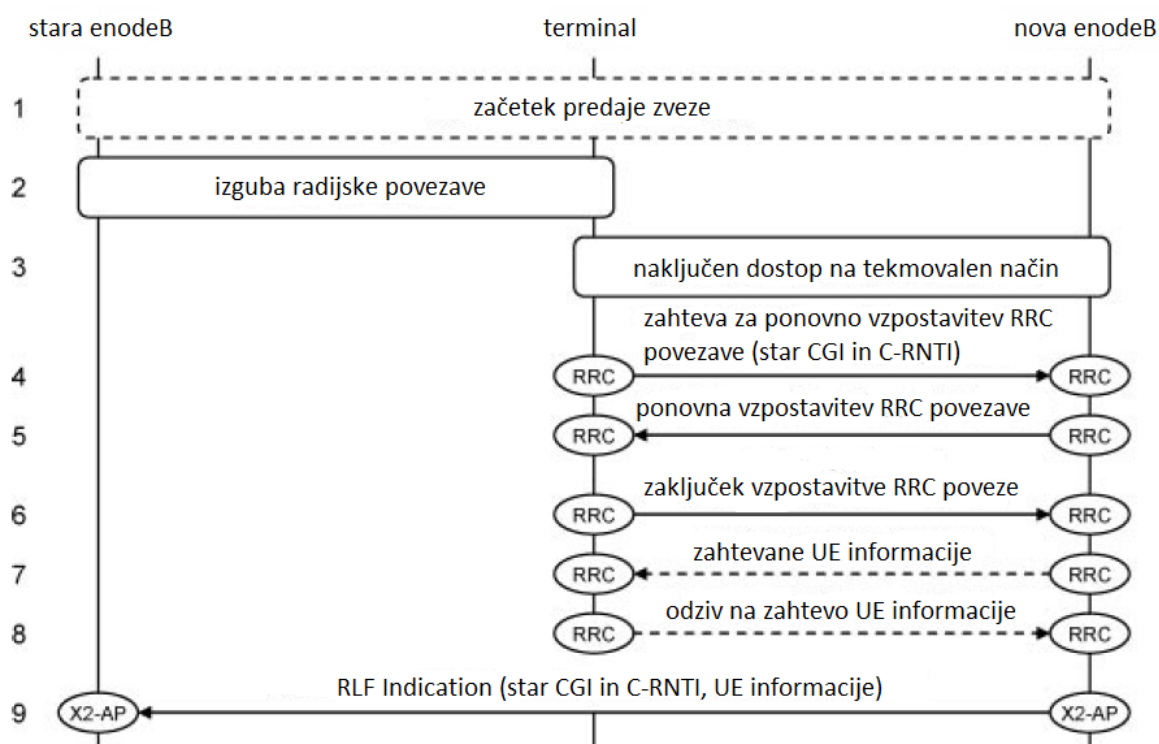
Mobilnost v brezžičnih komunikacijah je zagotovljena z dobro pokritostjo in optimalno predajo zveze v stanju povezanosti uporabniške opreme ali pravilno izbiro celice uporabniške opreme v njenem nedejavnem stanju. Predaja zveze se lahko izvede v primeru prehoda področja pokrivanja ali v primeru zagotavljanja govornih in tekstovnih storitev z uporabo metode CSFB³⁷. V E-UTRAN³⁸ omrežju poznamo tri vrste predaje zveze, predaja zveze znotraj iste frekvence (*angl. intra-frequency handover*), predaja zveze med različnima frekvencama (*angl. inter-frequency handover*) in predaja zveze med različnimi tehnologijami radijskega dostopa (*angl. inter-RAT handover*). Predaja zveze znotraj iste frekvence je predaja zveze celici, ki deluje na isti frekvenci kot izvorna celica. Predaja zveze med različnima frekvencama je predaja zveze celici, ki deluje na drugačni frekvenci od izvorne celice. Predaja zveze med različnimi tehnologijami radijskega dostopa je predaja zveze iz omrežja četrte generacije v

³⁷ CSFB: Circuit Switched Fallback (slv. umik v domeno tokokrogovne komutacije).

³⁸ E-UTRAN: Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (slv. razvito univerzalno zemeljsko radijsko dostopovno omrežje).

omrežje ene izmed prejšnjih generacij, UTRAN³⁹ ali GERAN⁴⁰. Glavne naloge optimizacije mobilnosti so zmanjšanje števila izgubljenih in izpadlih radijskih povezav, ter nepotrebnih predaj zveze. Razlogi za izgubo radijske povezave so prepozno izvedena predaja zveze, prehitro izvedena predaja zveze in predaja zveze napačni celici.

V prvem primeru zaradi slabo določenega praga za predajo zveze izvorna celica prepozno ali pa sploh ne izvede postopka za predajo zveze, celoten potek je predstavljen na sliki 3.03.



Slika 3.03: prepozno izvedena predaja zveze. Diagram ponovne vzpostavitve RRC povezave in obveščanje ob prepozno izvedeni predaji zveze. Na podlagi več prejetih sporočil RLF Indication bazna postaja koračno prilagodi mejo za predajo zveze na problematični relaciji. [11, str. 295]

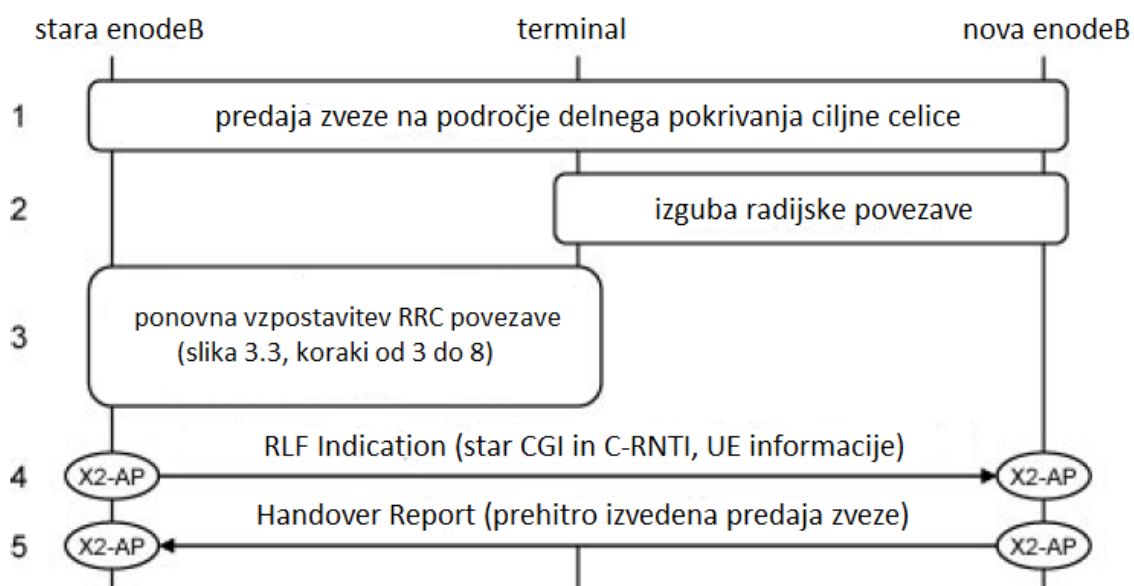
Zaradi tega moč signala izvirne celice pade pod prag sprejema in radijska zveza pade. Terminal na podlagi meritev odkrije najmočnejšo celico, celico na katero bi se morala izvesti predaja zveze. Z metodo naključnega dostopa poizkuša izvesti ponovno

³⁹ UTRAN: Universal Terrestrial Radio Access Network (slv. univerzalno zemeljsko radijsko dostopovno omrežje).

⁴⁰ GERAN: GSM/EDGE Radio Access Network (slv. omrežje radijskega dostopa GSM/EDGE).

vzpostavitev radijske povezave z novo celico, kateri se predstavi s fizično identiteto PCI izvirne celice in svojim starim začasnim identifikatorjem v celičnem radijskem omrežju⁴¹. Po uspešni vzpostavitvi radijske povezave terminal novi celici na njeno željo sporoči zadnje opravljene meritve pred izgubo zveze, in sicer moč signala izvirne celice ter njenih sosed. Nato nova celica staro celico po vmesniku X2 obvesti o neuspešni ali neizvedeni predaji zveze s sporočilom *X2-AP RLF Indication*. Na podlagi več podobnih sporočil izvirna celica prilagodi svoj prag za predajo zveze.

Do prehitre predaje zveze pride v primeru pokrivanja izoliranega področja, kjer na določenem področju terminal za kratek čas zazna celico z močnejšim signalom. Predaja zveze se izvede normalno, ker pa moč nove celice hitro pade, pride do izgube radijske povezave. Na podlagi meritev terminal ponovno odkrije staro celico in z njo ponovno vzpostavi povezavo. Potek je ponazorjen z diagramom slike 3.04, v koraku 3 se ponovijo koraki od 3 do 8, predstavljeni na sliki 3.03.

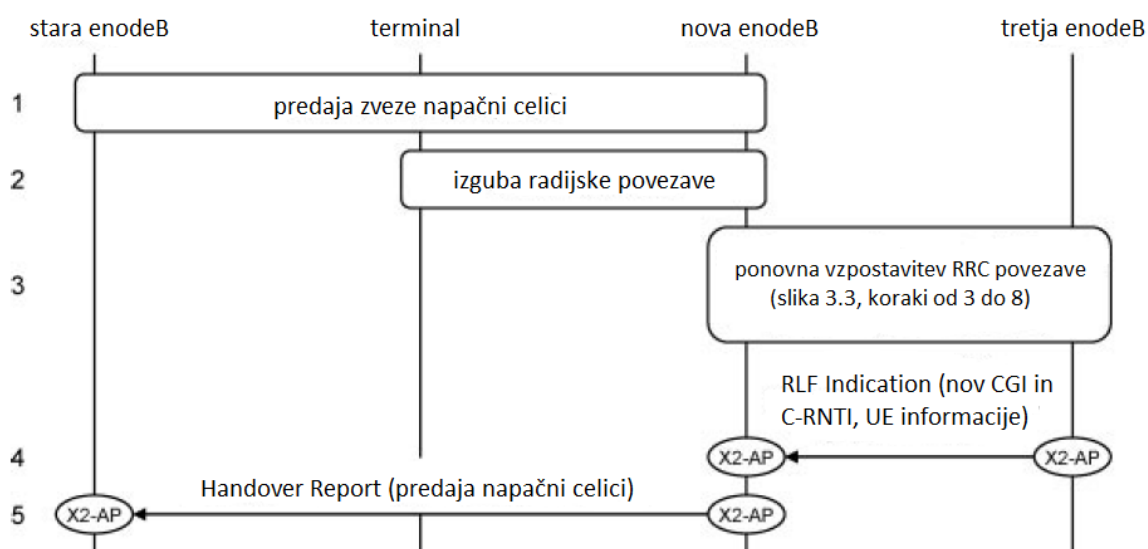


Slika 3.04: prehitro izvedena predaja zveze. Diagram ponovne vzpostavitve RRC povezave in obveščanje ob prehitro izvedeni predaji zveze. V koraku 3 se izvedejo identični koraki od 3 do 8 predstavljeni na sliki 3.03. Na podlagi več prejetih sporočil Handover Report bazna postaja koračno prilagodi mejo za predajo zveze na problematični relaciji. [11, str. 296]

⁴¹ C-RNTI: Cell Radio Network Temporary Identifier (slv. začasni identifikator v celičnem radijskem omrežju).

Med postopkom terminal sporoči zadnje PCI in C-RNTI vrednosti preden je izgubil povezavo, na podlagi česar stara celica pošlje novi celici sporočilo *X2-AP RLF Indication*. Ker gre v sporočilu za terminal kateri ji je bil predan iz strani celice, ki ji pošilja to sporočilo, ji odgovori z *X2-AP Handover Report*. Na podlagi teh sporočil stara celica ponovno prilagodi svoj prag.

Predaja zveze napačni celic je podobna prehitro izvedeni predaji zveze. Zveza se preda napačni celic, kjer ta hitro za tem pade zaradi šibkega signala. Nato na podlagi opravljenih meritev terminal odkrije celico, na katero bi se moral povezati že na začetku. Steče postopek za ponovno vzpostavitev zveze. Nova celica pošlje sporočilo *X2-AP RLF Indication* napačno izbrani celici, le ta pa informacijo posreduje naprej izvorni celici v sporočilu *X2-AP Handover Report*. Kot v vseh primerih se na podlagi teh sporočil prilagodijo meje za predajo zveze.



Slika 3.05: predaja zveze napačni celici. Diagram ponovne vzpostavitve RRC povezave in obveščanje ob predaji zveze napačni celici. V koraku 3 se izvedejo identični koraki od 3 do 8 predstavljeni na sliki 3.03. Na podlagi več prejetih sporočil Handover Report bazna postaja koračno prilagodi mejo za predajo zveze na problematični relaciji. [11, str. 297]

Izgubljene radijske povezave končni uporabnik ne zazna, ima pa napaka velik vpliv na obremenjenost omrežja. Do izpadle povezave pride, ko zaradi različnih razlogov ob izgubljeni povezavi ni možno ponovno vzpostaviti povezavo z omrežjem. V tem primeru uporabnik zazna napako, kvaliteta storitev se občutno zmanjša.

Funkcionalnost optimizacije mobilnosti se osredotoča še na dve posledici slabo definiranih pogojev za predajo zveze. Prva je zmanjšanje nepotrebnih predaj zveze med celicama, ko v zelo kratkem času med dvema celicama pride do večkratne predaje zveze. Težava je pereča predvsem iz vidika gospodarnega razpolaganja s sistemskimi in omrežnimi viri. Podoben problem predstavlja napačna izbira celice za terminal v nedejavnem stanju. Poleg daljšega časa, potrebnega za prehod iz nedejavnega stanja v stanje povezanosti, je posledica neoptimalne izbire celice v nedejavnem stanju ta, da je ob prehodu v aktivno stanje najprej potrebna predaja zveze na najbolj optimalno celico.

3.2.2 Uravnovešanje prometa z optimiziranjem mobilnosti

Še ena funkcionalnost, ki poveča uporabniško izkušnjo in obenem poveča kapaciteto sistema je uravnovešanje prometa z optimiziranjem mobilnosti⁴². Prvič predstavljena v izdaji 8 standarda LTE in razširjena v kasnejših izdajah optimizira promet in obremenjenost radijskega omrežja s prilagoditvijo parametrov za predajo zveze z namenom prehoda robnih uporabnikov iz obremenjene celice v soležno, manj obremenjeno celico. Sama funkcionalnost mora biti izvedena z minimalno obremenitvijo sistema in brez vpliva na splošno mobilnost v omrežju. Pri tem mora upoštevati trenutno obremenjenost različnih delov omrežja in prosto kapaciteto, ki je na voljo v posamezni celici v obeh smereh komunikacije. Odločitev za predajo zveze z namenom uravnovešanja prometa sprejme enodeB na podlagi prejetih meritev o prostih virih, katere zahteva od soležne bazne postaje. V izdaji 8 je definirano, da s sporočilom *X2-AP Resource Status Request* zahteva informacije o odstotku prostih fizičnih blokov vira PRB⁴³ v obeh smereh komunikacije, zagotovljeno bitno hitrost GBR⁴⁴ in ne zagotovljeno bitno hitrost n-GBR⁴⁵, obremenjenosti transportnega sloja in obremenjenosti strojne opreme, obenem pa določi periodičnost pošiljanja omenjenih podatkov. V kasnejših izdajah standarda se za optimalnejšo odločitev število zahtevanih podatkov v osnovnem sporočilu občutno poveča. V izdaji 13 je tako poleg osnovnih informacij zahtevana še prosta kapaciteta na voljo izključno za uravnovešanje prometa (*angl. Composite Available Capacity*), informacijo o skoraj

⁴² MLB: Mobility Load Balancing Optimization (slv. uravnovešanje prometa z optimiziranjem mobilnosti).

⁴³ PRB: Physical Resource Block (slv. fizični blok vira).

⁴⁴ GBR: Guaranteed Bit Rate (slv. zagotovljena bitna hitrost).

⁴⁵ n-GBR: non Guaranteed Bit Rate (slv. nezagotovljena bitna hitrost).

praznih podokvirjih ABS, meritev moči prejetega referenčnega signala RSRP⁴⁶ in poročilo o stanju kanala CSI⁴⁷. Pri funkcionalnosti uravnovešanja prometa je potrebno vzeti v zakup, da se zveza običajno preda manj optimalni celici in da v tem primeru iz vidika mobilnosti obstaja težnja po predaji zveze nazaj na najbolj optimalno celico. Za preprečitev podajanja zveze je v izdaji 9 definirana možnost prilagoditve praga za predajo zveze. Za optimalen izkoristek omrežja je ob polni zasedenosti E-UTRAN omrežja smiselno del prometa preusmeriti v druga omrežja v domeni operaterja. Tako je v standardu izdaje 10 definiran vsebnik za neposreden prenos sporočil RIM⁴⁸ na podlagi česar je možno prelaganje prometa v omrežja prejšnjih generacij, tako UTRAN kot GERAN. RIM sporočila vsebujejo meritve obremenjenosti soležne UMTS⁴⁹ ali GSM⁵⁰ bazne postaje, komunikacija poteka preko S1 vmesnika. V primeru inter-RAT predaje zveze se za določitev količine predanega prometa upošteva ustrezna utežna mera posameznega sistema.

Funkcionalnost je zasnovana na naslednji način. Ko promet v celici naraste, enodeB1 pošlje sporočilo *X2-AP Resource Status Request* soležnim enodeB. Sporočilo vsebuje informacije, katere meritve želi prejemati in periodo sporočanja. Na sliki 3.06. enodeB2 odgovori s sporočilom *X2-AP Resource Status Response*. Če ima dovolj prostih kapacitet in je pripravljena sprejeti del prometa, začne zahtevane vrednosti sporočati po predlagani periodi s sporočili *X2-AP Resource Status Update*. Na podlagi teh meritev se določi najbolj optimalne terminale ter soležne enodeB za predajo zveze, pri predaji se navede razlog. Po predaji zvez enodeB1 ovrednoti svoje parametre za predajo zveze in jih po potrebi prilagodi, da prepreči vrnitev ravno predanih terminalov. To vrednost sporoči sodelujoči enodeB2 s sporočilom *X2-AP Mobility Change Request* z navedenim razlogom za spremembo. Če se ta ne strinja s predlagano vrednostjo, sporoči svojo vrednost s sporočilom *X2-AP Mobility Change Failure*. Za vzdrževanje optimalne mobilnosti sodelujoči enodeB v tem procesu prilagodita svoje parametre za predajo zveze s predlagano vrednostjo.

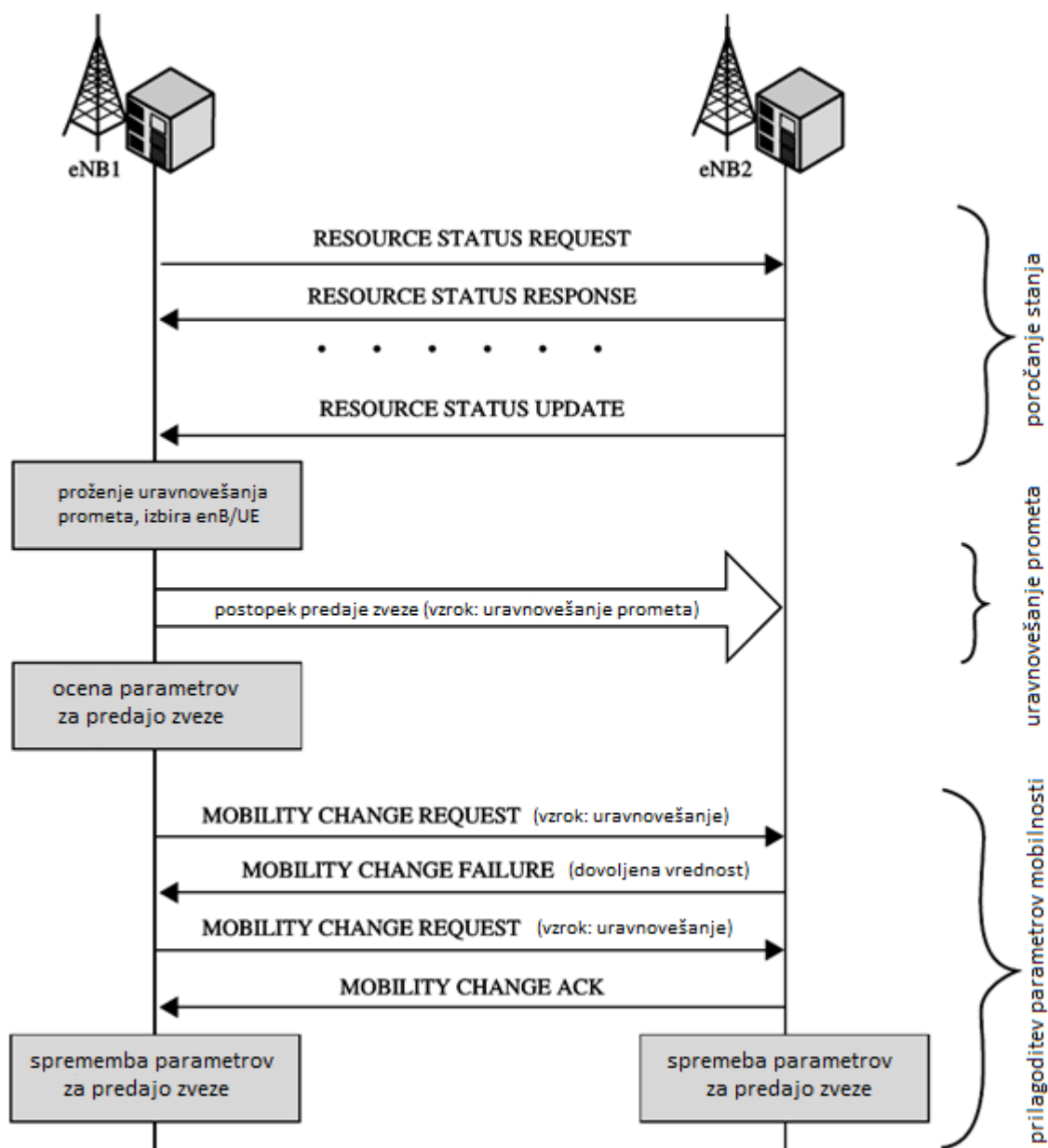
⁴⁶ RSRP: Reference Signal Received Power (slv. prejeta moč referenčnega signala).

⁴⁷ CSI: Channel State Information (slv. informacija o stanju kanala).

⁴⁸ RIM: RAN Information Management (slv. upravljanje z informacijami dostopovnega omrežja). Standardiziran postopek za izmenjavo sistemskih informacij med omrežjem druge/tretje generacije ter omrežjem četrte generacije.

⁴⁹ UMTS: Universal Mobile Telecommunications System (slv. univerzalni mobilni telekomunikacijski sistem).

⁵⁰ GSM: Global System for Mobile Communications (slv. globalni sistem za mobilne komunikacije).



Slika 3.06: uravnavljanje prometa. Celoten postopek uravnavljanja prometa, razdeljen na tri dele. V prvem delu poteka izmenjava informacij o obremenjenosti soležnih celic. V drugem delu se izvede predaja zveze za razbremenitev celice. V tretjem delu vpleteni celici na podlagi izmenjanih informacij prilagodita parameter za predajo zveze na svoji relaciji v izogib vrnitve ravnokar predanega terminala nazaj na staro celico. [12, str. 248]

3.2.3 Usklajevanje medcelične interference

Vsa omrežja, ki temeljijo na ponovni uporabi frekvenc so žrtve medceličnih motenj. V omrežju druge generacije se v izogib medceličnim motnjam uporablja dokaj robustna

shema ponavljanja frekvenc in sicer se frekvenca ponovi le na vsakih nekaj celic. S tem se izognemo interferenci sosednjih celic, na žalost pa shema ni spektralno učinkovita. V okolju, kjer smo omejeni z viri, v tem primeru s frekvenčnim spektrom, želimo polno izkoriščenost v vsaki celici, se pravi faktor pouporabe enak ena. Prva generacije E-UTRA omrežja je zasnovana v homogeni obliki, pokritost s signalom zagotavljajo velike makro celice, v dobro načrtovanem omrežju do interference tipično prihaja le na robovih, kjer se prekrivajo signali različnih celic. Na teh področjih se zaradi interference zmanjša razmerje med signalom in vsoto interference ter šuma SINR, kar privede do zmanjšane pretoka prenosa podatkov in posledično do padca kapacitete sistema. V skrajnem primeru pri zelo visoki interferenci na tem področju komunikacija ne bi bila mogoča, soočali bi se z visokim izpadom delovanja. Zato je v LTE standardu izdaje 8 definirana metoda za usklajevanje medcelične interference⁵¹, ki je del funkcije upravljanja z radijskimi viri⁵². Z interferenco se lahko soočimo na dva načina, ko je le ta že prisotna in reagiramo na njen vpliv, ter proaktivno, ko se ji z določenimi metodami poizkušamo vnaprej izogniti. Usklajevanje medcelične interference poteka v enodeB, komunikacija vpletenih celic poteka po vmesniku X2 s sporočilom *X2-AP Load Information*. Ključen del usklajevanja so meritve terminalov, ki z vrednostmi sprejete moči in kvalitete referenčnega signala RSRP in RSRQ⁵³ ter indikatorja kvalitete kanala CQI⁵⁴ sporočajo razmere na kanalu. Na podlagi teh sporočil enodeB, del katere je celica s prisotnimi motnjami v sporočilu *X2-AP Load Information* sosednji bazni postaji pošlje sporočilo *Overload Indicator*⁵⁵ za fizične bloke vira PRB na katerih je ta motnja prisotna, ilustrirano na zgornjem delu slike 3.07. Obveščena enodeB lahko na podlagi tega sporočila prilagodi razvrščanje prometa v svoji celici in s tem občutno izboljša razmerje SINR. Ta metoda je tipično reakcijska, saj se ukvarja s posledicami interference. Naslednji dve shemi sta proaktivni, saj poizkušata preprečiti nastanek motnje. V prvi shemi, predstavljeni na zgornjem delu slike 3.07 enodeB s sporočilom *High Interference Indicator*⁵⁶ sporoča, kateri bloki vira so občutljivi na interferenco. Na podlagi te informacije se lahko obveščena enodeB izogiba oddaji na teh blokih vira.

⁵¹ ICIC: Inter-cell Interference Coordination (slv. usklajevanje medcelične interference).

⁵² RRM: Radio Resource Management (slv. upravljanje z radijskimi viri).

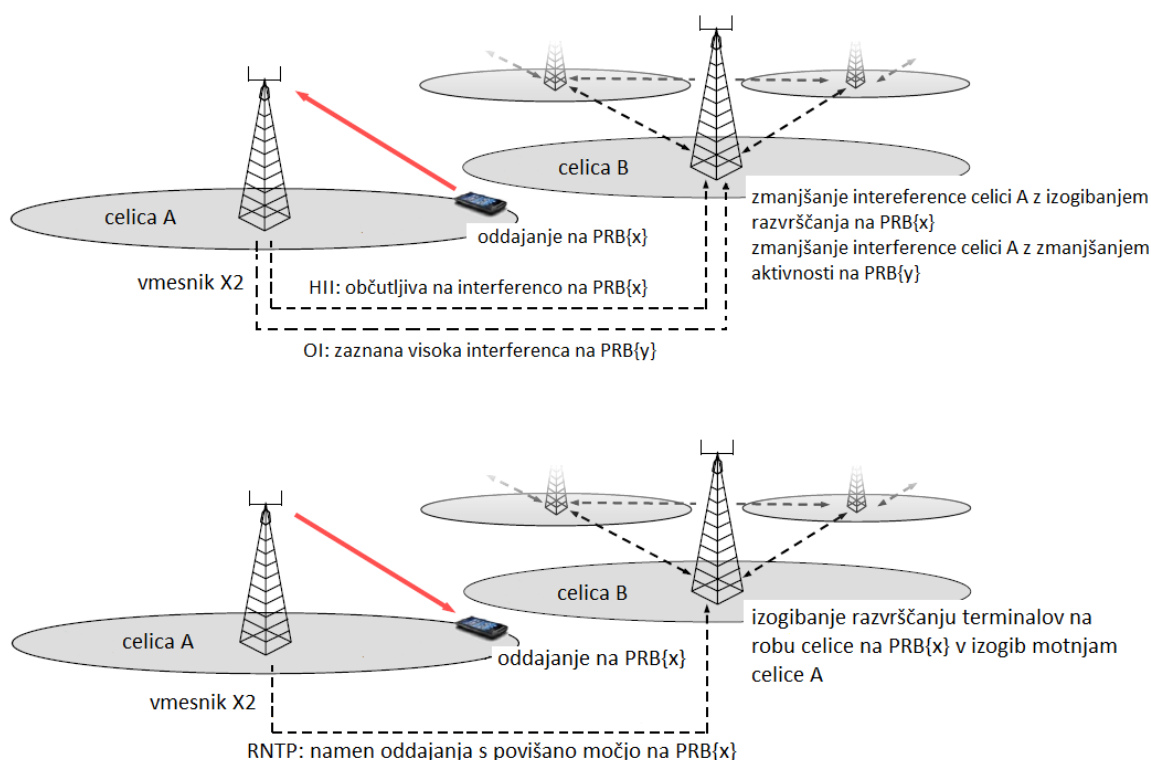
⁵³ RSRQ: Reference Signal Received Quality (slv. sprejeta kvaliteta referenčnega signala).

⁵⁴ CQI: Channel Quality Indicator (slv. indikator kvalitete kanala).

⁵⁵ OI: Overload Indicator (slv. indikator preobremenitve).

⁵⁶ HII: High Interference Indicator (slv. indikator visoke interference).

Druga shema pa je obveščanje sosednje enodeB s sporočilom Relative Narrowband Transmit Power⁵⁷ na katerih fizičnih blokih vira ima namen oddajati z povišano močjo.



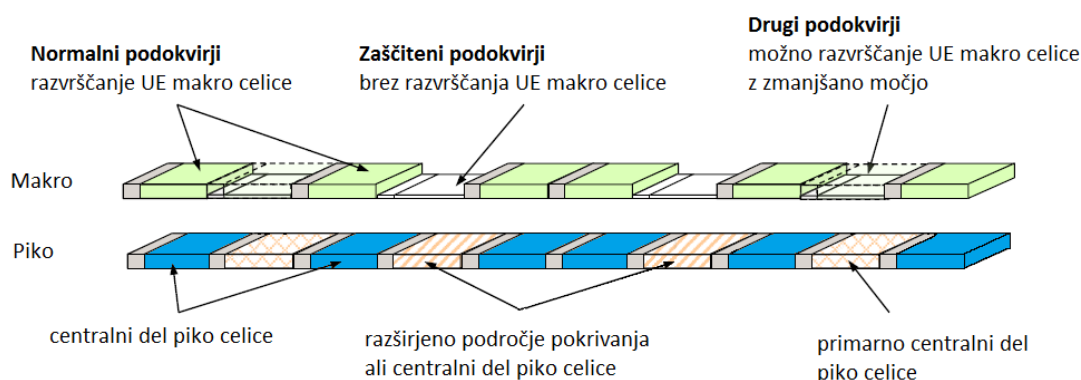
Slika 3.07: usklajevanje medcelične interference. Osnovne sheme usklajevanja medcelične interference, definirane v standardu izdaje 8. Zgornja slika ponazarja usklajevanje medcelične interference v smeri komunikacije proti bazni postaji, obveščanje sosednje celice o zaznanih motnjah na posameznih fizičnih blokih vira s sporočiloma HII in OI. Spodnja slika ponazarja usklajevanje medcelične interference v smeri komunikacije od bazne postaje, obveščanje sosednje celice o oddaji z zvišano močjo na posameznih fizičnih blokih vira s sporočilom RNTP. [1, str. 374-375]

Na podlagi te informacije se lahko obveščena enodeB izogiba oddajanju na dotičnih blokih vira v izogib interferenci. Sicer nikjer v standardu ni posebej definirano, da je potrebno te informacije striktno upoštevati. So zgolj informativne narave, je pa v interesu vseh vpletenih celic zagotoviti najboljše možne razmere na kanalu in najvišjo možno kapaciteto sistema v danem trenutku. S pametnim razvrščanjem prometa se

⁵⁷ RNTP: Relative Narrowband Transmit Power (slv. relativno nizka oddajna moč).

razmerje SINR izboljša v vseh vpletenih celicah. Kot je že bilo omenjeno, v homogenih omrežjih je interferenca prisotna le na robovih celic, v središču celic kjer ni prekrivanja signala se tako uporabljajo vsi bloki vira, ki so na voljo.

Je pa iz vidika učinkovite izrabe frekvenčnega spektra, ki je na voljo veliko boljše heterogena zasnova omrežja. Z dodatnimi piko celicami manjših oddajnih moči in krajšega dosega znotraj področja pokrivanja makro celice zagotovimo zadostno kapaciteto omrežja v tako imenovanih vročih točkah, s tem pa vnesemo dodatno interferenco v omrežje. Te motnje so prisotne za terminale v razširjenem področju pokrivanja piko celice. Zato je bilo v LTE standardu izdaje 10 definirano izboljšano usklajevanje medcelične interference⁵⁸. Ta deluje na principu omejevanja oddajne moči makro celice na določenih podokvirjih, predstavljeno na sliki 3.08.



Slika 3.08: izboljšano usklajevanje medcelične interference. Usklajevanje medcelične interference z usklajenim razvrščanjem prometa po posameznih fizičnih blokih vira. Skoraj prazni podokvirji ABS so rezervirani za razvrščanje prometa v razširjenem področju pokrivanja piko celice, v določenih primerih je na njih možno razvrščanje makro celice z zmanjšano močjo ob sočasnem razvrščanju prometa centralnega dela piko celice. [1, str.395]

Na teh skoraj praznih podokvirjih so terminali znotraj razširjenega področja pokrivanja podvrženi manjšim motnjam iz strani makro celice. Zato piko celica promet iz terminalov znotraj razširjenega področja pokrivanja razvršča po skoraj praznih podokvirjih, terminalom v notranjem delu pokrivanja piko celice pa so na voljo vsi

⁵⁸ eICIC: Enhanced Inter-cell Interference Coordination (slv. izboljšano usklajevanje medcelične interference).

podokvirji. Nasprotno pa makro celica promet razvršča po prostih, ne-ABS podokvirjih, kar zmanjša kapaciteto celice. Zato mora biti doprinos piko celice znotraj pokrivanja makro celice višji od zmanjšanja kapacitete višje ležeče celice. Vzorec praznih podokvirjev se sporoča po X2 vmesniku s sporočilom *ABS Information*. Dodeljevanje ABS podokvirjev je dinamično, odvisno od potreb piko celice. V času manjšega prometa se viri dodelijo nazaj makro celici, ki zagotavlja geografsko pokrivanje širšega dela področja. Manjši delež podokvirjev je vedno zaščitenih, njim je vedno določen status skoraj praznih podokvirjev. Na ta način lahko piko celica vedno doseže terminal v razširjenem področju pokrivanja, v nasprotnem primeru bi s terminalom, ki bi zašel na to področje izgubili zvezo. [1]

3.2.4 Koordinirana večtočkovna oddaja in sprejem

Prve razprave o uvedbi metode koordinacije večtočkovne oddaje in sprejema so potekale med delom na specifikaciji izdaje 10, metoda pa je bila definirana v izdaji 11. V celicah je moč signala in s tem prenosna hitrost najvišja v njenem centru in pada s kvadratom razdalje od centra proti robu. Tako je signal najšibkejši na robi celice, prenosne hitrosti so najnižje, poleg vsega tega pa je tam komunikacija motena zaradi vpliva delovanja sosednjih baznih postaj. Zato je bila definirana metoda koordinirane večtočkovne oddaje in sprejema kot orodje za izboljšanje prenosnih hitrosti na področju pokrivanja celotne celice, izboljšanje pretoka na robu celic, zmanjšanja medcelične interference ter izboljšanje pretoka celotnega sistema. Pri definiciji metode je bilo privzeto, da med baznimi postajami vpletenimi v koordinacijo obstajajo povezave nizkih zakasnitev ter da so celice med seboj sinhronizirane. Ker realno stanje v večini omrežij ne odraža tega, je uporabnost same metode omejena na celice iste bazne postaje in oddaljene radijske enote. Glede na uporabljene sheme metodo razdelimo na večtočkovno koordinacijo in večtočkovni prenos. Večtočkovno koordinacijo lahko štejemo kot razširjeno metodo usklajevanja medcelične interference ICIC, definirano v standardu izdaje 8, zato jo pogojno lahko uvrščamo med postopke samo optimizacije. Glavna razlika med njima je, da ICIC temelji na izmenjavi sporočil med enodeB, metoda CoMP pa poleg poročil enodeB svoje odločitve sprejema na podlagi sporočil terminalov.

Večtočkovno koordinacijo v smeri navzdol zajemajo sheme, pri katerih prenos vedno poteka iz ene same oddajne točke, funkcije kot so prilagajanje hitrosti povezave in ali razvrščanje pa so koordinirane med več različnimi oddajnimi točkami. Celice, ki

pokrivajo lokacijo terminala, si med seboj izmenjujejo poročila o razvrščanju in podatkovnih hitrostih na posameznih blokih vira. V dinamičnem okolju se razmere na kanalu spreminjajo hitro, zato je v specifikaciji predvidena povezava nizkih zakasnitev. Prav tako pa terminal strežni celici pošilja sporočila z informacijami o stanju na kanalu za različne točke oddaje. Na podlagi vseh teh podatkov se enodeB odloči, na katerih blokih vira bo oddajala svoje podatke, kdaj in s kakšno hitrostjo. Na ta način se izogne interferenci sosednjih celic, obenem pa z dobrim razvrščanjem tudi sama vnese minimalno interferenco v sistem.

Večtočkovni prenos v smeri navzdol lahko poteka na dva načina, iz ene točke z možnostjo menjave točke oddajanja ali hkrati iz več točk. Prvo imenujemo dinamična izbira točke oddaje⁵⁹. Kot v primeru koordinacije se ocenjujejo razmere na prenosnem kanalu in na podlagi teh ocen se izbere točko prenosa. V primeru večjih sprememb na prenosnem kanalu se lahko, kot pove ime dinamično spremeni točka oddajanja.



Slika 3.09: dinamična izbira točke oddajanja. Dinamična izbira točke oddajanja na podlagi razmer na prenosnem kanalu, prenos poteka po kanalu z boljšimi razmerami. V primeru poslabšanja se prenosni kanal dinamično zamenja z boljšim. [1, str. 381]

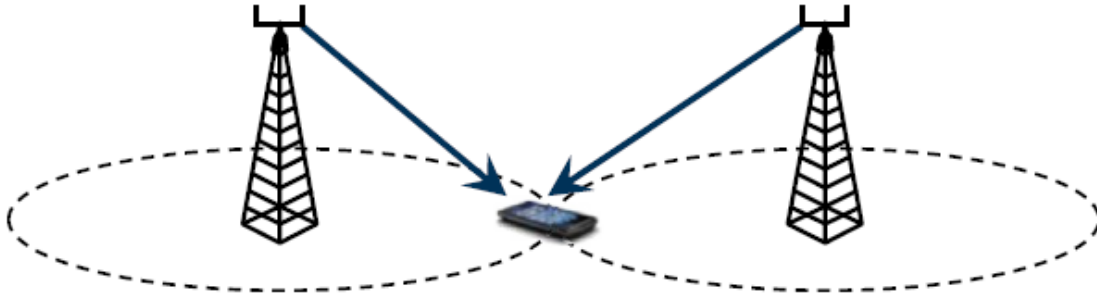
Sprememba točke oddajanja se izvede brez klasične predaje zveze, terminal se ne zave menjave točke oddaje, zazna le zamenjavo kanala PDSCH⁶⁰. Drugo tehniko imenujemo združen prenos⁶¹. Ta temelji na združeni oddaji dveh ali več točk, na podlagi česar terminal prejema podatke z večjo močjo. Korist te metode je odvisna od razpoložljivosti dodatnih kapacitet, ki jih je možno nameniti za prenos istih podatkov in

⁵⁹ DPS: Dynamic Point Selection (slv. dinamična izbira točke oddaje).

⁶⁰ PDSCH: Physical Downlink Shared Channel (slv. fizični souporabniški kanal v smeri navzdol).

⁶¹ JT: Joint Transmission (slv. združen prenos).

od povzročene interference ostalim prenosom. V praksi je ta metoda uporabna le v manj prometnih celicah, kjer je v danem trenutku na voljo dovolj kapacitete in dodaten prenos ne moti ostalih.



Slika 3.10: združen prenos. Z združitvijo prenosa iz dveh ali več oddajnih točk proti istemu terminalu se močno poveča kvaliteta in moč prejetega signala. [1, str. 384]

Podobni osnovni principi se uporabljajo pri prenosu v smeri navzgor. Večtočkovna koordinacija v smeri navzgor je tehnika dinamične koordinacije prenosa v smeri navzgor z namenom nadzora interference in za izboljšanje prepustnosti sistema v smeri navzgor. Skupni sprejem ali večtočkovni sprejem je tehnika sprejema prenosa v smeri navzgor v več različnih točkah. Za razliko od tehnik v smeri navzdol tehnike CoMP v smeri navzgor nimajo večjega vpliva na specifikacije radijskega vmesnika. Informacije o stanju kanala potrebne za koordinacijo razvrščanja v smeri navzgor so pridobljene na strani sprejemne točke, terminalu ni potrebno sporočati nobenih povratnih informacij. [1] Prav tako je terminalu nepomembna točka sprejema njegovega prenosa, v kolikor sporočila kot so HARQ sprejema na ustrezen način. V praksi to pomeni, da ne glede na točko sprejema poslane informacije v smeri navzgor, potrditve HARQ vedno prejema iz strežne celice. Za zadovoljitev časovne odvisnosti HARQ potrditev mora v tem primeru med sprejemnimi točkami obstajati povezava z nizkimi zakasnitvami. Zato sama CoMP specifikacija izdaje 11 temelji na obstoju takšne povezave. [1] [13]

3.2.5 Optimizacija kanala za naključni dostop

Terminali se v omrežje E-UTRA povezujejo preko kanala za naključni dostop RACH⁶². Ker je običajno na voljo več omrežij različnih operaterjev, se terminal najprej s poslušanjem primarnih in sekundarnih sinhronizacijskih signalov sinhronizira z vsako zaznano frekvenco in prebere informacijska bloka MIB⁶³ in SIB1. Na podlagi podatkov zapisanih v SIB1 najde celico, katera pripada domačemu operaterju. Prvo sporočilo, ki ga terminal pošlje omrežju je RACH preambula. V posamezni celici je na voljo 64 RACH preambul, katere se določijo na podlagi periodičnih zamikov ene ali več temeljnih 838 Zadoff-Chu sekvenc. Število uporabljenih temeljnih sekvenc je odvisno od konfiguracije celice in razpršitve signala zaradi hitrosti gibanja terminala. RACH preambula je prva začasna identifikacija terminala na podlagi katere omrežje razlikuje med različnimi zahtevami po povezavi. Procedura naključnega dostopa se izvede v naslednjih primerih:

- prehod terminala iz neaktivnega stanja v stanje povezanosti
- ponovna vzpostavitev povezave RRC⁶⁴
- oddaja podatkov terminala
- predaja zveze
- prejem podatkov terminala
- določanje položaja terminala na podlagi parametra TA

Zadnji trije scenariji so izvedeni s tako imenovanim postopkom naključnega dostopa na netekmovalen način. Na ta način RACH preambulo terminalu določi enodeB, kar zaradi nadzorovanega podeljevanja vrednosti zmanjša možnost kolizije. Prvi trije scenariji pa spadajo v kategorijo postopka naključnega dostopa na tekmovalen način. V teh primerih je pobudnik za vzpostavitev povezave terminal sam, zato naključno izbere eno izmed RACH preambul, ki so mu na voljo v bloku SIB2⁶⁵. Če v istem trenutku na isti frekvenci več terminalov izbere isto vrednost, pride do kolizije. V tem primeru terminal na podlagi parametrov določenih v bloku SIB2 izbere drugo vrednost, koračno zviša moč oddaje in to ponavlja do pozitivnega odziva omrežja ali izteka časovnika. Zaradi slabo definiranih parametrov kanala za naključni dostop v omrežju

⁶² RACH: Random Access Channel (slv. kanal z naključnim dostopom).

⁶³ MIB: Master Information Block (slv. glavni blok informacij).

⁶⁴ RRC: Radio Resource Control (slv. krmiljenje radijskih virov).

⁶⁵ SIB2: System Information Block 2 (slv. blok sistemskih informacij 2).

narastejo medcelične motnje, verjetnost kolizij v omrežju se zviša, posledično narastejo zakasnitve vzpostavitev in predaj zvez, njihov odstotek uspešnosti pade. Ker obstaja korelacija med parametri kanala za naključni dostop in konfiguracijo omrežja je smiselna vpeljava samodejnega prilagajanja teh parametrov v odvisnosti od sprememb v omrežju.

Algoritem za prilagajanje parametrov naključnega dostopa je del enodeB, prilagajanje poteka proaktivno z izmenjavo uporabljenih parametrov med sosednjimi enodeB po vmesniku X2, ali reakcijsko na podlagi poročila pravkar povezanega terminala. Terminal na zahtevo enodeB pošlje poročilo o številu uporabljenih RACH preambul, vsaka neuspešno uporabljena vrednost zaradi kolizije je dodatno označena. Na podlagi tega se oceni verjetnost dostopa in verjetnost zakasnitve pri dostopu, uspešnost lahko zviša s prilagoditvijo moči oddajanja RACH preambul in pa vrednosti za koračno dviganje moči. Uporabljena moč ima neposreden vpliv na medcelične motnje, zato je naloga algoritma določiti ravnovesje med zakasnitvami pri dostopu in vnosom medcelične interference v smeri navzgor. Parametre kanala za naključni dostop si sosednje enodeB izmenjajo med vzpostavitvijo X2 vmesnika ter po vsaki posodobitvi svoje konfiguracije. Sporočajo si naslednje vrednosti:

- rootSequenceIndex: temeljne sekvence uporabljene za izračun RACH preambul
- zeroCorrelationZoneConfig: vrednost, ki zagotavlja ortogonalnost izračunanih preambul
- prach-FreqOffset: na katerih PRB se oddaja RACH, za celice v FDD načinu oddaje
- prach-ConfigIndex: na katerih PRB se oddaja RACH, za celice v TDD načinu oddaje
- highSpeedFlag: označuje celice s hitrimi prehodi terminalov

Na podlagi teh informacij SON algoritem prilagodi parametre za preračun in oddajo RACH preambul, ter s tem zmanjša možnost interference med sosednjimi celicami in izboljša uspešnost povezav na kanalu za naključni dostop.

3.2.6 Zmanjšanje terenskega testiranja omrežja

V fazi načrtovanja novega mobilnega omrežja se uporabljajo namenska programska orodja, ki temeljijo na matematičnih modelih predikcije razširjanja elektromagnetnega

valovanja. Z njihovo pomočjo se določi lokacija novih baznih postaj, višina antenskega stolpa, vrsta anten in njihov naklon, ter oddajna moč bazne postaje. Na ta način se dobi prva, groba slika pokritosti. Ker pa s programsko opremo ni možno popolnoma simulirati dejanskega stanja, se izvajajo meritve in testiranja omrežja na terenu. Običajno to poteka z namenskim vozilom, opremljenim z vso potrebno opremo, antenami različnih polarizacij, s terminali za vzpostavljanje klicnih in podatkovnih zvez, spektralnim analizatorjem, ter podatkovnim sistemom za shranjevanje opravljenih meritev. Surovi podatki meritev se kasneje obdelajo in predstavijo v razumljivi obliki. Tako se oceni dejanska pokritost s signalom, odkrije luknje v pokrivanju, celice z nižjimi prenosnimi hitrostmi od pričakovanih, napake v predaji zveze itd. Na podlagi teh podatkov se na terenu izvede spremembe kot so dvig antenskih stolpov, naklon anten, prilagodi oddajne moči posameznih celic, v skrajnih primerih se postavi dodatno novo bazno postajo, oddaljeno radijsko enoto ali relejno postajo. Na koncu se ponovno opravijo iste meritve in testiranja zaradi validacije opravljenih sprememb. Takšne meritve se intenzivno uporabljajo pri nadgradnji radijskega omrežja, pri vpeljavi omrežja novejše generacije, pri preverjanju vpliva arhitekturnih sprememb na razširjanje signala na določenem področju, odkrivanju motenj v omrežju, ter za komercialno predstavitev kvalitete omrežja. Poleg neprecenljive vrednosti teh podatkov za operaterja ima takšno testiranje tudi kar nekaj pomanjkljivosti. Kot že omenjeno, se ti podatki obdelujejo kasneje, običajno v operaterjevih poslovnih prostorih. Spremembe v omrežju, opravljene na podlagi terenskih meritev so zato počasne, moteče napake za končnega uporabnika so prisotne dalj časa. Druga pomanjkljivost je operaterjev strošek, ki ga predstavlja nakup ali najem namenskega vozila, plačilo strokovnjakov za zajem in obdelavo podatkov in stroški povezani z uporabo vozila. Prav tako ni zanemarljiv vpliv številnih voženj na okolje. Zaradi težav z dostopom vozila se ti podatki običajno zajemajo po glavnih cestah, mestnih ulicah in avtocestah. Zato niti na podlagi teh podatkov slika pokritosti z radijskim signalom ni popolnoma jasna. Pokritost težko dostopnih mest, zasebnih posesti, parkov, pešpoti in pokritost znotraj zgradb ostaja popolna neznanka. V določeni meri bi bilo možno te podatke pridobiti z namenskimi ročnimi terminali, a bi bili iz finančnega in časovnega vidika neupravičeni. Ta način se dejansko uporablja le za odkrivanje motenj radijskega signala na podlagi reklamacij ali slabih statistik delovanja posameznih celic. Glede na to, da terminali v omrežju sami izvajajo določene meritve za zagotavljanje mobilnosti, se je porodila ideja o uporabi teh meritev zaradi konkretnjših podatkov o stanju

omrežja brez lokacijskih omejitev, hitrejša dosegljivosti in njihove interpretacije, ter občutno nižje cene v primerjavi s klasičnim načinom zajema podatkov. Ideja je bila povzeta iz strani skupine 3GPP v tehničnem poročilu TR36.805 [14] in v tehnični specifikaciji TS37.320 [15] pod imenom zmanjšanje terenskega testiranja omrežja⁶⁶. Zaradi omejitve vpliva na porabo energije in procesorske moči terminalov se v največji možni meri uporabljajo obstoječe RRM in SON meritve skupaj z opravljenimi enodeB meritvami, v kolikor le te zadostujejo za posamezen primer. Nabor definiranih meritev v tehničnem poročilu TR36.805 [14] je sledeč:

- Periodično merjenje signala v povezavi navzdol. Meritve CPICH⁶⁷ RSCP⁶⁸, CPICH Ec/No⁶⁹ ali RSRP in RSRQ, na podlagi katerih se oceni pokritost v smeri navzdol in dosegljiv pretok. Obstoječe RRM meritve ne poročajo lokacije, za določitev problematičnega področja znotraj celice je potrebna meritev na terenu. Meritev je omejena na terminale, ki se ne soočajo z izgubo radijske povezave in imajo zadostno pokritost v smeri navzgor.
- Merjena celica postane slabša od prednastavljenega nivoja. Meritve CPICH RSCP, CPICH Ec/No ali RSRP in RSRQ, na podlagi katerih se oceni izgubo pokritost. Nivo signala, pod katerim se obravnava kot izguba pokritosti je nastavljen glede na operaterjev kriterij. Za razjasnitev vzroka, ki pripelje do izgube pokritosti, se uporablja meritev z drsečim oknom.
- Prosta oddajna moč terminala nižja od prednastavljenega nivoja. Prosta oddajna moč in meritve CPICH RSCP, CPICH Ec/No ali RSRP in RSRQ, na podlagi katerih se oceni nezadovoljiva povezava v smeri navzgor posamezne celice in določi dosegljiva prepustnost omrežja v smeri navzgor. V izogib nepotrebnemu poročanju je potrebno upoštevati razporeditev virov PRB. Meritev je možna le v celicah, v katerih je zadovoljiva povezava v smeri navzgor za poročanje meritve.
- Napaka naključnega dostopa. Podrobnosti napake naključnega dostopa in meritve CPICH RSCP, CPICH Ec/No ali RSRP in RSRQ. Vzrok napake običajno zaradi napačne oddajne moči ali zasičenosti omrežja, meritev uporabna v omrežjih brez SON funkcionalnosti.

⁶⁶ MDT: Minimization of Drive Tests (slv. zmanjšanje terenskega testiranja omrežja).

⁶⁷ CPICH: Common Pilot Channel (slv. skupni poizkusni kanal).

⁶⁸ RSCP: Received Signal Code Power (slv. kodna moč sprejetega signala).

⁶⁹ Ec/No: Energy per Chip / Power Density (slv. energija na čip / gostota moči). Razmerje med RSCP in RSSI.

- Napaka klicnega kanala. Podrobnosti radio frekvenčnega okolja, lokacije, časa in identitete celice v trenutku, ko terminal dvakrat zaporedoma ne uspe dešifrirati PCCH⁷⁰. Posledica neuspešno dešifriranega PCCH je nedosegljivost terminala, rezultat česar je nezadovoljstvo končnega uporabnika in izguba operaterjevega prihodka.
- Napaka kanala z razpršeno oddajo. Podrobnosti radio frekvenčnega okolja, lokacije, časa, identitete celice in frekvence v trenutku, ko terminal ne uspe prebrati potrebnih sistemskih podatkov skupnega kanala v smeri navzdol, na podlagi katerih bi dokončal proceduro za čakanje v celici. Ker se sistemske informacije oddajajo v razpršenem načinu, enodeB ne more biti seznanjena s terminali, ki ne morejo čakati v celici zaradi napake v branju sistemskih informacij. Napaka se zabeleži, ko terminal po izbiri celice za čakanje dvakrat zaporedno ne uspe prebrati PBCH⁷¹. Napaka se zabeleži, ko terminal po čakanju na celici trikrat zaporedno ne najde SI-RNTI⁷² prvega sistemskega informacijskega bloka SIB1. Napaka se zabeleži, ko terminal po čakanju na celici štirikrat zaporedno ne uspe prebrati DL-SCH⁷³ za SIB1.
- Poročilo o izgubi radijske povezave. Meritve CPICH RSCP, CPICH Ec/No ali RSRP in RSRQ v trenutku izgube radijske povezave. Vzrok napake običajno zaradi slabega pokrivanja ali napake v predaji zveze, meritev uporabna v omrežjih brez SON funkcionalnosti.

Terminali za izvedbo posameznih meritev se izberejo na podlagi nabora možnih opravljenih meritev določenega tipa terminalov. Meritve se lahko izvajajo tako v povezanem kot v nedejavnem stanju terminala. Zaradi vpliva sprotnega sporočanja rezultatov na porabo baterije in obremenitve omrežja s signalizacijo se daje prednost shranjevanju meritev v terminalu za kasnejše poročanje. Čas izvajanja in poročanja meritev je ločeno nastavljen. Potrebne meritve določi operater, zahteva pride iz omrežja v terminal v povezanem stanju, meritve se lahko izvajajo v nedejavnem stanju. Terminal meritve sporoči na zahtevo omrežja. Po zaključku opravljanja predpisanih meritev je datoteka na voljo 48 ur, v kolikor v tem času ne prejme zahteve za poročanje

⁷⁰ PCCH: Paging Control Channel (slv. klicni krmilni kanal)

⁷¹ PBCH: Physical Broadcast Channel (slv. fizični kanal z razpršeno oddajo).

⁷² SI-RNTI: System Information Radio Network Temporary Identifier (slv. sistemske informacije začasnega identifikatorja radijskega omrežja).

⁷³ DL-SCH: Downlink Shared Channel (slv. souporabniški kanal v smeri navzdol).

rezultatov, se datoteka izbriše iz terminala. Zaradi velikosti datoteke se le ta prenaša razdrobljeno, po sistemu FIFO⁷⁴. Za dogodke, kot je izguba radijske povezave je določen zajem meritev z drsečim oknom. Zajem meritev je možno določiti lokacijsko, le te potekajo v terminalih, ko so znotraj področja pokrivanja prednastavljenih celic. Resnična prednost pred klasičnim terenskim testiranjem omrežja pa je dejstvo, da so meritve na voljo tudi iz prej geografsko in arhitektonsko nedosegljivih področij. Rešitve za zmanjšanje terenskega testiranja delujejo neodvisno od podpore ali uporabe SON funkcionalnosti v omrežju, se pa zaradi vpliva na optimizacijo omrežja uvrščajo v isto kategorijo.

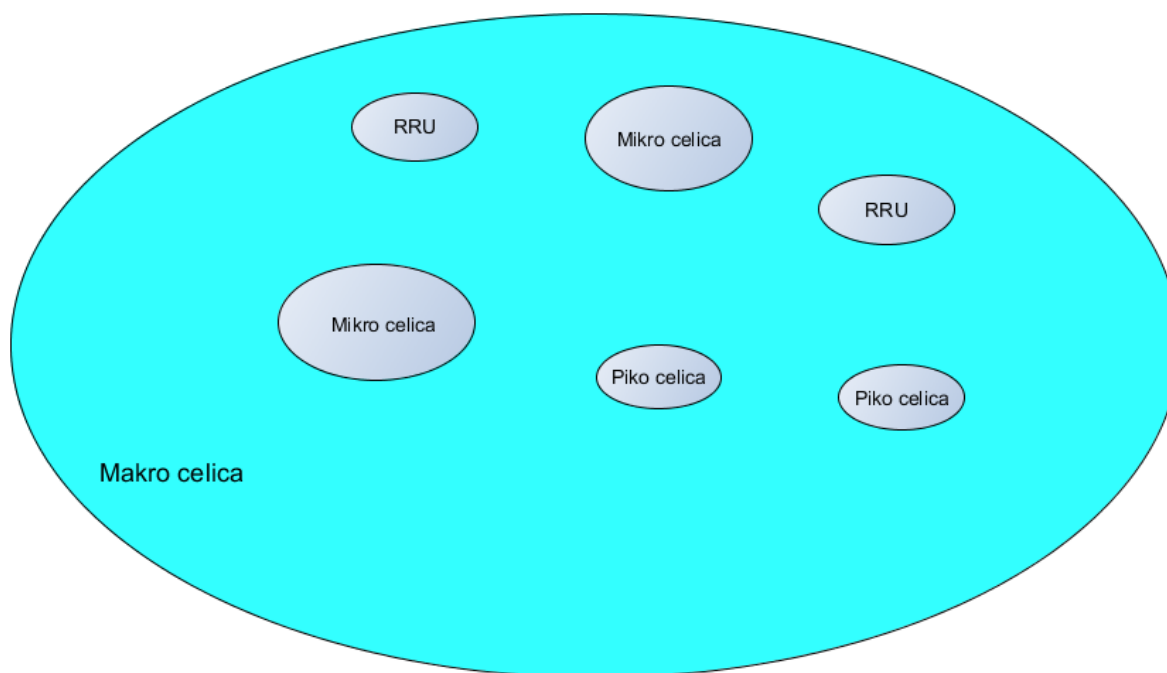
3.2.7 Varčevanje z energijo

Glavni cilj vsakega ponudnika storitev je zagotavljanje najvišje možne kvalitete storitev. V mobilnih komunikacijah to pomeni dobro pokritost s signalom za zagotovitev popolne mobilnosti, ter visoko kapaciteto celic z nizkimi zakasnitvami. Končnim uporabnikom naj bi bil takšen nivo storitve na voljo ves čas. Kar pomeni, da je omrežje predimenzionirano, običajno grajeno za normalno delovanje v glavni prometni uri. Promet v radijskem omrežju je dinamičen, kapaciteta je večinoma neizkoriščena. Prav tako se zaradi globalnega segrevanja soočamo s težnjo po zmanjševanju toplogrednih plinov. Mobilna omrežja imajo največji vpliv na okolje na račun porabe električne energije. Z zmanjšanjem porabe se zmanjša tudi strošek upravljanja z omrežjem, kar je definitivno privlačna prodajna točka vsakemu operaterju. Osnovni pogoj zmanjševanja porabe energije v omrežju je zagotavljanje zadovoljive ravni storitev, uporabniki ne smejo zaznati nobene razlike v delovanju. Poraba se lahko zmanjša na dva načina, z zmanjšanjem kapacitete celice ali z njeno popolno zaustavitvijo. SON algoritmi za upravljanje z energijo so lahko centralizirani ali distribuirani, odvisno od posameznega primera in uporabnosti. V primeru zmanjševanja kapacitete je algoritem del bazne postaje, ob zmanjšanju prometa v celici gre po vnaprej določenem času del kapacitet v stanje mirovanja. Ob povišanju prometa gre vsa strojna oprema ponovno v aktivno stanje. Pokrivanje in s tem mobilnost v tem primeru ostane nespremenjena, metoda nima večjega vpliva na obremenitev omrežja.

Metoda z ugašanjem celic je kompleksnejša in je odvisna od same arhitekture omrežja. V primeru heterogenega omrežja, kjer obstaja več nivojev pokrivanja določenega

⁷⁴ FIFO: First In First Out (slv. prvi noter, prvi ven).

področja, se manipulira s posameznimi nivoji. Makro celica zagotavlja pokritost večjega geografskega področja, znotraj katerega mikro in piko celice zagotavljajo visoko kapaciteto, ponazorjeno v sliki 3.11. Delovanje le teh je pogojeno s količino prometa, v času zmanjšanja preidejo v stanje mirovanja. Kontrolni del celice ostane aktiven zaradi čim krajšega prehoda nazaj v aktivno stanje, ugasne se le radijski del celice.

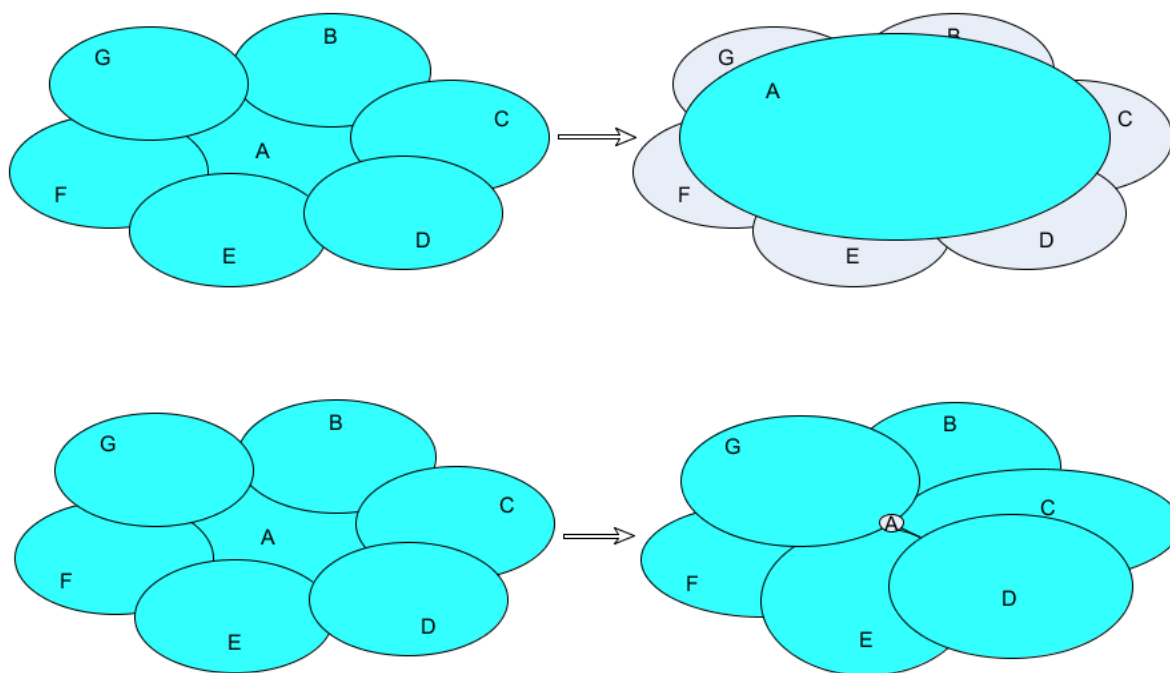


Slika 3.11: varčevanje z energijo v heterogenem omrežju. Ob zmanjšanem prometu manjše celice, namenjene izključno zagotavljanju zadovoljivih kapacitet in prenosnih hitrosti v vročih točkah preidejo v stanje mirovanja. Storitve zagotavlja makro nivo, tehnologija radijskega dostopa ni generacijsko pogojena.

Funkcionalnost je v izključno E-UTRA omrežju distribuirana, spremembe se vršijo na lokalni ravni, komunikacija med vpletenimi omrežnimi elementi poteka po vmesniku X2. Uporaba funkcionalnosti je neodvisna od tehnologije radijskega dostopa. V klasičnih omrežjih, mešanici GERAN, UTRAN in E-UTRAN se zaradi nadzora nad prehodi med različnimi stanji celic del funkcionalnosti seli v centraliziran nadzor. Običajno v nočnem času, ob zmanjšanem prometu LTE celice preidejo v stanje mirovanja, osnovne klicne storitve lahko zagotavlja omrežje druge ali tretje generacije, podatkovne storitve zagotavlja protokol HSPA⁷⁵, v kolikor je na voljo. Druga, dandanes

⁷⁵ HSPA: High Speed Packet Access (slv. paketni dostop z visoko hitrostjo).

redkejša je homogena oblika omrežja. Uporabna v ruralnem okolju, na prometno manj obremenjujočih področjih z bolj enakomerno porazdeljenim številom uporabnikov. Prehodi med celicami so bolj izraziti, zagotavljanje mobilnosti je zahtevnejše. Zaradi oblike omrežja bi ugasnjena celica pomenila izgubo signala na določenem področju in s tem izgubo mobilnosti.



Slika 3.12: varčevanje z energijo v homogenem omrežju. Ker v homogenem omrežju ni višje ležečega makro nivoja, ki bi v primeru ugasnitve določenih celic nadomestil pokrivanje izpadlega področja, se le to kompenzira s spremembo parametrov delujočih celic. Na sliki zgoraj je prikazan primer konkretno zmanjšane prometa, kjer celica A prevzame vlogo makro nivoja, ostalih šest celic pa preide v stanje mirovanja. Na sliki spodaj je prikazan manj ekstremen primer, kjer celica A preide v stanje mirovanja, ostalih šest celic pa z manjšimi spremembami parametrov nadomesti pokrivanje področja celice A.

V tem primeru ni krovne celice, ki bi ob ustavitvi določenega deleža celic še vedno zagotavljala storitev. Zato je funkcionalnost izključno centralizirane narave, logika odločanja deluje na podlagi podatkov širšega dela omrežja. Izgubo pokritosti zaradi zaustavitve celice je potrebno nadomestiti, to se doseže s spremembo parametrov, nagiba anten in oddajne moči sosednje celice. Za čas varčevanja z energijo določenih celic ena izmed njih privzame vlogo makro celice. Ob ponovnem dvigu prometa in

prehodu spečih celic v aktivno delovanje se parametri in s tem doseg celice vrne v prvotno stanje. Dobršen del električne energije se lahko privarčuje tudi z zaustavitvijo namenskih celic znotraj poslovnih ter športnih objektov in nakupovalnih središč. Izven obratovalnega časa so te celice običajno prazne, njihovo obratovanje za operaterja predstavlja čisto izgubo. Naj bo samo po sebi umevno, da je v primeru varčevanja z energijo z ugašanjem celic za normalno zagotavljanje mobilnosti za čas mirovanja potrebno prilagoditi parametre za predajo zveze. V ta namen se uporabi že določena SON funkcionalnost in sicer optimizacija mobilnosti. [16] [17]

3.3 Samodejna odprava napak

Tudi mobilna omrežja niso odporna na napake, zato je hitra detekcija in odprava le teh ključnega pomena. Kljub izpadu določenega dela kapacitet je nujno potrebna zagotovitev storitev na dovolj visokem nivoju, da končni uporabnik teh manjših izpadov niti ne zazna. Kar pa je skrajno nemogoča naloga v večjih omrežjih, sestavljenih iz več deset tisoč radijskih elementov. V tako kompleksnih sistemih se ni možno zanašati na človeško hitrost in analitično oceno pri odkrivanju in sanaciji napak. Zato je nujno potrebna uvedba logike v omrežje, na podlagi katere se ponavljajoče napake odpravlja avtomatsko. V kolikor oddaljena odprava napake ni možna, je potreben obisk lokacije za to usposobljenega tehnika. V kolikor je to mogoče, se v času trajanja napake kompenzira zmanjšano kapaciteto, še posebej v primeru izpada pokrivanja določenega geografskega območja z radijskim signalom. V samem tehničnem poročilu TR32.823 [18] postopki samodejne odprave napak niso jasno definirani, podane so le grobe smernice. Programska oprema ni standardizirana, zato je izvedba same funkcionalnosti prepuščena proizvajalcem strojne opreme, kateri običajno sami programirajo svojo opremo.

3.3.1 Samodejna odprava napak enodeB

Nadzor in upravljanje omrežja se vrši na podlagi prejetih alarmov, katere sporočajo vsi omrežni elementi. Vizualno so predstavljeni in kategorizirani v namenskem programu, ki je običajno del sistema za podporo delovanju. Seveda vsi elementi beležijo zgodovino alarmov in dogodkov, tako da so ti na voljo na posameznem elementu za kasnejšo analizo. Alarmi dokaj enoumno kažejo napako opreme, ta je lahko programskega ali strojnega izvora. Prav tako so v veliko pomoč pri analizi posameznega problema tudi statistike delovanja baznih postaj. Statistike so številčno

in grafično predstavljeni rezultati delovanja posameznih celic, interesne vrednosti običajno določi operater sam. V 15 minutnih intervalih so tako predstavljeni količina prometa celice, število povezav, uspešnost in zavračanje povezav, zabeležene so predaje zvez na posameznih relacijah, njihova uspešnost itd. Prav tako lahko statistike interpretirajo specifične meritve baznih postaj. Na podlagi statistik se odkrije motnje v omrežju, s podrobno analizo pa se določi izvor te motnje. Vzroki so lahko motilci frekvenčnega spektra, napaka na antenskem sklopu bazne postaje ali napačno definirani parametri delovanja. Čas odprave napake je pogojen z izkušnjami posameznega upravljalca omrežja, še tako izkušen tehnik pa se v hitrosti in odzivnosti ne more primerjati z dobro zasnovanim algoritmom. Zato je smiselna uvedba algoritmov za odpravo ponavljajočih napak, dragocene izkušnje tehnikov pa izkoristiti za analizo in odpravo neobičajnih anomalij v omrežju. Napake so strojne ali programske narave, običajno kategorizirane glede na vpliv, ki ga imajo na delovanje posamezne celice. Kritične in večje napake imajo neposreden vpliv na zagotavljanje storitev, manjše napake so lahko na sistemu prisotne dalj časa brez resnega vpliva na uporabniško izkušnjo. V kolikor je na voljo rezervna oprema, se le ta aktivira do dokončne odprave kritične ali večje napake. Oprema, ki s svojim delovanjem povzroča motnje v celici, se odstrani iz prometa, v primeru napake na antenskem sklopu se iz prometa odstrani celico. Strojna napaka je običajno rešljiva le z menjavo okvarjene opreme. Vseeno algoritem poizkusi s ponovnim zagonom enote, če je neuspešen se na podlagi alarma na lokacijo napoti terenskega tehnika z nadomestno opremo. V primeru programske napake se najprej poizkusi odprava s ponovnim zagonom, operater algoritmu vnaprej določi številu poizkusov. Če je rezultat neuspešen, se v naslednjem koraku poizkusi s ponovno namestitvijo programske opreme okvarjene enote. Skrajni način za odpravo napake je ponovni zagon bazne postaje z zadnjo znano normalno delujočo konfiguracijo. Tega načina se zaradi vpliva na delovanje omrežja algoritem lahko poslužuje le v nočnem času, v urah zmanjšanega prometa. Ne glede na rezultat se generira poročilo v obliki alarma, s katerim je upravljalac obveščen o storjenih korakih za odpravo napake. V kolikor je bila odprava uspešna, se obvestilo lahko ignorira. V primeru neuspeha pa se na podlagi prejetega obvestila na lokacijo napoti terenskega tehnika s potrebno opremo za odpravo napake. Če je v sami bazni postaji na voljo rezervna oprema, se jo vklopi do trajne odprave napake.

3.3.2 Detekcija izpadlih celic

V tehničnem poročilu TR32.823 [18] je predlagana uvedba funkcionalnosti za odkrivanje nedelujočih celic. Le ta je del sistema za podporo delovanju, kjer ima na podlagi alarmov pregled nad celotnim omrežjem. Ob detekciji nedelujoče celice funkcionalnost najprej preveri, če obstaja upravičen razlog za nedelovanje. Če le ta ne obstaja, poizkusi s ponovnim zagonom celice. Ponovni zagon se lahko uporabi večkrat zaporedoma, število poizkusov določi operater. V kolikor celica ostane nedelujoča, funkcionalnost shrani konfiguracijo sosednjih celic, antene katerih sevajo na isto geografsko področje izpadle celice. Nato spremeni konfiguracijo sosednjih celic z naklonom anten in spremembo oddajnih moči, s čimer zagotovi pokritost izpadlega področja do trajne odprave napake. Seveda v takšnih primerih sodelujejo tudi ostale SON funkcionalnosti in prilagodijo parametre za predajo zveze, uravnovešanje prometa ter za usklajevanje medcelične interference. Kljub napaki mora biti mobilnost zagotovljena, sama napaka mora imeti minimalni vpliv na uporabniško izkušnjo. Algoritem nato spremlja alarme in čaka odpravo alarma za izpad celice. Ko je izpad odpravljen, preveri delovanje celice in jo po potrebi aktivira, da lahko ponovno sprejme promet. V primeru kompenzacije izpadlega področja z rekonfiguracijo sosednjih celic le te vrne v prvotno stanje na podlagi vnaprej shranjene konfiguracije.

4 Zaključek

Sodobna mobilna omrežja so običajno skupek vseh treh generacij mobilnih komunikacij, nekateri operaterji pa za razbremenitev svojega omrežja dodatno uporabljajo še katerega izmed standardov družine 802.11 ali 802.16 organizacije IEEE⁷⁶. Omrežja različnih generacij so si pri zagotavljanju pokritosti, kapaciteti omrežja in prenosnih hitrosti med seboj komplementarna, vnesejo pa večjo kompleksnost v procese načrtovanja, izgradnje in upravljanja. Zaradi porazdeljene arhitekture se pri usmerjanju prometa preko različnih omrežij v sistem vnesejo tudi dodatne, nezaželene zakasnitve. Ključno vlogo pri zvišanju kapacitete omrežja ima poleg vseh različnih tehnik višanja prenosnih hitrosti in učinkovite izrabe frekvenčnega spektra tudi zgoščevanje radijskega omrežja. Ta trend bo prisoten tudi v prihodnje, saj je heterogena oblika omrežja najboljša kombinacija za hkratno zagotavljanje mobilnosti in visokih kapacitet v vročih točkah. Ker s tem sama kompleksnost omrežja še bolj naraste, so se z namenom zagotavljanja kvalitete storitev in obvladovanja stroškov upravljanja omrežja razvile funkcionalnosti, ki določene postopke v omrežju avtomatizirajo. Pod skupnim imenom samo organizirano omrežje so ti procesi vpleteni tako v namestitvev, optimizacijo in zdravljenje E-UTRAN radijskega omrežja, v določeni meri so aplikativni tudi na omrežja prejšnjih generacij. Je pa potreben poudarek, da so tako sedanja radijska omrežja, kot SON funkcionalnosti statične narave. Kapacitete celic so določene med stopnjo načrtovanja in se ne prilagajajo trenutnim razmeram. V določeni meri to dejstvo omili postopek uravnovešanja prometa z optimiziranjem mobilnosti. V splošnem imamo omrežje, ki je večino časa neizrabljeno, občasno pa so določene celice preobremenjene. V takšna omrežja imamo danes po nekaterih ocenah povezanih 6 milijard terminalov. Ta številka naj bi skokovito narasla na vsaj desetkratno vrednost s prihodom interneta stvari. Povezljivost bo dobila še dodatno razsežnost, večji del komunikacij bo tako potekala med stroji. V tem okolju bodo različne entitete z različnimi zahtevami povezljivosti, katere bo potrebno nasloviti. Za običajno brskanje po spletu in prenos datotek je najpomembnejša hitrost prenosa podatkov, pri spletnih igrah so pomembnejše nizke zakasnitve, različne vrste senzorjev bodo za komuniciranje z omrežjem dale prednost čim nižji porabi lastne energije, za različne storitve v zdravstvene in reševalne namene bo na prvem mestu zanesljivost povezave in prioriteta obravnava prometa. V prihodnosti se poleg obstoječega

⁷⁶ IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers (slv. inštitut inženirjev elektrotehnike in elektronike).

načrtuje tudi uporaba novega frekvenčnega spektra v področju nad 6 GHz, s čimer bodo operaterjem na voljo frekvenčni bloki 100 MHz in več. Bodo pa zaradi lastnosti razširjanja valovanja in omejitev oddajnih moči frekvence v tem področju uporabne zgolj v manjših celicah nižjih oddajnih moči, kar je idealno za ločevanje nivojev heterogene oblike omrežja. Za uporabo tako visokih frekvenc v peti generaciji mobilnih komunikacij so že razvili nove modele radijskih kanalov.[33] Prav tako bodo v prihodnje spremembe v arhitekturi omrežja, zametki česar so vidni že danes. Za razliko od klasičnega omrežja se strojna oprema različnih generacij združuje na isto platformo, kar zniža naložbena sredstva ter občutno zmanjša sistemske zakasnitve celotnega omrežja. Korak naprej bo centralizacija in virtualizacija radijskega omrežja. Osnovna ideja je centralizacija osnovnega pasu, pokritost ter heterogenost omrežja pa se bo zagotovila z uporabo večjega števila oddaljenih radijskih enot RRU in masivnih MIMO antenskih sistemov. Enotna BBU platforma s podporo vseh tehnologij 3GPP radijskega omrežja bo zagotavljala popolno fleksibilnost uporabe virov, večnivojsko vzajemno delovanje bo dobilo nove razsežnosti. Za učinkovito izrabo frekvenčnih virov bo ključnega pomena tudi uporaba kognitivnega radia⁷⁷. S širšo uporabo CR bo možen razvoj resničnega kognitivnega omrežja, samo organiziranega omrežja z dodano možnostjo učenja in sprejemanja odločitev na podlagi preteklih izkušenj. Tako bo zagotovljena dobra izraba prostih virov, omrežje samo se bo prilagajalo trenutnim razmeram in potrebam. Po mojem mnenju bo v naslednji generaciji mobilnih komunikacij iz vseh vidikov nujen in edino logičen prehod iz danes statičnega omrežja v popolnoma dinamično omrežje, v neke vrste radijski ekosistem.

⁷⁷ CR: Cognitive Radio (slv. kognitivni radio).

Literatura

[1] Erik Dahlman, Stefan Parkvall, Johan Sköld, "4G: LTE/LTE-Advanced for Mobile Broadband Second Edition", 2014

[2] <http://www.ericsson.com/news/1750044>

[3] http://articles.economictimes.indiatimes.com/2016-01-28/news/70150360_1_vodafone-india-vishant-vora-call-drops

[4] <http://www.konnectworldwide.com/vodafone-to-deploy-ciscos-son-technology-across-network-in-india/>

[5] <http://networks.nokia.com/news-events/press-room/press-releases/nokia-powers-idea-cellular-networks-in-india-with-4g-lte-deployment>

[6] 3GPP TS32.500 V13.0.0 (2016-01) Self-Organizing Networks (SON); Concepts and requirements (Release 13)

Dosegljivo: http://www.3gpp.org/ftp/specs/archive/32_series/32.500/

[7] 3GPP TR36.902 V9.3.1 (2011-03) Self-configuring and self-optimizing network (SON) use cases and solutions (Release 9)

Dosegljivo: http://www.3gpp.org/ftp/specs/archive/36_series/36.902/

[8] 3GPP TS32.501 V8.0.0 (2008-12) Self-configuration of network elements; Concepts and requirements (Release 8)

Dosegljivo: http://www.3gpp.org/ftp/specs/archive/32_series/32.501/

[9] Xincheng Zhang, Xiaojin Zhou, "LTE-Advanced Air Interface Technology", 2013

[10] 3GPP TS32.511 V8.0.0 (2008-12) Automatic Neighbour Relation (ANR) management; Concepts and requirements (Release 8)

Dosegljivo: http://www.3gpp.org/ftp/specs/archive/32_series/32.511/

[11] Christopher Cox, "An Introduction to LTE: LTE, LTE-Advanced, SAE and 4G Mobile Communications", 2012

[12] Harri Holma, Antti Toskala, "LTE for UMTS : Evolution to LTE-Advanced Second Edition", 2011

[13] 3GPP TR36.819 V11.2.0 (2013-09) Coordinated multi-point operation for LTE physical layer aspects (Release 11)

Dosegljivo: http://www.3gpp.org/ftp/specs/archive/36_series/36.819/

[14] 3GPP TR36.805 V9.0.0 (2009-12) Study on Minimization of drive-tests in Next Generation Networks; (Release 9)

Dosegljivo: http://www.3gpp.org/ftp/specs/archive/36_series/36.805/

[15] 3GPP TS37.320 V13.0.0 (2015-12) Radio measurement collection for Minimization of Drive Tests (MDT); Overall description; Stage 2 (Release 13)

Dosegljivo: http://www.3gpp.org/ftp/specs/archive/37_series/37.320/

[16] 3GPP TR32.826 V10.0.0 (2010-03) Study on Energy Savings Management (ESM) (Release 10)

Dosegljivo: http://www.3gpp.org/ftp/specs/archive/32_series/32.826/

[17] 3GPP TR36.927 V13.0.0 (2015-12) Potential solutions for energy saving for E-UTRAN (Release 13)

Dosegljivo: http://www.3gpp.org/ftp/specs/archive/36_series/36.927/

[18] 3GPP TR32.823 V9.0.0 (2009-09) Study on Self-healing (Release 9)

Dosegljivo: http://www.3gpp.org/ftp/specs/archive/32_series/32.823/

[19] 3GPP TS32.541 V13.0.0 (2016-01) Self-healing concepts and requirements (Release 13)

Dosegljivo: http://www.3gpp.org/ftp/specs/archive/32_series/32.541/