



4G LTE STANDARD MOBILNE TELEFONIJE I NJEGOVA OPENAIR INTERFACE (OAI) REALIZACIJA

4G LTE STANDARD OF MOBILE PHONES AND ITS OPENAIR INTERFACE (OAI) REALISATION

Srđan Šobot, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO

Kratka sadržaj – U ovom radu opisan je 4G standard mobilne telefonije, kao i OpenAir Interface - platforma otvorenog koda koja pruža potpunu implementaciju 3GPP standarda, kroz celokupnu realizaciju svih slojeva protokola.

Ključne reči: OpenAir Interface, 4G mobilne mreže, LTE

Abstract – This paper describes 4G LTE standard of mobile communications, and also OpenAir interface platform that provides open-source software-based implementation of the LTE system spanning the full protocol stack of 3GPP standard.

Keywords: OpenAir Interface, 4G mobile networks, LTE

1. UVOD

Brz rast količine podataka koji se prenose mobilnom mrežom, podstaknut sve većim brojem mobilnih uređaja, otvara široko polje za inovacije u pogledu arhitekture, protokola, servisa i algoritama koji se koriste u mobilnoj mreži. Dok se 4G LTE (Long-Term Evolution) standard mobilne telefonije širi svetom, uporedo se radi na istraživanju i razvoju sledeće generacije mobilne mreže koja bi predstavljala proširenu verziju LTE sa novim i naprednim karakteristikama. Inovacije i razvoj u sledećem standardu zahtevaju otvorenu i fleksibilnu platformu koja će omogućiti kompleksne simulacije realnih sistema. Ograničenja nametnuta od strane operatora i velikih proizvođača onemogućuju istraživanje sa komercijalnom opremom, te se stvara dodatni razlog za razvoj ovakve platforme. S druge strane, korišćenje SDR (Software Defined Radio) uređaja, koji predstavljaju univerzalnu hardversku platformu, daje mogućnost da se svi komunikacioni moduli realizuju putem softvera.

U ovom radu dat je pregled 4G LTE standarda mobilne telefonije, kao i njegova arhitektura i radio interfejs. Takođe, predstavljena je OpenAirInterface (OAI) platforma koja omogućava istraživanje LTE sistema jer pruža kompletnu implementaciju LTE standarda, kroz celokupnu realizaciju svih slojeva protokola. OAI povezuje dve glavne komponente LTE arhitekture: E-UTRAN (Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network) i EPC (Evolved Packet Core), ali takođe može da funkcioniše kao korisnička oprema.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Dejan Vukobratović.

2. LTE ARHITEKTURA

LTE radio-pristupna mreža u 3GPP sistemu bazira se na novoj arhitekturi - SAE (System Architecture Evolution), koja je osmišljena sa ciljem da pojednostavi LTE mrežu i uspostavi ranvnu arhitekturu sličnu drugim IP-baziranim mrežama. SAE se sastoji iz radio pristupne mreže (Radio-Access Network - RAN) koja je nazvana Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) i jezgra mreže (Core Network - CN) nazvane Evolved Packet Core (EPC). Zajedno, RAN i EPC čine Evolved Packet System (EPS).

Evolved Packet Core (EPC) sastoji se od nekoliko vrsta čvorova:

- MME (Mobility Management Entity) predstavlja kontrolni čvor koji je odgovoran za povezivanje nosioca sa terminalom, rukovanje načinom rada (idle-active), autentifikacijom korisnika uz pomoć HSS (Home Subscriber Server), inicijalna selekcija S-GW za UE (User Equipment). Jedna mreža može da sadrži nekoliko MME čvorova, gde svaki opslužuje jedan geografski region. Svakom terminalu dodeljen je jedan MME čvor, ali ukoliko terminal napusti region, automatski mu se dodeljuje drugi MME čvor;

- P-GW (Packet Data Network Gateway) je ključni čvor za povezivanje EPC sa spoljašnjim svetom. Putem SGI interfejsa svaki P-GW razmenjuje podatke sa drugim mrežnim operatorima, serverima ili internetom. Svaki P-GW može da se indentifikuje putem APN (Access Point Name). Takođe, P-GW je poveznica ka ne-3GPP tehnologijama, kao što je CDMA2000;

- S-GW (Serving Gateway) služi kao ruter, prosleđuje podatke između bazne stanice i P-GW, odnosno povezuje EPC sa RAN. Odgovoran je za mobilnost terminala kada prelaze iz jednog eNodeB u drugi, kao i za upravljanje procesima ka drugim 3GPP tehnologijama (GSM/GPRS, HSPA). Kao u slučaju sa MME čvorom, jedna mreža može da sadrži više S-GW čvorova koji opslužuju različite regione. Svakom mobilnom terminalu dodeljen je jedan S-GW čvor.

LTE radio-pristupna mreža koristi ravnu arhitekturu sa jednom vrstom čvora – eNodeB, koji je odgovoran za sve radio orijentisane funkcije u jednoj ili više ćelija. Važno je napomenuti da je eNodeB logički, a ne fizički čvor. ENodeB je povezan sa EPC uz pomoć S1 interfejsa, tačnije povezan je na S-GW uz pomoć S1 user plane (S1-u), i sa MME preko S1-c. Jedan eNodeB može da se poveže na nekoliko MME/S-GW, sa ciljem smanjenja

opterećenja. X2 interfejs se koristi za međusobno povezivanje eNB čvorova [1,2].

3. ARHITEKTURA RADIO PROTOKOLA

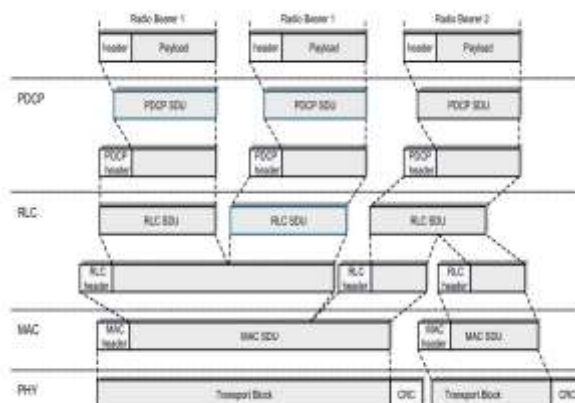
Arhitektura radio protokola u LTE može da se podeli na dva dela: kontrolnu ravan i korisničku ravan. Mnogi slojevi radio protokola zajednički su za ove ravni. Kontrolna ravan, između ostalog, odgovorna je za povezivanje, mobilnost i sigurnost u LTE mreži. Kontrolne poruke koje se šalju ka terminalima mogu da dolaze i od MME čvora koji je smešten u jezgru mreže, ali i od RRC (Radio Resource Control) čvora smeštenog u eNB. RRC čvor koji se nalazi u eNB odgovoran je sve radio orijentisane funkcije: emitovanje sistemskih informacija potrebnih terminalu da bi komunicirao u ćeliji; prenos paging poruka koje šalje MME čvor da bi obavestio terminal o nadolazećem zahtevu za povezivanje; upravljanje povezivanjem, što uključuje podešavanje parametara potrebnih za komunikaciju između terminala i RAN; mobilnost, što omogućava terminalu izbor ćelije; rukovanje mogućnostima terminala (nisu svi terminali u mogućnosti da podrže sve funkcije koje nudi LTE specifikacija).

Poruke od strane RRC čvora ka terminalu šalju se uz pomoć SRB (Signaling Radio Bearer) nosioca. Ovi nosioci mapiraju se na CCCH kanal tokom uspostavljanja konekcije, a nakon što je konekcija uspostavljena mapiraju se na DCCH kanal. U LTE, terminal može da bude u dva različita stanja: RRC_CONNECTED (aktivan) i RRC_IDLE (neaktivan). Kada je terminal u aktivnom stanju, parametri potrebni za komunikaciju između terminala i RAN poznati su obema stranama. Aktivno stanje namenjeno je za prenos podataka ka terminalu, pri čemu postoji mogućnost isprekidanog prijema da bi se smanjila potrošnja baterije u terminalu. U neaktivnom stanju, terminal ne pripada ni jednoj ćeliji, ali povremeno proverava da li postoje paging poruke [1].

Radio protokol korisničke ravni se sastoji iz sledećih slojeva:

- PDCP (Packet Data Convergence Protocol) vrši kompresiju headera IP paketa s ciljem da smanji ukupan broj bita koji se prenose radio interfejsom. ROHC (Robust Header Compression) je standardizovan algoritam koji se koristi za kompresiju kako u LTE, tako i u ostalim tehnologijama radio prenosa. PDCP je, takođe, odgovoran za šifrovanje i integritet podataka, kao i za isporuku paketa određenim redosledom. Na prijemnoj strani PDCD protokol obavlja dešifrovanje podataka i dekompresiju header-a.
- RLC (Radio-Link Control) je odgovoran za segmentaciju/spajanje, retransmisiju, uklanjanje duplikata i za redosled dostave paketa višim slojevima.
- MAC (Medium-Access Control) rukovodi multipleksiranjem logičkih kanala, vrši hibridnu ARQ retransmisiju i upravlja raspoređivanjem za uplink i downlink. Funkcija planiranja smeštena je u eNodeB. Hibridni ARQ protokol nalazi se i u predajnoj i u prijemnoj strani MAC sloja.
- PHY (Physical Layer) rukovodi kodovanjem/dekodovanjem, modulacijom/demulacijom, MIMO. Fizički sloj obezbeđuje MAC sloju servise u vidu transportnih kanala [1].

Na slici 1. prikazan je downlink tok podataka kroz sve slojeve protokola. Ovaj primer prikazuje tri IP paketa, od kojih se dva mapiraju na jedan radio nosilac (bearer), a jedan paket na drugi radio nosilac.



Slika 1. LTE tok podataka kroz slojeve RAN protokola [1]

Prema primeru na slici 1, PDCP sloj vrši kompresiju IP zaglavlja, zatim šifrovanje. Dodaje PDCD zaglavlje (header) u koje je upisana informacija potrebna za dešifrovanje podataka u terminalu. Izlaz iz PDCP sloja proleđuje se RLC sloju. RLC sloj vrši spajanje i / ili segmentaciju SDU-a, koje je dobio od gornjeg sloja. Zatim dodaje RLC zaglavlje koje se koristi za pravilan redosled dostave u terminalu, kao i za identifikaciju u slučaju retransmisije. RLC PDU se zatim šalje u MAC sloj, gde se vrši multipleksiranje primljenih PDU-a i dodaje MAC zaglavlje da bi se formirao transportni blok podataka. Konačno, na fizičkom sloju dodaje se CRC transportnom bloku u svrhu detekcije greške, vrši se kodovanje i modulacija te prenos signala uz pomoć nekoliko antena [1].

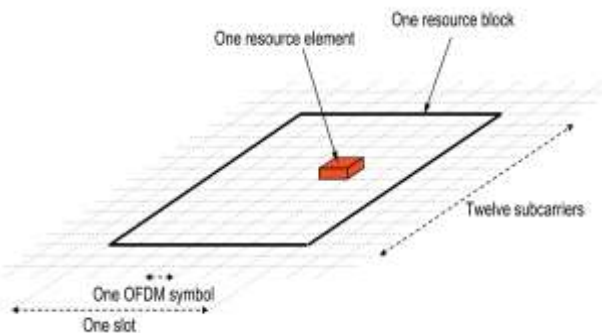
4. LTE RADIO INTERFEJS

LTE radio interfejs bazira se na upotrebi OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), koji nudi visok stepen otpornosti na frekvencijsku selektivnost kanala, omogućava fleksibilnu alokaciju opsega i broadcast /multicast prenos od više baznih stanica. Za downlink kanal koristi se OFDMA (Orthogonal Frequency-Division Multiple Access) tehnika prenosa sa višestrukim pristupom, dok se za uplink koristi SC-FDMA (Single Carrier-Frequency Division Multiple Access) koji omogućava korištenje efikasnijeg pojačavača snage, što je za mobilni terminal veoma vežno. OFDM ima i nekoliko nedostataka, ukoliko se izgubi ortogonalnost između nosioca dolazi do interferencije između potkanala, ali ovaj nedostatak se otklanja uvođenjem cikličnog prefiksa, tj. poslednji deo OFDM simbola se kopira i umeće na početak simbola. Drugi nedostatak se odnosi na trenutne amplitude OFDM signala koje imaju veliki dinamički opseg, što zahteva linearne pojačavače ili dodatnu obradu signala pri modulaciji. Ipak, ovo nije veliki problem u baznoj stanici.

U vremenskom domenu, LTE prenos je organizovan u ramove (frame) dužine 10 ms, pri čemu je svaki ram podeljen na 10 jednakih podramova trajanja 1 ms. Svaki podram sastoji se od dva slota, trajanja 0.5 ms. Svaki slot sastoji se od 7 ili 6 OFDM simbol, uključujući i ciklički

prefiks. Broj OFDM simbola zavisi od toga da li se koristi normalan ili produženi ciklički prefiks. U slučaju da se koristi normalan ciklički prefiks, tj. 7 OFDM simbola, tada je dužina trajanja prvog OFDM simbola nešto duža od ostalih simbola, da bi se ispunio celi slot od 0.5 ms. Produženi ciklički prefiks može biti potreban u slučaju otežanih uslova u kanalu. Resurs element, najmanji fizički resurs u LTE, sastoji se od jednog OFDM nosioca tokom trajanja jednog OFDM simbola.

Resurs elementi grupisani su u resurs blokove, kao što je prikazano na slici 2. Svaki resurs blok sadrži 12 uzastopnih OFDM nosioca u frekvencijskom domenu, odnosno jedan slot (trajanja 0.5 ms) u vremenskom domenu. Kako je razmak između OFDM nosioca 15 kHz, a minimalan broj OFDM nosioca koji se dodeljuju jednom korisniku je 12, minimalan opseg koji se može dodeliti jednom korisniku je $12 \cdot 15 \text{ kHz} = 180 \text{ kHz}$. Svaki resurs blok sadrži $7 \cdot 12 = 84$ resurs elementa, ili u slučaju produženog cikličkog prefiksa: $6 \cdot 12 = 72$ resurs elementa. Naravno, ne nose svi resurs elementi korisničke informacije, neki su namenjeni za prenos neophodnih informacija za funkcionisanje sistema, npr. postoje referentni simboli (ili pilot simboli) koji služe za procenu stanja potkanala.



Slika 2, Resurs blok u LTE [1]

LTE fizički sloj omogućava da nosilac može da sadrži različit broj resurs blokova, počevši od minimalnih 6 resurs blokova pa do 100 resurs blokova, što odgovara opsegu od 1.4 MHz do 20 MHz. Parametri različitih propusnih opsega prikazani su u tabeli 1.

Tabela 1. Parametri različitih propusnih opsega u LTE [1]

Opseg (MHz)	1.4	3	5	10	15	20
Broj resurs blokova (N_{RB})	6	15	25	50	75	100
Broj podnosioca ($N_{SC} = 12 \cdot N_{RB}$)	72	180	300	600	900	1200

Iako je resurs blok definisan nad jednom slotom, osnovna jedinica koja se koristi pri dinamičkom raspoređivanju resursa je podram, odnosno dva međusobno povezana resurs bloka.

Kako je fleksibilnost spektra jedan od ključnih parametara, LTE podržava FDD (Frequency Division Duplex) i TDD (Time Division Duplex). Upravo primena OFDM to omogućava, jer je raspoloživ frekvencijski spektar podeljen na više potkanala, širine 180 kHz. Zbog toga LTE ne mora koristiti kontinualan spektar. Struktura vremen-

skog domena je slična za FDD i TDD, s razlikom da u TDD postoji namenski podram koji služi kao zaštitni interval između downlink i uplink veze. U slučaju FDD postoje dve frekvencije, jedna za uplink prenos (fUL) i jedna za downlink prenos (fDL). Tokom svakog rama postoji 10 uplink podramova i 10 downlink podramova, što znači da se uplink-downlink prenos odvija istovremeno. Izolacija između uplink i downlink prenosa ostvarena je uz pomoć tzv. dupleks filtera, kao i dovoljnim razmakom u frekvencijskom domenu. Treba napomenuti da iako se prenos uplink-downlink podataka u slučaju FDD odvija istovremeno, terminal mora podržavati full-duplex prenos za datu frekvenciju da bi se istovremeni prenos ostvario. Ukoliko terminal podržava samo half-duplex prenos istovremeni tok podataka nije moguć. Bazna stanica radi kao full-duplex, bez obzira na mogućnosti terminala.

U slučaju TDD prenosa postoji samo jedna frekvencija gde su tokovi podataka za uplink i downlink podeljeni u vremenu. Prelaz između dva toka podataka osigurani su posebnim podramom, koji je podeljen na tri dela: downlink deo (DwPTS), zaštitni interval (GP) i uplink deo (UpPTS). DwPTS se koristi kao klasičan podram, ali zbog njegovog kraćeg trajanja prenosi se manja količina podataka nego podramom normalne dužine. UpPTS ne koristi se za prenos podataka jer traje veoma kratko, ali može da se koristi za slučajni pristup ili da ostane prazan i u tom slučaju da služi kao dodatni zaštitni interval. Cilj svakog TDD sistema je da omogući dovoljno velik zaštitni interval koji omogućava bezbedan prelaz između uplink-downlink toka podataka [1].

5.1. Obrada na fizičkom sloju

Obrada na fizičkom sloju primenjuje se na DL-SCH, glavnom downlink prenosnom kanalu u LTE. Obrada uključuje i mapiranje fizičkih resursa na resurs elemente OFDM vremensko-frekvencijske strukture. U svakom TTI (Transmission Time Interval), koji odgovara jednom podramu trajanja 1 ms, dostavi se do dva transportna bloka fizičkom sloju, te se dalje prenose preko radio interfejsa. Broj transportnih blokova koji mogu da se prenesu u okviru jednog TTI zavisi od više-antenskog sistema. U slučaju da se ne koristi prostorno multipleksiranje, može da se pošalje najviše jedan transportni blok u okviru TTI. Ukoliko se koristi prostorno multipleksiranje, gde se prenos vrši preko više paralelnih slojeva do istog terminala, može da se pošalje do dva transportna bloka u okviru jednog TTI.

U prvom koraku obrade svakom transportnom bloku dodaje se CRC dužine 24 bita. CRC omogućava prijemoj strani da detektuje greške pri prenosu i time omogući hibridnom ARQ protokolu da zatraži retransmisiju pogrešno prenetih transportnih blokova. Ukoliko dužina transportnog bloka, uključujući i CRC, prevazilazi maksimalnu dužinu bloka koju može da obradi interleaver u sklopu turbo-kodera, vrši se segmentacija. Segmentacija predstavlja podelu transportnog bloka na više manjih blokova odgovarajuće dužine, ne veće od 6144 bita.

U toku segmentacije, svakom bloku dodaje se dodatni CRC, takođe dužine 24 bita, što omogućava ranu detekciju greške pri prenosu. Segmentacija se vrši samo nad transportnim blokovima velike dužine. Kodovanje u DL-SCH kanalu bazira se na turbo-koderu. Zadatak

