

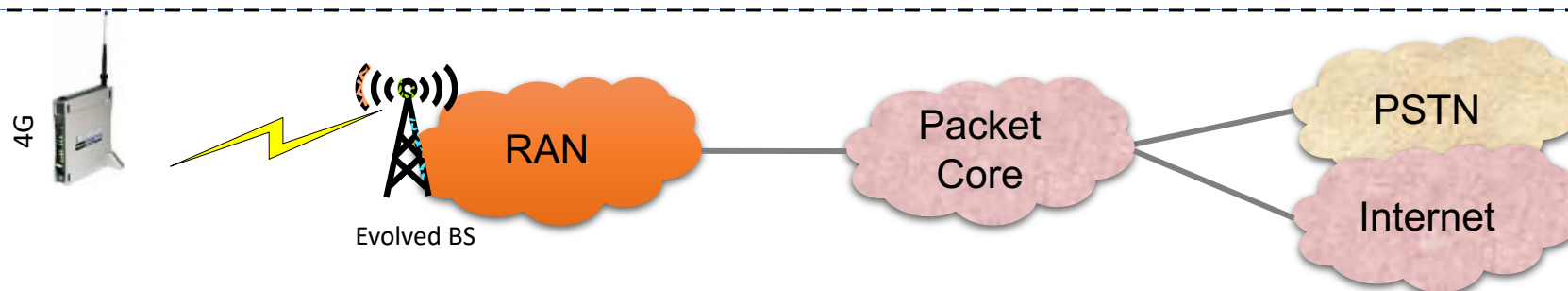
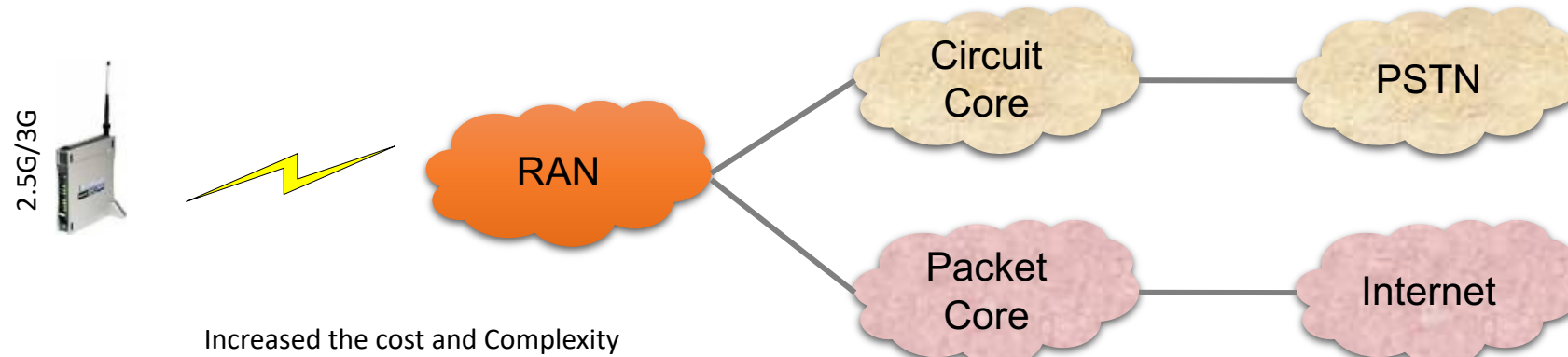
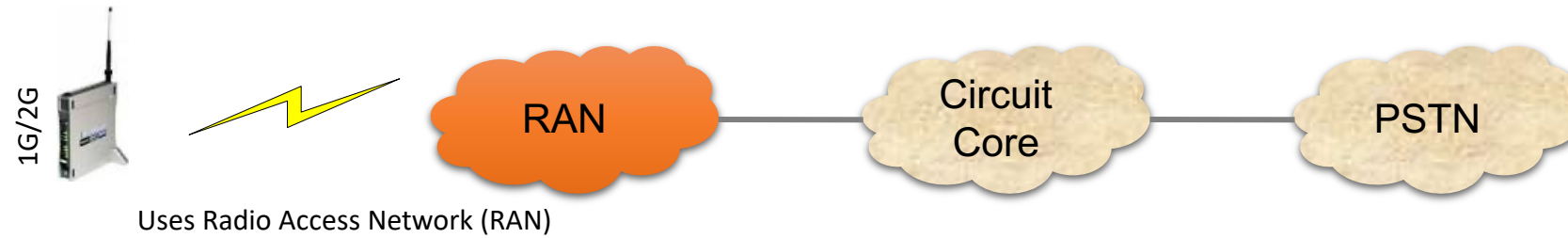
Mobilni celularni sistemi četrte generacije

4G/LTE i LTE-Advanced

- Naredni korak u evoluciji celularnih mobilnih radio sistema doveo je do LTE (*Long Term Evolution*) standarda, koji je komercijalno prihvaćen kao 4G. Motivisan sve većom potražnjom za mobilnim širokopojasnim uslugama sa većim brzinama podataka i kvalitetom usluge (QoS), 3GPP je počeo da radi na dva paralelna projekta, Long Term Evolution (LTE) i System Architecture Evolution (SAE), koji su postali dio 3GPP Release 8.
- LTE je dizajniran od samog početka sa ciljem da se razvije tehnologija radio pristupa pod pretpostavkom da će svi servisi biti na bazi komutacije paketa, a ne da prate model ranijih sistema sa komutacijom kola. Dodatno, LTE je uključio i evoluciju ne-radio aspekta kompletnog sistema, pod terminom System Architecture Evolution (SAE) koji uključuje Evolved Packet Core (EPC) mrežu. Zajedno, LTE i SAE čine Evolved Packet System (EPS), gdje su i jezgro mreže i radio pristup u potpunosti zasnovani na komutaciji paketa.

- LTE nije kompatibilan sa UMTS-om i razvijen je u očekivanju dodjele blokova spektra većih frekvencija od UMTS-a, tokom WRC (*World Radio Conference*) 2007. god. Standard je takođe dizajniran za rad sa komponentnim podnosiocima koji, su vrlo fleksibilni u rasporedu i podržavaju opsege od 1,4MHz do 20MHz. LTE standard je ponudio značajna poboljšanja i u kapacitetu, i dizajniran je tako da mreže dobiju nove funkcionalnosti, bez korišćenja komutacije kola. Krajem 2007. godine prve LTE specifikacije su odobrene u 3GPP kao *LTE Release 8*, sa maksimalnim brzinama prenosa podataka od približno 326Mb/s, povećanom spektralnom efikasnošću i značajno manjim kašnjenjem (do 20ms) od prethodnih sistema.
- Istovremeno, ITU-R je radio na definiciji zahtjeva za *IMT-Advanced*, nasljednika *IMT-2000*. Kako *LTE Release 8* nije bio u skladu sa *IMT-Advanced* zahtjevima, u početku se smatrao samo pretećom 4G tehnologije (3.75G). Međutim, to je naknadno relaksirano u uobičajenoj upotrebi, tako da je LTE prihvaćen kao 4G, dok je 3GPP *LTE Release 10* tehnički prvi radio interfejs razvijen da ispuni *IMT-Advanced* zahtjeve.

Evolucija *core* (jezgra) mreže



LTE (Long Term Evolution)

- LTE tehnologija predstavljena je od strane 3GPP grupe kroz Release 8
- **Ključni zahtjevi koje treba da ispuni LTE su:**
 - Brzine prenosa 100 Mb/s (DL) i 50 Mb/s (UL)
 - 2-3 puta veća spektralna efikasnost u odnosu na HSPA
 - Umjerena potrošnja snage u terminalima
 - Smanjenje vremena čekanja (ispod 10 ms)
 - Promjenljiva širina kanala
 - Mogućnost upotrebe različitih frekvencijskih područja
 - Pojednostavljena arhitektura mreže
 - Integracija sa već postojećim standardima

Karakteristike LTE mreža

Frekvencijski opsezi	UMTS FDD i UMTS TDD					
Širina kanala, Resursni blok=180 kHz	1,4 MHz	3 MHz	5 MHz	10 MHz	15 MHz	20 MHz
	6	15	25	50	75	100
Modulaciona tehnika	<i>Downlink:</i> QPSK, 16QAM, 64QAM <i>Uplink:</i> QPSK, 16 QAM, 64 QAM					
Višestruki pristup	<i>Downlink:</i> OFDMA <i>Uplink:</i> SC-FDMA (Single Carrier - FDMA)					
MIMO tehnologija	max (4x4) MIMO					
Maksimalne brzine prenosa	<i>Downlink:</i> 150 Mb/s (2x2 MIMO, 20 MHz) 300 Mb/s (4x4 MIMO, 20 MHz) <i>Uplink:</i> 75 Mb/s (20 MHz)					

- U većini djelova svijeta, uključujući Evropu i Ameriku, LTE koristi dupleks sa frekvencijskom raspodjelom (FDD), dok ima regiona gdje se koristi TDD. Iako je TDD režim već postojao za UMTS, on se generalno pojavio na tržištu mnogo godina nakon FDD verzije, što je uslovalo značajne razlike kad je u pitanju arhitektura radio interfejsa. Kod LTE, i FDD i TDD su dio standarda. Razlike između ove dvije tehnike su uglavnom ograničene na slojeve 1 i 2 radio interfejsa.
- Druga velika promjena LTE-a u poređenju sa prethodnim sistemima je usvajanje Internet protokola (IP). Dok je UMTS koristio tradicionalnu komutaciju paketa za govorne servise, za SMS servise i druge servise naslijeđene od GSM-a, LTE se oslanja isključivo na jezgro mreže zasnovano na IP. Jedini izuzetak je SMS, koji se i dalje prenosi preko signalnih poruka.
- Arhitektura All-IP mreže u velikoj mjeri pojednostavljuje dizajn i implementaciju LTE radio interfejsa, radio pristupne mreže i jezgra mreže. Sa LTE-om, bežične komunikacije se kreću u istom pravcu kao i fiksne mreže sa DSL-om, optičkim i širokopojasnim IP preko TV kabla, gdje je govorna telefonija takođe prebačena na IP. Iako je sa aspekta arhitekture ovo značajan napredak, implementacija se u praksi pokazala kompleksnom. Kao posledica toga, većina LTE mreža za govorne pozive koriste mehanizam koji se naziva rezervnim putem sa komutacijom kola (CSFB) na UMTS ili GSM. Vremenom je razvoj obuhvatio i uključivanje Voice over LTE (VoLTE).

- Da bi bili univerzalni, uređaji koji podržavaju LTE moraju takođe podržavati GSM, GPRS, EDGE i UMTS.
- Na strani mreže, interfejsi i protokoli su postavljeni tako da se sesije podataka mogu neometano premještati između GSM, UMTS i LTE kada se korisnik kreće između oblasti pokrivenih različitim tehnologijama radio interfejsa.
- Dok su u prvim godinama implementacije, LTE jezgro mreže i čvorišta pristupne mreže često postavljeni nezavisno od već postojeće GSM i UMTS mrežne infrastrukture, sada se koriste integrisana GSM, UMTS i LTE čvorišta.
- LTE je nasljednik tehnologije ne samo UMTS-a već i CDMA2000, koja se uglavnom koristi u SAD. Da bi se omogućio nesmetan roaming između sistema zasnovanih na CDMA i LTE-a, specificirani su posebni interfejsi. U praksi, korisnik na taj način takođe može da se kreće između ove dvije vrste pristupnih mreža zadržavajući svoju IP adresu, a samim tim i sve uspostavljene komunikacione sesije.

E-UTRA Operating Band	Uplink (UL) operating band BS receive UE transmit		Downlink (DL) operating band BS transmit UE receive		Duplex Mode
	F_{UL_low}	F_{UL_high}	F_{DL_low}	F_{DL_high}	
1	1920 MHz	– 1980 MHz	2110 MHz	– 2170 MHz	FDD
2	1850 MHz	– 1910 MHz	1930 MHz	– 1990 MHz	FDD
3	1710 MHz	– 1785 MHz	1805 MHz	– 1880 MHz	FDD
4	1710 MHz	– 1755 MHz	2110 MHz	– 2155 MHz	FDD
5	824 MHz	– 849 MHz	869 MHz	– 894MHz	FDD
6 ¹	830 MHz	– 840 MHz	875 MHz	– 885 MHz	FDD
7	2500 MHz	– 2570 MHz	2620 MHz	– 2690 MHz	FDD
8	880 MHz	– 915 MHz	925 MHz	– 960 MHz	FDD
9	1749.9 MHz	– 1784.9 MHz	1844.9 MHz	– 1879.9 MHz	FDD
10	1710 MHz	– 1770 MHz	2110 MHz	– 2170 MHz	FDD
11	1427.9 MHz	– 1447.9 MHz	1475.9 MHz	– 1495.9 MHz	FDD
12	699 MHz	– 716 MHz	729 MHz	– 746 MHz	FDD
13	777 MHz	– 787 MHz	746 MHz	– 756 MHz	FDD
14	788 MHz	– 798 MHz	758 MHz	– 768 MHz	FDD
15	Reserved		Reserved		FDD
16	Reserved		Reserved		FDD
17	704 MHz	– 716 MHz	734 MHz	– 746 MHz	FDD
18	815 MHz	– 830 MHz	860 MHz	– 875 MHz	FDD
19	830 MHz	– 845 MHz	875 MHz	– 890 MHz	FDD
20	832 MHz	– 862 MHz	791 MHz	– 821 MHz	
21	1447.9 MHz	– 1462.9 MHz	1495.9 MHz	– 1510.9 MHz	FDD
22	3410 MHz	– 3490 MHz	3510 MHz	– 3590 MHz	FDD
23	2000 MHz	– 2020 MHz	2180 MHz	– 2200 MHz	FDD
24	1626.5 MHz	– 1660.5 MHz	1525 MHz	– 1559 MHz	FDD
25	1850 MHz	– 1915 MHz	1930 MHz	– 1995 MHz	FDD
26	814 MHz	– 849 MHz	859 MHz	– 894 MHz	FDD
27	807 MHz	– 824 MHz	852 MHz	– 869 MHz	FDD
28	703 MHz	– 748 MHz	758 MHz	– 803 MHz	FDD
...					
33	1900 MHz	– 1920 MHz	1900 MHz	– 1920 MHz	TDD
34	2010 MHz	– 2025 MHz	2010 MHz	– 2025 MHz	TDD
35	1850 MHz	– 1910 MHz	1850 MHz	– 1910 MHz	TDD
36	1930 MHz	– 1990 MHz	1930 MHz	– 1990 MHz	TDD
37	1910 MHz	– 1930 MHz	1910 MHz	– 1930 MHz	TDD
38	2570 MHz	– 2620 MHz	2570 MHz	– 2620 MHz	TDD
39	1880 MHz	– 1920 MHz	1880 MHz	– 1920 MHz	TDD
40	2300 MHz	– 2400 MHz	2300 MHz	– 2400 MHz	TDD
41	2496 MHz	– 2690 MHz	2496 MHz	– 2690 MHz	TDD
42	3400 MHz	– 3600 MHz	3400 MHz	– 3600 MHz	TDD
43	3600 MHz	– 3800 MHz	3600 MHz	– 3800 MHz	TDD
44	703 MHz	– 803 MHz	703 MHz	– 803 MHz	TDD

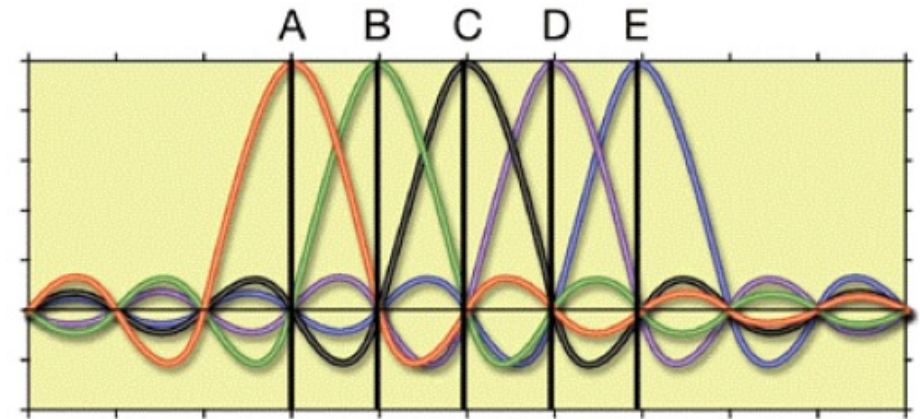
Note 1: Band 6 is not applicable.

LTE Spectrum Bands

Glavne karakteristike dizajna radio interfejsa kod LTE uključuju **OFDM** (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) talasne oblike (kako bi se smanjila intersimbolske interferencija koja obično ograničava performanse sistema velike brzine) i **MIMO** (Multiple-Input Multiple-Output) tehnike za povećanje brzine prenosa podataka

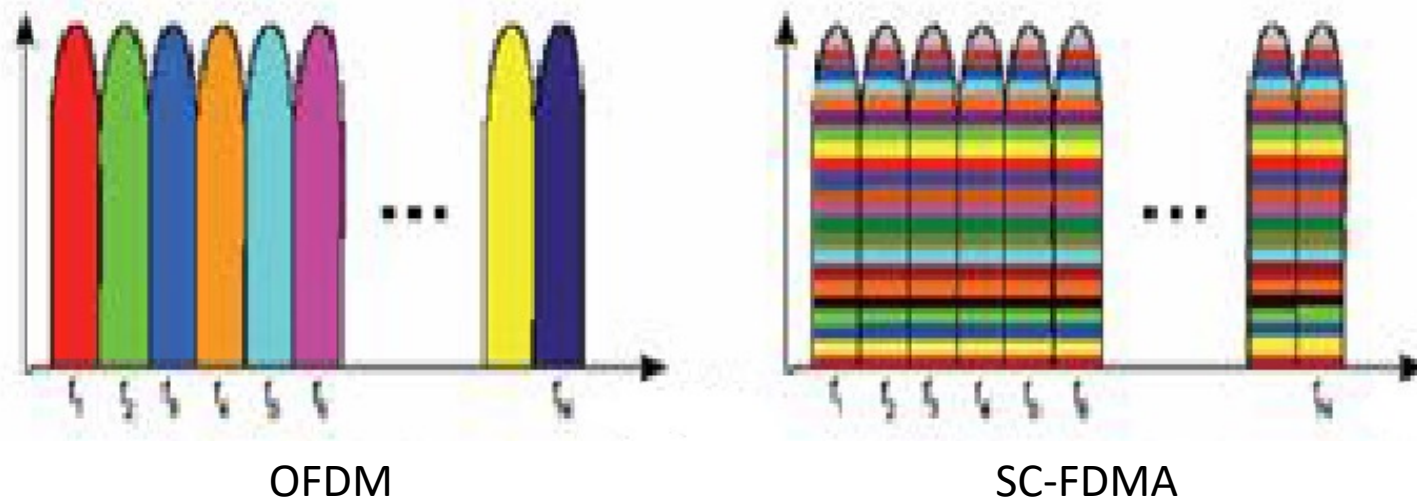
Usvajanje pristupa sa više nosilaca za višestruki pristup u LTE-u predstavlja prvu promjenu u odnosu na prethodne sisteme. Nakon inicijalne konsolidacije predloga, tehnike kandidati za DL prenos bile su OFDMA i višestruki WCDMA (M-WCDMA), dok su za UL figurirali SC-FDMA (Single-Carrier Frequency Division Multiple Access), OFDMA i M-WCDMA. Izbor tehnike višestrukog pristupa napravljen u decembru 2005. godine, pri čemu je OFDMA izabran za DL, a SC-FDMA za UL

- OFDM:
- Tehnika prenosa višestrukim podnosiocima koja koristi ortogonalne signale (podnosiocima) radi povećanja brzine prenosa i smanjenja potrebnog opsega za prenos
 - Podnosioci su modulirani višenivovskim modulacijama pri čemu se mogu koristiti različite modulacije na različitim podnosiocima



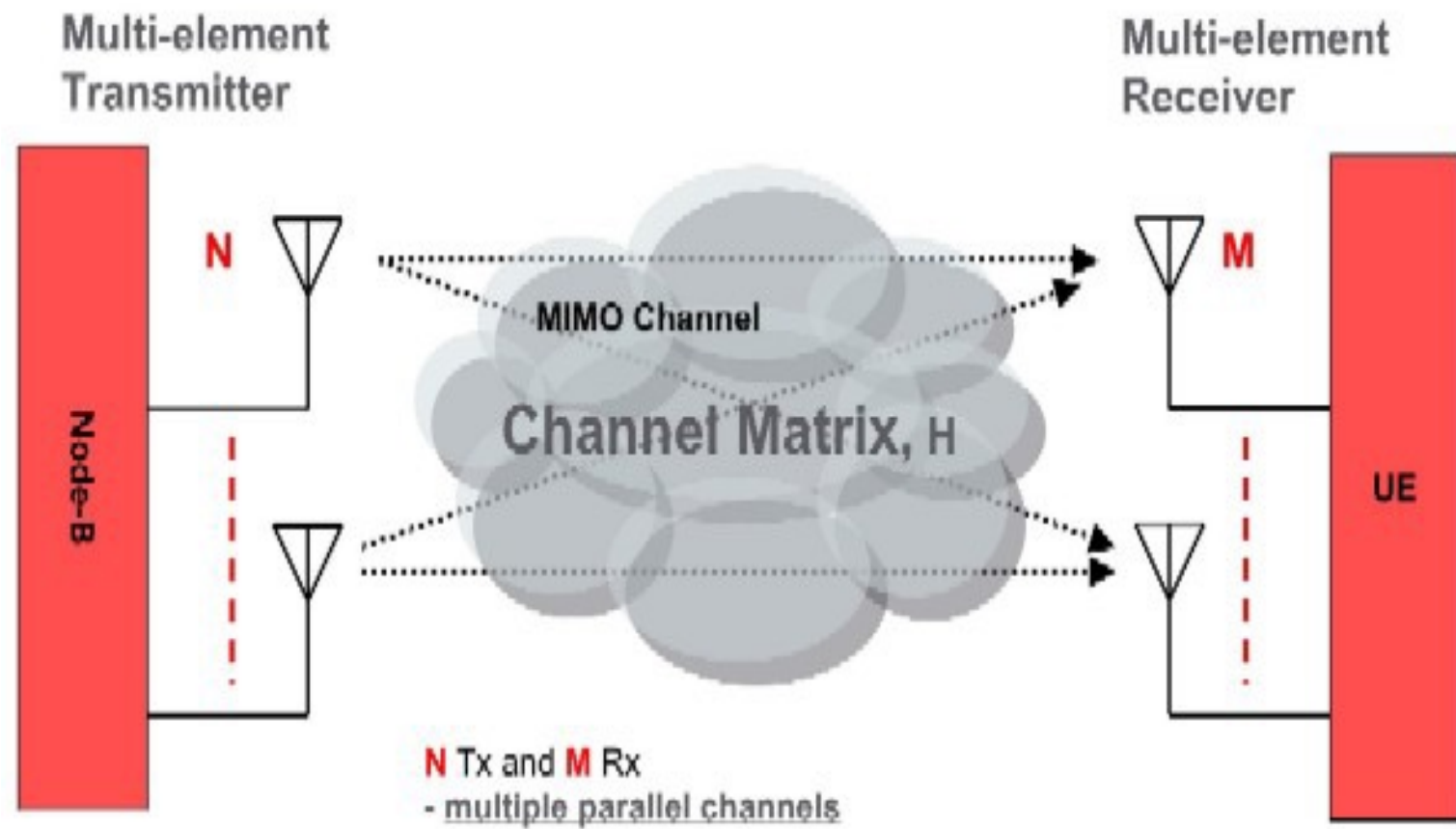
- Prednosti OFDM-a:
 - Racionalno koristi frekvencijski spektar
 - Predstavlja efikasnu tehniku za borbu protiv *multipath fading-a*
 - Otporan je na uskopojasnu interferenciju
 - Otporan je na vremensko širenje simbola na prijemu
- Nedostaci OFDM-a:
 - Izuzetna osjetljivost na frekvencijski *offset*
 - Složenost sinhronizacije
 - Veliki odnos vršne i srednje snage

❖ **SC-FDMA** - svaki podnosilac sadrži informaciju o svim simbolima koji se prenose

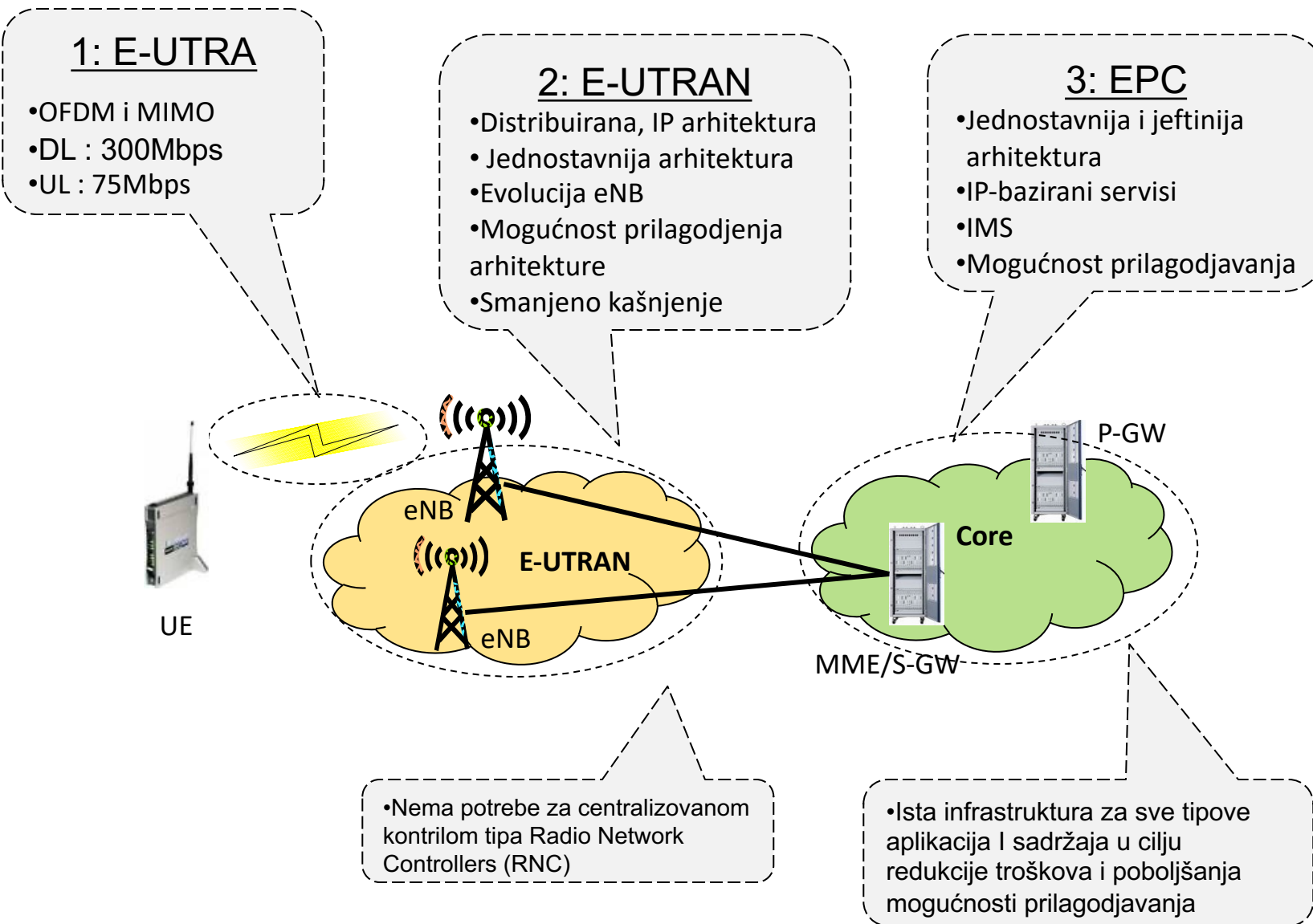


MIMO

- Višestruke refleksije u prenosu koriste se kao višestruke veze predajnika i prijemnika putem kojih se ukupan kapacitet bežične mreže povećava
- Ukupan protok se dijeli na više nezavisnih protoka koji se od predajnika do prijemnika šalju različitim, nezavisnim putevima ostvarenim *multipath* refleksijama. Na predajnoj i prijemnoj strani nalazi se više antena
- Signali emitovani sa više predajnih antena stižu na svaku od prijemnih antena kao nekorelisani

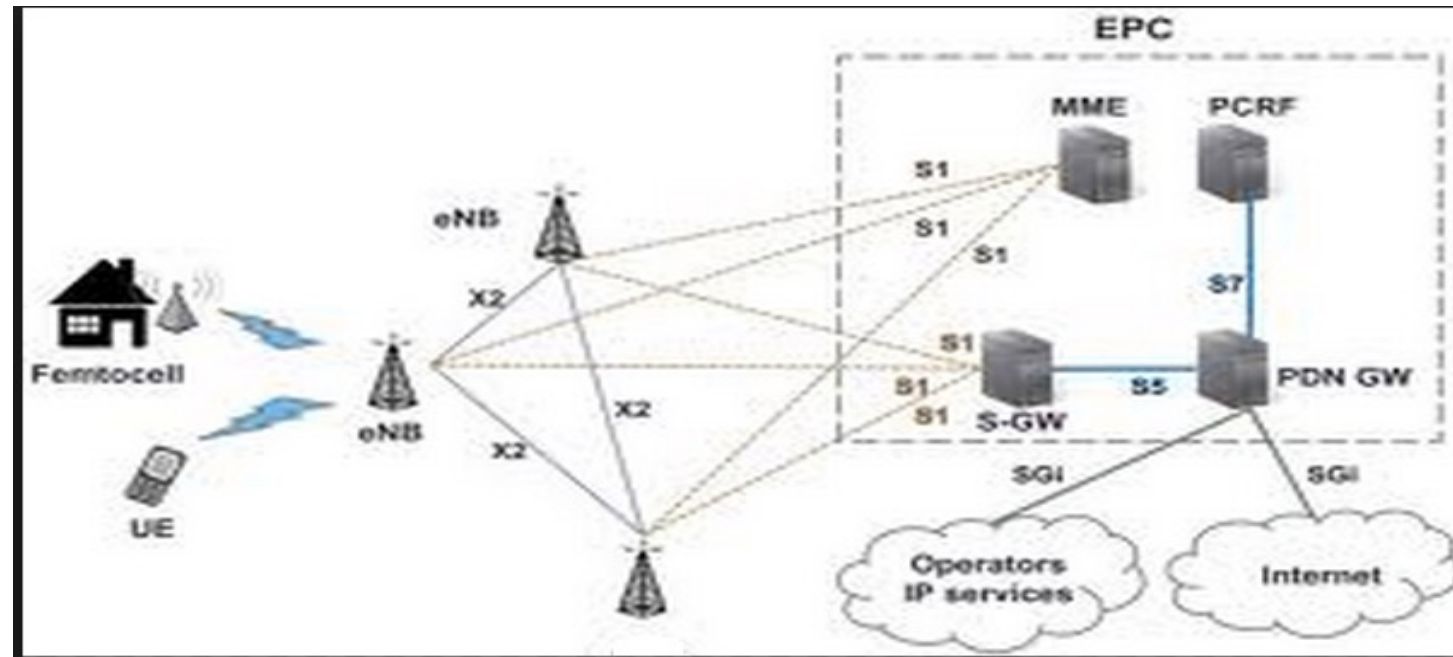


Komponente LTE mreže



LTE arhitektura

- 1) Korisnički terminal (UE)
- 2) Evoluirana UMTS radio pristupna mreža (E-UTRAN)
- 3) Evoluirano paketsko jezgro mreže (EPC)



- **E-UTRAN** omogućava radio komunikaciju između mobilnog terminala i jezgra mreže. Sastoji se od eNB čvorova koji predstavljaju bazne stanice
- Osnovne funkcije eNB-a:
 - Razmjenjuje saobraćaj sa mobilnim stanicama u svom okruženju
 - Šalje mobilnim stanicama signalne poruke (komanda za *handover*)
- eNB predstavlja kombinaciju funkcija koje u UMTS mreži obavljaju RNC i NodeB
- **X2 interfejs** – veza između dvije bazne stanice
- **S1 interfejs** – veza između bazne stanice i jezgra mreže

- **EPC** se sastoji od:
 - **P-GW** (*Packet data network GateWay*) - razmjena informacija sa drugim paketskim mrežama
 - **S-GW** (*Serving GateWay*) - funkcioniše kao ruter i prosleđuje podatke između bazne stanice i P-GW
 - **MME** (*Mobility Management Entity*) - kontroliše *high-level* operacije mobilnog uređaja (sigurnost, upravljanje prenosom podataka)
 - **PCRF** (*Policy and Charging Resource Function*) - održavanje usluga u skladu sa QoS zahtevima

3GPP Release 9

- Sa aspekta LTE-a, 3GPP Release 9 se uglavnom odnosi za održavanje, koje uključuje funkcije i ispravke koje se nisu smatrale bitnim za prvu verziju LTE-a. Specifikacije SON (Self Organizing Network) i Femtocell arhitekture (Home Node-B i Home eNode-B), započete u Release 8, nastavljene su u Release 9.
- U mnogim djelovima svijeta frekvencije koje su se ranije koristile za analognu televiziju oslobođene su uvođenjem digitalnih standarda. Ovi frekvencijski opsezi u regionu od 700 MHz u Sjedinjenim Državama i regionu od 800 MHz u Evropi, koji se ponekad nazivaju i opsezi digitalne dividende, ponovo su dodijeljeni za bežični širokopojasni Internet.
- 3GPP Release 9 sadrži poboljšanja neophodna za funkcionisanje LTE-a u evropskom opsegu digitalne dividende. U praksi se može primijetiti da je ovaj frekvencijski opseg postao veoma popularan pošto su mrežni operateri u mnogim zemljama implementirali LTE mreže koristeći upravo ovaj spektar.

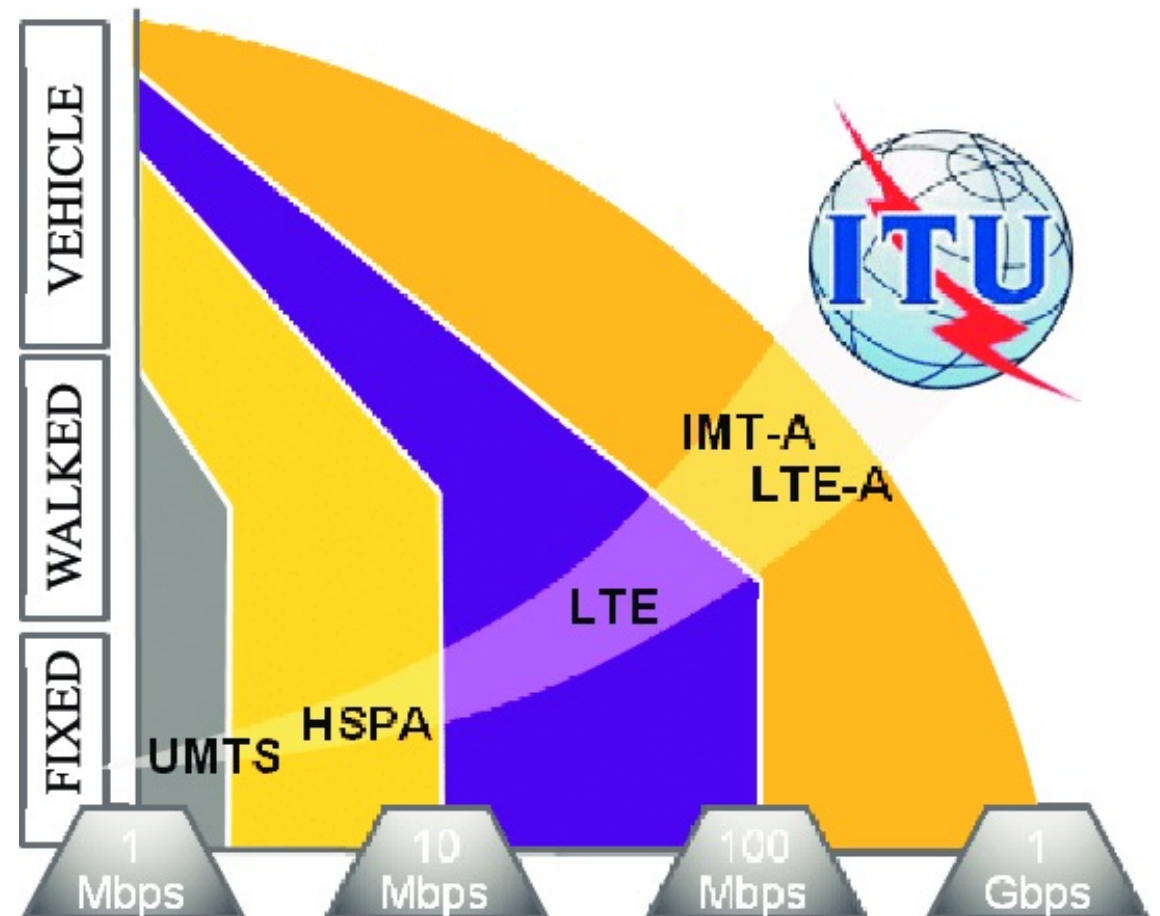
IMT-Advanced

Okvir i opšti ciljevi daljeg razvoja IMT-2000 i *Beyond* IMT-2000 sistema, postavljeni još 2003. godine, pretpostavili su potrebu za definisanjem novog koncepta mobilnih komunikacionih mreža u tehnološkom smislu, uključujući i novu tehnologiju radio interfejsa. Zajedno sa definisanjem termina *IMT-Advanced*, za mobilne mreže nove generacije definisani su i opšti zahtjevi koje takve mreže treba da ispune da bi podržale širok spektar naprednih servisa. Najznačajniji *IMT-Advanced* zahtjevi su:

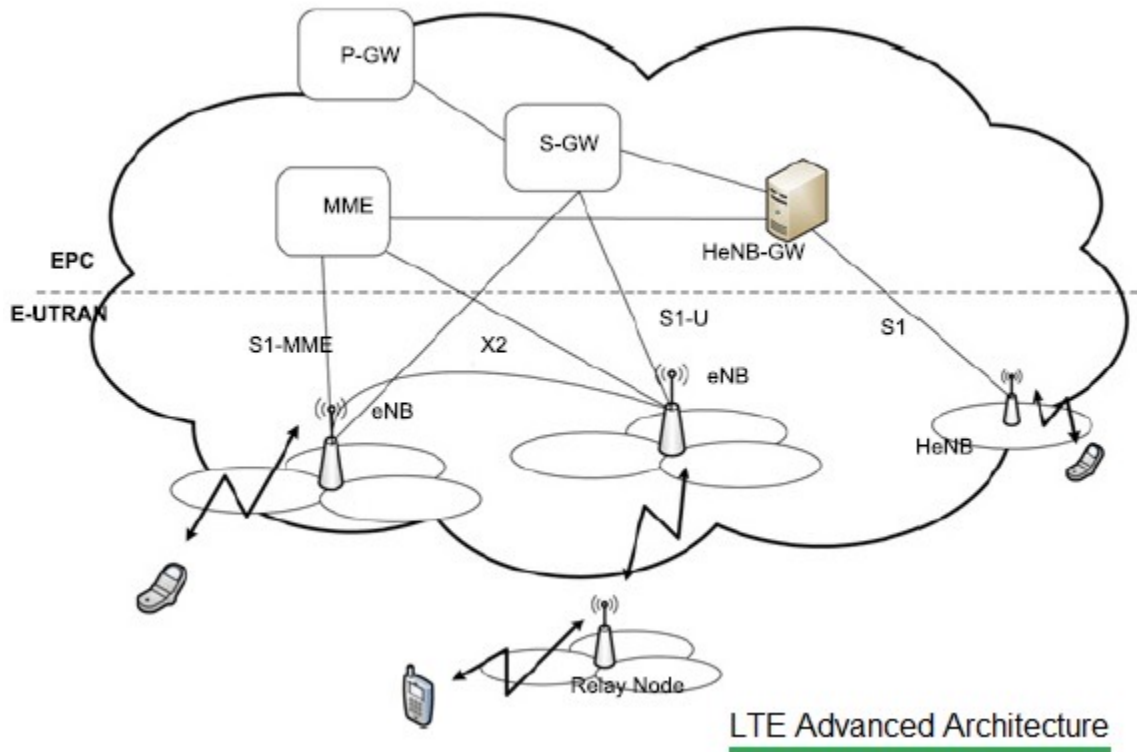
- visok stepen funkcionalne jedinstvenosti širom svijeta uz zadržavanje fleksibilnosti koja omogućava da se podrži širok spektar servisa i aplikacija na komercijalno efikasan način;
- kompatibilnost servisa unutar IMT i sa servisima fiksnih mreža;
- mogućnost *interworking*-a sa drugim radio pristupnim sistemima;
- visoko-kvalitetni mobilni servisi;
- korisnička oprema pogodna za upotrebu širom svijeta;
- "*user-friendly*" aplikacije, servisi i oprema;
- mogućnost roaminga širom svijeta;
- unaprijeđeni vršni protoci da bi se podržali napredni servisi i aplikacije (100 Mb/s za visoku i 1 Gb/s za nisku mobilnost).

LTE-Advanced (LTE-A)

- *LTE-Advanced* proširuje granice i performanse definisane kroz *Release 8* kako bi se zadovoljili zahtjevi *IMT-Advanced* grupe standarda
- Definisanjem *IMT-Advanced* koncepta započet je proces daljeg razvoja 4G sistema
- *All IP* mreže
- Novine koje unosi *LTE-Advanced*:
 - Agregacija kanala
 - Veća spektralna efikasnost
 - Relejni sistem
 - Podrška heterogenim mrežama



Generalno, arhitektura LTE i LTE-Advanced mreža je slična arhitekturi GSM i UMTS. U principu, mreža je podijeljena na radio pristupnu mrežu i jezgro (*core*) mreže.



LTE-Advanced E-UTRAN architecture

Razlike u odnosu na LTE arhitekturu:

- *Home* eNB (HeNB) - predstavljaju jeftinije verzije eNB koje služe za kontrolu femto ćelija, tako da se njima postiže poboljšanje pokrivenosti u zatvorenom prostoru. Mogu biti povezani na EPC direktno ili preko mrežnog *gateway*-a koji obezbeđuje dodatnu podršku za veliki broj HeNB-ova.
- Relejne stanice (čvorišta)- 3GPP je uključio i podršku relejnim stanicama, kao i odgovarajuće i sofisticirane strategije prenosa za poboljšanje performansi mreže. Ciljevi ove nove tehnologije su povećana pokrivenost, veće brzine prenosa podataka i bolje QoS performanse, kao i ravnopravan tretman svih korisnika bez obzira na njihovu lokaciju.

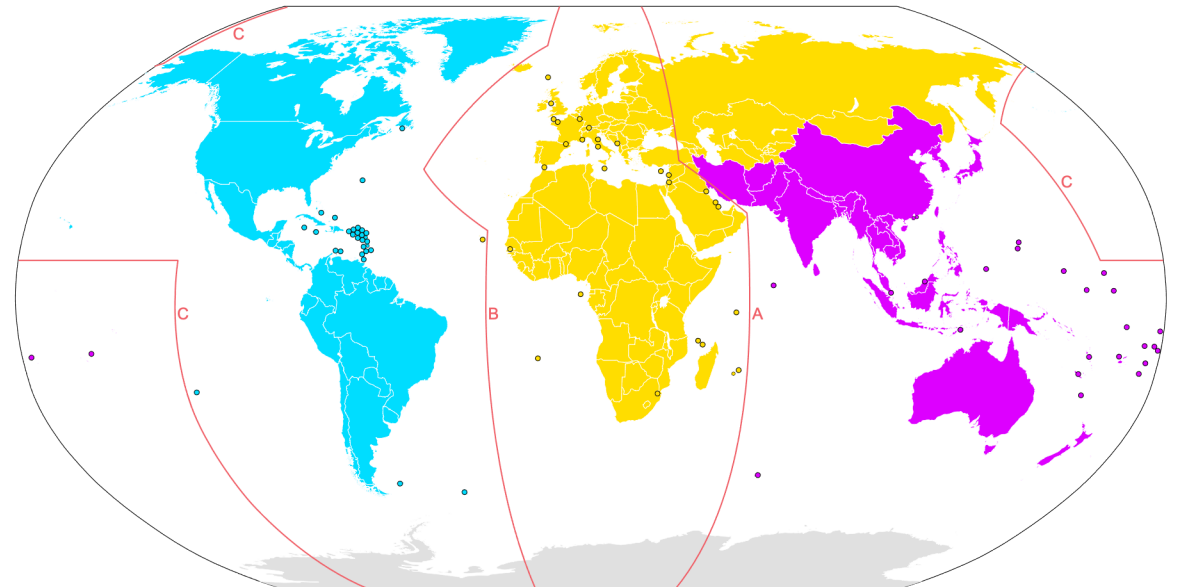
Karakteristike LTE-A sistema

Širina kanala	do 100 MHz
Modulaciona tehnika	<i>Downlink:</i> QPSK, 16QAM, 64QAM <i>Uplink:</i> QPSK, 16 QAM, 64 QAM
Višestruki pristup	<i>Downlink:</i> OFDMA <i>Uplink:</i> SC-FDMA (Single Carrier - FDMA)
MIMO tehnologija	(2x2), (4x2), (4x4), (8x8)
Spektralna efikasnost	30 bps/Hz
Maksimalna brzina prenosa	<i>Downlink:</i> 1Gb/s <i>Uplink:</i> 500 Mb/s

U cilju ispunjavanja zahtjeva IMT-Advanced, kao i zahtjeva 3GPP operatera, LTE-Advanced obuhvata korišćenje i sledećih frekvencijskih opsega opsega, širine do 100 MHz, (pored onih koji su već dodeljeni za LTE) :

- 450–470 MHz opseg (definisan na WRC-07 za globalnu implementaciju IMT sistema).
- 698–862 MHz opseg (definisan na WRC-07 za zemlje Regiona 2 i 9 država Regiona 3).
- 790–862 MHz opseg (definisan na WRC-07 za Regione 1 and 3).
- 2.3–2.4 GHz opseg (definisan na WRC-07 za globalnu implementaciju IMT sistema)
- 3.4–4.2 GHz opseg (3.4–3.6 GHz definisan na WRC-07 za veliku grupu država).
- 4.4–4.99 GHz opseg.

ITU:  Region 1  Region 2  Region 3



- Relativno jednostavan način za povećanje brzina prenosa podataka je povećanje propusnog opsega (širine) kanala. Da bi se zadržala kompatibilnost sa 3GPP Release 8, maksimalna širina pojedinačnog kanala od 20 MHz nije promijenjena. Umjesto toga, uvedena je agregacija nosilaca koja se koristi za kombinovanje kapaciteta nekoliko pojedinačnih nosilaca. Agregirani nosioci mogu biti susjedni ili ne-susjedni, mogu biti u jednom opsegu, a takođe i u različitim opsezima. Pojedinačni nosilac se u standardima naziva Component Carrier(CC). Jedna konfiguracija, na primjer, je kombinovanje nosilaca u LTE opsezima 7 (opseg 2600-MHz) i 3 (opseg 1800-MHz) da bi se potencijalno postigla ukupna širina kanala od 40 MHz za prenos na DL. Nosioci mogu biti asimetrično agregirani na DL i UL. Na DL, na primjer, nosioci u dva različita opsega mogu biti agregirani u kombinovani kanal širine 40 MHz, dok se na UL koristi samo nosilac od 20 MHz u jednom opsegu. Agregacijom se može postići proširenje opsega kanala do 100 MHz.
- Za dodatno povećanje brzine prenosa podataka blizu centra ćelije, LTE-Advanced uvodi 8×8 single-user MIMO tehniku prenosa. U poređenju sa 2×2 MIMO režimom koji LTE koristi u praksi i rezultujućom maksimalnom brzinom prenosa od 150 Mbit/s kada se koristi nosilac od 20 MHz, mogu se postići brzine do 600 Mbit/s. Zajedno sa agregacijom dva nosioca od po 20 MHz, teorijske maksimalne brzine su premašile 1GB/s.

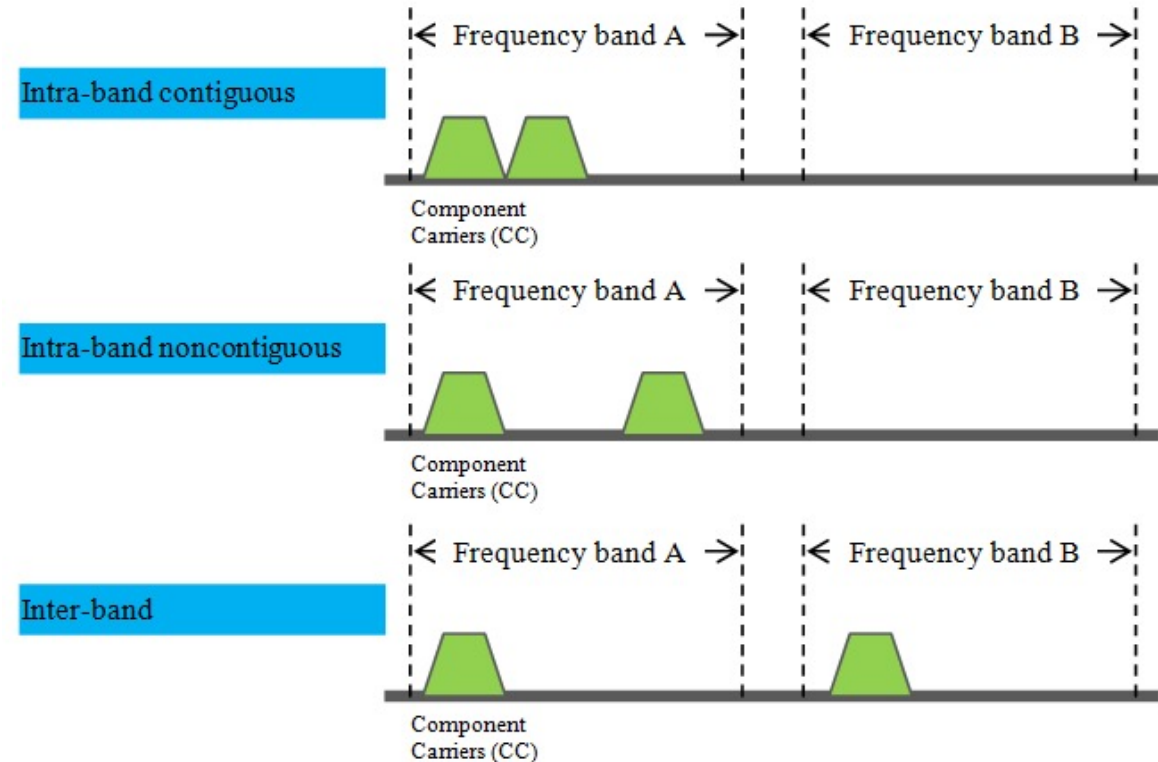
Agregacija nosilaca

Svaki CC može biti širine 1,4, 3, 5, 10 ili 20 MHz. Maksimalan broj kanala koji se može agregirati je pet, tako da je maksimalna širina frekvencijskog opsega koja se može koristiti 100 MHz.

Broj agregiranih nosilaca može se razlikovati između DL i UL, ali broj CC-ova UL veze nikada nije veći od broja CC-ova na DL. Takođe, CC-ovi mogu imati spektre različite širine..

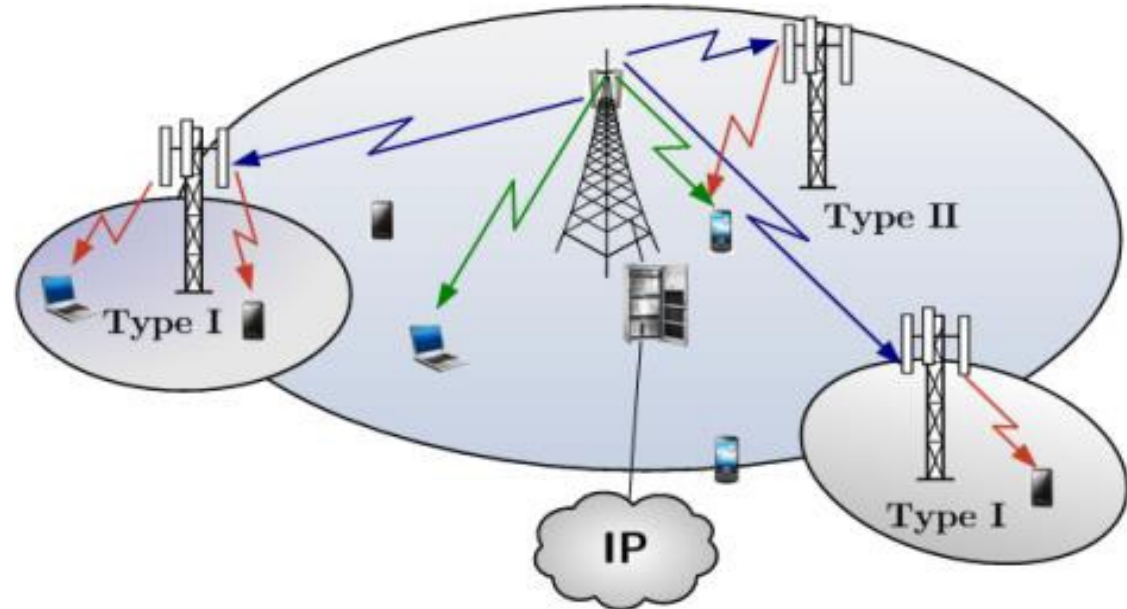
Agregacija nosilaca (CA) je tehnika kojom se postiže grupisanje CC komponenti. Kao što je prikazano na slici, može se govoriti o tri tehnike ili tri tipa CA kod LTE-A:

- Intra-band contiguous CA: metod koji koristi dva ili više kanala koji se nalaze jedan do drugog u jednom frekvencijskom opsegu
- Intra-band nesusjedni CA: metod za agregiranje kanala unutar jednog frekvencijskog opsega, pri čemu se CC-ovi nalaze na određenom rastojanju
- Inter-band nesusjedni CA: metod za agregiranje CC-ova iz različitih frekvencijskih opsega.



Relejne stanice

- Relejne stanice omogućavaju povećanje oblasti pokrivanja za korisnike na ivici ćelije kao i povećanje kapaciteta sistema
- U principu, riječ je o primo-predajnim uređajima tipa baznih stanica male snage. Koriste se za poboljšanje pokrivanja ne samo na ivicama ćelije, već i za zone sa gustim saobraćajem, kao i za indoor pokrivanje.



LTE-Advanced definiše dva tipa relejnih stanica

- **Tip I**

- Generiše sve signale kao bazna stanica
- Ima svoj ćelijski identifikator
- Šalje kontrolne i signalizacione signale
- Primjenjuje DF tehniku

- **Tip II**

- Ne generiše ćelije
- Primjenjuje AF ili DF tehniku
- Omogućava manje kašnjenje

Heterogene mreže

- Koncept heterogenih mreža je predložen u LTE-A kako bi se povećala spektralna efikasnost
- Kombinacija različitih tipova ćelija sa ciljem povećanja kapaciteta sistema

