

Satelitske komunikacije

Dr Uglješa Urošević

Sadržaj:

1. UVOD

- Satelitske orbite
- Mrežna arhitektura satelitskih sistema
- Mobilni satelitski komunikacioni sistemi

2. KARAKTERISTIKE SATELITSKOG RADIO KANALA

- Efekti troposfere
- Efekti jonosfere
- Karakteristike mobilnog satelitskog radio kanala
- Modelovanje satelitskog mobilnog radio kanala
- Aeronautički link

Sadržaj:

3. ANALIZA BUDŽETA LINKA

- Prijemna u funkciji predajne snage
- Termički šum
- Pozadinski šum

4. SATELITSKI TRANSPONDER

Sadržaj:

5. TEHNIKE VIŠESTRUKOG PRISTUPA

- FDMA (*Frequency Division Multiple Access*)
- TDMA (*Time Division Multiple Access*)
- CDMA (*Code Division Multiple Access*)
- DAMA (*Demand Assigned Multiple Access*)
- Hibridna rešenja koja koriste kombinaciju FDMA/TDMA
- OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*)
- SC-OFDMA (*Single Carrier Frequency Division Multiple Access*)
- SDMA (*Spatial Division Multiple Access*)

Sadržaj:

6. GNSS sistemi

- GPS
- GLONASS
- GALILEO
- COMPASS
- IRNSS

7. Integracija satelitskih i mobilnih terestrialnih celularnih sistema

- Satelitski sistemi i 2G
- Satelitski sistemi i 3G
- Satelitski sistemi i 4G
- Satelitski sistemi i 5G

Sadržaj:

8. **DVB-S - *Digital Video Broadcasting Satellite***
9. **Hibridne konstelacije satelita, super GEO, HAP...**

1. UVOD

- Satelitske orbite
- Mrežna arhitektura satelitskih sistema
- Mobilni satelitski komunikacioni sistemi

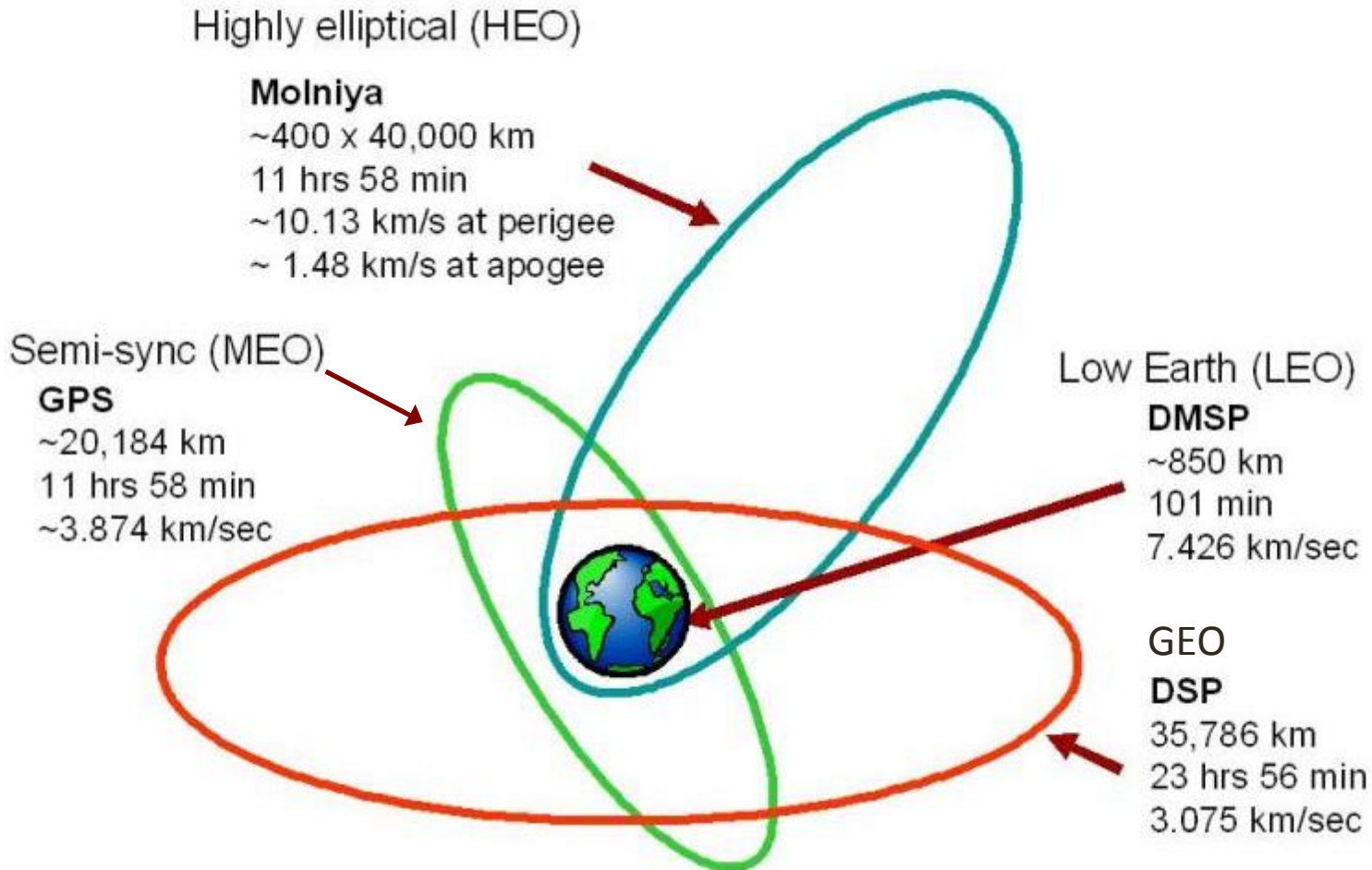
Uvod

- Sateliti se koriste za pružanje telekomunikacionih usluga od sredine 1960-ih. Mobilni satelitski servisi startuju od početka 1980-ih, kada su prvi put sateliti korišćeni za komunikaciju u pomorskom sektoru. Nakon toga se uvode aeronautički i zemaljski personalni komunikacioni servisi.
- Intenzivan razvoj u *payload*-u (nosećoj strukturi) satelita, transmisionim tehnikama, antenama i lansiranju satelita je omogućio da nova generacija usluga bude dostupna javnom i privatnom sektoru.
- Satelitski TV *stream*, GPS (*Global Positioning System*)...

Satelitske orbite

- Sateliti se kategorizuju po tipu orbite.
- Postoje četiri dominantne vrste orbita: geostacionarne orbite (GEO-*geostationary orbit*), veoma eliptične orbite (HEO-*highly elliptical orbit*), niske orbite (LEO-*low Earth orbit*) i srednje orbite (MEO-*medium Earth orbit*).
- S obzirom na to da su se emisiona snaga na satelitima i dobitak samih antena na njima povećavali razvojem novih tehnologija, moguće je putem satelita ostvariti telefonski poziv gotovo bilo gdje u svijetu uz *hand-held* mobilne prijemnike. Takođe, postoje *dual-mode* telefoni koji su pored satelitskog moda funkcionalni u celularnim mrežama.

Satelitske orbite



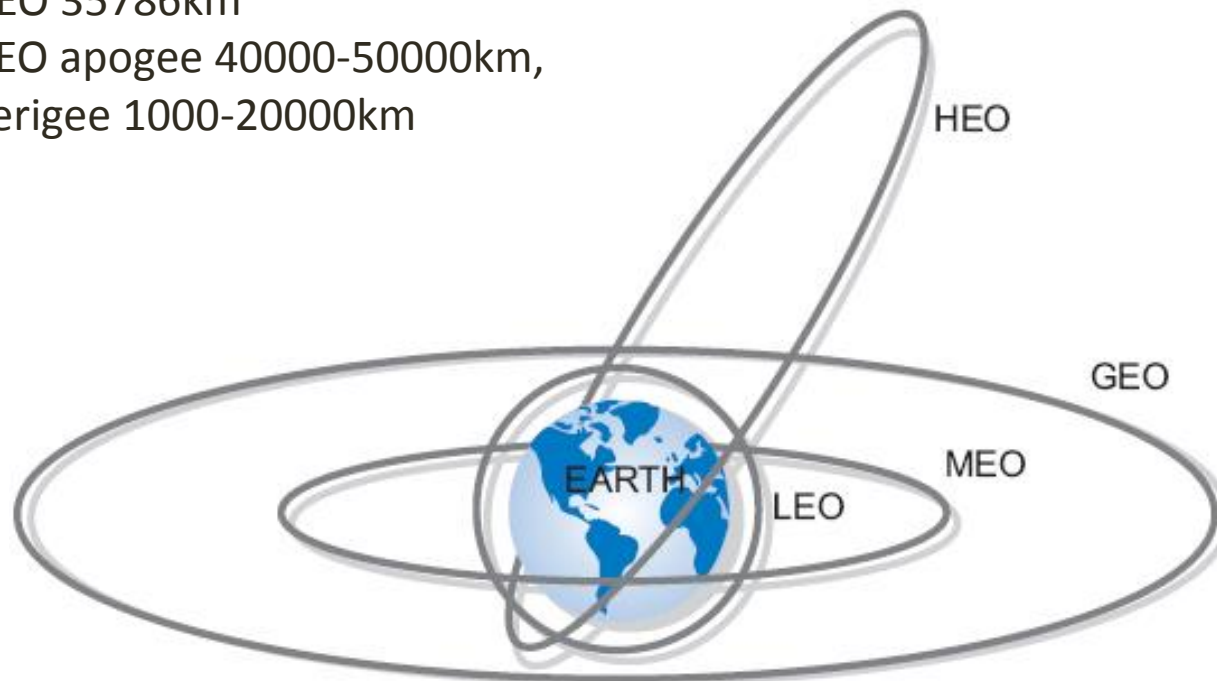
Satelitske orbite

LEO 100-2000km

MEO 5000-20000km

GEO 35786km

HEO apogee 40000-50000km,
perigee 1000-20000km



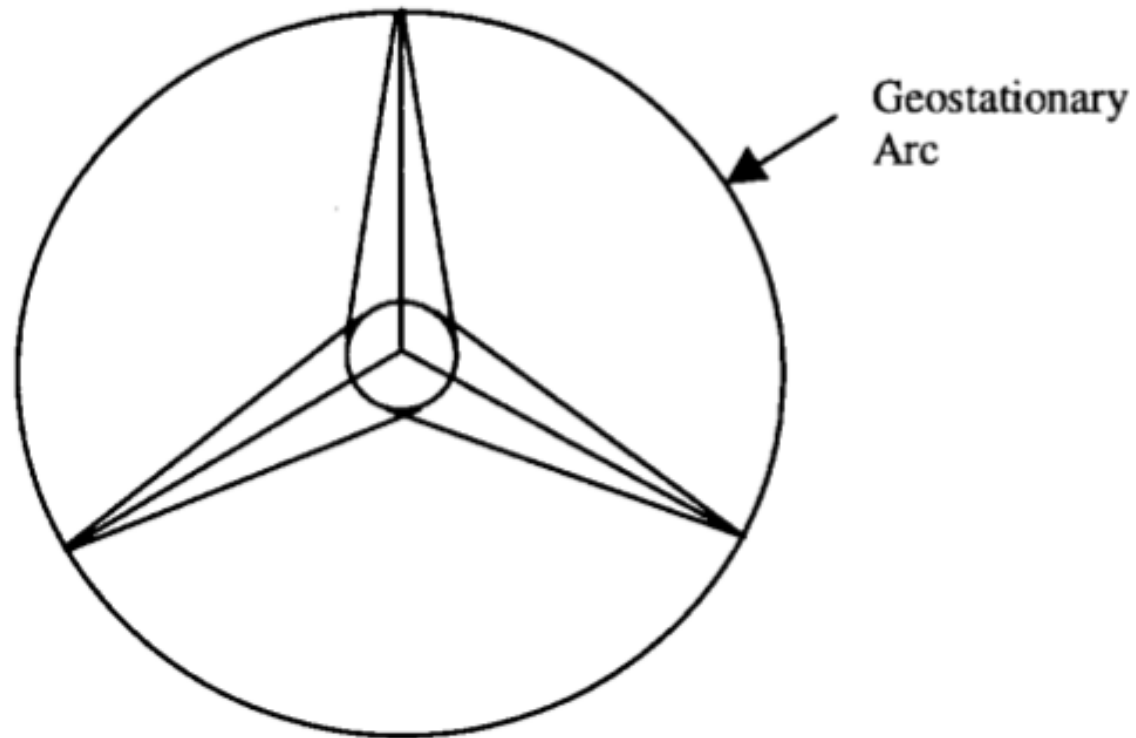
Satelitske orbite

- Geostacionarni sateliti omogućavaju stalnu pokrivenost određenog područja. Mogu biti efikasno korišćeni za regionalno pokrivanje, koncentrišući se na određeni tip servisa, odnosno globalno pokrivanje pomoću tri ili više satelita raspoređenih u ekvatorijalnoj ravni.
- HEO orbite omogućavaju pokrivanje polarnih područja.
- Negeostacionarni sateliti pružaju povremenu pokrivenost određenog područja, pri čemu trajanje vremena pokrivanja zavisi od visine satelita.
- Multi-satelitske konstelacije su potrebne za kontinuiranu globalnu pokrivenost.

Satelitske orbite - GEO

- Geostacionarna orbita ima orbitalni period od 23h 56min 4,1s. Ovaj interval je nazvan *sidereal day* i jednak je stvarnom vremenu za koje se Zemlja okrene oko svoje ose. GEO orbita je kružna orbita u ekvatorijalnoj ravni.
- Sa izuzetkom polarnih područja, globalna pokrivenost se može postići teorijski sa najmanje tri satelita, podjednako distribuiranim u ekvatorijalnoj ravni.
- GEO sateliti kruže oko Zemlje na 35786 km iznad ekvatora na kružnim orbitama. Njihov orbitalni period osigurava da se oni posmatraču na terenu čine stacionarnim u odnosu na njega.
- To je posebno korisno u fiksnim i broadcast komunikacijama, gdje *line-of-sight* komponenta signala može biti gotovo garantovana.

Satelitske orbite - GEO

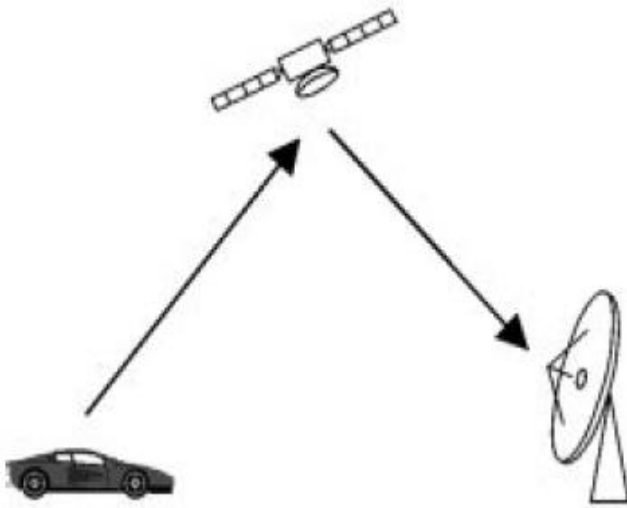


Globalna pokrivenost se može teorijski postići sa najmanje tri GEO satelita

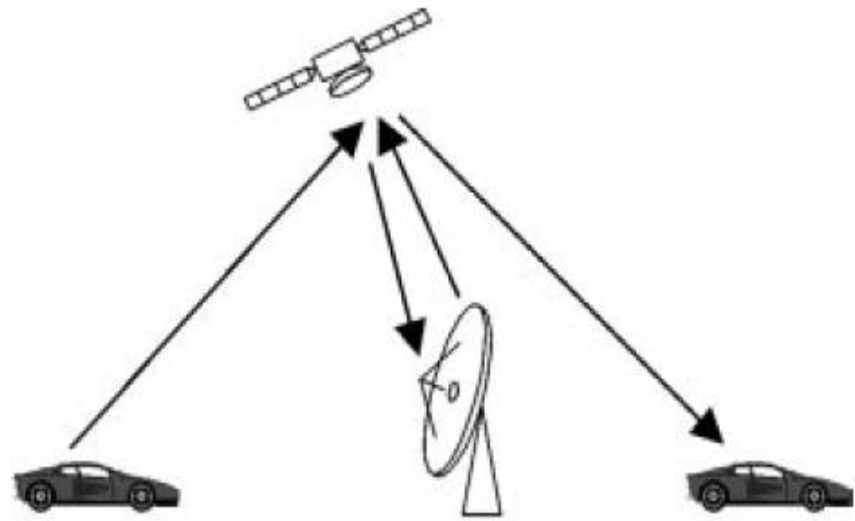
Satelitske orbite - GEO

- *Single-hop* kašnjenje (zemlja satelit-satelit zemlja) usled propagacije iznosi od 250-280 ms i uz dodatno kašnjenje usled obrade kašnjenje može preći 300 ms.
- To zahtijeva korišćenje neke *echo-cancellation* tehnike kada se GEO sateliti koriste za govorne komunikacije.
- ITU određuje maksimalno kašnjenje od 400 ms za telefoniju, što limitira broj hopova na samo jedan.

Satelitske orbite - GEO



(a) *Single-hop* transmisija

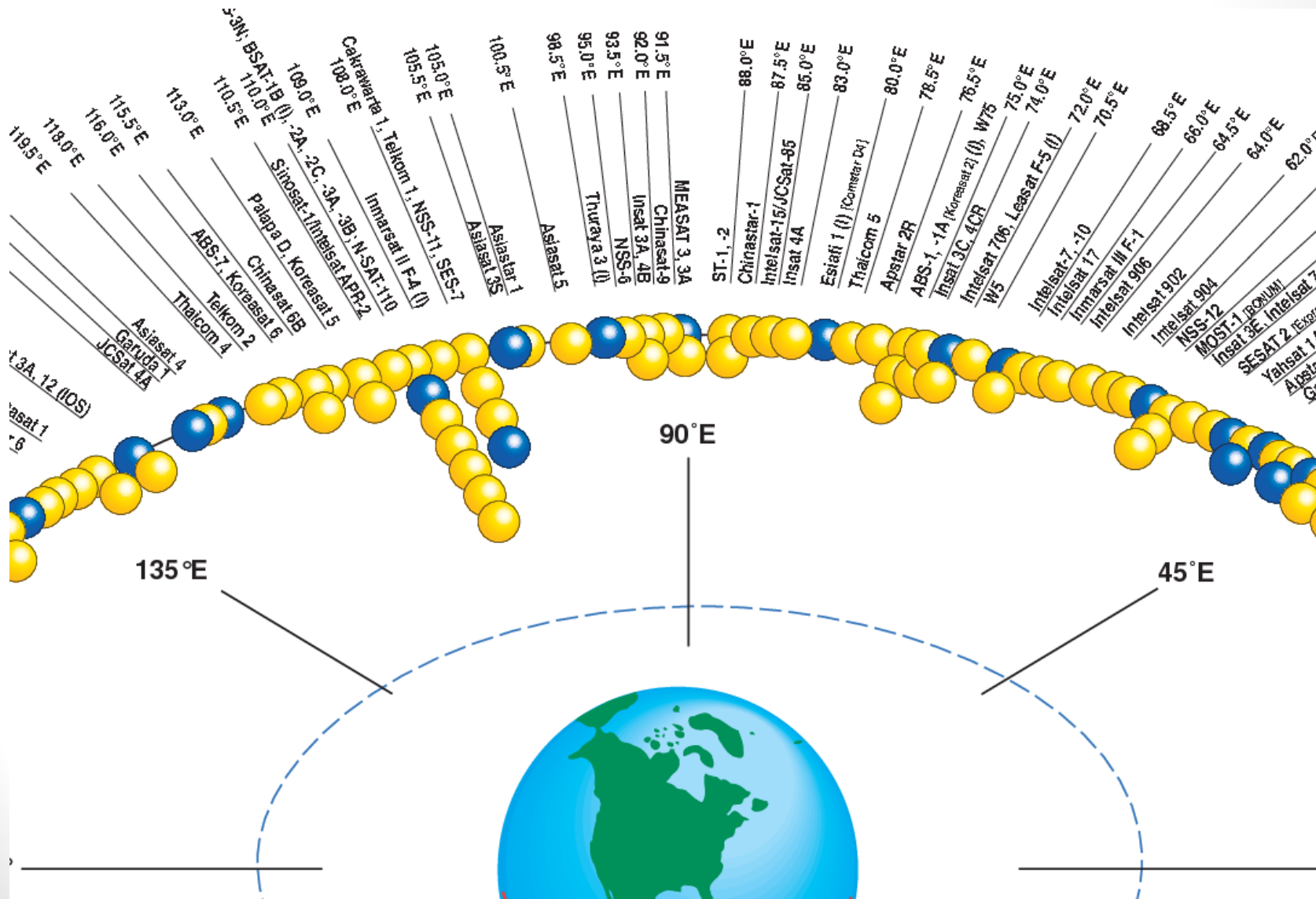


(b) *Double-hop* transmisija

Satelitske orbite - GEO

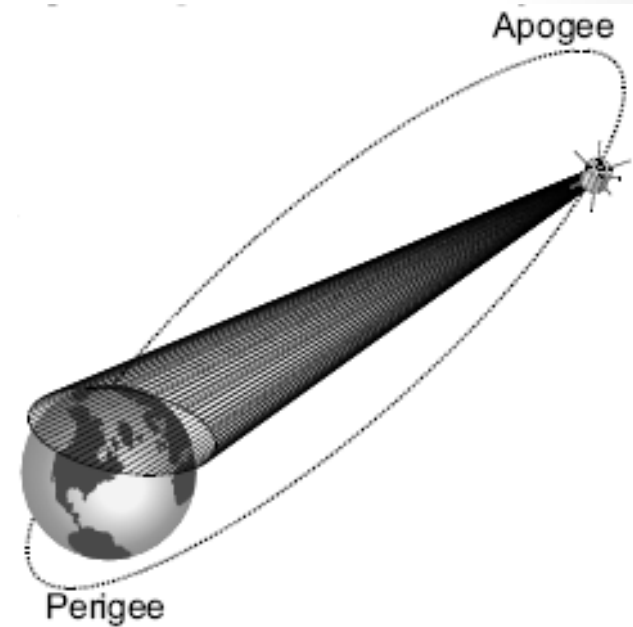
- Geostacionarni sateliti se koriste za pružanje regionalnih mobilnih servisa u Evropi, Sjevernoj Americi, Australiji, Srednjem istoku i jugoistočnoj Aziji. Inmarsat je globalni mobilni sistem koji više od 20 godina funkcioniše pomoću geostacionarnih satelita.
- Kada su prvi geostacionarni sateliti bili korišćeni za mobilne satelitske servise, ograničenja u pogledu ekvivalentne izotropno izračene snage (EIRP) na satelitu i terminalnih karakteristika ograničavali su vrste mobilnih terminala kao i servisa.
- Razvoj *payload*-a satelita i samih antena je rezultirao *multi-spot* pokrivanjem, većim satelitskim EIRP-om, kao i potrebnim manjim mobilnim terminalima. *Hand-held* mobilni terminali su sada uporedivi po veličini sa mobilnim terminalima u celularnim mrežama.

Satelitske orbite – dio GEO komercijalnih satelita

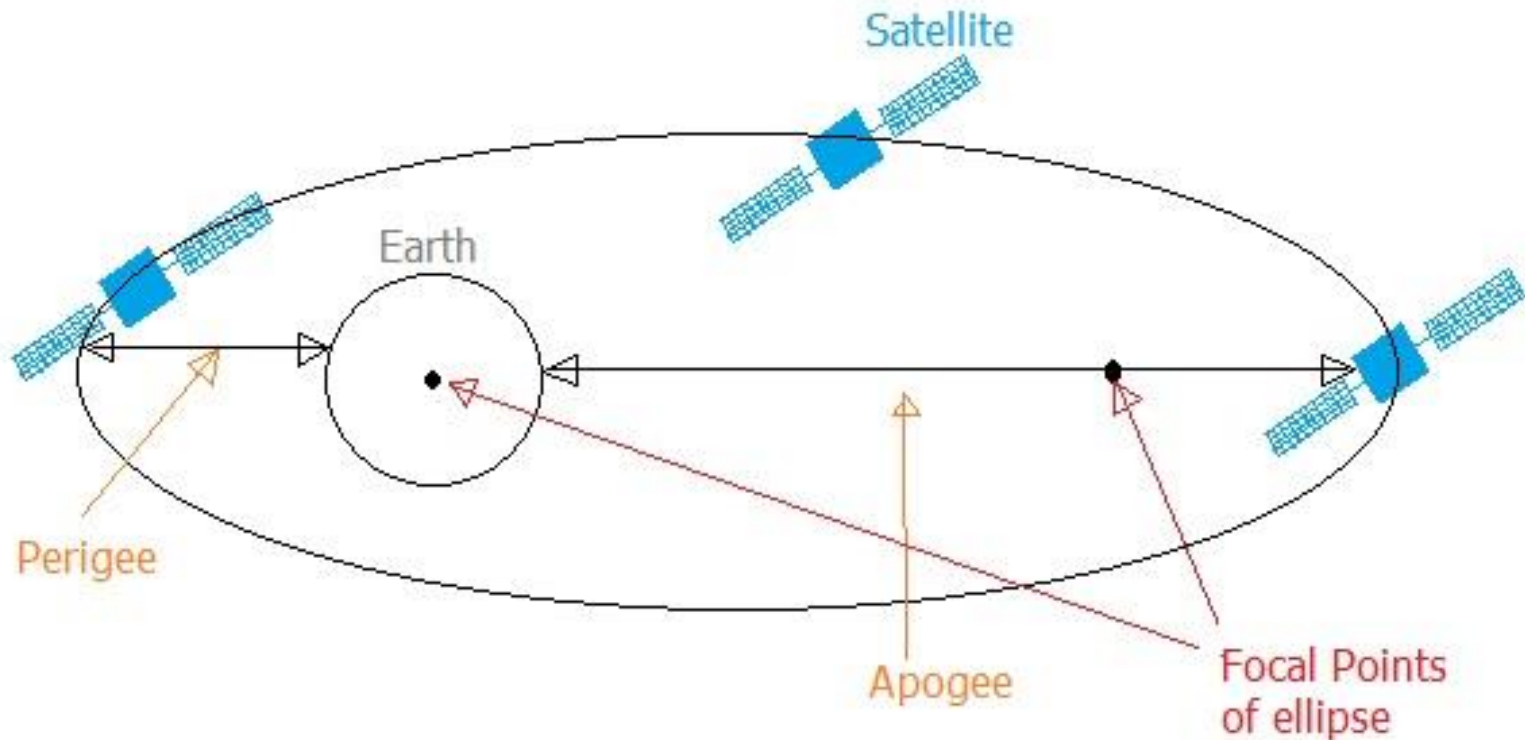


Satelitske orbite - HEO

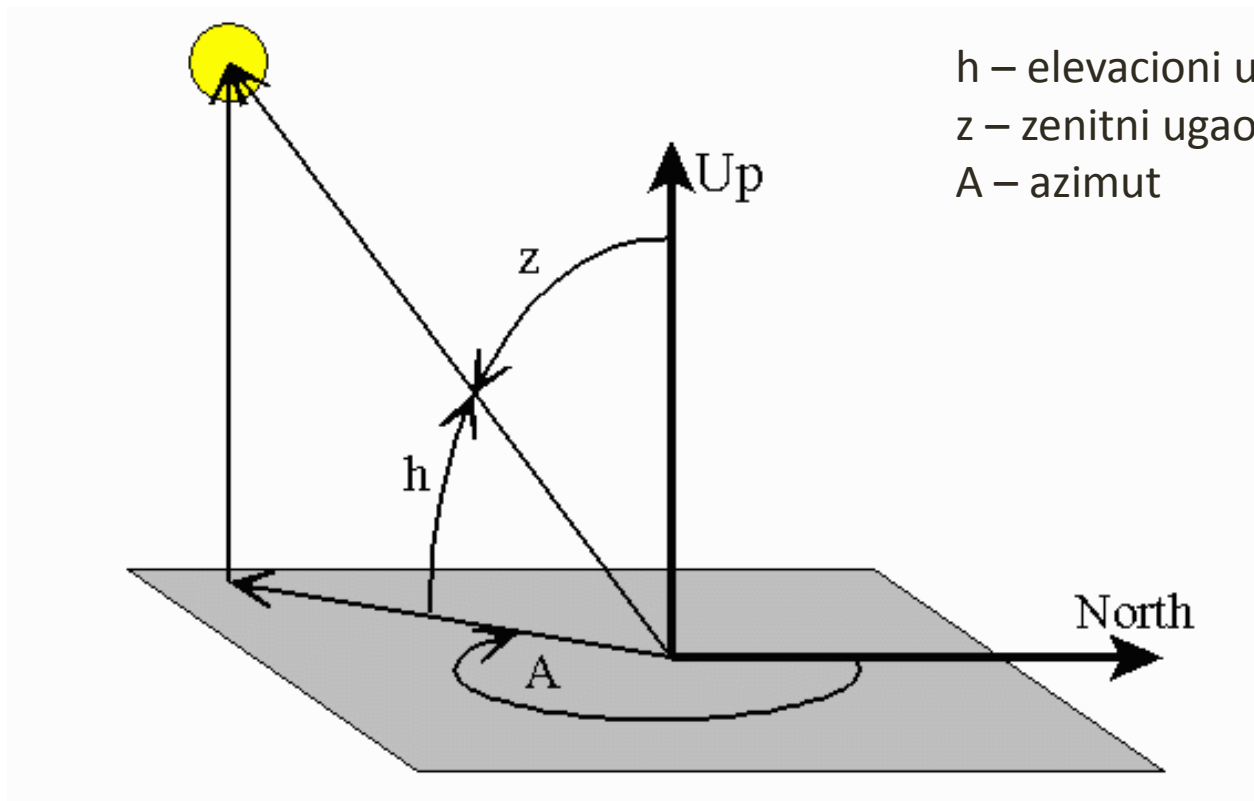
- Visina: *apogee* 40000-50000km, *perigee* 1000-20000km
- Tri do četiri satelita potrebna za kontinualno pokrivanje određenog regiona
- Obezbeđivanja velikog elevacionog ugla prema satelitima za područja sjevernih i južnih polarnih područja
- Handover između satelita se obavlja tri do četiri puta dnevno
- Koristi se za pružanje TV servisa u Rusiji već niz godina unazad



Satelitske orbite – Apogee i perigee HEO satelita



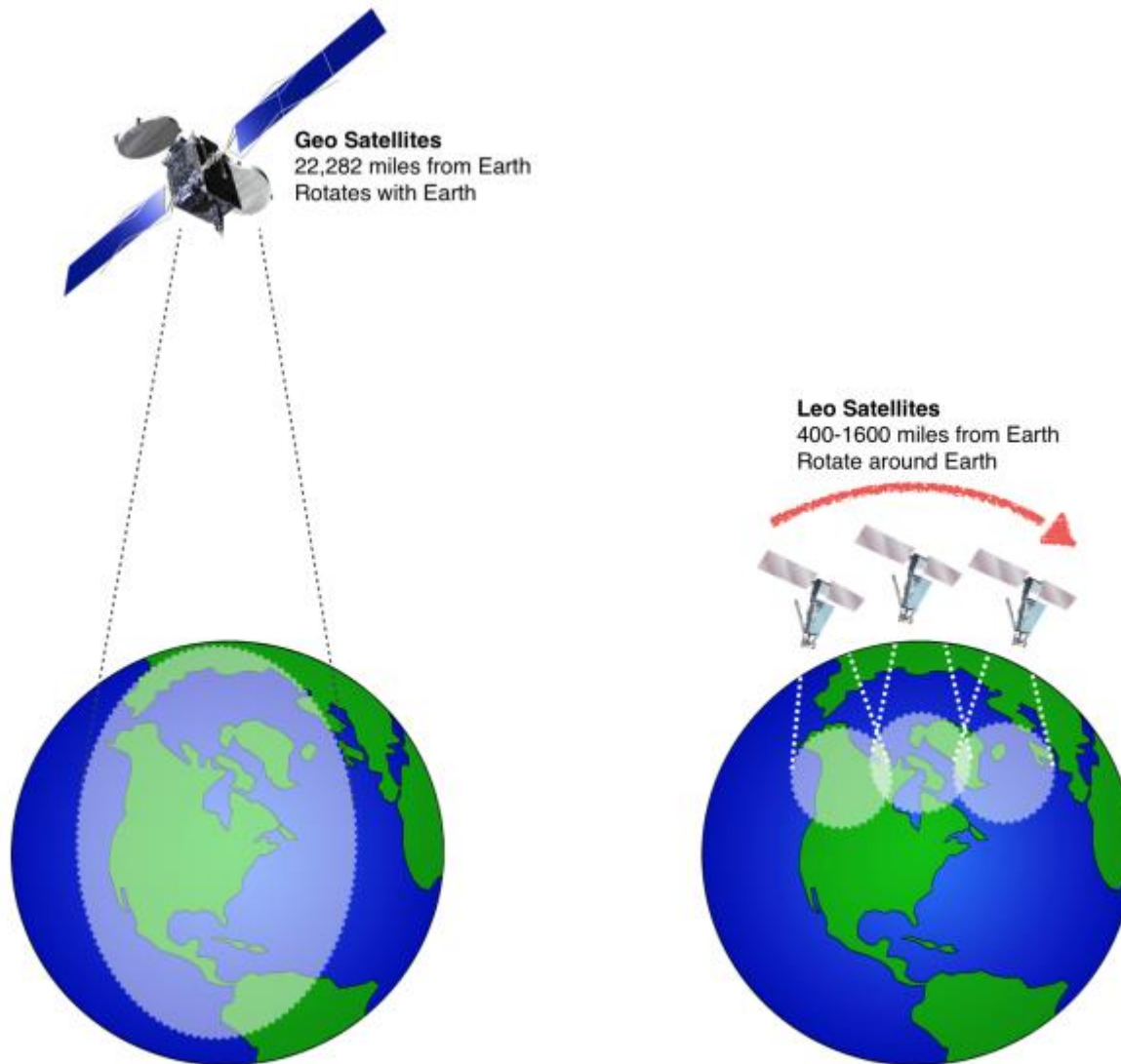
Satelitske orbite – Elevacioni, zenitni ugao i azimut satelita



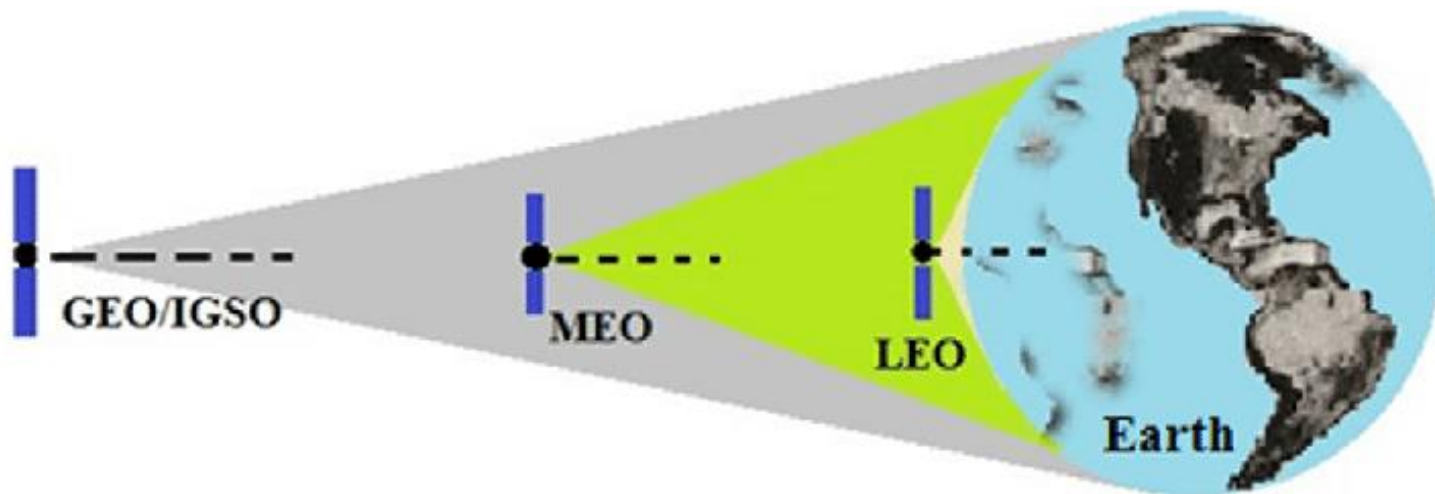
Satelitske orbite - LEO

- Visina 100-2000km
- Konstelacija od oko 30 satelita je potrebna za kontinualno globalno pokrivanje
- Jedan LEO satelit može biti korišćen u *store-and-forward* modu za pokrivanje određenog lokaliteta, ali samo u kratkom vremenskom periodu
- Za optimizovanje linka se može iskoristiti *diversity* ukoliko postoji više od jednog satelita koji su istovremeno vidljivi
- Dinamička priroda LEO orbite uvodi značajnu kompleksnost
- Handover između satelita je neophodan tokom trajanja poziva
- Veliki broj gateway-a je neophodan za globalno pokrivanje ukoliko se ne koriste inter-satelitski linkovi
- Krajem 1990-ih uvedeni u upotrebu

Satelitske orbite – Razlika između GEO i LEO pokrivenosti



Satelitske orbite – Razlika između GEO, MEO i LEO pokrivenosti



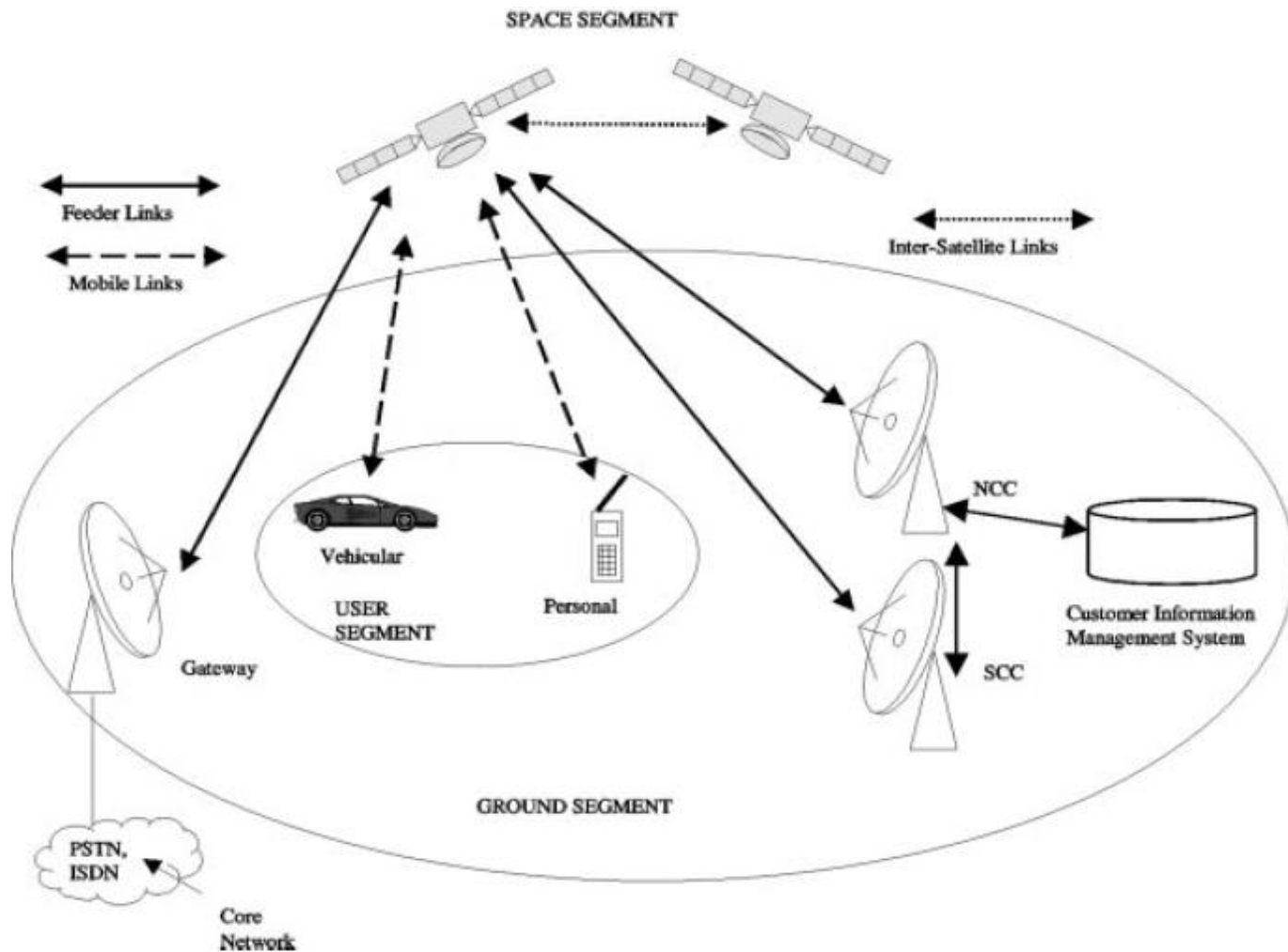
Satelitske orbite – MEO

- Visina najčešće 5000-20000km
- Konstelacija od 10-20 satelita je potrebna za kontinualno globalno pokrivanje
- Odlična globalna vidljivost
- Koristi se *diversity* za poboljšanje performansi
- Dinamička priroda LEO orbite uvodi značajnu kompleksnost
- Handover između satelita je neophodan, ali ne tako često kao kod LEO satelita
- Obzirom na veće pokrivanje, manji broj *gateway*-a odnosno manje zemaljske infrastrukture je neophodano u odnosu na LEO
- GPS i GLONASS navigacioni sistemi koriste MEO satelite

Satelitske orbite – Poređenje GEO, MEO i LEO satelita

Parametar	GEO	MEO	LEO
Udaljenost od zemlje (km)	35786	Uglavnom 5000 do 2000	Uglavnom 100 do 2000
Veličina antene	Velika	Srednja	Mala
Transmisiona snaga	Velika	Srednja	Mala
<i>Round Trip</i> Propagaciono kašnjenje (ms)	250 - 280	110 - 130	20 - 25

Mrežna arhitektura satelitskih sistema



Mrežna arhitektura satelitskih sistema

- Mrežnu arhitekturu čine tri cjeline:
 - korisnički segment,
 - zemaljski segment i
 - *space* segment.
- Korisnički segment čine terminali koji se mogu podijeliti na mobilne personalne terminale (*hand-held*), mobilne grupne terminale (npr. na brodovima, vozovima...), portabilne terminale (mogu se prenositi sa jednog mjesta na drugo ali obično u toku premještanja nisu u funkciji) i fiksne terminale.
- Zemaljski segment se sastoji se od tri glavna elementa: *gateway*-a mreže koji se ponekad naziva fiksna zemaljska stanica (FES), mrežnog kontrolnog centra (NCC) i satelitskog kontrolnog centra (SCC).

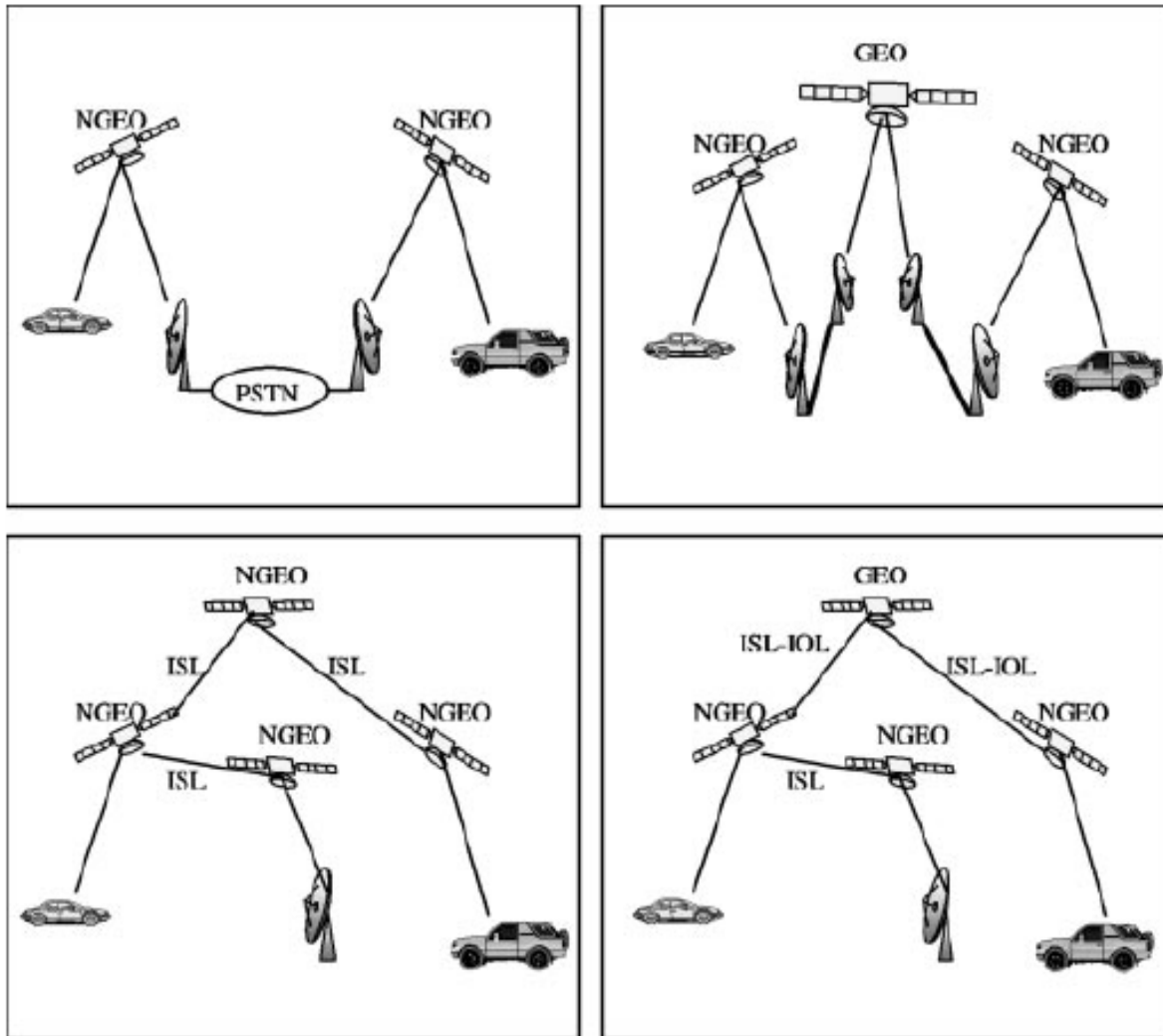
Mrežna arhitektura satelitskih sistema

- *Gateway* omogućava vezu satelitske pristupne mreže i jezgra mreže.
- NCC poznat i kao NMS (*Network Management Station*) je povezan sa korisničkim informacionim menadžment sistemom CIMS (*Customer Information Management System*) u cilju koordinacije pristupa satelitskim resursima. Takođe, obavlja logičke funkcije vezane sa menadžmentom i kontrolom u mreži.
- SCC nadgleda performanse konstelacije satelita i kontroliše poziciju satelita. Funkcije kontrole poziva se takođe mogu obavljati pomoću SCC.

Mrežna arhitektura satelitskih sistema

- *Space* segment – omogućava vezu između korisnika i *gateway*-a. Direktne veze između korisnika putem satelitskog segmenta su takođe ostvarive korišćenjem najnovije generacije satelita. *Space* segment se sastoji od jedne ili više konstelacija satelita.
- Tri su glavna tipa arhitekture satelita:
 - Transparentni *payload* sateliti
 - *On-board processing* (OBP) sateliti
 - Sateliti sa inter-sateltskim linkovima (ISL) unutar konstelacije ili inter-konstelacijskim linkovima
- *Space* segment može biti dizajniran na različite načine zavisno od karakteristika satelita kao i tipa orbita.

Mrežna arhitektura satelitskih sistema



Različite arhitekture *space* segmenta za globalno pokrivanje

Mrežna arhitektura satelitskih sistema - frekvencijski opsezi

- Mobilni satelitski sistemi rade u različitim frekvencijskim opsezima zavisno o vrsti servisa. ITU je prvobitno namijenila spektar za mobilne satelitske servise u L-/S opsezima.
- Usled zahtjeva za većim širinama opsega došlo je do proširivanja od VHF do V opsega.
- Komunikacije između gateway-a i satelita (*feeder link*) je obično u C-opsegu ili Ku-opsegu

Band	Frequency Range (MHz)
P	225–390
L	390–1550
S	1550–3900
C	3900–8500
X	8500–10900
Ku	10900–17250
Ka	17250–36000
Q	36000–46000
V	46000–56000
W	56000–100000

Mobilni satelitski komunikacioni sistemi

- INMARSAT
- EUTELSAT
- Little LEO sistemi
 - ORBCOMM
 - E-SAT
 - LEO ONE
- S-PCN (*Satellite-Personal Communication Networks*) sistemi
 - IRIDIUM
 - GLOBALSTAR
 - NEW ICO
 - CONSTELLATION COMMUNICATIONS
 - ELLIPSO

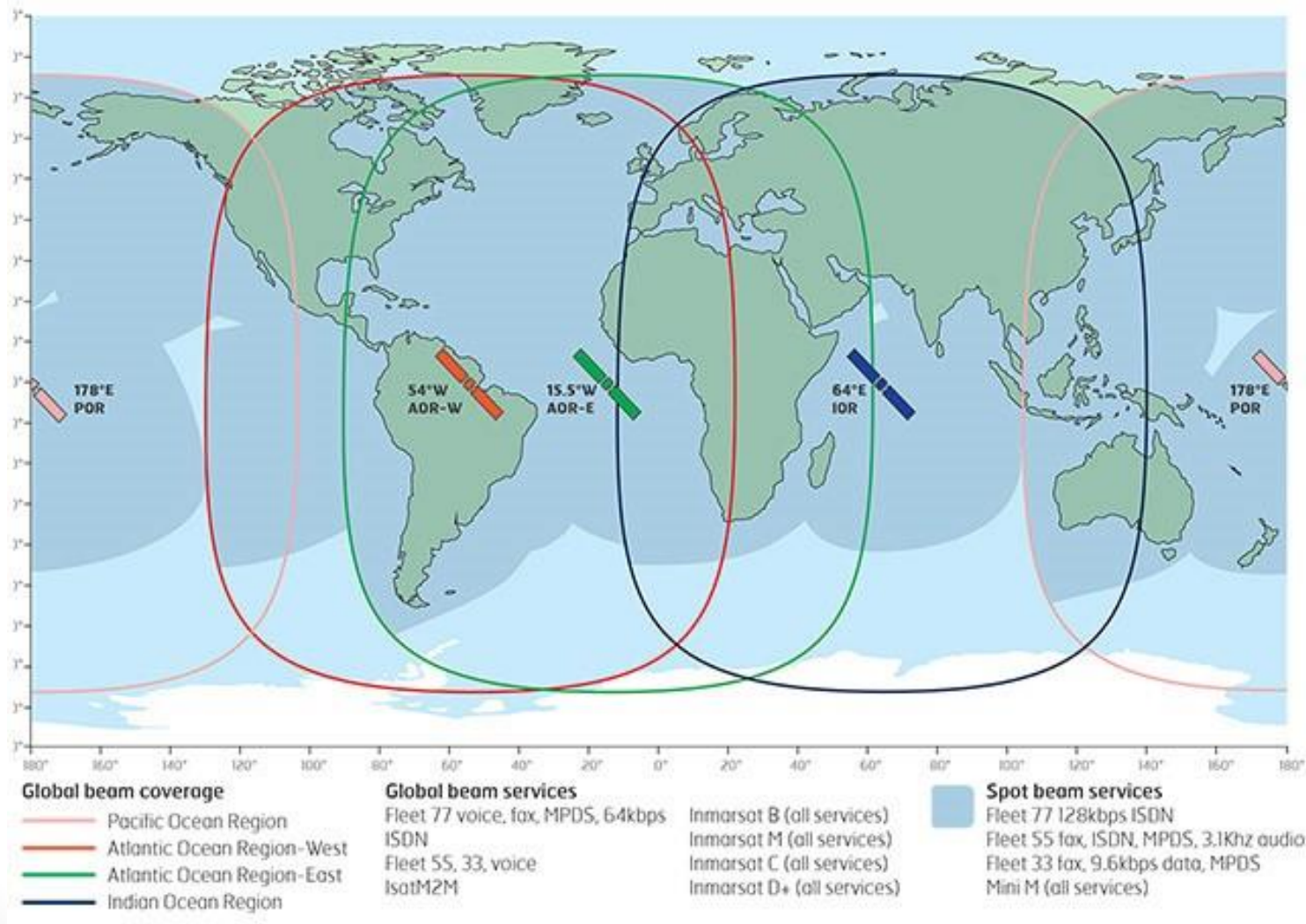
Mobilni satelitski komunikacioni sistemi

INMARSAT

- Inmarsat je pokrenut 1979 sa ciljem omogućavanja menadžmenta plovidbe u pomorstvu kao i sigurnosnih aplikacija. Komercijalni servis započinje 1982. god. i od tada je servis usluga proširen na zemaljski i aeronautički sektor
- Inmarsat sistem se sastoji od tri osnovna elementa.
 - Inmarsat *space* segment, koji čine geostacionarni sateliti raspoređeni iznad Atlantika, Pacifika i Indijskog okeana.
 - *Land Earth stations* (LES) – omogućava konekciju sa zemaljskom mrežnom infrastrukturom. Postoji oko 40 LES-ova širom svijeta
 - *Mobile Earth stations* (MES), koja omogućava korisniku komunikaciju sa satelitom

Mobilni satelitski komunikacioni sistemi

INMARSAT

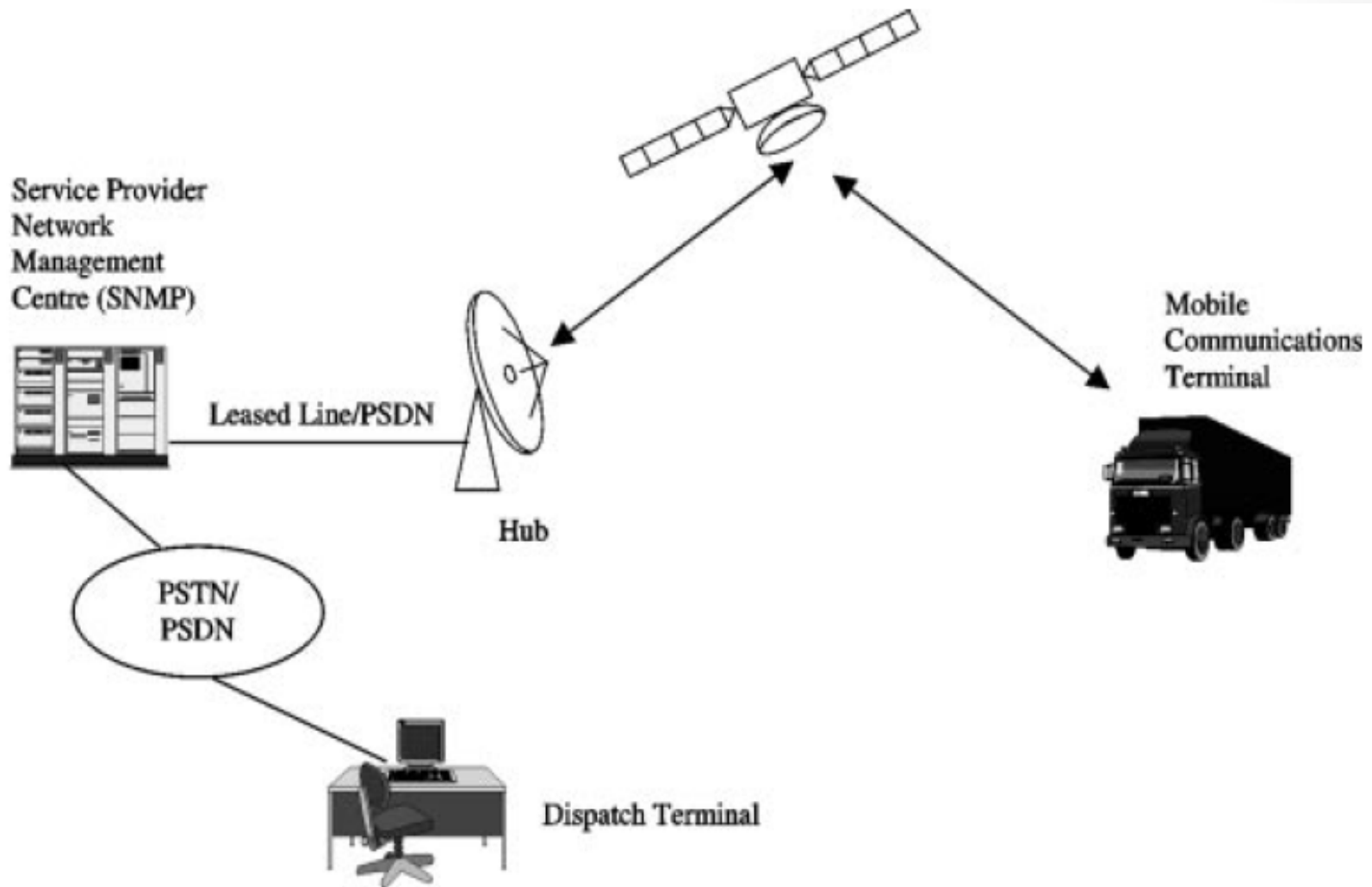


Mobilni satelitski komunikacioni sistemi

EUTELTRACS

- EUTELTRACS je sistem koji se koristi za menadžment u saobraćaju. Koristi se za razmjenu tekstualnih poruka sa vozilima putem geostationarnih satelita. Uveden je u Evropi kao prvi komercijalni *land mobile*-satelitski servis. Takođe, omogućava i praćenje vozila. EUTELTRACS radi u Ku-opsegu i ima centralizovanu mrežnu arhitekturu, organizovanu oko jedne *hub earth* stanice kojom upravlja EUTELSAT (*European Telecommunication Satellite Organisation*).
- Sistem se sastoji od pet elemenata: the *hub Earth* stanice, *space* segmenta, SNMC (*service provider network management centre*), the dispečerskog terminala i MCT (*mobile communications terminal*) koji se montira na vozilu.

Mobilni satelitski komunikacioni sistemi EUTELTRACS



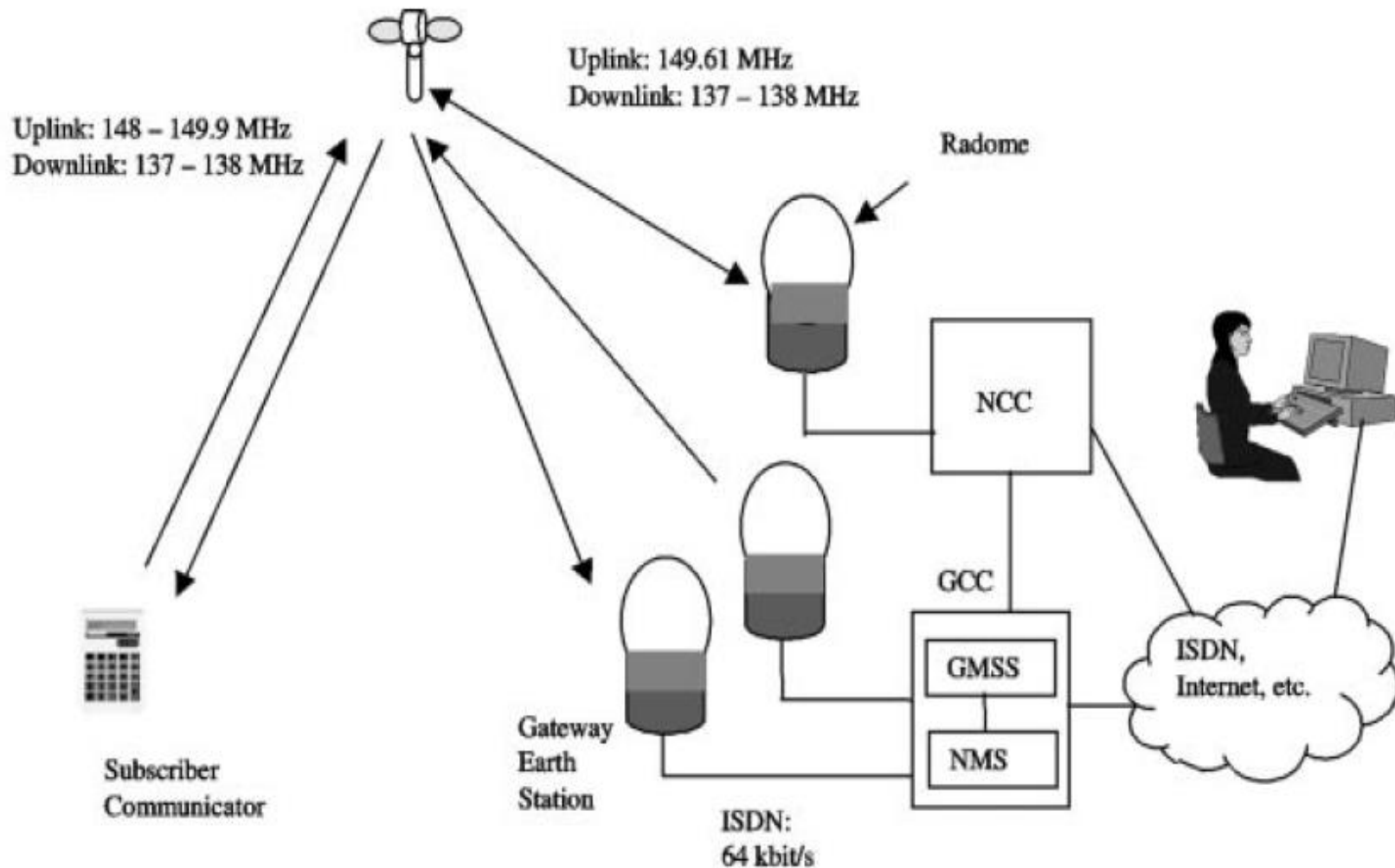
Mobilni satelitski komunikacioni sistemi

Little LEO sistemi

- *Little* LEO sistemi pružaju *non-voice* servise, malih brzina prenosa (*e-mail*, *remote monitoring*, udaljena očitavanja...) na globalnom nivou korišćenjem LEO satelita. Servisi mogu biti u *real-time* ili *store-and-forward* modu, zavisno konstelacije satelita i dostupne zemaljske mrežne infrastrukture (satelit može primati podatke samo kada prelazi iznad određenog područja, u kojem se nalazi *gateway* odnosn o korisnici).
- Termin “little LEO” je nastao zbog potrebe za razlikovanjem ovih satelita od negeostacionarnih satelita koji se koriste za pružanje satellite-PCN servisa, koji su veći i sofisticiraniji.
- ORBCOMM, E-SAT, LEO ONE

Mobilni satelitski komunikacioni sistemi

ORBOCOMM



Mobilni satelitski komunikacioni sistemi

S-PCN sistemi

- Primarni cilj S-PCN je obezbjeđivanje govornih servisa kao i servisa prenosa podataka, sličnim u terestrialnim celularnim mrežama, korišćenjem *hand-held* uređaja putem LEO ili MEO satelita. S-PCN mreže rade u L-/S opsegu
- S-PCNs pružaju globalno pokrivanje korišćenjem multi-satelitskih konstelacija. Broj satelita u konstelaciji zavisi od visine satelita kao i zahtjevanog minimalnog elevacionog ugla.
- Mogu se koristiti *dual-mode* uređaji, koji funkcionišu u terestrialnim i satelitskim mobilnim mrežama. *Dual-mode* uređaji rade primarno u terestrialnom modu, dok satelitsku konekciju koriste kad terestrialni kanal nije dostupan.
- IRIDIUM, GLOBALSTAR, NEW ICO, CONSTELLATION COMMUNICATIONS, ELLIPSO...

Mobilni satelitski komunikacioni sistemi

S-PCN sistemi

Service provider	Launching	Satellites	Orbit	Coverage area	Freq. band	Modulation	Multiple access
Inmarsat	1976	11	GEO	Global except polar regions	L	QPSK, $\pi/4$ -QPSK, 16-QAM	TDMA
Iridium	1997	66	LEO	Global except N. Korea, Poland, Hungary	L	QPSK	FDMA, TDMA, TDD
HISPASAT	1992	6	GEO	N. and S. America, and W. Europe	Ku, Ka, X, C	QPSK	FM, TDMA
Light-squared	1995	2	GEO	N. and Central America	L, Ku	—	—
Globalstar	1998		LEO	N. and S. America, Europe, Australia, N. Africa and parts of Asia	S	FM, SS, QPSK	FDMA/CDMA
Thuraya	2000		GEO	Europe, N. and Central Africa, large parts of Asia, Australia and part of the Pacific	L	$\pi/4$ -QPSK	FDMA
ICO	2000	1	MEO/ GEO	N. America	C, S	—	FDMA, TDMA
ACeS	2000	1	GEO	Parts of Asia	L	GMSK	FDMA, TDMA
Terrestar	2009		GEO	Continental U.S., Canada, Puerto Rico, U.S. Virgin Islands, Hawaii and Alaska	L	—	—

Mobilni satelitski komunikacioni sistemi

S-PCN sistemi

	IRIDIUM	GLOBALSTAR	NEW ICO	CONSTELLATION	ELLIPSO
Orbit altitude (km)	780	1414	10 390	2000	Bore: 7605, Conc.: 8050
Type	LEO	LEO	MEO	LEO	Hybrid LEO/MEO
Launch mass (kg)	689	450	2750	500	650
Number of satellites	66	48	10	11	Bore: 10, Conc.: 7
Satellites/plane	11	6	5	11	Bore: 5, Conc.: 7
ISL	Yes, 23.18–23.38 GHz	No	No	No	No
OBP	Yes	No	No	No	No
No. of spot-beams	48	16		24	61

Mobilni satelitski komunikacioni sistemi

S-PCN sistemi

		IRIDIUM	GLOBALSTAR	NEW ICO	CONSTELLATION	ELLIPSO
Mobile (MHz)	↑	1616–1626.5	1610–1626.5	1985–2015	2483.5–2500	1610–1626.5
Mobile (MHz)	↓	1616–1626.5	2483.5–2500	2170–2200	1610–1626.5	2483.5–2500
Feeder (GHz)	↑	29.1–29.3	5.091–5.250	5.150–5.250	5.091–5.250	15.45–15.65
Feeder (GHz)	↓	19.4–19.6	6.875–7.055	6.975–7.075	6.924–7.075	6.875–7.075
Multiple access		FDMA/TDMA	CDMA	FDMA/TDMA	CDMA	W-CDMA
Modulation		QPSK	QPSK	GMSK uplink, BPSK/QPSK downlink	QPSK outbound, O- QPSK inbound	Not available

Mobilni satelitski komunikacioni sistemi

S-PCN sistemi

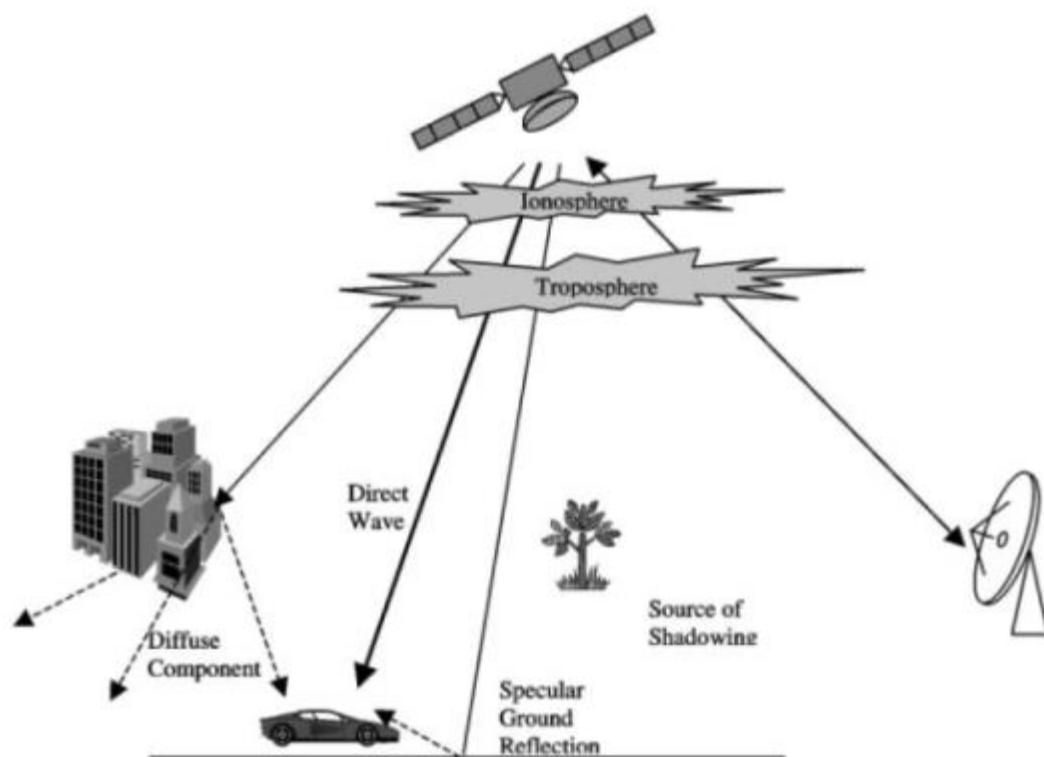
	IRIDIUM	GLOBALSTAR	NEW ICO	CONSTELLATION	ELLIPSO
Launch date	1 Nov. 1998, terminated 17 Mar. 2000 Re-launched 2001	Spring 2000	2004	2001	Not available
Trans. Rate	2.4 kbit/s	0.6–9.6 bit/s (voice) 2.4 kbit/s (data)	4.8 kbit/s (voice) 2.4–9.6 kbit/s (hand-held data) 8.0–38.4 kbit/s (vehicular/ semi-fixed data)	4 kbit/s (voice) 2.4, 4.8 and 9.6 kbit/s (data)	2.4 kbit/s (voice), up to 28.8 kbit/s (data)
Services	Voice, fax, data	Voice, fax, data, SMS	Voice, bi-directional SMS, fax, Internet access, high speed circuit switched data	Voice, data, fax	Voice, e-mail, Internet access, fax, data, push-to- talk, global positioning
Coverage	Global	Global within bounds $\pm 70^\circ$ latitude	Global	Initially, regional within bounds $\pm 23^\circ$ latitude. Global coverage aimed for 2003 by incorporating new satellites into constellation	Global above 50° South

2. KARAKTERISTIKE SATELITSKOG RADIO KANALA

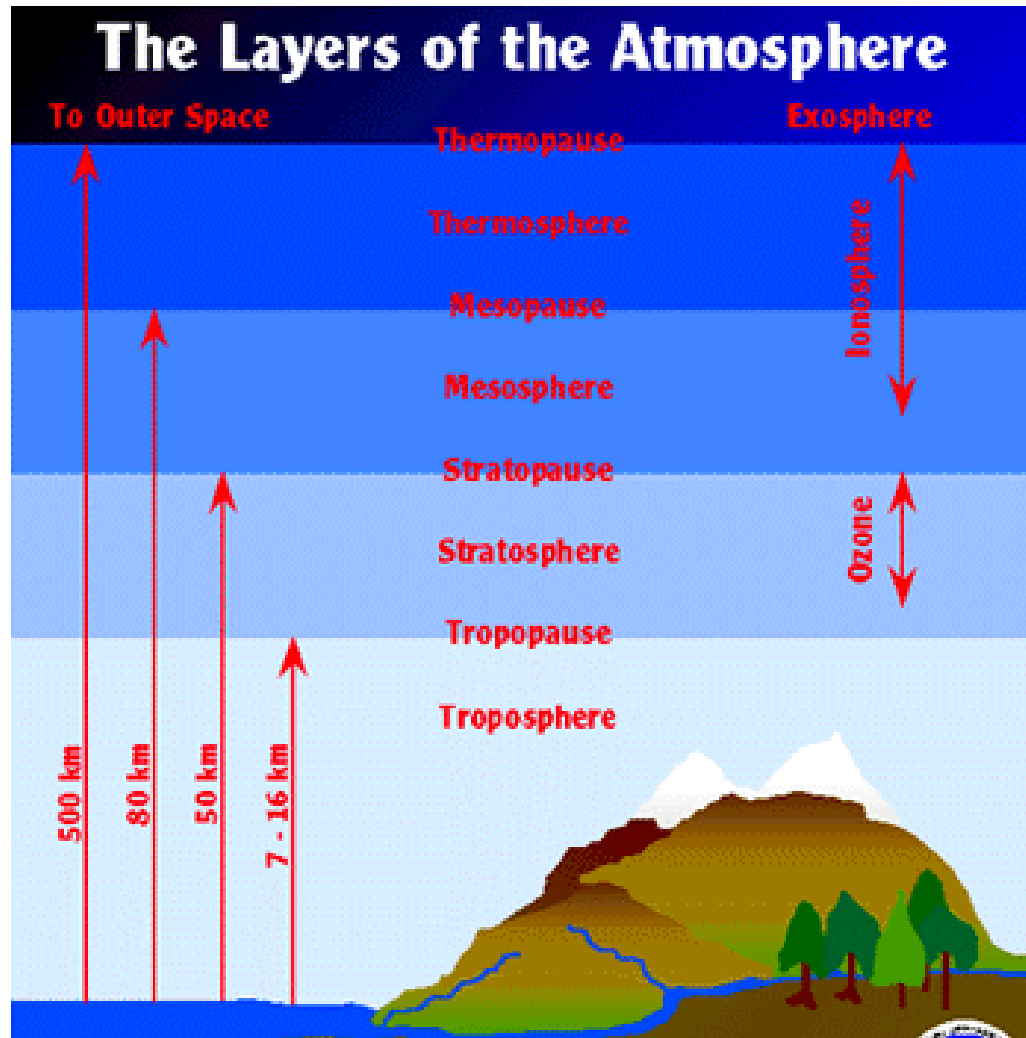
- Efekti troposfere
- Efekti jonosfere
- Karakteristike mobilnog satelitskog radio kanala
- Modelovanje satelitskog mobilnog radio kanala
- Aeronautički link

Karakteristike satelitskog radio kanala

- Fiksni satelitski radio kanal
- Satelitski mobilni radio kanal
 - ✓ Terestrialni
 - ✓ Aeronautički link



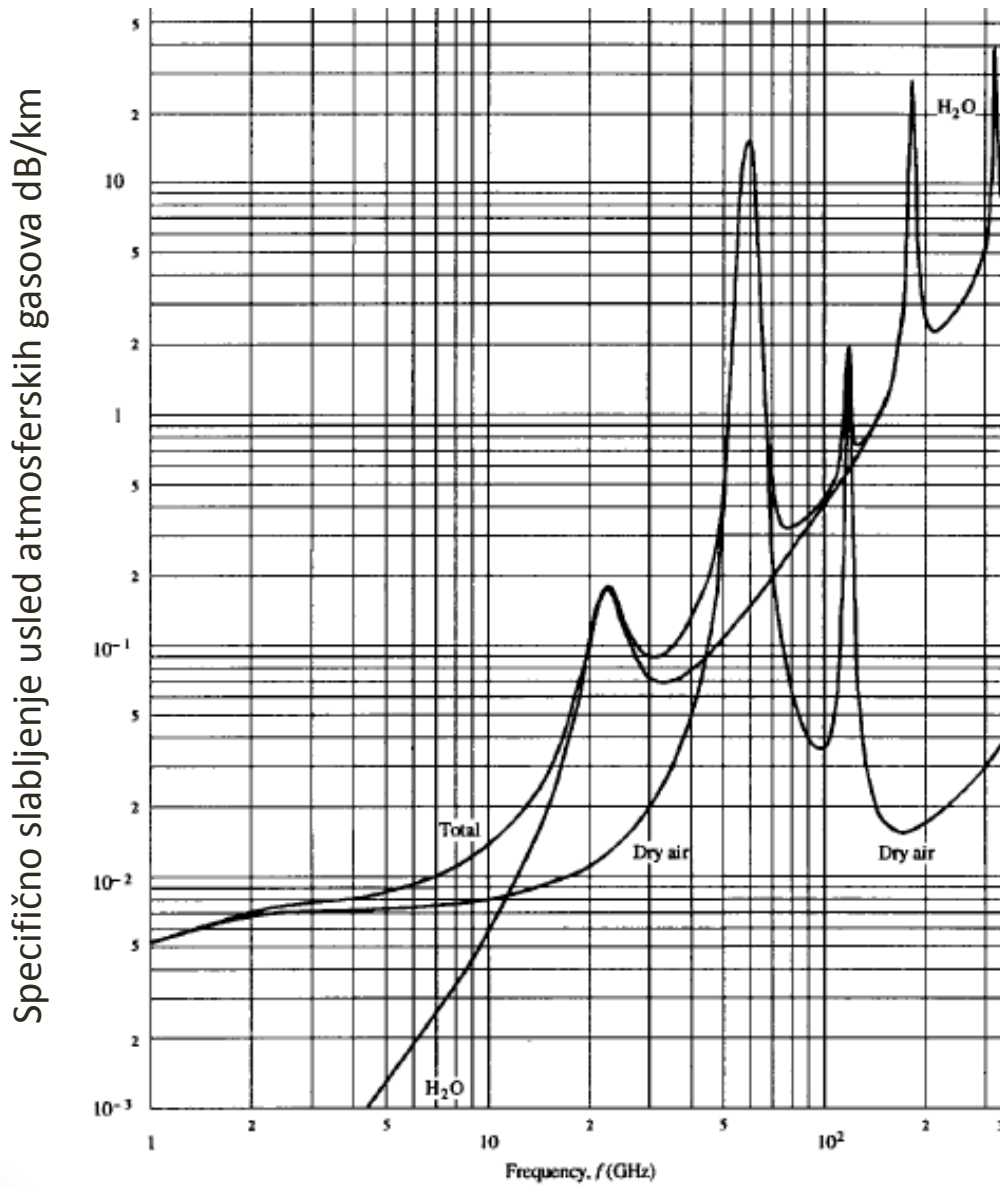
Karakteristike satelitskog radio kanala



Efekti troposfere – atmosferski gasovi

- Vodena para i kiseonik (*dry air*) su glavni činioci gasne apsorpcije. Ukupno slabljenje usled atmosferskih gasova se može odrediti sumiranjem slabljenja ove dvije komponente.
- Na frekvencijama ispod 1GHz, uticaj atmosferskih gasova na slabljenje signala se može zanemariti.
- Na frekvencijama iznad 150 GHz, vodena para je dominantan uzrok ukupnog slabljenja signala.
- Pošto je gasna apsorpcija povezana sa temperaturom, pritiskom i vlažnošću, koji su u funkciji nadmorske visine, obično se gasna apsorpcija proračunava u odnosu na standardnu eksponencijalnu atmosferu.

Efekti troposfere – slabljenje signala prouzrokovano atmosferskim gasovima



Pressure: 1 013 hPa
Temperature: 15° C
Water vapour: 7.5 g/m³

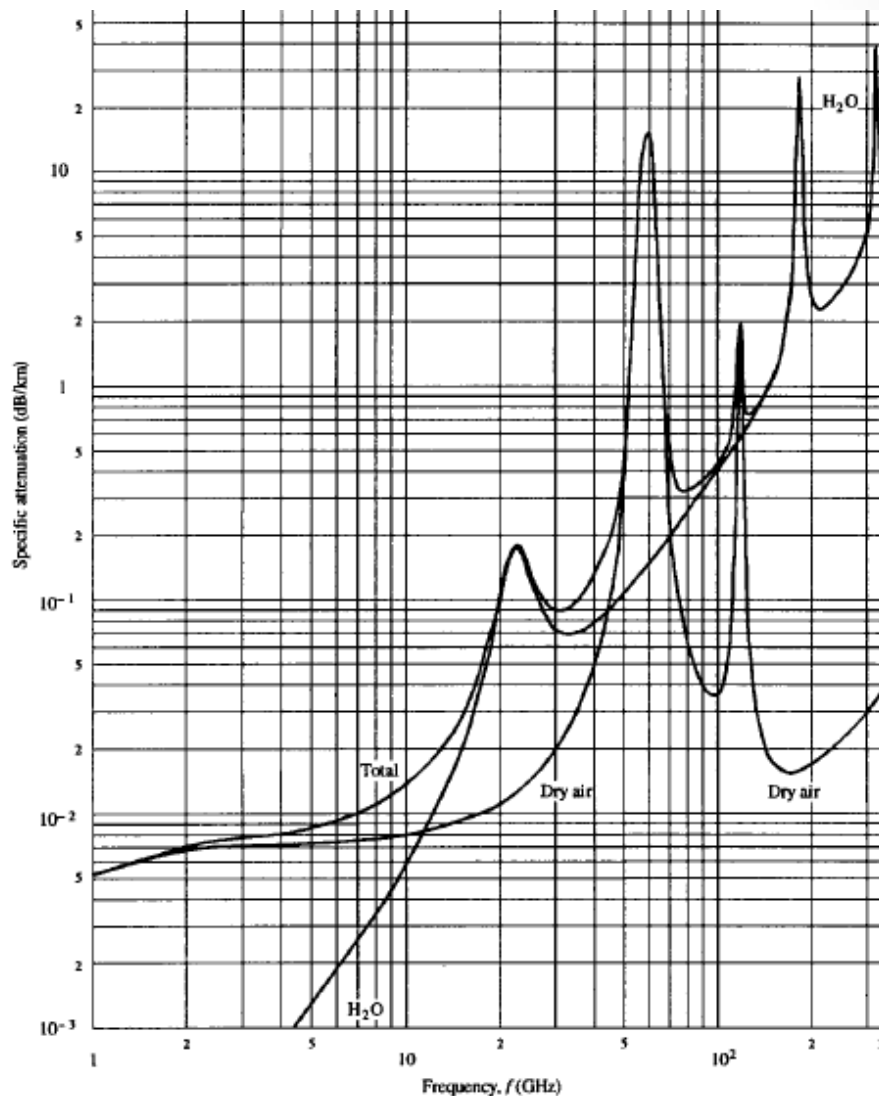
↑
standardna
eksponencijalna
atmosfera

Efekti troposfere – slabljenje signala prouzrokovano atmosferskim gasovima

Kiseonik unosi najveće slabljenje u opsegu frekvencija od 50 GHz do 70 GHz, kao i na 118.75 GHz.

Vodena para unosi najveće slabljenje na 22.2GHz, 67.8GHz, 120 GHz, 183.3 GHz i 325 GHz.

Na frekvencijama iznad 150GHz uticaj kiseonika je zanemarljiv u odnosu na uticaj vodene pare.

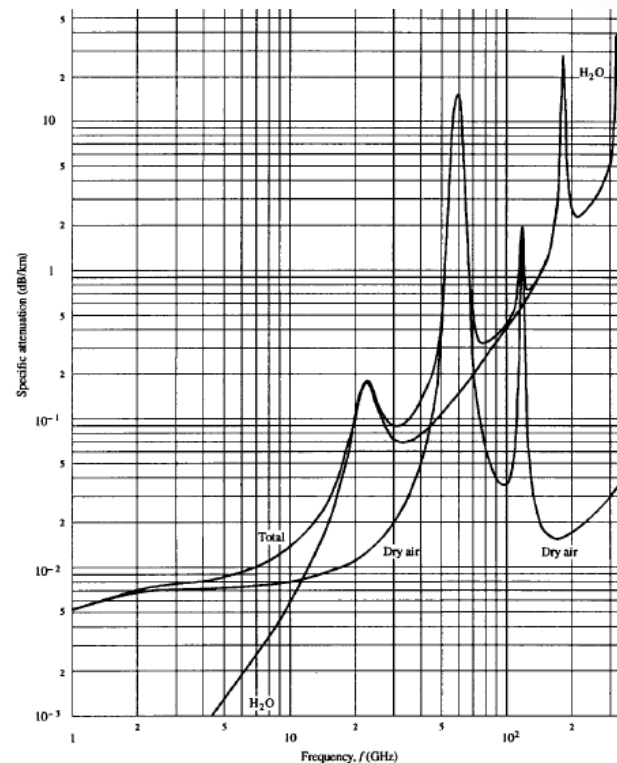


Efekti troposfere – slabljenje signala prouzrokovano atmosferskim gasovima

Slabljenje usled propagacije koje unosi kiseonik, za vrijednosti elevacionog ugla do 10° , se može odrediti množenjem specifičnog slabljenja (g_o) i ekvivalentne visine (h_o), odnosno $A_o = g_o h_o$

Isto važi i za uticaj vodene pare $A_w = g_w h_w$
Za elevacione uglove (q) veće od 10° , i poznatu nadmorsku visinu primopredajnika na zemlji (h_s) slabljenje usled propagacije koje unosi kiseonik se računa po formuli:

$$A_o = \frac{h_o \gamma_o e^{-\frac{h_s}{h_o}}}{\sin \theta} \text{ dB}$$



Efekti troposfere – slabljenje signala prouzrokovano atmosferskim gasovima

Slabljenje usled propagacije koje unose kiseonik i vodena para zajedno iznosi:

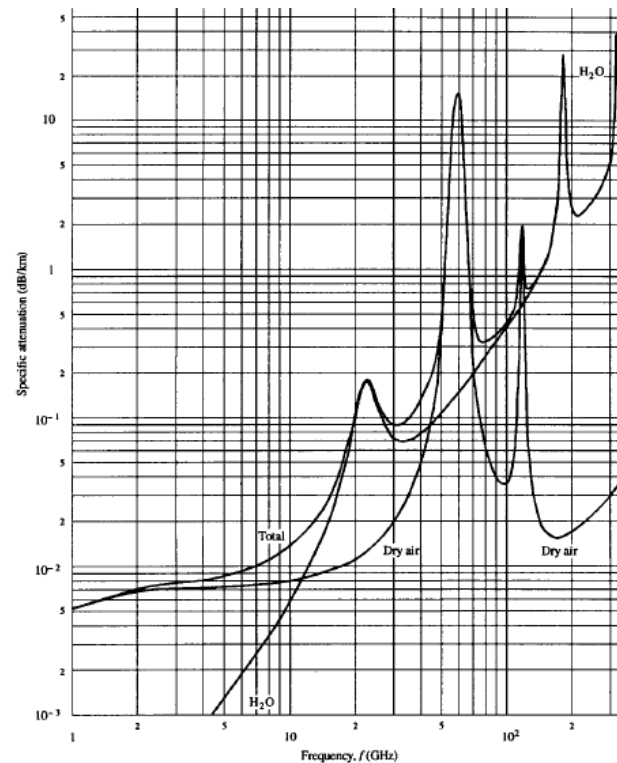
$$A_G = g_o h_o + g_w h_w \quad \text{dB}$$

Za vrijednosti elevacionog ugla do 10° važi:

$$A_G = \frac{g_o h_o + g_w h_w}{q} \quad \text{dB}$$

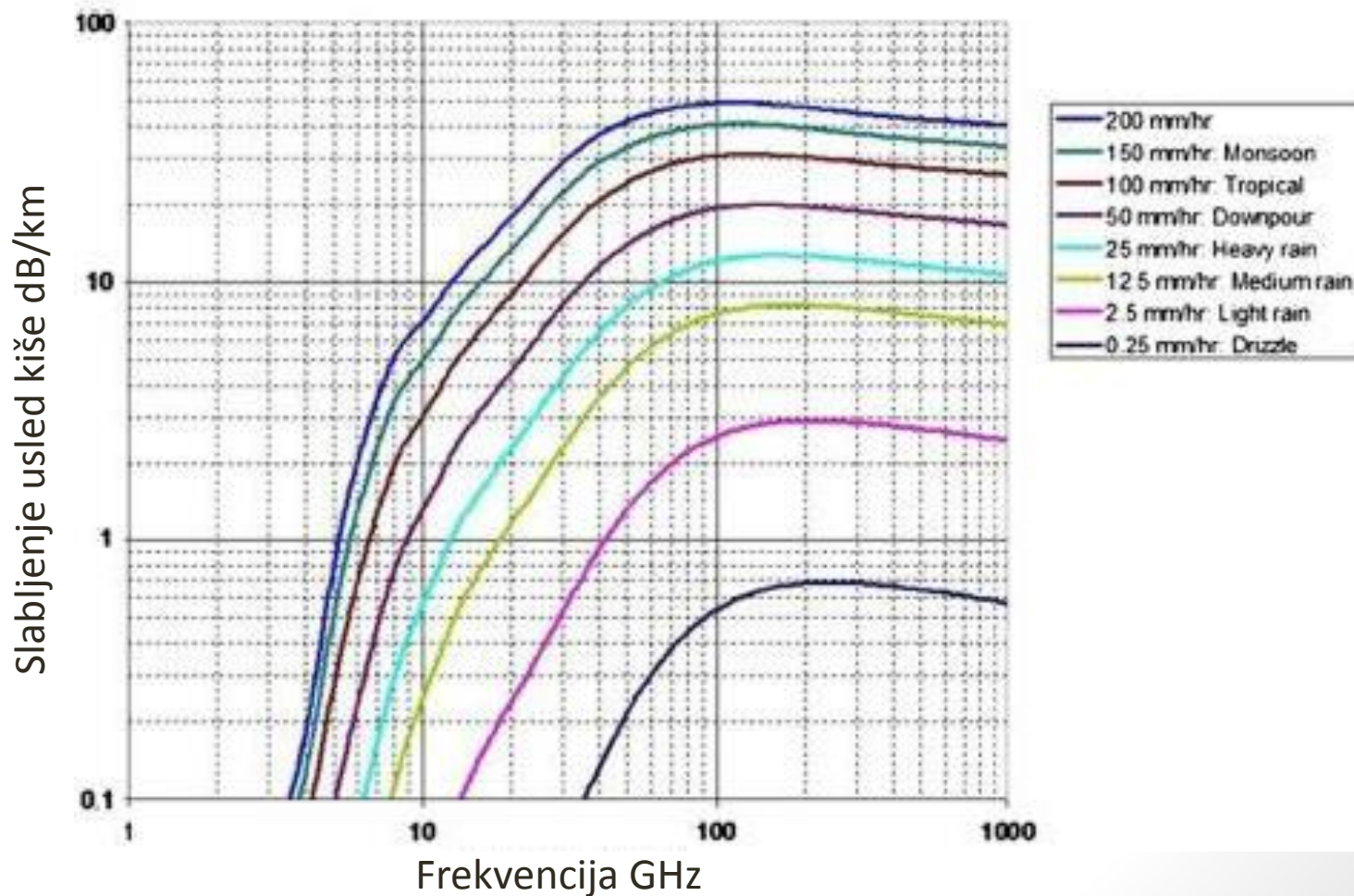
Za elevacione uglove veće od 10° , i poznatu nadmorsku visinu primopredajnika na zemlji, slabljenje usled propagacije koje unose kiseonik i vodena para se računa po formuli:

$$A_G = \frac{\gamma_o h_o e^{-\frac{h_s}{h_o}} + \gamma_w h_w}{\sin \theta} \quad \text{dB}$$

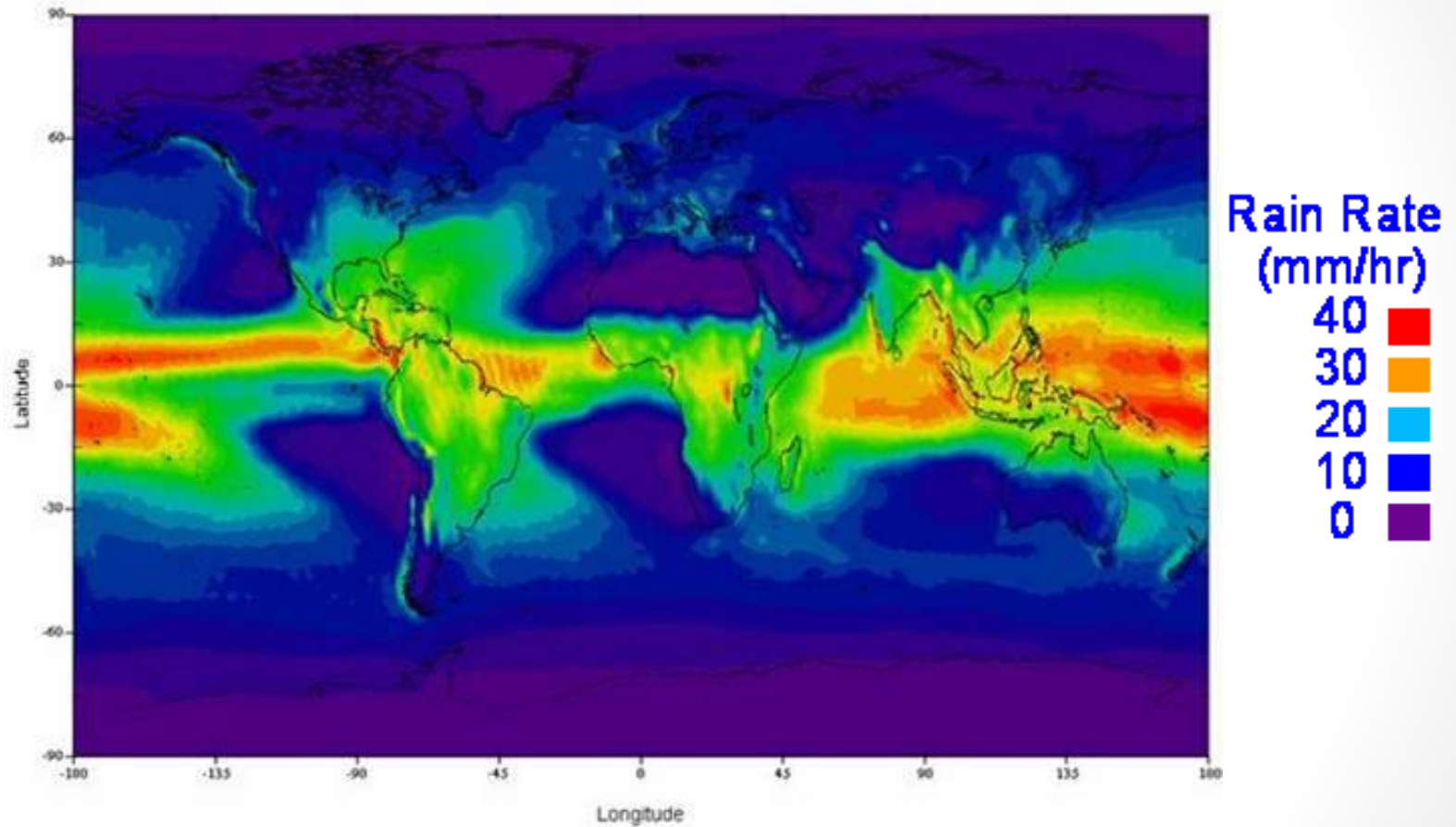


Efekti troposfere – slabljenje usled kiše

- Kiša daje značajan doprinos ukupnom slabljenju signala u troposferi



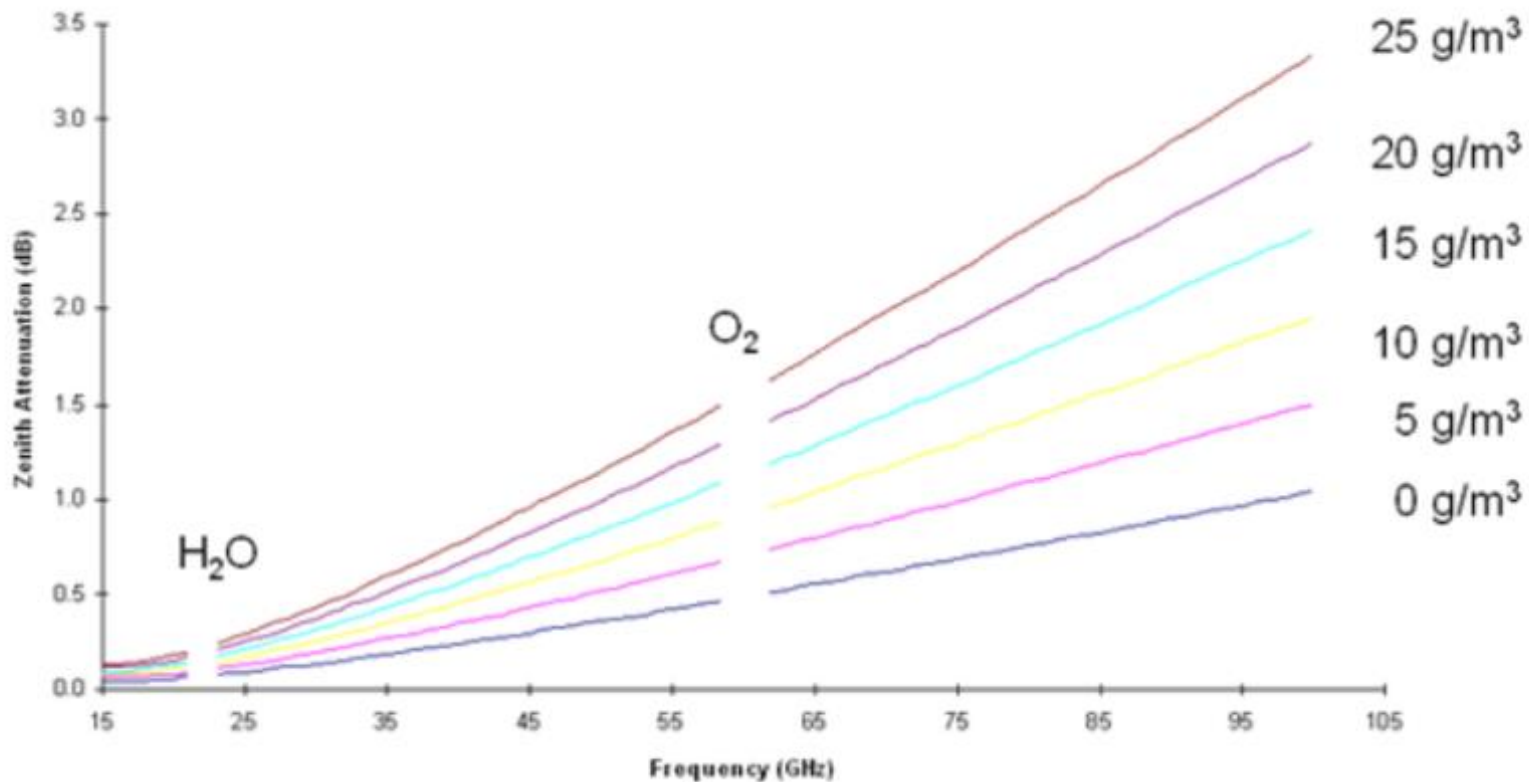
Efekti troposfere – slabljenje usled kiše



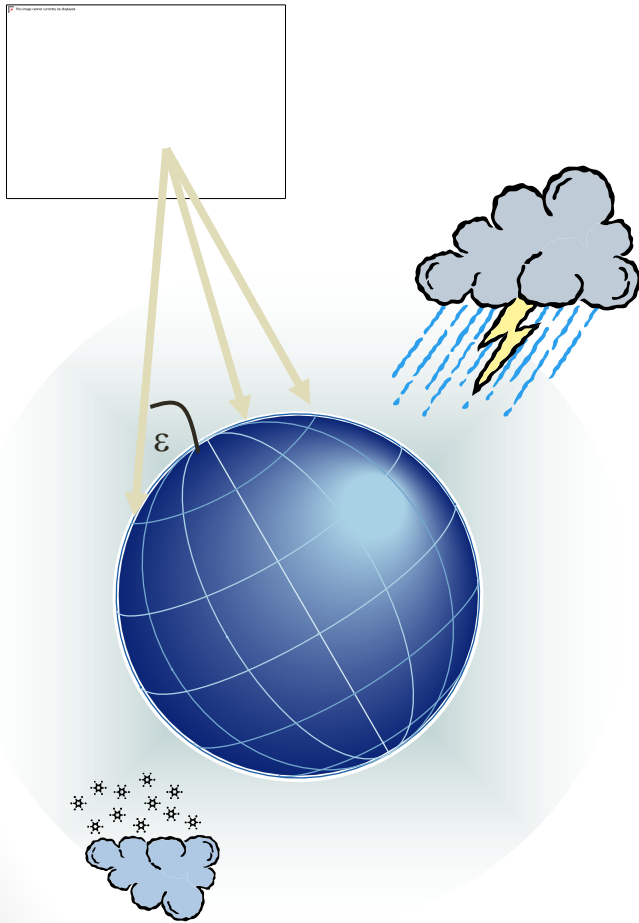
Godišnji 0.01% *exceedance rate* za padavine (ITU-R)

Efekti troposfere – uticaj magle i oblaka

- Za sisteme koji funkcionišu ispod 30 GHz, uticaj oblaka i magle na atmosfersko slabljenje se može zanemariti dok iznad 30 GHz ovaj uticaj postaje značajan, ITU-R 840.

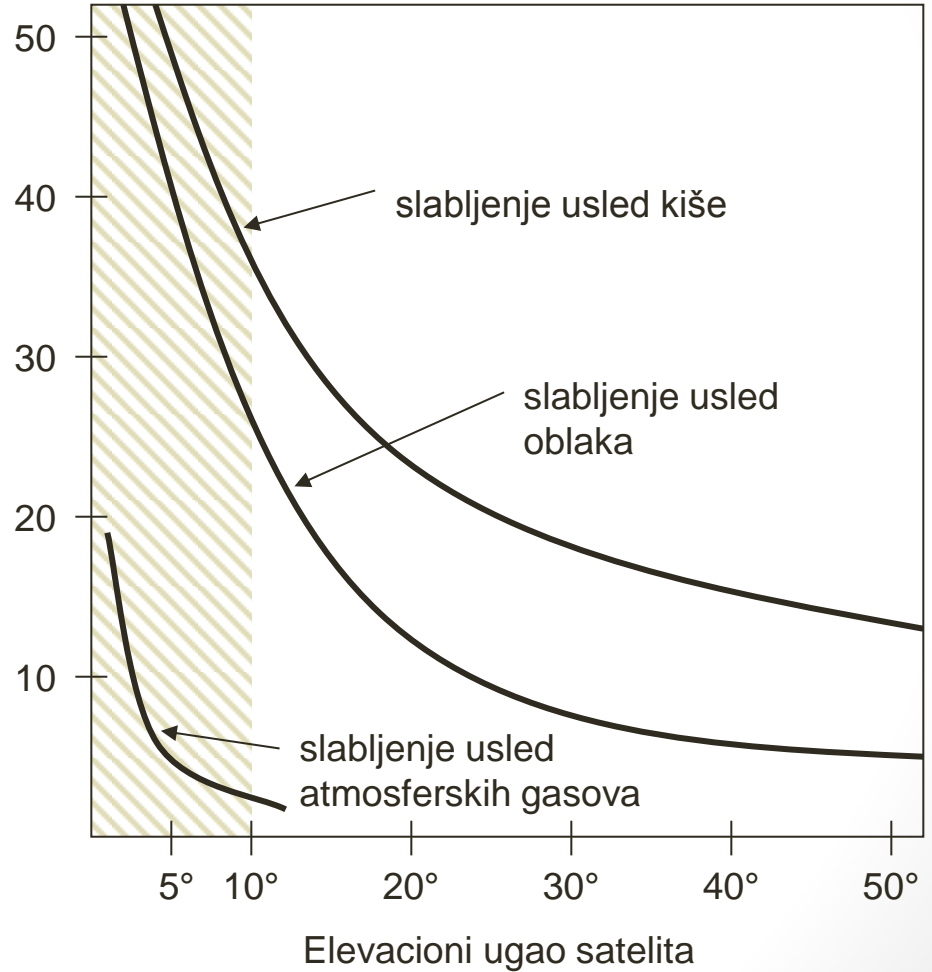


Efekti troposfere – uticaj magle i oblaka



Slabljenje signala u %

Primjer: satelitski sistem, **4-6 GHz**



Efekti troposfere –scintilacija

- Scintilacija (*Scintillation*) – Za elavacione uglove manje od 10° i za frekvencije u Ku-opsegu i iznad, dolazi do malih, srednje brzih fluktuacija amplitude, faze, upadnog ugla signala, **usled neregularnosti u indeksu refrakcije troposfere**.
- Ove fluktuacije mogu rezultirati u slabljenju signala kao u slučaju *multipath* fedinga.
- Za sisteme koji rade ispod 10 GHz i kod kojih je elevacioni ugao veći od 10° ova pojava je malo vjerovatna.

Efekti troposfere – ukupno slabljenje signala

- Po ITU preporuci ukupno slabljenje signala u troposferi iznosi:

$$A_T = A_G + \sqrt{(A_R + A_C)^2 + A_S^2}$$

A_T je ukupno slabljenje;

A_R je slabljenje usled kiše;

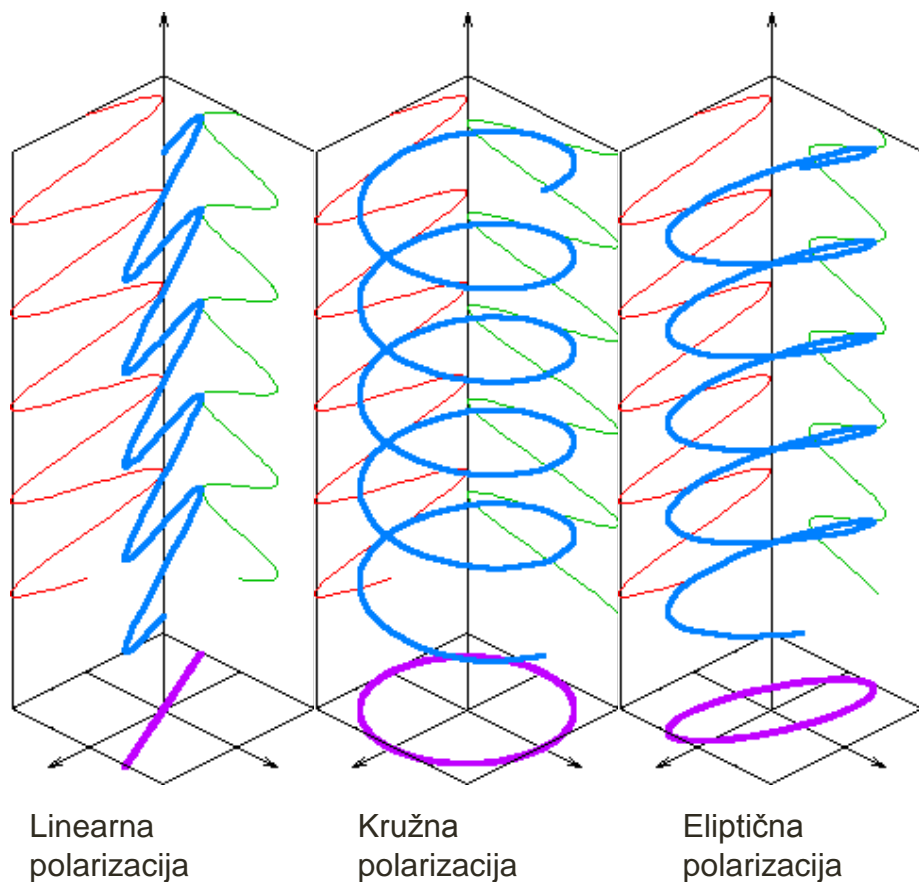
A_C je slabljenje usled oblaka i magle;

A_G je slabljenje usled vodene pare i kiseonika

A_S je slabljenje usled scintilacije

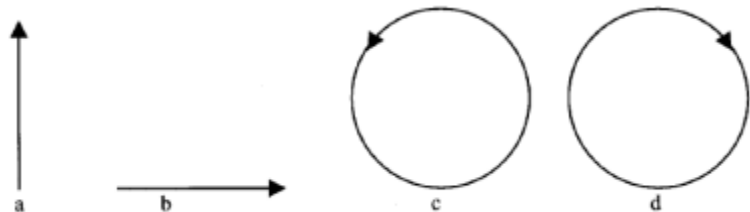
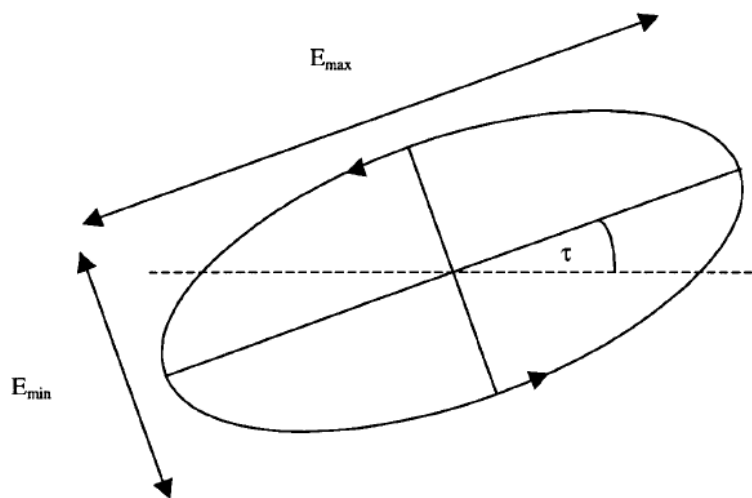
Efekti troposfere – depolarizacija

- EM talas ima dvije komponente: električnu i magnetnu, koje su ortogonalne. Po konvenciji orijentacija električne komponente definiše polarizaciju EM talasa.



Efekti troposfere – depolarizacija

- EM talas ima dvije komponente: električnu i magnetntu, koje su ortogonalne. Po konvenciji orijentacija električne komponente definiše polarizaciju EM talasa.



Generalizovani eliptični oblik talasa

- (a) vertikalna polarizacija,
- (b) horizontalna polarizacija,
- (c) lijevo orijentisana cirkularna polarizacija,
- (d) desno orijentisana cirkularna polarizacija.

Smjer kretanja talasa je normalan na dati presjek

Aksijalni odnos E_{max}/E_{min}

$$A_{XR} = 20 \log \left(\frac{E_{max}}{E_{min}} \right) \text{ dB}$$

Efekti troposfere – depolarizacija

- U satelitskim komunikacijama se koriste četiri tipa polarizacije: vertikalna linearna polarizacija, horizontalna linearna polarizacija, lijevo orijentisana cirkularna polarizacija (LHCP) i desno orijentisana cirkularna polarizacija (RHCP).
- Horizontalna i vertikalna polarizacija se definišu prema horizontu, dok se lijevo orijentisana cirkularna polarizacija i desno orijentisana cirkularna polarizacija određuju rotacijom suprotnom u odnosu na kazaljku na časovniku odnosno rotacijom u skladu sa kazaljkom posmatrano od strane antene u smjeru propagacije.

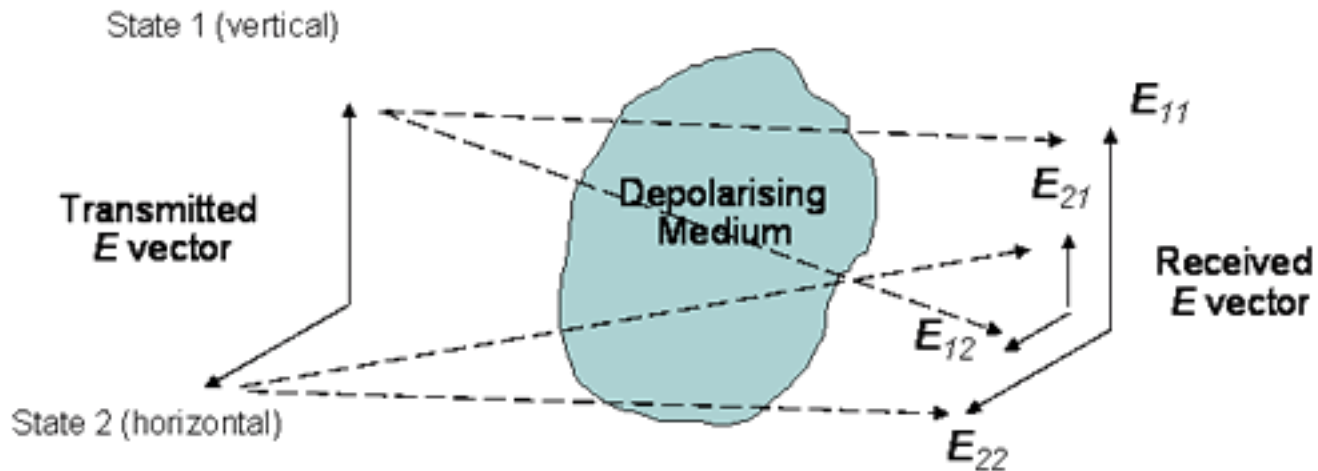
Efekti troposfere – depolarizacija

- LHCP i RHCP su ortogonalne kao i vertikalna i horizontalna polarizacija. Tako antena koja je predviđena da prima horizontalno polarizovan talas ne može primiti vertikalno polarizovan talas i obratno. Slično, antena koja je predviđena da prima LHCP talas ne može da prima RHCP talas i obratno.
- Ova osobina omogućava separaciju *beam*-ova koji se emituju u istom frekvencijskom opsegu ali sa ortogonalnim polarizacijama. U praksi, polarizovani talas će sadržati i željenu polarizaciju kao i neželjenu komponentu ortogonalne polarizacije. Bitan parametar je XPD (*cross polar discrimination*):

$$\text{XPD} = 20 \log \left| \frac{E_{\text{CP}}}{E_{\text{XP}}} \right| \text{ dB}$$

gdje je E_{CP} intenzitet prijemnog kopolarizovanog električnog polja, dok je E_{XP} intenzitet prijemnog kros polarizovanog električnog polja

Efeki troposfere – depolarizacija



E_{11} and E_{22} are co-polarised components
 E_{12} and E_{21} are cross-polarised components

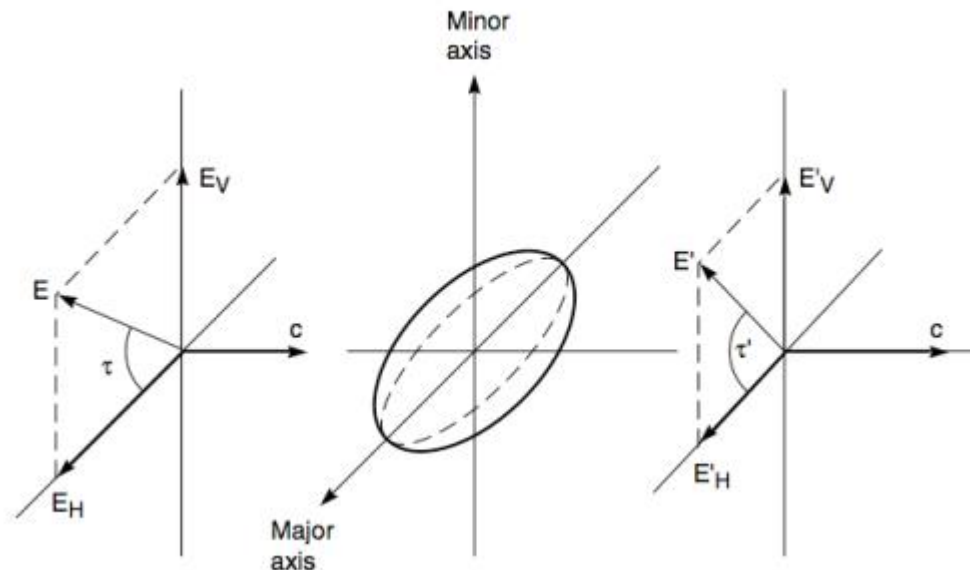
$$\text{XPD} = 20 \log \left| \frac{E_{xx}}{E_{xy}} \right| \quad \text{XPI} = 20 \log \left| \frac{E_{xx}}{E_{yx}} \right|$$

XPD - *Cross Polar Discrimination*

XPI - *Cross Polar Isolation*

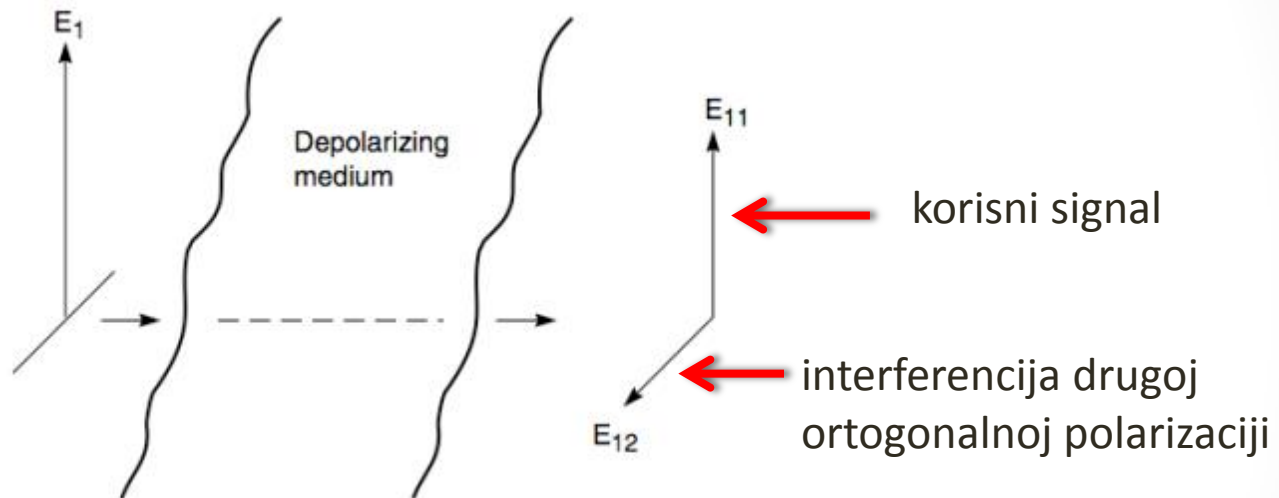
Efekti troposfere – depolarizacija

- Depolarizacija zbog kiše:
Pošto kišne kapi nisu perfektnog sfernog oblika, dok polarizovani talas polazi kroz njih, jedna električna komponenta talasa će proći kraćom putanjom kroz kapi u odnosu na drugu ortogonalnu električnu komponentu.
Postojeće razlika u slabljenju i faznom pomjeraju dvije ortogonalne električne komponente, što rezultuje depolarizacijom.



Efekti troposfere – depolarizacija

$$\text{XPD} = 20 \log (E_{11}/E_{12})$$



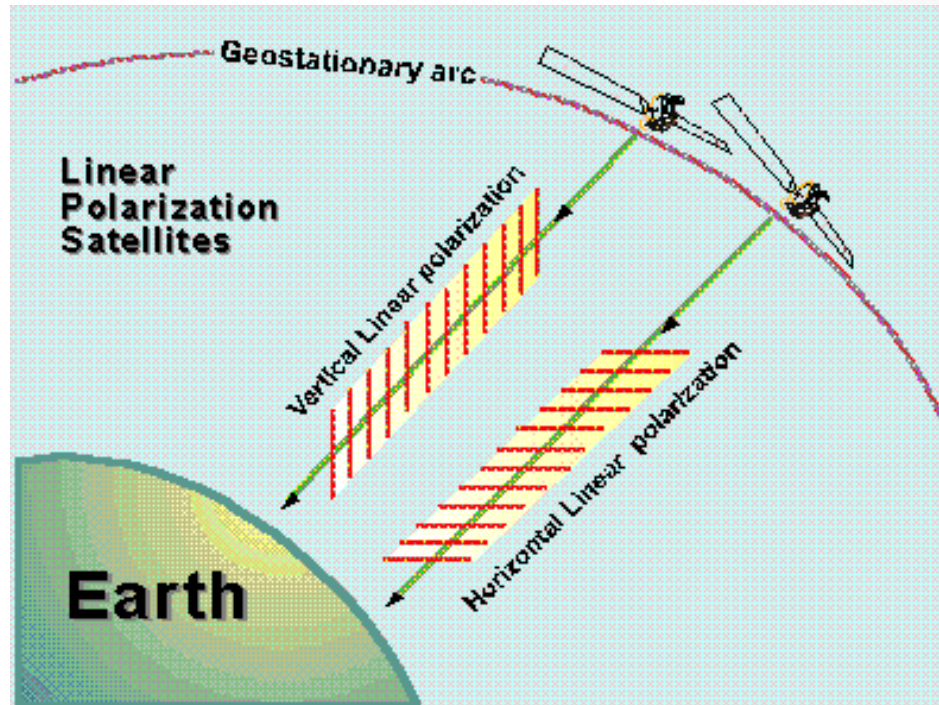
Cirkularna polarizacija se može koristiti da bi se umanjio uticaj depolarizacije.

U slučaju primjene linearne polarizacije koristi se *polarisation tracking* oprema na antenama.

Efekti troposfere – depolarizacija

Često se primjenjuju naizmjenično vertikalna i horizontalna polarizacija.

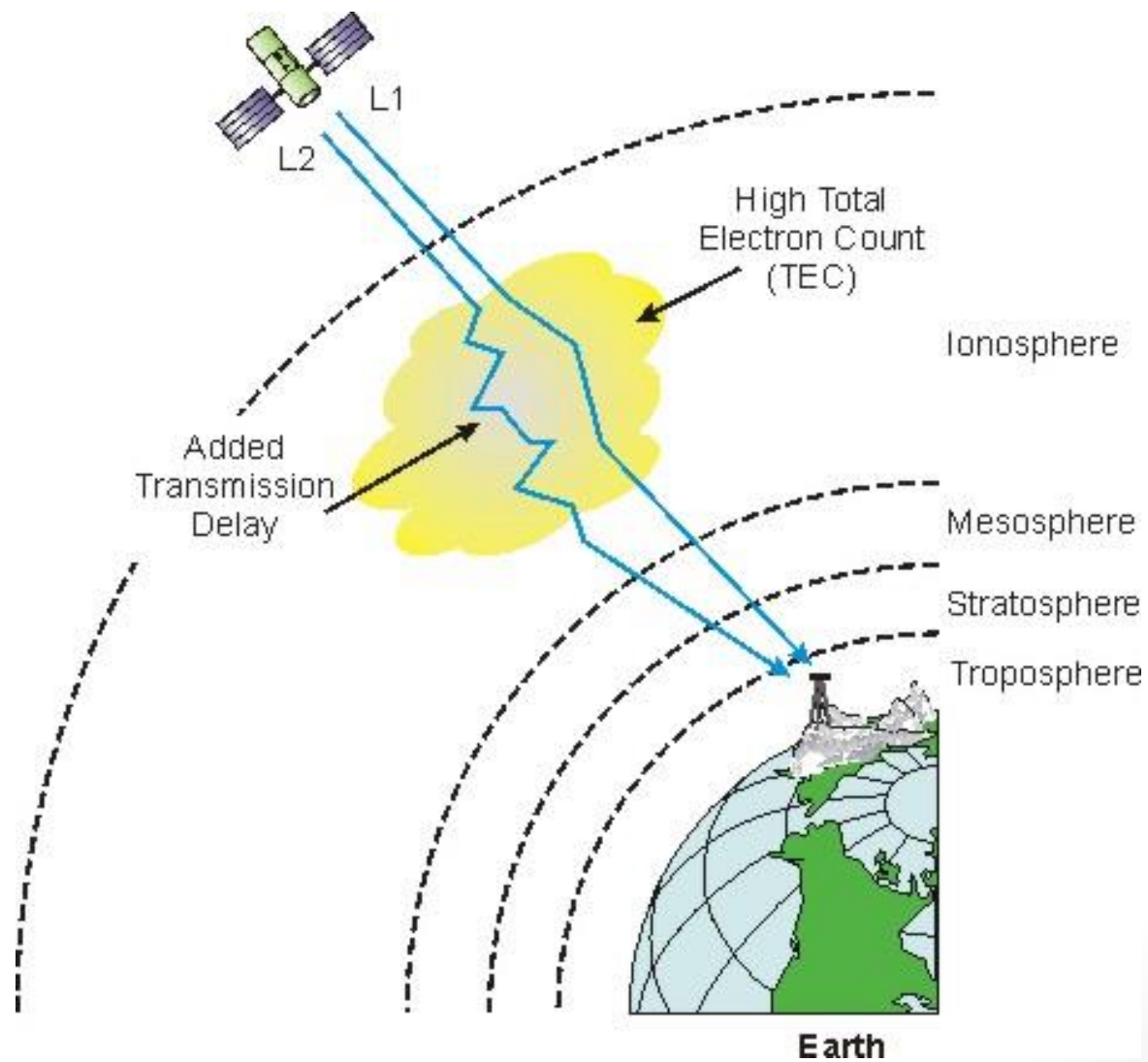
Smanjuje se interferencija između kanala sa istim frekvencijskim opsezima, susjednih satelita ili beam-ova, što omogućava manju prostorno i ugaonu separaciju .



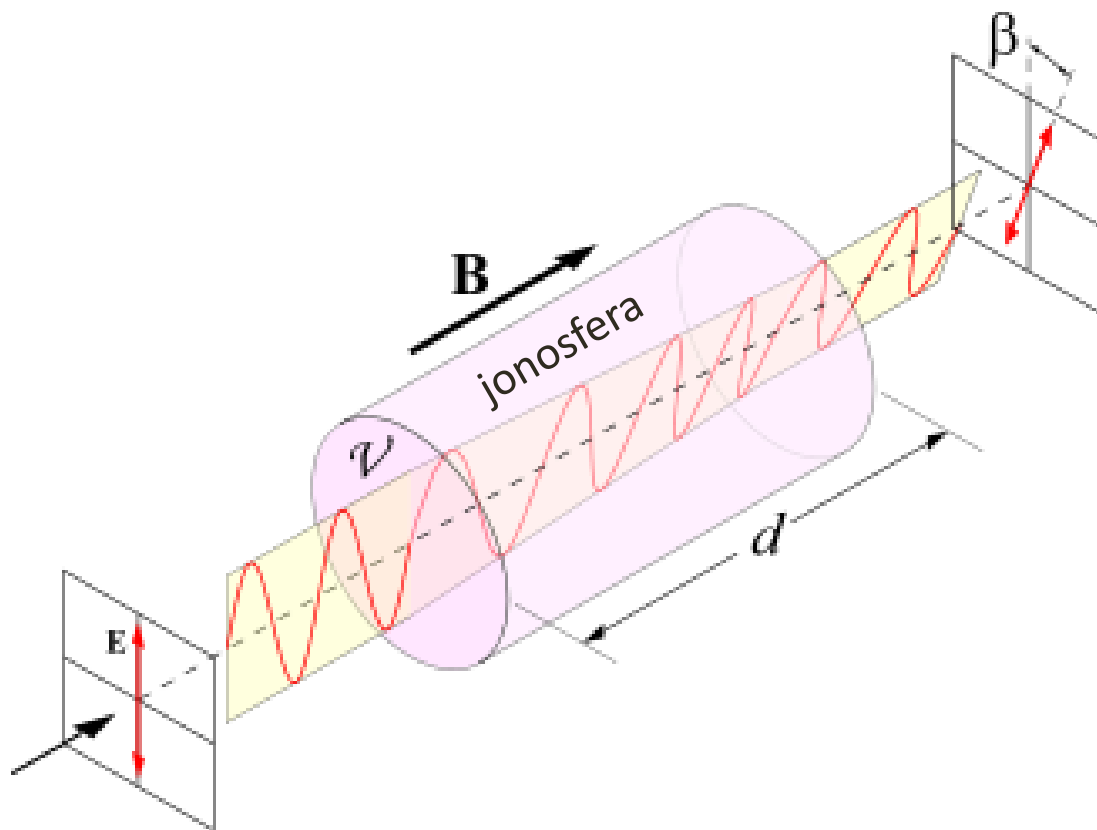
Efekti jonosfere

- Značajni su na frekvencijama do 10 GHz a posebno za negeostacionarne satelite koji funkcionišu do 3 GHz.
- TEC (*The total electron content*) akumulacija kroz jonosferu rezultuje u rotaciji linearne polarizacije signala kao i u dodatnom kašnjenju pored propagacionog kašnjenja.
- Ovo kašnjenje se naziva grupno kašnjenje, dok je rotacija linearne polarizacije signala poznata kao *Faraday*-eva rotacija.
- *Faraday*-eva rotacija se može kompenzovati podešavanjem polarizacionog tilt ugla na zemaljskoj stanici.

Efekti jonosfere - dodatno kašnjenje

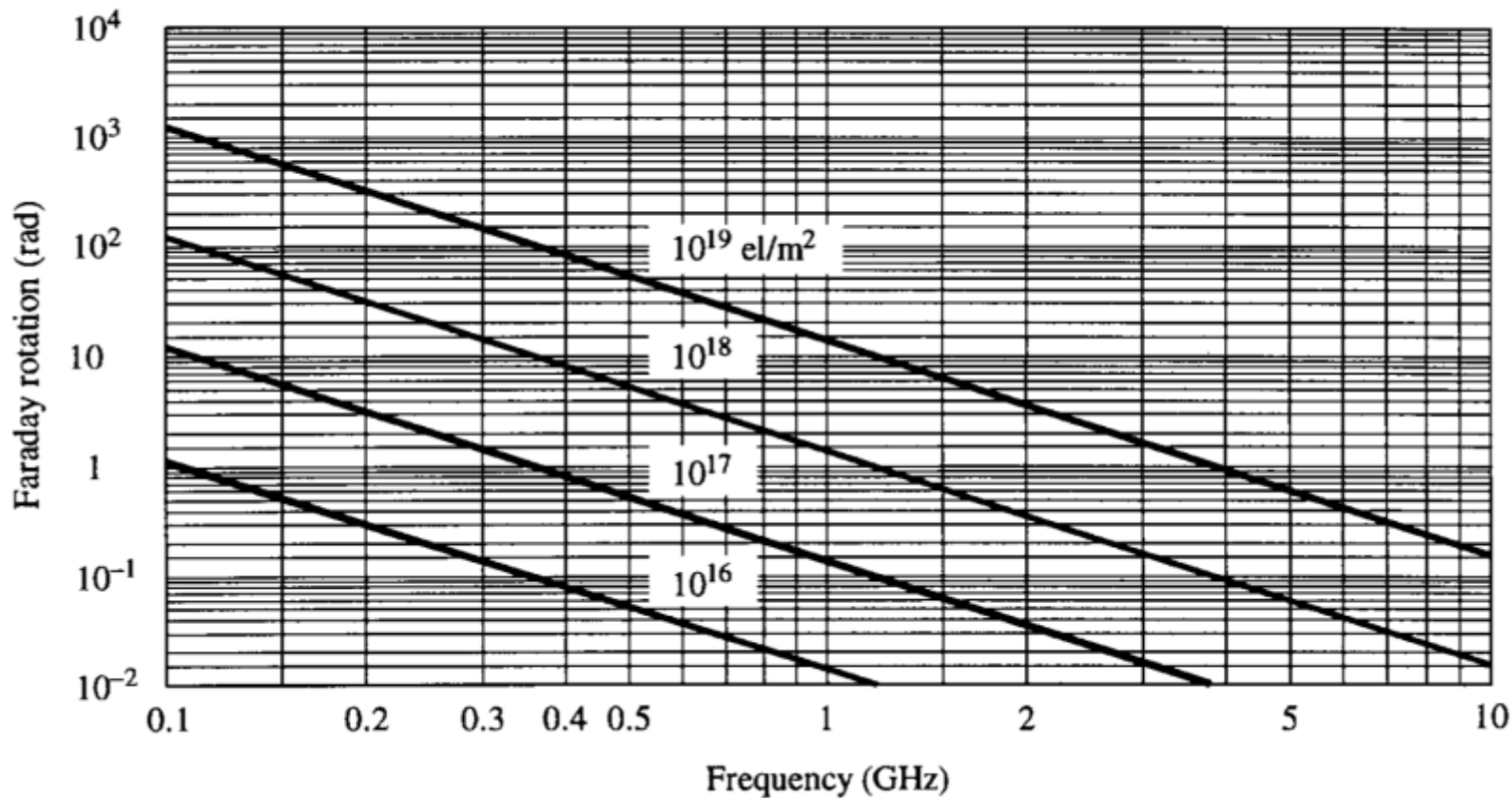


Efekti jonosfere - *Faraday*-eva rotacija



Efekti jonosfere - *Faraday*-eva rotacija

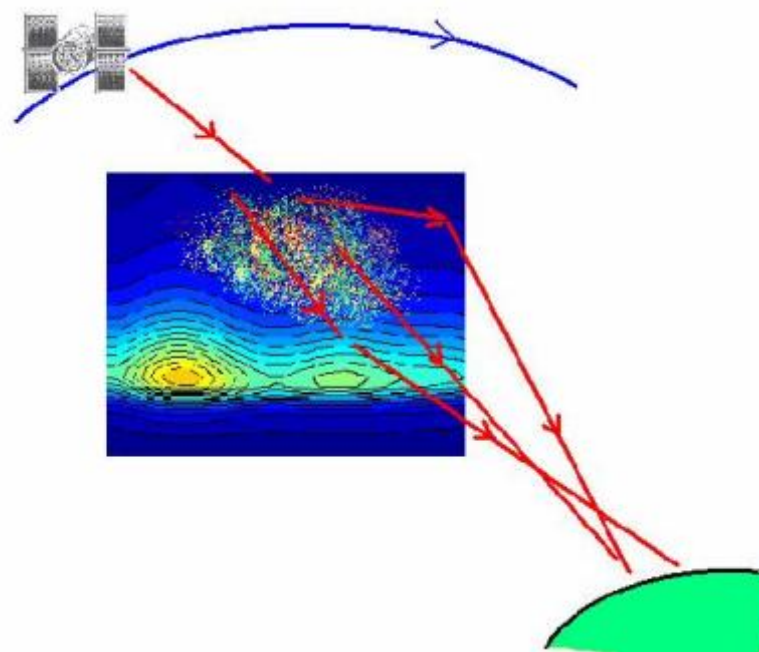
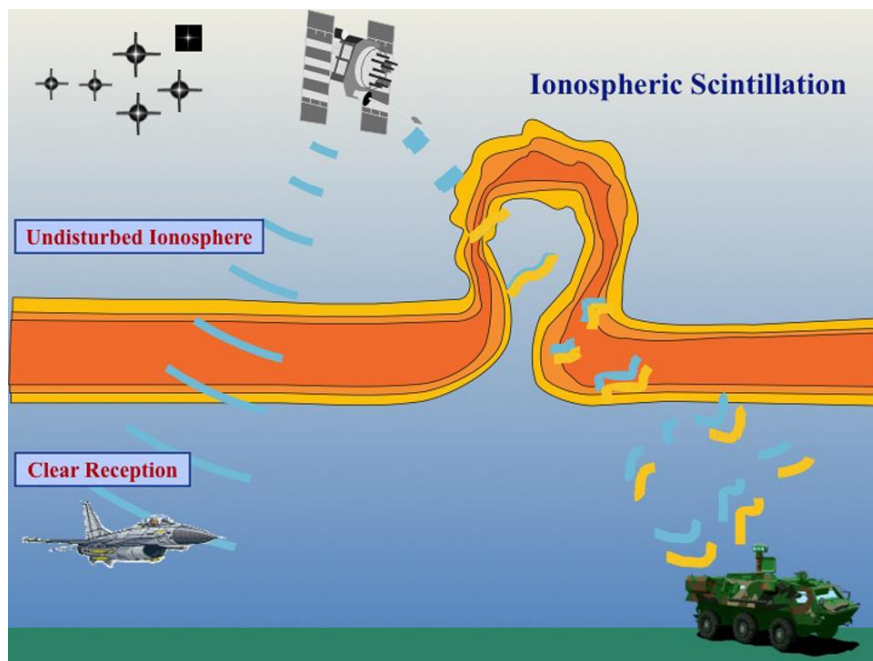
Faraday rotation as a function of TEC and frequency



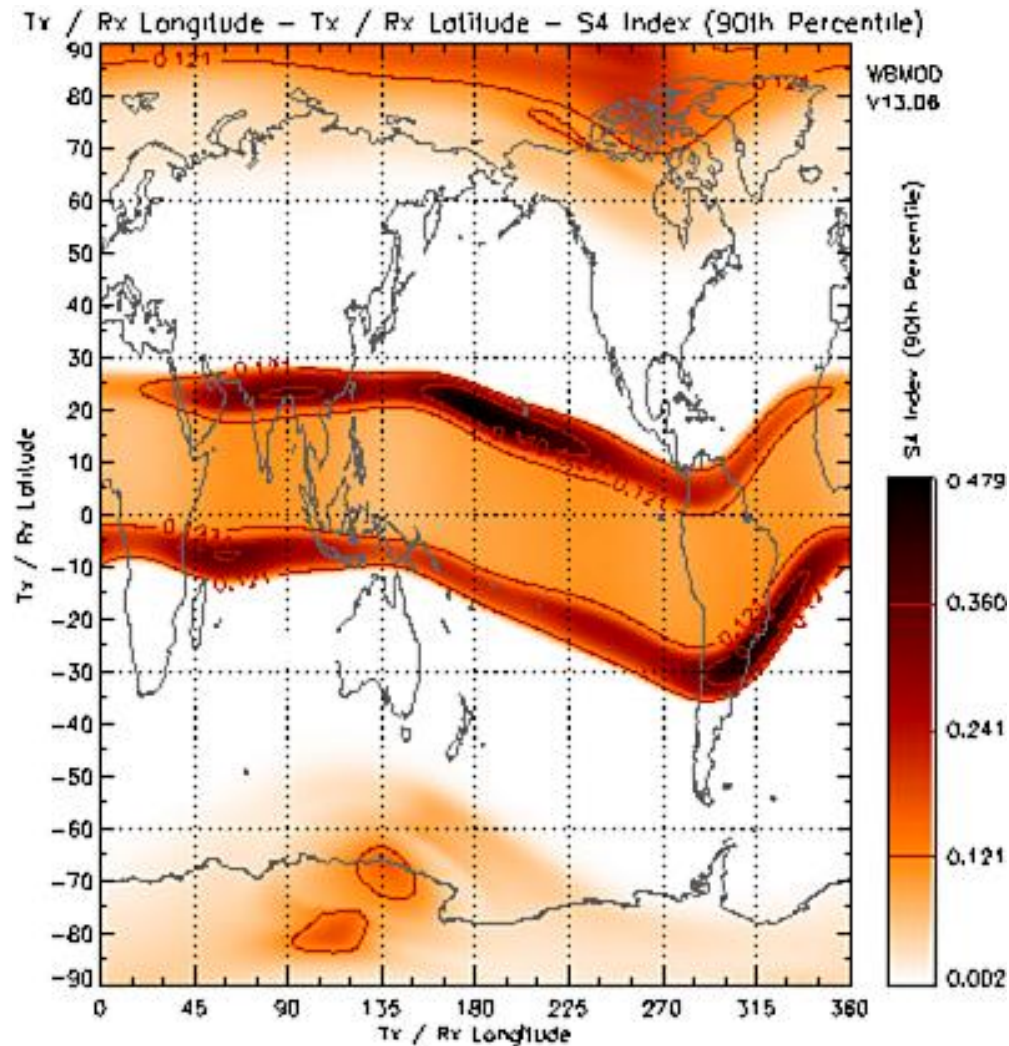
Efekti jonosfere - scintilacija

- Jonosferska scintilacija je uzrokovana neregularnostima u gustini elektrona u jonosferi. Značajna je za frekvencije ispod 1GHz.
- Takođe zavisi od lokacije, godišnjeg doba, solarne aktivnosti i lokalnog vremena. Područja blizu Arktičkog polarnog regiona i područja Ekvatorijalnog regiona, $\pm 20^\circ$ geografske širine, su naročito podložni uticaju scintilacije. Maksimalna uticaj je tokom noći, pri čemu traje od u intervalu od 30 minuta do nekoliko sati.

Efekti jonosfere - scintilacija

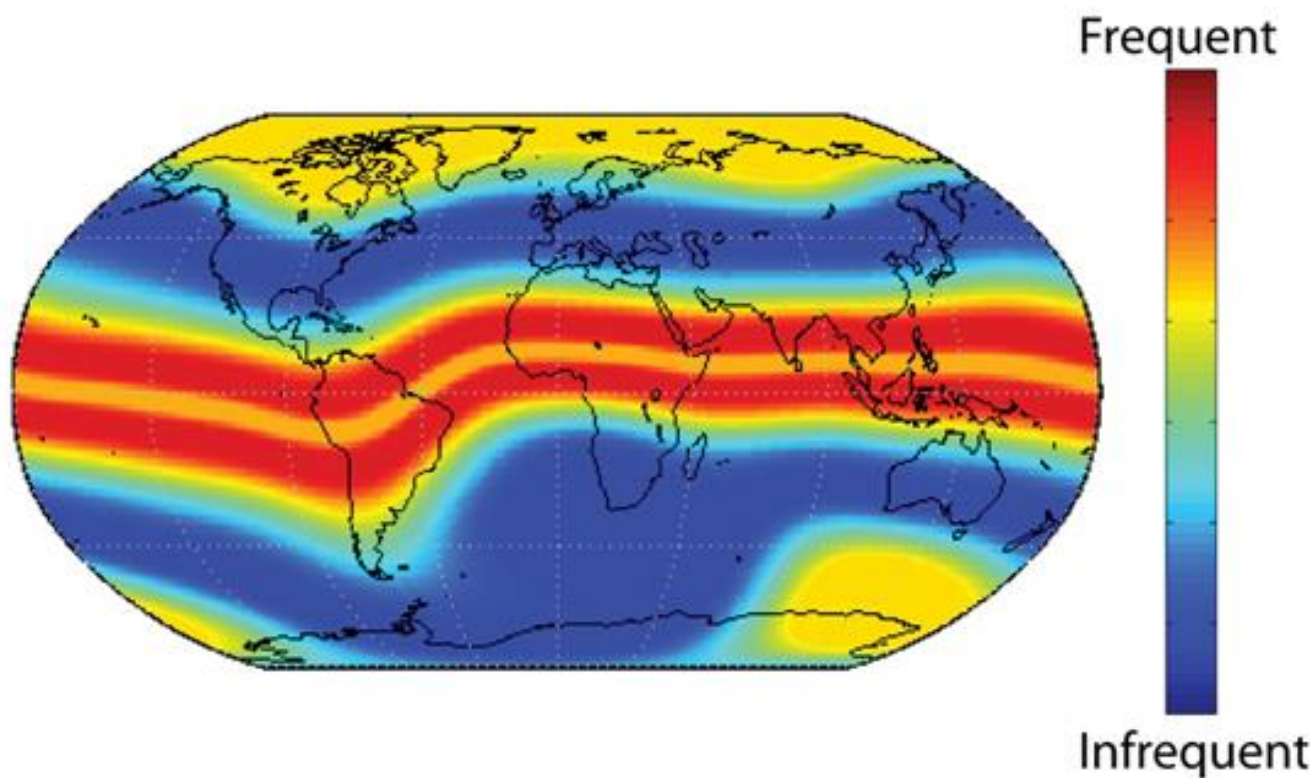


Efekti jonosfere - scintilacija

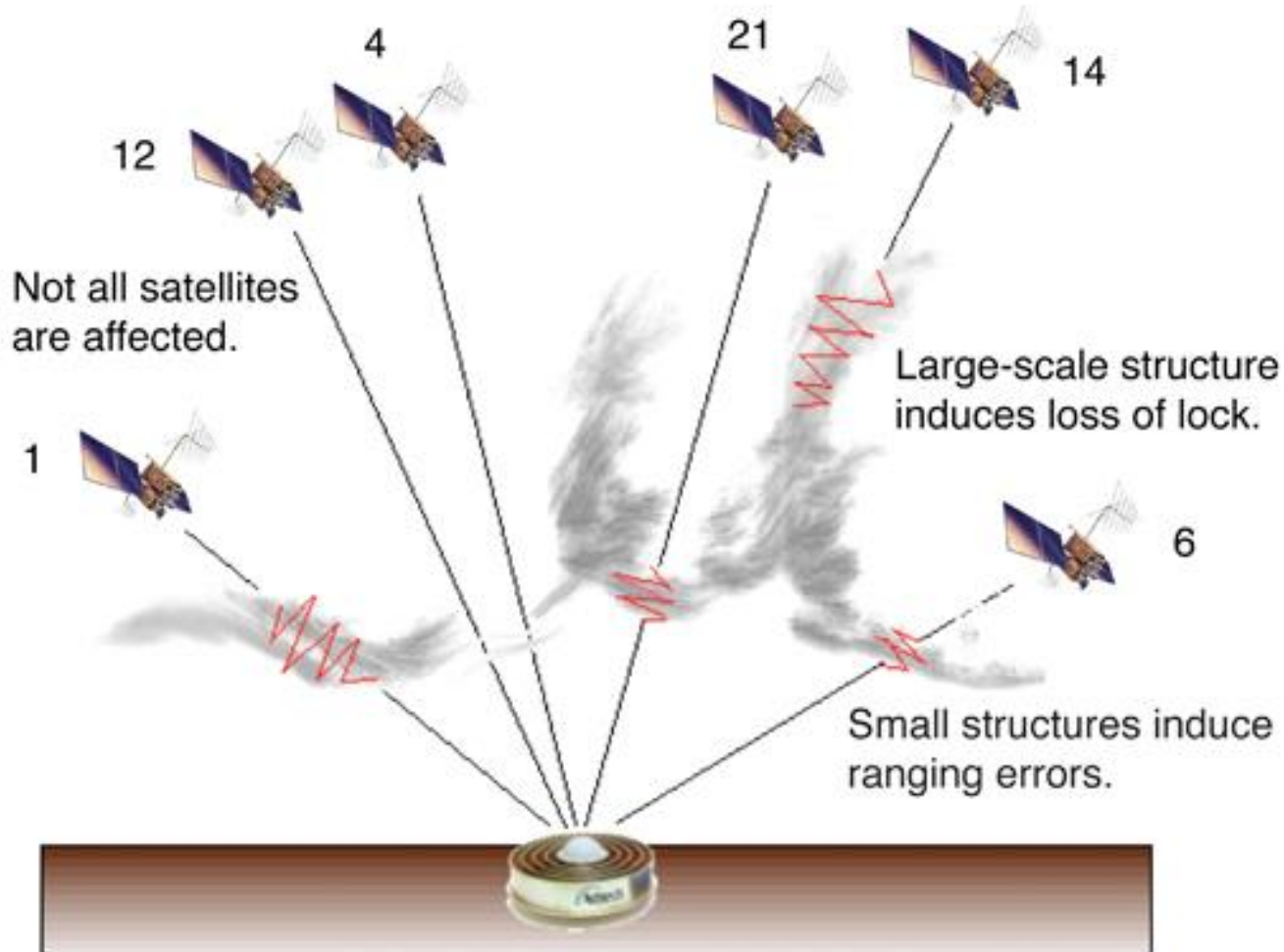


Index scintilacije - GPS (1575.42MHz), lokalno vrijeme (23:00) na svim meridijanima

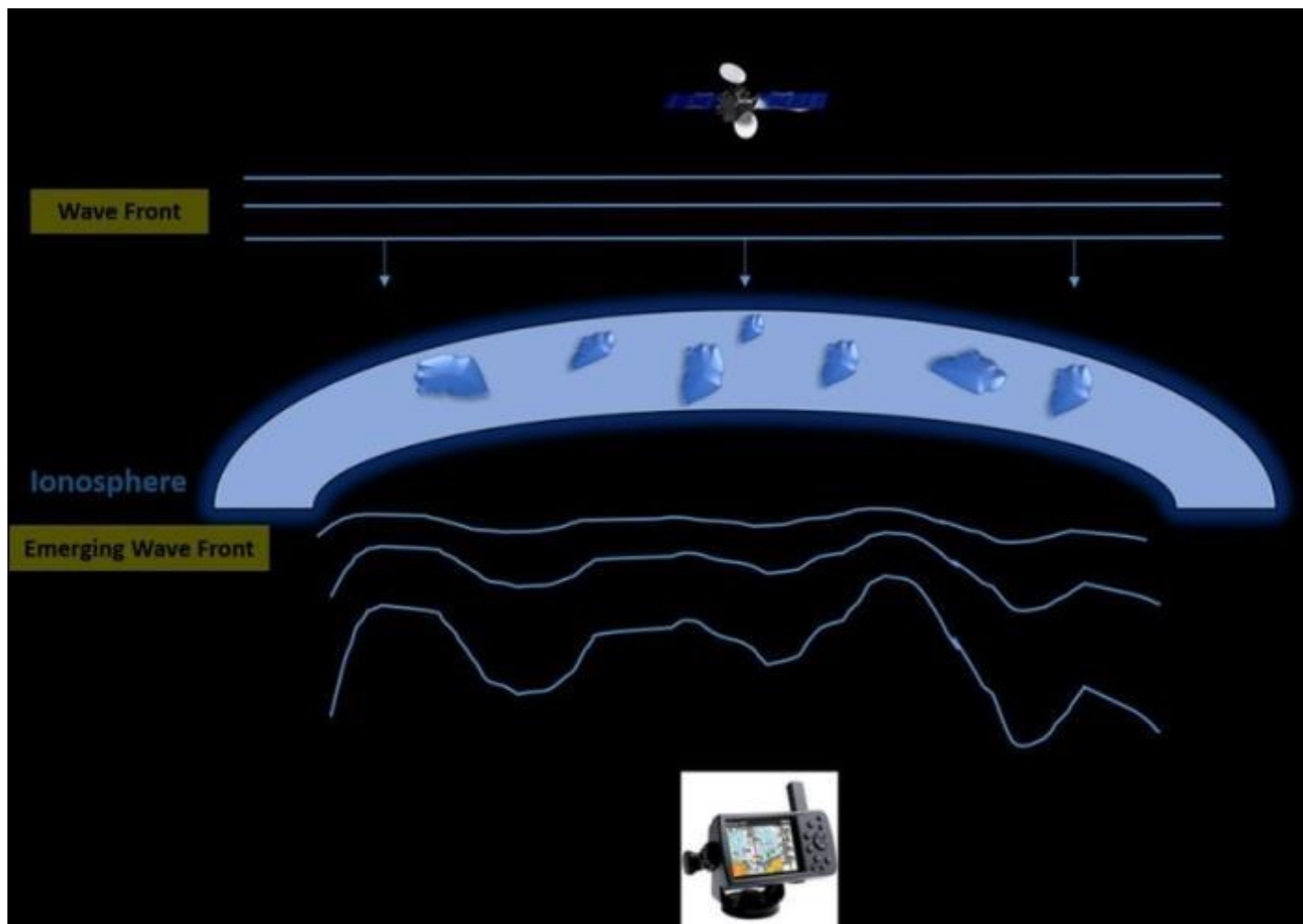
Efekti jonosfere - scintilacija



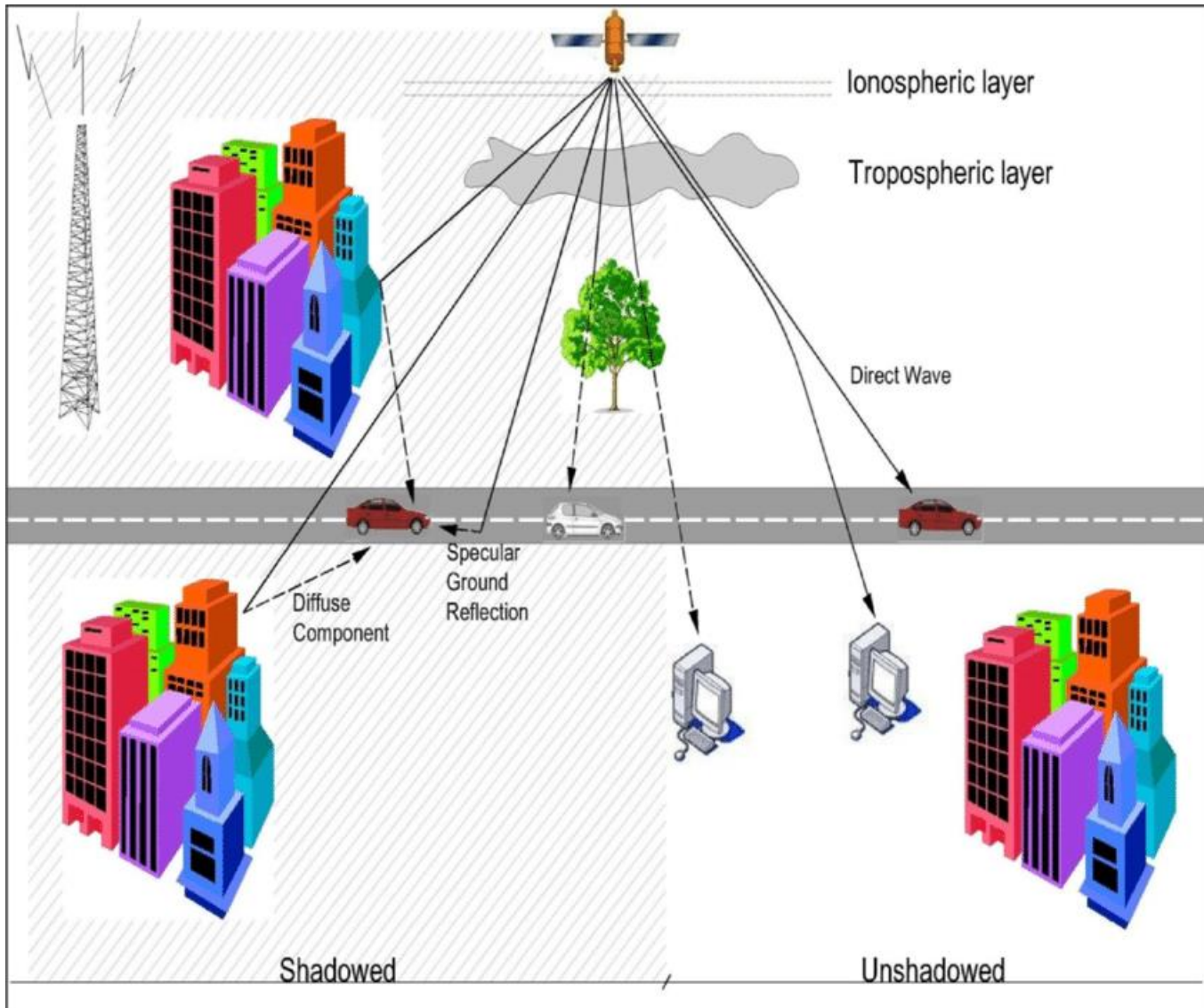
Efekti jonosfere - scintilacija



Efekti jonosfere - scintilacija



Karakteristike mobilnog satelitskog radio kanala



Karakteristike satelitskog mobilnog radio kanala

- Prijemni signal od satelita se sastoji iz tri komponente: direktne *line-of-sight* (LOS) komponente, difuznih komponenti i reflektovanog talasa od površine zemlje.
- Za L-/S-opsege na direktnu komponentu dominantno utiču gubici u slobodnom prostoru (FSL-*free space loss*) i *shadowing*. FSL zavisi od frekvencije i rastojanja.
- Efekti troposfere se mogu zanemariti za frekvencije ispod 1GHz.
- Uticaj jonosfere, naročito *Faraday*-eva rotacija, se može prevazići korišćenjem odgovarajuće polarizacije.

Karakteristike satelitskog mobilnog radio kanala

- Za razliku od terestrialnih celularnih mobilnih mreža, *multipath* propagacija ima znatno manji uticaj za satelitske sisteme.
- Uticaj *multipath* propagacije je više izražen kod primjene negostacionarnih satelita, kod kojih su često mali elevacioni uglovi, uz antenske sisteme sa malim pojačanjem i širokim dijagramom zračenja, u poređenju sa drugim satelitskim konstelacijama.

Karakteristike satelitskog mobilnog radio kanala

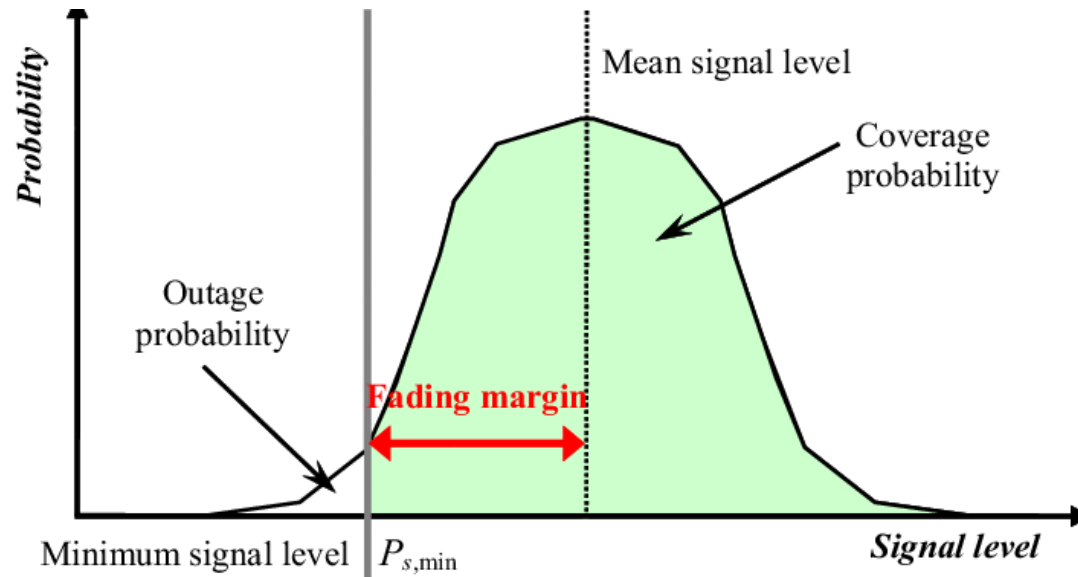
- U cilju modelovanja mobilnog-satelitskog kanala definišu se tipična transmisiona okruženja:
 - ✓ urbana područja koja se karakterišu gotovo potpunom opstrukcijom direktne komponente,
 - ✓ ruralna područja koja se karakterišu po tome što gotovo da nema opstrukcije direktne komponente,
 - ✓ suburbana područja kod kojih postoji parcijalna opstrukcija direktne komponente.

Karakteristike satelitskog mobilnog radio kanala

- U urbanim područjima je teže obezbijediti LOS komponentnu između satelita i korisnika, tako da je uticaj *multipath* propagacije izraženiji nego u slučaju ruralnih ili suburbanih područja.
- Da bi se smanjio uticaj *multipath* propagacije u urbanim sredinama potrebno je primjenjivati multi-satelitske konstelacije, radi obezbjeđivanja velikog elevacionog ugla.
- Takođe, mogu se primijeniti *diversity* tehnike kojima se bira odgovarajući satelit sa većim elevacionim uglom ili sa boljim stanjem na radio kanalu.

Karakteristike satelitskog mobilnog radio kanala

- U takvim urbanim sredinama je potrebna dodatna emisiona snaga da bi se obezbijedila odgovarajuća fading margina, odnosno da prijemni signal bude iznad definisanog praga.
- Potrebno je da signal ima određeni minimalni nivo koji garantuje ispunjavanje zadatih parametara kvaliteta servisa.



Karakteristike satelitskog mobilnog radio kanala

- U urbanim sredinama je za feding marginu od 6-10dB potrebno kontinualno pokrivanje satelitima uz minimalni elevacioni ugao od 50° .
- Kompenzacija ovakve feding margine ne predstavlja veći problem u smilu povećavanja emisione snage na predajnicima.
- Ipak, ako se korise LEO sateliti, obezbjeđivanje datog minimalnog elevacionig ugla zahtjeva konstelaciju od bar 100 LEO satelita.
- Ukoliko bi se garantovao minimalni elevacioni ugao od 20° , bio bi potreban manji broj satelita, ali bi feding margina bila 25-30dB, što je prilično nepraktično.

Modelovanje satelitskog mobilnog radio kanala

- Uskopojasni modeli – uticaj propagacione sredine približno jednak na svim učestanostima u frekvencijskom opsegu signala
 - ✓ Empirijski
 - ✓ Statistički
 - ✓ Analitički
- Širokopojasni modeli – uticaj propagacione sredine nije isti na svim učestanostima u frekvencijskom opsegu signala

Modelovanje satelitskog mobilnog radio kanala - empirijski *roadside shadowing* model

- Uticaj drveća (uz put) u suburbanim i ruraalnim područjima u centralnom Maryland-u, USA. Korišćeni helikopteri (emulacija satelita) i L frekvencijski opseg. Elevacioni uglovi od 20° do 60°.

$$A_L(P, \theta, f_L) = -M(\theta)\ln P + N(\theta) \text{ dB for } f_L = 1.5 \text{ GHz}$$

$$M(\theta) = a + b\theta + c\theta^2$$

$$N(\theta) = d\theta + e$$

$$a = 3.44, b = 0.0975, c = -0.002, d = -0.443 \text{ and } e = 34.76$$

$A_L(P, \theta, f_L)$ - vrijednost pada nivoa amplitude signala

L označava L opseg, f_L je frekvencija u datom opsegu

P je vjerovatnoća da se javi tolika ili veća vrijednost pada amplitude, *outage probability*

θ je elevacioni ugao

Modelovanje satelitskog mobilnog radio kanala - empirijski *roadside shadowing* model

$$A_L(P, \theta, f_L) = -M(\theta)\ln P + N(\theta) \text{ dB for } f_L = 1.5 \text{ GHz}$$

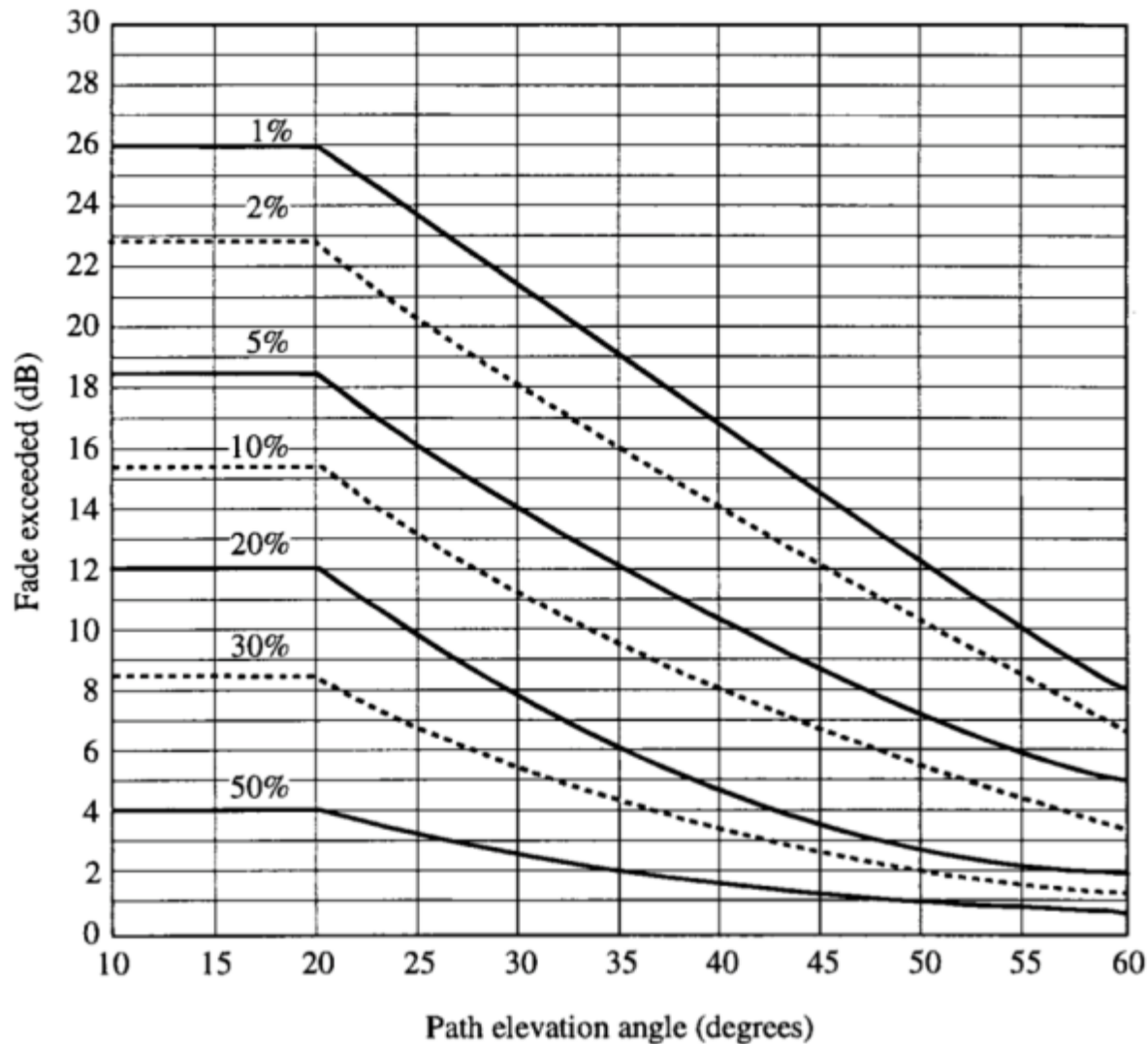
$$M(\theta) = a + b\theta + c\theta^2$$

$$N(\theta) = d\theta + e$$

$$a = 3.44, b = 0.0975, c = -0.002, d = -0.443 \text{ and } e = 34.76$$

Elevation angle (°)	$M(\theta)$	$N(\theta)$
20	4.59	25.90
25	4.63	23.69
30	4.57	21.47
35	4.40	19.26
40	4.14	17.04
45	3.78	14.83
50	3.32	12.61
55	2.75	10.40
60	2.09	8.18

Modelovanje satelitskog mobilnog radio kanala - empirijski *roadside shadowing* model



Modelovanje satelitskog mobilnog radio kanala - empirijski *roadside shadowing* model

$$A_L(P, \theta, f_L) = A_{\text{uhf}}(P, \theta, f_{\text{uhf}}) \sqrt{\frac{f_L}{f_{\text{uhf}}}} \text{ dB}$$

$$A_s(P, \theta, f_s) \approx 1.41 A_L(P, \theta, f_L) \text{ dB}$$

$$A_K(P, \theta, f_K) = A_L(P, \theta, f_L) \exp\left\{1.5 \left[\frac{1}{\sqrt{f_L}} - \frac{1}{\sqrt{f_K}} \right]\right\} \text{ dB}$$

A (krošnja sa lišćem) = 1,24 **A** (krošnja bez lišća) dB

Modelovanje satelitskog mobilnog radio kanala – modeli sa funkcijom gustine vjerovatnoće

$$P_{\text{Rayleigh}}(r) = \frac{r}{\sigma_m^2} \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma_m^2}\right)$$

$$r = \sqrt{x^2 + y^2}$$

$$f_d = \frac{vf_c}{c} \cos\theta_i \text{ Hz}$$

$$S(f) = \frac{\sigma_m^2}{\pi f_m} \left[1 - \left(\frac{(f - f_c)}{f_m} \right)^2 \right]^{-\frac{1}{2}} \text{ (W/Hz)}$$

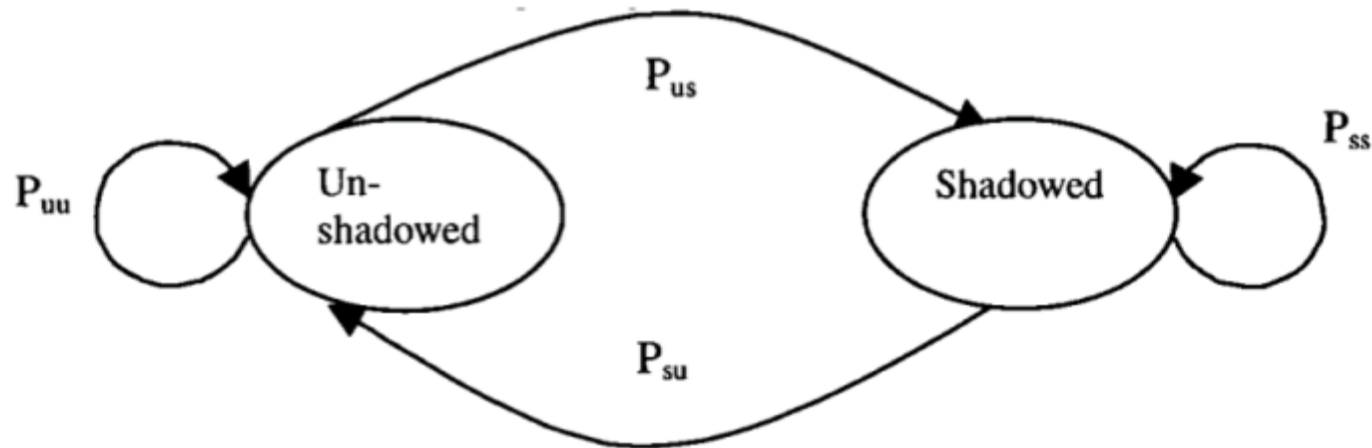
Modelovanje satelitskog mobilnog radio kanala – modeli sa funkcijom gustine vjerovatnoće

$$P_{\text{Rice}}(r) = \frac{r}{\sigma_m^2} \exp\left(-\frac{r^2 + A^2}{2\sigma_m^2}\right) I_0\left(\frac{rA}{\sigma_m^2}\right)$$

$$P_{\text{Log-normal}}(r) = \frac{1}{\sigma_s r \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(\ln r - \mu_s)^2}{2\sigma_s^2}\right)$$

$$p_{\text{Loo}}(r) = \frac{r}{\sigma_m^2 \sqrt{2\pi\sigma_s^2}} \int_0^\infty \frac{1}{A} \exp\left(-\frac{(\ln A - \mu_s)^2}{2\sigma_s^2} - \frac{(r^2 + A^2)}{2\sigma_m^2}\right) I_0\left(\frac{rA}{\sigma_m^2}\right) dA$$

Modelovanje satelitskog mobilnog radio kanala – modeli sa funkcijom gustine vjerovatnoće



$$P_{\text{Lutz}}(s) = (1 - A)P_{\text{Rice}}(s) + A \int_0^{\infty} P_{\text{Rayleigh}}(s|s_0)P_{\text{Log-normal}}(s_0)ds_0$$

Modelovanje satelitskog mobilnog radio kanala – geometrijsko analitički modeli

- Ne zahtijevaju skupu mjernu opremu, niti dugotrajna mjerenja
- Potrebne digitalne mape terena
- Baze topografskih i geografskih podataka
- U poređenju sa terestrialnim mrežama potrebno je dodatno simulirati dinamiku kretanja satelita
- Fotogrametrijske tehnike mjerenja se koriste za utvrđivanje vidljivosti satelita u zavisnosti od lokalnog terena. *Fish-eye* fotografije terena (*clean, shadowed, blocked*)
- Razvoj moćnih softvera i računarske opreme dodatno daje na značaju ovakvim modelima, jer se mogu dizajnirati sofisticirani simulacioni alati za predikciju nivoa polja kao u celularnim mrežama

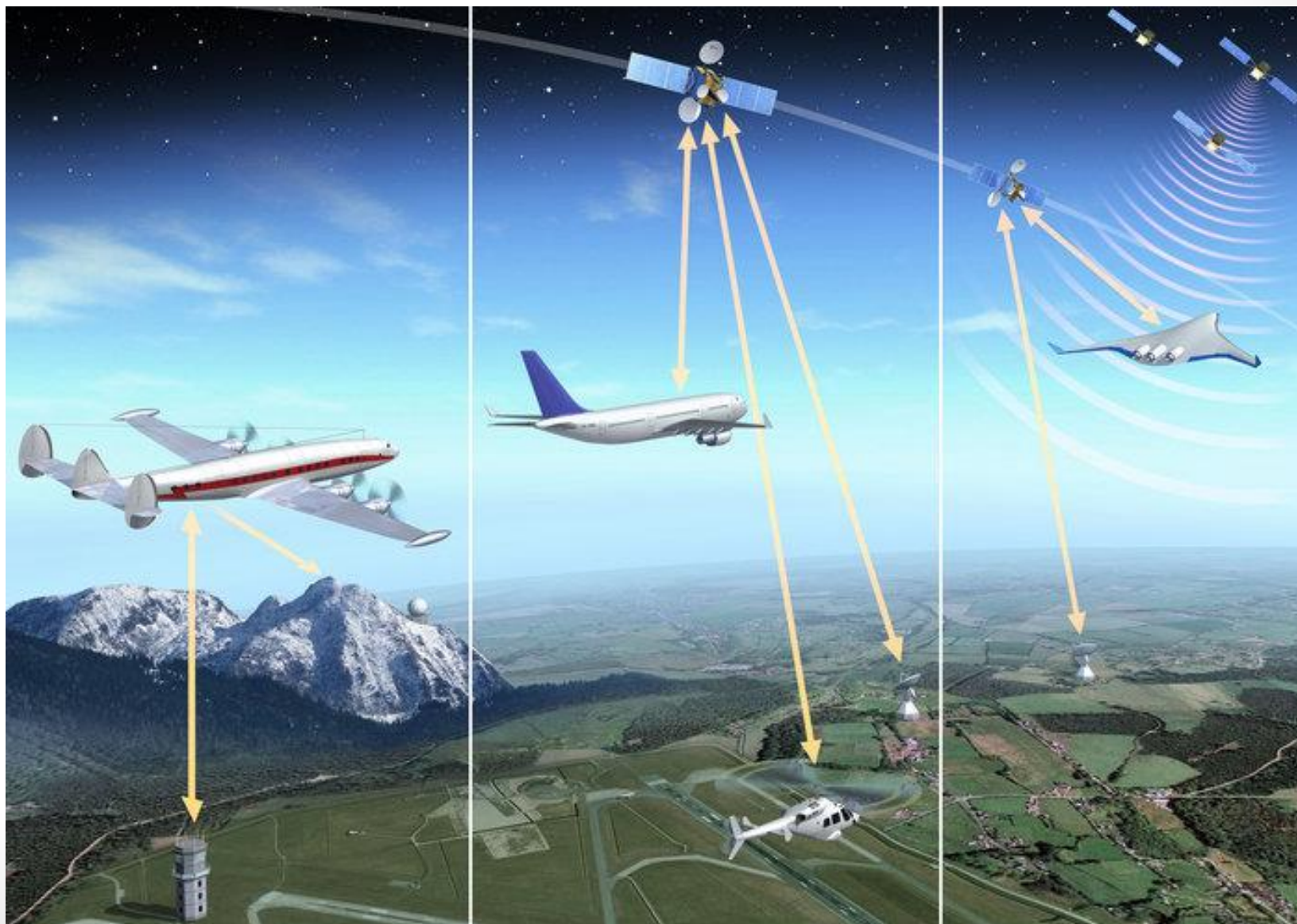
Modelovanje satelitskog mobilnog radio kanala – širokopojasni modeli

- Obično kao *tap delay* filteri
- Primjer - mjerenja u DLR-u (*German Aerospace Center*)
 - ✓ LOS komponenta
 - ✓ Bliski ehoi, najveći broj ehoa do 600ns. Broj ehoa zavisi od propagacione sredine. Rayleigh-ova raspodjela za snagu ehoa. Kašnjenje se smanjuje eksponencijalno.
 - ✓ Daleki ehoi, preko 600 ns. Uniformna raspodjela kašnjenja i log-normalna raspodjela snage. Broj ehoa se smanjuje eksponencijalno.

Aeronautički link

- Mogućnost komunikacije sa avionima putem satelita postaje sve više značajnija. Zbog sigurnosnih razloga, komunikacioni kanal ka avionu treba da bude uz veliki nivo pouzdanosti.
- Tipični let podrazumijeva sledeće faze: ukrcavanje posade i putnika u avion, kretanje po pisti do uzlijetanja, uzlijetanje do određene visine, let na određenoj visini, (obično iznad oblaka za putničke avione), slijetanje na pistu, kretanje po pisti do mjesta za izlazak putnika i posade.
- Za svaku od prethodnih faze se može razmatrati poseban tip kanala. Na primjer, dok je avion na aerodromu u pitanju je a *land-mobile* kanal. Javlja se shadowing zbog okolnih građevina, drugih aviona...

Aeronautički link



Aeronautički link



Aeronautički link

- Aeronautički kanal se dodatno komplikuje manevrima aviona tokom leta, usled čega može da dođe do blokiranja LOS komponente signala samom strukturom aviona. Takođe, sam avion je izvor *multipath* fedinga. Brzina aviona prouzrokuje *Doppler*-ovo širenje.
- Trenutno, aeronautički mobilni satelitski sistemi rade u L opsegu. Zbog nedovoljne širine opsega servisi su limitirani na govorne i servise prenosa podataka male brzine. Za pružanje širokopojasnih multimedijalnih servisa potrebno je pomjeranje ka K-/Ka-opsezima. Na ovim frkvencijama efekti troposfere će imati uticaj na dostupnost linka tokom perioda kada je avion ispod oblaka.

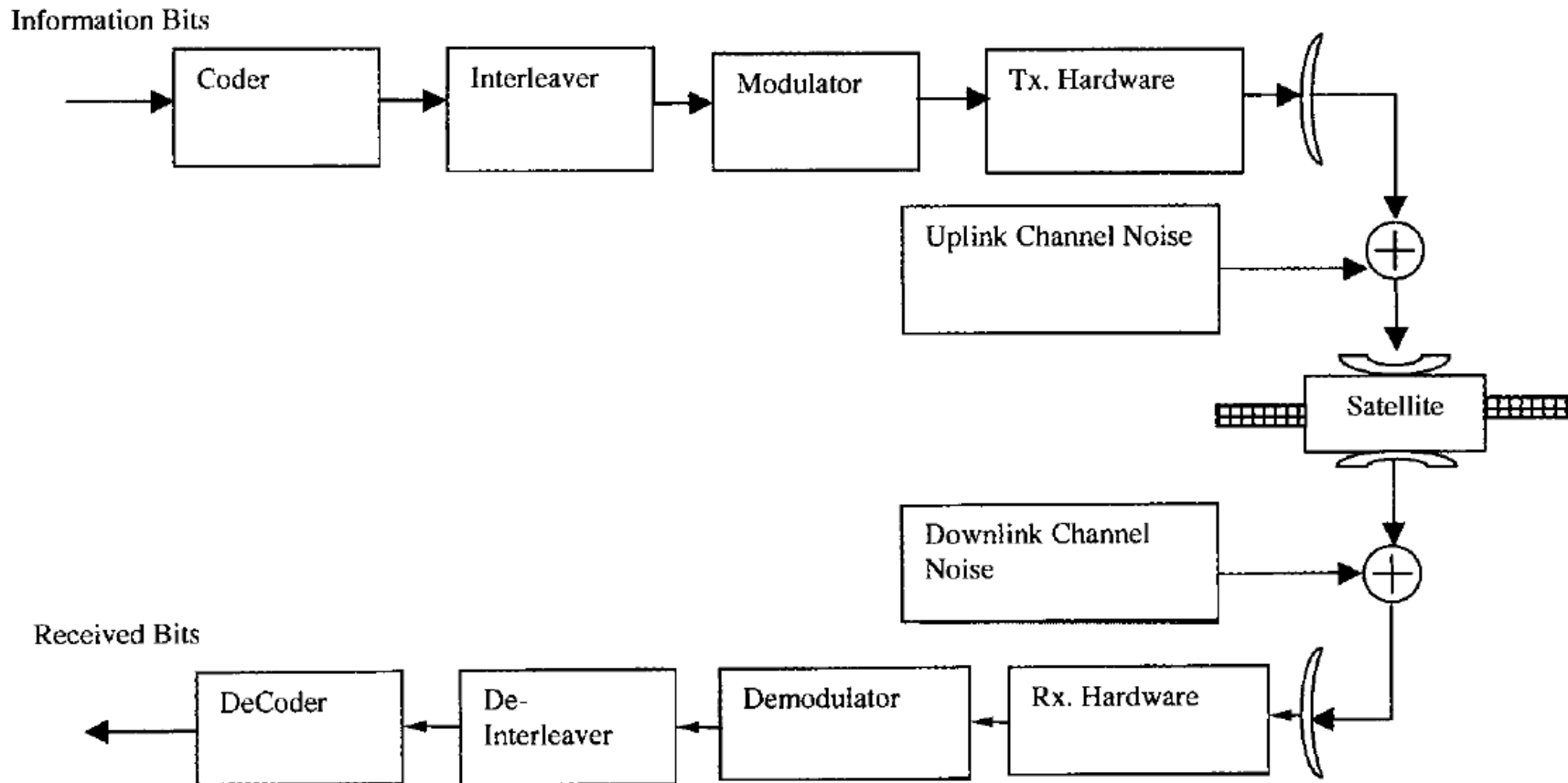
Aeronautički link

- Propagacioni scenario pomorskog linka se značajno razlikuje u odnosu na *land-mobile* slučaj. Dok se u *land-mobile* kanalu reflektovane komponente obično mogu zanemariti, u slučaju pomorskog kanala refleksije sa površine mora su značajan faktor.
- To naročito dolazi do izražaja prilikom primjene antena koje nisu jako usmjerene kao i kad je mali elevacioni ugao.
- Ovakav scenario nije netipičan za pomorski kanal.

3. ANALIZA BUDŽETA LINKA

- Prijemna u funkciji predajne snage
- Termički šum
- Pozadinski šum

Analiza budžeta linka



Blok šema satelitskog komunikacionog sistema

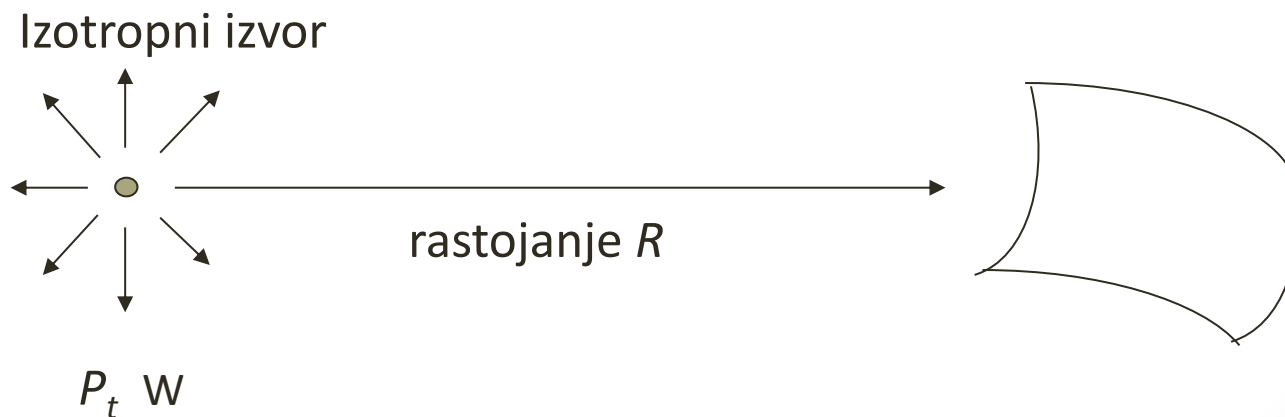
Analiza budžeta linka

- Proračun parametara radio veze
- Modulacije – primjenjuju se digitalne modulacije (o tome više iz Digitalnih telekomunikacionih sistema)
- Kanalno kodiranje - blok kodovi, konvolucioni kodovi, *interleaving*, *concatenated* kodovi, turbo kodovi (o tome više iz Digitalnih telekomunikacionih sistema, Teorije informacija i kodova)
- Tehnike višestrukog pristupa u satelitskim komunikacijama

Analiza budžeta linka – prijemna u funkciji predajne snage

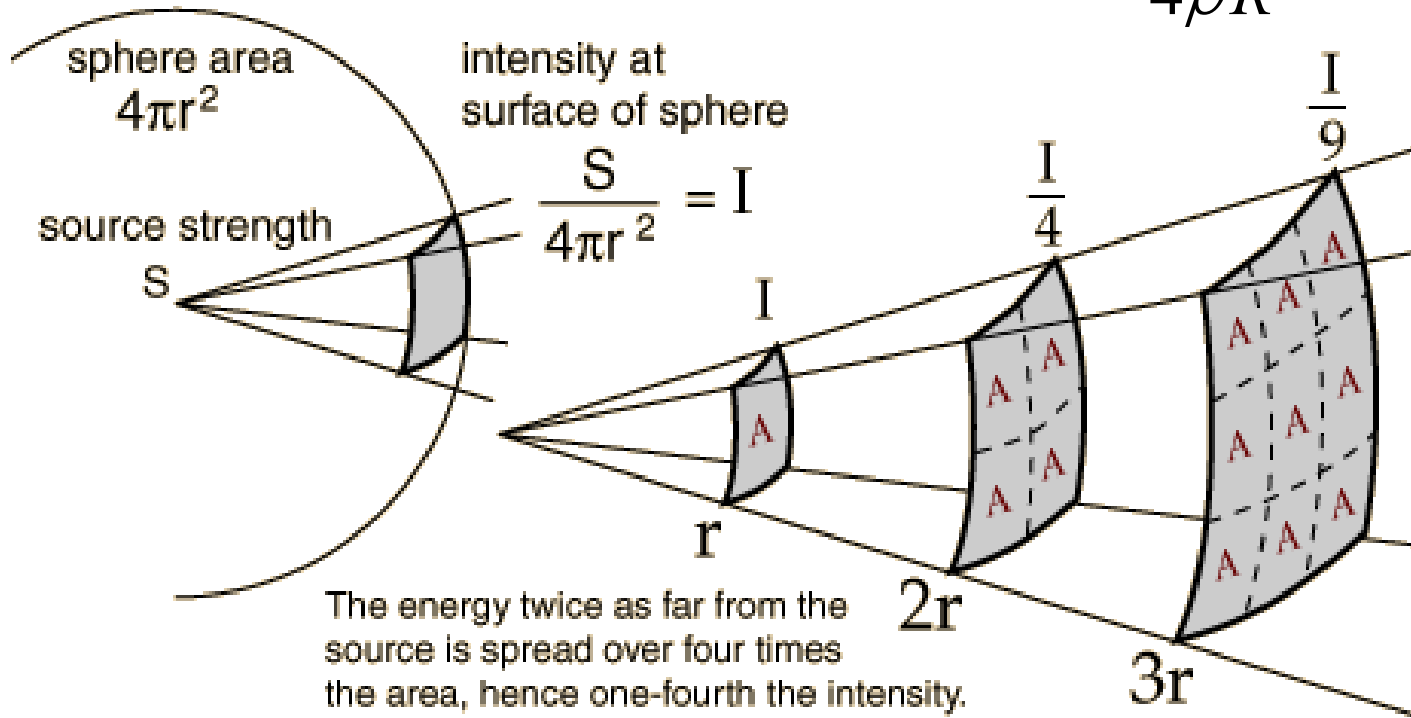
- Izotropni izvor emituje snagu P_t [W] uniformno u prostoru
- Na rastojanju R , sferna površina sa centrom u tački izvora zračenja je $4\pi R^2$
- Gustina fluksa snage na rastojanju R je:

$$PFD = \frac{P_t}{4\pi R^2} \text{ W/m}^2$$



Analiza budžeta linka – prijemna u funkciji predajne snage

$$PFD = \frac{P_t}{4\rho R^2}$$



Analiza budžeta linka – prijemna u funkciji predajne snage

- Usmjerene antene su potrebne u praksi radi usmjeravanja energije u određenom smjeru.
- Definiše se pojačanje antene (*gain*). To je odnos emitovane snage i snage za slučaj izotropnog izvora, za dati ugao.

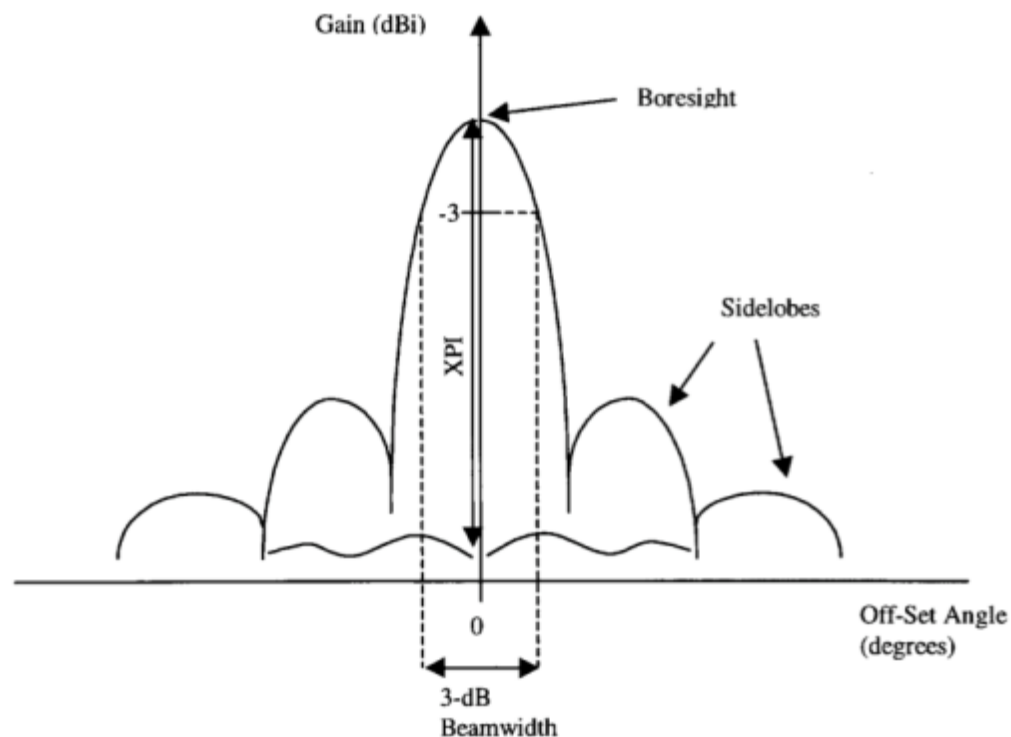
$$G(\theta, \phi) = \frac{P(\theta, \phi)}{\frac{P_T}{4\pi}}$$

Za paraboličnu antenu je:

$$\theta_{3dB} \approx \frac{65\lambda}{D} \text{ } ^\circ$$

λ – talasna dužina

D – prečnik antene



Analiza budžeta linka – prijemna u funkciji predajne snage

Za paraboličnu antenu je:

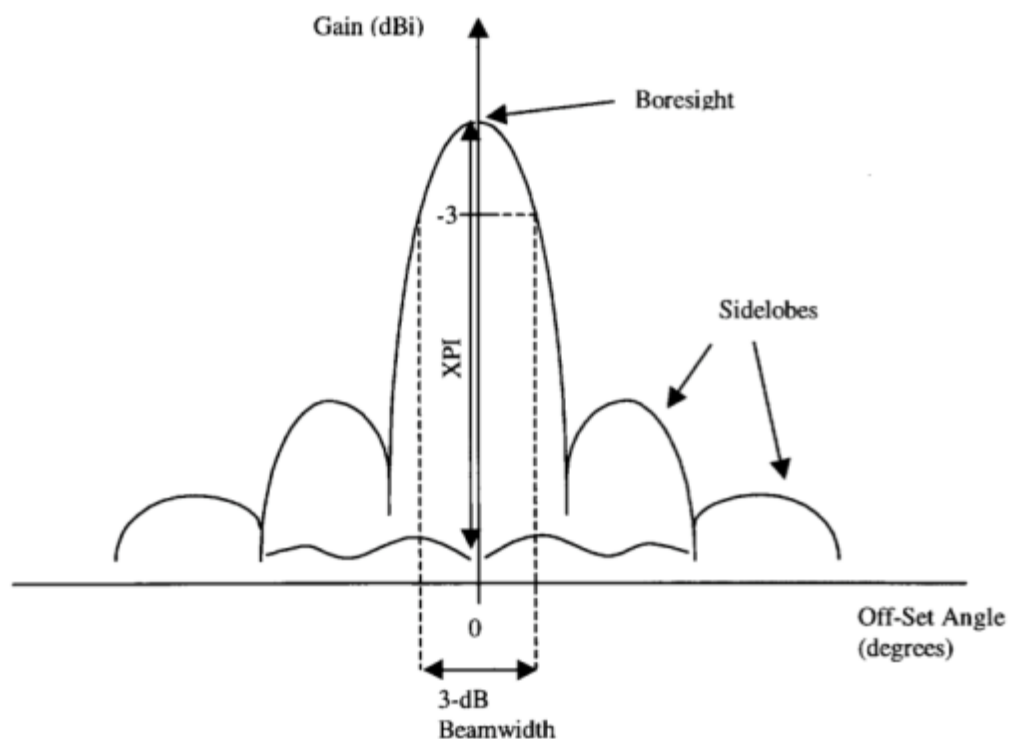
$$\theta_{3\text{dB}} \approx \frac{65\lambda}{D}$$

λ – talasna dužina

D – prečnik antene

Što je veća talasna dužina to je dati *half-power beamwidth* širi i obratno.

Veći prečnik parabolične antene sužava *half-power beamwidth* i obratno.



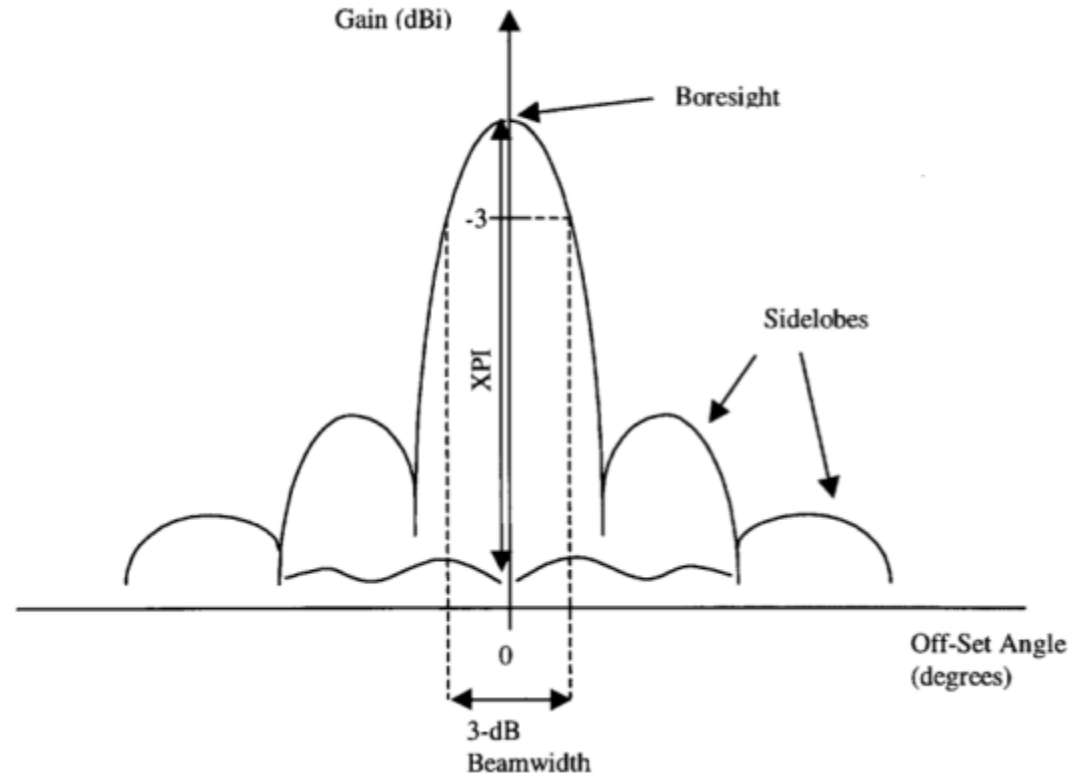
Primjer – parabolična antena prečnika 1 m u C-opsegu (4 GHz) ima 3-dB *beamwidth* od 4.98°.

Ista antena u Ku-opsegu (11 GHz) ima 3-dB *beamwidth* oko 1.88°.

Analiza budžeta linka – prijemna u funkciji predajne snage

Bitni parametri:

- ✓ *gain* dBi
- ✓ 3-dB *beamwidth*
- ✓ nivo *sidelobes*-ova
- ✓ XPI
- ✓ XPD



XPI – odnos snage korisnog signala i neželjnog signala iste polarizacije, kojeg unosi signal ortogonalne polarizacije
XPI – obično treba da bude veće od 30dB

Analiza budžeta linka – prijemna u funkciji predajne snage

- Ukoliko je snaga izvora P_t [W], a pojačanje antene G_t , tada je na rastojanju R gustina fluksa snage:

$$PFD = \frac{P_t G_t}{4\pi R^2} \quad \text{W/m}^2$$

$$EIRP = P_t G_t$$

EIRP- *Effective isotropic radiated power*

Za idealnu antenu koja ima *aperture area* A , ukupna prijemna snaga je:

$$P_r = \frac{P_t G_t A}{4\pi R^2} \quad \text{W}$$

Analiza budžeta linka – prijemna u funkciji predajne snage

- U realnosti prijemna antena neće kolektoavti svu energiju, zbog antenske refleksije, *shadowing-a* držača antene, nesavršenosti proizvodnje itd.
- Efektivna površina antene se definiše kao:

$$A_e = \eta A$$

η je korektivni faktor i obično iynosi oko 50–70%

Ukupna prijemna snaga je:

$$P_r = \frac{P_t G_t A_e}{4\pi R^2} \quad \text{W}$$

Analiza budžeta linka – prijemna u funkciji predajne snage

- Veza između efektivne površine prijemne antene i njenog pojačanja je:

$$G_r = \eta \frac{4\pi A}{\lambda^2}$$

Za paraboličnu antenu prečnika D važi:

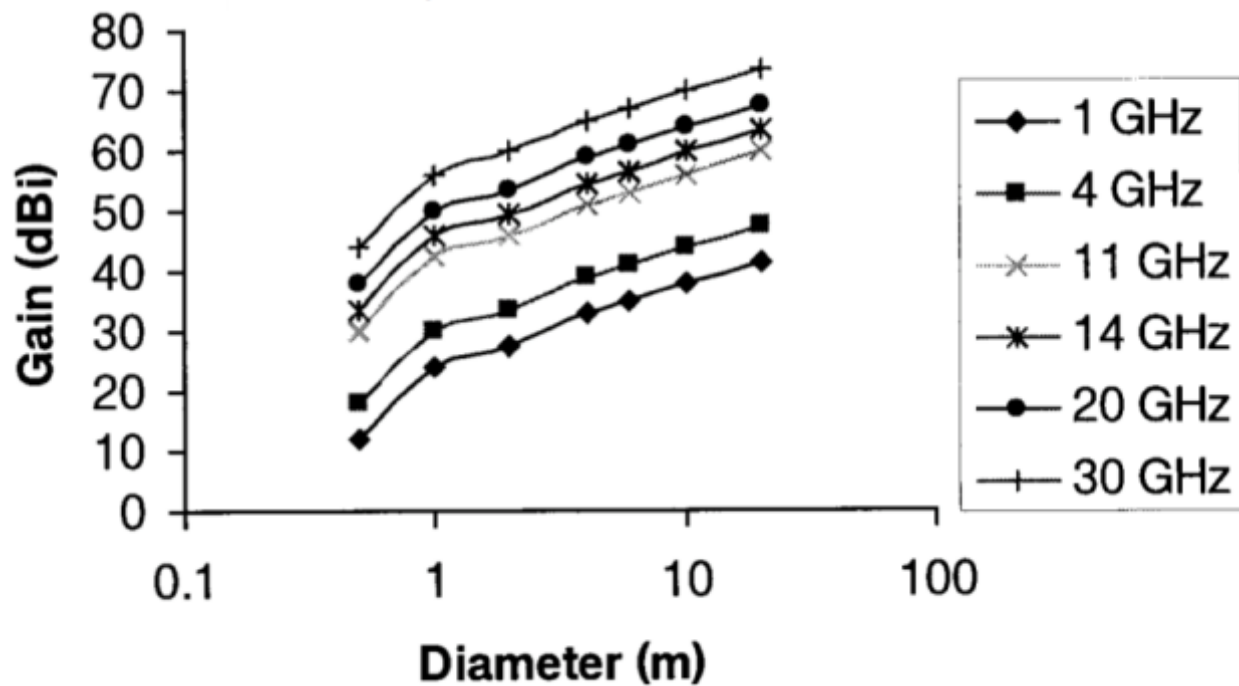
$$G_r = \eta \frac{\pi^2 D^2}{\lambda^2}$$

Slijedi:

$$P_r = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi R)^2} \quad \text{W}$$

Analiza budžeta linka – prijemna u funkciji predajne snage

$$G_r = \eta \frac{\pi^2 D^2}{\lambda^2}$$



Parabolična antena, $\eta=60\%$

Analiza budžeta linka – prijemna u funkciji predajne snage

- Prijemna snaga P_r u funkciji predajne P_t je:

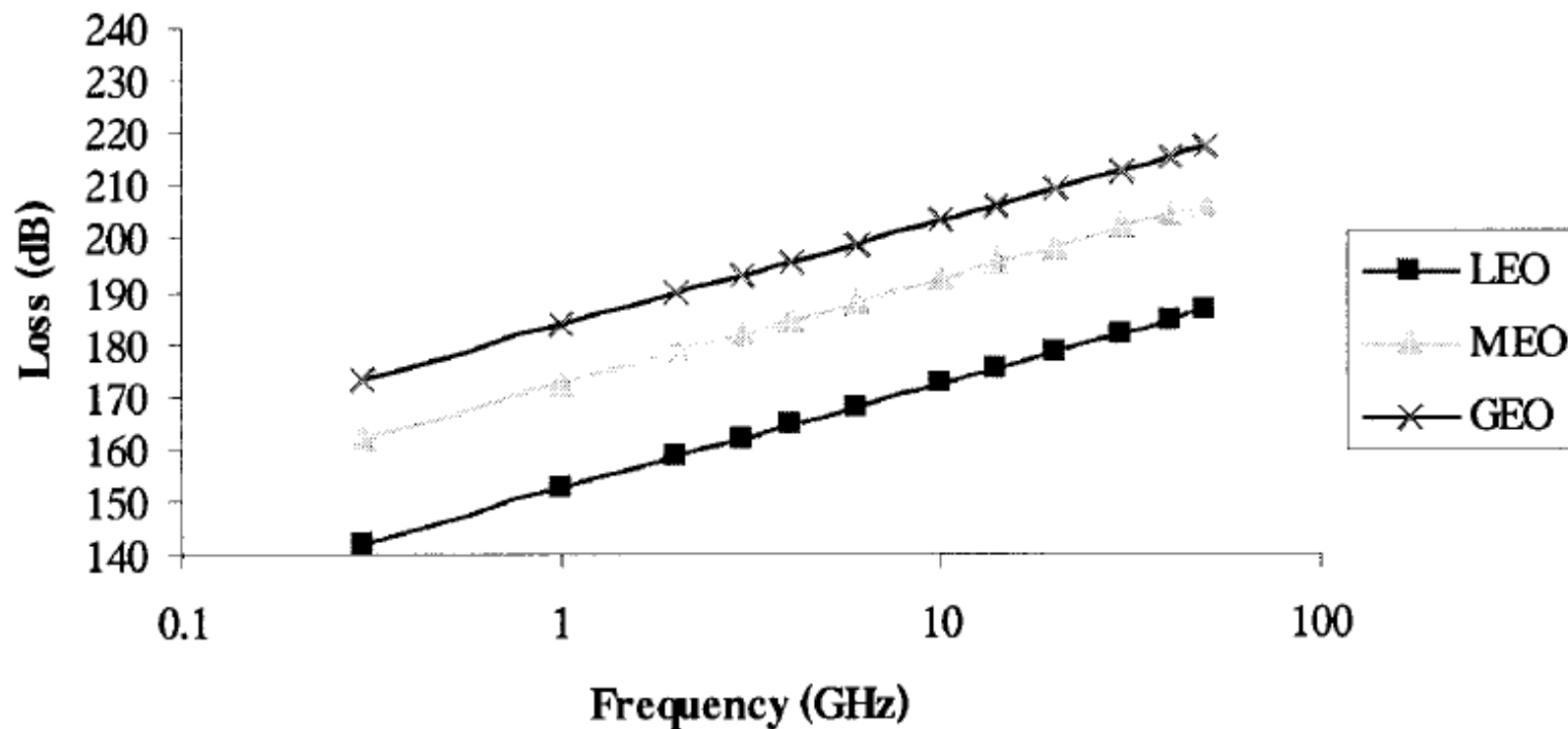
$$P_r = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi R)^2} \quad \text{W}$$

gdje je G_t dobitak predajne antene, G_r dobitak prijemne antene, R rastojanje između predajnika i prijemnika.

- Član $(\lambda/4\pi R)^2$ predstavlja gubitke u slobodnom prostoru (FSL).
- Obično se se parametri linka izražavaju u dB, dBW ili dBm.
- Ako se u obzir uzmu i ostali gubici tokom propagacije, A_p , osim gubitaka u slobodnom prostoru gornja relacija se može zapisati kao:

$$P_r = \text{EIRP} + \text{FSL} + G_r + A_p \quad \text{dBW}$$

Analiza budžeta linka – prijemna u funkciji predajne snage



Gubici u slobodnom prostoru: LEO (1000 km), MEO (10000 km) i GEO

Analiza budžeta linka – prijemna u funkciji predajne snage

$$P_r = P_t G_t G_r \left(\frac{\lambda}{4\pi R} \right)^2$$

Friis-ova transmisiona formula

Free Space Loss (FSL), gubici usled propagacije u slobodnom prostoru L_p su:

$$L_p = \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right)^2 \xrightarrow{\text{slijedi...}} P_r = \frac{P_t G_t G_r}{L_p}$$

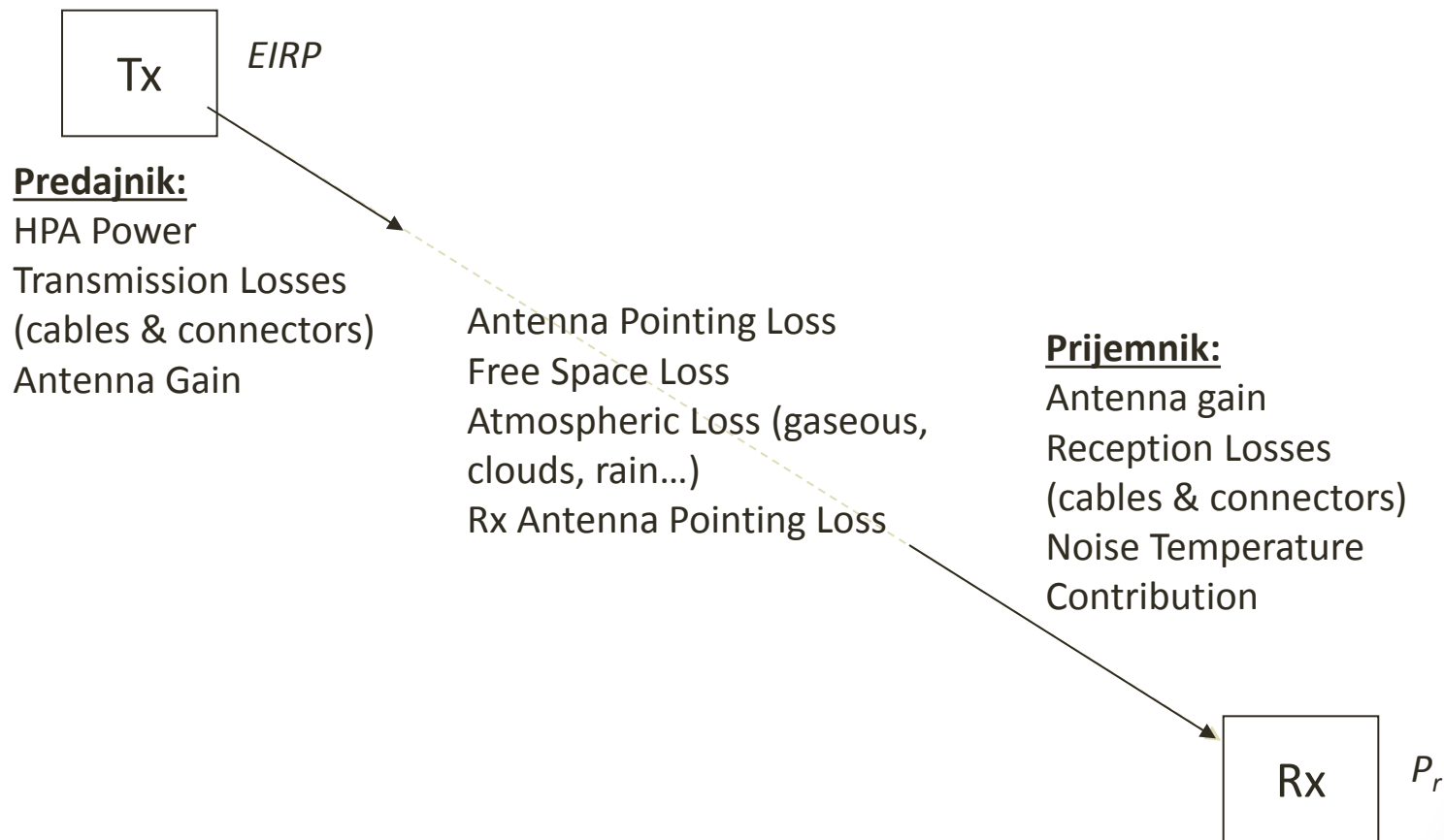
Analiza budžeta linka – prijemna u funkciji predajne snage

- Detaljnija formula:

- L_a = gubici zbog slabljenja u atmosferi
- L_{ta} = gubici vezani za predajnu antenu
- L_{ra} = gubici vezani za prijemnu antenu
- L_{pol} = gubici vezani za polarizaciono nepoklapanje
- L_{other} = bilo koji drugi gubici
- L_r = dodatni gubici u prijemniku (nakon prijemen antene)

$$P_r = \frac{P_t G_t G_r}{L_p L_a L_{ta} L_{ra} L_{pol} L_{other} L_r}$$

Analiza budžeta linka – prijemna u funkciji predajne snage

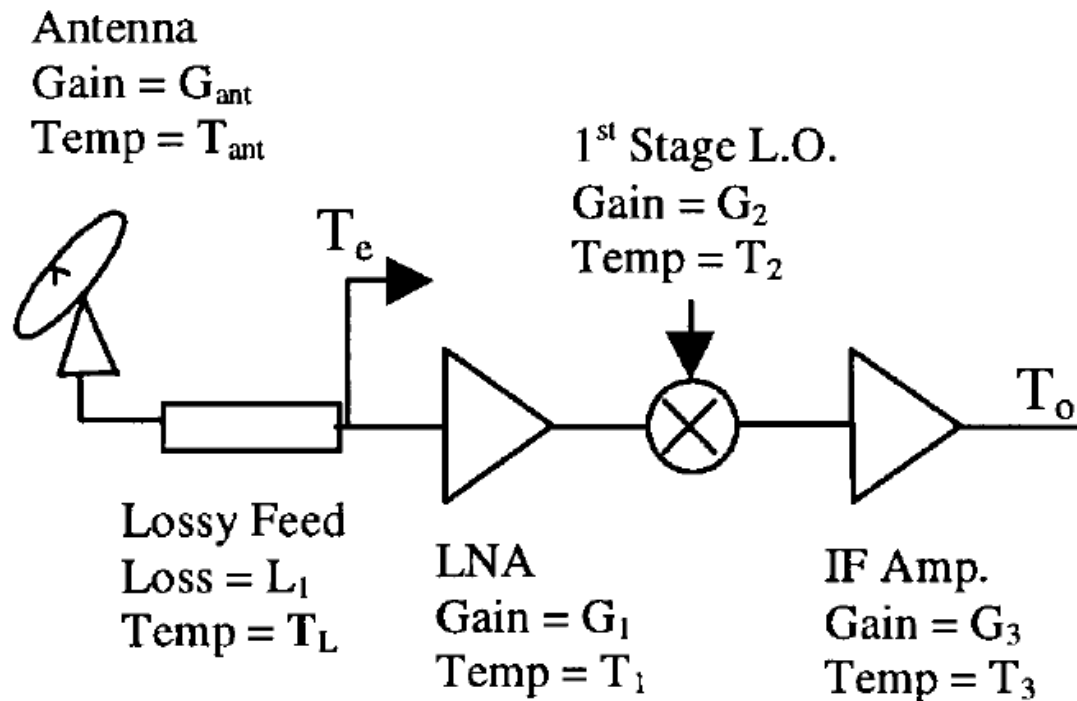


Analiza budžeta linka – prijemna u funkciji predajne snage

Jedinica	Referenca pojaćanje u odnosu na
dBi	izotropnu antenu
dBW	1 watt
dBm	1 milliwatt
dBHz	1 Hertz
dBK	1 Kelvin
dBi/K	izotropnu antenu/ 1 Kelvin
dBW/m ²	1 watt/m ²

Analiza budžeta linka - termički šum

- U datom primjeru, prijemnik čine: antena, *feeder* link, LNA (*low noise amplifier, the first stage*), LO (*the first stage local oscillator*) i IF (*intermediate frequency*) pojačavač.



Analiza budžeta linka - termički šum

$$N = kTB \quad \text{W}$$

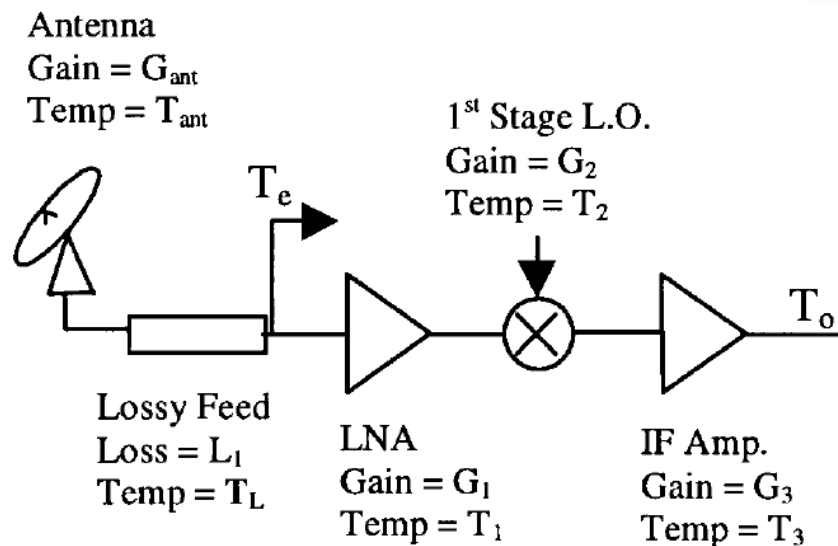
$$k = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$$

$$k = -228.6 \text{ dBW/K/Hz}$$

Izlazna snaga šuma:

$$P_o = k(T_{in} + T_1)G_1G_2G_3B + kT_2G_2G_3B + kT_3G_3B \quad \text{W}$$

T_{in} - ekvivalentna temperatura šuma za antenu i *feed*-er

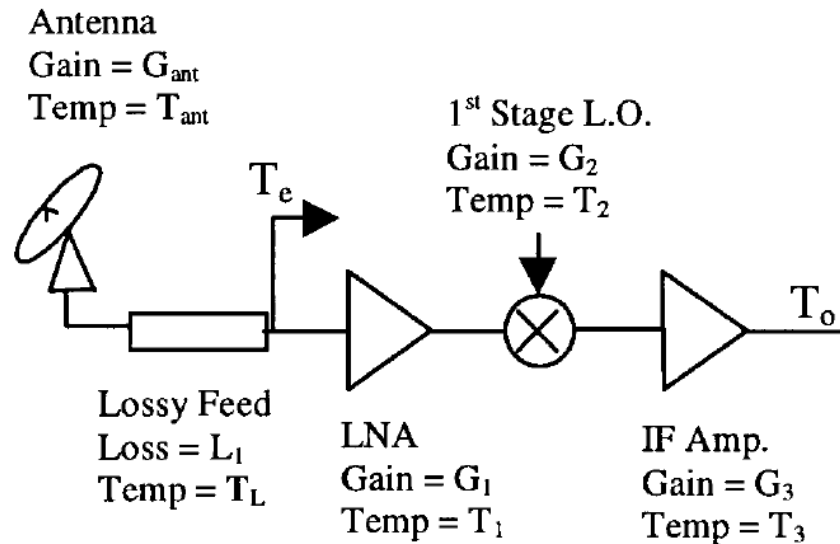


Analiza budžeta linka - termički šum

$$P_o = kB \left((T_{in} + T_1) + \frac{T_2}{G_1} + \frac{T_3}{G_1 G_2} \right) G_1 G_2 G_3 \text{ W}$$

$$T_e = \left((T_{in} + T_1) + \frac{T_2}{G_1} + \frac{T_3}{G_1 G_2} \right) \text{ K}$$

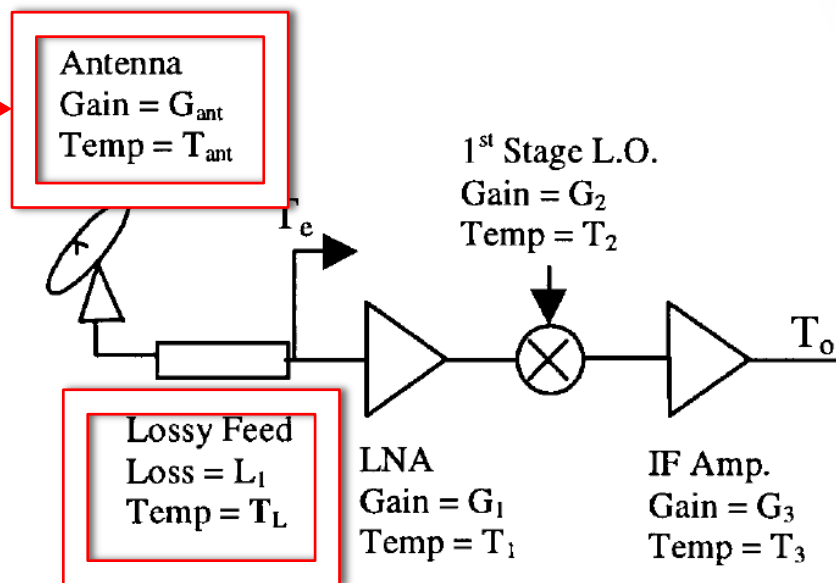
$$N = kT_e B \text{ W}$$



Analiza budžeta linka - pozadinski šum

$$T_a = \frac{1}{4\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^\pi G(\theta, \phi) T_b(\theta, \phi) d\Omega$$

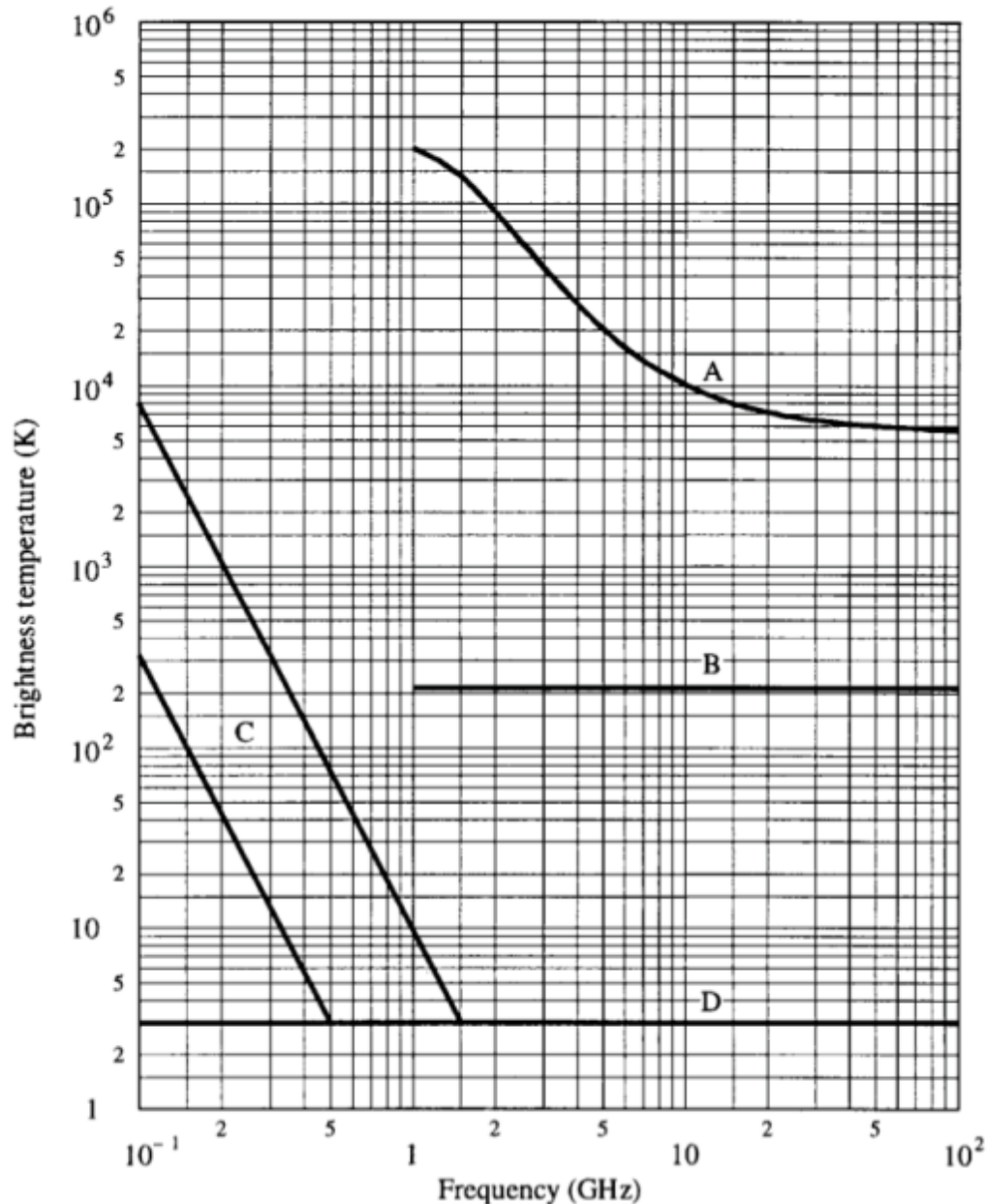
T_b - brightness temperature



$$T_e = T_0 \left(1 - \frac{1}{L} \right) \quad \text{K}$$

$$T_{in} = T_a/L + 290(1 - 1/L) \quad \text{K}$$

Analiza budžeta linka - pozadinski šum



- A: quiet Sun
 - B: Moon
 - C: range of galactic noise
 - D: cosmic background
- } diameter ~ 0.5°

Analiza budžeta linka - pozadinski šum

- Temperatura šuma antene zemaljske stanice je rezultat kombinacije dva tipa izvora šuma, od kosmičkih izvora, T_{sky} , i šuma zbog prijema neželjenih signala sa zemlje u blizini antene, T_{ground} . To rezultira izrazom:

$$T_a = T_{sky} + T_{ground} \quad \text{K}$$

- Mogući izvori kosmičkog šuma su sunce, mjesec, kiseonik, apsorpcija vodene pare i kiša.
- Sunce ima *brightness* temperaturu veću od 10 000 K na frekvencijama ispod 10 GHz, i iz tog razloga, zemaljske stanice izbegavaju usmjeravanje u pravcu sunca.
- Slična razmatranja se odnose i za mjesec, koji ima *brightness* temperaturu od prosječno 200 K.
- Ostali kosmički pozadinski šum ima vrijednost od oko 3 K i nezavistan je od frekvencije. Može se zanemariti.

Analiza budžeta linka - pozadinski šum

- Glavni izvori za *sky noise* su atmosferski gasovi i kiša. Iz prethodnog dijla se može zaključiti da je temperatura šuma povezana s radnom frekvencijom i elevacionim uglom. Prilikom rada u uslovima “čistog” neba, temperatura šuma od oko 15–30 K se javlja za frekvencije u rasponu od 4–11 GHz pri elevacionom uglu od 10° .
- *Ground noise* je posledica prijema neželjenih signala preko bočnih lobova antene i u manjoj mjeri, glavnog loba antene. Ovo zahtijeva razmatranje kada su elevacioni uglovi manji od 10° . Kako se elevacioni ugao antene povećava, uticaj *ground noise* na ukupni šum antene se značajno smanjuje.

Analiza budžeta linka - pozadinski šum

- Za sisteme koji rade iznad 10 GHz, kiša ne samo da slabi željeni signal, kao što je već objašnjeno, već i povećava temperaturu šuma antene:

$$T_a = \frac{T_{\text{sky}}}{A_{\text{rain}}} + T_o \left(1 - \frac{1}{A_{\text{rain}}} \right) + T_{\text{ground}} \quad \text{K}$$

$$T_o = 290 \text{ K}$$

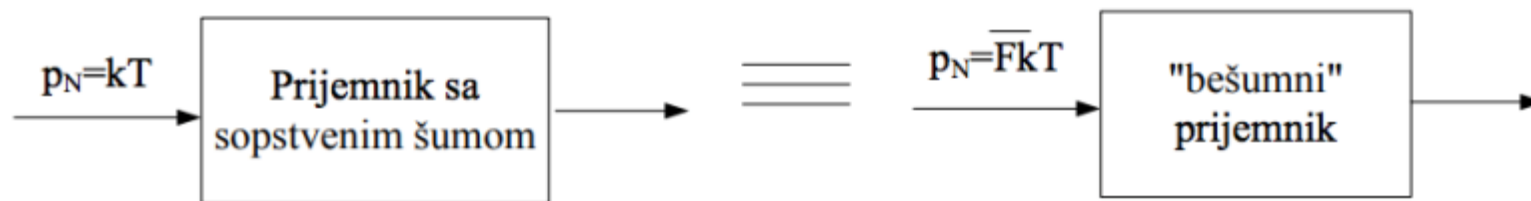
Analiza budžeta linka - pozadinski šum

- Na temperaturu šuma antene satelita utiče lokacija satelita, radna frekvenciju i područje pokriveno antenom satelita. Pokrivenost nad kopnenim područjima ima za posledicu veću temperaturu šuma nego u slučaju pokrivanja okeanskih područja.
- Na primer, kada se geostacionarni satelit nalazi iznad Tihog okeana javlja se *brightness* temperatura od 110 K na 1 GHz, koja se povećava na blizu 250 K uz radnu frekvenciju od 51 GHz.
- Slično, kada se nalazi iznad Afrike, javlja se *brightness* temperatura od 180 K na 1 GHz, koja se povećava na skoro 260 K uz radnu frekvenciju od 51 GHz.

Analiza budžeta linka - faktor šuma

Faktor šuma (*Noise Factor*) posmatranog uređaja predstavlja mjeru degradacije odnosa signal-šum (Signal-to-Noise Ratio – SNR ili S/N) od ulaza do izlaza posmatranog uređaja, usled šuma koji unosi sam posmatrani sklop.

Faktor šuma se definiše kao količnik odnosa signal-šum na ulazu i odnosa signal-šum na izlazu iz elementa:

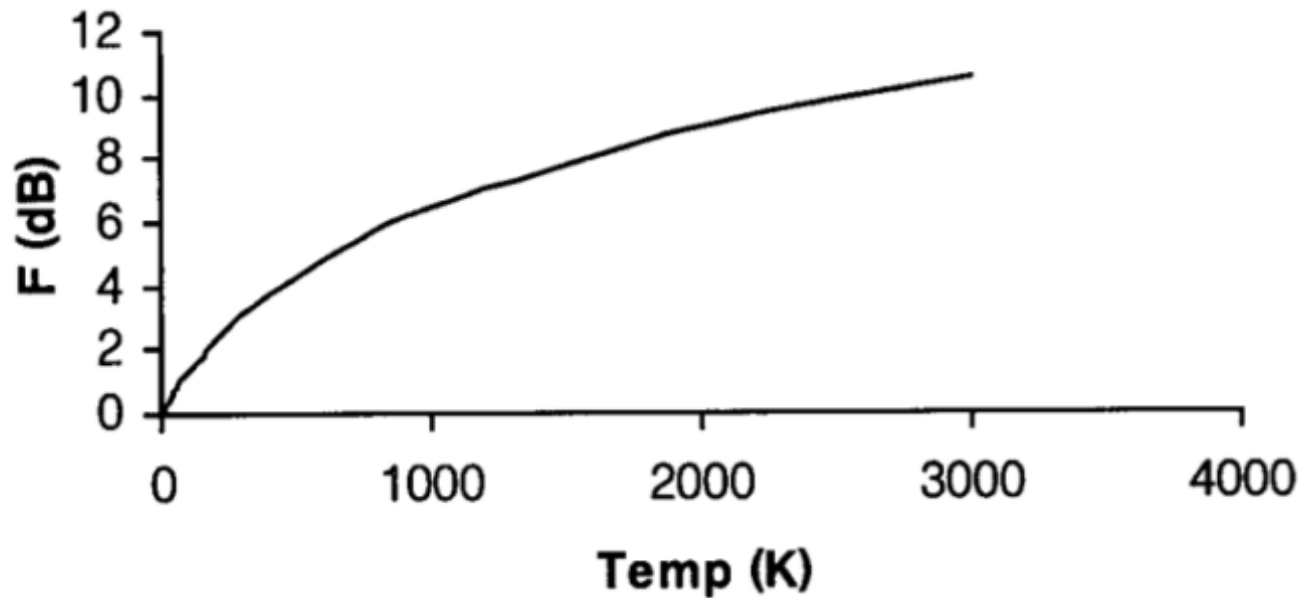


$$F = (S/N)_{ul} / (S/N)_{izl}$$

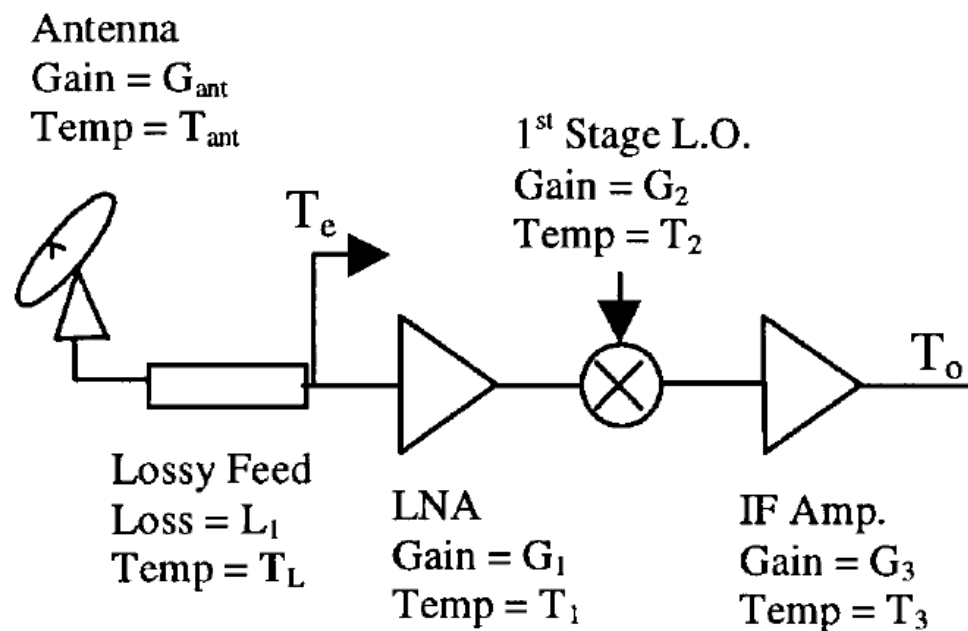
$$F[\text{dB}] = 10 \log \frac{(S/N)_{ul}}{(S/N)_{izl}}$$

Analiza budžeta linka - faktor šuma

$$F = 10\log\left(1 + \frac{T_e}{T_o}\right) \text{ dB}$$



Analiza budžeta linka - faktor šuma



$$F = F_1 + \frac{F_2 - 1}{G_1} + \frac{F_3 - 1}{G_1 G_2} + \dots + \frac{F_{n-1}}{G_1 G_2 \dots G_{n-1}}$$

Analiza budžeta linka – *Carrier to Noise Ratio*

$$\frac{C}{N} = P_t G_t \frac{G_r}{T} \left(\frac{\lambda}{4\pi R} \right)^2 \frac{1}{kB} \frac{1}{A_p}$$

$$\frac{C}{N_0} = 10\log(P_t G_t) - 20\log\left(\frac{4\pi R}{\lambda}\right) + 10\log\left(\frac{G}{T}\right) - 10\log A_p - 10\log kB \quad \text{dBWHz}$$

Analiza budžeta linka – primjer definisanja određenih parametara

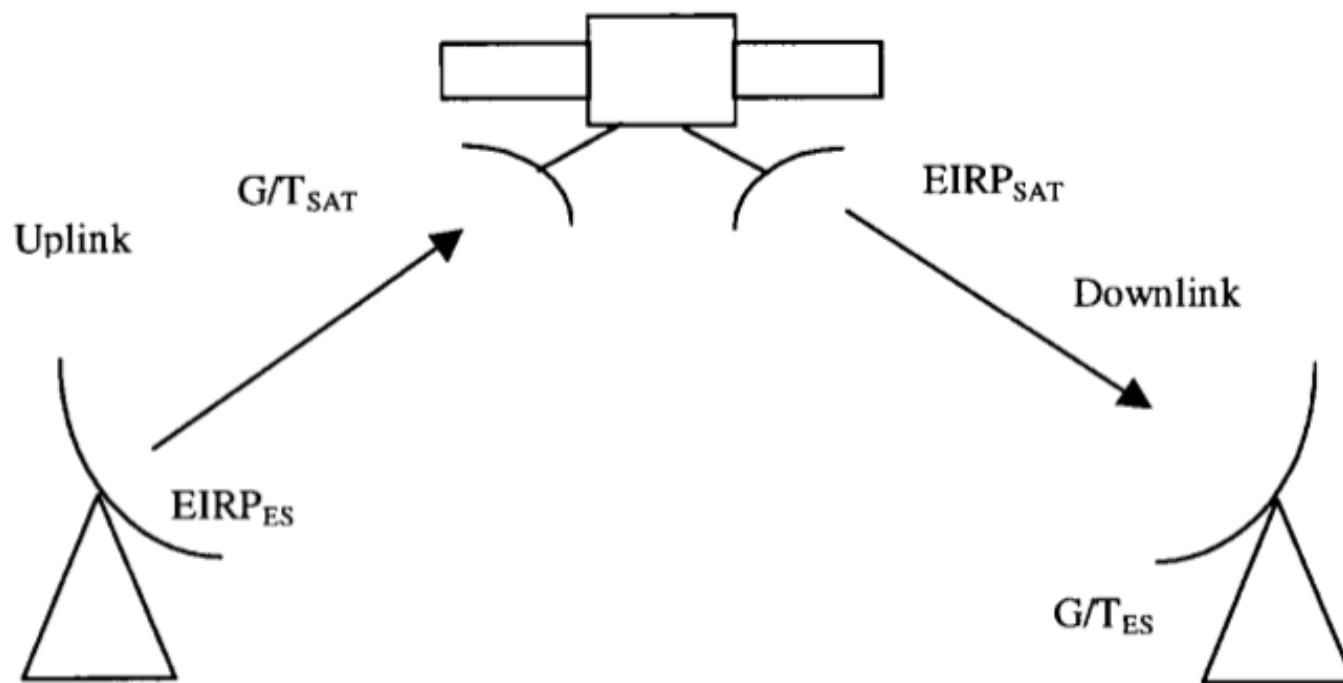
Earth station		
	Transmit power (W)	10
	Antenna diameter (m)	2
	Antenna efficiency (%)	55
	3-dB beamwidth (°)	1.9
	Transmit gain (dBi)	28.6
	Transmit EIRP (dBW)	38.6
Up path losses		
	Transmit frequency (GHz)	6.0
	Transmission distance (km)	38000
	Free space loss (dB)	-199.6
	Atmospheric attenuation (dB)	0.3
Satellite		
	Received power flux density (dB Wm⁻²)	-124
	G/T (dB/K)	-1.0
	Bandwidth (kHz)	150
Link parameters		
	C/N (dB)	14.2
	Target C/N (dB)	8
	Link margin (dB)	6.2

4. SATELITSKI TRANSPONDER

Satelitski transponder

- Satelitska *payload* tehnologija se može klasifikovati na osnovu načina pokrivanja određenog područja i odgovarajuće kompleksnosti:
- *Simple Wide-Beam* pokrivanje područja
- *Spot-Beam* pokrivanje područja uz primjenu statičke komutacije između *spot beam*-ova
- *Spot-Beam* pokrivanje područja uz primjenu SS-TDMA (*Satellite Switched Time Division Multiple Access*)
- *Spot-Beam* pokrivanje područja uz primjenu rutiranja na satelitu (*Path Routing On-board the Satellite*)

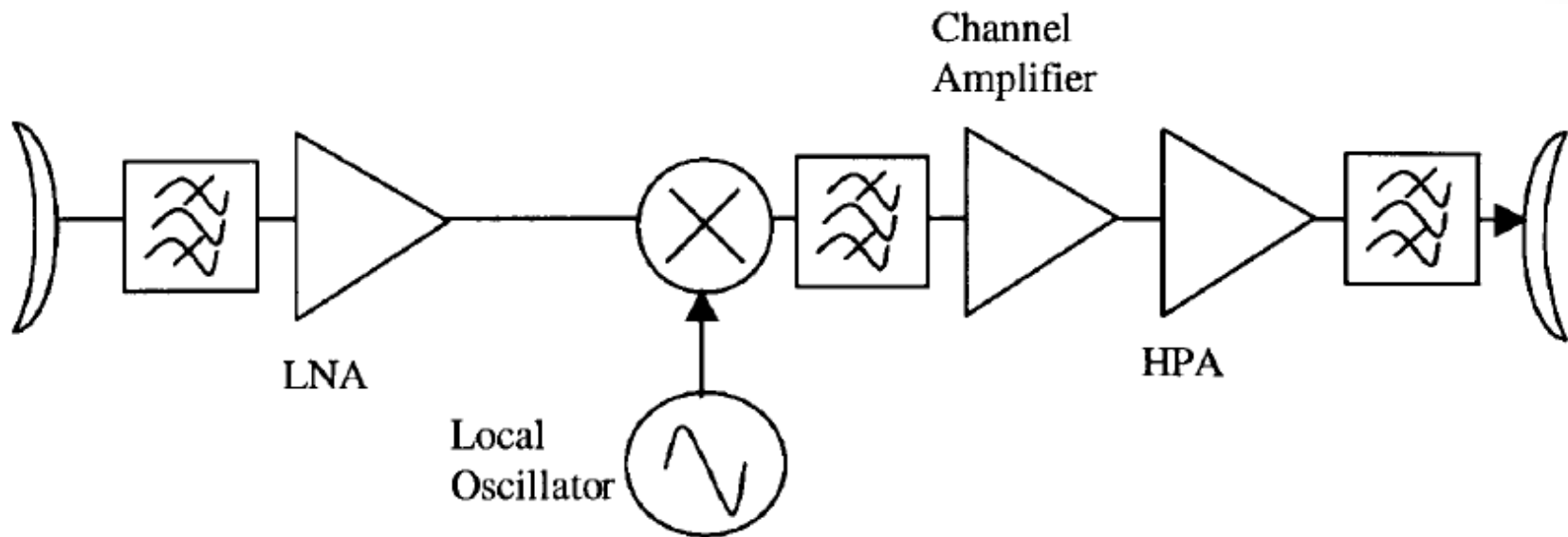
Satelitski transponder



Satelitski transponder

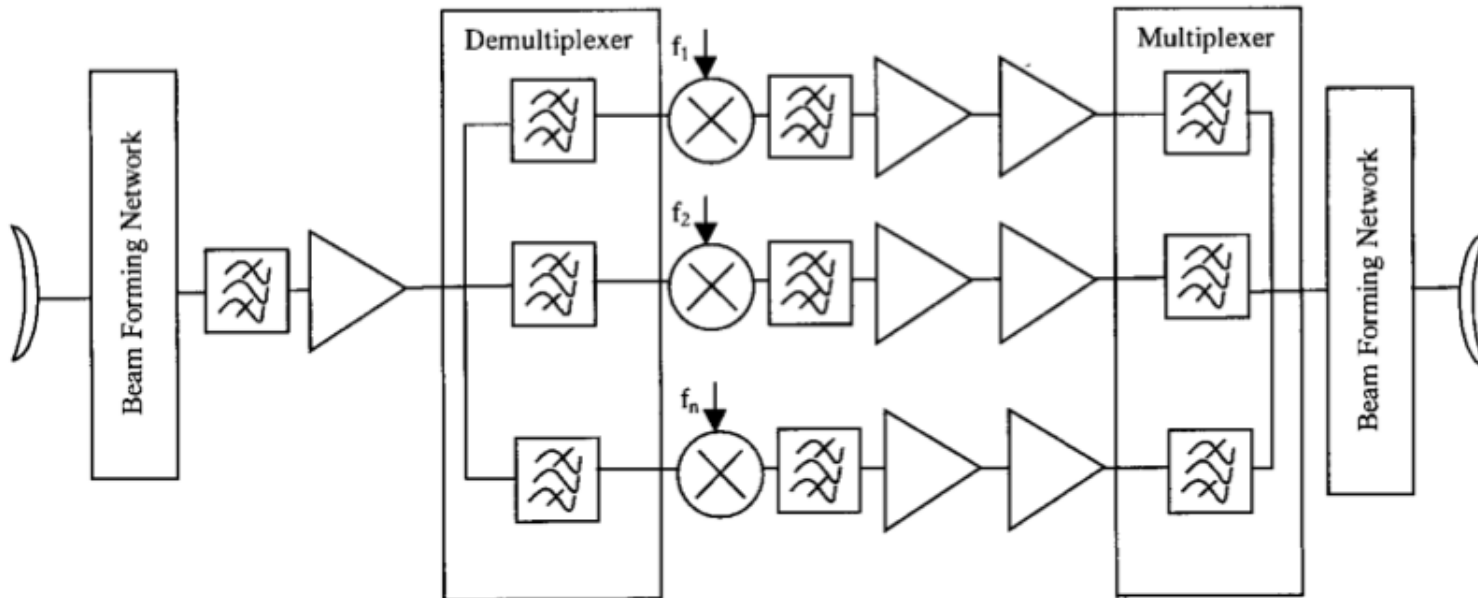
Simple Wide-Beam

- Ovo je najjednostavniji tip transpondera. Satelit jednostavno obavlja funkciju relay-a. Ovaj tip transpondera je primijenjen kod INMARSAT-2 satelita. Transponder se u ovom slučaju koristi za prijem/predaju *single carrier*-a kao što je prikazano na slici



Satelitski transponder

Spot-Beam transponder uz primjenu statičke komutacije između *spot beam*-ova



Multi-carrier payload konfiguracija

Satelitski transponder

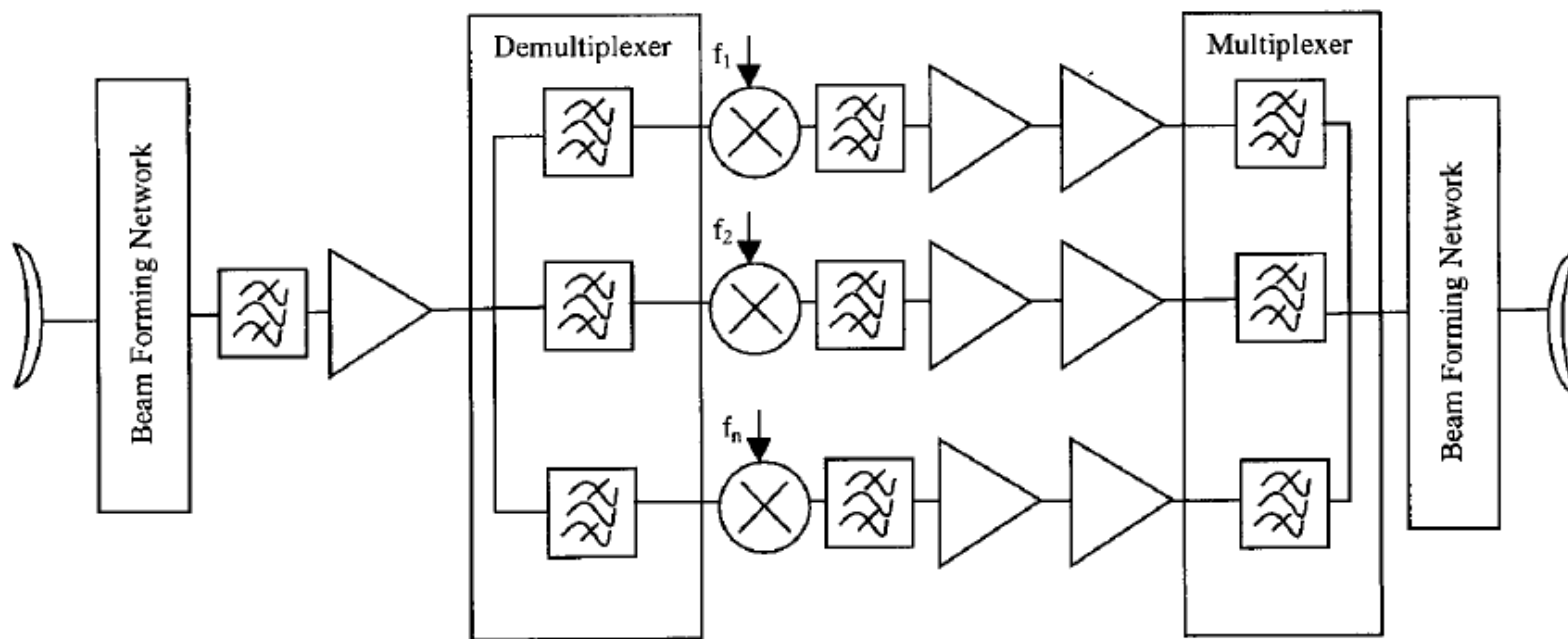
Spot-Beam transponder uz primjenu statičke komutacije između *spot beam*-ova

- U ovom slučaju je transmisioni put između određenog uplink *spot beam*-a i odgovarajućeg downlink *spot beam*-a fiksiran. Nema procesiranja prijemnog signala na satelitu prije transmisije.
- *Spot-beam* pokrivanje omogućava *reuse* frekvencija, povećavajući mogućnosti upravljanja na samom satelitu. Ipak, uniformna alokacija *spot beam*-ova unutar područja pokrivanja nije dobra uz varijacije intenziteta saobraćaja. Da bi se prevazišao ovaj problem BFN (*beam forming networks*) se može primijeniti u cilju promjene orijentacije *spot beam*-ova saglasno varijacijama intenziteta saobraćaja u području pokrivanja satelita.

Satelitski transponder

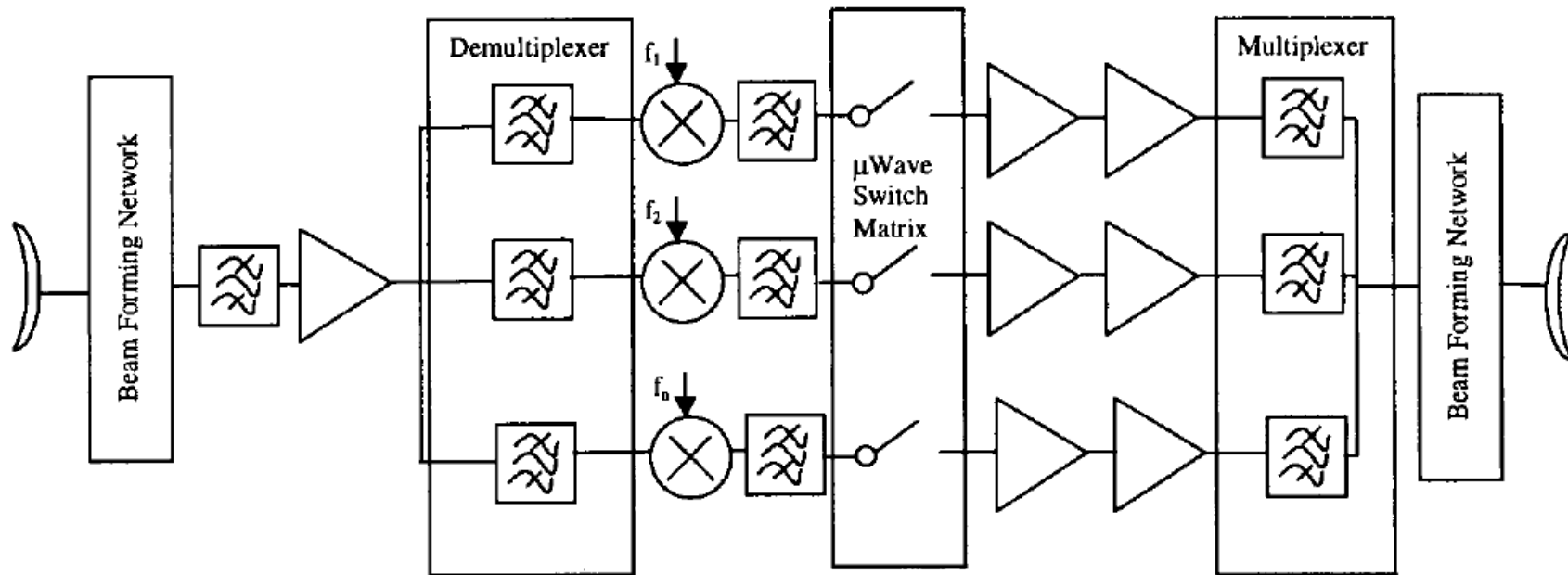
Spot-Beam transponder uz primjenu statičke komutacije između *spot beam*-ova

- Nakon demultipleksera i translacije frekvencije podnosilaca u svakom kanalu se signal pojačava, nakon čega se individualni kanali ponovo grupišu u multiplekseru.



Satelitski transponder

*Spot-Beam transponder uz primjenu SS-TDMA
(Satellite Switched Time Division Multiple Access)*



SS-TDMA payload sa komutacijom u mikrotalasnom opsegu između spot beam-ova

Satelitski transponder

*Spot-Beam transponder uz primjenu SS-TDMA
(Satellite Switched Time Division Multiple Access)*

- SS-TDMA primjenjuje *high-speed* dinamičke komutacione matrice na satelitu. Matrice se mijenjaju saglasno prethodno utvrđenim algoritmom koji se ponavlja u svakom TDMA frejmu.
- Komutacija između uplink i downlink spot-beam-ova se može obaviti u osnovnom opsegu ili u mikrotalasnom opsegu.
- Kao rezultat toga, svaki uplink spot-beam može se upariti sa downlink spot beam-om u određenom trajanju tokom svakog TDMA frejma.

Satelitski transponder

Spot-Beam transponder uz primjenu rutiranja na satelitu (*Path Routing On-board the Satellite*)

- U ovom slučaju se rutiranje se može obavljati između *spot beam*-ova na istom satelitu kao i između različitih satelita korišćenjem inter-satelitske link tehnologije.
- “*Digital exchange satellite*” konfiguracija predstavlja maksimalan nivo kompleksnosti na satelitu. Uz ovakvu konfiguraciju se sve funkcije kontrole poziva, kao što su rutiranje, mogu obaviti na satelitu, tj. nije TNMS (*terrestrial network management station*) neophodan.
- Direktni *mobile-to-mobile* pozivi bez potrebe za *dual-hop* prenosom su ostvarivi ukoliko su oba mobilna terminala u području pokrivanja istog satelita ili alternativno ukoliko sateliti posjeduju mogućnost za obavljanje inter-satelitskog rutiranja.
- Satelit u ovom slučaju mora obavljati funkcije koje su inače vezane za terestrialnu mrežnu infrastrukturu.

Satelitski transponder

Telenor THOR 7 Ka satelit



Thor 7 [Proizvodnja, SSLoral]

Satelitski transponder

Telenor THOR 7 Ka satelit

Telenor je izabrao SS/Loral u junu 2011. da bi obezbijedio telekomunikacioni satelit Thor 7.

Thor 7 je baziran na SS/L platformi serije SSL-1300 i opremljen sa dva payload-a.

Prvi *payload* sadrži 11 aktivnih Ku band transpondera, koji će se koristiti za rastuće potrebe broadcasting-a u Centralnoj i Istočnoj Evropi.

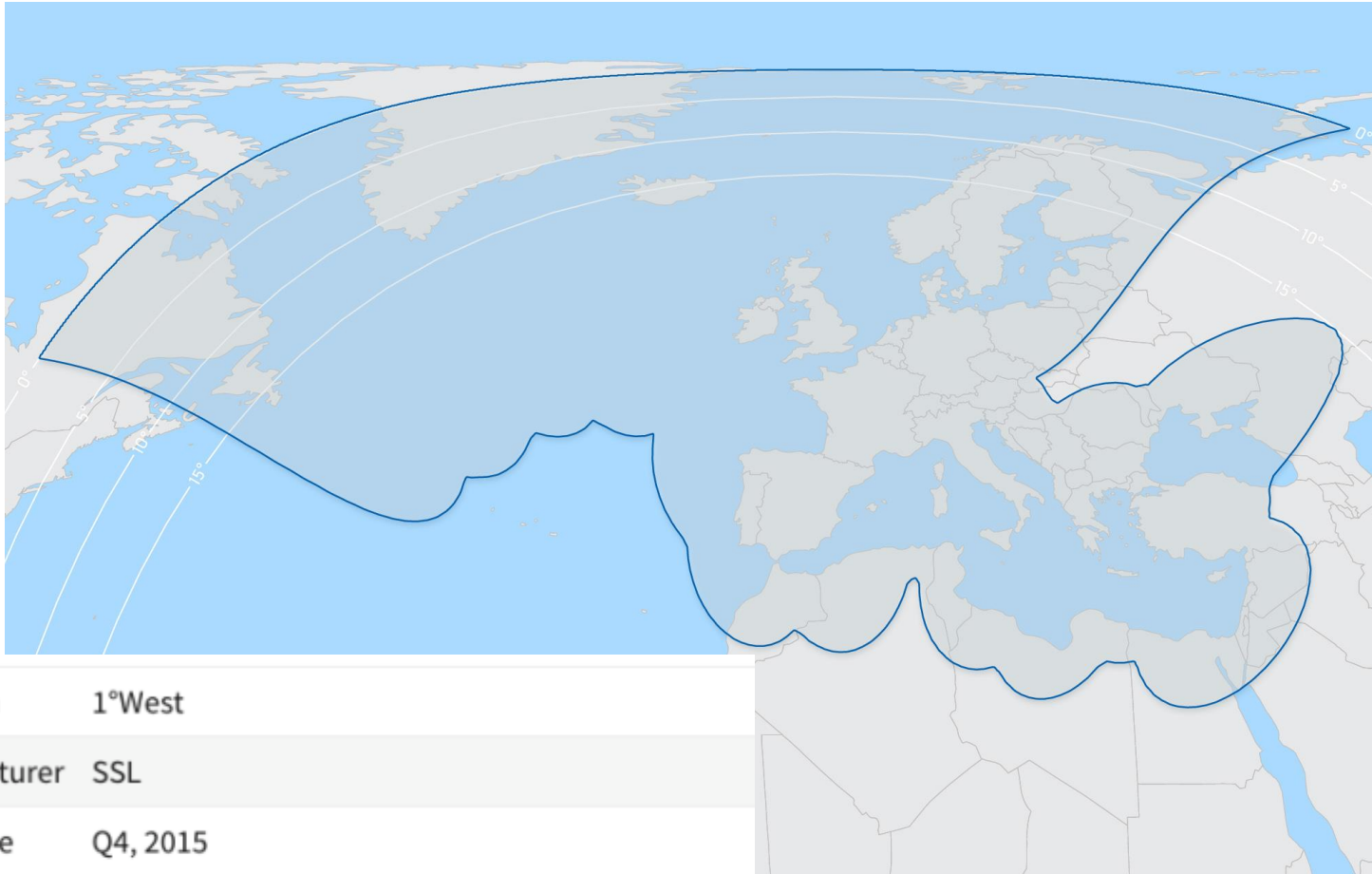
Drugi *payload* funkcioniše u Ka-opsegu, opremljen multi-spotovima koji pokrivaju Sjeverno more, Norveško more, Crveno more, Baltičko more, Persijski zaliv i Mediteran. Ključna uloga je omogućavanje velikih brzina prenosa podataka u okviru pomorskog sektora.

Proizvođač - Space Systems/Loral, Palo Alto, u Kaliforniji.



Satelitski transponder

Telenor THOR 7 Ka satelit



Location 1°West

Manufacturer SSL

In-service date Q4, 2015

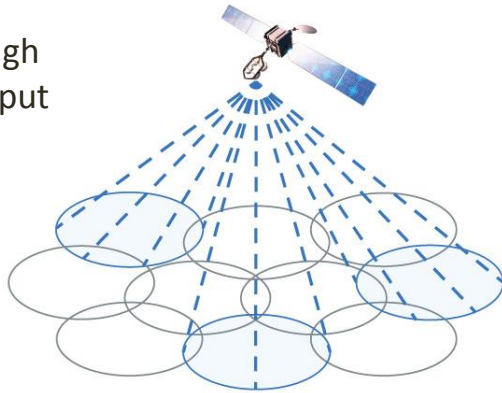
Target area Mobility services: North Sea, Red Sea, Baltic Sea, Persian Gulf & Mediterranean Sea

Satelitski transponder

Telenor THOR 7 Ka satelit

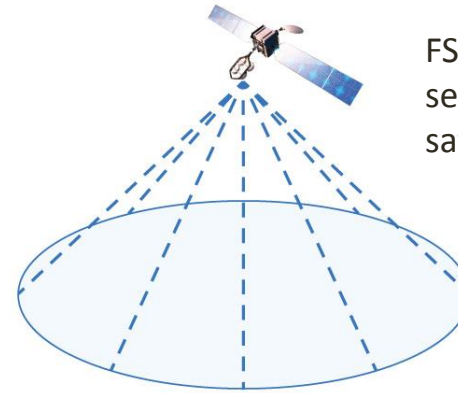
HTS SATELLITES

HTS – High throughput satellite



REGULAR FSS SATELLITES

FSS - fixed service satellite



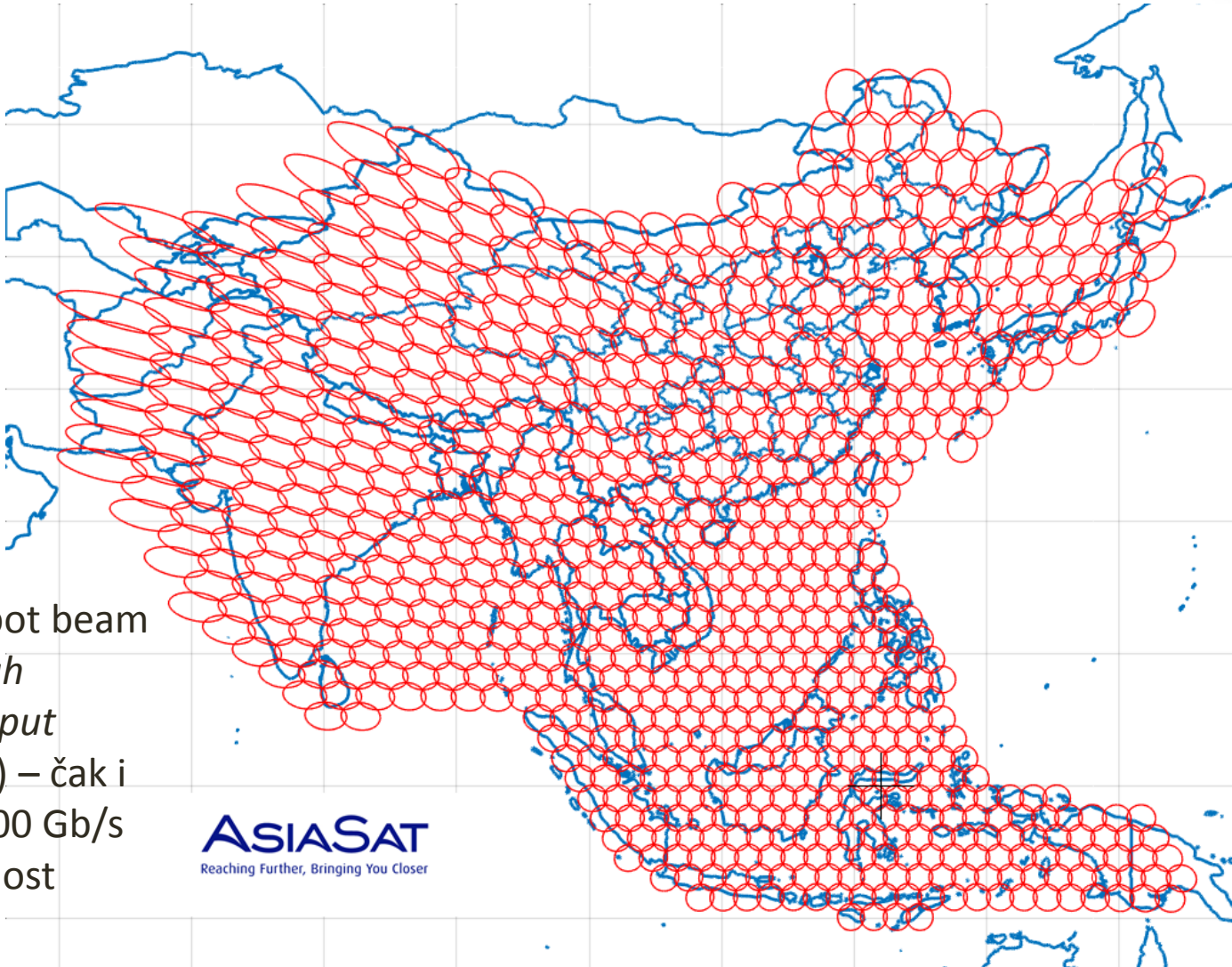
Ku-band, Ka-band	FREQUENCY	C-band, X-band, Ku-band, Ka-band
Up to 140 Gbps depending on size and frequency usage per satellite. Up to 2 Gbps within a spot beam.	CAPACITY	1-10 Gbps per satellite (depending on number of transponders)
Increased bandwidth for a lower cost per bit. Preferred solution for point to point broadband communication.	ADVANTAGES	Wide coverage of up to 1/3 of the earth surface. Preferred solution for point to multipoint communication such as TV broadcasting as well as large VSAT networks.

- ✓ High throughput
- ✓ Dedicated beam for mobility
- ✓ Designed for data
- ✓ Lower cost per Mbps

- ✓ Large coverage
- ✓ Broadcasting
- ✓ Designed for TV
- ✓ Lower throughput

Satelitski transponder

AsiaSat multispot beam



Multi-spot beam
HTS (*high
throughput
satellite*) – čak i
preko 100 Gb/s
propusnost

ASIASAT
Reaching Further, Bringing You Closer

Satelitski transponder

Wide beam vs multispot beam

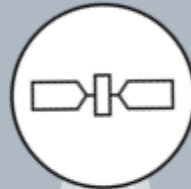
SES traditional
Widebeam GEO
offering



SES Hybrid
Widebeam & HTS
GEO offering



HTS MEO offering



Current SES Fleet:
Widebeam GEO, HTS
GEO, HTS MEO



5. TEHNIKE VIŠESTRUKOG PRISTUPA

- FDMA (*Frequency Division Multiple Access*)
- TDMA (*Time Division Multiple Access*)
- CDMA (*Code Division Multiple Access*)
- DAMA (*Demand Assigned Multiple Access*)
- Hibridna rešenja koja koriste kombinaciju FDMA/TDMA
- OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*)
- SC-OFDMA (*Single Carrier Frequency Division Multiple Access*)
- SDMA (*Spatial Division Multiple Access*)

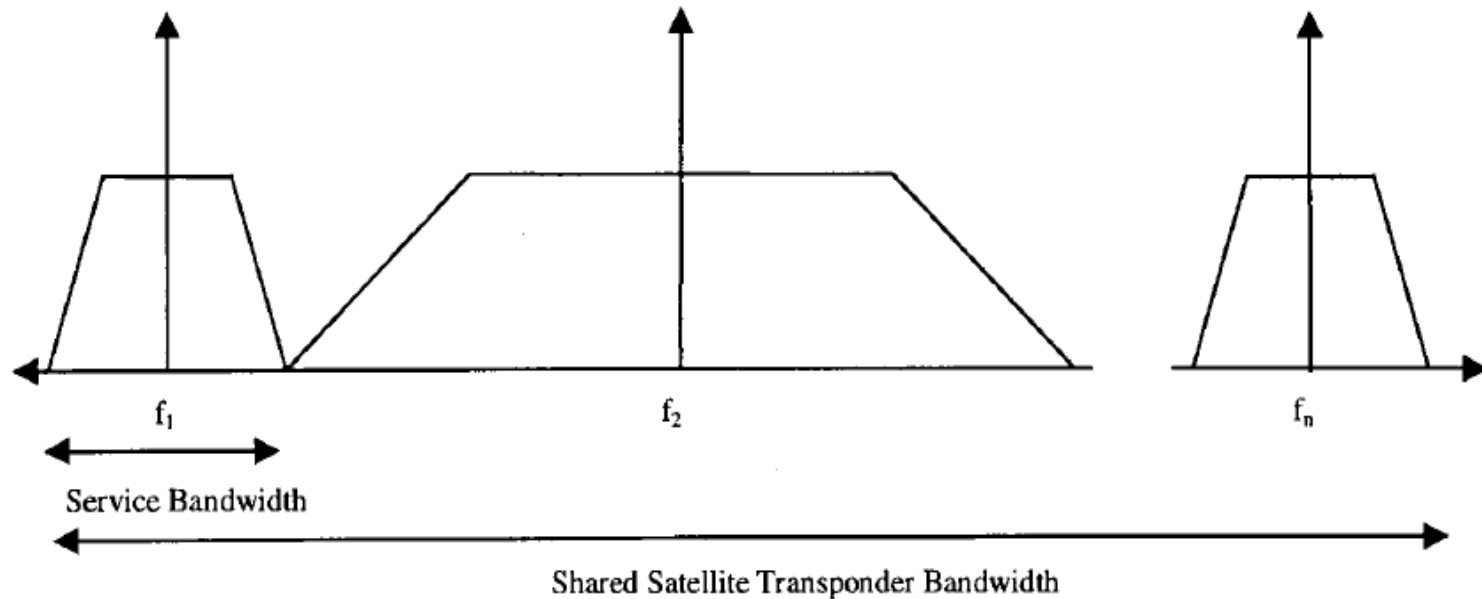
Tehnike višestrukog pristupa

U satelitskim komunikacijama se koriste sledeće tehnike višestrukog pristupa:

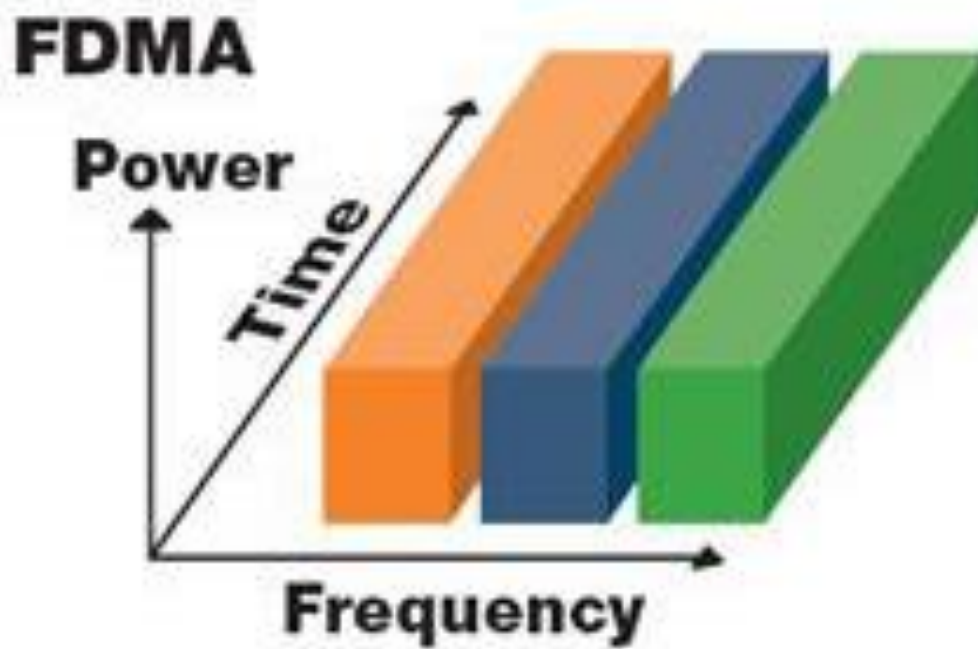
- ✓ FDMA (*Frequency Division Multiple Access*);
- ✓ TDMA (*Time Division Multiple Access*),
- ✓ CDMA (*Code Division Multiple Access*),
- ✓ DAMA (*Demand Assigned Multiple Access*)
- ✓ Hibridna rešenja koja koriste kombinaciju FDMA/TDMA
- ✓ OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*)
- ✓ SC-OFDMA (*Single Carrier Frequency Division Multiple Access*)
- ✓ SDMA (*Spatial Division Multiple Access*)

Tehnike višestrukog pristupa - FDMA

- FDMA je najjednostavnija i najčešće korišćena tehnika višestrukog pristupa u satelitskom komunikacijama. Frekvencijski spektar koji je dostupan satelitskom transponderu se dijeli (tipično 36 ili 72 MHz za geostacionarne satelite) na kanale, koji se dodjeljuju korisnicima.



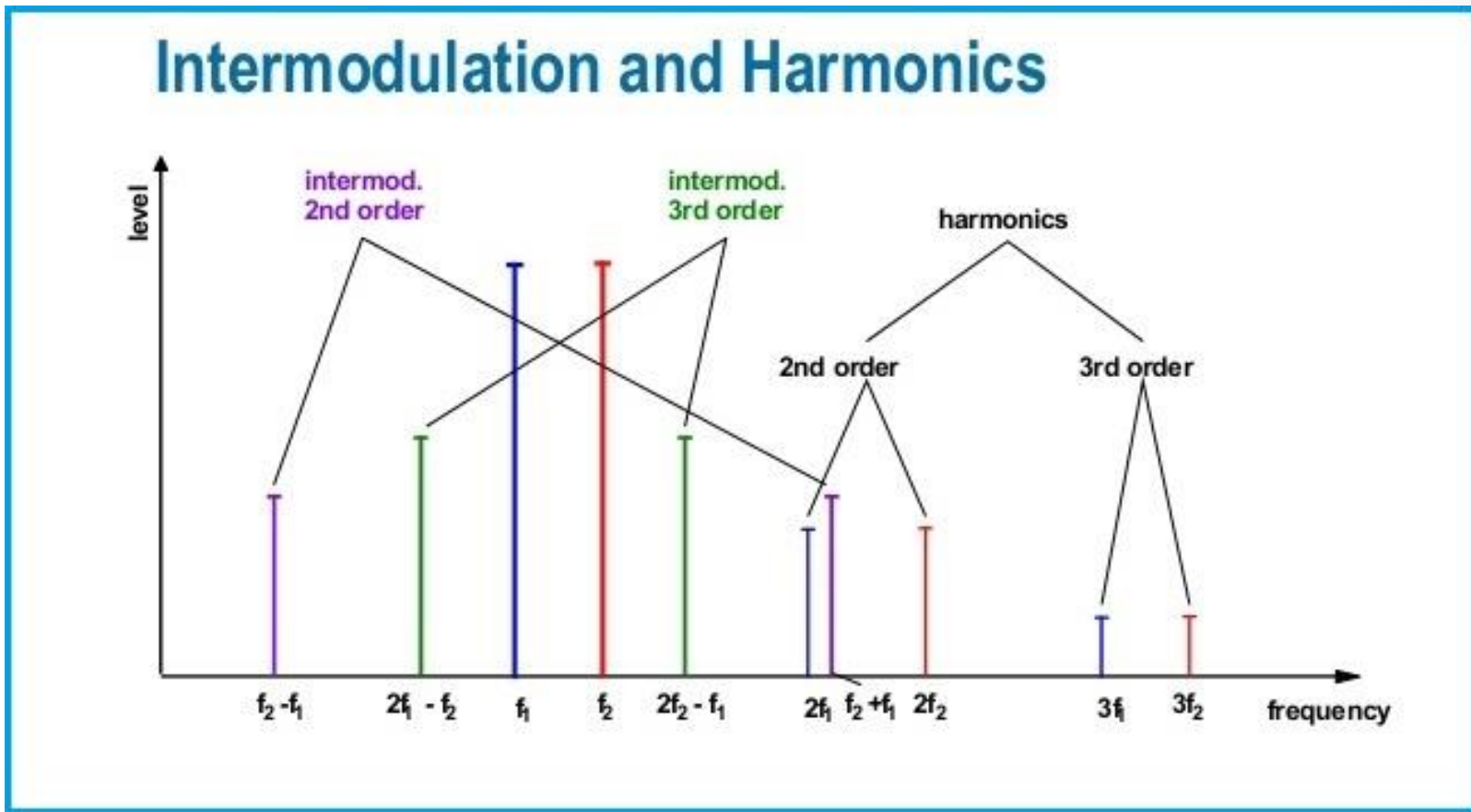
Tehnike višestrukog pristupa - FDMA



Tehnike višestrukog pristupa - FDMA

- Broj kanala koje transponder može da podrži zavisi i od inter-modulacionih karakteristika. Takođe, neophodni su zaštitni opsezi između nosilaca da bi se izbjegla međusobna interferencija.
- Kada se koriste negeostacionarni sateliti, širina zaštitnih opsega zavisi od Doppler-ovog pomjeraja, koji se povećava se povećanjem frekvencije.
- Pošto je zaštitni opseg neiskorišćeni resus, dizajner mreže treba da pažljivo odredi kompromis između interferencije i iskorišćenja spektra.

Tehnike višestrukog pristupa - FDMA



Primjer – dva 10 MHz signala na 6.01 GHz i 6.02 GHz, u 72 MHz transponderu
2-IM produkt je na 12.03 GHz

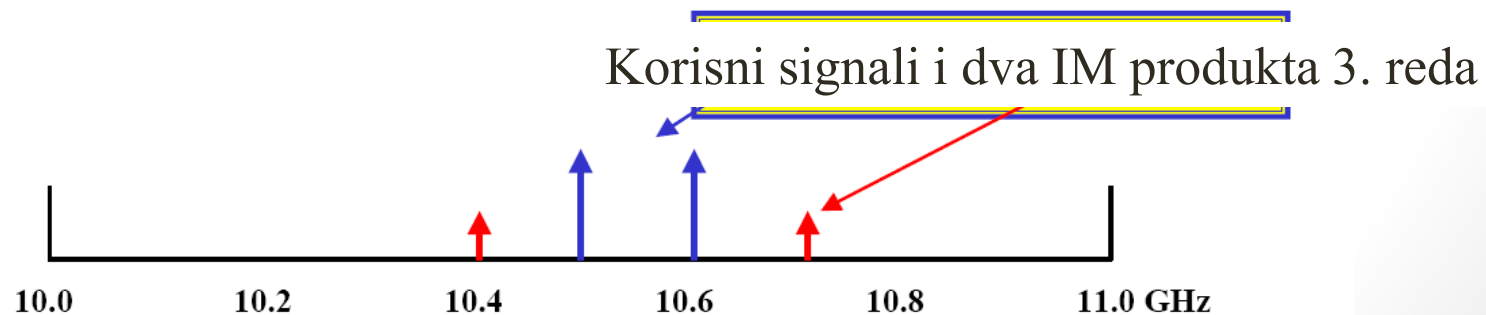
3-IM producti su na $[2(6.01) - 6.02] = 6.00$ i $[2(6.02) - 6.01] = 6.03$ GHz

Tehnike višestrukog pristupa - FDMA

$$f_1 = 10.5 \text{ GHz and } f_2 = 10.6 \text{ GHz}$$

Intermodulacioni produkti trećeg reda su:

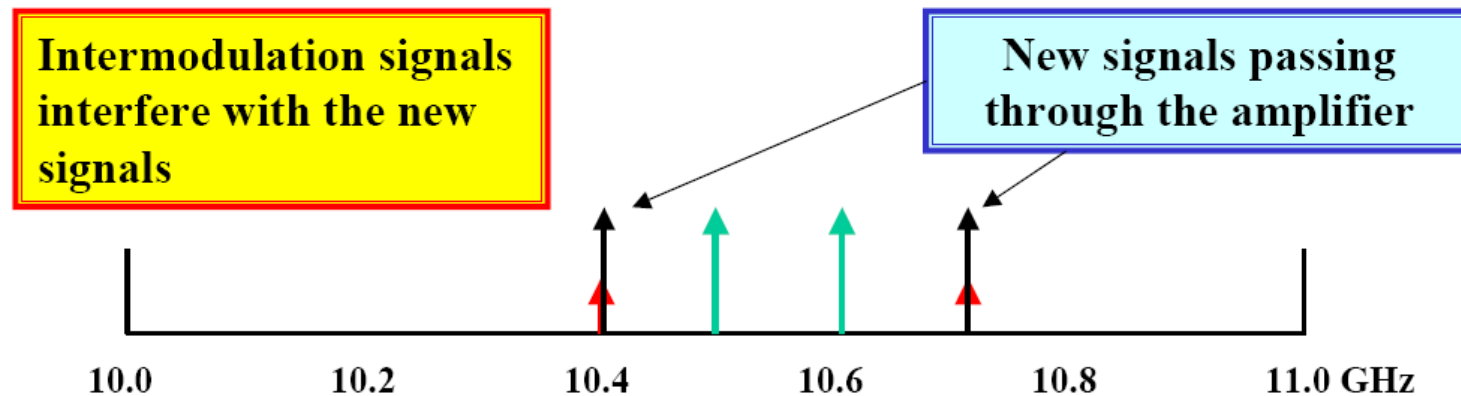
$$\begin{aligned} 2f_1 - f_2 \quad \text{i} \quad 2f_2 - f_1 \\ = (2 \times 10.5 - 10.6) \quad \text{i} \quad (2 \times 10.6 - 10.5) \\ = 10.4 \text{ GHz} \quad \text{i} \quad 10.7 \text{ GHz} \end{aligned}$$



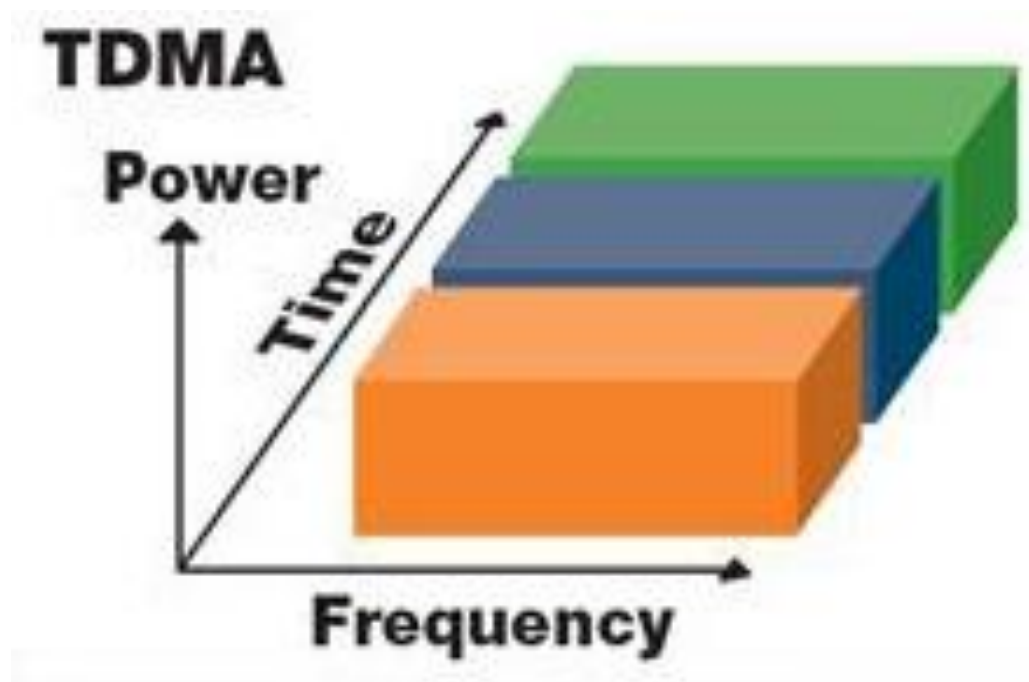
Tehnike višestrukog pristupa - FDMA

IM produkti prouzrokuju in-band interferenciju

Ako drugi korisnik ima signale na 10.4 i 10.7 GHz, dolazi do interferencije sa IM produktima trećeg reda



Tehnike višestrukog pristupa - TDMA



Tehnike višestrukog pristupa - TDMA

- Kod primjene TDMA frekvencijski spektar koji je na raspolaganju satelitskom transponderu je dostupan aktivnom korisniku tokom određenog perioda (poznatog kao *burst*), tj. svaki korisnik u određenom vremenskom slotu koristi cijeli zajednički frekvencijski spektar. Slotovi formiraju frejm. Da bi se osiguralo da svaki korisnik emituje u svom slotu potreban je *reference clock* na osnovu koga svi korisnici mogu da sinhronizuju transmisiju.
- Ovaj referentni signal se šalje u formi *reference burst*-a na početku svakog frejma. Drugi *reference burst* se takođe može slati nakon prvog u cilju redundanse. *Reference burst* se šalje od strane referentne zemaljske stanice i sastoji se od tri dijela.

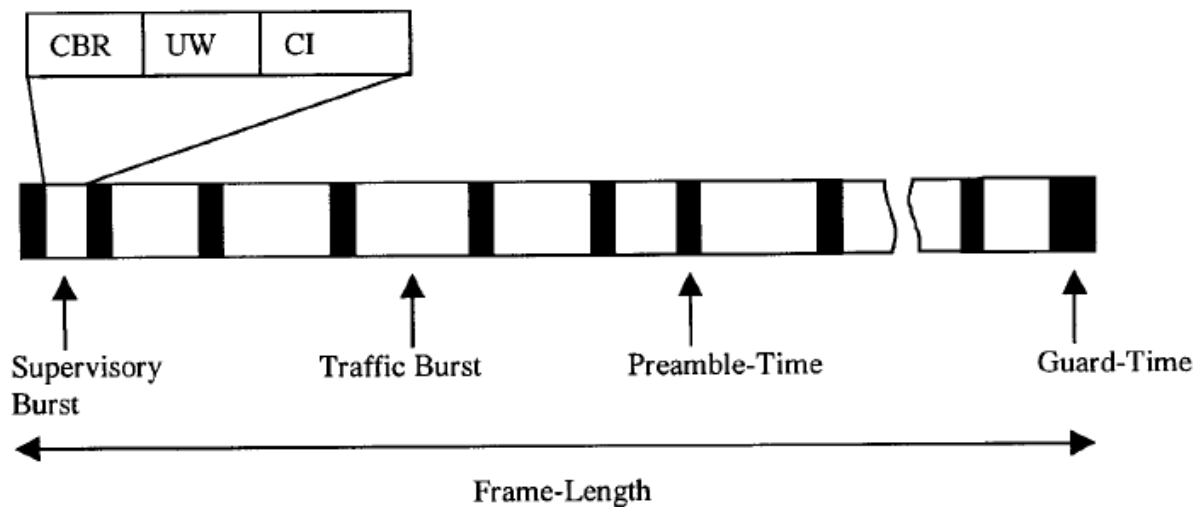
Tehnike višestrukog pristupa - TDMA

- Reference burst sadrži: CBR (*Carrier and bit timing recovery*) koji omogućava mobilnim stanicama tačno podešavanje frekvencije i trajanja bita, UW (*Unique word*) koji obezbjeđuje *burst* referentno vrijeme. CI (*Control information*) koji informiše korisnike o poziciji njihovog slota u frejmu pri čemu nosi i određene informacije o menadžmentu mreže.
- *Traffic burst* je sličan sa *reference burst*-om. Sadrži CBR i UW sekvence nakon čega slijede određene kontrolne informacije. To se zajedno naziva preambula. *Data burst* slijedi nakon preambule.
- Posljednja komponenta TDMA frejma je zaštitni vremenski slot koji se koristi da se ne bi signali različitih korisnika preklapali. Tokom ovog zaštitnog vremenskog slota nema transmisije pa se on može smatrati kao *overhead*.

Tehnike višestrukog pristupa - TDMA

- Ako je T_F je trajanje frejma, R_F brzina prenosa (b/s), N_E broj zemaljskih stanica, N_R broj referentnih earth stanica, b_p je broj bita u preambuli *traffic burst*-a, b_r broj bita u *reference burst*-u; b_g ekvivalentan broj bita u zaštitnom intervalu, tada je efikasnost TDMA frejma:

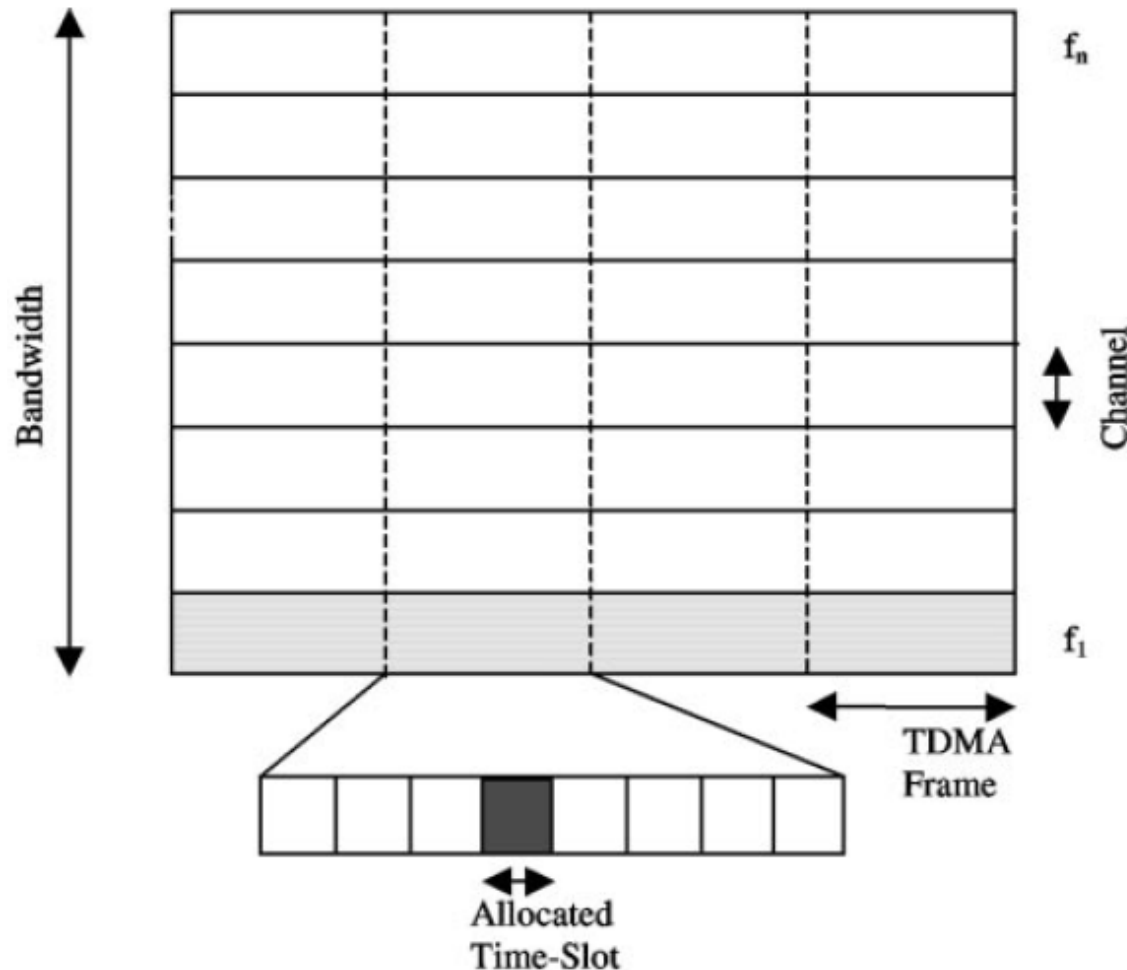
$$\eta = \frac{R_F T_F - N_E b_p - N_R b_r - b_g (N_R + N_E)}{R_F T_F}$$



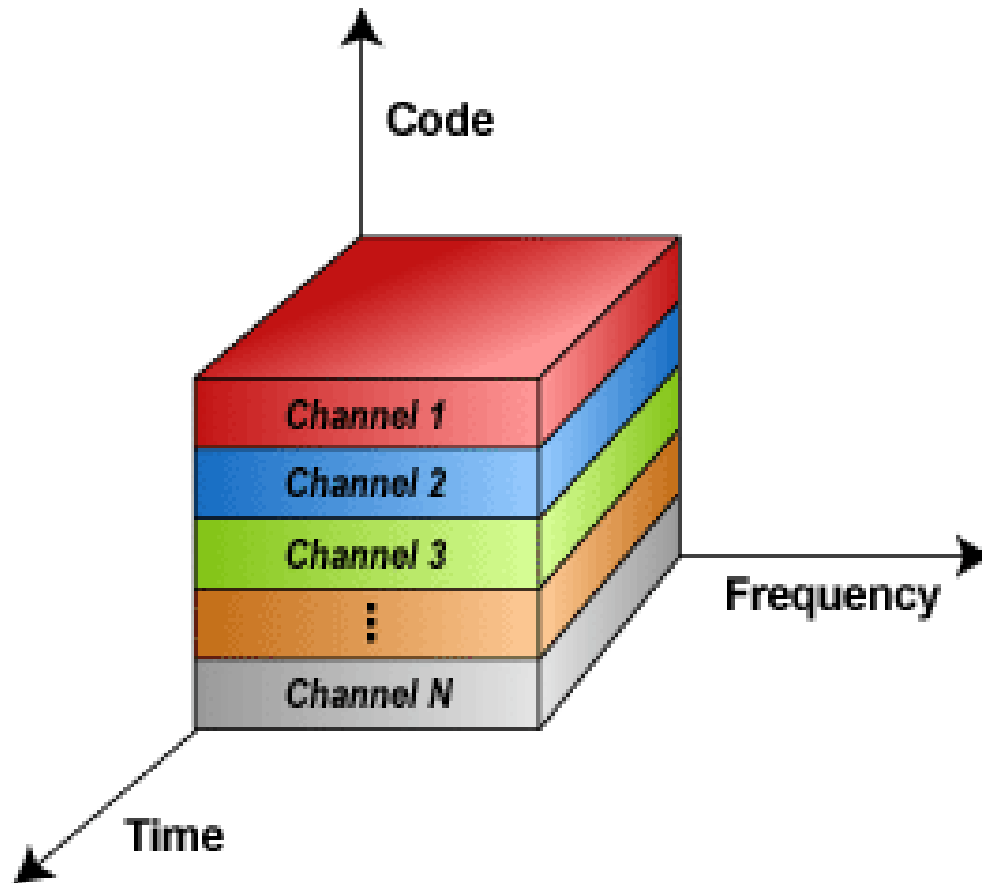
Tipična struktura TDMA frejma

Tehnike višestrukog pristupa - FDMA/TDMA

- Na slici je dat primjer hibridne FDMA/TDMA tehnike višestrukog pristupa



Tehnike višestrukog pristupa - CDMA



Tehnike višestrukog pristupa - CDMA

- Kod FDMA i TDMA višestrukog pristupa korisniku se dodjeljuje ili dio raspoloživog spektra ili određeni broj vremenskih slotova. Za razliku od toga, kod višestrukog pristupa na bazi kodne raspodjele (CDMA) svi korisnici pristupaju cjelokupnom raspoloživom opsegu i koriste ga kontinualno u vremenu. Korisnici su međusobno razdvojeni jedinstvenim pseudo-slučajnim sekvencama ili kodovima. CDMA predstavlja tehniku prenosa proširenim opsegom (spread spectrum). Prenos u proširenom opsegu može se realizovati tehnikom direktne sekvence (Direct Sequence – DS) ili tehnikom frekvencijskog skakanja (Frequency Hopping – FH), te stoga razlikujemo DS-CDMA i FH-CDMA.

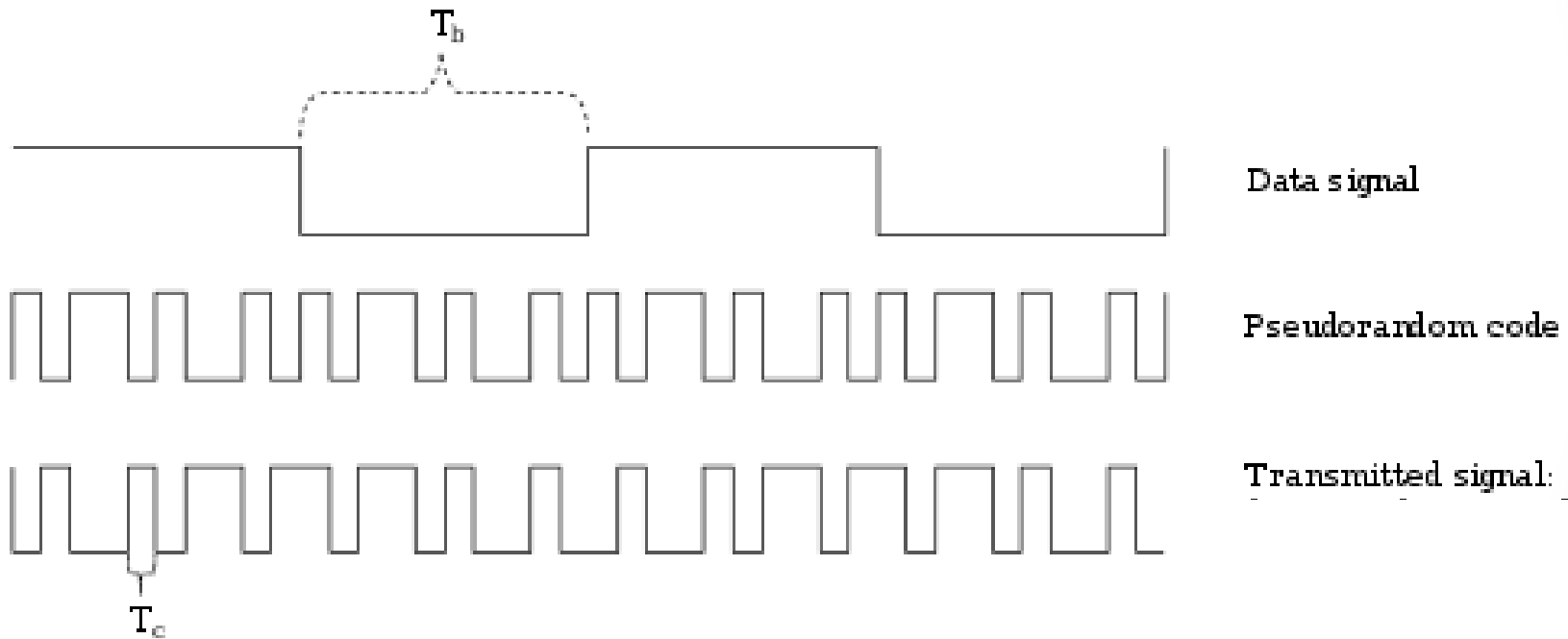
Tehnike višestrukog pristupa - DS-CDMA

Tehnika direktne sekvence realizuje se množenjem originalnog digitalnog signala pseudo-slučajnom (PN) sekvencom čije je trajanje signalizacionog intervala mnogo manje od trajanja signalizacionog intervala originalnog signala. Signal na izlazu modulatora može se zapisati u obliku

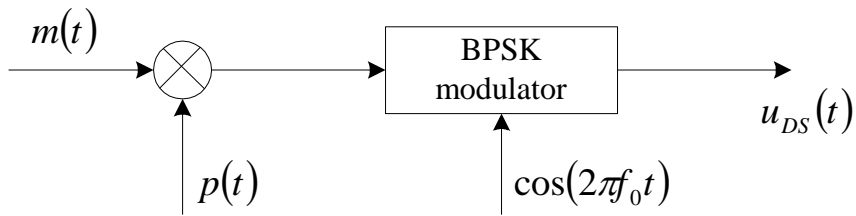
$$u_{DS}(t) = m(t)p(t)\cos(2\pi f_0 t)$$

gdje je $m(t)$ originalni modulišući signal, $p(t)$ spreading sekvenca i f_0 frekvencija nosioca. Modulišući signal čine simboli trajanja T , a kodnu (spreading) sekvencu čipovi trajanja $T_c \ll T$. Pri tome važi $T = KT_c$, gdje je K kodni dobitak (*processing gain*). Spektar izlaznog signala je K puta širi od spektra modulišućeg signala

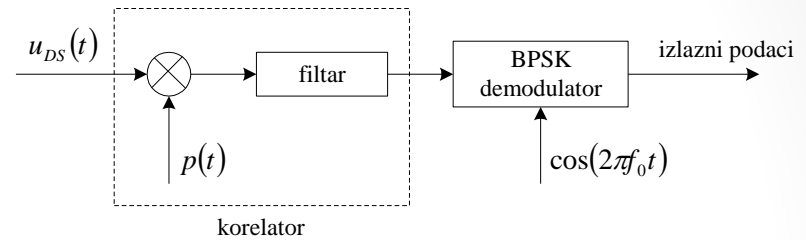
Tehnike višestrukog pristupa - DS-SS-SSMA



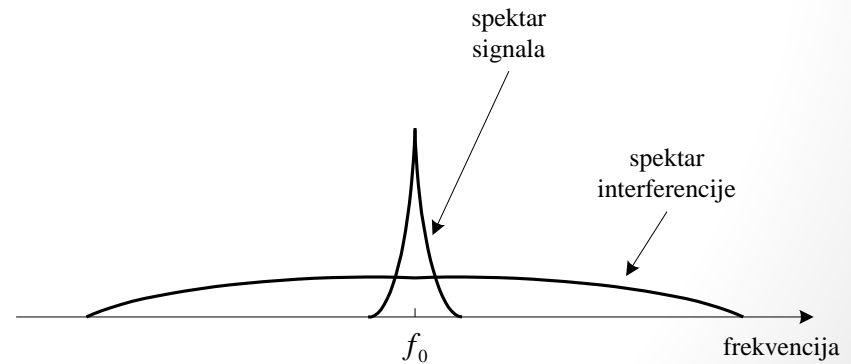
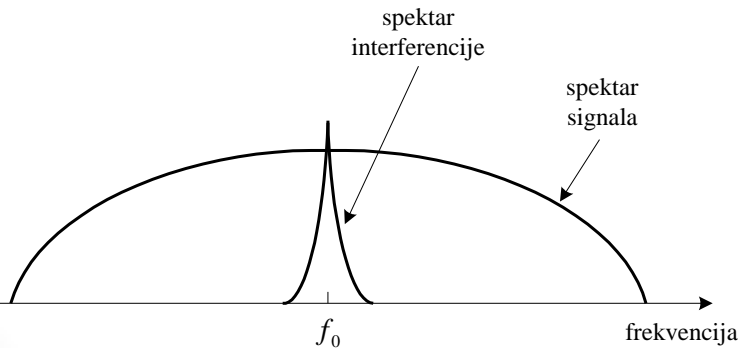
Tehnike višestrukog pristupa - DS-CDMA



Struktura DS modulatora

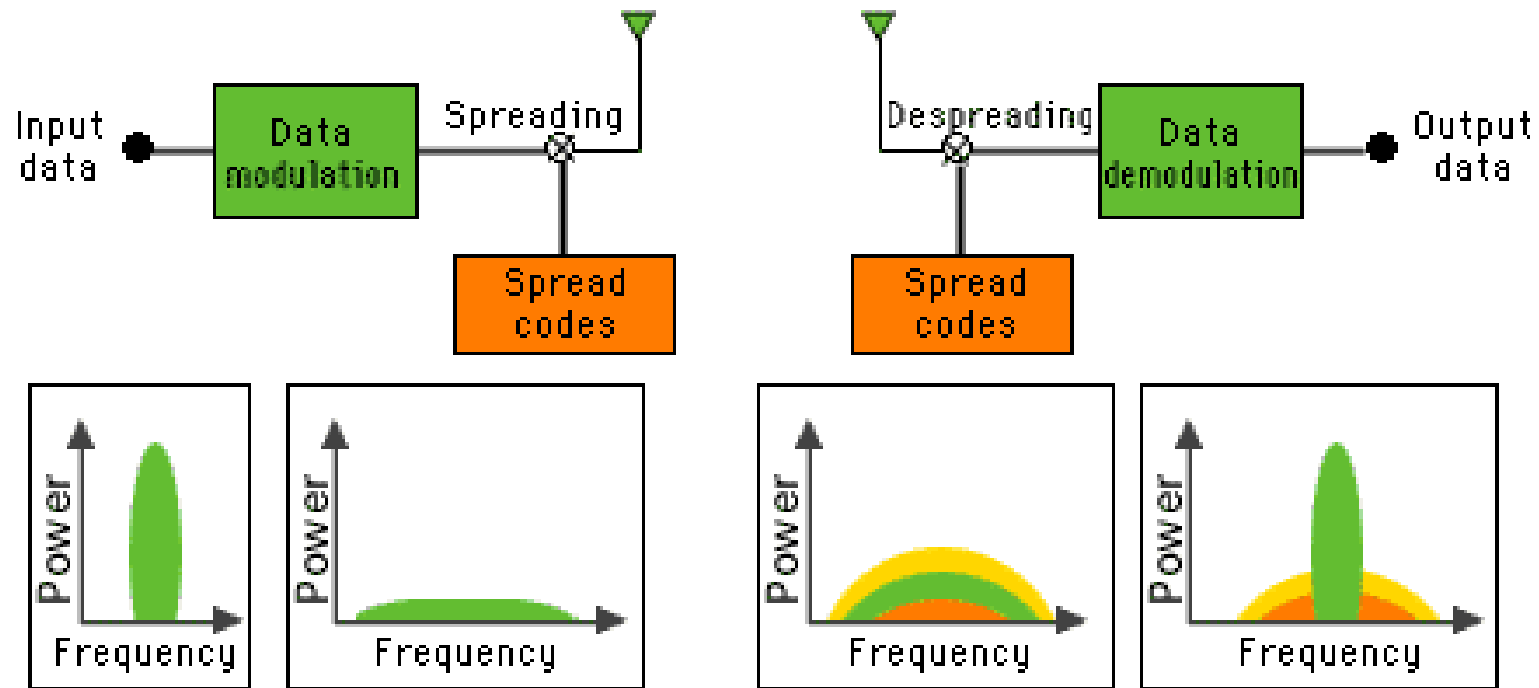


Struktura DS demodulatora



Poništavanje uticaja uskopolasne interferencije

Tehnike višestrukog pristupa - DS-SS-SSA



Izdvajanje korisnog signala

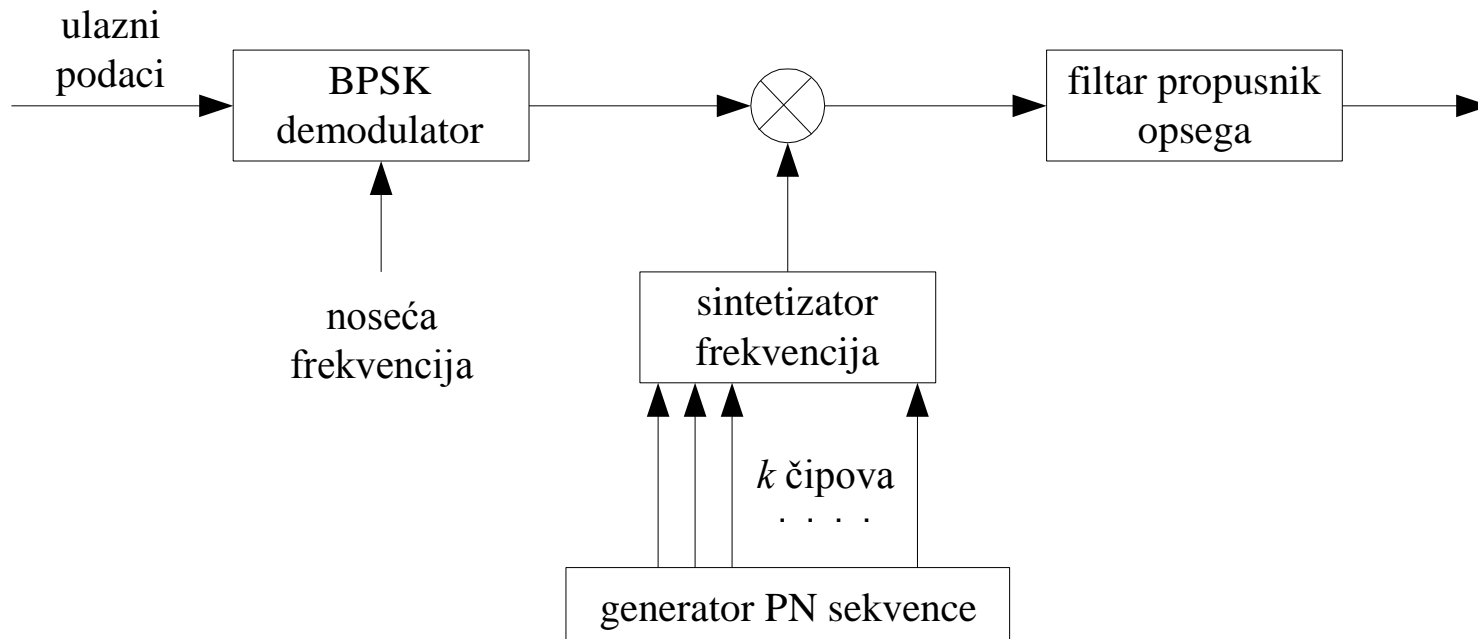
Tehnike višestrukog pristupa - DS-CDMA

- Kod DS-CDMA višestrukog pristupa *uplink* i *downlink* prenos se bitno razlikuju. Usled različitih propagacionih uslova signali koji potiču od različitih korisnika imaju različit nivo snage. Obzirom da svi korisnici rade na istoj nosećoj frekvenciji, na *uplink*-u je izražen *near/far* problem. Ova pojava se manifestuje maskiranjem signala željenog korisnika drugim neželjenim signalom. Interferencija je posljedica nesavršene ortogonalnosti kodnih sekvenci (koje u realnom slučaju imaju ne-nultu kros-korelaciju) dodijeljenih pojedinim korisnicima u CDMA sistemu. Rješenje za *near/far* problem jeste kontrola snage koja će obezbijediti da do bazne stanice signali svih korisnika stižu sa jednakim nivoom snage. Dakle, primarni cilj kontrole snage je da se smanji unutarćelijska interferencija i na taj način poveća kapacitet sistema.
- Kontrola snage može biti realizovana kao *open-loop* ili *closed loop*.

Tehnike višestrukog pristupa - FH-CDMA

- Koncept prenosa proširenim spektrom sa frekvencijskim skakanjem podrazumijeva promjenu frekvencije nosioca prema pseudo-slučajnoj šemi (hopping sekvenca). U zavisnosti od brzine promjene kanala (nosioca) u odnosu na brzinu signaliziranja originalnih simbola, razlikuje se brzo i sporo frekvencijsko skakanje. Kod brzog frekvencijskog skakanja (Fast Frequency Hopping - FFH) brzina promjene frekvencije nosioca veća je od brzine signaliziranja tako da se u toku trajanja jednog simbola promijeni više frekvencijskih kanala. Kod sporog frekvencijskog skakanja (Slow Frequency Hopping - SFH) brzina skakanja je manja od brzine signaliziranja tako da se nekoliko originalnih simbola prenosi istim nosiocem

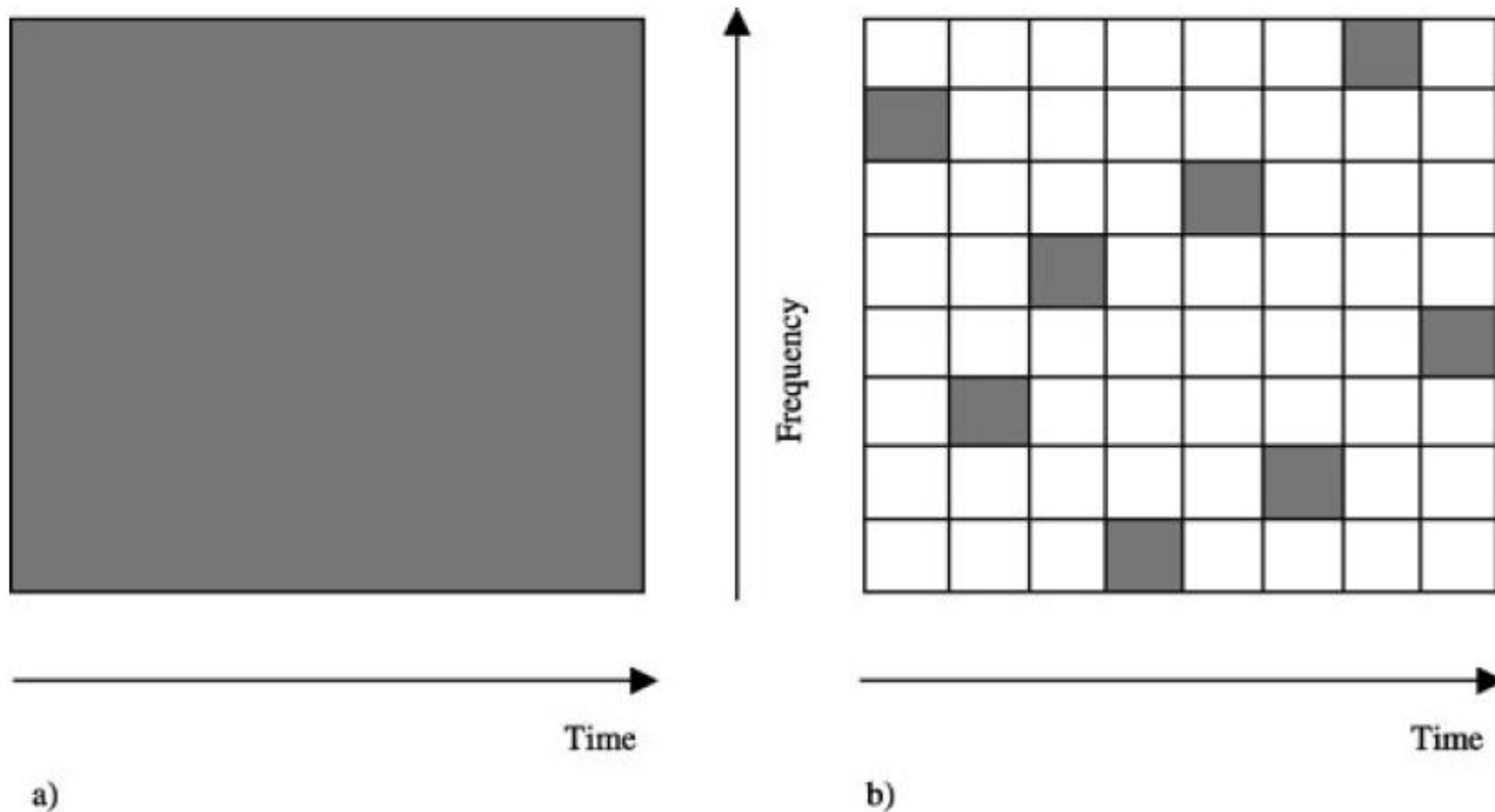
Tehnike višestrukog pristupa - FH-CDMA



Struktura FH-CDMA predajnika

Tehnike višestrukog pristupa

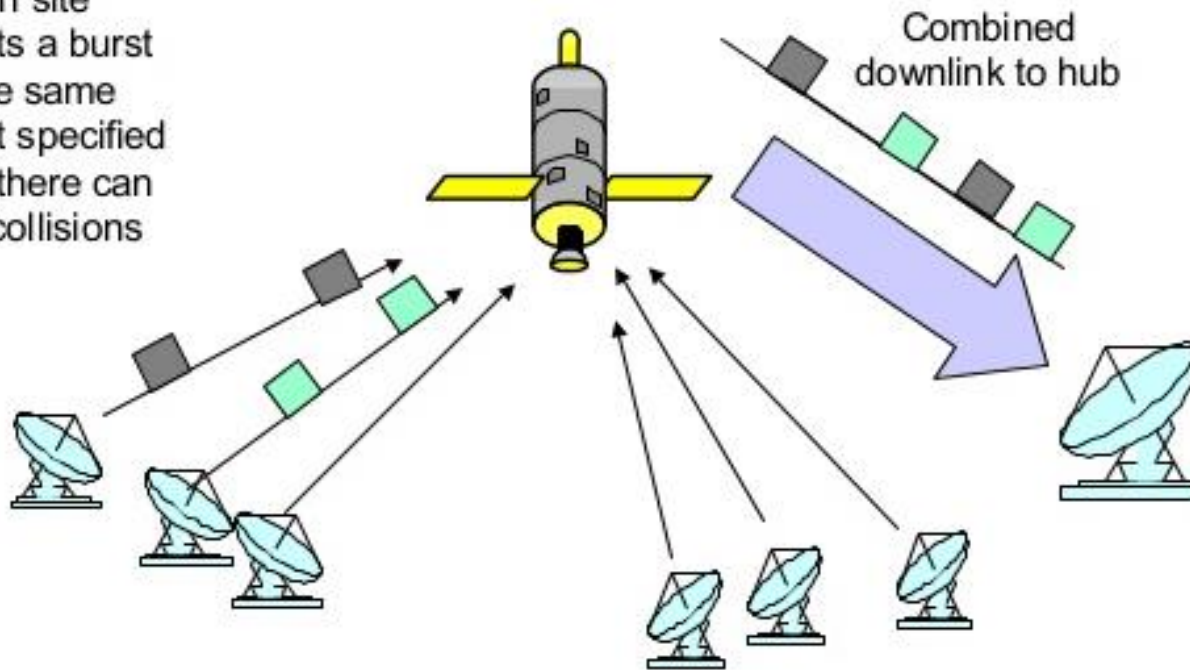
Poređenje DS-CDM i FH-CDMA



Poređenje: (a) DS-CDMA (b) FH-CDMA tehnika

Tehnike višestrukog pristupa - DAMA

Each site transmits a burst on the same carrier at specified times - there can be no collisions



Time Division Multiple Access (TDMA)
Demand Assigned Multiple Access (DAMA)

Tehnike višestrukog pristupa - DAMA

Dva tipa kanala u DAMA

- *Common Signalling Channel (CSC)*
- *Communication Channel (CC)*

Korisnik koji želi da koristi CC kanal prvo kontaktira kontrolnu zemaljsku stanicu korišćenjem CSC kanala.

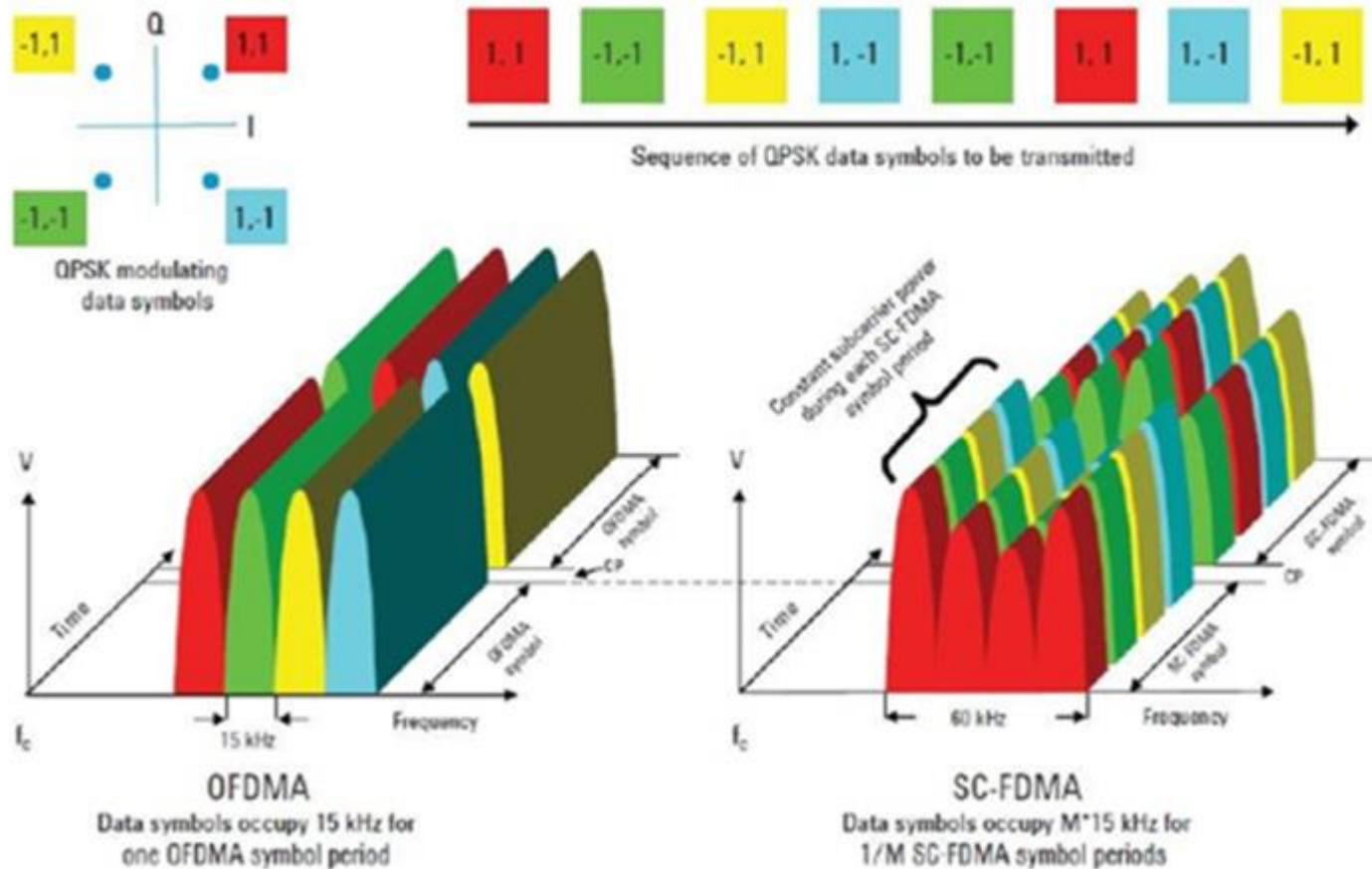
Bent pipe transponder nakon toga prihvata podatke i retransmituje ih.

DAMA se često koristi u vojnim aplikacijama zbog relativno jednostavne implementacije i lakog modelovanja.

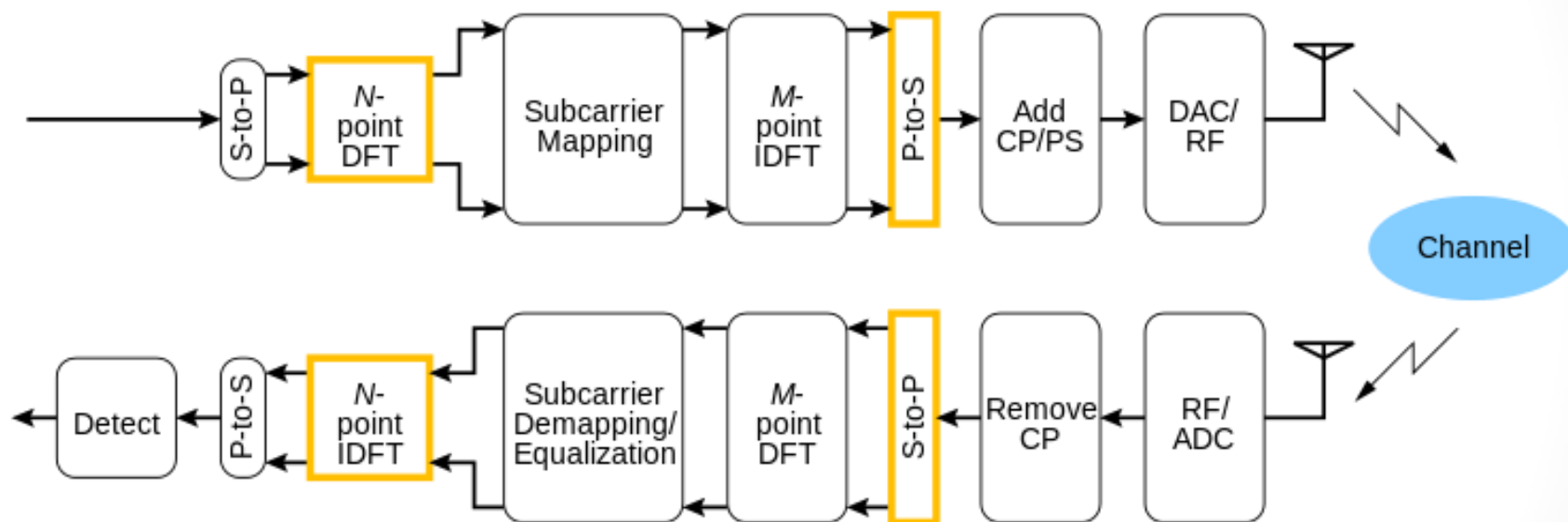
Funkcioniše sa bent pipe transpondersima i zato ne zahtijeva security opcije na strani satelita.

Master i slave stanice mogu biti *upgrade*-ovane, bez skupe zamjene satelita.

Tehnike višestrukog pristupa – OFDMA, SC-FDMA



Tehnike višestrukog pristupa – OFDMA, SC-FDMA



* $N < M$

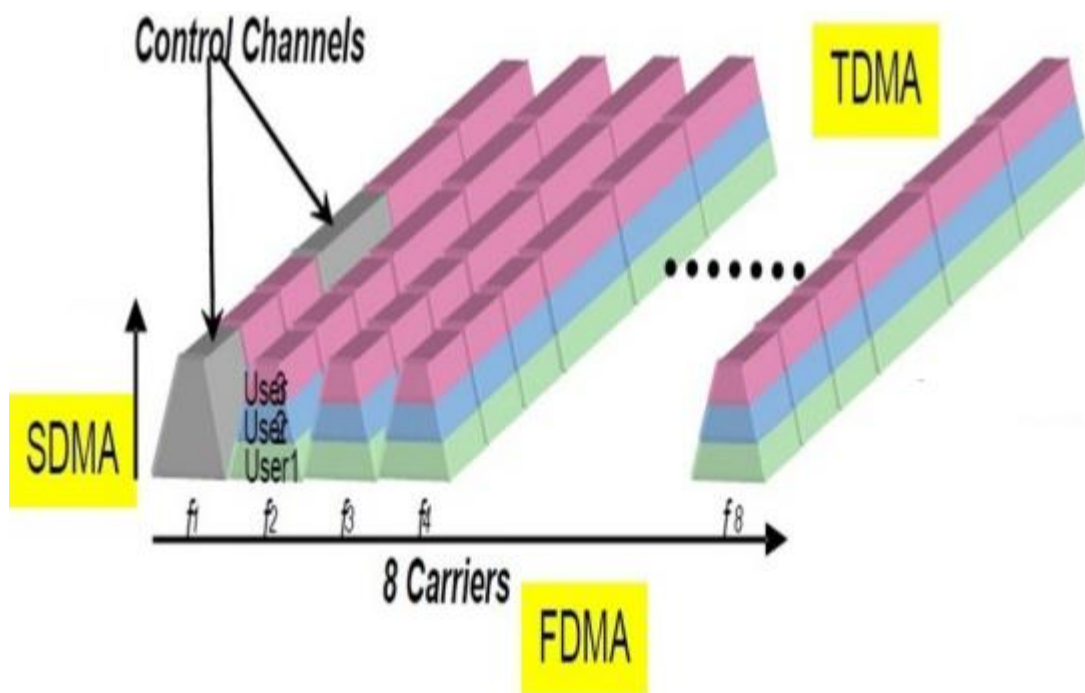
* S-to-P: Serial-to-Parallel

* P-to-S: Parallel-to-Serial

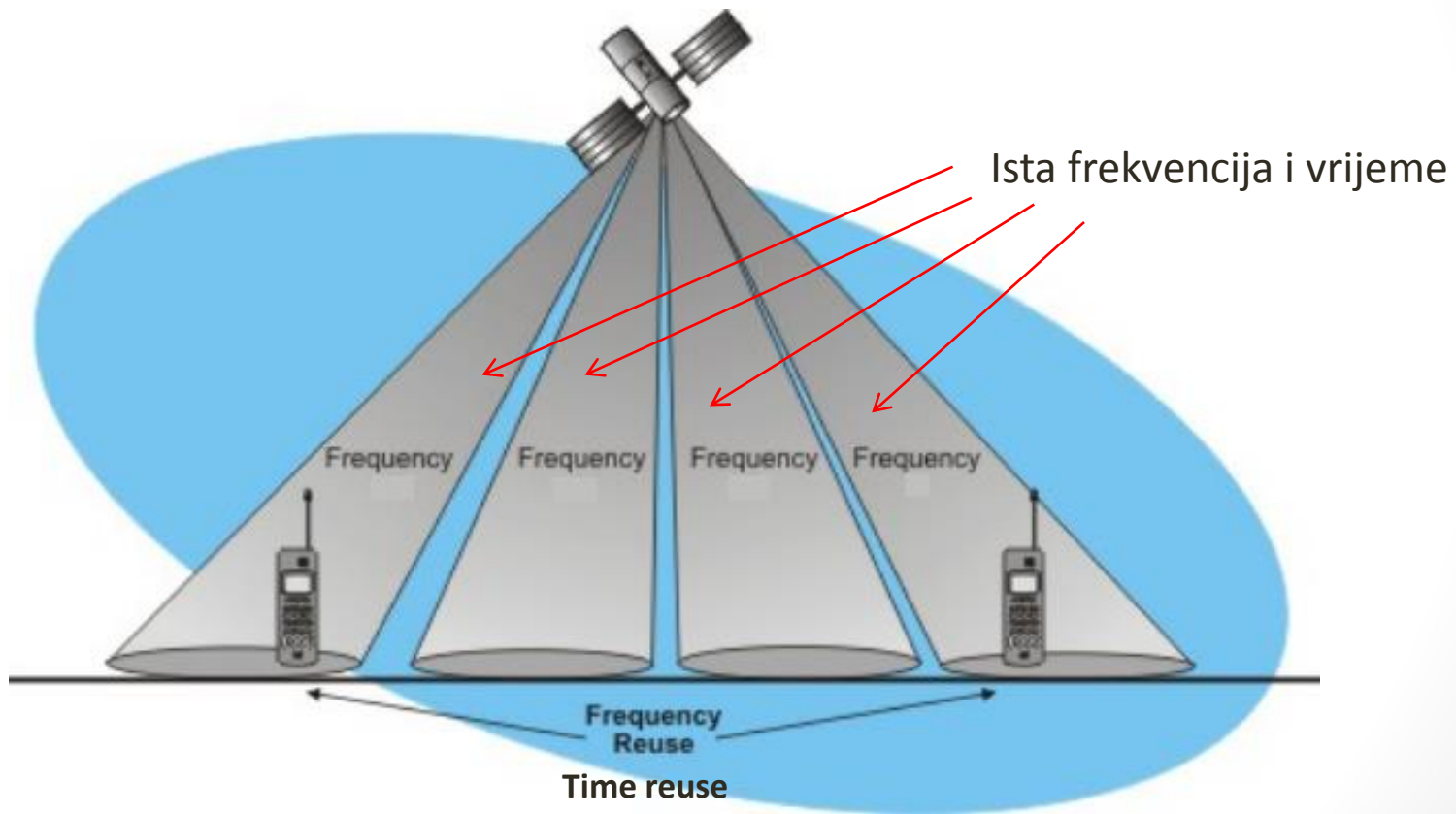
SC-FDMA: +

OFDMA:

Tehnike višestrukog pristupa – SDMA



Tehnike višestrukog pristupa – SDMA



6. GNSS sistemi

➤ GPS

➤ GLONASS

➤ GALILEO

➤ COMPASS

➤ IRNSS

GNSS sistemi

GNSS - *Global Navigation Satellite System*

- NAVSTAR GPS (*The Global Positioning System*)
- GLONASS (*Глобальная навигационная спутниковая система, Global Navigation Satellite System* - ruski sistem)
- Galileo (*European Global Navigation Satellite System* - konzorcijum evropskih država i industrije)
- Compass (*Beidou-2 IGSO1* - kineska verzija GPS-a)
- IRNSS (*Indian Regional Navigation Satellite System* - indijski satelitski navigacioni sistem)

GNSS - Akronym “GPS”

- GPS, *The Global Positioning System, Department of Defense*
- NAVSTAR GPS; *United State System*



GNSS

Mit Bermudskog trougla!

1945. god.
US Navy
Flight 19
5 aviona je
nestalo



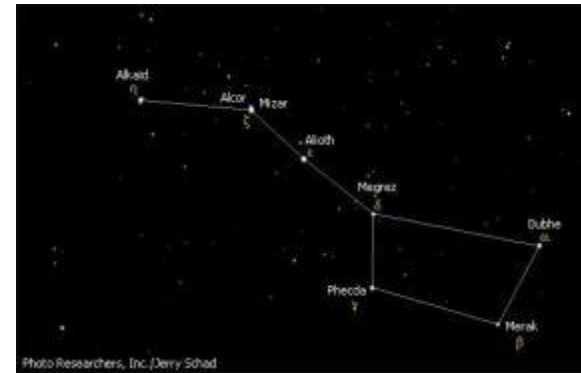
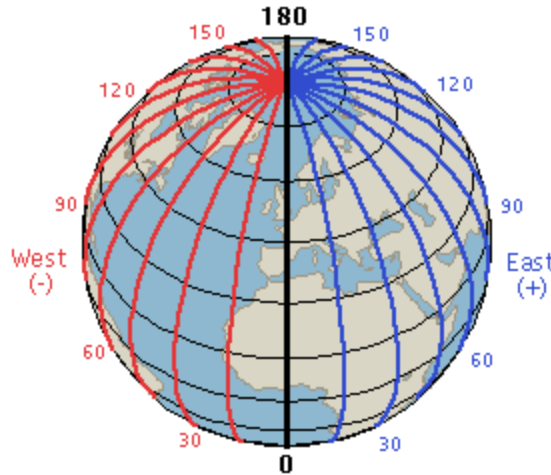
GNSS

Rana Navigacija: *Measuring Latitude is Easy*

Ursa-major



Sextant



*Pole star (North Star) - 41° elevacioni ugao
.... geog. širina je 41°!*

- Pozicija sunca i zvijezda
- Određivanje geog. širine mjerenjem ugla sunca u podne
- *North star, Ursa-major (Great Bear)* konstelacija – određivanje geog. širine mjerenjem elevacionog ugla iznad horizonta, određivanje vertikalnog ugla u odnosu na *North star*
- Geog. širina je 0° za ekvator, odnosno 90° za sjeverni pol

GNSS - *Measuring Longitude is Hard*



- Nema „fiksne“ tačke u kosmosu kao što je *North Star*, sunce ili mjesec
- Pomorski **hronometar** – časovnik dovoljno tačan za upotrebu kao portabilni vremenski standard;
- Poznavanje GMT za lokalno vrijeme podneva, uz vremensku razliku za poziciju broda i Greenwich Meridian se koristi za određivanje geog. dužine.
- Vremenska razlika između **hronometra i lokalnog vremena na brodu**, se koristi za proračun geog. dužine pozicije broda, u odnosu na Greenwich Meridian (definisan sa 0°), uz primjenu sferne trigonometrije

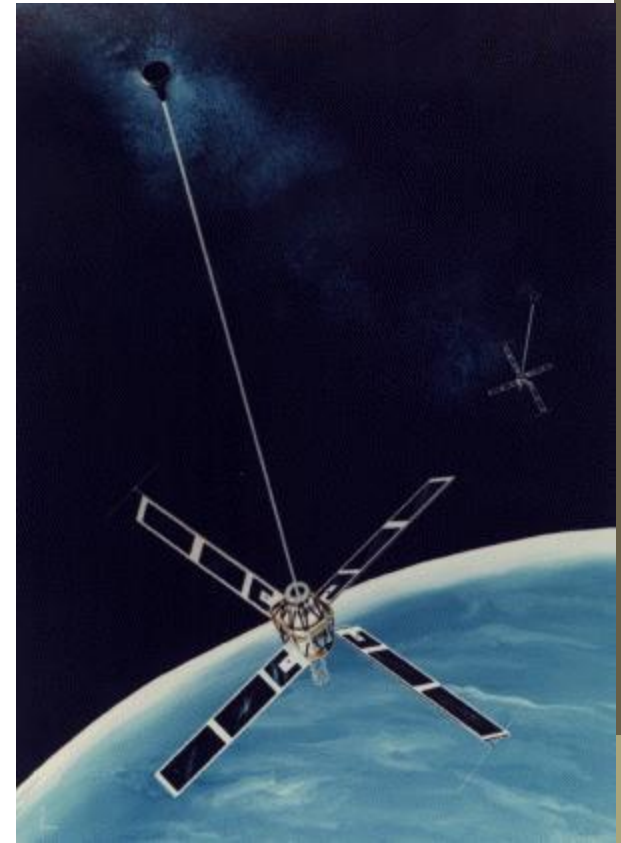
Poređenje vremena na *Greenwich*-u i lokalog vremena

Jedan sat razlike = 15 stepeni geog. dužine

Greška od jedne sekunde unosi grešku od 68 milja!

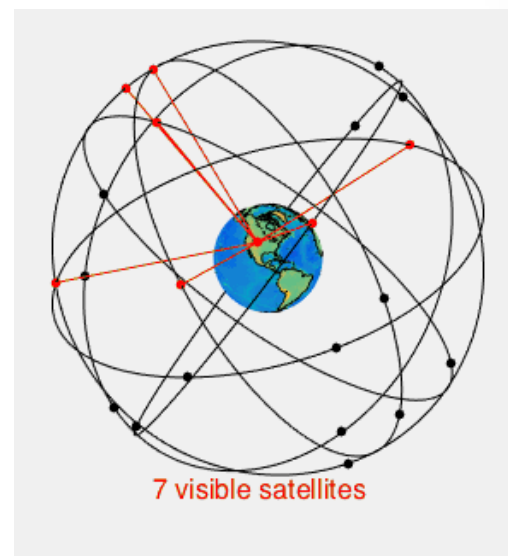
GNSS - Sateliti u navigaciji

- GPS nije prvi satelitski navigacioni sistem
- **The Naval Research Laboratory's (NRL's) Naval Center for Space Technology (NCST) - the TIMATION (TIME/navigation) program**
- US Navy (1960) – lokacija okenskih plovila
- Naval Research Laboratory Timation Program
- Najbolja preciznost 25 m – do 6 h između mjerenja!
- Čekanje radi dobijanja lokacije



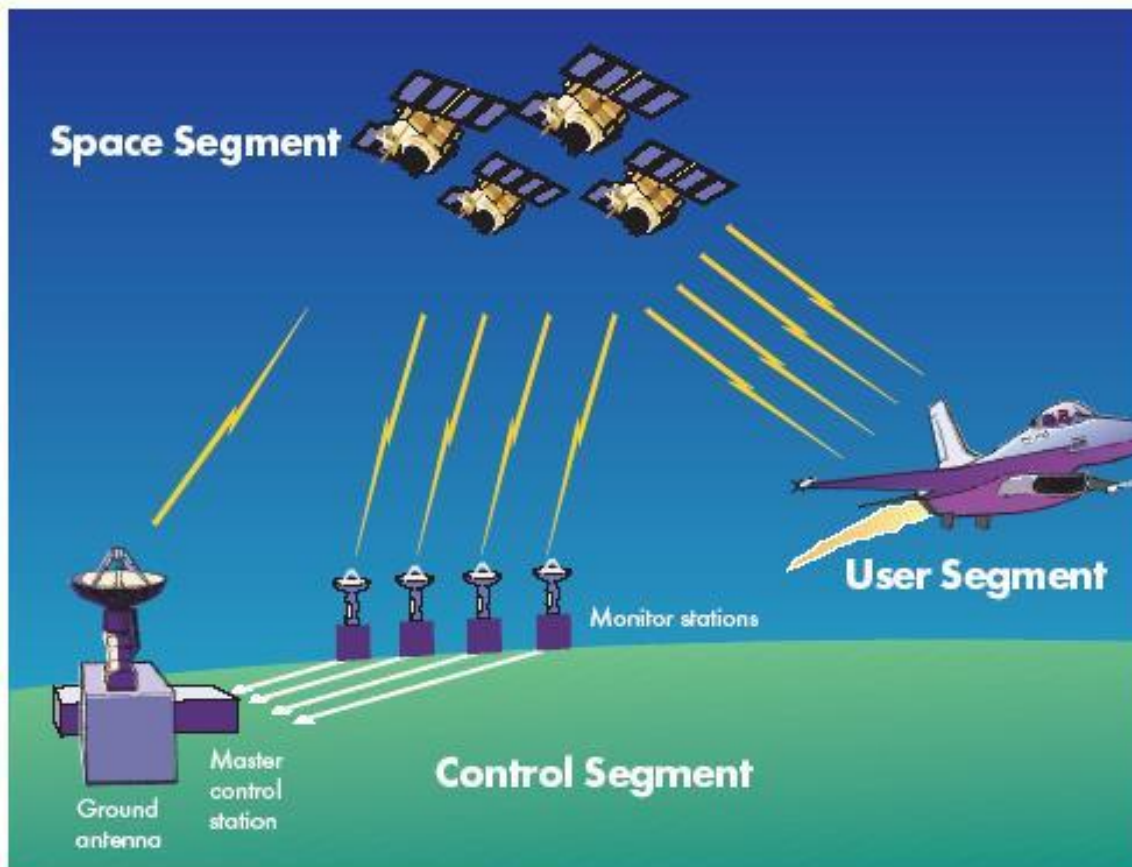
GNSS - Global Positioning System

- Prvi GPS satelit – 1978. god.
- 24. satelit u 1993. god, kompletirana inicijalna namjera za *full capacity*
- Više od \$12 biliona potrošeno
- GPS nadgleda i održava 50th *Space Wing, a division of US Air Force in Colorado*
- 24 satelita u 12h orbitama
- 12,000 milja (20,200 km) visina orbita
- Po dvije orbite na svaka 24h
- 4-8 satelita dostupno, uz elevacioni ugao iznad 15 stepeni
- Lociranje dostupno bilo gdje u svijetu, 24h/7d



Primjer za broj satelita koji su vidljivi sa određene pozicije

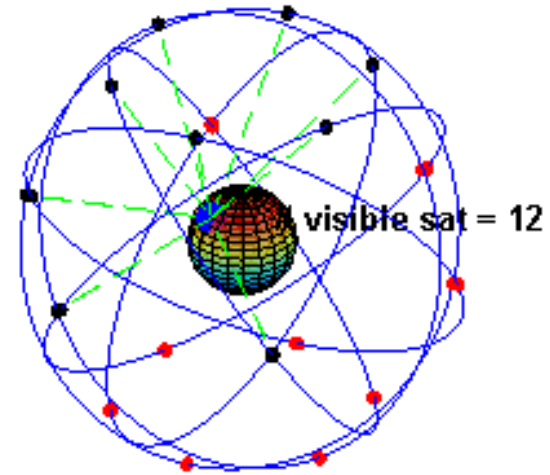
GNSS - Tri segmenta GPS-a



1. *Space*
2. Kontrolni
3. Korisnički

GNSS – GPS *space* segment

- Preko 30 satelita ~ šest 12 h orbita, 12500 milja
- **GPS konstelacija**
- U svakom trenutku, najmanje 4 satelita su iznad horizonta na svakoj lokaciji na zemlji
- *Ephemeris* – pozicija u kosmosu u svakom trenutku



GNSS – GPS *space* segment: udaljenost od satelita

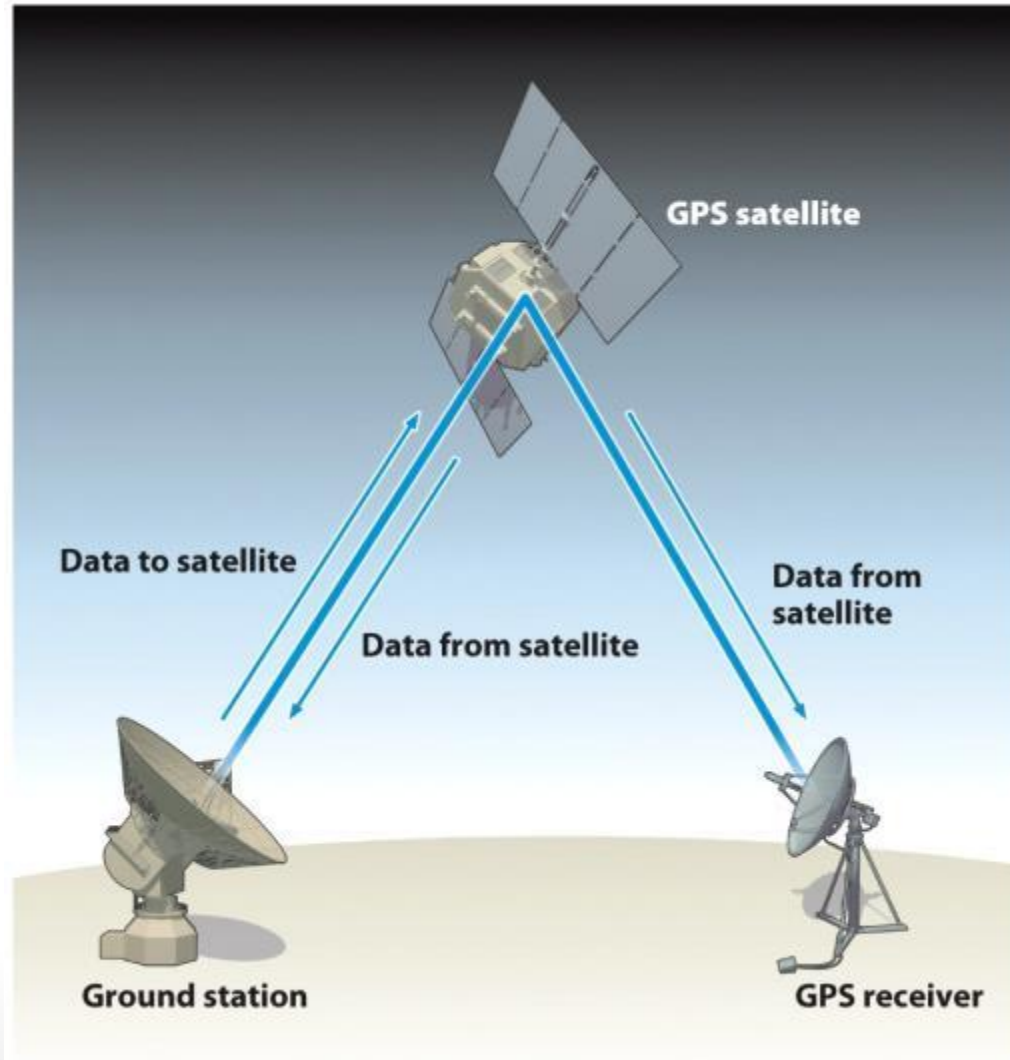
- Radio talasi - brzina prostiranja
 - Prijemnici imaju [ns] tačnost (0.000000001 s)
- Svi sateliti emituju signal “string” u istom trenutku
 - Razlika u vremenu od trenutka slanja sa satelita do trenutka prijema omogućava određivanje udaljenosti do satelita
- brzina \times vrijeme = rastojanje

GNSS – GPS *space* segment :

Precizni časovniki

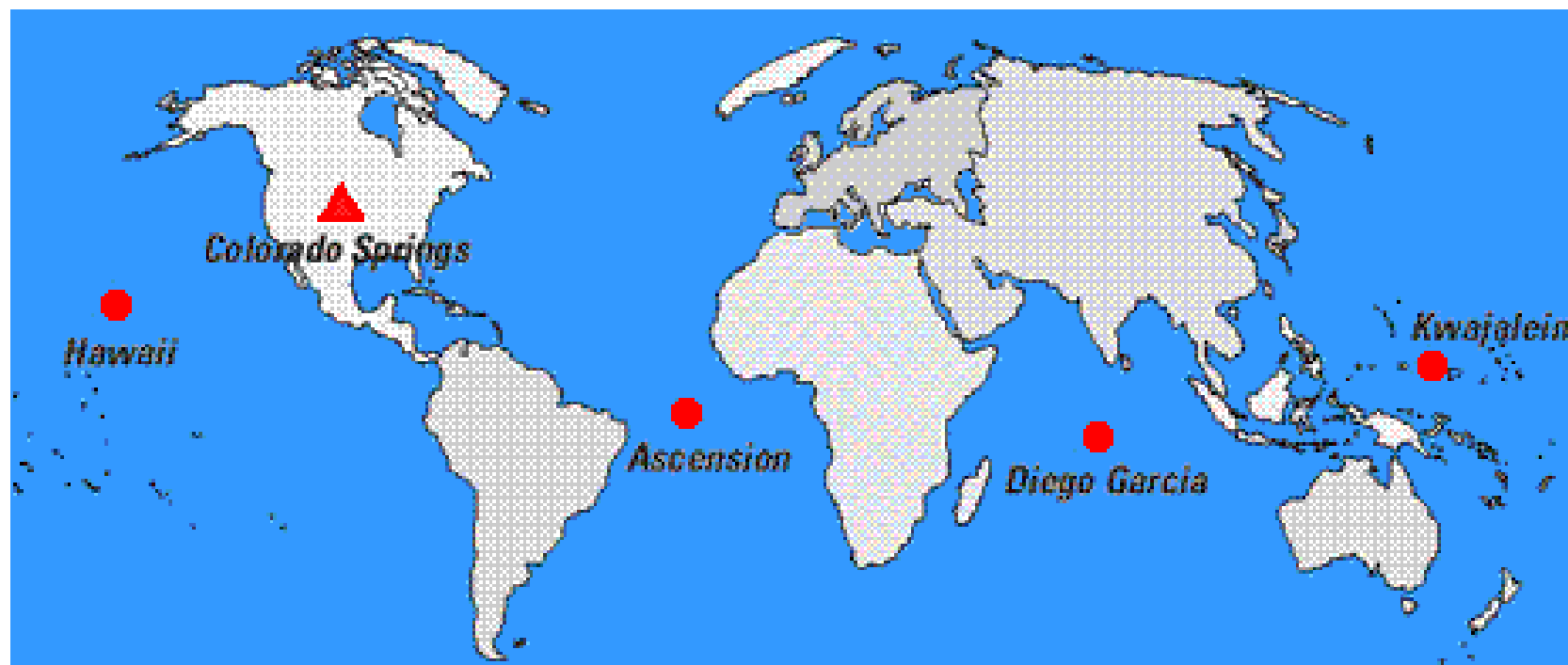
- Sateliti imajo vrlo precizne časovnike i vrlo precizne ephemeris informacije
- brzina signala - 186,000 mlja/sec
- Razdešenost od 1/100 od sekunde unosi grešku od 1860milja!
- Atomski časovniki na satelitima

GNSS – GPS kontrolni segment



- *US Air Force* nadgleda satelite
- Vrše update *ephemeris* informacija za satelite
- Prate stanje satelita
- Konfiguriraju *hardware* satelita
- Provjeravaju časovnike na satelitima

GNSS – GPS monitoring stanice



Lokacije 4 *unmanned* stanice (crveni krugovi) i jedne *master* stanice (crveni trougao) za GPS kontrolni segment

GNSS – GPS korisnički segment

- *Single frequency* prijemnici (L1)
- *Dual frequency* prijemnici (L1+L2, L1+L5)
- GPS prijemnik samo prima podatke sa satelita, ne emituje signal



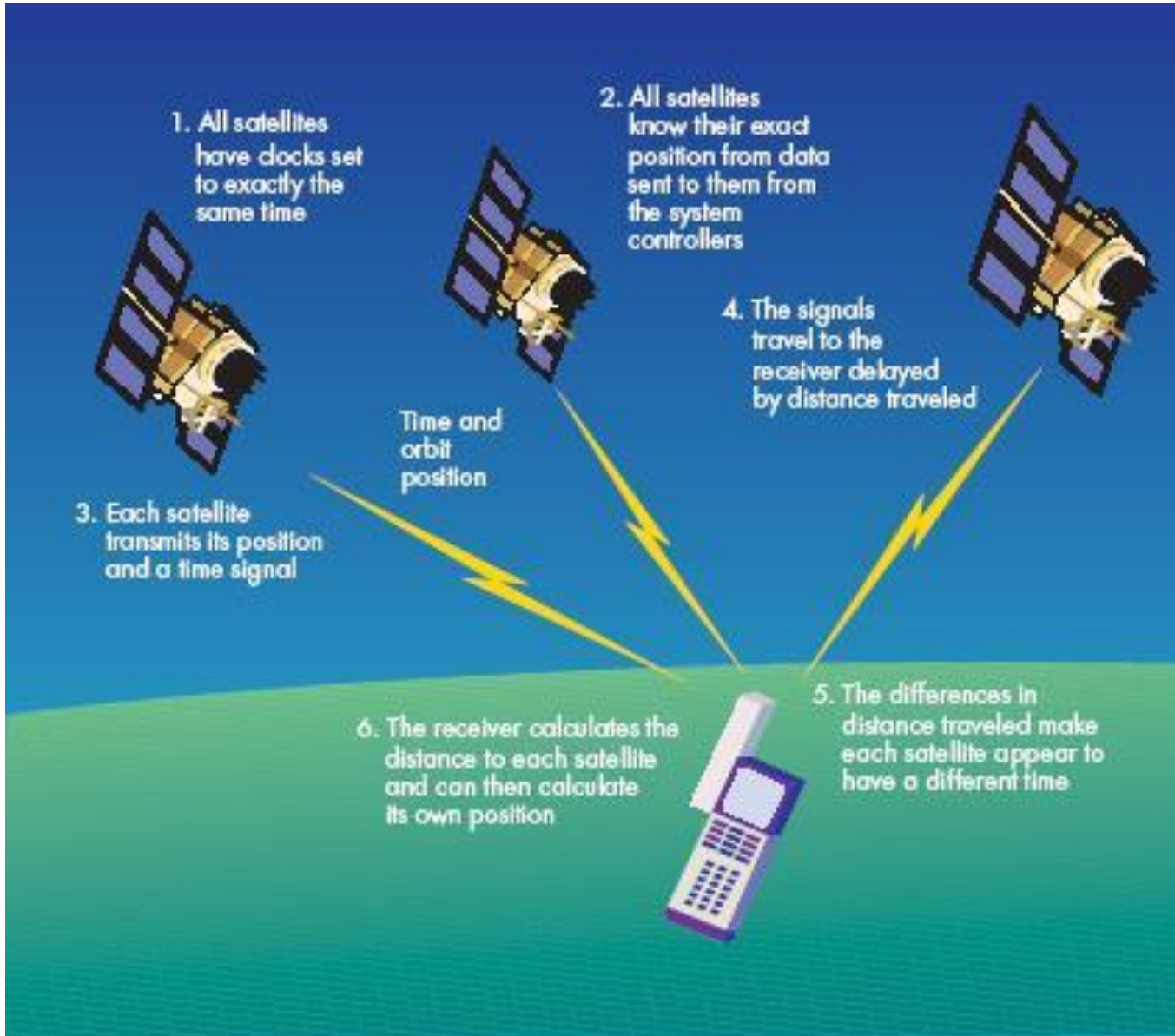
GNSS – GPS korisnički segment



- Xiaomi Mi 8 prvi smartphone sa *dual* GPS

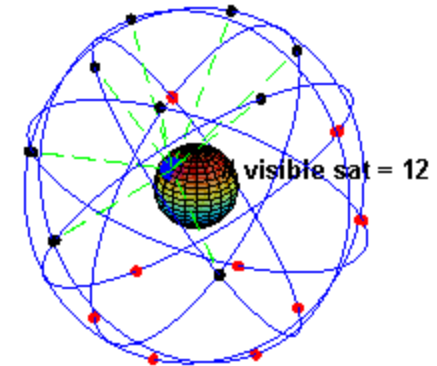
Primjer
Preciznost
Lijevo - u zgradi
Desno - van zgrade

GNSS – GPS *the simple view*

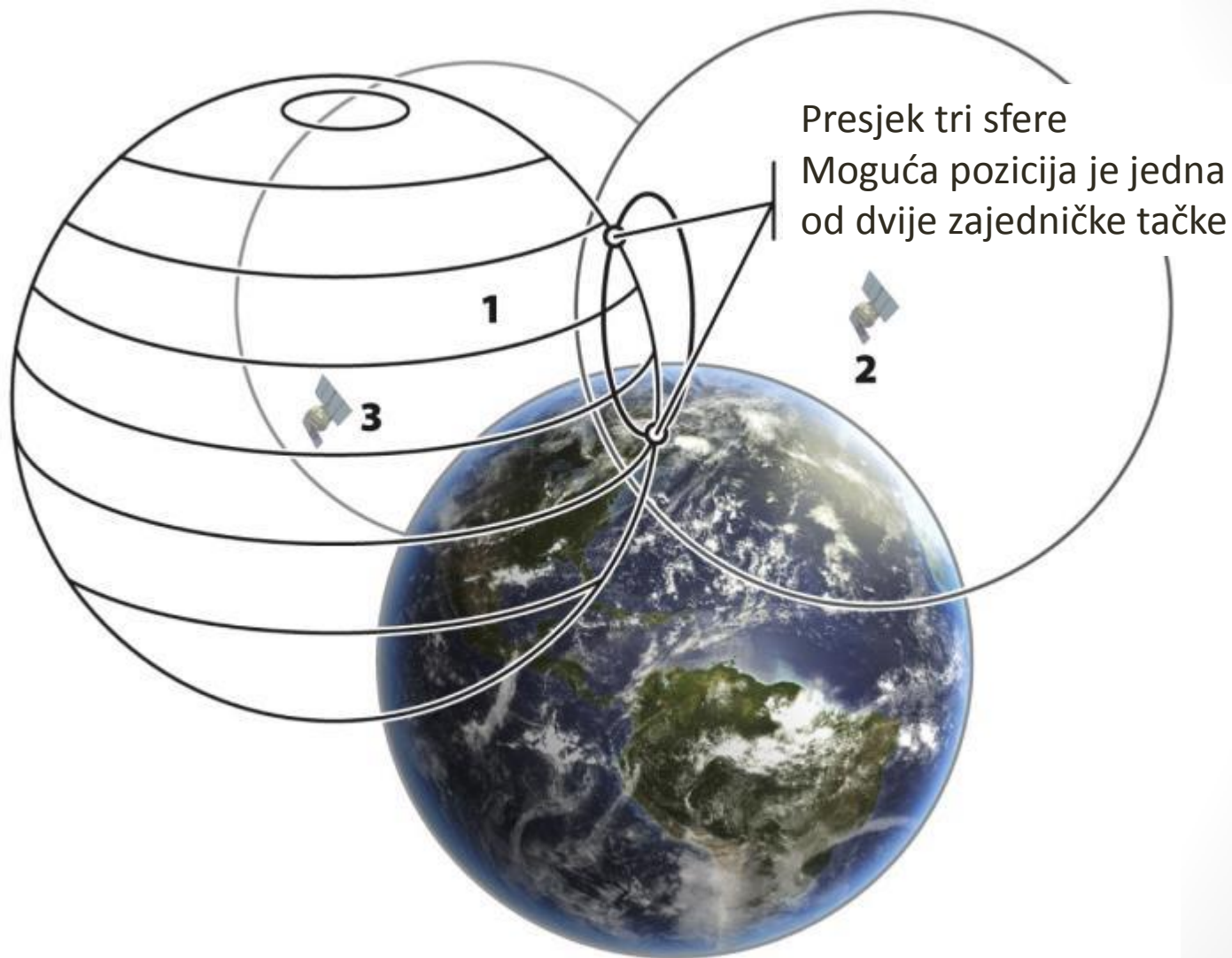


GNSS – GPS Triangulacija i Trilateracija

- Triangulacija
 - Bazira se na mjerenju uglova
- Trilateracija
 - Bazira se na vremenu (ili rastojanju)
 - GPS se bazira na trilateraciji



GNSS – GPS Triangulacija i Trilateracija



GNSS – GPS

vrijeme propagacije

Signal se emituje u 8:03:02.12

Primjer: 13,000 milja

Brzina propagacije oko 186,000 milja (300,000 km) po sekundi

Signal se prima u 8:03:02.19



GNSS – GPS vrijeme propagacije

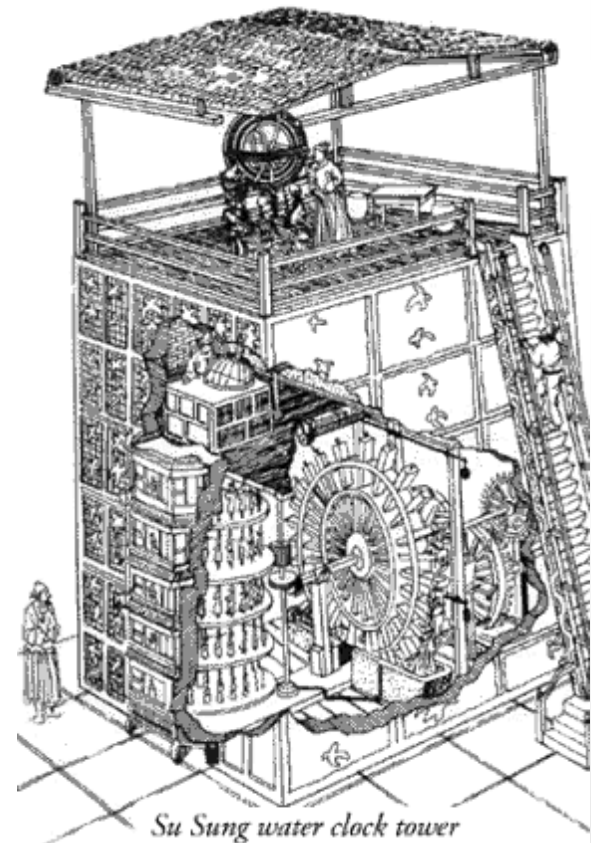
8:03:02.19

- 8:03:02.12

0:00:00.07

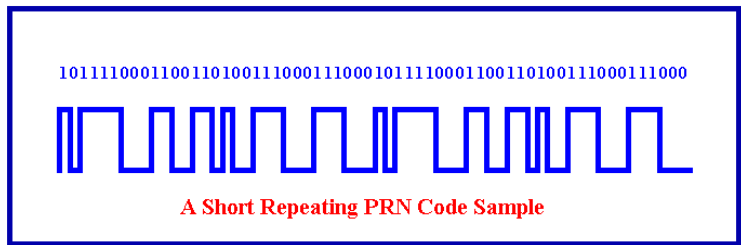
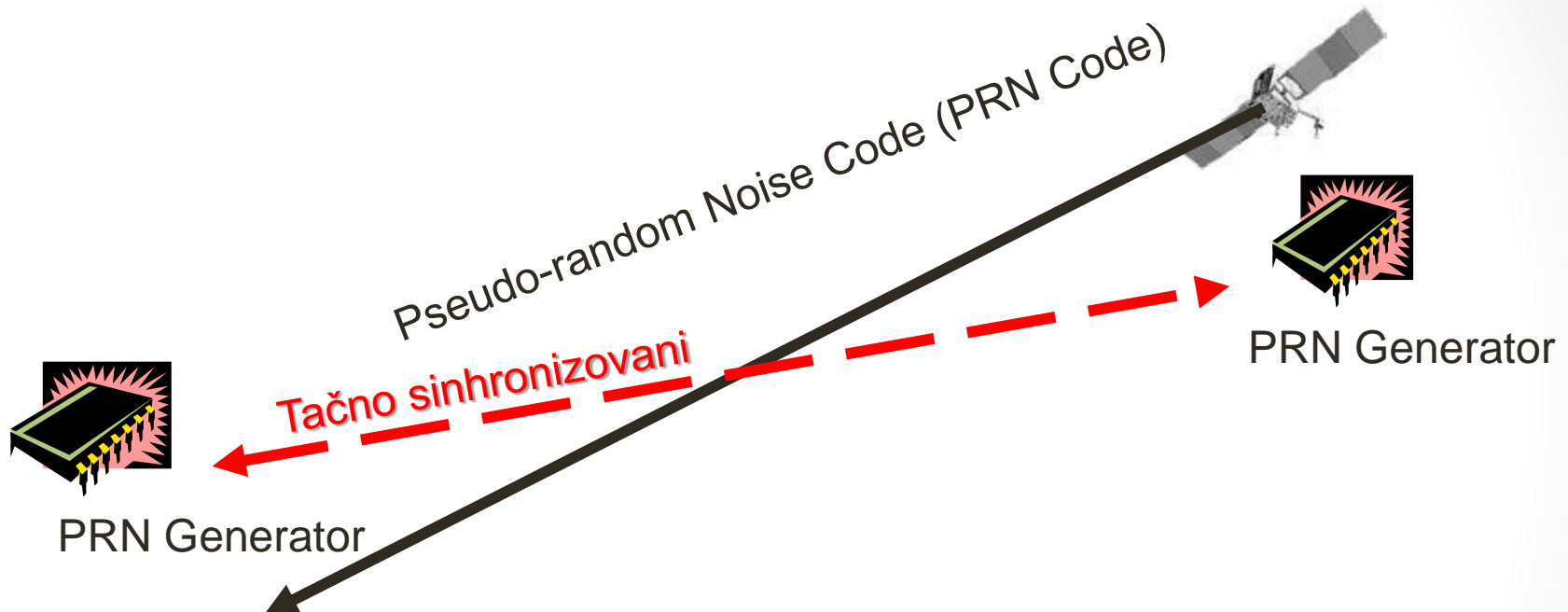
0,07s razlika znači 13,000
milja (20,000 km) rastojanje

Potrebni skupi časovnici!

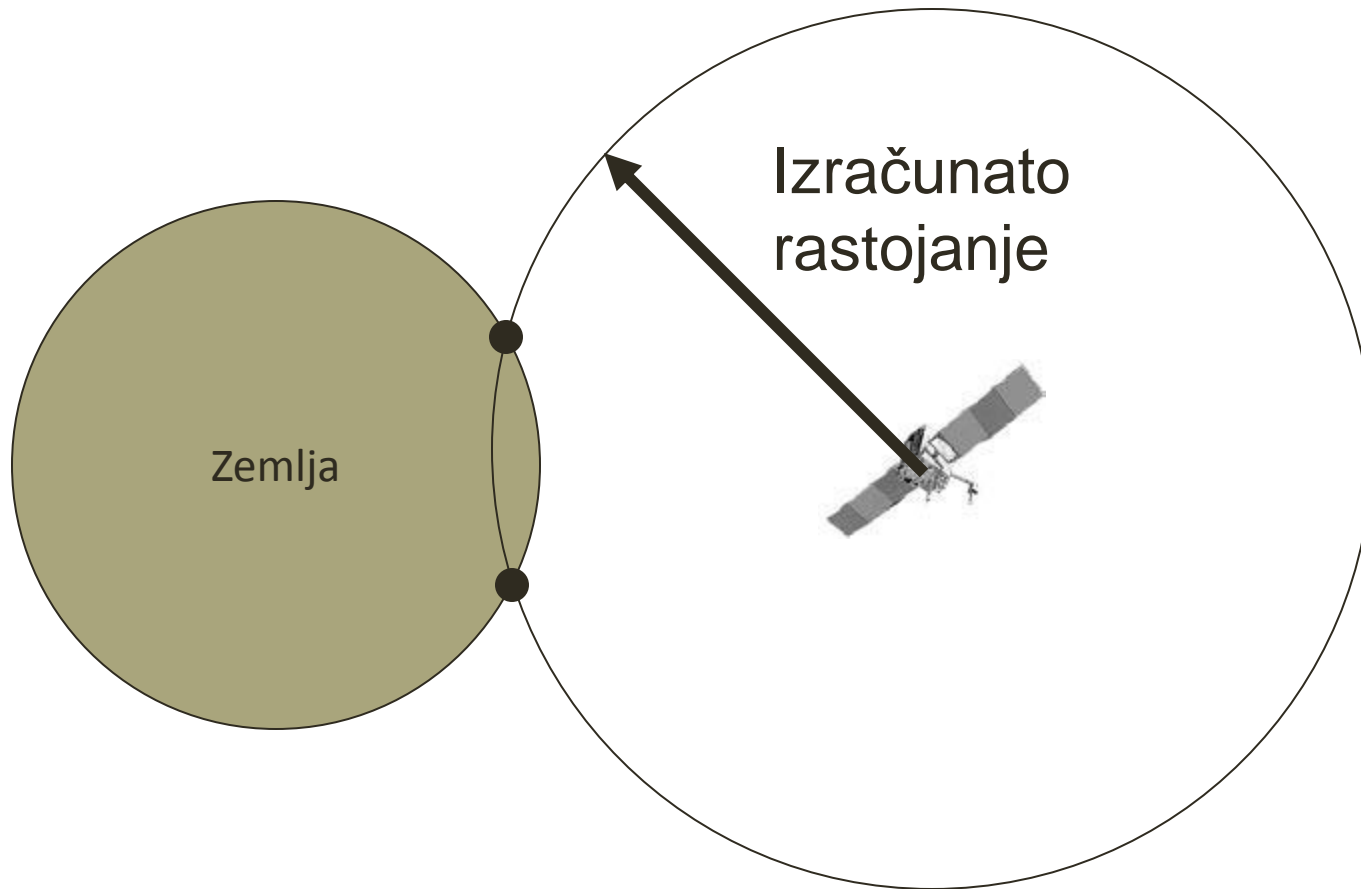


GNSS – GPS

mjerenje vremenske razlike

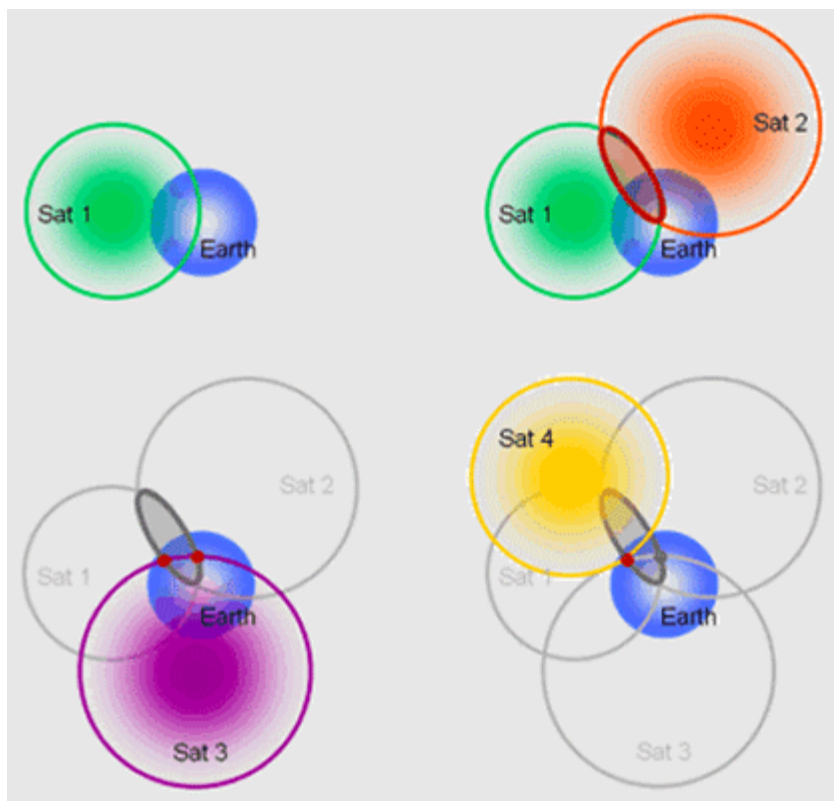


GNSS – GPS određivanje pozicije



Moguća pozicija je na sferi oko satelita.

GNSS – GPS određivanje pozicije

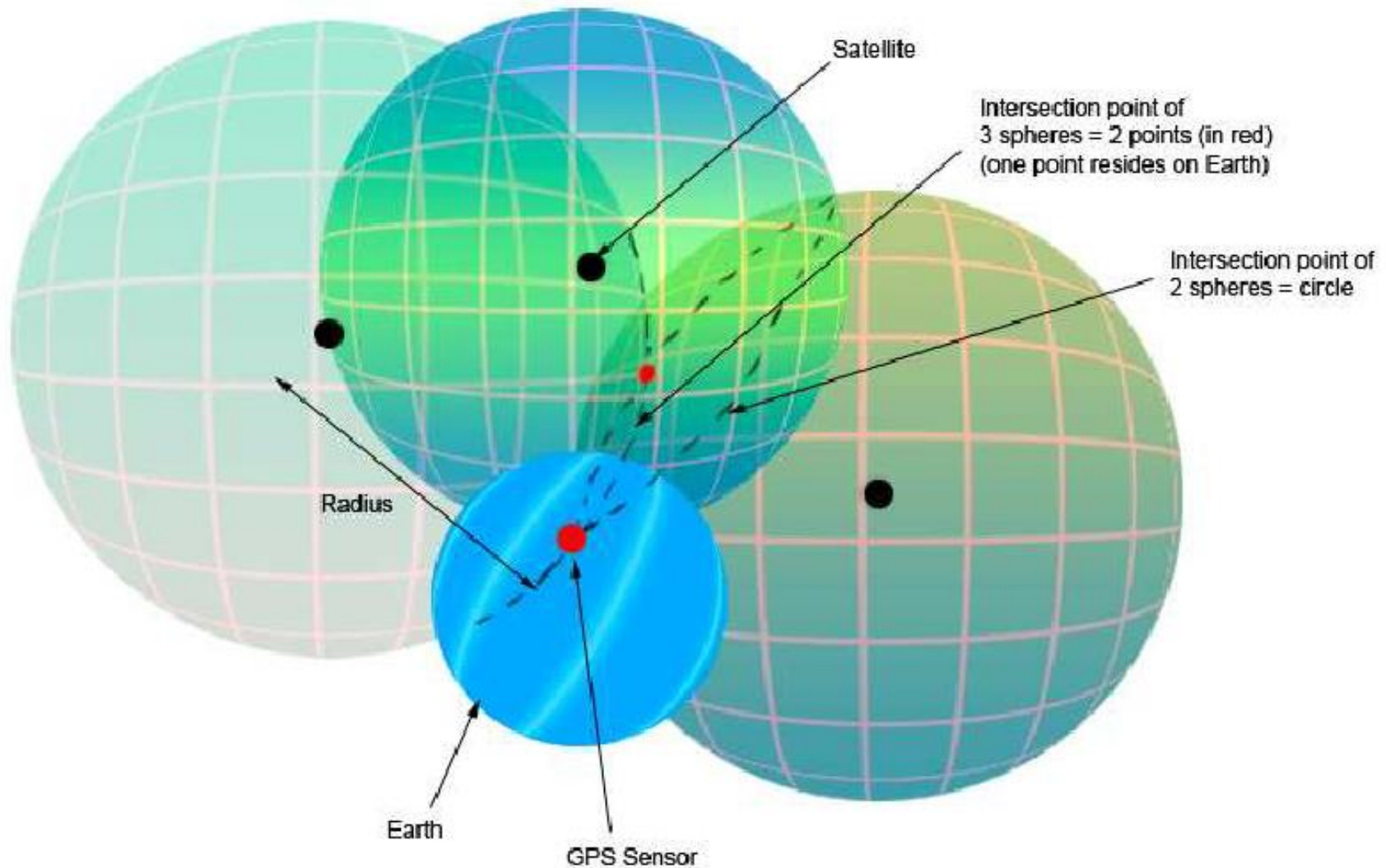


Dva satelita daju moguću poziciju na presjeku dvije sfere tj. kružnici.

Treći satelit daje dvije tačke kao moguće pozicije, presjek sfere i kružnice. Moguća je samo jedna tačka na zemlji.

Četvrti satelit se koristi za određivanje vremenske razdešenosti časovnika kod korisnika, odnosno za 4. “nepoznatu”

GNSS – GPS određivanje pozicije

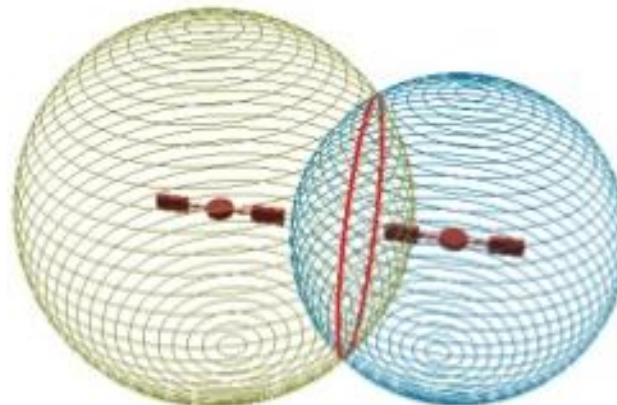


GNSS – GPS određivanje pozicije

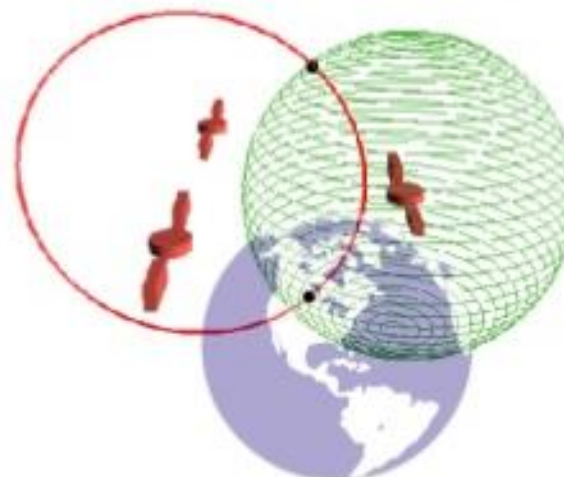
1 satelit



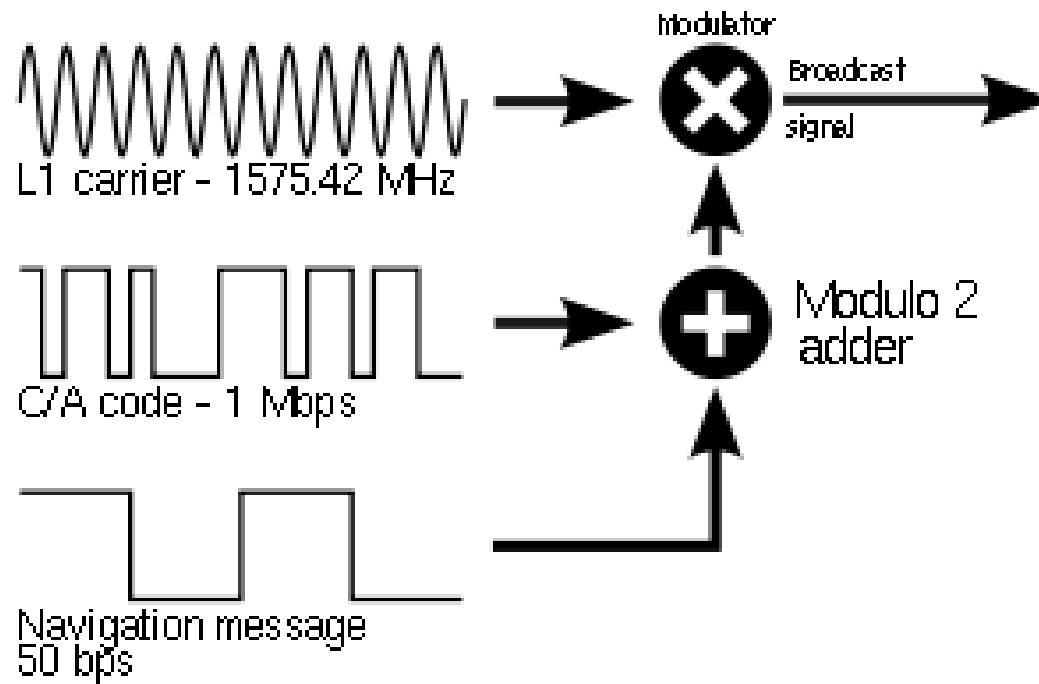
2 satelita



3 satelita

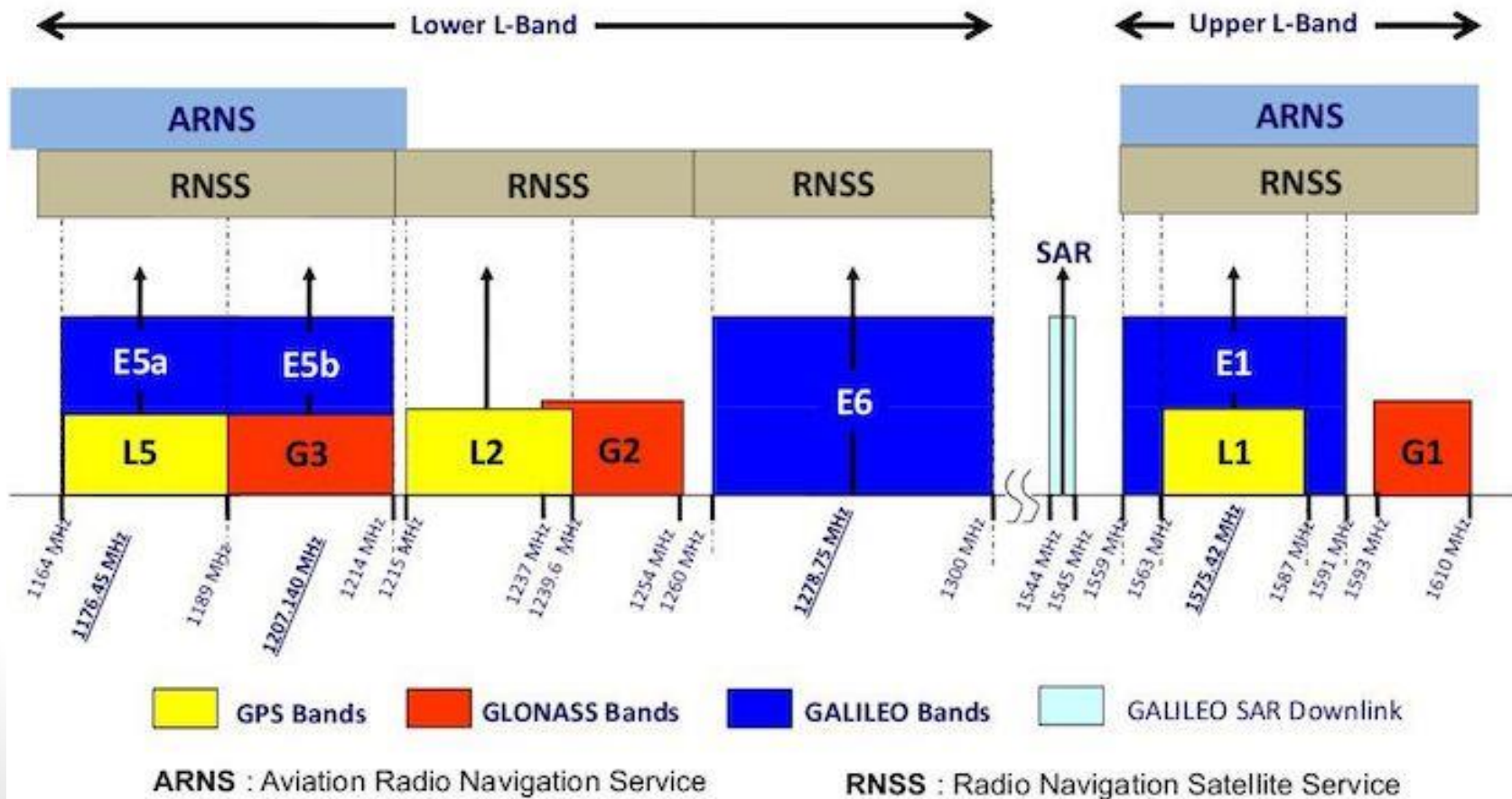


GNSS – GPS predajnik

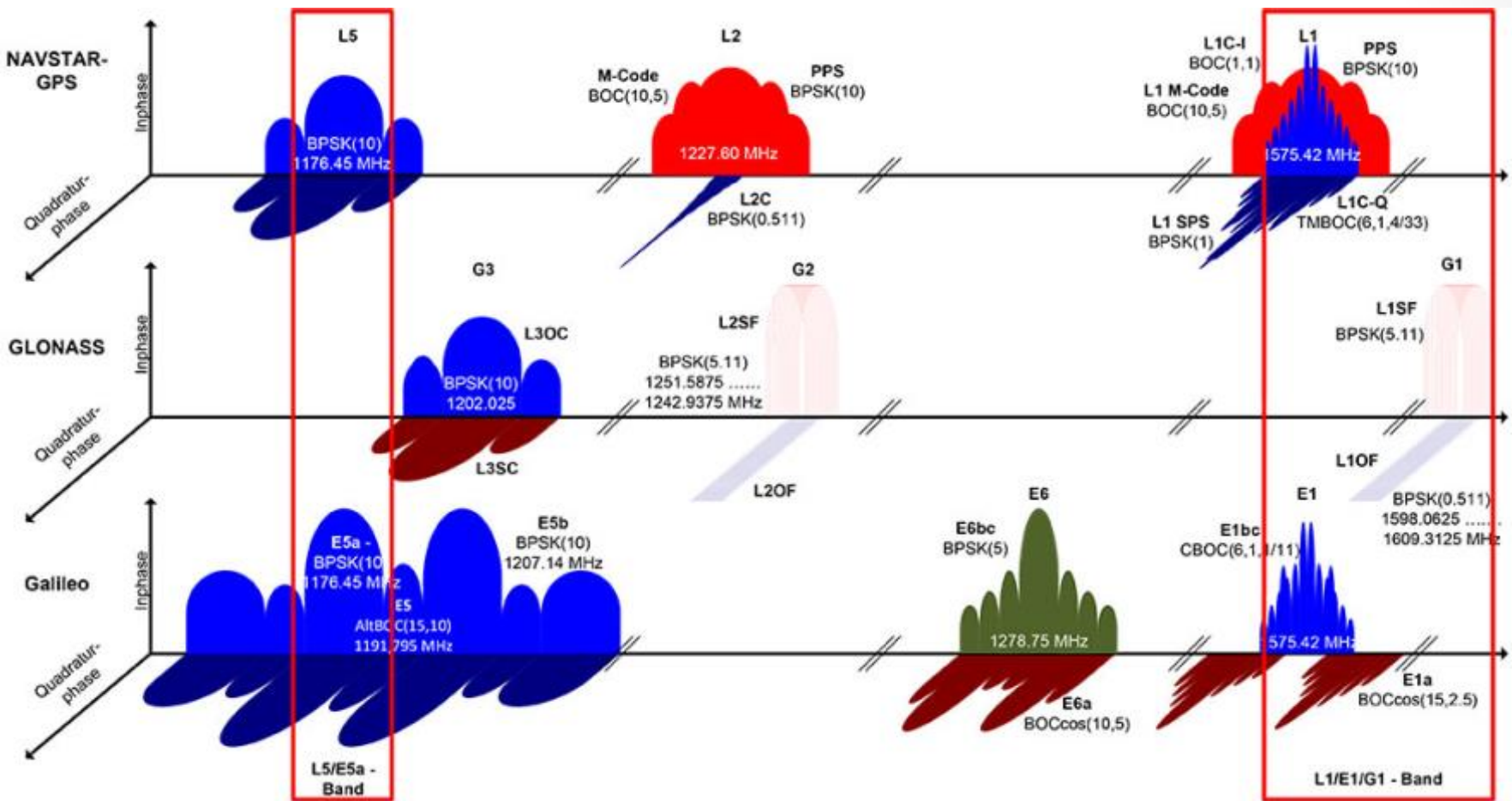


GNSS – GPS spektar

- GPS sistem koristi frekvencijske opsege između 1.1 GHz i 1.6 GHz



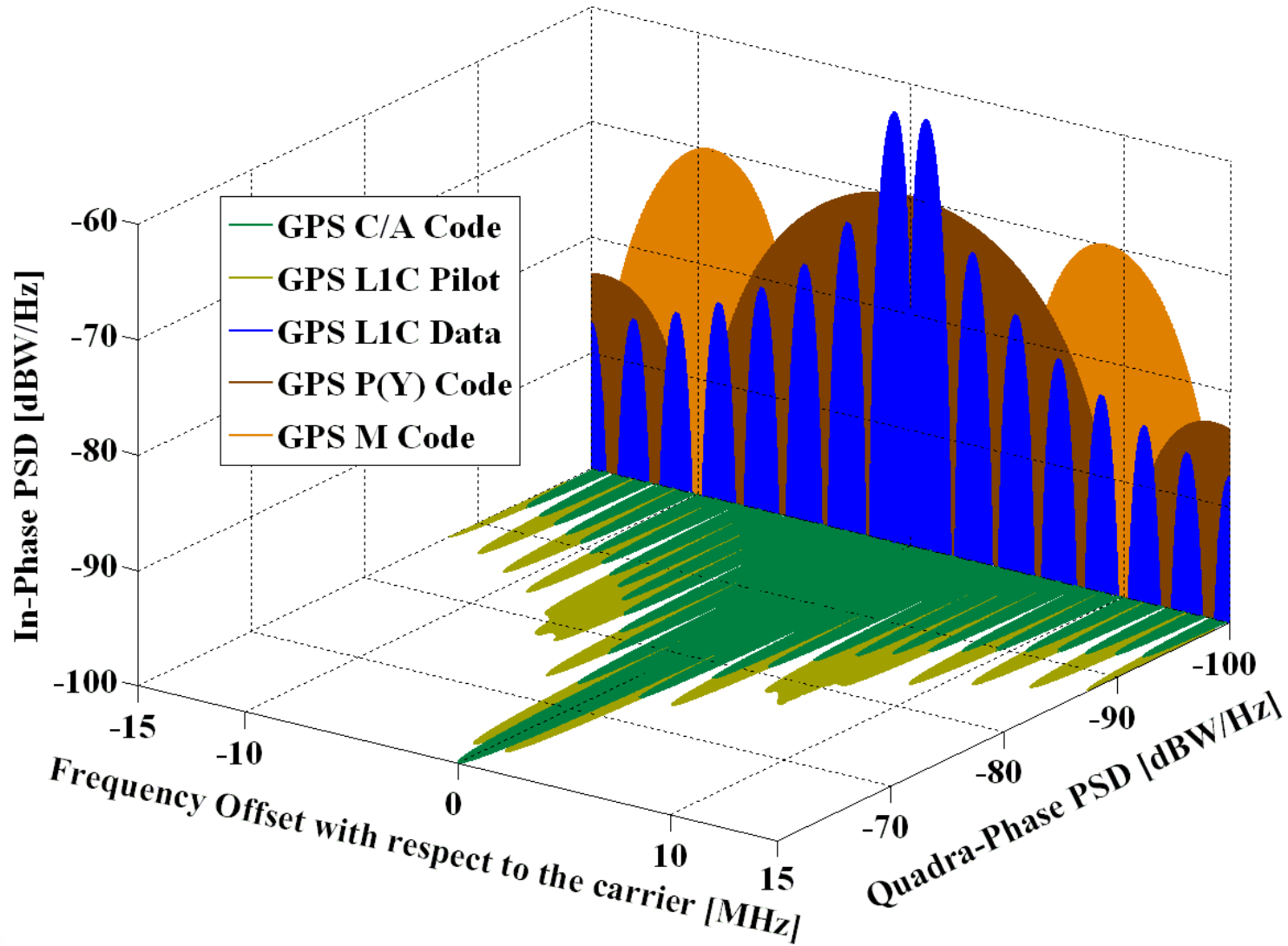
GNSS – GPS spektrar



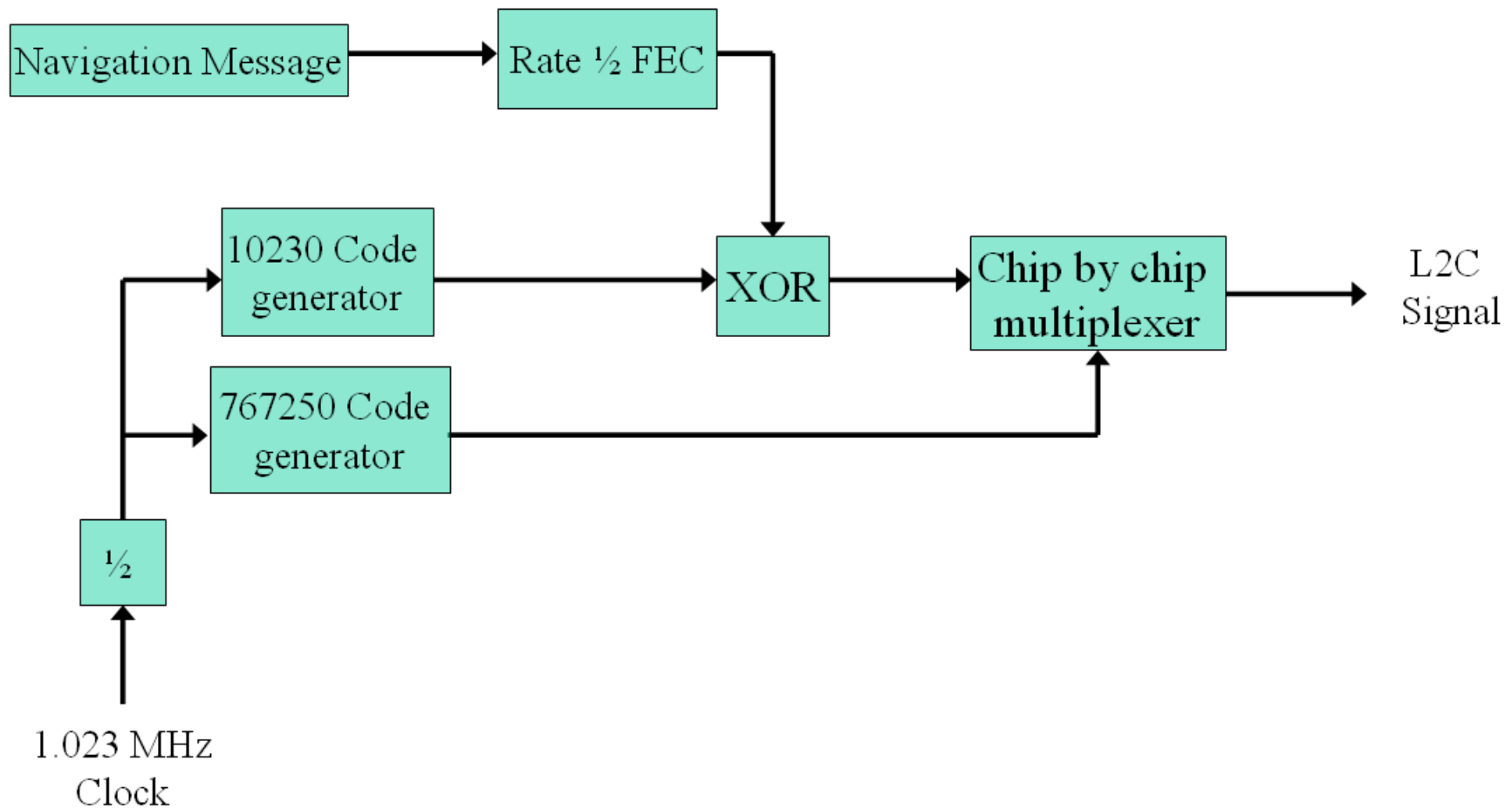
GNSS – GPS L1

GNSS System	GPS	GPS		GPS	GPS
Service Name	C/A	L1C		P(Y) Code	M-Code
Centre Frequency	1575.42 MHz	1575.42 MHz		1575.42 MHz	1575.42 MHz
Frequency Band	L1	L1		L1	L1
Access Technique	CDMA	CDMA		CDMA	CDMA
Signal Component	Data	Data	Pilot	Data	N.A.
Modulation	BPSK(1)	TMBOC(6,1,1/11)		BPSK(10)	BOC _{sin} (10,5)
Sub-carrier frequency [MHz]	-	1.023	1.023 & 6.138	-	10.23
Code frequency	1.023 MHz	1.023 MHz		10.23 MHz	5.115 MHz
Primary PRN Code length	1023	10230		$6.19 \cdot 10^{12}$	N.A.
Code Family	Gold Codes	Weil Codes		Combination and short-cycling of M-sequences	N.A.
Secondary PRN Code length	-	-	1800	-	N.A.
Data rate	50 bps / 50 sps	50 bps / 100 sps	-	50 bps / 50 sps	N.A.
Minimum Received Power [dBW]	-158.5	-157		-161.5	N.A.
Elevation	5°	5°		5°	5°

GNSS – GPS L1



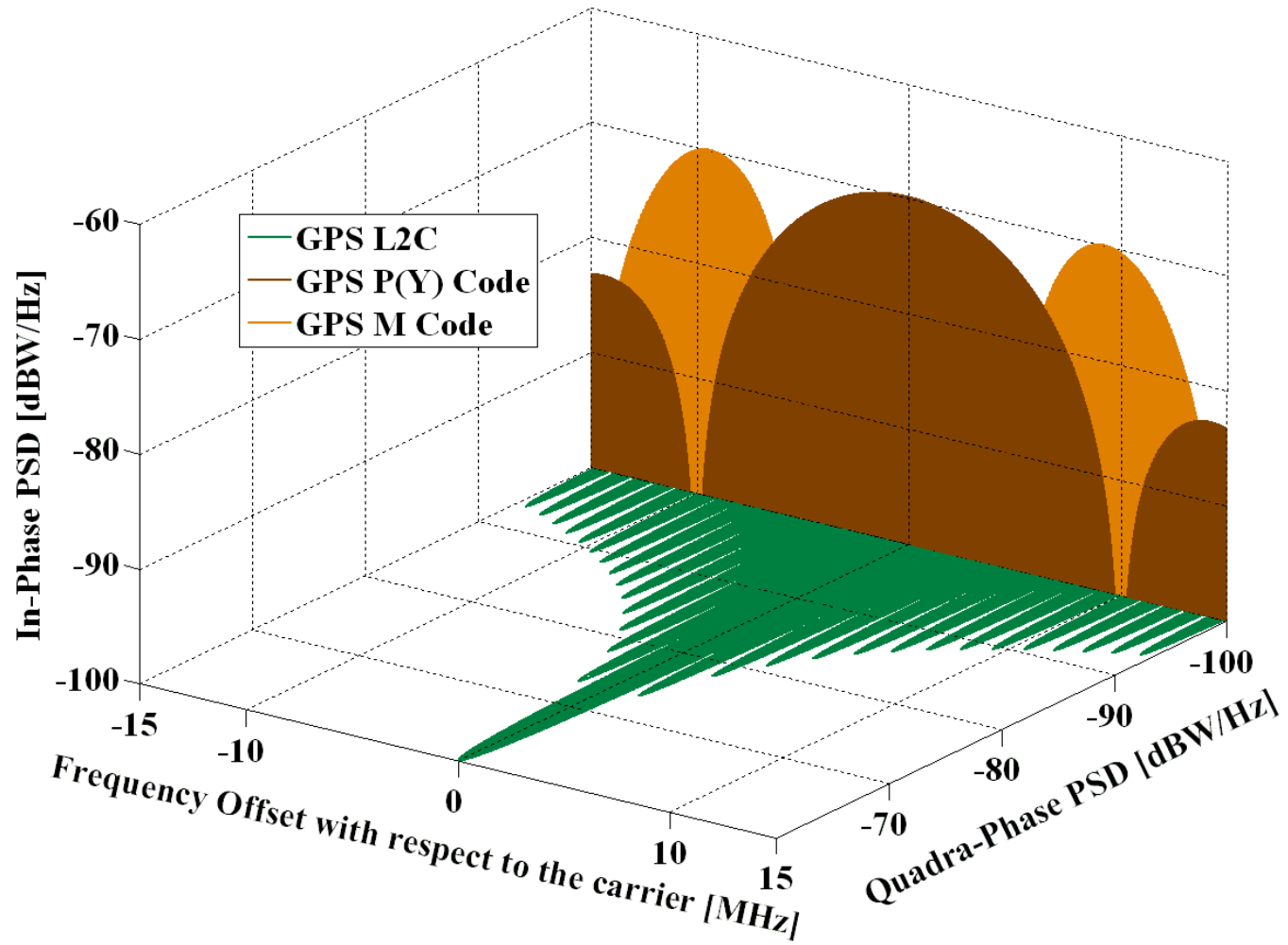
GNSS – GPS L2



GNSS – GPS L2

GNSS System	GPS	GPS	GPS	GPS
Service Name	L2 CM	L2 CL	P(Y) Code	M-Code
Centre Frequency	1227.60 MHz	1227.60 MHz	1227.60 MHz	1227.60 MHz
Frequency Band	L2	L2	L2	L2
Access Technique	CDMA	CDMA	CDMA	CDMA
Spreading modulation	BPSK(1) result of multiplexing 2 streams at 511.5 kHz		BPSK(10)	<u>BOCsin(10,5)</u>
Sub-carrier frequency	-	-	-	10.23 MHz
Code frequency	511.5 kHz	511.5 kHz	10.23 MHz	5.115 MHz
Signal Component	Data	Pilot	Data	N.A.
Primary PRN Code length	10,230 (20 <u>ms</u>)	767,250 (1.5 seconds)	6.19 x 10 ¹²	N.A.
Code Family	M-sequence from a maximal polynomial of degree 27		Combination and short-cycling of M-sequences	N.A.
Secondary PRN Code length	-	-	-	N.A.
Data rate	IIF 50 bps / 50 <u>sps</u> IIR-M Also 25 bps 50 <u>sps</u> with FEC	-	50 bps / 50 <u>sps</u>	N.A.
Minimum Received Power [dBW]	II/IIA/IIR -164.5 <u>dBW</u> IIR-M -161.5 <u>dBW</u> IIF -161.5 <u>dBW</u>		II/IIA/IIR -164.5 <u>dBW</u> IIR-M -161.4 <u>dBW</u> IIF -160.0 <u>dBW</u>	N.A.
Elevation	5°		5°	5°

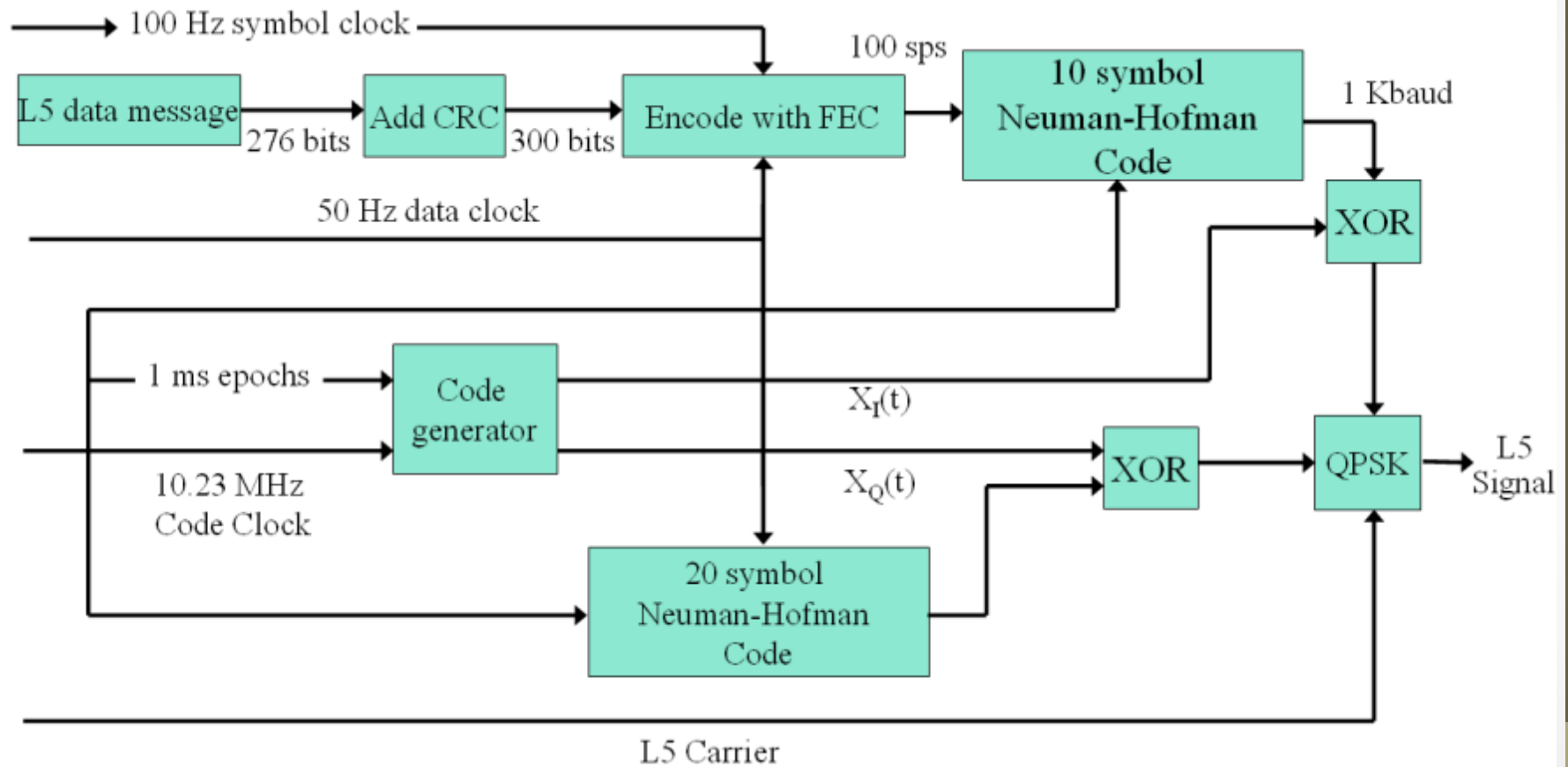
GNSS – GPS L2



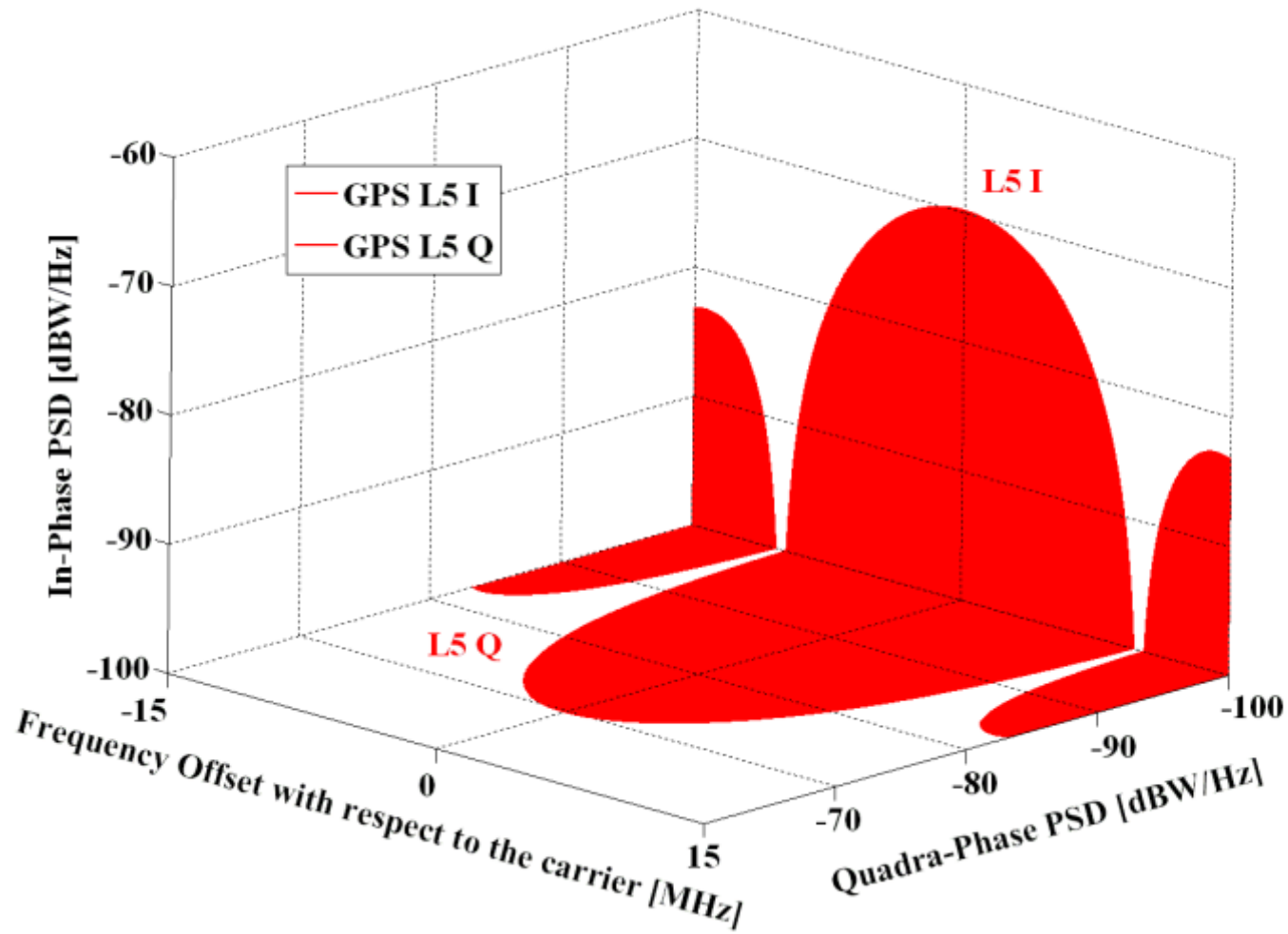
GNSS – GPS L5

GNSS System	GPS	GPS
Service Name	L5 I	L5 Q
Centre Frequency	1176.45 MHz	1176.45 MHz
Frequency Band	L5	L5
Access Technique	CDMA	CDMA
Spreading modulation	BPSK(10)	BPSK(10)
Sub-carrier frequency	-	-
Code frequency	10.23 MHz	10.23 MHz
Signal Component	Data	Pilot
Primary PRN Code length	10230	10230
Code Family	Combination and short-cycling of M-sequences	
Secondary PRN Code length	10	20
Data rate	50 bps / 100 <u>sps</u>	-
Minimum Received Power [<u>dBW</u>]	-157.9 <u>dBW</u>	-157.9 <u>dBW</u>
Elevation	5°	5°

GNSS – GPS L5

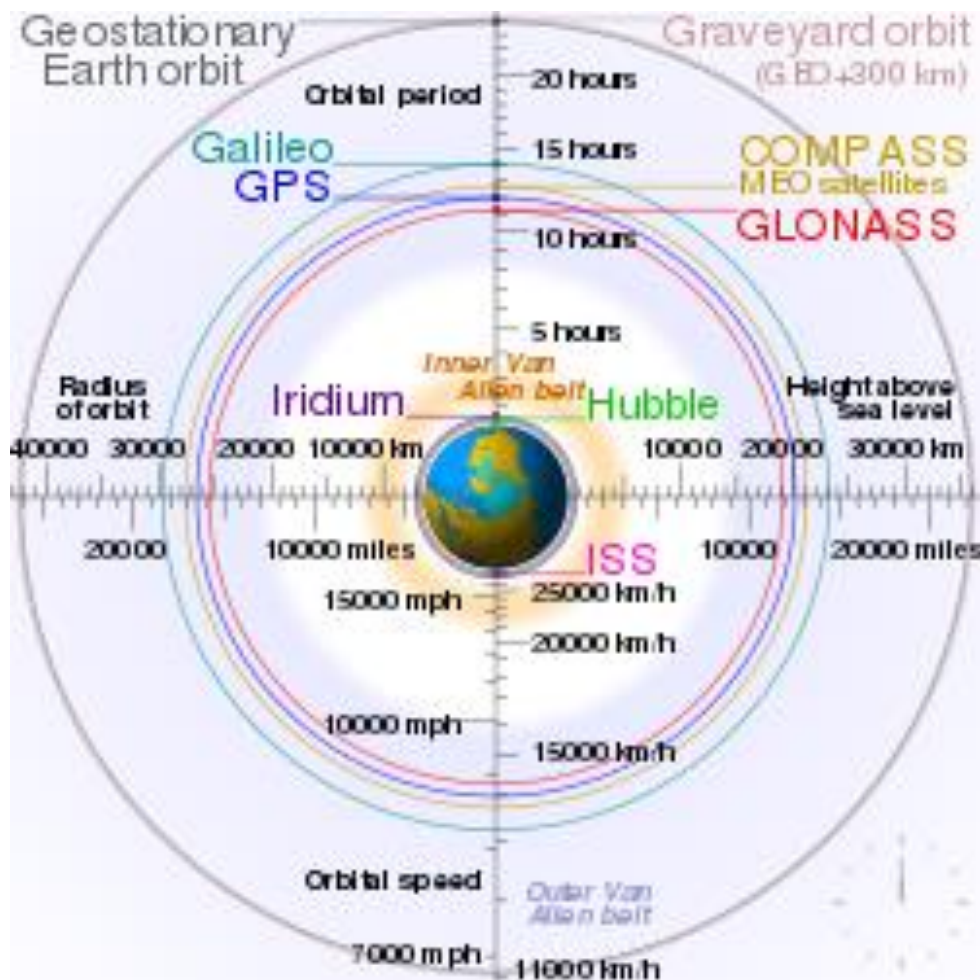


GNSS – GPS L5



GNSS - GLONASS

- GLONASS (*Глобальная навигационная спутниковая система, Global Navigation Satellite System - ruski sistem*)



GNSS - GLONASS

- Sovjetski Savez je počeo razvoj GLONASS-a 1976. GLONASS je najskuplji program Ruske Federalne Svemirske Agencije, trećina budžeta u 2010. godini.

Koliko je koštao GLONASS?

Do 2011. godine ruska vlada potrošila je oko 5 milijardi dolara na projekat GLONASS, a dodatno se uložilo 320 milijardi rubalja (10 milijardi dolara) za period od 2012. do 2020. godine.



Figure 27 GLONASS-M Satellite in Final Manufacturing

GNSS - GLONASS

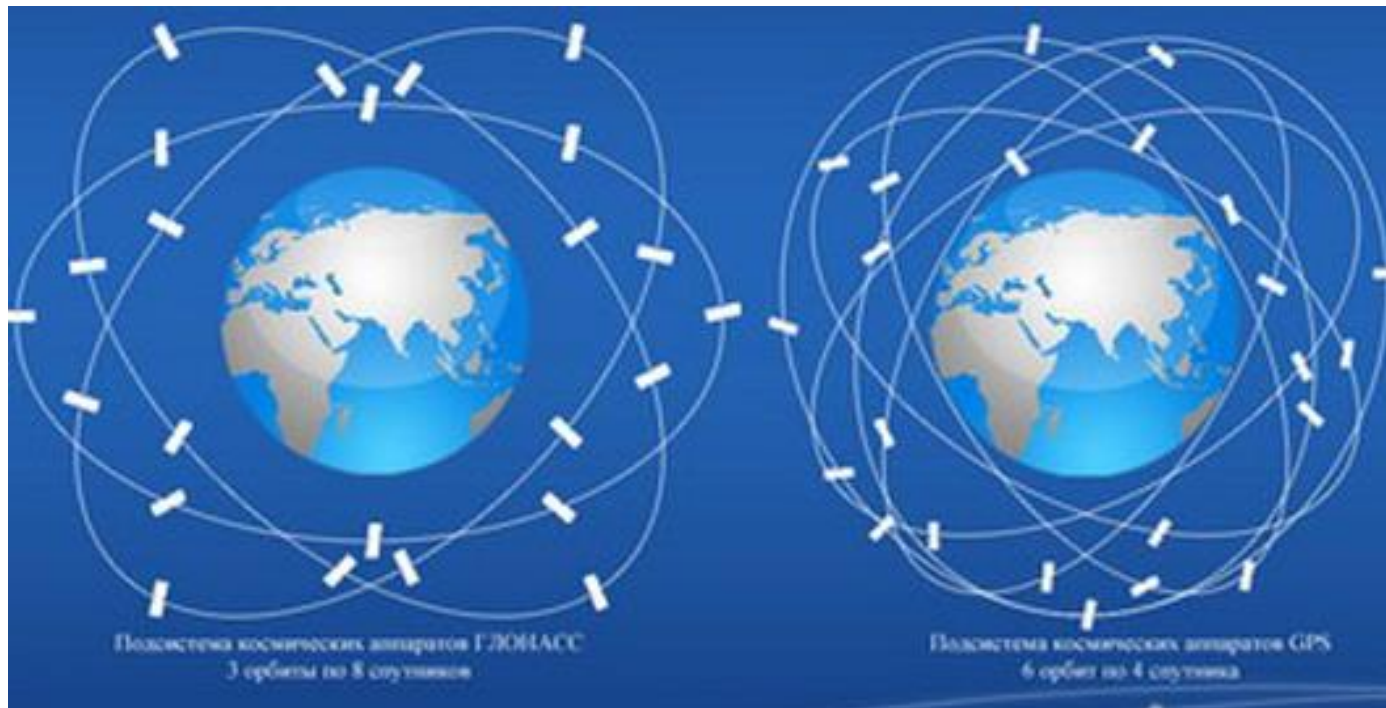
- Različite verzije GLONASS-a
- GLONASS - lansiran 1982. godine, lansirani sateliti bili su namijenjeni za obezbjeđivanje vremenskih podataka, mjerenju brzine i dobijanje tačnog vremena bilo gdje u svijetu ili blizu Zemlje od strane vojnih i službenih organizacija.
- GLONASS-M - lansiran 2003. godine, dodao je drugi civilni kod. GIS mapiranje prijemnika.
- GLONASS-k - započeo je 2011. godine i ima još 3 tipa k1, k2 i km (istraživanje). Dodata treća civilna frekvencija.
- GLONASS-K2 - trenutno u fazi projektovanja
- GLONASS-KM - trenutno u fazi istraživanja

GNSS – A-GLONASS

- A-GLONASS, pomoćni GLONASS je veoma sličan GLONASS-u, ali A-GLONASS donosi više mogućnosti za pametne telefone.
- Navigacija *turn-by-turn*, podaci o saobraćaju u stvarnom vremenu...
- Koristi cellularne bazne stanice blizu lokacije korisnika, za brzo pozicioniranje, uz pomoć *data* konekcije.
- A-GLONASS takođe poboljšava performanse u čip setovima koji dolaze sa GLONASS *support*-om.

GNSS – GLONASS

- GPS mrežu od 31 satelita.
- GLONASS mreža ima 24 satelita koji pokrivaju Zemlju.



Orbite i konstelacije GLONASS (lijevo) i GPS (desno).

GNSS – GLONASS

Specifikacija	GLONASS	GPS
Država	Ruska Federacija	SAD
Coding	FDMA	CDMA
Broj satelita	Najmanje 24	31
Orbitalna visina	21150 Km	19130 km
Preciznost	Pozicija: 5–10 m	Pozicija: 3.5-7.8 m
Orbitalna ravan inklinacija	64.8°	55°
Orbitalni period	11 h 16 min	11 h 58 min
Frekvencija	Oko 1.602 GHz (SP) Oko 1.246 GHz (SP)	1.57542 GHz (L1 signal) 1.2276 GHz (L2 signal) 1.2276 GHz (L5 signal)
Status	Operativan	Operativan

GNSS – GLONASS

Prednost GLONASS-a nad GPS-om (GLONASS vs GPS)?

- Preciznost u odnosu na GPS.
- Kada se koristi samo GLONASS nema tako veliku pokrivenost kao GPS, ali kada se oba koriste povećava se preciznost sa pokrivenošću.
- Korisniji je u sjevernim geografskim širinama jer je započet prvobitno samo za Rusiju.
- Preciznost je prednost GLONASS-a, do 2 metra.
- Kombinacija GPS + GLONASS omogućava da korisnički uređaj bude usmjeren na grupu od 55 satelita širom svijeta. Primjer, ukoliko se na određenom mjestu GPS signali znatno oslabljeni, urbane sredine, uz velike zgrade, ili u metroima, GLONASS sateliti pružaju pozicioniranje.

GNSS – GLONASS

Komercijalna upotreba GLONASS-a?

- GLONASS je prvi put komercijalno korišćen u auto-navigatoru kao Glospace SGK-70, ali je bio glomazan i skup. Ruska vlada intenzivno promovise komercijalnu upotrebu GLONASS-a.
- iPhone 4S je bio prvi proizvod koji je koristio GPS i GLONASS za određivanje lokacije na mapama.
- Svi *high end* uređaji koji podržavaju GPS opremu, posebno navigatori uključuju GLONASS prijemnike na čipu za korišćenje servisa zasnovanih na lokaciji.

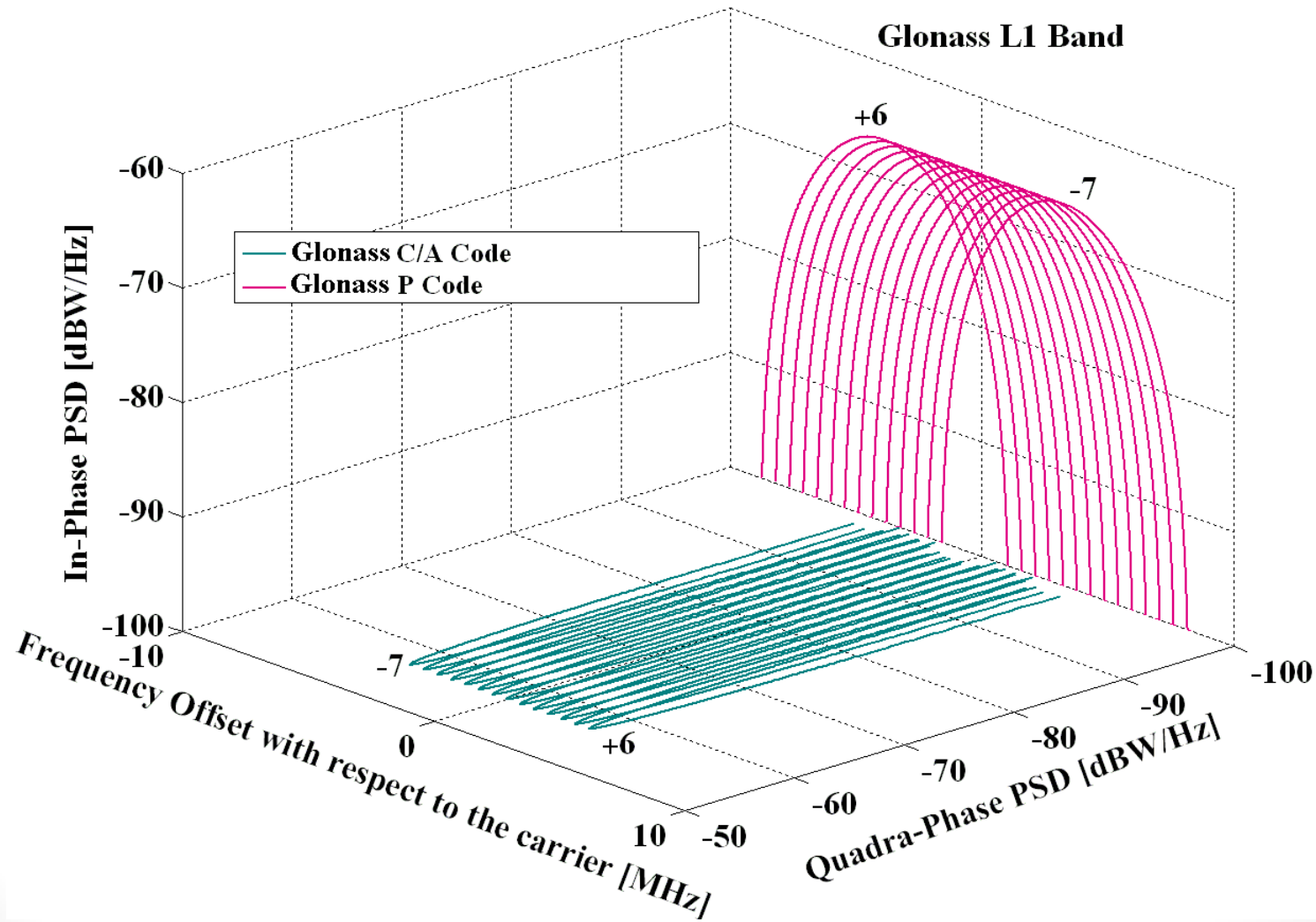
GNSS – GLONASS

- Danas bilo koji smartphone telefon, bilo da je u pitanju *high-end* ili *low-cost* pametni telefon, opremljen je A-GPS-om (*assisted* GPS, koji koristi mrežne mogućnosti za pronalaženje lokacije).
- Pošto se GLONASS nudi za javne servise, sve više smartphon-a je opremljeno GPS + GLONASS tehnologijom.
-
- Nakon *flagship* ili *high end smartphon-a*, *low* i *mid-range* uređaji će biti opremljeni GPS + GLONASS tehnologijom.

GNSS – GLONASS L1 *band*

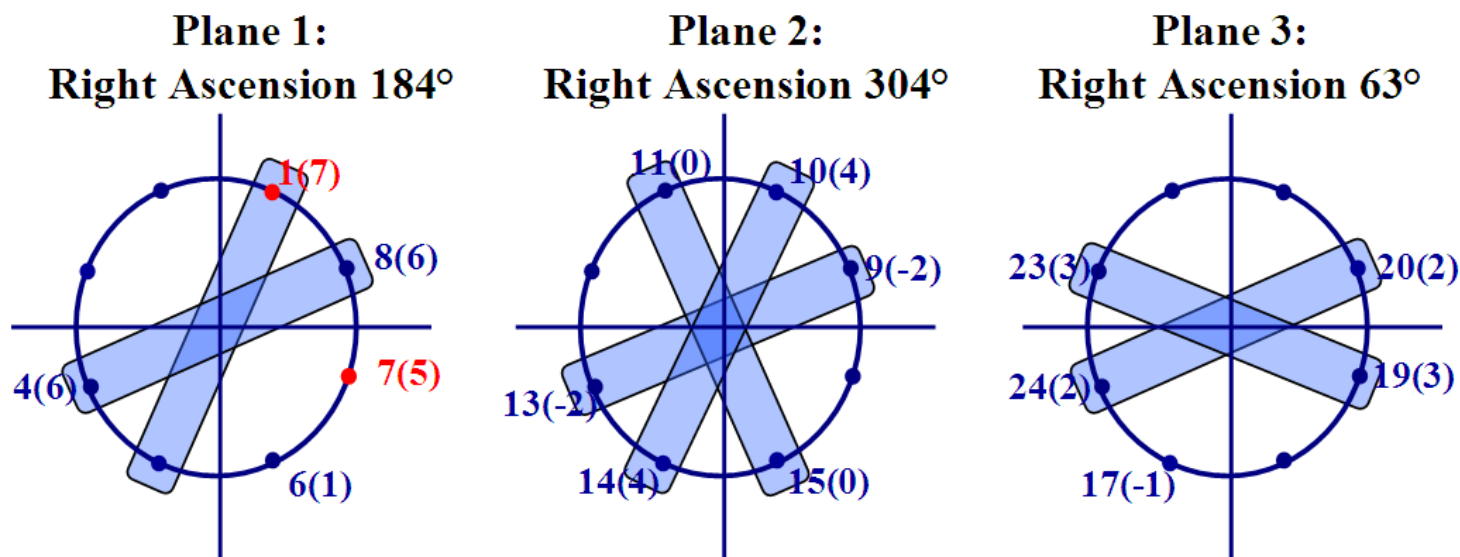
GNSS System	GLONASS	GLONASS
Service Name	C/A Code	P Code
Centre Frequency	(1598.0625-1605.375) MHz \pm 0.511 MHz	
Frequency Band	L1	L1
Access Technique	FDMA	FDMA
Spreading modulation	BPSK(0.511)	BPSK(5.11)
Sub-carrier frequency	-	-
Code frequency	0.511 MHz	5.11 MHz
Signal Component	Data	Data
Primary PRN Code length	511	N/A
Code Family	M-sequences	N/A
Meander sequence	100 Hz	N/A
Data rate	50 bps	N/A
Minimum Received Power [dBW]	-161 dBW	N/A
Elevation	5°	N/A

GNSS – GLONASS L1 *band*

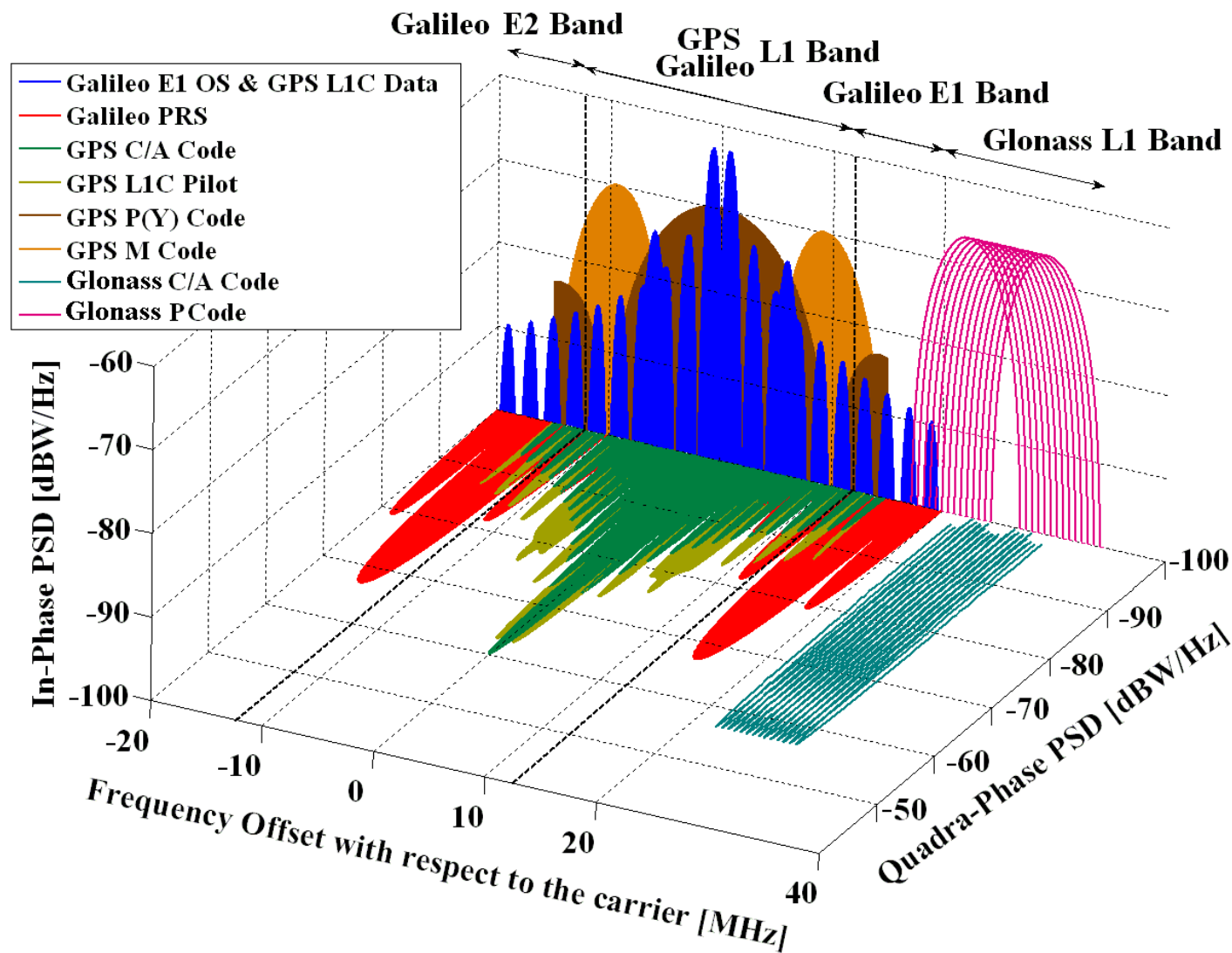


GNSS – GLONASS L1 *band*

- Iako je samo frekvencijskih 14 kanala u L1 opsegu, interferencija se izbjegava, jer iste kanale koriste sateliti na suprotnim stranama zemlje



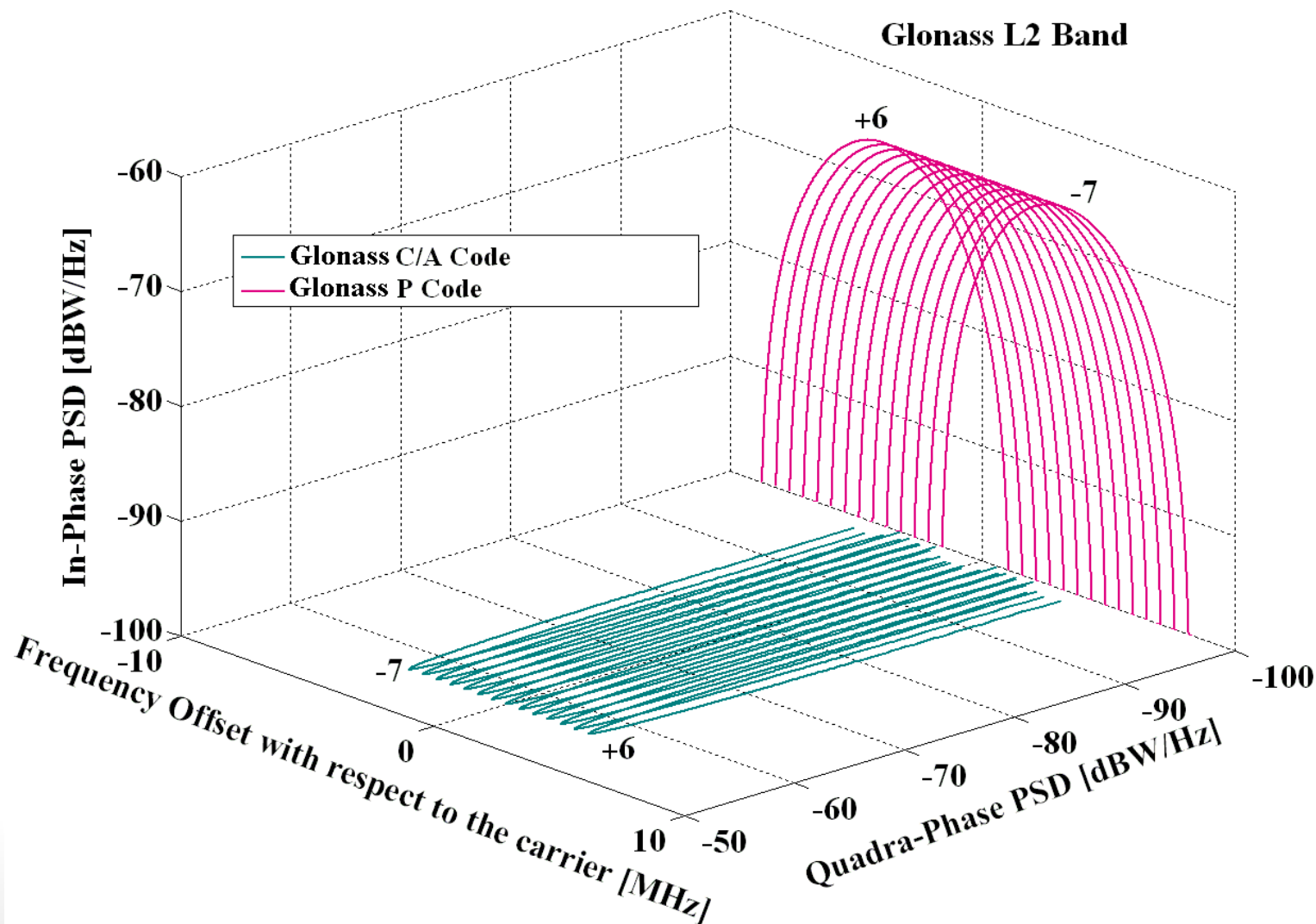
GNSS – GLONASS L1 *band*



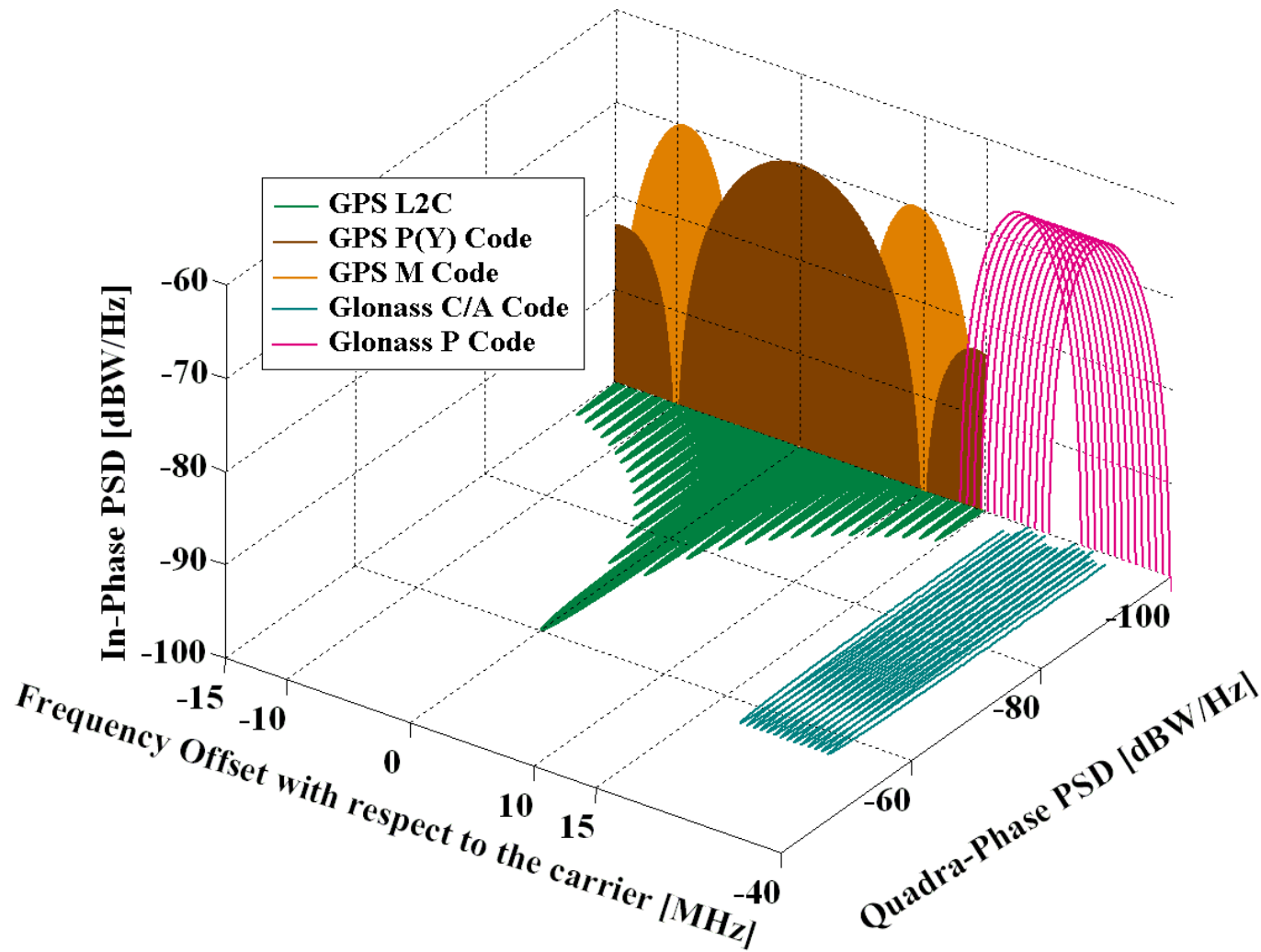
GNSS – GLONASS L2 *band*

GNSS System	GLONASS	GLONASS
Service Name	C/A Code	P Code
Centre Frequency	(1242.9375... 1248.625) MHz \pm 0.511 MHz	
Frequency Band	L2	L2
Access Technique	FDMA	FDMA
Spreading modulation	BPSK(0.511)	BPSK(5.11)
Sub-carrier frequency	-	-
Code frequency	0.511 MHz	5.11 MHz
Signal Component	Data	Data
Primary PRN Code length	511	N/A
Code Family	M-sequences	N/A.
Meander sequence	100 Hz	N/A
Data rate	50 bps	N/A
Minimum Received Power [dBW]	-167 dBW	N/A
Elevation	5°	N/A

GNSS – GLONASS L2 *band*



GNSS – GLONASS L2 *band*



7. Integracija satelitskih i mobilnih terestrialnih celularnih sistema

➤ Satelitski sistemi i 2G

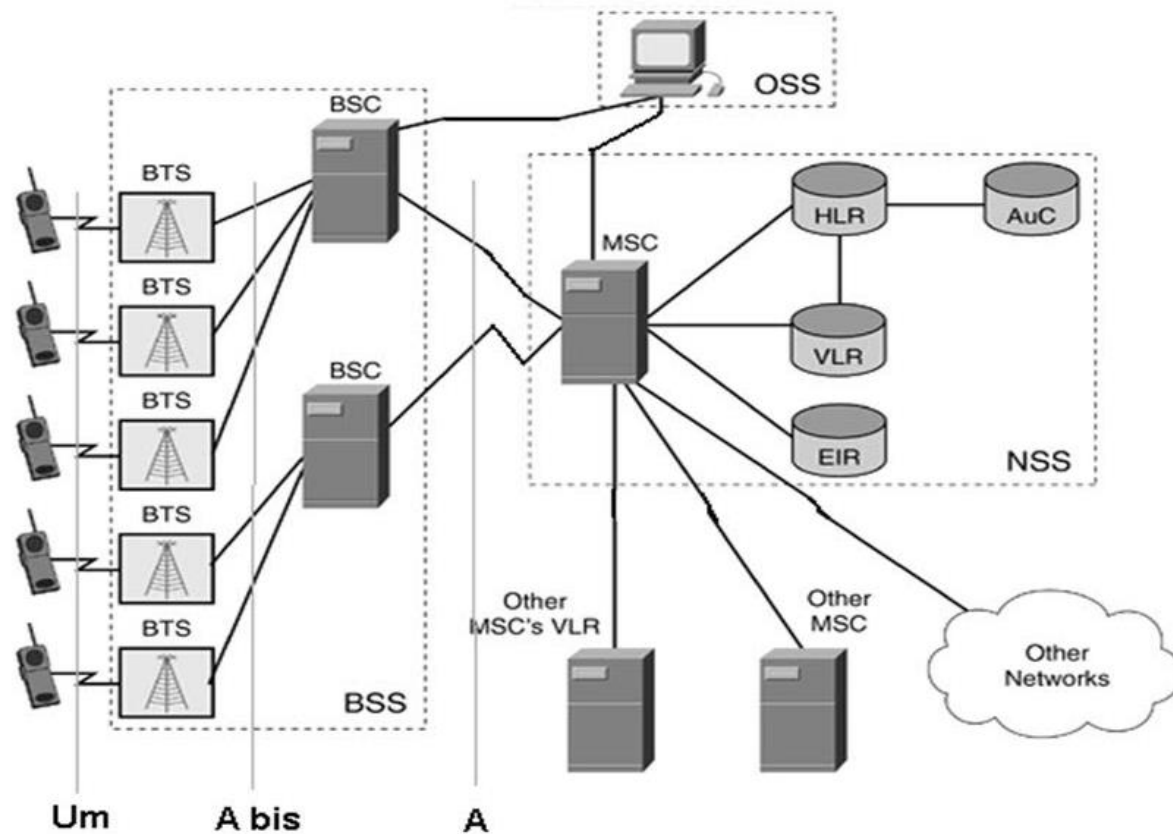
➤ Satelitski sistemi i 3G

➤ Satelitski sistemi i 4G

➤ Satelitski sistemi i 5G

S-GSM integracija

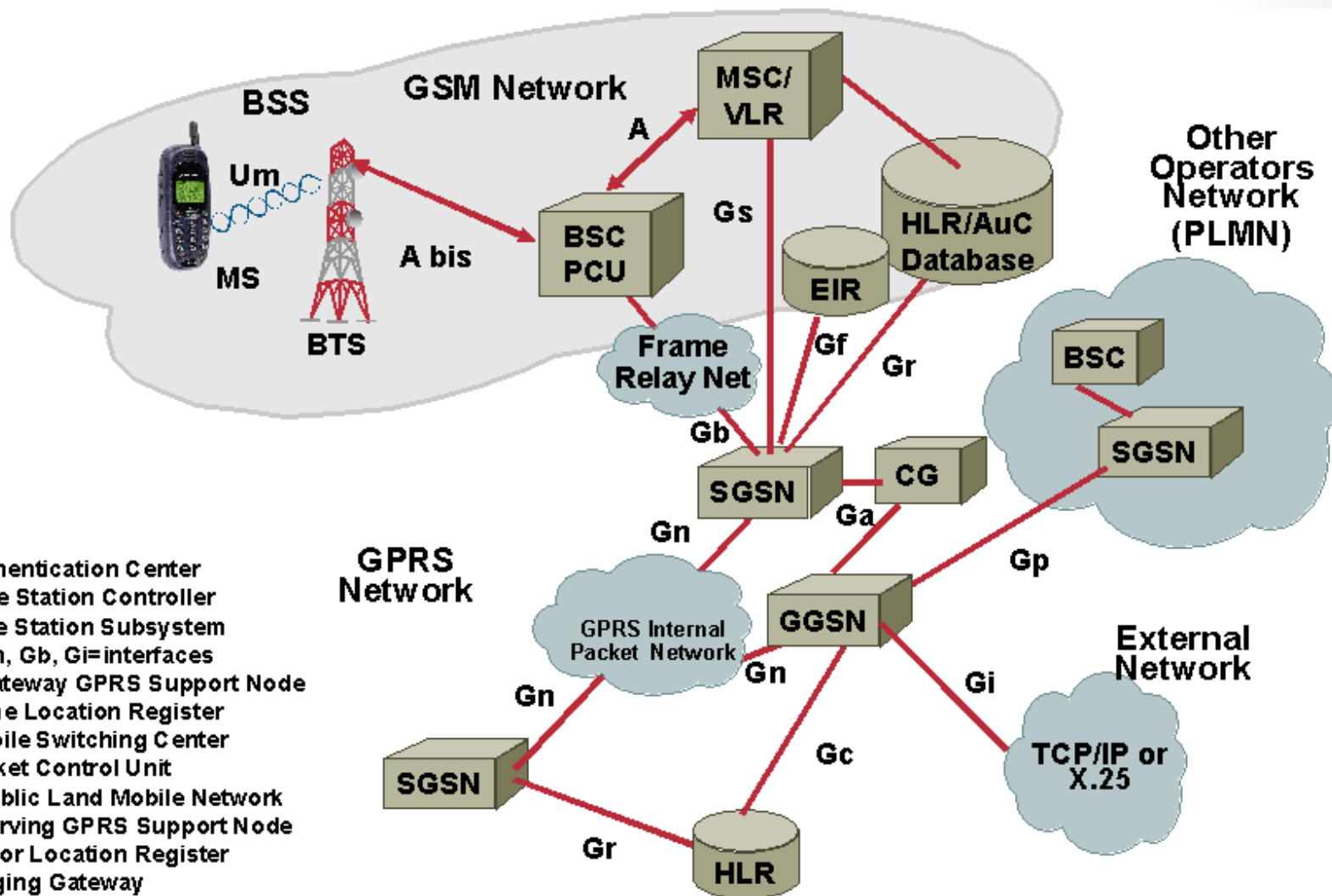
GSM arhitektura



- **Mobile Station (MS)**
 - Mobile Equipment (ME)
 - Subscriber Identity Module (SIM)
- **Base Station Subsystem (BSS)**
 - Base Transceiver Station (BTS)
 - Base Station Controller (BSC)
- **Network Switching Subsystem(NSS)**
 - Mobile Switching Center (MSC)
 - Home Location Register (HLR)
 - Visitor Location Register (VLR)
 - Authentication Center (AUC)
 - Equipment Identity Register (EIR)

S-GSM integracija

GPRS arhitektura



S-GSM integracija

- Sličnosti GSM-a i S-PCN (*Satellite Personal Communications*):
 - Frekvencijski *re-use* koncept koji je primijenjen u GSM mreži se može primijeniti i u S-PCN
 - Satelitsko *spot-beam* pokrivanje je ekvivalentno sa GSM ćelijskim pokrivanjem
 - GSM mrežni protokoli višeg nivoa se mogu primijeniti u S-PCN mreži sa određenim modifikacijama

S-GSM integracija

- Razlike GSM-a i S-PCN (*Satellite Personal Communications*):
 - Veće propagaciono kašnjenje u S-PCN mrežama
 - Veće slabljenje signala u S-PCN mrežama
 - Veći eho efekat u u S-PCN mrežama
 - Sofisticiranija sinhronizacija je potrebna u S-PCN mrežama
 - *Spot-beam* pokrivanje je značajno veće od ćelijskog pokrivanja u terestrialnim mrežama
 - Mehanizmi kontrole snage su složeniji u S-PCN mrežama pošto se dostupna snaga na satelitu dijeli na sve *spot-beam*-ove
 - Satelitski radio kanal se obično karakteriše Rice-ovom statistikom dok se mobilni radio kanal u terestrialnim mrežama karakteriše Rayleigh-ovom statistikom
 - Doppler-ov pomjeraj može biti vrlo izražen u S-PCN mrežama

S-GSM integracija

- Bitni faktori integracije S-PCN i GSM mreža:
 - Modifikacije u postojećim standardima treba minimizovati
 - Posebna pažnja se mora obratiti na funkcije kontrole korišćenja mrežnih resursa. Zavisno od nivoa integracije mrežni resursi u terestrialnim mrežama i resursi u satelitskim mrežama se mogu dijeliti
 - U integrisanim mrežama mogućnost inter-segment handover se mora uzeti u obzir
 - Kompatibilnost između mrežnih lokacijskih registara i adresnih planova je neophodna da bi se osigurala mobilnost između satelitse i terestrialne mreže.
 - Dodatna signalizacija koja je neophodna zbog integracije treba da bude minimizovana, da se ne bi narušio QoS

S-GSM integracija

1. Integracija na Abis-interfejsu – odvojeni BTS/GTS, zajednički BSC i MSC.
2. Integracija na A-interfejsu – odvojeni BTS/GTS i BSC/GSC, zajednički MSC.
3. Integracija na E-interfejsu – odvojene terestrialne i satelitske mreže sa određenim zajedničkim funkcijama između MSC-ova.
4. Integracija na Um-interfejsu – terminalna integracija

Scenaeriji integracije su prikazani na sledećim slajdovima

Terestrialna mreža

BTS - terrestrial base transceiver system

BSC - base station controller

MSC - mobile switching centre

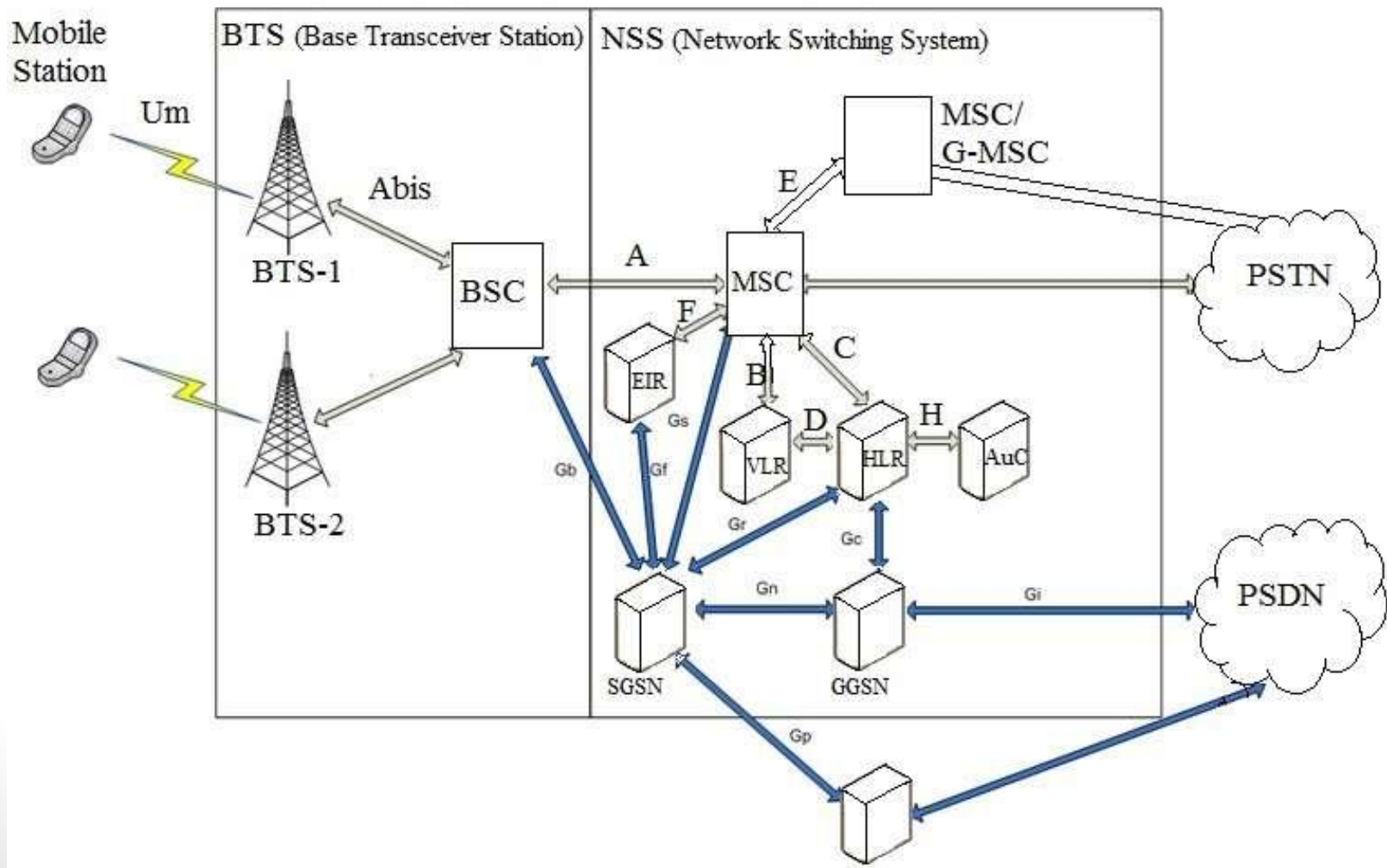
Satelitska mreža

GTS - gateway transceiver subsystem

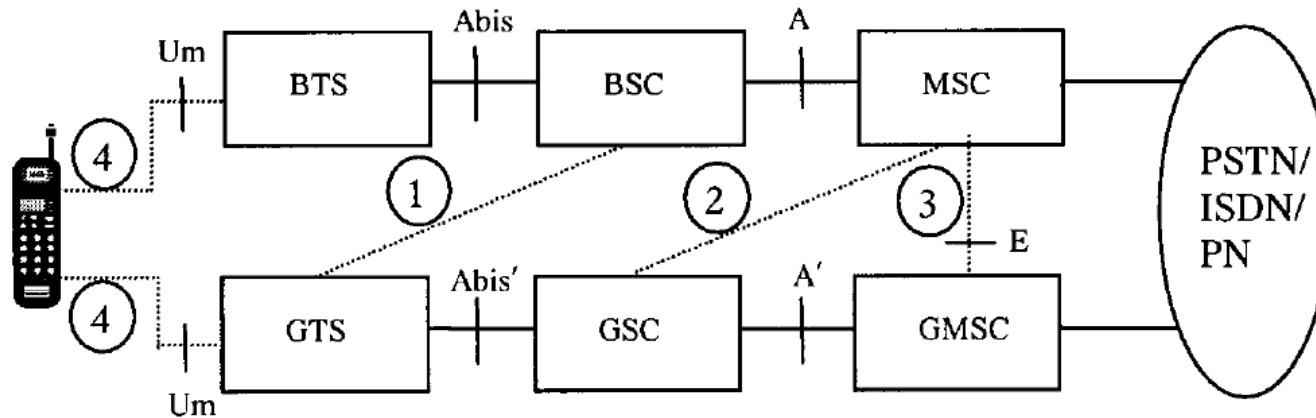
GSC - gateway station control

GMSC – gateway mobile switching centre

S-GSM integracija



S-GSM integracija



Terrestrialna mreža

BTS - terrestrial base transceiver system

BSC - base station controller

MSC - mobile switching centre

Satelitska mreža

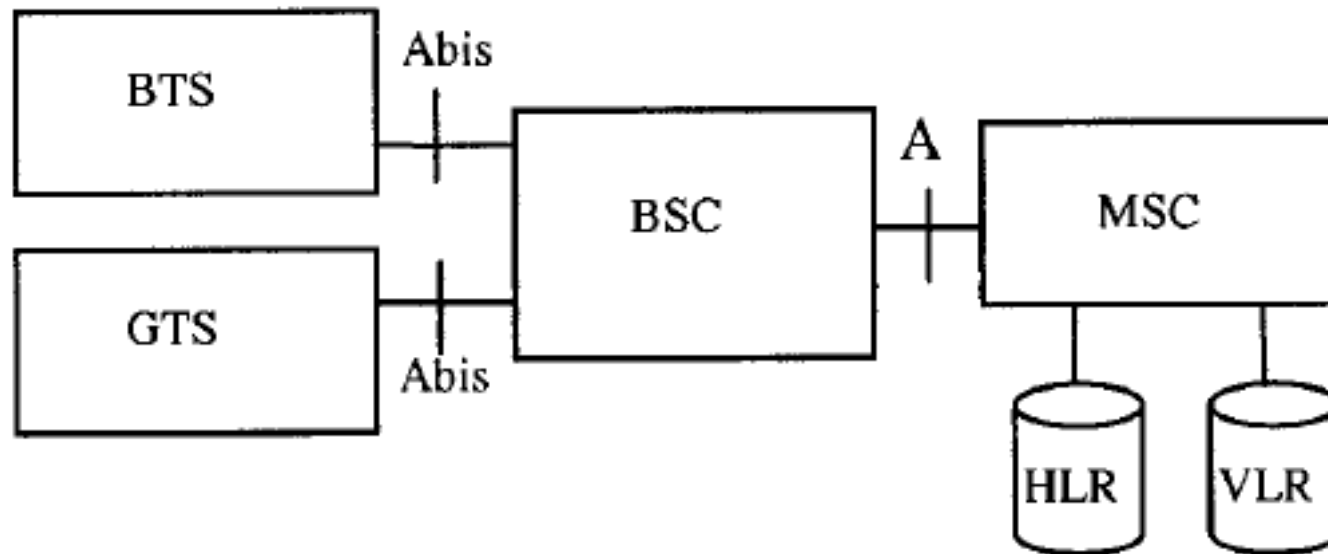
GTS - gateway transceiver subsystem

GSC - gateway station control

GMSC – gateway mobile switching centre

S-GSM integracija

Integracija na Abis-interfejsu



Integracija na Abis-interfejsu – odvojeni BTS/GTS, zajednički BSC i MSC

S-GSM integracija

Integracija na Abis-interfejsu

- U ovom scenariju integracije osim odvojenih transceiver sistema, ostale mrežne komponente su zajedničke za obje mreže
- Uz različite *transceiver* sisteme, vazdušni interfejsi u oba segmenta se mogu optimizovati prema transmissionim karakteristikama satelitskog i zemaljskog mobilnog radio kanala
- Pošto su BSC i MSC zajednički za obje mreže, inter-mrežne kontrolne funkcije kao što su kontrola mobilnosti, kontrola pristupa resursima ili funkcije komutacije, je lakše koordinisati. Pošto je MSC zajednički za obje mreže, HLR i VLR su dostupni objema mrežama, što omogućava brzi i kompletan pristup lokacijskim registrima.

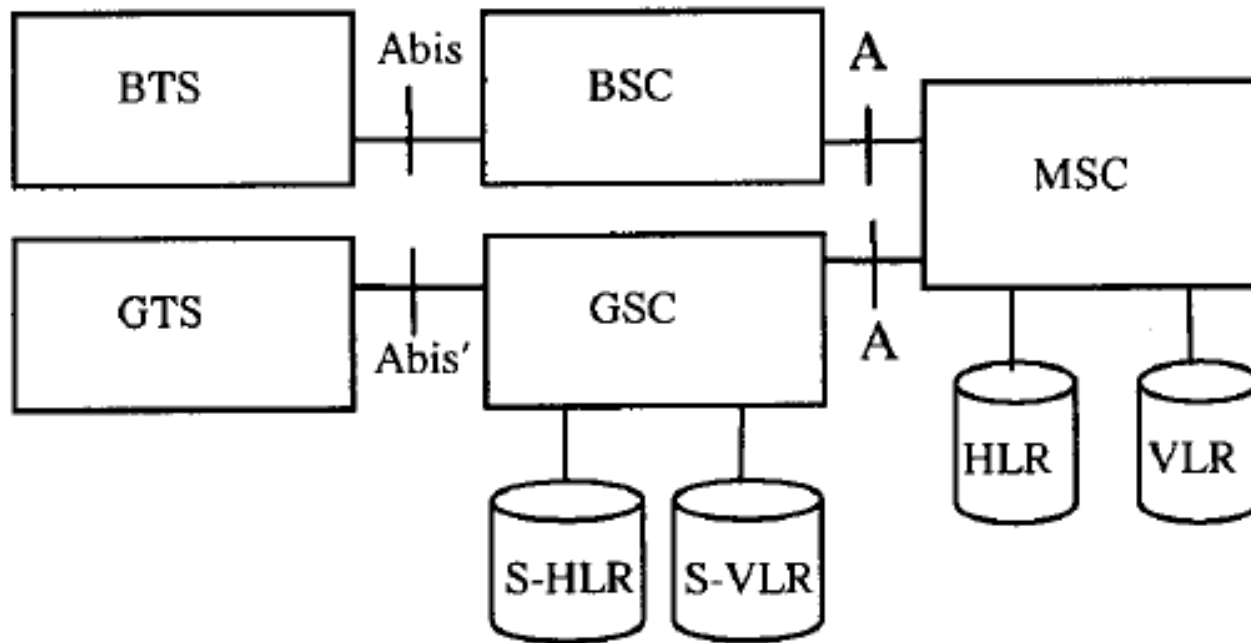
S-GSM integracija

Integracija na Abis-interfejsu

- Zbog odvojenih *transceiver* sistema, QoS u jednoj mreži ne mora biti konzistentan sa QoS u drugoj mreži. Zajednički BSC i MSC podrazumijeva da nove funkcije moraju biti implementirane u ovim mrežnim elementima da bi se uzele u obzir specifične zahtjevi koje unosi satelitska mreža, osim ako se isti Abis-interfejs ne implementira u obje mreže.
- Iako je inter-mrežne kontrolne funkcije lakše koordinisati, one neće biti optimalne za oba segmenta. Na primjer, brza komutacija između dva BTS-a nije moguća. Pošto su BSC i MSC odgovorni za koordinaciju oba segmenta i inter-segmentne mrežne kontrolne funkcije, dodatna signalizacija je neophodna od strane MSC-a, što zahtijeva modifikacije u GSM standardu.

S-GSM integracija

Integracija na A-interfejsu



Integracija na A-interfejsu – odvojeni BTS/GTS i BSC/GSC, zajednički MSC

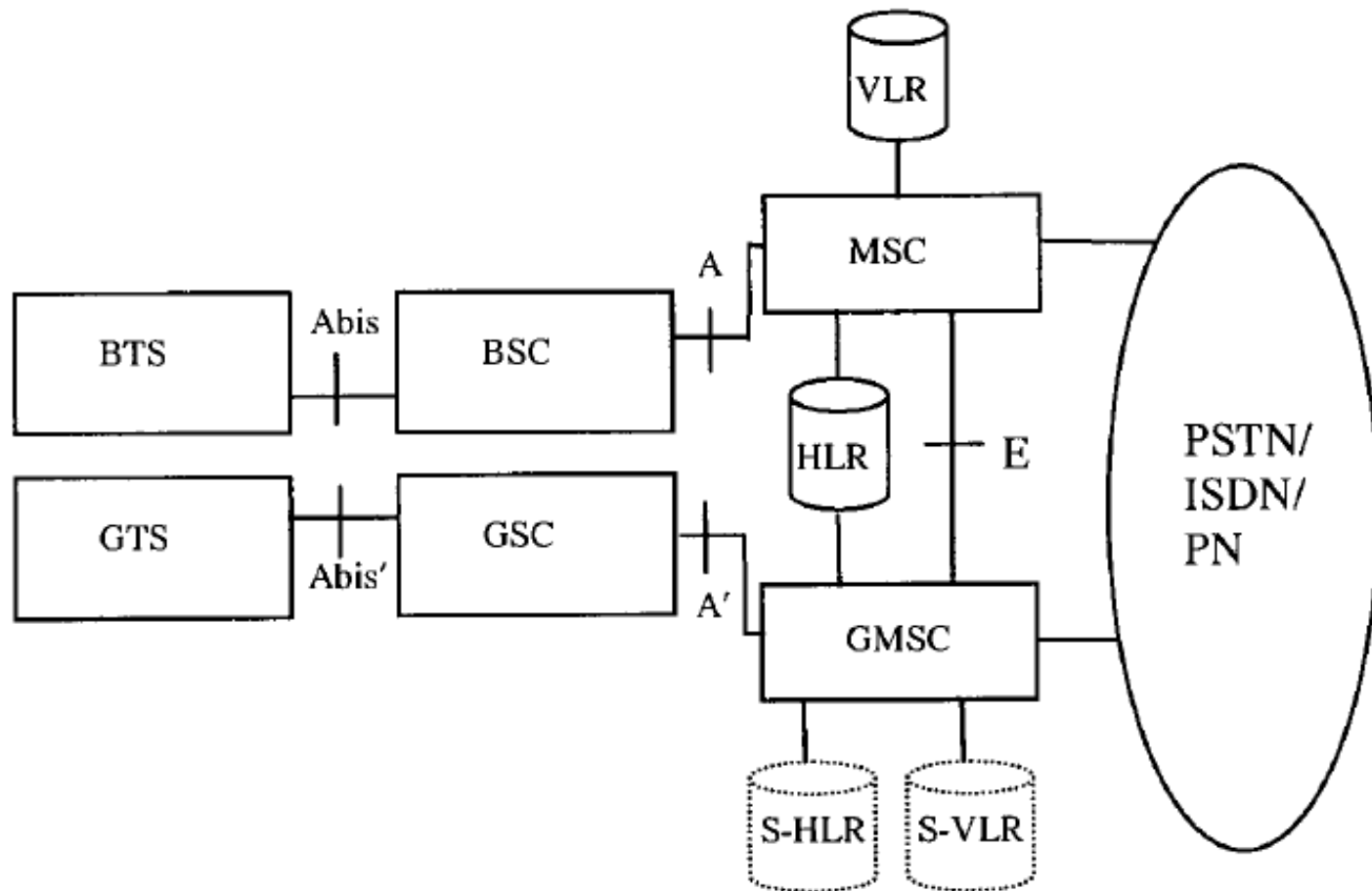
S-GSM integracija

Integracija na A-interfejsu

- U ovom scenariju integracije, satelitski *gateway* ima funkcionalnosti slične sa BTS i BSC u GSM mreži. Kao i u prošlom integracionom scenariju, vazdušni interfejsi se mogu optimizovati za svaki segment. Komutacione funkcije vezane za BSC i GSC se mogu optimizovati za svaki segment omogućavajući brzo prebacanje između različitih BTS-ova ili GTS-ova unutar istog segmenta. Jedan MSC olakšava koordinaciju inter-mrežnih kontrolnih funkcija, naročito inter-segmentskog handovera. Kao i prije, zajednički HLR i VLR omogućavaju potpuni pristup lokacijskim registrima. Mana ovog scenarija je ta što su modifikacije na A-interfejsu i na MSC-u neophodne da bi se omogućila razmjena signalizacije GSM i satelitske pristupne mreže. To znači da MSC funkcije neće biti optimalne za svaki segment.

S-GSM integracija

Integracija na E-interfeisu



Integracija na E-interfejsu – odvojene terestrialne i satelitske mreže sa određenim zajedničkim funkcijama između MSC-ova

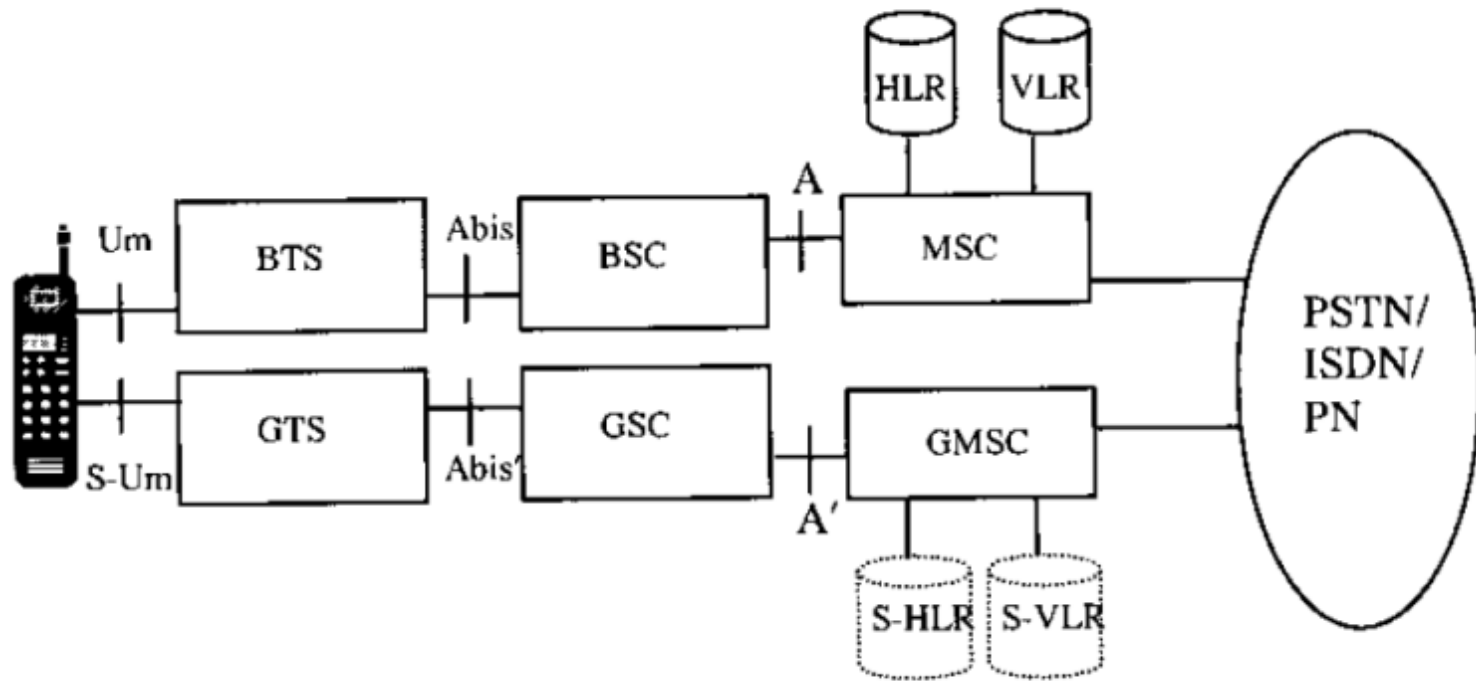
S-GSM integracija

Integracija na E-interfejsu

- U ovom scenariju integracije, GSM S-PCN segmenti imaju odvojene pristupne mreže, pri čemu svaki segment ima svoju mrežnu infrastrukturu kao što je prikazano na slici. Ovo omogućava da se pozivi rutiraju transparentno između različitih pristupnih mreža. Uz ovaj nivo integracije, obje mreže mogu dijeliti zajednički HLR, pri čemu imaju odvojene VLR-ove. Ovakva zajednička mrežna infrastruktura omogućava transparentnu konekciju između fiksnog i mobilnog korisnika, pošto se jedinstven pozivni broj može dodijeliti bez obzira u kojem je segmentu korisnik. Jedan satelitski gateway se može dijeliti od strane više GSM mreža. Satelitska mreža se može posmatrati kao provajder zajedničkog seta servisa za druge različite provajdere. Interworking funkcije između dvije mreže se definišu samo na E-interfejsu. Jedina modifikacija u odnosu na postojeći GSM standard je na E-interfejsu, ukoliko funkcionalnosti GMSC i MSC nisu iste.

S-GSM integracija

Integracija na Um-interfejsu



Integracija na Um-interfejsu – terminalna integracija

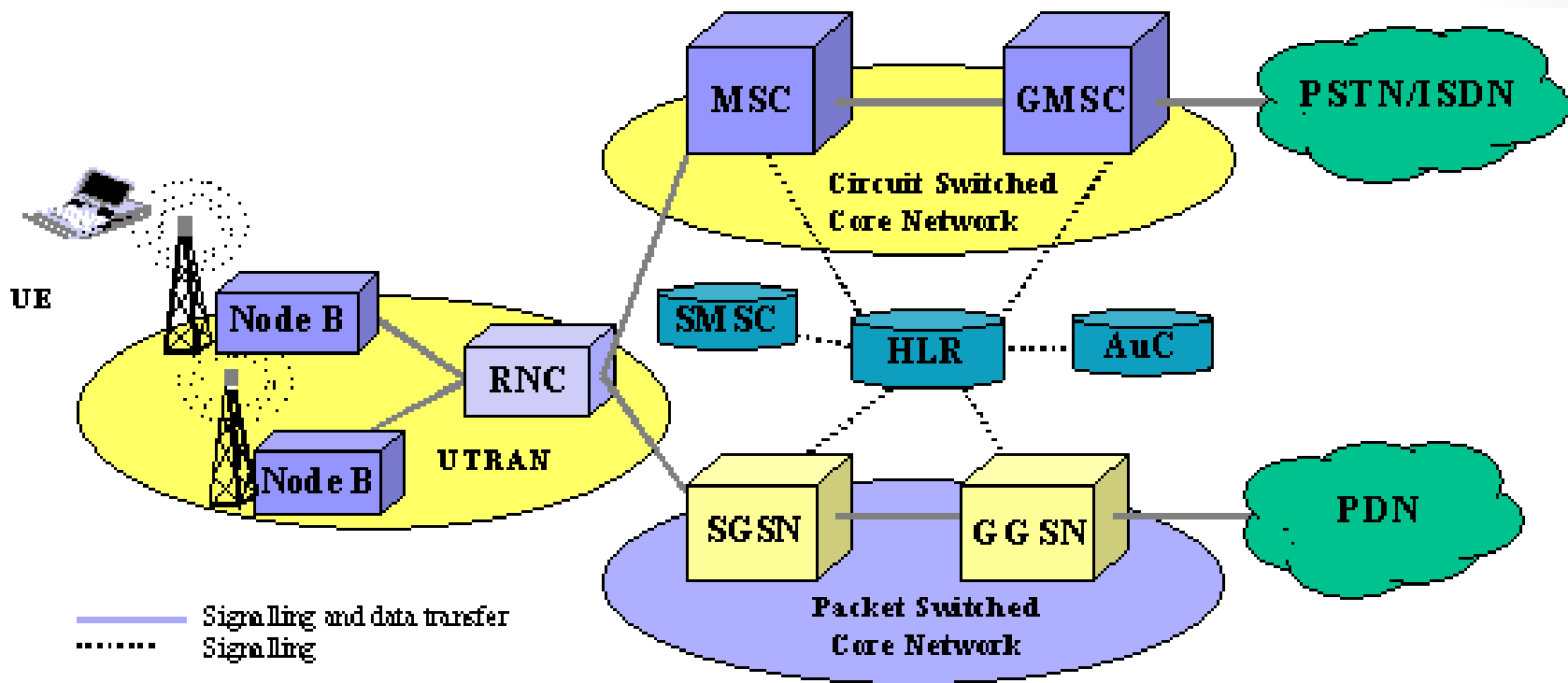
S-GSM integracija

Integracija na Um-interfejsu

- U ovom scenariju nema integracije između mrežnih elemenata u satelitskoj i terestrialnoj mreži. Jedina zajednička tačka za obje mobilne mreže je *dual-mode* terminal kao što je prikazano na slici. Selekcije segmenta se obavlja tokom faze uspostavljanja poziva. Obzirom da nema zajedničkih elemenata u mreži koji se dijele između dve segmenta, *dual-mode* terminal jednostavno ima ulogu da omogući pristup ka oba segmenta.
- Handover između dvije mreže je moguć ukoliko je dovoljan nivo inteligencije implementiran u terminalu, tako da se handover kontroliše od strane samog mobilnog terminala, tj. u pitanju je MCHO (*mobile controlled*) handover. Ovo naravno povećava kompleksnost i cijnu mobilnog terminala.

S-GSM integracija

UMTS arhitektura

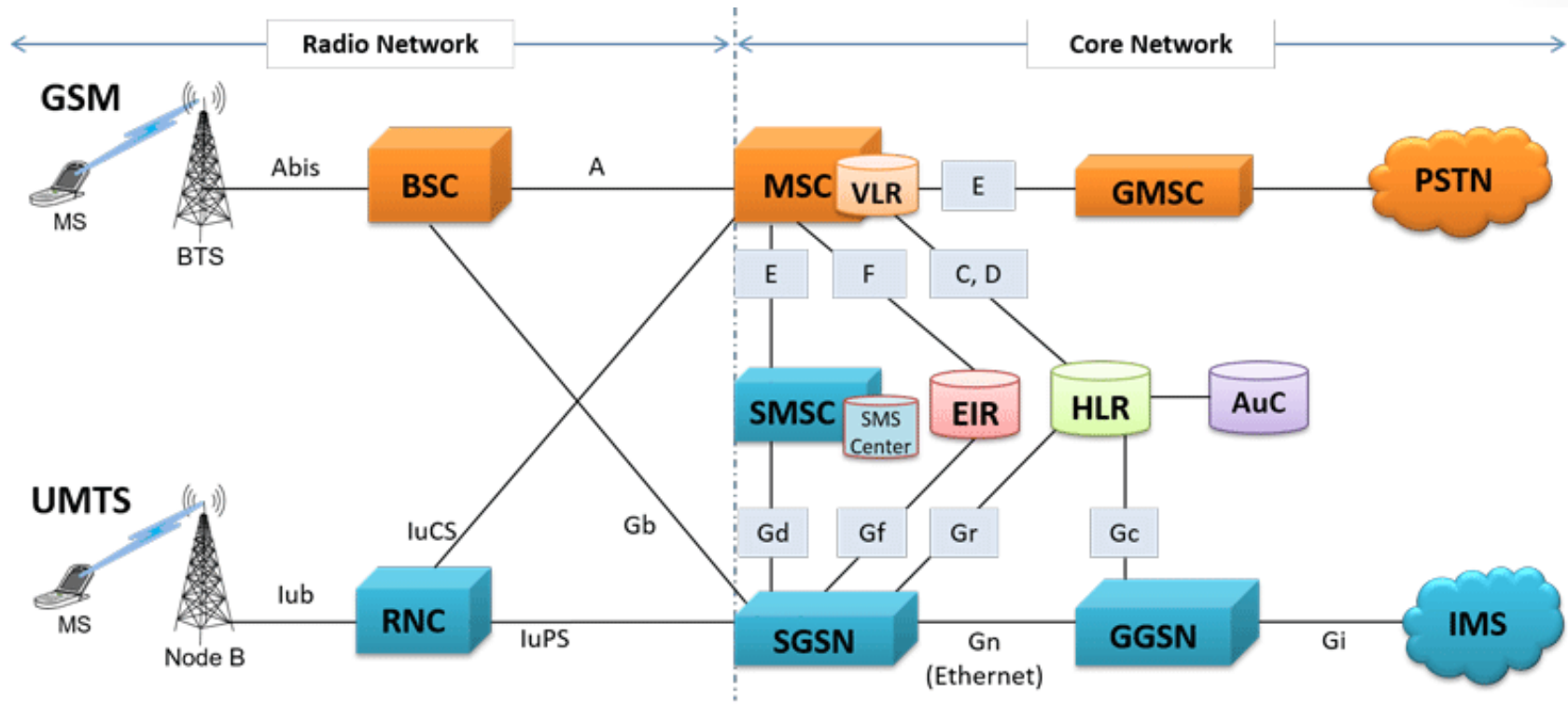


UTRAN UMTS Terrestrial Radio Access Network
 UE User Equipment
 Node B Base Station / Site
 RNC Radio Network Controller
 (G)MSC (Gateway) Mobile Switching Centre
 SGSN Serving GPRS Support Node

GGSN Gateway GPRS Support Node
 SMSC Short Message Service Centre
 HLR Home Location Register
 AuC Authentication Centre
 PSTN Public Switched Telephone Network
 ISDN Integrated Services Digital Network
 PDNs Packet Data Networks (IP networks)

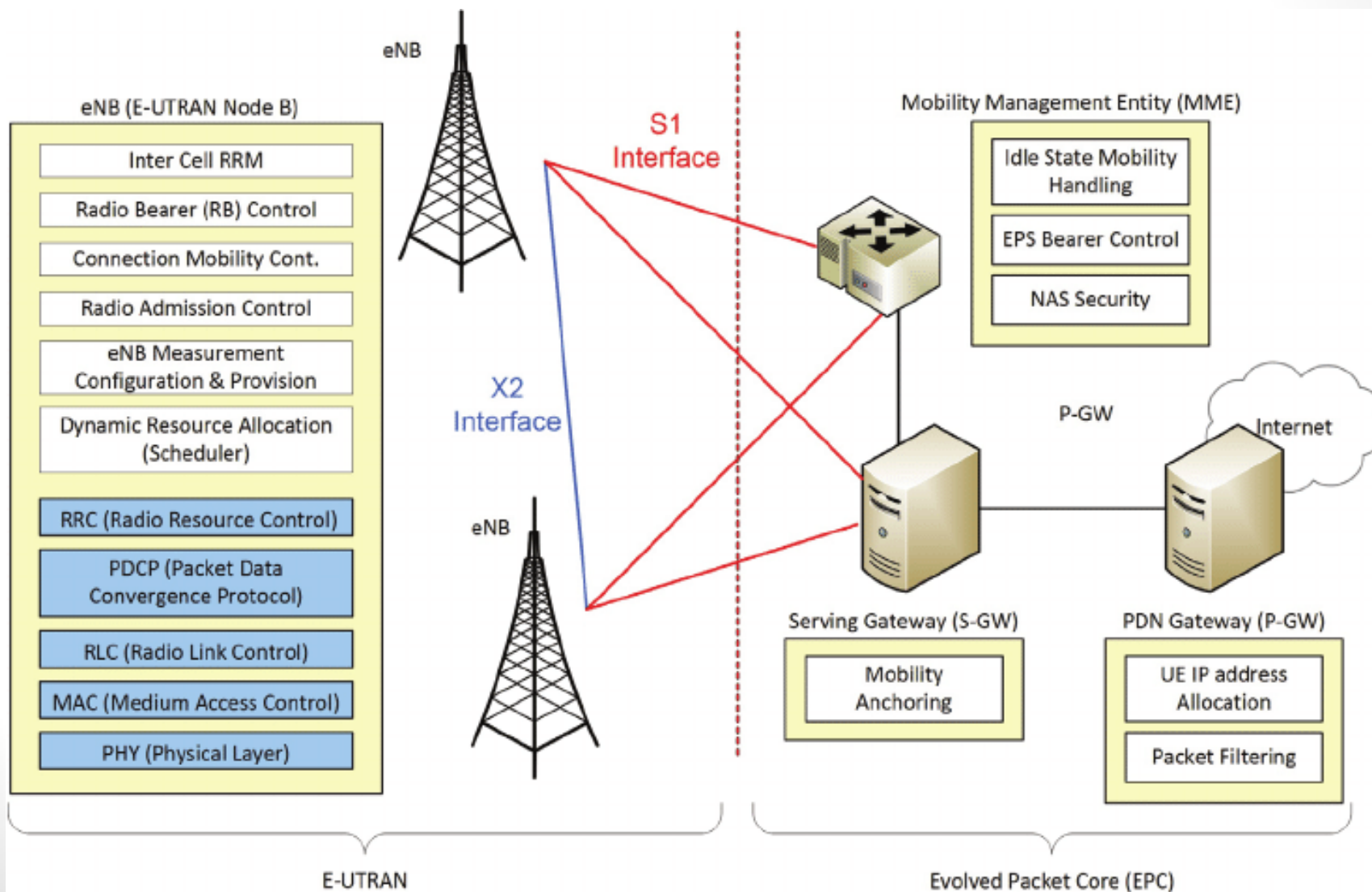
S-GSM integracija

UMTS arhitektura



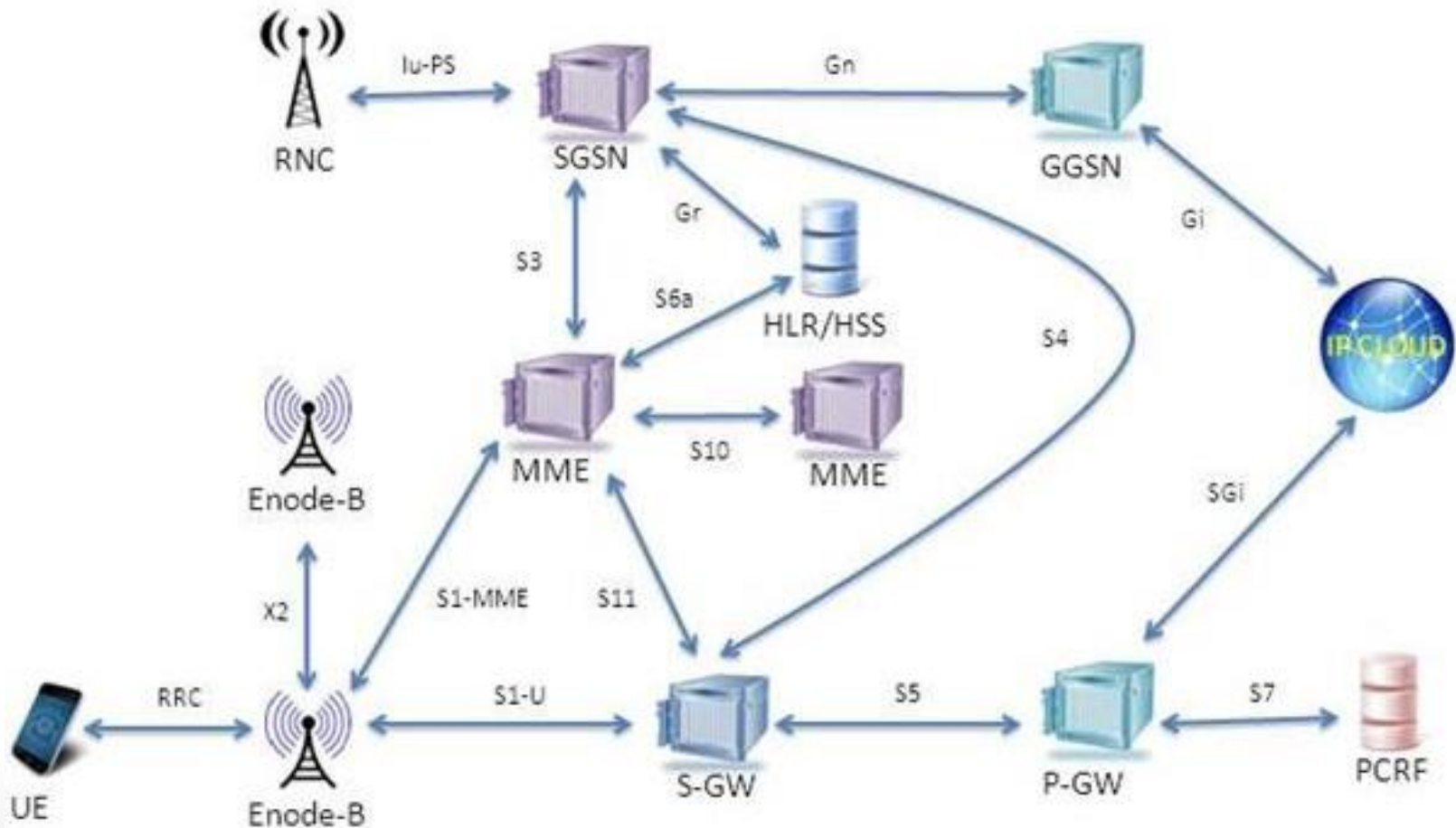
S-GSM integracija

E-UTRAN arhitektura, LTE

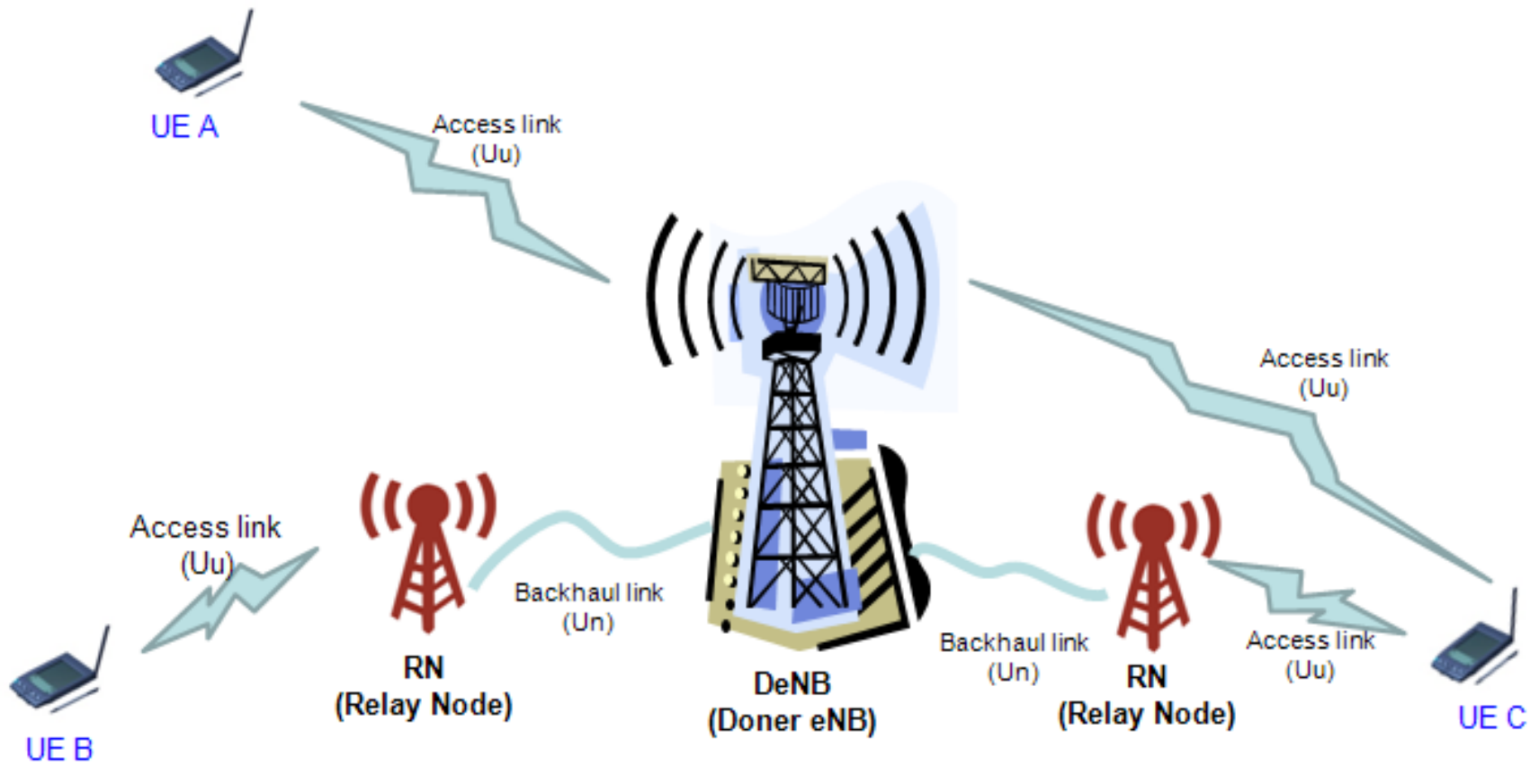


S-GSM integracija

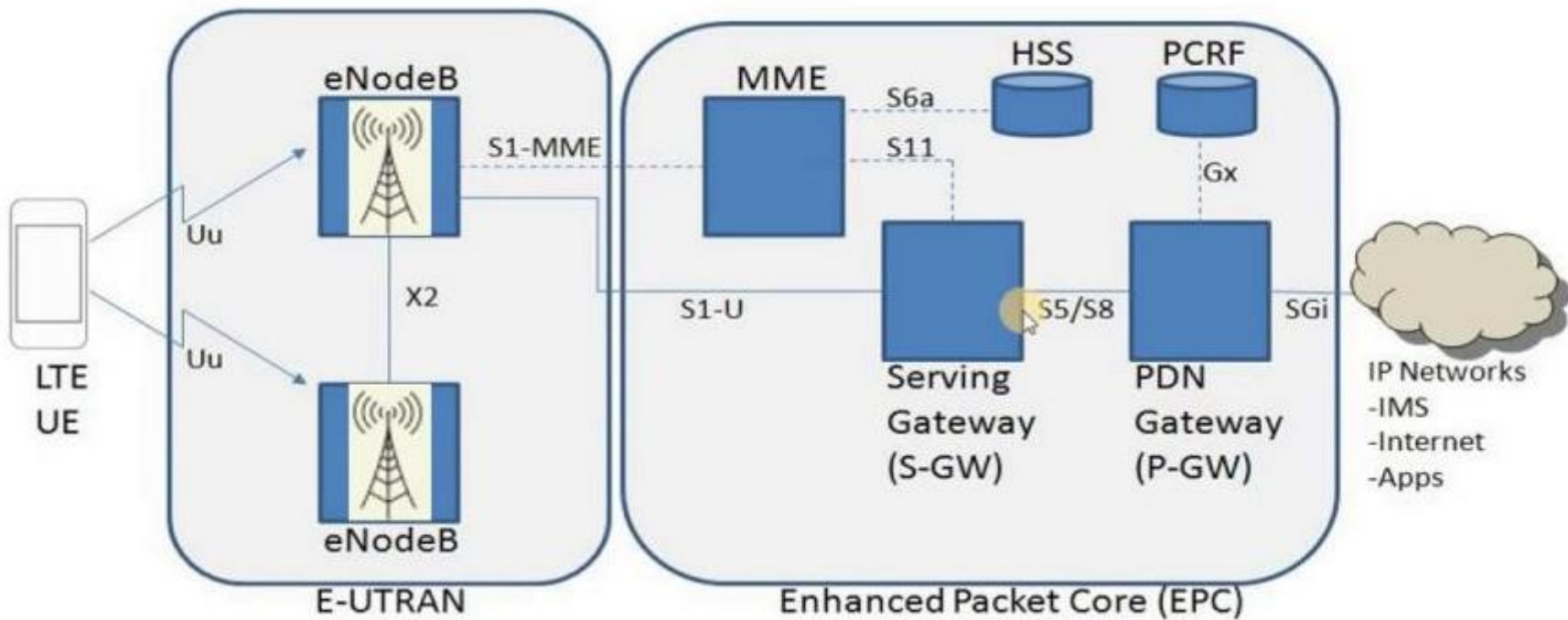
E-UTRAN arhitektura, LTE



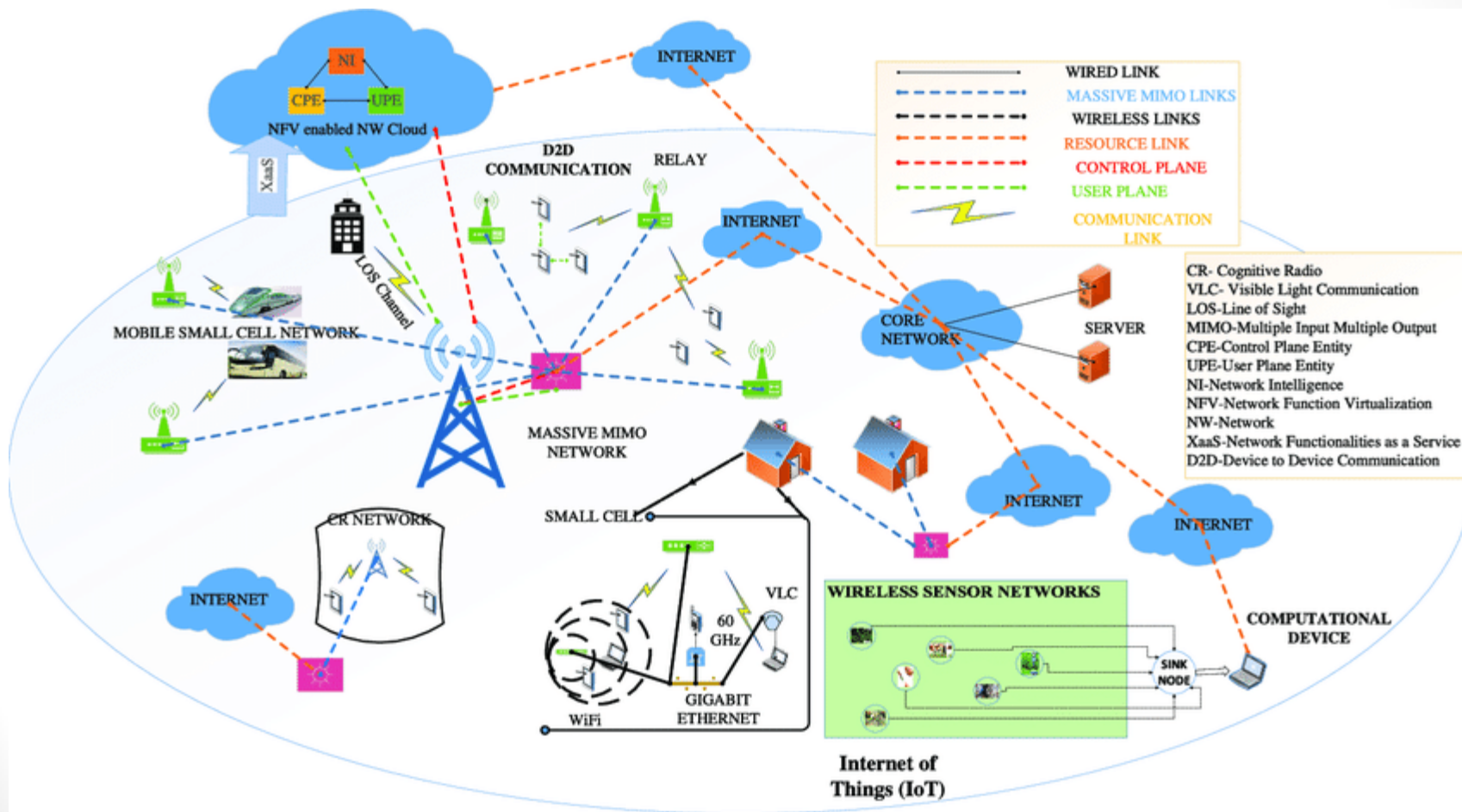
S-GSM integracija LTE-A arhitektura



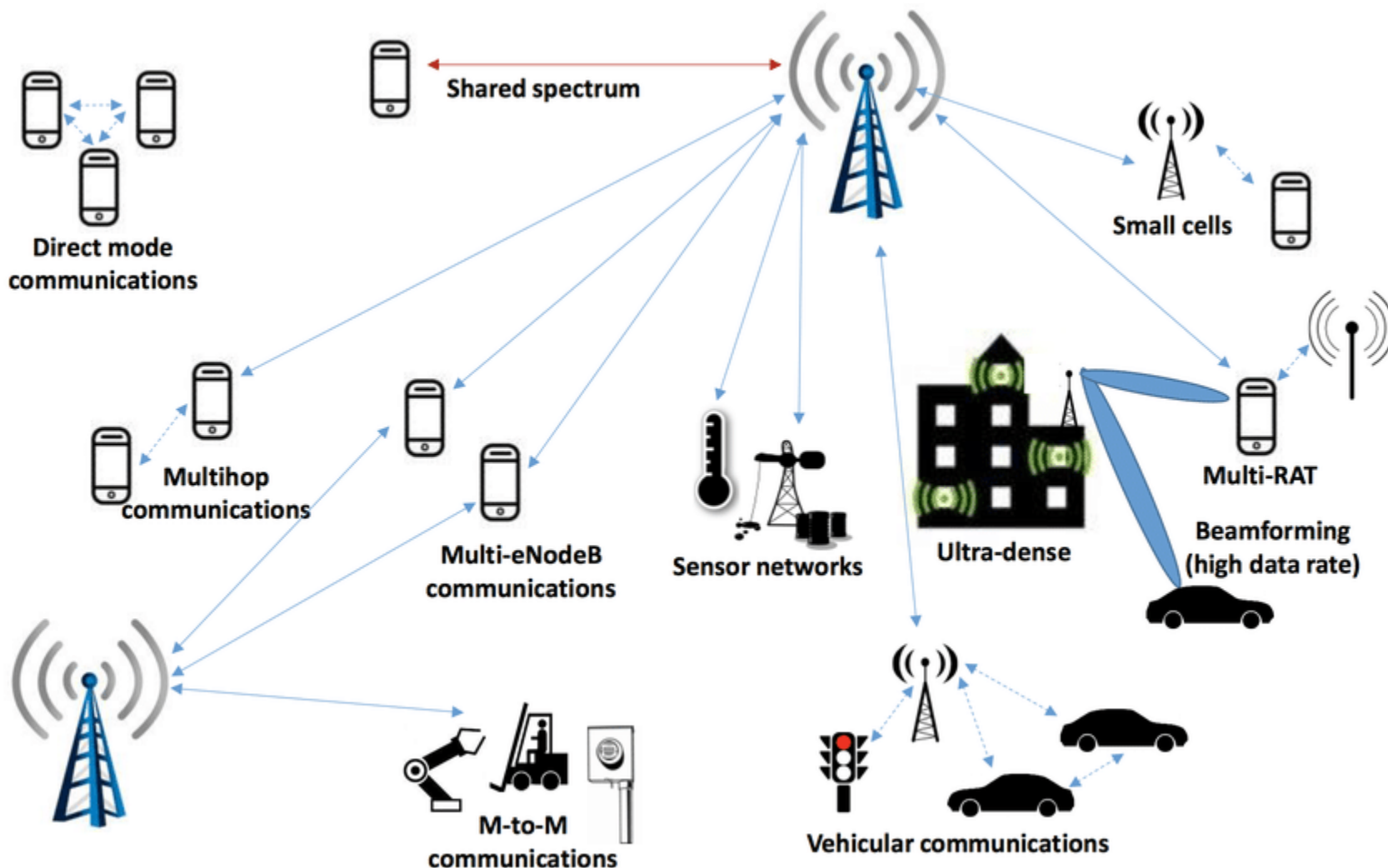
S-GSM integracija LTE-A arhitektura



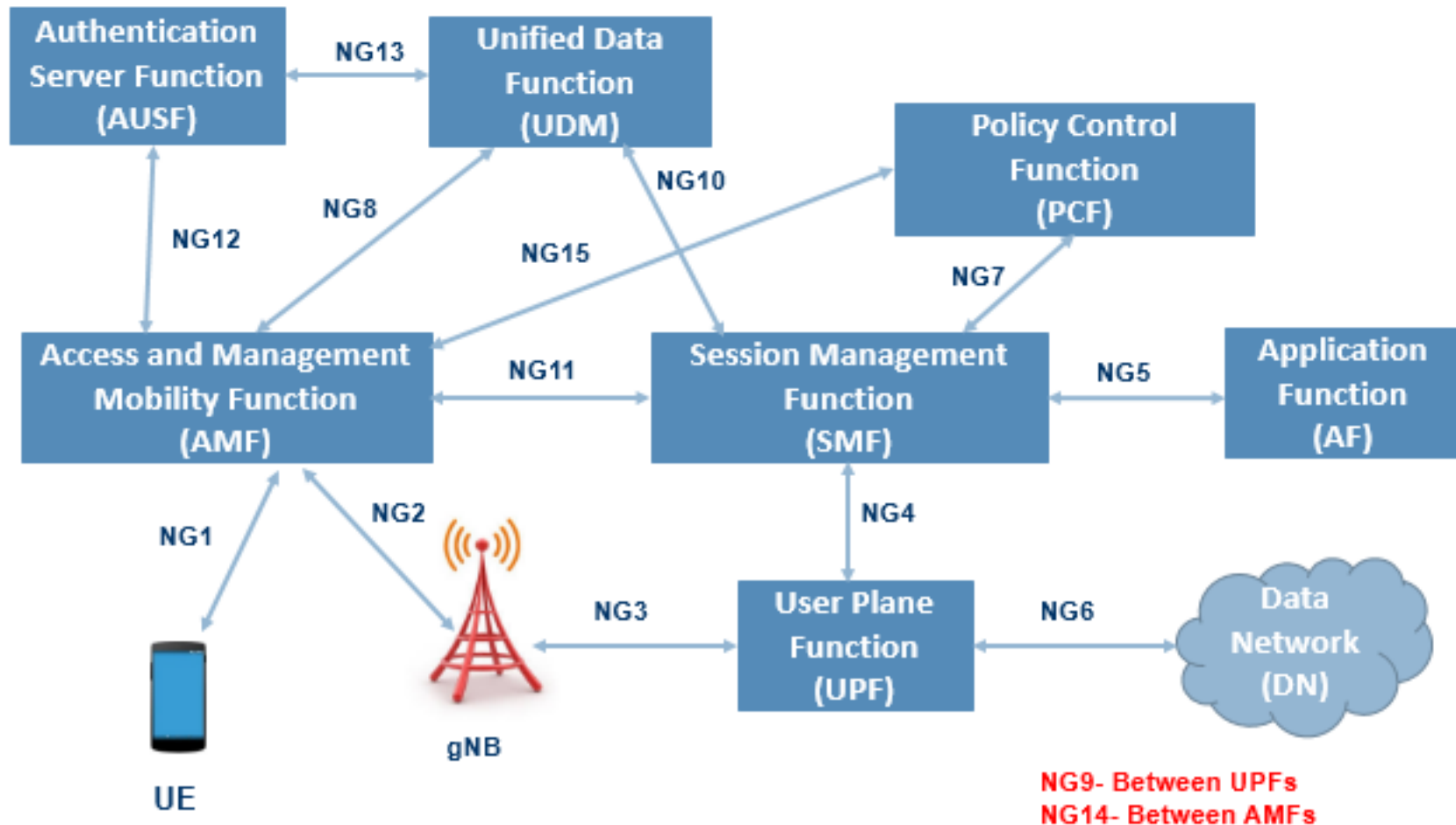
S-GSM integracija 5G arhitektura



S-GSM integracija 5G arhitektura



S-GSM integracija 5G arhitektura

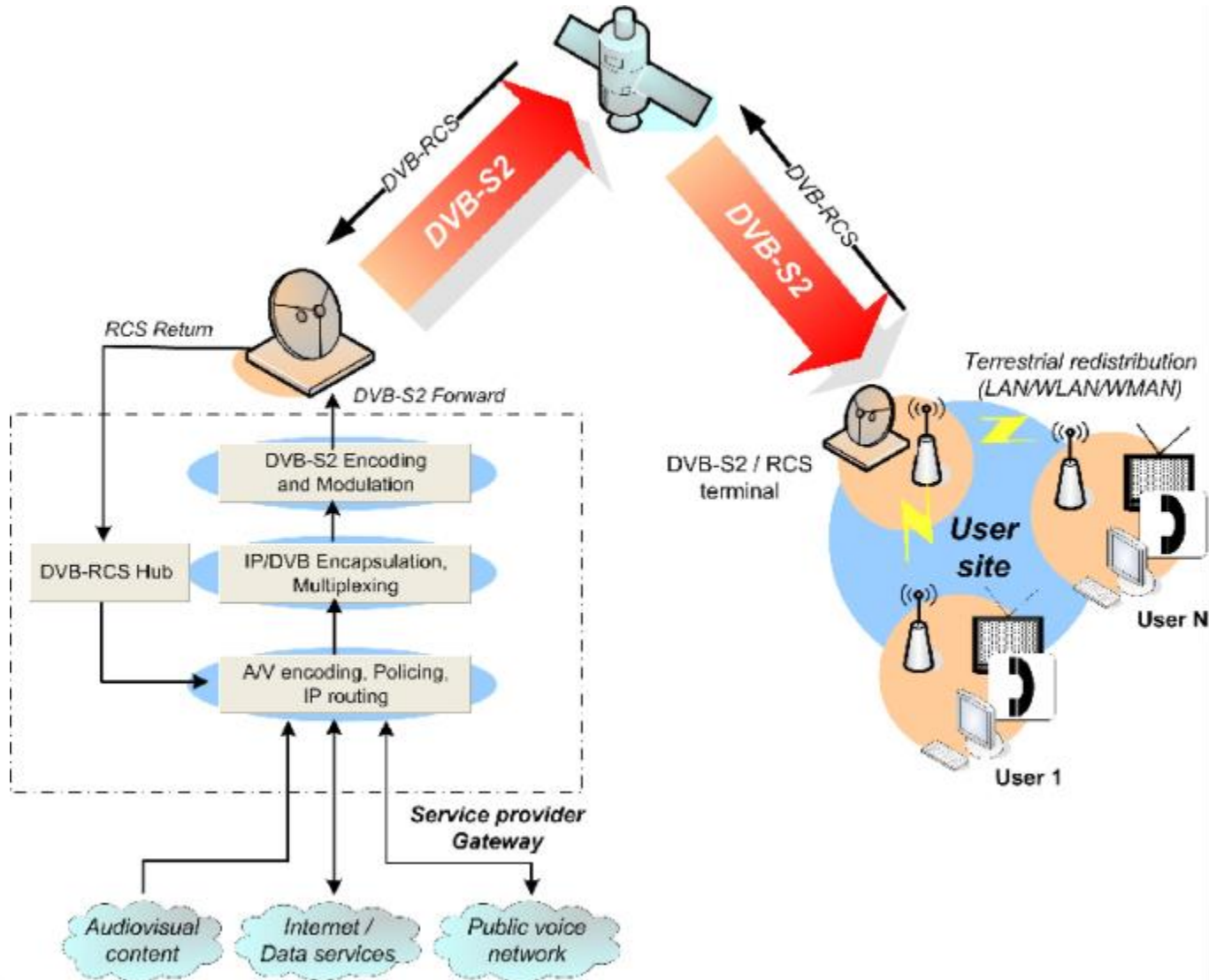


8. DVB-S - *Digital Video Broadcasting Satellite*

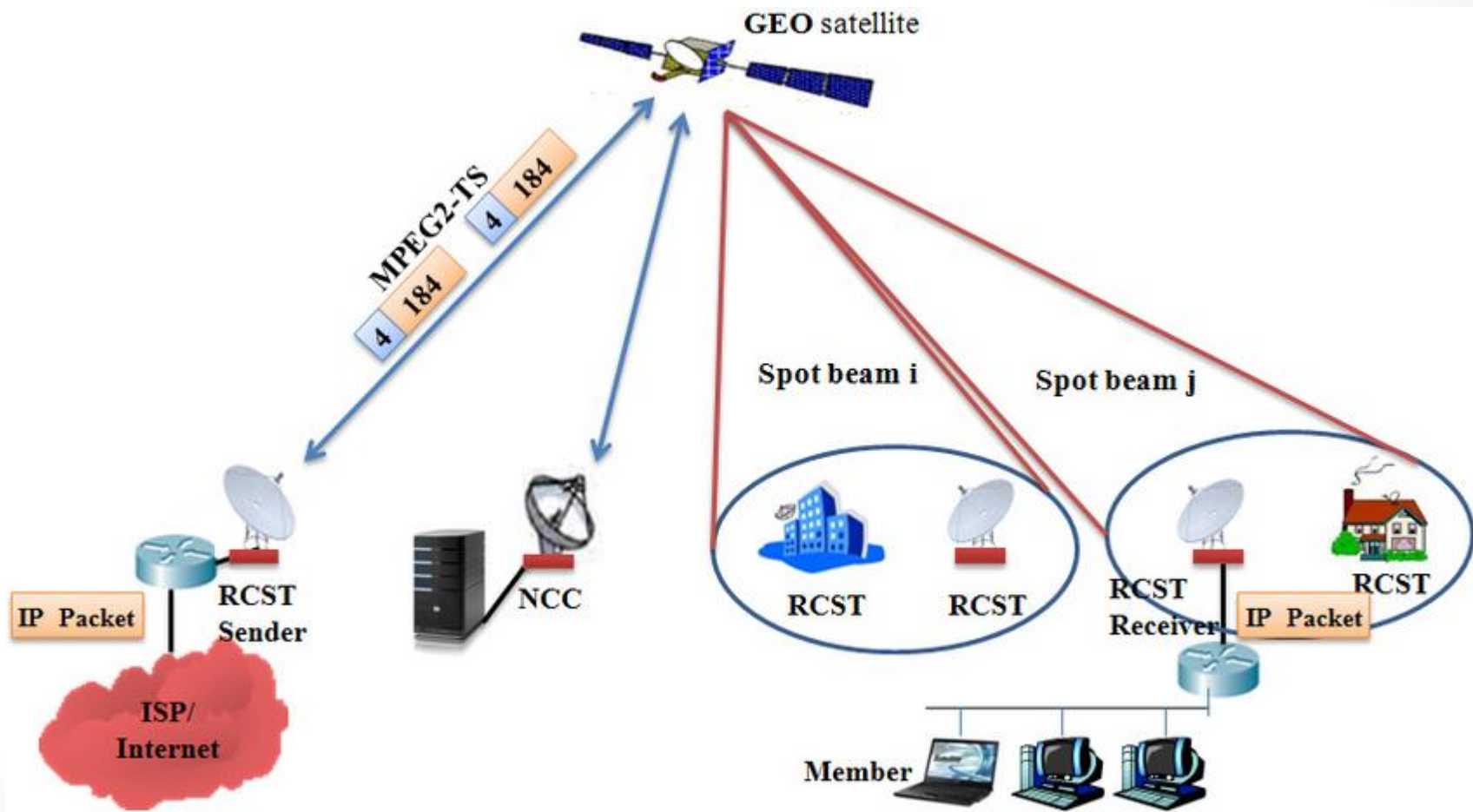
DVB-S

- DVB - *Digital Video Broadcasting*
 - DVB-T - *Digital Video Broadcasting Terrestrial*
 - DVB-C - *Digital Video Broadcasting Cable*
 - DVB-S - *Digital Video Broadcasting Satellite*

DVB-S



DVB-S



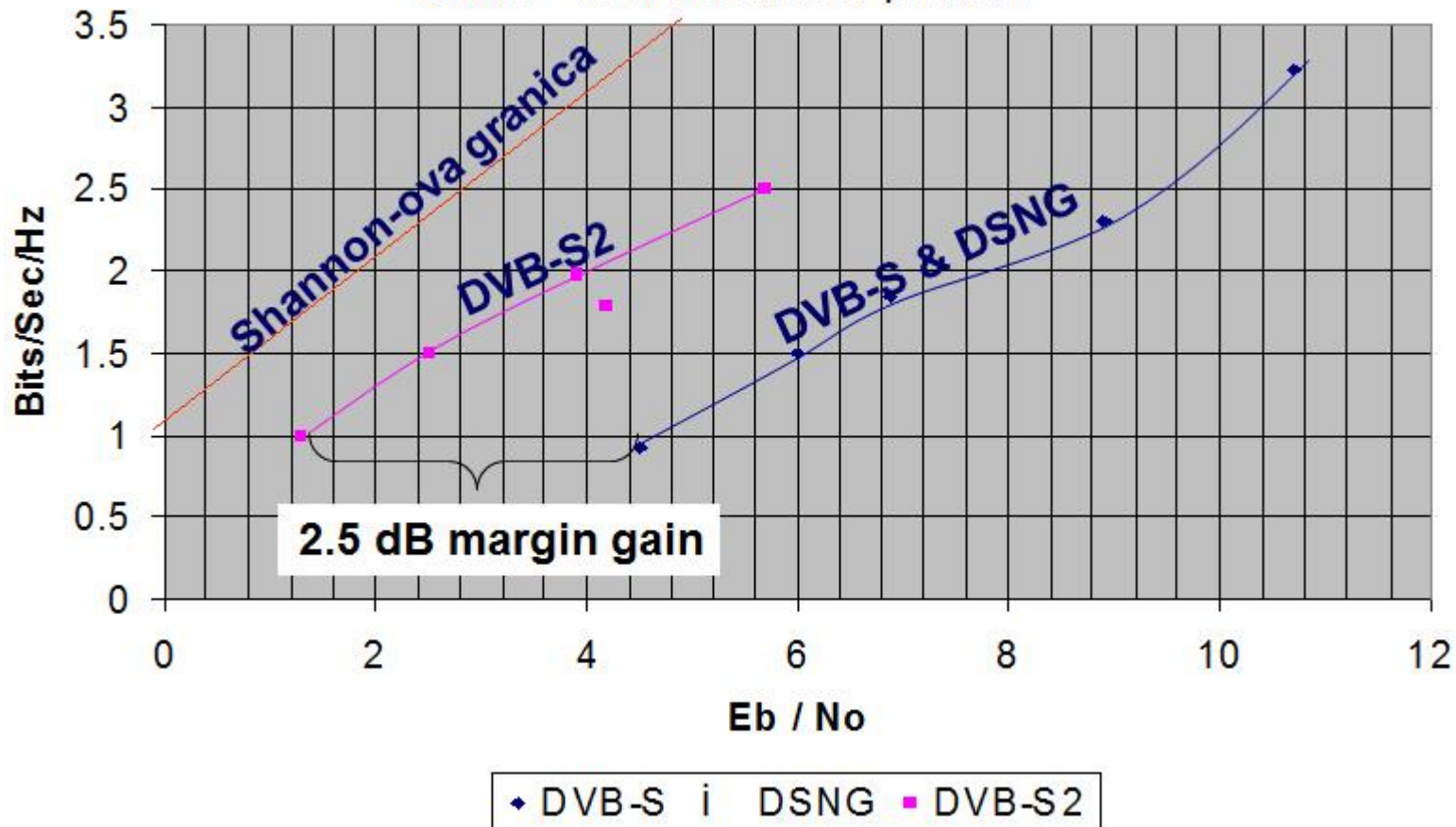
DVB-S2

Digital Video Broadcasting – Satellite 2

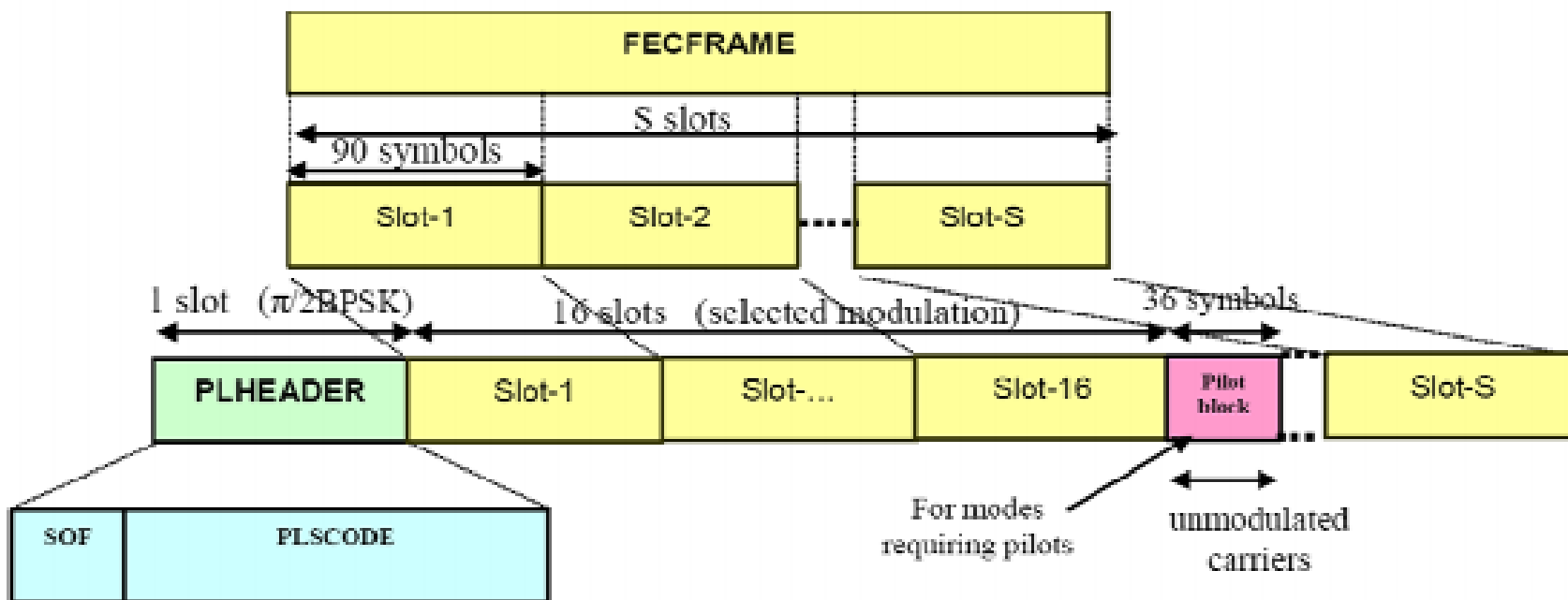
- Novi DVB-*Satellite* standard
- Do 30% uštede u potrebnoj širini frekvencijskog opsega
- Do 2.5dB *margin gain*
- Podržava višestruke tokove po jednom nosiocu
- Varijabilna i adaptivna modulacija i kodiranje
- Bolja spektralna efikasnost
- Veoma blizu *Shannon*-ovoj granici kapaciteta

DVB-S2

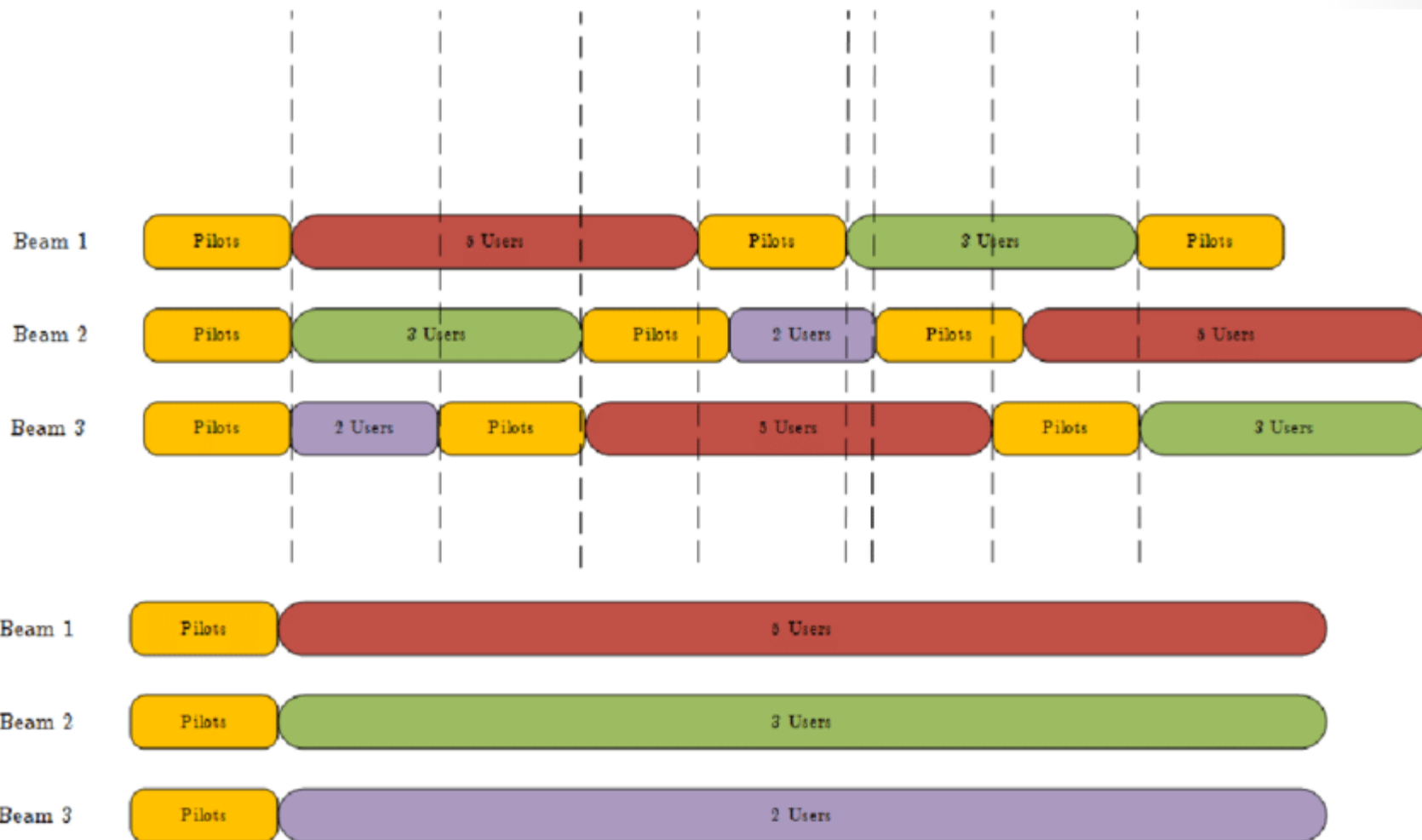
2.5dB = 33% veća brzina prenosa



DVB-S2



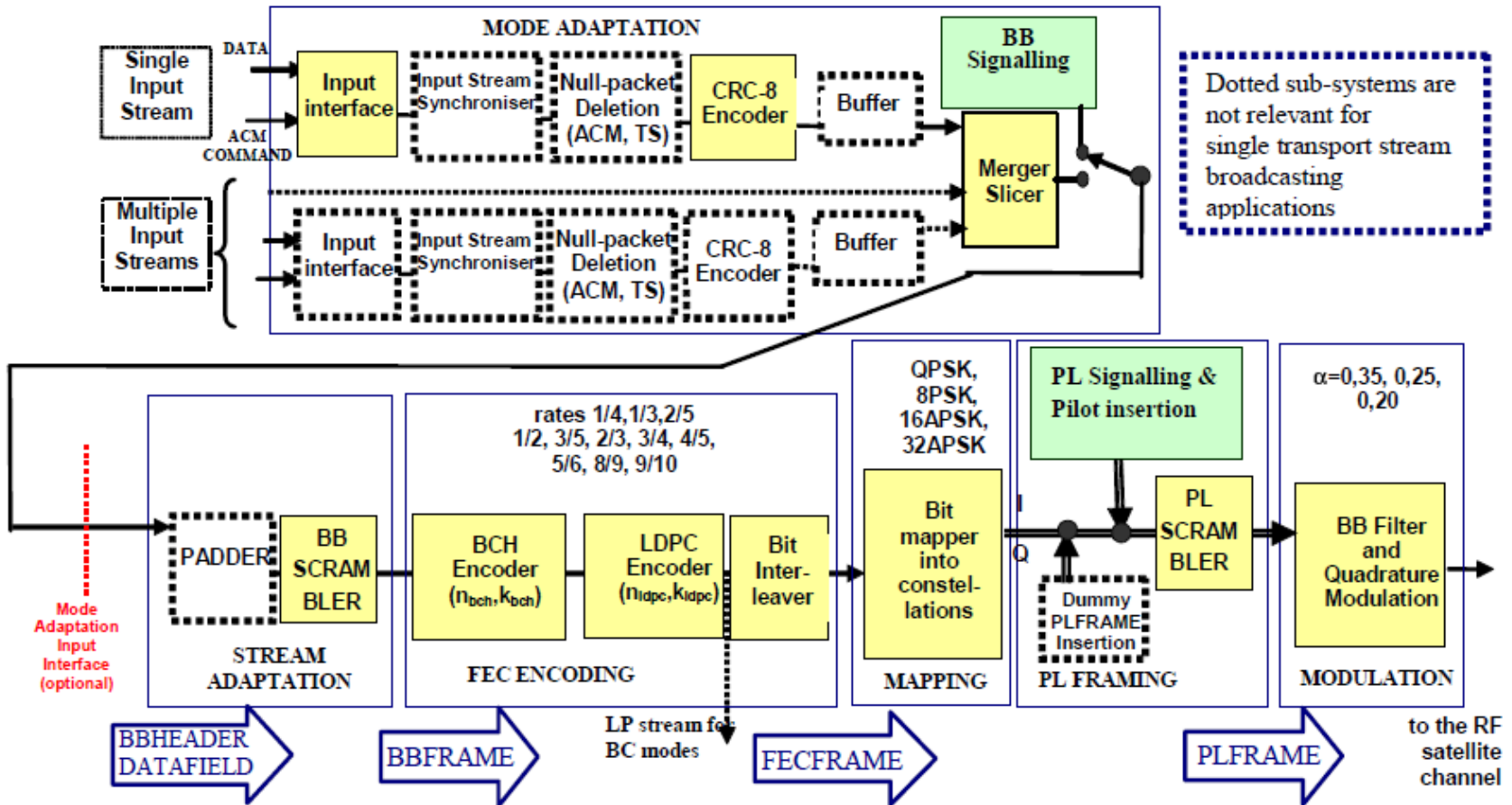
DVB-S2 i S2x



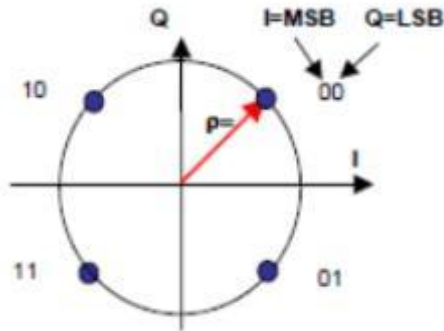
DVB-S2

- Broadcast Servisi - digitalni *multi-programme Television* (TV) / *High Definition Television* (HDTV) broadcasting servisi, primarna i sekundarna distribucija u Fixed Satellite Service (FSS) i Broadcast Satellite Service (BSS) opsezima, (kompatibilnost sa MPEG-4)
- *Digital TV Contribution* i *Satellite News Gathering* (DTVC/DSNG)
- Interaktivni servisi - Interaktivni servisi prenosa podataka, uključujući pristup Internetu (samo *forward broadband* kanal)
- *Data content distribution/trunking* i druge profesionalne aplikacije (samo *forward broadband* kanal)

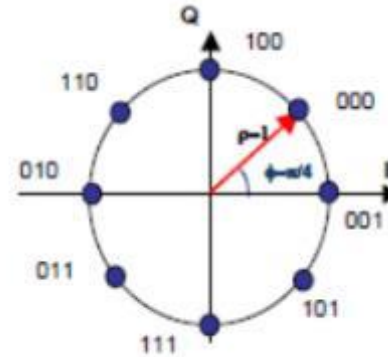
DVB-S2 – model sistema



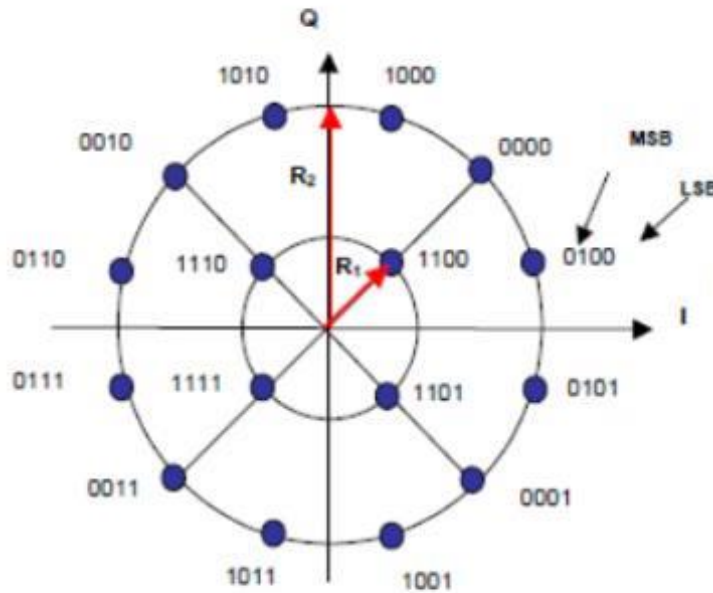
DVB-S2 – konstelacije



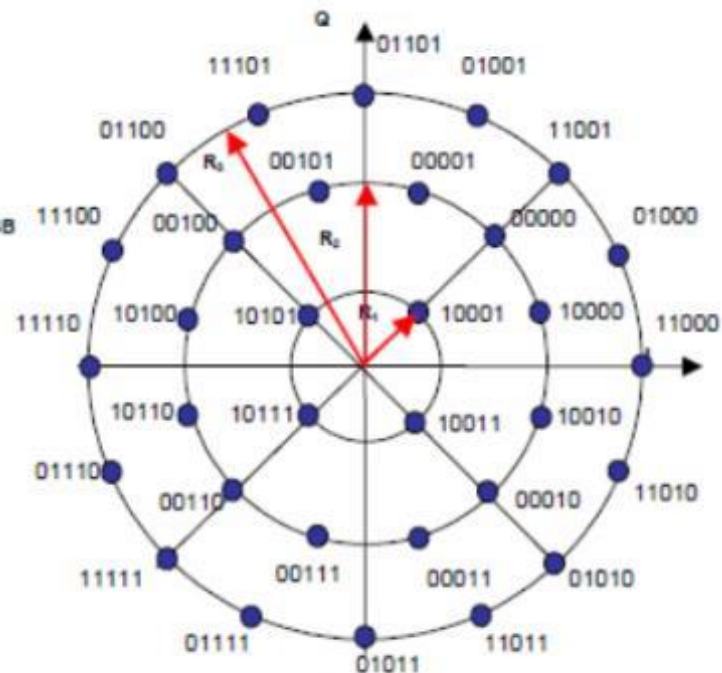
(a) QPSK



(b) 8PSK



(c) 16APSK



(d) 32APSK

36MHz DVB-S i DVB-S2 transponder – različite šeme modulacije i kompresije

Od S ka S2 & od MPEG2 ka MPEG4			
Modulacija	DVB-S	DVB-S2	DVB-S2
Kompresija	Mpeg2	Mpeg2	Mpeg4
Srednja brzina prenosa	3.3	3.3	1.5
Transponder	36Mhz	36Mhz	36Mhz
Ukpuni B/W	33Mbps	48Mbps	48Mbps
Broj kanala	10	15	32

Tipični 36MHz DVB-S i DVB-S2 transponder

	SATELITSKI EIRP 51 dBW		SATELITSKI EIRP 53.7 dBW	
	DVB-S	DVB-S2	DVB-S	DVB-S2
Brzina signaliz. <i>Roll-Off</i> faktor	27.5 Mbauda (ROF 0.35)	30.9 Mbauda (ROF 0.20)	27.5 Mbauda (ROF 0.35)	29.7 Mbauda (ROF 0.25)
Modulacija	QPSK 2/3	QPSK 3/4	QPSK 7/8	8PSK 2/3
Brzina prenosa	33.8 Mb/s	46 Mb/s (+36%)	44.4 Mb/s	58.8 Mb/s (+32%)
Broj SD kanala	7 SDTV MPEG2 15 SDTV h.264	10 SDTV MPEG2 21 SDTV h.264	10 SDTV MPEG2 20 SDTV h.264	13 SDTV MPEG2 26 SDTV h.264
Broj HD kanala	1 HD MPEG2 3 HD h.264	2 HD MPEG2 5 HD h.264	2 HD MPEG2 5 HD h.264	3 HD MPEG2 6 HD h.264

DVB-S2

- Moćne FEC (*Forward Error Correction*) tehnike zasnovane na LDPC (*Low-Density Parity Check*) kodovima
- Širok opseg kodnih odnosa (od 1/4 do 9/10)
- Šeme modulacije - QPSK, 8PSK, 16APSK, 32APSK, sa 2 do 5 bit/s/Hz spektralnim efikasnostima
- Oblikovanje spektra sa roll-off faktorima 0.35, 0.25 i 0.20
- Fleksibilni adapter toka, pogodan za funkcionisanje sa jednim i višestrukim TS (*Transport Stream*) na istom nosiocu uz različitu modulaciju i FEC
- Varijabilno & Adaptivno kodiranje i modulacija (VCM/ACM). Optimizovanje kodiranja i modulacije na nivou frejma.

DVB-S2

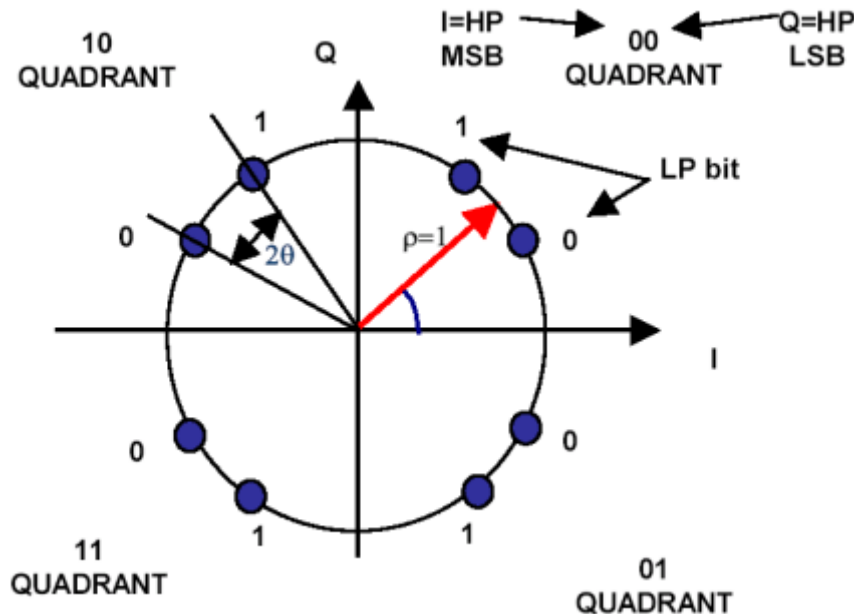
	DVB-S	DVB-DSNG	DVB-S2
FEC	Reed-Solomon & Viterbi	Reed-Solomon & Viterbi	LDPC
FEC brzine	0.46 – 0.81	0.46 – 0.81	0.25 - 0.9
FEC Performanse			Za 2-2.5 dB bolje
Modulacija	BPSK, QPSK	QPSK,8PSK,16QAM	QPSK,8PSK,16APSK, 32APSK
Max Spektralna Efikasnost	1.61	3.22	4.44
Veličina Bloka	~ 32Kbit	~ 32Kbit	64Kbit , 16Kbit
<i>Roll-off</i>	0.35	0.35, 0.25	0.35, 0.25, 0.20
CCM/VCM/ACM	CCM	CCM	VCM/ACM (za IP podatke)
Kompleksnost Implementacije	Mala	Srednja	Vrlo velika
Adaptacija toka	MPEG	MPEG	MPEG & programabilno

DVB-S2 modovi

- DVB-S2 - 3 standarda u jednom:
 - *Non-Backward* kompatibilni mod (NBC mod)
 - *Backward* kompatibilni mod (BC mod)
 - Mod sa varijabilnim i adaptivnim kodiranjem i modulacijom
- NBC mod
 - Koristi sve S2 mogućnosti
 - QPSK, 8PSK, 16APSK i 32APSK konstelacije
 - Koristi LDPC blok kodiranje (64Kb veličina bloka)
 - 16 Kb veličina bloka kao opcija – za mod sa malim kašnjenjem
 - Kodni odnosi od 1/4 do 9/10.

DVB-S2 modovi

- BC mod – Prenos na jednom satelitskom kanalu dva TS-a (*Transport Streams*), hijerarhijska QPSK
- HP (*High Priority*) DVB-S (QPSK) – DVB-S
- LP (*Low Priority*) DVB-S2 (BPSK) – DVB-S2
- Primjer: Uz QPSK $\frac{3}{4}$ se može dodati 17Mb/s za nove DVB-S2 programe. (36Mhz transponder)



Neuniformna 8PSK konstelacija
Hijerarhijska QPSK

DVB-S2 modovi

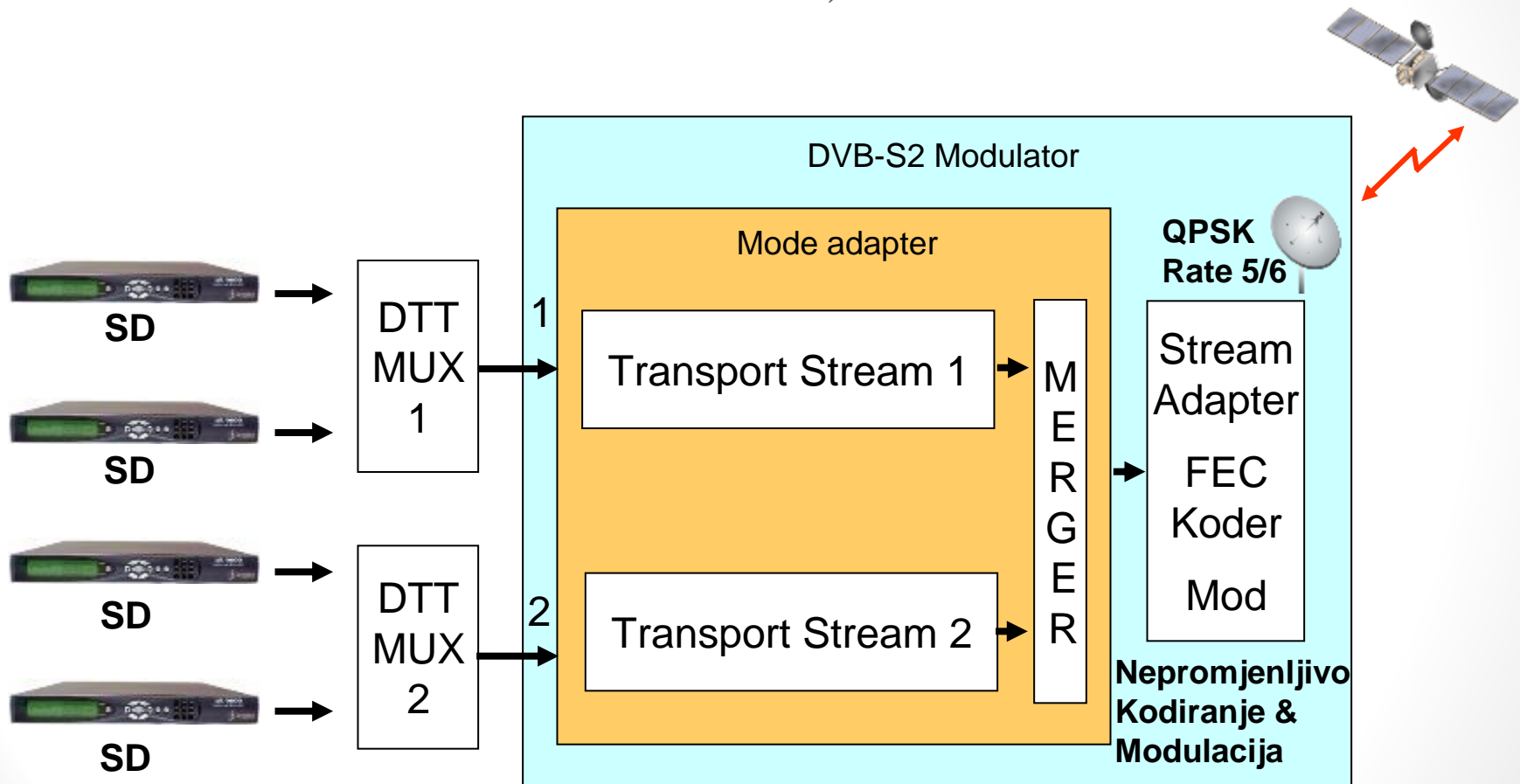
- Mod sa varijabilnim i adaptivnim kodiranjem i modulacijom
- Kodiranje i modulacija se mogu mijenjati na nivou FEC bloka
- Mod se signalizira u *header*-u ispred svakog FEC bloka
- Za interaktivne i *one-to-one* aplikacije se koriste *return* kanali da bi se obezbijedila tačna zaštita kanala

DVB-S2

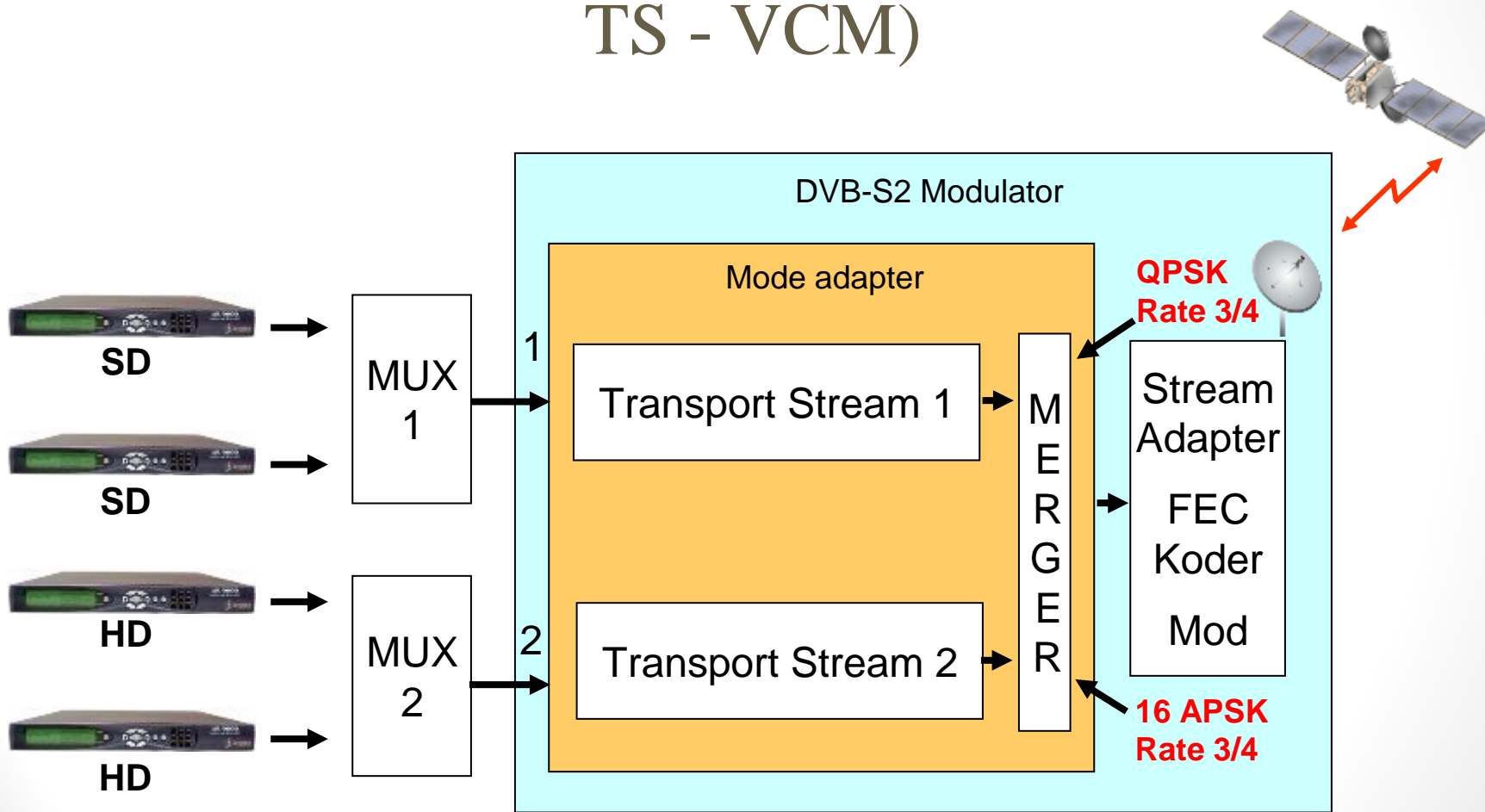
- CCM (*Constant Coding and Modulation*) – U svim frejmovima se koriste isti (fiksni) parametri
- VCM (*Variable Coding and Modulation*) – Različiti streamovi/servisi se kodiraju različitim (fiksni) parametrima na istom nosiocu
- ACM (*Adaptive Coding and Modulation*) – Svaki frejm se kodira sa sopstvnim setom parametara. Parametri se modifikuju dinamički saglasno uslovima prijema za svaki prijemnik

DVB-S2 - DTT Transmitteri

(Višestruki TS, nevarijabilno kodiranje i modulacija - CCM)



DVB-S2 - Razdvojena zaštita kanala (Varijabilno kodiranje i modulacija, višestruki TS - VCM)

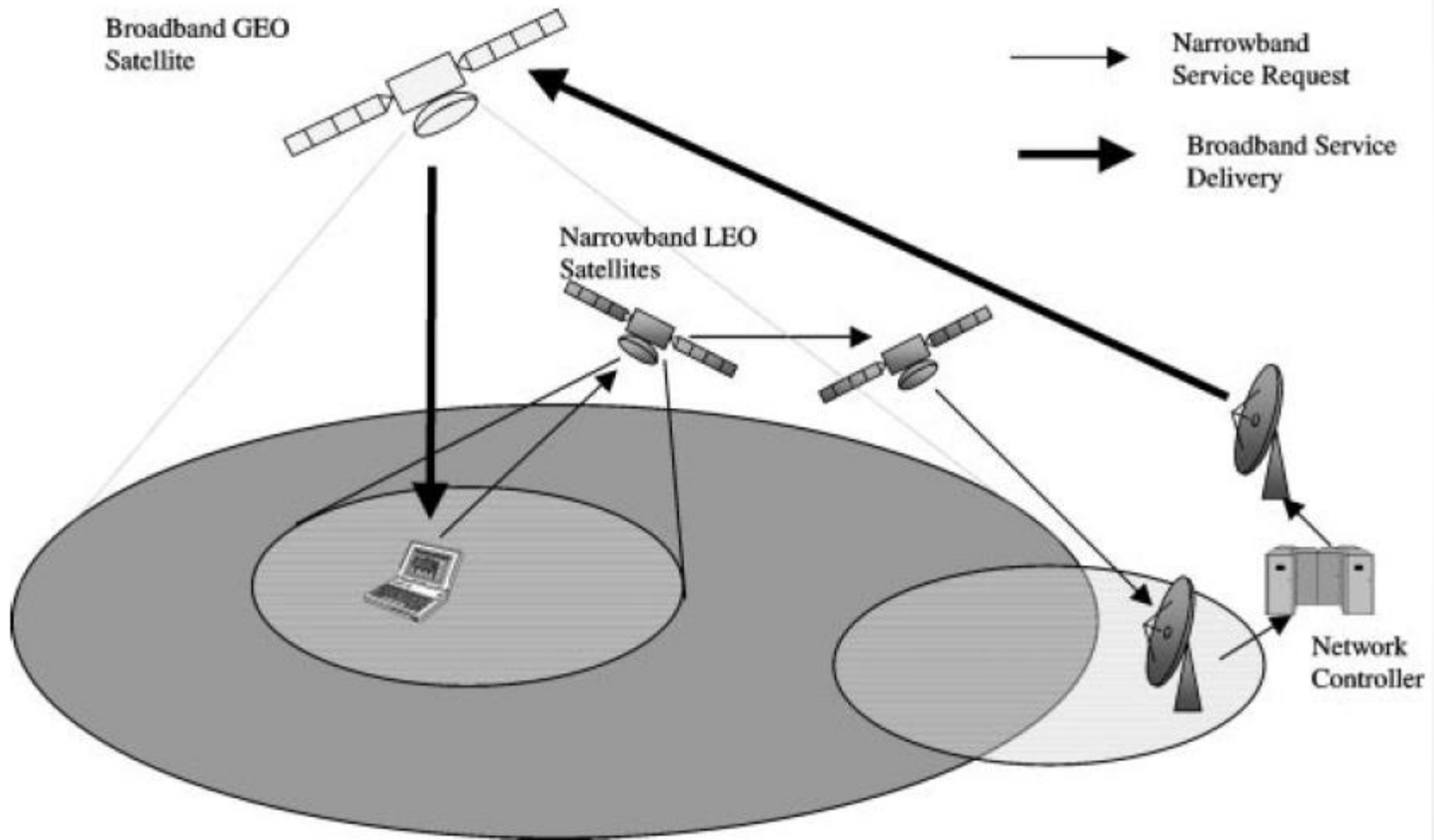


9. Hibridne konstelacije satelita, super GEO, HAP...

Hibridne konstelacije satelita

- Svaki tip satelitskih orbita ima prednosti i mane u odnosu na ostale tipove. Na primjer, geostacionarna orbita se može smatrati pogodnijom za pružanje servisa koji nisu preosjetljivi na propagaciono kašnjenje i za pokrivanje većeg regionalnog područja, dok su LEO orbite povoljnije za real-time servise.
- Lako je zaključiti da je kombinacija više orbita, tj. primjena hibridnih konstelacija efikasno rešenje za određene servise
- Na primjer za *web browsing*, koji se karakteriše asimetričnom prirodom saobraćaja na uplinku i downlinku, tj. znatno većim protokom na downlinku applications, LEO link (ili opcionalno terestrialni link GPRS, UMTS i td) se može koristiti za uplink, dok se GEO link može koristiti za downlink. Ovaj scenario je prikazan na sledećoj slici.

Hibridne konstelacije satelita



Hibridne konstelacije satelita

- Postoji niz drugih varijanti. Na primjer, geostacionarni satelit, koji može da pokrije veoma velika područja, se može primjenjivati za broadcast ili multicast servise dok se negeostacionarni sateliti mogu koristiti za unicast servise.
- Regionalno pokrivanje GEO satelita se može proširiti sa konstelacijom negeostacionarnih satelita, pri čemu je naravno neophodna cost-benefit analiza za procjenu da li bi cijena ovakve multi satelitske konstelacije bila opravdana sa stanovišta povećanja inenziteta saobraćaja

Mobilni širokopojasni satelitski servisi

- Jedan od glavnih problema koje treba prevazići u mobilnim širokopojasnim satelitskim komunikacijama je problem slabljenja signala koji se javlja na frekvencijama predviđenim za date servise (Ka opseg). Osim većeg slabljenja signala zbog pomjeranja ka višim frekvencijama značajan je i uticaj određenih hidroloških parametara a posebno kiše na datim frekvencijama.
- Kod fiksnih satelitskih komunikacija postoji više metoda za smanjivanje uticaja kiše: Uplink ili downlink kontrola snage; Adaptivna modulacija i kodiranje; Prostorni diversity za promjenu transmisionog puta između Earth stanice i satelita, koji uključuje satelitski ili orbitalni diversity kao i diversity na bazi više Earth stanica. Trenutno se neke od prethodno spomenutih tehnika mogu koristiti u mobilnim satelitskim komunikacijama, naročito adaptivna modulacija i moćne tehnike kodiranja kao što su turbo kodovi

Mobilni širokopojasni satelitski servisi

- Mobilni broadband satelitski servisi su posebno interesantni u aeronautičkom sektoru, naročito u slučaju dugotrajnih inter-kontinentalnih letova, pošto su satelitske komunikacije jedino dostupne
- Na ovakvim letovima, entertainment servisi kao i razni biznis servisi mogu da generišu veliki intenzitet saobraćaja
- Potreba za telekomunikacionim servisima je izražena i na kraćim letovima, pri čemu su procjene da letovi koji traju oko 2–4 sata predstavljaju pravu šansu za mobilne broadband satelitske servise
- Kratki letovi do 1h su interesantni sa stanovišta pružanja biznis servisa

Mobilni širokopojasni satelitski servisi

- Jedan od benefita primjene mobilnih širokopojasnih satelitskih komunikacija u aeronautičkom sektoru predstavlja i to što je avion u najvećem dijelu vremena iznad oblaka pa je slabljenje usled kiše izbjegnuto u tom periodu leta. Takođe, line-of-sight signal se može obezbijediti optimalnom lokacijom aeronautičke antene
- U pomorskom sektoru naročito sa pojavom nove generacije kruzera mobilni satelitski broadband entertainment i biznis servisi postaju veoma interesantni
- U ovom kontekstu treba reći da sateliti mogu imati važnu ulogu u informacionom društvu 21og vijeka, omogućavajući telekomunikacione servise bilo gdje, na kopnu, u vazduhu ili na okeanu

Konvergencija fiksnih i mobilnih servisa

- Osim konvergencije mobilnih i Internet tehnologija, vrlo značajna je i konvergencija mobilnih i fiksnih tehnologija
- Dopunjavajući broadcasting sisteme se uskopojasnim uplinkom, novi interaktivni servisi se mogu pružiti u DVB (*digital video broadcast*) i DAB (*digital audio broadcast*) sistemima.
- Takav scenario se može primijeniti u cellularnim mrežama demonstrirajući koncept konvergencije personalnih mobilnih komunikacija, Internet i broadcasting tehnologija

Konvergencija fiksnih i mobilnih servisa

- Interesantan je razvoj multimedia koncepta za automobile, gdje mobilni korisnik može pristupiti informativnim i entertainment servisima, ili jednim imenom *infotainment* servisima. Osim multimedijalnih servisa, servisi bazirani na lokaciji korisnika se mogu koristiti (navigacija, locirano media pokrivanje i td).
- U ovakvom scenariju, korisnik zahtjeva određeni servis preko lokalne celularne mreže. Ovdje osim pokrivenosti celularnom mrežom, postoji i DVB/DAB-T (terrestrial) cellularno pokrivanje datog područja. Nakon prijem zahtjeva za DVB/DAB-T servis, zahtjevani podaci se enkapsuliraju i broadcastuju u datoj DVB/DAB-T ćeliji.

Konvergencija fiksnih i mobilnih servisa

- Moguće je takođe primjena hibridnih konstelacija satelita. Inicijalni zahtjev za servisom se može proslijediti negeostacionarim satelitom, dok se broadcast servis pruža putem GEO satelita
- Od velikog značaja za satelitsku broadcast satellite komunikacije je standardizacija DVB-RCS (DVB-return channel via satellite), koji omogućava korisnicima direktnu komunikaciju as broadcast satelitskom mrežom preko posebnog povratnog (return) kanala
- Ovo znatno pojednostavljuje mrežnu arhitekturu i funkcije menadžmenta mreže pošto se sva komunikacija obavlja u istoj mreži

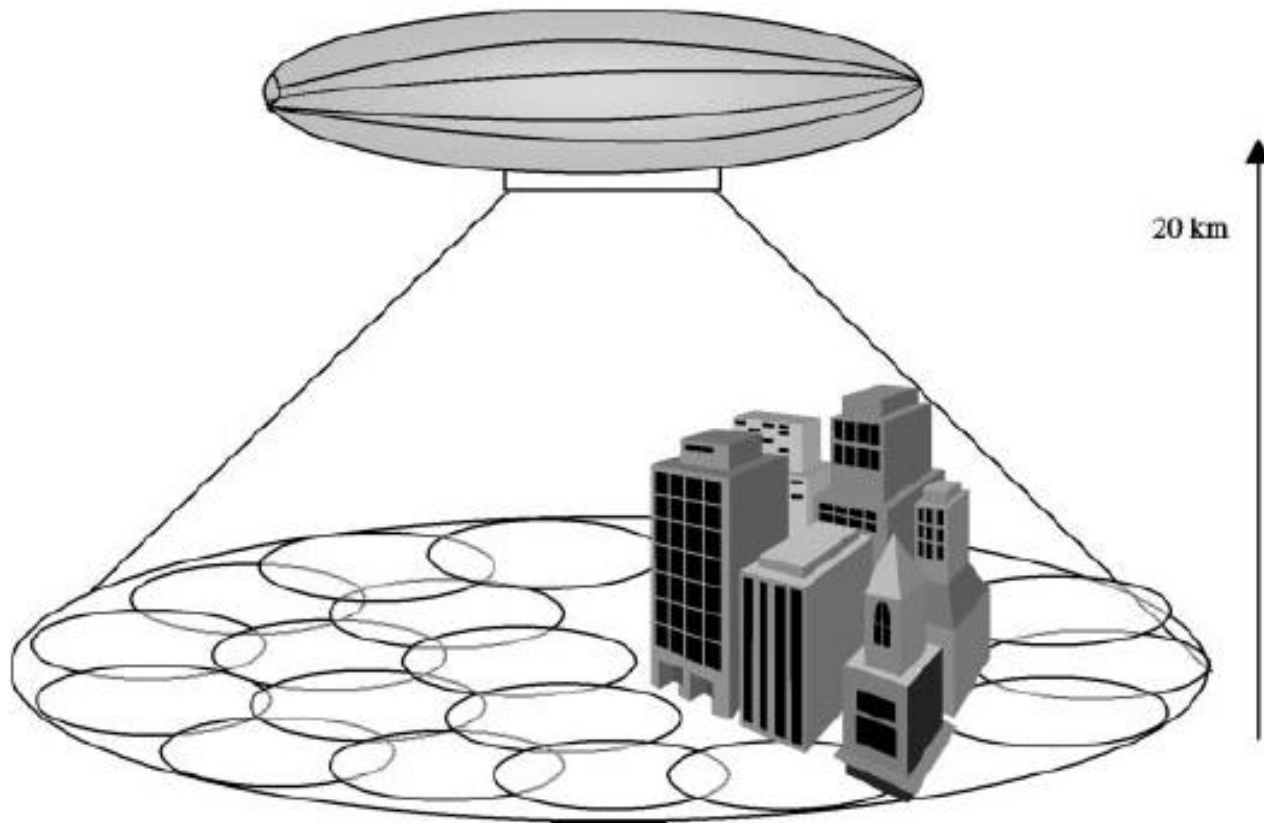
Super GEO

- Nova generacija *high-powered multi-spot-beam* satelita već sad omogućava da mobilni terminali budu slični izgledom sa mobilnim terminalima koji se koriste u terestialnim celularnim mrežama. Takođe, razvoj procesiranja na samom satelitu je smanjio potrebu za *double-hop* komunikacije prilikom *mobile-to-mobile* veze. Ovo naravno značajno smanjuje kašnjenje na linku
- Očekuje se da će nekoliko geostacionarnih satelita sa navedenim karakteristikama biti lansirano. Korak naprijed biće i povezivanje ovakvih GEO satelita u jednu globalnu mrežu inkorporiranjem inter-sateliske link (ISL) tehnologije. Ovakav scenario će omogućiti satelitskoj mreži da bude nezavisna od terestrialnr infrastrukture

Super GEO

- Takođe, statička priroda geostacionarnih satelita omogućava mnogo više praktičnijih rešenja u komparaciji sa dinamičkom prirodom negeostacionarnih satelita.
- Mogućnost velikih brzina prenosa preko ISL, ekvivalentnih brzinama na jezgru terestrialnih mreža uz pristup korisnika preko satelitskog linka je veoma atraktivan budući scenario
- Osim toga važno je napomenuti da obzirom da će sateliti novih generacija imati vijek trajanja od 15–20 godina nove satelitske platforme se moraju dizajnirati tako da budu fleksibilne u pogledu neophodnih izmjena.
- Imajući prethodno navedeno u vidu, u cilju optimalnog dizajna mreže pažljivo treba odrediti kompromis između terestrialne i satelitske tehnologije

High Altitude Platforms



Platforma u stratosferi, 20 000 km

High Altitude Platforms (HAP)

- Prednosti:
 - Pokrivanje bilo kojeg područja se može brzo obaviti
 - Brzo pomjeranje i relociranje
 - U određenom području pokrivanja mreže se mogu smatrati lokalnim
 - Manji broj neophodnih komponenti mreže kao i cijena izgradnje
 - Za razliku od klasičnih satelita ne postoji potreba za lansiranjem i posebnim vozilom za to, platforme se same kreću do određene lokacije korišćenjem sopstvenih resursa
 - Visoka margina linka se može uspostaviti, omogućujući penetraciju u zgradama

High Altitude Platforms (HAP)

- Prednosti:
 - Veliki elevacioni ugao se može postići omogućavajući line-of-sight signal u većini slučajeva. Samim tim antene sa većim dobitkom i užom širinom snopa se mogu koristiti za poboljšanje margine linka
 - Šema pokrivanja je slična kao u slučaju klasičnih cellularnih mreža
 - Relativno malo round-trip kašnjenje, manje od 1 ms, pa se broadband interaktivni servisi mogu isporučivati sa dobrim QoS.
 - Cijena pokrivanja određenog područja je značajno manja nego u slučaju primjene klasičnih terestrialnih ili satelitski mreža što omogućava vrlo konkurentnu politiku cijena usluga

High Altitude Platforms (HAP)

- Nesostaci:
 - Pozicija platforme mora se pažljivo održavati iznad određene lokacije da bi se osiguralo fiksno pokrivanje područja
 - Stratosfera se karakteriše snažnim vjetrovima
 - Platforme koje nemaju ljudsku posadu zahtjevaju periodično održavanje što zahtjeva vraćanje na zemlju, tj. periodično dopunjavanje goriva, payload upgrad-ove itd. Ovo se može obaviti tokom perioda sa malim intenzitetom saobraćaja, zamjenjujući jednu platformu drugom, što ipak dovodi do određenog prekida u isporuci servisa korisnicima. Platforme koje imaju ljudsku posadu funkcionišu u rotacionim smjenama.

High Altitude Platforms



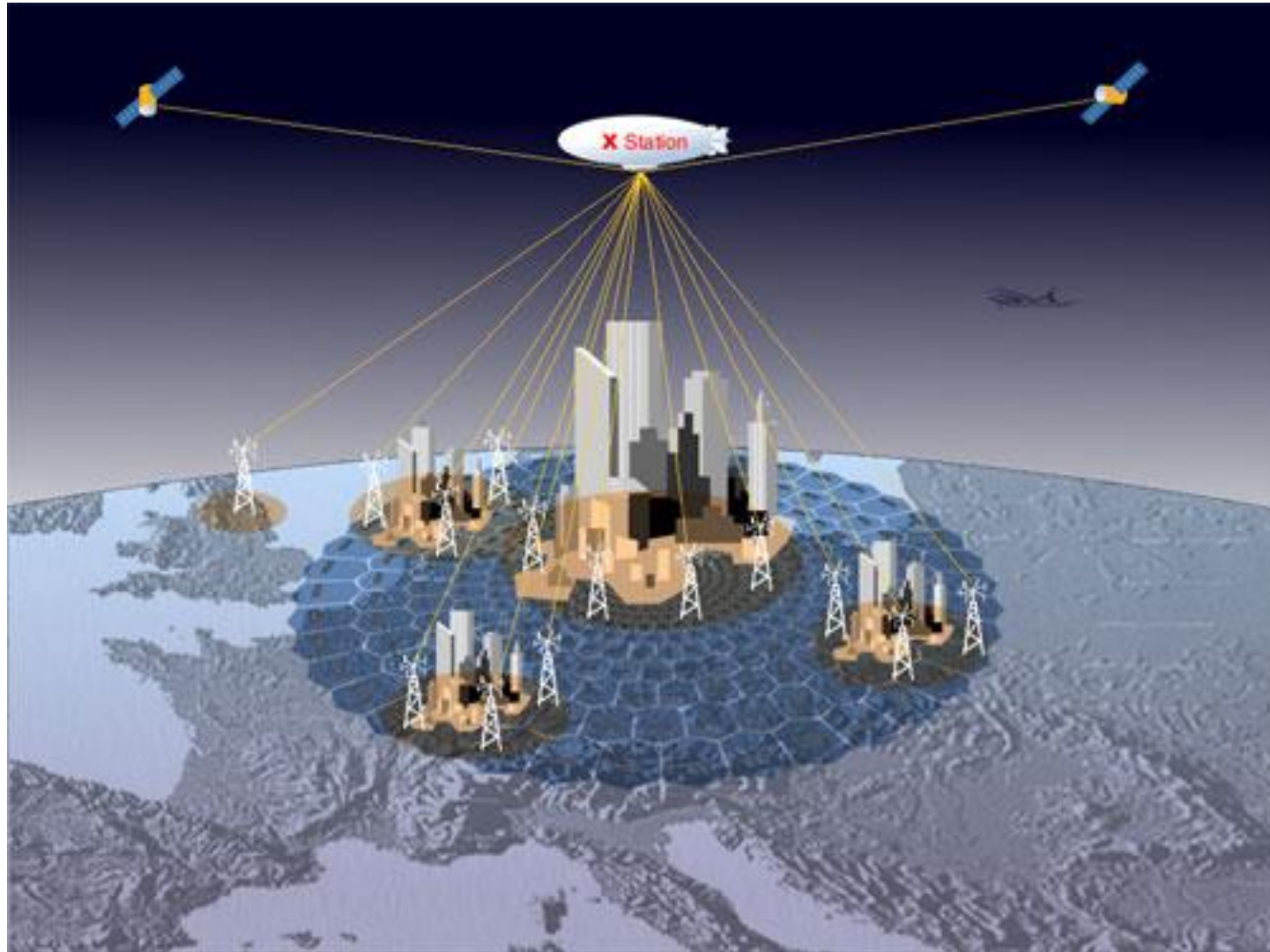
High Altitude Platforms



High Altitude Platforms



High Altitude Platforms



High Altitude Platforms Airbus Zephyr HAPS



High Altitude Platforms

Airbus Zephyr HAPS

- Zephyr je pseudo-satelit (HAPS) UAS / UAV
- Radi na solarnoj energiji
- Pruža lokalne satelitske usluge.
- Ponaša se kao satelit, fokusira se kao avion i jeftiniji je od bilo kojeg od njih.
- Probni let - 25 dana, 23 h, 57 min

High Altitude Platforms

Airbus Zephyr HAPS

- Farnborough, 8. avgust 2018. - Airbus Defense i Space su najavili uspješno sletanje svojih prvih UAV, proizvodnje Zephyr programa, novog Zephyr S HAPS-a (*High Altitude Pseudo-Satellite*)
- Nakon odlaska 11. jula u Arizoni, SAD, Zephyr S je zabilježio prvi let od preko 25 dana, najduži let koji je ikada obavljen na ovaj način
- Napravljena je aplikacija da se ovo utvrdi kao novi svjetski rekord
- Ovaj prvi let solarnog pogona Zephyr S pokazuje mogućnosti sistema

High Altitude Platforms

Airbus Zephyr HAPS

- Prethodni rekord najdužeg trajanja leta zabilježen je takođe prototipom Zephyr aviona prije nekoliko godina, uz više od 14 dana neprekidnog leta, što je već deset puta duže od bilo kog sličnog aviona.
- Ovaj novi rekordni let bio je podržan od strane britanske vlade i odražava poziciju Ministarstva odbrane Velike Britanije kao prvog klijenta.
- Zephyr je vodeća svjetska, solarno-električna, stratosferska bespilotna letjelica (UAV). Leti iznad konvencionalnog vazdušnog saobraćaja, dopunjava mogućnosti satelita, bespilotnih letjelica i letjelice sa ljudskom posadom, radi pružanja perzistentnih lokalnih satelitskih usluga.

High Altitude Platforms

Airbus Zephyr HAPS

- Zephyr će pružiti nove mogućnosti, kako komercijalnim tako i vojnim korisnicima.
- Potencijal za revolucioniranje upravljanja elementarnim nepogodama, uključujući praćenje širenja požara ili izlivanja nafte.
- Zephyr će omogućiti stalan nadzor, prateći promjenjivi ekološki pejzaž u svijetu i moći će pružiti komunikaciju s najnepovezanim dijelovima svijeta.