



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union

Digital Broadcasting and Broadband Technologies (Master Studies)
Erasmus+ Project No. 561688-EPP-1-2015-1-XK-EPPKA2-CBHE-JP

This project has been founded with support from the European Commission

This publication[communication] reflects the views only of the author, and
the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of
the information contained therein.

DBBT

**Digital Broadcasting &
Broadband Technologies**

Bežične mreže

Sadržaj

1. Uvod

2. Razvoj bežičnih mreža

2.1. Pregled tehnologija i standarda

2.1.1. Personalne bežične mreže (bežične mreže za personalno područje)

2.1.2. Bežične mreže za lokalno područje (bežične lokalne računarske mreže)

Bežične mreže

1. Uvod

Ubrzan razvoj komunikacionih tehnologija u posljednjih dvadesetak godina:

- Optički sistemi omogućavaju brzine prenosa reda Tb/s,
- Prenos podataka Ethernet protokolom dostigao je brzine oko 10 Gb/s,
- Broj korisnika mobilne telefonije nadmašio je broj korisnika fiksne telefonije,
- Internet umrežavanje se proširilo u domen mobilnosti, omogućivši mobilnom Internetu da dostigne fiksni (po broju korisnika).

Pored zapaženog razvoja mobilnih mreža (trenutno je u toku standardizacija 5G sistema), takođe postoji i intenzivan razvoj drugih bežičnih mreža, **posebno bežičnih računarskih mreža** koje omogućavaju **brzine prenosa veće nego u mobilnim mrežama**. Posebno je aktuelna primjena **bežičnih senzorskih mreža** i **Internet of Things (IoT)** koncept umrežavanja.

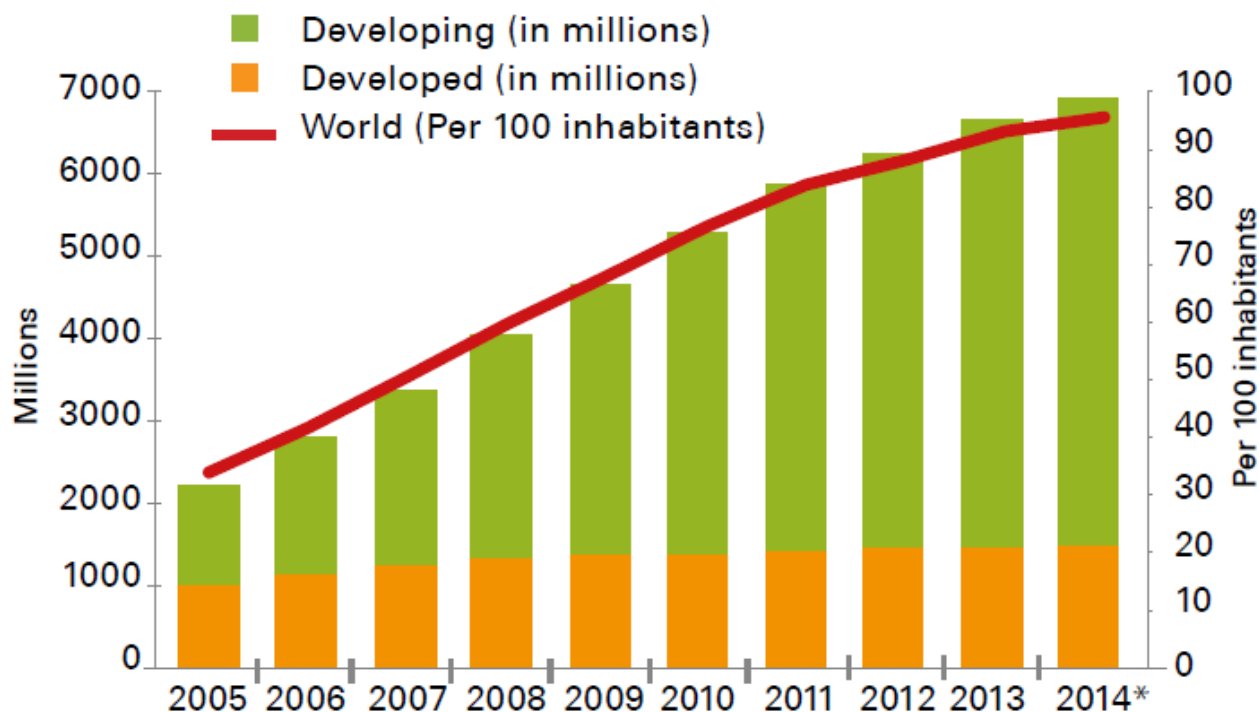
Bežične mreže karakteriše niža cijena izgradnje od fiksni mreža: u fiksni mrežama je visoka cijena postavljanja kablova, cijene proizvodnje kablova, instalacije, građevinskih radova, nemogućnost mijenjanja infrastrukture starih i zaštićenih objekata i sl.

Aktuelni koncepti u radio-komunikacijama

- Razvoj novih radio-mrežnih tehnologija zasniva se na konceptu pristupa bežičnim uređajima na bazi instaliranja **malih ćelija ili pristupnih čvorova**, koji su povezani u grupe brzim (npr. optičkim) mrežama, a pri tome se ostvaruje **kooperacija** unutar grupe kako bi se zajednički upravljalo resursima u zajedničkoj kooperativnoj oblasti.
- S obzirom na ovaj trend u mobilnim telekomunikacionim mrežama, koncept “**ćelijske**” organizacije mreže će biti zamijenjen “**kooperativnim**” mrežama, pri čemu će najveći dio infrastrukture baznih stanica biti zamijenjen povezanim podmrežama malih ćelija.
- Tehnologije koje su u razvoju i koje omogućavaju realizaciju pomenutog koncepta su: **oportunistički radio-sistemi, kooperativno umrežavanje, distribuirani antenski sistemi, dinamička alokacija spektra, kognitivni radio, distribuirani MIMO sistemi.**

Trend porasta broja korisnika mobilne telefonije

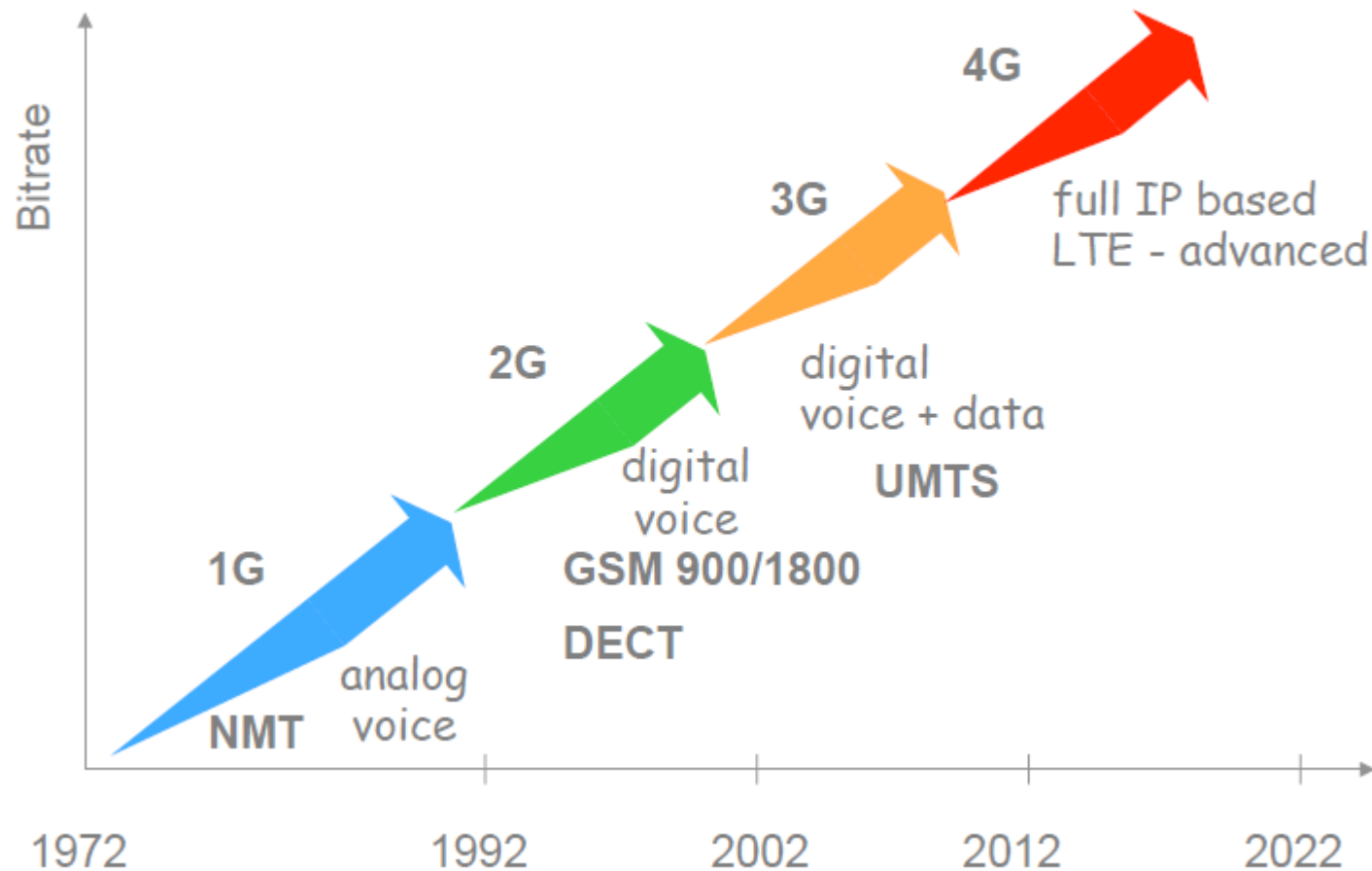
Mobile-cellular subscriptions total and per 100 inhabitants



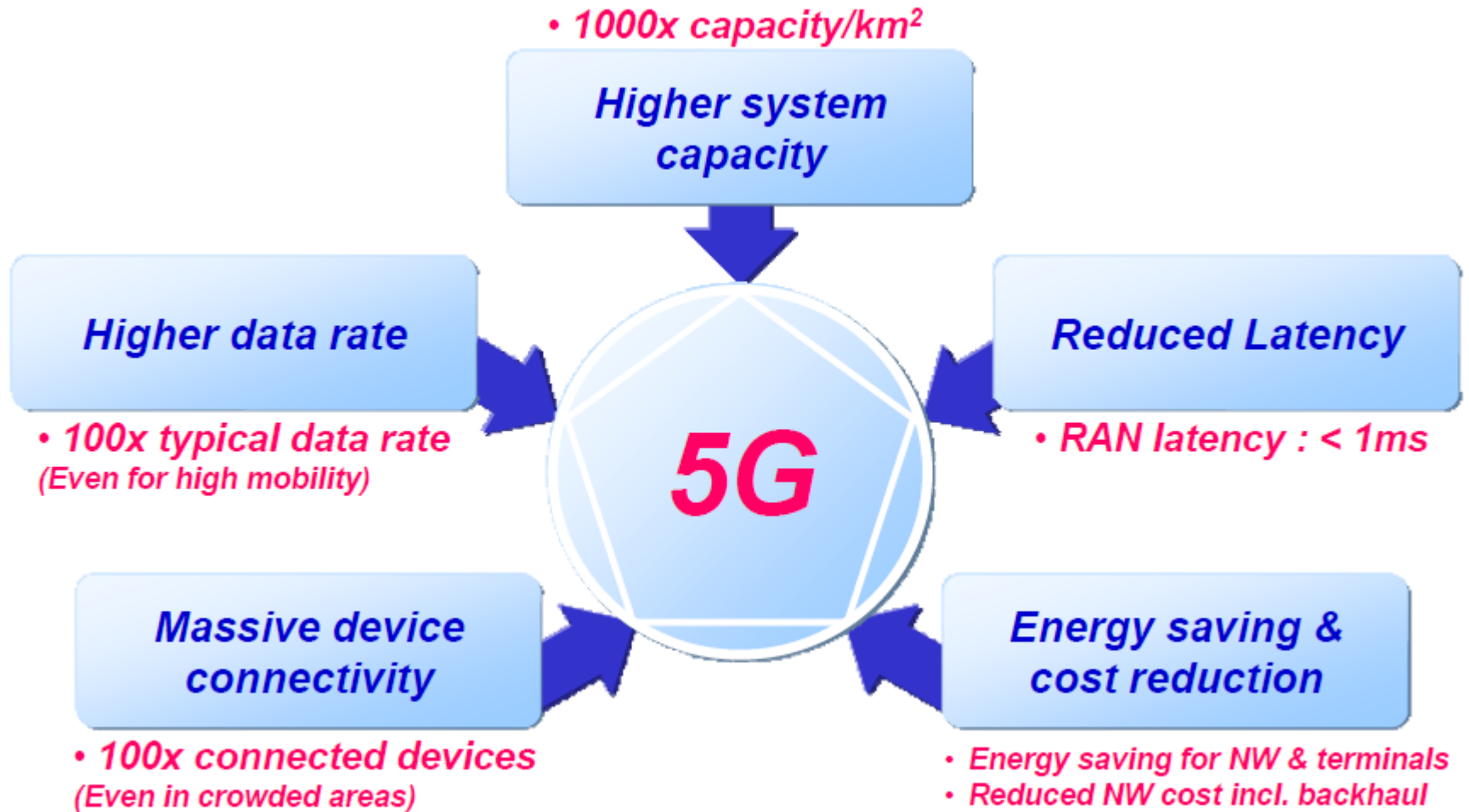
Note: * Estimate

Source: ITU World Telecommunication/ICT Indicators database

Evolucija mobilnih ćelijskih sistema

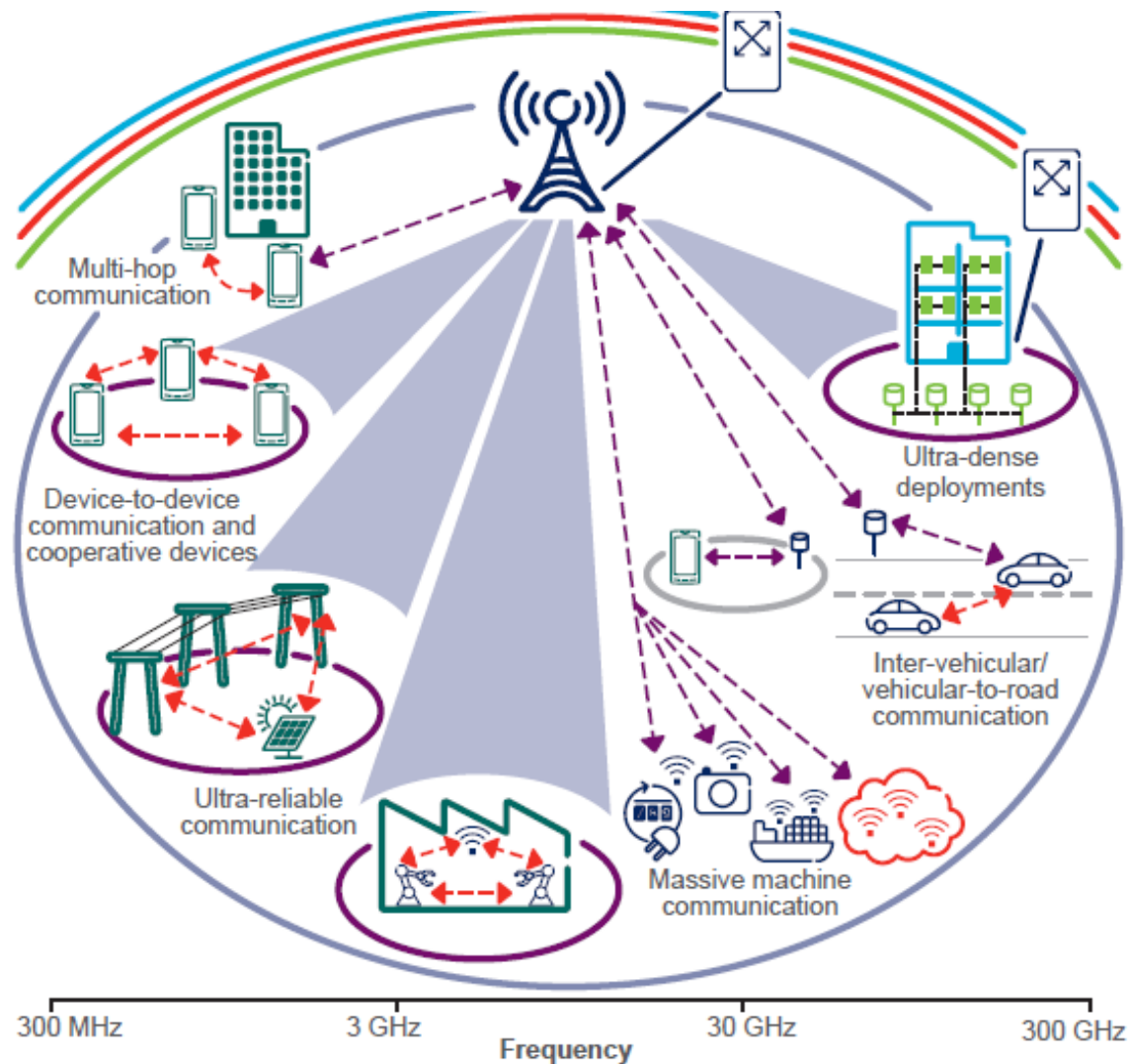


Ciljevi 5G sistema

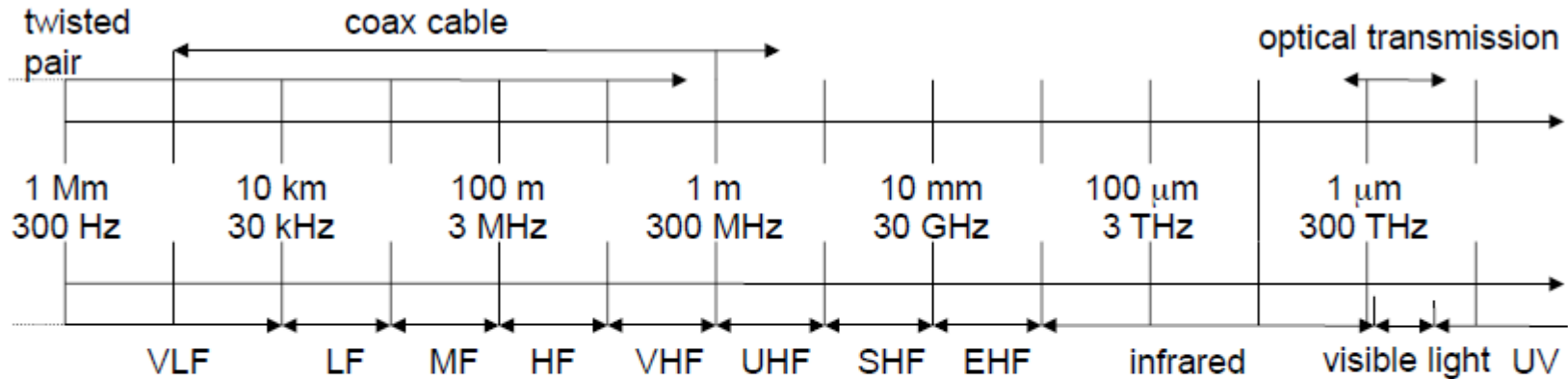


Source: 5G Radio Access: Requirements, Concept and Technologies, NTT DoCoMo, 2014.

Ciljevi 5G sistema



Frekvencijski spektar u telekomunikacijama



VLF = Very Low Frequency

LF = Low Frequency

MF = Medium Frequency

HF = High Frequency

VHF = Very High Frequency

UHF = Ultra High Frequency

SHF = Super High Frequency

EHF = Extra High Frequency

UV = Ultraviolet Light

Alokacija spektra u SAD

UNITED STATES FREQUENCY ALLOCATIONS THE RADIO SPECTRUM

RADIO SERVICES-COLOR LEGEND

AIRBORNE SERVICE	AIR TO AIR SERVICE	BALL BALLOON
AMATEUR SERVICE	LAND MOBILE	BROADCASTING SERVICE
AERONAUTICAL TELEGRAPHY	LAND MOBILE SATELLITE	BROADCASTING
METEOR	MARINE MOBILE	BROADCASTING SATELLITE
AIRBORNE SERVICE	MARINE MOBILE SATELLITE	MODULAR SERVICE
AIRBORNE	MARINE MOBILE SATELLITE	MODULAR SERVICE
AIRBORNE SATELLITE	NAVY	PRIVATE NETWORK SERVICE
AIRBORNE SATELLITE	NAVY SATELLITE	PRIVATE NETWORK SERVICE
AIRBORNE SATELLITE	NAVY SATELLITE	PRIVATE NETWORK SERVICE
AIRBORNE SATELLITE	NAVY SATELLITE	PRIVATE NETWORK SERVICE
AIRBORNE SATELLITE	NAVY SATELLITE	PRIVATE NETWORK SERVICE
AIRBORNE SATELLITE	NAVY SATELLITE	PRIVATE NETWORK SERVICE
AIRBORNE SATELLITE	NAVY SATELLITE	PRIVATE NETWORK SERVICE

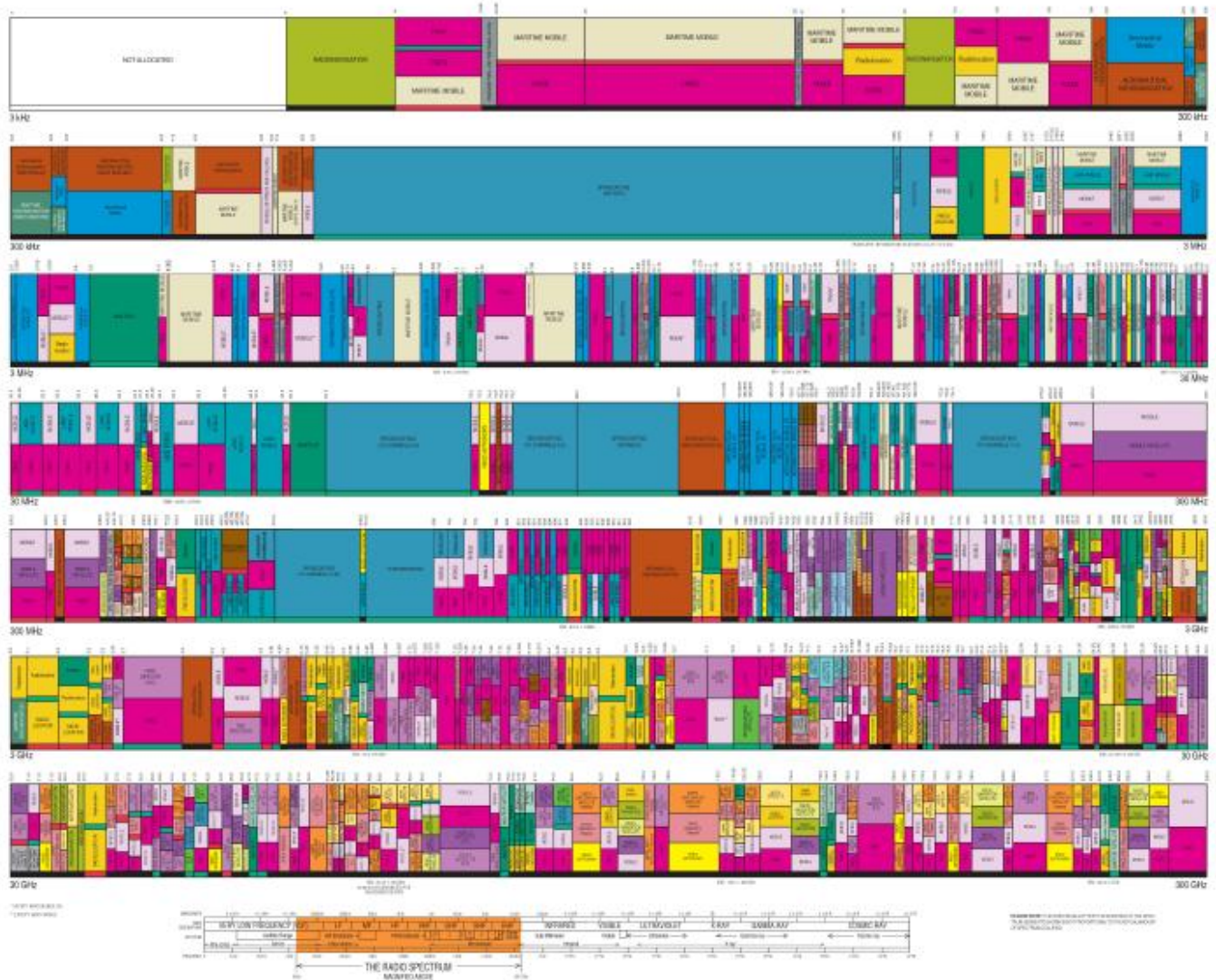
ACTIVITY CODE

GOVERNMENT EXCLUSIVE	DISCONTINUOUS (NON-BROADCASTING)
NON-GOVERNMENT EXCLUSIVE	

ALLOCATION USAGE DESIGNATION

SERVICE	EXAMPLE	DESCRIPTION
Primary	F1110	Channel 11 (FM1)
Secondary	S1110	11.0 GHz (with 11.0 GHz Note)

This chart is published for informational purposes only. It does not represent an official allocation of the radio spectrum. For more information, please visit the National Telecommunications and Information Administration website at <http://www.ntia.gov>.



Bežične mreže

Bežične komunikacije se razvijaju veoma dinamično, a to se ogleda u čestom uvođenju novih komunikacionih protokola, tehnologija i standarda.

Postoji čitav niz telekomunikacionih mreža za različita područja primjene (korisnička područja) koje su sa fiksnih prešle na bežične tehnologije:

- mreže za personalno područje - PAN (*Personal Area Networks - PAN*),
- mreže za lokalno područje – LAN (*Local Area Networks - LAN*),
- mreže za velegradsko područje – MAN (*Metropolitan Area Networks - MAN*),
- mreže za velika područja – WAN (*Wide Area Networks - WAN*)

Zahtjevi za svaku pojedinačnu primjenu baziraju se na parametrima kao što su: potrebna širina opsega, brzina prenosa, potrebna rastojanja, snaga, lokacija korisnika, ponuđene usluge, vlasništvo nad mrežom itd.

Bežične mreže

Bežične širokopojasne pristupne mreže korisniku nude **usluge prenosa govora, podataka i slike (tzv. *Triple and Quadruple Play Service*)** i veliki kapacitet.

Bežične pristupne mreže imaju posebno značajnu primjenu u urbanim i visoko urbanim sredinama u kojim postojeća infrastruktura ne može zadovoljiti potrebe trenutnih i novih korisnika.

Takođe, značajna je primjena i u ruralnim područjima u kojim ne postoji žična mreža, a potrebno je brzo odgovoriti na zahtjeve korisnika za širokopojasnim pristupom.

Standardizacijom bežičnih tehnologija bavi se nekoliko standardizacionih tijela:

- Institut za električno i elektronsko inženjerstvo - **IEEE** (*Institute of Electrical and Electronics Engineers - IEEE*),
- Institut za evropske telekomunikacione standarde – **ETSI** (*European Telecommunications Standardization Institute - ETSI*),
- Svjetski forum za istraživanje bežičnih komunikacija (*Wireless World Research Forum – WWRF*),
- Projekat za treću generaciju partnerstva (*Third-Generation Partnership Project – 3GPP*),
- Multimedijalni mobilni pristupni komunikacioni sistemi (*Multimedia Mobile Access Communications Systems - MMAC*) u Japanu.
- Bluetooth SIG, Zigbee Alliance
- **UMTS** forum
- **OMA** (Open Mobile Alliance)

IEEE i ETSI standardi su interoperabilni i fokusiraju se primarno na širokopojasne paketski orjentisane mreže.

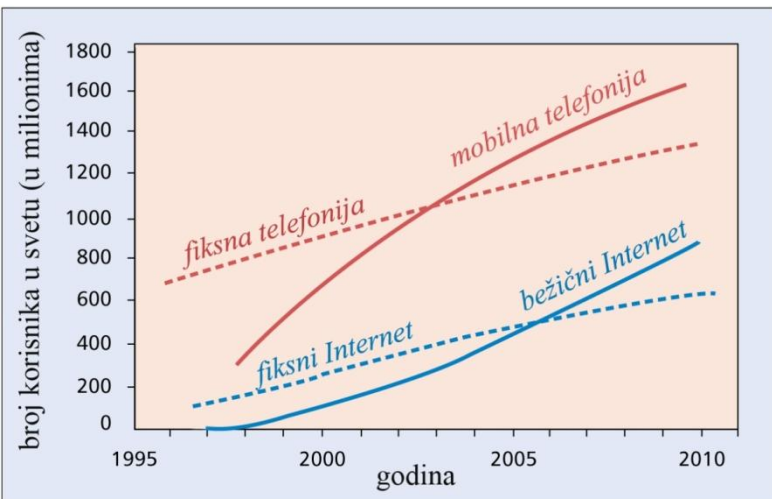
3GPP standard se fokusira na celularne i mobilne sisteme treće generacije.

Bežične mreže

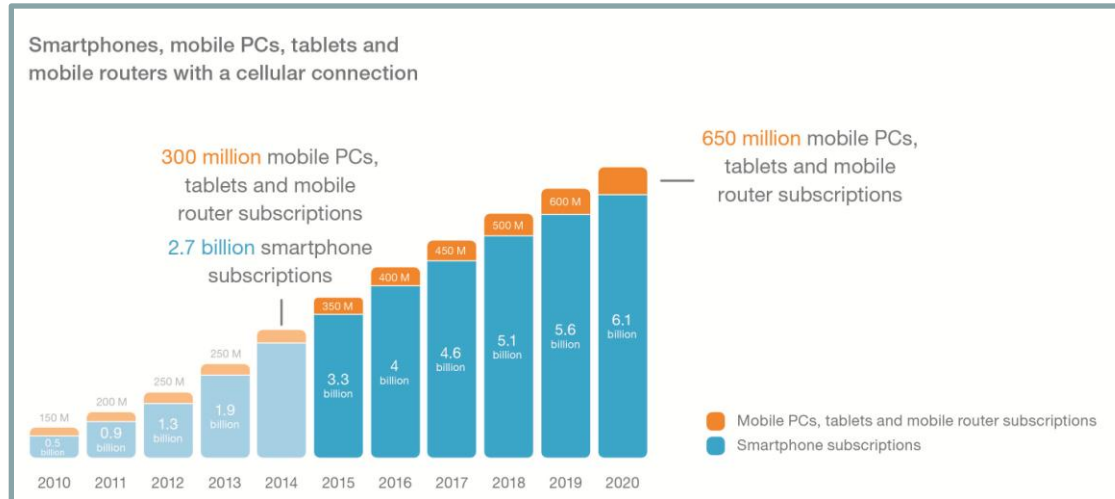
2. Razvoj bežičnih mreža

Prema podacima Međunarodne unije za telekomunikacije ITU:

- Od 2003. godine broj korisnika mobilne telefonije je veći od broja korisnika fiksne telefonije, što vrijedi i za broj korisnika bežičnog i fiksnog Interneta (Slika 2.1.a).
- Nova generacija bežičnih sistema podržava **integrisane usluge prenosa govora, podataka i multimedijalnog sadržaja u realnom vremenu**, za potrebe audio-vizuelnih komunikacija i prenosa podataka velikim brzinama.



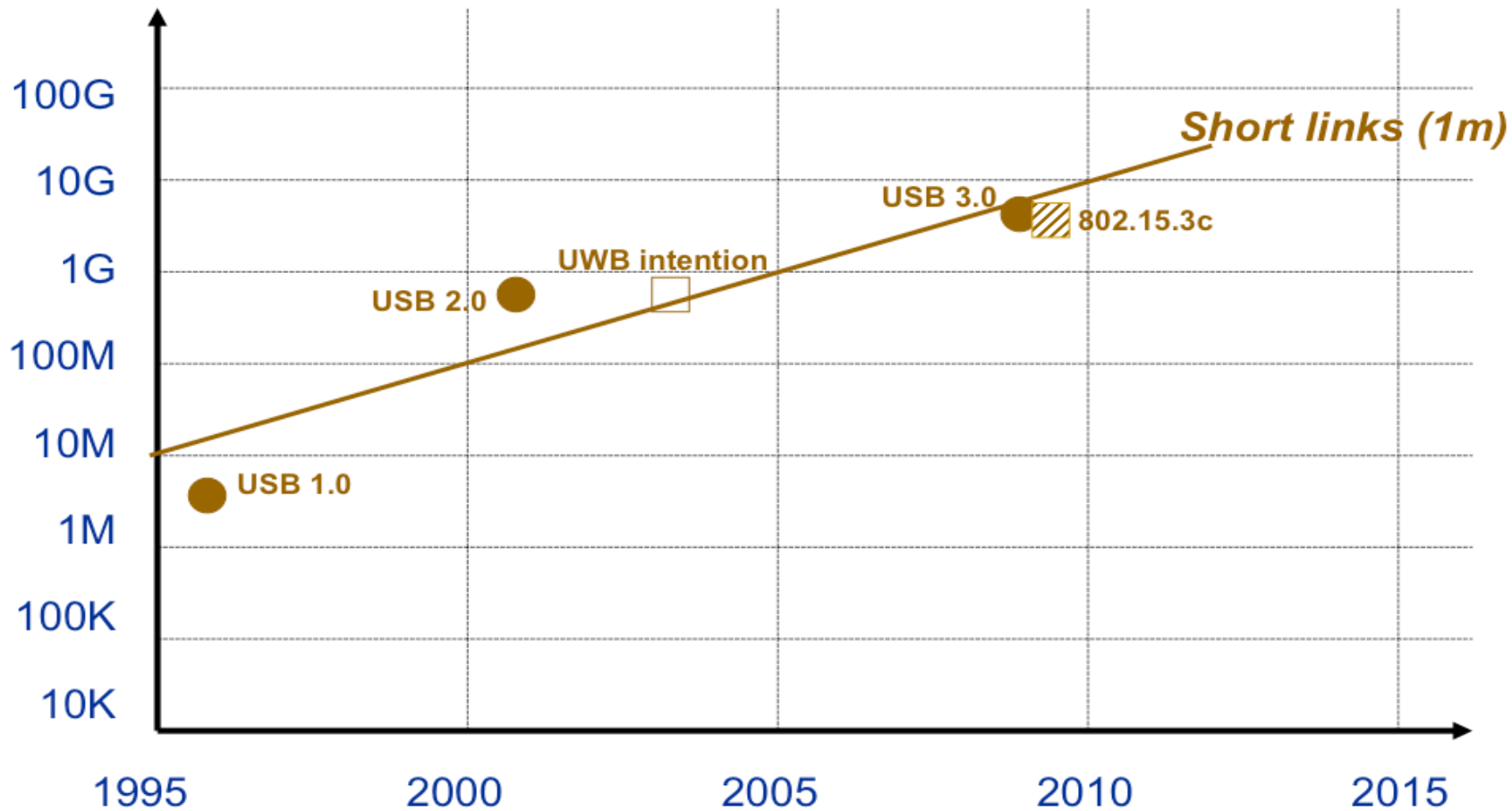
Slika 2.1.a Trendovi rasta broja korisnika mobilne telefonije i Interneta



Slika 2.1.b Trendovi porasta broja prenosnih uređaja (smartphones, tableti, mobilni uređaji,..)

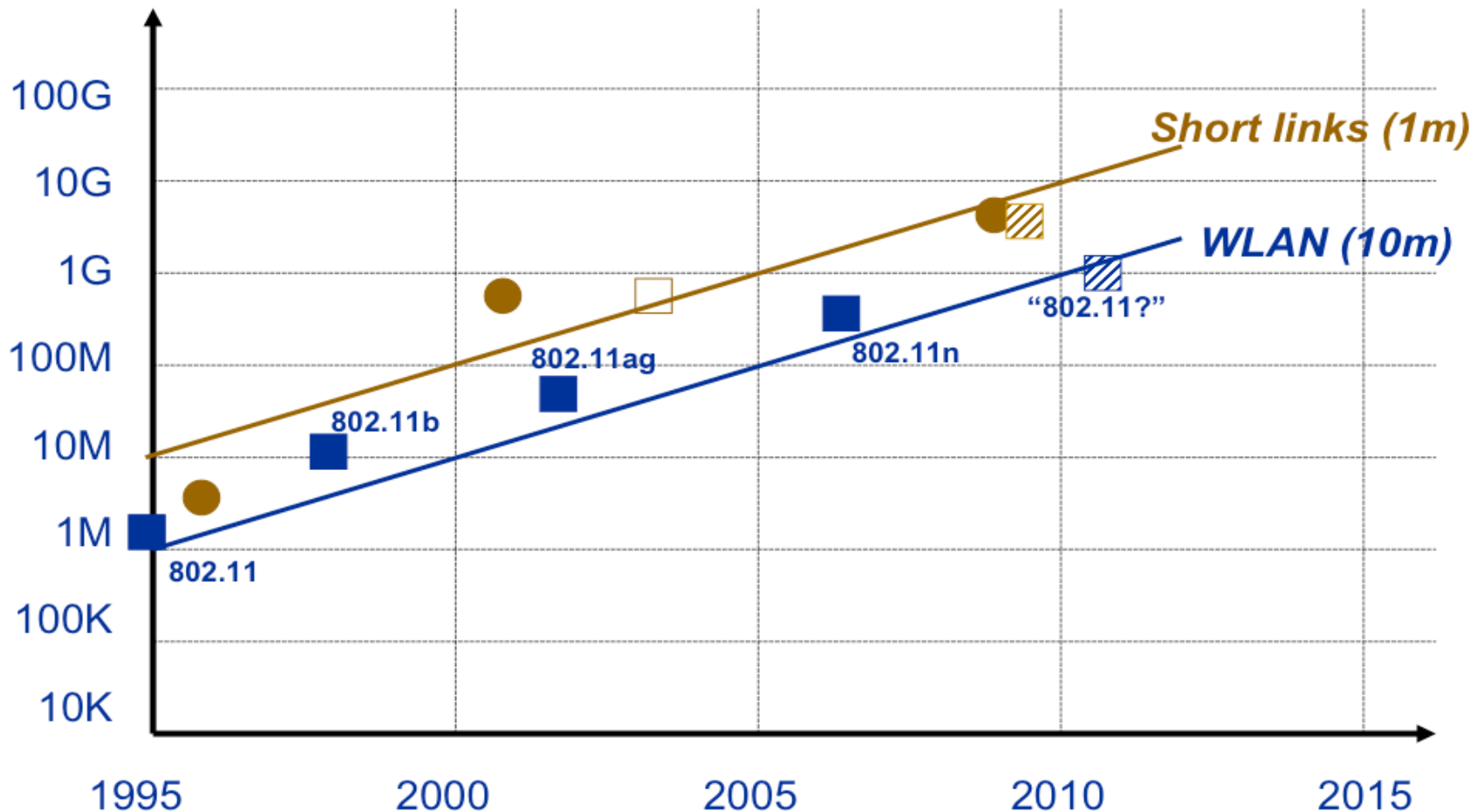
Komunikacije kratkog dometa (short range)

Slika 2.2. Pregled tehnologija kratkog dometa



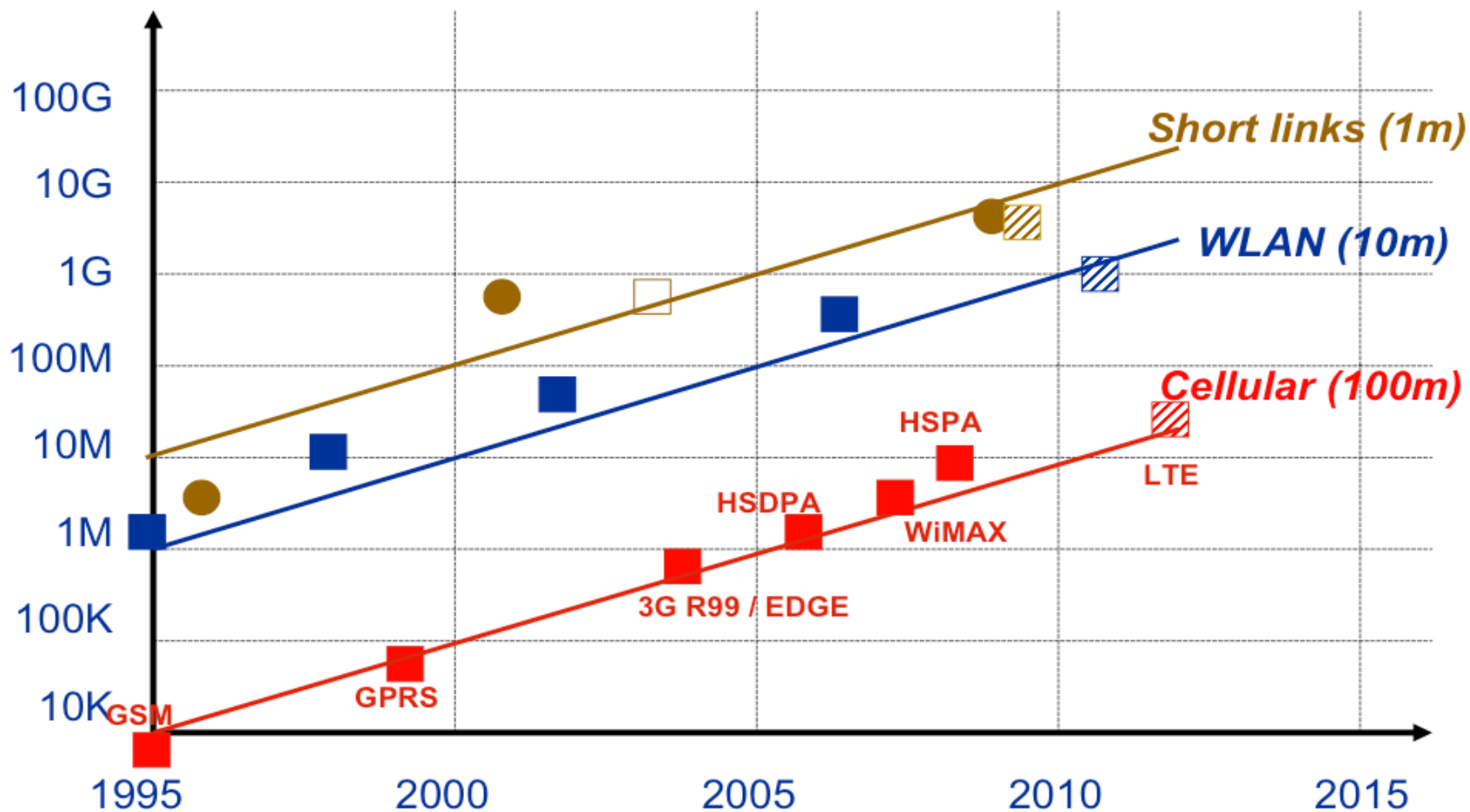
WLAN komunikacije

Slika 2.3. Razvoj WLAN standarda



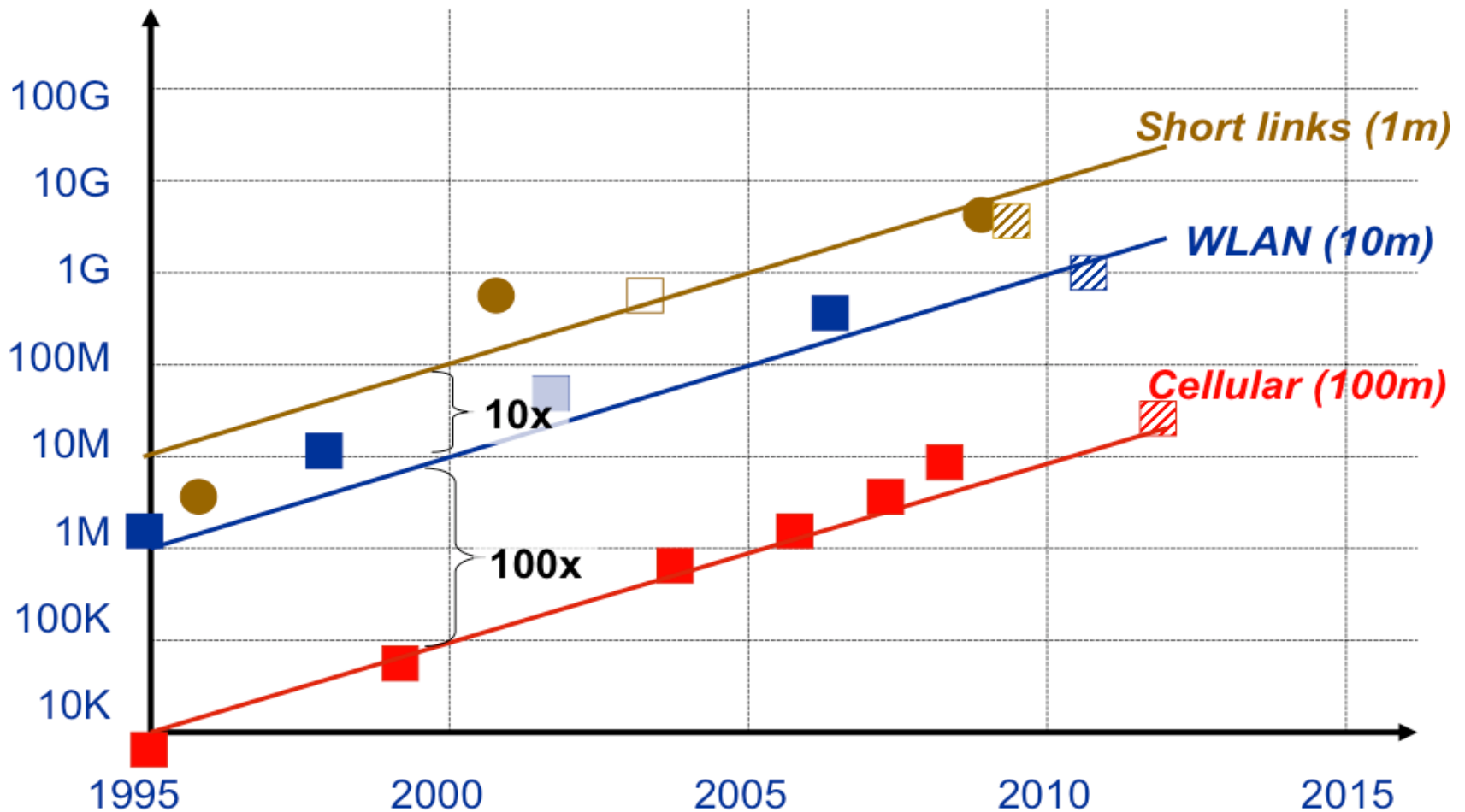
Mobilne komunikacije

Slika 2.4. Razvoj mobilnih telekomunikacionih sistema



Poređenje komunikacionih tehnologija

Slika 2.5. Poređenje bežičnih tehnologija (u odnosu na kapacitet prenosa i domet)



Bežične mreže

Razvoj bežičnih telekomunikacija je veoma dinamičan i karakteriše se čestim promjenama, tj. uvođenjem **novih komunikacionih protokola, tehnologija i standarda.**

Veliki broj bežičnih mreža dijeli se u sljedeće grupe:

- Personalne bežične mreže (*Wireless Personal Area Network - WPAN*),
- Bežične lokalne računarske mreže (*Wireless Local Area Network - WLAN*),
- Metropolitani (velegradske) bežične mreže (*Wireless Metropolitan Area Network - WMAN*),
- Bežične mreže za velika područja (*Wireless Wide Area Network - WWAN*) i
- Širokopojasne satelitske mreže (*Broadband Satellite Network - BSN*).

Bežične mreže

Sve bežične telekomunikacione mreže mogu se podijeliti u dvije grupe: **ćelijski (celularni)** i **nećelijski** telekomunikacioni sistemi.

U **ćelijskom sistemu** kao što je GSM, mreža se sastoji od ćelija. Korisnik (mobilni terminal) se može kretati preko granica ćelije zahvaljujući preusmjeravanju veze (*handover*).

Ovo podrazumijeva velike infrastrukturne troškove, veoma kompleksne protokole i signalizaciju.

Nećelijske mreže kao što je npr. WLAN, ne zahtijevaju infrastrukturu kada koriste ad hoc režim rada. Na taj način, kompletan sistem se može smatrati pokretnim.

Bežične mreže

2.1. Pregled tehnologija i standarda

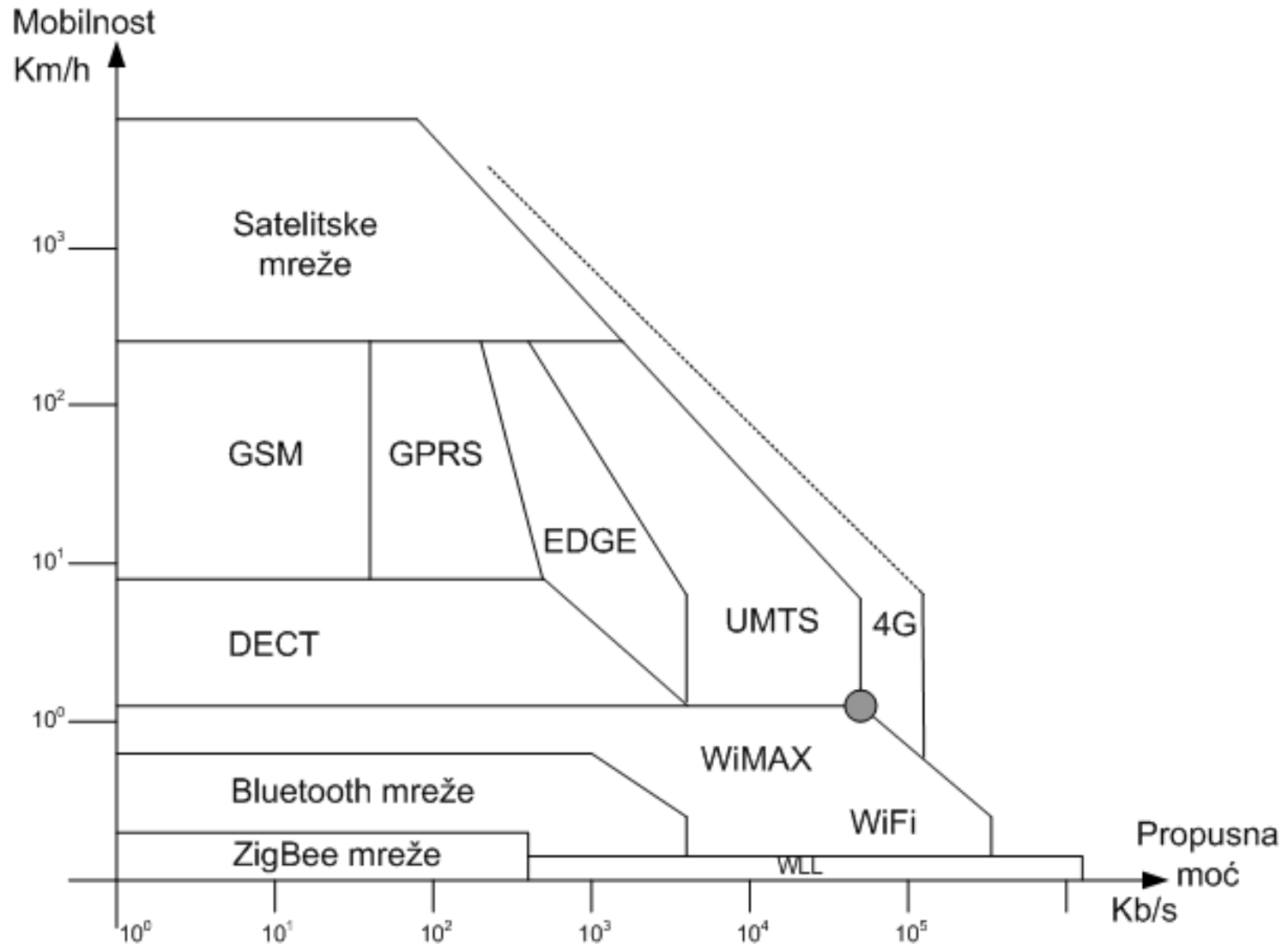
Do sada nije realizovana idealna tehnologija koja bi zadovoljila zahtjeve svih korisnika u pogledu **brzine, pokrivenosti, bezbjednosti i kvaliteta usluga.**

Tabela: prikaz aktuelnih bežičnih tehnologija i njihovih osnovnih karakteristika.

Mreža	Standard	Max. brzina	Frekventni opseg	Pokrivenost
WPAN	IEEE 802.15.1	1 Mb/s	2,4 GHz	100 m
	IEEE 802.15.3a	200 Mb/s	3,1-10,6 GHz	10 m
	IEEE 802.15.4	250 kb/s	2,4 GHz	30 m
WLAN	IEEE 802.11a	54 Mb/s	5 GHz	300 m
	IEEE 802.11b	11 Mb/s	2,4 GHz	
	IEEE 802.11g	54 Mb/s	2,4 GHz	
	HIPERLAN 2	54 Mb/s	5 GHz	
WMAN	IEEE 802.16	134 Mb/s	10-66 GHz	30 km
	IEEE 802.16a	70 Mb/s	2-11 GHz	
WWAN	GSM	9,6/57,6 kb/s	900/1800/1900 MHz	35 km
	GPRS	115 kb/s		
	EDGE	384 kb/s		
	UMTS/WCDMA	2 Mb/s	1900-2025 MHz	20 km
BSN	BGAN	492 kb/s	1,5-1,6 GHz	globalna

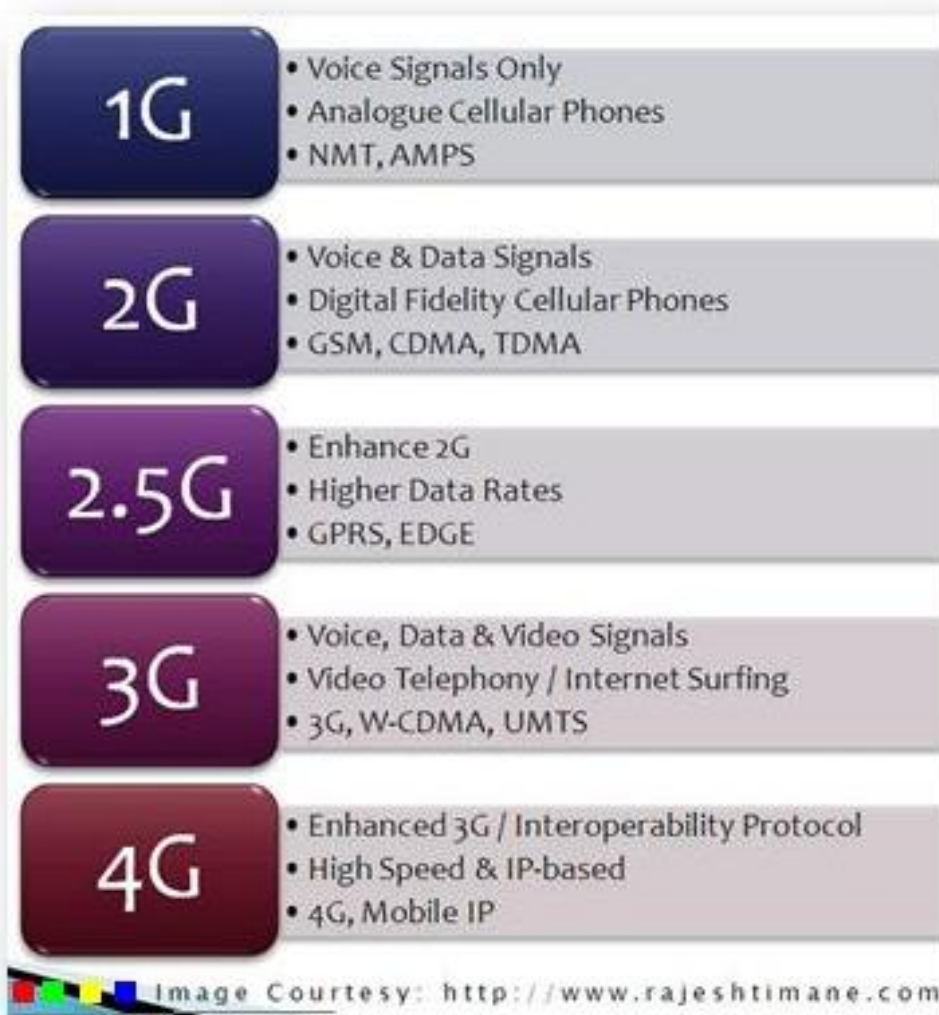
Bežične mreže

Slika 2.6: Odnos propusne moći i mobilnosti za različite bežične mreže.



Razvoj bežičnih telekomunikacija

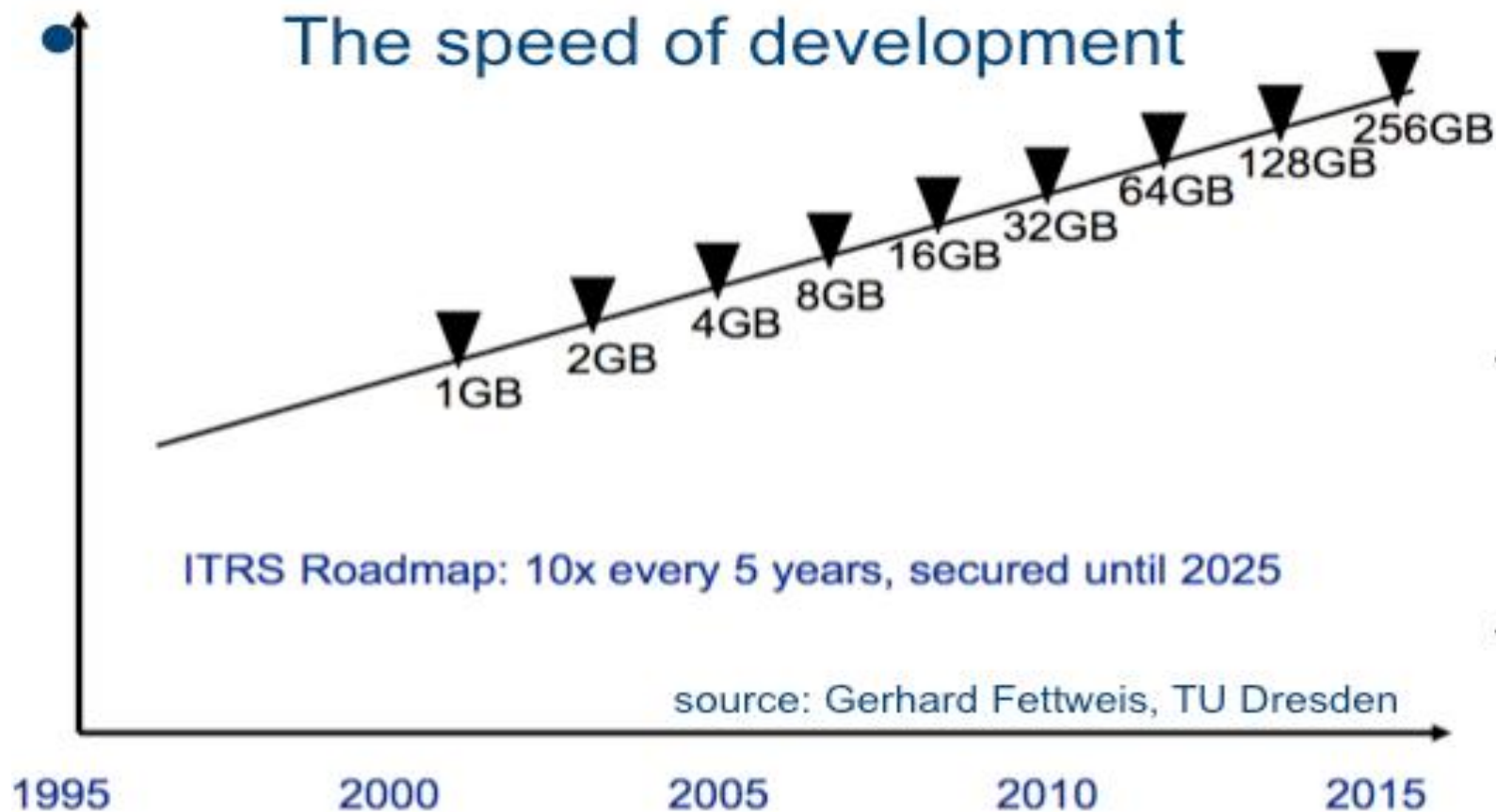
Slika 2.7: Za 1G i 2G dominantan je razvoj radio-interfejsa, a za 3G i 4G sisteme podrška uslugama.



Razvoj bežičnih telekomunikacija

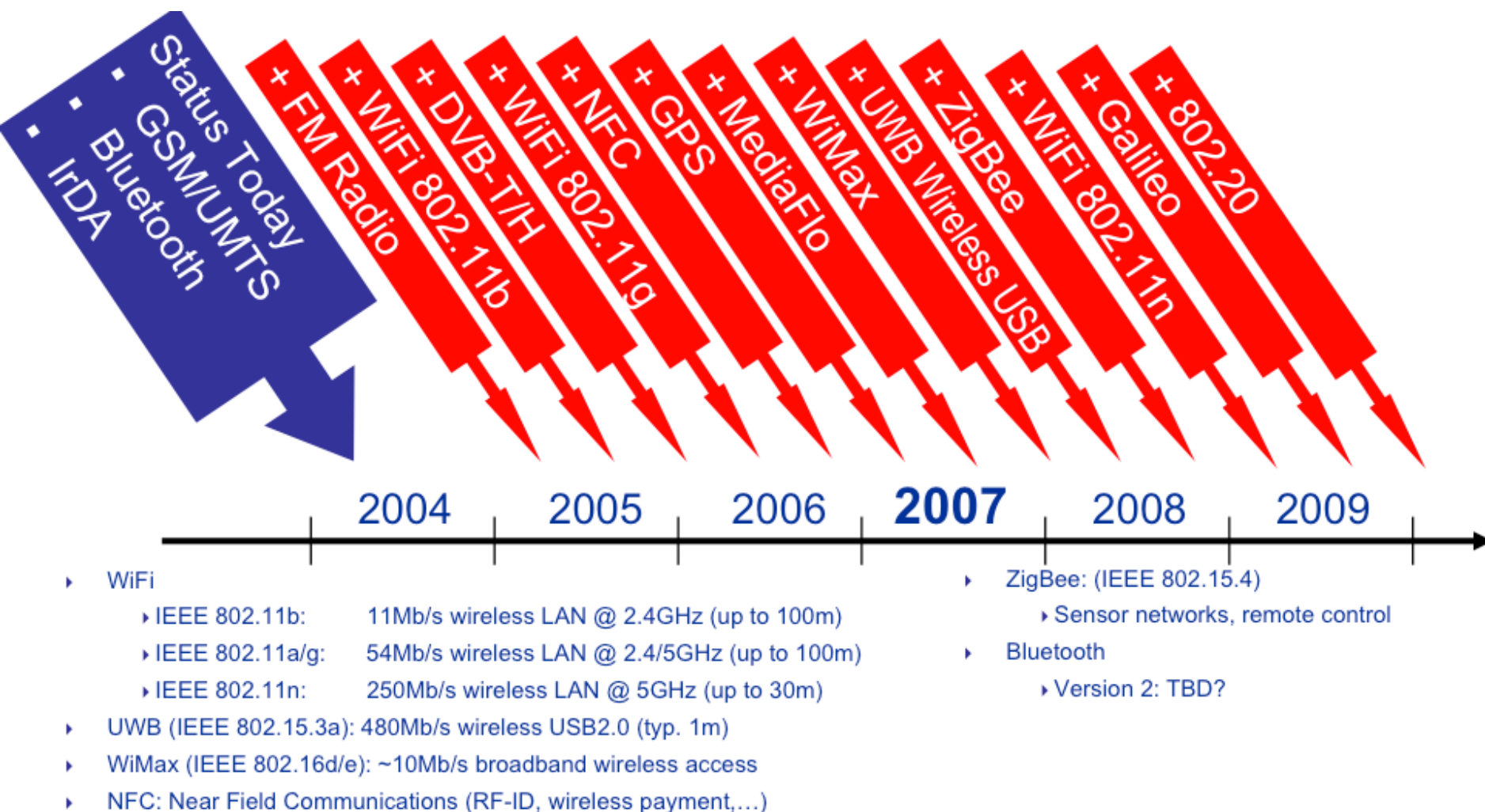
Razvoj mobilnih sistema: NMT, GSM, GPRS, EDGE, UMTS, 3G, HSDPA, 4G, 5G, SMS, EMS, MMS,... DVB-H,...

Slika 2.8: Brzina tehnološkog razvoja



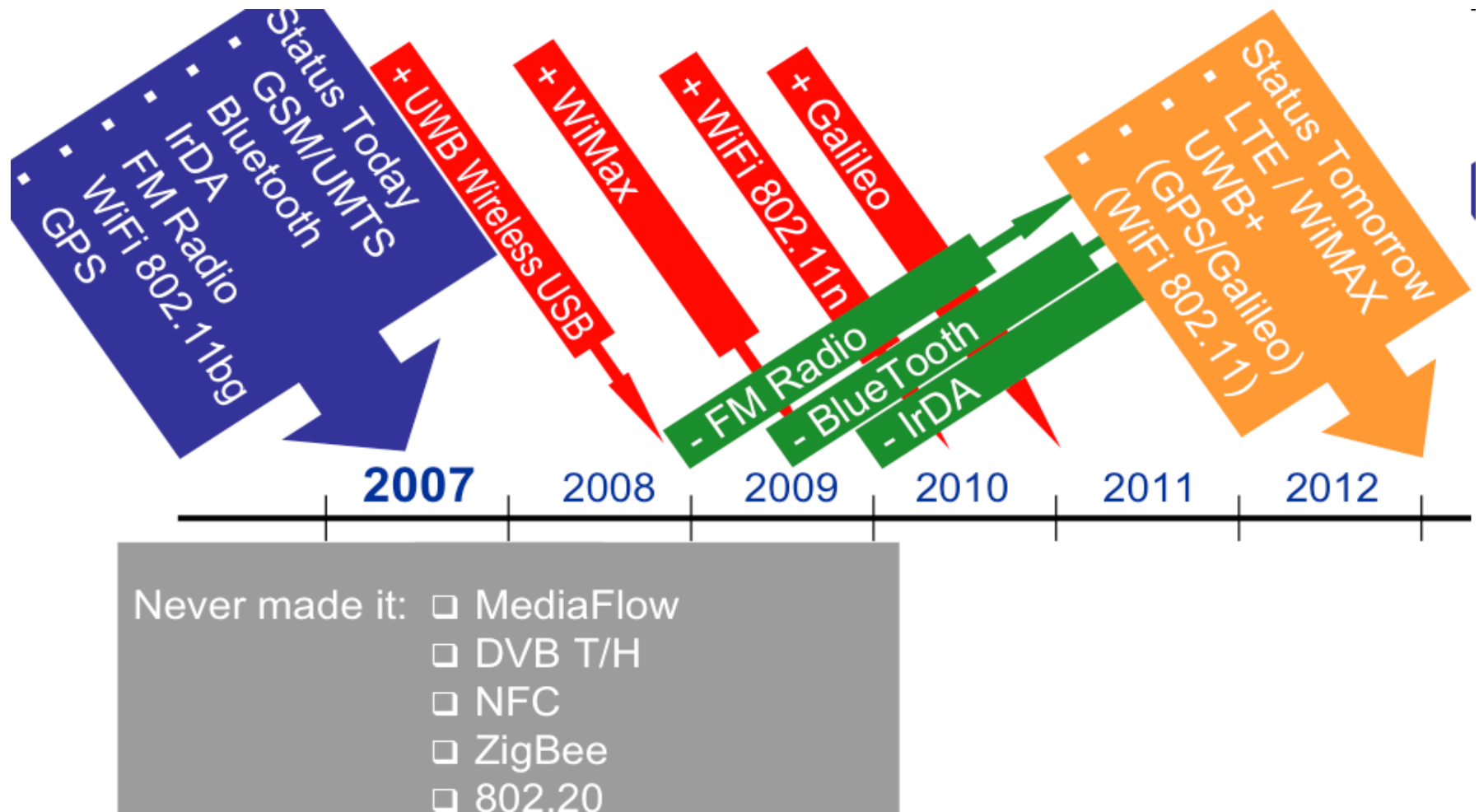
Razvoj korisničkih uređaja

Slika 2.9: Aktuelni korisnički uređaji za bežične telekomunikacije.



Razvoj korisničkih uređaja

Slika 2.10: Budući korisnički uređaji za bežične telekomunikacije.



Nova generacija terminala



Personalne bežične mreže (bežične mreže za personalno područje)

WPAN tehnologija koristi bežične linkove kratkog dometa, pa ima ograničeno područje pokrivenosti signalom, ali i široku primjenu u povezivanju i razmjeni podataka između **mobilnih telefona, PDA (Personal Digital Assistant - PDA) uređaja, računara i pratećih perifernih uređaja.**

Jedan od prvih standarda koji je korišćen za kreiranje WPAN mreža je IrDA (*Infrared Data Association - IrDA*) standard za prenos podataka pomoću infracrvene svjetlosti na kratkim rastojanjima.

Prednosti u odnosu na radio-sisteme: nema interferencije sa drugim uređajima, veća bezbjednost itd.

Osnovni nedostaci: mala brzina prenosa podataka i potrebna optička vidljivost između dva primopredajnika.

Bežične mreže

Najrasprostranjeniji standard iz WPAN grupacije je **IEEE 802.15.1**, sa komercijalnim nazivom *Bluetooth*.

Bluetooth uređaji su primopredajnici male snage (do *100 mW*), koji funkcionišu u ISM (*Industrial, Scientific and Medical - ISM*) frekvencijskom opsegu od *2,4 GHz*.

Zahvaljujući prirodi radio-talasa i FHSS (*Frequency Hopping Spread Spectrum - FHSS*) tehnici prenosa, uređaji ne moraju biti u liniji optičke vidljivosti da bi komunicirali.

Brzina prenosa koju ostvaruje Bluetooth je dovoljna za prenos govora i podataka u realnom vremenu.

Bluetooth uređaji, zbog svojih malih dimenzija, velike funkcionalnosti i fleksibilnosti, kao i niske cijene, imaju primjenu u mnogim savremenim telekomunikacionim sistemima, omogućavajući korisnicima da na jednostavan način razmjenjuju informacije.

Bežične mreže

Noviji standard iz grupe WPAN standarda, **IEEE 802.15.4** (komercijalni naziv *ZigBee*), predstavlja ujedno i noviji koncept LR (*Low Rate - LR*) personalnih bežičnih mreža.

Omogućava jednostavno, jeftino i efikasno povezivanje uređaja u bežične senzorske mreže (*Wireless Sensor Network - WSN*) u ISM opsegu (868 MHz u Evropi, 915 MHz u SAD i 2,4 GHz u ostatku svijeta).

Prednosti: hardverska i softverska jednostavnost uređaja i mala potrošnja energije.

Mala brzina prenosa podataka zadovoljava namjenske aplikacije u okviru "inteligentnih" stanova, kancelarija, infrastrukture, itd.

Bežične mreže

Jedna od novijih WPAN tehnologija, pod ranijim komercijalnim nazivom *WiBree*, razvijena je u Nokiji.

WiBree je dizajniran kao dopuna bežičnim tehnologijama malog dometa i ne predstavlja direktnog konkurenta Bluetooth standardu, već njegovo proširenje. Danas je poznat pod nazivom **Bluetooth Low Energy** (BLE).

Funkcionira u ISM opsegu od $2,4\text{ GHz}$ sa radijusom pokrivanja od 10 do 100 metara, vrlo male potrošnje i prenosom podataka brzinom do 1 Mb/s , a može se implementirati u vidu posebnog čipa ili u vidu *dual-mod Bluetooth-BLE* čipa.

Bežične mreže

Razvoj novih WPAN komunikacionih korisničkih uređaja koji podržavaju multimedijalne aplikacije usmjeren je ka:

- povećanju brzine prenosa,
- smanjenju cijene i
- smanjenju potrošnje energije.

Bežične mreže

UWB (*Ultra WideBand - UWB*) je tehnologija u razvoju.

UWB je bilo koji signal koji zauzima najmanje 500 MHz opsega u spektru širine $7,5\text{ GHz}$ (od $3,1$ do $10,6\text{ GHz}$), pri čemu emitovana snaga signala mora biti ispod 3 mW .

UWB podrazumijeva prenos povorki kratkih impulsa, uz korišćenje male izlazne snage, čime se dobijaju velike brzine prenosa podataka, ali na malim rastojanjima.

UWB će imati značajnu ulogu u budućim heterogenim mrežama i očekuje se da će imati primjenu u:

- multimedijalnim WPAN mrežama, kao osnovni bežični interfejs,
- IWAN (*Intelligent Wireless Area Network - IWAN*) mrežama i
- OPPN (*Open Point-to-Point Network - OPPN*) mrežama.

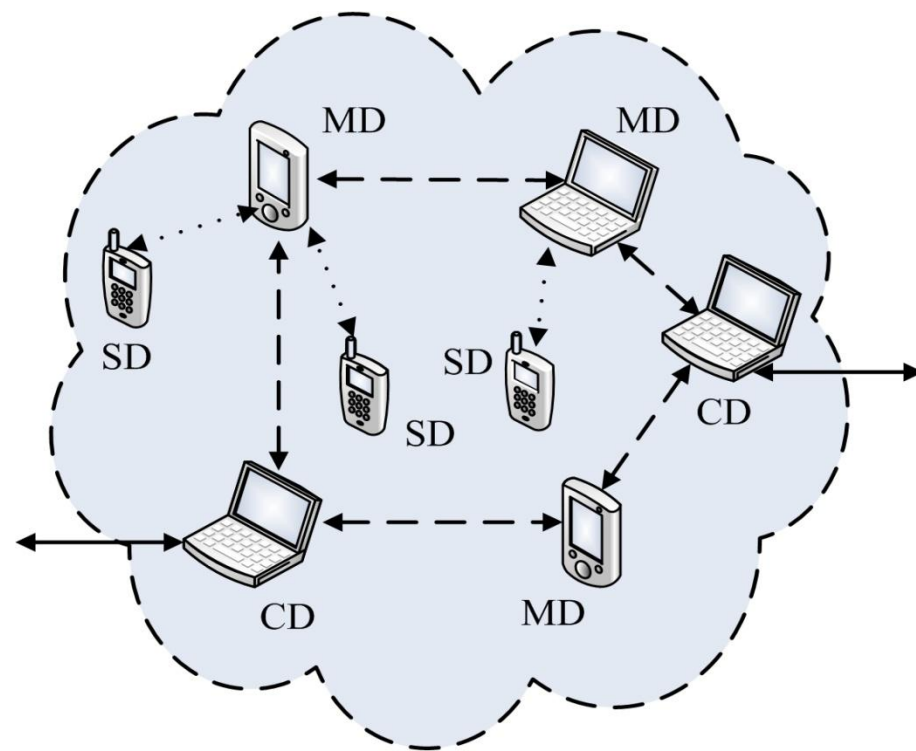
Povezivanjem WPAN uređaja (uređaji koji podržavaju određeni WPAN standard) u *ad-hoc* mrežu formira se bežična personalna mreža prema **Slici 2.11**, koju čine:

- komunikacioni uređaji (*Communication Device - CD*),
- master uređaji (*Master Device - MD*) i
- podređeni uređaji (*Slave Device - SD*).

Komunikacioni uređaji se ponašaju kao gejtvej (*gateway*) uređaji između WPAN i drugih žičnih ili bežičnih mreža.

Pikonet mrežu čini od dva do osam uređaja, koji su povezani topologijom “*tačka-tačka*” ili “*tačka-više tačaka*”.

Više *pikonet* mreža formira tzv. *skaternet* (*scaternet*).



Slika 2.11. WPAN mreža

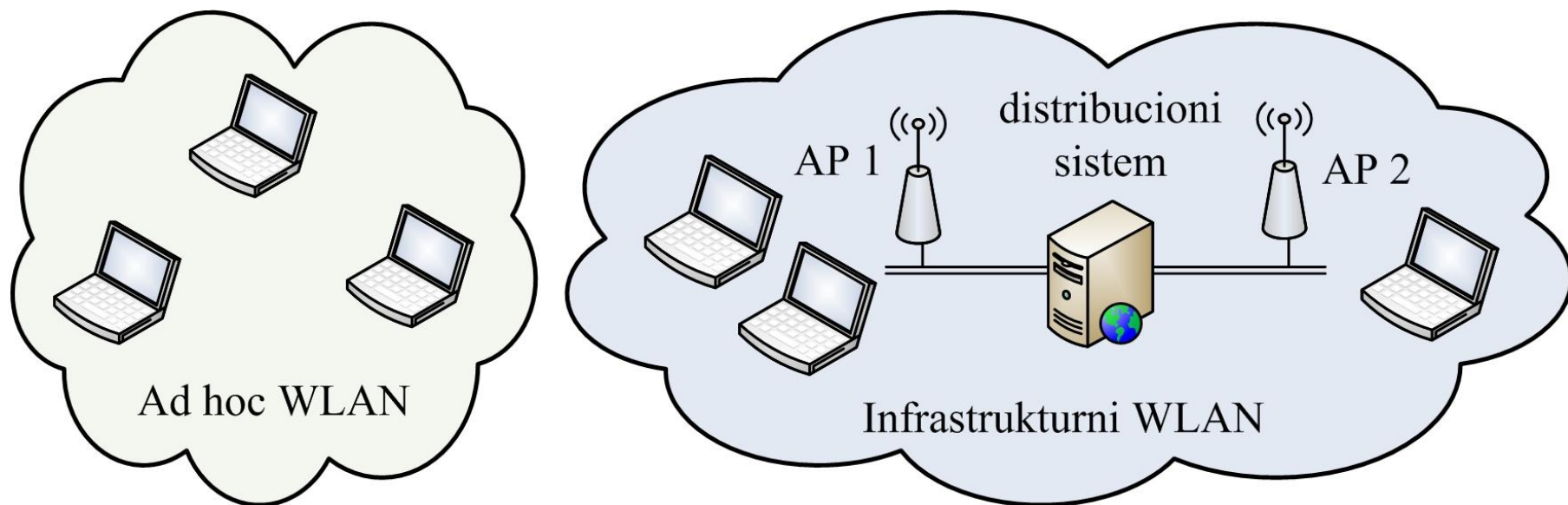
Bežične mreže za lokalno područje (bežične lokalne računarske mreže)

WLAN predstavlja najrasprostranjeniju tehnologiju u oblasti bežičnih računarskih mreža.

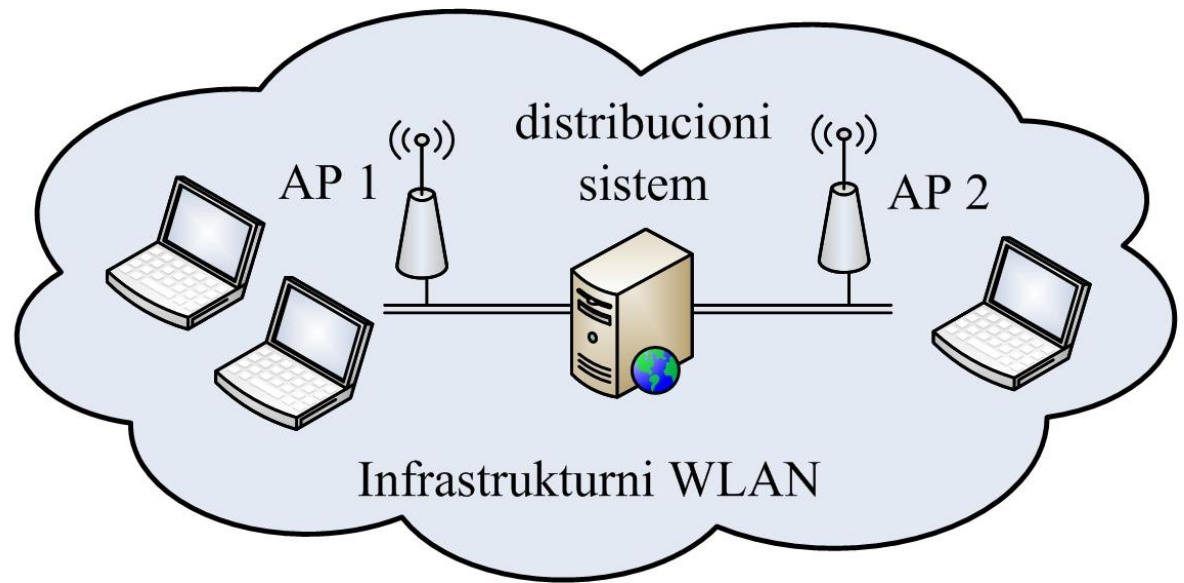
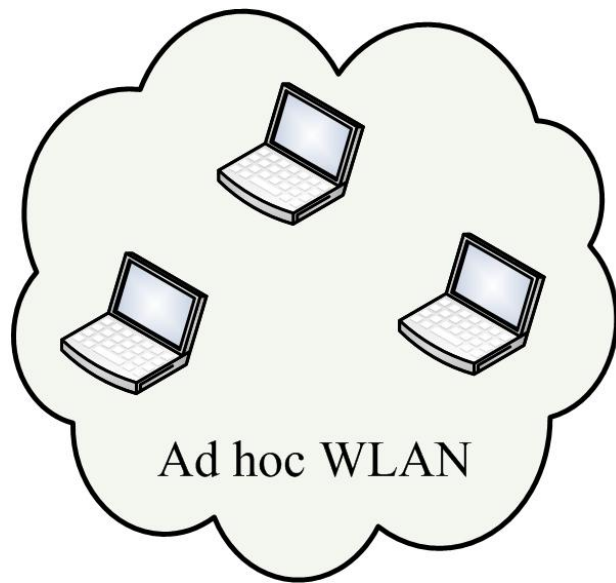
Bežične lokalne mreže funkcionišu kao proširenje ili kao alternativa klasičnim Ethernet mrežama.

WLAN mreže mogu biti konfigurisane kao:

- *ad hoc* ili
- *infrastrukturne mreže* (Slika 2.12.).



Slika 2.12 Topologija WLAN mreža



U *ad hoc* režimu radne stanice mogu komunicirati direktno jedna sa drugom.

U infrastrukturnom režimu međusobno povezivanje radnih stanica i povezivanje na distribucioni sistem ostvaruje se preko pristupnih tačaka (*Access Point - AP*).

Zona koja je pokrivena signalom jedne pristupne tačke naziva se osnovno servisno (*Basic Service Set - BSS*) područje, dok čitava ćelijska struktura predstavlja prošireno servisno (*Extended Service Set - ESS*) područje.

Bežične mreže

WLAN tehnologije su, zbog svojih karakteristika (niske cijene, zadovoljavajuće brzine prenosa podataka i adekvatnog frekvencijskog opsega), postale popularne tek kada je njihova primjena proširena od poslovnog i kućnog okruženja na javna mesta, tzv. *hotspot*.

Na taj način su multimedijalne aplikacije postale dostupne širokom krugu korisnika, što je dovelo do prave revolucije u svijetu bežičnih komunikacija.

Zahvaljujući novim standardima i tehnikama prenosa, ovaj trend se nastavlja i u sljedećim etapama razvoja bežičnih mreža.

Bežične mreže

Početna verzija WLAN standarda IEEE 802.11 je formirana 1997. godine, tako što je za bežične Ethernet sisteme određena radna frekvencija od $2,4\text{ GHz}$ i dvije brzine prenosa podataka, 1 i 2 Mb/s . Ubrzo nakon definisanja fizičkog i MAC sloja inicijalnog standarda, *IEEE 802.11 legacy*, formirano je nekoliko *podgrupa*, od kojih su najznačajnije:

- TG 802.11a, koja je zadužena za unapređenje inicijalnog standarda i rad u 5 GHz nelicenciranom opsegu za SAD, ali ne i za većinu drugih zemalja;
- TG 802.11b, koja definiše brži prenos podataka (do 11 Mb/s) u ISM opsegu ($2,4\text{ GHz}$);
- TG 802.11d, koja radi na usklađivanju međunarodnih pravilnika o slobodnim radio-frekvencijama;
- TG 802.11e, zadužena za razvoj QoS-a za WLAN tehnologije i
- TG 802.11g i TG 802.11n, koje definišu veće brzine prenosa podataka.

Bežične mreže

Tehnike multipleksiranja definisane postojećim standardima su:

- DSSS (*Direct Sequence Spread Spectrum - DSSS*)/(prenos u proširenom spektru metodom direktne sekvence) za inicijalni standard IEEE 802.11,
- CCK (*Complementary Code Keying - CCK*)/(tastovanje komplementarnih kodova) za IEEE 802.11b i
- OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing - OFDM*)/(multipleksiranje raspodjelom ortogonalnih frekvencija) za IEEE 802.11a i IEEE 802.11g.

Bežične mreže

Wi-Fi (Wireless-Fidelity - Wi-Fi) predstavlja industrijski brend istoimene korporacije, koja izdaje sertifikate za WLAN uređaje podržane standardima IEEE 802.11.

HIPERLAN (*HIgh PERFORMANCE Radio LAN - HIPERLAN*) je manje poznat, ali jednako dobar standard za WLAN mreže.

HIPERLAN je razvijen od strane ETSI u okviru BRAN (*Broadband Radio Access Networks - BRAN*) projekta kao evropska alternativa IEEE 802.11 standardu. Karakteristike postojećih BRAN standarda prikazane su u sljedećoj tabeli:

Bežične mreže

HIPERLAN/1 WLAN	HIPERLAN/2 Bežični IP, ATM i UMTS	HIPERACCESS Bežični IP i ATM daljinski pristup	HIPERLINK Bežična širokopojasna interkonekcija
MAC	DLC	DLC	DLC
PHY (5GHz) 25Mb/s	PHY (5GHz) 54Mb/s	PHY (razni opsezi) 25Mb/s	PHY (17GHz) 155Mb/s

Karakteristike BRAN standarda

Bežične mreže

Prvobitno je 1996. godine definisan HIPERLAN/1 za podršku asinhronog prenosa podataka velikim brzinama u WLAN okruženjima.

HIPERLAN/2 standard iz 2000. godine može podržati asinhroni prenos podataka za multimedijalne usluge osjetljive na vremensko kašnjenje, kao što su paketizovani govor i video, koji imaju određene zahtjeve u pogledu QoS-a. IEEE 802.11a standard i HIPERLAN/2 imaju gotovo identične protokole fizičkog sloja u opsegu od 5 GHz.

HIPERLAN/2 je superiorniji pri prenosu sinhronizovanih podataka, jer ima bolju podršku za QoS i bezbjednost, a zbog fiksne dužine protokolske jedinice podataka (*Protocol Data Unit - PDU*), brzina prenosa podataka ne zavisi od veličine paketa.

HIPERLAN/2 standardom definisani su fizički, DLC (*Data Link Control - DLC*) i sloj konvergencije.



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union

Digital Broadcasting and Broadband Technologies (Master Studies)
Erasmus+ Project No. 561688-EPP-1-2015-1-XK-EPPKA2-CBHE-JP

This project has been founded with support from the European Commission

This publication[communication] reflects the views only of the author, and
the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of
the information contained therein.

DBBT

**Digital Broadcasting &
Broadband Technologies**