

СОФИЙСКИ
УНИВЕРСИТЕТ



„СВ. КЛИМЕНТ
ОХРИДСКИ“

ОСНОВАН 1888 Г.



СОФИЙСКИ УНИВЕРСИТЕТ "СВ. КЛИМЕНТ ОХРИДСКИ"

СОФИЙСКИ УНИВЕРСИТЕТ
“КЛИМЕНТ ОХРИДСКИ”

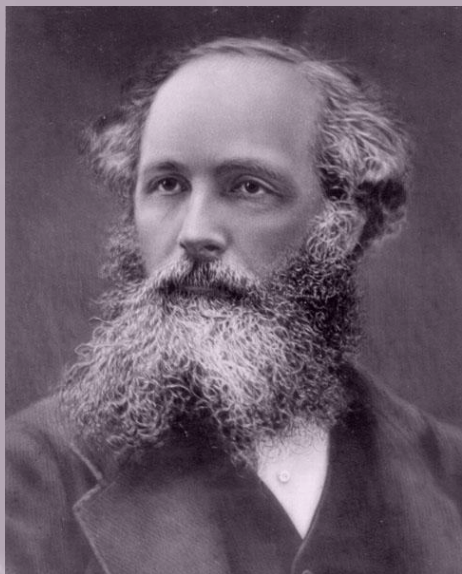
ФИЗИЧЕСКИ ФАКУЛТЕТ

КЛИМЕНТОВИ ДНИ 2016



James Clerk Maxwell

ПЛАМЕН ДАНКОВ
„КАК ЧЕТИРИ
УРАВНЕНИЯ
ПРОМЕНИХА НАЧИНА,
ПО КОЙТО ОБЩУВАМЕ“



**JAMES CLERK
MAXWELL**

13 June 1831 –
5 November 1879

(1861)

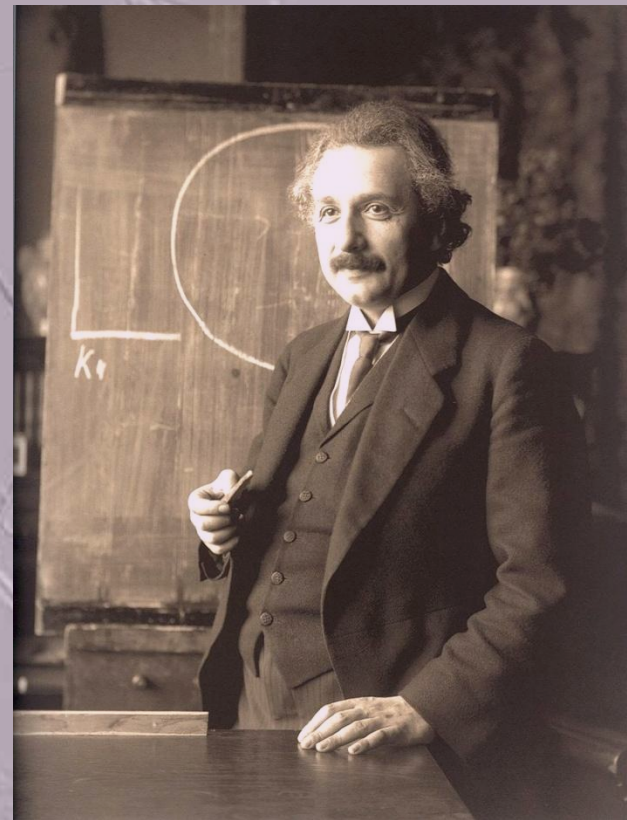
AND SO THOU WAST MADE PERFECT! NOT A FRIEND
MIGHT STEP BETWEEN THEE AND THE SORE DISTRESS
WHICH THOU WITH STRONG AND PATIENT GODLINESS
ENDUREDST UNCOMPLAINING TO THE END.
HEROIC SAINT! BRIGHT SUFFERER! THOU DOST LEND
TO SCIENCE A NEW GLORY. MIDST THE PRESS
OF BOASTERS, ALL THY MEEK-EYED FAME CONFESS,
AND WORLDLINGS THINE UNWORLDLINESS COMMEND.

SHINE ON, PURE SPIRIT! THOUGH WE SEE THEE NOT,
EVEN IN THY PASSAGE THOU HAST PURGED AWAY
THE FOGS OF EARTH-BORN DOUBT AND SENSE-BOUND
THOUGHT
FROM HEARTS THAT FOLLOWED THINE ALL-PIERCING RAY.
AND WHILE THOU SOAREST FAR FROM HUMAN VIEW,
EVEN THY FAINT IMAGE SHALL OUR STRENGTH RENEW.



THE PRECISE FORMULATION OF THE TIME-SPACE LAWS WAS THE WORK OF MAXWELL (1861). IMAGINE HIS FEELINGS WHEN THE DIFFERENTIAL EQUATIONS HE HAD FORMULATED PROVED TO HIM THAT ELECTROMAGNETIC FIELDS SPREAD IN THE FORM OF POLARIZED WAVES, AND AT THE SPEED OF LIGHT! TO FEW MEN IN THE WORLD HAS SUCH AN EXPERIENCE BEEN VOUCHSAFED ... IT TOOK PHYSICISTS SOME DECADES TO GRASP THE FULL SIGNIFICANCE OF MAXWELL'S DISCOVERY, SO BOLD WAS THE LEAP THAT HIS GENIUS FORCED UPON THE CONCEPTIONS OF HIS FELLOW WORKERS.

—(*SCIENCE*, MAY 24, 1940)

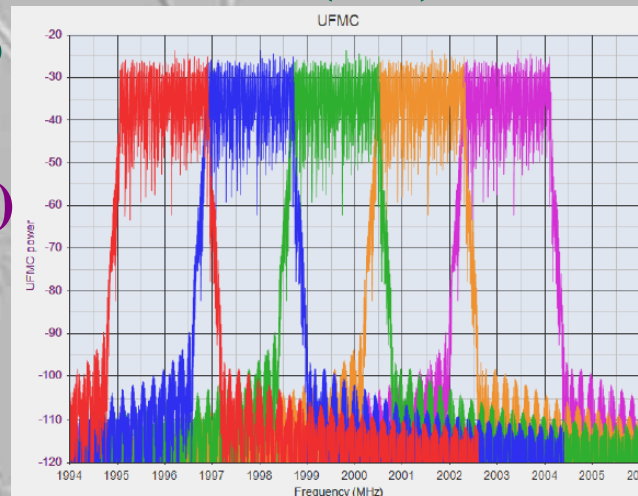


ALBERT EINSTEIN



ТЕМИ В ЛЕКЦИЯТА

- Четирите уравнения на Максвел: 155 години в основата на електро-динамиката.
- Съвременните електромагнитни 3D симулатори (FDTD) са директно построени на основата на уравненията на Максвел; примери.
- Идеята за радиовълните и възникване на безжичните комуникации.
- Електромагнитният спектър – огромно световно богатство; как се използва? Кодиране, модулации и разпространение на радиовълните
- Поколения в безжичните комуникации: $0G \Rightarrow 1G \Rightarrow 2G \Rightarrow 3G \Rightarrow 4G \Rightarrow 5G$. Защо се сменят поколенията?
- Как се доставя Интернет за хората? Интернет на нещата (IoT) или защо съвременните ни представи за човешко общуване са немислими без ЕМ вълни
- Новото 5G комуникационно поколение (2020) – много повече физика и комуникационни технологии, отколкото софтуер и IT.
- Заключение





ЧЕТИРИ УРАВНЕНИЯ НА ЕЛЕКТРОДИНАМИКАТА:

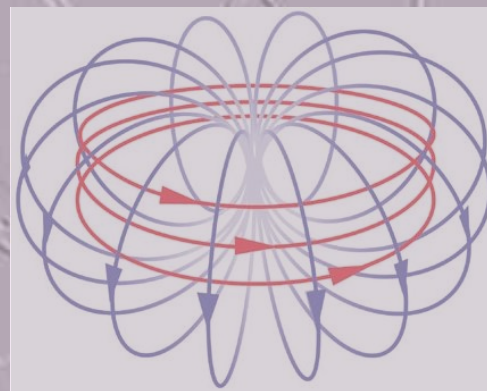
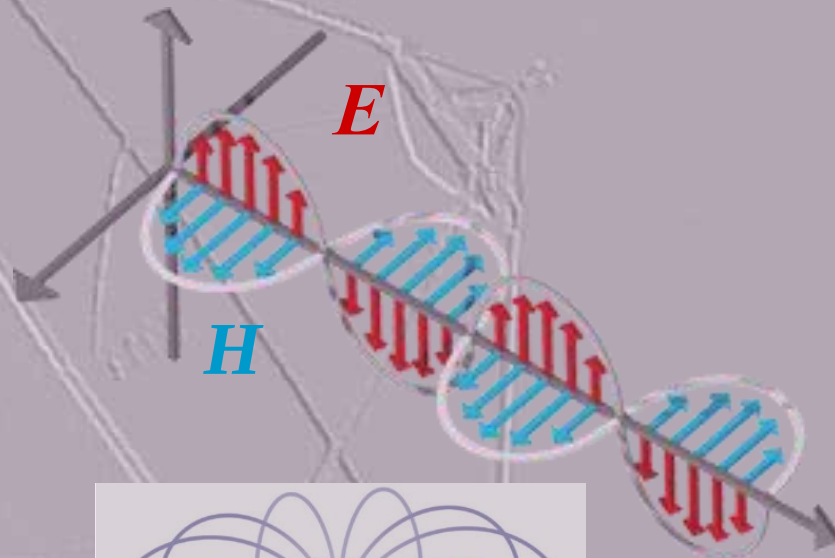
$$\nabla \cdot \mathbf{D} = \rho$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$$

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$$

$$\nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{J} + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t}$$

$$\nabla \times \mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{J} + \underbrace{\mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t}}_{\text{Maxwell's term}}$$



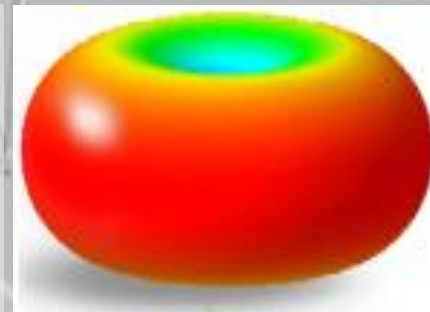
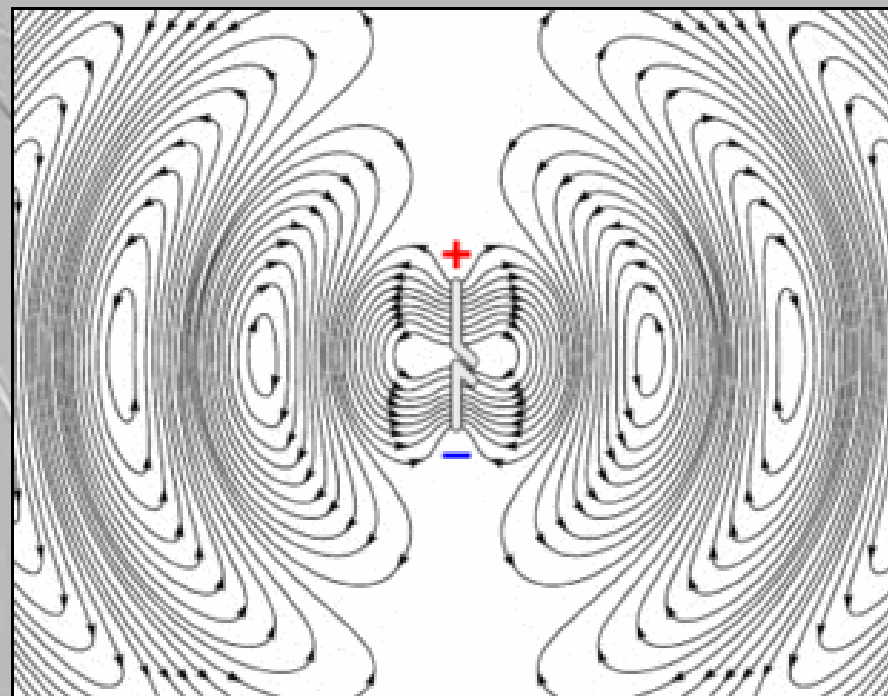
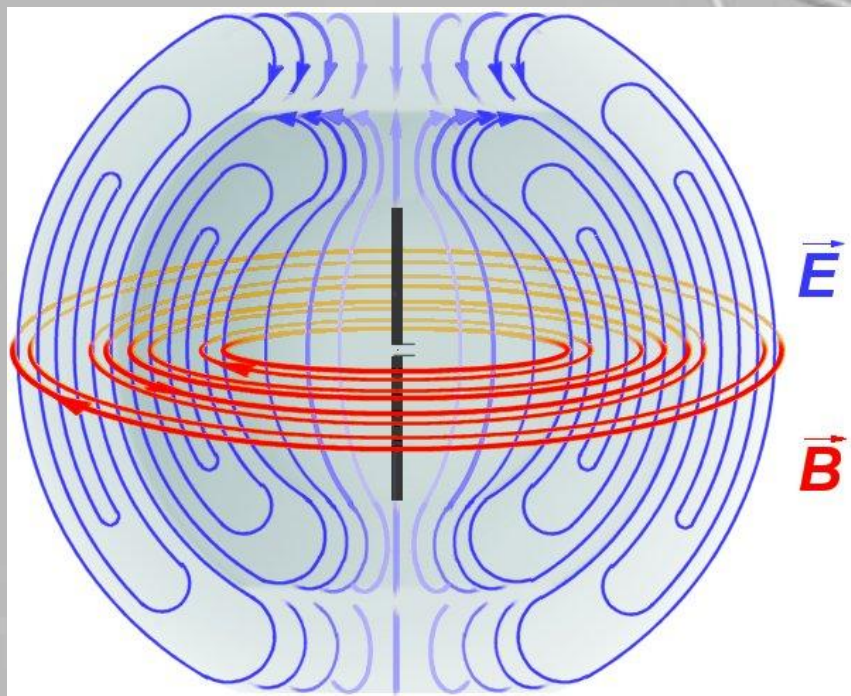
JAMES C. MAXWELL, "ON PHYSICAL LINES OF FORCE"; PHILOSOPHICAL MAGAZINE (1861).



Уравнение:	Диференциална форма:	Значение:
Закон на Гаус за потока на електрическата индукция	$\nabla \cdot \mathbf{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$	Общият поток на електрическата индукция, изтичащ от даден обем, е пропорционален на заряда вътре.
Закон на Гаус за потока на магнитната индукция	$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$	Общият поток на магнитната индукция през затворена повърхност е нула (не съществуват магнитни монополи)
Уравнение на Максвел-Фарадей (закон на Фарадей за промяна на индукцията)	$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$	Електрическото поле, индуцирано през площта на затворен контур, е пропорционално на промяната на магнитния поток през площта му
Закон на Ампер за кръговия ток (с добавката на Максвел)	$\nabla \times \mathbf{B} = \mu_0 \left(\mathbf{J} + \epsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} \right)$	Магнитното поле, индуцирано през площта на затворен контур, е пропорционално на електрическия ток плюс тока на отместване (промяната на електричното поле през площта му)



Пример 1: излъчващ електрически дипол

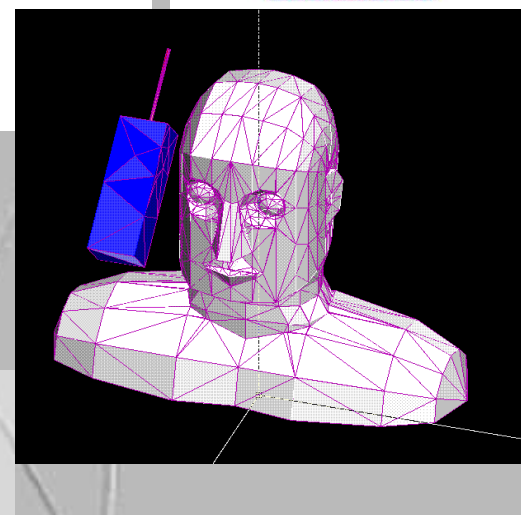
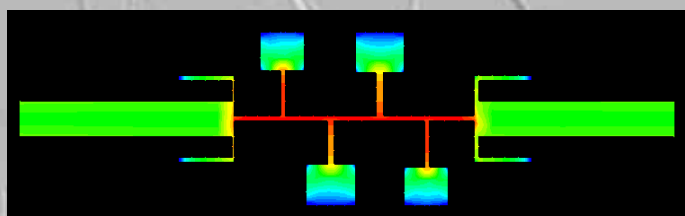
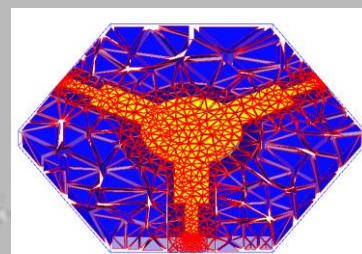
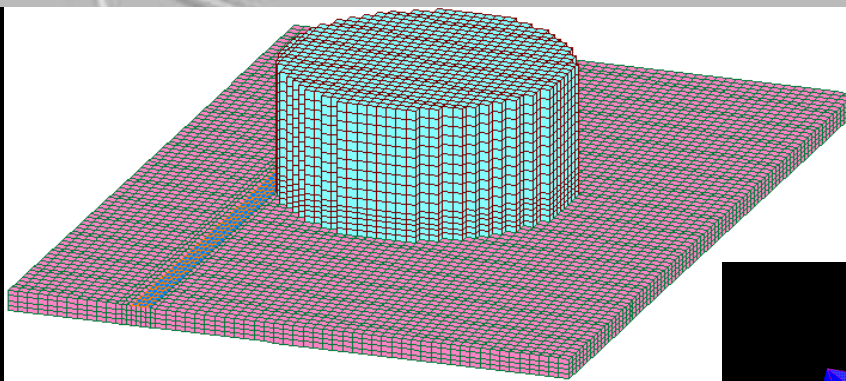
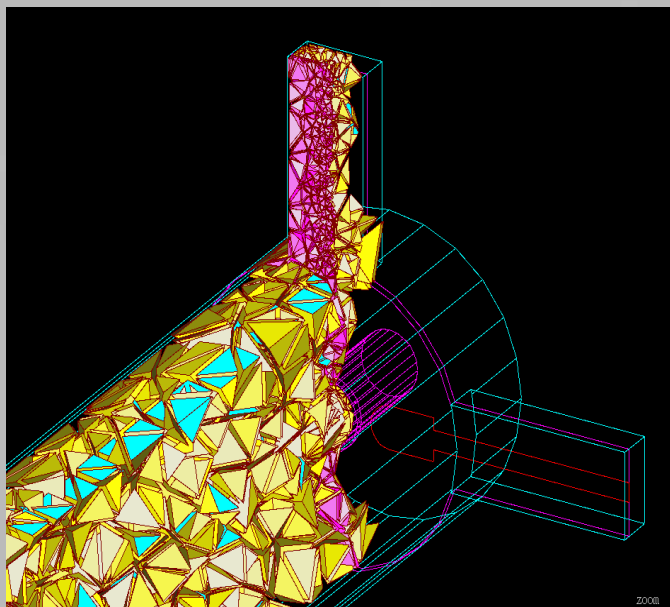


Диаграма на излъчване тип „Omni”

Приложеното променливо напрежение V на краищата на електрическия дипол поражда променлив ток I , който възбужда в близката зона магнитно поле с индукция B (червените силови линии). Променливото магнитно поле от своя страна поражда електрическо поле E (сините силови линии) и т. н. Така самоподдържащото се ЕМ поле се „откъсва“ от източника, който го е създавал и оформя „Omni” диаграма на излъчване в далечната зона около дипола (вж. →)



Пример 2: Електромагнитни 3D симулатори



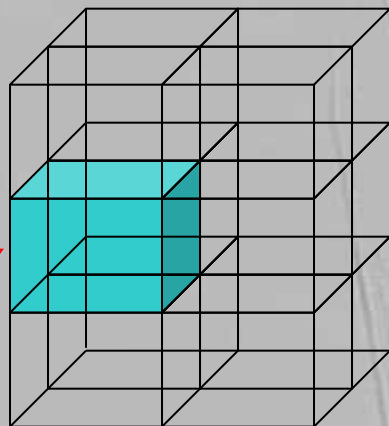
Силата на уравненията на Максвел се състои и в това, че те могат да се използват директно в числената техника!

Днес различните ЕМ структури се решават с помощта на 3D симулатори, които се базират на различни числени техники (FEM, MoM и др.). При най-съвременния FDTD метод дадена обемна структура се дискретизира в пространството (чрез кубични клетки; кубоиди) и във времето така, че във всяка клетка (клетка на Yee) могат да се запишат директно уравненията на Maxwell, които чрез „алгоритъм на Yee“ се превръщат с обикновени алгебрични нелинейни уравнения. Процедурата е една от най-ефективните съвременни числени техники в електродинамиката.



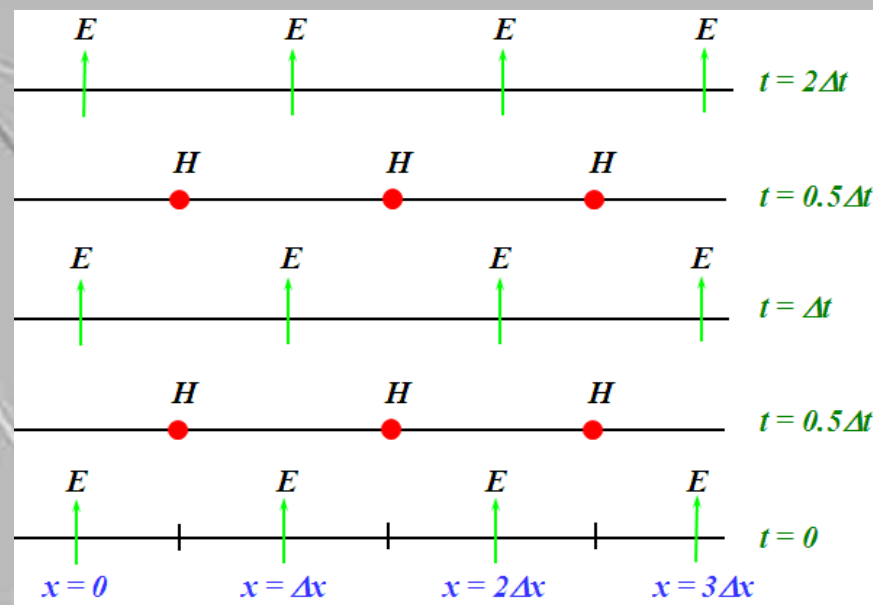
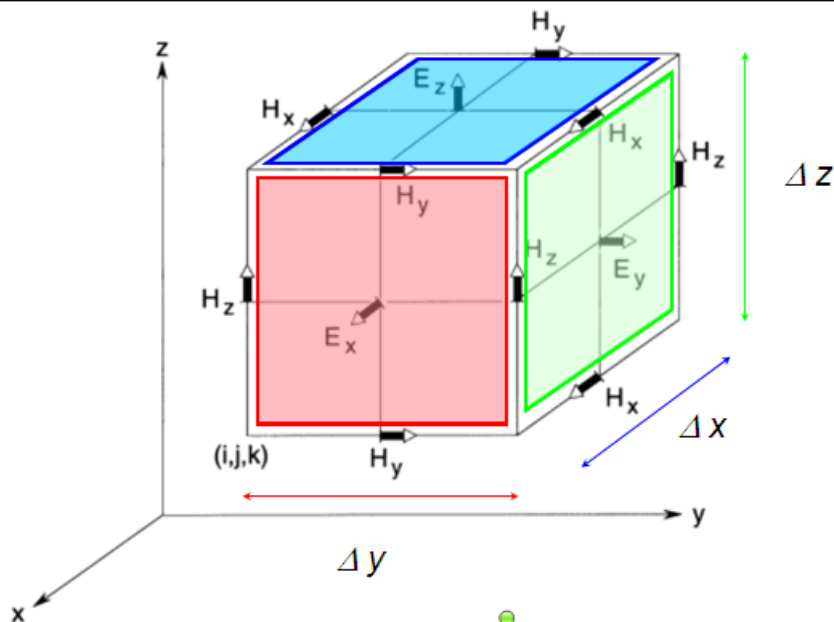
Пример 2: Електромагнитни 3D симулатори

Клетка на Yee



Единична клетка на Yee:

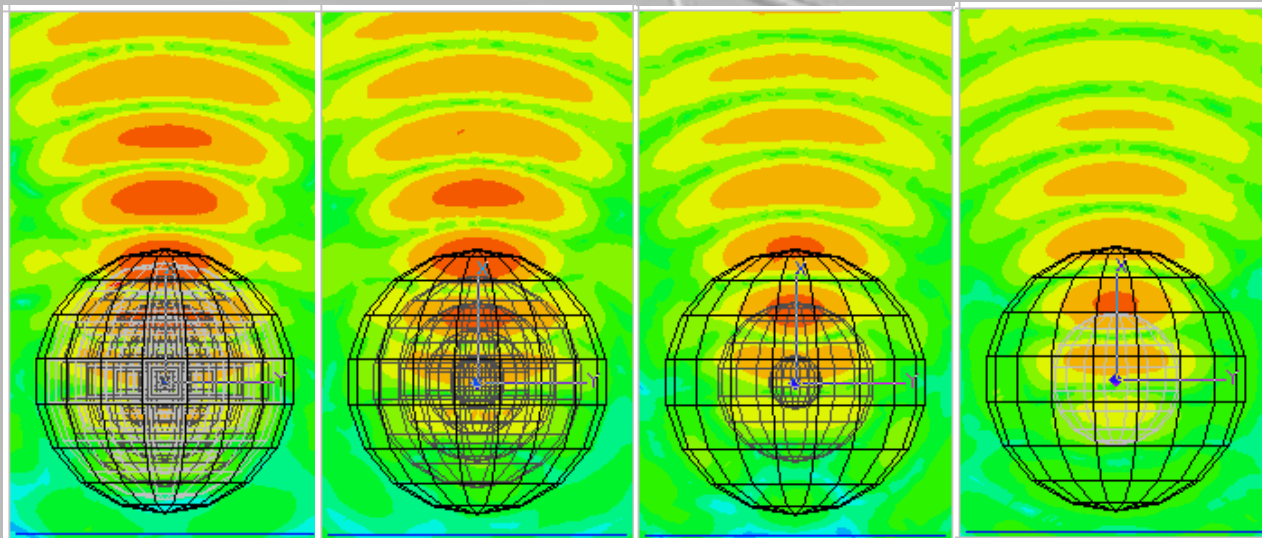
кубоид с крайни размери: $\Delta = \Delta x = \Delta y = \Delta z$ $\{\Delta t \leq \Delta/c\sqrt{3}\}$



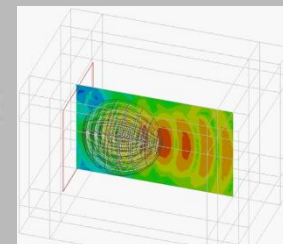
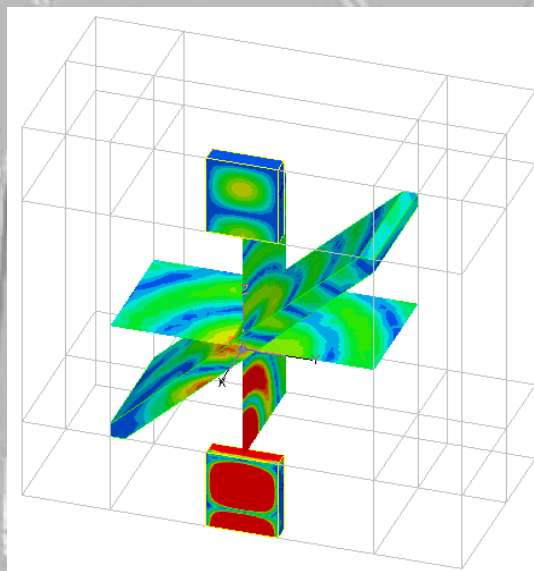
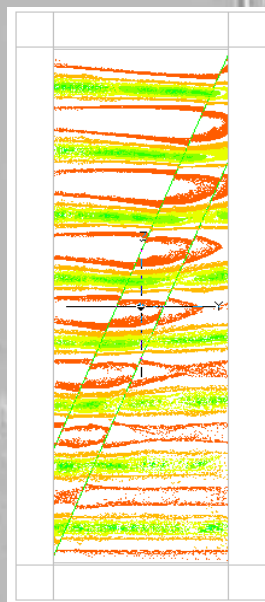
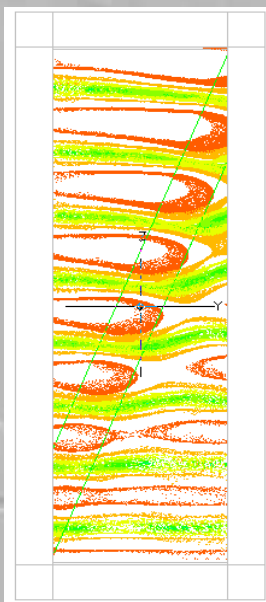
Алгоритъм на Yee (leap-frog процедура): всяка компонента на $E(H)$ -полето в даден момент се определя времевите промени на компоненти на $H(E)$ -полето, но на разстояния $\frac{1}{2}\Delta x$, $\frac{1}{2}\Delta y$, $\frac{1}{2}\Delta z$ и в предишен момент $\frac{1}{2}\Delta t$, като $\Delta t \leq \Delta x/c$; $\Delta t \leq \Delta y/c$; $\Delta t \leq \Delta z/c$ (т. е. за интервал от време, за който дори със скорост на светлината не могат да изминат разстоянията Δx , Δy и Δz). Така процедурата гарантира сходимост.



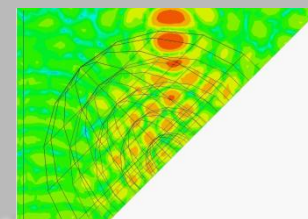
Пример 3: Анимации на ЕМ полета



Леща на Лунеберг



Два клипа с анимация на ЕМ поле в близката зона



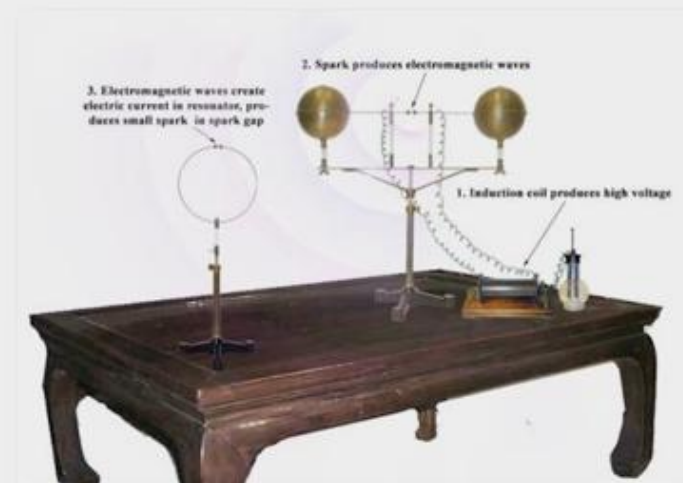
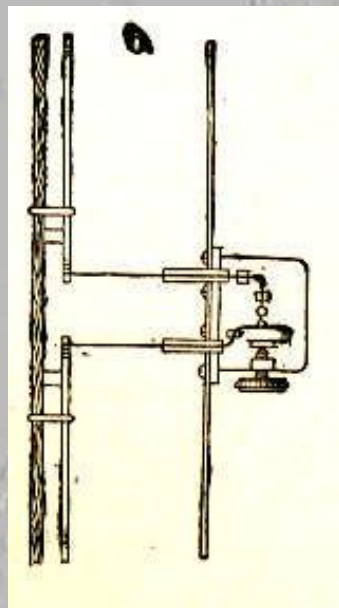
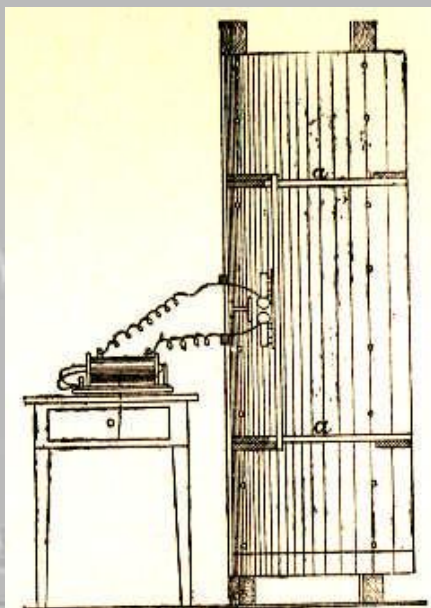
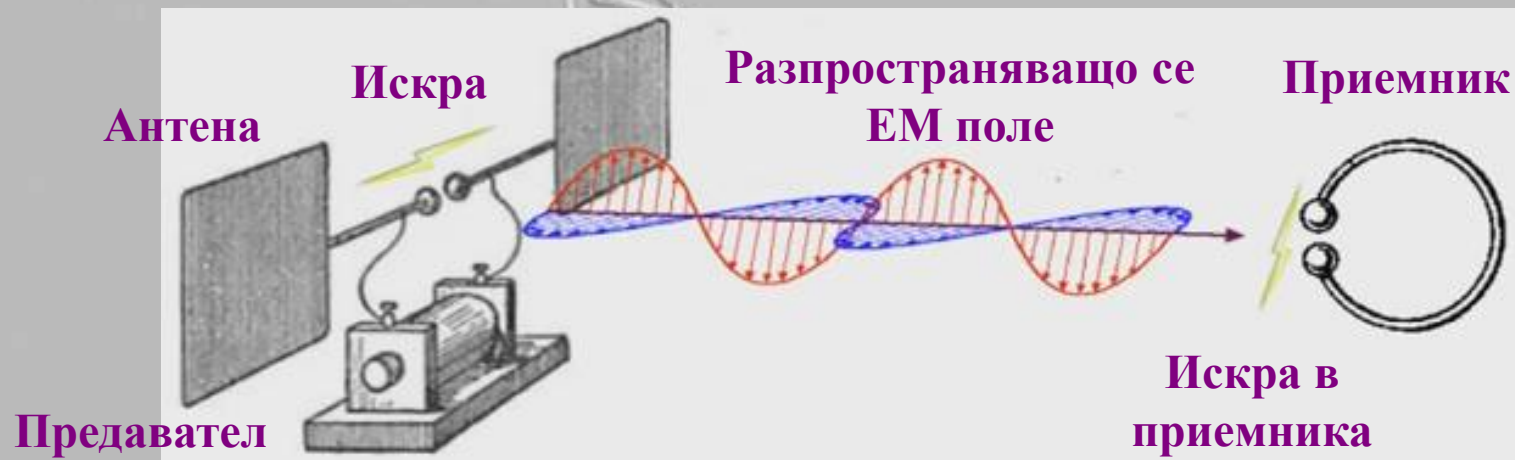
Преминаване на плоска вълна през антенен радом (покрытие)



ИДЕЯТА ЗА „РАДИОВЪЛНИ“ И ВЪЗНИКВАНЕ НА БЕЗЖИЧНИТЕ КОМУНИКАЦИИ



Опит на Hertz (1887): ЕМ вълни съществуват!



Оригиналните предавател и приемник в серия опити на Н. Hertz (1887), доказващ съществуването на разпространяващи се ЕМ вълни (100 MHz)



Опити на Marconi (1895): предаване на радиовълни на разстояния над 1 km!

През 1894 г. Guglielmo Marconi (Bologna, Италия) прочита труда на Hertz и заключава, че т. нар. от него „radio waves“ могат да бъдат идеално средство за *безжично предаване* на електрически сигнали на *големи разстояния* (по това време вече съществуват жичният телеграф и телефон). Веднага започва експерименти, но не е единствен. По подобни теми работят още: Sir Oliver Lodge (Англия), Captain H. Jackson (Англия), Slaby, Arco и Braun (Германия), А. Попов (Русия), С. Bose (Индия), N. Tesla (САЩ) и А. Righi (Италия, физик).

Заслугата на Marconi е тази, че създава по-чувствителен приемник във вакуумна тръба, заменящ неефективната иска. По подобие на създадения от Sir O. Lodge "coherer", Marconi използва приемник, който работи като ключ и заменя диполната антена с по-чувствителна заземена антена. Marconi пръв успява да предаде безжично сигнали извън лаборатория, като през 1895 г. достига до една миля.



G. Marconi



**Чувствителен
приемник:
„coherer”**





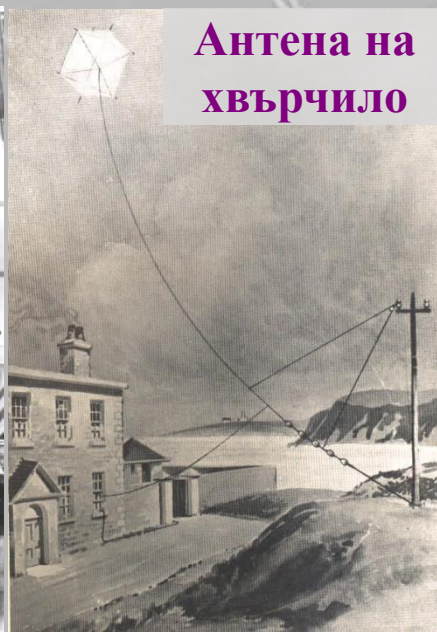
Безжичен телеграф: първото комерсиално приложение на безжичните комуникации

Със съдействието на British Post Office през 1894 г. Marconi започва експерименти по безжичен телеграф на къси разстояния по специален Морзов код, а след това разработва и трансатлантически телеграф.

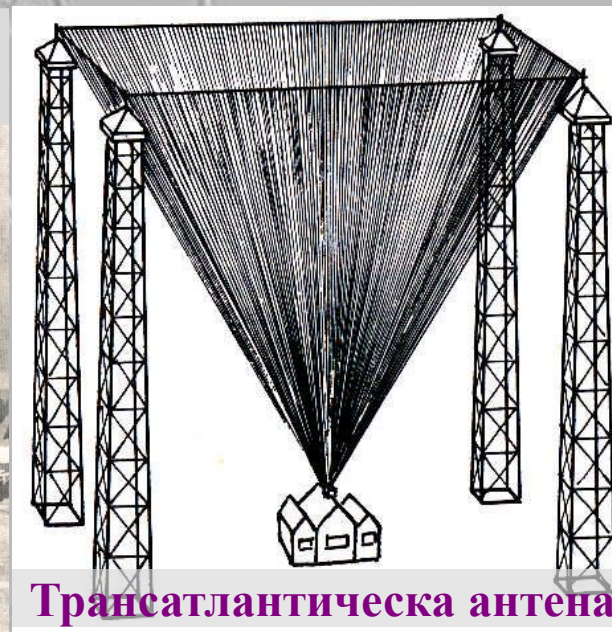
През 1897 г. G. Marconi (23 годишен) създава своя компания за безжично оборудване, която за 2-3 години става водеща световна радио-компания за 20 години напред. Главна причина за този успех е интеграцията. Marconi е ръководител на екипа, води научни изследвания и експерименти, създава патенти, а останалата част от компанията включва неговите изобретения и подобрения в оборудването, което те произвеждат и предлагат на пазара. След гибелта на Титаник 1912 г. безжичното оборудване за кораби става задължително.



Оборудване за
безжичен телеграф



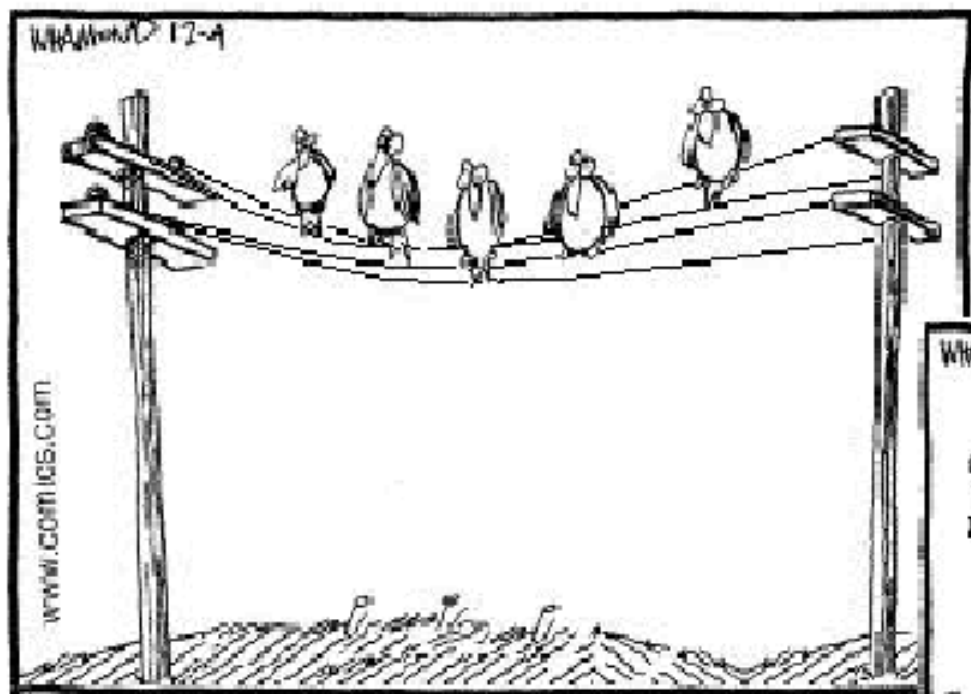
Антенa на
хвърчило



Трансатлантическа антенa

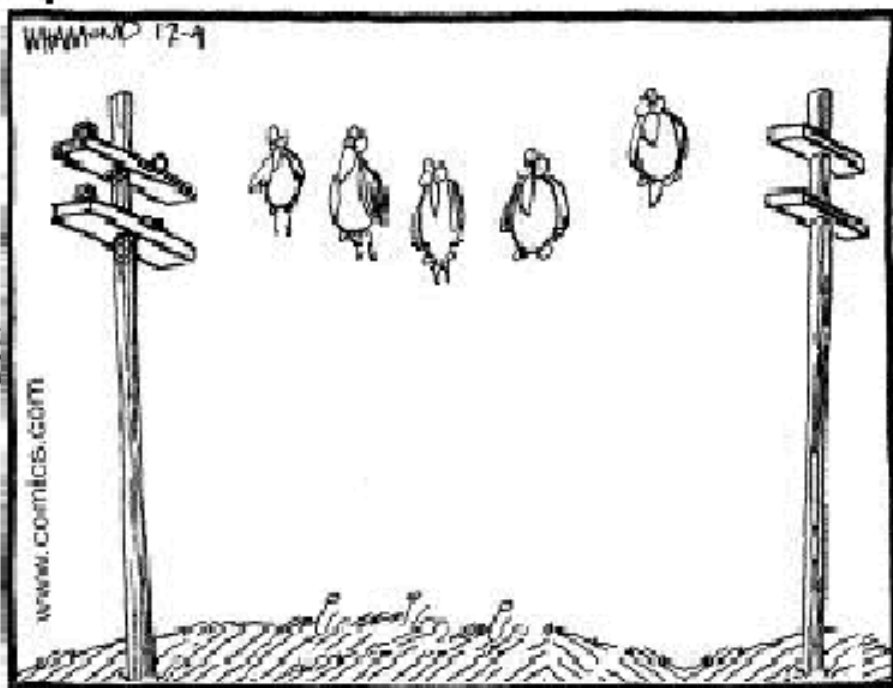


Така се появиха безжичните комуникации!



⇐ “Традиционни
жични комуникации”

“Безжични
WIRELESS
комуникации” ⇒

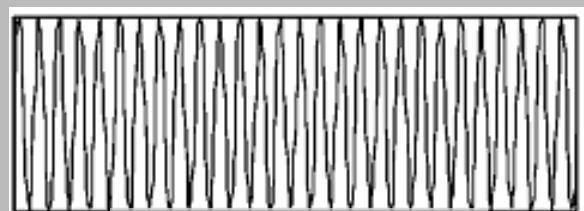


Източник: Internet

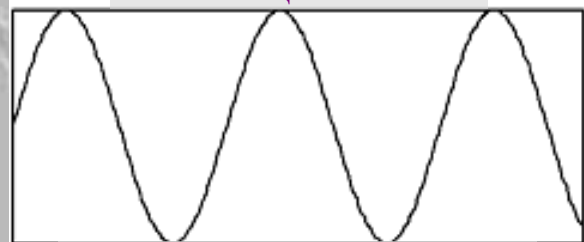


Амплитудна модулация (1905) и радиоразпръскване

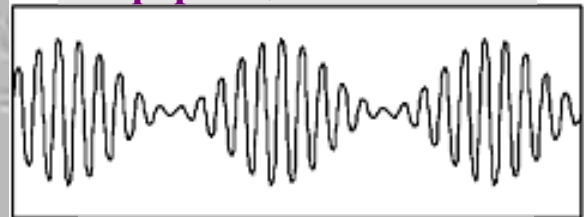
До 1905 г. безжично са се предавали само знаци (по Морзовата азбука – точки и тирета). През 1905 г. R. Fessenden въвежда *амплитудната модулация* и успява да предаде за първи път безжично реч и музикални звуци. Това дава възможност за нови приложения – радиоразпръскване и безжични телефони. Идеята е, информационните сигнали да не се разпространяват директно на честотите на техния спектър, а на по-високи честоти, където загубите при разпространение са по-малки, шумът е по-слаб, а антените – с по-малки размери.



(a) Носещ сигнал



(b) Информационен сигнал



(c) АМ модулиран сигнал

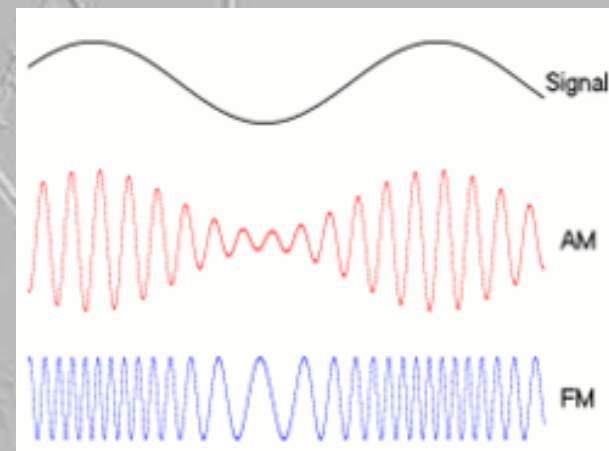
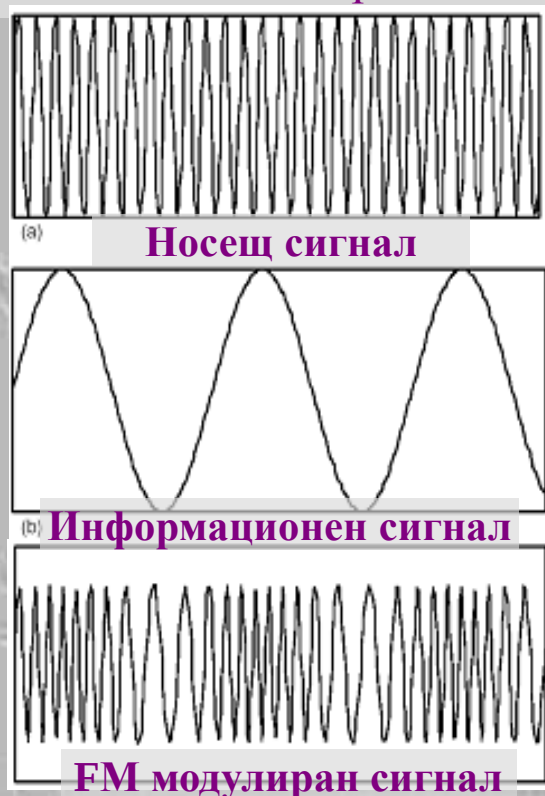


Courtesy WWJ



Честотна модулация (1935) и много по-качествено ТВ и радиоразпръскване

АМ модулацията има много недостатъци; основните са слабата шумооизолация и промяната на амплитудата на сигнала, което при безжични комуникации е сериозен проблем. През 1935 г. Е. Armstrong въвежда много по-ефективна и шумоизолационна *честотна модулация* FM и така безжичните комуникации стават значително по-качествени. Американската армия масово въвежда FM устройства и така печели радио войната с немците през II св. война. След 1945 г. се отваря пазар за мобилни телефони и пейджери, но най-много за радио и TV разпръскване.





Първото мобилно радио (1928) – полицейски радиостанции

В периода 1921-1927 г. е ерата на гангстерите и банковите обири и в полицейския департамент в Detroit (САЩ) през 1921 се въвежда първата радио система за едно-посочни връзки с патрулните коли (pager на 2 MHz). Системата работила лошо и на близки разстояния, но през 1928 г. се въвежда супер-хетеродинният приемник и системата започва да покрива цял град. Въвежда се и двупосочна, но не едновременно връзка (half-duplex), която работи и до днес (“push-to-talk”) в подобни системи. През 1934 г. тази система се въвежда навсякъде полицейските департаменти в САЩ, като по-късно преминава изцяло на модерната тогава FM модулация. Така се въвежда радио в коли не само в полицията, но и в пожарната, Бърза помощ, големи компании (електрически, газови, водни), такситата, транспорт, вестници.





Първата неклетъчна мобилна телефонна система за коли (1946)

На 17 юни 1946 г. в St. Louis, Missouri (САЩ) е въведена първата мобилна телефонна система за коли от AT&T (American Telephone & Telegraph), който е единствен оператор на фиксираната телефонна мрежа в САЩ. Тази първа мобилна телефонна система е неклетъчна, както мобилното радио, но свързана с фиксираните телефони. Имала е 6 канала по 120 kHz FM модулация на 150 MHz, но със силна интерференция и ограничен капацитет. Използвани се мощни предаватели и в двете посоки (за BS ~250 W), а за захранване на мобилната телефонна станция в колата е била необходима допълнителна батерия и динамо. Покривала се е област на ~25 мили от BS и при излизане от обхват връзката се е разпадала. Освен това първоначално не е имало автоматично избиране. Независимо от ниското качество на услугата, тя е въведена в 25 големи града на САЩ. През 1948 г. В Richmond, Indiana (САЩ) е въведено автоматично избиране и канали с пълен дуплекс и автоматичен избор на свободен канал. Системата е позволявала капацитет до 100 потребители/канал в час-пик, а по-късно: до 420.



St. Louis, 1946





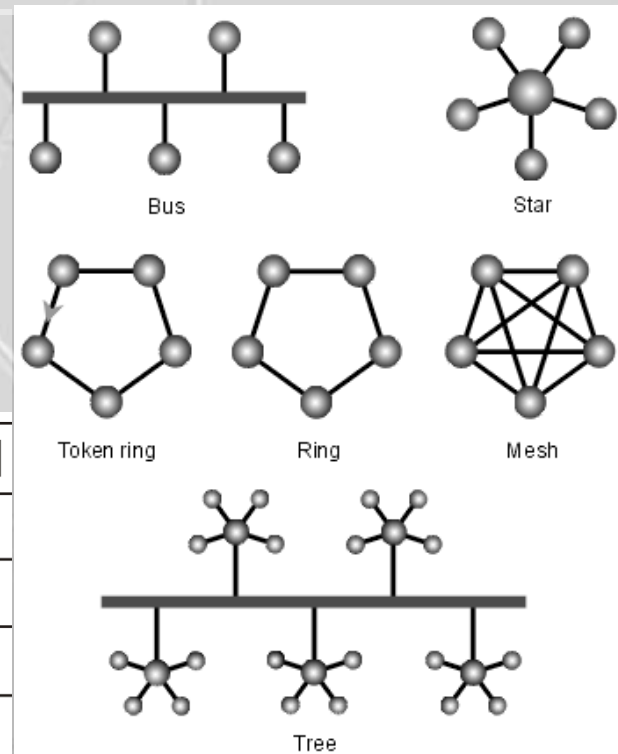
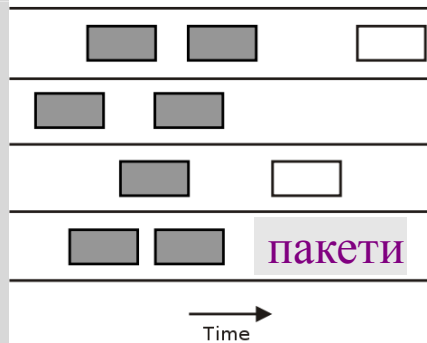
Първата безжична компютърна мрежа (1971)

Радио технологията се оказва много подходяща за предаване на данни на разстояние с високо качество, с малка мощност и евтини устройства – *безжичните мрежи* (само данни). Ранните радио-системи са аналогови, но практически всички съвременни системи са с цифров сигнал от бинарни битове, получени или директно от сигнала за данни, или от аналоговия първоизточник (реч, звуци, изображение). Цифровият радио сигнал може да се излъчва непрекъснато или като групи от битове в пакети. Последният тип е по-съвременна концепция и се нарича *packet radio*. При него излъчването на сигнала е прекъснато и по-икономично – радио-системата е “заета”, само докато излъчва пакета от данни. Първата “packet-radio” мрежа е ALOHANET, разработена в University of Hawaii през 1971.

В тази мрежа компютърни системи в 7 студентски града, разположени на 4 острова, могат да комуникират помежду си безжично чрез централен компютър в Оахи като HUB станция (използване е т. н. “*star*” технология: двупосочни връзки между всеки две станции чрез централна станция).

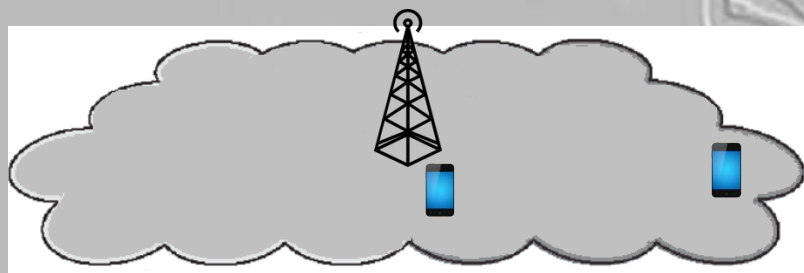
ALOHANET въвежда първата група от *комуникационни протоколи*, необходими при работата на всяка мрежа за

достъп до канала за връзка и маршрутизирането на пакетите от данни. Много от основополагащите принципи на изграждане на комуникационните протоколи се използват и днес в OSI модела



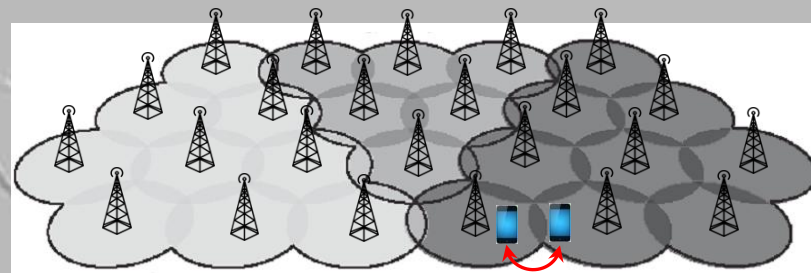


Идея за клетъчни комуникационни мрежи



Неклетъчни мрежи

Покриването на дадена географска област с достатъчно високо ниво на излъчен сигнал винаги е било проблем при мобилните комуникации. При неклетъчни мрежи има два основни проблема. Първият е, че трябва да се покрие много голяма площ (с диаметър до десетки km). Понеже нивото пада с разстоянието както $1/d^2$ (за градски условия дори $\sim 1/d^{(3-5)}$), мощността на предавателя трябва да е голяма; появява се ефект “близо-далече” (близките станции получават много силен сигнал, далечните – много слаб. За да се избегне интерференцията, в такива системи даден честотен канал се използва *само веднъж* в цялата зона. Това е вторият съществен проблем – мрежата има много нисък капацитет.



Клетъчни мрежи

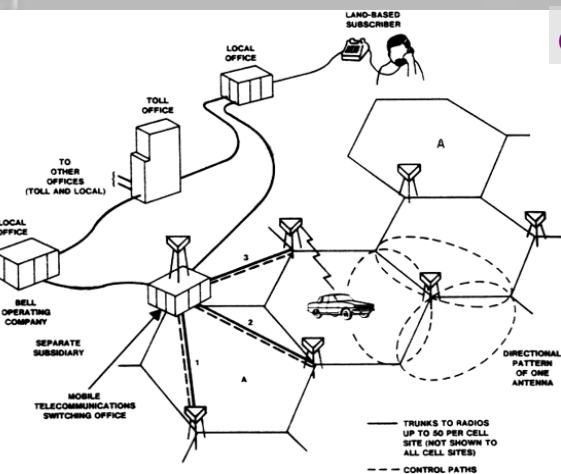
При клетъчните системи, поради архитектурата на мрежата и начина на използване на спектъра, и двата проблема се решават успешно:

- 1) Клетката е част от областта на покритие с относително малки размери (~ 100 m до 35-40 km). Използват се по-ниски нива на излъчвана мощност от базовите станции и така съществено се намалява вероятността за интерференция между потребители с еднакви и близки честоти.
- 2) Така се появява нова възможност, която в неклетъчните системи е недопустима – в рамките на дадената област да се прилага многократно използване на еднакви честотни канали в различни клетки, които се намират на определено разстояние една от друга. Това разстояние е различно за различните типове мрежи и от зависи от размера на клетката и излъчената мощност

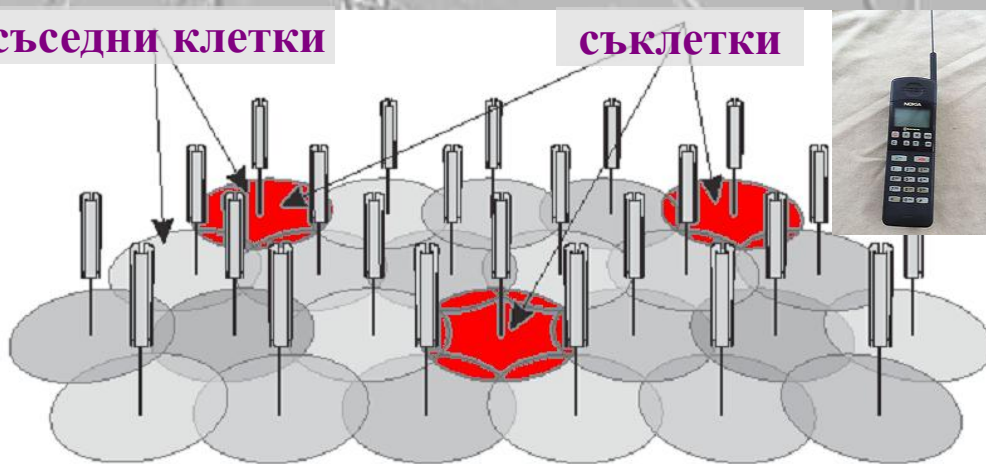


Първите клетъчни 1G мобилни телефонни системи (1981-1983)

Независимо от предложената още през 1947 г. клетъчна мобилна система от аналогов тип, първият мобилен стандарт AMPS е публикуван 1971 г., а първите клетъчни 1G телефонни системи влизат в действие едва в периода 1981-1983 г. главно поради лицензни проблеми. През 1975 г. е публикуван първият европейски 1G стандарт NMT-450 ((Nordic Mobile Telephone; 4 години след AMPS в САЩ). През 1978 г. системата се тества практически и на 1 октомври 1981 г. стартира. Това се счита за официален старт на клетъчните 1G системи, независимо че през декември 1979 г. в Токио се пуска 1G системата на NTT (Nippon Telegraph & Telephone); тази система всъщност не напуска пределите на Япония. Американската система AMPS стартира едва през 1983 г., но впоследствие става най-развитата 1G мрежа с най-много потребители. След цифровизация на сигнала преминава в DAMPS, но с ограничен капацитет. Чак през 1991 г. стартира новата цифрова мобилна телефонна система GSM, създадена изцяло в Европа. Това е мрежа от 2G поколение.



съседни клетки

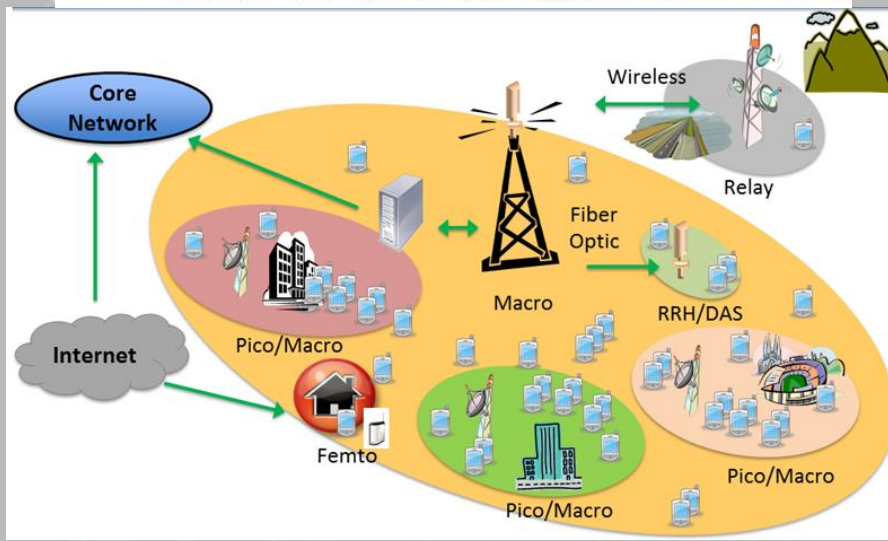
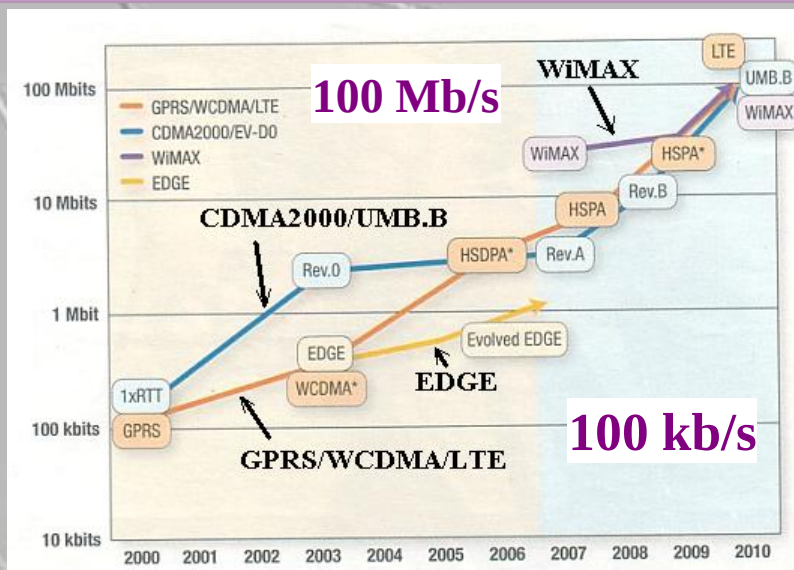


съклетки





В периода от 1981 до 2016 се смениха четири поколения от мобилни телефонни мрежи; през 2020 се очаква петото



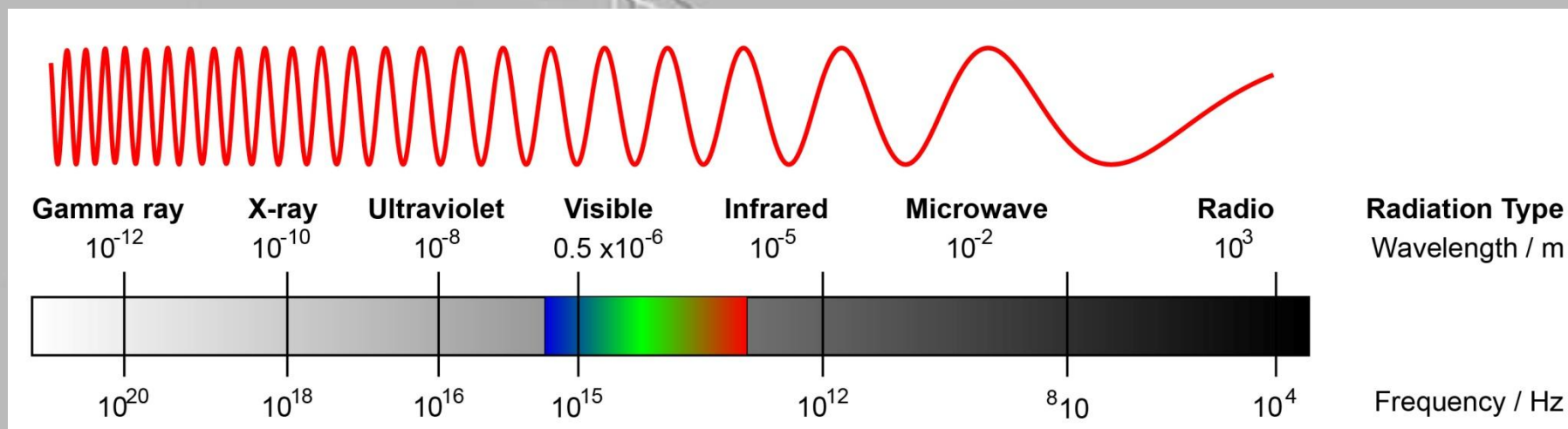


Днес най-голямата мрежа в света е GSM! (Global System for Mobile Communications)



GSM е най-разпространеният в момента световен комуникационен стандарт (4.8 милиарда потребители), разработен от европейската организация ETSI (European Telecommunications Standards Institute) (ETSI) за мобилни цифрови клетъчни комуникации. Стандартът е публикуван през 1990 г., а стартира през юли 1991 г. във Финландия, т.е. точно преди 25 години.

През 2016 г. GSM мрежата с нейните 3G и 4G варианти имат над 90% (!) пазарен дял в 219 стани в целия свят и е напълно наложил се глобален комуникационен стандарт. GSM е запазена марка на *GSM Association*. 2G GSM стандартът е разработен да замени старият аналогов 1G стандарт с цел по-голям трафик. От него са развити и по-висши стандарти: 2.5G за пакетно предаване на данни GPRS (General Packet Radio Services) и EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution or EGPRS). 3GPP: 3G UMTS стандарт за по-голяма скорост на предаване на данни и следващият 4G стандарт: LTE и LTE Advanced със скорост над 100 MB/s (над 1 GB/s). 5G (10 GB/s) се счита за част от 4-тата индустриална революция в света!



ЕЛЕКТРОМАГНИТНИЯТ
СПЕКТЪР – ЕДНО
ОГРОМНО НЕВИДИМО
СВЕТОВНО БОГАТСТВО



Електромагнитен спектър

ЕМ спектър е огромен по “територия”, но само не особено големи части от него са подходящи за целите на радиоелектрониката и телекомуникациите. С развитието на технологиите тази полезна за комуникации част от спектъра непрекъснато се разширява.

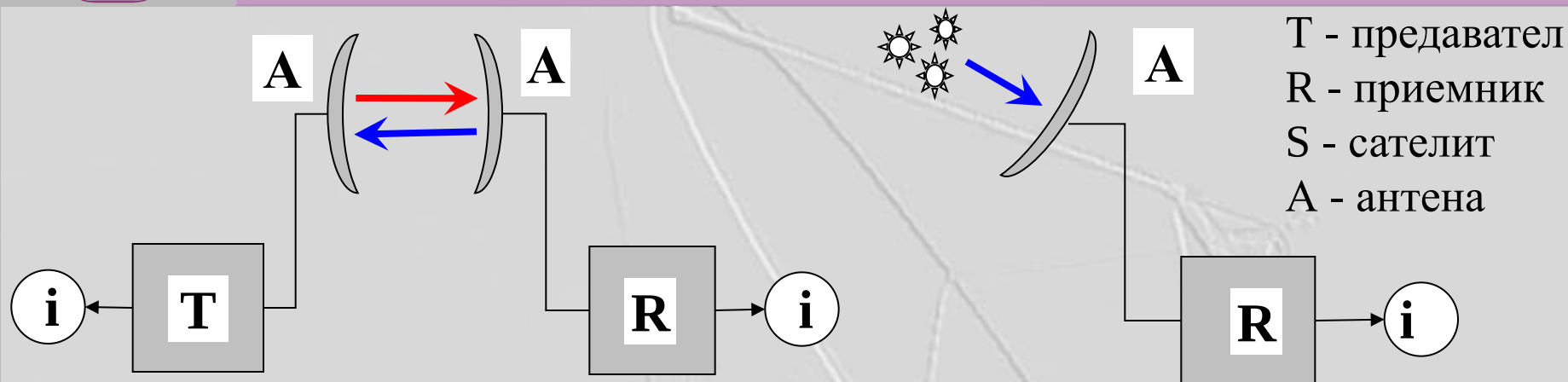
Означения в спектъра

Лента	Обхват (f - λ)	
dc	0 Hz	∞
ELF	< 3 kHz	< 100 km
VLF	3-30 kHz	100-10km
LF	30-300 kHz	10-1 km
MF	300-3000kHz	1-0.1 km
HF	3-30 MHz	100-10 m
VHF	30-300 MHz	10-1 m
UHF	300-3000MHz	1-0.1 m
SHF	3-30 GHz	10-1 cm
EHF	30-300 GHz	10-1 mm
THF	0.3-3 THz	1-0.1 mm
Far IR		300-30 μ m
Near IR		$\sim$ 30 μ m-1 μ m
видима (visible)		$\sim$ 800-400 nm



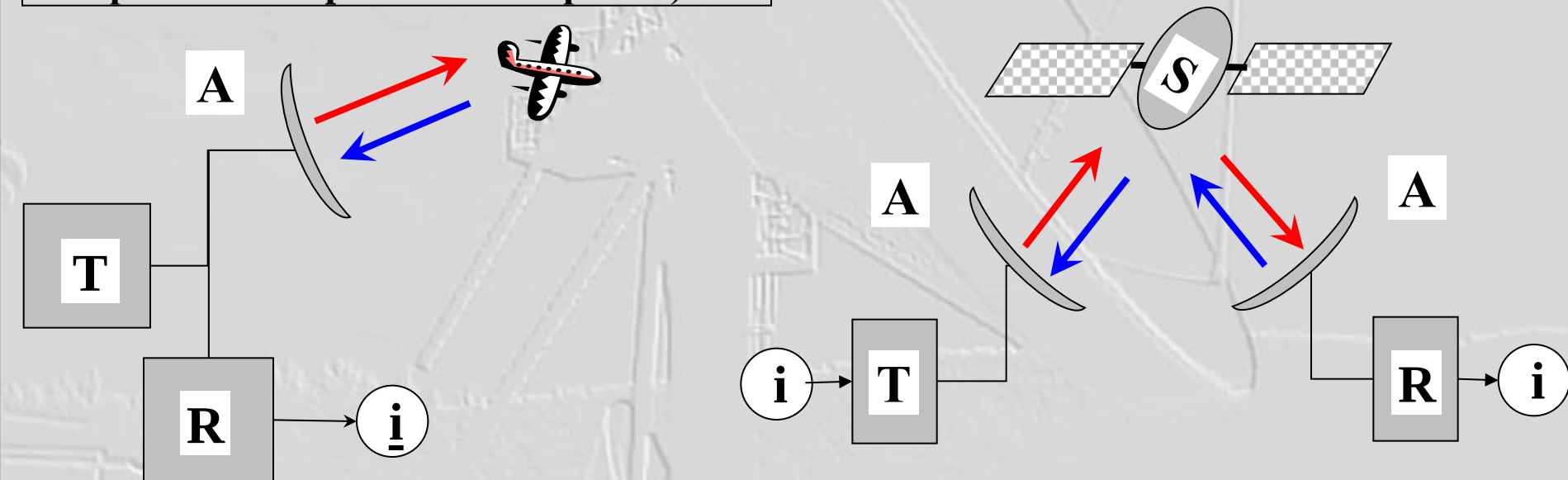


4 основни форми на използване на спектъра



Радио-релейни земни връзки ("point-to-point" или "point-to-multipoint")

Радио-астрономия

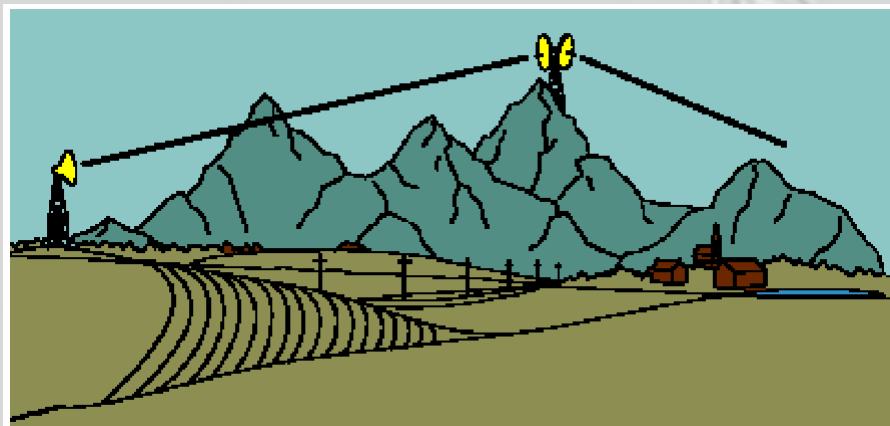


Радари

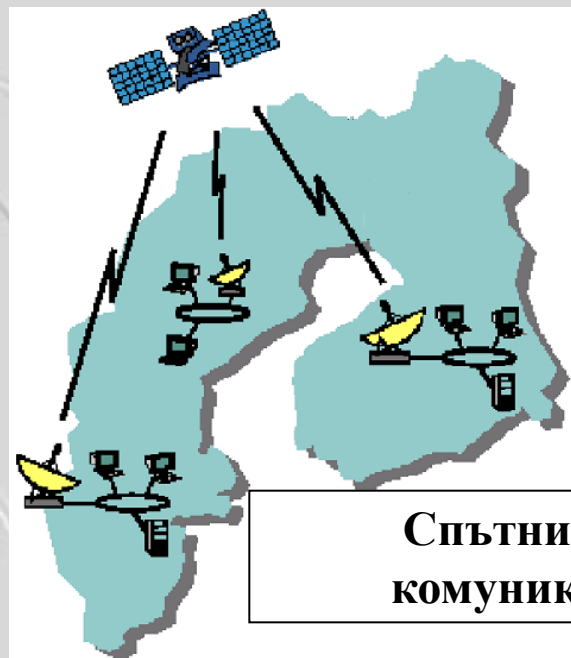
Спътникови връзки



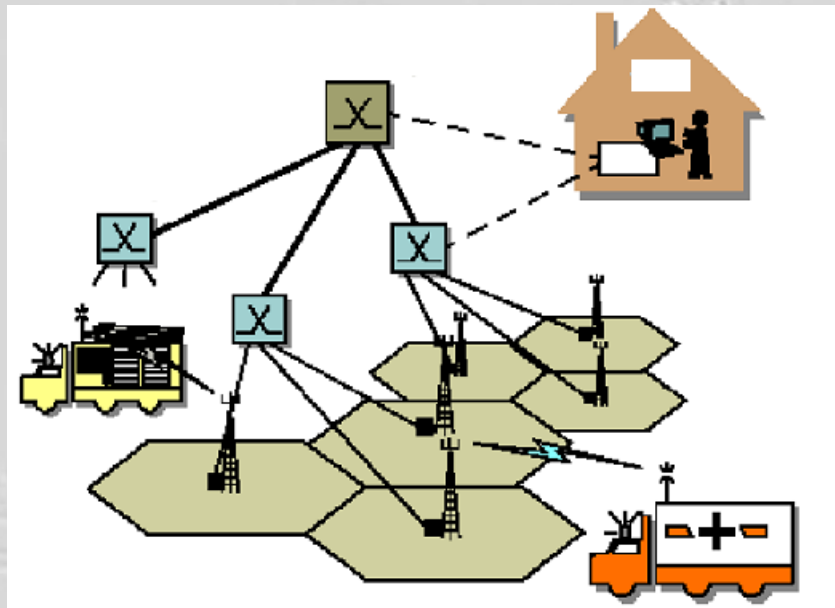
Основни типове безжични комуникационни мрежи



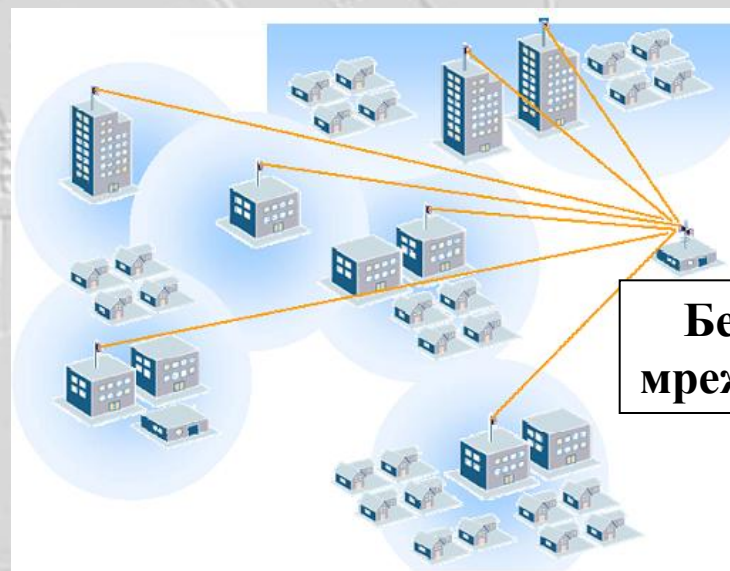
Земни радиорелейни връзки (radio links)



Спътникови комуникации



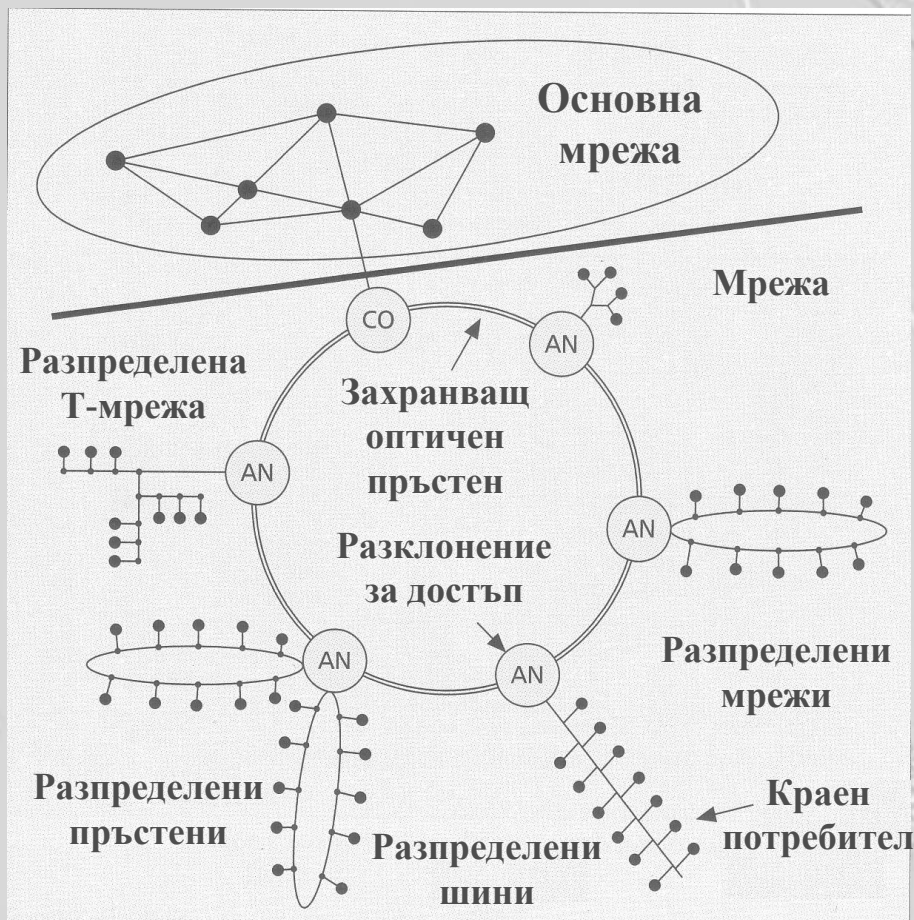
Мобилни клетъчни мрежи



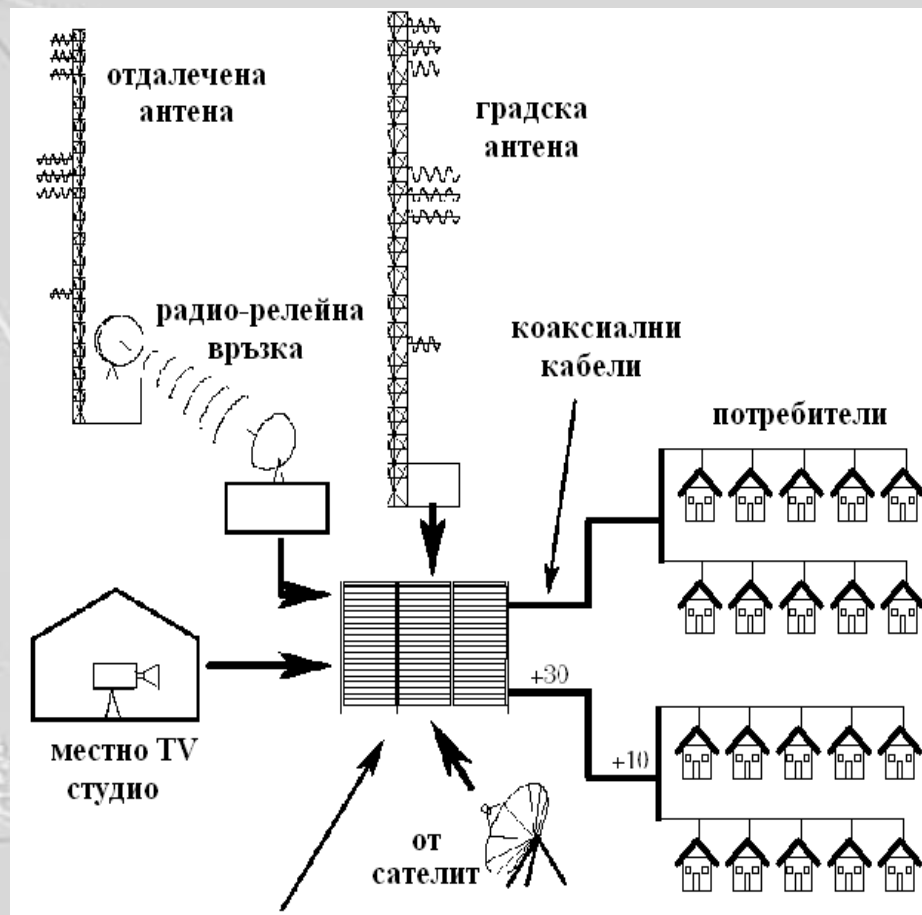
Безжични мрежи WLAN



Широколентови оптични и кабелни мрежи



Оптични комуникационни пръстени

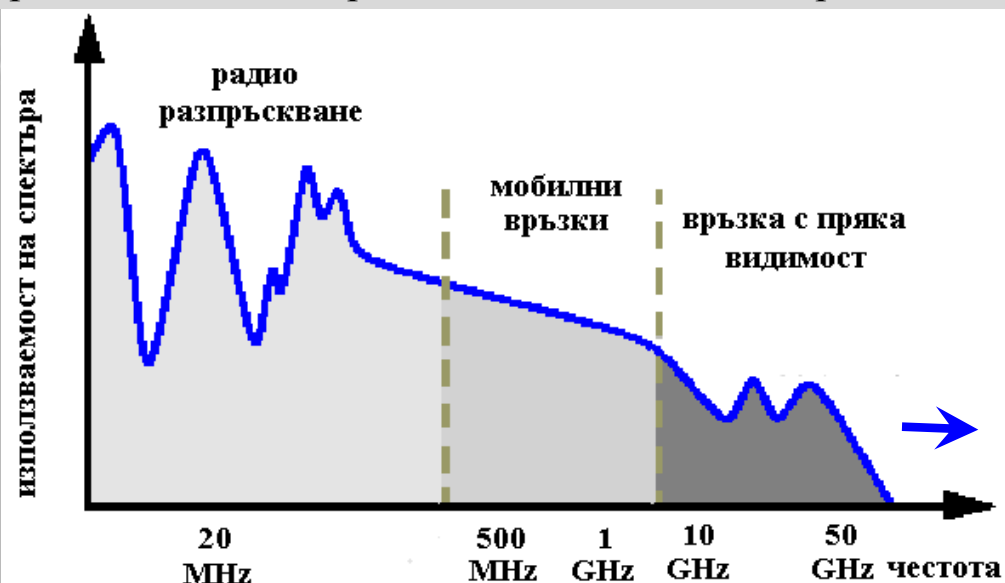


Мрежа на кабелна телевизия (CATV)



Как се използва ЕМ спектър?

Честотният спектър не се ползва безразборно, а в зависимост от свойствата на ЕМ вълна с определена дължина на вълната (честота). На фигурата е показана относителната му използваемост и в коя част за какъв вид комуникационни системи и услуги е подходящ. В нискочестотната си част (до ~400-500 MHz) спектърът се ползва най-активно, понеже е подходящ за радио и TV разпръскване (broadcasting). В този обхват сигналът има голяма дължина на вълната и може да “заобикаля” (поради дифракция) повечето от стандартните препятствия – сгради, малки хълмове, превозни средства и така да достига до почти всяка точка около предавателя. Освен това антените тук са най-често слабо насочени и са подходящи за връзки от типа “точка-много точки”. Друго предимство е лесната модулация (демодулация на информационния сигнал с евтини и прости устройства, което е предимство за масовия потребител на разпръсквания радио и TV сигнал при масовите комуникации. Мобилните комуникации се нуждаят от по-широки канали с по-малко шум, а антените трябва да са по-компактни и не толкова ненасочени. Това изисква мобилните мрежи да ползва честоти над 400-500 MHz. От друга страна, загубите на сигнал трябва да са приемливи, както и цената на мобилните терминали, която расте с увеличаване на честотата. Накрая, в мобилната среда сигналът не трябва да се “засенчва” от различни препятствия и честотата не трябва да е по-висока от 2000 MHz. Над тази честота разпространението на сигнала придобива по-висока “насоченост” и комуникационните системи трябва да ползват станции с пряка видимост. Такива системи са за фиксирани потребители (или с ограничена мобилност) – от тип “точка-точка” – радио-релейни, сателитни, безжични мрежи и др. Тук работят и дистрибуторски тип мрежи “точка-много точки”, но с много повече на брой базови (разпръсквателни) станции и секторни антени.





RADIO SERVICES COLOR LEGEND



ACTIVITY CODE



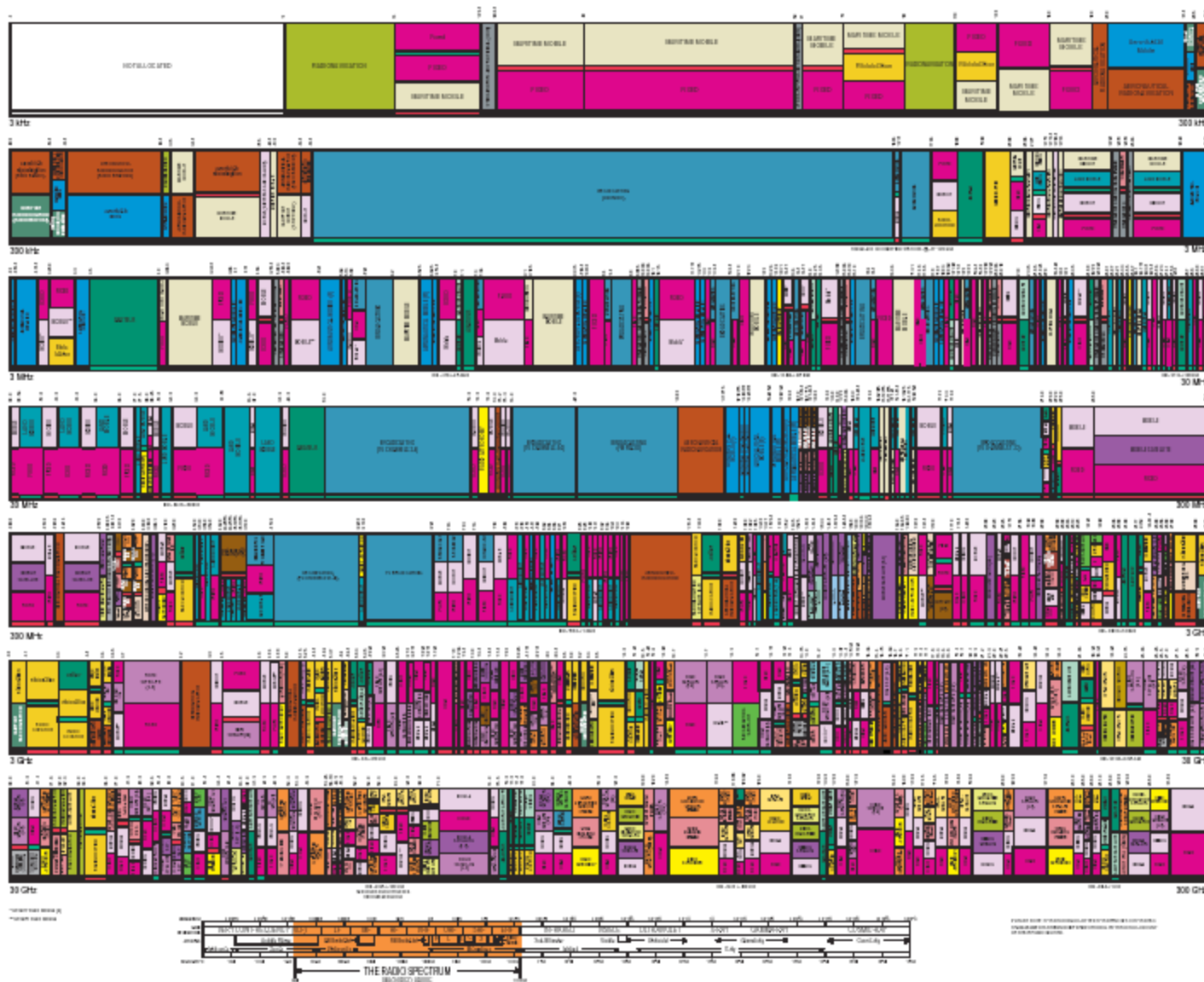
ALLOCATION/USAGE DESIGNATION

FORMULA	EXAMPLE	DESCRIPTION
Primary	PHED	Capital letters
Secondary	Wholly	1st Capital with lower case letters

the word is a proper noun and is the village or the town or a temporary settlement serving the economic needs of men. It is not simply a rural assembly, as, for the case which might arise to the name of a temporary settlement, change, development, demands, and even control by some of the members of the village or town, according



U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE
NATIONAL TELECOMMUNICATIONS AND INFORMATION ADMINISTRATION
OFFICE OF INVESTIGATION
03/09/2003

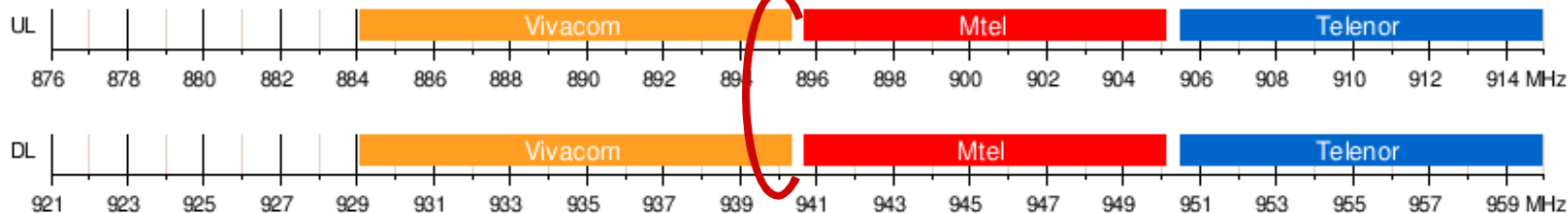




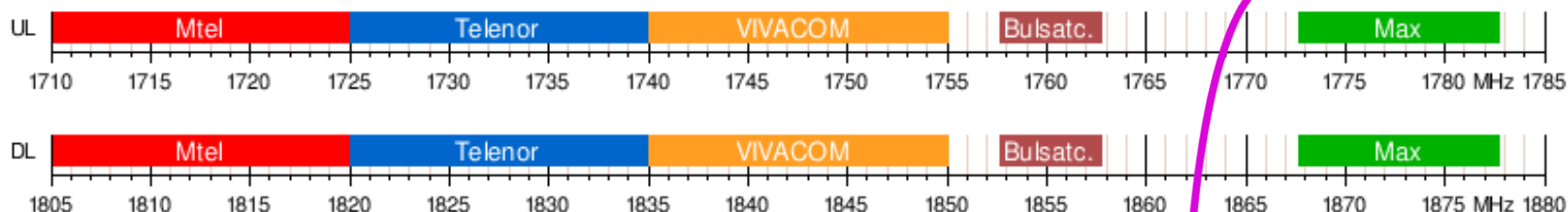
Честотни ленти за 4G LTE мрежа в България

FDD

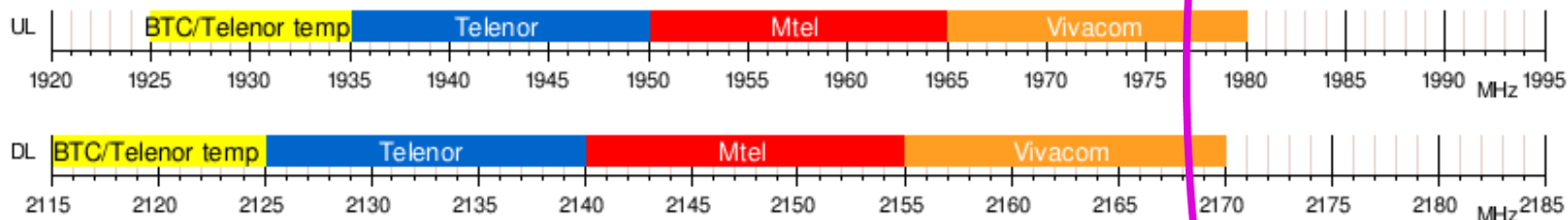
900 MHz



1800 MHz



2100 MHz



TDD

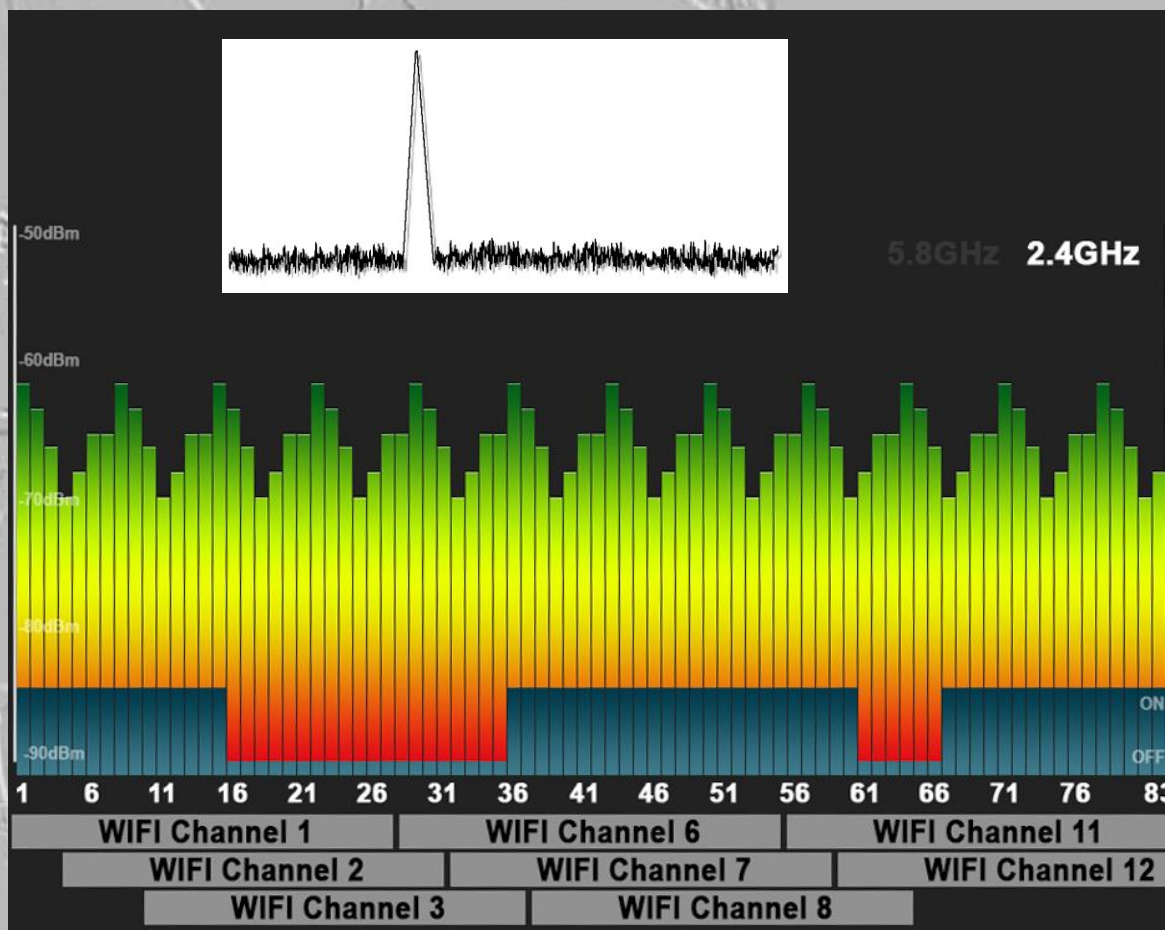
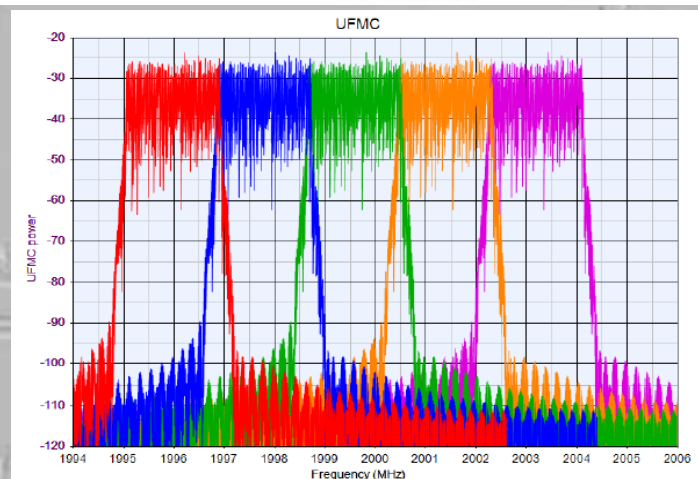
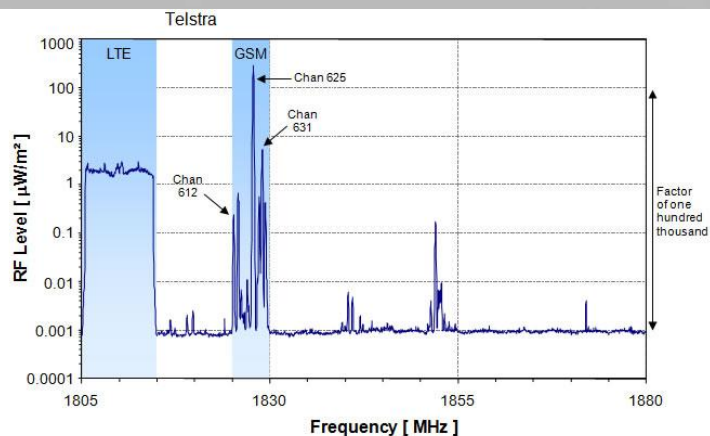
2GHz





Комуникационни честотни канали

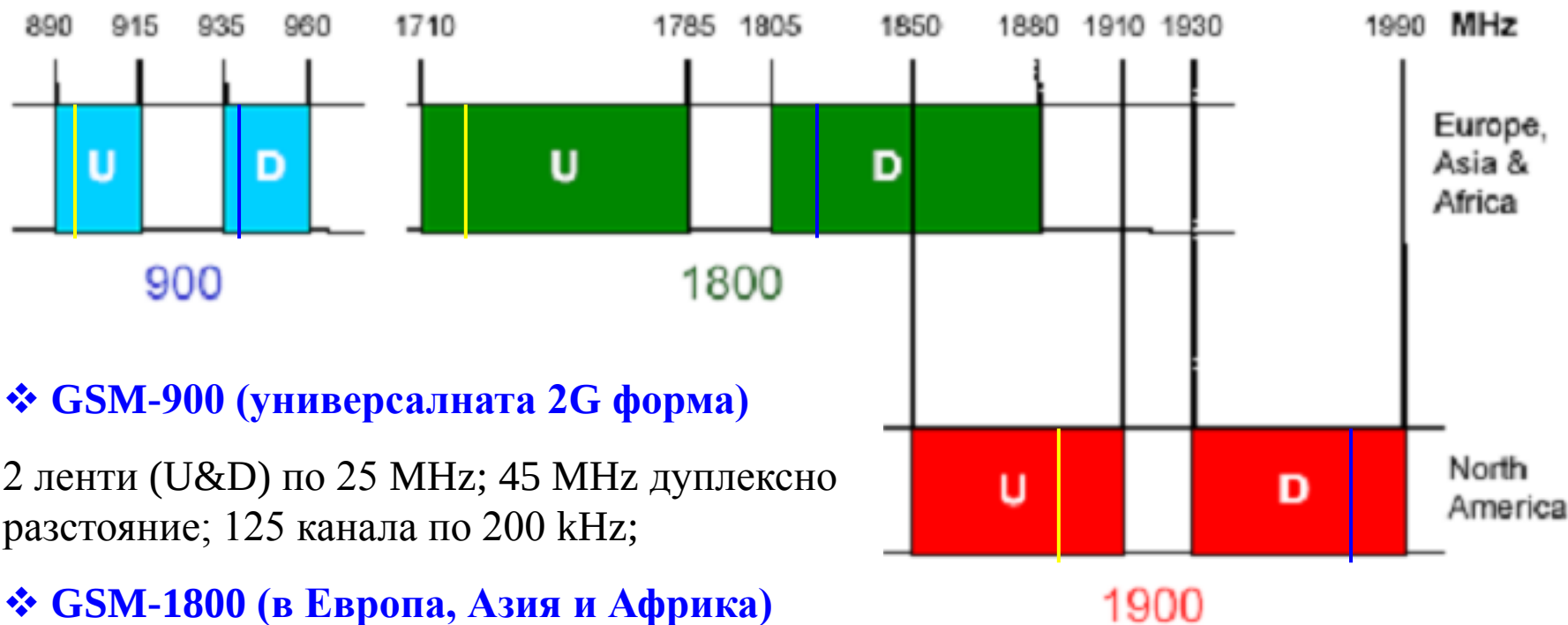
Пренасянето на информационните сигнали през комуникационната среда става с назначаване на честотни канали, които могат да се споделят или не между различни потребители. Каналите могат да са тесно-лентови или широко-лентови, което зависи от приложенията и целите. Скоростта на пренасяне на данни зависи силно от ширината на канала (по-нататък).





Пример: честотни канали в GSM мрежата

GSM-900; GSM-1800; GSM-1900



❖ GSM-900 (универсалната 2G форма)

2 ленти (U&D) по 25 MHz; 45 MHz дуплексно разстояние; 125 канала по 200 kHz;

❖ GSM-1800 (в Европа, Азия и Африка)

2 ленти (U&D) по 75 MHz; 95 MHz дуплексно разстояние; 375 канала по 200 kHz;

❖ GSM-1900 (в Северна Америка)

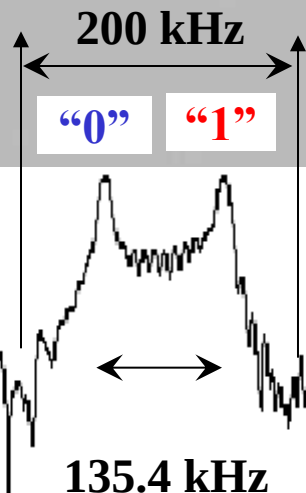
2 ленти (U&D) по 60 MHz; 80 MHz дуплексно разстояние; 300 канала по 200 kHz;

Uplink канал: MS $\Rightarrow$ BS

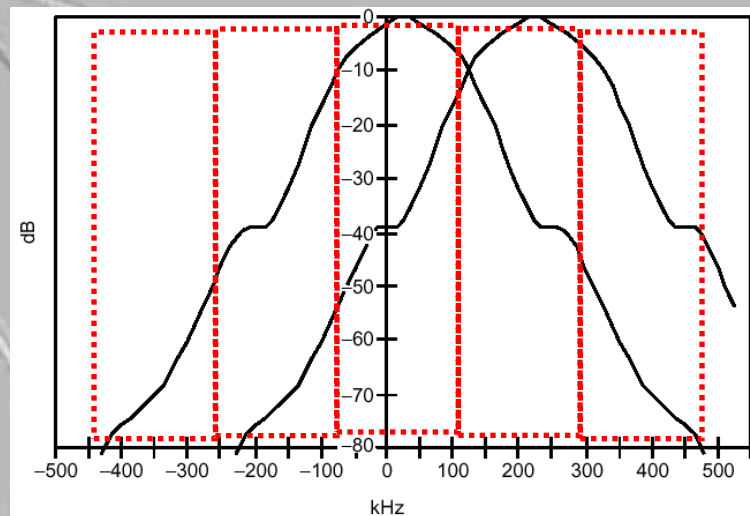
Downlink канал: BS $\Rightarrow$ MS



Стандартен GSM канал с ширина 200 kHz и универсално номериране на каналите



GSM канали
Общо: $1024 = 2^{10}$



GSM-900

No. на канала	Uplink	Downlink
975	880.2	925.2
976	880.4	925.4
...	...	...
1023	889.8	934.8
0	890.0	935.0
1	890.2	935.2
...	...	...
124	914.8	959.8

125 канала 49 канала
Extra-GSM

GSM-1800 GSM-1900

No. на канала	Uplink	Downlink
512	1710.2	1805.2
513	1710.4	1805.4
...	...	...
885	1784.8	1879.8

375 канала

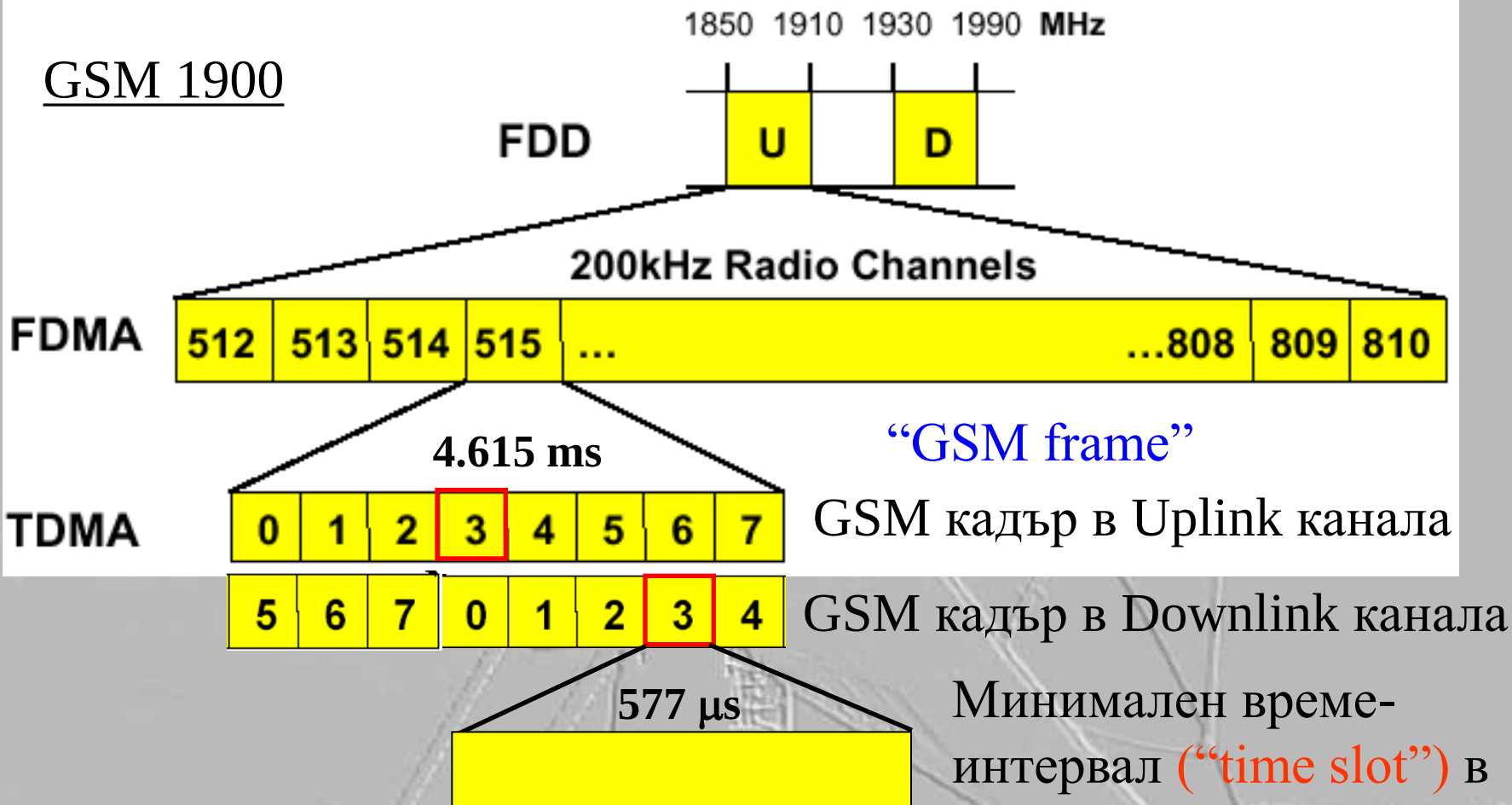
No. на канала	Uplink	Downlink
512	1850.2	1930.2
513	1850.4	1930.4
...	...	...
810	1901.8	1989.8

300 канала



Пример: TDMA в GSM – основни характеристики

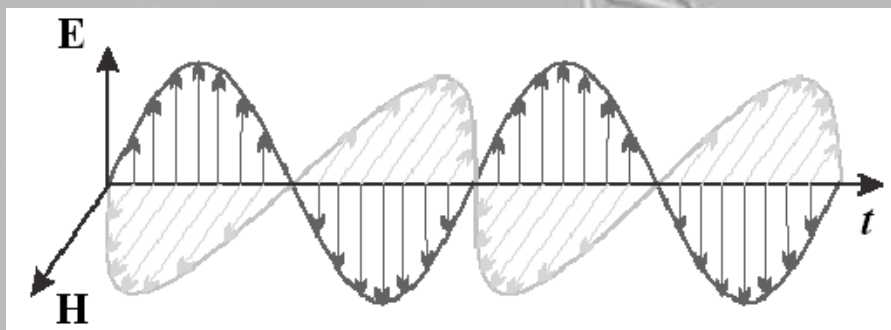
GSM 1900



Извод: MS никога не приема и излъчва сигнал едновременно! Работи (Rx/Tx) за 1/4 от времето



Две форми на електрическите сигнали



$$A(t) = A_t \sin(2\pi f_t t + \varphi_t)$$

Амплитуда A_t

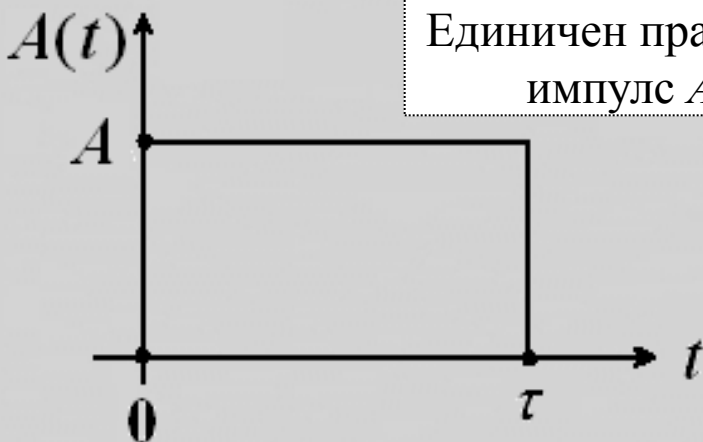
Честота f_t

Фаза φ_t

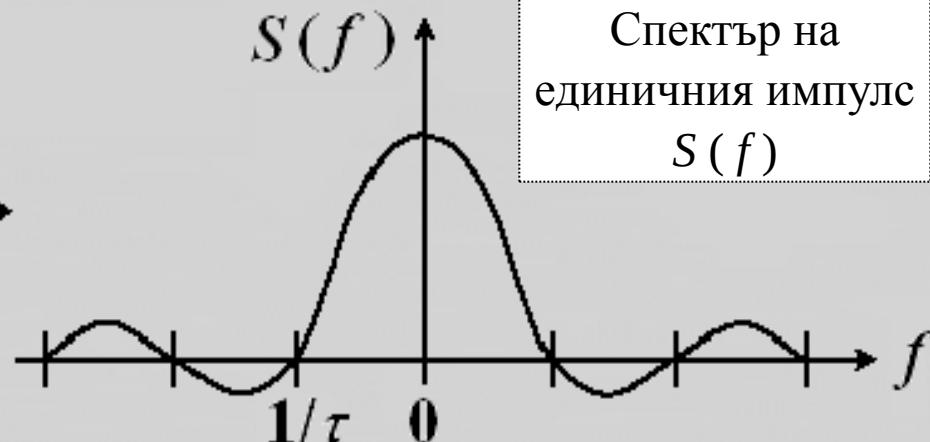
Под електрически сигнал $A(t)$ в ще подразбираме времевата зависимост на тока или напрежението в дадена електрическа верига, но и още, на електрическото E или магнитното поле H на разпространяваща се в дадена среда вълна. Сигналът се явява *електрическият носител* на информацията, която се съдържа в дадено комуникационно съобщение. Има амплитуда, честота и фаза.

Времева форма (TD - Time Domain)

Честотна форма (FD - Frequency Domain)



Единичен правоъгълен импулс $A(t)$

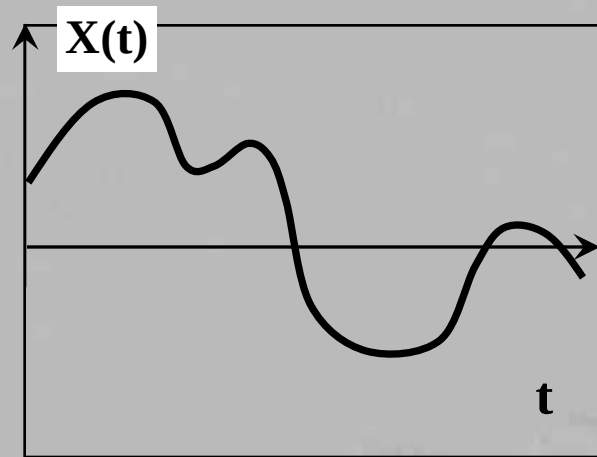


Спектър на единичния импулс $S(f)$

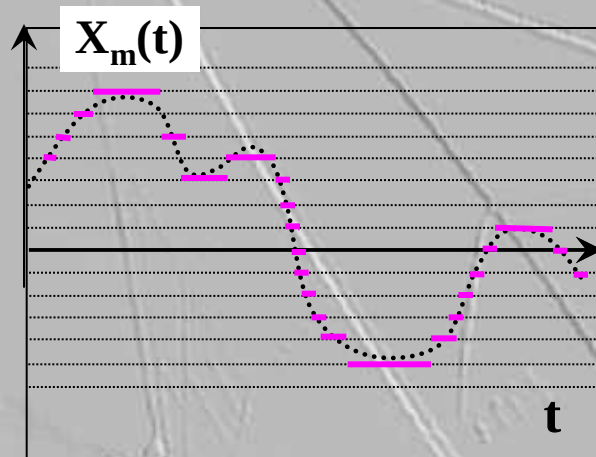


Аналогови и цифрови сигнали в TD форма

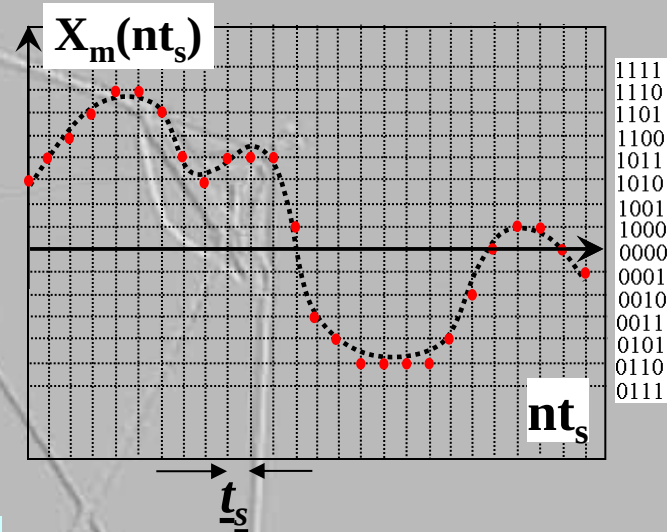
Аналогов сигнал



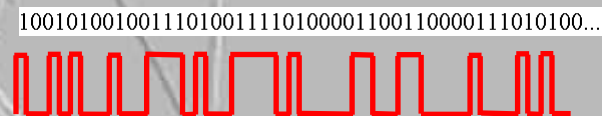
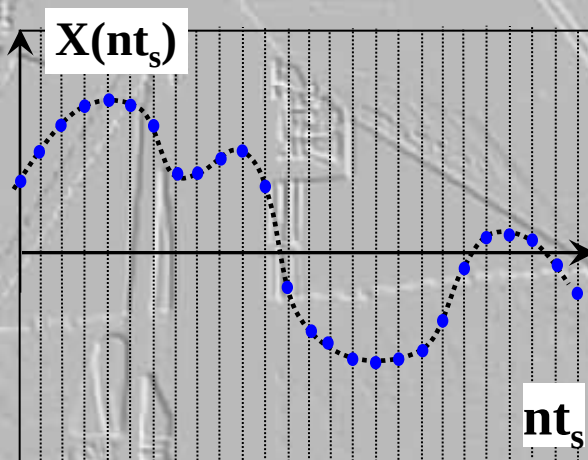
Дискретен по ниво



Цифров сигнал



Дискретен по време



Цифрова редица (sequence)

Комуникационните сигнали са аналогови, дискретни и цифрови. Аналоговият сигнал може да се описва с произволно ниво във всеки момент. Дискретните сигнали се дефинират или в точно определени моменти (но с произволни нива), или имат квантувани нива, но за произволни времеви интервали. Цифровият сигнал е квантуван по време и нива, на които се съпоставя двоичен код.



Примери за някои известни сигнали

Звуков сигнал (говор; музика):

- ❖ Като сигнал в основна лента: **0.015–20 kHz**; в канала: **0.03–15 kHz**
- ❖ Като модулиран сигнал (FM в УКВ): **200 kHz** лента; 100 KHz защитна лента
- ❖ Като цифрово радио: **272 kHz** лента, **544 kbit/s**, честота на дискретизация 32 kHz; 16-bit дума

Телефонен сигнал (реч):

- ❖ Като сигнал в основна лента: **0.08–12 kHz**; в канала: **0.3–3.4 kHz**
- ❖ Като модулиран сигнал (FM в 1G клетъчни телефони): **25 kHz** лента
- ❖ Като цифров сигнал в GSM: GMSK модулация **200 kHz** лента (или 22 kbit/s, като се отчете служебната информация **13.2 kbit/s**)

Телевизионен сигнал (подвижно изображение и звук):

- ❖ Като модулиран аналогов сигнал: само за видео сигнал **4.2 MHz**
- ❖ Като цифров tv сигнал: **13.5 MHz**
- ❖ Като модулиран цифров tv сигнал: **108 MHz**; скорост **~216 Mb/s**, след силна компресия – **2-8 Mb/s**. Днес предаването на HDTV сигнал е напълно по възможностите на 3G и 4G мрежите.

Компютърен PC сигнал (ASCII):

- ❖ Първият компютърен код ASCII (American Standard Code for Information Interchange)
- ❖ **10 бита** (1 за старт, 7 за данни, 1 за четност и 1 за стоп)
- ❖ Данни $2^7 = 128$ знака, **8 бита** (или **16, 32, 64, 128** и т. н.)
- ❖ Бит за четност: “1” ако 1-те са четен брой или “0” ако 1-те са нечетен брой

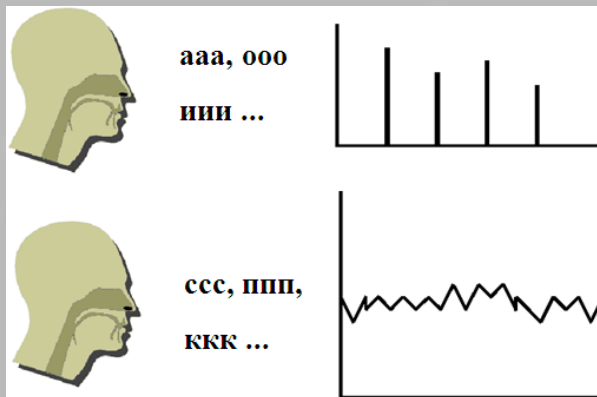


Блок-диаграма на типична цифрова комуникационна система

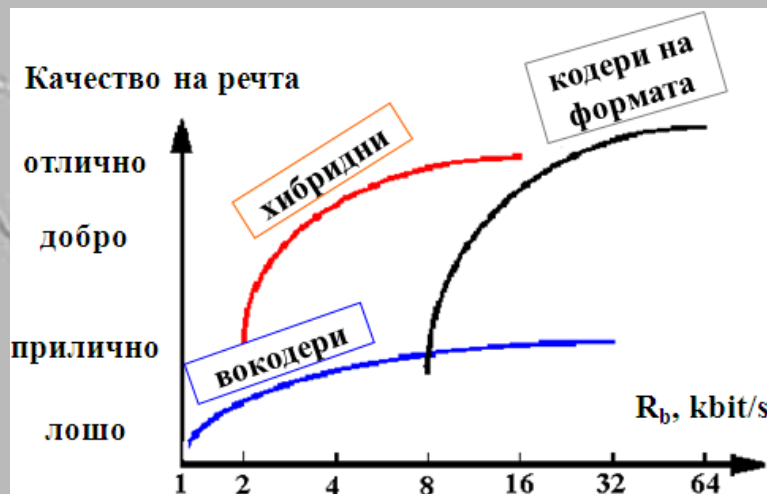




Кодиране на реч и канал



)))...1011101010



информационни битове

(i_1, i_2, i_3, i_4)

$\pm$

излишни битове

$$r_1 = i_1 + i_2 + i_3$$

$$r_2 = i_2 + i_3 + i_4$$

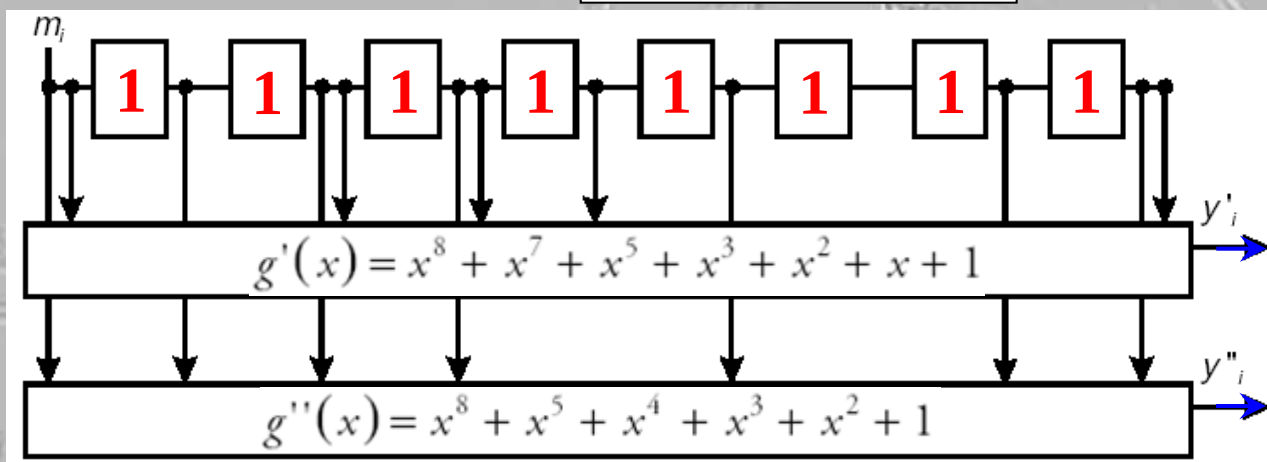
$$r_3 = i_1 + i_2 + i_4$$

$\equiv$

кодирана редица

$(i_1, i_2, i_3, i_4, r_1, r_2, r_3)$

кодиране с памет



1 0 1 1 0 1 0 1

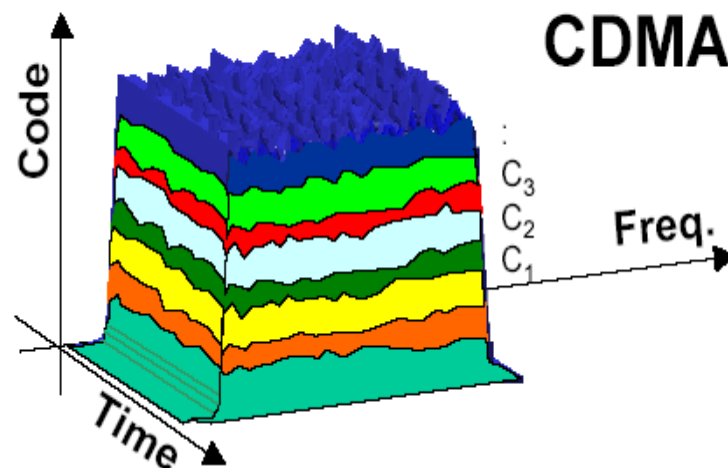
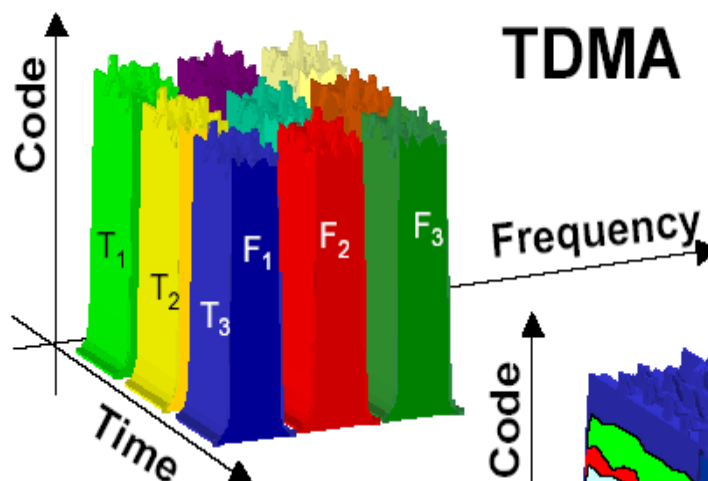
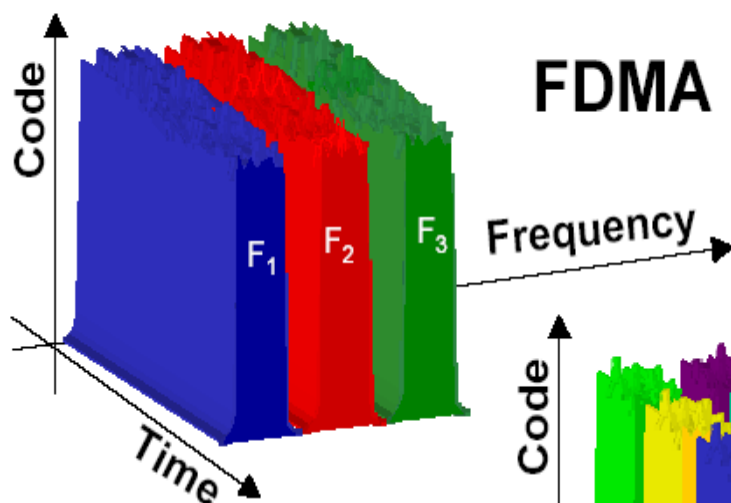
0 1 0 1 0 1 1 0



Повишаване на капацитета чрез различни методи за потребителски достъп до комуникационния канал

Три различни метода за споделен достъп на много потребители в един и същи комуникационен канал:

1. FDMA - разделяне по честота;
2. TDMA - разделяне по време;
3. CDMA - разделяне чрез код



FDMA: Frequency Division Multiple Access

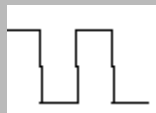
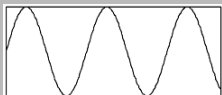
TDMA: Time Division Multiple Access

CDMA: Code Division Multiple Access



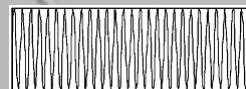
Модулация на сигнала

Сигнал в
основна лента

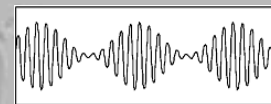


МОДУЛАТОР

Носещ сигнал



Модулиран
сигнал



Модулираният сигнал (PBS, Pass-Band Signal) се получава при нелинейно смесване на сигнал в основна лента с носещ сигнал (на високи честоти това е най-често аналогов хармоничен сигнал $C(t) = C_m \cos(2\pi f_c \cdot t + \varphi_c)$). Модулациите се делят на *аналогова* и *цифрова* (манипулация) в зависимост от вида на BBS сигнала. Информацията от BBS може да се носи от всеки от трите основни параметъра на носещия сигнал: амплитуда C_m , честота f_c или фаза φ_c .

Аналогова модулация

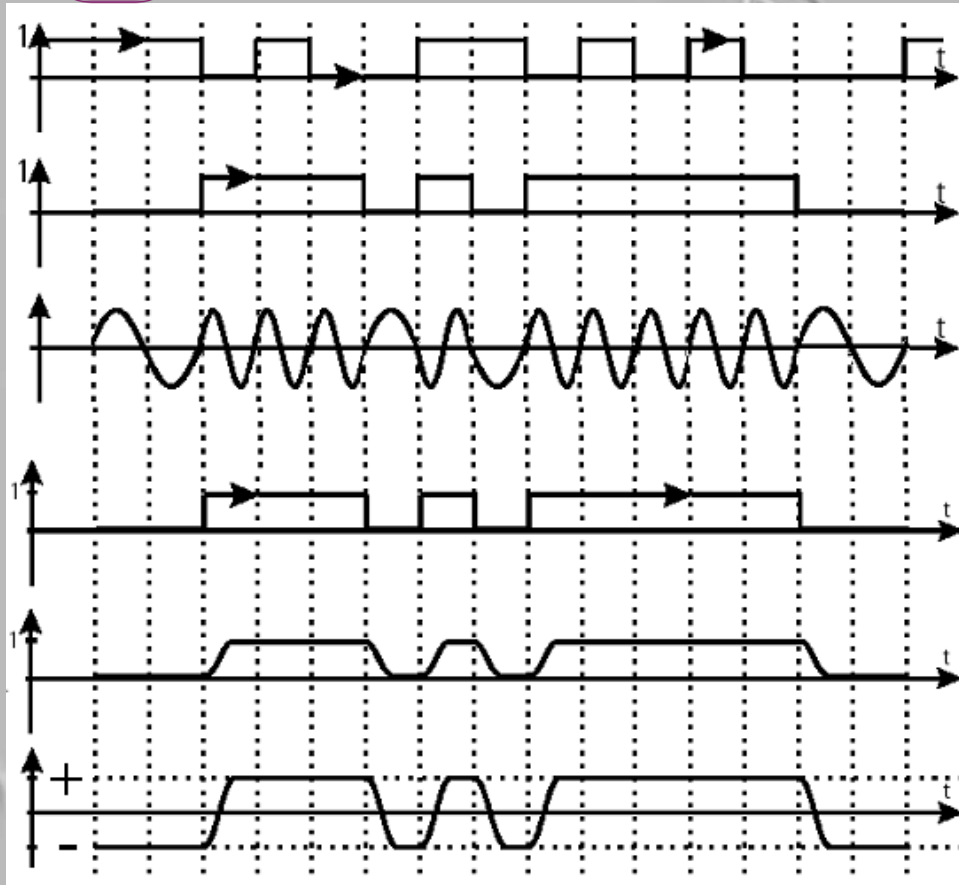
- ❖ Амплитудна (AM) модулация: C_m
- ❖ Честотна (FM) модулация: f_c
- ❖ Фазова (PM) модулация: φ_c

Цифрова манипулация (SK)

- ❖ ASK (Amplitude Shift Keying): C_m
- ❖ FSK (Frequency Shift Keying): f_c
- ❖ PSK (Phase Shift Keying): φ_c



Пример за GMSK модулация в GSM стандарта



Оригинална
цифрова редица

Цифрова редица
след XOR операция

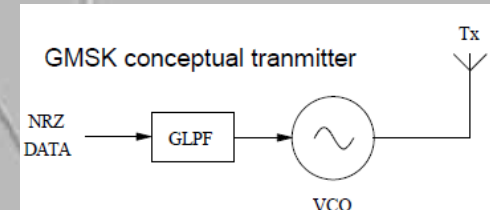
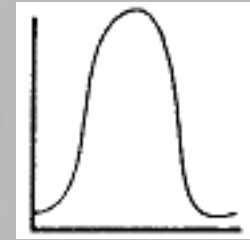
Модулиран сигнал

Цифрова редица
след XOR операция

Цифрова редица
след Гаусов филтър

Промяна на честот-
ното състояние

N-1	N	XOR	f
0	0	0	$f_C - f_T$
0	1	1	$f_C + f_T$
1	0	1	$f_C + f_T$
1	1	0	$f_C - f_T$

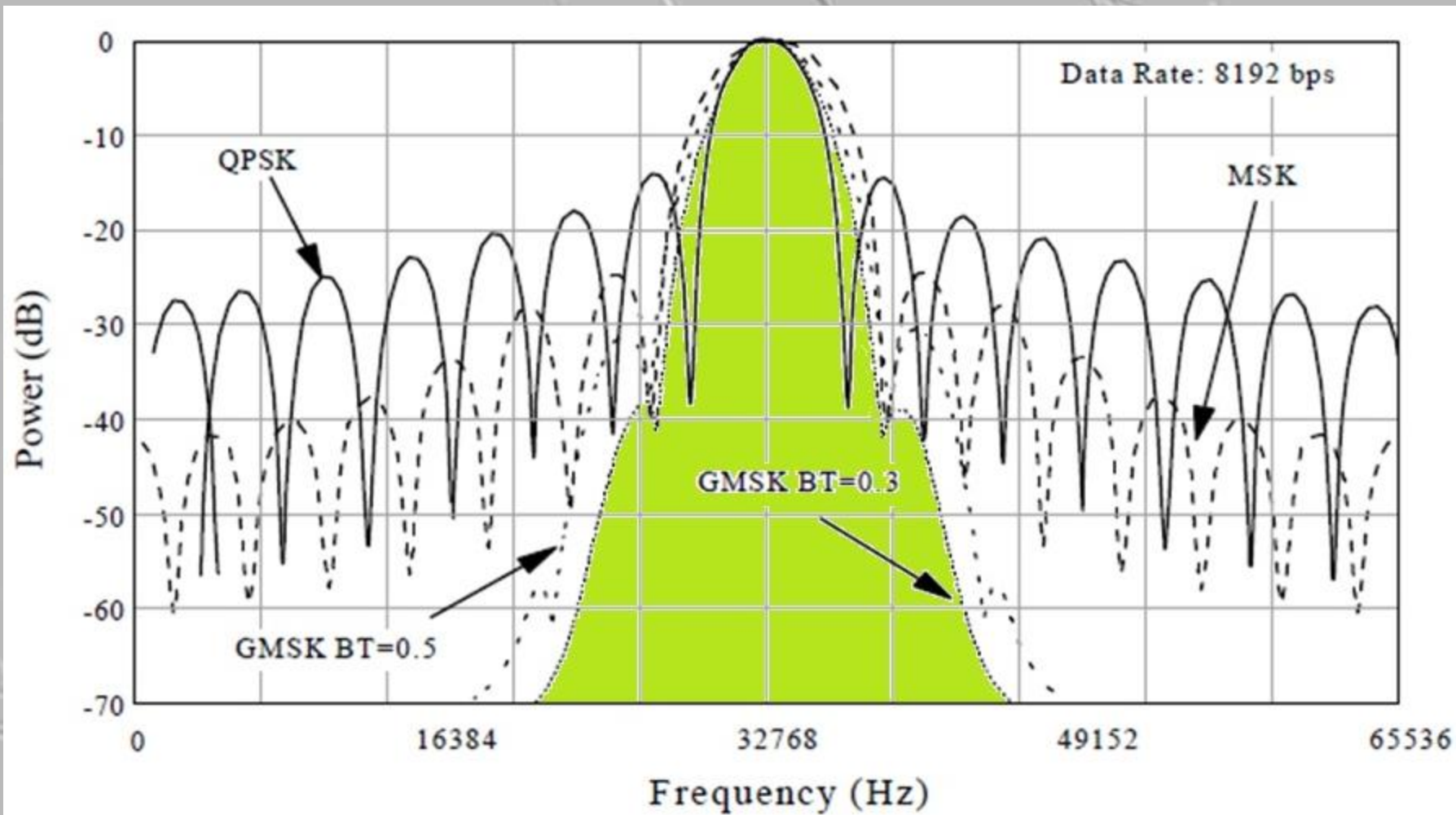


GMSK модулацията, която се използва във всички GSM стандарти (900, 1800, 1900) е разновидност на FSK (по-специално – MSK (Minimum SK) модулацията). При нея битовете “0” и “1” се предават с две честотни състояния около носещата честота f_C : $f_C \pm f_T$ (няма значение с коя честота кое състояние би могло да се предава). Преди модулацията с редицата се извършва логическата операция XOR (вж. таблицата горе) с цел да се намали броя на преходите между 0 и 1. След това се използва филтър с Гаусова форма за изглаждане на фронтовете на импулсите на битовете. Така спектърът на модулираният сигнал се стеснява.



Пример: Минимизиран теснолентов спектър на GSM канал с GMSK модулация

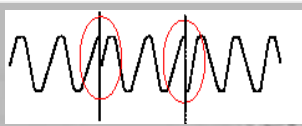
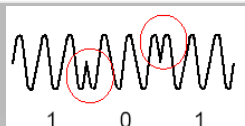
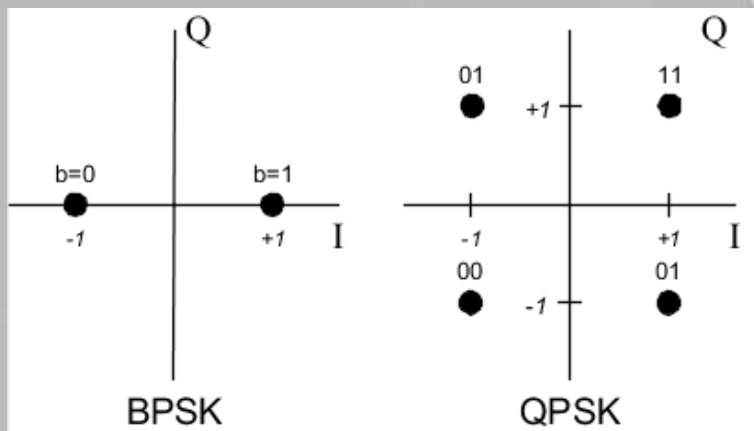
В резултат на Гаусовото филтриране съществено намалява ширината на честотния канал с **GMSK модулация**, и тя е значително по-тясна от канали с други модулации (напр. QPSK).





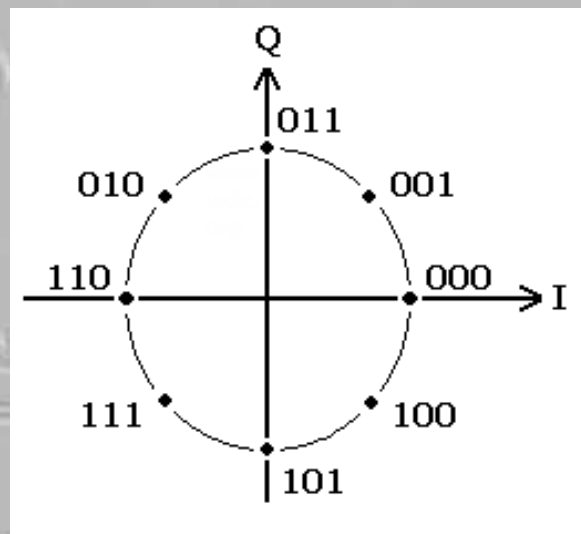
Фазови (PSK) модулации

BPSK модулация QPSK модулация

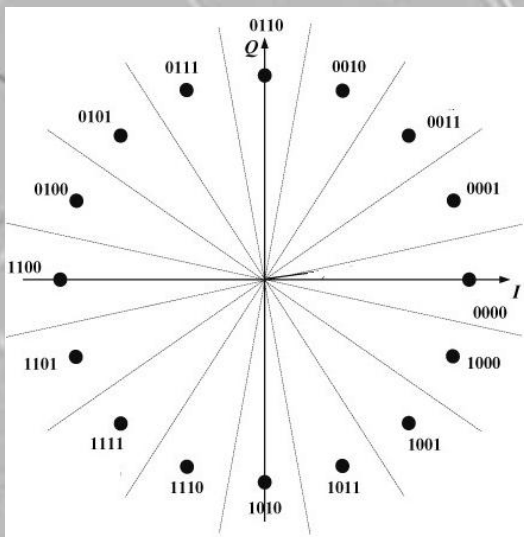


Най-простият тип фазова модулация е BPSK (Binary PSK), при която битовете “0” и “1” се предават с две фазови състояния на носещия сигнал на 180° . Двойно по-бързо предаване на данни може да се осъществи при QPSK модулацията, където битовете се предават по двойки (00, 01, 10, 11) с 4 фазови състояния на носещата на 90° и т. н. (8PSK, 16PSK, 32PSK...). За съжаление, фазовите състояния започват да стават все по-неразличими при висшите типове модулации и е необходимо отделните фазови състояния да се комбинират с амплитудни (напр. 16APSK вм. 16PSK).

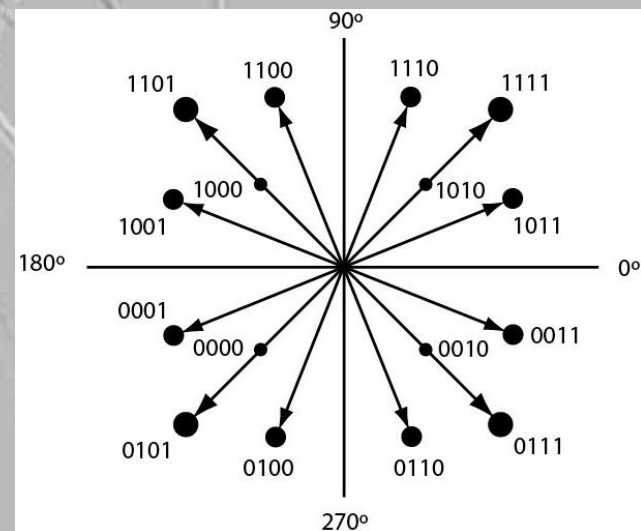
8PSK модулация



16PSK модулация



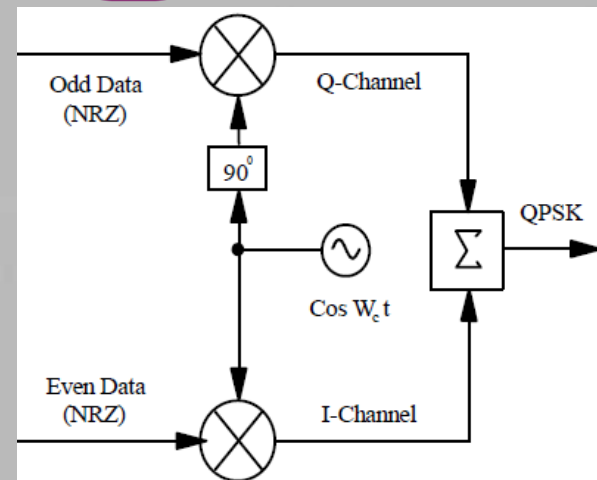
16APSK модулация



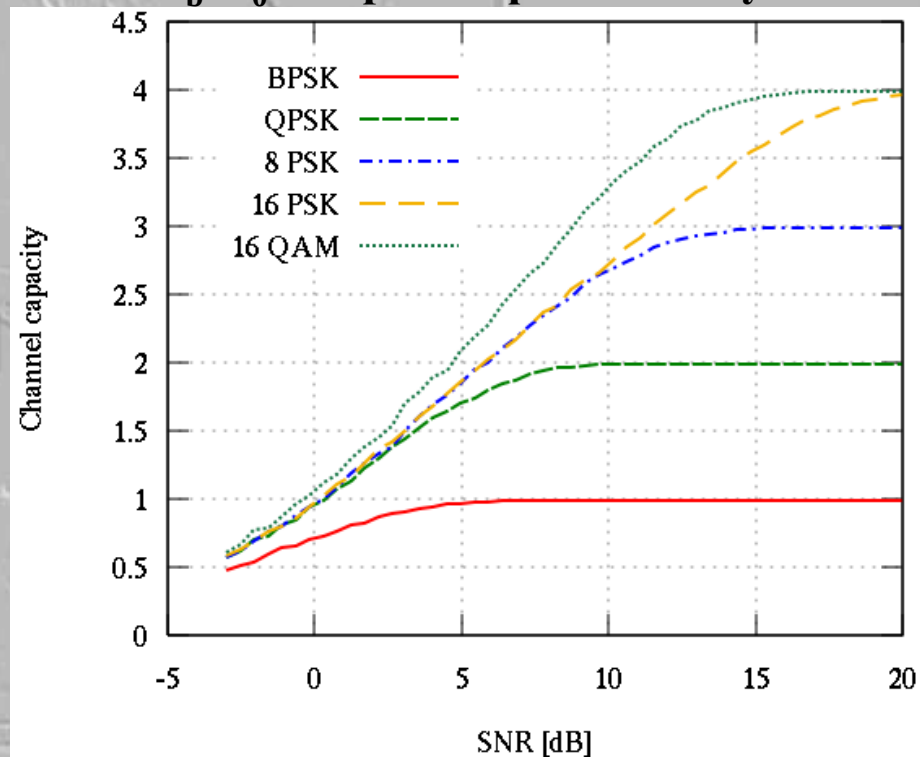
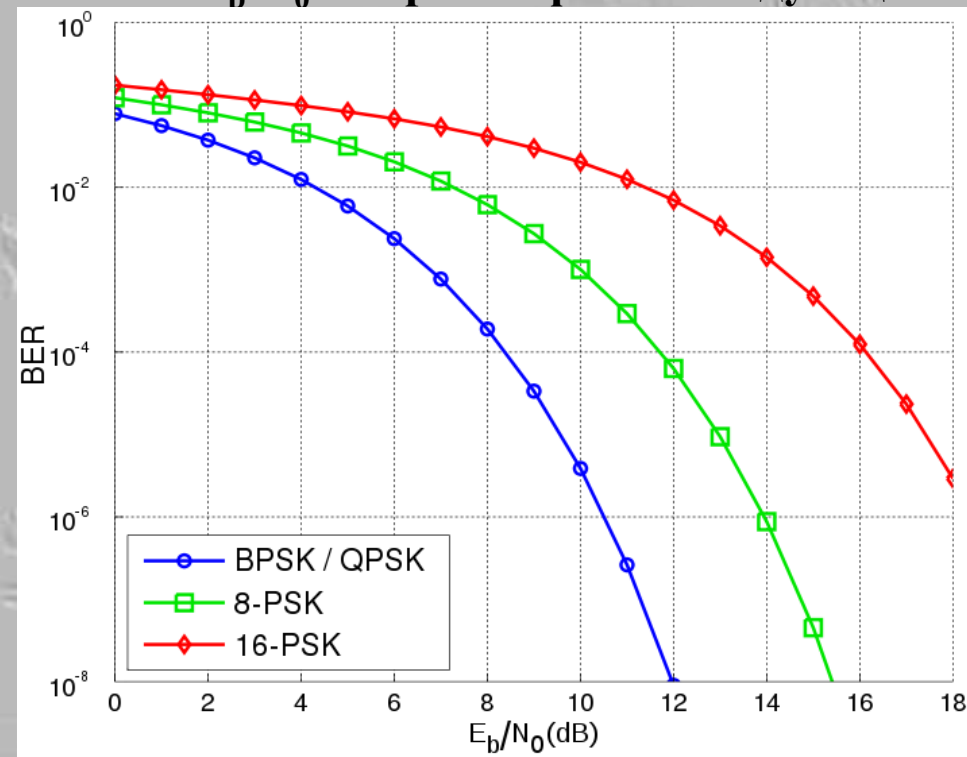


Сравнение между простите фазови модулации

QPSK модулацията се състои от две прости независими BPSK модулации и следователно, има два пъти по-висока ефективност на използване на спектъра (капацитет). С нарастване на класа на модулацията, обаче, расте и необходимото отношение E_b/N_0 за един бит, да се постигне определен BER, както и отношението „сигнал-шум“ S/N за да се постигне определен капацитет на канала (вж. двете фигури по-долу).



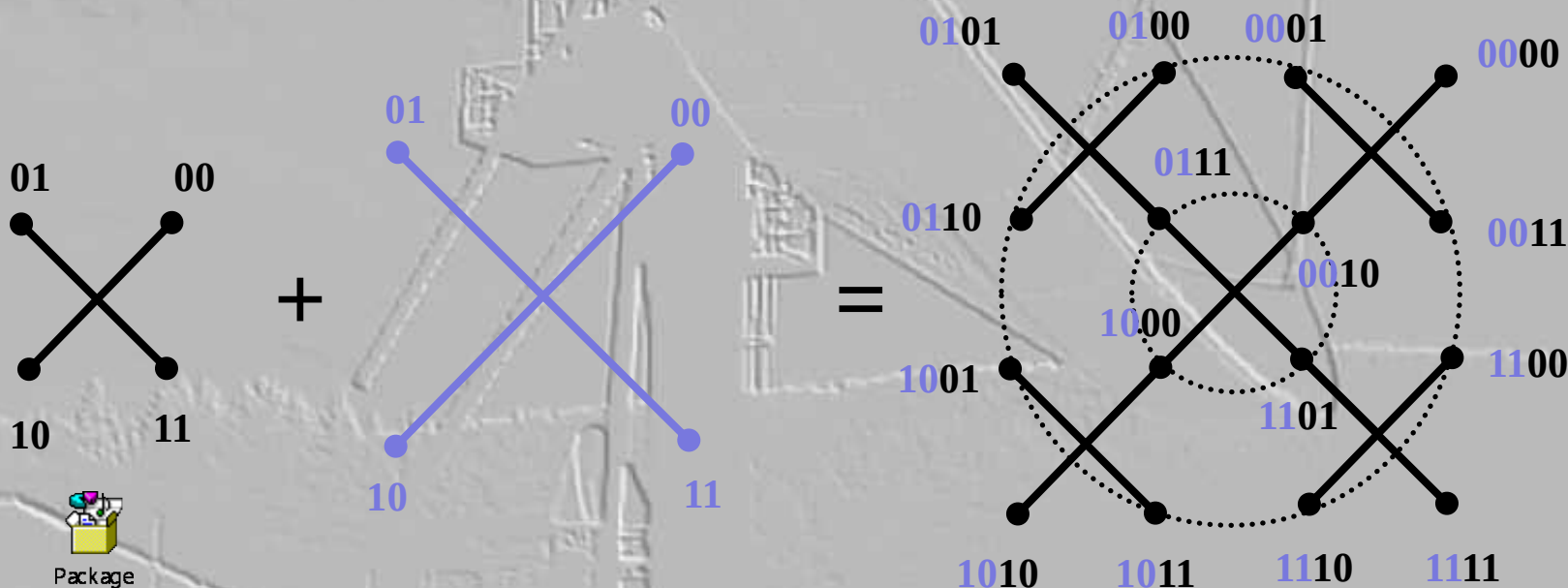
BER v/s E_b/N_0 за прости фазови модулации **BER v/s E_b/N_0 за прости фазови модулации**





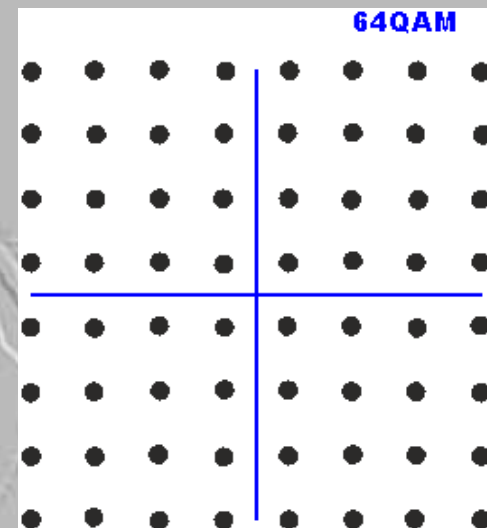
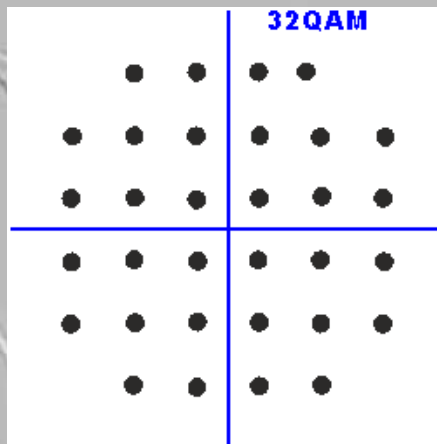
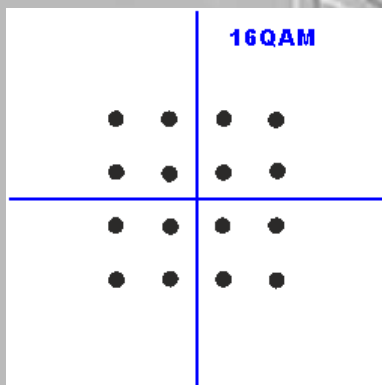
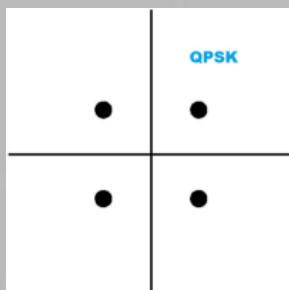
Формиране на 16QAM модулация

Значително повишаване на шумоустойчивостта на комуникационните сигнали се получава при едновременно въздействие на амплитудата и фазата на носещия сигнал. Така се получава т. нар. m -QAM (m – цяло число; броят на различните амплитудни и фазови състояния на сигнала), при което се предават едновременно $\log_2 m$ бита. На фигурата долу е показан пример за 16-QAM модулация за едновременно предаване на 4 бита в 16 различни състояния (12 фазови състояния на 3 амплитудни нива: 1, 0.745 и 0.33 от максималното. Този тип модулация има подобни характеристики на 16-PSK модулация, но показва по-добра шумозащитеност, защото съседните фазови състояния се различават и по амплитуда. 16-QAM модулацията се използва в жичните мрежи по DSL технологията (HDSL и ADSL), но също и в съвременните 4G LTE, WiMAX и др. системи, когато нивото на сигнала е високо.

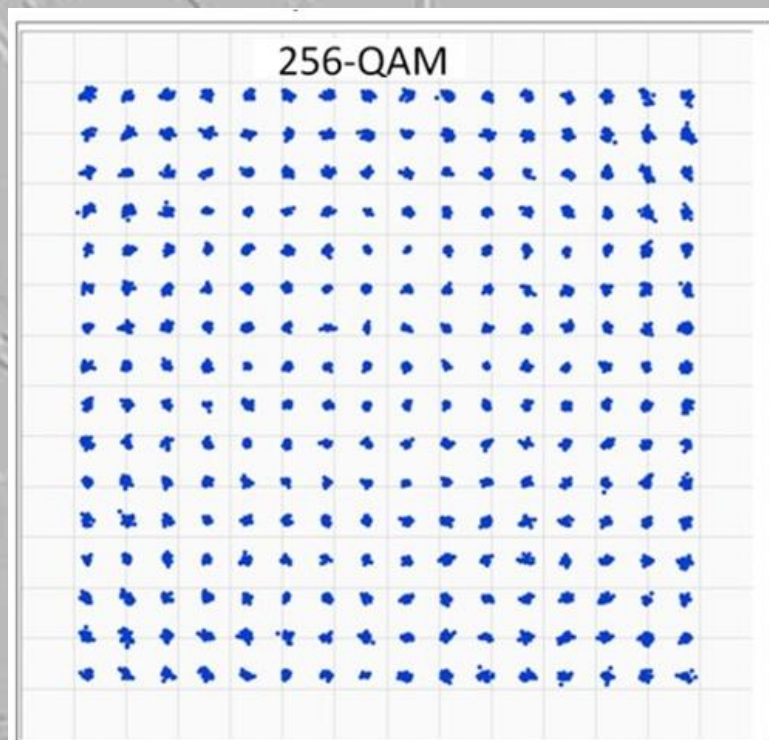
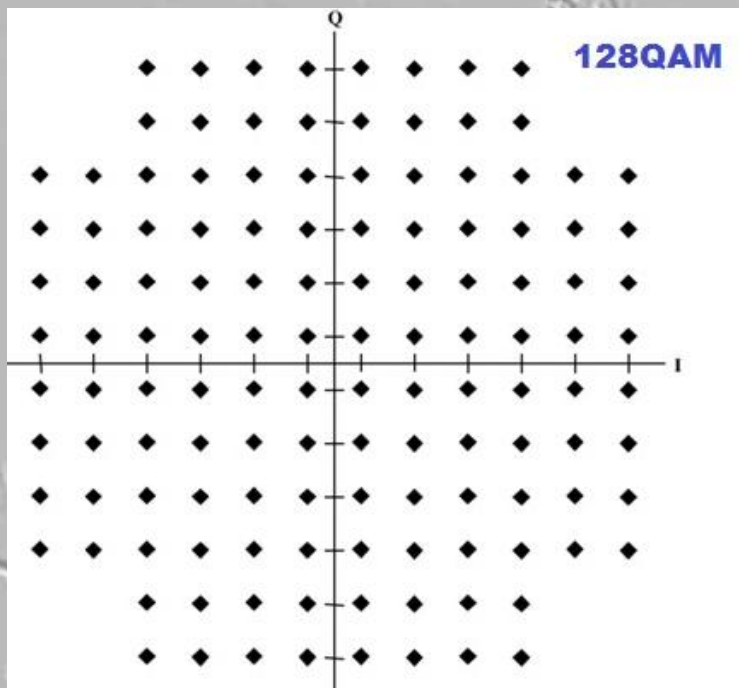




Съзвездие на фазовите състояния в m-QAM модулации

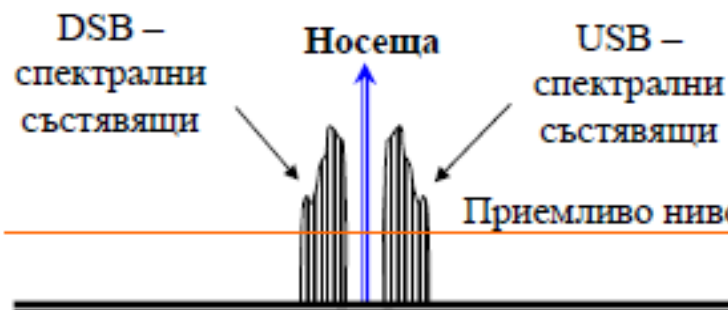


Модулациите от тип QPSK, 16QAM и 64QAM са най-използвани днес в 3G/4G комуникационните безжични стандарти.



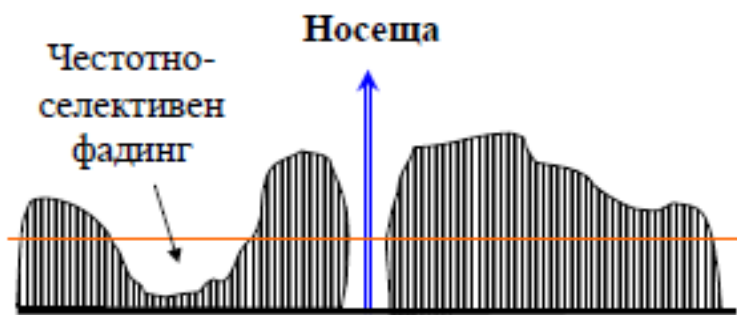
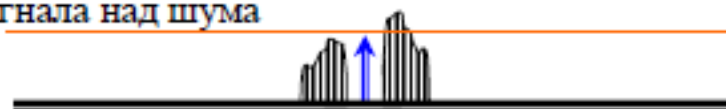


Проблеми при модулациите с една носеща честота. Решение: модулация с много носещи честоти



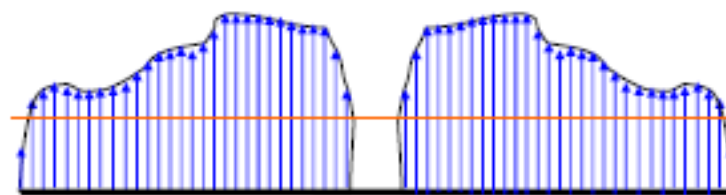
Теснолентова модулация с една носеща

При паразитна интерференция със сигнал на същата или близка честота може да се наблюдава силен фадинг и нивото на сигнала спада неприемливо много

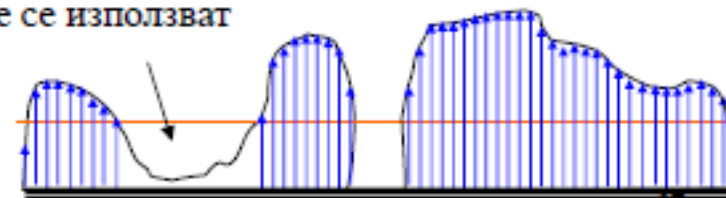


Широколентова модулация с една носеща

Много субносещи



При фадинг тези субносещи просто не се използват



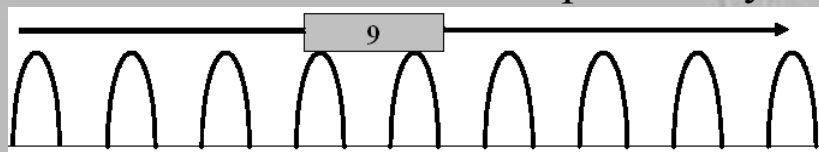
Модулация с много носещи (субносещи)



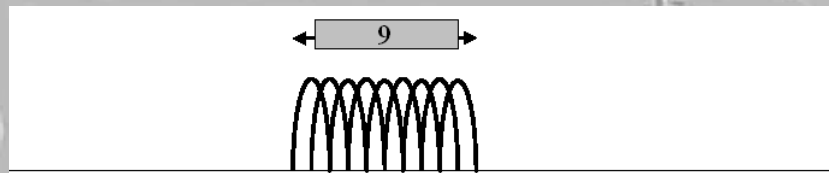
Неортогонални и ортогонални носещи честоти

Досега разгледахме модулационни техники, базирани на една носеща честота. При теснолентови сигнали с еднакви или близки по честота носещи могат да интерферират и това се оказва сериозен проблем в повечето комуникационни системи. При широколентовите комуникации се наблюдава честотно-селективен фединг.

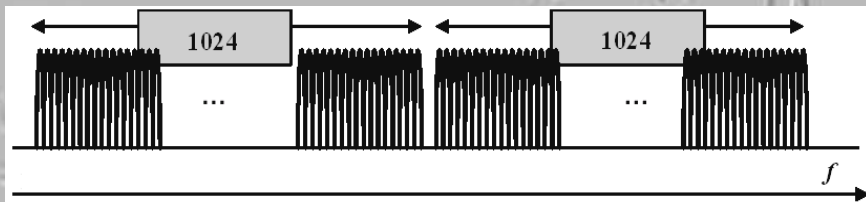
Идеята за модулация на цифров сигнал с помощта на много носещи е излъчваният поток от битове да се раздели на субпотоци и да се “носи” от много субносещи. Битовата скорост на всеки субканал е много по-ниска от общата; съответно честотната лента на всеки субканал е много по-тясна от общата. Броят на субносещите се избира така, че всеки субканал да има



9 субносещи със защитен интервал



9 ортогонални субносещи с припокриващи се спектри (измислен пример)



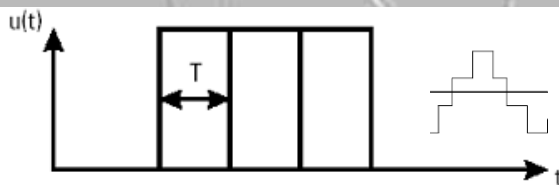
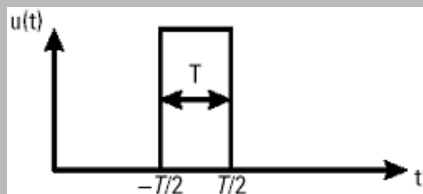
Реален пример: 1024 ортогонални субносещи във WiMax стандарта IEEE 802.16

честотна лента, която е по-малка от кохерентната лента и се може да се наблюдава само “плосък фединг” и силно подтисната междусимволна интерференция ISI. На фигурата е показан пример с 9 теснолентови субносещи, между които има защитен интервал за да се избегне взаимното влияние между тях. Много по-ефективно използване на спектъра се постига с “ортогонални” субносещи, чиито спектри се припокриват, но поради ортогоналността си сигналите си влияят минимално. За ефективна модулация броят на субносещите трябва да е голям – напр. във WiMax и LTE стандарта те могат да са от 512 до 2048 канала (например 1024 по 11 kHz) (препоръчва се броят им N да е кратен на 2^n).

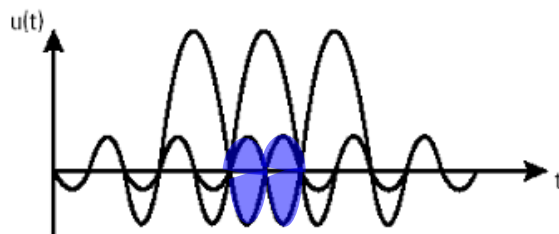


Междусимволна интерференция (ISI)

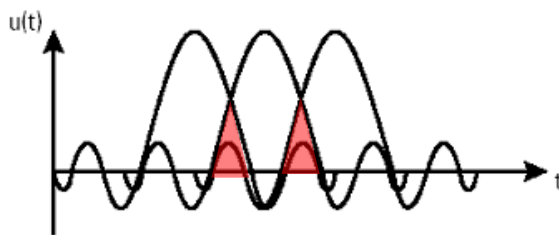
Междусимволната интерференция ISI е паразитен ефект при предаване на цифрови редици вследствие на разширяване на спектъра на сигналите след филтриране, при многолъчево разпространение, закъснение и др. Това е взаимно влияние между спектрите на съседни битове (вж. илюстрацията). Ако спектрите не са разширени, “опашките” на спектрите на съседните импулси (битове) се компенсират взаимно и ISI не се наблюдава. Ако, обаче, спектрите са разширени, главните части на спектрите започват да се припокриват и се появява ISI. Това може да доведе до грешно възприемане на битовете.



Идеален сигнал на 1 или 3 бита



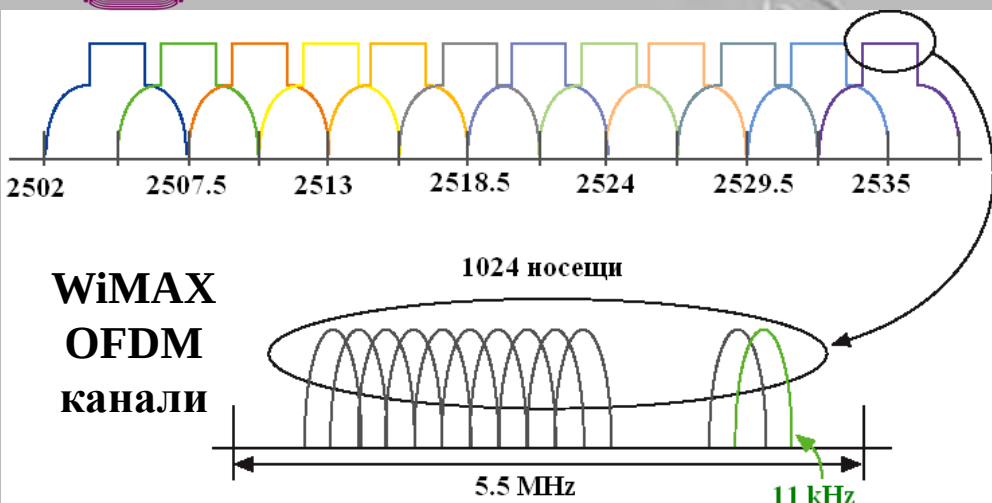
Реален сигнал в ограничена честотна лента (не се наблюдава ISI)



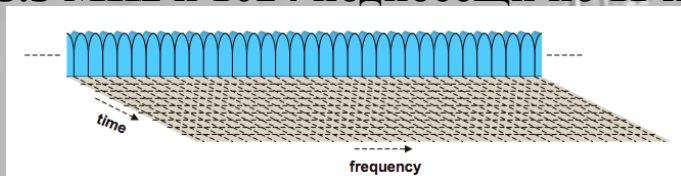
Приет разширен сигнал вследствие на филтриране, закъснение, фединг, Доплеров ефект и др. (наблюдава се ISI)



Ортогонални канали в LTE и WiMAX стандартите



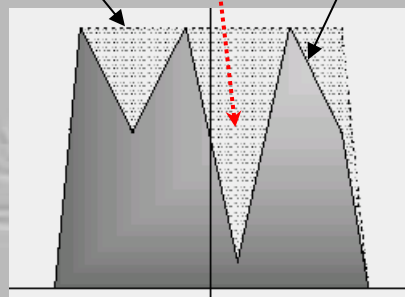
Горе е показан е пример е за 5 MHz WiMAX канали и 0.5 MHz защитна лента, или общо 5.5 MHz и 1024 подносещи по 11 kHz.



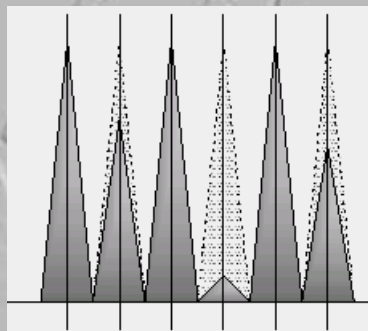
Tx

Честотно-селективен фединг

Rx



CDMA канал



OFDM канал

Много важна характеристика на 4G LTE и WiMAX стандартите е използването на т. нар. “ортогонални” честотни канали: OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing). WiMAX използва от 5 до 20 MHz широколентови канали, всеки с от 512 до 2048 теснолентови ортогонални подносещи, с които се обезпечава до 75 Mb/s споделена скорост (виж примера).

Широколентови сигнали има и в CDMA системите, но при тях може да се получи ефект на честотно-селективен фединг (виж долу). Това изисква нивото на сигнала да се изравнява чрез сложен адаптивен изравнител.

При OFDM каналите вълновата форма на общия сигнал се формира от множеството теснолентови ортогонални носещи. Ефектът на селективен фединг се локализира около тясна област на от подносещи и така процесът на изравняване значително се опростява. Така ефекти на междусимволна интерференция и многолъчев сигнал се минимизират съществено.

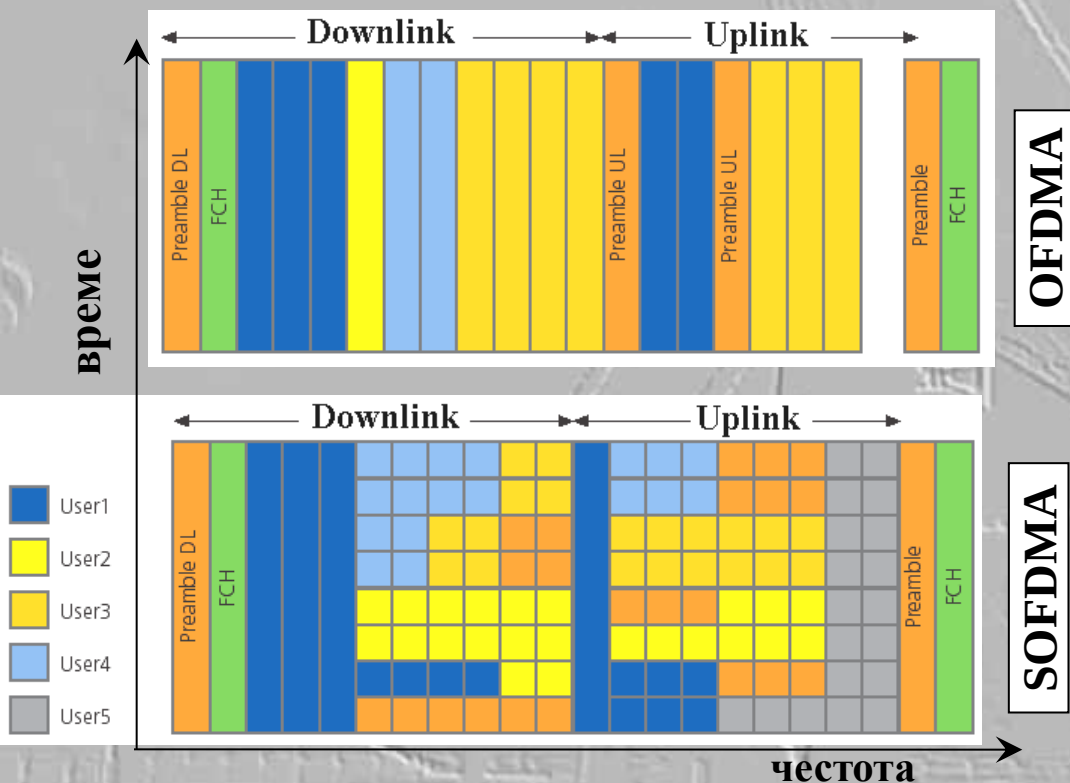
Широколенгов достъп чрез ортогонални теснолентови канали

В 3G/4G мрежите се използва един много ефективен метод за широколенгов достъп, подобен на CDMA, но се реализира с помощта на множество теснолентови субканални, подобно на FDMA. Методът е известен като OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) и е разширение на т. нар. ортогонална модулация OFDM в технологията на достъп на потребители до канала.

OFDMA е много гъвкава технология за достъп. По-долу е показана типична диаграма на разпределение на каналите за достъп при OFDM. Външно тя прилича на FDMA диаграма, но се различава от нея. OFDM поддържа достъп на специфични групи от субносеци за определен тип потребители. Всяка група представлява специфичен субканал и може да съдържа 1 или повече ортогонални субносеци. Даден потребител може да получи специфичен субканал в зависимост

от специфични условия на неговия трафик и използваната модулация.

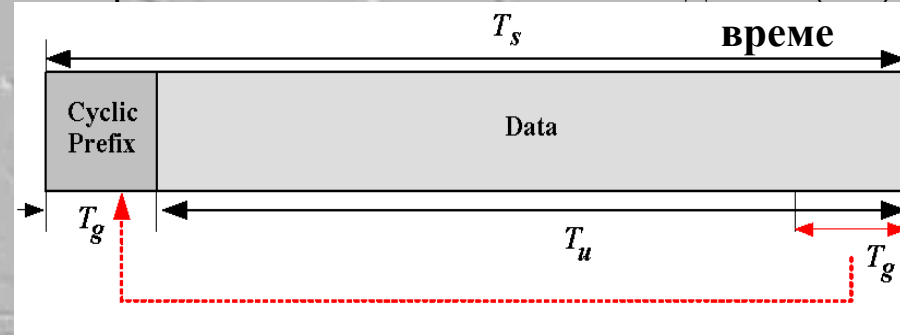
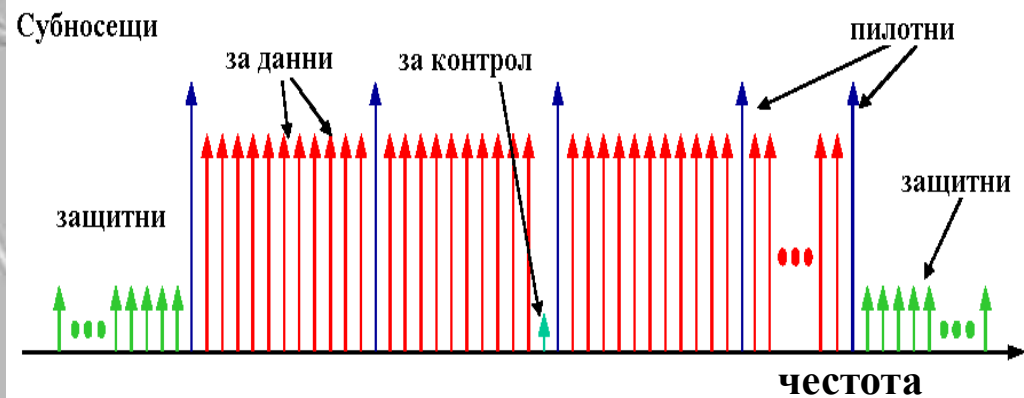
Вариант е S-OFDMA методът (Scalable OFDMA), който осигурява допълнителна възможност за настройка на достъпа в зависимост от честотната лента на канала, който ще се ползва. Така няколко потребителя могат да излъчват едновременно в еднакви субносеци, но без да възниква интерференция между тях, известна като MAI (multiple access interference). Освен това може да се концентрира повече мощност само върху някои субносеци и така да се увеличи покритието.





Субканалы и времеинтервали в OFDMA

Тук е илюстрирано разпределението на 3-те типа субносеци при OFDMA. Най-много са тези за данни, разделени от единични субносеци за пилотен сигнал, използван за синхронизация. Те формират субканалите. Има и субносеци за защитни ленти без излъчване на сигнал или за контролни цели. Това е характерно и за двата дуплексни канала downlink и uplink. Минималният честотно-времеви ресурс във всеки субканал е един времеинтервал = 48 тона данни (субносеци). Как се разпределят субносеците по субканалы? Има 3 начина: 1) чрез псевдо-случайно разнасяне по целия честотен обхват (FUSC); 2) чрез разнасяне по отделни групи от субносеци (PUSC) и 3) чрез групи от съседни субносеци. Първите 2 начина се използват в мобилния WiMax/LTE. Начин 3 се използва при неподвижни потребители, използващи адаптивна модулация (AMC). Долу е показана структурата на един времеинтервал. При OFDMA системите потокът от данни се разделя на субпотоци с намалена битова скорост, които се модулират отделно на ортогонални носещи. Тогава продължителността на 1 бит расте, а това минимизира ефектите на закъснение и многолъчевост на сигнала. Освен това, тук се въвежда техниката CP (Cyclic prefix), чрез която напълно се елиминира междусимволната интерференция. CP (вж. долу) е повторение на последния образец от порцията данни в даден блок, който се “прикачва” в началото на блока данни (вж). Така се преодолява междублоковата интерференция, чиито източник е многолъчевия сигнал. В градска среда закъснението е $\sim 5 \mu s$. Ако продължителността на 1 бит се избере $100 \mu s$, а CP интервалът $T_g \sim 10 \mu s$, методът OFDMA може да елиминира паразитните ефекти на многолъчевия сигнал в града.

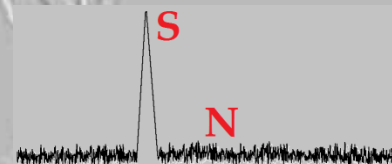




Какво ограничава скоростта на предаване на данни при безжичните връзки?

Съществува теорема на Shannon–Hartley за капацитета на комуникационен канал с шум, която свързва максималната скорост на предаване на данни C , b/s с честотната лента на канала BW и отношението „сигнал-шум“ S/N :

$$C = BW \cdot \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right)$$



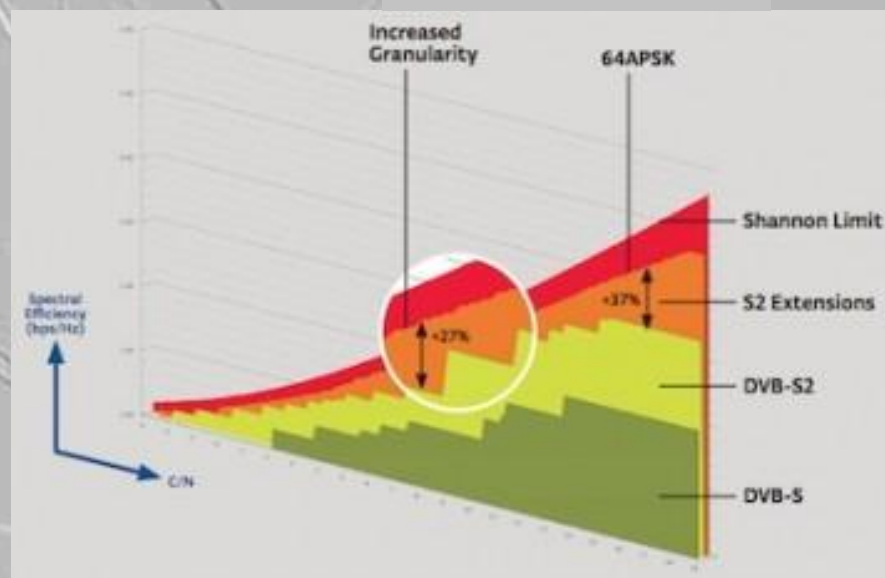
Реалната битова скорост $R = 1/t_B$ в канала (t_B е продължителността на 1 бит) винаги е

$$R < C$$

и при тези условия съществува система от кодове, така че чрез кодиране информацията да се предава с произволно малка вероятност за грешка.

Обратно, ако $R > C$, има различна от нула вероятност за предаване на информацията, но винаги с грешки.

Много реални системи се създават да работят близо до границата на Shannon.



Пример: нова широколентова сателитна технология **DVB S2** за разпръскване на цифров видео/TV сигнал с висока ефективност на използване на спектъра.



Ефективност на използване на спектъра

Важен параметър за характеризиране на безжичното предаване на информация е ефективността на използване на спектъра (spectral efficiency, bits/s/Hz):

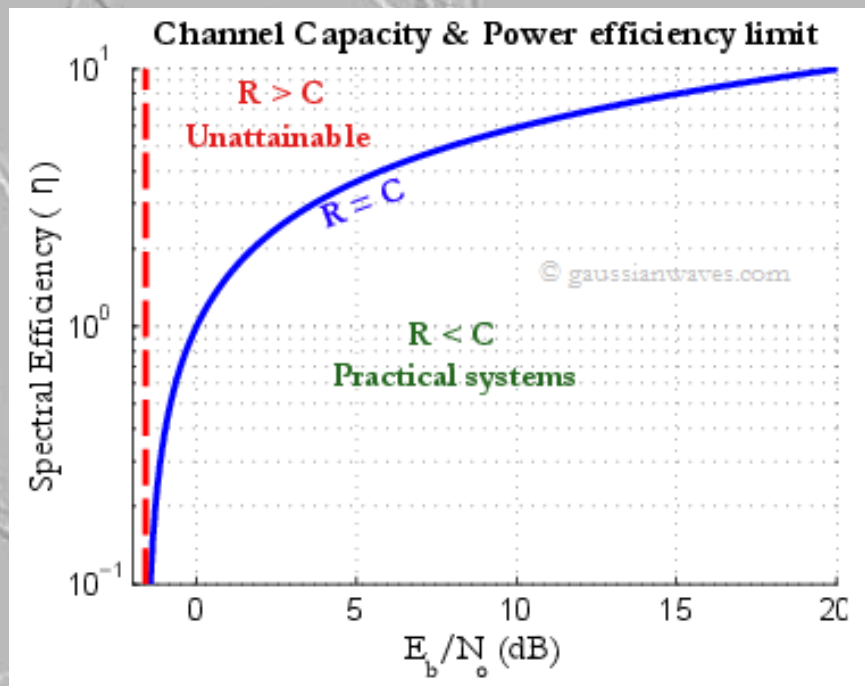
$$\eta = \frac{C}{BW}, \text{ bits/s/Hz}$$

Спектралната ефективност η определя и какво трябва да бъде отношението на средната енергия E_B за пренасяне в канала на 1 бит към спектралния шум N_0 : (вж. Фиг. $\Rightarrow$)

$$\frac{E_B}{N_0} = \frac{2^{\eta} - 1}{\eta}$$

Асимптотата (прекъснатата червена линия) се отнася за $\lim(E_B/N_0)$ при $BW \rightarrow \infty$. Стойността е

$$\frac{E_B}{N_0} = \ln(2) = 0.6931 = -1.59$$



Това е т. нар. Граница на Shannon за *енергийната ефективност* при безжично предаване на информация по комуникационен канал с шум в безкрайна честотна лента.



Основни физични явления при разпространение на сигнала

1. Затихване от разстоянието както $1/d^2$

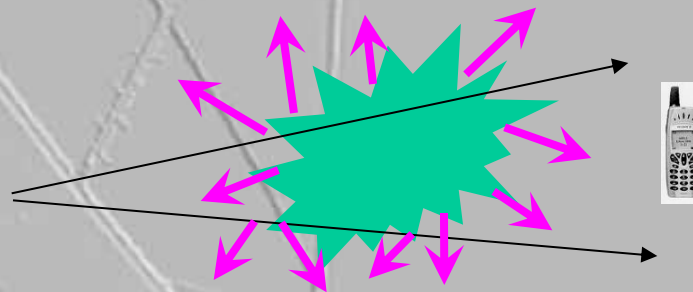
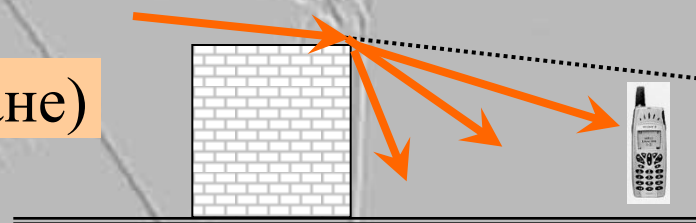
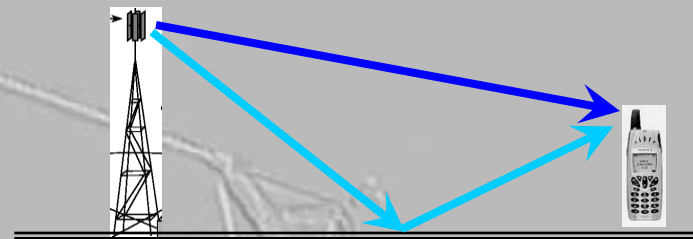
2. Отражение

3. Дифракция от остри ръбове (засенчване)

4. Многолъчево отражение (разсейване)

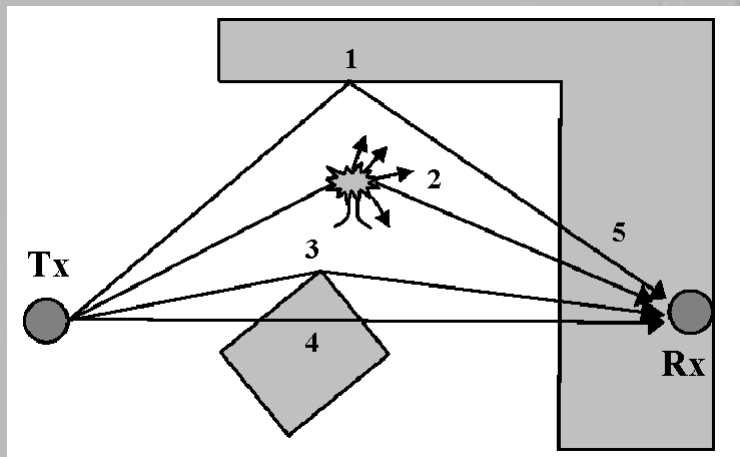
5. Доплеров ефект при движение

$$f_D = \pm v/\lambda \cos\theta$$



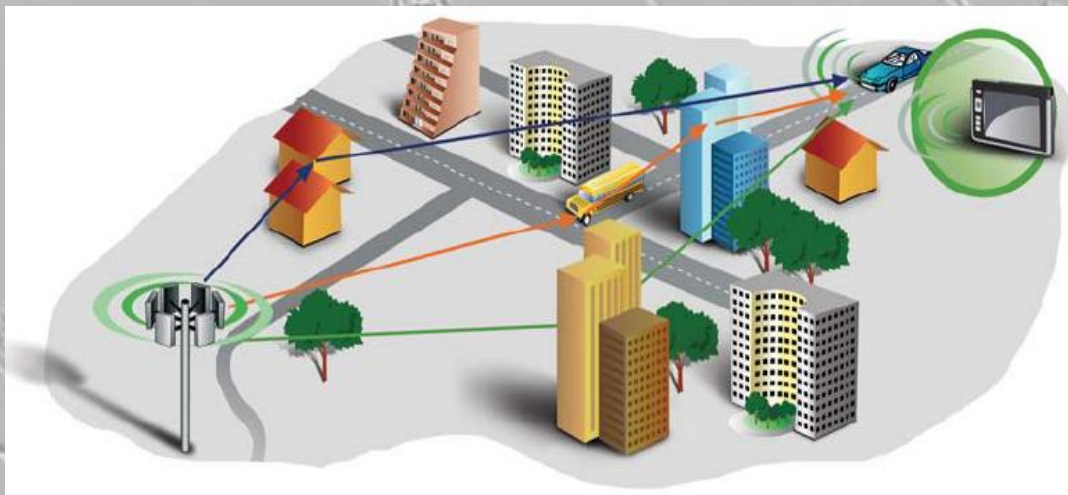


Какви ефекти се наблюдават в мобилните комуникационни мрежи при разпространението на сигнал?



**Типична мобилна
комуникационна среда**

В мобилните мрежи се наблюдава най-сложната възможна комуникационна среда, наречена “мобилен радио-канал”. Тя включва директни и отразени лъчи, дифракция от остри и загладени ръбове, “бърз” и “бавен” фединг, разсейване и многолъчево разпространение, закъснение на сигналите и разширяване на честотния спектър и др. Предавателите и приемниците, които работят в такава среда, трябва да имат специални характеристики, които да минимизират влиянието на тази сложна среда.



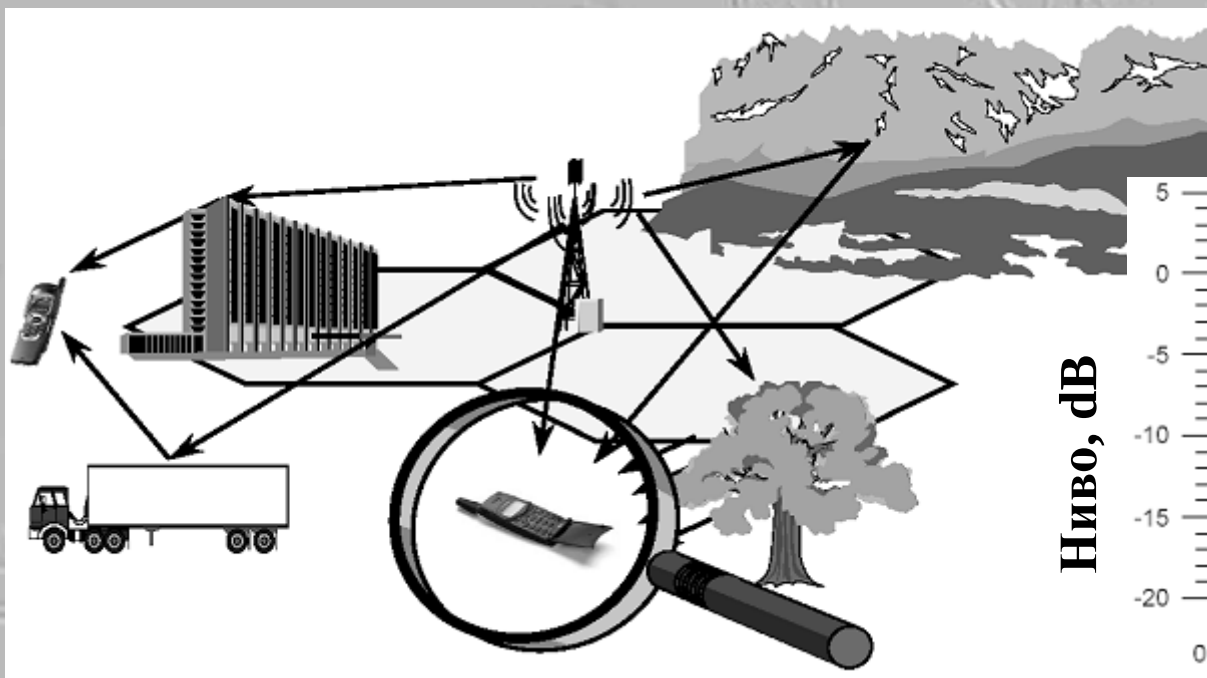
Кратка анимация за разпространение на сигнали в градска среда

Среда с неподвижни и подвижни обекти, които влияят на сигналите



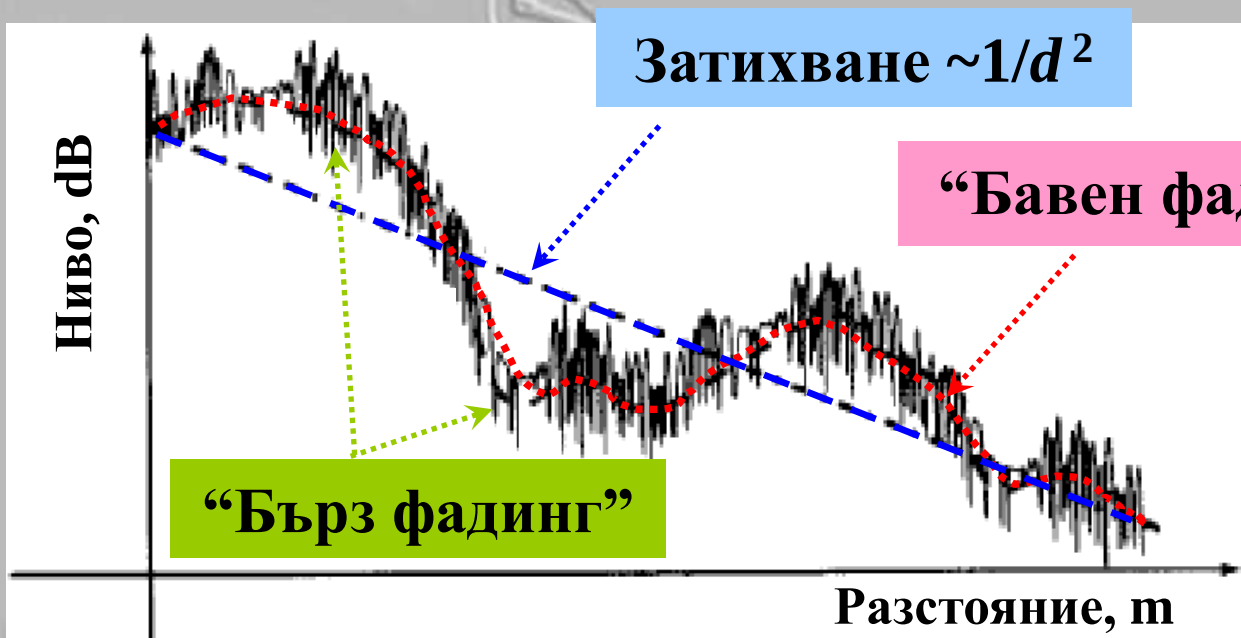
Основни наблюдавани ефекти в мобилните радиоканали?

- ❖ По-бавно или по-бързо изменение на нивото на сигнала вследствие на интерференчни и дифракционни явления – “бърз” и “бавен” фединг
- ❖ Случайни честотни модуляции в резултат на бързо движение
- ❖ Случайно закъснение (ехо) при пристигане на голяма серия от много-лъчеви сигнали
- ❖ Статистическо поведение на характеристиките на радиоканала





Как затихва сигналът от разстоянието в типична мобилна среда?



- ❖ Затихване от разстоянието (6 dB или 4 пъти на всяко удвояване на разстоянието). Това затихване е неизбежно и е свързано с разширението на фронта на вълната.
- ❖ Бавен фединг (засенчване): максимуми през 10-100 m и затихване от максимум до минимум $\sim 4-10$ dB; свързан е с дифракция от ръбовете на големи препятствия с размери $D \gg \lambda$ (сгради, хълмове и други теренни препятствия).
- ❖ Бърз фединг: максимуми през $\lambda/2$ (т. е. ~ 17 cm при 900 MHz) и голямо затихване от максимум до минимум до 30-40 dB; свързан е с разсейването на сигнала от малки обекти с размери $D \sim \lambda$ и възникването на “многолъчевост”.

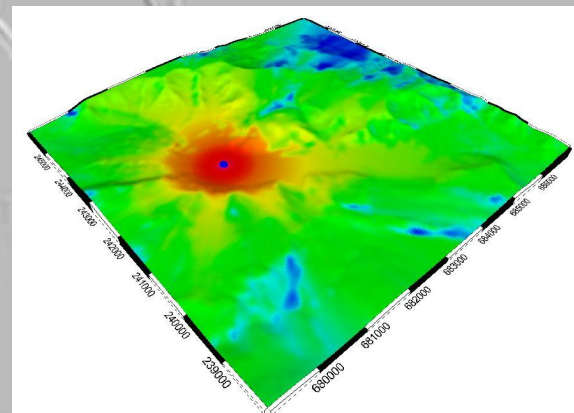
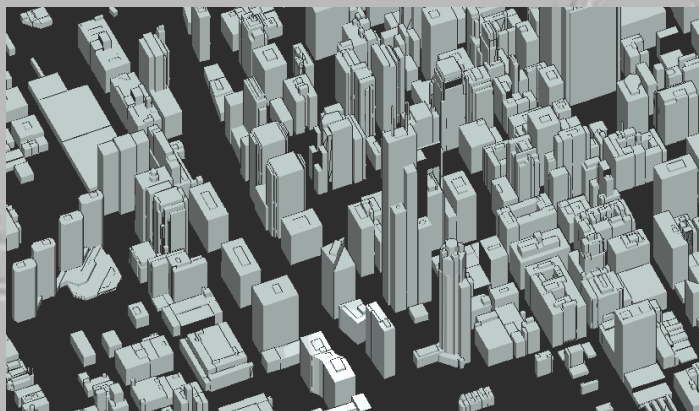
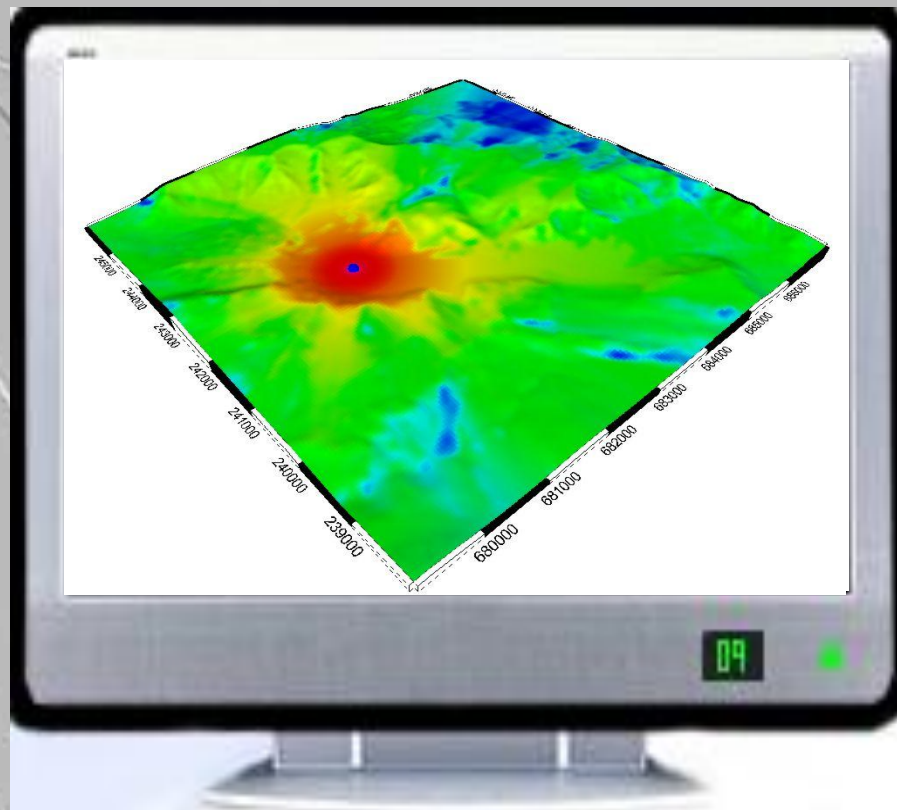


Илюстрация на различни типове мобилни радиосреди

Градска среда

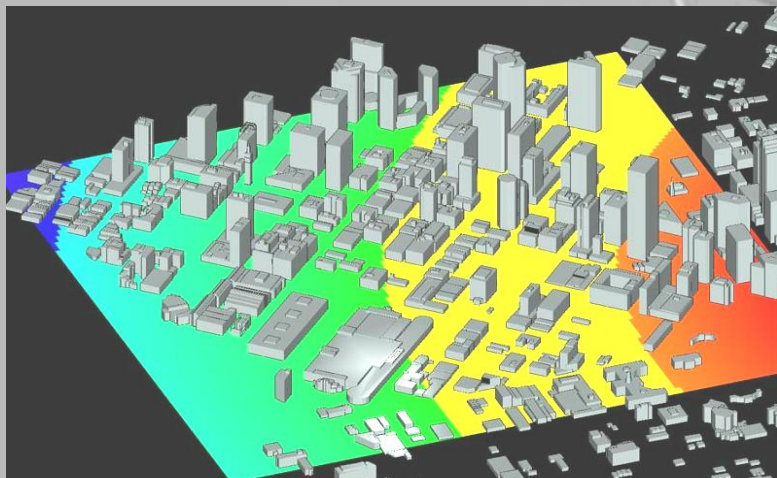
Офис среда

Извънградска среда

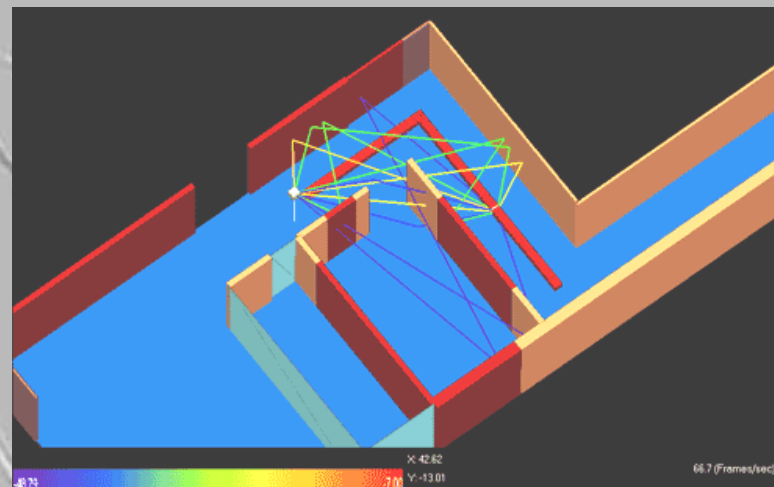




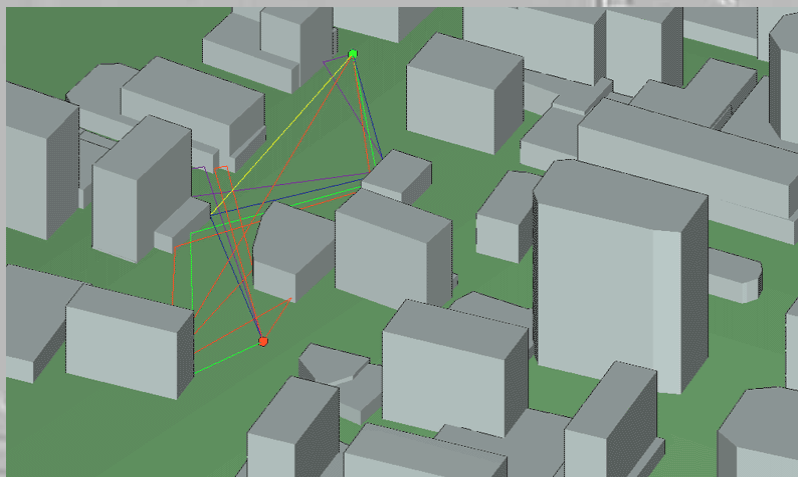
Примери за модели на радио-среди



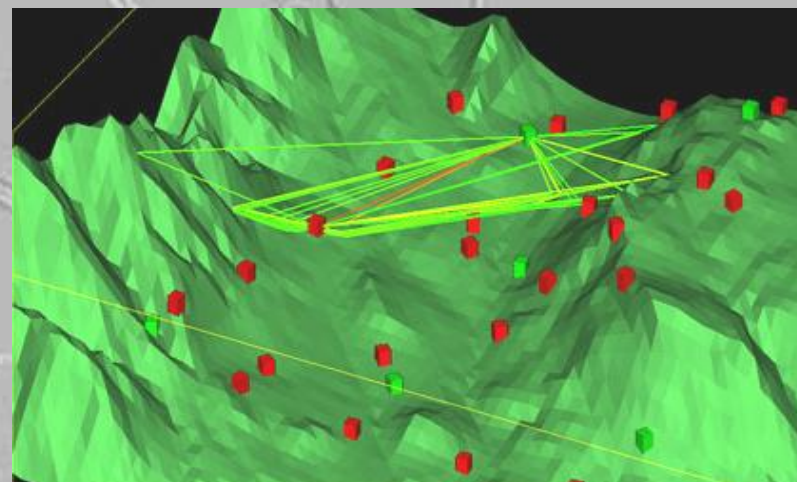
Емпирични модели



Офис среда



Ray-Tracing модели: Градска среда



Планинска среда


$$L = L_0 / (d/d_0)^\gamma$$

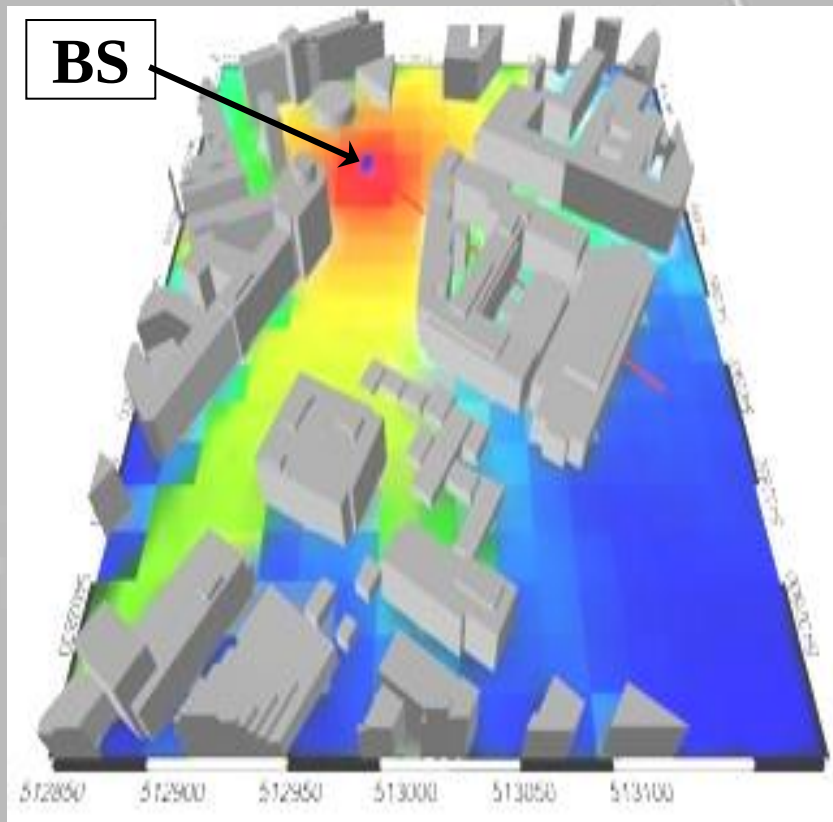
$\gamma = 2$ при свободно затихване;
 $\gamma = 2.7 - 3.5$ в градска среда;
 $\gamma = 3 - 5$ в плътна градска среда;
 $\gamma = 1.6 - 1.8$ в офиси в “тиха зона”;
 $\gamma = 4 - 6.5$ в офиси извън “тихата зона”;
 $\gamma = 2 - 3$ в големи халета

Предложената тук формула за оценка е доста груба и дава само най-обща представа какво ниво може да се очаква далече от антената на базовата станция. В конкретни случаи отклонението от действително измереното ниво може да се окаже значително.

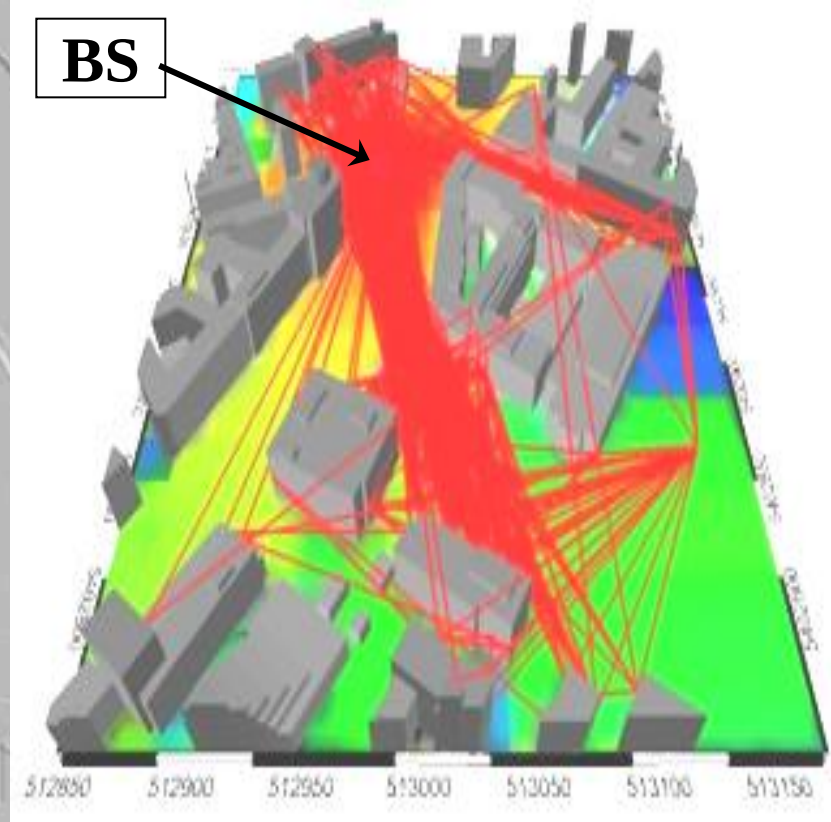


Сравнение на емпиричен модел и модел на лъчево трасиране

Модел на Okumura-Hata



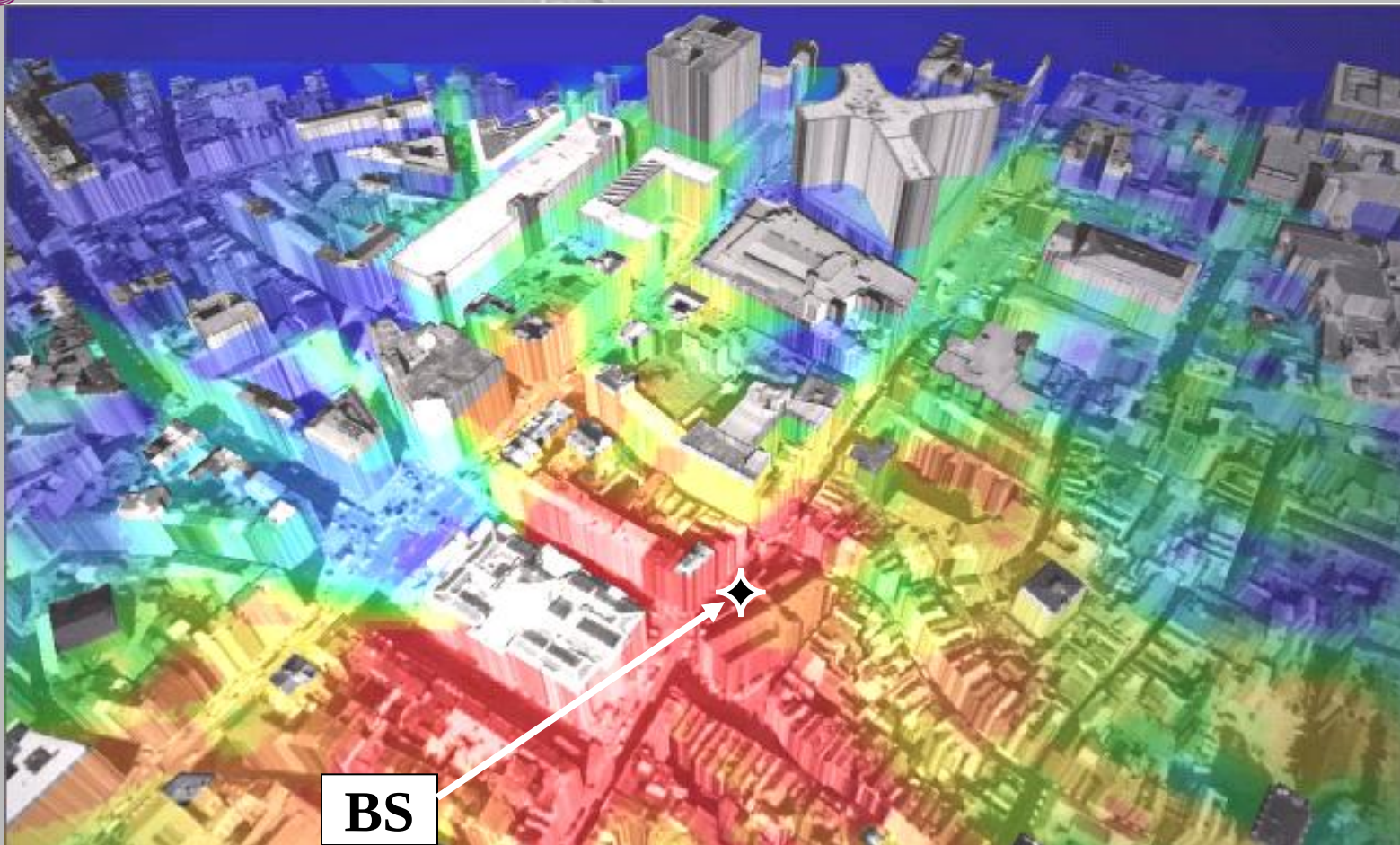
Модел на лъчево трасиране



Емпиричният модел дава само принципна оценка за загубите в дадена област (обикновено резултатите за загубите са завишени). Софтуерният модел се базира на конкретни ефекти в средата, която е представена реалистично чрез картата на района и характеристиките на сградите и другите постоянни обекти в него. Методът е приложим за градски и плътни градски области, за извънградски и планински области, както и вътре в сгради и офиси. Този метод дава много близки до действително измерените данни за нивото.



Съвременен подход: 3D модели на покритието



Съвременното 3D проектиране на “покритието” със сигнал на всяка клетка на дадена мрежа в специфични условия е много важно предварително условие за стартирането на работата на мрежата. Разпределението на конкретното ниво на сигнала се дава както в хоризонтални равнини, така и във вертикална равнини (по височината на сградите). Така много бързо могат да се отчитат промени и да се реструктурира мрежата, да се разделят клетки на по-малки и да се променя режимът ежедневно или в зависимост от часовете-пик.

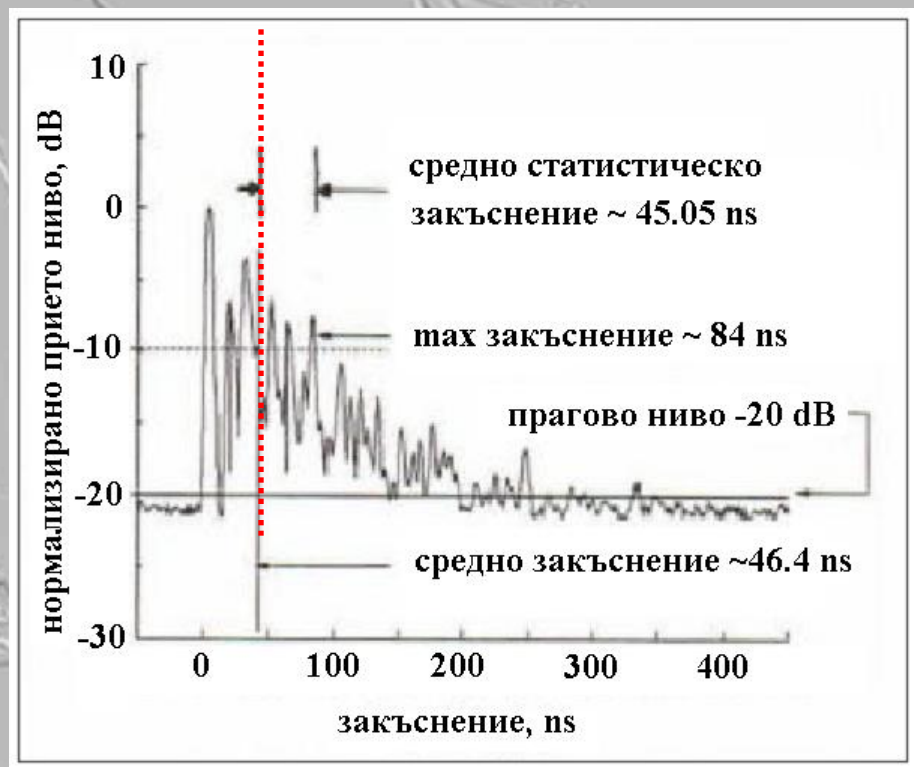


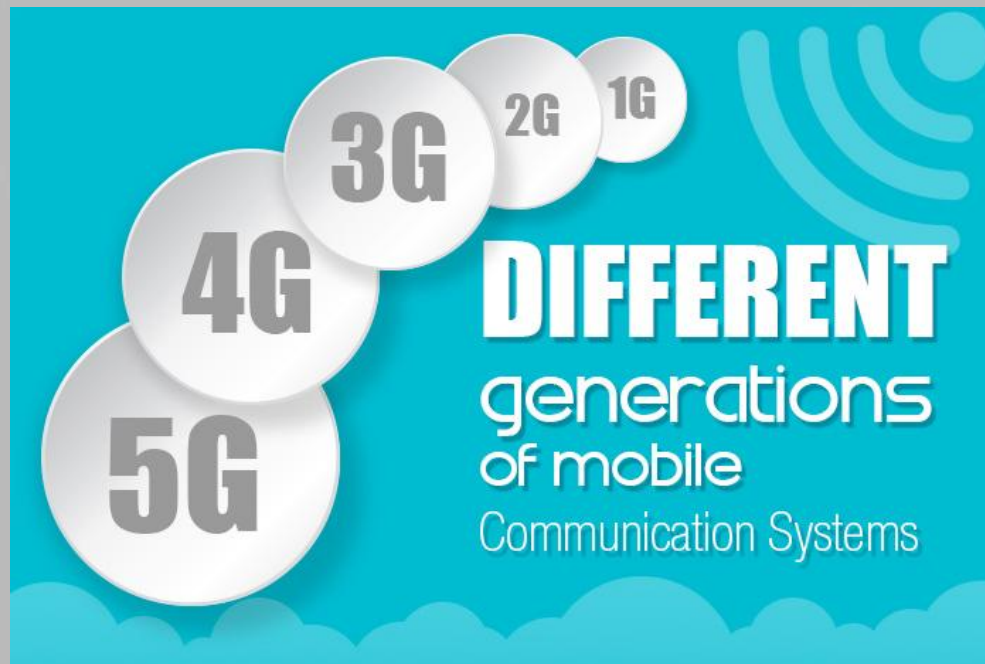
Случайни закъснения при многолъчев сигнал

Случайните закъснения (ехо) в се свързват с различното време на пристигане на сигналите в приемника в многолъчевия комуникационен канал (вж. фигурата). Дефинира се средно време за закъснение τ_m и средно квадратично отклонение от средното време за закъснение σ_τ . В различните среди параметърът σ_τ е различен, както е показано в таблицата по-долу:

- ❖ в равнинна среда σ_τ до $\sim 0.2 \mu\text{s}$;
- ❖ в извънградска среда $\sigma_\tau \sim 0.2\text{-}2 \mu\text{s}$;
- ❖ в градска среда $\sigma_\tau \sim 1\text{-}3 \mu\text{s}$

Ако σ_τ е по-голямо от продължителността на един бит T_b , възниква междусимволна интерференция (ISI). В такъв случай, битовете могат да пристигат по-рано или по-късно и така да се изкриви съществено информацията от/към мобилната станция. Статистическа мярка за това кога един комуникационен канал може да се разглежда постоянен във времето ("flat channel"), е т. нар. кохерентна честотна лента BW_C . Тази величина обикновено се измерва, но приближителна оценка се получава от израза $BW_C \sim 1/5\sigma_\tau$ (при амплитудна корелация 0.5). Така, ако честотната лента на даден канал е по-малка от кохерентната честотна лента $BW < BW_C$, каналът се разглежда като постоянен (с плосък фадинг). В противен случай в него се появява честотно-селективен фадинг (различен ефект за различни честоти).





КОМУНИКАЦИОННИ
ПОКОЛЕНИЯ: $1G \Rightarrow 2G \Rightarrow$
 $3G \Rightarrow 4G \Rightarrow 5G$.
ЗАЩО СЕ СМЕНЯТ?



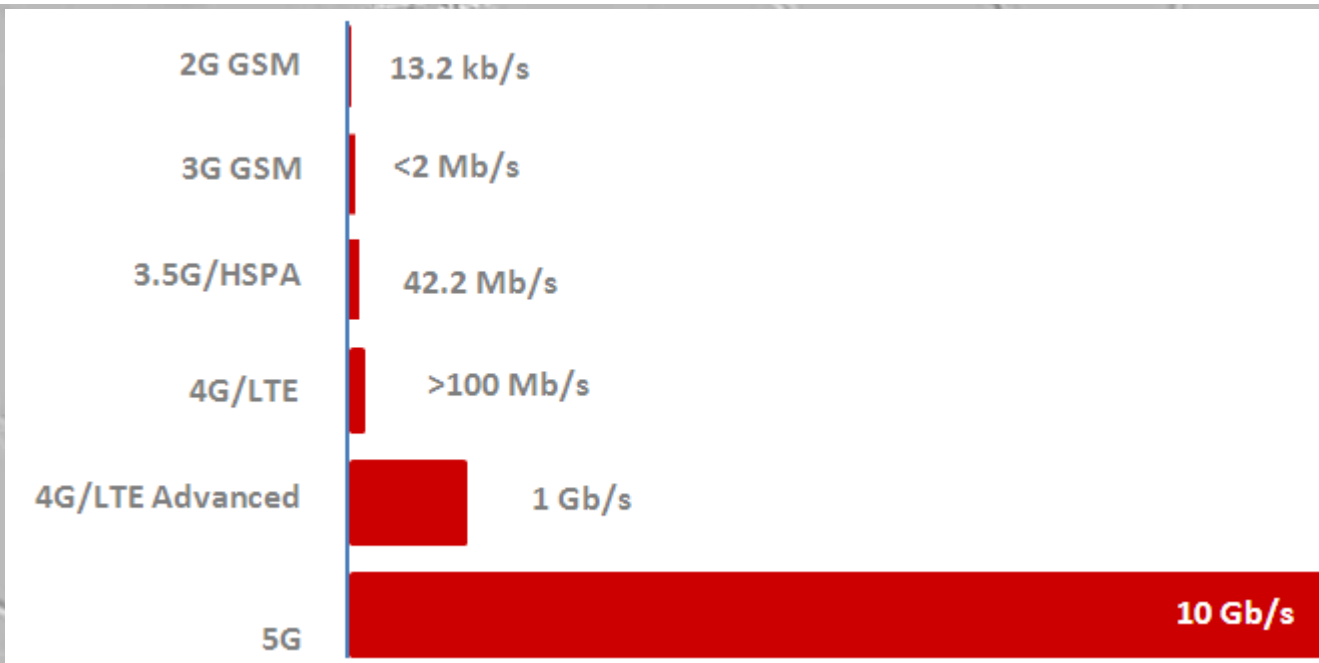
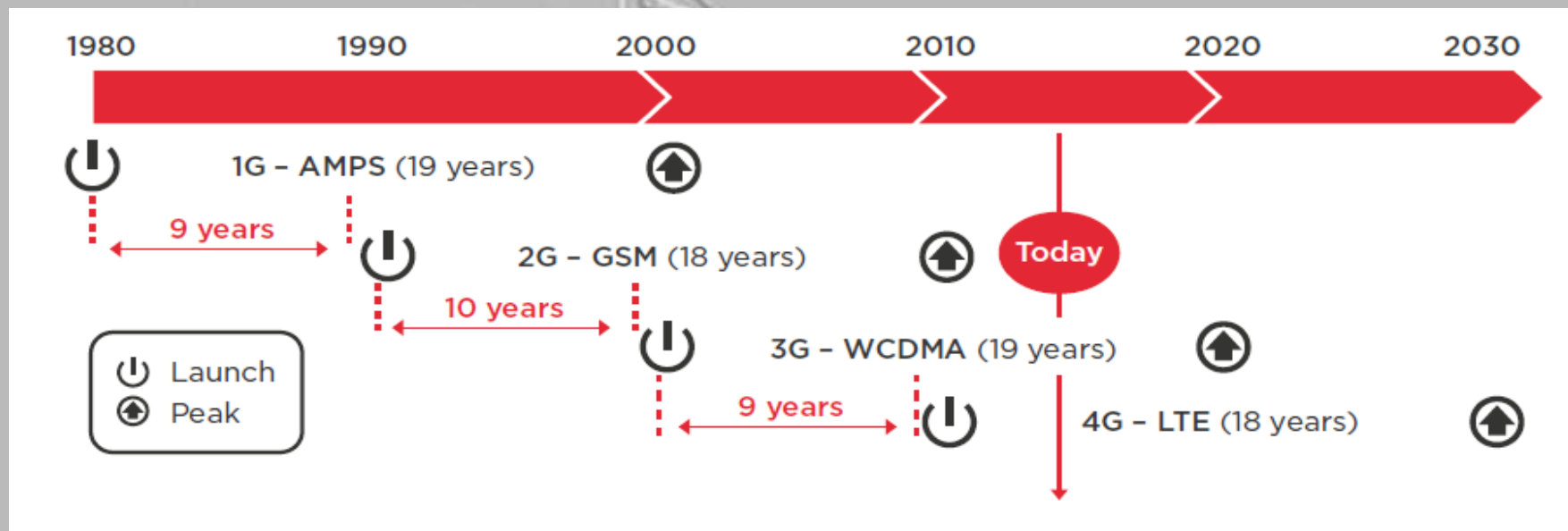
Генерации в мобилните мрежи

1G $\Rightarrow$ 2G $\Rightarrow$ 3G $\Rightarrow$ 4G $\Rightarrow$ 5G

Покол ения	Основни услуги в мрежата	Ключови свойства и предимства	Слабости (спрямо следващото поколение)
0G	Аналогови телефонни разговори (AM)	Телефони в коли (неклетъчни мрежи)	Малко потребители, ограничена мобилност, лошо качество
1G	Аналогови телефонни разговори (FM)	Истинска мобилност (клетъчни мрежи)	Неефективно използване на спектъра, незащитеност, несигурност на връзките
2G	Цифрови телефонни разговори и съобщения	Сигурност, защитеност, масово усвояване в целия свят; голям капацитет	Ограничена скорост (13.2 kb/s реч, 9.6 kb/s данни; трудно поддържа Интернет/е-мейл
3G	Телефонни разговори, съобщения, данни	По-добра Интернет връзка и много услуги (до 2 Mb/s)	Провал на Wireless Application Protocol (WAP) за Интернет
3.5G	Разговори, съобщения, широколентови данни	Широколентов Интернет, много приложения	Наследена специфична архитектура и протоколи
4G LTE	Всички IP-базирани услуги (+ реч, данни)	Много по-бърз Интернет, ниска латентност (< 10 ms) скорост над 10 Mb/s; HDTV; online игри	
5G	Ново поколение безжични мрежи (част от 4-та индустриална революция, 2020)	Скорост 1-10 Gb/s за до 10 едновременно потребители, бърз отклик (под 1 ms); висока сигнална ефективност, подобро покриване на офис и градски зони; 10-год. батерии без преза- реждане; 100-1000 едновр. връзки, хиляди сензорни връзки	

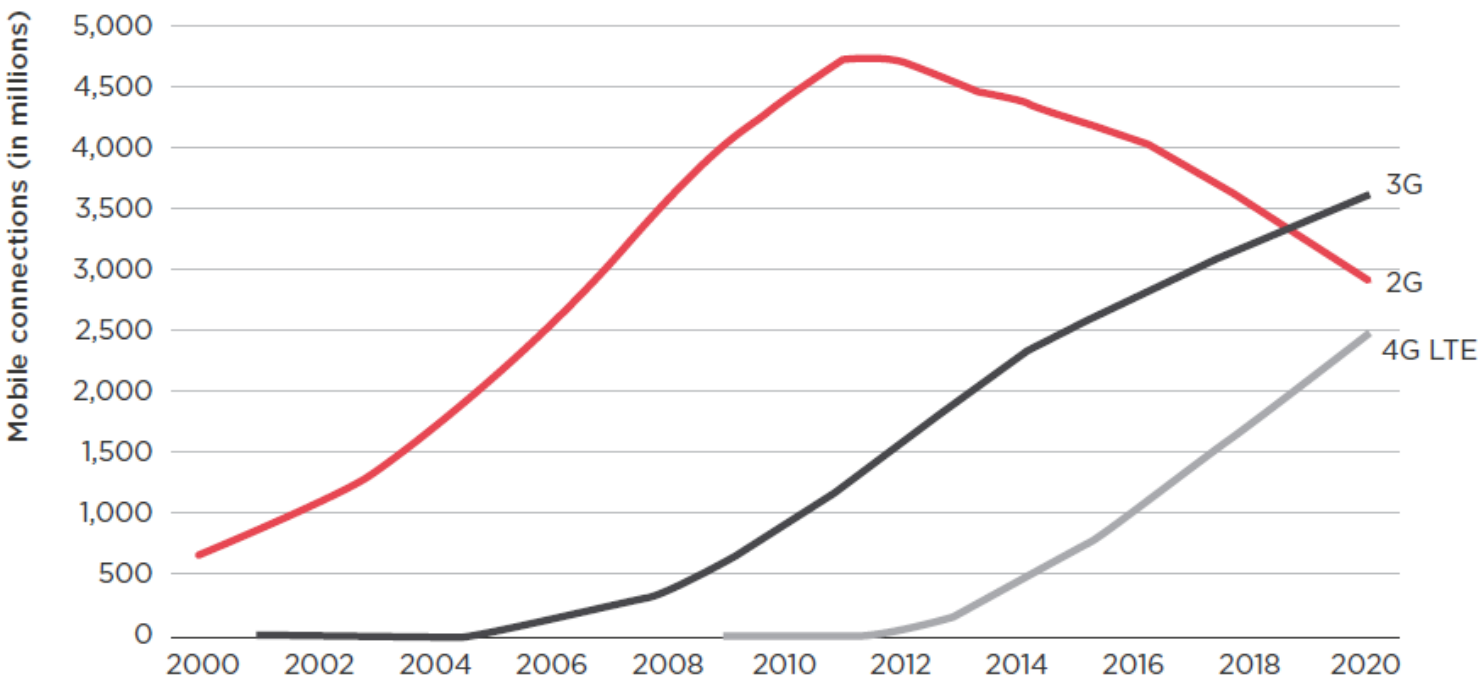


1G $\Rightarrow$ 2G $\Rightarrow$ 3G $\Rightarrow$ 4G $\Rightarrow$ 5G (във времето)





Потребители в целия свят в GSM мрежите (2G; 3G и 4G LTE)



Mobile communications: from 1G to 5G

Generation	Device	Specifications
1G		1G Year: 1981 Standard: NITP, TACS Technology: Analog Bandwidth: 12.2 kHz Data rate: 14.4 kbps
2G		2G Year: 1991 Standard: GSM, GPRS, IS-136 Technology: Digital Bandwidth: 12.2 kHz Data rate: 14.4 kbps
3G		3G Year: 2001 Standard: UTP, HSPA Technology: Digital Bandwidth: 5 MHz Data rate: 3.1 Mbps
4G		4G Year: 2010 Standard: LTE, 4G-LTE Technology: Digital Bandwidth: 20 MHz Data rate: 100 Mbps
5G		5G Year: 2020 (2025) Standard: 5G-PPA Technology: Digital Bandwidth: 100 MHz Data rate: 10 Gbps

People

People & Things

Smart grids
Connected house
eHealth
Domotics
Entertainment
Traffic priority
Smart Car
Apps beyond imagination
Car-to-car communication

5G is about Communication, Storage, Processing...



5G комуникационен стандарт – какво ново?

Новият комуникационен стандарт 5G обозначава следващата фаза на мобилни телекомуникационни стандарти отвъд настоящите 4G/LTE-Advanced стандарти.

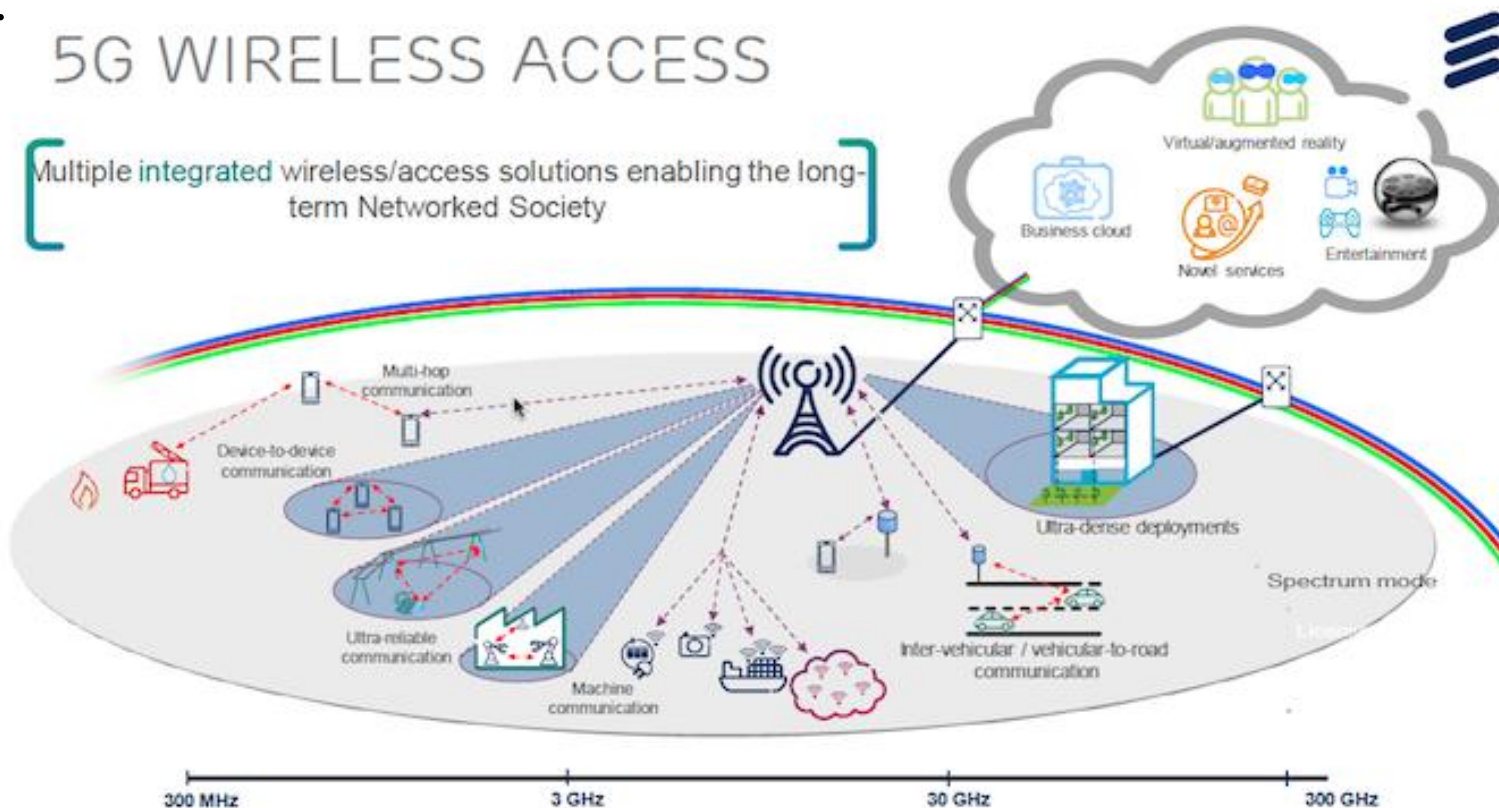
- Скоростта на трансфер на данни трябва да е няколко десетки Mb/s за десетки хиляди потребители в дадена клетка.
- Скорост 1-10 Gb/s трябва да се осигури едновременно на няколко десетки потребители на един етаж в даден офис.
- Няколко стотици хиляди едновременни връзки, за да се поддържат за масивни данни от сензори, разположени на различни места в дадена област.
- Спектралната ефективност трябва да бъде значително подобрена спрямо 4G
- Покритието на дадена област със сигнал трябва да се подобри (100 %)
- Засилена сигнална ефективност (повече информация в даден обработен сигнал).

Световната организация NGMN (Next Generation Mobile Networks Alliance) определи 5G мрежа **да започне да работи ефективно до 2020 г.**, за да посрещне бизнес и потребителски изисквания. В допълнение към просто осигуряване на **по-високи скорости**, тази световна организация, че 5G мрежите ще трябва да отговорят за нуждите на съвсем нов тип приложения, които досега не са налични в 4G мрежите, като например **Интернет на нещата**, както **нови радио-разпръсквателни услуги**, подобни на тези на служби за спасителните комуникации по време на природно бедствие.



5G комуникационен стандарт – какво ново?

За да отговори на тези изисквания, 5G мрежите ще трябва да възприемат нови „*mesh networking*“ технологии, чрез които устройствата комуникират помежду си директно, а не да се разчита на базови станции на мрежови оператори. Това ще увеличи наличната честотна лента (1000 пъти), по-ниска консумация на енергия (90 %), намаляване на разходите за инфраструктура, подобряване на спектралната ефективност и увеличаване на устойчивостта на мрежата, по-бърз отклик на системата (<1 ms).

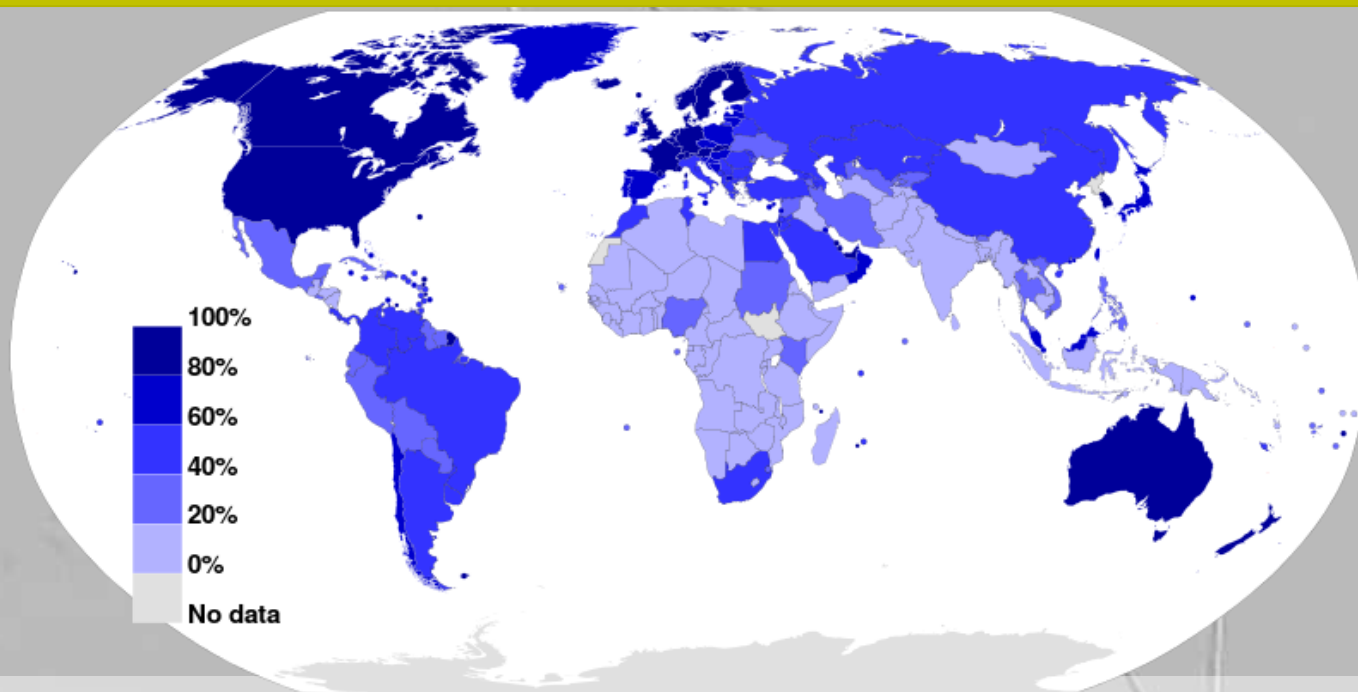




КАК СЕ ДОСТАВЯ ИНТЕРНЕТ ЗА ХОРАТА? ИНТЕРНЕТ НА НЕЩАТА (IoT)



Световна карта на разпространението на Интернет сред населението в целия свят (2015)



До 2003 г. доставката на Интернет става главно по жични мрежи (Intranet);
От 2003 г. безжичният Интернет (чрез Wi-Fi мрежи) надхвърля жичния;
От 2014 г. насам най-голям е трафикът на мобилен Интернет (главно чрез устройствата в GSM мрежата). След 2020 г. се очаква реална поява на Giga-bit Wireless (1-10 Gb/s), осъществен от базови станции с пряка видимост на носещи честоти ~десетки/стотици GHz (вкл. THz обхват). Очаква се част от бъдещият интернет да е от космоса (IoS, Интернет чрез спътници). Очаква се Интернет в офиса да се осъществява чрез оптични Li-Fi мрежи от няколко m

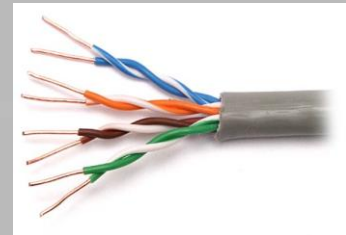
С какви физически носители се доставя Интернет за потребители? (изкл. Mobile/WiFi Wireless)

- Чрез жична връзка:

Усукана двойка: Скорост – (1950 – 110 b/s; 1990 – 64 kb/s.

Сега: при сим. връзка SDSL ~150 b/s; асиметрична връзка ADSL: до 4 Mb/s; 2015 (FCC) – “Basic Broadband”: 25 Mb/s downstream; 3 Mb/s upstream

Коаксиален кабел: 250 Mb/s downstream; 20 Mb/s upstream



- Чрез оптична връзка (фибро-оптика)

Единични влакна: до 40 km, с повторители – 1.7 Gb/s; до 50-100 km, с усилватели – 25 Gb/s; до 20 000 km, солитонно влакно – 50 Gb/s; Многомодово влакно + WDM мулти-плексиране: типично ~2-3 Tb/s; постижения: за 50 до 200 km – от 15 до 1000 Tb/s (зависи от дисперсията)



- Чрез кабелите на енергийната мрежа (BPL – до 2.7 Mb/s)

- Чрез сателитна връзка (Скорост от 2 kb/s до 1 Gb/s downstream и от 2 kb/s до 10 Mbit/s upstream; HTS)





Gigabit Wireless – възможно ли е да се постигне скорост 1-10 Gb/s при безжично предаване на данни и висок капацитет?

За да се постигне висока скорост при висок капацитет в безжичните мрежи са необходими специални мерки и специални технологии, които са разгледани в лекцията:



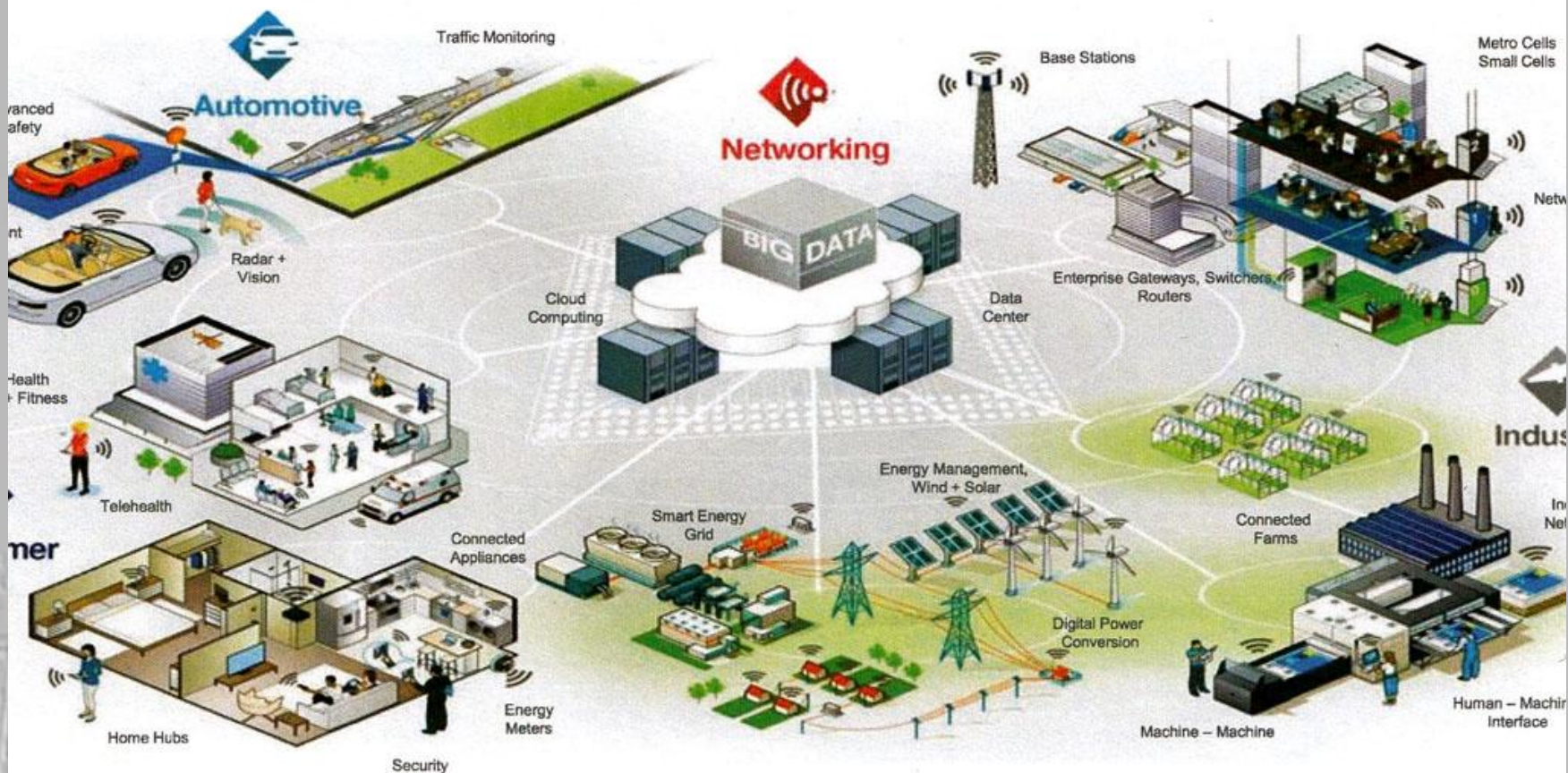
- Клетъчна мрежа; преизползване на честотата. Интензивни методи за увеличаване на капацитета.
- Хендовер.
- Ефективност на покритието.
- Ефективни методи за достъп на много потребители до канала.
- Кодиране на речта, канала и интерливинг.
- Модуляции в безжичните комуникации.
- Ортогонални канали.
- Адаптивни модуляции.
- Влияние на различни физични процеси: затихване, отражение, дифракция, разсейване, засенчване, Доплеров ефект и др.
- Многолъчево разпространение; статистически ефекти.
- MIMO технологии.
- Умни антени.
- Спектрална ефективност.



Интернет на Нещата (IoT)

Интернет на Нещата (IoT) е система от взаимосвързани компютърни устройства, механични и цифрови машини, предмети, животни или хора, които са снабдени с уникални идентификатори и възможността за прехвърляне на данни по мрежа, без да се изисква от взаимодействие „човек-човек“ или човек-компютър“.

Internet of Things





Интернет на Нещата (IoT)

Интернет на Нещата (IoT) е мрежа от физически обекти или "неща" с вградени електроника, софтуер, сензори и свързаност, за да може да се постигне по-голяма производителност и услуги чрез обмен на данни с производител, оператор и/или други свързани устройства. Всяко „нещо“ е еднозначно идентифицирано чрез вградените компютърни системи, но „нещата“ са в състояние да си взаимодействат в рамките на съществуващата интернет инфраструктура. Терминът "Интернет на нещата" е документиран за първи път от британски мечтател Kevin Ashton през 1999 г. Обикновено, IoT се очаква да предложи

по-напреднала свързаност на устройства, системи и услуги, което е над известната machine-to-machine технология (M²M) и обхваща различни протоколи, домейни и приложения. Взаимното свързване на тези вградени устройства (включително интелигентни обекти), се очаква да възвести автоматизация в почти всички области, а също така позволява по-сложни приложения, като Smart Grid.





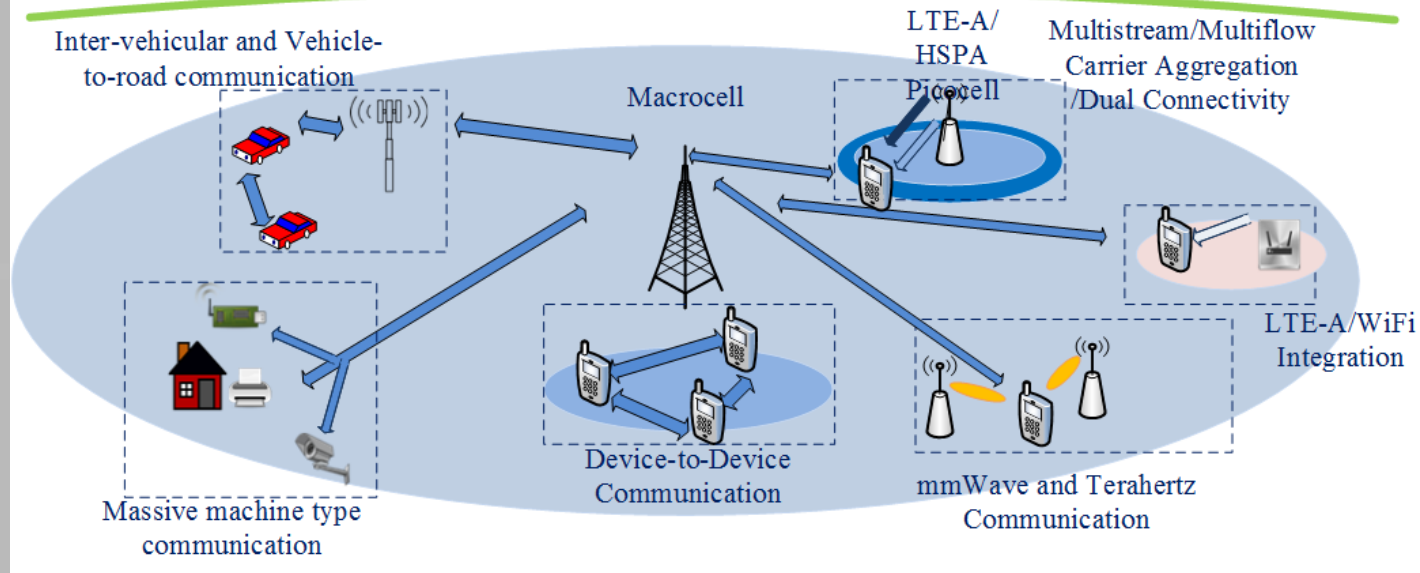
Интернет на Нещата (IoT)

И така, Интернет на Нещата може да се отнася до широк спектър от различни устройства. Тези устройства се събират полезни данни с помощта на различни съществуващи технологии и след това автономно ще обменят потока от данни между различни устройства. Освен изобилието от нови области на приложение, IoT се очаква да се генерира големи количества данни от различни места, които се натрупват много бързо, което повишава необходимостта от по-добро съхраняване обработка на такива данни големи масиви от данни (Big Data).



300 MHz

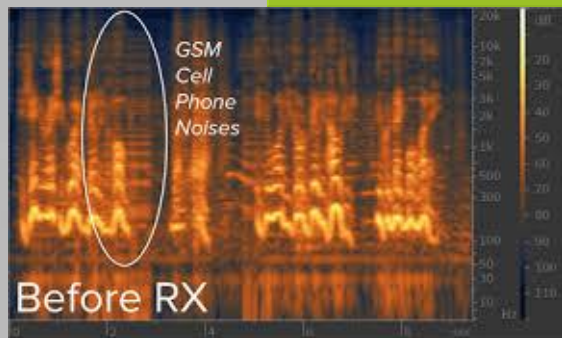
300 GHz



НОВОТО 5G КОМУНИКАЦИОННО ПОКОЛЕНИЕ: ПОВЕЧЕ ФИЗИКА И ТЕХНОЛОГИИ, ОТКОЛКОТО СОФТУЕР И IT



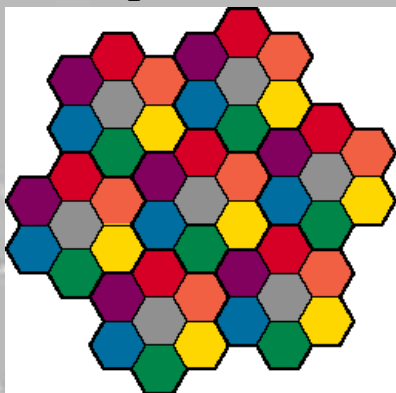
OFDMA достъпът увеличава ефективността на преизползване на честотата (frequency reuse)



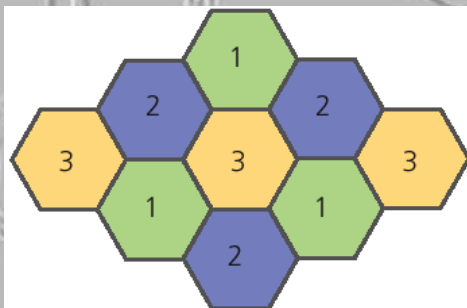
GSM сигнали, повлияни от
интерференция

Комуникационни мрежи с теснолентови канали се влияят силно от интерференцията. Затова в клетъчните системи се използва понятието „Reuse factor” D/R, което при GSM е ~ 4.6 . Но и това е доста неефективно, особено за новите поколения 3G/4G мрежи. При тях съществено нарастват изискванията за ефективно използване на спектъра и противодействие на многолъчевостта и междусимволната интерференция. Решение на проблема е използването на OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) метод за достъп който не се нуждае от “преизползване” на честотата, както в GSM (reuse factor $\sim 1-3$ вместо 4.6, както е в GSM). Най-често клетката се дели на 3 части, като във всяка 120° област се ползват различни честотни канали.

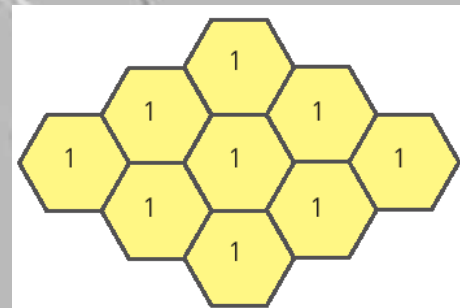
D/R ~ 4.6 при 2G GSM TDMA



D/R $\sim 1/3$ при 3G GSM WCDMA



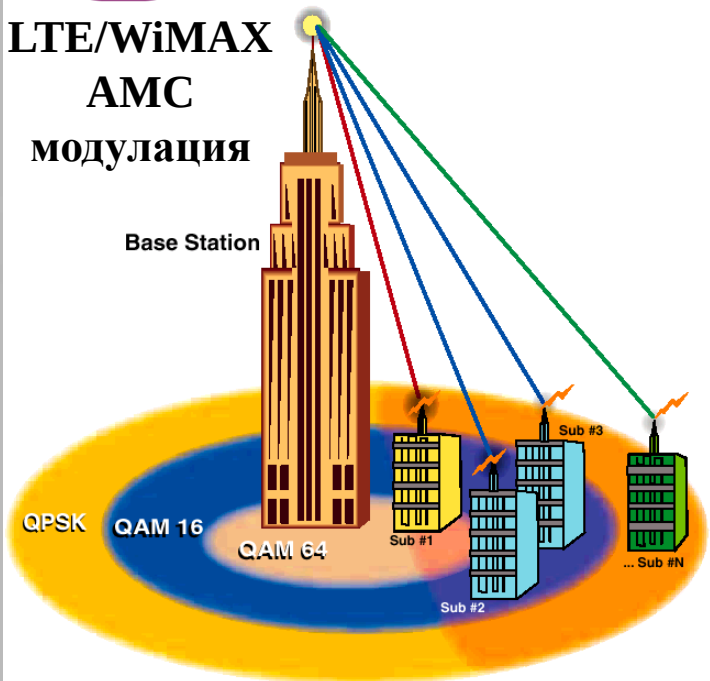
D/R ~ 1 при 4G LTE/ WiMAX OFDMA





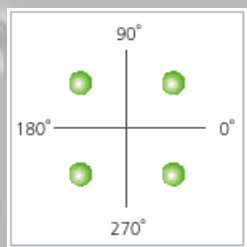
Адаптивна модулация в LTE/ WiMAX мрежите

LTE/WiMAX AMC модулация

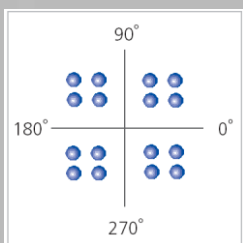


Друга важна характеристика на 4G LTE/WiMAX е прилагането на специален тип адаптивна модулация на сигнала AMC (Adaptive Modulation and Coding) с цел да се оптимизира скоростта в Mb/s от условията на многолъчево разпространение на сигнала, интерференция и шум (вж. фигурата). Голяма скорост се постига с модулации от висш тип – на-пример 64-QAM или 16-QAM. Те, обаче, мога да се използват на по-близки разстояния до антената, където има пряка видимост и отношението сигнал-шум S/N е достатъчно високо. На далечни разстояния, където S/N се влошава, се използва по-нисш тип модулация, напр. Стандартната QPSK, но скоростта намалява. Комбинацията OFDMA достъп до канала с адаптивна AMC модулация дава предимства пред обикновената WCDMA 3G-технология.

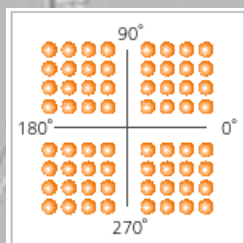
Пример за OFDMA достъп



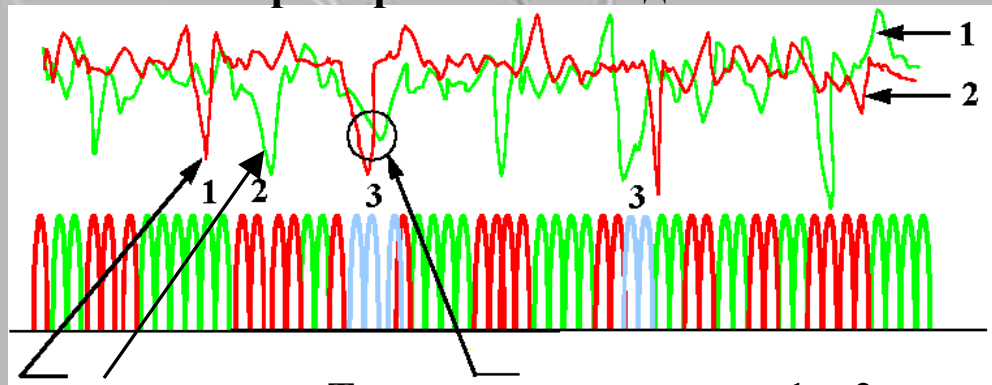
QPSK



16 QAM



64 QAM



Тук сигналът на потребител 2 има дълбок фадинг и той избягва канала; подобно и за потребител 1

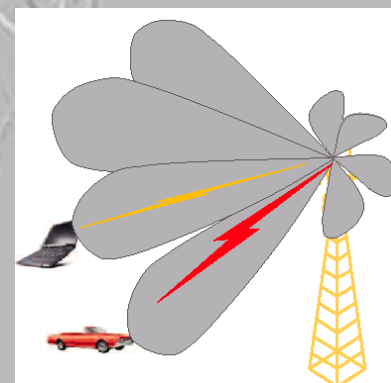
Тук и двата сигнала на 1 и 2 имат дълбок фадинг и каналът се използва от трети потребител 3



Адаптивна антенна система (AAS) (Умни антени)

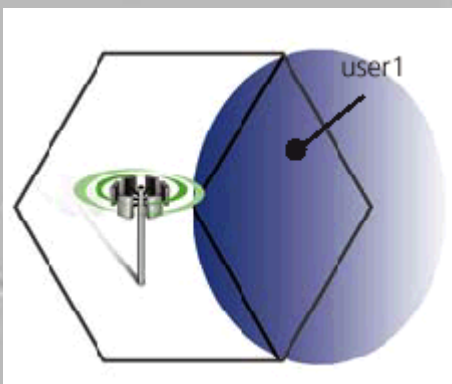
Малко стандарти, вкл. WiMAX, могат да използват адаптивни антенни системи AAS (“умни антени”, виж Лекция 3) в базовите станции (downlink канал). Тези системи позволяват да се фокусират единични лъчи, да се сканират и да имат по-голямо усилване с цел да се предава сигнал на по-големи разстояния, което е ключова характеристика на WiMAX. Фокусирайки се върху даден потребител, системата позволява да се изключат непредвидими интерференции и паразитен шум, т.е. да се повиши нивото C/I (Carrier/Interference).

WiMAX стандартът поддържа няколко технологии на “умни антени”, между които MIMO (multiple-input, multiple-output) и AAS (advanced/adaptive antenna systems). MIMO технологията използва няколко Tx/Rx антени, докато AAS се базира на други две модерни техники: STC (space-time coding) или на формиране на тесен лъч в антенна решетка. Понеже OFDMA технологията за достъп използва широколентови канали, но с теснолентови под-носеци, AAS се поддържа много по-лесно в устройствата и мрежата на WiMAX, отколкото в CDMA мрежите.

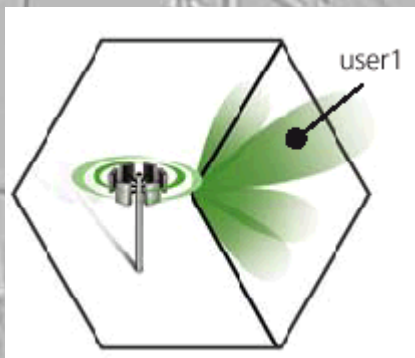


**AAS, Downlink,
SDMA достъп**

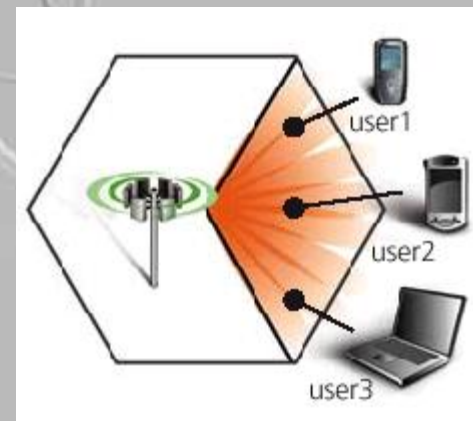
**Обикновена
секторна клетка**



**Секторна клетка с
въртящ се лъч**



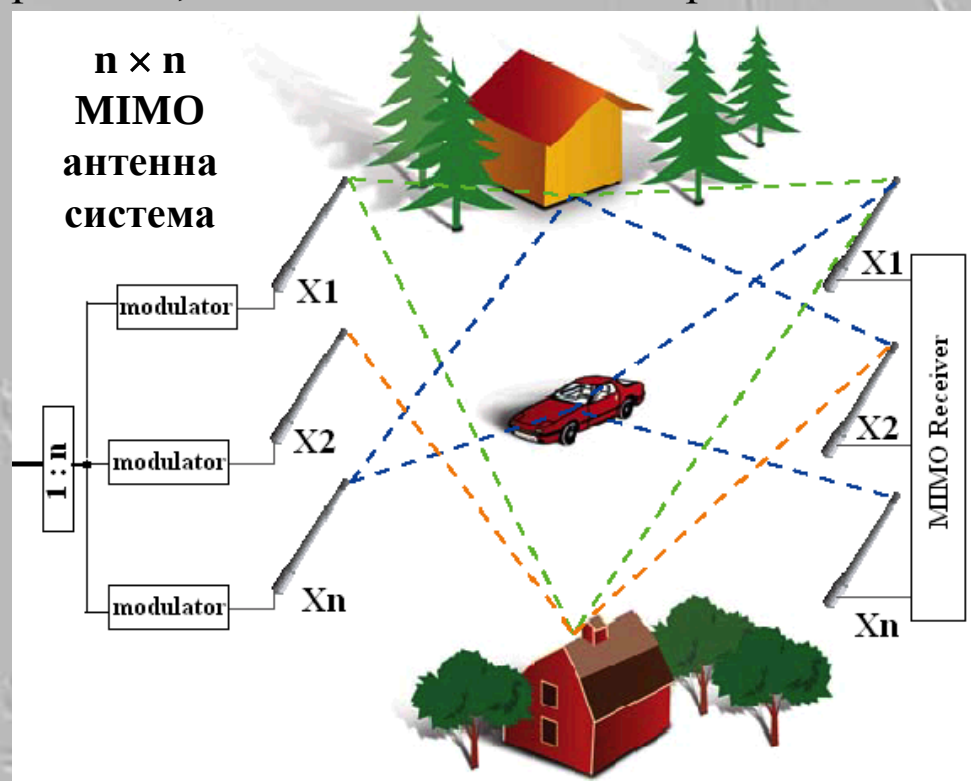
**Секторна клетка с
превключване на
много лъчи**





MIMO технология

MIMO (multiple-input, multiple-output) технологията, която се поддържа от WiMAX, използва множество приемни и/или излъчващи антени за т.нар. пространствено мултиплексиране. Тя използва повече от една радио- и антенни системи на всеки край на безжичната мрежа – базовата станция BTS и потребителската станция SS. Тази технология (space diversity) е известна отдавна, но едва съвременните миниатюрни Tx/Rx блокове и антени позволяват подобна технология да е лесно изпълнима и евтина. При MIMO n приети сигнала се комбинират така, че съществено се подобрява нивото и качеството на общия сигнал. Освен тази опция, MIMO позволява пренос на данни в паралел, с което да се увеличи битовата скорост. Например 2×2 MIMO ($2T_x / 2R_x$) с двойна поляризация в системи “point-to-point” носещите честоти се използват по 2 пъти и скоростта на пренос на данни расте двойно. В “point-to-multipoint” системите с MIMO технология всяка BTS излъчва различни потоци от данни, а SS приема различни части от излъчените сигнали с различни свои антени и като използва подходящ алгоритъм може да отдели и декодира паралелните потоци от данни. За пример, мобилният WiMAX стандарт използва 4×4 MIMO технология.

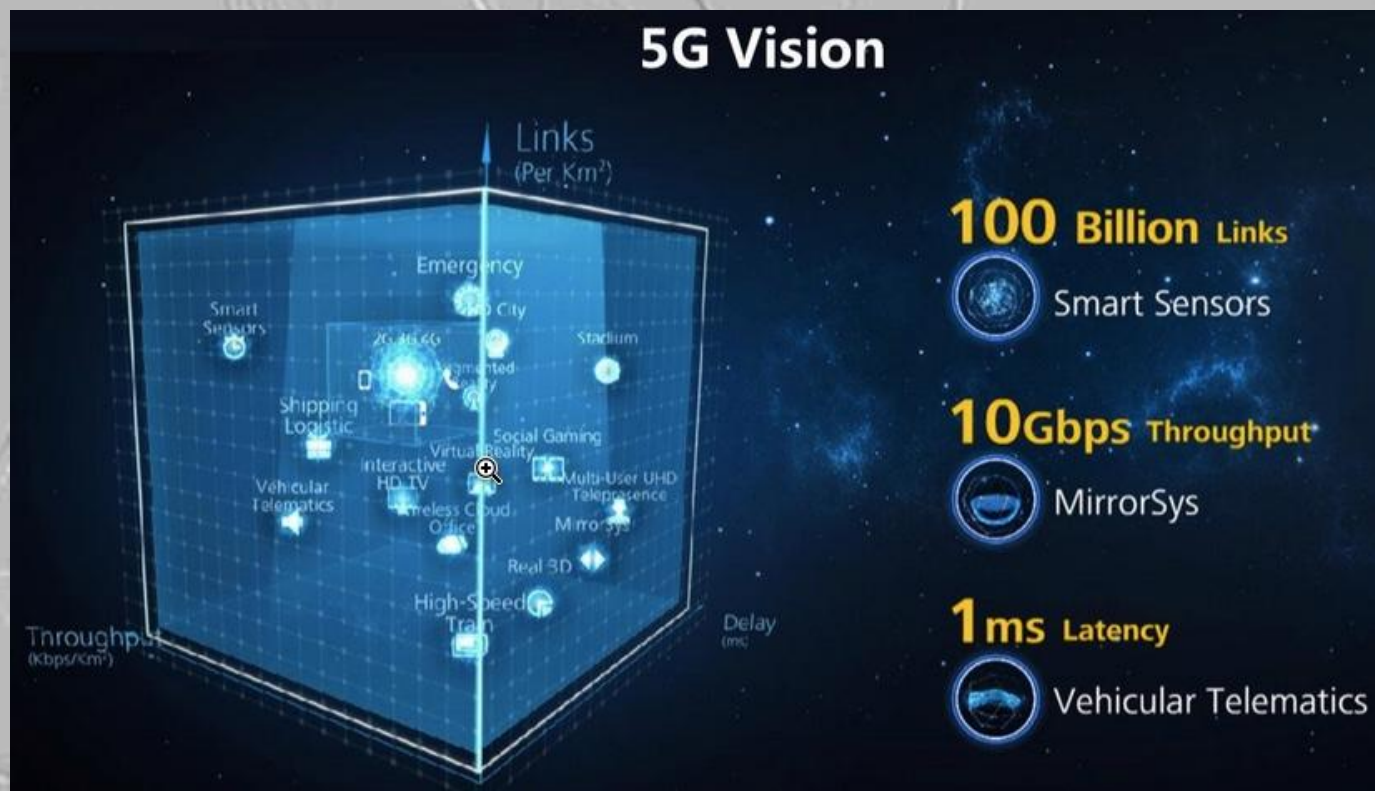


Даден е пример за MIMO технология за пространствено разнасяне на приет/излъчен сигнал и пренос на паралелни потоци данни. Приетият сигнал е $R(t) = h_1X_1 + h_2X_2 + \dots + h_nX_n$.



Заклучение

- Бъдещето е ясно: след 2020 ще имаме нова 5G мрежа със значително по-висока скорост на предаване на данни – до 10 Gb/s (!), което 10 пъти над тази в 4G LTE Advanced, 100 пъти над тази в 4G LTE и над 750 000 пъти над тази в днешния 2G GSM.





Заклучение

- Много ниска латентност на мрежите (т. е. нищожно време за изпращане на един пакет от данни): $< 1\text{ ms}$ срещу $\sim 50\text{ ms}$ в 4G мрежите. Това е важно за много индустриални приложения, които изискват бърза реакция и реално онлайн управление, напр. коли без шофьори (driverless cars).





Заклучение

- Много „по-свързан“ свят: **Internet of Things**: умни къщи, умни домакински уреди, умни дрехи, свързани коли – всички те ще се нуждаят от мрежа, която може да побере и обслужи милиарди свързани устройства. Част от предизвикателствата на 5G е да осигури този огромен капацитет, а също да бъде в състояние гъвкаво да задели необходимата честотна лента в зависимост от нуждите на потребителя и приложенията.





Enter Keywords

Entire Site

FIND

Recent Searches [rf microwave engineer number](#) / [engineer number](#) / [engineer number](#) / [cambridge consultants](#) / [bessemer venture partners](#)

[Home](#) » [Nokia demonstrates world's first 5G-ready network](#)

5G/Massive MIMO Channel / Industry News / European Industry News Nokia demonstrates world's first 5G-ready network

Nokia

June 28, 2016

От 28 Юни 2016!

No Comments

[EMAIL](#) / [PRINT](#) / [REPRINTS](#) / [f](#) [t](#) [in](#) | [MORE](#) / [TEXT SIZE+](#)

Related Articles

[Nokia Networks, NYU WIRELESS host Brooklyn 5G Summit](#)

[NSN and NYU WIRELESS bring first-ever 5G Summit to Brooklyn](#)

Related Events

[COMSOL Training Courses](#)

[WindEnergy](#)

Nokia is to make the first ever demonstration of a 5G network running on commercial platforms as part of its showcase at 5G World that will underline the momentum of bringing 5G to commercial reality. Following the successful launch in February of the industry-first 5G-ready AirScale Radio Access technology Nokia will demonstrate AirScale working together with its Cloud Packet Core, running on a Nokia AirFrame data center platform, the foundation of a commercial 5G architecture.

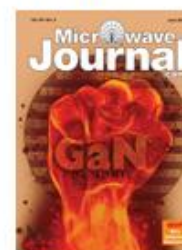
This demonstration will be one of a number of activities at 5G World that Nokia will conduct to update the industry on its progress in realizing the potential of 5G and the creation of a seamless fabric of dynamic networks serving a multi-connected world. Via product and technology demonstrations as well as keynote sessions, Nokia will explain how it is accelerating the development and standardization of 5G and providing the technological means for operators to prepare and unlock the full potential of their

Advertisement

For fundamentals –
Click [here!](#)



In Print



[Digital Edition](#)
[Online Edition](#)

Featured

Get Your GaN Here: RF GaN Foundry Survey



Благодаря за
вниманието

