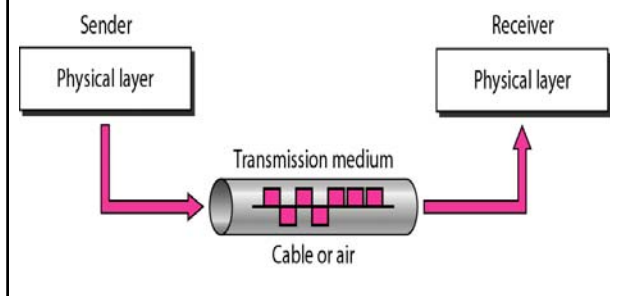


## Физически слой: Преносна среда



1

## Преносна среда: Общ преглед

- Физически път между предавателя и приемника
  - Кабелна/проводна среда**
    - Твърда среда (кабел, проводници)
    - Средата е по-важна!
  - Безжична среда**
    - Атмосфера, космическо пространство, вода, плазма.
    - Честотната лента, осигурена от антената е по-важна!
- Основният акцент е върху осигурената скорост на предаване и покриваното разстояние
  - В реципрочна зависимост

2

## Преносна среда: Типове

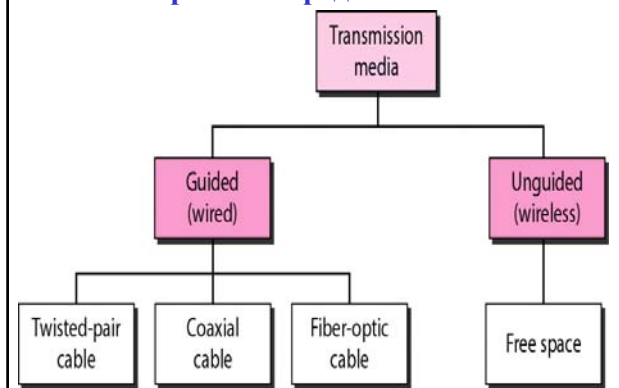
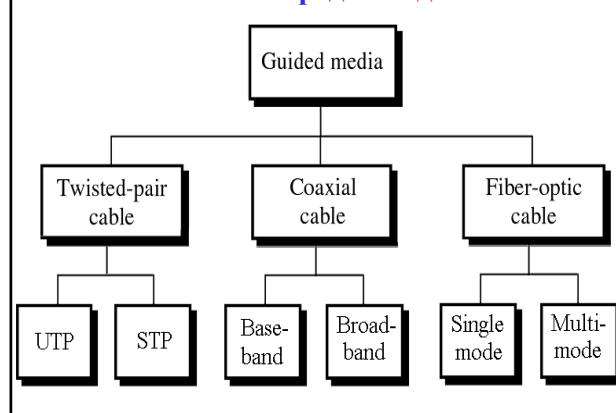


Figure 7.2 Forouzan, B.A., Data Communications and Networking, 4<sup>th</sup> ed., McGraw-Hill, 2007

4

## Кабелна среда: Видове



5

## Кабелна среда: Усукана двойка проводници

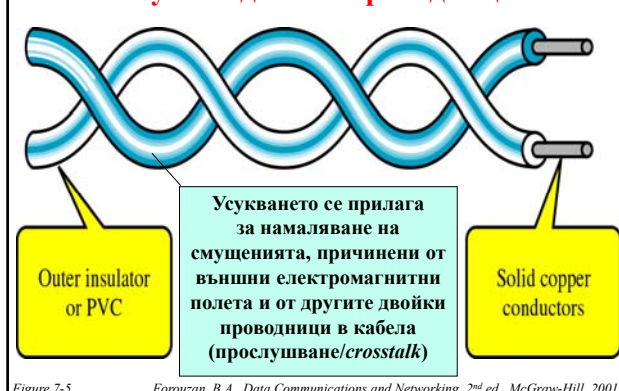


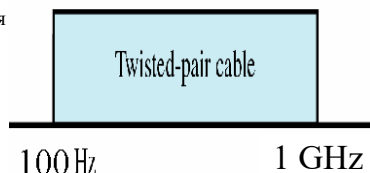
Figure 7-5 Forouzan, B.A., Data Communications and Networking, 2<sup>nd</sup> ed., McGraw-Hill, 2001

6

## Кабел с усукани двойки проводници

Най-използван в:

- Телефонни мрежи
  - По абонатната линия между дом/офис и АТЦ
  - В сгради (напр. за свързване към УТЦ)
- Локални компютърни мрежи (LANs)
  - 10 Mb/s, 100 Mb/s, 1 Gb/s, 10 Gb/s, ...



9

## Кабел с усукани двойки проводници: Предимства и недостатъци

### • Предимства

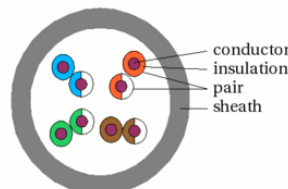
- Евтин
- Гъвкав
- Удобен за работа

### • Недостатъци

- Ниска скорост на предаване (поради ограничената честотна лента)
- Малък обем (покрытие)
- Податлив на смущения и шум

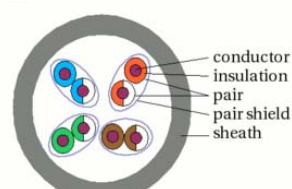
10

## Кабел с усукани двойки проводници: Типове (1)



Неекранирана усукана двойка  
(Unshielded Twisted Pair, UTP)

- Липсата на екран води до висока степен на **гъвкавост**
- Използва се в Ethernet LANs и телефонни инсталации
- **Евтина среда и лесна инсталация**
- Влия се от външни електромагнитни смущения и прослушване



Екранирана усукана двойка  
(Shielded Twisted Pair, STP)

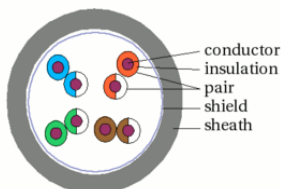
- **Метален екран около всяка двойка, предпазващ от външни електромагнитни смущения и прослушване**
- По-скъпа среда
- По-трудна инсталация (по-дебели, по-тежки кабели)
- По-добро качество от UTP

11

## Кабел с усукани двойки проводници: Типове (2)

S/UTP - FTP - S/FTP

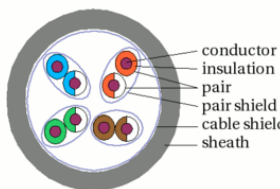
S/STP



Screened Unshielded Twisted Pair (S/UTP) a.k.a.:

- Fully-shielded (or Foiled) Twisted Pair (FTP)
- Screened Fully-shielded Twisted Pair (S/FTP)

- **Защита от външни електромагнитни смущения**



Screened Shielded Twisted Pair (S/STP)

- STP окабеляване с метален екран, покриващ целия кабел.

- **Защита от външни електромагнитни смущения и прослушване (crosstalk)**

12

## UTP категории

- **Cat. 5e (5+)**
  - Enhanced cat. 5
  - **Improvements: 35% in resistance; 5% in attenuation; 6dB in NEXT.**
  - Currently defined in TIA/EIA-568-B
  - Provides performance of up to 125 MHz
  - Frequently used for both 100Mbps and Gigabit Ethernet LANs
- **Cat. 6**
  - Currently defined in TIA/EIA-568-B
  - Provides performance of up to 250 MHz (more than double category 5 and 5e)
  - Cat. 6A goes up to 500 MHz
- **Cat. 7**
  - Informal name applied to ISO/IEC 11801 Class F cabling
  - Attempt close to Foil TP (FTP)
  - Designed for transmission at frequencies up to 600 MHz
  - Cat. 7A goes up to 1 GHz
- **Неизползвани категории: Cat. 1/2/3/4/5**

16

## UTP конектори

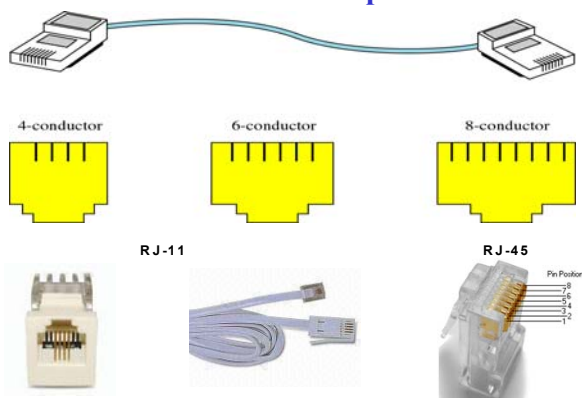


Figure 7-9 Forouzan, B.A., Data Communications and Networking, 2<sup>nd</sup> ed., McGraw-Hill, 2001

17

## Кабелна среда: Коаксиален кабел

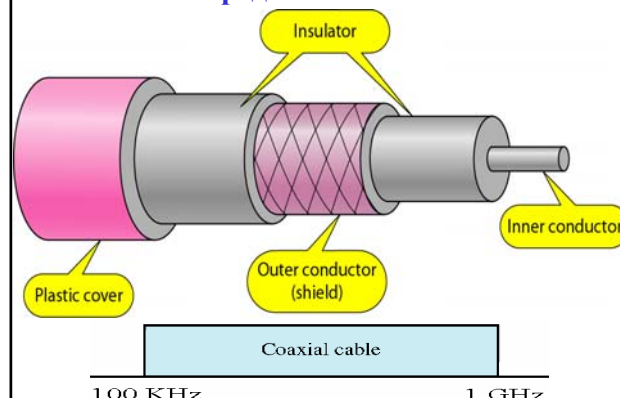


Figure 7.7 Forouzan, B.A., Data Communications and Networking, 4<sup>th</sup> ed., McGraw-Hill, 2007

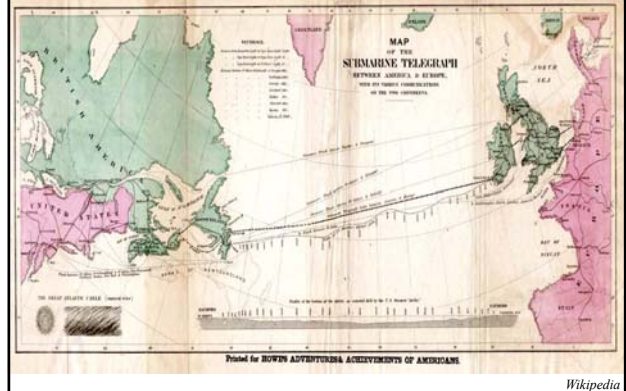
18

### Коаксиален кабел: Приложения

- ТВ разпространение
  - Кабелна телевизия (CATV)
- Междуселищни телефонни трасета
  - Може да пренася десетки хиляди телефонни разговори едновременно
  - Повсеместно заместване с оптичен кабел
- Комуникационни линии между компютърни системи на къси разстояния (в миналото)
- LANs
  - 10 Mb/s Ethernet (10 Base 2/5)

19

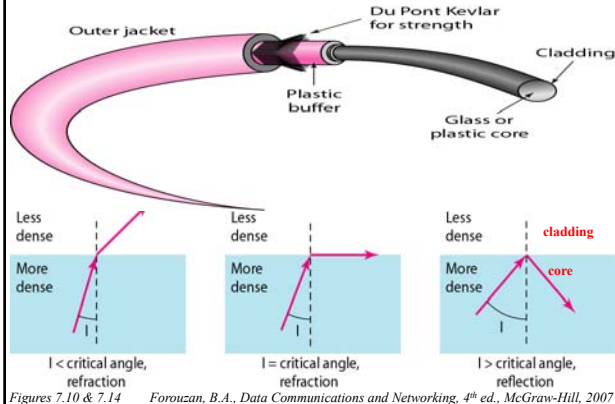
### Коаксиален кабел: Първа дълготрайно-използвана презокеанска инсталация (1866 г.)



Wikipedia

20

### Кабелна среда: Оптичен кабел



Figures 7.10 &amp; 7.14 Forouzan, B.A., Data Communications and Networking, 4th ed., McGraw-Hill, 2007

24

### Оптичен кабел: Характеристики

- Използва пълно вътрешно отражение за предаване на сигнали под формата на светлинни лъчи
  - Честотна лента:  $10^{14} \div 10^{15}$  Hz
  - Части от инфрачервения и видимия спектри
- Използвани източници на светлина:
  - Светодиод (LED)
    - Ниска цена
    - Широка температурна област на работа
    - Висока толерантност към влажност
    - Ниска консумация на ел. енергия
    - Минимално топлинно излъчване
    - Дълъг живот
  - Инжекционен лазерен диод (ILD)
    - По-ефективен
    - По-голяма скорост на предаване

25

### Оптичен кабел: Типове

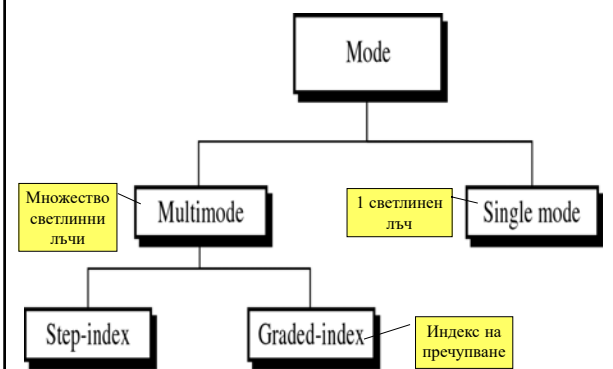


Figure 7.12 Forouzan, B.A., Data Communications and Networking, 4th ed., McGraw-Hill, 2007

26

### Оптичен кабел: Multimode Step-Index

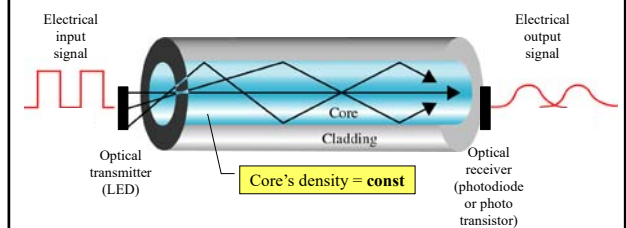
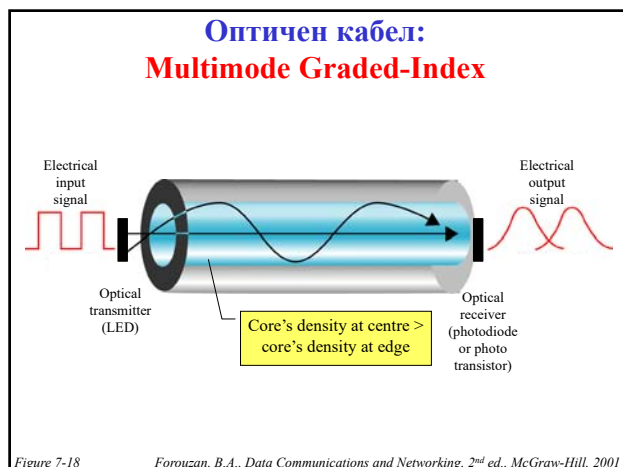
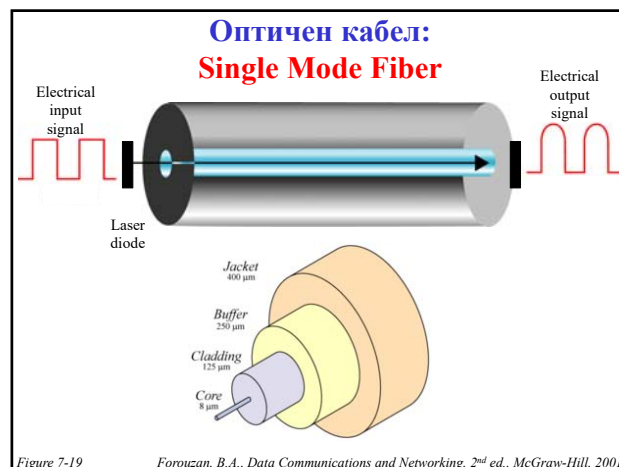


Figure 7-17 Forouzan, B.A., Data Communications and Networking, 2nd ed., McGraw-Hill, 2001

27



28



29

**Оптически кабел: Конектори**

Type	Core (µm)	Cladding (µm)	Mode
50/125	50.0	125	Multimode, graded index
62.5/125	62.5	125	Multimode, graded index
100/125	100.0	125	Multimode, graded index
7/125	7.0	125	Single mode

Table 7.3 & Figure 7.15 Forouzan, B.A., Data Communications and Networking, 4<sup>th</sup> ed., McGraw-Hill, 2007

30

- Оптически кабел: Предимства и недостатъци**
- Предимства:**
- Широка честотна лента
  - Висока скорост на предаване – стотици Tb/s
    - Световен рекорд (авг. 2021): 319 Tb/s на разстояние 3001 km  
<https://spectrum.ieee.org/world-record-data-transmission-speed-smashed>
  - Малки размер и тегло
    - Намалена изискванията за структурно окабеляване
  - Слабо затихване на сигнала
  - Електромагнитна изолация
    - Неуязвим към смущения, импулсен шум и прослушване.
    - Висока степен на защита от подслушване
  - Голямо разстояние м/у регенераторите/повторителите
    - Десетки километри (и повече)
    - По-ниска себестойност и по-малко грешки
- Недостатъци:**
- Висока цена
    - Особено на терминаторите и мрежовите карти
  - Сравнително трудна инсталация и поддръжка
  - Чупливост!

31

**Оптически кабел:**  
**Приложения**

- Комуникационни трасета на дълги разстояния
- Абонатни линии (FTTx)
- WANs/MANs/LANs

Wavelength (in vacuum) range (nm)	Frequency Range (THz)	Band Label	Fiber Type	Application
820 to 900	366 to 333		Multimode	LAN
1280 to 1350	234 to 222	S	Single mode	Various
1528 to 1561	196 to 192	C	Single mode	WDM
1561 to 1620	192 to 185	L	Single mode	WDM

Table 4.3 Stallings, W., Data and Computer Communications, 9<sup>th</sup> ed., Prentice Hall, 2011

32



33



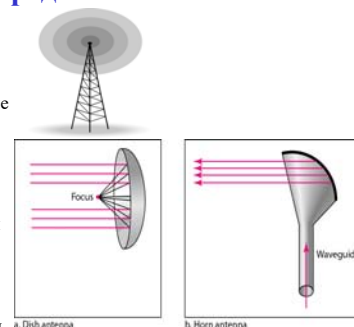
### Безжична среда

- Безжично предаване
  - Предаване и приемане чрез антени
- 2 вида предаване
  - Насочено
    - Чрез фокусиран лъч
    - Изисква внимателно насочване/подравняване
  - Многопосочно (*omnidirectional*)
    - Сигналът се разпространява във всички посоки
    - Може да бъде приет от много антени

35

### Безжично предаване: Честоти

- 30 MHz ÷ 1 GHz
  - Честоти за радиоразпръскване (*broadcast radio*)
  - Многопосочно предаване
- 1 GHz ÷ 40 GHz
  - Микровълнови честоти
  - Силно насочен лъч
  - Предаване тип „точка-точка“ (*point-to-point*)
  - Сателитни комуникации
  - Теснолентови микровълнови WLAN
- $3 \times 10^{11} \div 2 \times 10^{14}$  Hz
  - Инфракчервени честоти
  - Локални предавания тип „точка-точка“ и „точка-много точки“ в ограничена зона
  - Напр. LAN в рамките на 1 стая



36

VLF	Very low frequency	VHF	Very high frequency
LF	Low frequency	UHF	Ultra high frequency
MF	Middle frequency	SHF	Super high frequency
HF	High frequency	EHF	Extremely high frequency

### Радио и микровълнови честоти

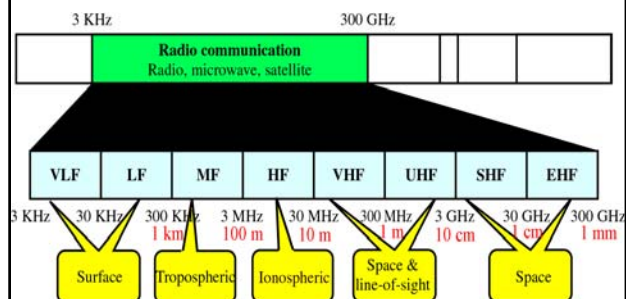


Figure 7-21 Forouzan, B.A., Data Communications and Networking, 2nd ed., McGraw-Hill, 2001

37

### Видове разпространение

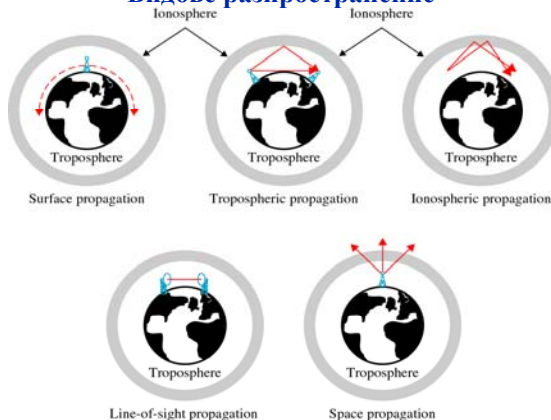


Figure 7-22 Forouzan, B.A., Data Communications and Networking, 2nd ed., McGraw-Hill, 2001

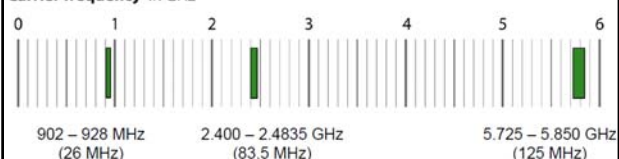
38

### Честоти за свободно използване за промишлени, научни и медицински цели (*ISM bands*)

#### Idea behind ISM bands:

- Set aside some frequency bands for industrial or scientific processes or medical equipment
- Allow operation without having a license from the government, provided the devices comply with (low-)power constraints
- Decision made by FCC in 1985 to open these bands

#### Carrier frequency in GHz



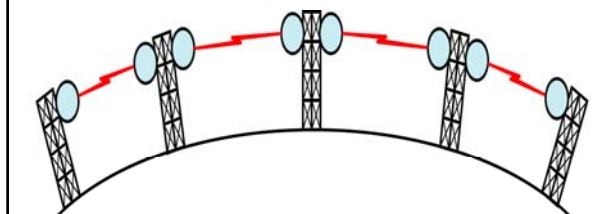
39

### Радиоразпръскване (*broadcast radio*)

- Например:
  - FM радио
  - UHF and VHF телевизия
- 30 MHz ÷ 1 GHz
- Многопосочно предаване
- Ограничено предаване – в рамките на „пряка видимост“ (*line of sight*)
- Страда от многолъчеви смущения (*multipath interference*)
  - Отразяване от земни или водни повърхности, изкуствени обекти и пр.

40

### Наземно микровълново предаване



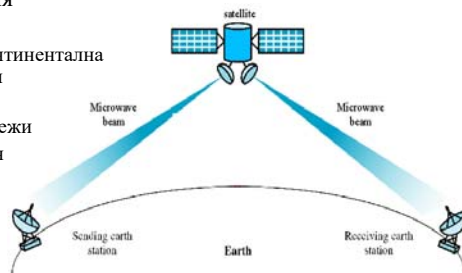
- **Параболични антени** (с фокусиран тесен лъч срещу приемащата антена)
- Разположени на значителна височина над земната повърхност с цел увеличаване на обхвата и преодоляване на препятствия
- **Пряка видимост** (*line of sight*)
- За по-големи разстояния са нужни множество релейни кули, изп. съединения тип „точка-точка“, напр. за предаване на глас или ТВ.
- По-високите честоти са предпоставка за по-големи скорости

Figure 7-31 Forouzan, B.A., Data Communications and Networking, 2nd ed., McGraw-Hill, 2001

41

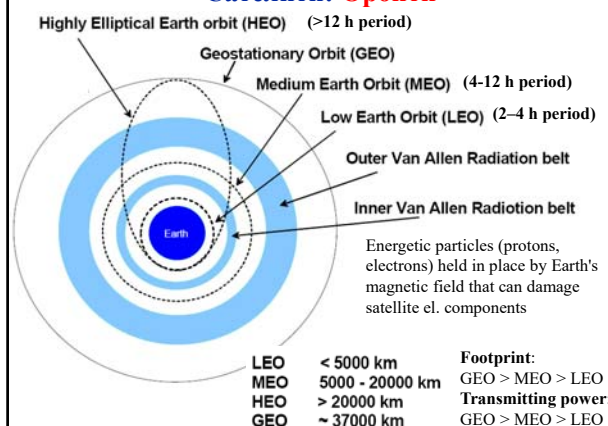
### Сателитно микровълново предаване

- Сателитът е релейна станция
- Съдържа няколко транспондера
  - Транспондерът приема сигнал на една честота, възстановява го, усилва го и го предава на друга честота.
- Лъчът надолу към Земята може да е широк!
- Приложения
  - SAT TV
  - Междуконтинентална телефония
  - Частни бизнес мрежи
  - Навигация



42

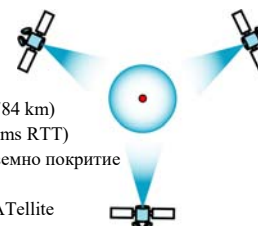
### Сателити: Орбити



43

### Сателити: Видове

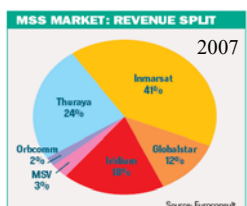
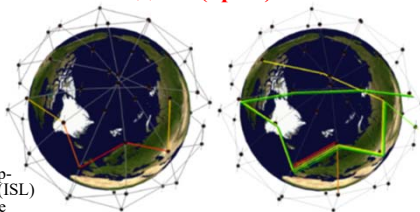
- **GEO**
  - Геосинхронна орбита
  - Голяма височина (20,000 miles / 35,784 km)
  - Най-дълго забавяне на сигнала (250 ms RTT)
  - 3 сателита са необходими за пълно земно покритие
  - ~300 функциониращи спътника
  - **Inmarsat** (INternational MARitime SATellite Organization) - 11 сателита (2005 г.)
  - **Thuraya** – регионален сателитен телефонен доставчик, главно в Европа, Близкия изток, Африка (3 сателита)
- **MEO**
  - Трябва да се проследяват, докато се движат по небето.
  - Необходима е мрежа от сателити за осигуряване на непрекъснато покритие
  - Навигационни сателити, напр. GPS (24 сателита).



44

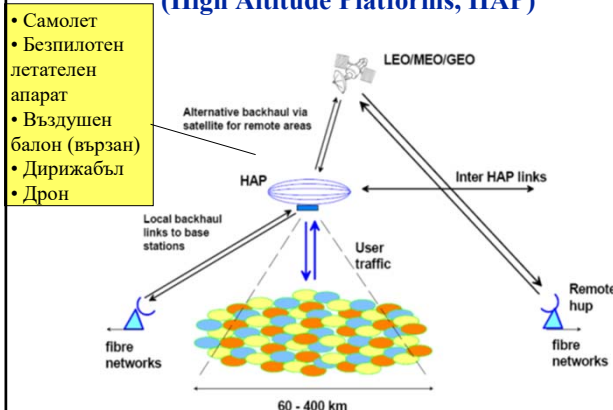
### Сателити: Видове (прод.)

- **LEO**
  - Сателитната мрежа, въртяща се относително Земята.
  - Непрекъснато покритие
  - Използват се интерсателитни връзки (ISL) за маршрутизиране на мрежовия трафик
  - **Iridium** (66 сателита, височина=750 km)
    - Телефония
  - **Globalstar** (48 сателита)
  - **Kuiper** (Amazon, 3236 сателита, височина=590-630 km)
    - Високоскоростен Интернет достъп
  - **SpaceX's Starlink** (Elon Musk, ~12000 сателита, височина=350 km)
    - Високоскоростен Интернет достъп



45

### Платформи на голяма височина (High Altitude Platforms, HAP)



46



47

## Инфрочервено предаване

- Постига се с помощта на приемо-предаватели, които модулират некохерентна инфрочервена светлина.
- Използва пряка видимост (*line of sight*) или отражение
- Блокира се от стени и плътни прегради!
- **НЕ се изисква лиценз!**
- **НЯМА проблеми с разпределението на честотите!**
- Приложения
  - Дистанционно управление на прибори и устройства
  - IRD портове на PC
  - Инфрочервени WLAN

48

## Инфрочервени WLAN

- Отделна клетка, ограничена до 1 стая.
  - Защото инфрочервените лъчи НЕ проникват през плътни стени
- **Предимства**
  - Инфрочервеният спектър е почти неограничен
    - Възможност за високи скорости
  - Инфрочервеният спектър е нерегулиран/нелицензиран по света
  - Естествено защитена комуникация срещу външно подслушване
  - Няма взаимни смущения между инфрочервени WLAN клетки в съседни помещения
  - Просто и евтино оборудване
- **Недостатъци**
  - Интензивни инфрочервени фонове излъчвания въздействат като шум
    - От слънчева светлина и вътрешно осветление
    - Ограничават обхвата
  - Налагат използването по-висока мощност на предаване
    - Проблеми с безопасността на очите
    - Прекомерна консумация на енергия

49

## Инфрочервени WLAN: Конфигурации

- Насочено излъчване (*direct-beam*)
  - За комуникации тип „точка-точка“
  - Изисква фокусиране (тесен лъч от системата от лещи)
  - Обхват от порядъка на километри
  - За свързване м/у сгради
- Многопосочно излъчване
  - Базова станция, монтирана на тавана.
    - Действа **активно** като многопортов повторител (ретранслатор)
    - Разпръсква сигнала към мобилните станции (*broadcast*)
  - Мобилни станции предават насочен лъч към базовата станция
- Дифузно излъчване
  - Всички инфрочервени предаватели са фокусирани и насочени към точка на дифузно отражение на тавана
  - Инфрочервените лъчи, достигайки до тази точка, се отразяват **пасивно** от нея във всички посоки и достигат до всички приемници в същата зона.

50



51

Честотни ленти				
Band	Frequency Range	Free-Space Wavelength Range	Propagation Characteristics	Typical Use
ELF (extremely low frequency)	30 to 300 Hz	10,000 to 1000 km	GW	Power line frequencies; used by some home control systems
VF (voice frequency)	300 to 3000 Hz	1000 to 100 km	GW	Used by the telephone system for analog subscriber lines
VLF (very low frequency)	3 to 30 kHz	100 to 10 km	GW; low attenuation day and night; high atmospheric noise level	Long-range navigation; submarine communication
LF (low frequency)	30 to 300 kHz	10 to 1 km	GW; slightly less reliable than VLF; absorption in daytime	Long-range navigation; marine communication radio beacons
MF (medium frequency)	300 to 3000 kHz	1,000 to 100 m	GW and night SW; attenuation low at night, high in day; atmospheric noise	Maritime radio; direction finding; AM broadcasting
HF (high frequency)	3 to 30 MHz	100 to 10 m	SW; quality varies with time of day, season, and frequency	Amateur radio; military communication
VHF (very high frequency)	30 to 300 MHz	10 to 1 m	LOS; scattering because of temperature inversion; cosmic noise	VHF television; FM broadcast and two-way radio; AM aircraft communication; aircraft navigational aids
UHF (ultra high frequency)	300 to 3000 MHz	100 to 10 cm	LOS; cosmic noise	UHF television; cellular telephony; radar; microwave links; personal communications systems
SHF (super high frequency)	3 to 30 GHz	10 to 1 cm	LOS; rainfall attenuation above 10 GHz; atmospheric attenuation due to oxygen and water vapor	Satellite communication; radar; terrestrial microwave links; wireless local loop
EHF (extremely high frequency)	30 to 300 GHz	10 to 1 mm	LOS; atmospheric attenuation due to oxygen and water vapor	Experimental; wireless local loop; radio astronomy
Infrared	300 GHz to 400 THz	1 mm to 770 nm	LOS	Infrared LANs; consumer electronic applications
Visible light	400 THz to 900 THz	770 nm to 330 nm	LOS	Optical communication

Table 4.5  
Stallings, W., Data and Computer Communications, 9th ed., Prentice Hall, 2011

52