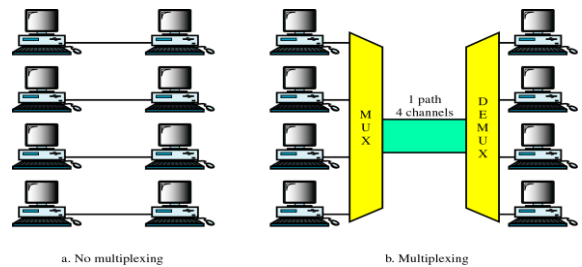# Физически слой:
Мултиплексиране

- Много канали по 1 комуникационна линия
- Няколко предавателя/приемника споделят голям преносен капацитет (на 1 комуникационна линия)
- Ефективното използване на високоскоростни далекосъобщителни линии

Мултиплексиране

a. No multiplexing   b. Multiplexing

- Използва се, когато капацитетът на линията надвишава капацитета на канала.
  - Каналите се мултиплексират за по-ефективно използване на линията (преносната среда)
- Полезно за комуникация на <u>големи разстояния</u>

Figure 8-1   *Forouzan, B.A., Data Communications and Networking, 2nd ed., McGraw-Hill, 2001*

Мултиплексиране: Категории
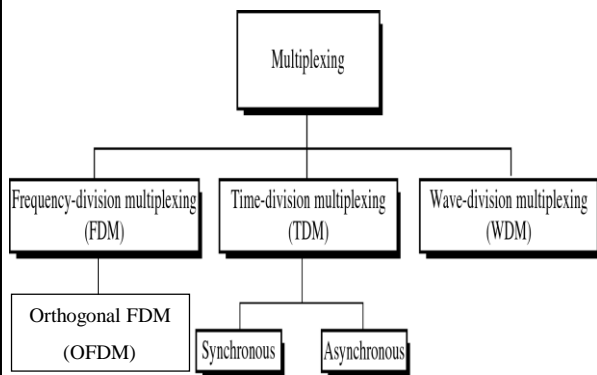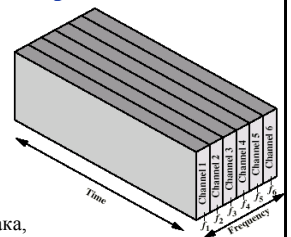

Figure 8-2   *Forouzan, B.A., Data Communications and Networking, 2nd ed., McGraw-Hill, 2001*

Честотно мултиплексиране (FDM)

- Входящи сигнали
  - *Аналогови* (или цифрови, преобразувани в аналогови)
  - <u>Пренасяни едновременно</u>
  - Мултиплексирани в композитен *аналогов* сигнал
- Всеки сигнал модулира различна **носеща честота**
- Носещите честоти са разделени така, че сигналите да НЕ се припокриват.
  - Защитни честотни ленти м/у съседните канали
- Например ТВ/радиоизлъчване
  - Различни честоти са предоставени за използване на различни ТВ/радиостанции
- **<u>Недостатък:</u> Каналите са предоставени и заети, дори и да няма никакви данни за предаване!**

FDM: Мултиплексиране

времеви домейн

честотен домейн
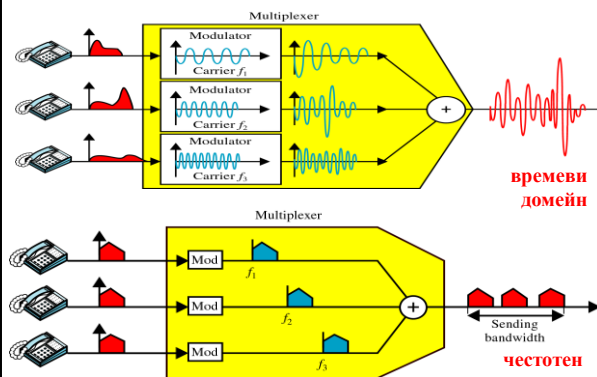
Figure 8-4   *Forouzan, B.A., Data Communications and Networking, 2nd ed., McGraw-Hill, 2001*

FDM: Демултиплексиране

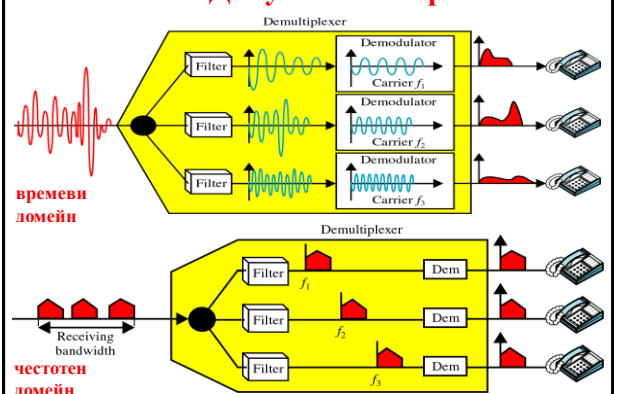**времеви домейн**

честотен домейн

Figure 8-6   *Forouzan, B.A., Data Communications and Networking, 2nd ed., McGraw-Hill, 2001*

Ортогонално честотно мултиплексиране (OFDM)

- Базира се на модулация с много носещи честоти (*multicarrier modulation*)
- Прилага се за 1 сигнал
- Наличният спектър е разделен на няколко подканали
- Предаваният поток от битове е разделен на няколко паралелни битови потоци (от десетки до хиляди на брой)
- Всеки поток се предава по отделен подканал (чрез стандартно модулиране, напр. PSK, QAM)
- Основно предимство: Скоростта на предаване по различните подканали може да е различна и да се променя динамично в зависимост от качеството на връзката!
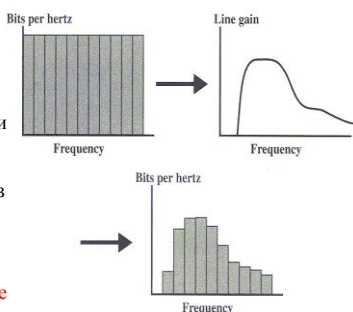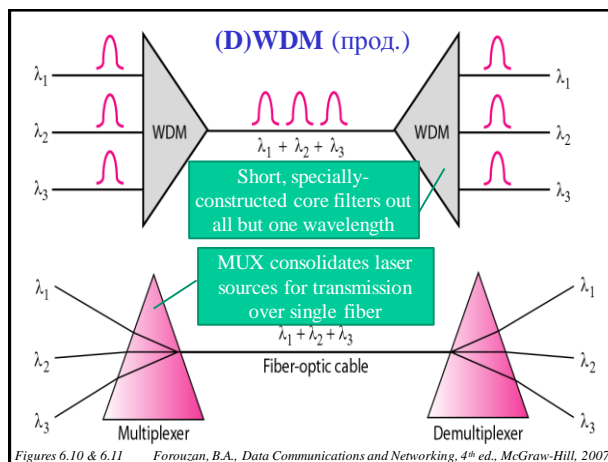

OFDM: Приложения

- **ADSL** and **VDSL** broadband access via telephone network copper wires.
- IEEE **802.11a** and **802.11g** (**WiFi**) WLANs
- **DAB** systems
  - EUREKA 147, Digital Radio Modiale,
- Terrestrial digital TV systems
  - DVB-T, DVB-H, T-DMB and BST-OFDM.
- IEEE **802.16** (**WiMax**) WMANs
- IEEE **802.20** (Mobile Broadband Wireless Access, MBWA)
- **Flash-OFDM** cellular system
- Some **UWB** systems
- Power Line Communications (**PLC**)

Вълново мултиплексиране - (Dense) Wavelength Division Multiplexing, (D)WDM

- FDM вариант за оптични канали
- Комбинира множество св. лъчи с различни дължини на вълната по 1 оптично влакно
- В реални условия: 160+ channels x 10 Gb/s = 1.6+ Tb/s по 1 оптично влакно!
- В лабораторни условия: 256 канала x 39.8 Gb/s = 10.1 Tb/s на разстояние 100 km (Alcatel)
- НЕ зависи от протокола
- НЕ зависи от скоростта
- Може да пренася различни типове трафик, всеки с различна скорост
  - Напр. IP, ATM, SDH/SONET, Ethernet

Signals may be in different formats (SONET, ATM, etc.) and different bit rates

Optical amplifiers (spaced x10 km apart)

Multiple optical signals are combined and amplified as a group

Signals are transported over a single fiber

(D)WDM (прод.)

Short, specially-constructed core filters out all but one wavelength

MUX consolidates laser sources for transmission over single fiber

$\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3$

Fiber-optic cable

Multiplexer

Demultiplexer

Figures 6.10 & 6.11   Forouzan, B.A., Data Communications and Networking, 4th ed., McGraw-Hill, 2007

WDM пример 1: LAN Ethernet (10GBaseLX4)

Данните се предават едновременно, използвайки 4 вълни.

4 потока данни в оптичното влакно, всеки със скорост 2.5 Gb/s.

WD = Wavelength Division

Figure 15.24   Olifer, N. & Olifer V., Computer Networks, John Wiley & Sons, 2006

WDM пример 2: LAN Ethernet (40GbE/100GbE)

	40 Gbps	100 Gbps
1m backplane	40GBASE-KR4	
10 m copper	40GBASE-CR4	1000GBASE-CR10
100 m multimode fiber	40GBASE-SR4	1000GBASE-SR10
10 km single mode fiber	40GBASE-LR4	1000GBASE-LR4
40 km single mode fiber		1000GBASE-ER4

Naming nomenclature:
  Copper: K = backplane; C = cable assembly
  Optical: S = short reach (100m); L - long reach (10 km); E = extended long reach (40 km)
  Coding scheme: R = 64B/66B block coding
  Final number: number of lanes (copper wires or fiber wavelengths)

Table 16.4   Stallings, W., Data and Computer Communications, 9th ed., Pearson, 2011

100GbE: Начини за мултиплексиране

Router-to-router view
100GbE

Layer 3/2 router/switch — Layer 1-0 DWDM
Logical circuit view
100GbE

Time Division Multiplexing
1 x 100Gb/s
1 x optical fiber

Space Division Multiplexing
10 x 10Gb/s
10 x optical fibers

Wavelength Division Multiplexing
10-λ x 10Gb/s
10-λ x 10Gb/s   10-λ x 100Gb/s
1 x optical fiber

Времево мултиплексиране (TDM)

Data flow

MUX 4 3 2 1 4 3 2 1 4 3 2 1 DEMUX

- В един честотен спектър се предават чрез *редуване* импулси (битове) от различни (цифрови) сигнали
- Импулсите (битовете) на даден сигнал се предават в съответния за него *времеви слот* (канал)

Figure 6.12   *Forouzan, B.A., Data Communications and Networking, 4th ed., McGraw-Hill, 2007*

Синхронно времево мултиплексиране (Synchronous TDM)

Each frame is 3 time slots.
Each time slot duration is T/3 s.

Data are taken from each line every T s.

- Може да се реализира на ниво 'бит', 'байт', …
- Синхронно е, защото времевите слотове са *предварително определени и фиксирани*!
- **Недостатък:** Времевите слотове са заети, дори и да няма никакви данни за предаване!
  – **Неефективност**
  – **Престояване на някои слотове**

Figure 6.13   *Forouzan, B.A., Data Communications and Networking, 4th ed., McGraw-Hill, 2007*

Синхронно TDM:
Мултиплексиране и демултиплексиране

Multiplexer
AAAAAA
BBB
CCCC
DDDDD

TDM frame

Demultiplexer
AAAAAA
BBB
CCCC
DDDDD

Figure 8-12&13   *Forouzan, B.A., Data Communications and Networking, 2nd ed., McGraw-Hill, 2001*

Асинхронно (статистическо) TDM

- При синхронното TDM много слотове се прахосват (ако няма данни)
- Асинхронното TDM **разпределя** слотовете **динамично** и само **при нужда**
  – Мултиплексорът сканира вход. линии и колекционира необходимите данни за предаване, докато рамката се запълни.
- НЕ всички податели имат нужда да предават по едно и също време!
- Скорост на мултиплексираната линия < Σ на скорости на вход. линии
- Може да използва *по-ниска скорост*, за да поддържа толкова податели, колкото поддържа синхронното TDM, или
- Може да поддържа *повече податели*, ако работи на същата скорост както синхронното TDM.

1 AAAAAA
2
3 CCCC
4
5 EEEE

MUX → A1A1 E5C3A1 E5C3A1 E5C3A1 E5C3A1

Синхронно TDM с/у Асинхронно TDM

Users
A
B
C
D

To remote computer

Synchronous time division multiplexing: A1 B1 C1 D1 A2 B2 C2 D2
First cycle — Second cycle

Statistical time division multiplexing: A1 B1 B2 C2 Unused capacity
First cycle — Second cycle

LEGEND
☐ Data
☐ Address
☐ Unused capacity

- При асинхронното TDM се губи значимостта на позицията (на слота)!
- За правилната доставка се изисква **адресна информация**
  – Което води до **повече режийни** (overhead) на слот
- Необходимост от намаляване на режийните за подобряване на производителността!