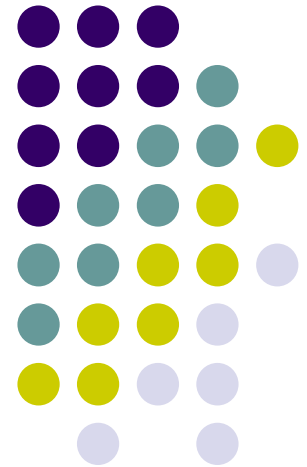


# Системи преноса телекомуникационих сигнала

Основни појмови  
Технике и медији преноса  
Параметри преноса  
Методе ефикасног преноса





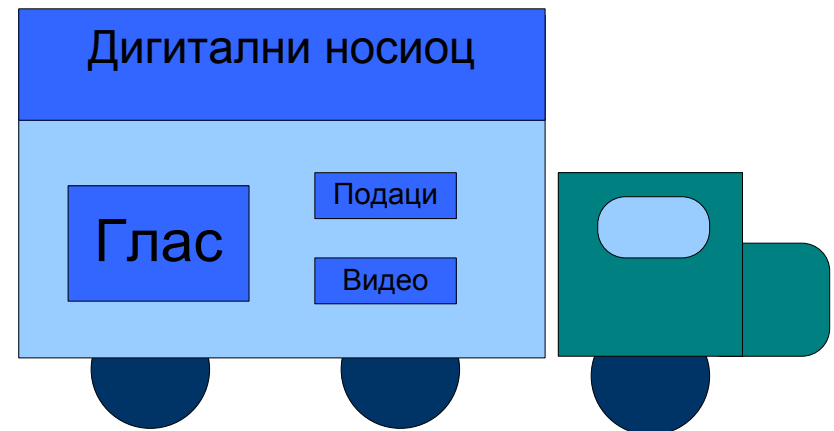
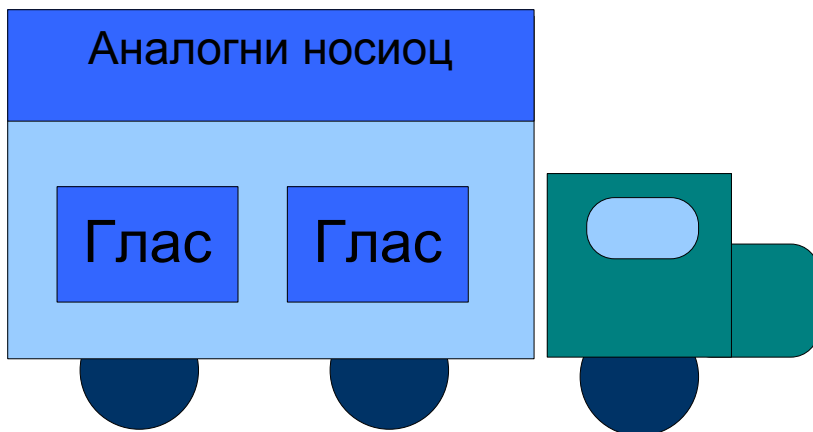
# Најава садржаја

- Основни појмови
  - пропусни опсег (аналогни и дигитални)
  - преносни медији и носиоци
  - пренос у основном опсегу и модулације
  - дво- и четворожични пренос, симплекс/дуплекс
  - појачање, регенерација, кодовање, мултиплекс
- Параметри преноса
  - аналогни и дигитални пренос
  - методе безбедног преноса информација
- Методе ефикасног коришћења медија за пренос
  - Мултиплексирање и модулација, *ADSL*



# Технике преноса сигнала

- Од аналогог преноса
  - говор у телефонији
- До комплетно дигиталних система преноса
  - говор, подаци и видео

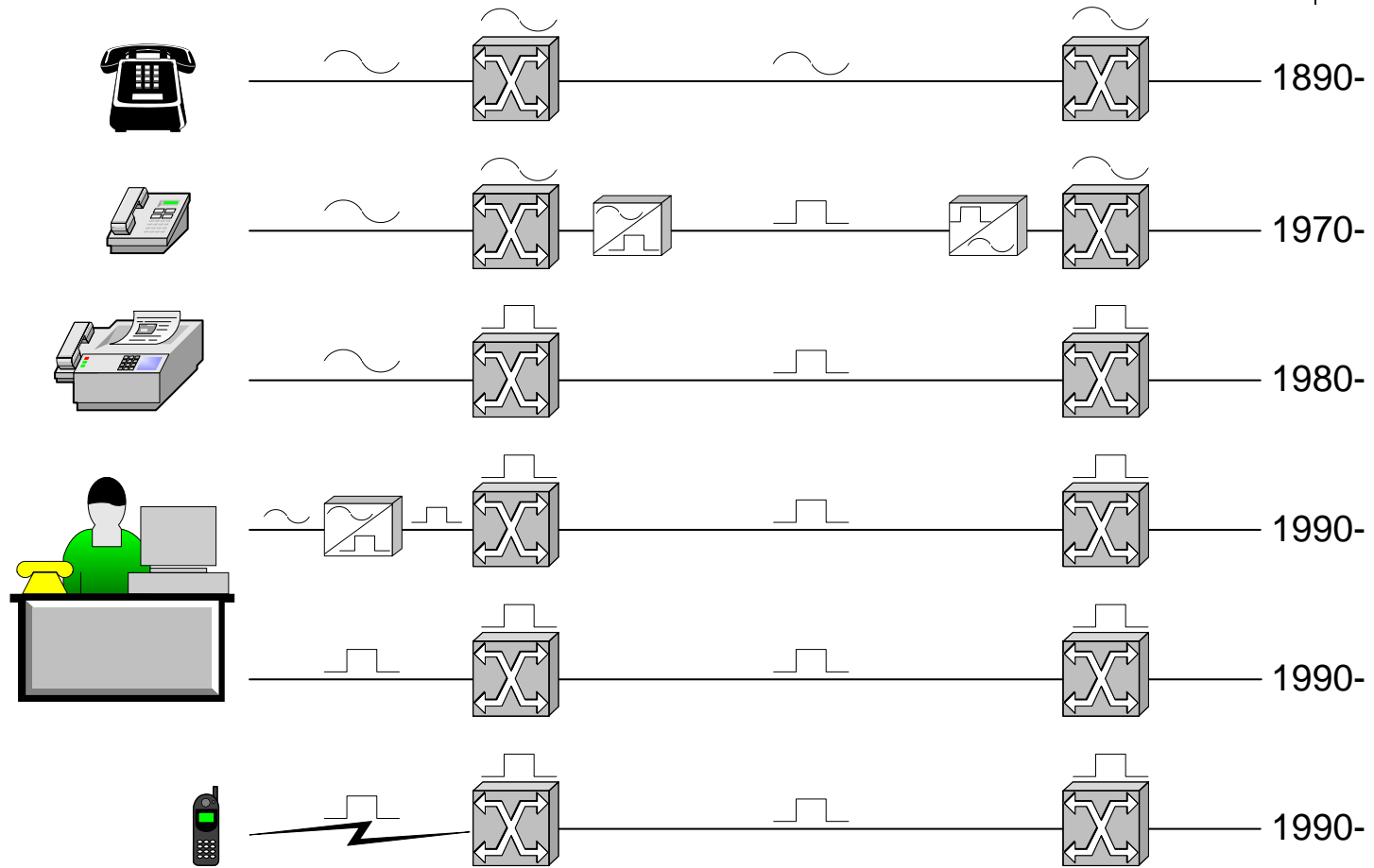


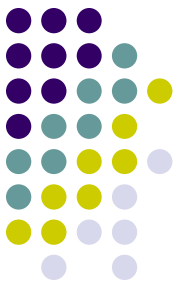
# Еволуција телеком. мрежа



- Пренос телекомуникационих сигнала
  - у приступној равни
    - од терминала до чвора мреже
  - између чворова мреже
- Модерне мреже имају
  - системе управљања и
  - интелигенције

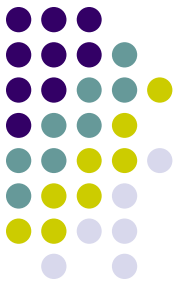
# Приближавање дигитализације кориснику





# Пропусни опсег

- Фреквенцијски опсег коришћен за пренос
- Телефонија користи 300-3400 Hz
  - пропусни опсег од 3,1 kHz
  - ITU-T препорука:
    - довољно за разумљивост говора (мада човек чује и до 20 kHz)
- Пренос дигитализованог говорног сигнала
  - PSTN: 64 kbit/s (PCM - *Pulse Code Modulation*)
  - GSM: 13 kbit/s (до централе, а после 64 kbit/s)



# Преносни медији

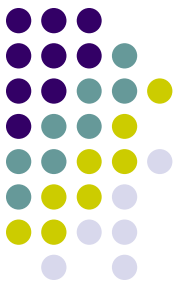
- Бакар
  - парице и коаксијални кабл
  - остао у приступним мрежама (мањи проток)
- Оптичка влакна
  - најшири пропусни опсег и најбољи квалитет
- Радио таласи
  - земаљски и сателитски пренос
  - сервиси тачка-тачка или који покривају регионе

# Модулација носиоца сигнала



- Носиоци сигнала су по природи аналогни
  - електромагнетни таласи
    - електрични, радио или светлосни таласи
- Сигнали су све чешће дигитални
  - дигитални сигнали модулишу аналогног носиоца
    - “пали се и гаси светло”
    - модулишу се радио таласи
- Пренос аналогног сигнала у основном опсегу – без носиоца (нпр. у парицама)

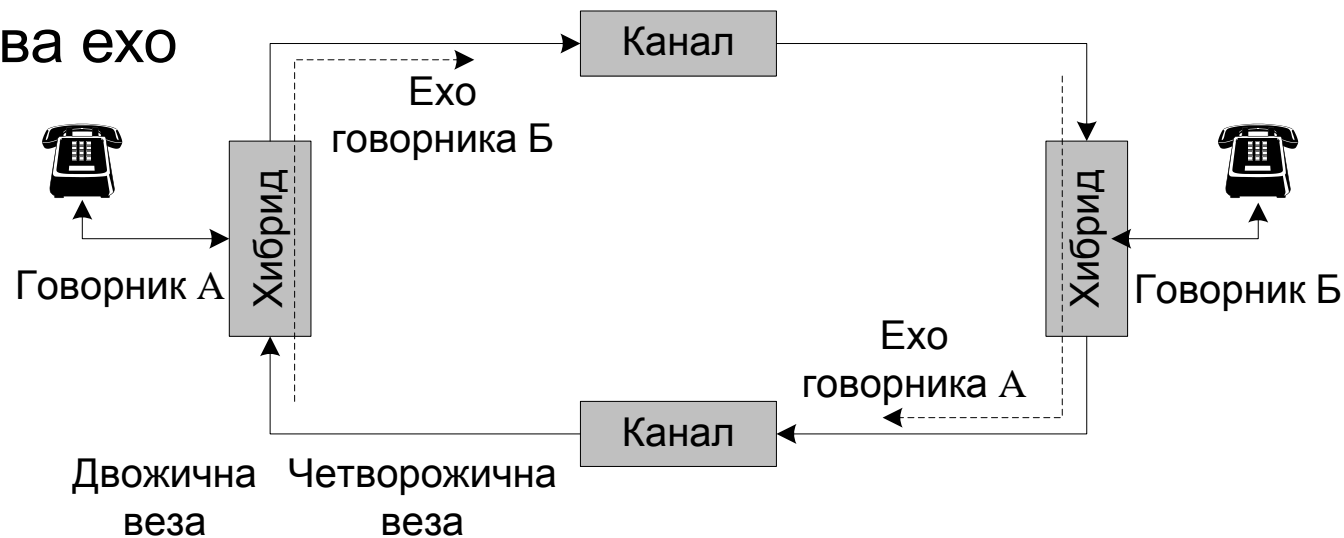




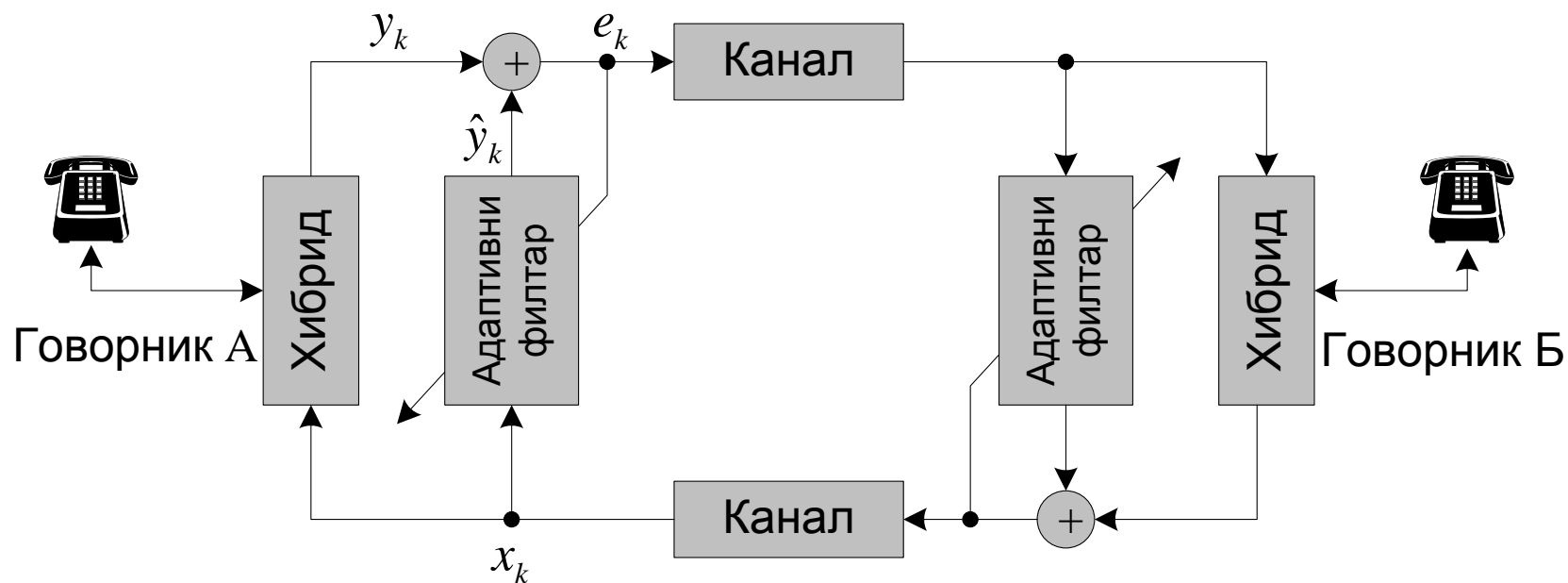
# Дво- и четворожични пренос

- Кроз парице се врши двосмерни пренос (приступна равна)
- У четворожичној вези се одвојено врши пренос говора у два смера
- неопходан је тзв. хибрид

- поништава ехо



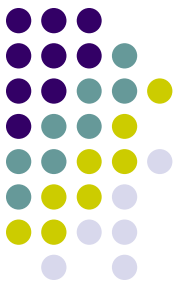
# Поништавање еха (адаптивни филтар)



# Симплекс-дуплекс и асиметрични пренос



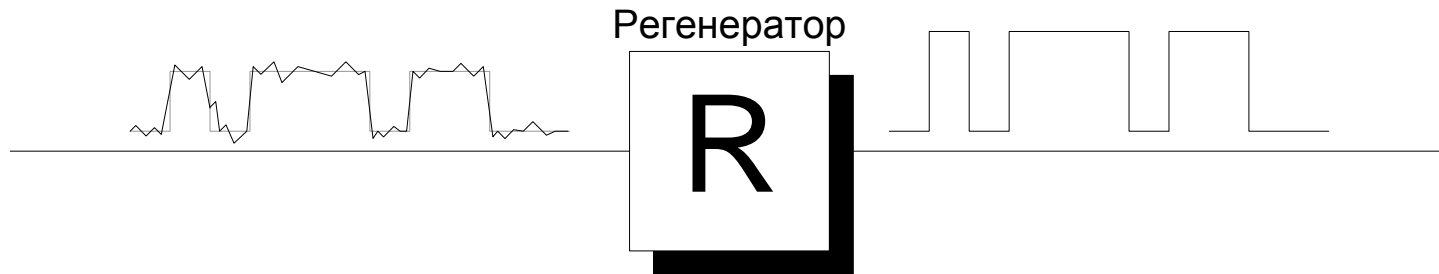
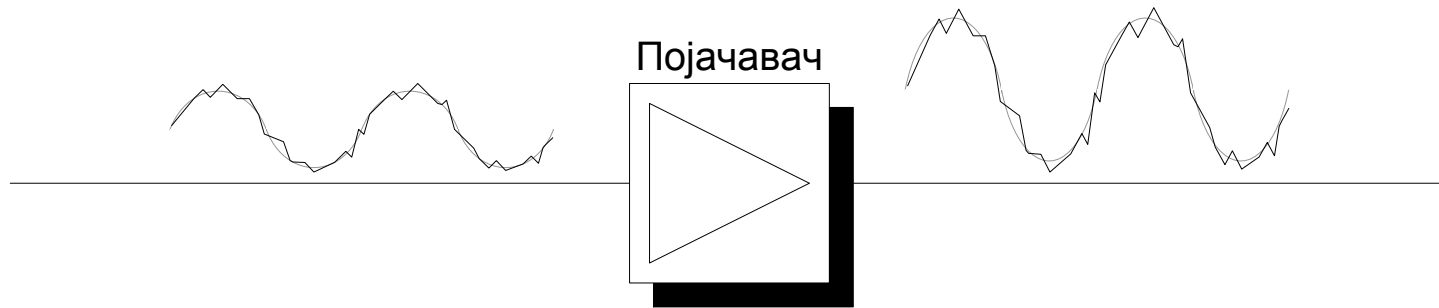
- Симплекс – слање информација у 1 смеру
  - нпр. емитовање РТВ програма (*broadcasting*)
- Дуплекс – информације се симултано преносе у оба смера (између 2 тачке)
  - нпр. телефонски разговор
- Асиметрични пренос
  - нпр. мултимедија у једном смеру, а само сигнализација у другом смеру
    - примери: Интернет и видео на захтев

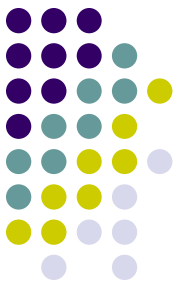


# Појачање и регенерација

- **Рипитери** појачавају аналогне сигнале
  - на дужим трасама (кад ослаби носилац)
  - растојање рипитера зависи од медија:
    - бакар, оптика и радио таласи
- **Регенератори** носилаца дигиталних сигнала
  - примају зашумљени дигитални сигнал
  - регенеришу препознати дигитални сигнал
  - прослеђују дигитални сигнал без шума

# Појачање и регенерација





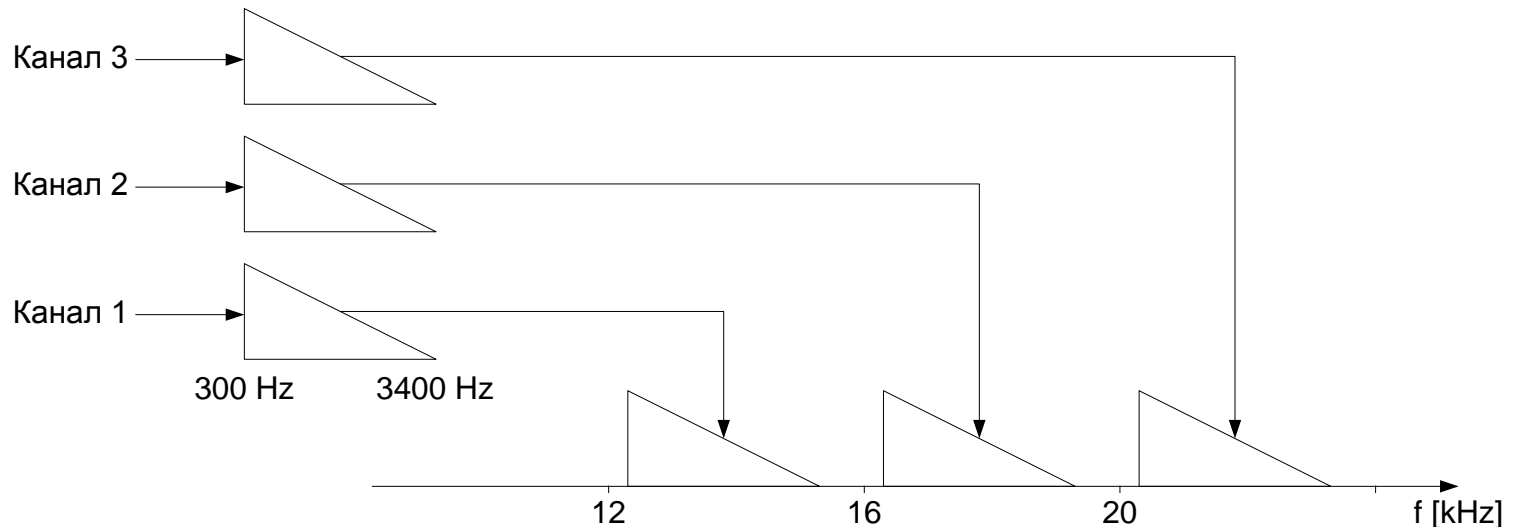
# Мултиплексирање

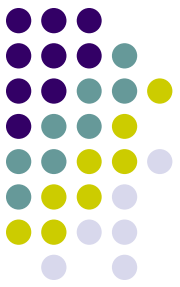
- Мрежни оператори настоје да економично користе преносне линкове
  - парица има шири пропусни опсег од 3,1 kHz
    - симултани пренос више телефонских разговора
- Мултиплексирање = вишеканални пренос
  - FDM – *frekvency division multiplexing* (фреквенцијски мултиплекс)
  - TDM – *time division multiplexing* (временски мултиплекс)
  - WDM – *wavelength division multiplexing* (мултиплекс таласних дужина – у оптици)

# Фреквенцијски мултиплекс



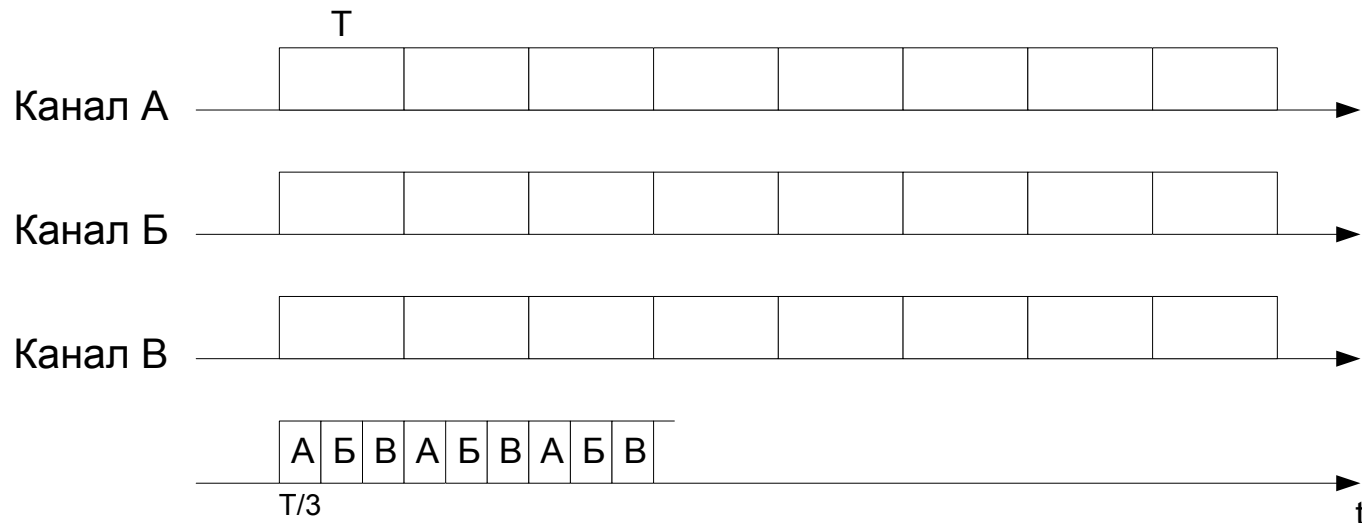
- Користи се за пренос аналогних сигнала
- Фреквенцијски опсег се дели у подопсега
  - фреквенцијска модулација
    - множење сигнала са носиоцем подопсега (синус)
    - помера сигнал из основног опсега



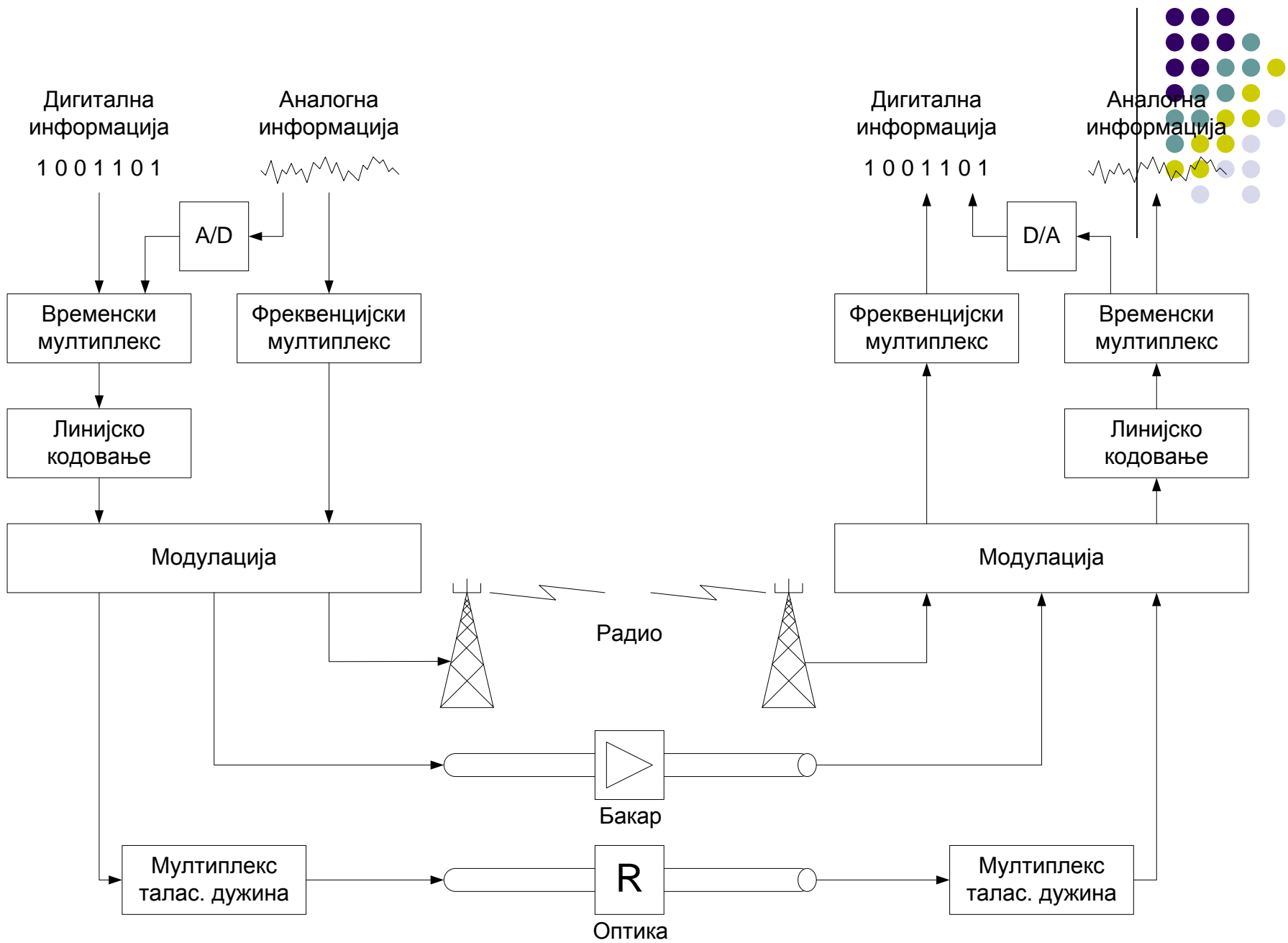


# Временски мултиплекс

- Користи се код дигиталних сигнала
- Интервал времена се дели у подинтервале
  - временски мултиплекс
    - интерливинг бита или бајтова појединих канала
    - SDH – *Synchronous Digital Hierarchies* (*TDM* стандард)







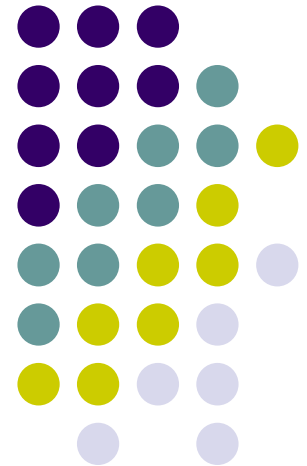
# Преносни медији

---

Бакарне жице

Радио таласи

Оптичка влакна



# Жичне везе



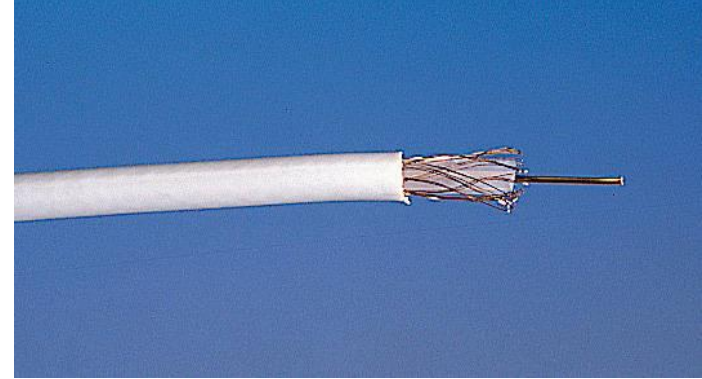
- **Метални проводници – најчешће бакар**
  - замењују их оптичка влакна
    - имају шири пропусни опсег и отпорнији на сметње
  - још увек распрострањени у приступној равни
    - од чворишта мреже до крајњих корисника
- **Парице и коаксијални каблови**
  - користе се за аналогни и за дигитални пренос
- **Некада су коришћене и голе жице**
  - само за аналогни пренос говора до 3,1 kHz



# Парице – пар проводника

- Користе се у приступној мрежи
  - од претплатника до прве централе
  - на линковима између крајњих централа (некад)
- Каблови садрже
  - упарене бакарне проводнике (по 2 или 4)
    - пречник проводника 0.4, 0.5, 0.6 или 0.7 mm
    - слабљење по km зависи од пречника и фреквенције
  - пластични изолатор око сваког проводника
    - свака жица (проводник) је изолована
  - 1-, 2-, 10-, 50-, 100-, 500-парица
  - пластичне или металне траке за ојачање и оплату

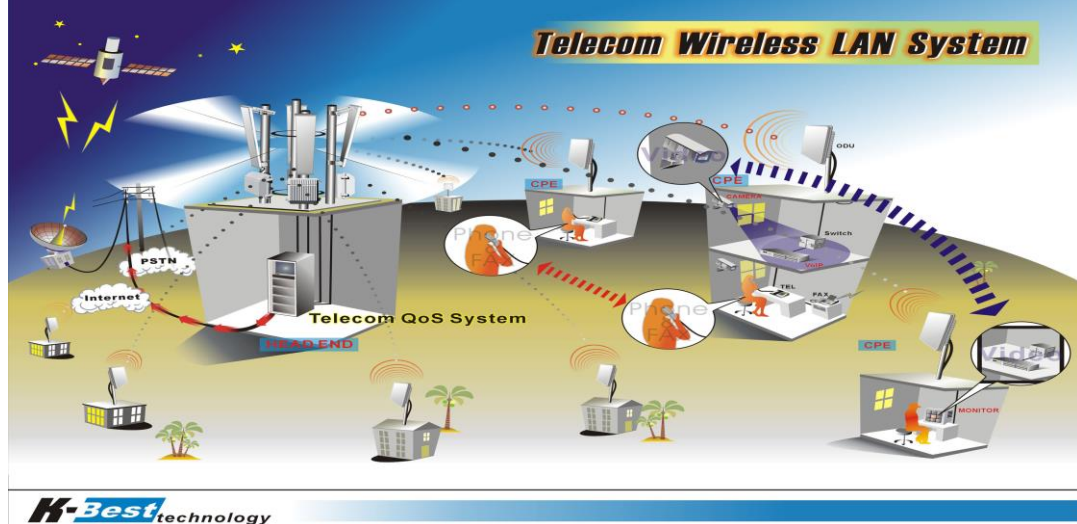
# Коаксијални кабел

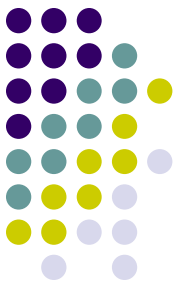


- Користи се у мултиканалним системима (аналогни (FDM) и дигитални (TDM))
  - локалне мреже за пренос података
  - кабловске ТВ мреже
  - проводник од антена РТВ пријемника
- Конструкција коаксијалног кабла:
  - крути бакарни проводник обмотан бакарним лицнама
  - између и около пластчни изолатор
- Велики капацитет преноса
  - 10.800 говорних канала у аналогном мултиплексу
- И њих замењују још боља оптичка влакна
- Користе се за кабловску ТВ и у приступној равни

# Радио таласи

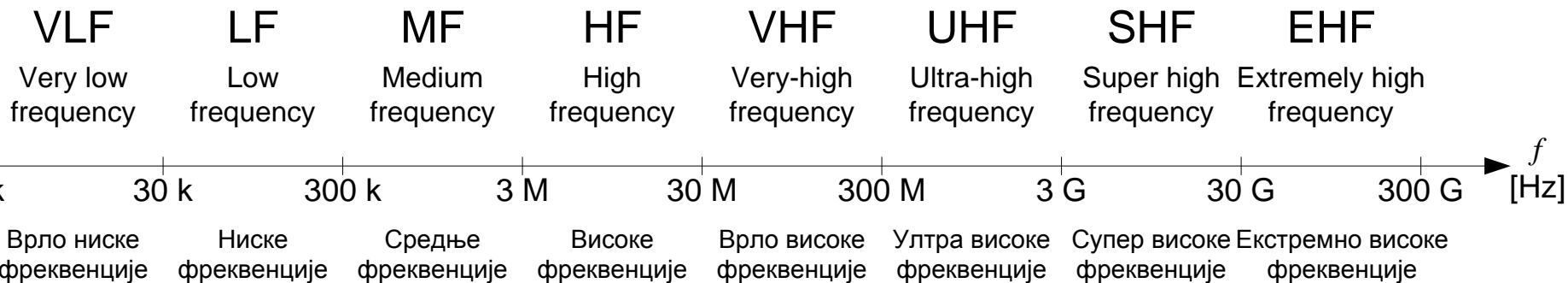
- Бежични пренос
  - разне апликације
  - флексибилност и доступност за кориснике
- Примене
  - од локалних до интерконтиненталних
    - радио везе и сателитске комуникације
  - фиксне и мобилне комуникације
    - између чворова мреже, између корисника и мреже
- Радио и мобилне комуникације
  - биће детаљније описане у 2. семестру

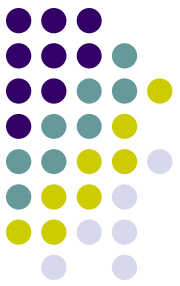




# Спектар радио таласа

- Електромагнетни спектар 3kHz-300GHz:
  - инфрацрвена, видљива и ултраљубичаста светлост
  - X-зраци
- Радио спектар у опсегу 3kHz-300GHz:
  - 8 фреквенцијских опсега





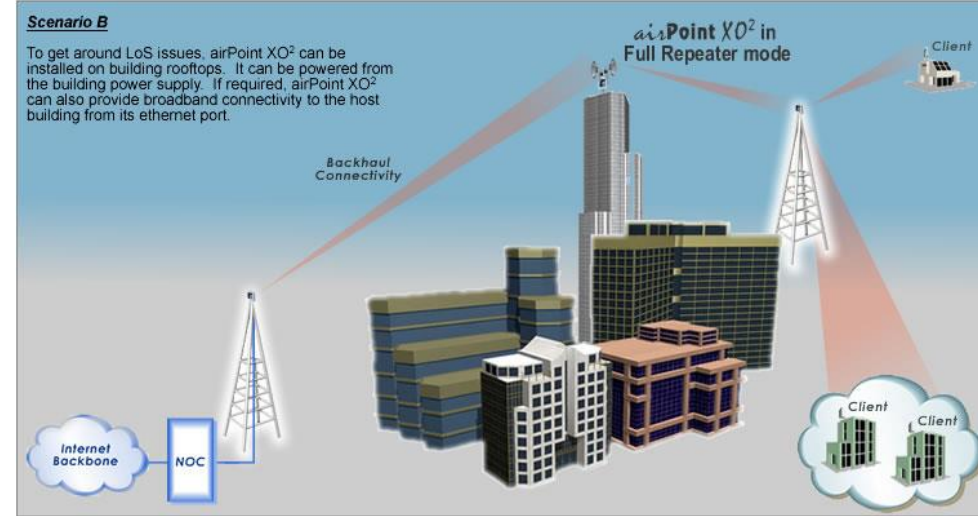
# Пропагација радио таласа

- Радио таласи испод 30 MHz
  - рефлектују се од слојева атмосфере и од земље
  - погодни за пренос преко мора
  - капацитет преноса само неколико стотина bit/s
    - телеграфија и телекс
- Радио таласи изнад 30 MHz
  - не рефлектују се од јонизованих слојева атмосфере
  - VHF и UHF опсези:
    - ТВ, радиодифузија, мобилна телефонија
- Фреквенције изнад 3 GHz
  - трпе слабљење од објеката као што су зграде
  - захтевају оптичку видљивост предајника и прјемника
    - радио везе 2-40 GHz, сателитске везе 2-14 GHz
  - Капацитет преноса 10-150 MHz



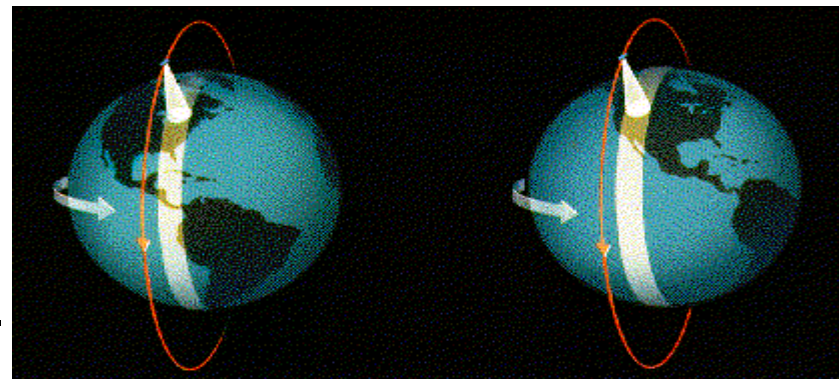
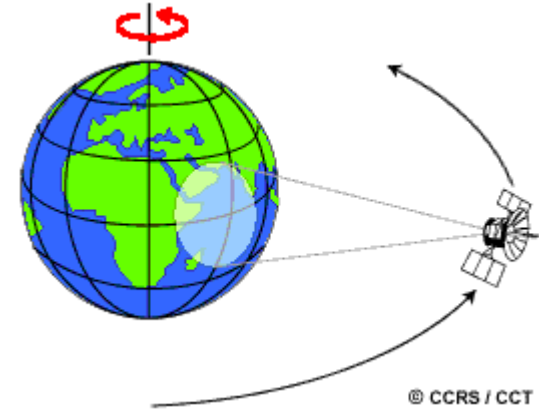
# Радио линкови

- Пренос аналогних и дигиталних сигнала
- Пренос преко ланца радио примопредајника
  - активни појачавају и/или регенеришу сигнале
  - растојање зависи од снаге предајника, типа антене, климе и фреквенције
    - веће фреквенције носилаца = мањи домет
    - на 2 GHz има домет 50 km, на 18 GHz домет 5-10 km
- Сваки радио линк има 2 радио канала
  - по 1 за оба правца
  - исте параболичне антене за оба правца
  - неколико MHz између (спречава преслушавање)



# Сателитске комуникације

- Сличан концепт радио линковима
  - међустанице су у земљиној орбити
- Поларни сателити
  - око 1.000 km изнад полова
  - примена у метеорологији и војсци
- Геостационарни сателити
  - на 35.800 km у екваторијалној равни
  - описују орбиту за 24 сата
    - са Земље се виде као стационарни
    - сваки покрива 1/3 Земље
    - 240 ms кашњење
- Intelsat
  - окупља 100 оператора
  - Intelsat VI има 80.000 гов. кан.



# Оптички кабл



- Сноп стаклених влакана ( $\mu\text{m}$ )
- Примена почела 1975. године
  - дуго чекан одговарајући извор светлости
- Огроман капацитет преноса (Gbit/s)
  - 2,5 Gbit/s: 32.000 тф позива по 64 kbit/s
  - ограничења у терминалним уређајима
- Примена
  - у урбаним срединама и
  - за повезивање удаљених локација
    - већином за пренос дигиталних сигнала
    - прекоокеански подводни каблови

# Предности оптичких каблова



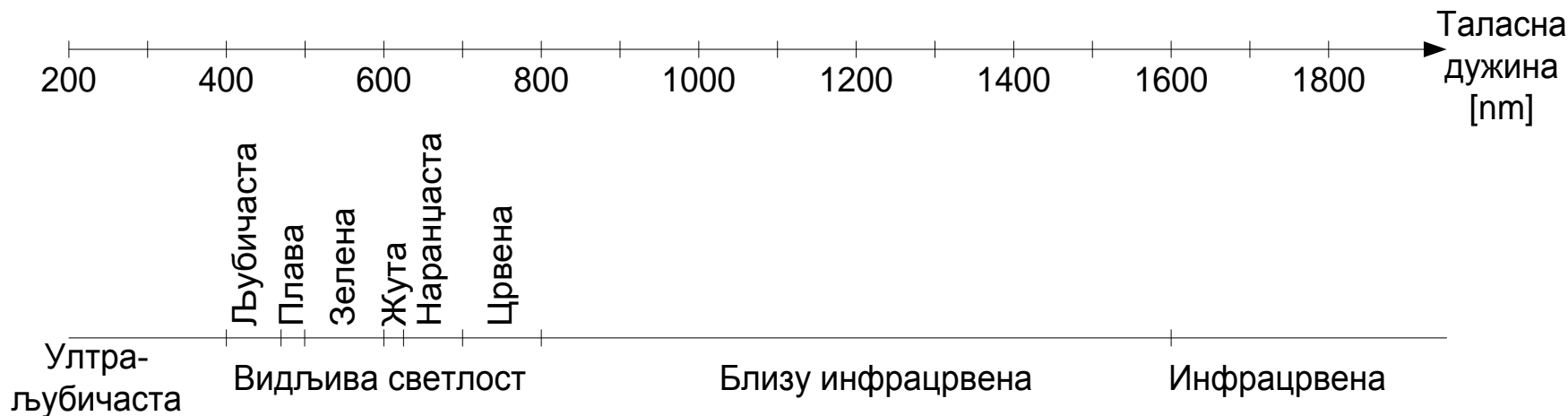
- Врло велики капацитет преноса
- Велико растојање рипитера
- Мале димензије кабла и лагани су
- Нема преслушавања
- Имун на електромагнетне сметње



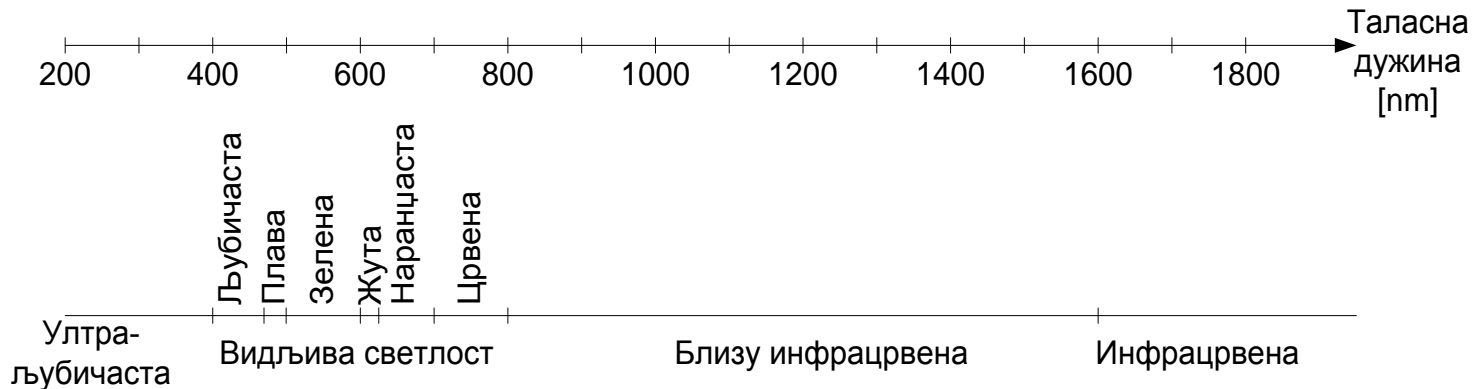
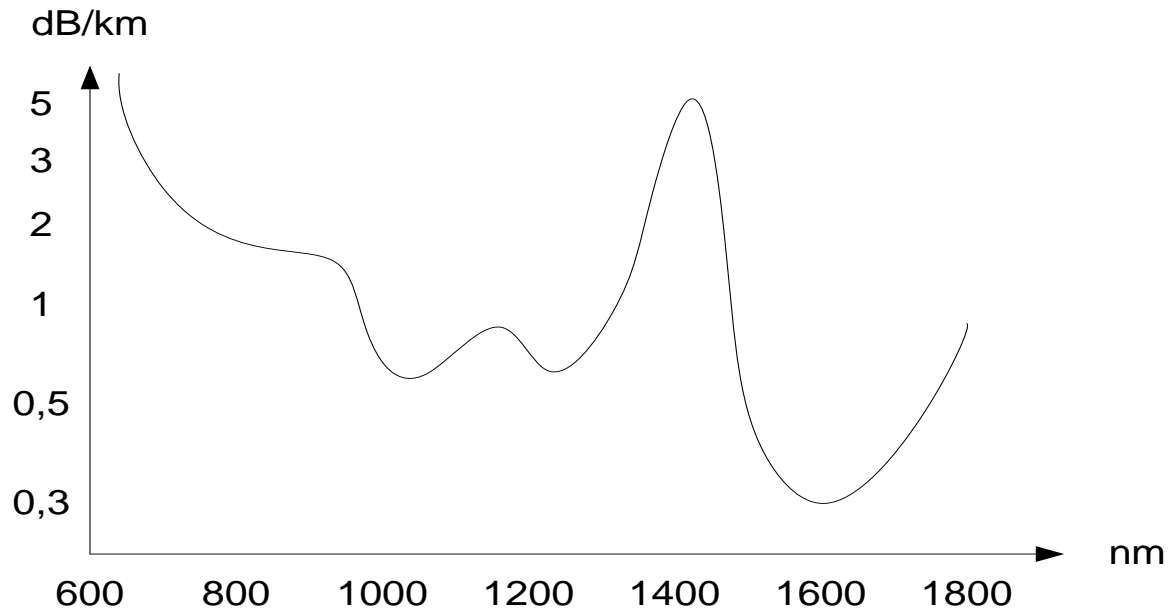
# Карактеристике светлости



- Електромагнетно зрачење
  - таласне дужине 800-1600 nm (850, 1310, 1550)
  - WDM је варијанта FDM за оптичка влакна



# Таласне дужине светлости и слабљење при преносу

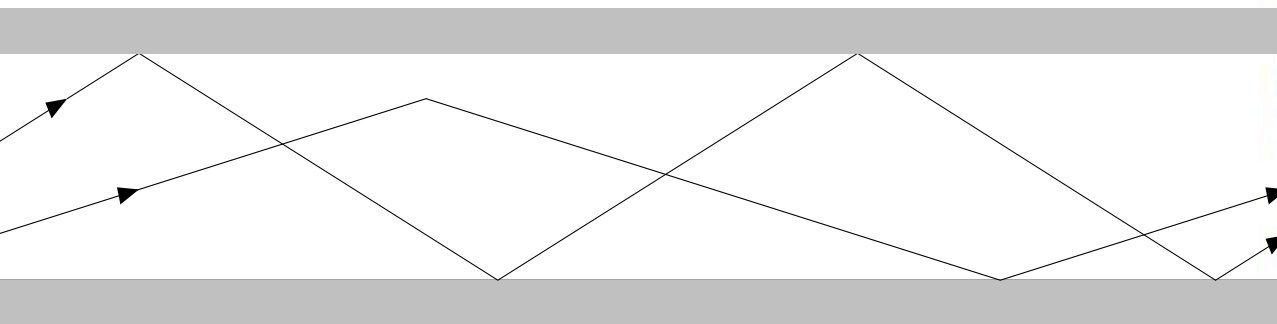
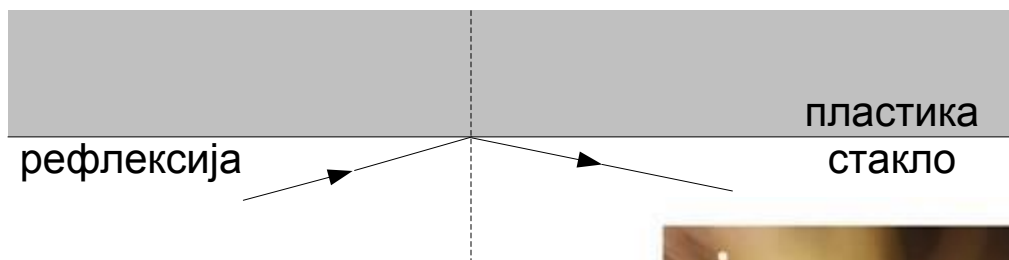
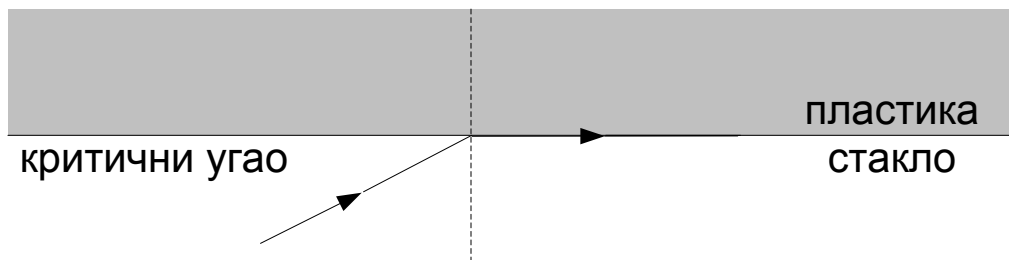
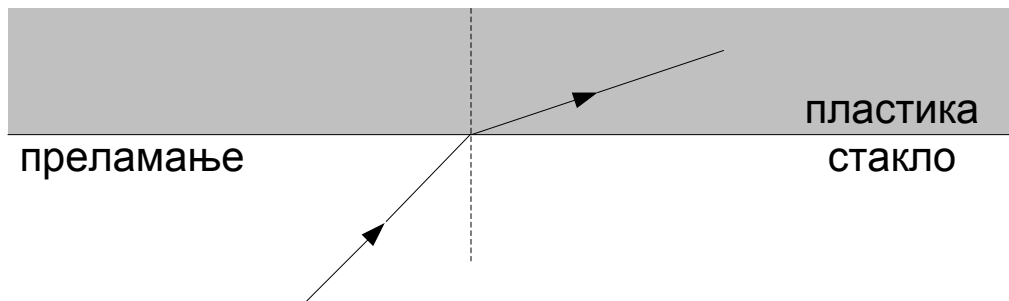


# Брзина пропагације светлости



- У вакууму -  $3 \times 10^8$  m/s
- У ваздуху – приближно као у вакууму
- У стаклу – око  $2/3$  од брзине у ваздуху
  - однос ових брзина дефинише индекс рефлексације
  - рефлексације од површине задржавају светлосни сноп

# Пропагација светла кроз стакло

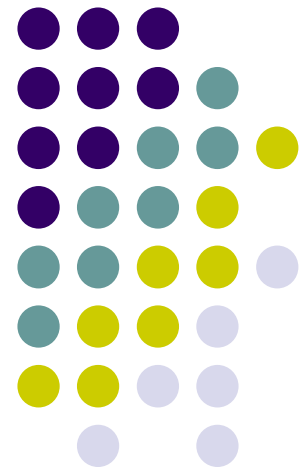




# Параметри преноса

---

Пренос аналогних сигнала  
Пренос дигиталних сигнала



# Параметри преноса сигнала

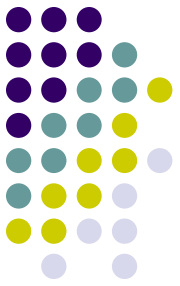


## Аналогни:

- Пропусни опсег
- Амплитудско изобличење
- Слабљење
- Фединг
- Сметње: шум и интерференција
- Преслушавање и ехо
- Групно кашњење

## Дигитални:

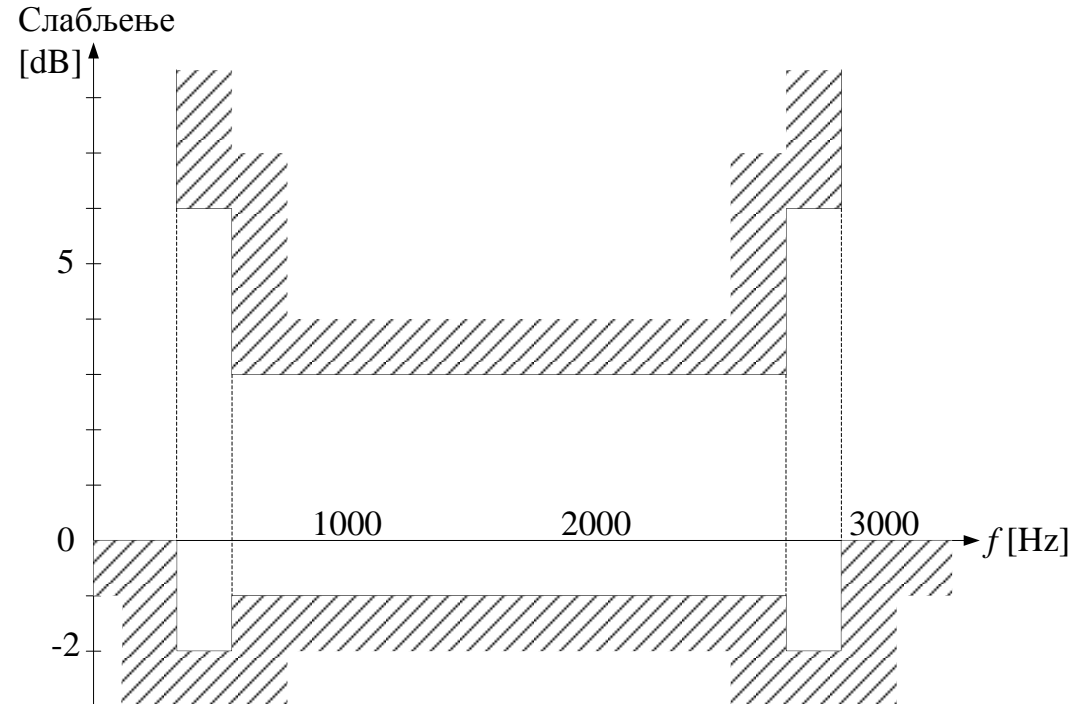
- Брзина преноса
- Битска вероватноћа грешке
- Шум квантизације
- Шум и интерсимболска интерференција
- Преслушавање и ехо
- Џитер
- Дисперзија у оптичком каблу



# Ширина пропусног опсега

- Аналогни тф канал (сингл): 3,1 kHz
- Мултиплекс (FDM):
  - 2.700 канала = 12 MHz; 10.800 канала = 60 MHz

- Дозвољено амплитудско изобличење (ITU-T препорука)

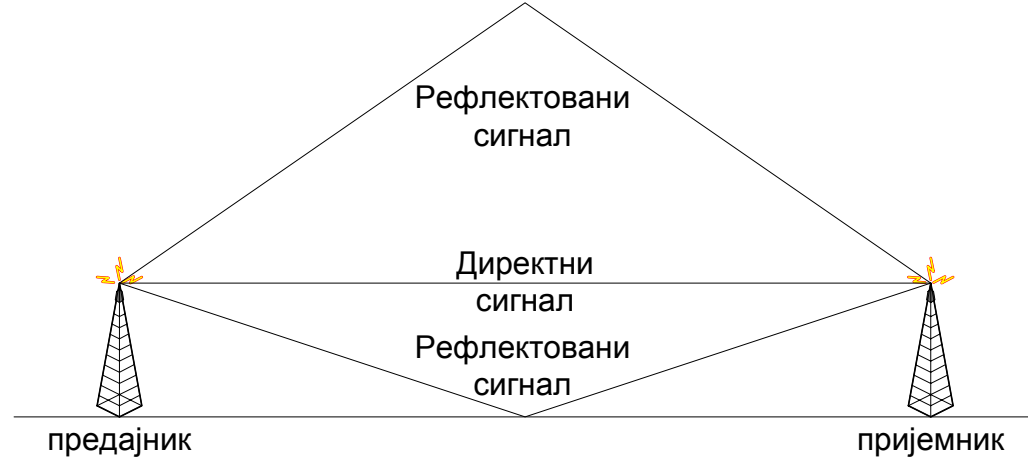




# Слабљење сигнала

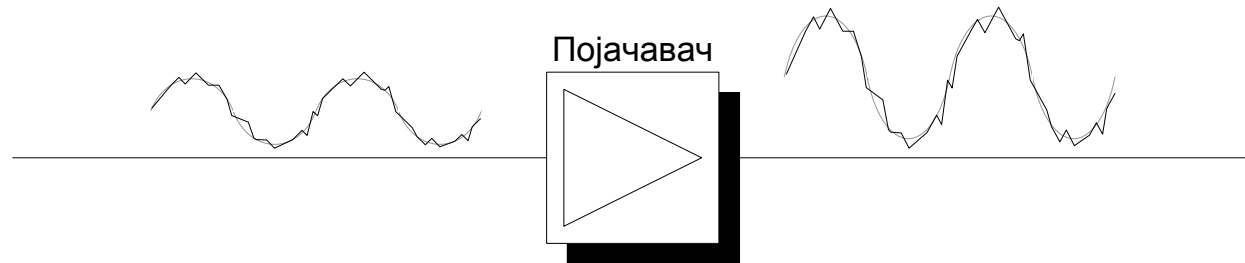
- Од чвора мреже до претплатника
  - између чворова су појачавачи и регенератори
- $A = 10 \log (P1/P2)$  [dB]
  - пример 1:  $A = 10 \log (2P/P) = 3$  dB
  - пример 2:  $A = 10 \log (400\text{mW}/10\text{mW}) = 16$  dB
- Зависи од медија преноса
  - парице, коаксијални кабл или радио веза
- Зависи од фреквенције

# Фединг



- Радио таласи се рефлектују
  - од различитих слојева атмосфере
  - и од земље
- Интерференција: директни и рефлектовани таласи
  - изазива варијације амплитуде и фазе сигнала
- Зависи од фреквенције, мења се и у времену
- Зависи и од доба дана, годишњег доба, температуре, притиска, влажности
- На веће фреквенције (од 10 GHz) утиче и киша

# Сметње аналогних сигнала

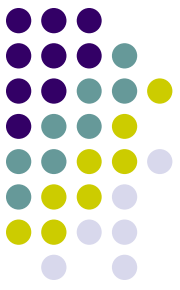


- Шум

- неизбежан на телекомуникационим линковима
- генерише се и унутар електронских кола
- важан је однос сигнал/шум
  - у току преноса сигнал слаби, а шум се нагомилава

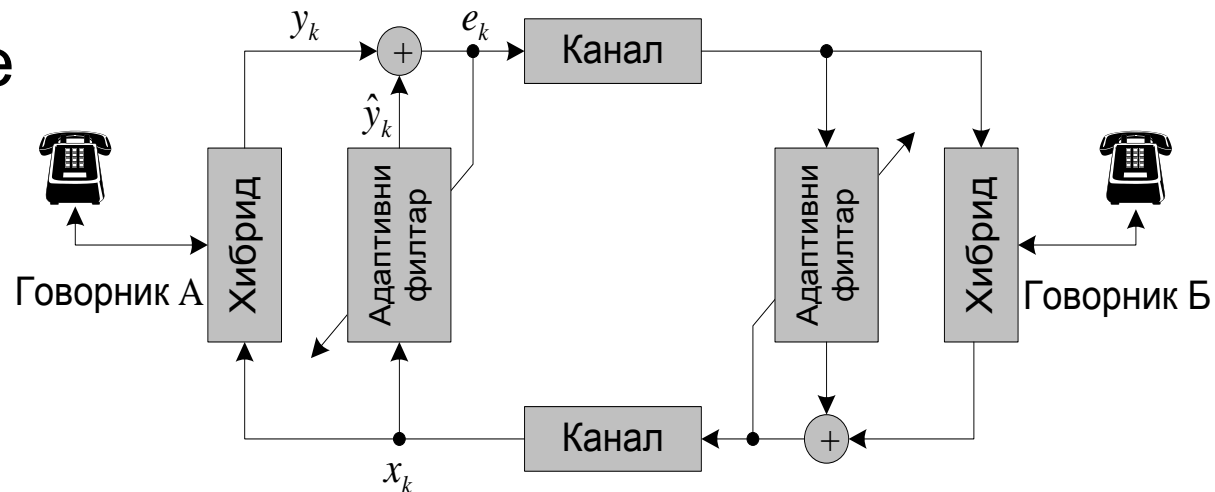
- Интерференција

- енергетски каблови и радио таласи утичу на металне проводнике
- електромагнетна пражњења (муње) могу уништити сигнал, па чак и спалити пријемник

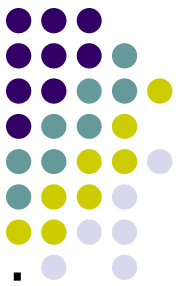


# Преслушавање и ехо

- Преслушавање
  - појављује се понекад између канала
  - ITU-T препоручује 52 dB
- Ехо
  - појављује се на хибриду
  - смета далеки ехо
  - поништава се помоћу адаптивног филтра



# Групно кашњење



- Време пропагације зависи од фреквенције
  - неке спектралне компоненте се брже преносе
  - коректори фазе уносе одговарајуће кашњење
- ITU-T препоручује:
  - макс. кашњење: 150 ms (400 ms преко сателита)
  - варијације кашњења:

Конекција	Прихватљиво изобличење групног кашњења	
	На доњој граничној фреквенцији	На горњој граничној фреквенцији
Међународни део	20 ms	10 ms
Оба национ. дела	20 ms	10 ms
Укупно	60 ms	30 ms



# Параметри преноса сигнала



## Аналогни:

- Пропусни опсег
- Амплитудско изобличење
- Слабљење
- Фединг
- Сметње: шум и интерференција
- Преслушавање и ехо
- Групно кашњење

## Дигитални:

- Брзина преноса
- Битска вероватноћа грешке
- Шум квантизације
- Шум и интерсимболска интерференција
- Преслушавање и ехо
- Џитер
- Дисперзија у оптичком каблу



# Брзина преноса бита [bit/s]

- Брзина (капацитет) дигиталног преноса зависи од ширине аналогног пропусног опсега
- За пренос неизобличених импулса (0 и 1) требао би бесконачно широк спектар
  - довољно је само детектовати да ли је 0 или 1
  - низ ...101010... има периоду  $2T$ , коју прати синусоида фреквенције  $f = 1/2T$
- Пропусни опсег за пренос дигиталног сигнала је  $1/2T$

# Вероватноћа погрешног преноса бита



- Зависи од шума, и.с.и. и др. извобличења
- Просечан број погрешно примљених бита
  - *BER* – *bit error rate*
- Изражава квалитет дигиталног преноса
- Нпр. при преносу говора РСМ 64 kbit/s:
  - $BER < 10^{-6}$  – нечујно
  - $BER < 10^{-5}$  – занемариво
  - $BER < 10^{-4}$  – изобличења која понекад иритирају
  - $BER < 10^{-3}$  – значајна изобличења



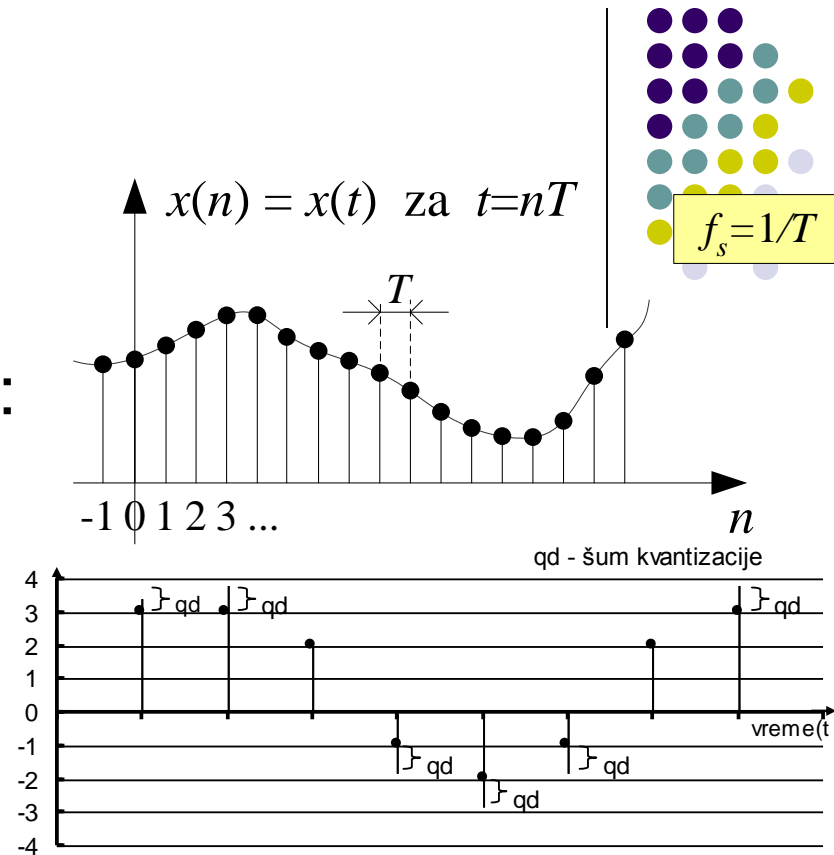
# Прихватљив *BER*

- Подаци:  $10^{-7}$  -  $10^{-8}$
- Подаци:  $10^{-7}$  -  $10^{-8}$
- Телекс:  $10^{-4}$
- Факс:  $10^{-5}$  -  $10^{-6}$
- видеотелефон:  $10^{-6}$  -  $10^{-7}$
- e-mail:  $10^{-5}$  -  $10^{-6}$
- У пракси јављају се пакети грешака бита
- Алгоритми за детекцију и корекцију грешака

# Шум квантизације

- Дигитализација (A/D и D/A):

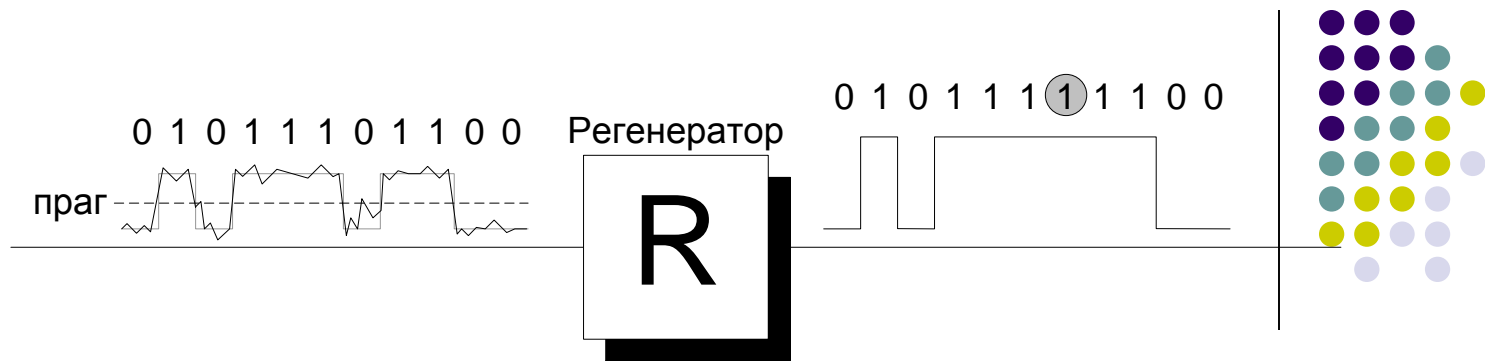
- по времену – одабирање ( $f_s$ )
- по амплитуди – квантизација
  - кодовање са  $k$  бита
  - квантизација у  $2^k$  интервала
  - $SNR_q = 6k$  [dB]



- Док мрежа није сасвим дигитализована

- више A/D и D/A конверзија
- акумулише се шум квантизације
- ITU-T препорука о максималном броју дигитализација
  - на међународној вези највише 14 (обично мање од 7)
  - обично их је до 5 у националним мрежама

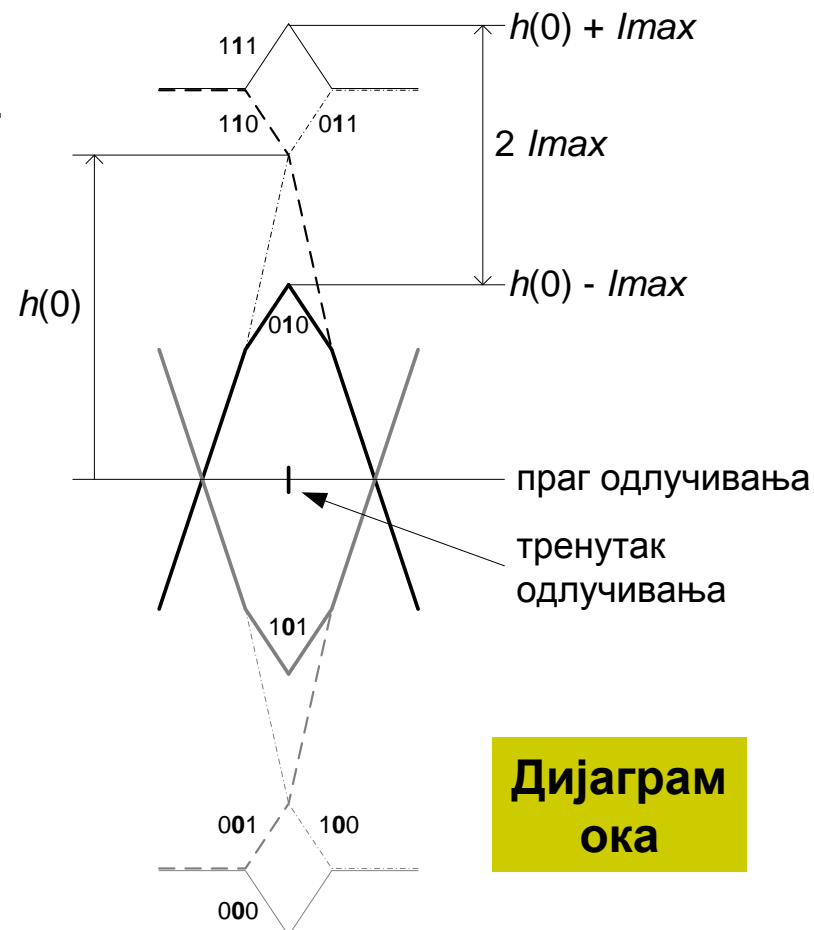
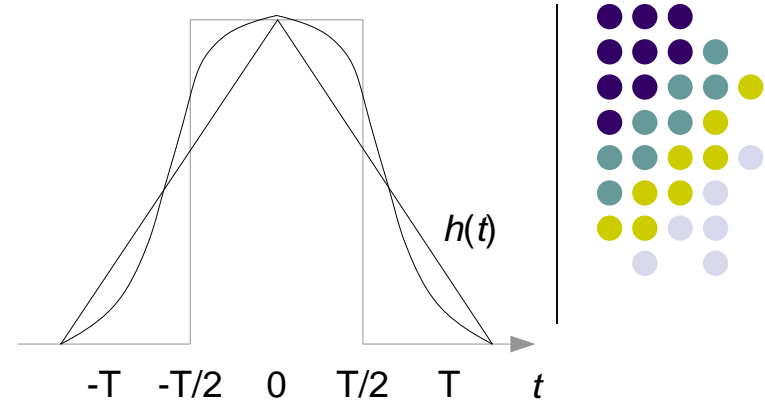
# Шум



- У току преноса
  - сигнал слаби и додаје му се шум
- Последица: могућа грешка у пријему бита
  - шум одређује доњу границу вероватноће грешке
- Врсте шума
  - Бели шум има раван спектар
  - Flicker шум (полупроводници) спектар облика  $1/f$
  - Термички шум (проводници)
    - смањује се са температуром
    - на апсолутној нули нестаје – суперпроводници

# Интерсимболска интерференција

- Правоугаони импулси се изобличују и шире
  - ограничен пропусни опсег
- У тренутку одлучивања
  - утицај околних импулса
- Могућа последица:
  - грешка у пријему бита
  - максимална иси одређује горњу границу за *BER*



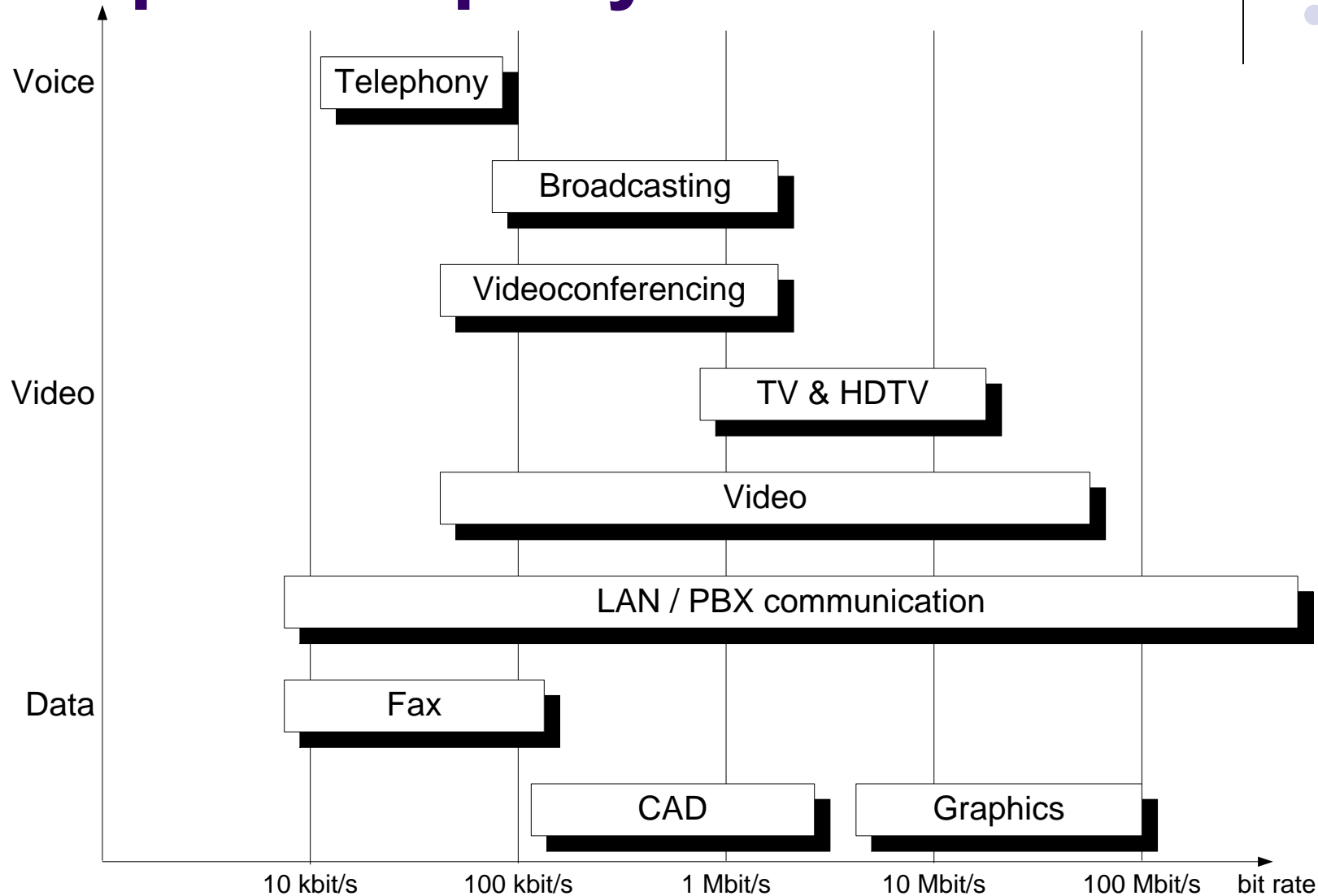
# Остали параметри дигиталног преноса сигнала



- Преслушавање сигнала у проводницима
  - од сигнала са ближег и даљег краја везе
- Ехо
  - у дигиталном као и у аналогном преносу
  - важан извор изобличења у VoIP телефонији
- Џитер
  - варијација дигитског периода
    - последица фазних изобличења система
- Дисперзија у оптичком каблу
  - проширује се импулс
    - јер брзина зависи од таласне дужине



# Потребан пропусни опсег





# Пропусни опсег

- Зависи од:
  - врсте сигнала
  - захтеваног квалитета преноса
  - прихватљивог трајања преноса
- На пример:
  - видео може да се пренесе са 32 kbit/s
  - приметно је квалитетнији пренос  $2 \times 64$  kbit/s
  - портабл камера са зумом тражи  $6 \times 64$  kbit/s

**Пропусни опсег = квалитет = цена**