

# Počítačové siete

## Multiplexing

# Multiplexing

- úloha – dostať viacero dátových tokov (prichádzajúcich viacerými kanálmi) cez jeden komunikačný kanál
  - s minimálnym oneskorením
    - obzvlášť pri multiplexovaní synchrónych komunikačných liniek
  - môžeme požadovať garanciu parametrov
    - priepustnosť
    - oneskorenie
- demultiplexing
  - rozdelenie dát prichádzajúcich spoločným kanálom opäť na samostatné toky

# Space Division Multiplexing

- pre jednotlivé kanály využijeme samostatný priestor
  - viacero nezávislých vodičov v kábli
  - viacero laserových liniek vedľa seba
  - využitie smerových antén pri bezdrôtových prenosoch
  - využitie viacanténových vysielačov schopných formovať signál (beamforming) tak, aby bol smerovaný určeným smerom
    - využíva sa napr. v multianténových WiFi (IEEE 802.11n)

# Time Division Multiplexing

- multiplexing
  - na vstupe máme  $n$  kanálov
  - na výstupe máme 1 kanál s  $n$ -násobnou prenosovou rýchlosťou
  - zo vstupných kanálov cyklicky berieme jeden symbol a odosielame ho výstupným kanálom
- demultiplexing
  - preberáme symboly zo vstupného kanála a cyklicky ich odosielame jednotlivými výstupnými kanálmi
- používané napr. pre synchrónne linky

# Statistical Time Division Multiplexing

- podobne ako pri TDM sa údaje z jednotlivých vstupných kanálov prenášajú v rôznom čase
- ale pridelenie časových slotov nie je pevné
- časové sloty sa pridávajú dynamicky
  - keď prídu dáta
  - dá sa použiť pre asynchrónne linky, packet switching
  - súčet kapacít vstupných kanálov môže presiahnuť kapacitu výstupného
    - pomocou buffera je možné zvládnuť krátkodobé prekročenie kapacity, ale nie dlhodobé

# TDM vs. STDM

- oneskorenie
  - TDM: pevné
  - STDM: variabilné
    - závisí od naplánovania časového slotu, množstva súperiacich prenosov
- počet kanálov
  - TDM: pevný
  - STDM: variabilný
- prenosová rýchlosť kanálov
  - TDM: pevná
  - STDM: môže byť variabilná podľa potreby

# Frequency Division Multiplexing

- jednotlivé kanály sa prenášajú moduláciou nosného signálu s inou frekvenciou
  - spektrum výsledného signálu je sústredené okolo frekvencie nosného signálu
  - šírka pásma závisí od šírky pásma dátového signálu a použitej modulácie
  - ak sú frekvencie nosného signálu dostatočne vzdialené (vzhľadom na šírku pásma), rôzne kanály sa nebudú neprimerane ovplyvňovať

# Wavelength Division Multiplexing

- FDM pri optických vláknach
- jednotlivé kanály používajú svetlo s rôznou vlnovou dĺžkou
  - pomocou optických hranolov alebo difrakčných mriežok sa dajú spojiť do jedného lúča a naopak z jedného lúča rozdeliť na samostatné lúče
    - index lomu je rôzne pre rôzne vlnové dĺžky svetla
- často sa používa na vytvorenie viacerých nezávislých kanálov cez jedno optické vlákno
  - napr. aj na vytvorenie full-duplex linky použitím jedného vlákna namiesto dvoch



# Code Division Multiplexing

- časový slot pre bit rozdelíme na  $m$  častí (nazývané *chip*)
- každému kanálu  $k$  pridáme  $m$ -bitový kód (*chip sequence*) reprezentovaný vektorom  $\mathbf{v}_k$  nad  $\{1, -1\}$
- bit z kanálu  $k$  zakódujeme
  - 1 =  $\mathbf{v}_k$
  - 0 =  $-\mathbf{v}_k$
  - N/A =  $\mathbf{0}$
- zakódované bity z jednotlivých kanálov sčítame
  - $\mathbf{s} = \sum d_i \mathbf{v}_i$ , kde  $d_i \in \{1, -1, 0\}$

# Code Division Multiplexing

- kódy jednotlivým kanálom pridelujeme tak, aby boli navzájom ortogonálne
  - $\langle \mathbf{v}_i, \mathbf{v}_j \rangle = 0$  pre  $i \neq j$ , kde  $\langle \mathbf{v}_i, \mathbf{v}_j \rangle$  je skalárny súčin
- dáta pre kanál  $k$  sa následne dajú dekódovať:
  - $\langle \mathbf{s}, \mathbf{v}_k \rangle = \langle \sum d_i \mathbf{v}_i, \mathbf{v}_k \rangle = \langle d_k \mathbf{v}_k, \mathbf{v}_k \rangle = d_k \langle \mathbf{v}_k, \mathbf{v}_k \rangle = md_k$ 
    - $>0$  ... 1
    - $<0$  ... 0
    - $=0$  ... N/A

# Code Division Multiplexing

- příklad pre  $m=4$

- $\mathbf{v}_1 = (1, 1, 1, 1)$     $d_1 = 1$     $(1, 1, 1, 1)$

- $\mathbf{v}_2 = (-1, -1, 1, 1)$     $d_2 = -1$     $(1, 1, -1, -1)$

- $\mathbf{v}_3 = (1, -1, -1, 1)$     $d_3 = 0$     $(0, 0, 0, 0)$

- $\mathbf{v}_4 = (1, -1, 1, -1)$     $d_4 = 1$     $(1, -1, 1, -1)$

- výsledný signál  $\mathbf{s}$ :    $(3, 1, 1, -1)$

- $\langle \mathbf{s}, \mathbf{v}_1 \rangle = 4 \dots 1$

- $\langle \mathbf{s}, \mathbf{v}_2 \rangle = -4 \dots 0$

- $\langle \mathbf{s}, \mathbf{v}_3 \rangle = 0 \dots \text{N/A}$

- $\langle \mathbf{s}, \mathbf{v}_4 \rangle = 4 \dots 1$

# Code Division Multiplexing

- čo sa stane, keď pridáme trochu šumu
  - $s = (3, 1, 1, -1)$
  - $n = (1, -1, 1, -1)$
  - $s' = (4, 0, 2, -2)$
  - $\langle \mathbf{s}', \mathbf{v}_1 \rangle = 4 \dots 1$
  - $\langle \mathbf{s}', \mathbf{v}_2 \rangle = -4 \dots 0$
  - $\langle \mathbf{s}', \mathbf{v}_3 \rangle = 0 \dots \text{N/A}$
  - $\langle \mathbf{s}', \mathbf{v}_4 \rangle = 8 \dots 1$

# Code Division Multiplexing

- čo sa stane, keď pridáme trochu šumu
  - $s = (3, 1, 1, -1)$
  - $n = (1, -1, 1, 1)$
  - $s' = (4, 0, 2, 0)$
  - $\langle \mathbf{s}', \mathbf{v}_1 \rangle = 6 \dots 1$
  - $\langle \mathbf{s}', \mathbf{v}_2 \rangle = -2 \dots 0$
  - $\langle \mathbf{s}', \mathbf{v}_3 \rangle = 0 \dots \text{N/A}$
  - $\langle \mathbf{s}', \mathbf{v}_4 \rangle = 6 \dots 1$

# Code Division Multiplexing

- odolnosť voči šumu
  - pridáme šum  $\mathbf{n}$
  - $\langle \mathbf{s} + \mathbf{n}, \mathbf{v}_k \rangle = md_k + \langle \mathbf{n}, \mathbf{v}_k \rangle$
- ak je šum malý,  $|\langle \mathbf{n}, \mathbf{v}_k \rangle| < m$ 
  - nebráni úspešnému dekódovaniu
- ak je šum náhodný, tak  $|\langle \mathbf{n}, \mathbf{v}_k \rangle|$  je s veľkou pravdepodobnosťou blízka 0

# Code Division Multiplexing

- s'ťaženie odpočúvania
  - ak sa prenáša dostatok kanálov súčasne
  - bez znalosti  $\mathbf{v}_k$ , je ťažké určiť dáta prenášané na príslušnom kanáli
  - v praxi sa používa  $m$  rádovo v desiatkach až stovkách
- spread spectrum
  - signál využíva široké spektrum – je rozprestretý

# Multiplexing vs. Multiple Access

- techniky multiplexovania sa dajú za určitých podmienok použiť aj ako metódy pre viacnásobný prístup k zdieľanému médiu
- xDM -> xDMA (x Division Multiple Access)
- TDMA
  - jednotlivé stanice majú určené *time slot-y*, v ktorých vysielajú
  - vyžaduje presnú synchronizáciu staníc



# Multiplexing vs. Multiple Access

- FDMA
  - jednotlivé stanice majú určenú nosnú frekvenciu kanála
  - vyžaduje dôsledné filtrovanie frekvencií spektra
    - pri pohyblivých stanicach treba brať do úvahy aj Dopplerov efekt (posun frekvencie) a zväčšiť odstup medzi kanálmi
- CDMA
  - jednotlivé stanice majú pridelený chip sequence

# Asynchrónne CDMA

- TDMA, FDMA, CDMA
  - fixný počet kanálov
    - počet time-slotov
    - počet freknečných pásiem
    - počet ortogonálnych kódov
  - obmedzuje max. počet používateľov
  - nevyužitý pri menšom počte aktívnych používateľov
- asynchrónne CDMA
  - nemá pevné obmedzenie na počet používateľov

# Asynchrónne CDMA

- namiesto ortogonálnych chip sequence použijeme náhodne generované
  - skalárny súčin dvoch náhodných vektorov nad  $\{1, -1\}$  bude s veľkou pravdepodobnosťou blízky 0
  - opustením požiadavky na ortogonalitu získame výrazne väčší priestor pre výber vektorov – viac používateľov
- stanice nemusia byť synchronizované
- vysielať ostatných staníc sa bude javiť ako šum
- ale treba zabezpečiť, že vysielajúce stanice budú mať porovnateľnú intenzitu signálu u príjemcu
  - regulácia vysielačieho výkonu v mobilných sieťach