

Přepínání

- Směrování určeno pro velké sítě
 - velká režie
 - vyměňovaných dat
 - konstrukce směrovacích tabulek
 - vlastního směrování (prohledávání tabulek)
- Sít' tvořena fyzickými spoji propojujícími jednotlivé prvky
 - **přepínání**: mezistupeň mezi fyzickým přenosem a rozlehlou sítí

Stavební prvky

- Lokální sítě na sdíleném médiu (podrobněji v následující přednášce)
 - omezený počet uzlů (kolize)
 - omezená největší vzdálenost uzlů
 - výkonnost (sdílené médium)
- Řešení: propojení takovýchto lokálních sítí

Přemostění

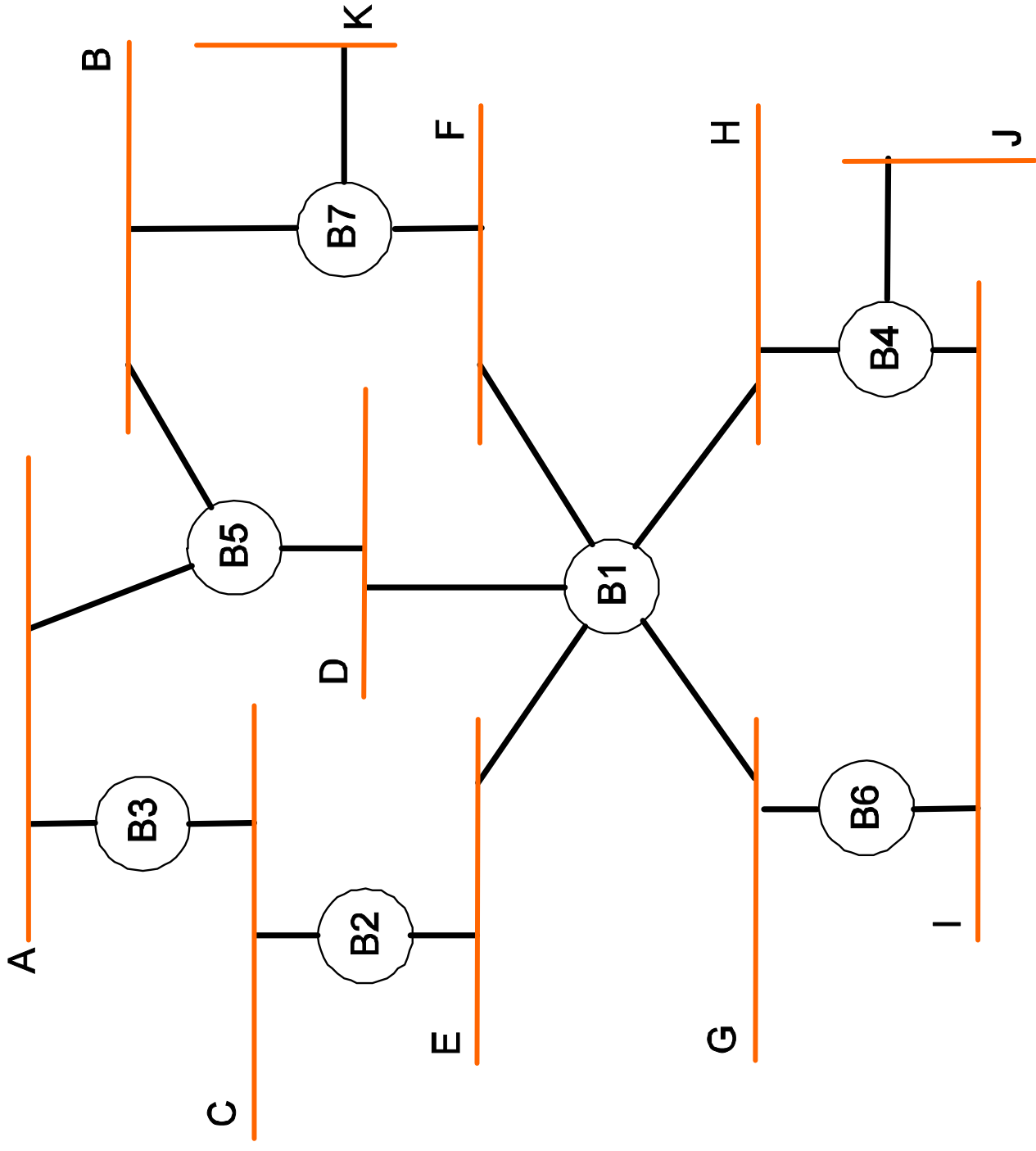
- Můstky (bridges)
 - transparentní propojení sítí
- Vlastnosti
 - všechny provoz prochází můstkem
 - oddělí sdílené média (kolize se nepřenáší)
 - může mít více jak dvě připojení

Backward learning algorithm

- Zasílání (forwarding)
 - můstek se „učí“ umístění (vzhledem k připojeným sítím) nasloucháním na médiu -- sleduje zdrojové adresy
 - zasílá podle cílové adresy
 - informace „stárne“ (pokud z daného zdroje nevidí po nějakou dobu data, údaj o umístění zapomene -- v řádu desítek sekund)

Složitější sítě

- Pomocí můstků lze vytvořit sítě s cykly
- Jak v takovém prostředí nalézt správnou cestu (obdoba směrování)
- Spanning Tree algorithm (výpočet kostry)
 - nezávislý na předchozím backward learning algoritmu



Výpočet kostry

- Distribuovaný algoritmus na hledání kostry
 - robustnost proti výpadkům
 - nevyžaduje centrální organizaci

Náčrt algoritmu

- Cílem je některé porty můstku nepoužívat
- Volba kořenového vrcholu stromu (nejnižší adresa)
- Postupný růst stromu -- nejkratší vzdálenost od kořene (preferenci mají uzly s nižší adresou, pokud více možností)
- Nalezené „nejlepší“ cesty (definují aktivní porty můstky)
- Vypnout všechny ostatní porty

Algoritmus -- pokračování

- Každý můstek posílá periodické zprávy
 - vlastní adresa, adresa kořenového můstku, vzdálenost od kořene
- Když dostane zprávu od souseda, upraví definici „nejlepší“ cesty
 - preferuje kořen s menší adresou
 - preferuje menší vzdálenosti
 - při stejných vzdálenostech preferuje nižší adresu

Algoritmus -- inicializace

- Na začátku si každý můstek myslí, že je kořenem
 - pošle konfigurační informaci na všechny porty
- Následně můstky posílají jen“nejlepší“ konfigurace (cesty)
 - přičti 1 k vzdálenosti, pošli na porty kde stále „nejlepší“ cesta
 - vypni zasílání dat na všech ostatních portech

Algoritmus -- příklad

- Formát zprávy:
 - $\langle \text{kořen, vzdálenost ke kořeni, můstek} \rangle$
- Příklady zpráv jdoucích přes B3
 - B3 pošle $\langle B3,0,B3 \rangle$ můstkům B2 a B5
 - B3 dostane $\langle B2,0,B2 \rangle$ a $\langle B5,0,B5 \rangle$, přijme B2 coby kořen
 - B3 pošle $\langle B2,1,B3 \rangle$ můstku B5
 - B3 dostane $\langle B1,1,B2 \rangle$ a $\langle B1,1,B5 \rangle$, přijme B1 coby kořen
 - B3 chce poslat $\langle B1,2,B2 \rangle$, ale to není nejlepší cesta
 - B3 dostane znovu $\langle B1,1,B2 \rangle$ a $\langle B1,1,B5 \rangle$ -- stabilita
 - vypne posílání dat na síť A

Algoritmus -- upřesnění

- Informace „stárne“
 - selhání kořene vede eventuálně k volbě nového kořene
- Rekonfigurace neprobíhá okamžitě (je tlumena)
 - prevence vzniku dočasných cyklů

Přepínače (switches)

- V principu se jedná o více portové můstky
 - v současné době nejpoužívanější forma propojení lokálních sítí
 - lze připojovat buď samostatné stroje nebo podsítě (kaskáda přepínačů)
- Tzv. L2 směrování
 - založeno na adresách sítě, nikoliv IP adresách
 - z IP pohledu uniformní prostředí

Omezení

- Vhodné pouze pro malé sítě
 - skutečně funkční „plug and play“
- Nevhodné pro velké sítě
 - přepínací tabulky rostou s počtem uzlů (koncových stanic, ne můstků)
 - přílišný automatismus (důsledek „plug and play“ -- minimální kontrola nad cestami)
 - netvoří hranice pro broadcastový provoz
 - pomalé -- limitováno použitým algoritmem hledání kostry
 - Neumožňuje logické oddělení lokálních sítí

Přepínání okruhů

- Dvě fáze:
 - vytvoření spojení (okruhu)
 - vlastní přenos dat
- Životnost virtuálního okruhu
 - permanentní, nastaven administrátorem (PVC)
 - dočasný, vytvořen na žádost (SVC)

Kódování pro přenos dat

- Data a signál
- Analogový versus digitální
- Základní funkce

Signál

- Elektromagnetický signál
 - časování
 - frekvence
- Analogový a digitální signál -- čas
- Spektrum a jeho šířka
 - různé frekvence
 - interval frekvencí

Analogový vs. digitální

- Nosná veličina
 - spojitá změna
 - diskrétní změna (pulsy)
- Kódování a dekódování
 - hodnota amplitudy, frekvence, fáze
 - generování a detekce pulsů
- Defekty
 - přenosový šum, útlum, nelinearity
 - detekovatelné, odfiltrovatelné
- Zesilování
 - kumulace defektů
 - „pouze“ opakuje signál

Defekty signálů

Vysílač (P_1 [W]) ---> ---> ---> (P_2 [W]) Přijímač

- Útlum
- Zmenšení amplitudy signálu
 - $10 \log_{10} (P_1/P_2)$ [dB]
 - zesílení -- $10 \log_{10} (P_2/P_1)$ [dB]
- Zkreslení
 - různá rychlost průchodu médiem
 - nutná mezera mezi přenášenými symboly

Defekty signálů -- Šum

- zeslabení až rušení signálu
- kvantifikace SNR (Signal to Noise Ratio)

$$S/N_{\text{dB}} = 10 \log_{10} S/N$$

kde S je výkon signálu a N výkon šumu

- velká SNR výhodou
- klasifikace šumu
 - přeslech
 - impulsní šum
 - teplotní (bílý) šum

Kódování

- Ovlivnění kvality přijímaného signálu
 - šířka pásma
 - počet přenášených harmonických složek
 - S/N
 - zvýšená hodnota snižuje chybovost přenosu
 - rychlost dat
 - zvýšená hodnota zvyšuje chybovost přenosu
- Snaha nalézt optimální kvalitu přijímaného signálu

Analogový signál a data

- Vlastní signál
 - nosný signál, $g(t)$
 - většinou sinusový průběh
 - modulační signál, $m(t)$
 - vlastní kódování (amplituda, frekvence, pásmo)
- Analogová data
 - $s(t) = (c+k m(t) g(t))$ -- amplitudová modulace
- Digitální data
 - modulátor-demodulátor (modem)
 - modulační signál ekvivalentem digitálních dat

Charakteristiky signálu

- Periodicita: $s(t+T) = s(t)$
- Frekvence: $f = 1/T$
 - sec^{-1} ; počet opakování
- Amplituda: $s(t)$
 - okamžitá hodnota signálu („síla“)
- Fáze: Φ
 - míra relativní pozice v čase v rámci periody signálu
 - $s(t) = A \cdot \sin(2\pi f t)$; $s(t) = A \cdot \sin(2\pi f t + p)$, *fázový posun*

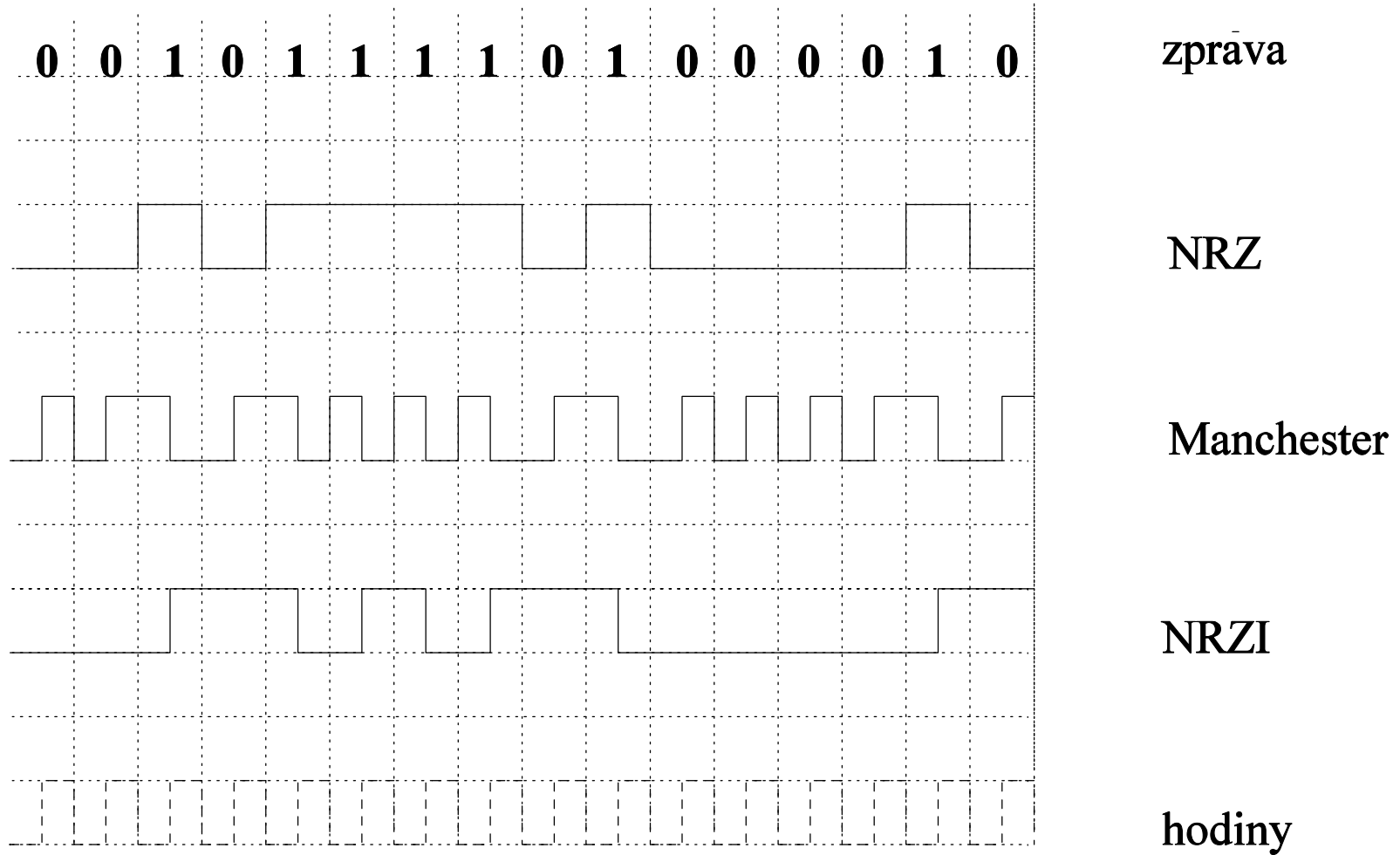
Digitální signál a data

- Digitální signál - pulsy
- Analogová data
 - periodické vzorkování analogového signálu (Δt) spojené s kódováním naměřené veličiny do pulsů
 - coder-decoder (codec)
- Digitální data

Digitální přenos

- Dva diskrétní signály: vysoký-nízký
- Non-return to zero, NRZ
 - chybí oddělení mezi jednotlivými stavy
 - pohyb základní linie (baseline wander)
 - desynchronizace hodin (clock recovery)
- Non-return to zero inverted, NRZI
 - řešení pro 1, problém zůstává pro řetězce 0
- Manchester
 - 0 je „low-to-high“, 1 je „high-to-low“

Kódovací strategie



Digitální přenos II

- Manchester
 - snížení efektivní přenosové kapacity
- 4B/5B
 - 4 bity dat kódovány 5 bity přenesenými
 - nejvýše tři 0 mohou následovat po sobě
 - nejvýše jedna 0 na začátku a dvě 0 na konci
 - vlastní přenos prostřednictvím NRZI
 - počet 1 není důležitý (nejvýše 8)

Kódování 4B/5B

4B	5B	4B	5B
0000	11110	1000	10010
0001	01001	1001	10011
0010	10100	1010	10110
0011	10101	1011	10111
0100	01010	1100	11010
0101	01011	1101	11011
0110	01110	1110	11100
0111	01111	1111	11101

Bauds vs. bity za sekundu

- Baudová rychlost
 - počet změn signálu za sekundu
- Bitová rychlost
 - počet přenesených bitů za sekundu
- NRZ: $1\text{bd} = 1\text{b}$
- Manchester: $2\text{bd} = 1\text{b}$
- Je možný i opačný poměr, tj. bitová > baudová

Digitální data a analogový signál

- Modulace

- amplitudy

- fáze

- frekvence

- nosného signálu.

- Převod digitálních dat na analogový signál

- Demodulace

Detekce chyb

- Zjištění chyby
 - případně i její korekce
- Založena na redundanci (pošleme více bitů než je nezbytně třeba)
 - vysílač přidá bity, jejichž hodnota je funkcí přenášených dat
 - přijímač spočte stejnou funkci a v případě rozdílu hodnoty detekuje chybu
- Oprava -- opakováním vysílání

Parita

- Paritní bit
 - lichá parita: lichý počet jedniček
 - sudá parita: sudý počet jedniček
- Detekuje chybu v jednom bitu
 - vhodné pro bílý šum (náhodné chyby)
 - nevhodné pro blokové (související) chyby
- Podélná (běžnější) a vertikální parita

CRC

- Cyclic redundancy check
- zpráva n bitů, přidá se k bitů, $n \gg k$
 - typicky $n=12000$ (1500byte), $k=32$
- Zpráva reprezentuje polynom $M(x)$ stupně $n-1$
- k je stupeň vhodného dělicího polynomu $C(x)$
- Garantuje silnou kontrolu
 - detekce všech jednobitových chyb
 - možné i všechny dvoubitové chyby
 - většina dávkových chyb

CRC II

- Ke zprávě $n+1$ bitů ($M(x)$) se přidá k bitů -- $P(x)$
- $P(x)$ musí být beze zbytku dělitelné $C(x)$
- Postup:
 - $T(x) = M(x) * x^k$
 - $Rem = T(x) / C(x)$
 - $P(x) = T(x) - Rem$
- Snadná implementovatelnost: XOR a posuv

Vlastnosti $C(x)$

- Detekuje všechny jednobitové chyby, má-li nenulový první a poslední bit (x^k a x^0)
- Detekuje všechny dvojbitové chyby, pokud má alespoň 3 jedničkové koeficienty po sobě
- Detekuje lichý počet chyb, obsahuje-li $x+1$
- Detekuje skupinu chyb (burst), je-li kratší než k

Varianty polynomu $C(x)$

CRC-8

$$x^8 + x^2 + x + 1$$

CRC-10

$$x^{10} + x^9 + x^5 + x^4 + x + 1$$

CRC-12

$$x^{12} + x^{11} + x^3 + x^2 + 1$$

CRC-16

$$x^{16} + x^{15} + x^2 + 1$$

CRC-CCITT

$$x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$$

CRC-32

$$x^{32} + x^{26} + x^{23} + x^{22} + x^{16} + x^{12} + \\ x^{11} + x^{10} + x^8 + x^7 + x^5 + x^4 + x^2 + x + 1$$

Detekce versus korekce

- Počet „zbytečně“ poslaných bitů/znaků
- Režie spojená s detekčními a korekčními kódy
- Běžné linky (nízká chybovost) -- detekce
- Linky s vysokou chybovostí (např. bezdrátové) -- korekce

- EC v sítích -- Forward error correction, FEC

Multiplexory

- Jeden spoj, více vysílačů/přijímačů
- Synchronní -- (S)TDM (time division)
- Frekvenční -- FDM (frequency division)

- Statistický multiplexing

Bezdrátové sítě

- IEEE 802.11
- Šířka pásma: 1, 2, 5.5 a 11 Mb/s
 - radiové vlny kolem 2,4 GHz
 - difúzní infračervené světlo
- Rozprostřené (spread) pásmo
 - Frequency hopping: 79 pásem 1 MHz
 - n-bit chipping: 11-bitový chipping

Bezdrátové sítě -- kolize

- Pohyb zdrojů
 - viditelnost není transitivní
- MACA -- Multiple Access with Collision Avoidance
 - handshake před vlastními daty
 - Request to Send (RTS) a Clear to Send (CTS)
 - Kdo vidí CTS nesmí vysílat
 - Finální ACK ukončí přenos

Bezdrátové sítě -- přístup

- Ad hoc sítě
- Organizované sítě -- Přístupové body (Access Point)
- Scanning
 - Uzel pošle *Probe*
 - Všechny slyšící AP pošlou *Probe Response*
 - Uzel vybere jeden a pošle *Association Request*
 - Příslušný AP odpoví *Association Response*

Teorie přenosu dat

- Míra informace
 - $I(z) = -\log p(z)$
 - Méně pravděpodobná zpráva nese více informace
- Entropie
 - $H(z) = -\sum p(z) \log p(z)$
 - vážené množství informace
 - maximum: $H_{\max}(z) = \log n$

Abeceda

- Množina m prvků (znaků)
- Používá se pro kódování zprávy
- Je možné definovat apriorní pravděpodobnost výskytu znaku ve zprávě
- Maximální entropie zprávy délky n

$$H_{\max} = n \log m$$

Kódování

- Změna mohutnosti abecedy
- Utajení
- Komprese (lepší využití kapacity kanálu)
- Digitální representace spojitých dat

Příklady příkladů písemky

- Rozdíl mezi „dense“ a „sparse“ módem při šíření multicastu
- Popište základní princip CRC
- Uved'te příklady spojovaných a nespojovaných služeb
- Čím se liší TCP a UDP?
- Srovnejte princip přenosu paketů v IP sítích s přenosem buněk v ATM sítích

Příklady příkladů písemky

- Vyberte si nějaký intradomenový (interdomenový) směrovací protokol a popište jeho vlastnosti
- V čem vidíte hlavní rozdíl mezi směrováním a přepínáním?
- Srovnajte přepínání v paketových a ATM sítích
- Co je CSMA/CD a jaké jsou principy jeho funkce?