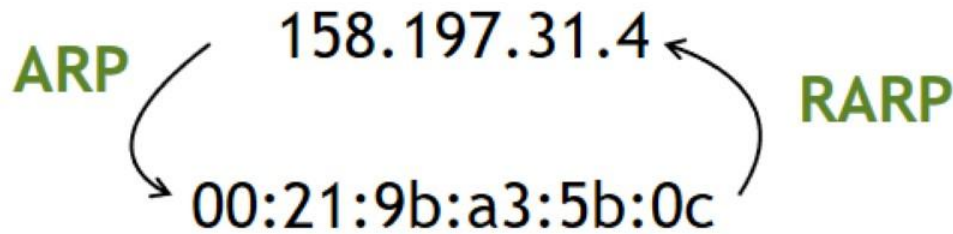
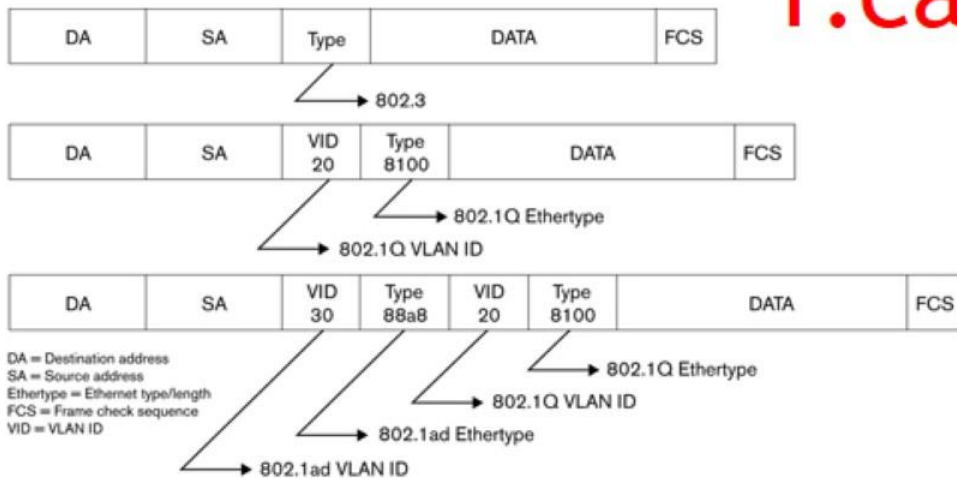


9. prednáška



Spojová vrstva 1.část



Prehľad prednášky

❑ Úvod do spojovej vrstvy

❑ Implementácia spojovej vrstvy

❑ Odhaľovanie chýb

- ❖ kontrola parity

- ❖ kontrolný súčet

- ❖ CRC

❑ Adresácia na spojovej vrstve - MAC adresy

❑ Rámec Ethernetu 802.3

❑ Sieťové protokoly ARP a RARP

- ❖ ARP a NDP tabuľka

❑ Topológie LAN

❑ Hub

❑ Switch

❑ Rozšírenia Ethernetu

- ❖ VLAN 802.1Q

- ❖ STP 802.1D

❑ Mobilita

- ❖ v rámci siete

- ❖ medzi sieťami (Mobile IP)

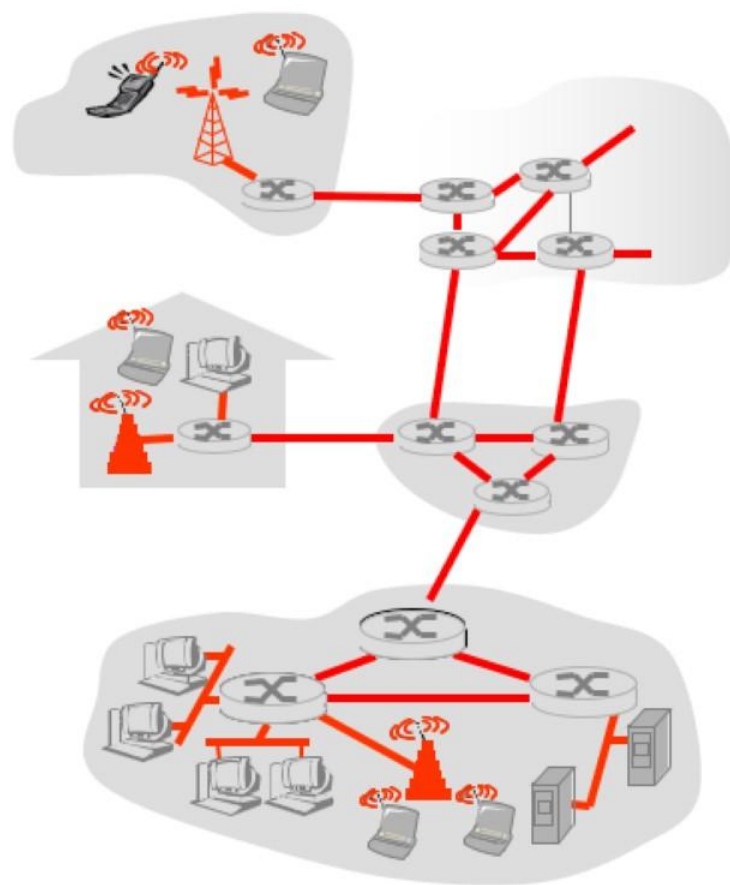
- ❖ mobilné siete

Spojová vrstva: úvod

Terminológia:

- ❑ stanice a smerovače sú **uzly**
- ❑ komunikačné kanály, ktoré spájajú príslušné uzly napojené na ne, sú **spoje**
 - ❖ drôtové spoje
 - ❖ bezdrôtové spoje
 - ❖ LAN
- ❑ posielané dáta z pohľadu druhej vrstvy sa nazývajú **rámec** (frame), ktorý zaobaluje paket

spojoiná vrstva má za úlohu dopraviť paket z jedného uzla na druhý príslušný uzol prostredníctvom spoja



Spojová vrstva: prenos paketu rámcami

□ paket je na ceste
prenášaný rôznymi
technológiami spojovej
vrstvy a rôznymi typmi
spojov:

❖ napr. koaxiálny kábel na prvom
spoji, WiFi na poslednom

□ každá technológia spojovej
vrstvy môže poskytovať iné
služby

❖ napr. môže poskytovať
potvrdzovaný prenos dát

Analógia

□ cesta z Košíc na Lomnický štít

❖ autobus: z UPJŠ na stanicu v
Košiciach

❖ vlak: z Košíc do Popradu

❖ električka: z Popradu do Tatranskej
Lomnice

❖ lanovka: z Tatranskej Lomnice na
Lomnický štít

□ človek = **paket siet'. vrstvy**

□ úsek cesty = **spoj**

□ druh prepravy po spoji =
technológia **spojovej vrstvy**

□ naplánovanie trasy = **smerovací
algoritmus**

□ prestupné stanice = **smerovače**

Možné služby spojovej vrstvy

❑ *vytváranie rámcov, prístup k spoju:*

- ❖ zabaľuje paket do rámca, pridáva hlavičku a pätičku
- ❖ ak je zdieľaný spoj, zisťuje, kedy má odosielať
- ❖ na identifikáciu zdroja a cieľa používa “MAC” (hardvérové, fyzické) adresy
 - ❖ rôzne od IP adres!

❑ *potvrdzovaný prenos medzi prilahlými uzlami*

- ❖ spôsob, ako to dosiahnuť, sme sa už naučili na transportnej vrstve
- ❖ málokedy sa používa na spojoch s nízkou mierou chybovosti (optika, krútené dvojdrôty)
- ❖ užitočný pre bezdrôtové spojenia: vysoká chybovosť

Možné služby spojovej vrstvy

❑ *kontrola toku dát:*

- ❖ kontrola pretečenia zásobníka príjemcu

❑ *odhaľovanie chýb:*

- ❖ chyby spôsobené útlmom signálu, rušením
- ❖ príjemca zistí prítomnosť chýb v rámci:
 - ❖ požiadala odosielateľa o preposlanie alebo zahodí rámec

❑ *oprava chýb:*

- ❖ príjemca identifikuje *a opraví* bitové chyby bez opätovného preposlania

❑ *half-duplex a full-duplex*

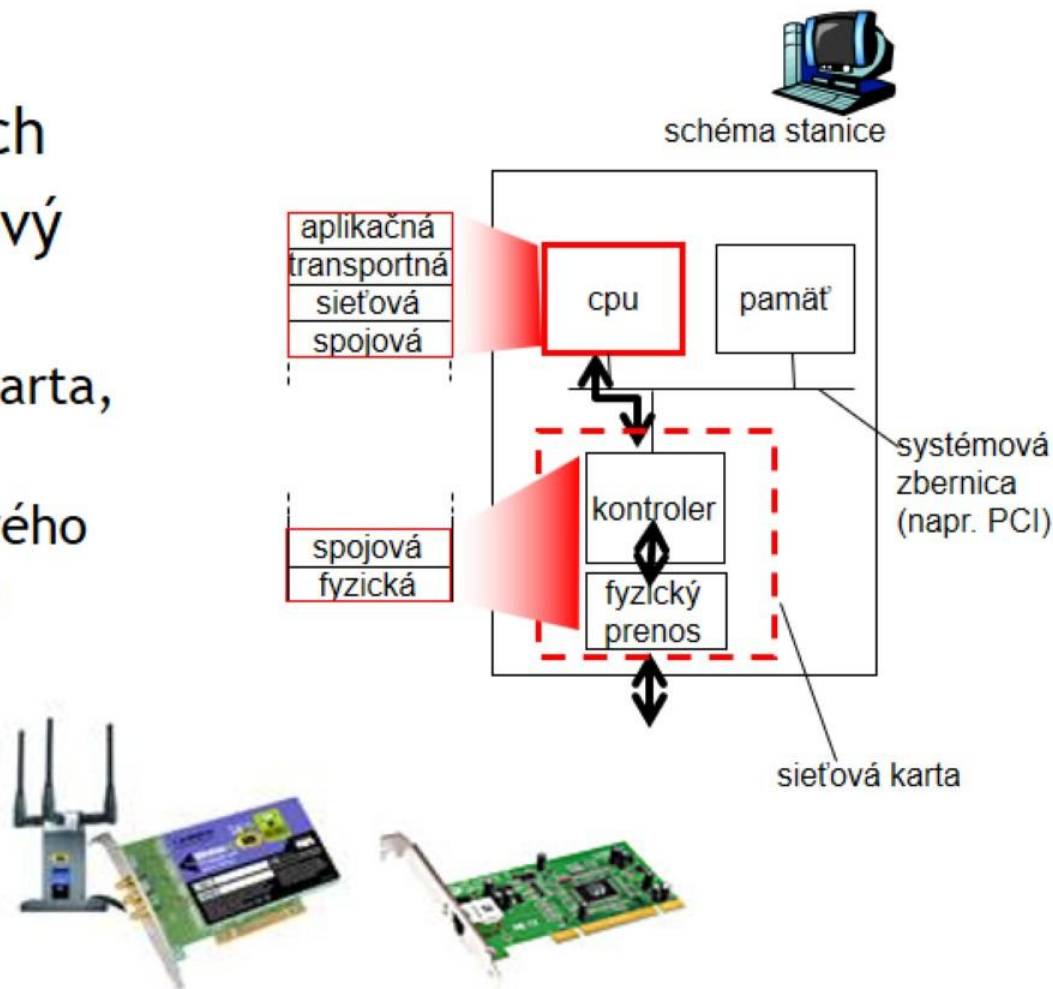
- ❖ s half duplexom môžu uzly na koncoch spoja odosielať daným spojom obidvoma smermi, ale nie v rovnakom čase

Prehľad prednášky

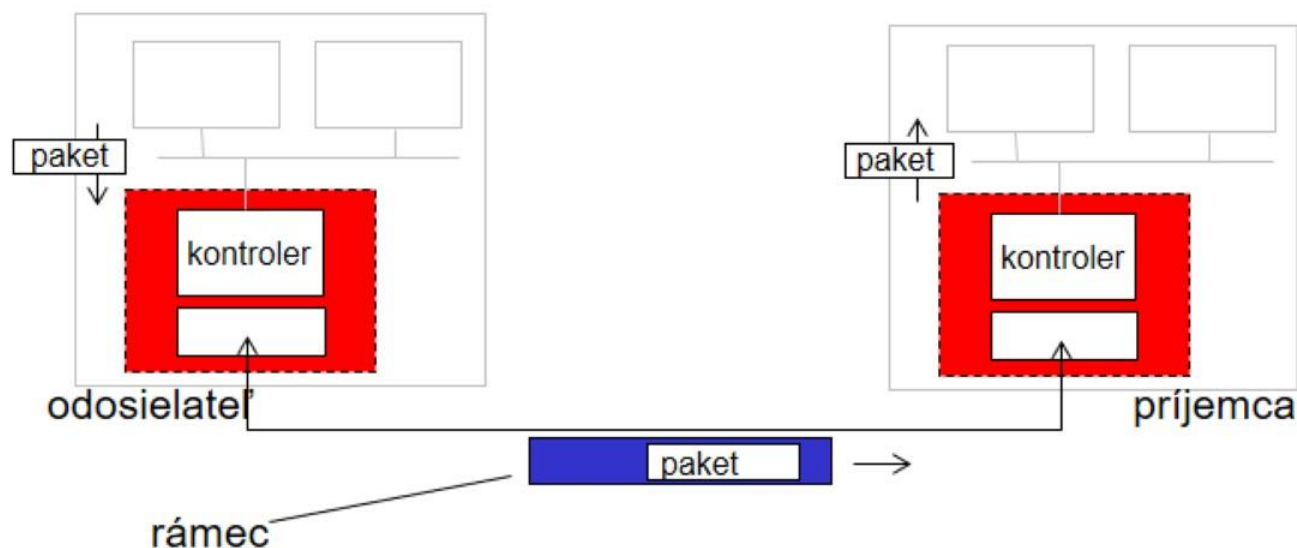
- ❑ Úvod do spojovej vrstvy
- ❑ Implementácia spojovej vrstvy
- ❑ Odhaľovanie chýb
 - ❖ kontrola parity
 - ❖ kontrolný súčet
 - ❖ CRC
- ❑ Adresácia na spojovej vrstve - MAC adresy
- ❑ Rámec Ethernetu 802.3
- ❑ Sieťové protokoly ARP a RARP
 - ❖ ARP a NDP tabuľka
- ❑ Topológie LAN
- ❑ Hub
- ❑ Switch
- ❑ Rozšírenia Ethernetu
 - ❖ VLAN 802.1Q
 - ❖ STP 802.1D
- ❑ Mobilita
 - ❖ v rámci siete
 - ❖ medzi sieťami (Mobile IP)
 - ❖ mobilné siete

Kde je implementovaná spojová vrstva?

- ❑ na každej stanici, na každom rozhraní smerovača, vo switch-och
- ❑ v sieťovej karte (sieťový adaptér)
 - ❖ Ethernetová karta, PCMCIA karta, WiFi karta
 - ❖ implementuje vrstvu sieťového rozhrania (spojová + fyzická)
 - ❖ pripojená na systémovú zbernicu počítača
- ❑ kombinácia hardvéru, softvéru a firmvéru



Komunikácia so sieťovým adaptérom



□odosielateľ:

- ❖zabalí paket do rámca
- ❖pridá kontrolu chýb, spoľahlivý prenos dát, kontrolu toku dát, ...

□príjemca:

- ❖zist'uje chyby, rieši kontrolu toku dát, ...
- ❖extrahuje paket, pošle ho vyššej vrstve na spracovanie

Prehľad prednášky

- ❑ Úvod do spojovej vrstvy
- ❑ Implementácia spojovej vrstvy
- ❑ Odhaľovanie chýb
 - ❖ kontrola parity
 - ❖ kontrolný súčet
 - ❖ CRC
- ❑ Adresácia na spojovej vrstve - MAC adresy
- ❑ Rámec Ethernetu 802.3
- ❑ Sieťové protokoly ARP a RARP
 - ❖ ARP a NDP tabuľka
- ❑ Topológie LAN
- ❑ Hub
- ❑ Switch
- ❑ Rozšírenia Ethernetu
 - ❖ VLAN 802.1Q
 - ❖ STP 802.1D
- ❑ Mobilita
 - ❖ v rámci siete
 - ❖ medzi sieťami (Mobile IP)
 - ❖ mobilné siete

Odhaľovanie chýb

- ❑ Do rámca sa pridajú extra kontrolné bity na kontrolu a prípadne aj na opravu chýb
- ❑ Kontrola môže zahrnúť aj hlavičku rámca
- ❑ Odhaľovanie chýb nie je 100% spoľahlivé!
 - ❖ príjemcovi môžu niektoré chyby uniknúť, ale zriedkakedy
 - ❖ čím viac kontrolných bitov, tým lepšia detekcia a väčšia možnosť opravenia chyby

Prehľad prednášky

- ❑ Úvod do spojovej vrstvy
- ❑ Implementácia spojovej vrstvy
- ❑ Odhaľovanie chýb
 - ❖ kontrola parity
 - ❖ kontrolný súčet
 - ❖ CRC
- ❑ Adresácia na spojovej vrstve - MAC adresy
- ❑ Rámec Ethernetu 802.3
- ❑ Sieťové protokoly ARP a RARP
 - ❖ ARP a NDP tabuľka
- ❑ Topológie LAN
- ❑ Hub
- ❑ Switch
- ❑ Rozšírenia Ethernetu
 - ❖ VLAN 802.1Q
 - ❖ STP 802.1D
- ❑ Mobilita
 - ❖ v rámci siete
 - ❖ medzi sieťami (Mobile IP)
 - ❖ mobilné siete

Kontrola parity

Jeden paritný bit:

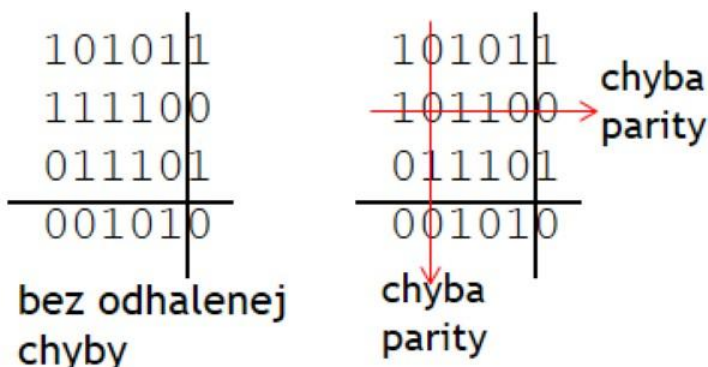
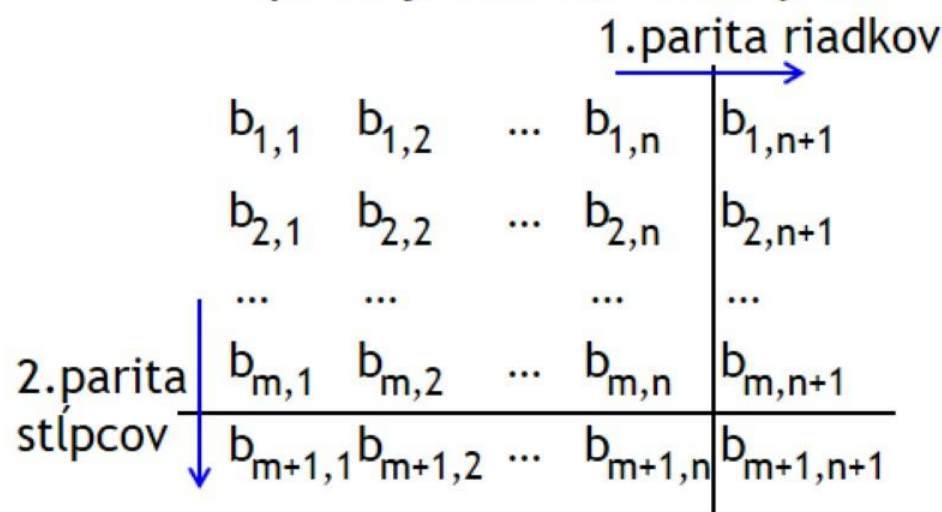
Odhalí nepárny počet bitových chýb

01110001101010	1
----------------	---

← dátové bity → paritný bit

Bloková parita bitov:

- odhalí viac chýb
- opraví jednu bitovú chybu



Prehľad prednášky

- ❑ Úvod do spojovej vrstvy
- ❑ Implementácia spojovej vrstvy
- ❑ Odhaľovanie chýb
 - ❖ kontrola parity
 - ❖ **kontrolný súčet**
 - ❖ CRC
- ❑ Adresácia na spojovej vrstve - MAC adresy
- ❑ Rámec Ethernetu 802.3
- ❑ Sieťové protokoly ARP a RARP
 - ❖ ARP a NDP tabuľka
- ❑ Topológie LAN
- ❑ Hub
- ❑ Switch
- ❑ Rozšírenia Ethernetu
 - ❖ VLAN 802.1Q
 - ❖ STP 802.1D
- ❑ Mobilita
 - ❖ v rámci siete
 - ❖ medzi sieťami (Mobile IP)
 - ❖ mobilné siete

Kontrolný súčet

Použitie: v transportnej vrstve (náročné pre hardvérovú implementáciu)

Odosielateľ:

- ❑berie obsah datagramu/segmentu ako postupnosť 16 bitových čísiel
- ❑kontrolný súčet: invertovaný súčet všetkých čísiel bez prenesených bitov
- ❑odosielateľ vloží kontrolný súčet do hlavičky datagramu/segmentu

Príjemca:

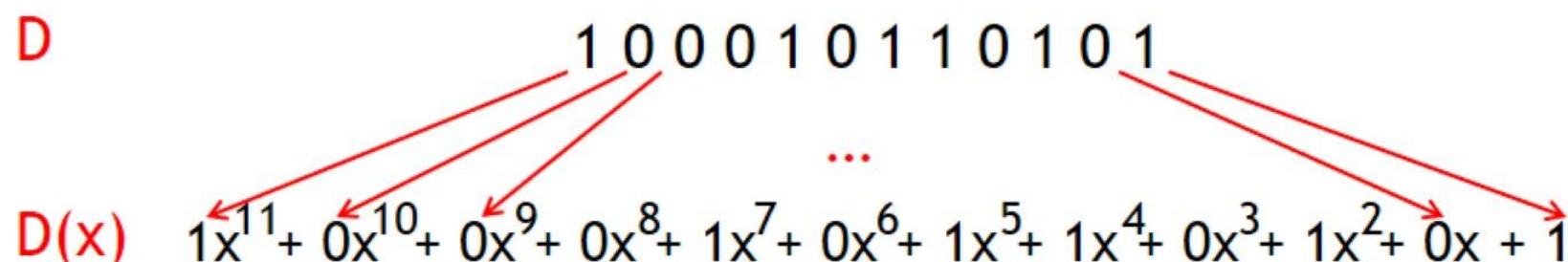
- ❑vypočíta súčet prijatého datagramu/segmentu ako postupnosti 16 bitových čísiel a kontrolný súčet
- ❑ak je vo výsledku aspoň jedna nula, odhalili sme chybu
- ❑ak má výsledok samé jednotky, tak sa žiadna chyba neodhalila (ale môže tam byť)

Prehľad prednášky

- ❑ Úvod do spojovej vrstvy
- ❑ Implementácia spojovej vrstvy
- ❑ Odhaľovanie chýb
 - ❖ kontrola parity
 - ❖ kontrolný súčet
 - ❖ CRC
- ❑ Adresácia na spojovej vrstve - MAC adresy
- ❑ Rámec Ethernetu 802.3
- ❑ Sieťové protokoly ARP a RARP
 - ❖ ARP a NDP tabuľka
- ❑ Topológie LAN
- ❑ Hub
- ❑ Switch
- ❑ Rozšírenia Ethernetu
 - ❖ VLAN 802.1Q
 - ❖ STP 802.1D
- ❑ Mobilita
 - ❖ v rámci siete
 - ❖ medzi sieťami (Mobile IP)
 - ❖ mobilné siete

CRC: Cyclic Redundancy Check

- = zvyšok po delení cyklickým polynómom nad koeficientami zvyškovej triedy modulo 2
- cyklický polynóm nad koeficientami modulo 2 je taký, že koeficienty sú 0 alebo 1
- na dátové bity D sa pozeráme ako na koeficienty takého cyklického polynómu $D(x)$



CRC: matematický pohľad

- vezmeme vopred dohodnutý kontrolný polynóm $G(x)$ stupňa r
- vezmeme “dátový polynóm” $D(x)$ vynásobený x^r
- delíme $D(x) \cdot x^r$ kontrolným polynómom $G(x)$ nad číslami modulo 2 a zistíme zvyšok po delení $R(x)$

majme dáta $D = 1\ 0\ 1\ 0\ 1$

majme $G(x) = 1x^3 + 1x + 1$

$$D(x) \cdot x^3 = (1x^4 + 0x^3 + 1x^2 + 0x + 1) \cdot x^3$$

počítame $(1x^7 + 0x^6 + 1x^5 + 0x^4 + 1x^3 + 0x^2 + 0x + 0) : (1x^3 + 0x^2 + 1x + 1)$

CRC: matematický pohľad

❑ delíme $D(x) \cdot x^r$ kontrolným polynómom $G(x)$ nad číslami modulo 2 a zistíme zvyšok po delení $R(x)$

$$\begin{array}{r} (1x^7 + 0x^6 + 1x^5 + 0x^4 + 1x^3 + 0x^2 + 0x + 0) : (1x^3 + 0x^2 + 1x + 1) = x^4 \\ + (1x^7 + 0x^6 + 1x^5 + 1x^4) \\ \hline 1x^4 \end{array}$$

❑ nad číslami modulo 2 sú operácie plus, mínus aj XOR rovnaké

$$0 + 0 = 0$$

$$0 - 0 = 0$$

$$0 \text{ XOR } 0 = 0$$

$$0 + 1 = 1$$

$$0 - 1 = 1$$

$$0 \text{ XOR } 1 = 1$$

$$1 + 0 = 1$$

$$1 - 0 = 1$$

$$1 \text{ XOR } 0 = 1$$

$$1 + 1 = 0$$

$$1 - 1 = 0$$

$$1 \text{ XOR } 1 = 0$$

CRC: matematický pohľad

☐ delíme $D(x) \cdot x^r$ kontrolným polynómom $G(x)$ nad číslami modulo 2
a zistíme zvyšok po delení $R(x)$

$$\begin{array}{r} (1x^7 + 0x^6 + 1x^5 + 0x^4 + 1x^3 + 0x^2 + 0x + 0) : (1x^3 + 0x^2 + 1x + 1) = x^4 + x \\ + (1x^7 + 0x^6 + 1x^5 + 1x^4) \\ \hline 1x^4 + 1x^3 + 0x^2 + 0x \\ + (1x^4 + 0x^3 + 1x^2 + 1x) \\ \hline 1x^3 + 1x^2 + 1x \end{array}$$

CRC: matematický pohľad

□ delíme $D(x) \cdot x^r$ kontrolným polynómom $G(x)$ nad číslami modulo 2
a zistíme zvyšok po delení $R(x)$

$$(1x^7 + 0x^6 + 1x^5 + 0x^4 + 1x^3 + 0x^2 + 0x + 0) : (1x^3 + 0x^2 + 1x + 1) = x^4 + x + 1 = Q(x)$$
$$+(1x^7 + 0x^6 + 1x^5 + 1x^4)$$

$$1x^4 + 1x^3 + 0x^2 + 0x$$
$$+(1x^4 + 0x^3 + 1x^2 + 1x)$$

$$1x^3 + 1x^2 + 1x + 0$$
$$+(1x^3 + 0x^2 + 1x + 1)$$

$$1x^2 + 0x + 1 = R(x)$$

□ vypočítali sme $\frac{D(x) \cdot x^r}{G(x)} = Q(x) + \frac{R(x)}{G(x)}$

□ pošleme $D(x) \cdot x^r + R(x) = 1x^7 + 0x^6 + 1x^5 + 0x^4 + 1x^3 + 1x^2 + 0x + 1$

CRC: matematický pohľad

☐ delíme $D(x) \cdot x^r$ kontrolným polynómom $G(x)$ nad číslami modulo 2 a zistíme zvyšok po delení $R(x)$

$$(1x^7 + 0x^6 + 1x^5 + 0x^4 + 1x^3 + 0x^2 + 0x + 0) : (1x^3 + 0x^2 + 1x + 1) = x^4 + x + 1 = Q(x)$$

$$+(1x^7 + 0x^6 + 1x^5 + 1x^4)$$

$$1x^4 + 1x^3 + 0x^2 + 0x$$

$$+(1x^4 + 0x^3 + 1x^2 + 1x)$$

$$1x^3 + 1x^2 + 1x + 0$$

$$+(1x^3 + 0x^2 + 1x + 1)$$

$$1x^2 + 0x + 1 = R(x)$$

☐ vypočítali sme $\frac{D(x) \cdot x^r}{G(x)} = Q(x) + \frac{R(x)}{G(x)}$

☐ pošleme $D(x) \cdot x^r + R(x) = 1x^7 + 0x^6 + 1x^5 + 0x^4 + 1x^3 + 1x^2 + 0x + 1$

výpočet nad binárnymi číslami:

$$10101000 : 1011 = ?$$

$$\text{xor } \begin{array}{r} 1011 \\ \hline 0001100 \end{array}$$

$$\text{xor } \begin{array}{r} 1011 \\ \hline 01110 \end{array}$$

$$\text{xor } \begin{array}{r} 1011 \\ \hline 0101 \end{array}$$

pošleme: 10101101

CRC: u prijímateľa

□ vypočítali sme $\frac{D(x) * x^r}{G(x)} = Q(x) + \frac{R(x)}{G(x)}$

□ pošleme $D(x) * x^r + R(x)$

□ u príjemcu počítame (plus a mínus fungujú rovnako):

$$\frac{D(x) * x^r + R(x)}{G(x)} = Q(x) + \frac{R(x)}{G(x)} + \frac{R(x)}{G(x)} = Q(x)$$

□ dostávame výsledok bezo zvyšku

□ ak predsa máme zvyšok,

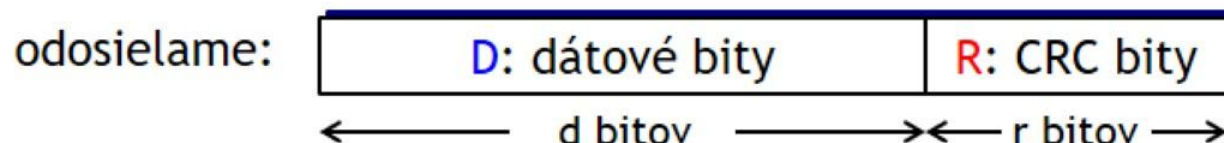
□ odhalili sme chybu

výpočet nad binárnymi číslami:

$$\begin{array}{r} 10101101 : 1011 = ? \\ \text{xor } 1011 \\ \hline 0001110 \\ \text{xor } 1011 \\ \hline 01011 \\ \text{xor } 1011 \\ \hline 0000 - \text{zvyšok OK} \end{array}$$

CRC: implementácia

- reálne posielame iba koeficienty polynómov a zvyšku



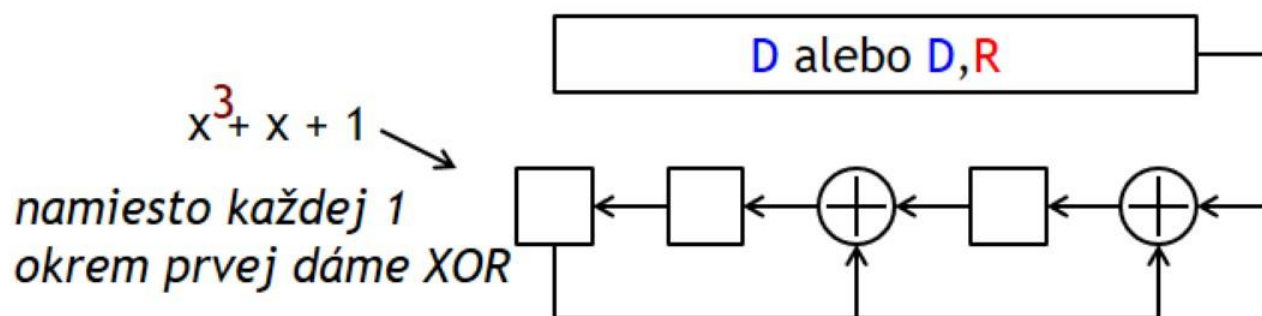
matematicky: $D * 2^r + R$

v tomto prípade platí aj: $D * 2^r \text{ XOR } R$

posun D o r miest doľava
a namiesto pridaných núl
skopírovanie R

- implementácia výpočtu zvyšku cez posuvné registre a XOR

❖ ľahko realizovateľné hardvérovou implementáciou



CRC: všeobecne

❑ vie odhaliť všetky zhľuky chýb menšie ako $r+1$ bitov

❑ CRC-16

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

❑ CRC-32

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

❖ zhľuky chýb dlhšie ako 32 bitov odhalí s pravdepodobnosťou 99,99999998%

❖ používané v Ethernete (IEEE 802.3)

Prehľad prednášky

- ❑ Úvod do spojovej vrstvy
- ❑ Implementácia spojovej vrstvy
- ❑ Odhaľovanie chýb
 - ❖ kontrola parity
 - ❖ kontrolný súčet
 - ❖ CRC
- ❑ Adresácia na spojovej vrstve - MAC adresy
- ❑ Rámec Ethernetu 802.3
- ❑ Sieťové protokoly ARP a RARP
 - ❖ ARP a NDP tabuľka
- ❑ Topológie LAN
- ❑ Hub
- ❑ Switch
- ❑ Rozšírenia Ethernetu
 - ❖ VLAN 802.1Q
 - ❖ STP 802.1D
- ❑ Mobilita
 - ❖ v rámci siete
 - ❖ medzi sieťami (Mobile IP)
 - ❖ mobilné siete

MAC adresy

❑ MAC = media access control

❑ IP adresy:

- ❖ adresy sieťovej vrstvy

- ❖ používané na dopravenie paketu do správnej siete

❑ MAC (fyzická, hardvérová, ethernetová) adresa:

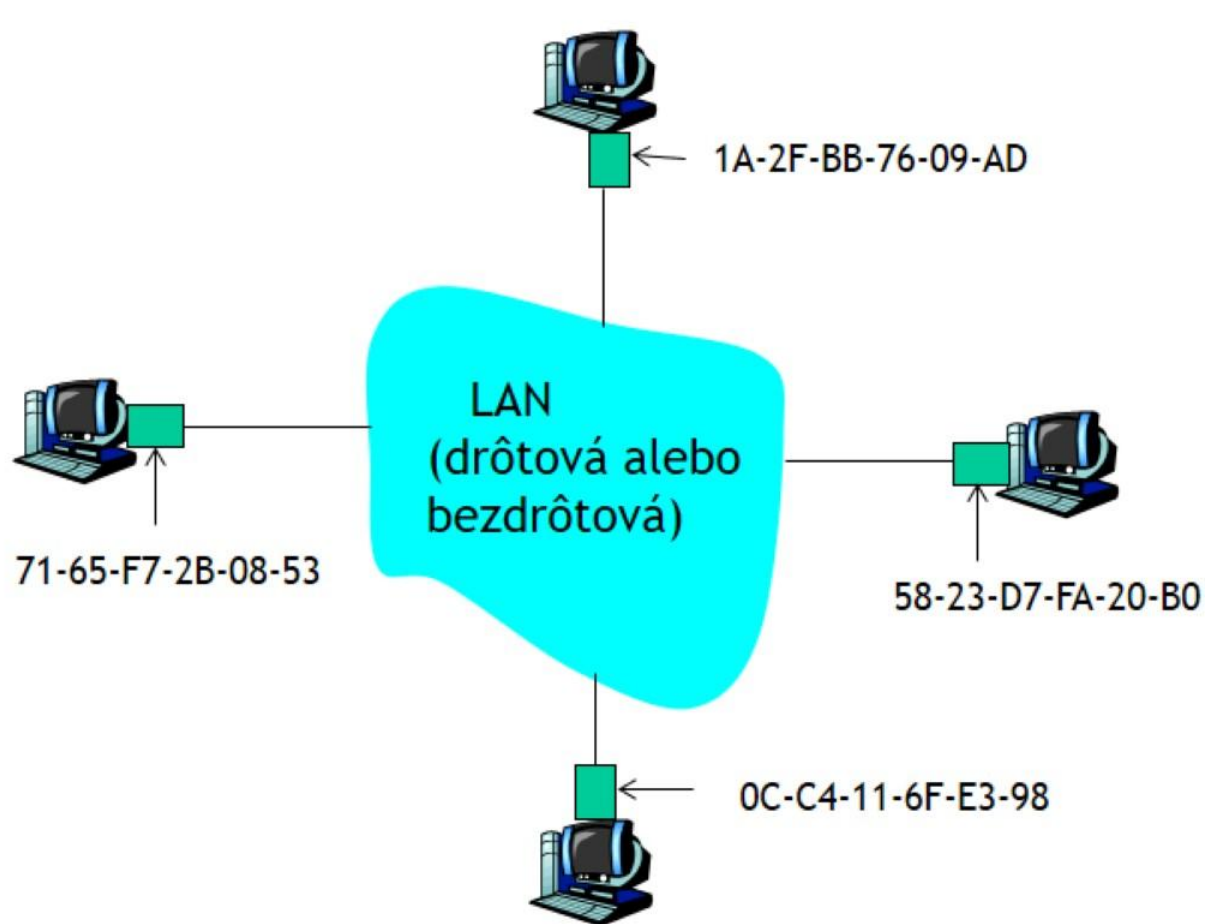
- ❖ použitie: *dopraviť rámec z jedného sieťového adaptéra k inému v rámci tej istej siete*

- ❖ 48 bitová MAC adresa

- napálená v ROM sieťovej karty, často aj softvérovo nastaviteľná

MAC adresy

každý sieťový adaptér má jedinečnú MAC adresu



Broadcastová adresa =

FF-FF-FF-FF-FF-FF

Multicastová adresa =

33-33-(koniec) IP

 = sieťový adaptér

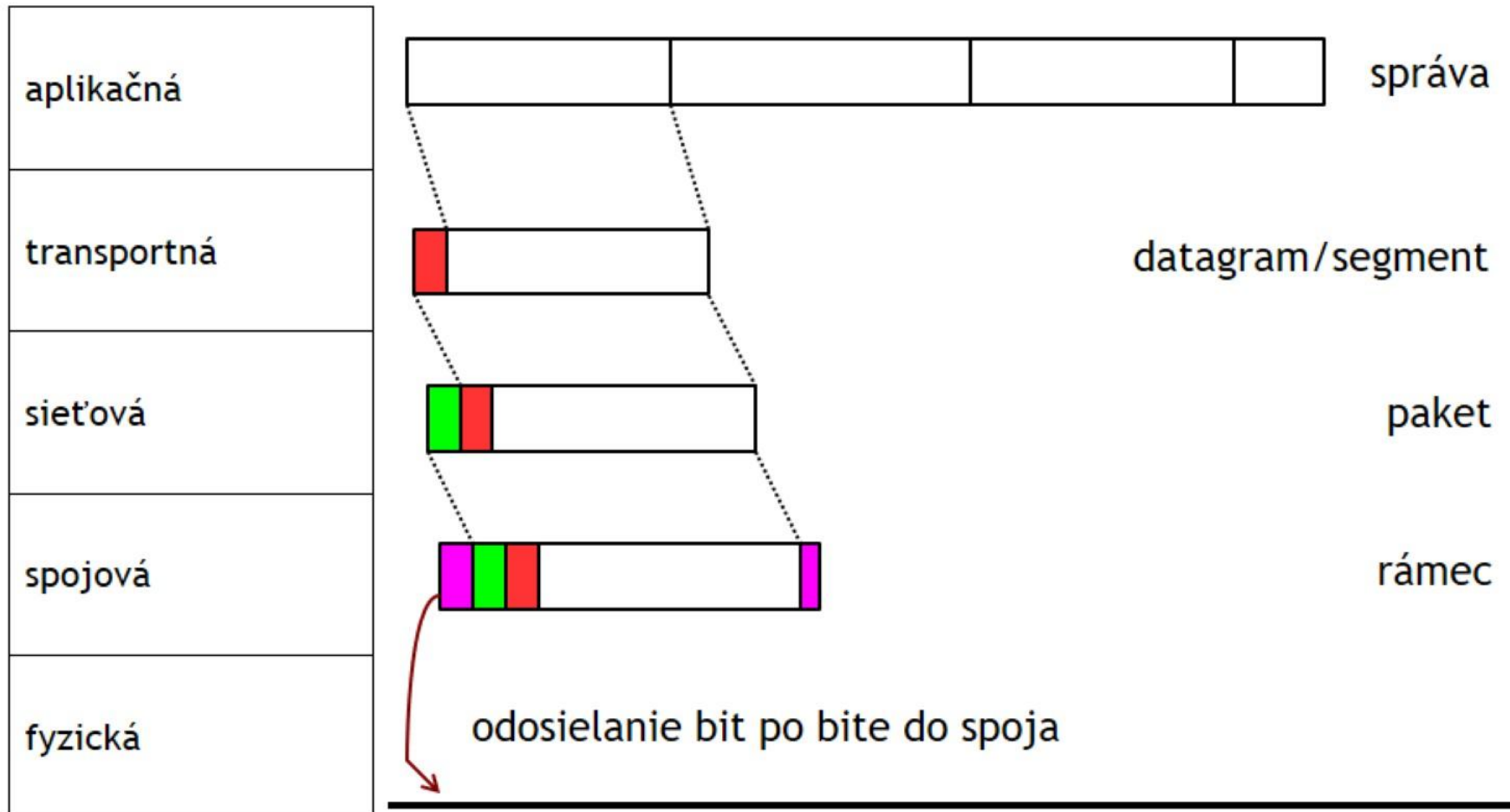
MAC adresy

- ❑ MAC adresy rozdeľuje IEEE
- ❑ výrobca sieťových kariet si zakúpi časť množiny MAC adries, aby sa zabezpečila jedinečnosť
- ❑ analógia:
 - (a) **MAC adresa:** rodné číslo
 - (b) **IP adresa:** poštová adresa
- ❑ MAC adresa je prenositeľná
 - ❖ jedna sieťová karta sa môže presúvať z jednej siete do inej
- ❑ IP adresy sú hierarchické, t.j. nie prenositeľné
 - ❖ adresa je závislá na sieti, v ktorej je sieťová karta zapojená
 - ❖ platí pre globálne unicastové IP adresy

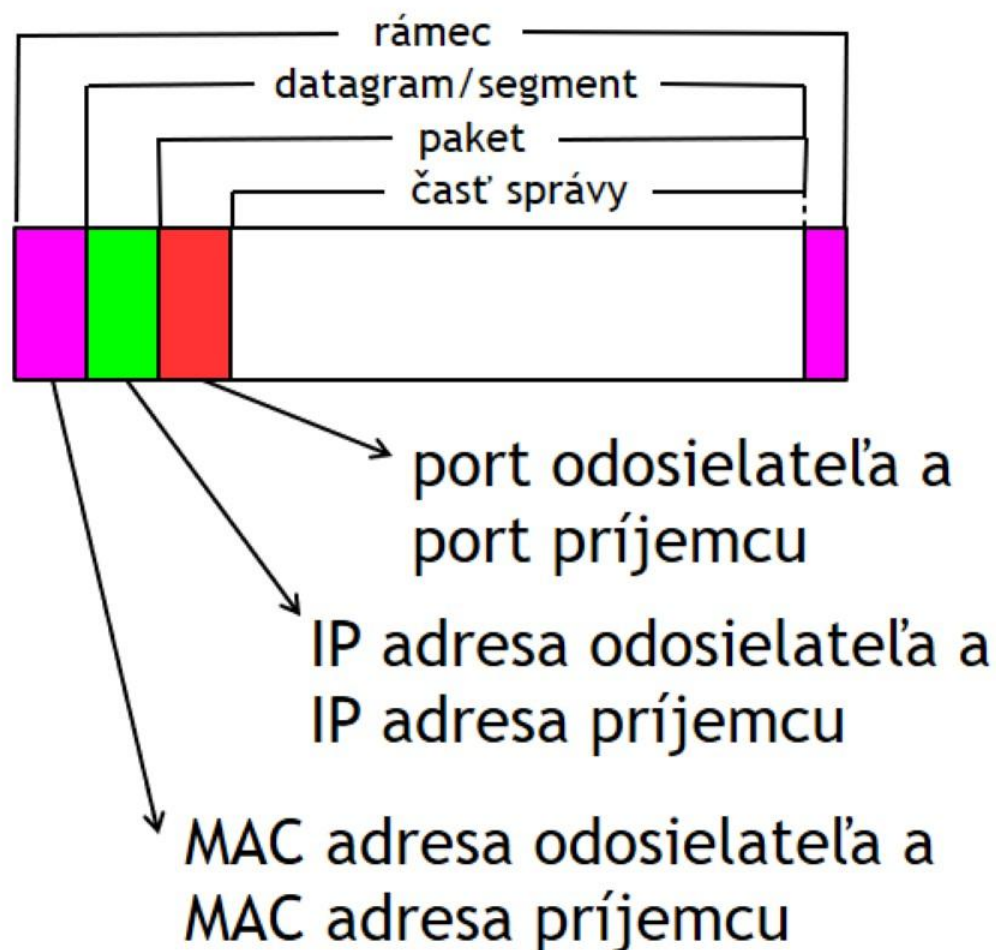
Prehľad prednášky

- ❑ Úvod do spojovej vrstvy
- ❑ Implementácia spojovej vrstvy
- ❑ Odhaľovanie chýb
 - ❖ kontrola parity
 - ❖ kontrolný súčet
 - ❖ CRC
- ❑ Adresácia na spojovej vrstve - MAC adresy
- ❑ **Rámec Ethernetu 802.3**
- ❑ Sieťové protokoly ARP a RARP
 - ❖ ARP a NDP tabuľka
- ❑ Topológie LAN
- ❑ Hub
- ❑ Switch
- ❑ Rozšírenia Ethernetu
 - ❖ VLAN 802.1Q
 - ❖ STP 802.1D
- ❑ Mobilita
 - ❖ v rámci siete
 - ❖ medzi sieťami (Mobile IP)
 - ❖ mobilné siete

Tvorba paketu

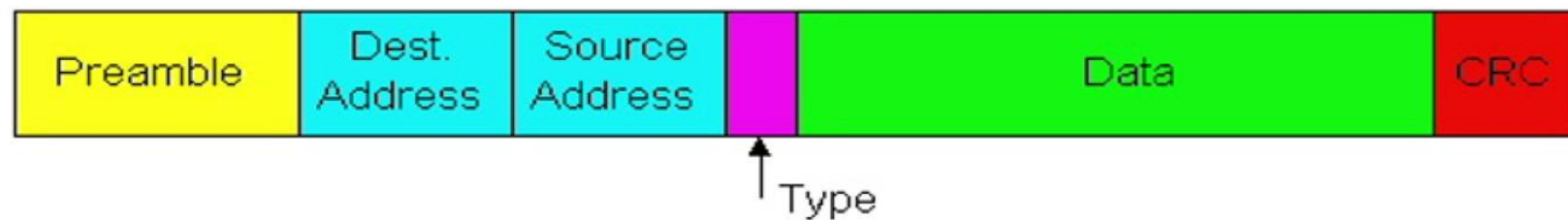


Adresovanie údajov v pakete



Ethernetový rámec (IEEE 802.3)

Odosielajúci adaptér zabaľuje IP paket (alebo iný paket sieťovej vrstvy) do **ethernetového rámca**



Preamble (preambula):

- 7 bajtov s hodnotou 10101010 a nakoniec ešte jeden bajt s hodnotou 10101011
- použitie na synchronizáciu hodín adaptérov odosielateľa a príjemcu

Ethernetový rámec

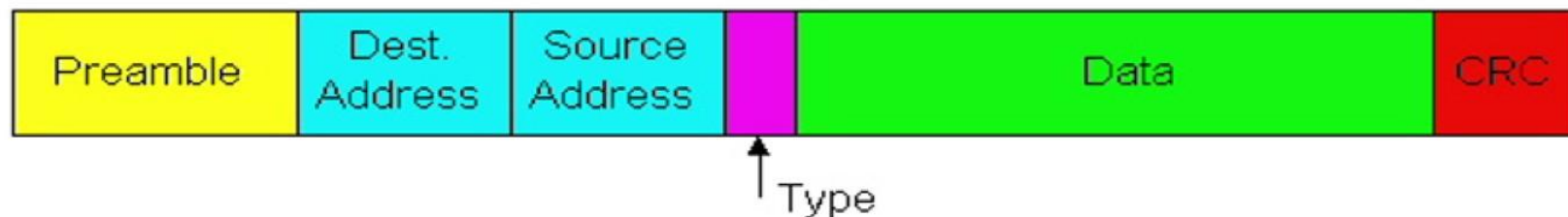
❑ **Adresy:** 6 bajtov

❖ ak adaptér dostane rámec pre jeho cieľovú adresu, alebo jeho multicastovú adresu, alebo s broadcastovou adresou, pošle dáta sieťovej vrstve

❖ inak sa rámec zahodí (výnimkou je promiskuitný mód)

❑ **Type:** identifikuje typ prenášaných dát (väčšinou IP, ale môže byť aj Novell IPX, AppleTalk, ARP, ...)

❑ **CRC:** ak kontrola odhalí chybu, rámec sa zahodí



Ethernet 802.3: nespoľahlivý, bez spojenia

- ❑ **bez spojenia:** žiadne nadväzovanie spojenia medzi sieťovými adaptérmí
- ❑ **nespoľahlivý:** prijímajúci adaptér neposiela kladné ani záporné potvrdenia
 - ❖ rámce sa môžu zahodiť (zlé CRC)
 - ❖ o preposlanie sa môže postarať napríklad TCP

Prehľad prednášky

- ❑ Úvod do spojovej vrstvy
- ❑ Implementácia spojovej vrstvy
- ❑ Odhaľovanie chýb
 - ❖ kontrola parity
 - ❖ kontrolný súčet
 - ❖ CRC
- ❑ Adresácia na spojovej vrstve - MAC adresy
- ❑ Rámec Ethernetu 802.3
- ❑ Siet'ové protokoly ARP a RARP
 - ❖ ARP a NDP tabuľka
- ❑ Topológie LAN
- ❑ Hub
- ❑ Switch
- ❑ Rozšírenia Ethernetu
 - ❖ VLAN 802.1Q
 - ❖ STP 802.1D
- ❑ Mobilita
 - ❖ v rámci siete
 - ❖ medzi sieťami (Mobile IP)
 - ❖ mobilné siete

Čo určiť ako cieľovú MAC adresu?

- ❑ Príjemca rámca **MUSÍ byť v našej sieti**
- ❑ Od používateľa/aplikácie dostaneme:
 - ❖ IP adresu cieľa, alebo
 - ❖ doménové meno cieľa → IP adresa cez DNS
- ❑ Sieťová vrstva číta **smerovaciú tabuľku**, aby zistila, cez ktoré rozhranie (sieťovú kartu) bude posielat'

cieľ	maska	brána	rozhranie
200.23.24.0	255.255.255.0 (24)	0.0.0.0	1
200.23.16.0	255.255.248.0 (21)	0.0.0.0	3
200.23.24.0	255.255.248.0 (21)	0.0.0.0	2
0.0.0.0	0.0.0.0 (0)	200.23.1.1	3

Čo určiť ako cieľovú MAC adresu?

❑ Príjemca rámca **MUSÍ byť v našej sieti**

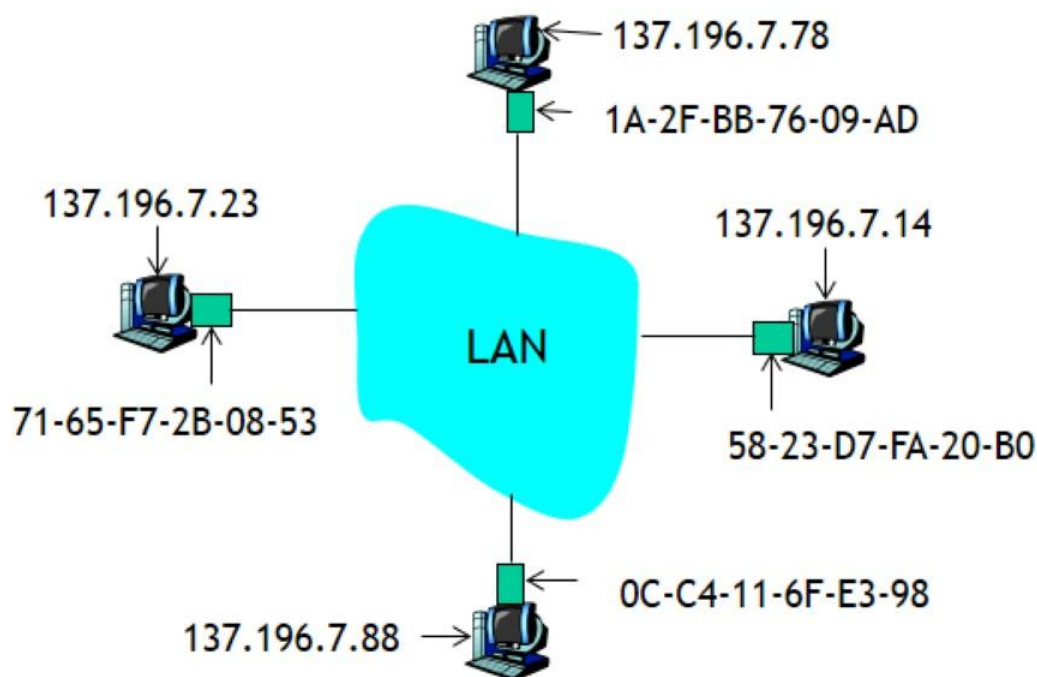
cieľ	maska	brána	rozhranie
200.23.24.0	255.255.255.0 (24)	0.0.0.0	1
200.23.16.0	255.255.248.0 (21)	0.0.0.0	3
200.23.24.0	255.255.248.0 (21)	0.0.0.0	2
0.0.0.0	0.0.0.0 (0)	200.23.1.1	3

❑ Ak je brána 0.0.0.0 → rámec treba poslať priamo počítaču s IP adresou cieľa

❑ Ak brána nie je 0.0.0.0 → rámec treba poslať na bránu

ARP: Address Resolution Protocol

Úloha: zistiť MAC adresu uzla X, keď viem IP adresu uzla X



❑ **sieťový protokol !!!**

❑ Každý uzol (stanica, router) má **ARP** tabuľku

❑ ARP tabuľka: mapovanie IP/MAC pre niektoré uzly na LAN

< IP adresa; MAC adresa; TTL >

❖ TTL (Time To Live): čas, po ktorom bude mapovanie zabudnuté (typicky 5-20 minút)

ARP protokol

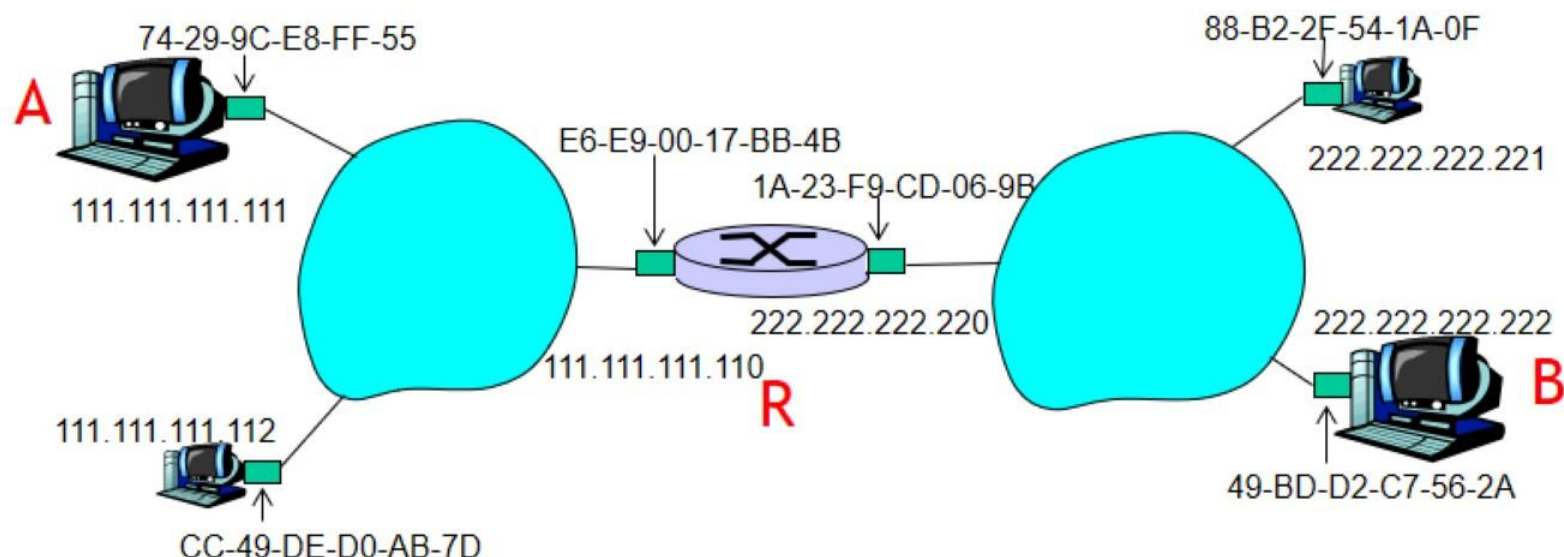
- ❑ A chce poslať paket pre B, ale MAC adresa B nie je v ARP tabuľke uzla A
- ❑ A vyšle **broadcastovú** ARP otázku, obsahujúcu IP adresu uzla B
 - ❖ cieľová MAC adresa = FF-FF-FF-FF-FF-FF
 - ❖ všetky zariadenia v lokálnej sieti túto ARP otázku dostanú
- ❑ B prijme ARP otázku, odpovie uzlu A so svojou MAC adresou
 - ❖ unicastová odpoveď

- ❑ A si uloží dvojicu IP a MAC adresa uzla B vo svojej ARP tabuľke
 - ❖ ak je záznam v ARP tabuľke príliš starý, maže sa, a obnoví sa, až keď znova potrebujem komunikovať s B
- ❑ ARP je “plug-and-play”:
 - ❖ uzly sa učia záznamy do svojich ARP tabuliek bez zásahu administrátora siete alebo sieťového servera

Adresácia: smerovanie do inej siete

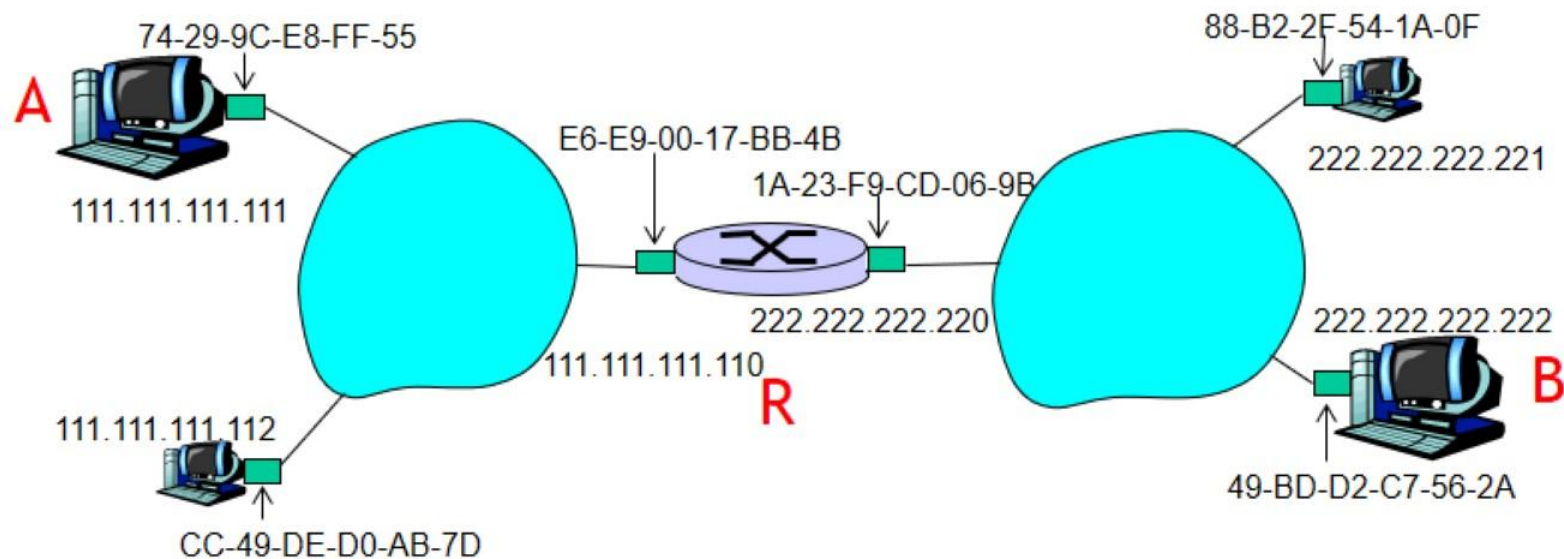
postup: posielame *paket* z A do B cez R =
A posiela rámec s paketom pre R a následne
R posiela rámec s paketom pre B

predpokladáme, že A vie IP adresu stanice B



□ dve ARP tabuľky v routri R: jedna pre každé rozhranie

- ❑ sieťová vrstva v A vytvorí IP paket so zdrojovou IP A, a cieľovou IP B, pomocou smerovacej tabuľky zistí, že má poslať paket cez IP R (brána je 111.111.111.110) a pošle paket spojovej vrstve
- ❑ A použije ARP na zistenie MAC adresy routra R na základe jeho IP 111.111.111.110
- ❑ A zabalí paket s cieľovou IP adresou B do rámca s MAC adresou R
- ❑ router R rozbalí dôjdený rámec a na základe cieľovej adresy (IP B) a svojej smerovacej tabuľky zistí, že ho má poslať do lokálnej siete na rozhraní s IP adresou 222.222.222.220 (brána je 0.0.0.0)
- ❑ R použije ARP na zistenie MAC adresy B na základe jej IP B
- ❑ R zabalí paket s cieľovou IP B do rámca s MAC adresou B a pošle ho do lokálnej siete, kde ho prijme B



NDP = „ARP“ pre IPv6 + ďalšie použitie

- ❑ NDP (neighbor discovery protocol) je súčasťou ICMPv6
- ❑ Ak chcem preklad z IPv6 adresy 2001:111::1:2345:6789 na MAC adresu, odošlem multicastovú správu na multicastové adresy na ktorých tento uzol musí počúvať
 - ❑ IPv6 adresu ff02::1:ff45:6789
 - ❑ MAC adresu 33:33:FF:45:67:89,
- ❑ Výsledok prekladu sa uloží v NDP tabuľke
- ❖ Windows: netsh interface ipv6 show neighbors
- ❖ Linux: ip -6 neighbor show

RARP (Reverse ARP)

- ❑ “inverzný” protokol k ARP
- ❑ preklad (svojej) MAC adresy na IP adresu
- ❑ reálne je zastaralý a nahradený protokolom DHCP(v4)

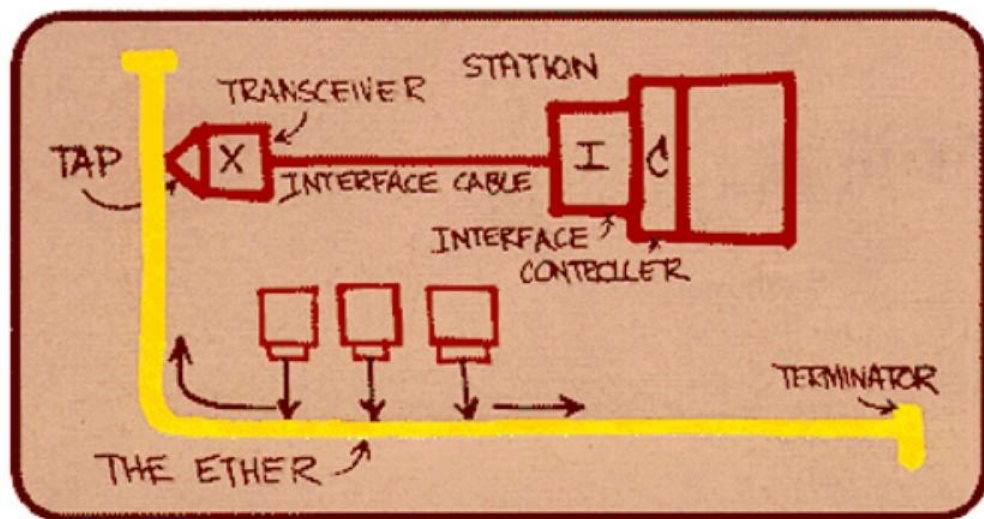
Prehľad prednášky

- ❑ Úvod do spojovej vrstvy
- ❑ Implementácia spojovej vrstvy
- ❑ Odhaľovanie chýb
 - ❖ kontrola parity
 - ❖ kontrolný súčet
 - ❖ CRC
- ❑ Adresácia na spojovej vrstve - MAC adresy
- ❑ Rámec Ethernetu 802.3
- ❑ Sieťové protokoly ARP a RARP
 - ❖ ARP a NDP tabuľka
- ❑ Topológie LAN
- ❑ Hub
- ❑ Switch
- ❑ Rozšírenia Ethernetu
 - ❖ VLAN 802.1Q
 - ❖ STP 802.1D
- ❑ Mobilita
 - ❖ v rámci siete
 - ❖ medzi sieťami (Mobile IP)
 - ❖ mobilné siete

Ethernet 802.3

“dominantná” drôtová LAN technológia:

- ❑ veľmi lacná: cca 4 € za 100Mb/s sieťovú kartu, 5 € za 1Gb/s
- ❑ prvá rozšírená technológia
- ❑ jednoduchšia a lacnejšia ako tokenové LAN alebo ATM
- ❑ zvláda aktuálne maximálne rýchlosti: 10 Mb/s - 10 Gb/s



Pôvodný návrh
Ethernetu podľa
Metcalfe-a

Topológia hviezd

❑ zbernica topológia populárna do polovice 90-tych rokov

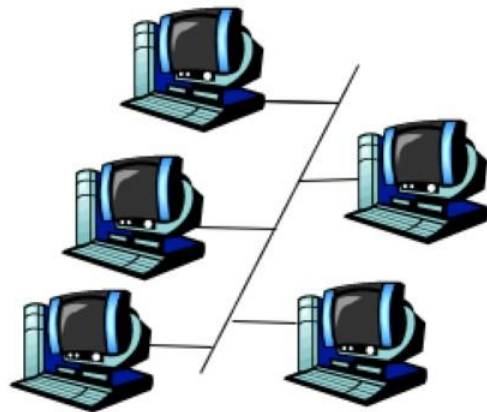
❖ všetky uzly v spoločnej **kolíznej doméne**

❑ dnes prevláda topológia hviezd

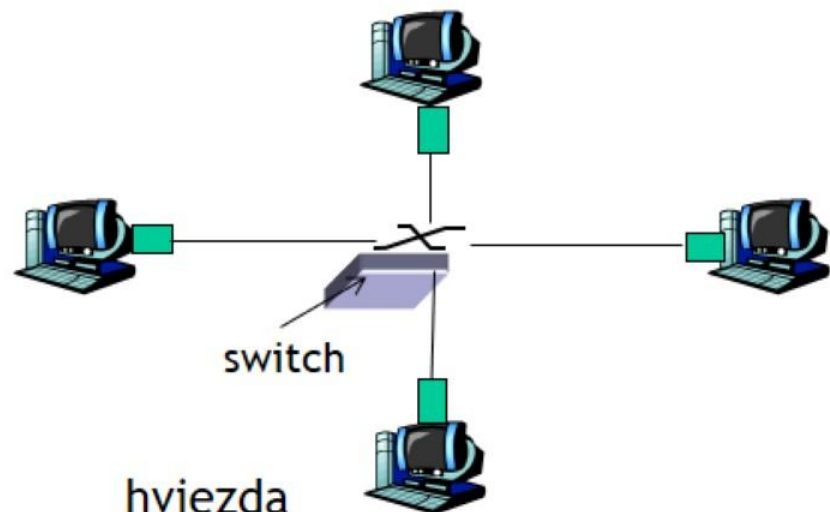
❖ v centre hviezd je aktívny **switch**

❖ každý "lúč" realizuje nezávislý Ethernetový protokol

• súčasne vysielajúce stanice nie sú v kolízii



zbernica: koaxiálny kábel



hviezda

Kolízna a broadcastová doména

❑ Kolízna doména

- ❖ uzly napojené na spoločný spoj, alebo uzly spojené cez hub
- ❖ ak dva uzly z rovnakej kolíznej domény začnú naraz vysielat', vznikne kolízia

❑ Broadcastová doména

- ❖ uzly **v rovnakej sieti** (LAN)
 - napojené na spoločný spoj, alebo cez hub, alebo cez switch
- ❖ množina uzlov, ktoré majú prijať vyslanú broadcastovú správu (cieľová MAC adresa je FF-FF-FF-FF-FF-FF)

Prehľad prednášky

- ❑ Úvod do spojovej vrstvy
- ❑ Implementácia spojovej vrstvy
- ❑ Odhaľovanie chýb
 - ❖ kontrola parity
 - ❖ kontrolný súčet
 - ❖ CRC
- ❑ Adresácia na spojovej vrstve - MAC adresy
- ❑ Rámec Ethernetu 802.3
- ❑ Sieťové protokoly ARP a RARP
 - ❖ ARP a NDP tabuľka
- ❑ Topológie LAN
- ❑ Hub
- ❑ Switch
- ❑ Rozšírenia Ethernetu
 - ❖ VLAN 802.1Q
 - ❖ STP 802.1D
- ❑ Mobilita
 - ❖ v rámci siete
 - ❖ medzi sieťami (Mobile IP)
 - ❖ mobilné siete

Hub (rozbočovač)

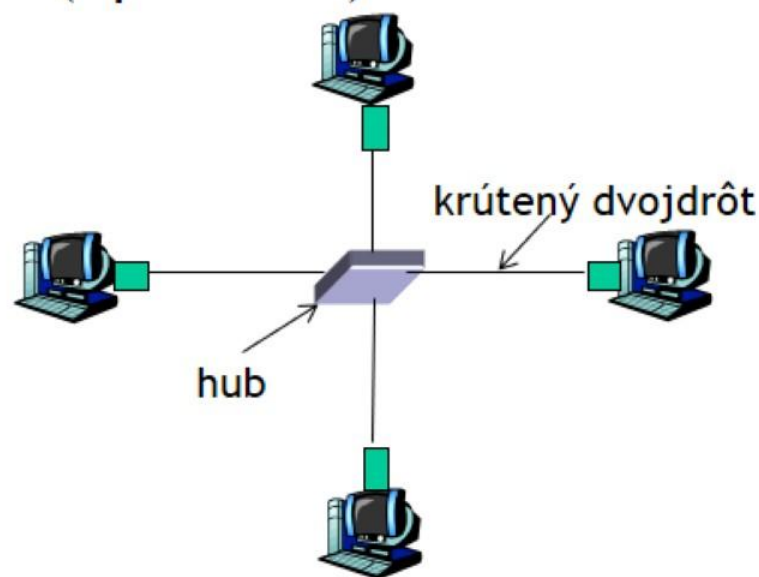
❑ pracuje iba na fyzickej vrstve (L1):

❖ signály prichádzajúce z jedného spoja sú preložené na binárne čísla (bit po bite) a následne odchádzajú zasa ako čistý signál **všetkým** ostatným spojeniam rovnako rýchlo

❖ všetky uzly napojené na hub môžu spôsobovať medzi sebou kolízie

❖ hub nevie, čo je to rámec

❑ ak má len 2 zásuvky = repeater (opakovač)



Prehľad prednášky

- ❑ Úvod do spojovej vrstvy
- ❑ Implementácia spojovej vrstvy
- ❑ Odhaľovanie chýb
 - ❖ kontrola parity
 - ❖ kontrolný súčet
 - ❖ CRC
- ❑ Adresácia na spojovej vrstve - MAC adresy
- ❑ Rámec Ethernetu 802.3
- ❑ Sieťové protokoly ARP a RARP
 - ❖ ARP a NDP tabuľka
- ❑ Topológie LAN
- ❑ Hub
- ❑ Switch
- ❑ Rozšírenia Ethernetu
 - ❖ VLAN 802.1Q
 - ❖ STP 802.1D
- ❑ Mobilita
 - ❖ v rámci siete
 - ❖ medzi sieťami (Mobile IP)
 - ❖ mobilné siete

Switch (prepínač)

❑ **zariadenie spojovej vrstvy (L2) : sofistikovanejšie ako hub**

❖ prijme a pošle celý rámec (typ store-and-forward)

❖ zvládne prepájať aj rôzne rýchle spojenia

❖ zisťuje MAC adresy z rámcov a ak príde rámec pre niektorú zo známych MAC adries, posiela rámec iba do jedného spoja

❑ ***transparentné***

❖ stanice nevedia o prítomnosti switchu v sieti

❑ ***plug-and-play, samoučiace***

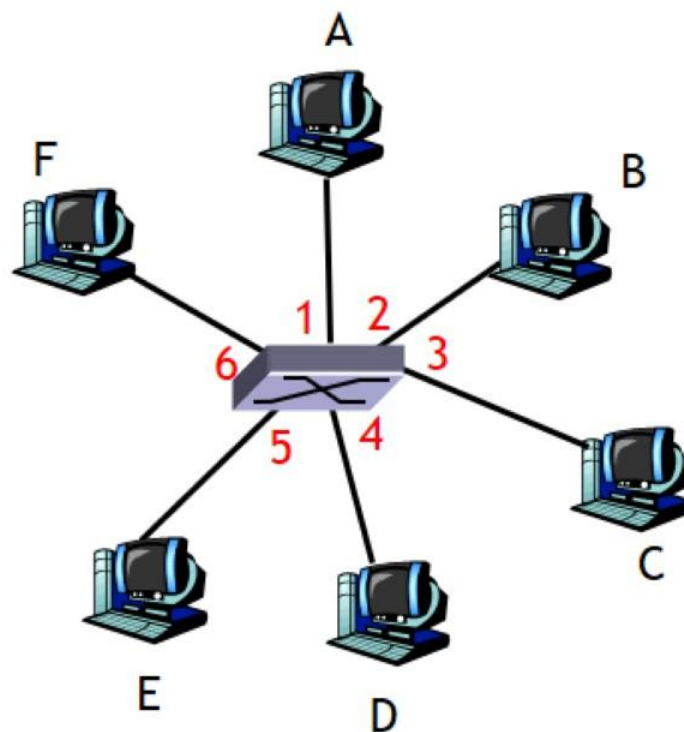
❖ switche netreba konfigurovať

❑ delí kolízne domény

❑ ak má len 2 zásuvky = bridge (most)

Switch: mnoho súbežných vysielaní

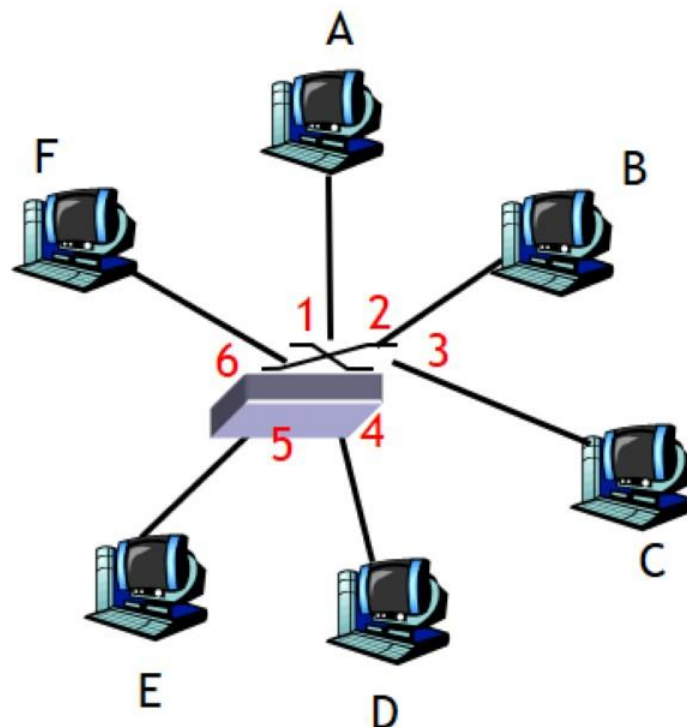
- ❑ každý uzol má vyhradené samostatné spojenie k switchu
- ❑ žiadne kolízie: úplný duplex
 - ❑ Staršie Ethernet technológie mali half-duplex, kde dvojica switch a uzol tvoria spoločnú kolíznu doménu
- ❑ **prepínanie**: komunikácie A-D a B-E môžu bežať nezávisle a bez kolízií
 - ❖ to sa nedá, ak používame hub



switch so 6 sieťovými zásuvkami =
Ethernetovými portami
(1,2,3,4,5,6)

Prepínacia tabuľka

- ❑ Ako switch vie, že D je dostupné cez zásuvku 4 a E cez zásuvku 5?
- ❑ Každý switch má **prepínaciu tabuľku** so záznamami:
 - ❖ MAC adresa uzla
 - ❖ číslo zásuvky, cez ktorú je tento uzol dostupný
 - ❖ časová pečiatka
- ❑ skoro ako smerovacia tabuľka!



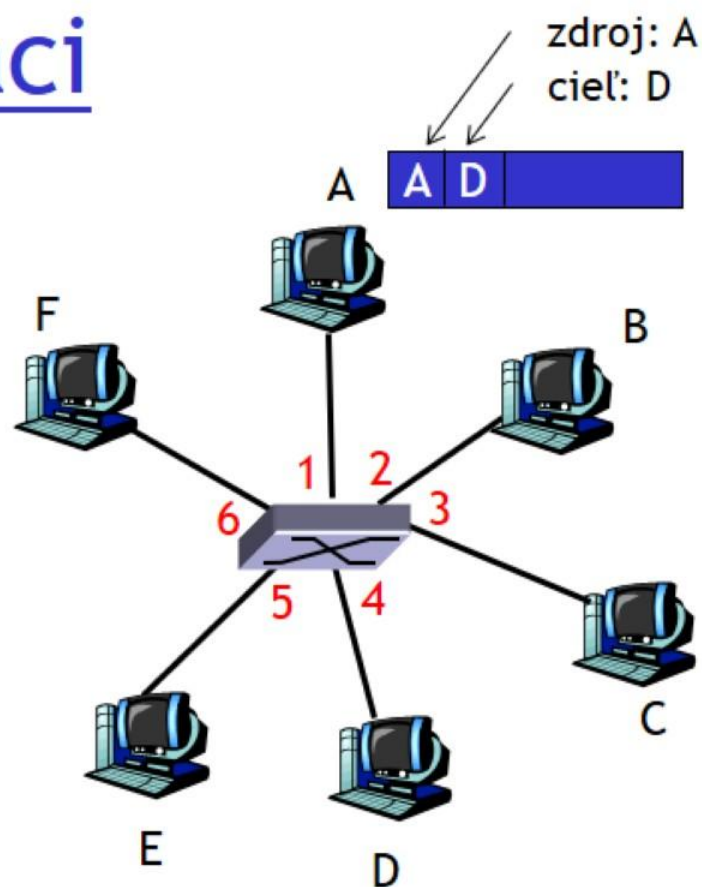
switch so 6 sieťovými zásuvkami =
Ethernetovými portami
(1,2,3,4,5,6)

Switch je samoučiaci

□ switch sa **učí**, ktorý uzol je dostupný cez ktorú zásuvku

❖ keď príde ľubovoľný rámec, switch si zistí MAC adresu odosielateľa

❖ uloží túto MAC adresu spolu so zásuvkou, cez ktorú rámec prišiel, v prepínacej tabuľke



MAC adresa	zásuvka	čas
A	1	60

prepínacia tabuľka
(na začiatku prázdna)

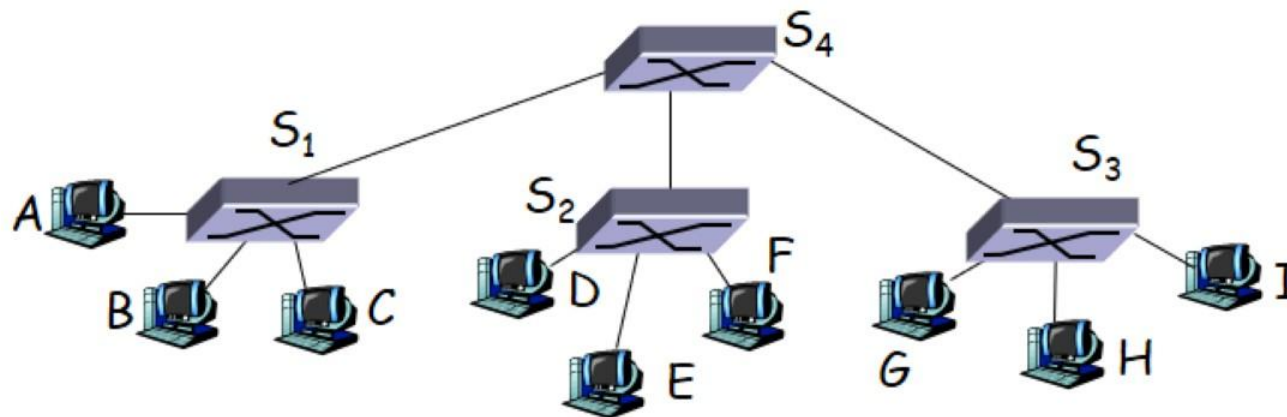
Switch: posielanie rámcov

Ked' príde rámec:

1. ulož si zásuvku s odosielateľovou adresou
2. nájdi v prepínacej tabuľke cieľovú MAC adresu
3. **ak** sa našiel záznam pre daný cieľ
 potom {
 ak cieľ je dostupný cez tú istú zásuvku ako odosielateľ
 potom zahod' rámec
 inak pošli rámec k príjemcovi cez správnu zásuvku
 }
 inak pošli rámec všade okrem zásuvky odosielateľa

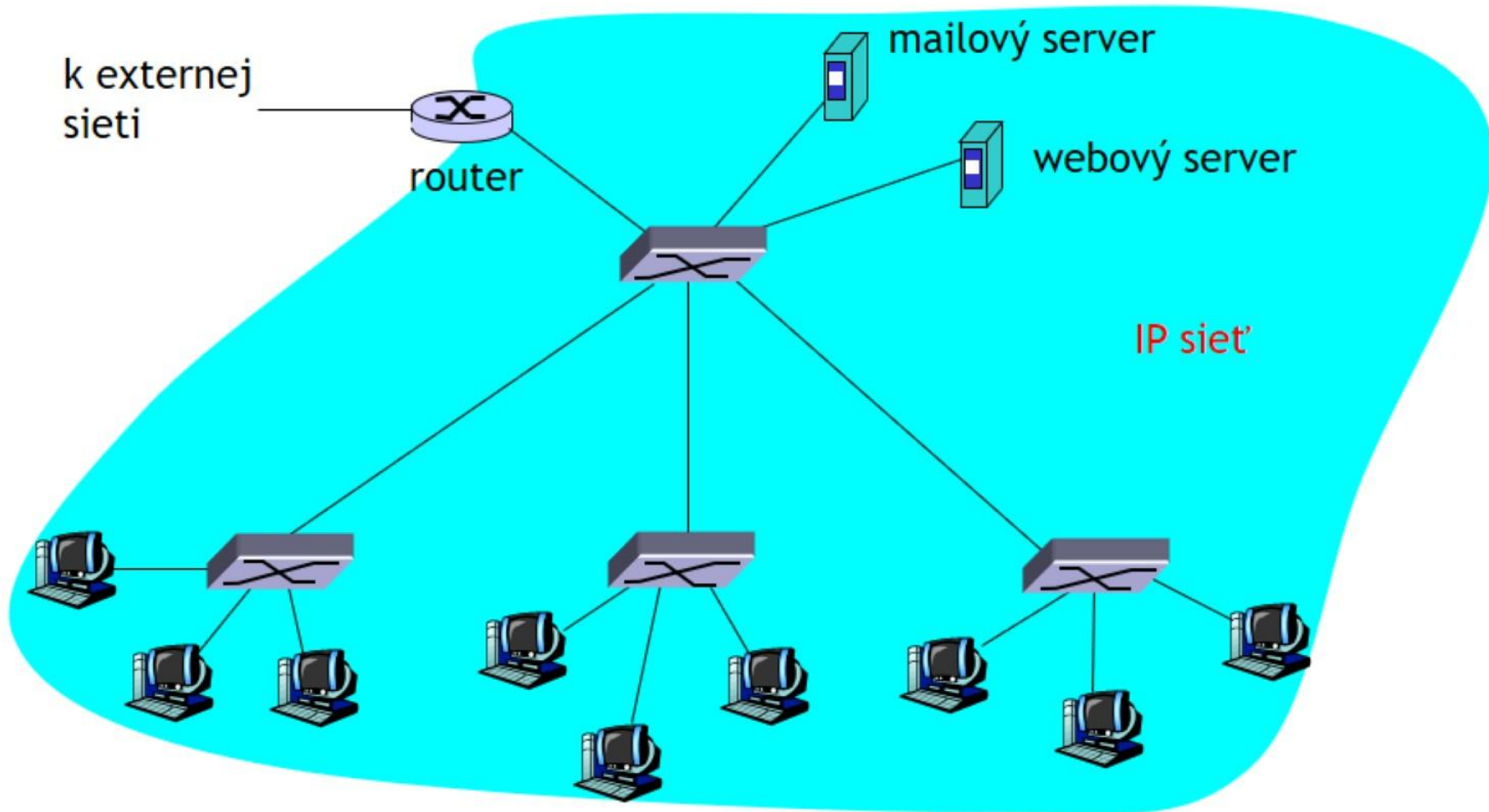
Prepojené switche

- switche môžu byť prepájané aj navzájom



- Ako vie switch S_1 kam poslať rámec pre uzol F?
- samoučenie! - funguje rovnako ako pri jednom switchi v sieti
- Vie S_1 , že rámec má ísť cez switche S_4 a S_2 ?

Sieť organizácie



Switche (prepínače) a routre (smerovače)

❑ oba najprv prijmu celý paket a až potom ho odošlú ďalej

- ❖ routre: zariadenia sieťovej vrstvy (skúma hlavičku sieťovej aj spojovej vrstvy)

- ❖ switche sú zariadenia spojovej vrstvy (skúma hlavičku spojovej vrstvy)

❑ routre si uchovávajú smerovaciu tabuľku

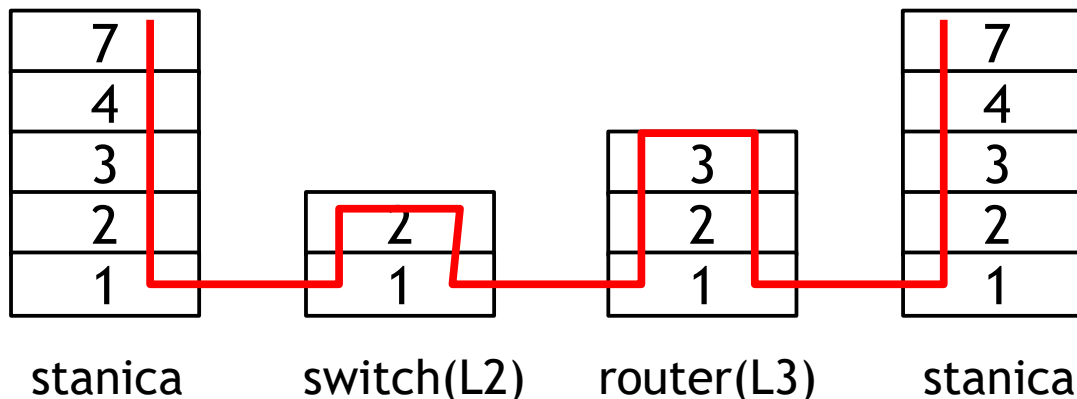
- ❖ púšťajú smerovacie protokoly

- ❖ každé rozhranie routra má vlastnú IP a MAC adresu, vlastnú ARP tabuľku (ako stanice)

❑ switche si uchovávajú prepínaciu tabuľku

- ❖ učia sa, cez ktorú zásuvku sú dostupné ktoré MAC adresy

- ❖ nemajú vlastnú IP ani MAC adresu - sú transparentné



Porovnanie zariadení

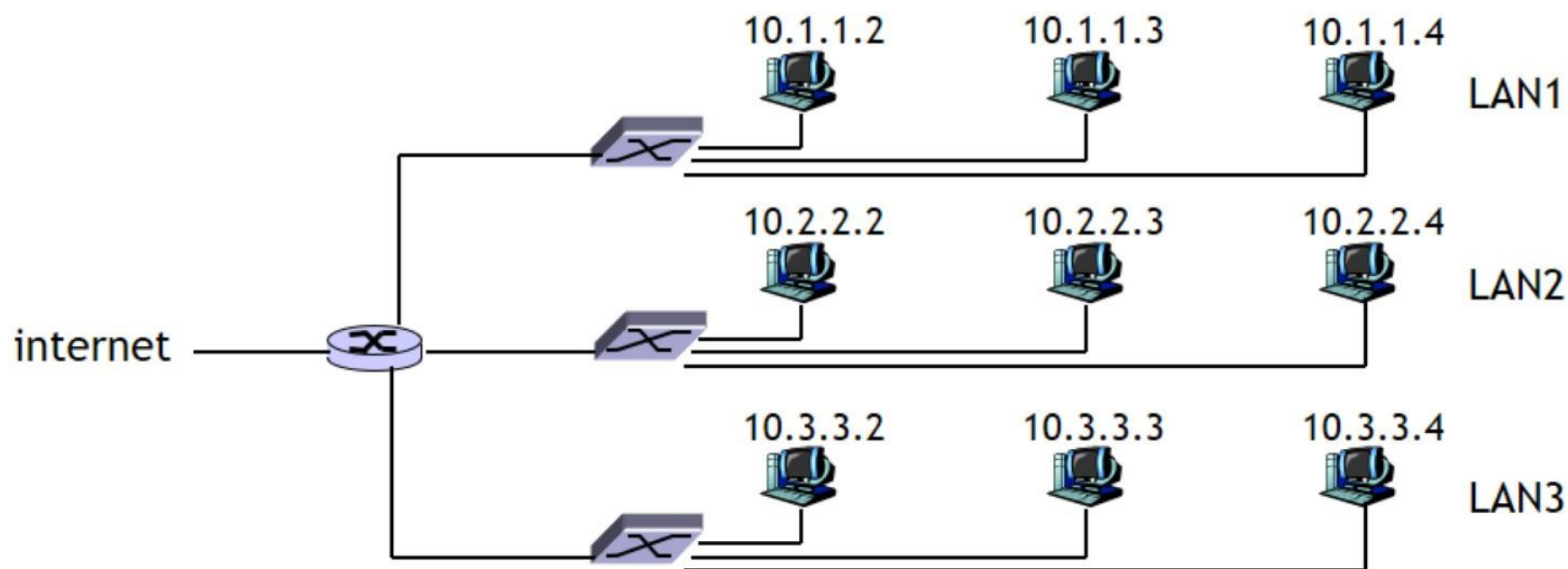
	hub	switch	router
oddelenie komunikácie	nie	áno	áno
plug & play	áno	áno	nie
výber optimálnej trasy	nie	nie	áno
prepojenie zariadení v rovnakej sieti	áno	áno	nie

Prehľad prednášky

- ❑ Úvod do spojovej vrstvy
- ❑ Implementácia spojovej vrstvy
- ❑ Odhaľovanie chýb
 - ❖ kontrola parity
 - ❖ kontrolný súčet
 - ❖ CRC
- ❑ Adresácia na spojovej vrstve - MAC adresy
- ❑ Rámec Ethernetu 802.3
- ❑ Sieťové protokoly ARP a RARP
 - ❖ ARP a NDP tabuľka
- ❑ Topológie LAN
- ❑ Hub
- ❑ Switch
- ❑ Rozšírenia Ethernetu
 - ❖ VLAN 802.1Q
 - ❖ STP 802.1D
- ❑ Mobilita
 - ❖ v rámci siete
 - ❖ medzi sieťami (Mobile IP)
 - ❖ mobilné siete

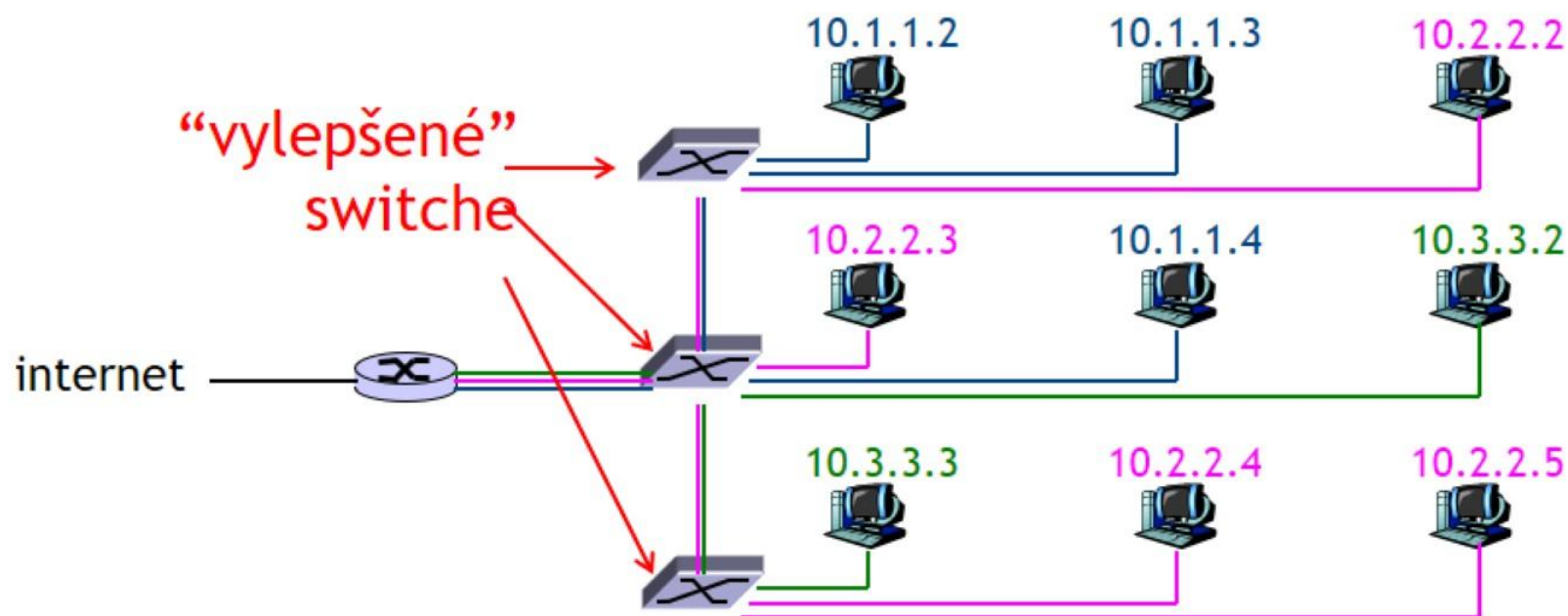
Rozdelenie viacerých podsietí

- ❑ štandardný prístup
- ❖ router delí sieť na podsiete



Rozdelenie viacerých podsietí

- ❑ Virtualizačný prístup
- ❖ siete delíme logicky, nie nutne fyzicky
- ❖ VLAN = Virtual LAN (virtuálna lokálna sieť)



VLAN: prečo vznikli

- ❑ zariadenia a stanice, ktoré **logicky patria k sebe** by mali byť spolu v jednej sieti
 - ❖ bezpečnosť, obmedzenie broadcastovej domény
- ❑ delenie siete na podsiete urobí administrátor softvérovo zo svojho počítača
- ❑ spojiť logicky súvisiace uzly aj fyzicky, môže byť finančne aj administratívne náročné
- ❑ pri presune počítača na iné miesto nemusíme ťahať aj kábel

VLAN: určenie členstva

❑ členstvo v danej virtuálnej sieti sa môže definovať podľa:

❖ zásuviek inteligentného switcha

- najčastejšie riešenie

❖ MAC adres koncových zariadení

- lepšia mobilita staníc

❖ sieťovej adresy (proprietárne riešenia)

- vyžaduje špeciálny switch, schopný čítať hlavičku sieťovej vrstvy (switch číta sieťovú hlavičku - HERÉZA!!!)

- výborná mobilita staníc

- každá stanica môže mať viac IP adres a každú v inej VLAN

- odpadá nutnosť meniť rámce na spojovej vrstve

❖ multicast adresy (proprietárne riešenia)

- uzly sa aktívne pripájajú a odpájajú zo siete (tiež sieťová vrstva)

❖ aplikačného protokolu, cookie (proprietárne riešenia)

- totálny úlet (dokonca aj analyzujeme správu aplikačnej vrstvy)

- smerovanie podľa služby, load balancing

VLAN: určenie členstva

□ členstvo v danej virtuálnej sieti sa môže definovať podľa:

❖ zásuviek inteligentného switcha

• najčastejšie riešenie

❖ MAC adres koncových zariadení

• lepšia mobilita staníc

802.1Q

❖ sieťovej adresy (proprietárne riešenia)

• vyžaduje špeciálny switch, schopný čítať hlavičku sieťovej vrstvy (switch číta sieťovú hlavičku - HERÉZA!!!)

• výborná mobilita staníc,

• každá stanica môže mať viac IP adres a každú v inej VLAN

• odpadá nutnosť meniť rámce na spojovej vrstve

❖ multicast adresy (proprietárne riešenia)

• uzly sa aktívne pripájajú a odpájajú zo siete (tiež sieťová vrstva)

❖ aplikačného protokolu, cookie (proprietárne riešenia)

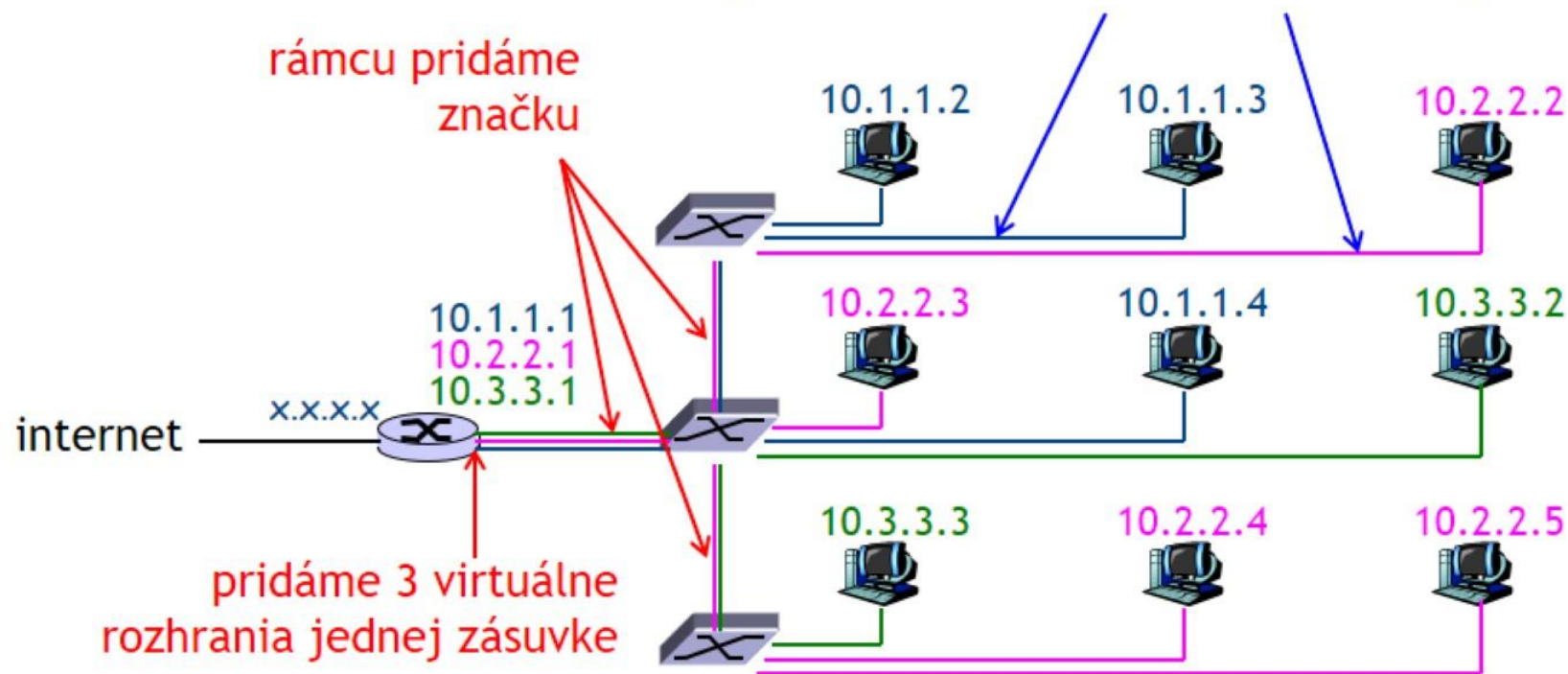
• totálny úlet (dokonca aj analyzujeme správu aplikačnej vrstvy)

• smerovanie podľa služby, load balancing

VLAN: 802.1Q

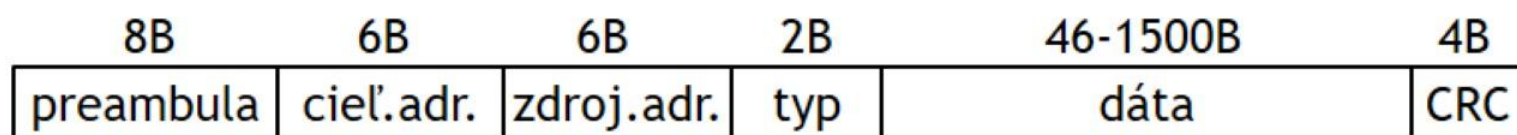
❑ Pre každý rámec potrebujeme vedieť, do ktorej VLAN patrí, aby sme vedeli, kam ho poslať.

tu nám značky netreba
(dokonca ich ani nemusíme vedieť spracovať)

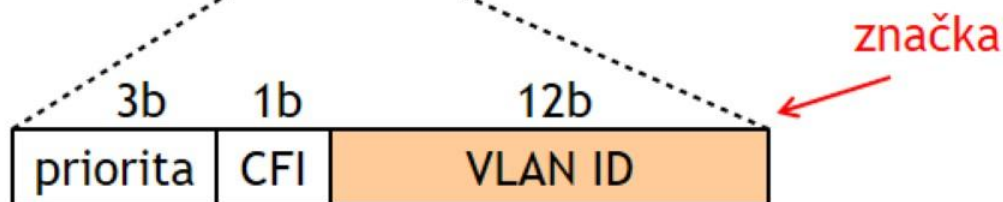
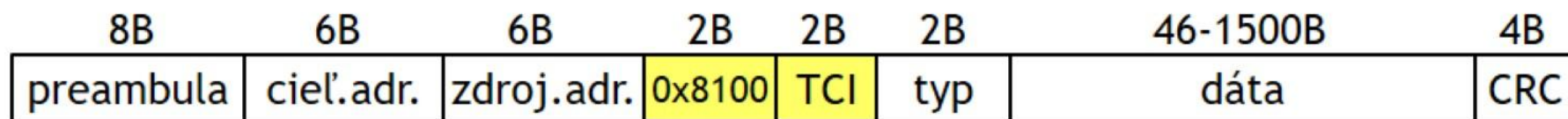


VLAN: 802.1Q

□ rozšírime ráamec 802.3



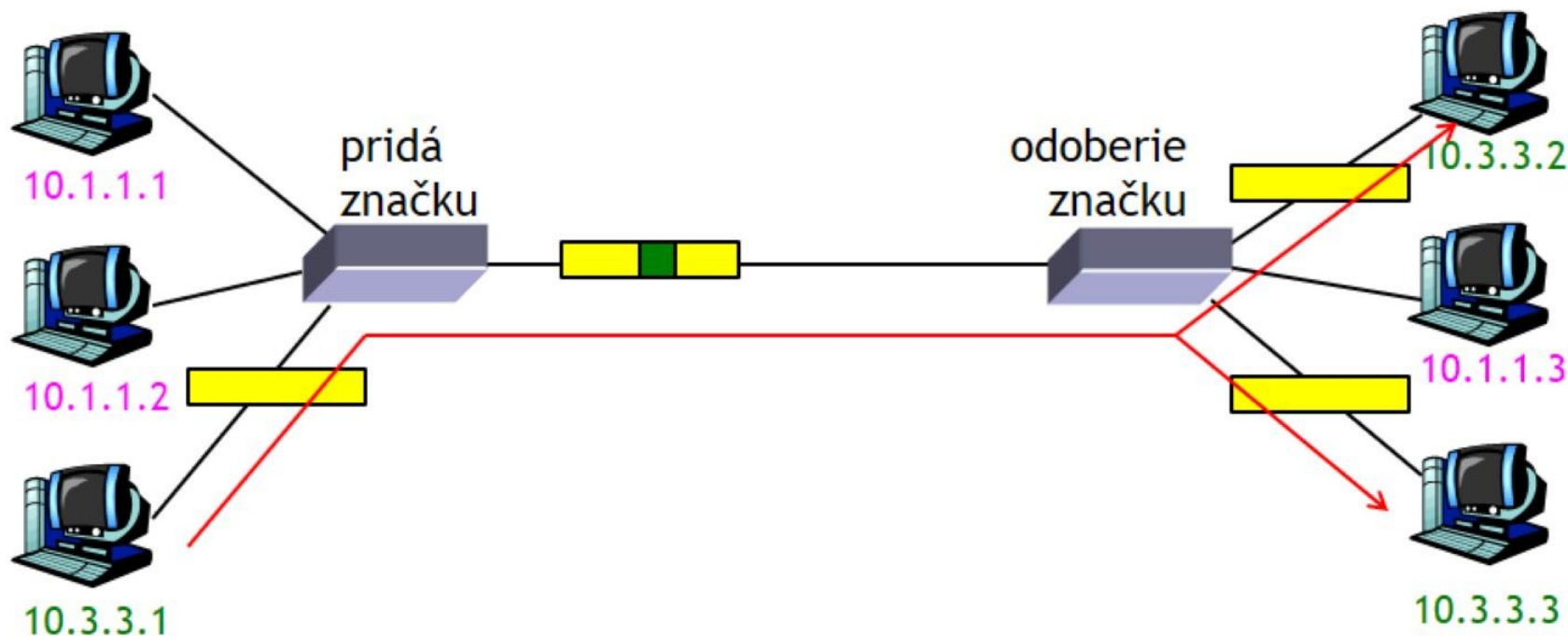
□ na ráamec 802.3ac



CFI $\begin{cases} 0 : \text{adresy sú klasické MAC adresy} \\ 1 : \text{adresy sú RIF polia v Token Ringu (z dôvodu compatibility)} \end{cases}$

VLAN: značkovanie

- ❑ bežné sieťové karty nie sú schopné prijať rozšírený rámec 802.3ac
- ❑ broadcast (napr. ARP request) ide iba členom danej VLAN



Prehľad prednášky

- ❑ Úvod do spojovej vrstvy
- ❑ Implementácia spojovej vrstvy
- ❑ Odhaľovanie chýb
 - ❖ kontrola parity
 - ❖ kontrolný súčet
 - ❖ CRC
- ❑ Adresácia na spojovej vrstve - MAC adresy
- ❑ Rámec Ethernetu 802.3
- ❑ Sieťové protokoly ARP a RARP
 - ❖ ARP a NDP tabuľka
- ❑ Topológie LAN
- ❑ Hub
- ❑ Switch
- ❑ Rozšírenia Ethernetu
 - ❖ VLAN 802.1Q
 - ❖ STP 802.1D
- ❑ Mobilita
 - ❖ v rámci siete
 - ❖ medzi sieťami (Mobile IP)
 - ❖ mobilné siete

802.1D

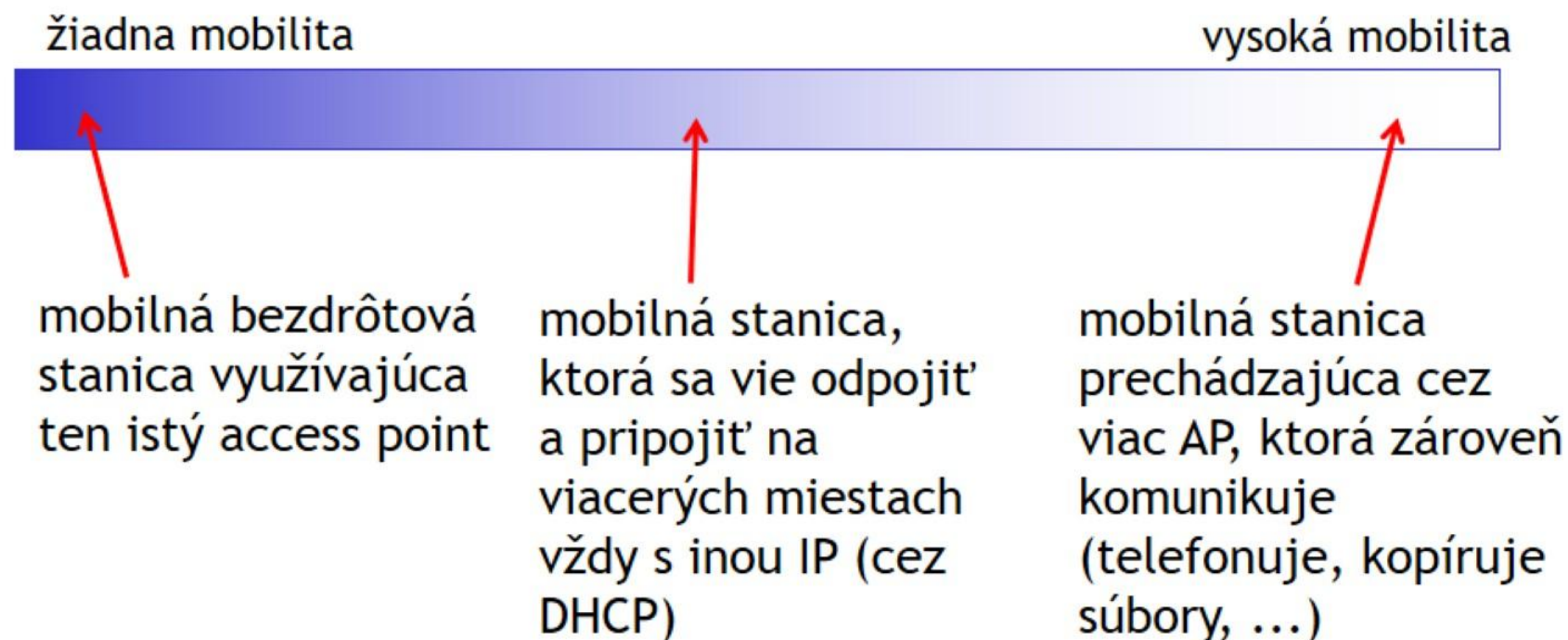
- ❑ (R)STP = (rapid) spanning tree protocol
- ❑ podobný tomu, čo sme spomínali pri broadcastovom smerovaní
- ❑ zabráňujeme broadcastovým búrkam
- ❑ vytvorí sa kostra grafu
 - ❖ vyberie sa koreň stromu (uzol s najmenším bridge ID, v prípade rovnosti najmenšia MAC adresa) - rendezvous point
 - ❖ každý iný switch si aktivuje zo svojich zásuviek, cez ktoré sa dá dostať ku koreňu, iba tú, ktorá má najmenšiu cenu (tá je určená rýchlosťou spojov na ceste)
 - ❖ zapnuté ostanú všetky zásuvky, cez ktoré sa nedá dostať ku koreňu
- ❑ po vytvorení sa periodicky kontroluje konektivita
- ❑ pre VLAN sú špeciálne verzie PVST, PVST+, RPVST, MSTP, MISTP

Prehľad prednášky

- ❑ Úvod do spojovej vrstvy
- ❑ Implementácia spojovej vrstvy
- ❑ Odhaľovanie chýb
 - ❖ kontrola parity
 - ❖ kontrolný súčet
 - ❖ CRC
- ❑ Adresácia na spojovej vrstve - MAC adresy
- ❑ Rámec Ethernetu 802.3
- ❑ Sieťové protokoly ARP a RARP
 - ❖ ARP a NDP tabuľka
- ❑ Topológie LAN
- ❑ Hub
- ❑ Switch
- ❑ Rozšírenia Ethernetu
 - ❖ VLAN 802.1Q
 - ❖ STP 802.1D
- ❑ **Mobilita**
 - ❖ v rámci siete
 - ❖ medzi sieťami (Mobile IP)
 - ❖ mobilné siete

Čo je to mobilita

□ mobilita z pohľadu siete:

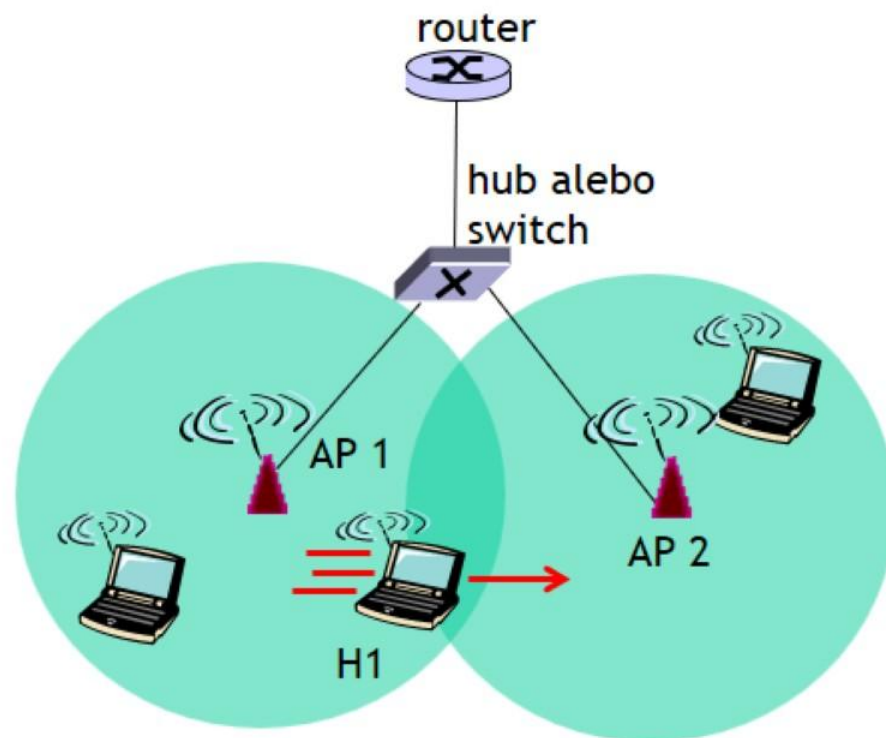


Prehľad prednášky

- ❑ Úvod do spojovej vrstvy
- ❑ Implementácia spojovej vrstvy
- ❑ Odhaľovanie chýb
 - ❖ kontrola parity
 - ❖ kontrolný súčet
 - ❖ CRC
- ❑ Adresácia na spojovej vrstve - MAC adresy
- ❑ Rámec Ethernetu 802.3
- ❑ Sieťové protokoly ARP a RARP
 - ❖ ARP a NDP tabuľka
- ❑ Topológie LAN
- ❑ Hub
- ❑ Switch
- ❑ Rozšírenia Ethernetu
 - ❖ VLAN 802.1Q
 - ❖ STP 802.1D
- ❑ Mobilita
 - ❖ **v rámci siete**
 - ❖ medzi sieťami (Mobile IP)
 - ❖ mobilné siete

802.11: mobilita v rámci siete

- ❑ H1 ostáva v tej istej sieti: IP adresa môže zostať rovnaká
- ❑ switch: na ktorý AP sa H1 napojil?
 - ❖ samoučenie: switch si obnoví riadok prepínacej tabuľky pri prvom rámci od H1 zaslaného cez AP2



Prehľad prednášky

- ❑ Úvod do spojovej vrstvy
- ❑ Implementácia spojovej vrstvy
- ❑ Odhaľovanie chýb
 - ❖ kontrola parity
 - ❖ kontrolný súčet
 - ❖ CRC
- ❑ Adresácia na spojovej vrstve - MAC adresy
- ❑ Rámec Ethernetu 802.3
- ❑ Sieťové protokoly ARP a RARP
 - ❖ ARP a NDP tabuľka
- ❑ Topológie LAN
- ❑ Hub
- ❑ Switch
- ❑ Rozšírenia Ethernetu
 - ❖ VLAN 802.1Q
 - ❖ STP 802.1D
- ❑ Mobilita
 - ❖ v rámci siete
 - ❖ medzi sieťami (Mobile IP)
 - ❖ mobilné siete

Idea medzisieťovej mobility

Ako môžeme komunikovať s niekým,
kto často mení svoju adresu?

- ❑ pýtam sa všetkých naokolo, hľadám vo všetkých mestách, kde si myslím, že by mohla byť,..
- ❑ počkám si, až ma osloví ona sama?
- ❑ zavolám jej rodičom, tí budú isto vedieť, kde je !

vrátime sa na
sieťovú vrstvu

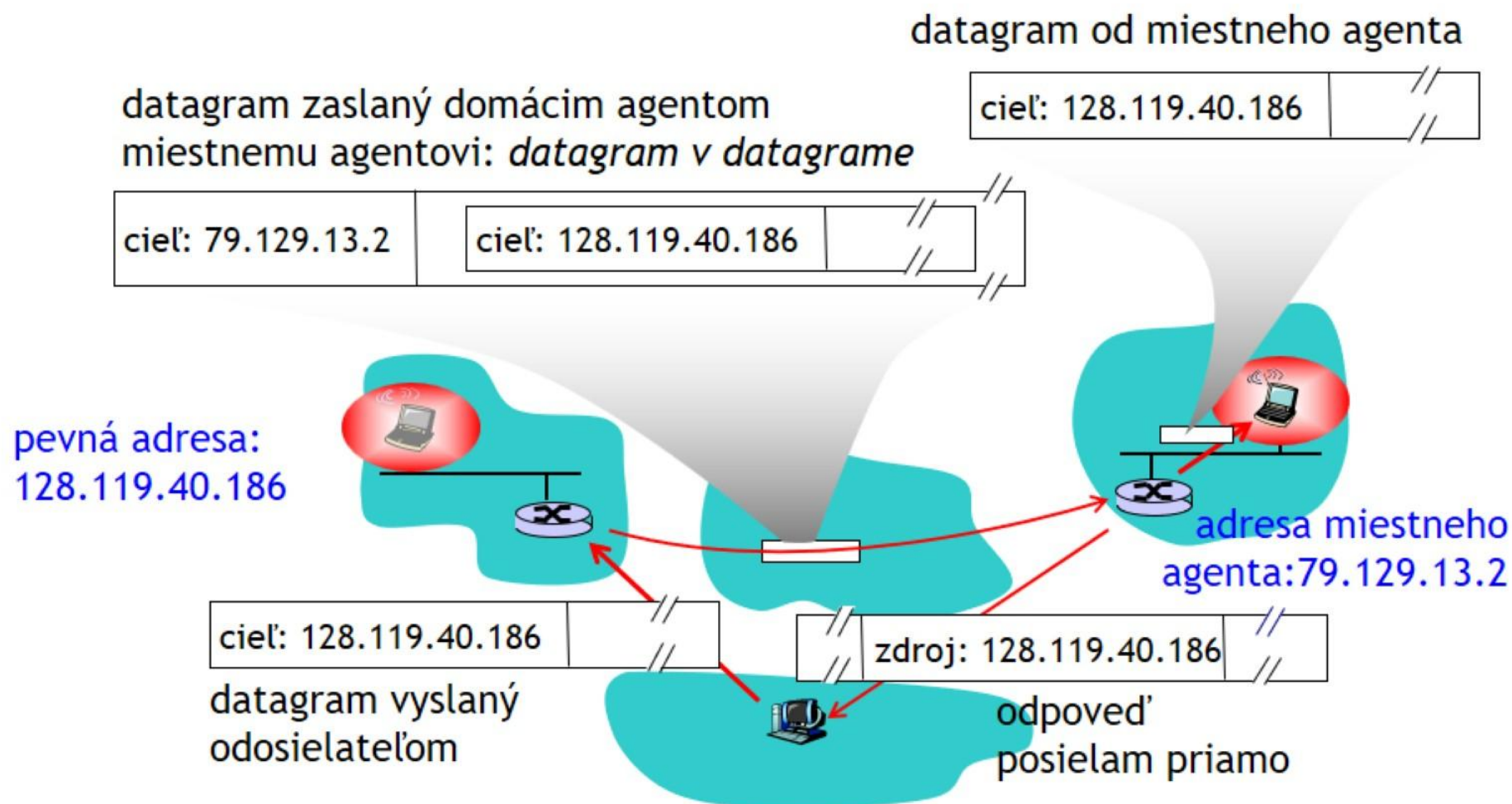


Mobile IP [RFC 3344]

Hlavná idea:

- ❑ aj v novej sieti mám stále svoju IP (chcem si zachovať otvorené spojenia z predchádzajúcej siete)
- ❑ nájdeme miestneho agenta s miestnou IP, ktorý bude komunikovať s domácim agentom (rodič)
- ❑ v spolupráci s miestnym agentom sa ohlásime u domáceho agenta (rodič vie adresu môjho miestneho agenta)
- ❑ komunikácia pre mňa ide cez domáceho a miestneho agenta (ten s kým komunikujem, nevie že sa presúvam)

Mobile IP: nepriame smerovanie



Prehľad prednášky

- ❑ Úvod do spojovej vrstvy
- ❑ Implementácia spojovej vrstvy
- ❑ Odhaľovanie chýb
 - ❖ kontrola parity
 - ❖ kontrolný súčet
 - ❖ CRC
- ❑ Adresácia na spojovej vrstve - MAC adresy
- ❑ Rámec Ethernetu 802.3
- ❑ Sieťové protokoly ARP a RARP
 - ❖ ARP a NDP tabuľka
- ❑ Topológie LAN
- ❑ Hub
- ❑ Switch
- ❑ Rozšírenia Ethernetu
 - ❖ VLAN 802.1Q
 - ❖ STP 802.1D
- ❑ Mobilita
 - ❖ v rámci siete
 - ❖ medzi sieťami (Mobile IP)
 - ❖ **mobilné siete**

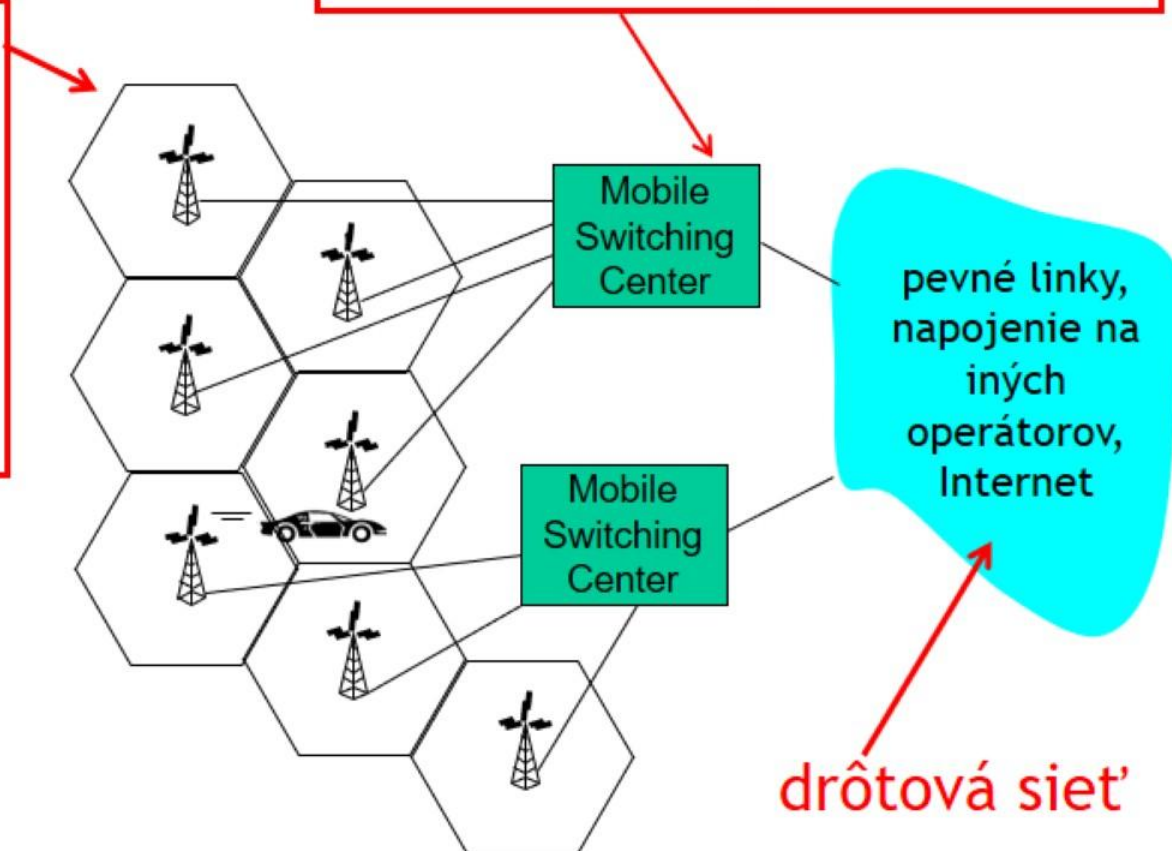
Mobilné telefónne siete (GSM,...)

bunka

- pokrýva nejaký geografický región
- *základná stanica*
- analógia pre 802.11 AP
- *mobilné zariadenia* pripájajú sa na základné stanice

MSC

- spájajú bunky do spoločnej siete
- riadenie nastavenia hovoru
- riešenie mobility



Riešenie mobility v mobilných sieťach

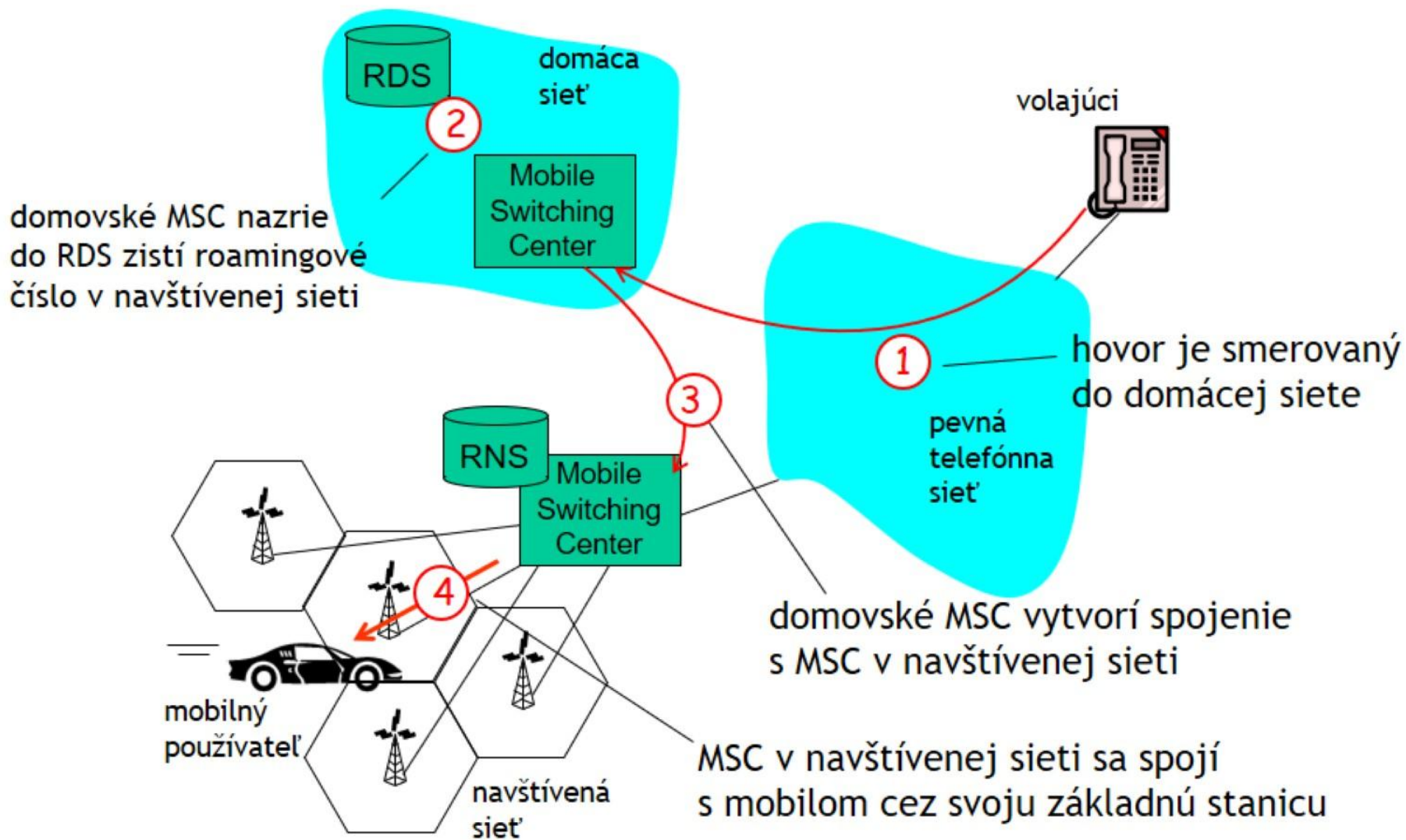
□ **domáca sieť**: sieť lokálneho operátora, ktorého sme zákazníkom

❖ **register domácej siete (RDS)**: databáza domácej siete: číslo telefónu, služby, platby, ..., informácia o aktuálnej polohe (môže byť aj v roamingovej sieti)

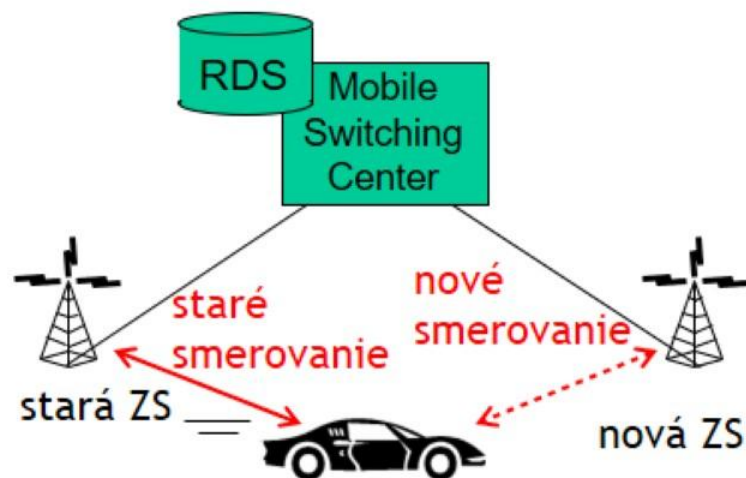
□ **navštívená sieť**: sieť v ktorej je telefón napojený (cez roaming)

❖ **register navštívenejej siete (RNS)**: databáza s každým práve napojeným telefónom

GSM: nepriame smerovanie



GSM: prepínanie medzi stanicami



❑ **cieľ prepínania:** smerovať hovor cez novú základnú stanicu (ZS) bez prerušenia

❑ **dôvod prepínania:**

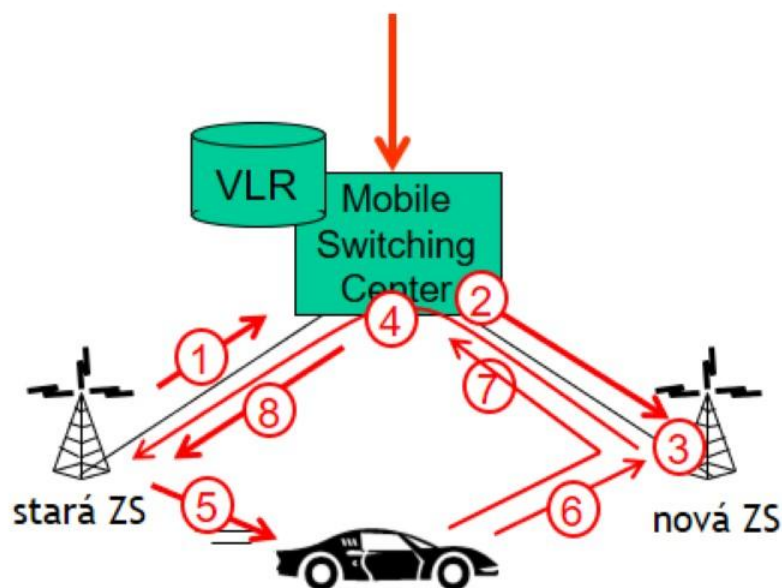
- ❖ nová ZS má silnejší signál na prijímanie

- ❖ spojenie s bližšou ZS vyžaduje iba slabšiu intenzitu vysielania (šetríme baterku)

- ❖ rozloženie záťaže: uvoľnenie kanála vo vyťaženej ZS

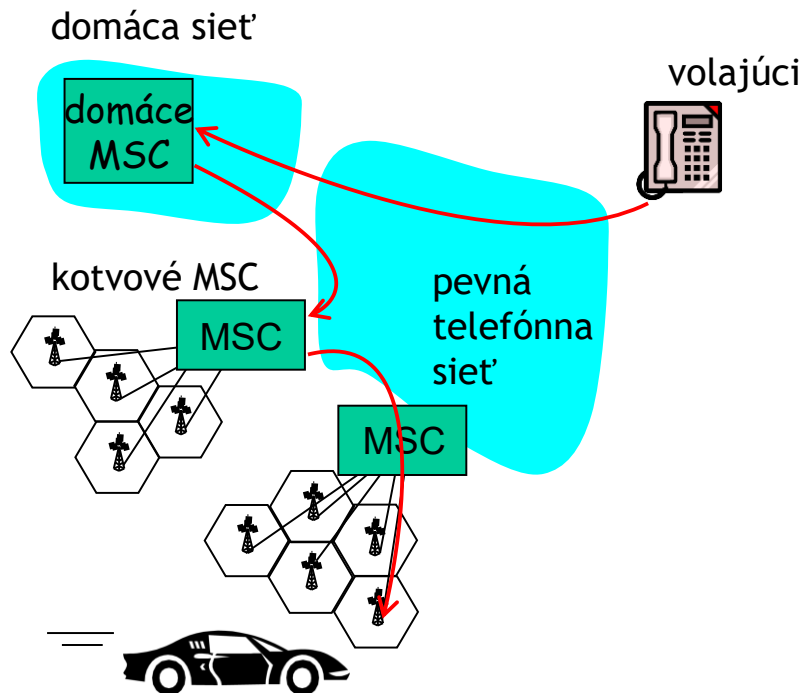
❑ prepnutie inicializuje stará ZS

GSM: prepínanie so spoločným MSC



1. stará ZS informuje MSC o blížiacom prepínaní so zoznamom ≥ 1 nových ZS
2. MSC si pripraví novú cestu
3. nová ZS alokuje kanál pre nové zariadenie
4. nová ZS pre MSC a starú ZS: som pripravená
5. stará ZS povie mobilu: prepni sa na novú ZS
6. aktivuje nové pripojenie
7. mobil oznámi MSC cez novú ZS, že sa úspešne prepol, MSC presmeruje hovor
8. stará ZS uvoľní zdroje

GSM: prepínanie medzi viacerými MSC



- ❑ **kotvové MSC:** prvé MSC na začiatku hovoru
- ❖ hovor ostáva smerovaný cez toto MSC
- ❑ nové MSC sa pridávajú na koniec reťazca všetkých MSC, na ktoré bol mobil počas hovoru napojený
- ❑ niektoré siete (IS-41) poskytujú skrátenie reťaze MSC, ak je to možné

Prehľad prednášky

- ❑ Úvod do spojovej vrstvy
- ❑ Implementácia spojovej vrstvy
- ❑ Odhaľovanie chýb
 - ❖ kontrola parity
 - ❖ kontrolný súčet
 - ❖ CRC
- ❑ Adresácia na spojovej vrstve - MAC adresy
- ❑ Rámec Ethernetu 802.3
- ❑ Sieťové protokoly ARP a RARP
 - ❖ ARP a NDP tabuľka
- ❑ Topológie LAN
- ❑ Hub
- ❑ Switch
- ❑ Rozšírenia Ethernetu
 - ❖ VLAN 802.1Q
 - ❖ STP 802.1D
- ❑ Mobilita
 - ❖ v rámci siete
 - ❖ medzi sieťami (Mobile IP)
 - ❖ mobilné siete

Ďakujem za pozornosť

Modifikované slajdy z knihy:

Computer Networking: A Top Down Approach ,
4th edition.

Jim Kurose, Keith Ross

Addison-Wesley, July 2007.