



# Prehľad prednášky

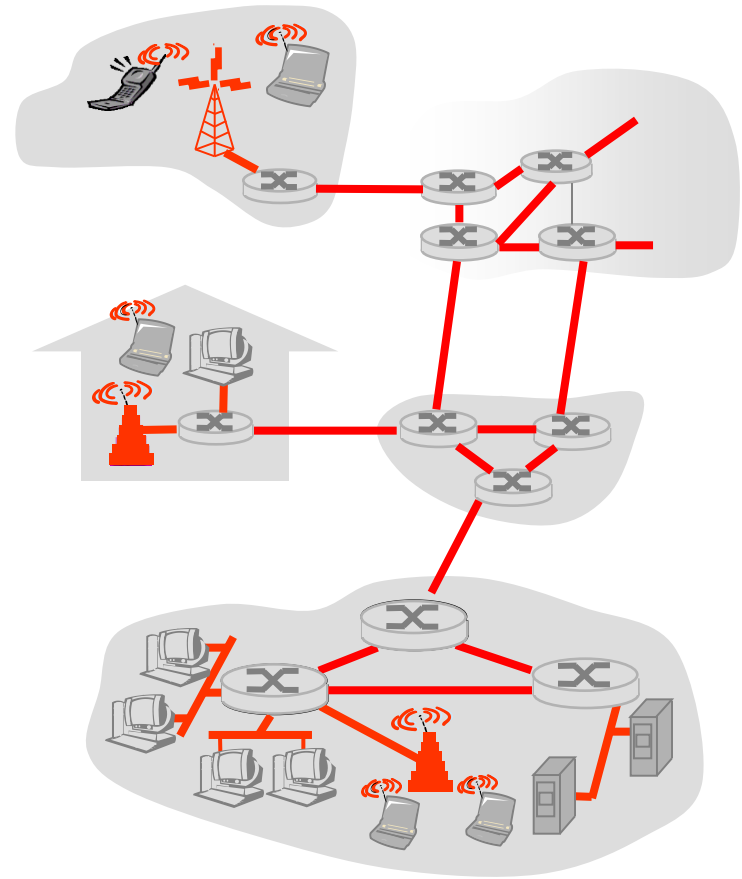
- ❑ Úvod do spojovej vrstvy
- ❑ Implementácia spojovej vrstvy
- ❑ Odhaľovanie chýb
  - ❖ kontrola parity
  - ❖ kontrolný súčet
  - ❖ CRC
- ❑ Adresácia na spojovej vrstve - MAC adresy
- ❑ Rámec Ethernetu 802.3
- ❑ Sieťové protokoly ARP a RARP
  - ❖ ARP a NDP tabuľka
- ❑ Topológie LAN
- ❑ Hub
- ❑ Switch
- ❑ 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

**spojová 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:
  - ❖ požiadava odosielateľa o preposlanie alebo zahodí rámeč

## ❑ *oprava chýb:*

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

## ❑ *half-duplex a full-duplex*

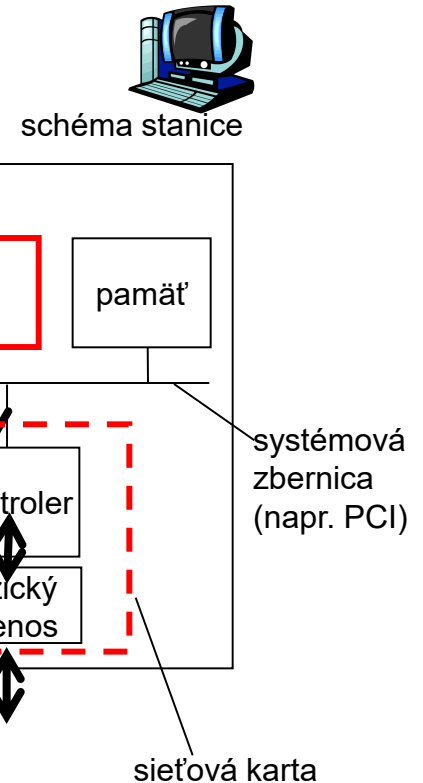
- ❖ s half duplexom môžu uzly na koncoch spoja odosielať daným spojom obidvoma smermi, ale nie v rovnakom čase

# Prehľad prednášky

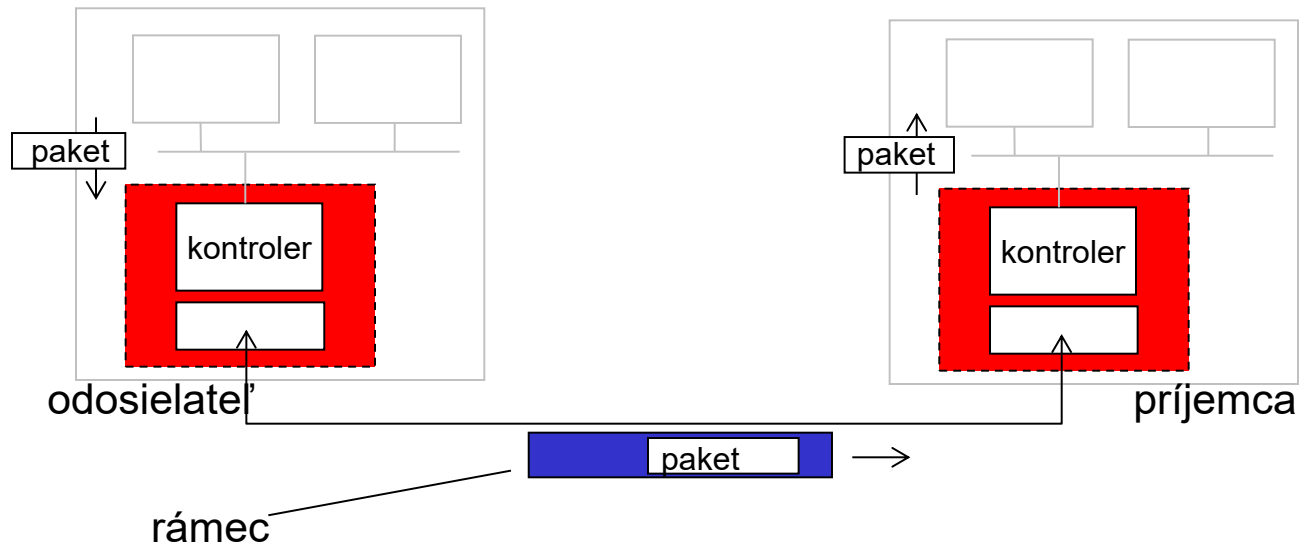
- Úvod do spojovej vrstvy
- Implementácia spojovej vrstvy
- Odhaľovanie chýb
  - ❖ kontrola parity
  - ❖ kontrolný súčet
  - ❖ CRC
- Adresácia na spojovej vrstve - MAC adresy
- Rámec Ethernetu 802.3
- Sieťové protokoly ARP a RARP
  - ❖ ARP a NDP tabuľka
- Topológie LAN
- Hub
- Switch
- Rozšírenia Ethernetu
  - ❖ 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:

- ❖ zisťuje 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

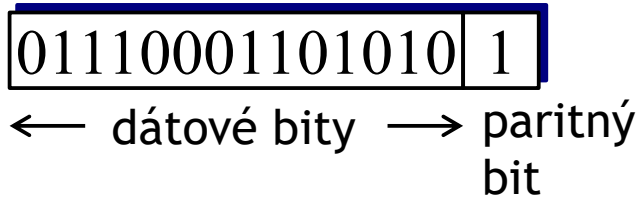
# Prehľad prednášky

- ❑ 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

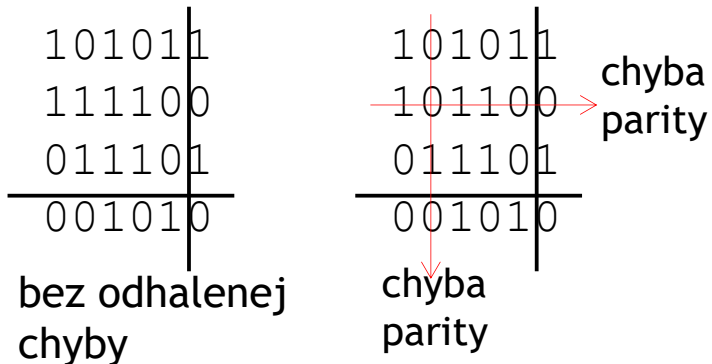
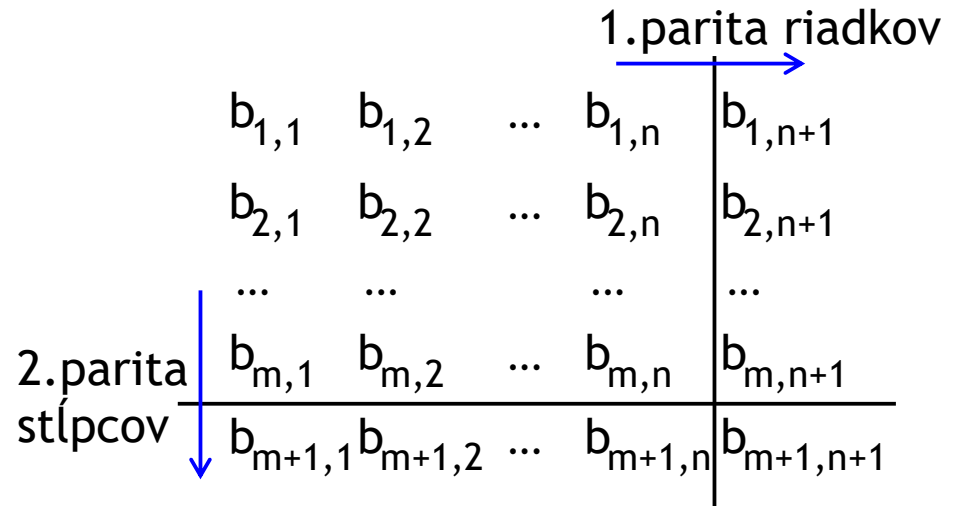
## Jeden paritný bit:

Odhalí nepárny počet bitových chýb



## 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:**

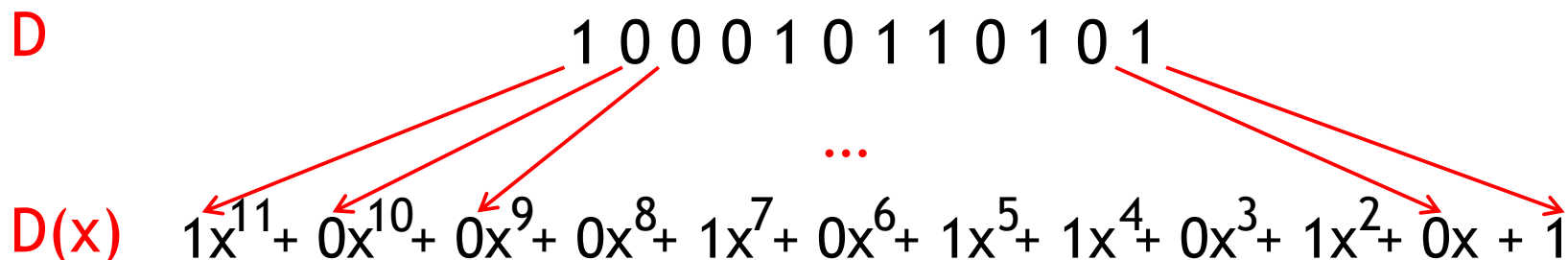
- ❑vypočíta súčet prijatého datagramu/segmentu ako postupnosti 16 bitových čísiel a kontrolný súčet
- ❑ak je vo výsledku aspoň jedna nula, odhalili sme chybu
- ❑ak má výsledok samé jednotky, tak sa žiadna chyba neodhalila (ale môže tam byť)

# 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  $R(x)$

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

# CRC: matematický pohľad

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

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

□ 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:

$$10101000 : 1011 = ?$$

$$\text{xor } \begin{array}{r} 1011 \\ \underline{0001100} \\ 01110 \end{array}$$

$$\text{xor } \begin{array}{r} 1011 \\ \underline{01110} \\ 0101 \end{array}$$

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,

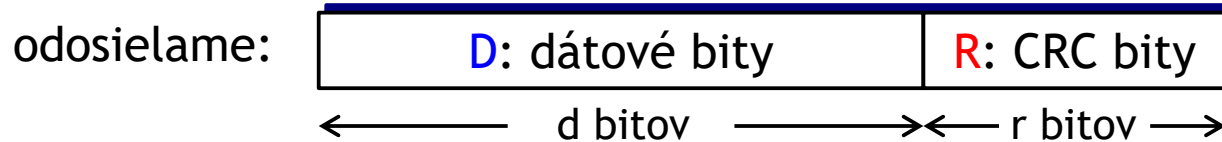
□ odhalili sme chybu

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

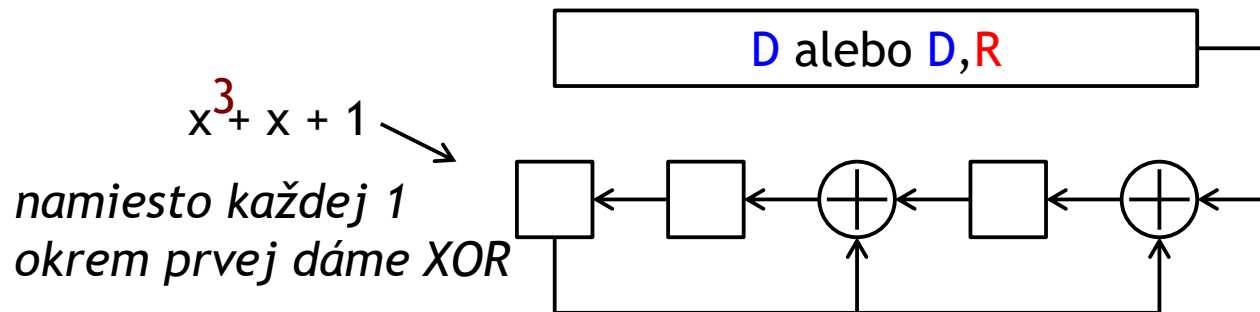


matematicky:  $D * 2^r + R$

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 zhluky chýb menšie ako  $r+1$  bitov

## ❑ CRC-16

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

## ❑ CRC-32

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

❖ zhluky 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:

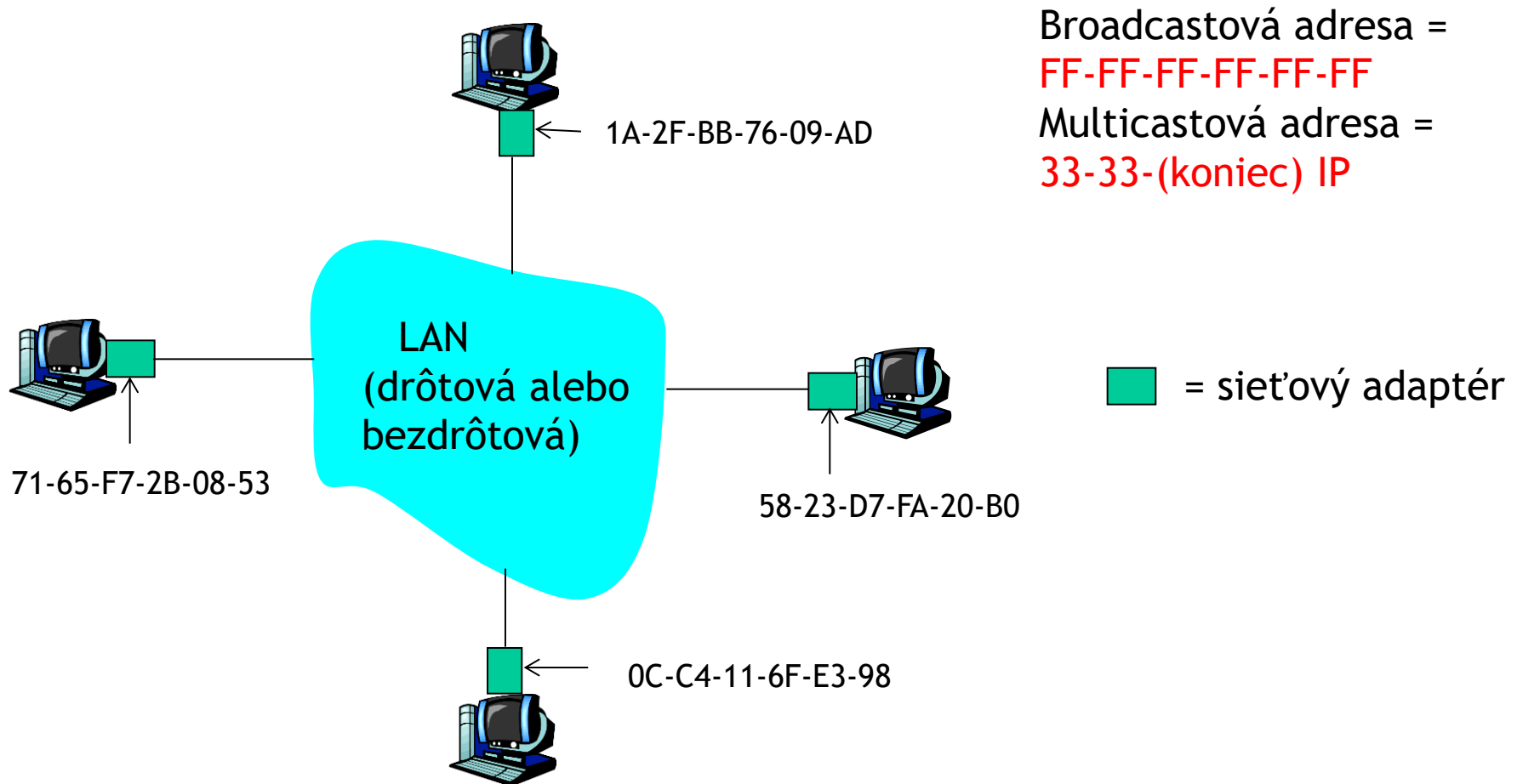
❖ použitie: *dopraviť rámec z jedného sieťového adaptéra k inému v rámci tej istej siete*

❖ 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**

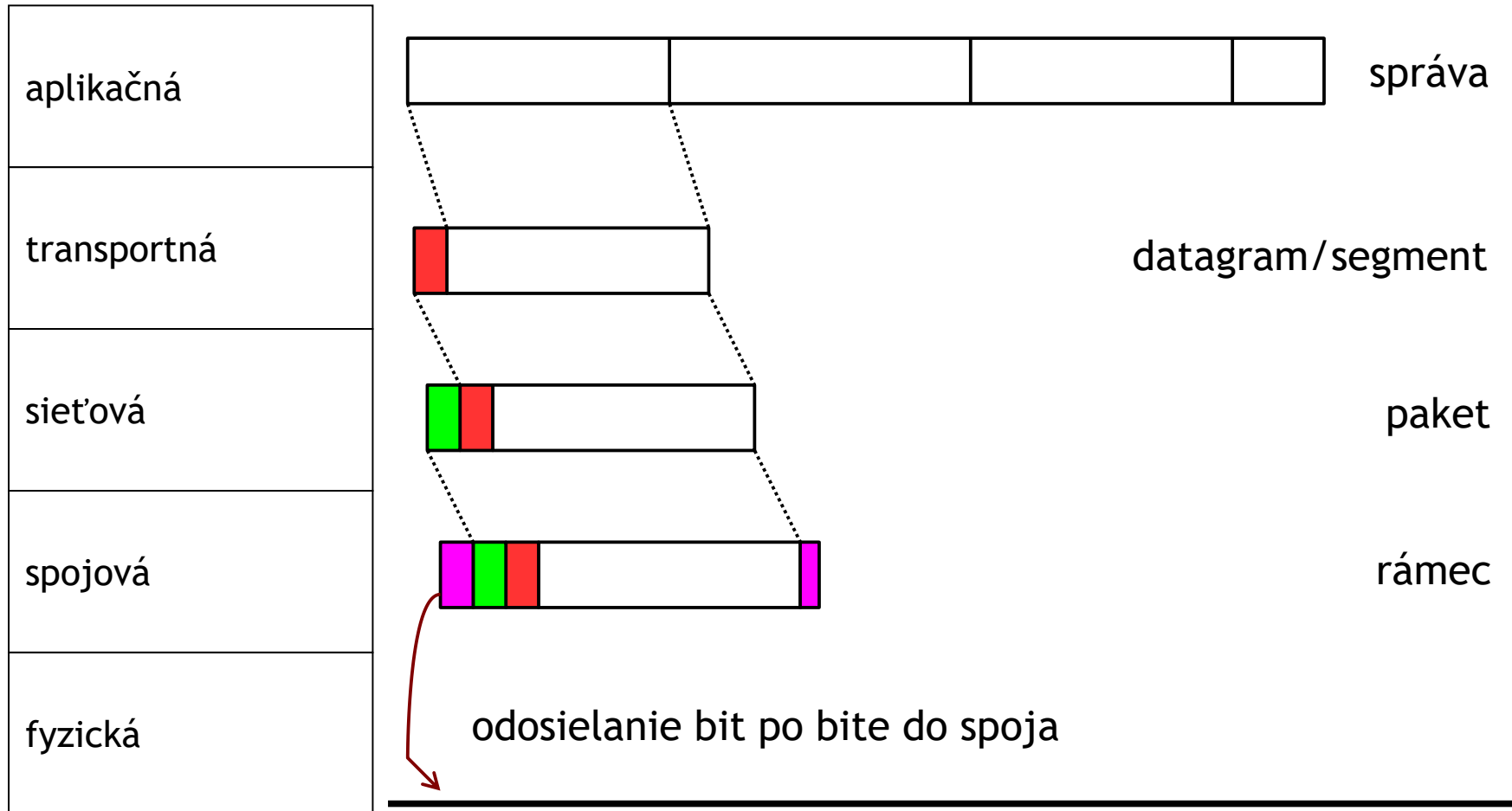
# MAC adresy

- ❑ 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

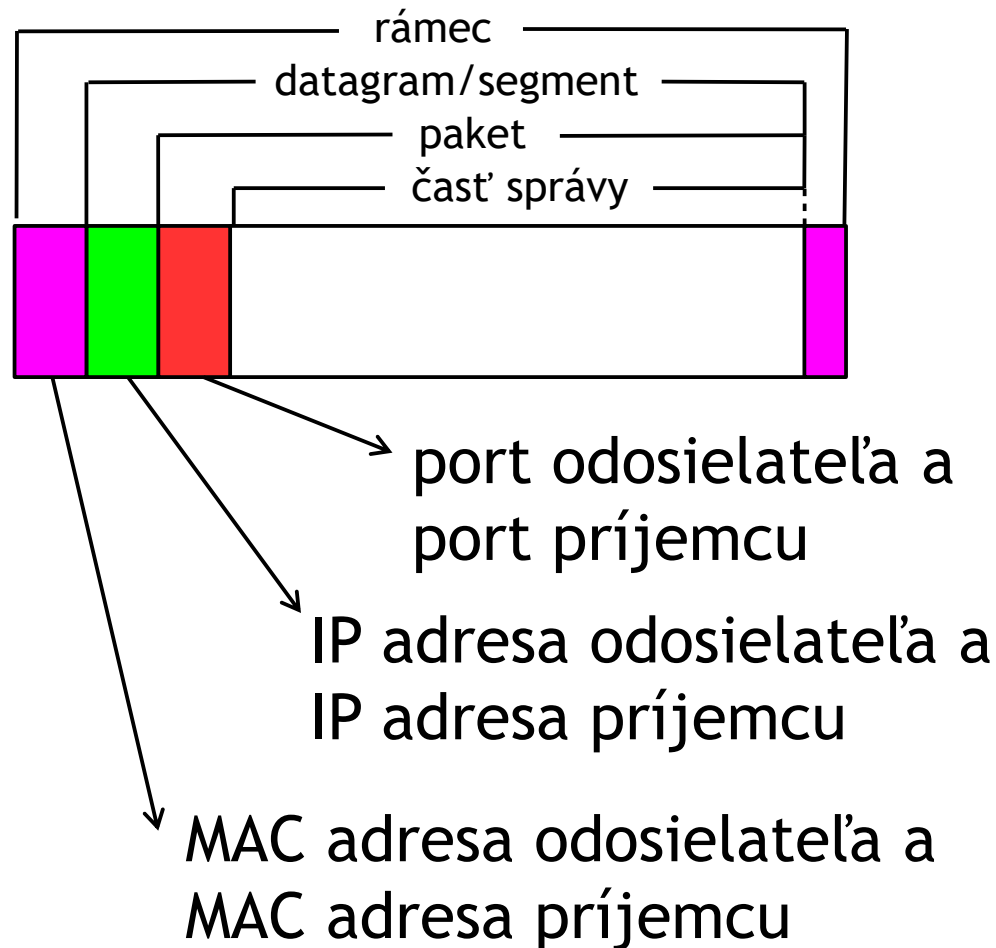
# Prehľad prednášky

- 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

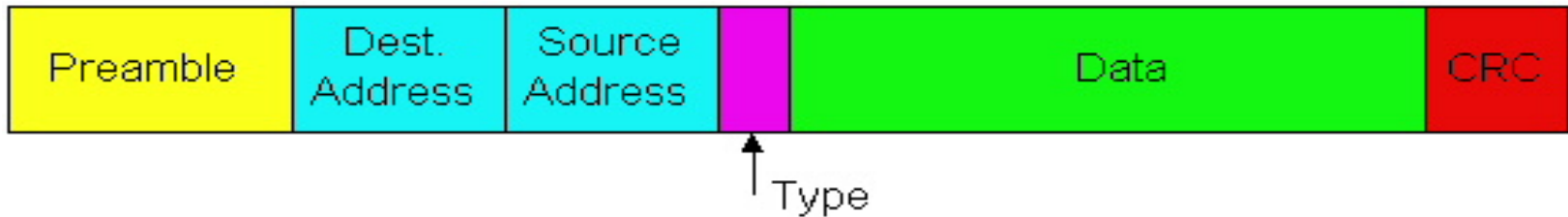


# Adresovacie údaje v pakete



# 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

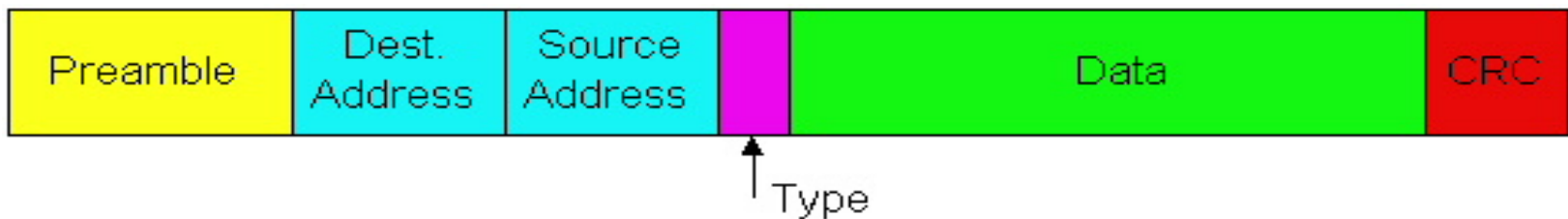
❑ **Adresy:** 6 bajtov

❖ 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
- ❑ Siet'ová vrstva číta **smerovaciú tabuľku**, aby zistila, cez ktoré rozhranie (siet'ovú 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?

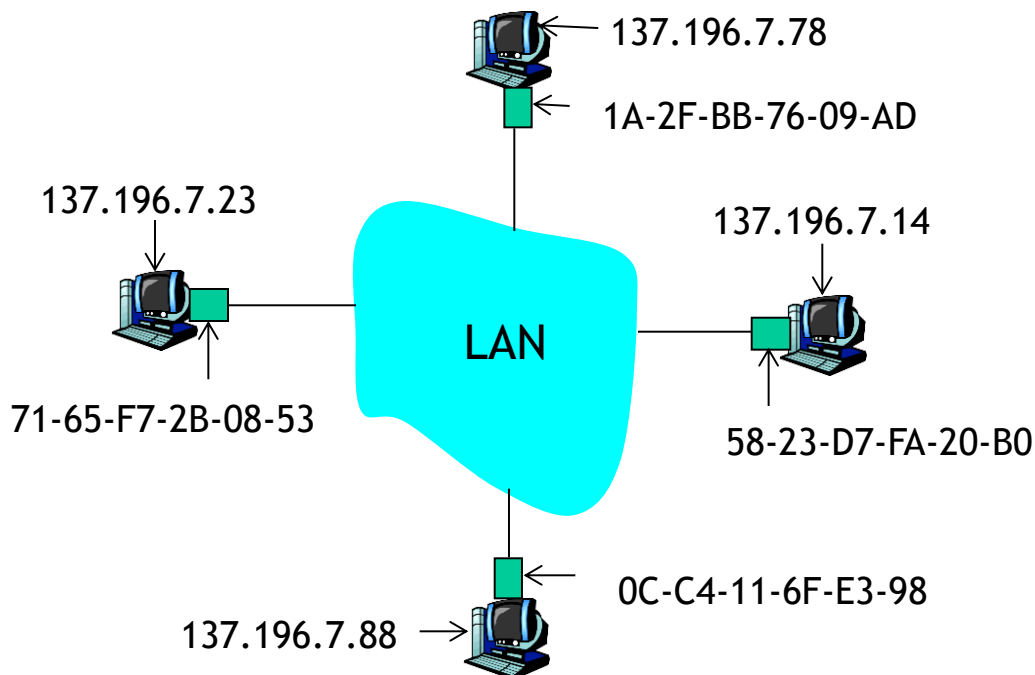
- ❑ Príjemca rámca **MUSÍ byť v našej sieti**

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

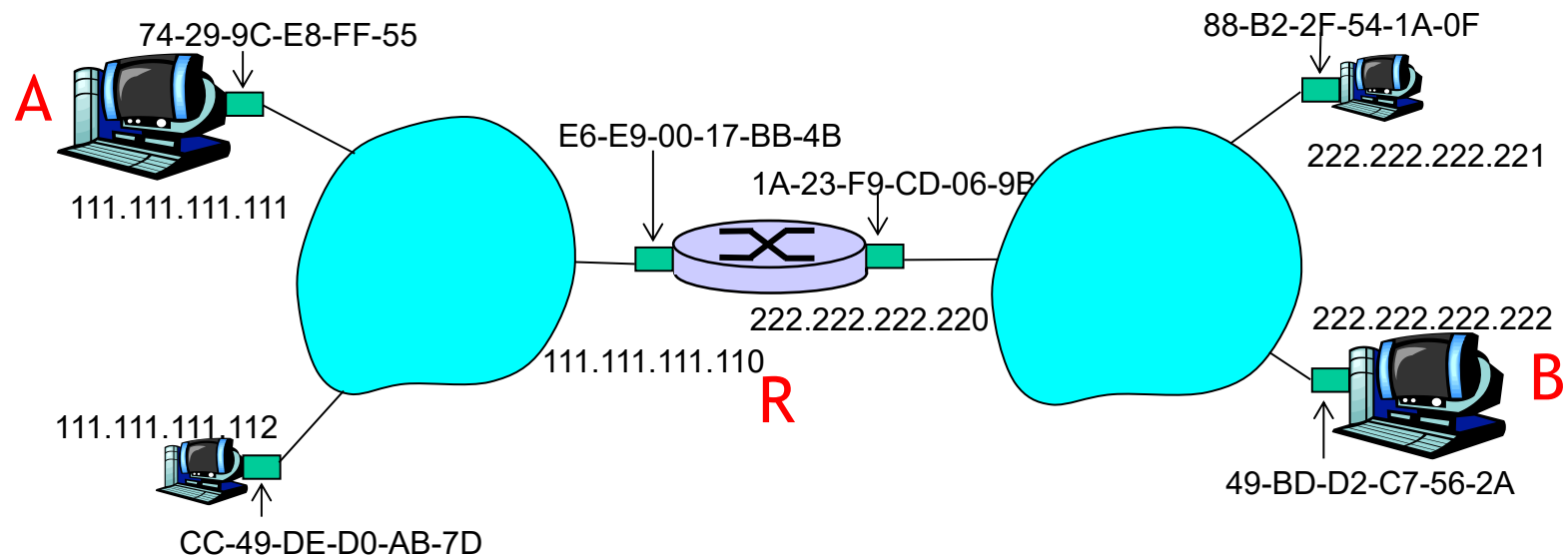
- A chce poslať paket pre B, ale MAC adresa B nie je v ARP tabuľke uzla A
- A vyšle **broadcastovú** ARP otázku, obsahujúcu IP adresu uzla B
  - ❖ cieľová MAC adresa = FF-FF-FF-FF-FF-FF
  - ❖ všetky zariadenia v lokálnej sieti túto ARP otázku dostanú
- B prijme ARP otázku, odpovie uzlu A so svojou MAC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

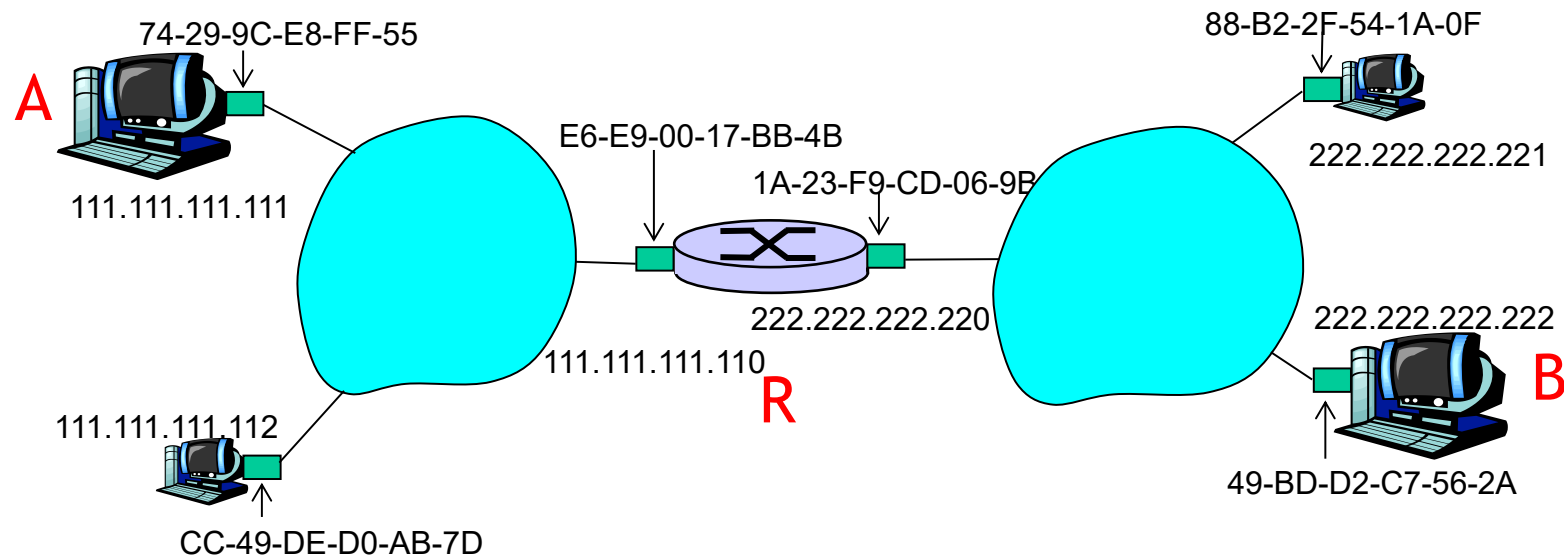
postup: **posielame *paket* z A do B cez R =**  
**A posiela rámec s paketom pre R a následne**  
**R posiela rámec s paketom pre B**

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 33:33:23:45:67:89, na ktorej tento uzol musí počúvať
- ❑ 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)

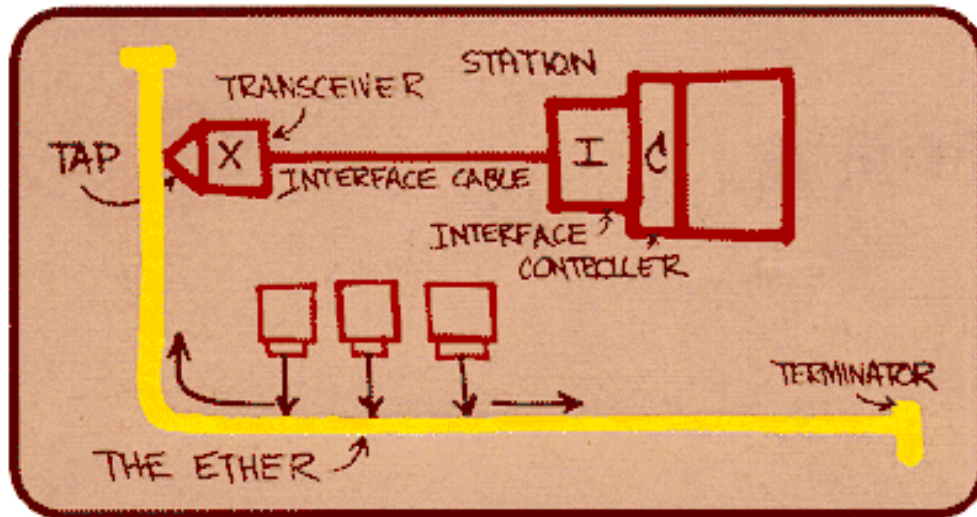
# Prehľad prednášky

- 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
- Topológia 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:

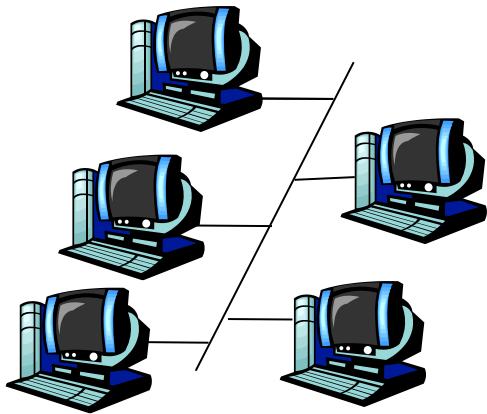
- ❑ veľmi lacná: cca 4 € za 100Mb/s sieťovú kartu, 5 € za 1Gb/s
- ❑ prvá rozšírená technológia
- ❑ jednoduchšia a lacnejšia ako tokenové LAN alebo ATM
- ❑ zvláda aktuálne maximálne rýchlosti: 10 Mb/s - 10 Gb/s



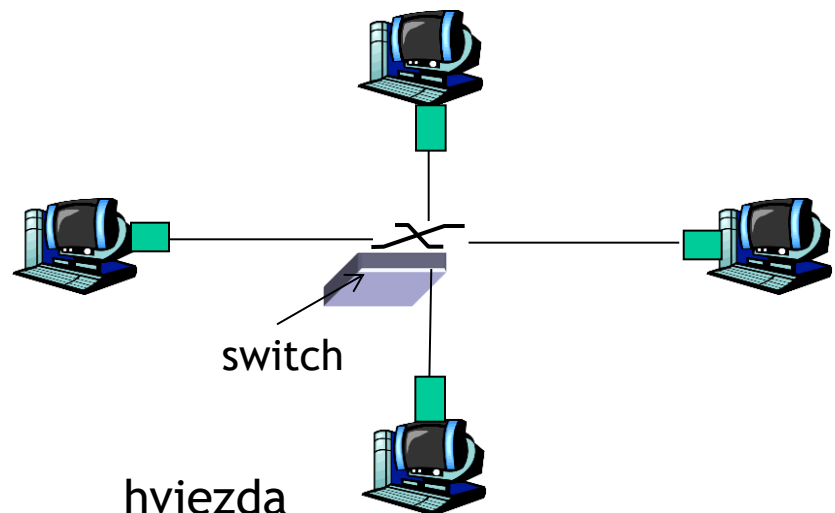
Pôvodný návrh  
Ethernetu podľa  
Metcalfe-a

# Topológia hviezdy

- zbernicová topológia populárna do polovice 90-tych rokov
  - ❖ všetky uzly v spoločnej **kolíznej doméne**
- dnes prevláda topológia hviezdy
  - ❖ v centre hviezdy 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

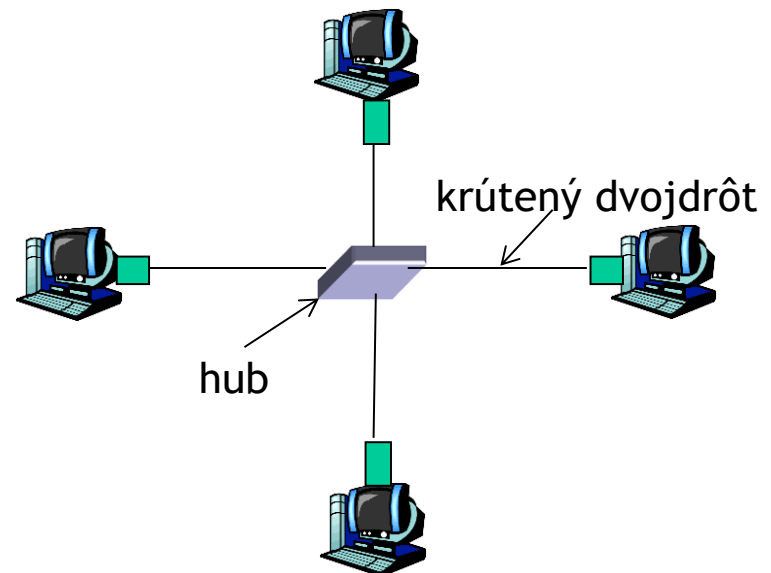
- ❖ uzly **v rovnakej sieti** (LAN)
  - napojené na spoločný spoj, alebo cez hub, alebo cez switch
- ❖ množina uzlov, ktoré majú prijať vyslanú broadcastovú správu (cieľová MAC adresa je FF-FF-FF-FF-FF-FF)

# 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

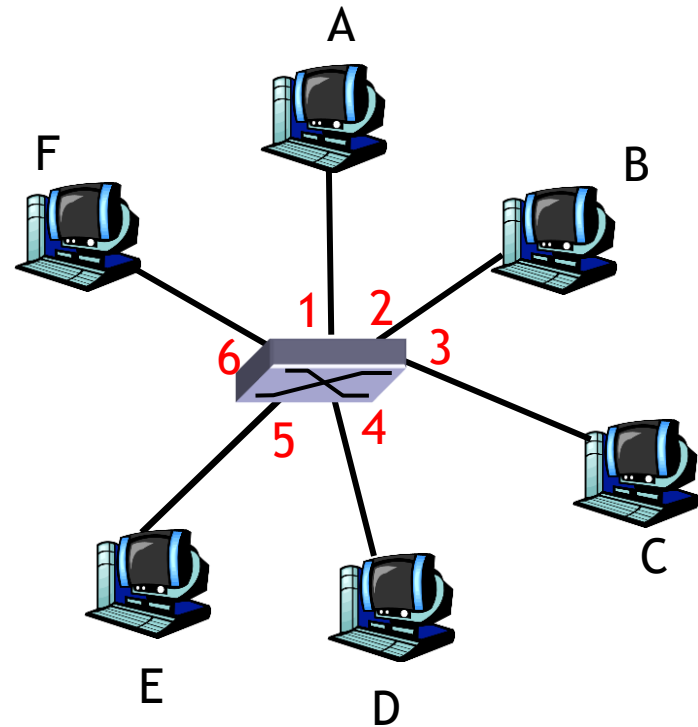
- ❑ Úvod do spojovej vrstvy
- ❑ Implementácia spojovej vrstvy
- ❑ Odhaľovanie chýb
  - ❖ kontrola parity
  - ❖ kontrolný súčet
  - ❖ CRC
- ❑ Adresácia na spojovej vrstve - MAC adresy
- ❑ Rámec Ethernetu 802.3
- ❑ Sieťové protokoly ARP a RARP
  - ❖ ARP a NDP tabuľka
- ❑ Topológie LAN
- ❑ Hub
- ❑ Switch
- ❑ 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

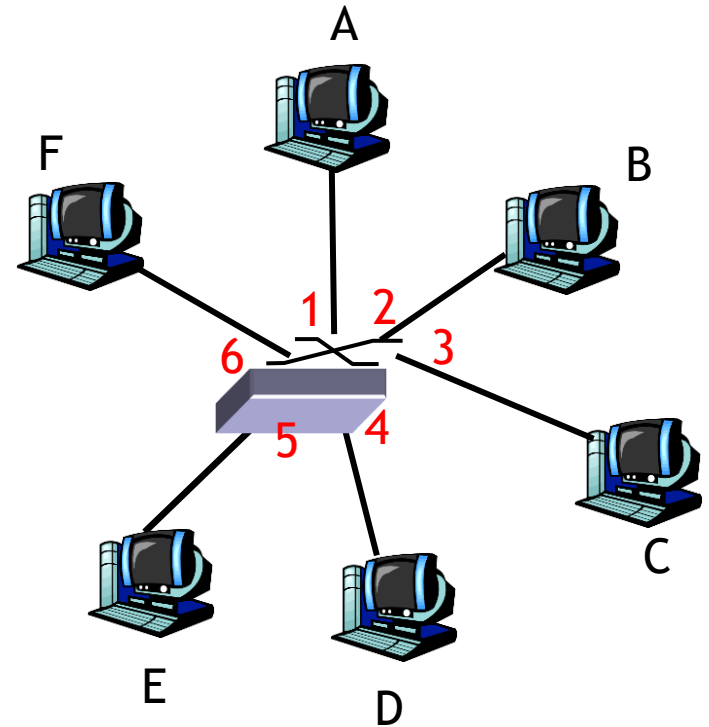
- ❑ každý uzol má vyhradené samostatné spojenie k switchu
- ❑ žiadne kolízie: úplný duplex
  - ❑ Staršie Ethernet technológie mali half-duplex, kde dvojica switch a uzol tvoria spoločnú kolíznu doménu
- ❑ **prepínanie**: komunikácie A-D a B-E môžu bežať nezávisle a bez kolízií
  - ❖ to sa nedá, ak používame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



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

# Prepínacia tabuľka

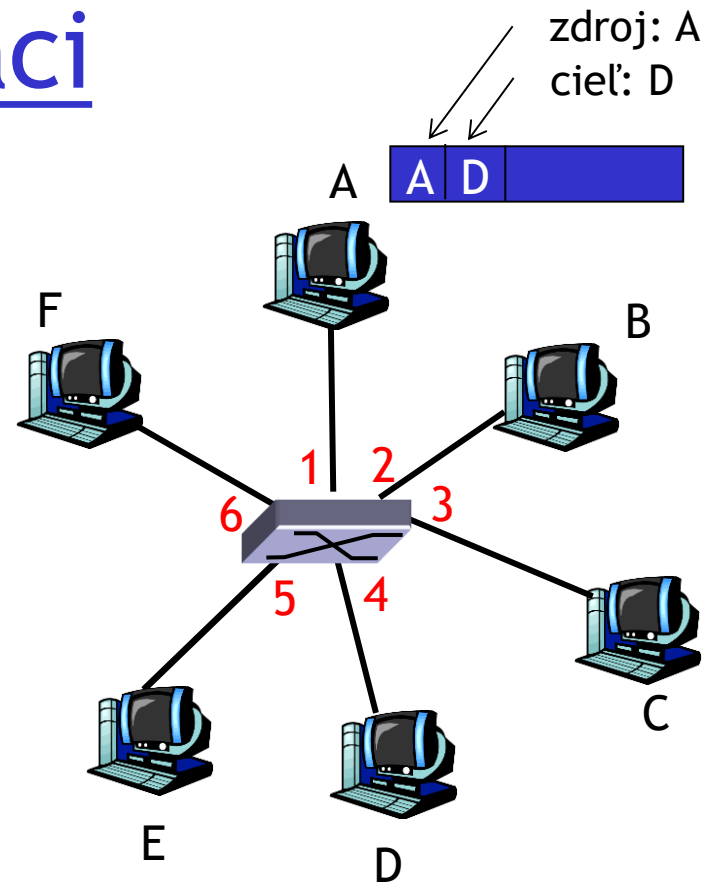
- ❑ Ako switch vie, že D je dostupné cez zásuvku 4 a E cez zásuvku 5?
- ❑ Každý switch má **prepínaciu tabuľku** so záznamami:
  - ❖ MAC adresa uzla
  - ❖ číslo zásuvky, cez ktorú je tento uzol dostupný
  - ❖ časová pečiatka
- ❑ skoro ako smerovacia tabuľka!



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)

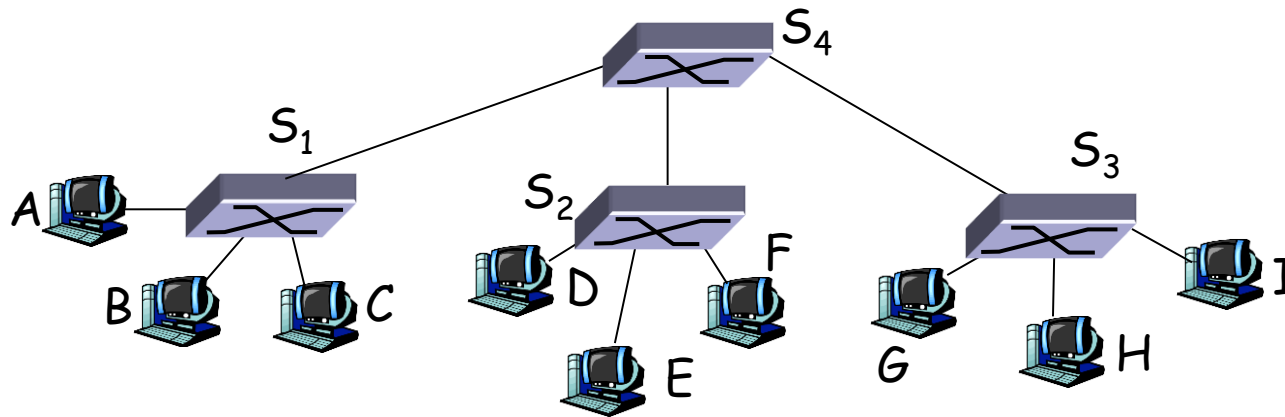
# Switch: posielanie rámcov

## Ked' príde rámeč:

1. uloží 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' rámeč
      - inak** pošli rámeč k príjemcovi cez správnu zásuvku
    - }
  - inak** pošli rámeč všade okrem zásuvky odosielateľa

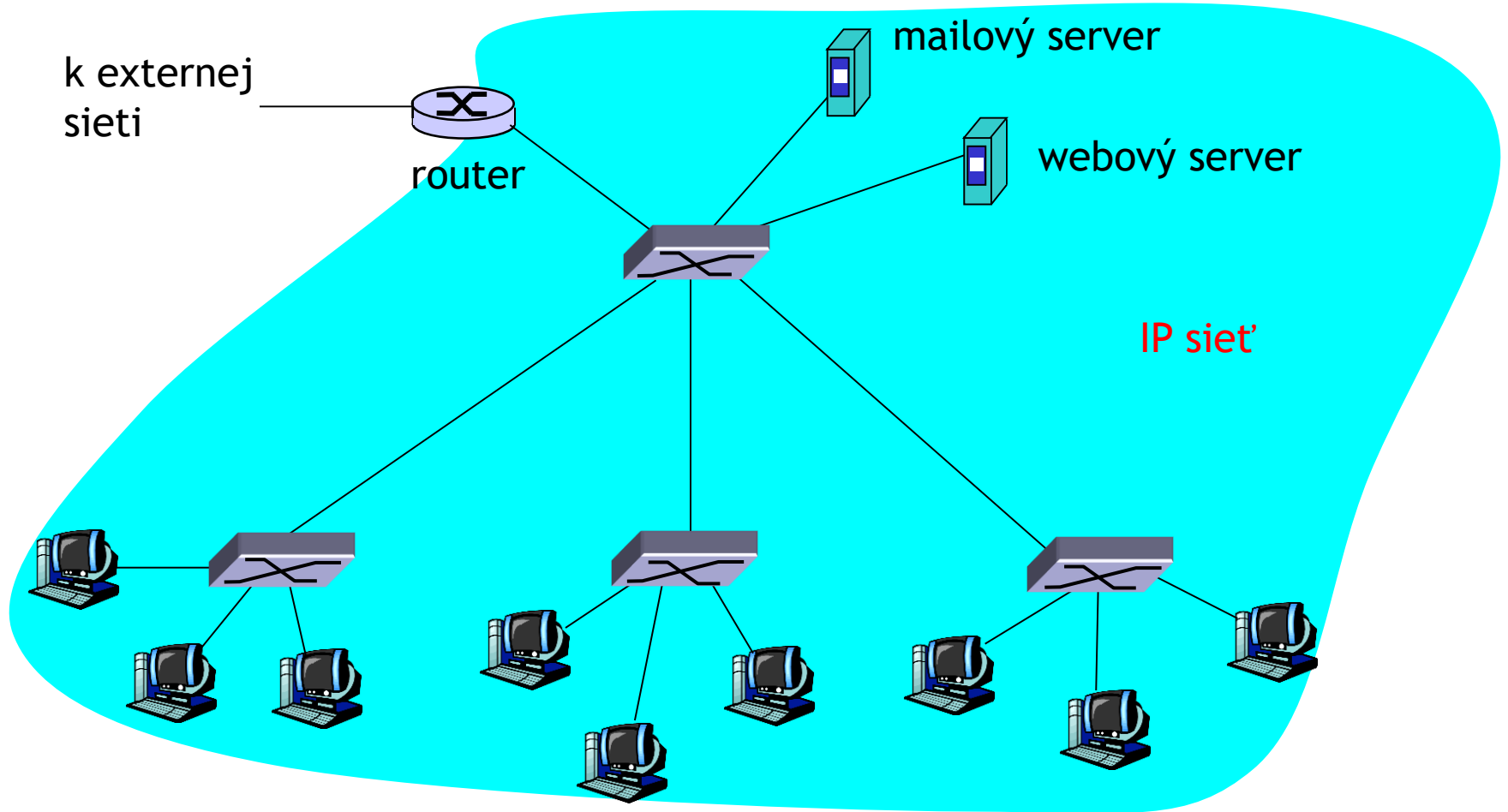
# Prepojené switche

- switche môžu byť prepájané aj navzájom



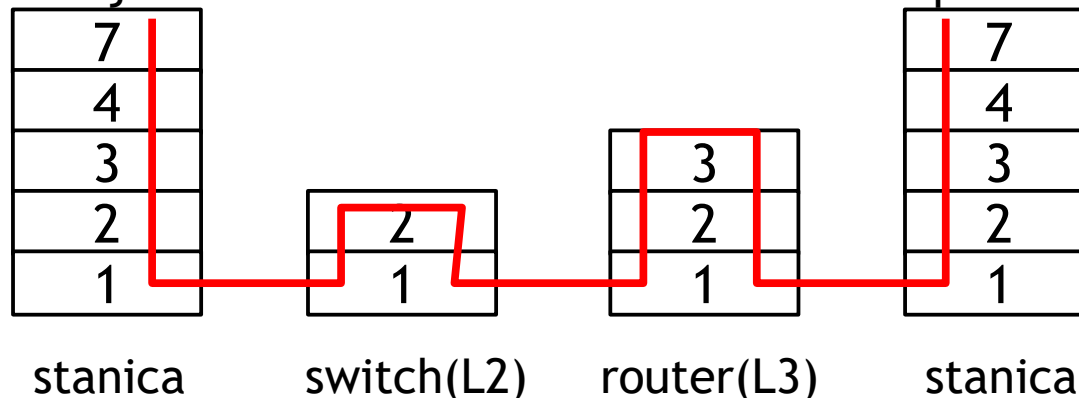
- Ako vie switch S<sub>1</sub> kam poslať rámec pre uzol F?
- samoučenie! - funguje rovnako ako pri jednom switchi v sieti
- Vie S<sub>1</sub>, že rámec má ísť cez switche S<sub>4</sub> a S<sub>2</sub> ?

# Sieť organizácie



# Switche (prepínače) a routre (smerovače)

- obe najprv príjmu celý rámec a až potom ho odošlú ďalej
- ❖ routre: zariadenia sietevej vrstvy (skúma hlavičku sietevej 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 prepínicu tabuľku
- ❖ učia sa, cez ktorú zásuvku sú dostupné ktoré MAC adresy
- ❖ nemajú vlastnú IP ani MAC adresu - sú transparentné



# Porovnanie zariadení

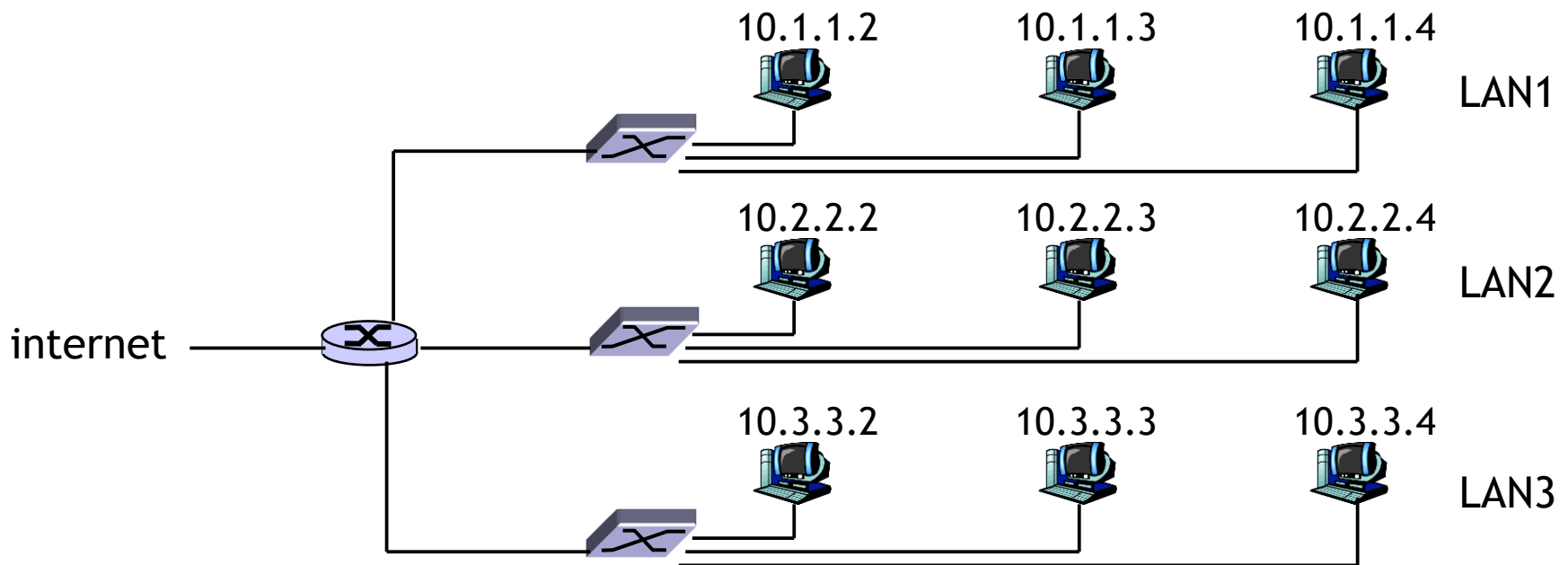
	hub	switch	router
oddelenie komunikácie	nie	áno	áno
plug & play	áno	áno	nie
výber optimálnej trasy	nie	nie	áno
prepojenie zariadení v rovnakej sieti	áno	áno	nie

# 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

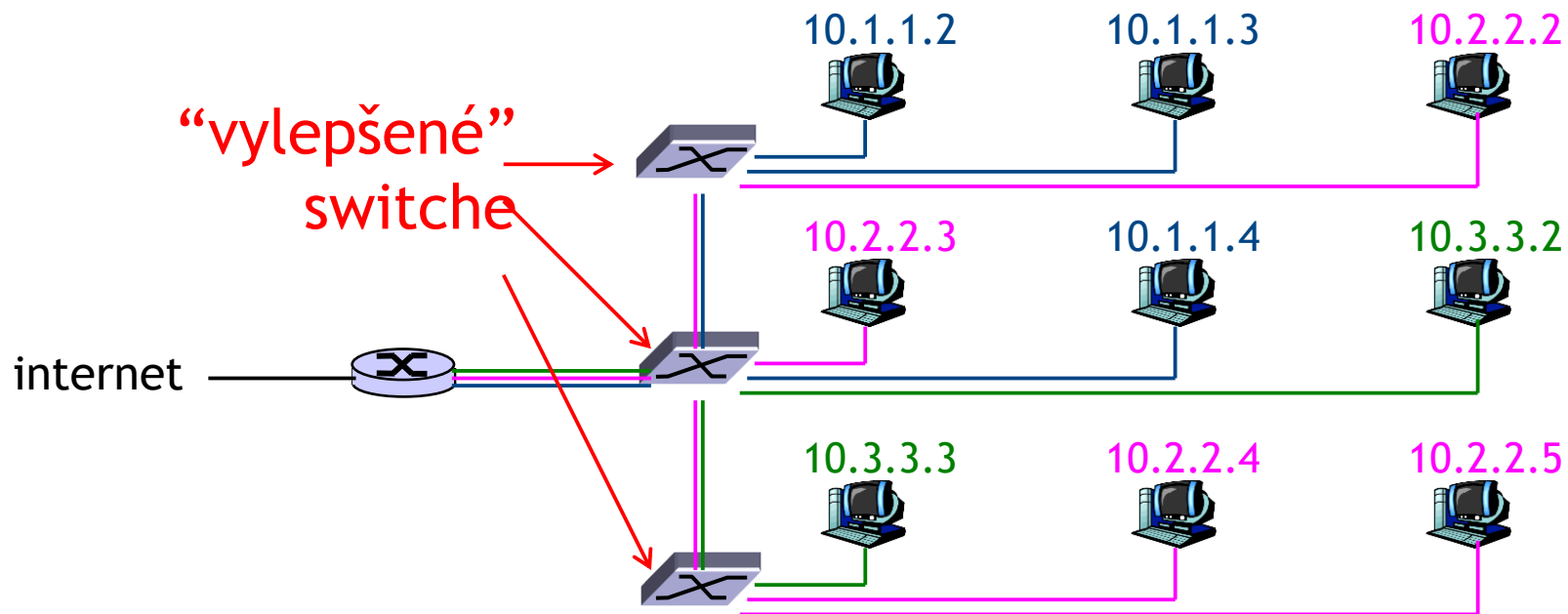
# Rozdelenie viacerých podsietí

- 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 spojujovej 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)

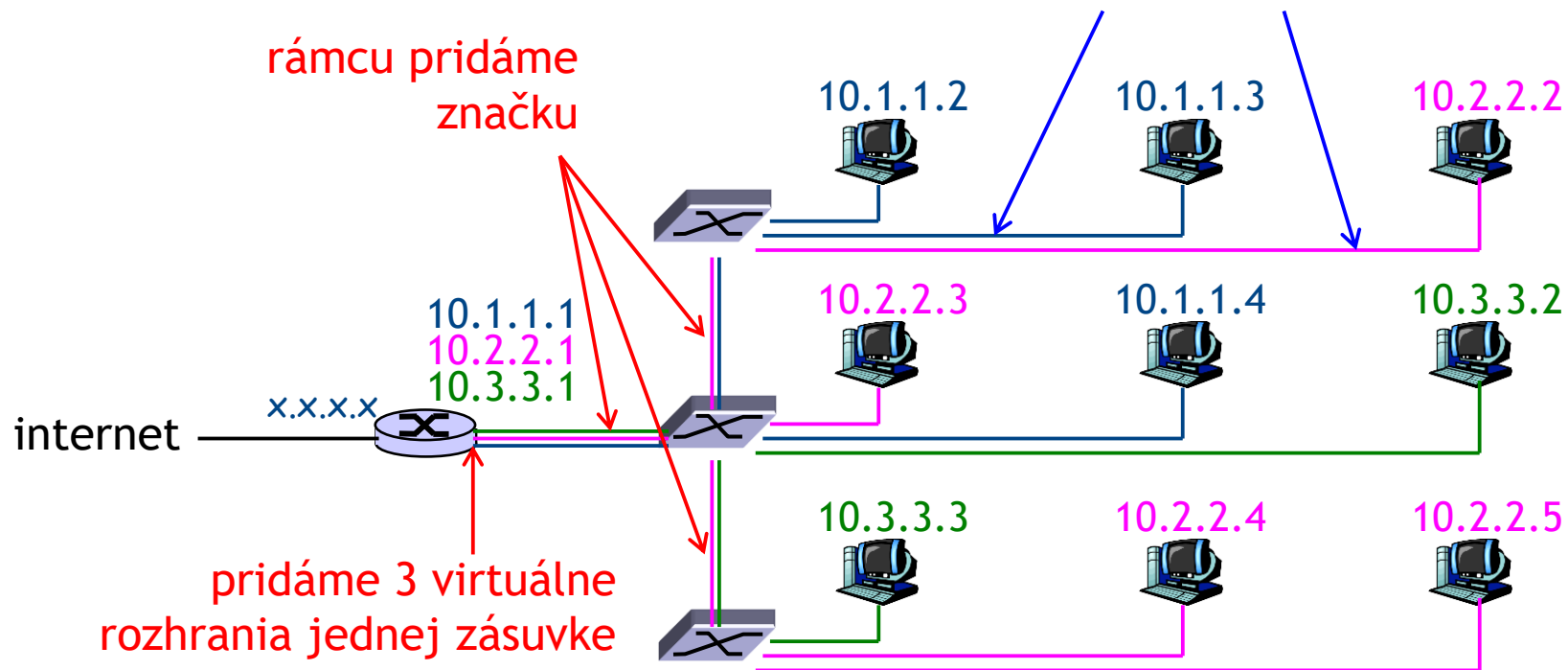
• totálny úlet (dokonca aj analyzujeme správu aplikačnej vrstvy)

• smerovanie podľa služby, load balancing

# VLAN: 802.1Q

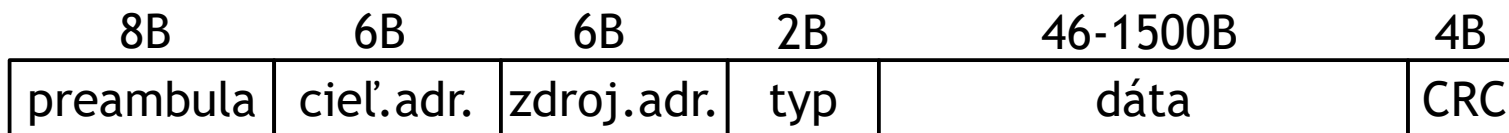
□ Pre každý rámec potrebujeme vedieť, do ktorej VLAN patrí, aby sme vedeli, kam ho poslať.

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

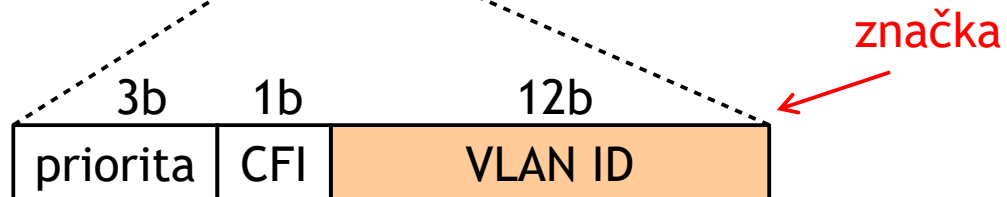
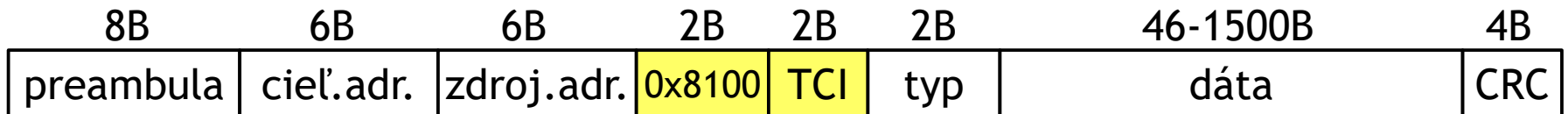


# VLAN: 802.1Q

□ rozšírime rámeček 802.3



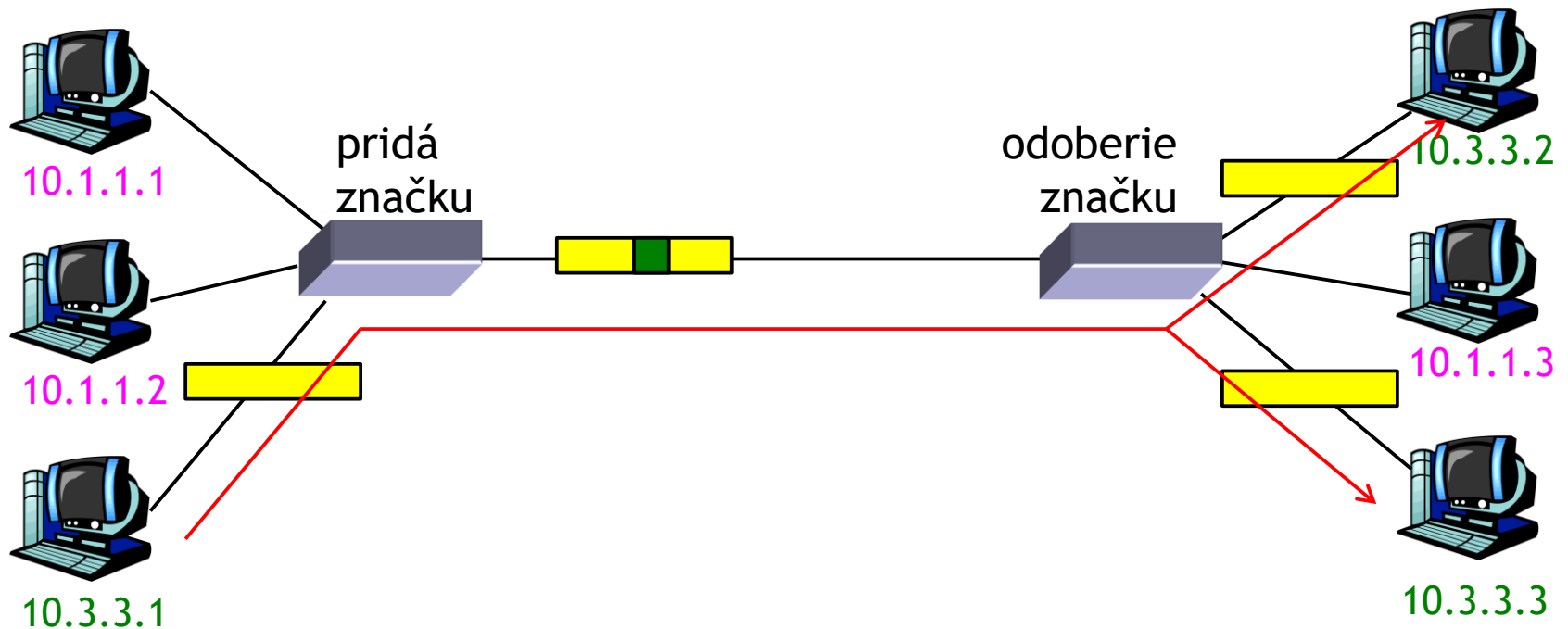
□ na rámeček 802.3ac



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

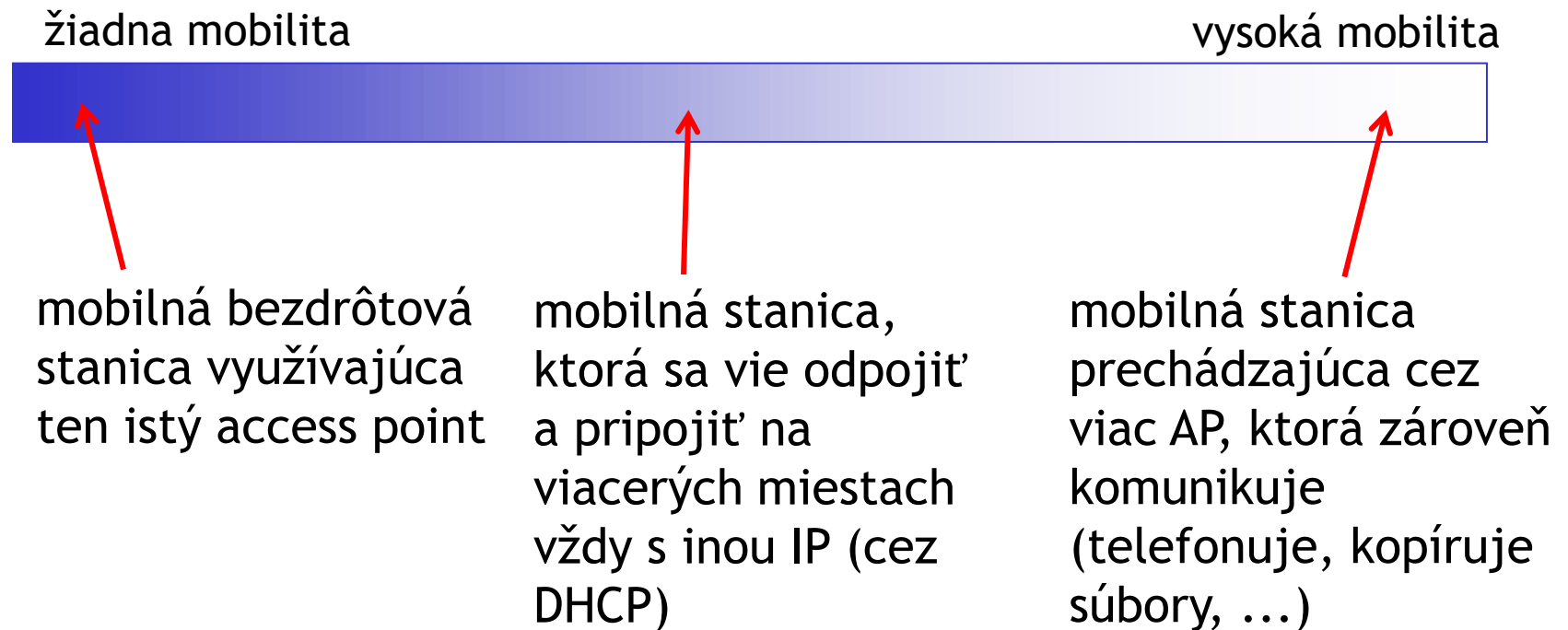
- ❑ (R)STP = (rapid) spanning tree protocol
- ❑ podobný tomu, čo sme spomínali pri broadcastovom smerovaní
- ❑ zabraňujeme broadcastovým búrkam
- ❑ vytvorí sa kostra grafu
- ❖ vyberie sa koreň stromu (uzol s najmenším bridge ID, v prípade rovnosti najmenšia MAC adresa) - rendezvous point
- ❖ každý iný 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:

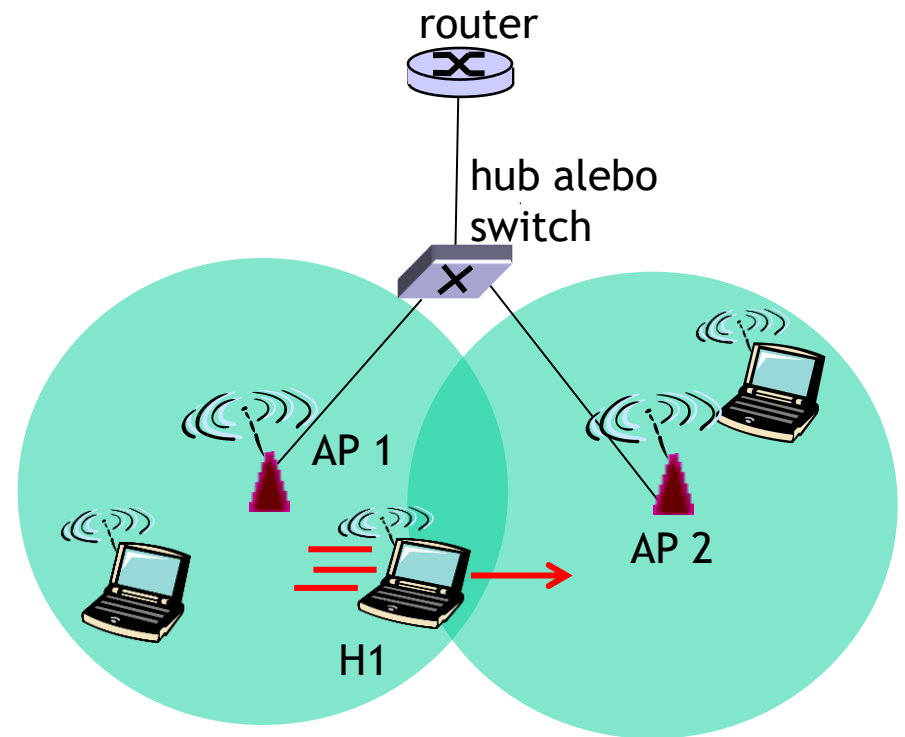


# Prehľad prednášky

- ❑ 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 ostať 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 !

vrátíme sa na  
siet'ovú vrstvu

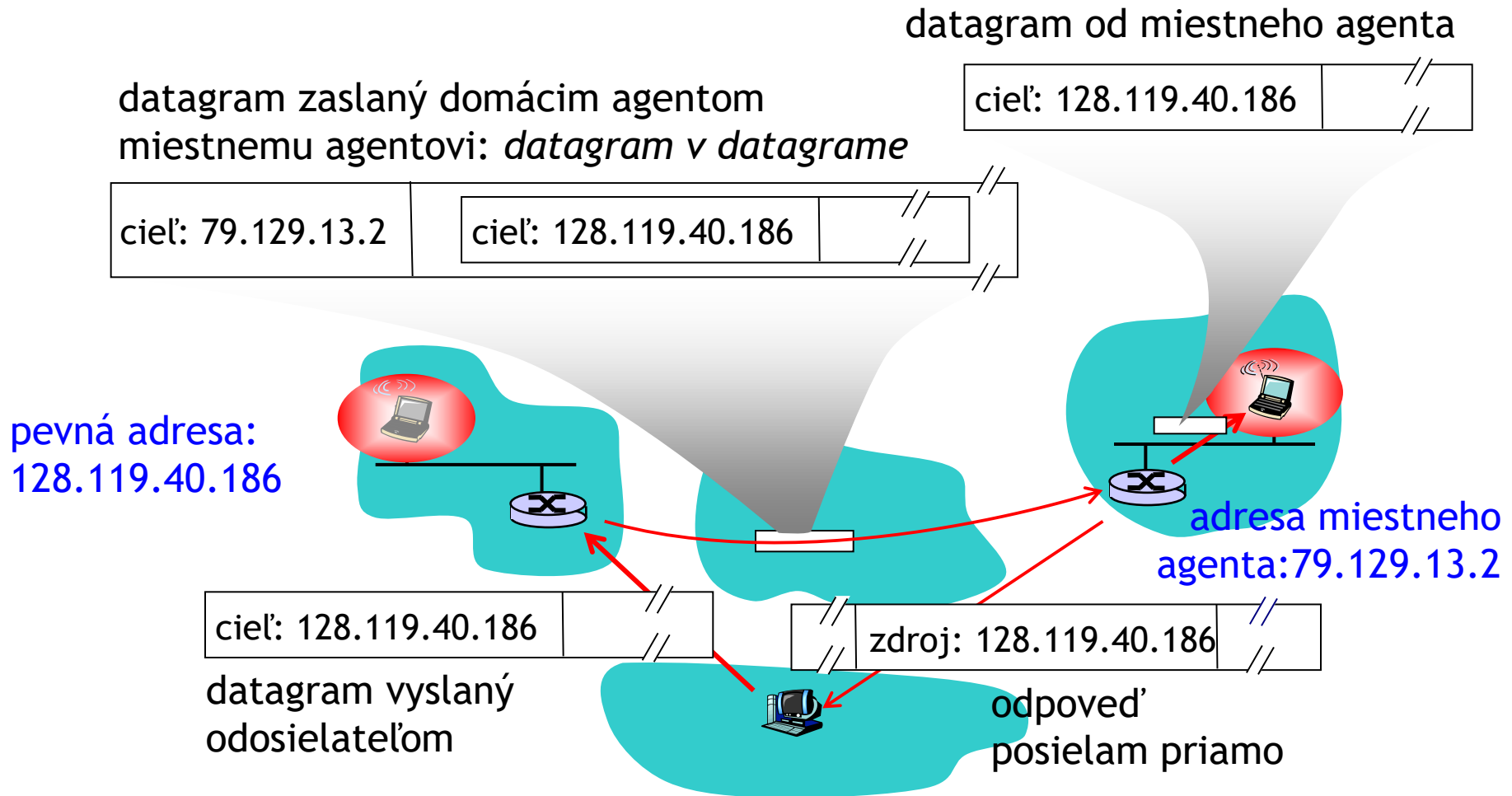


# Mobile IP [RFC 3344]

## 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**

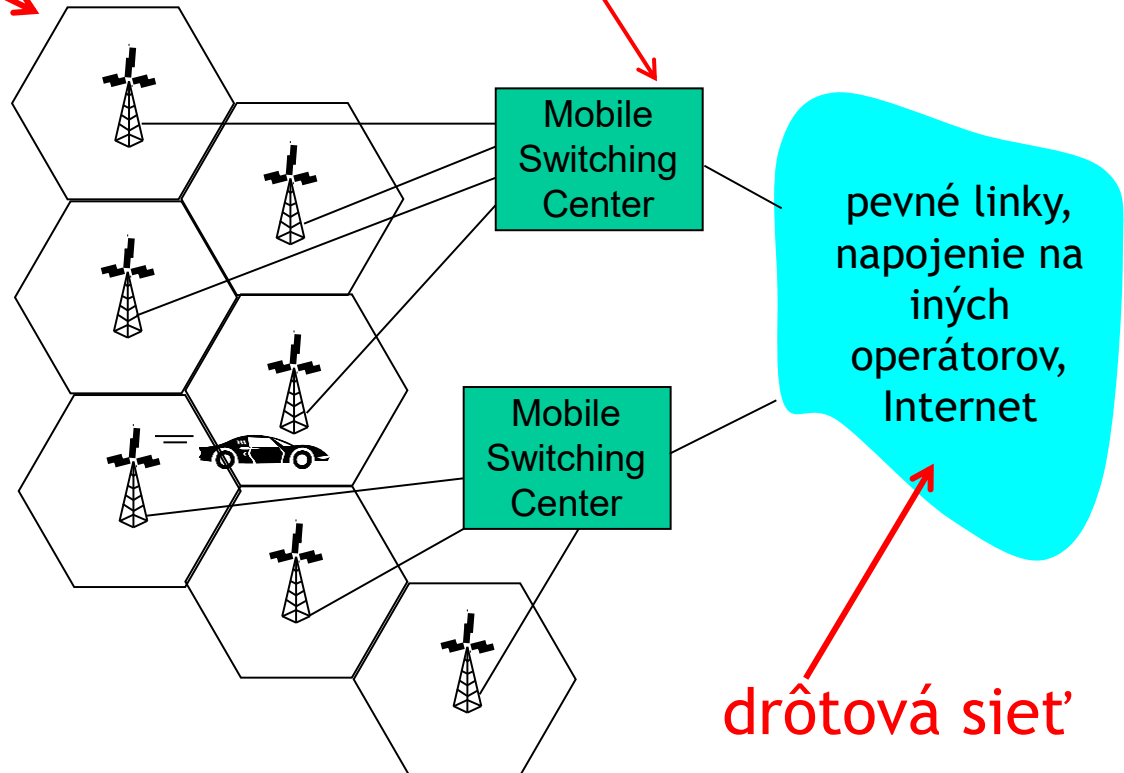
# Mobilné telefónne siete (GSM,...)

## 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

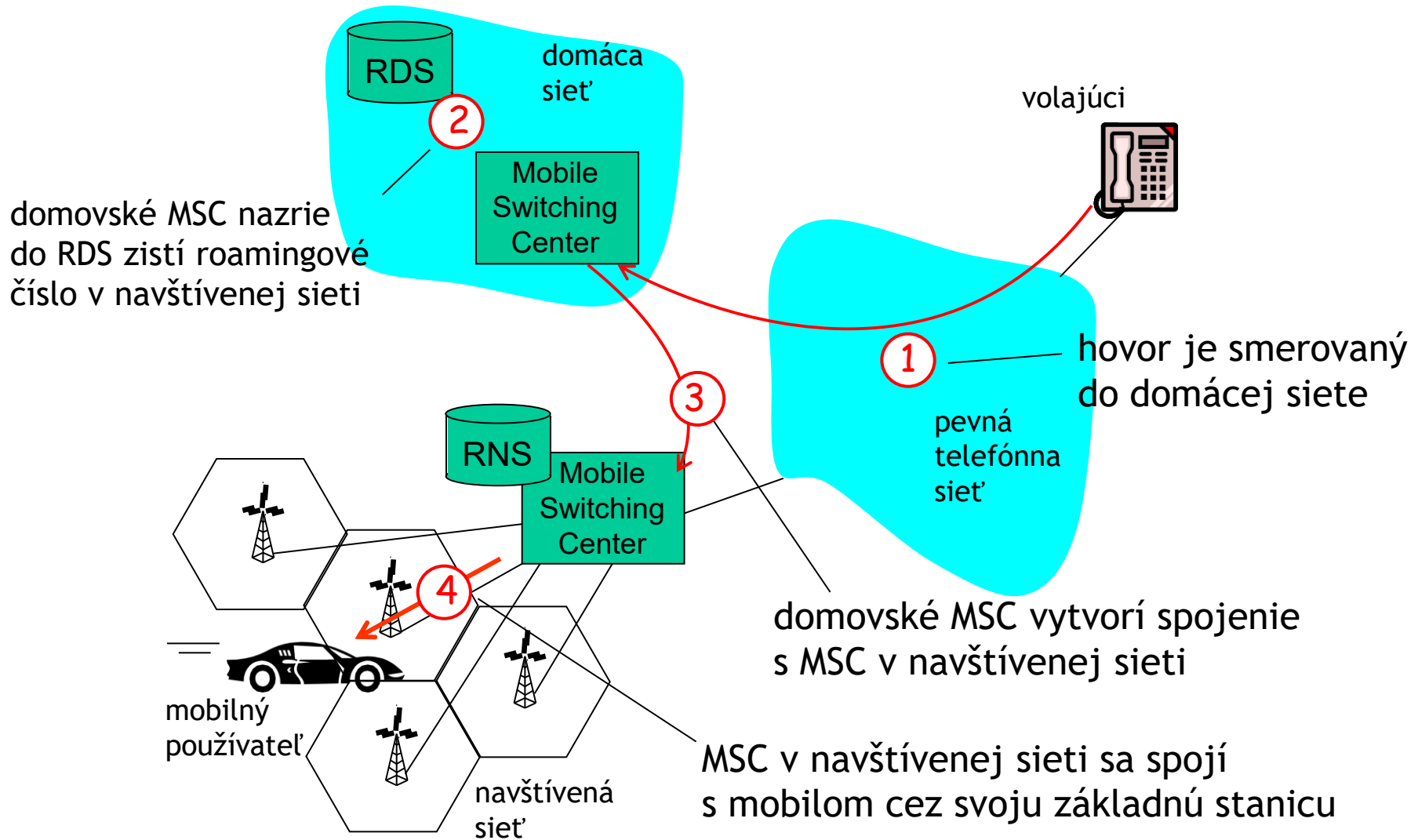
□ *domáca sieť*: sieť lokálneho operátora, ktorého sme zákazníkom

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

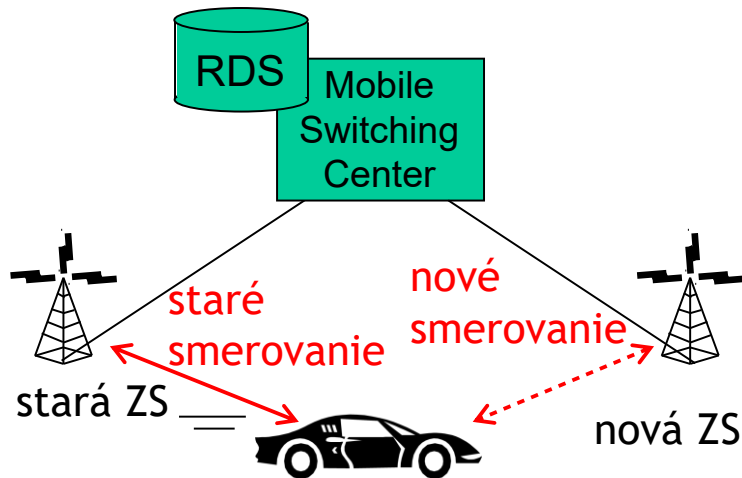
□ *navštívená sieť*: sieť v ktorej je telefón napojený (cez roaming)

❖ *register navštívenej 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:**

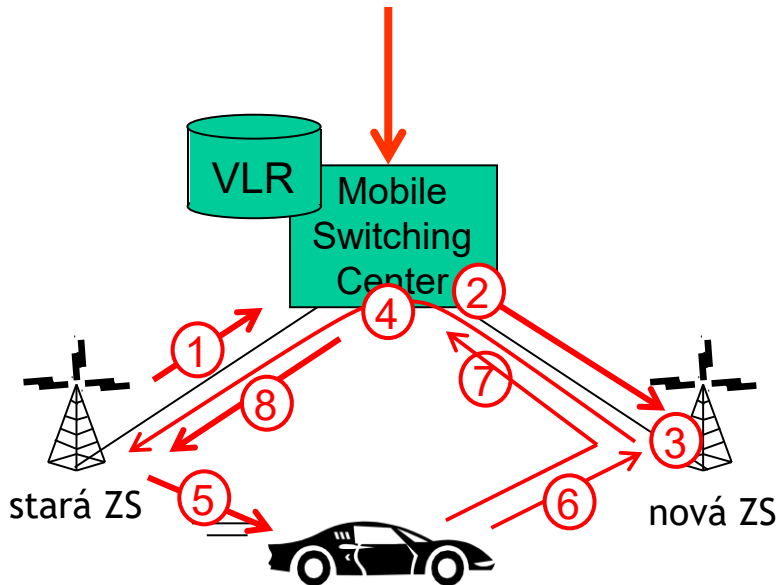
❖ nová ZS má silnejší signál na prijímanie

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

❖ rozloženie záťaže: uvoľnenie kanála vo vytťaženej ZS

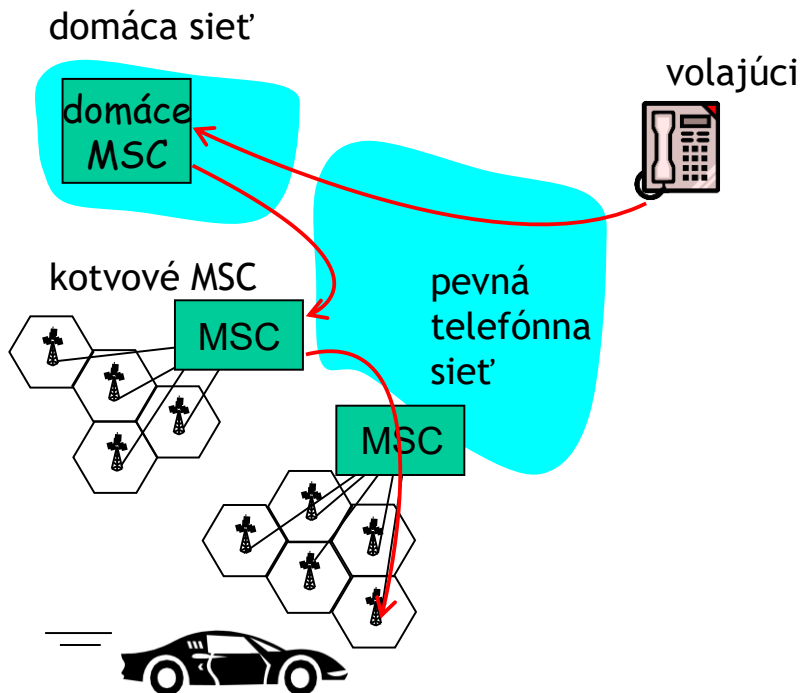
❑ prepnutie inicializuje stará ZS

# GSM: prepínanie so spoločným MSC



1. stará ZS informuje MSC o blížiacom prepínaní so zoznamom  $\geq 1$  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 viac 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* ,  
4<sup>th</sup> edition.

Jim Kurose, Keith Ross  
Addison-Wesley, July 2007.