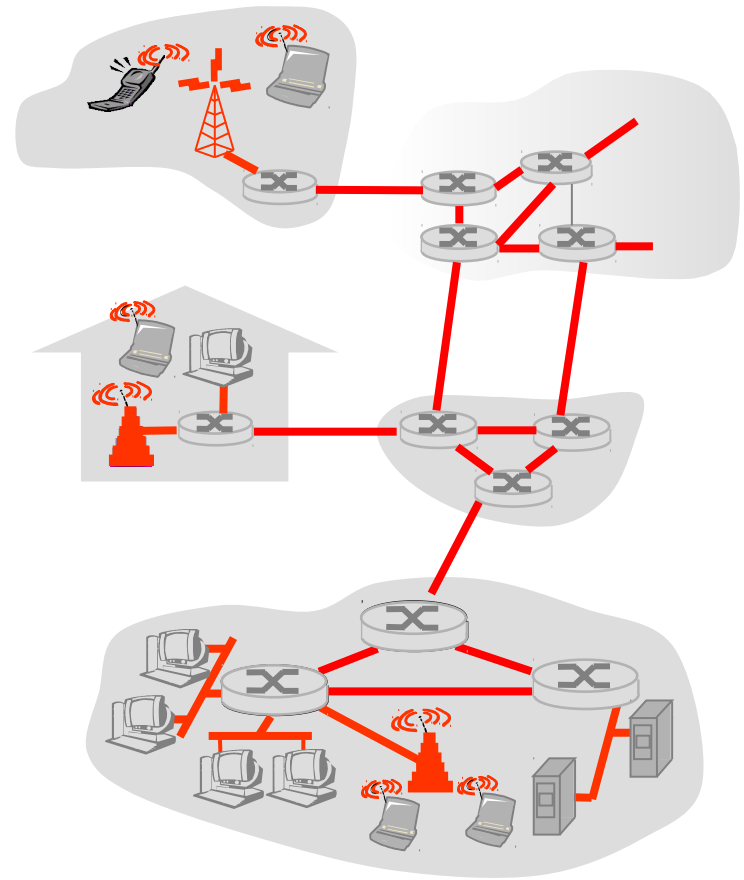


Spojová vrstva: úvod

Terminológia:

- ❑ stanice a smerovače sú **uzly**
- ❑ komunikačné kanály, ktoré spájajú príľahlé uzly napojené na ne, sú **spoje**
 - ❖ drôtové spoje
 - ❖ bezdrôtové spoje
 - ❖ LAN
- ❑ paket z pohľadu druhej vrstvy sa nazýva **rámec** (frame), zaoberá datagram

spojová vrstva má za úlohu dopraviť datagram z jedného uzla na druhý príľahlý uzol prostredníctvom spoja



Spojová vrstva: prenos datagramu rámcami

- ❑ datagram 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 = **datagram 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 datagram do rámca, pridáva hlavičku a chvost
- ❖ ak je zdieľaný spoj, zisťuje, kedy má komunikovať
- ❖ na identifikáciu zdroja a cieľa používa “MAC” (hardvérové, fyzické) adresy
 - rôzne od IP adres!

❑ *potvrdzovaný prenos medzi príľahlými 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:
 - požiada odosielateľa o preposlanie alebo zahodí rámeč

❑ *oprava chýb:*

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

❑ *half-duplex a full-duplex*

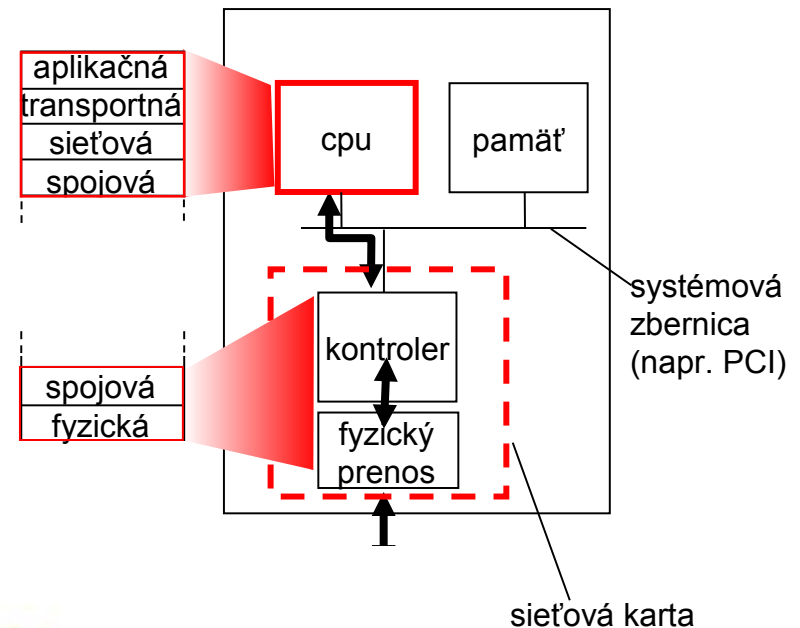
- ❖ s half duplexom môžu uzly na koncoch spoja odosielať daným spojom (obidvoma smermi), ale nie v rovnakom čase

Kde je implementovaná spojová vrstva?

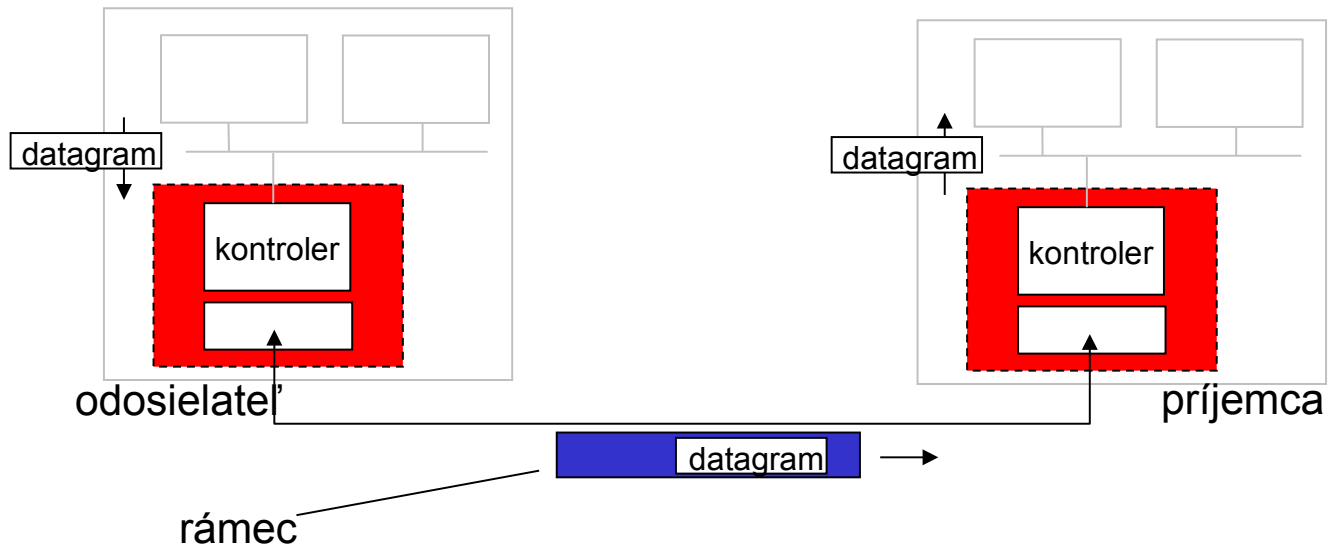
- na každej stanici, na každom rozhraní smerovača, vo switch-och
- v sieťovej karte (sieťový adaptér)
 - ❖ Ethernetová karta, PCMCIA karta, WiFi karta
 - ❖ implementuje vrstvu sieťového rozhrania (spojová + fyzická)
 - ❖ pripojená na systémovú zbernicu počítača
- kombinácia hardvéru, softvéru a firmvéru



schéma stanice



Komunikácia so sieťovým adaptérom



□ odosielateľ:

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

□ príjemca:

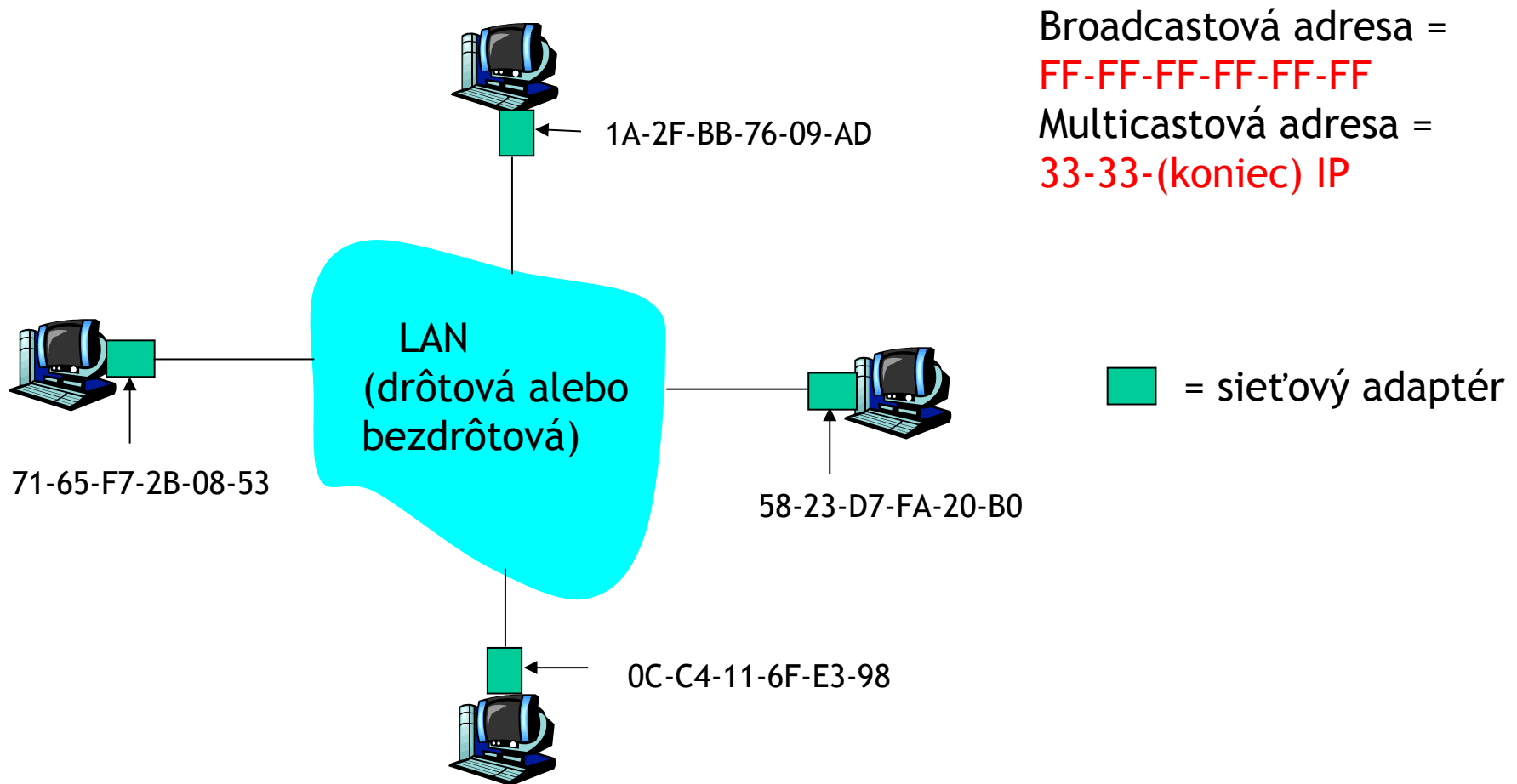
- ❖ zisťuje chyby, rieši kontrolu toku dát, ...
- ❖ extrahuje datagram, pošle ho vyššej vrstve na spracovanie

MAC adresy

- MAC = media access control
- IP adresy:
 - ❖ adresy sieťovej vrstvy
 - ❖ používané na dopravenie datagramu 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

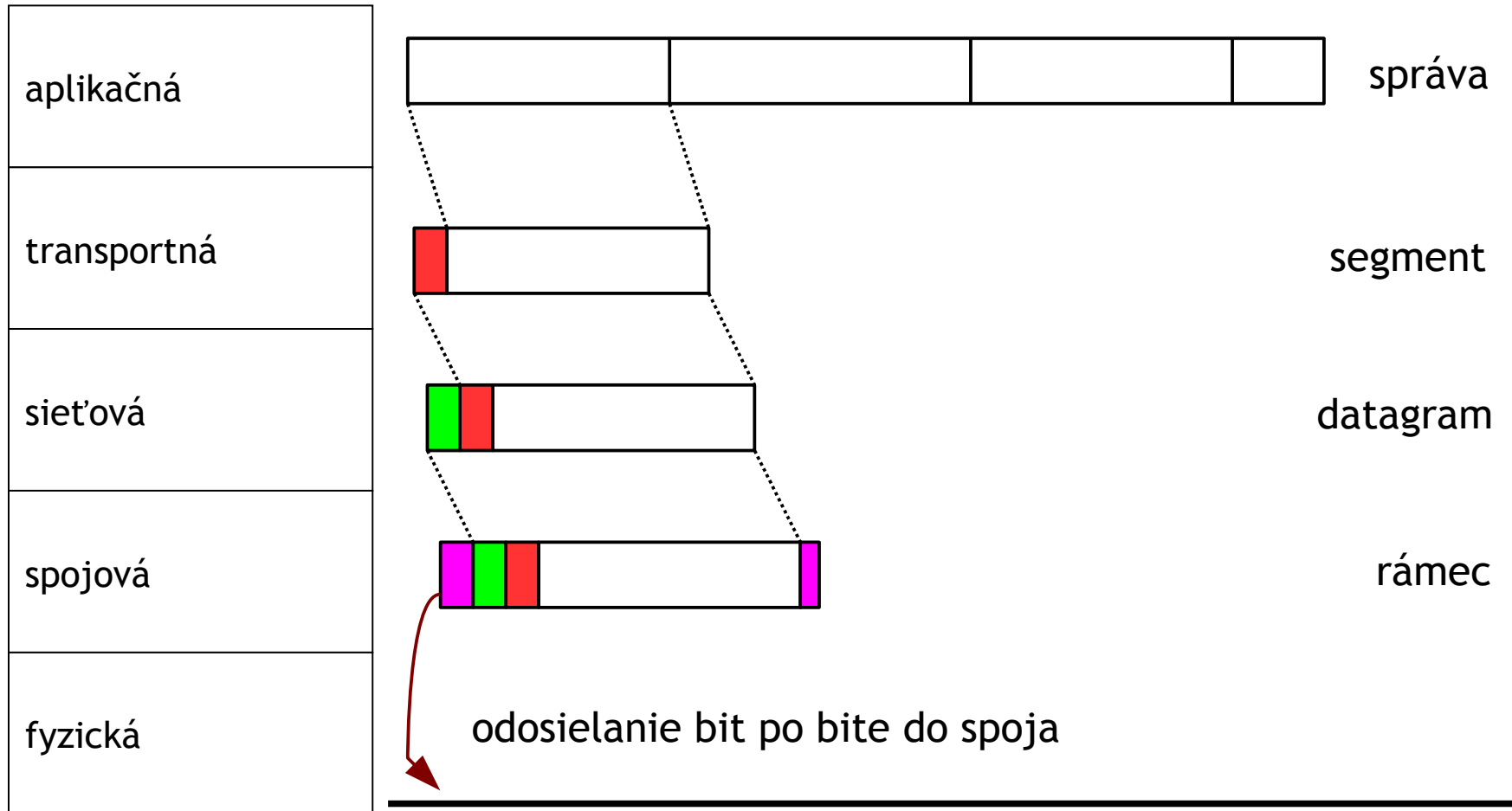


Broadcastová adresa =
FF-FF-FF-FF-FF-FF
Multicastová adresa =
33-33-(koniec) IP

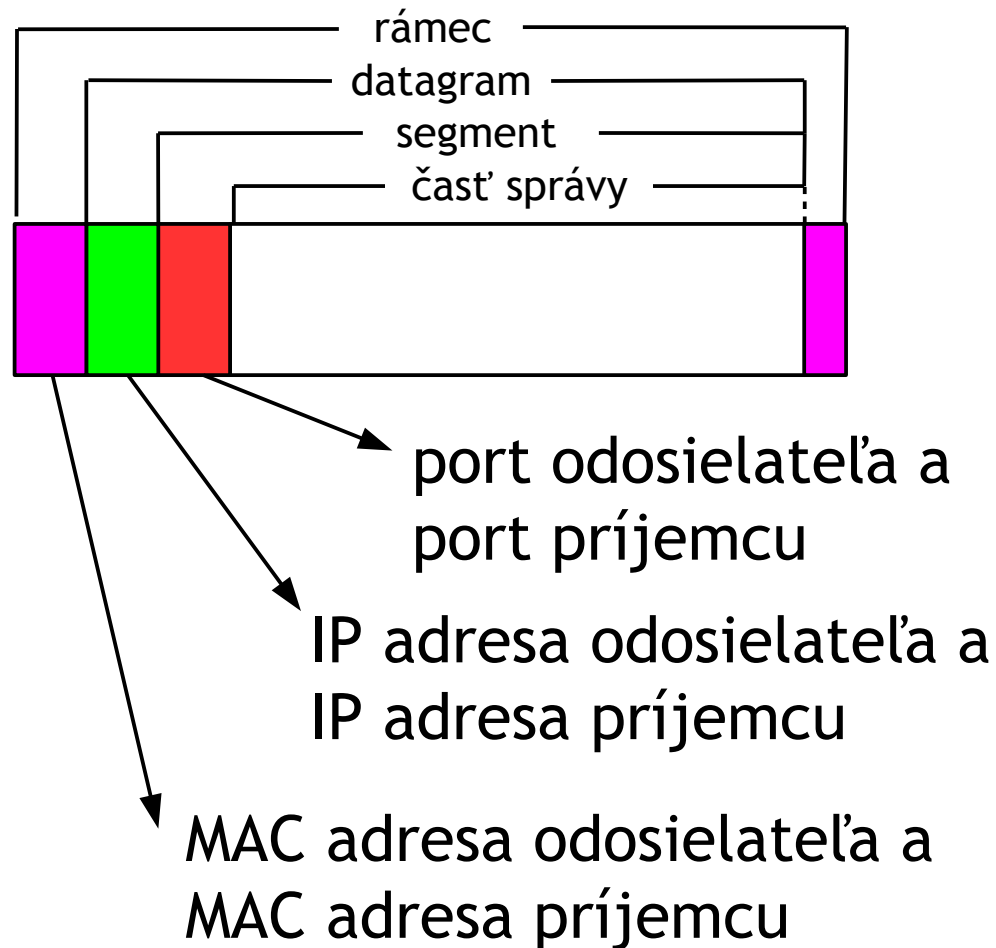
MAC adresy

- ❑ 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

Tvorba paketu

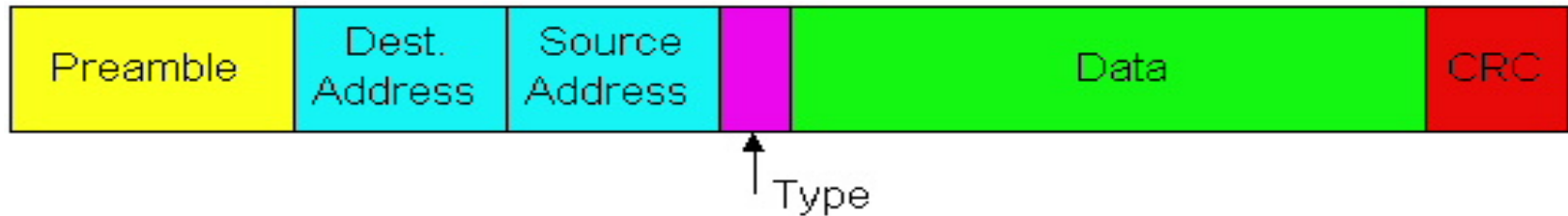


Adresovacie údaje v pakete



Ethernetový rámec (IEEE 802.3)

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

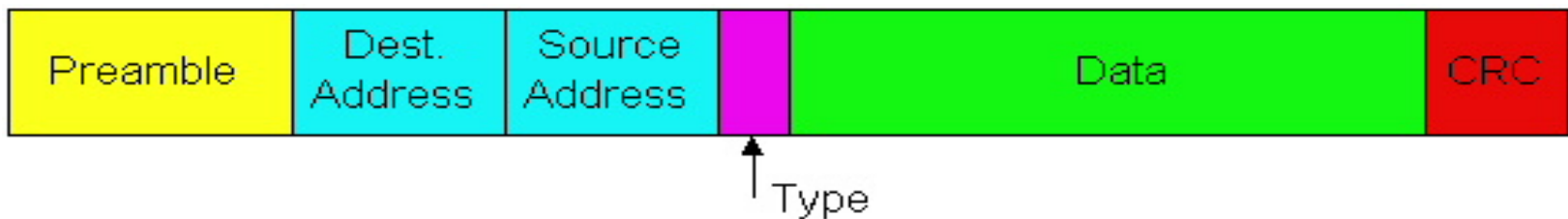


Preamble (preambula):

- ❑ 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 adaptérmi
- ❑ **nespoľahlivý:** prijímajúci adaptér neposiela kladné ani záporné potvrdenia
 - ❖ rámce sa môžu zahodiť (zlé CRC)
 - ❖ o preposlanie sa môže postarať napríklad TCP

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?

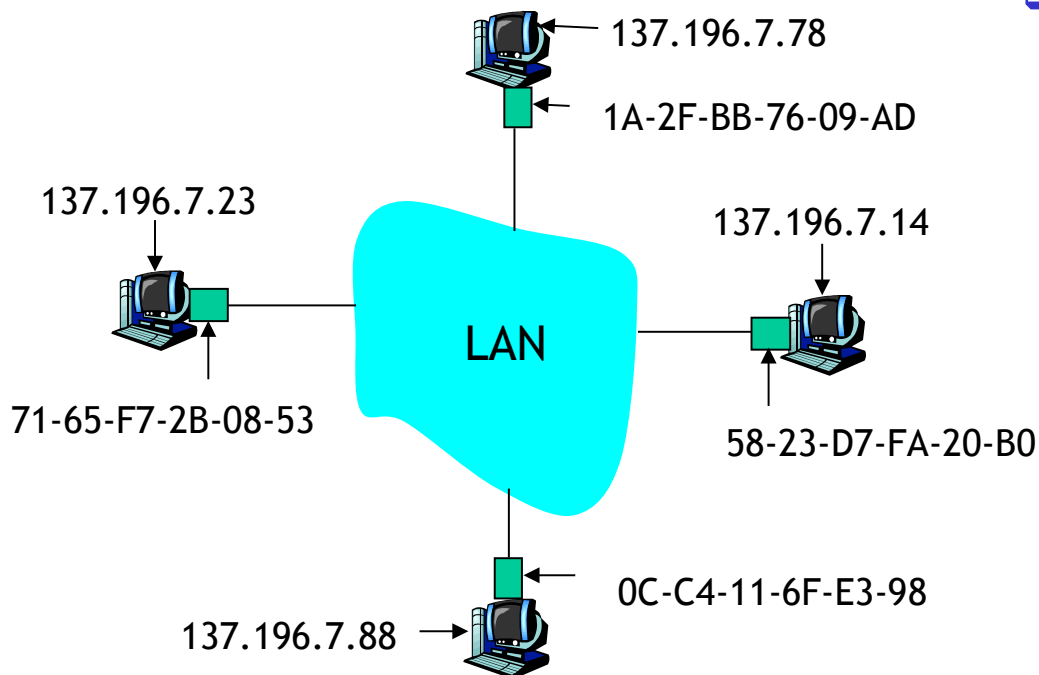
- ❑ Prijemca rámca **MUSÍ byť v našej sieti**

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)

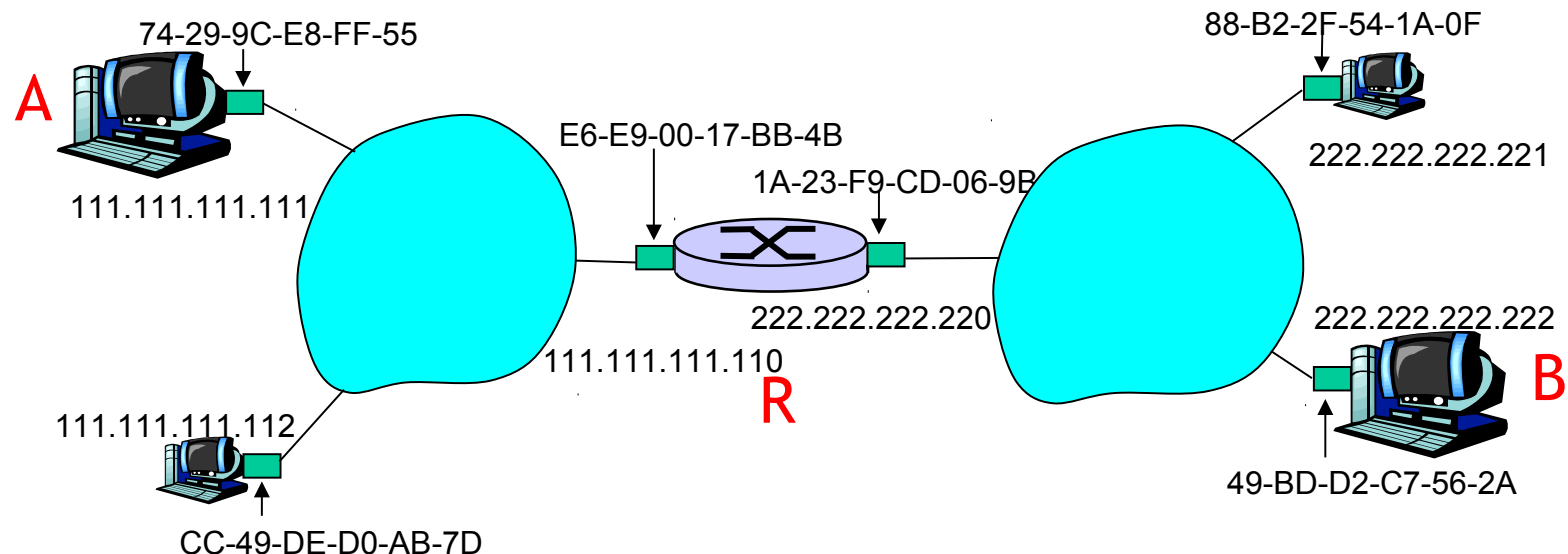
ARP protokol

- A chce poslať datagram 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
 - ❖ 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

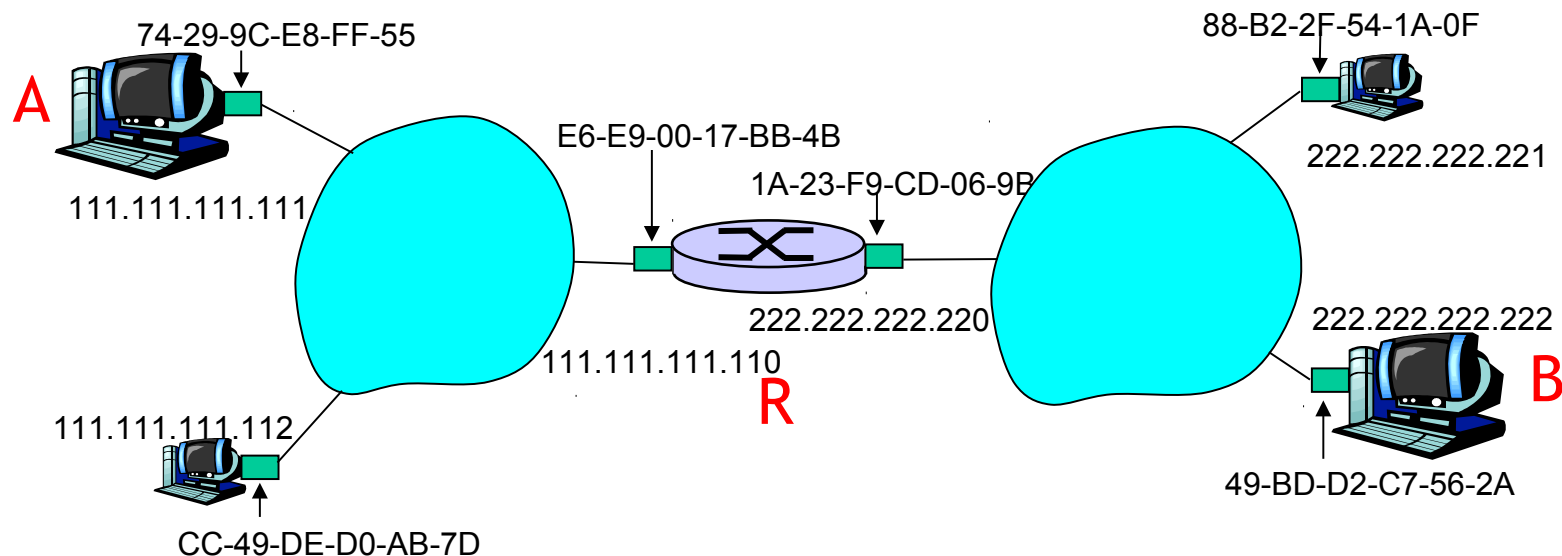
postup: **posielame datagram z A do B cez R =**
A posiela rámec s datagramom pre R a následne
R posiela rámec s datagramom pre B

predpokladáme, že A vie IP adresu stanice B



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

- ❑ sieťová vrstva v A vytvorí IP datagram so zdrojovou IP A, a cieľovou IP B, pomocou smerovacej tabuľky zistí, že má poslať datagram cez IP R (brána je 111.111.111.110) a pošle datagram spojenej vrstve
- ❑ A použije ARP na zistenie MAC adresy routra R na základe jeho IP 111.111.111.110
- ❑ A zabalí datagram 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 datagram s cieľovou IP B do rámca s MAC adresou B a pošle ho do lokálnej siete, kde ho prijme B



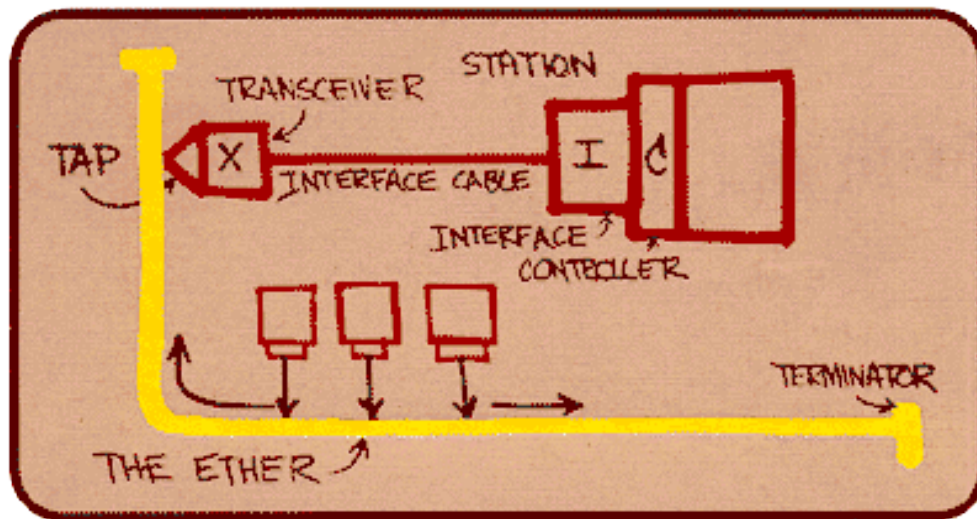
NDP = “ARP” pre IPv6 + ďalšie použitie

- ❑ 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

Ethernet 802.3

“dominantná” drôtová LAN technológia:

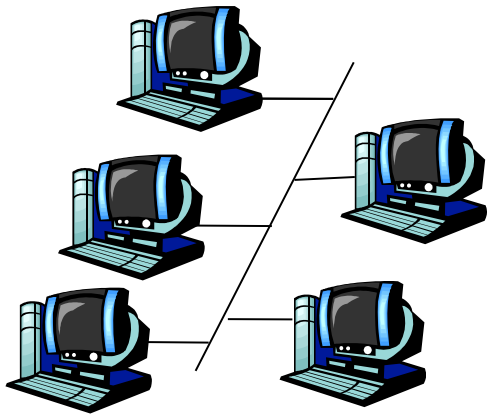
- ❑ veľmi lacná: cca 4 € za 100Mb/s sieťovú kartu, 5 € za 1Gb/s
- ❑ prvá rozšírená technológia
- ❑ jednoduchšia a lacnejšia ako tokenové LAN alebo ATM
- ❑ zvláda aktuálne maximálne rýchlosti: 10 Mb/s - 10 Gb/s



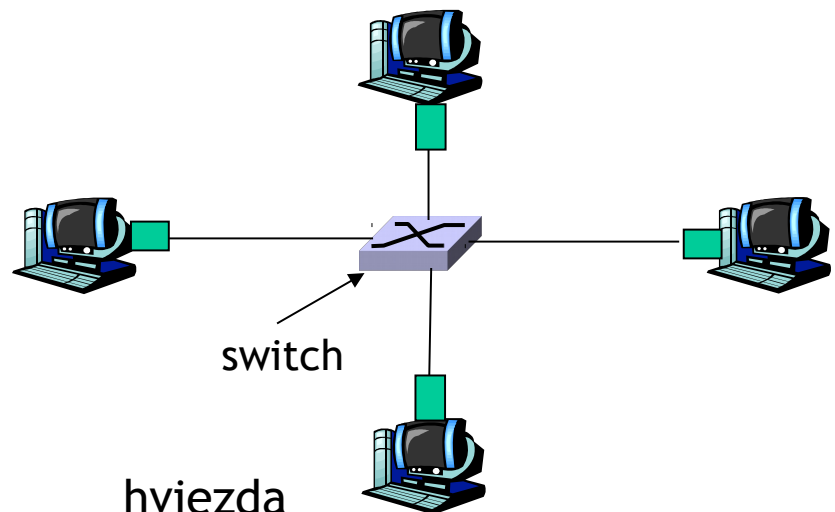
Pôvodný návrh
Ethernetu podľa
Metcalfe-a

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

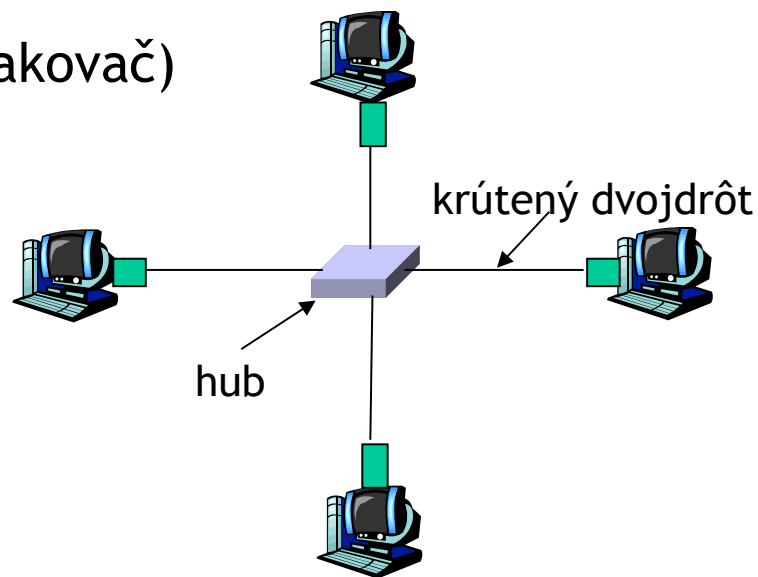
- ❖ uzly napojené na spoločný spoj, alebo uzly spojené cez hub
- ❖ ak dva uzly z rovnakej kolíznej domény začnú naraz vysielat', vznikne kolízia

□ 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)

Hub (rozbočovač)

- ❑ pracuje iba na fyzickej vrstve (L1):
 - ❖ signály prichádzajúce z jedného spojenia po zrekonštruovaní odchádzajú **všetkým** ostatným spojeniam rovnako rýchlo
 - ❖ všetky uzly napojené na hub môžu spôsobovať medzi sebou kolízie
 - ❖ nepoznajú, čo je to rámeček, nečakajú, kým celý príde, aby ho preposlali
- ❑ ak má len 2 zásuvky = repeater (opakovač)

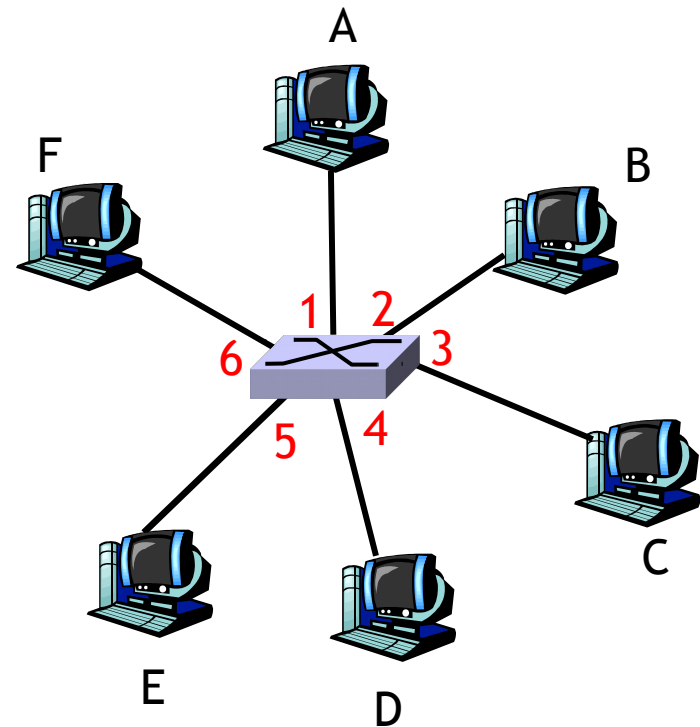


Switch (prepínač)

- ❑ **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

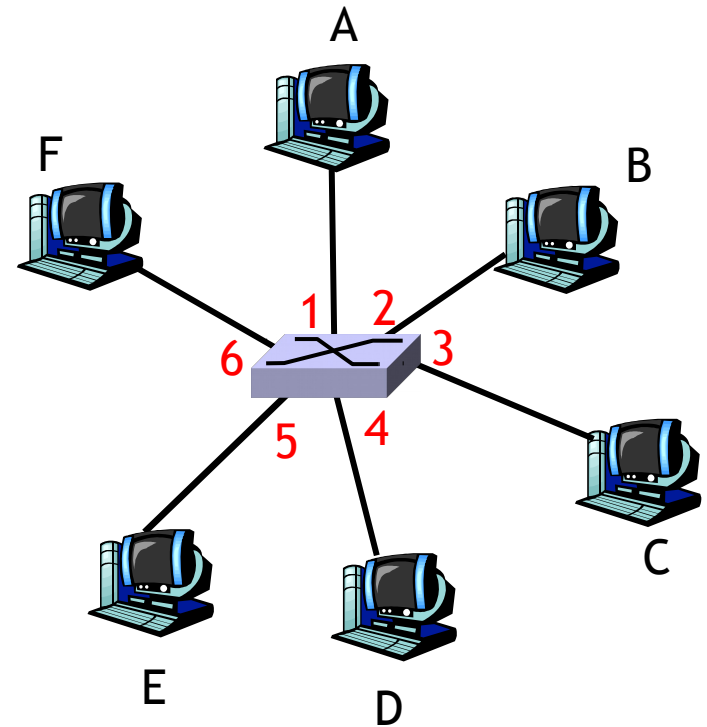
- ❑ každý uzol má vyhradené samostatné spojenie k switchu
 - ❖ vlastná kolízna doména
- ❑ nezávislý Ethernetový protokol na každom spoji
- ❑ žiadne kolízie: úplný duplex
 - ❖ každé spojenie má vlastnú kolíznu doménu
- ❑ **prepínanie**: A-D a B-E môžu bežať nezávisle a bez kolízií
 - ❖ to sa nedá, ak používame hub



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

Prepínacia tabuľka

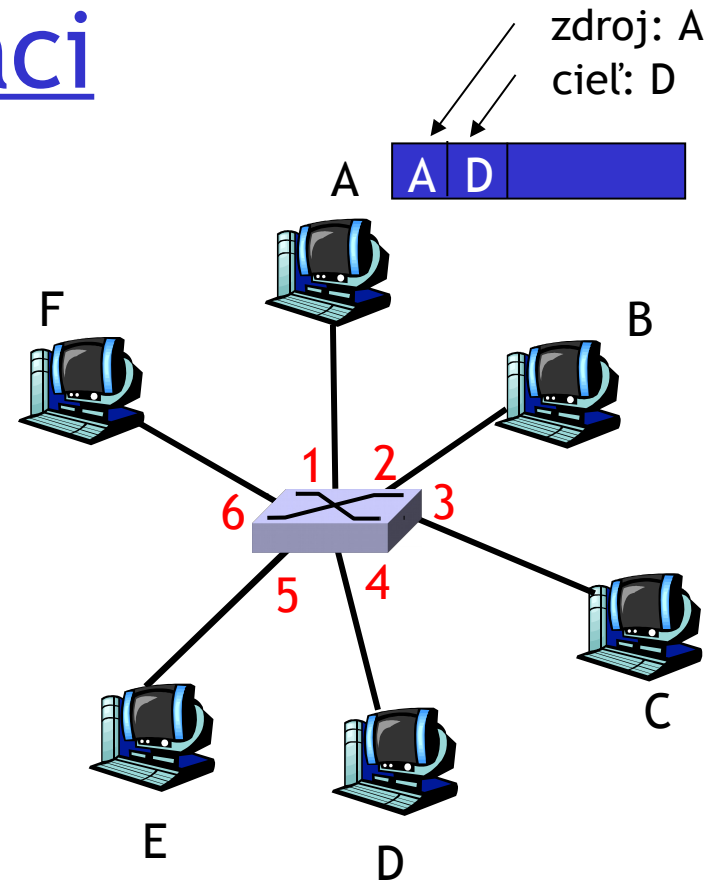
- ❑ Ako switch vie, že D je dostupné cez zásuvku 4 a E cez zásuvku 5?
- ❑ Každý switch má **prepínaciu tabuľku** so záznamami:
 - ❖ MAC adresa uzla
 - ❖ číslo zásuvky, cez ktorú je tento uzol dostupný
 - ❖ časová pečiatka
- ❑ skoro ako smerovacia tabuľka!



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)

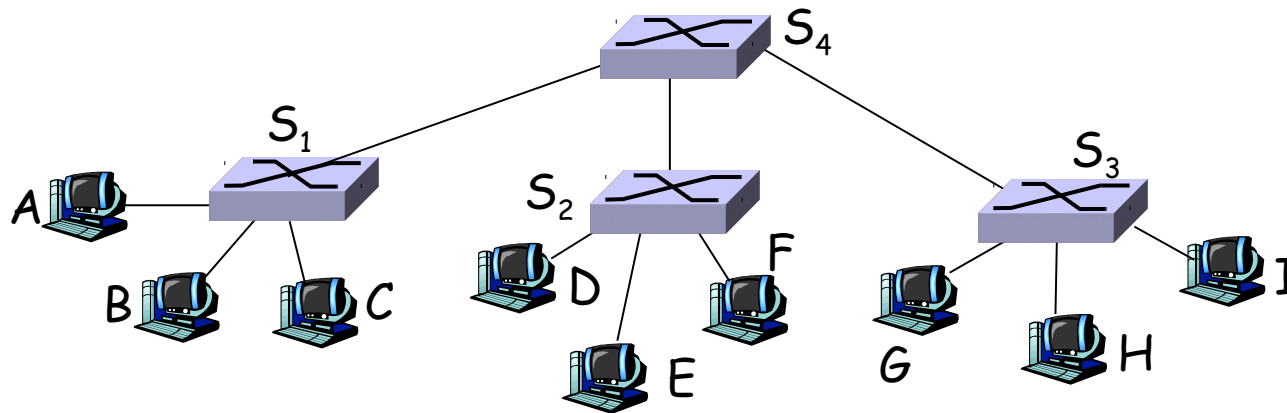
Switch: posielanie rámcov

Ked' príde rámeč:

1. uloř si zásuvku s odosielateľovou adresou
2. nájdí 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

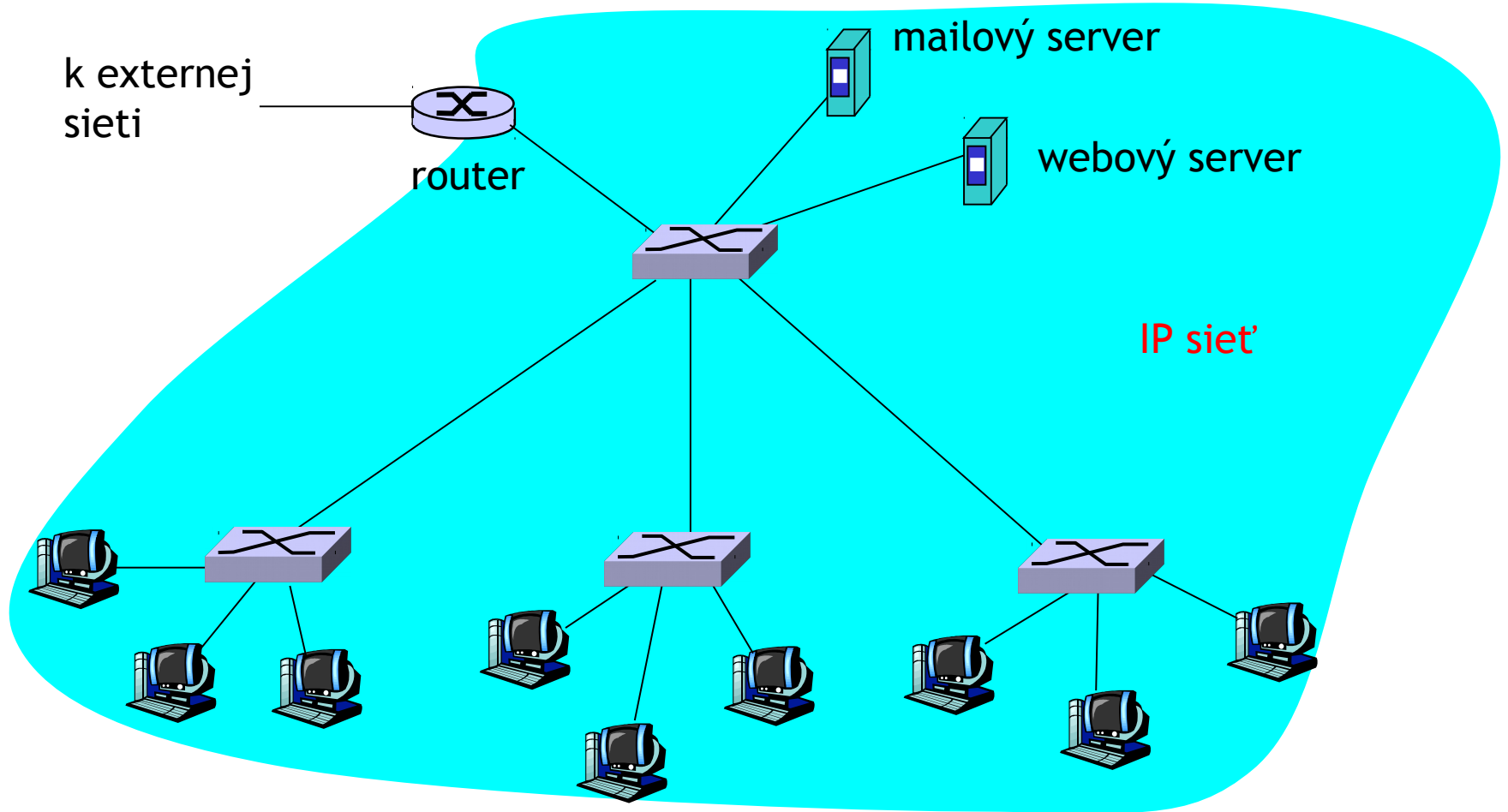
Prepojené switche

- switche môžu byť prepájané aj navzájom



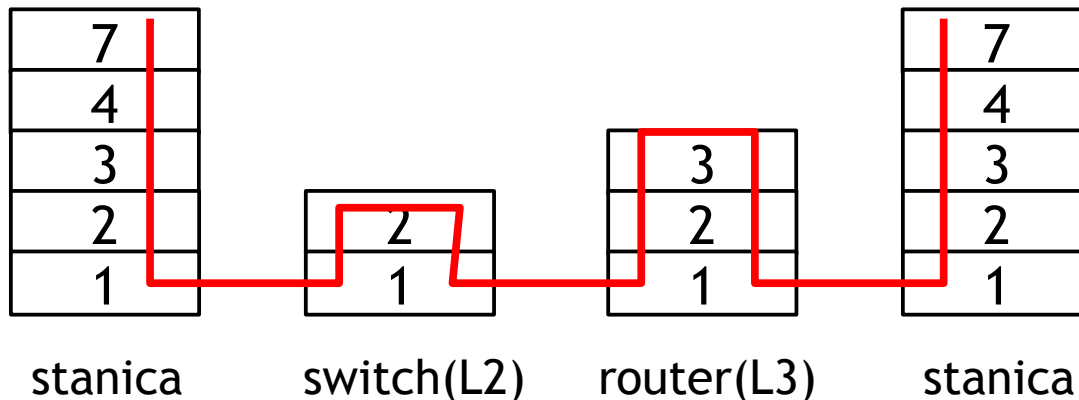
- Ako vie switch S₁ kam poslať rámec pre uzol F?
- samoučenie! - funguje rovnako ako pri jednom switchi v sieti
- Vie S₁, že rámec má ísť cez switche S₄ a S₂ ?

Sieť organizácie



Switche (prepínače) a routre (smerovače)

- obe najprv príjmu celý paket 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

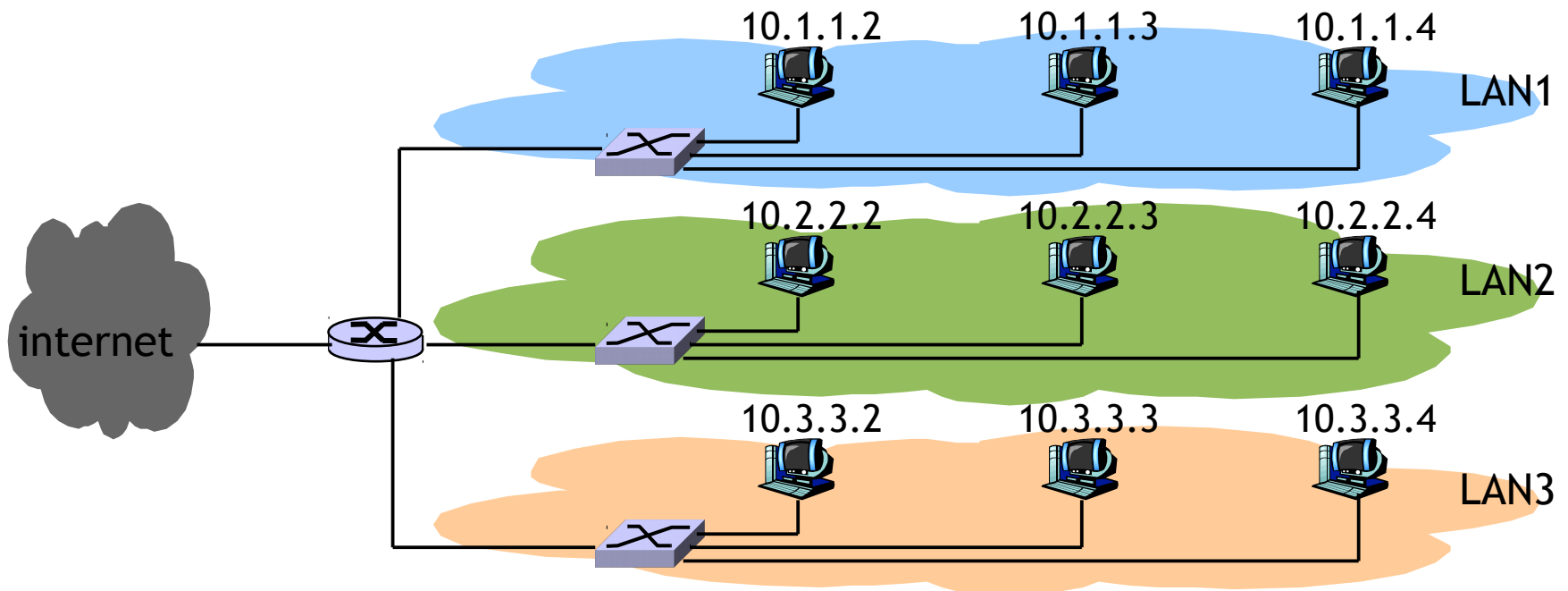


Porovnanie zariadení

	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

Rozdelenie viacerých podsietí

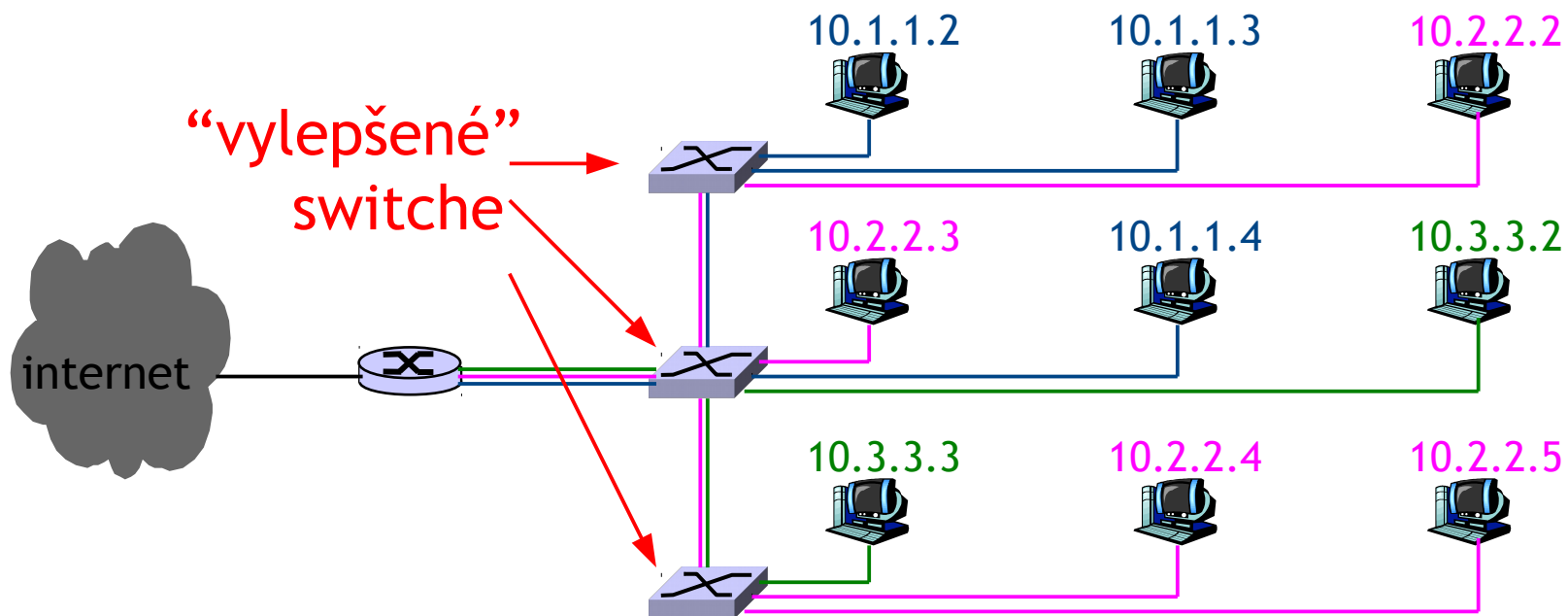
- štandardný prístup
 - ❖ router delí sieť na podsiete



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 adries 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)

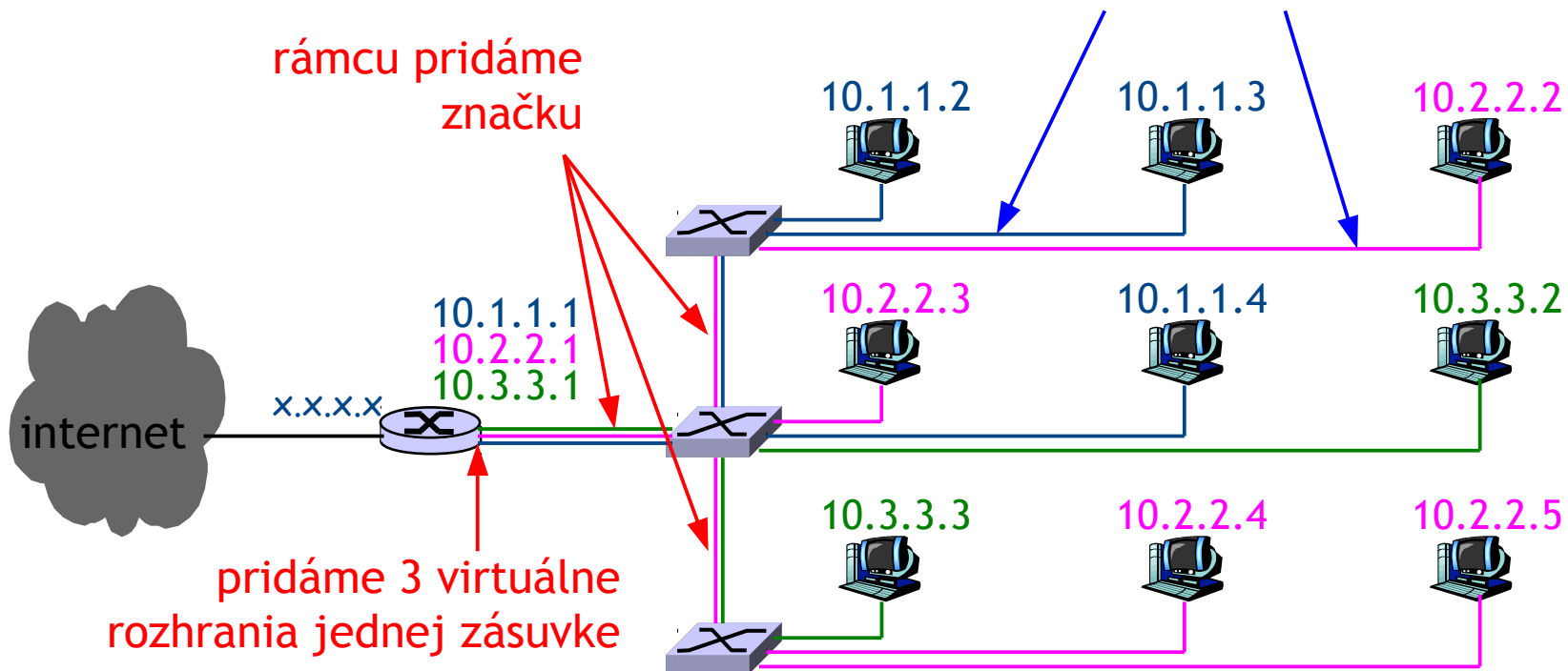
❖ **aplikačného protokolu, cookie (proprietárne riešenia)**

- totálny úlet (dokonca aj analyzujeme správu aplikačnej vrstvy)
- smerovanie podľa služby, load balancing

VLAN: 802.1Q

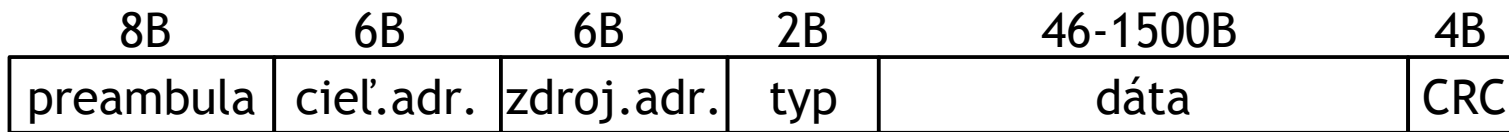
- Pre každý rámec potrebujeme vedieť, do ktorej VLAN patrí, aby sme vedeli, kam ho poslať.

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

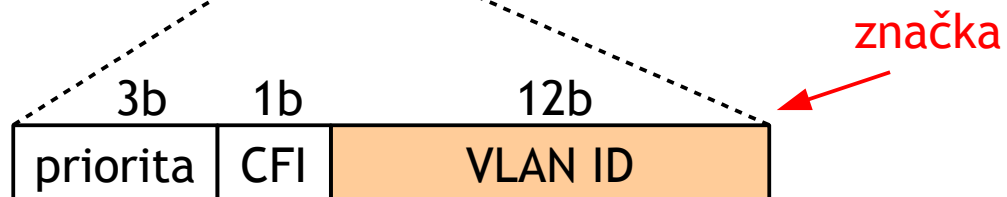
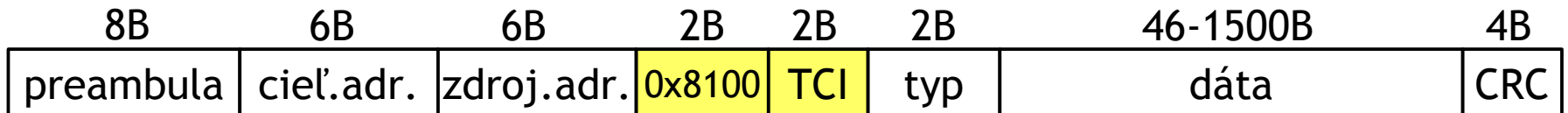


VLAN: 802.1Q

□ rozšírime rámeček 802.3



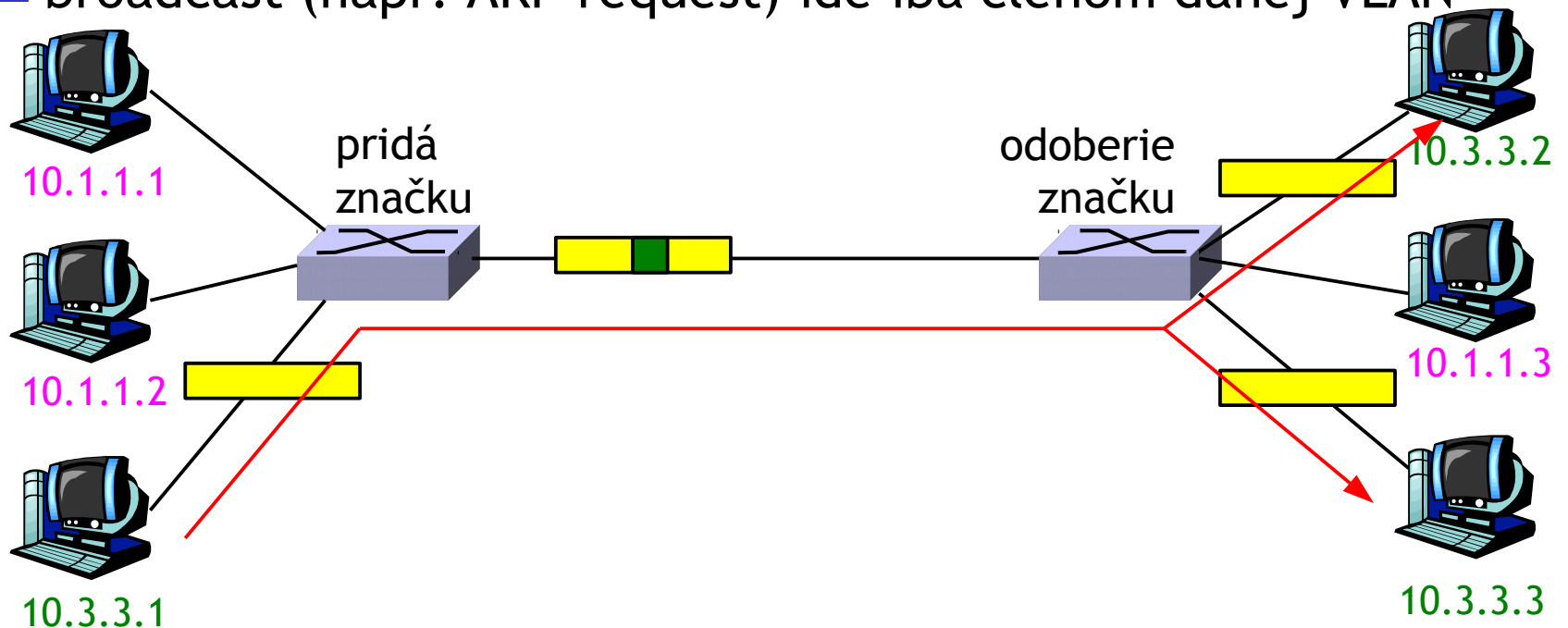
□ na rámeček 802.3ac



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

VLAN: značkovanie

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



Viacnásobný prístup k zdieľanému spoju

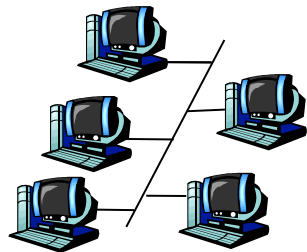
Dva typy spojov:

□ bod-bod

- ❖ PPP (point-to-point protocol) pre dial-up pripojenie
- ❖ spojenie bod-bod medzi vzdialenými smerovačmi

□ Zdieľaný spoj (drôtový alebo bezdrôtový)

- ❖ Ethernet “po starom”
- ❖ HFC (hybrid fiber coax)
- ❖ 802.11 wireless LAN



zdieľaný drôt (napr.
Ethernet 802.3)



zdieľaná frekvencia
(napr. 802.11 WiFi)



zdieľaná frekvencia
(satelit)



ľudia na párty
(zdieľaný vzduch
na šírenie zvuku)

Viacnásobný prístup k zdieľanému spoju

- ❑ spoločne zdieľaný spoj
- ❑ ak dva alebo viac uzlov súčasne vysielajú, nastáva interferencia
 - ❖ **kolízia** - ak uzol odhalí v rovnakom čase v spoji viac signálov

Prístupové metódy k zdieľanému spoju

- ❑ založené na distribuovanom algoritme, ktorý určí, akým spôsobom sa má zdieľať prenosový kanál, t.j. určí, kedy môže ktorý uzol vysielat'
- ❑ komunikácia o riadení kanála používa ten istý kanál
 - ❖ žiaden extra kanál na riadenie

Ideálna prístupová metóda k zdieľanému spoju

Zdieľaný kanál s prenosovou rýchlosťou R:

1. ak chce vysielat' iba jeden uzol, môže vysielat' rýchlosťou R
2. ak chce vysielat' M uzlov, každý vysielat' priemernou rýchlosťou R/M
3. plne decentralizovaný:
 - ❖ neexistuje uzol, ktorý riadi celú komunikáciu
 - ❖ žiadna synchronizácia hodín, slotov
4. jednoduchý

CSMA (Carrier Sense Multiple Access)

CSMA: počúvame pred posielaním:

- ❑ Ak neregistrujeme, že v kanále niekto vysiela, pošleme celý rámec
- ❑ Ak sa kanál používa, nevysielame

- ❑ analógia: neskáčem do reči, keď niekto rozpráva!

CSMA kolízie

kolízie môžu stále nastávať:

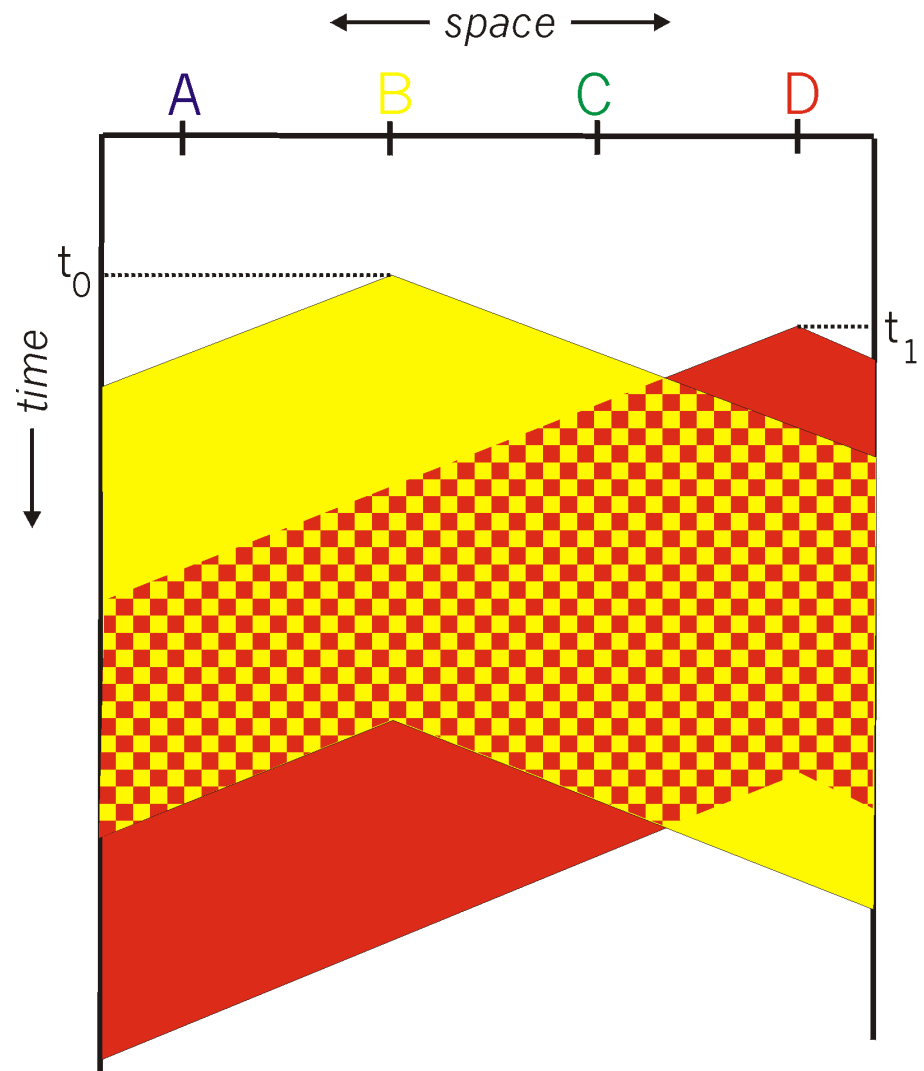
čas prenášania kanálom môže spôsobiť, že dva uzly nevedia, že vysielajú súčasne

kolízia:

celý čas vysielania je nevyužitý - stratený

poznámka:

na zistenie pravdepodobnosti kolízie musíme počítať s časom prenosu a vzdialenosťou uzlov



CSMA/CD (Collision Detection)

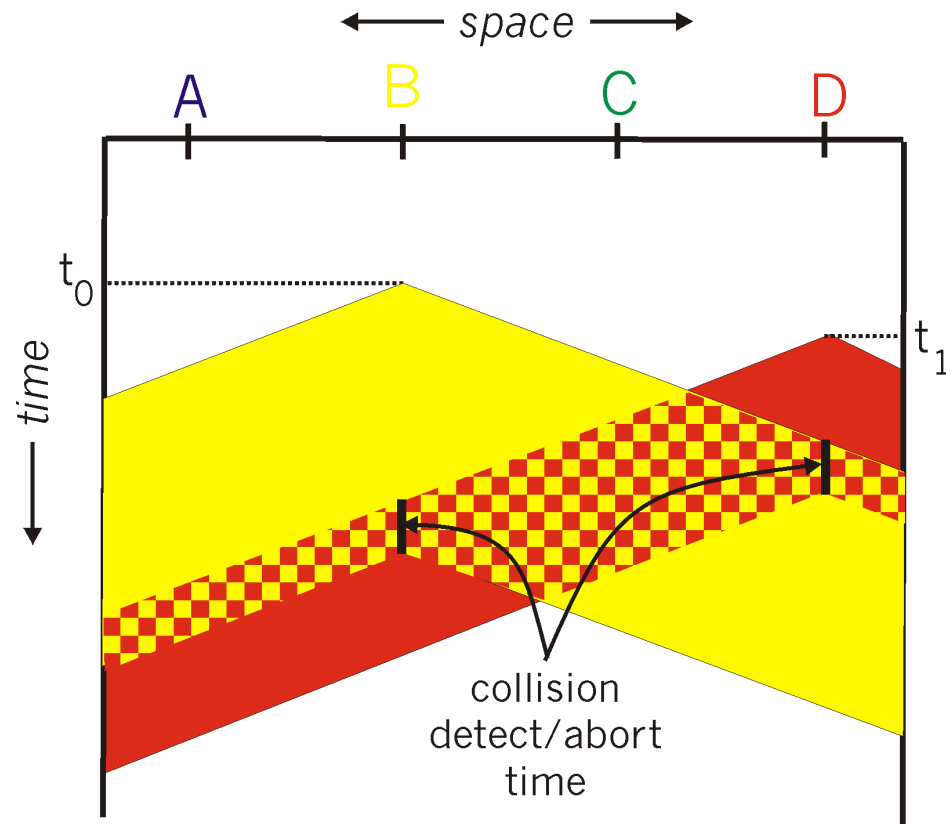
CSMA/CD: zistenie prenášania oddiali vysielanie ako v CSMA, ale:

- ❖ *detekcia* kolízie v krátkom čase aj počas vysielania
- ❖ pri kolízii sa prestáva odosielať
- ❖ zmenšenie nevyužitého času

□ odhalenie kolízie:

- ❖ jednoduchá na drôtových spojoch: meriame silu signálu, porovnávame so silou, ktorá sa vysiela a prijíma
- ❖ ťažké pri bezdrôtových spojoch: prichádzajúca sila signálu je menšia ako sila vysiellaného signálu

CSMA/CD detekcia kolízie



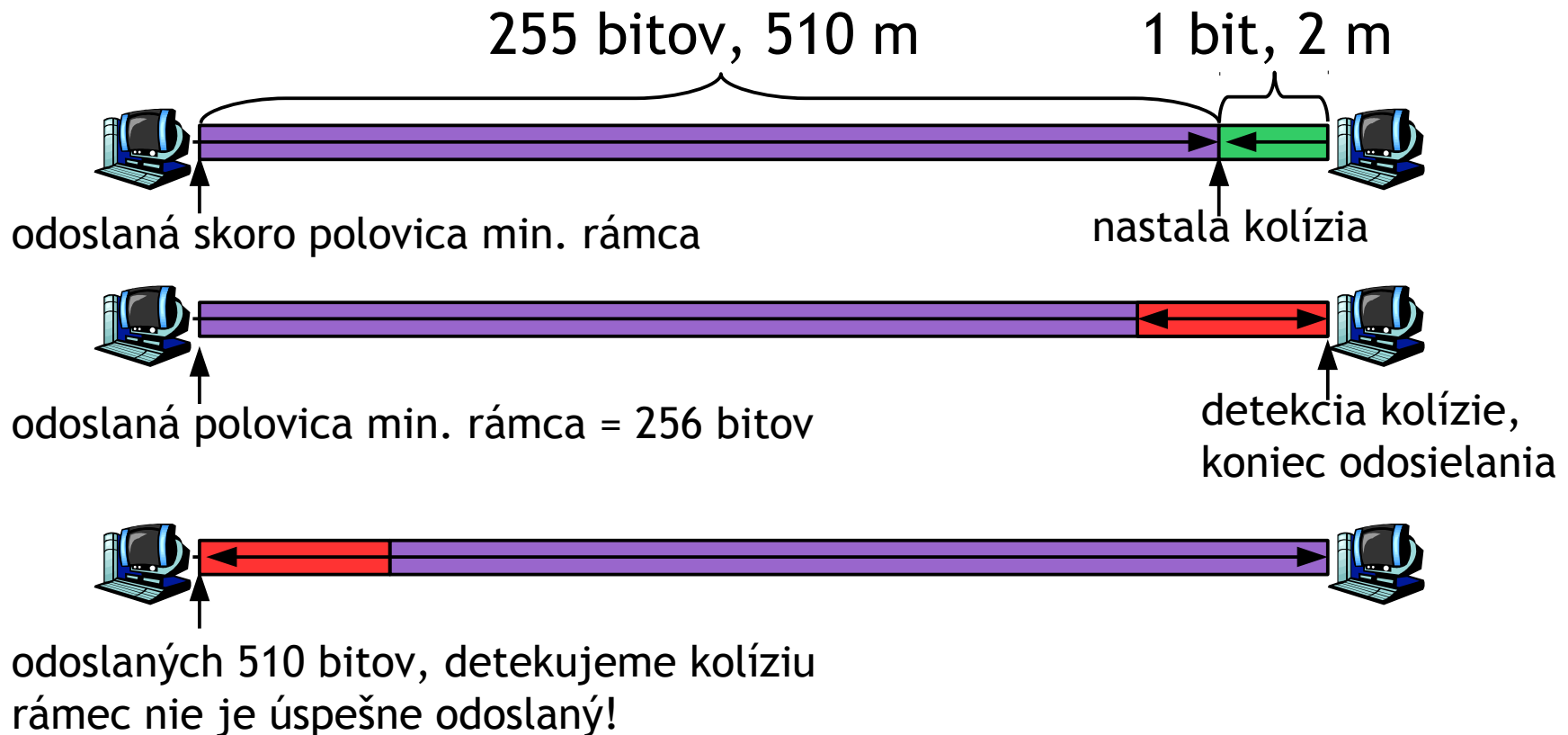
Minimálna veľkosť rámca

- ❑ Ak máme prenosovú rýchlosť 100Mb/s, tak na odoslanie 1 bitu potrebujeme 10^{-8} s
- ❑ V medenom drôte je rýchlosť šírenia signálu cca 200 000 km/s, takže pokiaľ odošleme 1 bit, signál prejde 2 metre
- ❑ Uzol musí zaregistrovať kolíziu pred odoslaním posledného bitu minimálneho rámca
- ❑ Minimálny rámec v 100Base-TX (“medený Ethernet” 100Mb/s) je 512 bitov



Maximálna vzdialenosť uzlov

- Teoretická maximálna vzdialenosť = polovica vzdialenosti prejdenej signálom pri odosielaní minimálneho rámca



Maximálna vzdialenosť uzlov

- ❑ Teoretická maximálna vzdialenosť = polovica vzdialenosti prejdenej signálom pri odosielaní minimálneho rámca
- ❑ Maximálna vzdialenosť daná normou je nižšia (zarátaný čas potrebný na istotu detekcie kolízie)
- ❑ **100Base-TX** (med') max. 100 m (200 m s opakovačom), min. rámec 512 b
- ❑ **100Base-FX** (optika) max. 412 m, min. rámec 512 b
- ❑ **1000Base-T** (med') max. 100 m (200 m s opakovačom), min rámec 520 B (4160 b)
- ❑ **1000Base-SX** (optika) max. 550m, min. rámec 520 B
- ❑ Väčšie vzdialenosti - full duplex point-point bez kolízií

Algoritmus CSMA/CD

1. Adaptér dostane datagram zo sieťovej vrstvy a vyrobí rámec.
2. Ak adaptér neregistruje žiadne vysielanie na spoji, začne vysielat' rámec.
Ak adaptér registruje vysielanie na spoji, čaká, kým sa spoj uvoľní a potom začne vysielat'
3. Ak celé vysielanie rámca prebehlo bez zistenia iného vysielania, rámec je považovaný za **úspešne odoslaný** !
4. Ak počas vysielania adaptér zistí, že vysielala aj niekto iný, skončí vysielanie a vyšle JAM signál
5. Po prerušení začne **súperenie**: po *m-tej* kolízii si adaptér vyberie náhodné číslo *K* z *intervalu* $<0, 2^{m-1}>$, adaptér potom čaká čas $K \cdot \text{slot_time}$

$$\begin{aligned} \text{slot_time} &= \text{čas na odoslanie} \\ &\quad \text{minimálneho rámca} \\ &= 512 \cdot 10^{-8} \text{ s} = 5,12 \text{ } \mu\text{s v } 100\text{Base-TX} \end{aligned}$$

Algoritmus CSMA/CD

JAM signál:

- ❑ signál takej intenzity, aby určite všetci zistili, že nastala kolízia; čas dĺžky $48 \cdot \text{slot_time}$
- ❑ Informácia o tom, že nastáva súperenie
- ❑ Do súperenia sa môžu zapojiť aj tí, ktorí kolíziu nespôsobili - čakali, lebo registrovali odosielanie na spoji

Súperenie:

- ❑ **Ciel'**: prispôbiť čas opätovného poslania aktuálnym požiadavkám na vysielanie na zdieľanom spoji
 - ❖ veľa vysielateľov: v priemere sa čaká dlhšie
- ❑ prvá kolízia: vyber K z množiny $\{0,1\}$; čakanie bude $K \cdot \text{slot_time}$
- ❑ po druhej kolízii: vyber K z množiny $\{0,1,2,3\}$...
- ❑ po desiatich kolíziách: vyber K z množiny $\{0,1,2,3,4, \dots, 1023\}$

CSMA/CD efektivita

- ❑ t_{prenos} = maximálny čas prenosu medzi 2 uzlami
- ❑ $t_{\text{posielanie}}$ = čas na vyslanie rámca maximálnej dĺžky

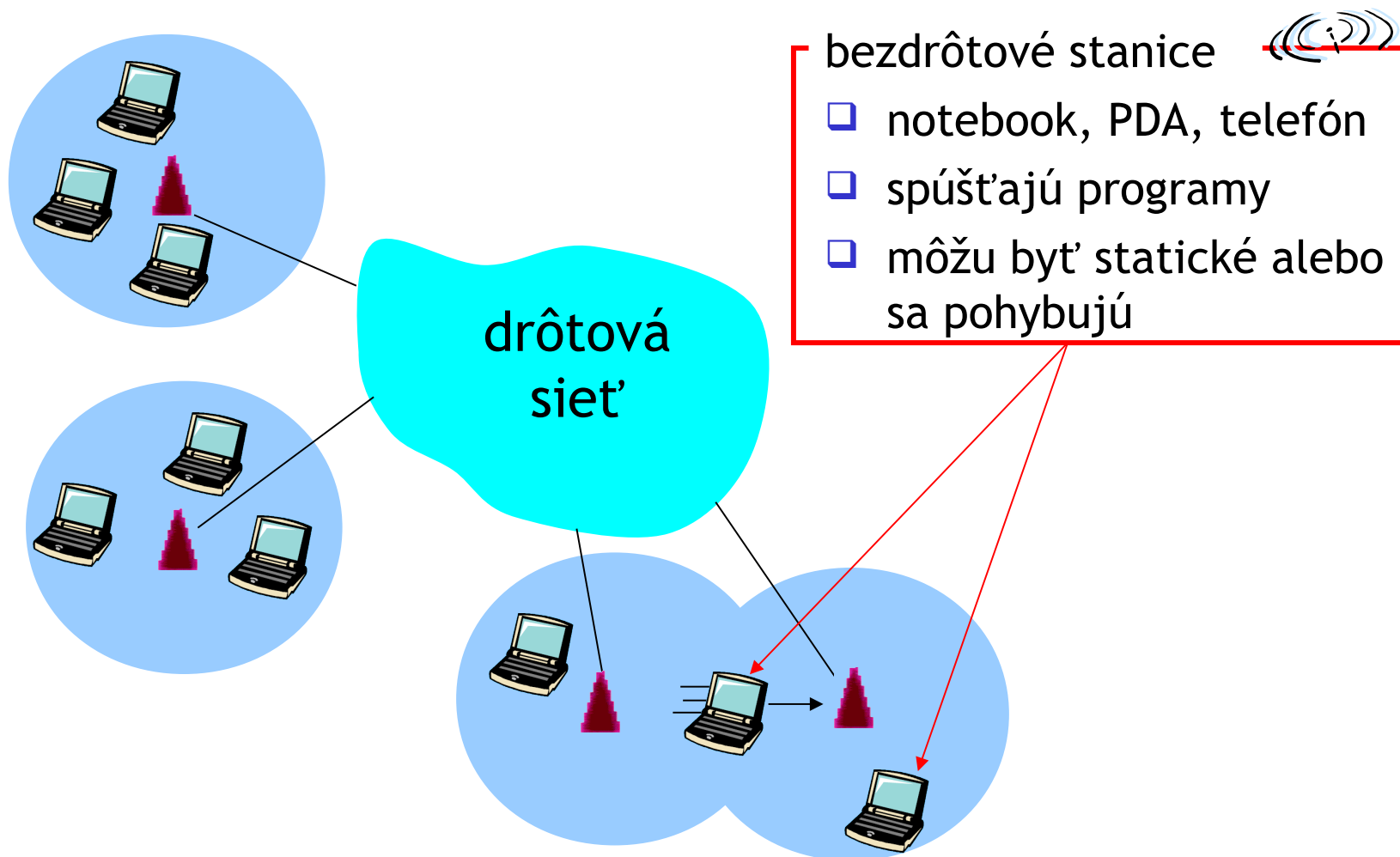
$$\text{efektivita} = \frac{1}{1 + 5 \cdot t_{\text{prenos}} / t_{\text{posielanie}}}$$

- ❑ efektivita sa blíži k 1 ak
 - ❖ ak t_{prenos} sa blíži k nule
 - ❖ ak $t_{\text{posielanie}}$ sa blíži k nekonečnu
- ❑ lepšia efektivita ako ALOHA: a jednoduchšie, lacné a decentralizované riešenie!

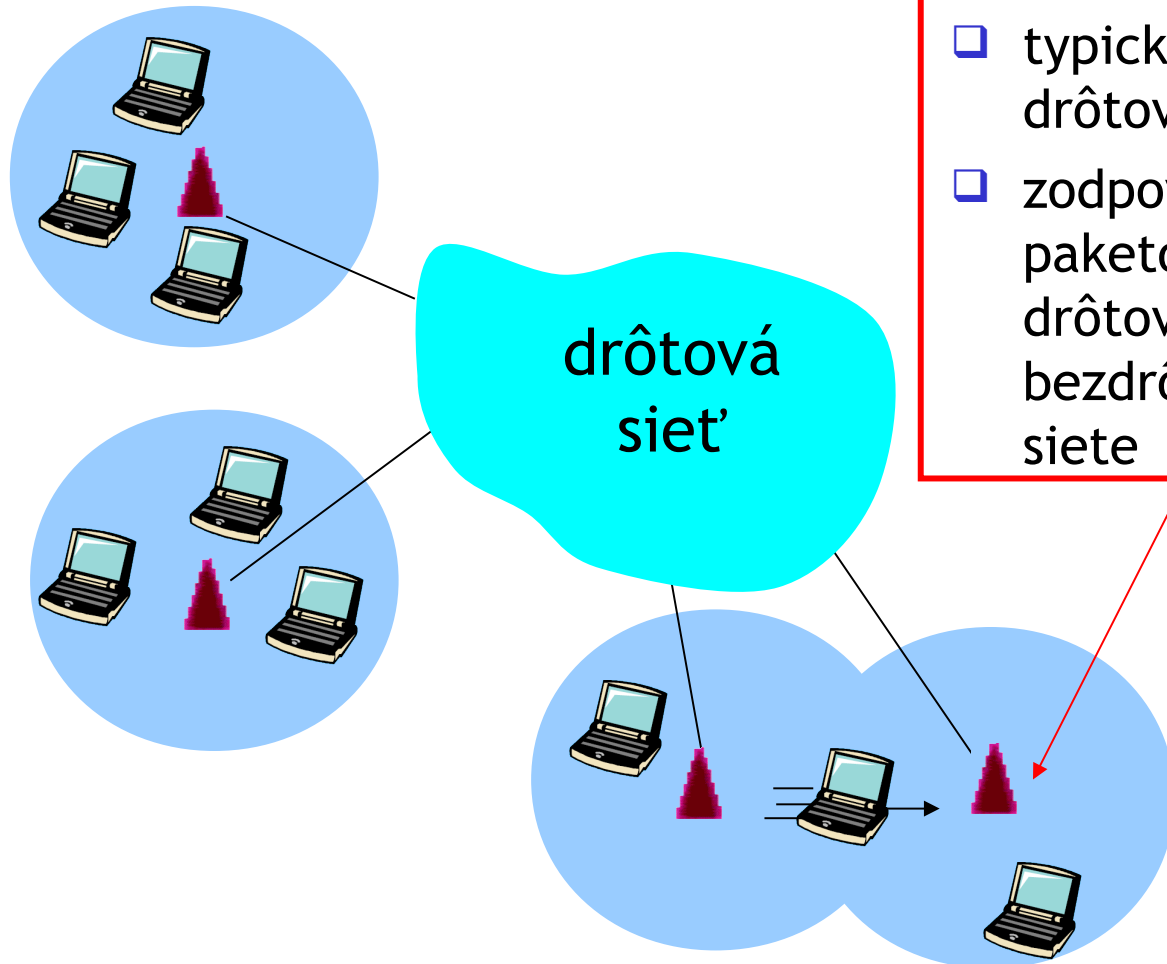
Bezdrôtové a mobilné siete

- ❑ počet zariadení pripojených bezdrôtovo už presiahol počet zariadení pripojených drôtom
- ❑ realita: notebooky, tablety, internet cez mobilný telefón, čítačky kníh s internetovým pripojením
- ❑ dva hlavné (ale rôzne) problémy
 - ❖ *bezdrôtové pripojenie*: komunikácia cez bezdrôtový spoj
 - ❖ *mobilita*: riešenie mobilnej stanice, ktorá mení miesto, cez ktoré sa pripája

Prvky bezdrôtovej siete



Prvky bezdrôtovej siete

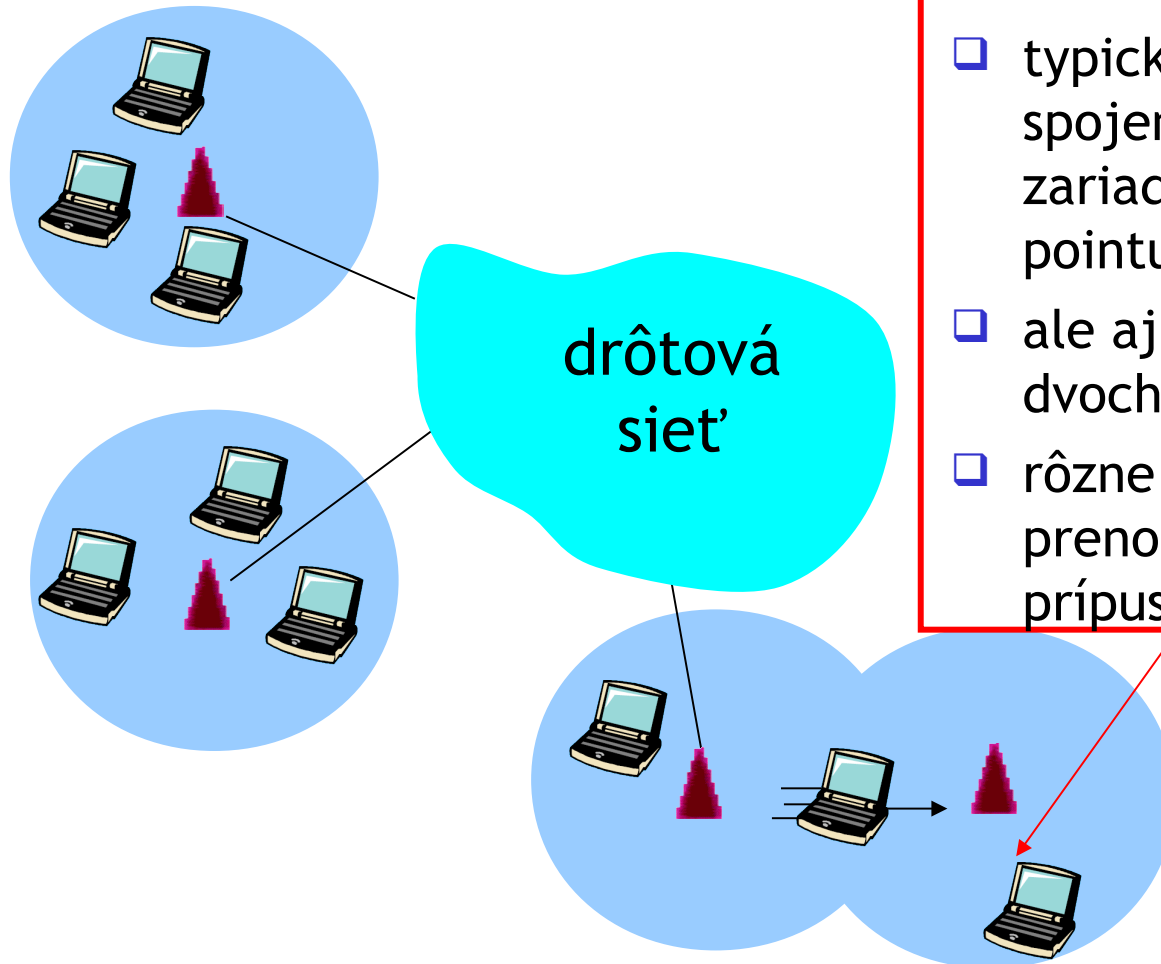


access point



- typicky napojený na drôtovú sieť
- zodpovedný za prenos paketov medzi drôtovou a bezdrôtovou časťou siete

Prvky bezdrôtovej siete

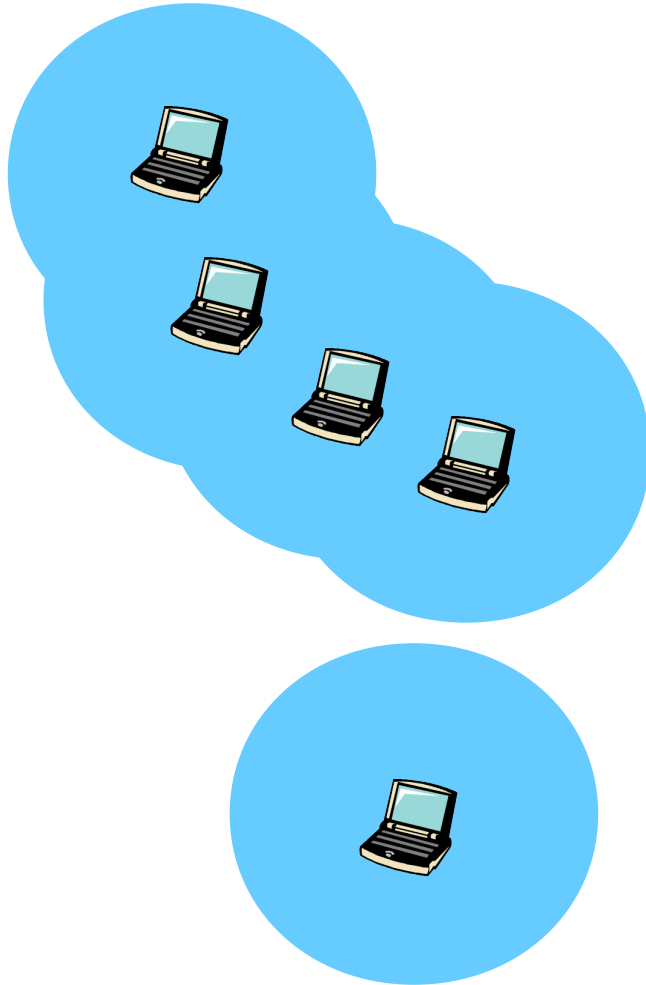


bezdrôtový spoj



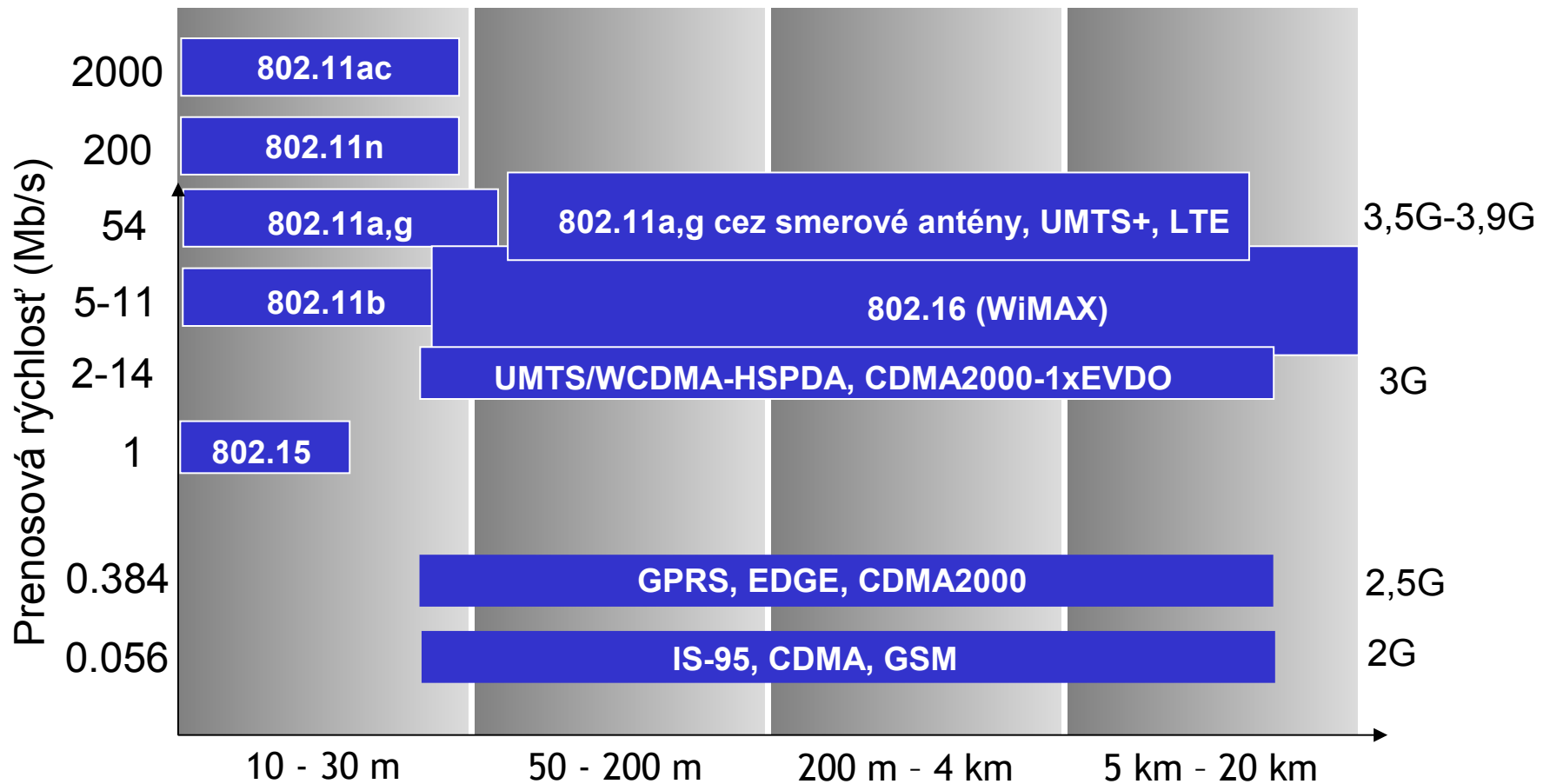
- typicky predstavuje spojenie koncového zariadenia a access pointu
- ale aj prepojenie dvoch access pointov
- rôzne rýchlosti prenosu, rôzne prípustné vzdialenosti

Zapojenie AD-HOC



- ❑ žiaden access point
- ❑ uzly sa napájajú iba na iné uzly v dosahu
- ❑ uzly sa organizujú do siete, kde niektoré uzly preposielajú pakety pre iné uzly, ktoré nie sú navzájom v dosahu

Rôzne bezdrôtové štandardy

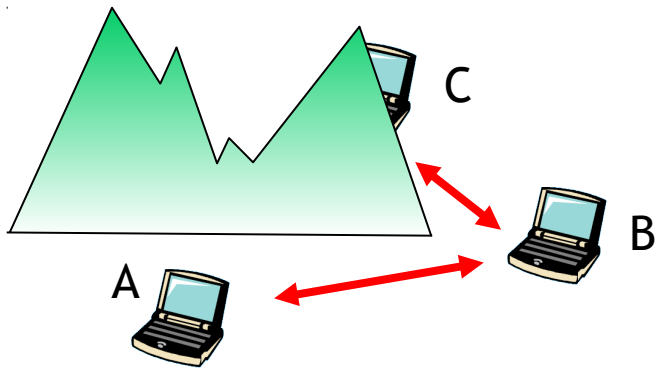


Špecifiká bezdrôtového spojenia

- ❑ **zoslabovanie signálu:** rádiový signál sa zoslabuje pri šírení prostredím
- ❑ **interferencie z iných zdrojov žiarenia:** štandardizované frekvencie “používajú” aj iné typy zariadení - mikrovlnky, telefóny, elektromotory,...
- ❑ **zmena frekvencie:** pri odraze od objektov v prostredí, pri vzájomnom pohybe vysielača a prijímača

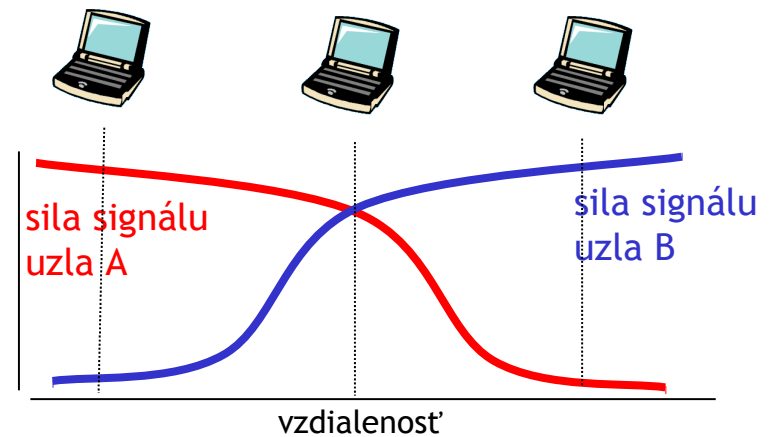
Špecifiká bezdrôtového spojenia

Viac bezdrôtových uzlov prináša nové problémy:



Hidden terminal problem

- B a A sa počujú
- B a C sa počujú
- A a C sa nepočujú kvôli prekážke



Zoslabovanie signálu:

- B a A sa počujú
- B a C sa počujú
- A a C sa nepočujú, lebo sú od seba ďaleko

Prehľad prednášky

- ❑ Viacnásobný prístup k zdieľanému spoju
 - ❖ delený kanál
 - ❖ “štafetový” prístup
 - ❖ zdieľaný prístup
 - prístupová metóda CSMA/CD
 - ❖ vysielanie v širokom pásme
- ❑ Bezdrôtové siete všeobecne
 - ❑ **WiFi 802.11**
 - ❖ CSMA/CA
 - ❖ Rámec
 - ❑ Bluetooth a 802.15
 - ❑ WiMAX 802.16

IEEE 802.11 Wireless LAN (WiFi)

□ 802.11a

- ❖ 5-6 GHz
- ❖ až do 54 Mb/s

□ 802.11g

- ❖ 2.4-2.485 GHz
- ❖ až do 54 Mb/s

□ 802.11n: viac antén

- ❖ 2.4-2.485 GHz
- ❖ až do 200 Mb/s

□ 802.11ac: viac antén

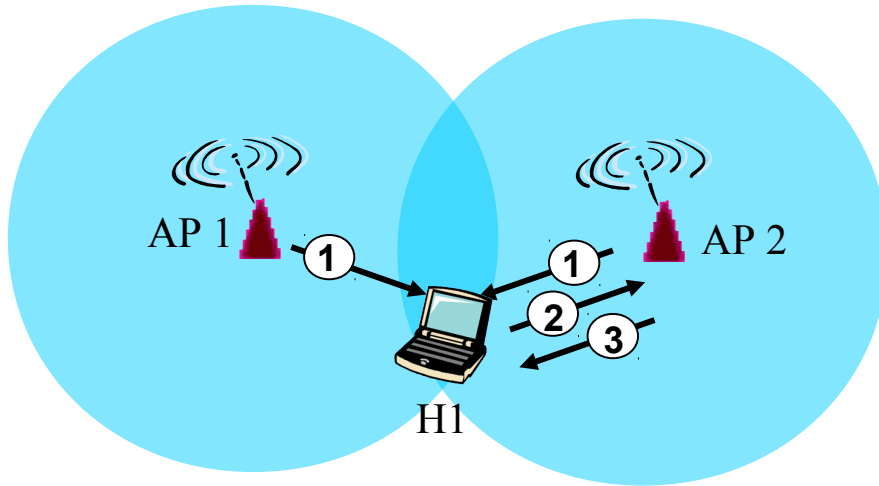
- ❖ 2.4-2.485 GHz, 5-6 GHz
- ❖ 500 - 4000 Mb/s

-
- všetky používajú prístupovú metódu CSMA/CA na zdieľaný prístup
 - všetky majú verziu pre napojenie cez access point aj ad-hoc

802.11: kanály, napojenie

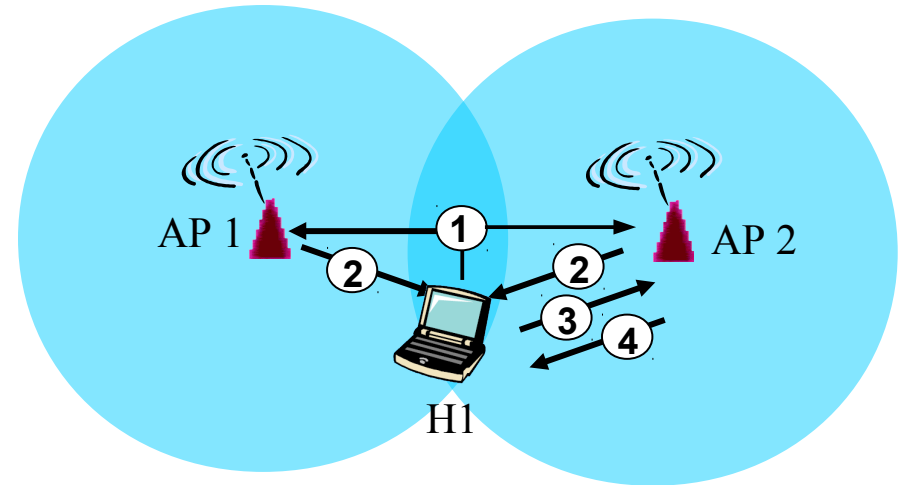
- ❑ 802.11b,g: rozsah frekvencií 2.4 GHz-2.485 GHz je rozdelený na 11 kanálov s rôznymi frekvenciami
 - ❖ správca AP si vyberie frekvenciu, na ktorej bude operovať
 - ❖ možná interferencia: môžeme vybrať rovnaký alebo blízky kanál ako susedný AP
- ❑ stanica: musí sa *napojiť* na access point
 - ❖ ladí na jednotlivé kanály a počúva, či nezachytí *signálny rámec* obsahujúci meno AP (SSID) a jeho MAC adresu
 - ❖ vyberie si AP, na ktorý sa chce napojiť
 - ❖ niekedy sa musí autentifikovať (WEP, WPA, WPA2)
 - ❖ typicky hneď po napojení spustí DHCP klienta na získanie IP adresy

802.11: pasívne/aktívne hľadanie (zjednodušená verzia)



Pasívne hľadanie:

- (1) AP-ty posielajú signálne rámce
- (2) H1 pošle rámec požiadavky na napojenie k vybranému AP
- (3) AP zašle rámec odpovede pre H1



Aktívne hľadanie:

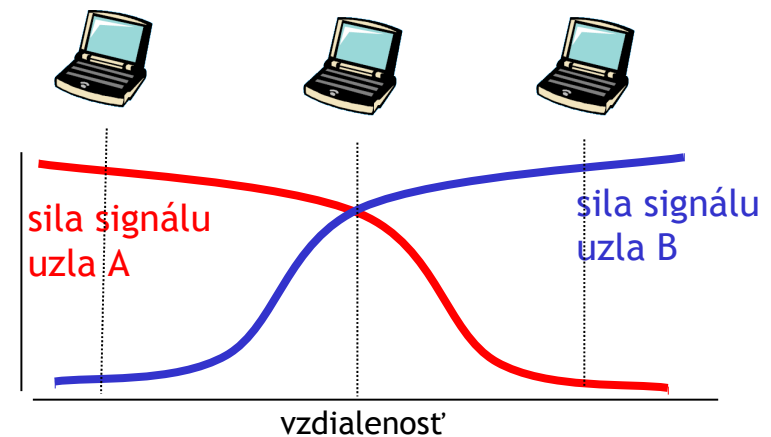
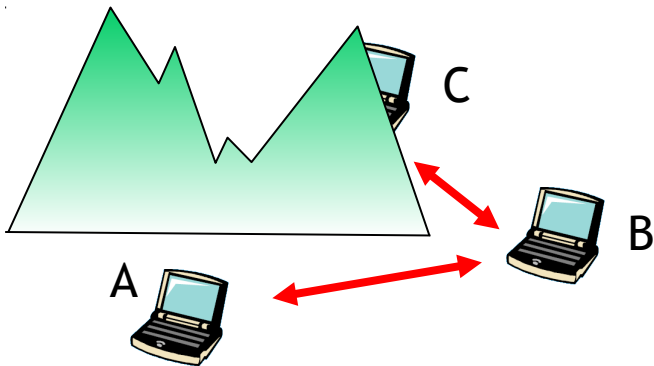
- (1) Požiadavka hľadania AP je vyslaná z H1
- (2) Odpovede hľadania sú zaslané každým AP v dosahu
- (3) H1 pošle rámec požiadavky na napojenie k vybranému AP
- (4) AP zašle rámec odpovede pre H1

Prehľad prednášky

- ❑ Viacnásobný prístup k zdieľanému spoju
 - ❖ delený kanál
 - ❖ “štafetový” prístup
 - ❖ zdieľaný prístup
 - prístupová metóda CSMA/CD
 - ❖ vysielanie v širokom pásme
- ❑ Bezdrôtové siete všeobecne
 - ❑ WiFi 802.11
 - ❖ CSMA/CA
 - ❖ Rámec
 - ❑ Bluetooth a 802.15
 - ❑ WiMAX 802.16

IEEE 802.11: zdieľaný prístup

- ❑ vyhýbanie sa kolíziám, ako je to len možné
- ❑ kolízia ≥ 2 uzlov vysiela naraz
- ❑ 802.11: CSMA - počúvanie pred vysielaním
 - ❖ nechcem spôsobiť kolíziu, ak vysiela niekto iný
- ❑ 802.11: *žiadna* detekcia kolízií pri vysielaní!
 - ❖ ťažké zistiť, keďže cudzie signály sú oveľa slabšie ako vlastné vysielenie
 - ❖ nie vždy vieme zistiť, či nespôsobíme kolíziu: hidden terminal, rušenie
 - ❖ riešenie: *predchádzanie kolíziám*: prístupová metóda CSMA/CA (Collision Avoidance)



CSMA: carrier sense multiple access

802.11 odosielateľ

1.ak neregistrujeme vysielanie počas **DIFS** času
tak

vyšli celý rámec (nemáme detekciu kolízie)

2.ak registrujeme vysielanie tak

vymysli si číslo

ak nik nevysiela znižuj hodnotu čísla

ak začne niekto vysielat' neznižuj číslo

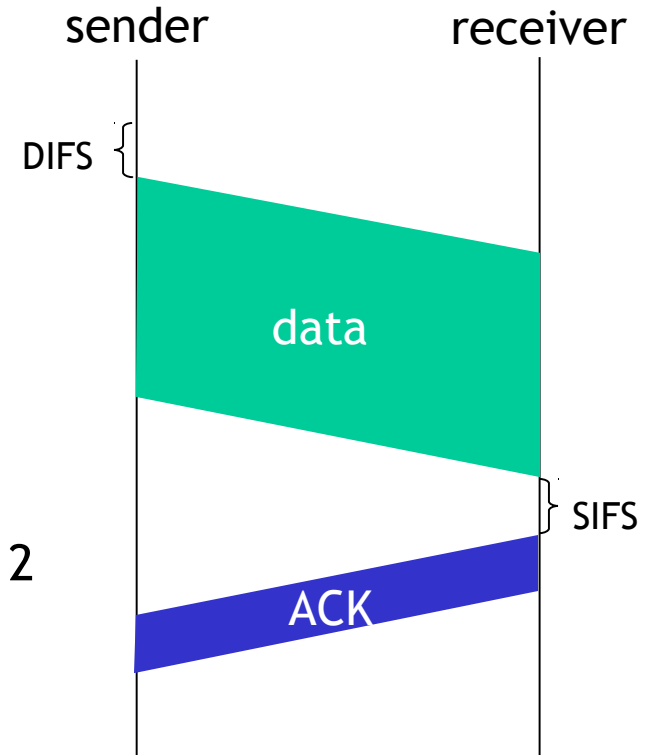
ak dopočítaš do nuly pošli celý rámec

ak nepríde potvrdenie (ACK), začni zasa bod 2

802.11 príjemca

- ak prišiel rámec v poriadku

zašli ACK po **SIFS** čase (ACK rieši spoľahlivosť aj hidden terminal problém)

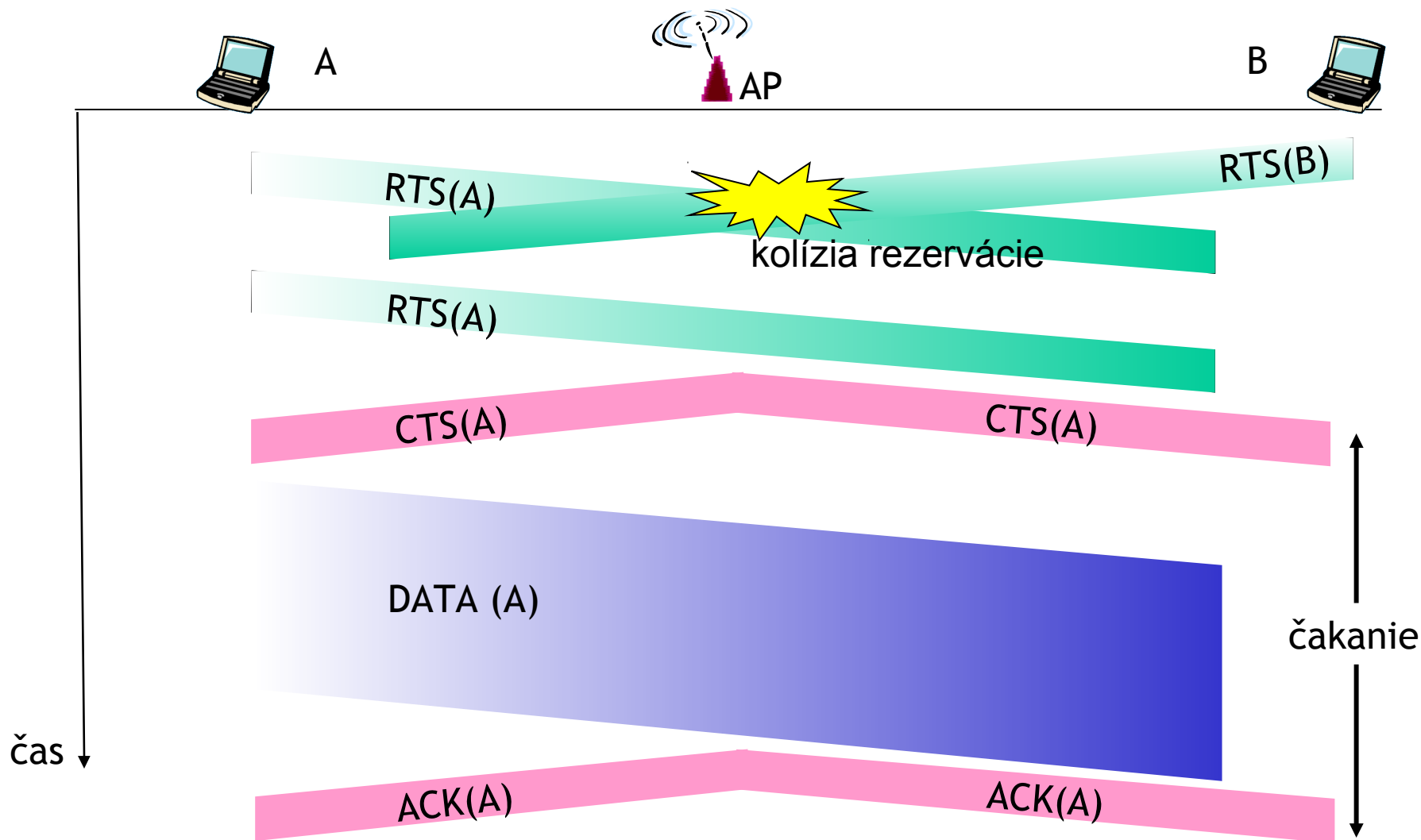


CSMA/CA: predchádzanie kolíziám

idea: poskytnúť odosielateľovi možnosť “rezervovať” si kanál namiesto vysielania v náhodnom čase: vyhnutie sa kolíziám pre dlhé rámce

- ❑ odosielateľ najprv odošle *malý* request-to-send (RTS) paket access pointu cez CSMA
 - ❖ aj RTS môže vojsť do kolízie (ale je malý)
- ❑ AP rozpošle broadcastom clear-to-send (CTS) paket
- ❑ CTS počujú všetky uzly
 - ❖ odosielateľ posiela veľký dátový rámec
 - ❖ ostatné stanice nemôžu daný čas zatiaľ vysielat'

Predchádzanie kolíziám: RTS a CTS



Prehľad prístupových metód

❑ *delenie kanála*

- ❖ podľa času, podľa frekvencie

❑ *zdieľaný prístup*

- ❖ ALOHA, S-ALOHA, CSMA, CSMA/CD
- ❖ zisťovanie kolízie: jednoduché v drôtoch, ťažké pri bezdrôtových spojoch
- ❖ CSMA/CD v Ethernete 802.3
- ❖ CSMA/CA (collision avoidance) v 802.11 (WiFi) - bude neskôr

❑ *štafetové protokoly*

- ❖ vyzývanie z hlavného uzla, posielanie tokenu
- ❖ Bluetooth, FDDI, IBM Token Ring

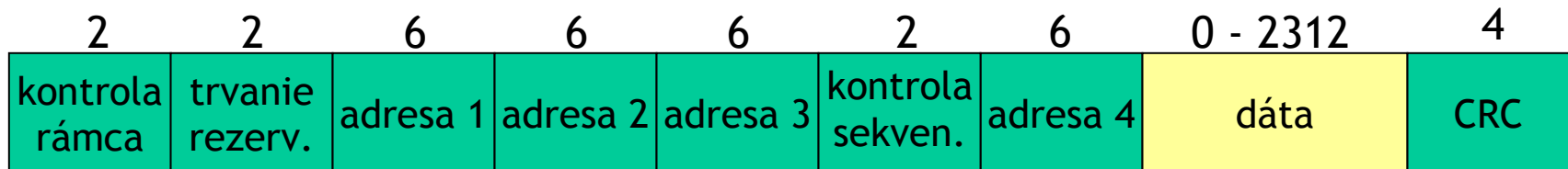
❑ *vysielanie v širokom pásme*

- ❖ využíva viacero frekvenčných pásiem, kolízia môže nastať na niekoľkých z nich
- ❖ Frekvenčné skákanie (bluetooth), DSSS, CDMA

Prehľad prednášky

- ❑ Viacnásobný prístup k zdieľanému spoju
 - ❖ delený kanál
 - ❖ “štafetový” prístup
 - ❖ zdieľaný prístup
 - prístupová metóda CSMA/CD
 - ❖ vysielanie v širokom pásme
- ❑ Bezdrôtové siete všeobecne
 - ❑ WiFi 802.11
 - ❖ CSMA/CA
 - ❖ **Rámec**
 - ❑ Bluetooth a 802.15
 - ❑ WiMAX 802.16

802.11 rámec: adresácia



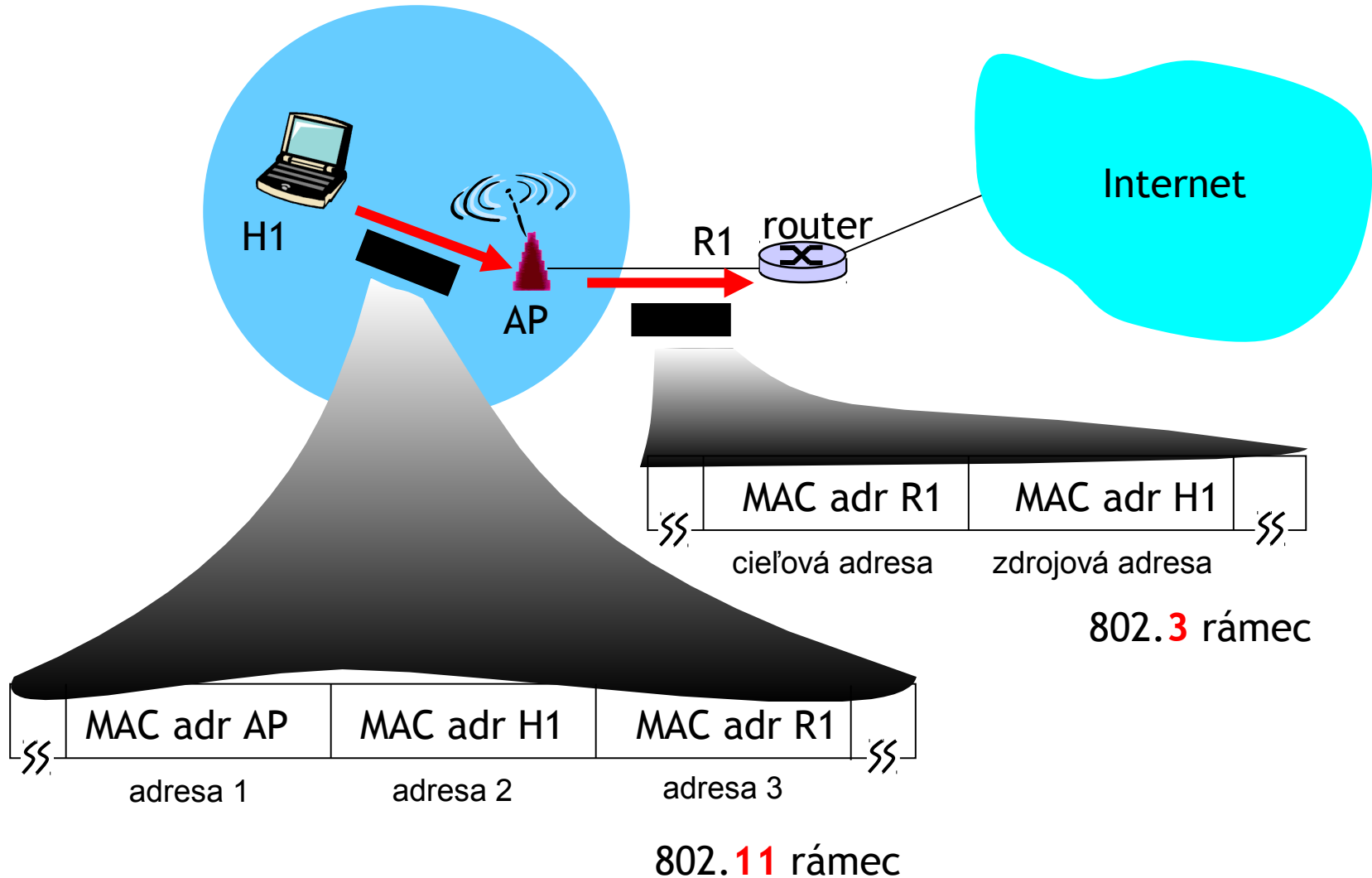
adresa 1: MAC adresa bezdrôtového príjemcu rámca (stanica alebo AP)

adresa 2: MAC adresa bezdrôtového odosielateľa rámca (stanica alebo AP)

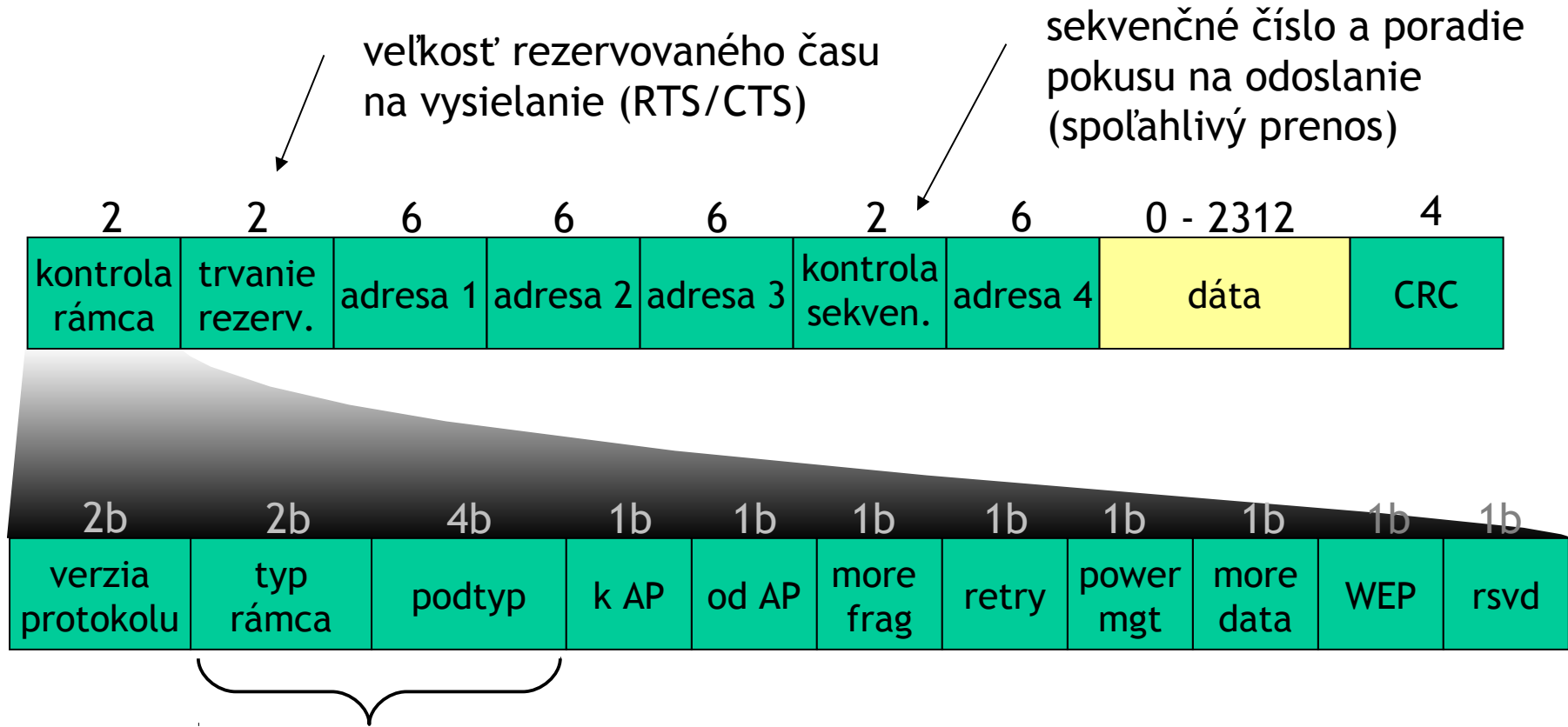
adresa 3: MAC adresa cieľového uzla v sieti (router alebo stanica)

adresa 4: pôvodný odosielateľ v sieti

802.11 rámeček: adresácia



802.11 rámec



RTS, CTS, ACK, dáta
riadenie (signálny rámec, hľadanie AP,..)

802.11: úspora energie

- ❑ uzol vyšle: “neprijímam nič až do času vyslania ďalšieho signálneho rámca”
 - ❖ AP vie, že nemá zmysel v tom čase niečo pre tento uzol posielat’
 - ❖ uzol sa zobudí tesne pred vysielaním ďalšieho signálneho rámca
- ❑ signálny rámec: obsahuje zoznam staníc, pre ktoré má prichystaný nový rámec
 - ❖ uzol ostane počúvať iba ak preňho AP niečo má, inak ide spať až do času vysielania ďalšieho signálneho rámca
- ❑ úspora až 99% energie

Ďakujem za pozornosť

Modifikované slajdy z knihy:

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

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