

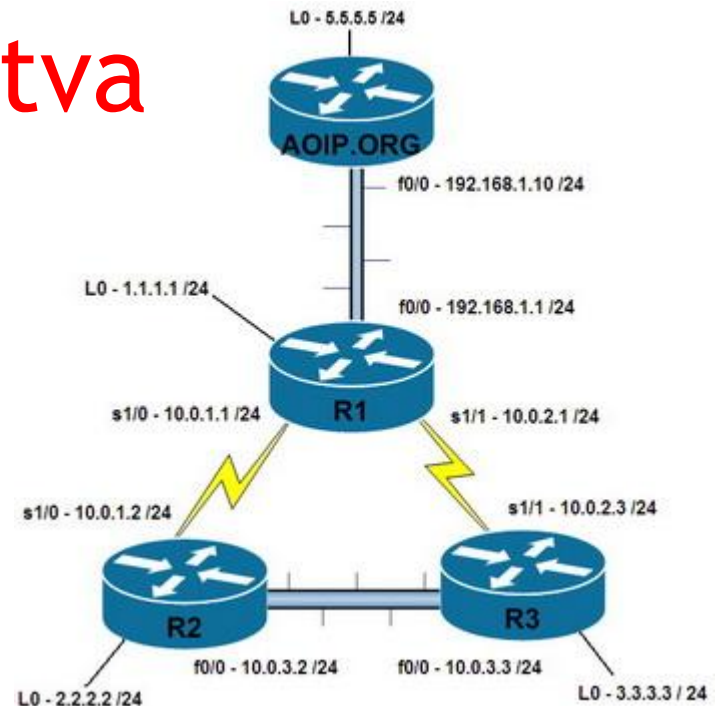
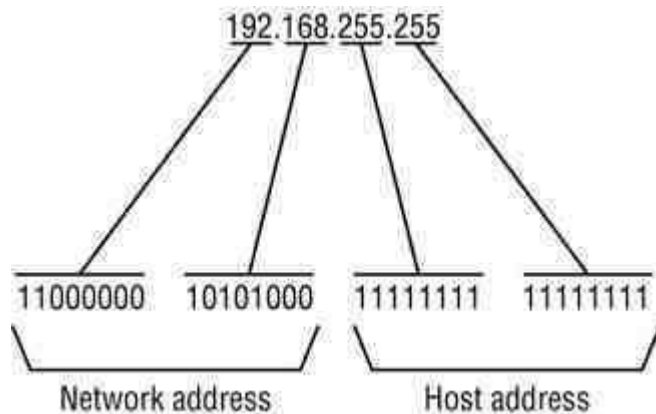
6. prednáška

4-bit	8-bit	16-bit	32-bit	
Ver.	Header Length	Type of Service	Total Length	
Identification			Flags	Offset
Time To Live	Protocol		Checksum	
Source Address				
Destination Address				
Options and Padding				

158.197.31.4/24

fe80::231:5cff:fe64:db91/64

Siet'ová vrstva 1.časť



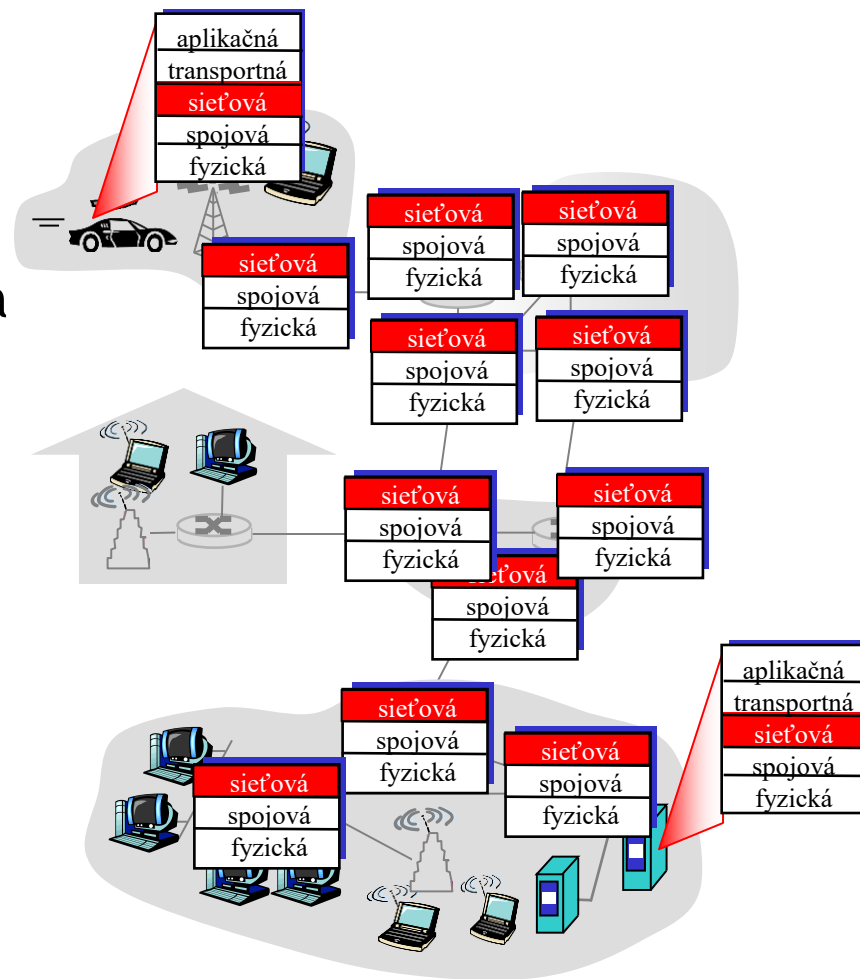
Kapitola 4: Siet'ová vrstva

Náš cieľ:

- ❑ fungovanie smerovača (routra)
- ❑ sieť založená na paketoch vs. okruhmi riadená sieť
- ❑ IP adresy, masky
- ❑ aplikačný protokol DHCP
- ❑ NAT
- ❑ ICMP
- ❑ IPv6
- ❑ smerovacie algoritmy

Sieťová vrstva

- ❑ zabezpečuje dopravenie segmentov/datagramov transportnej vrstvy do cieľovej stanice
- ❑ u odosielateľa sa obalí segment/datagram do **paketu** (dodá sa na začiatok hlavička paketu)
- ❑ na strane príjemcu sa doručený paket rozbalí a segment/datagram sa odovzdá transportnej vrstve
- ❑ sieťová vrstva je implementovaná v každej koncovej stanici a v každom smerovači (routri)
- ❑ smerovač číta hlavičky všetkých IP paketov, ktoré cez neho prechádzajú



Prehľad prednášky

❑ Čo sa skrýva v smerovačoch

❑ Virtuálne okruhy a sieť riadená paketmi

❑ IPv4: Internet Protocol

❖ Hlavička IPv4 paketu

❖ Fragmentácia a defragmentácia

❖ adresácia IPv4

❑ Smerovacia tabuľka

❑ Aplikačný protokol DHCP

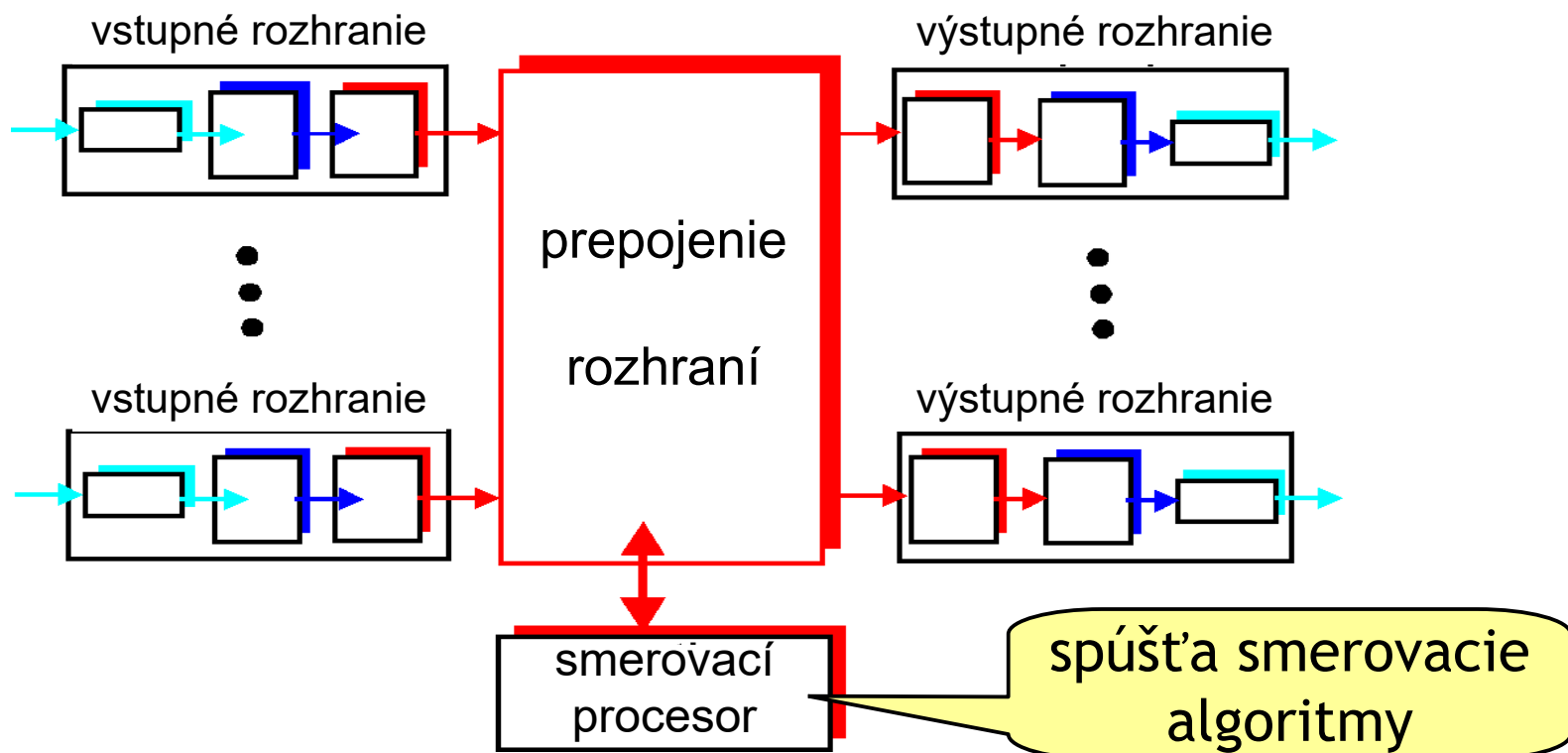
Smerovač (router)



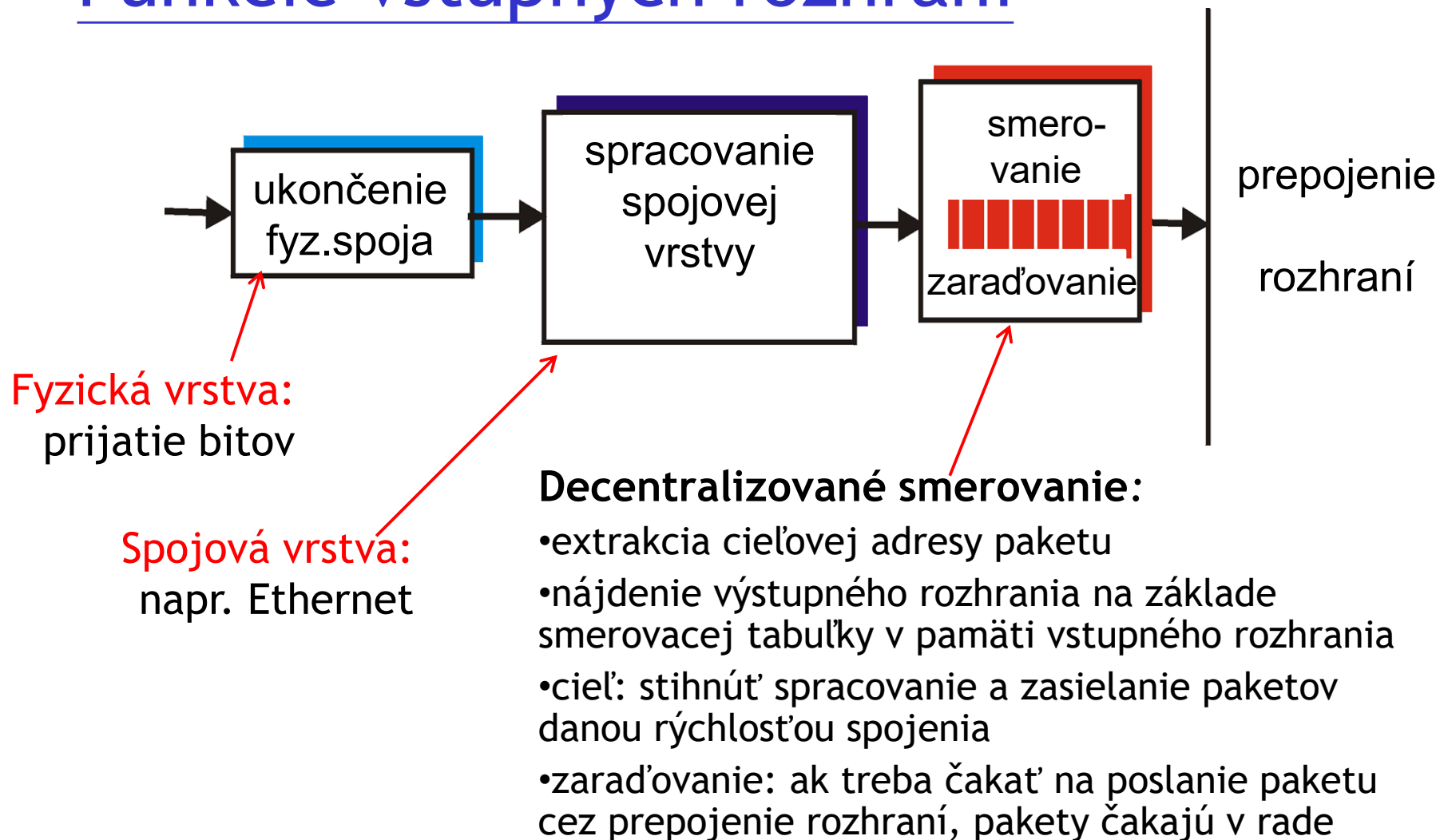
Architektúra smerovača

Dve kľúčové úlohy:

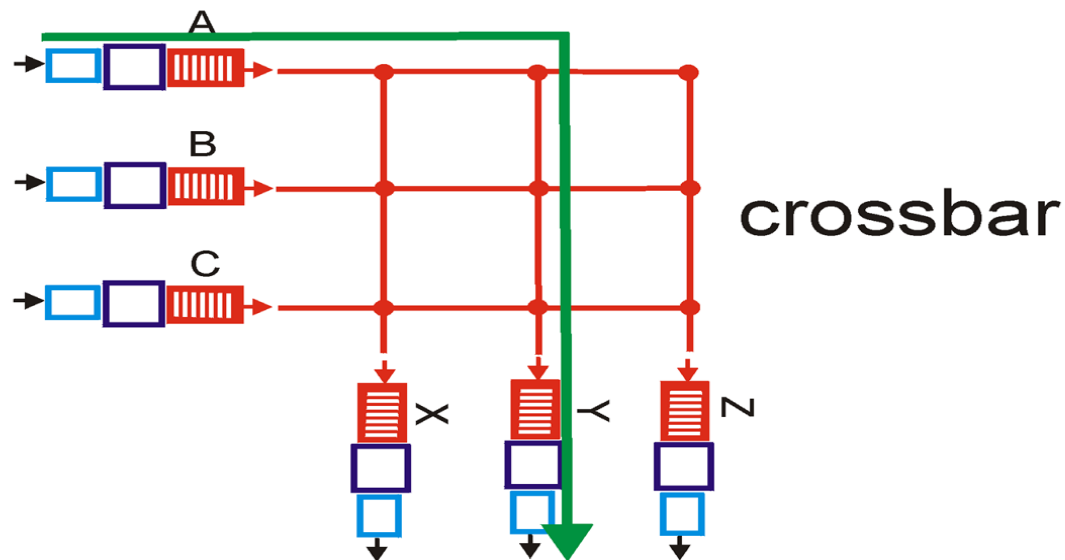
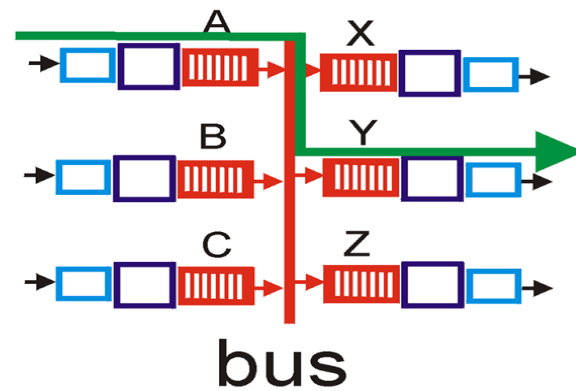
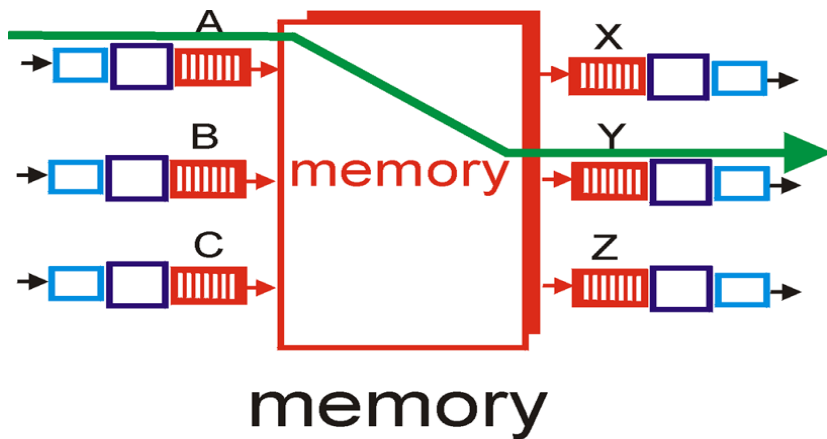
- smerovať pakety zo vstupných rozhraní na výstupné rozhrania
- spúšťať smerovacie algoritmy (RIP, OSPF, BGP,...)



Funkcie vstupných rozhraní



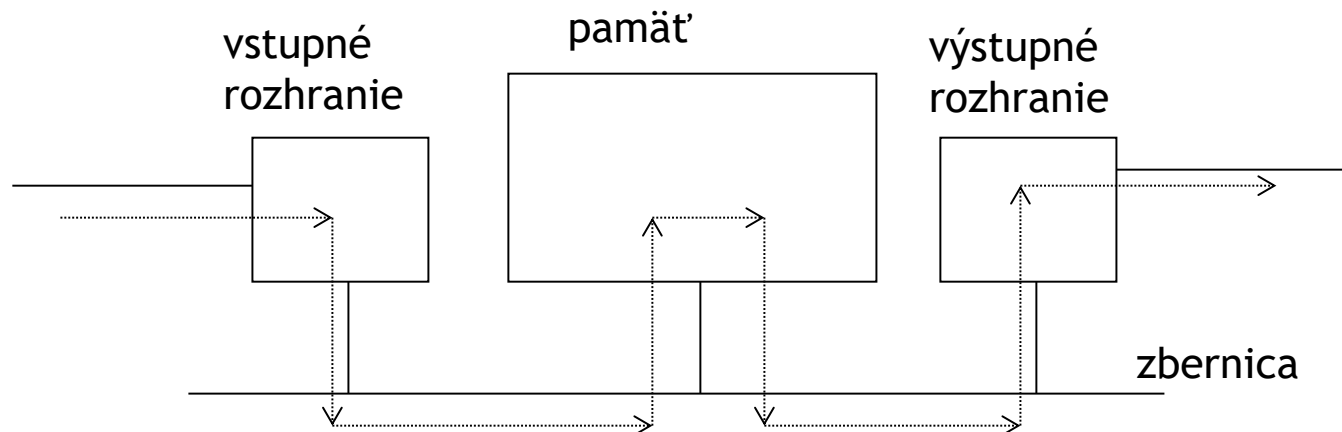
Tri typy prepojenia rozhraní



Prepájanie cez pamäť

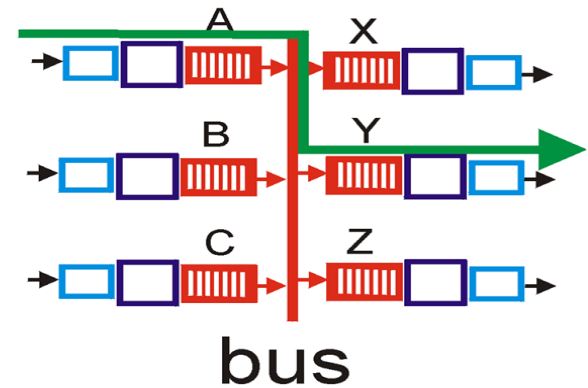
Smerovače (route) prvej generácie:

- ❑ tradičné počítače, kde prepájanie riadi jeden procesor
- ❑ paket sa dostáva do spoločnej pamäte
- ❑ rýchlosť je limitovaná rýchlosťou pamäte a dvojitým prístupom na spoločnú zbernicu

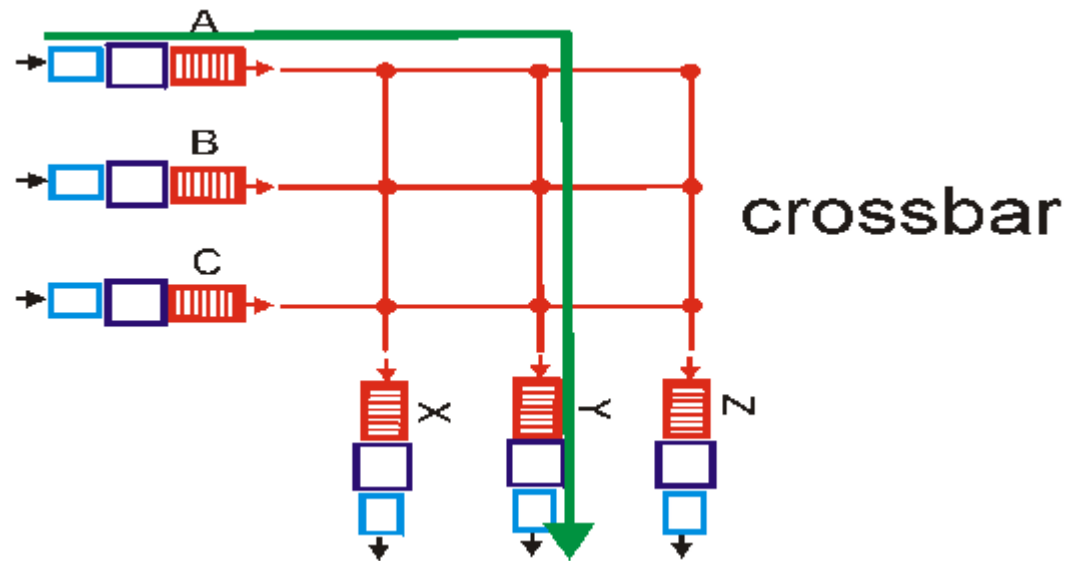


Prepájanie cez zbernicu

- ❑ paket z pamäte vstupného rozhrania je zaslaný do pamäte výstupného rozhrania cez zdieľanú zbernicu
- ❑ úzke miesto je zbernica
- ❑ čím viac rozhraní, tým pomalšie
- ❑ 32 Gb/s zbernica v Cisco 5600

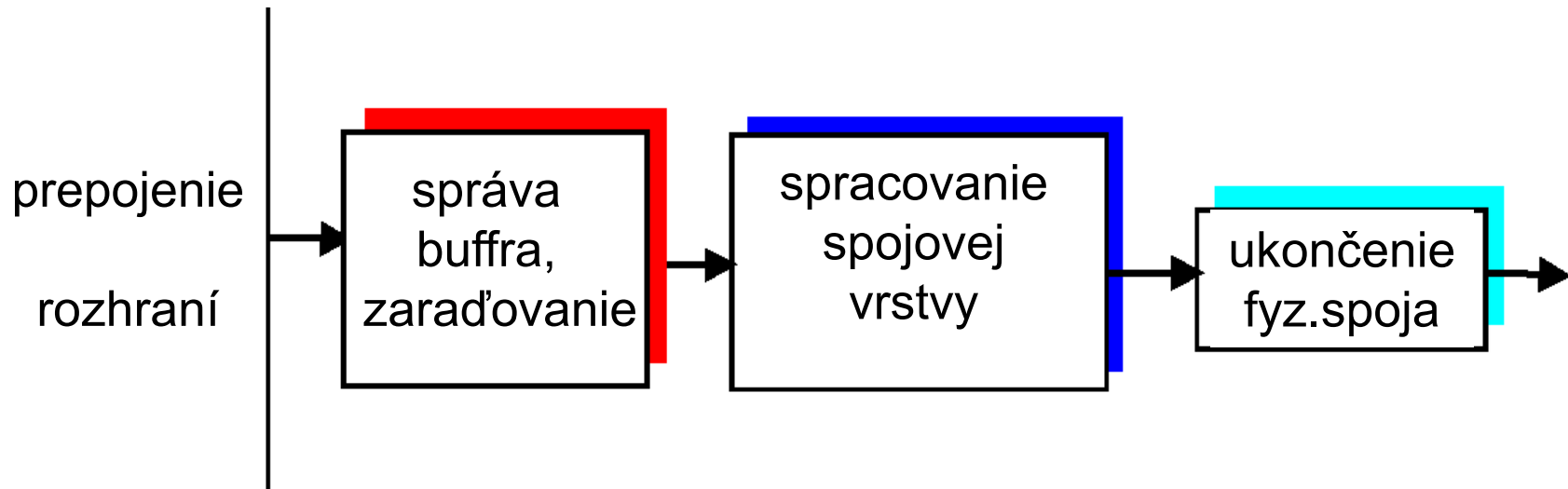


Prepájanie cez prepájaciu sieť



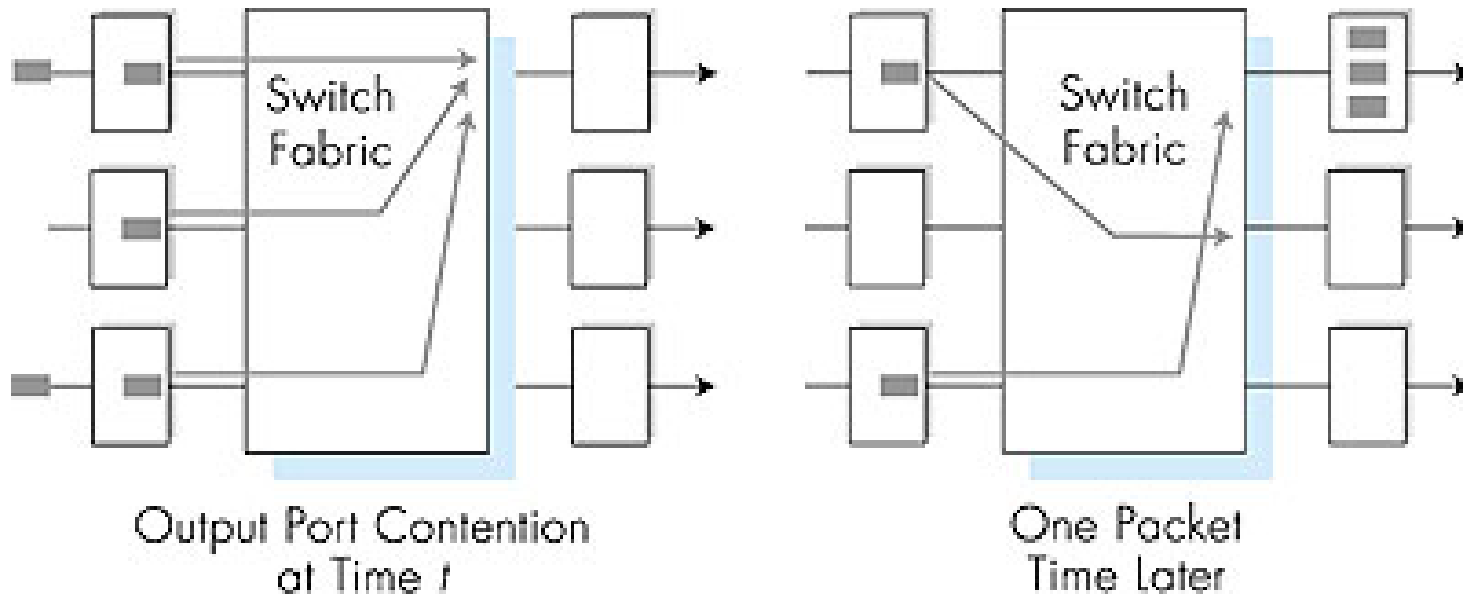
- ❑prekonáva obmedzenia šírky spoločnej zbernice
- ❑máme sieť $2n$ zberníc pre n vstupno-výstupných rozhraní
- ❑pôvodne vyvinuté na spájanie procesorov v multiprocesorových systémoch
- ❑vylepšenie: delenie paketov na rovnako dlhé časti a ich spájanie vo výstupných rozhraniach
- ❑Cisco 12000: prepája rýchlosťou 60 Gb/s

Výstupné rozhrania



- ***Zarad'ovanie*** - keď pakety prichádzajú z prepojenia rozhraní rýchlejšie, ako je výstupná prenosová rýchlosť
- ***Packet scheduler*** - môže uprednostniť niektoré pakety s vyššou prioritou

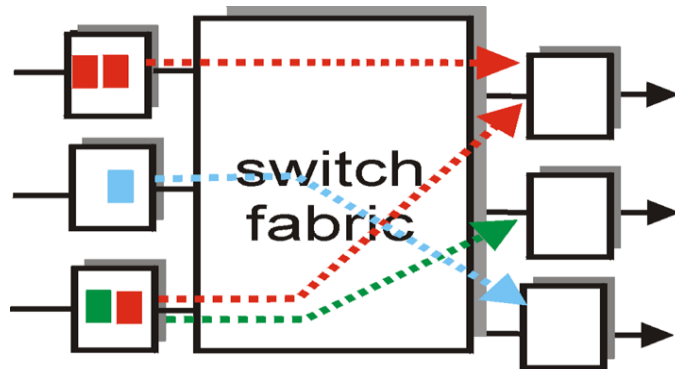
Výstupný rad paketov



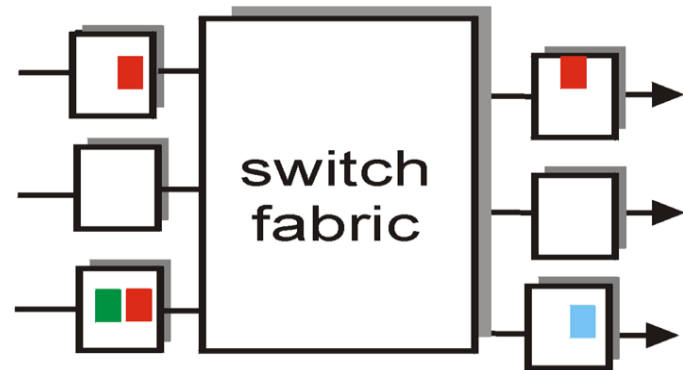
- ❑ výstupný rad môže rásť rýchlo
- ❑ *zdržanie alebo strata v prípade plného buffra*

Rad paketov vo vstupnom rozhraní

- ❑ Prepojenie rozhraní môže byť pomalšie ako rýchlosť všetkých vstupných portov spolu
- ❑ **Head-of-the-Line (HOL) blocking:** paket v rade vstupného rozhrania blokuje ostatné pakety, ktoré by inak prešli
- *zdržanie a strata aj vo vstupnom rade*



v čase t môže byť prijatý iba jeden červený paket



zelený paket bol zablokován červeným

Prehľad prednášky

- ❑ Čo sa skrýva v smerovačoch

- ❑ Virtuálne okruhy a sieť riadená paketmi

- ❑ IPv4: Internet Protocol

 - ❖ Hlavička IPv4 paketu

 - ❖ Fragmentácia a defragmentácia

 - ❖ adresácia IPv4

- ❑ Smerovacia tabuľka

- ❑ Aplikačný protokol DHCP

Pohľad na sieť riadenú okruhmi

- ❑ sieť riadená paketmi nepotrebuje inicializáciu spojenia
- ❑ v sieti riadenej okruhmi máme komunikáciu so spojením
 - ❖ na rozdiel od TCP spojenia v transportnej vrstve musíme inicializovať spojenie:
 - na koncových staniciach a
 - na **všetkých uzloch** (smerovačoch) **na ceste** medzi nimi
 - ❖ smerovače na ceste si musia uchovávať stav spojenia
 - ❖ časti zdrojov smerovača sú vyhradené danému okruhu

Okruh - samostatný kanál na všetkých spojoch na celej ceste

Sieťové zdroje (napr. šírka pásma) **sú rozkúskované**

- ❑ každý kúsok venovaný jednému spojeniu (okruhu)
- ❑ ak sa počas spojenia nič neposiela, sieťové zdroje sú nečinné, aj keby ich niekto iný chcel využiť

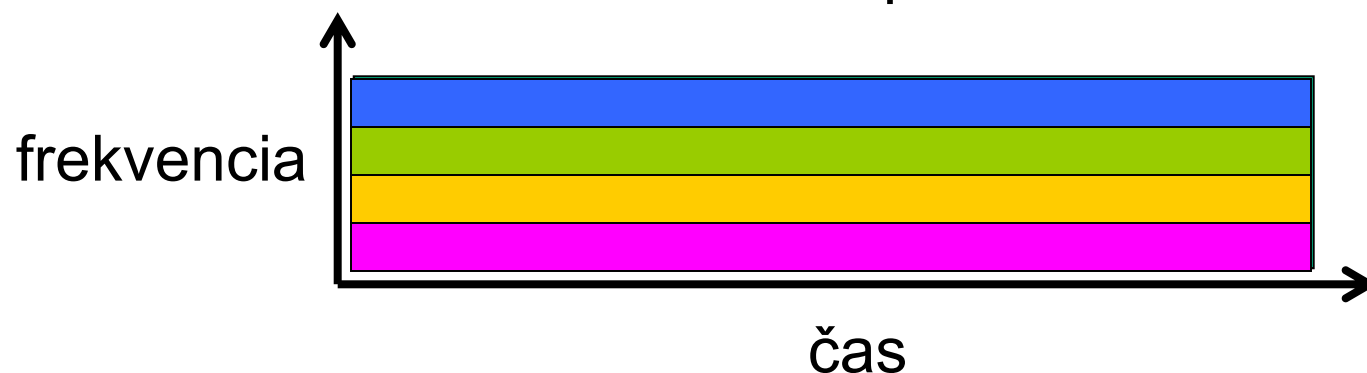
- ❑ Rozkúskovanie pripojenia:
 - ❖ Frekvenčné delenie (FDM)
 - ❖ Časové delenie (TDM)

Viac okruhov cez jeden spoj

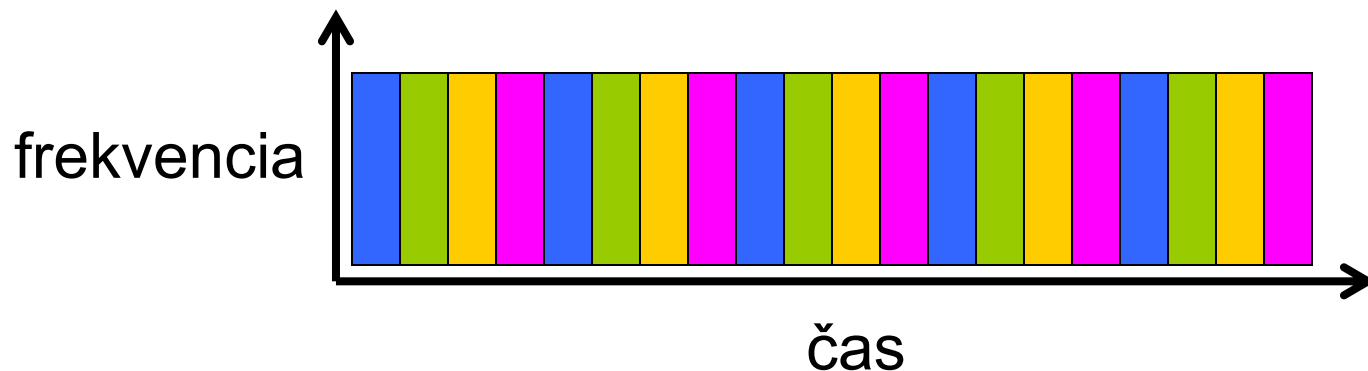
Príklad:

Frekvenčné delenie

4 používatelia    



Časové delenie



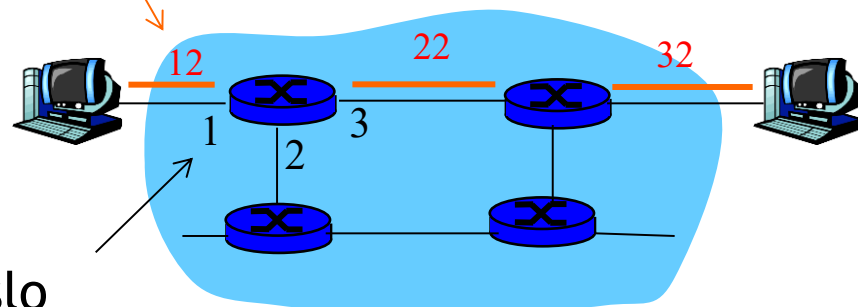
Virtuálne okruhy (spoje nedelíme)

Virtuálny okruh sa skladá z:

1. cesty od odosielateľa k príjemcovi
 2. čísiel okruhov: jedinečné číslo medzi každými dvoma uzlami na ceste
 3. záznamov v smerovacích tabuľkách smerovačov na ceste
- Paket cestuje celou šírkou pásma bez delenia
 - Paket virtuálneho okruhu má v hlavičke namiesto cieľovej adresy číslo okruhu
 - Číslo okruhu sa môže meniť na každom smerovači
 - nové číslo okruhu sa získa zo smerovacej tabuľky

Virtuálne okruhy: Smerovacia tabuľka

číslo okruhu



číslo
rozhrania

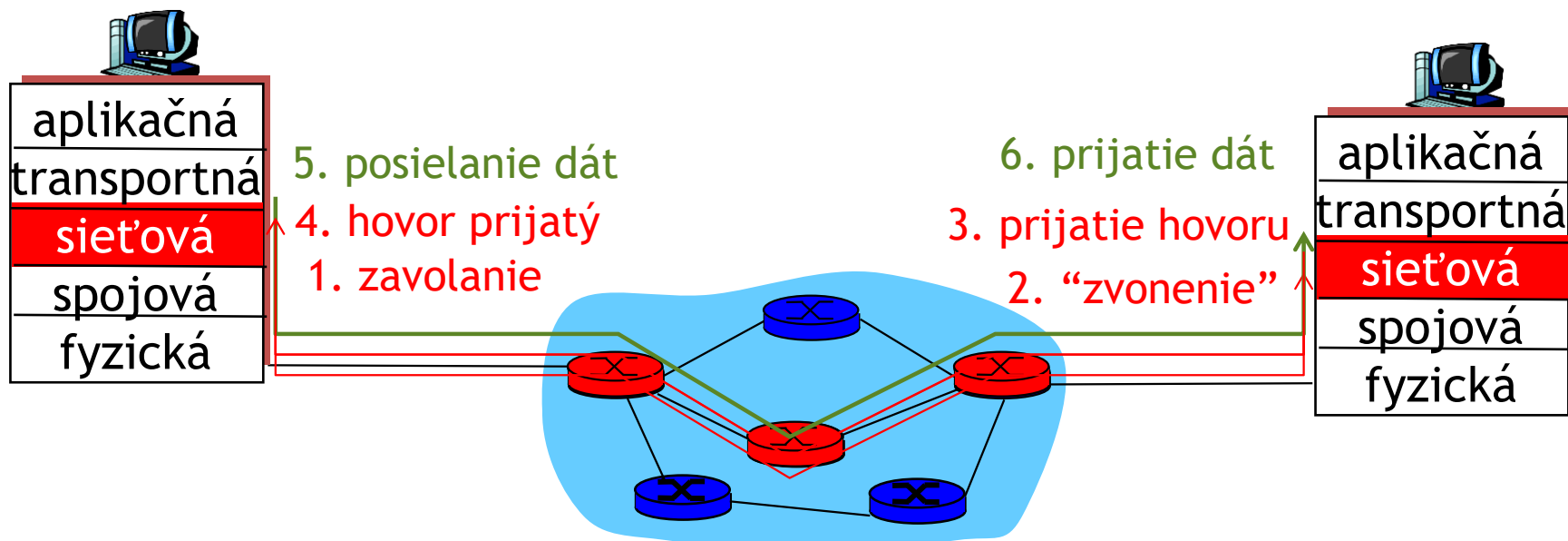
smerovacia tabuľka
ľavého horného routra:

prich. rozhranie	prich. č. okruhu	odch. rozhranie	odch. č. okruhu
1	12	3	22
2	63	1	18
3	7	2	17
1	97	3	87
	...	...	...

Smerovače si uchovávajú stav spojení!

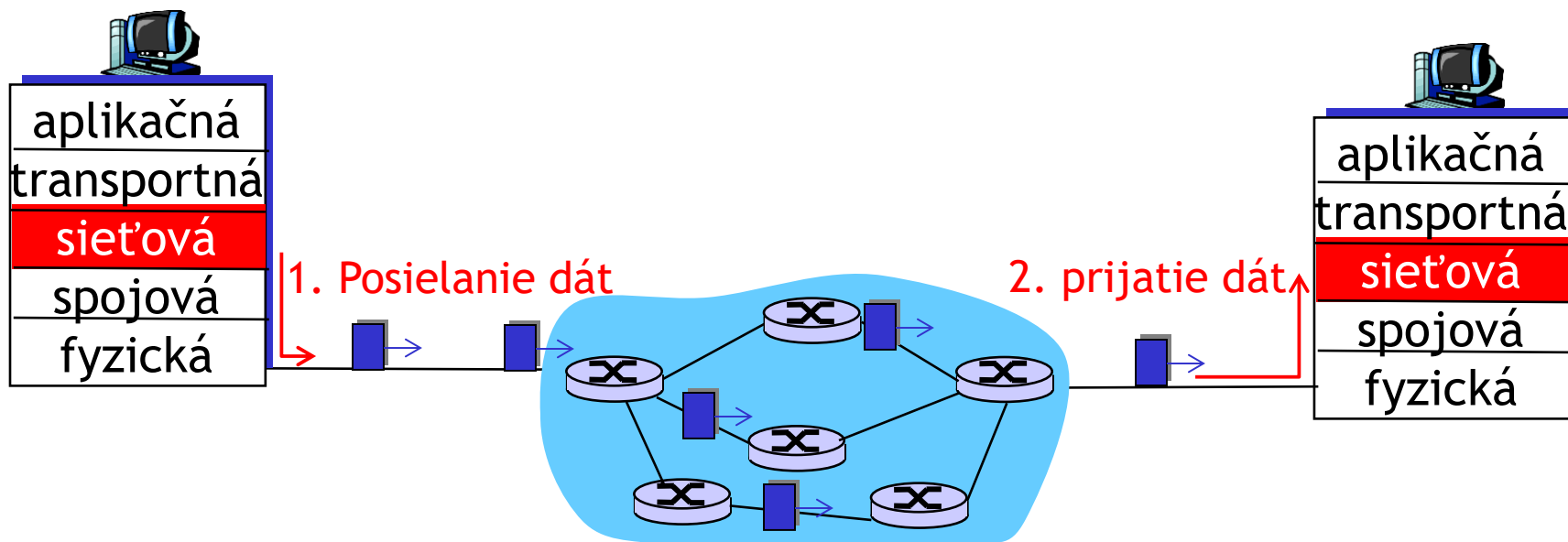
Virtuálne okruhy: signálne protokoly

- používajú sa na nastavenie okruhu
- používané v ATM, frame-relay, X.25



Sieť riadená paketmi

- ❑ žiadna inicializácia spojenia na sieťovej vrstve
- ❑ smerovače: žiadne stavy spojení
- ❖ neexistuje koncept spojenia na sieťovej vrstve
- ❑ pakety sú smerované na základe cieľovej adresy
- ❖ pakety tej istej komunikácie môžu dôjsť do cieľa rôznymi cestami



Riadenie paketmi alebo okruhmi?

Internet (pakety)

- ❑ výmena dát medzi počítačmi
 - ❖ prispôsobivé služby, čas doručenia nehrá hlavnú rolu
- ❑ “múdre” koncové zariadenia (počítače)
 - ❖ prispôsobivé, kontrola výkonu, zotavenie sa z chýb
 - ❖ jednoduché jadro siete, zložitosť prenechaná koncovým zariadeniam
- ❑ mnoho typov pripojení
 - ❖ rôzne vlastnosti a schopnosti
 - ❖ univerzálne služby by boli zložité

Okruhy a virtuálne okruhy

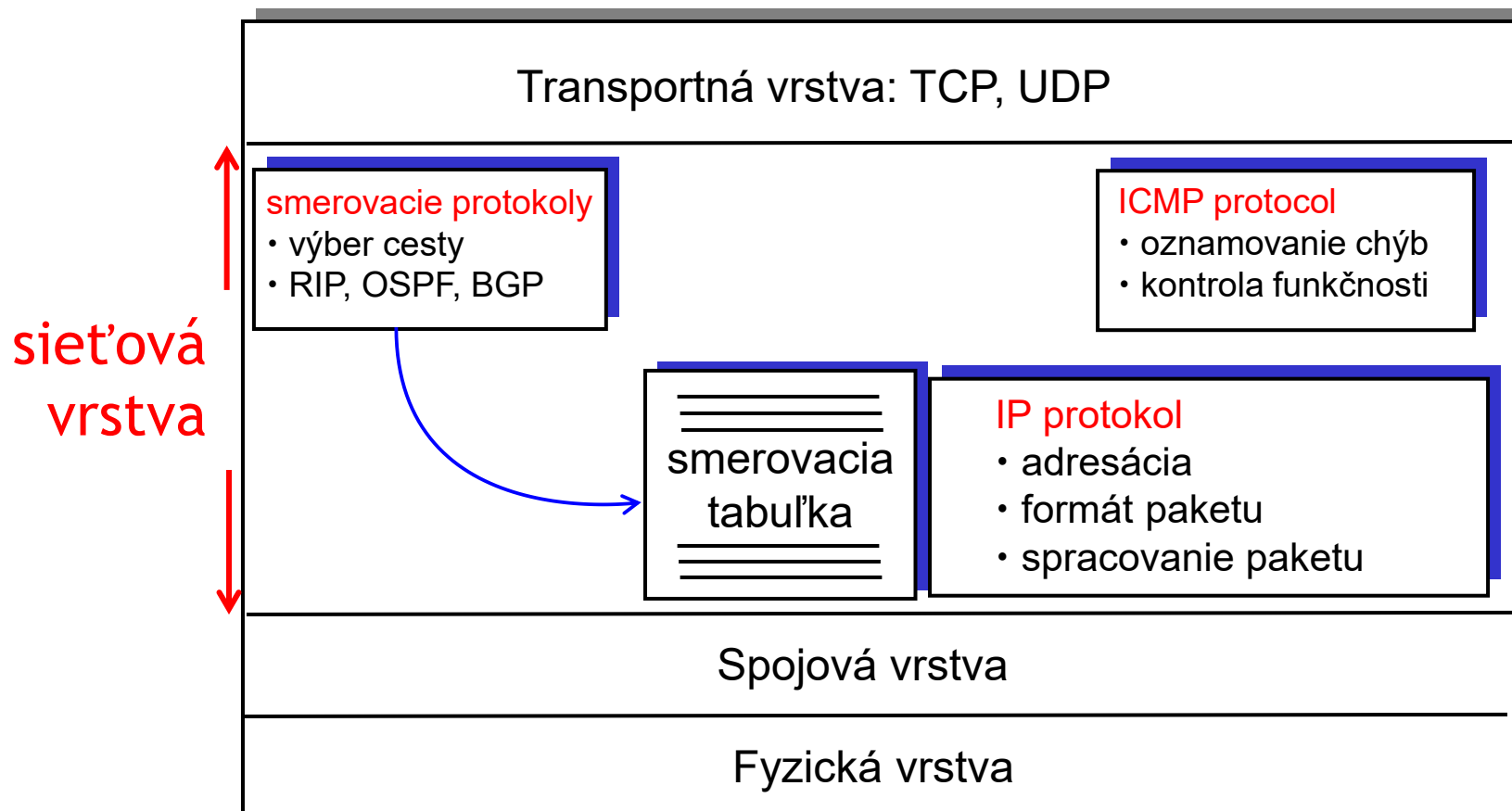
- ❑ vyvinuté na telefonovanie
- ❑ komunikácia medzi ľuďmi:
 - ❖ čas doručenia a spoľahlivosť sú dôležité
 - ❖ potreba garancie kvality pripojenia
- ❑ “hlúpe” koncové zariadenia
 - ❖ napr. vytáčacie telefóny
 - ❖ zložitosť v jadre siete

Prehľad prednášky

- ❑ Čo sa skrýva v smerovačoch
- ❑ Virtuálne okruhy a sieť riadená paketmi
- ❑ **IPv4: Internet Protocol**
 - ❖ Hlavička IPv4 paketu
 - ❖ Fragmentácia a defragmentácia
 - ❖ adresácia IPv4
- ❑ Smerovacia tabuľka
- ❑ Aplikačný protokol DHCP

Sieťová vrstva internetu

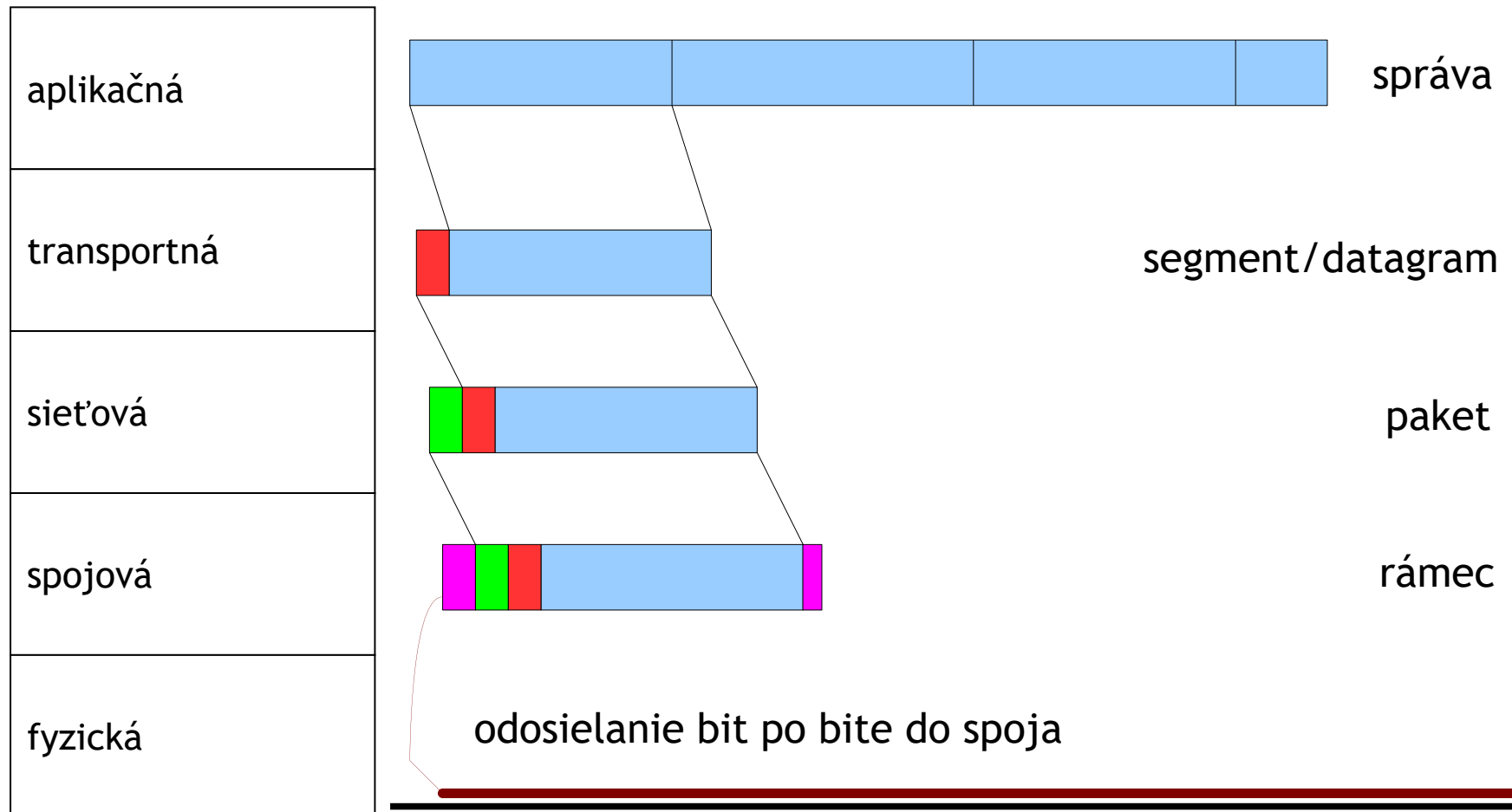
funkcie sieťovej vrstvy (stanice, smerovače):



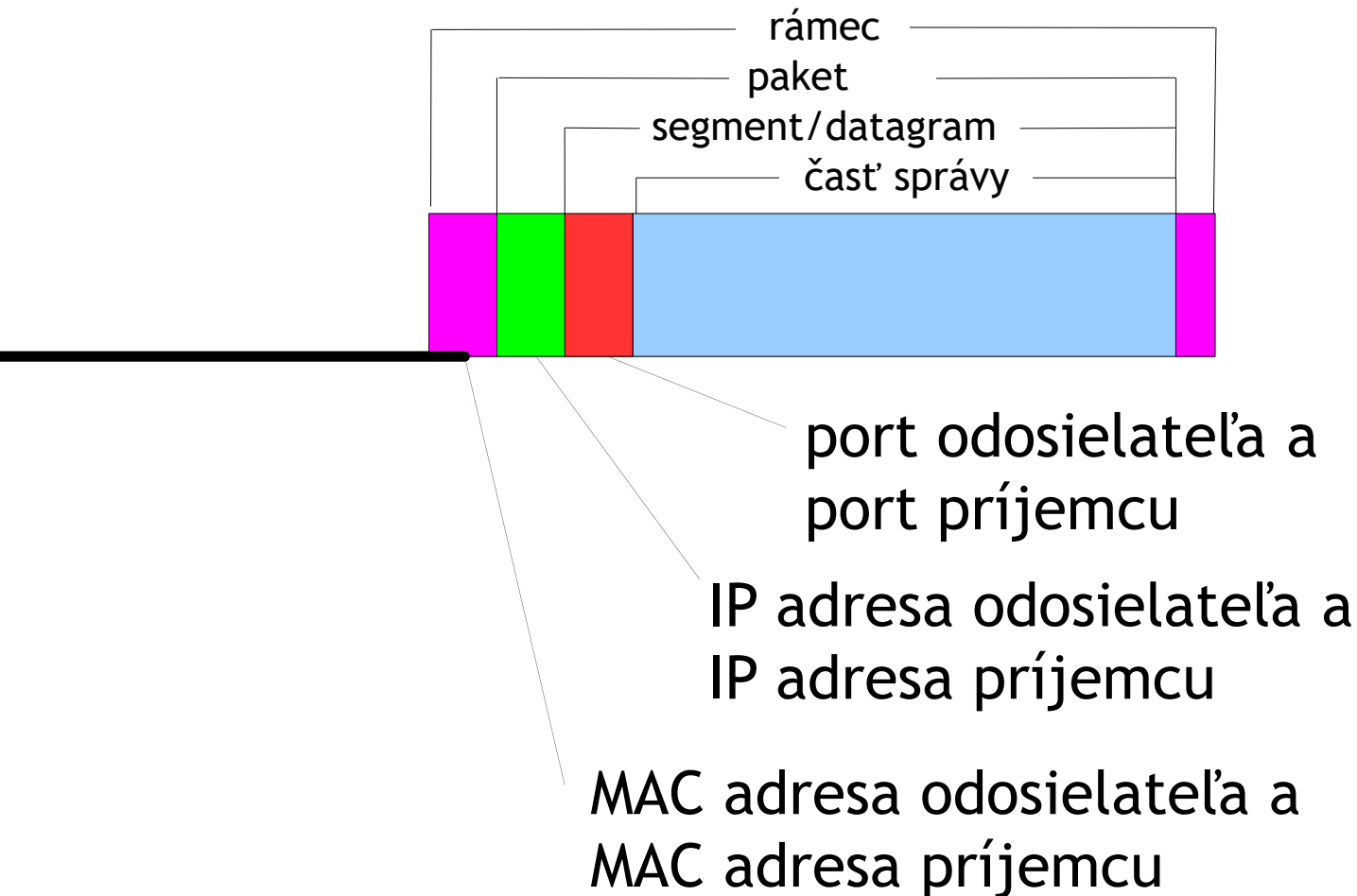
Prehľad prednášky

- ❑ Čo sa skrýva v smerovačoch
- ❑ Virtuálne okruhy a sieť riadená paketmi
- ❑ IPv4: Internet Protocol
 - ❖ Hlavička IPv4 paketu
 - ❖ Fragmentácia a defragmentácia
 - ❖ adresácia IPv4
- ❑ Smerovacia tabuľka
- ❑ Aplikačný protokol DHCP

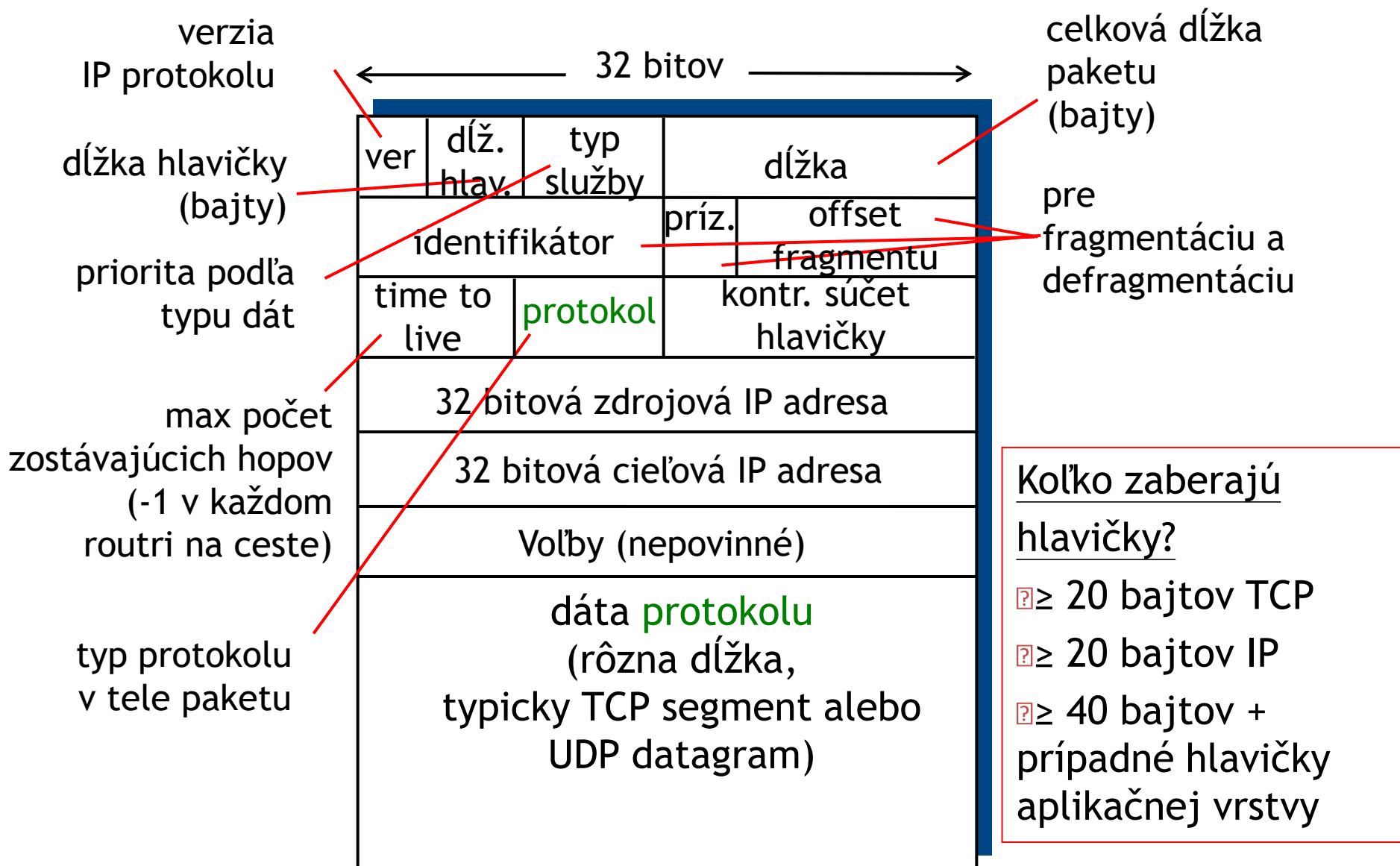
Tvorba rámca



Adresovacie údaje v hlavičkách



Formát IPv4 paketu



Prehľad prednášky

- ❑ Čo sa skrýva v smerovačoch
- ❑ Virtuálne okruhy a sieť riadená paketmi
- ❑ IPv4: Internet Protocol
 - ❖ Hlavička IPv4 paketu
 - ❖ Fragmentácia a defragmentácia
 - ❖ adresácia IPv4
- ❑ Smerovacia tabuľka
- ❑ Aplikačný protokol DHCP

IP fragmentácia a defragmentácia

❑ rôzne typy spojení majú rôznu hodnotu MTU (max.transfer unit) - najväčšia možná veľkosť IP paketu

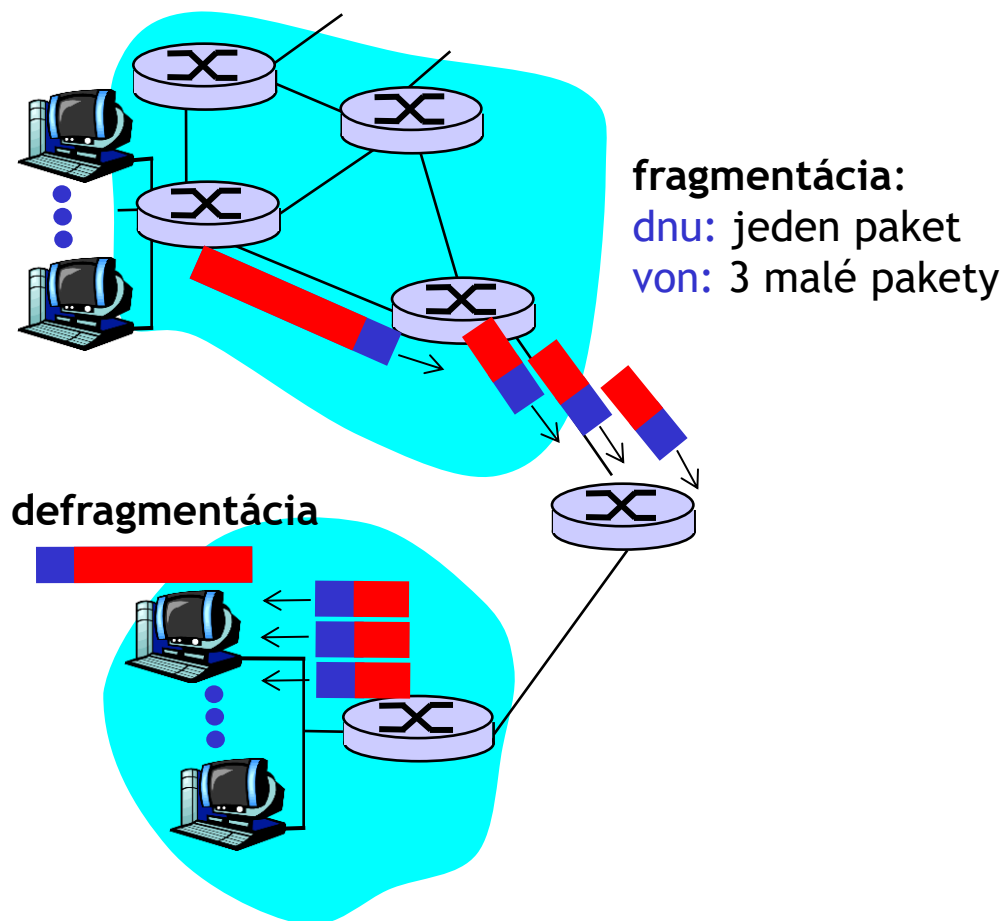
❖ rôzne typy spojení majú rôznu hodnotu MTU

❑ veľké IP pakety musia byť niekedy rozdelené (“fragmentované”) na menšie

❖ z jedného paketu sa stane viac

❖ defragmentácia iba u príjemcu

❖ v IP hlavičke podpora pre fragmentáciu



IP fragmentácia a defragmentácia

Príklad:

❑ prišiel 4000 bajtový paket

❑ hodnota výstupného MTU = 1500 bajtov

1480 bajtov v tele paketu

offset =
 $1480/8$

	length =4000	ID =x	fragflag =0	offset =0	
--	-----------------	----------	----------------	--------------	--

	length =1500	ID =x	fragflag =1	offset =0	
--	-----------------	----------	----------------	--------------	--

	length =1500	ID =x	fragflag =1	offset =185	
--	-----------------	----------	----------------	----------------	--

	length =1040	ID =x	fragflag =0	offset =370	
--	-----------------	----------	----------------	----------------	--

Prehľad prednášky

- ❑ Čo sa skrýva v smerovačoch
- ❑ Virtuálne okruhy a sieť riadená paketmi
- ❑ IPv4: Internet Protocol
 - ❖ Hlavička IPv4 paketu
 - ❖ Fragmentácia a defragmentácia
 - ❖ **adresácia IPv4**
- ❑ Smerovacia tabuľka
- ❑ Aplikačný protokol DHCP

IP adresácia: úvod

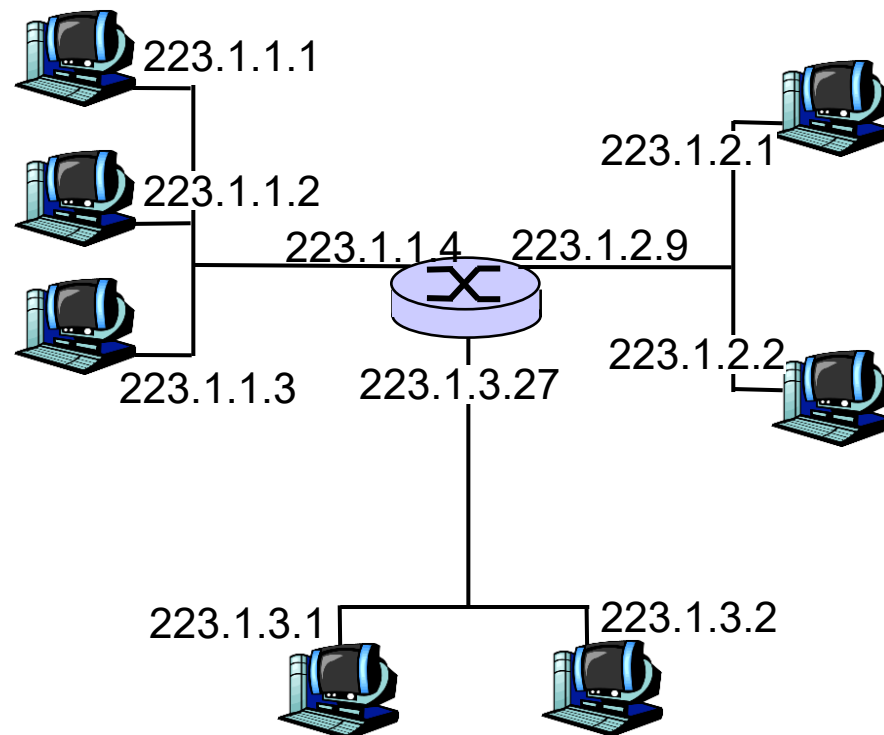
❑ **IPv4 adresa:** 32-bitový identifikátor koncovej stanice alebo rozhrania smerovača (routra)

❑ **rozhranie:** logická časť smerovača alebo stanice typicky priradená jednému fyzickému pripojeniu

❖ smerovače majú obvykle mnoho rozhraní

❖ koncová stanica má typicky jedno aktívne rozhranie

❖ s každým rozhraním je asociovaná jedna IP adresa



223.1.1.1 = $\underbrace{11011111}_{223} \underbrace{00000001}_1 \underbrace{00000001}_1 \underbrace{00000001}_1$

Siete

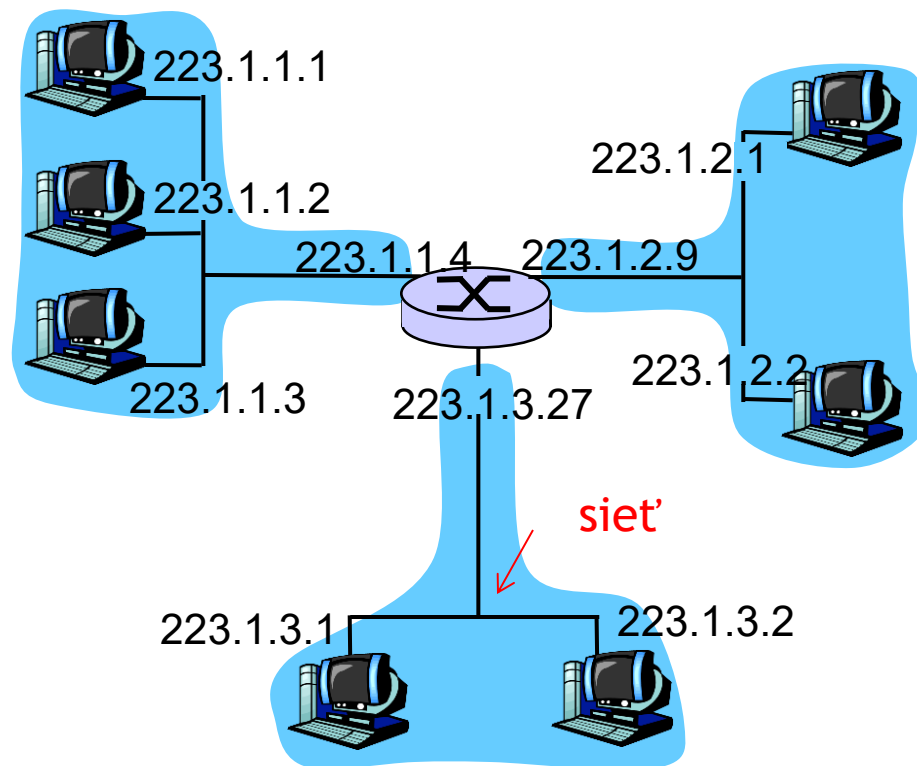
□ IP adresa:

❖ každé rozhranie má svoju

□ Siet'

❖ rozhrania s rovnakou adresou siete (siet'ová časť adresy je rovnaká)

❖ zariadenia sú medzi sebou fyzicky prepojené bez smerovača

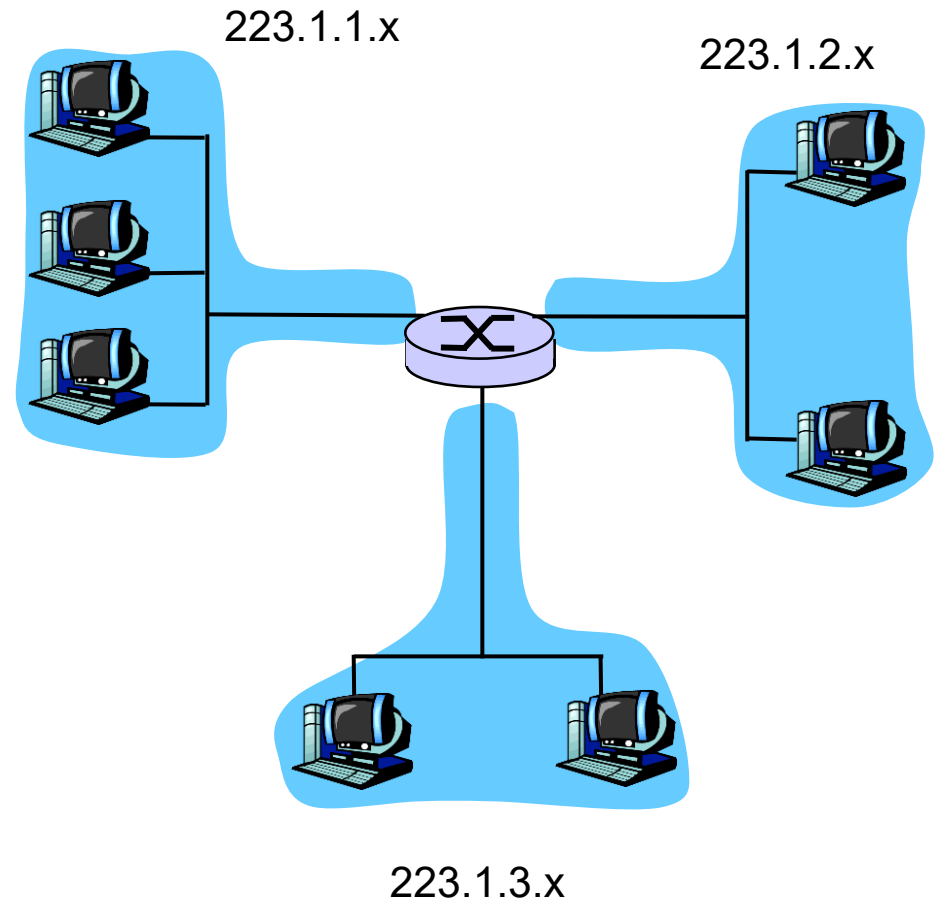


3 siete prepojené smerovačom

Siete

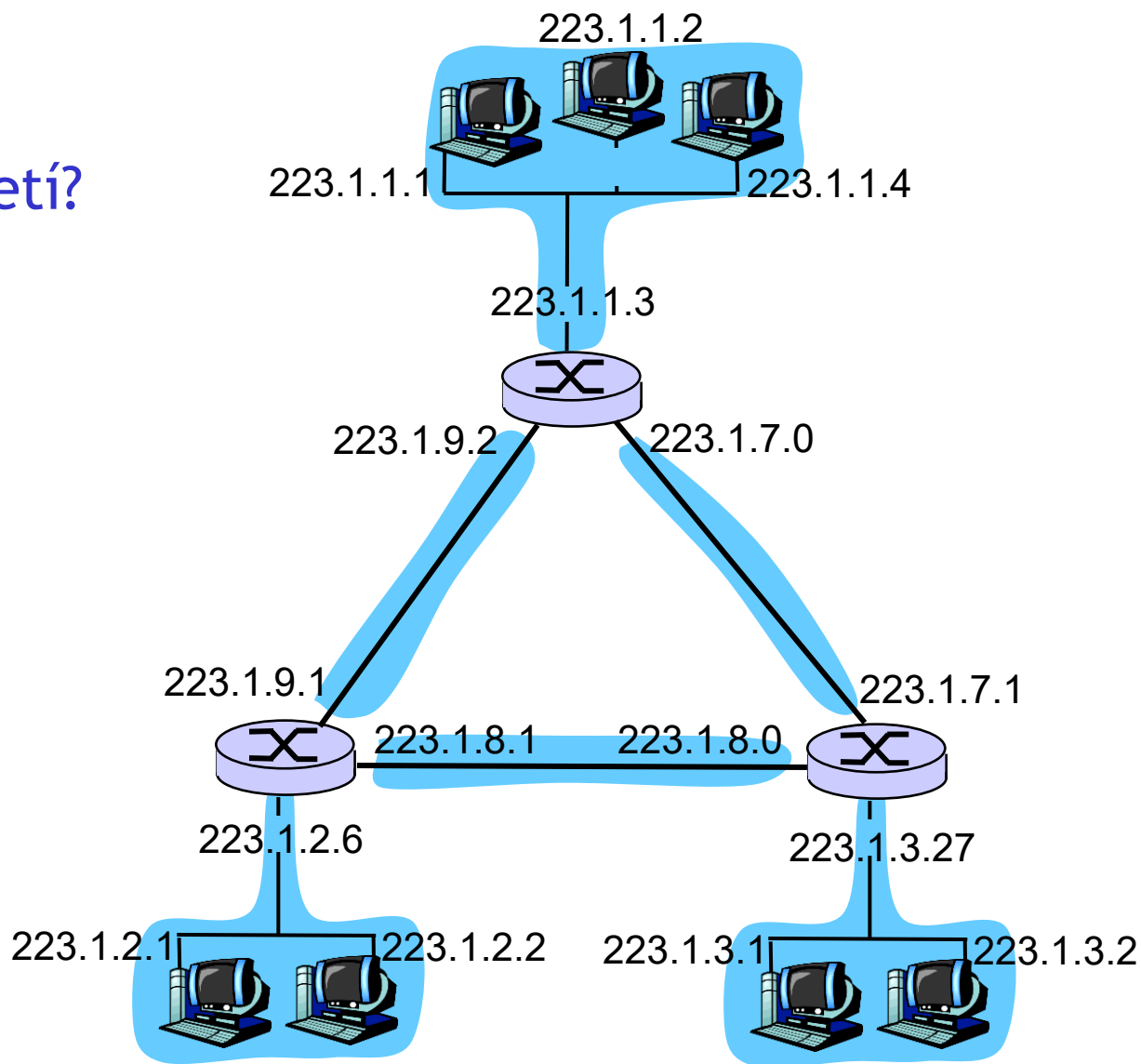
pomôcka:

- ❑ na zistenie toho, čo všetko je v jednej sieti, odpoj všetky rozhrania smerovačov
- ❑ ostanú “ostrovy” prepojených (a navzájom v pohode komunikujúcich) staníc
- ❑ každý “ostrov” predstavuje sieť



Siete

Kolko tu máme sietí?



IPv4 adresy

Pôvodné delenie IPv4 adres (organizácia IANA):

triedy IPv4 adres:

sieť

stanice

trieda

A	0xxx xxxx	xxxx xxxx	xxxx xxxx	xxxx xxxx	1.0.0.0 až 127.255.255.255
B	10xx xxxx	xxxx xxxx	xxxx xxxx	xxxx xxxx	128.0.0.0 až 191.255.255.255
C	110x xxxx	xxxx xxxx	xxxx xxxx	xxxx xxxx	192.0.0.0 až 223.255.255.255
D	1110 xxxx	xxxx xxxx	xxxx xxxx	xxxx xxxx	224.0.0.0 až 239.255.255.255

← 32 bitov →

D: multicast

Jemnejšia IPv4 adresácia: CIDR

CIDR: Classless Inter-Domain Routing

❖ ľubovoľne dlhá úvodná časť IP adresy môže tvoriť sieťovú časť

❖ úplná adresa: **a.b.c.d/x**, kde x je počet bitov, ktoré predstavujú sieťovú časť

←————— sieťová časť —————→ ←———— stanica siete —————→
adresa: 11001000 00010111 00010000 00000101

200.23.16.5/23

maska: 11111111 11111111 11111110 00000000

255.255.254.0

Špeciálne IPv4 adresy

□ $\underbrace{\text{xxx} \dots \text{x}}_m \text{000} \dots \text{0} / m$ - adresa siete

□ $\underbrace{\text{xxx} \dots \text{x}}_m \text{111} \dots \text{1} / m$ - broadcast (obežník) siete

□ $\text{0.0.0.0} / 32$ - moja adresa v lokálnej sieti

□ 255.255.255.255 - broadcast lokálnej siete

□ $\text{127.0.0.0} / 8$ - loopback, (127.0.0.1 = localhost)

□ $\text{10.0.0.0} / 8$, $\text{172.16.0.0} / 12$, $\text{192.168.0.0} / 16$ -
privátne siete

Výpočet adresy siete

adresa 200.23.16.5/23
stanice: 11001000 00010111 00010000 00000101

logický AND

maska: 11111111 11111111 11111110 00000000

adresa 11001000 00010111 00010000 00000000
siete: 200.23.16.0/23

Výpočet broadcastovej adresy siete

adresa
stanice: 200.23.16.5/23
11001000 00010111 00010000 00000101

invertovaná
maska: logický OR
00000000 00000000 00000001 11111111

broadcast
siete: 11001000 00010111 00010001 11111111
200.23.17.255/23

Výpočet broadcastovej adresy siete

adresa
stanice: 200.23.16.5/23
11001000 00010111 00010000 00000101

invertovaná
maska: logický OR
00000000 00000000 00000001 11111111

broadcast
siete: 11001000 00010111 00010001 11111111
200.23.17.255/23

Pozor! 200.23.17.0/23 je adresa stanice, nie siete

Vyskúšajte si

❑ Windows: ipconfig /all

❖ MAC adresa (spojová vrstva), IP adresa, maska, default gateway, default DNS server, (DHCP server a dĺžka platnosti)

❑ Unix: ifconfig

❖ MAC adresa, IP adresa, broadcastová adresa, maska

❖ MTU = maximal transfer unit

Prehľad prednášky

- ❑ Čo sa skrýva v smerovačoch

- ❑ Virtuálne okruhy a sieť riadená paketmi

- ❑ IPv4: Internet Protocol

 - ❖ Hlavička IPv4 paketu

 - ❖ Fragmentácia a defragmentácia

 - ❖ adresácia IPv4

- ❑ Smerovacia tabuľka

- ❑ Aplikačný protokol DHCP

Smerovacia tabuľka

4 miliardy
možných cieľov

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

cieľ od	cieľ do	rozh.
11001000 00010111 00011000 00000000	11001000 00010111 00011000 11111111	1
11001000 00010111 00010000 00000000	11001000 00010111 00010111 11111111	3
11001000 00010111 00011000 00000000	11001000 00010111 00011111 11111111	2
00000000 00000000 00000000 00000000	11111111 11111111 11111111 11111111	3

Kam pôjdu?:

11001000 00010111 00010110 10100001

11001000 00010111 00011000 10101010

Smerovacia tabuľka

4 miliardy
možných cieľov

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

najdlhší prefix

cieľ od	cieľ do	roz.
11001000 00010111 00011000 00000000	11001000 00010111 00011000 11111111	1
11001000 00010111 00010000 00000000	11001000 00010111 00010111 11111111	3
11001000 00010111 00011000 00000000	11001000 00010111 00011111 11111111	2
00000000 00000000 00000000 00000000	11111111 11111111 11111111 11111111	3

Kam pôjdu?:

11001000 00010111 00010110 10100001

11001000 00010111 00011000 10101010

Smerovacia tabuľka

- ❑ smerovaciu tabuľku má aj každá stanica
- ❑ vyskúšajte si:
 - ❖ Unix: **route -n** alebo **netstat -r**
 - ❖ Windows: **route PRINT** alebo **netstat -r**

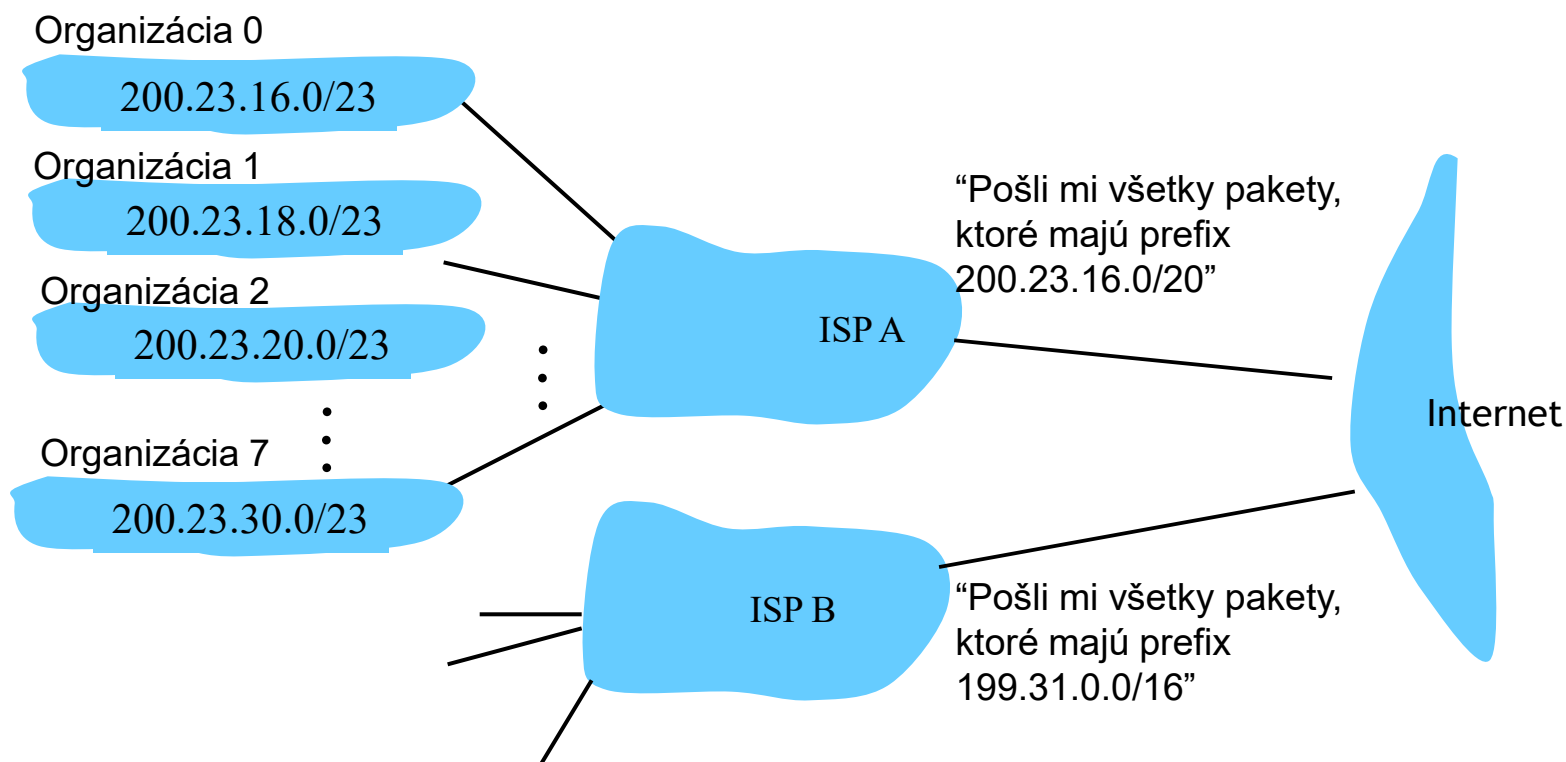
IP adresy: kto mi ich dá?

- ❑ ISP má pridelenú sieť s relatívne malým počtom jednotiek v maske
- ❑ vyrába podsiete zákazníkov, napríklad:

sieť ISP	<u>11001000</u>	<u>00010111</u>	<u>00010000</u>	00000000	200.23.16.0/20
Organizácia 0	<u>11001000</u>	<u>00010111</u>	<u>00010000</u>	00000000	200.23.16.0/23
Organizácia 1	<u>11001000</u>	<u>00010111</u>	<u>00010010</u>	00000000	200.23.18.0/23
Organizácia 2	<u>11001000</u>	<u>00010111</u>	<u>00010100</u>	00000000	200.23.20.0/23
...					
Organizácia 7	<u>11001000</u>	<u>00010111</u>	<u>00011110</u>	00000000	200.23.30.0/23

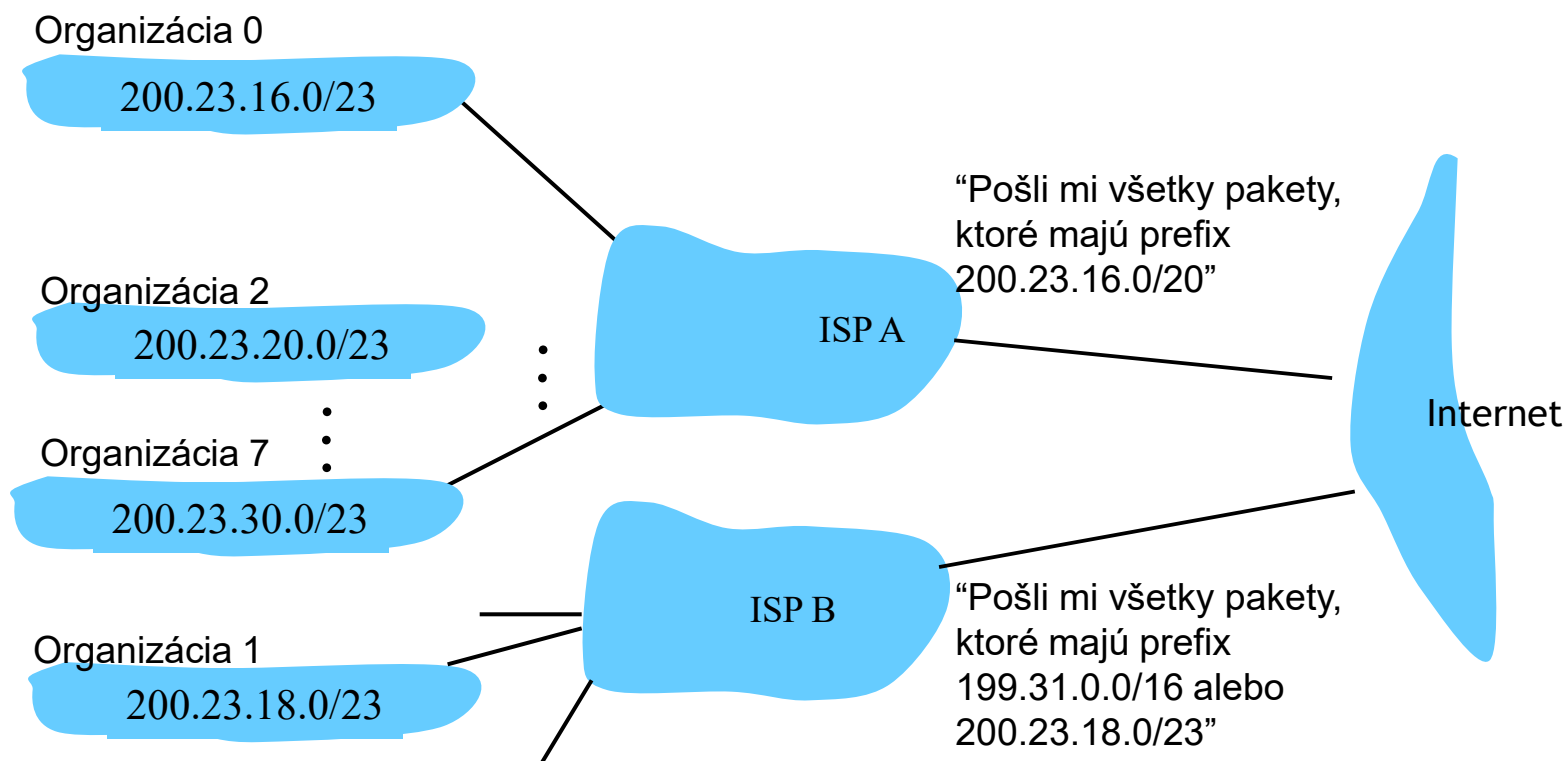
Adresovanie prefixom

□ stačí menej záznamov v smerovacej tabuľke



Adresovanie prefixom

- ❑ keď Organizácia 1 zmení providera, nemusí meniť IP adresy
- ❑ využijeme princíp dlhšieho prefixu



Pridelovanie IP adries providerom

- organizácia IANA

- v Eurázii RIPE

- vyskúšajte si:

- ❖ whois 158.197.0.0

- ❖ <https://apps.db.ripe.net/db-web-ui/query>

Delíme vlastnú sieť na podsiete

❑ Máme pridelenú sieť 200.23.16.0/23, na koľko nezávislých podsietí ju vieme rozdeliť?

počet 1 v maske	počet sietí	max. počet staníc v 1 sieti	max. počet pripojených staníc
23	1	510	510
24	2	254	508
25	4	126	504
26	8	62	496
27	16	30	480
28	32	14	448
29	64	6	384
30	128	2	256

Prehľad prednášky

- ❑ Čo sa skrýva v smerovačoch
- ❑ Virtuálne okruhy a sieť riadená paketmi
- ❑ IPv4: Internet Protocol
 - ❖ Hlavička IPv4 paketu
 - ❖ Fragmentácia a defragmentácia
 - ❖ adresácia IPv4
- ❑ Smerovacia tabuľka
- ❑ Aplikačný protokol DHCP

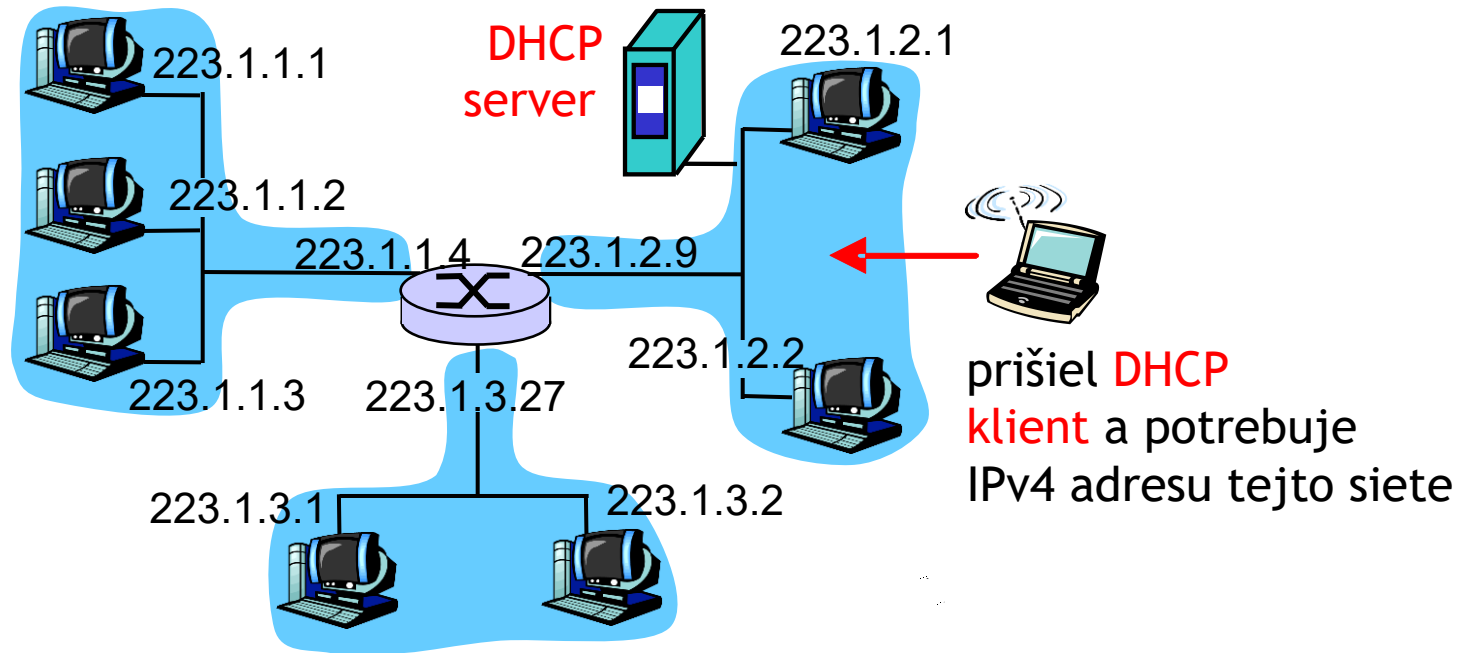
Ako nastaviť IPv4 adresu?

- ❑ nastavenie ručne (staticky) administrátorom
 - ❖ Windowsy: control-panel -> network -> configuration -> tcp/ip -> properties
 - ❖ UNIXy: ifconfig, alebo NetworkManager, alebo zmena konfiguračných súborov, ...
- ❑ **DHCP**: **D**ynamic **H**ost **C**onfiguration **P**rotocol:
dynamické pridelenie adres DHCP serverom
 - ❖ “plug-and-play”

DHCP: Dynamic Host Configuration Protocol

- ❑ **Ciel'**: umožniť stanici získať *dynamic*ky IPv4 adresu z DHCP servera v sieti okamžite po tom, ako sa stanica fyzicky pripojí do siete
- ❖ Stanica môže požiadať o obnovenie prenajatej (lease) adresy, ktorú používala predtým, alebo ktorú práve používa a končí jej platnosť
- ❖ Jedna IPv4 adresa môže byť pridelovaná viacerým staniciam, pokiaľ sa prvá odpojila a prišla iná
 - viac používateľov pre malý počet voľných IPv4 adries
- ❖ Ideálne pre mobilných používateľov
- ❑ **Aplikačný protokol** nad transportným protokolom UDP

DHCP scenár



DHCP komunikácia

DHCP server: 223.1.2.5

DHCP discover

src : 0.0.0.0, 68
Dest.: 255.255.255.255:67
REQiaddr: 0.0.0.0
transaction ID: 654

DHCP klient



DHCP offer

src: 223.1.2.5, 67
Dest: 255.255.255.255:68
YOURiaddr: 223.1.2.4
transaction ID: 654
Lifetime: 3600 secs

neposiela ak
žiada o
obnovenie

DHCP request

src: 0.0.0.0, 68
Dest.: 255.255.255.255:67
REQiaddr: 223.1.2.4
transaction ID: 655
Lifetime: 3600 secs

čas

DHCP ACK

src: 223.1.2.5, 67
Dest: 255.255.255.255:68
YOURiaddr: 223.1.2.4
transaction ID: 655
Lifetime: 3600 secs

DHCP server poskytnie

- ❑ IPv4 adresu
- ❑ masku
- ❑ default router
- ❑ default DNS servery
- ❑ dĺžku platnosti (lease time)

- ❑ Operačný systém si z prvých 3 údajov zostaví smerovaciu tabuľku

Príklad vytvorenia smerovacej tabuľky

- ❑ IPv4 adresa 10.20.30.40
- ❑ maska 255.255.255.0
- ❑ default router 10.20.30.1

- ❑ Vytvorená tabuľka:

cieľ	maska	brána	rozhranie
10.20.30.0	255.255.255.0 (24)	0.0.0.0	10.20.30.40
0.0.0.0	0.0.0.0 (0)	10.20.30.1	10.20.30.40

Zhrnutie

- ❑ Čo sa skrýva v smerovačoch
- ❑ Virtuálne okruhy a sieť riadená paketmi
- ❑ IPv4: Internet Protocol
 - ❖ Hlavička IPv4 paketu
 - ❖ Fragmentácia a defragmentácia
 - ❖ adresácia IPv4

- ❑ Smerovacia tabuľka
- ❑ Aplikačný protokol DHCP

Ďakujem za pozornosť

Modifikované slajdy z knihy:

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

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