



VYSOKÉ UČENÍ FAKULTA
TECHNICKÉ INFORMAČNÍCH
V BRNĚ TECHNOLOGIÍ



8

Linková vrstva

IPK2020L

Obsah

1) ÚVODNÍ INFORMACE

- Motivace
- Detekce a oprava chyb

2) MEDIA ACCESS CONTROL

- Řízení přístupu k sdílenému médiu

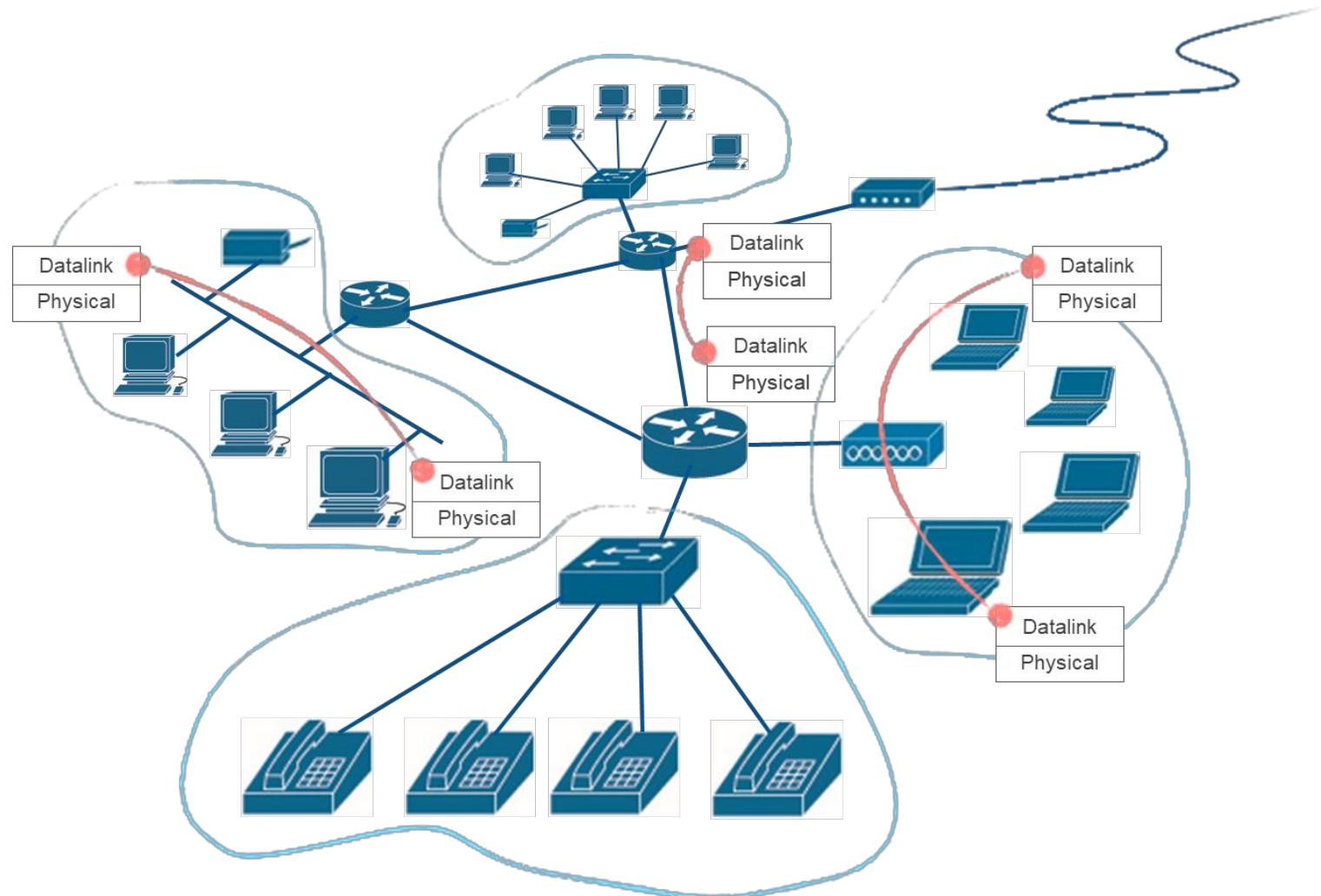
3) ETHERNET

- Adresování
- ARP
- Aktivní síťové prvky

4) VIRTUÁLNÍ LAN SÍTĚ

5) STP

Linková vrstva



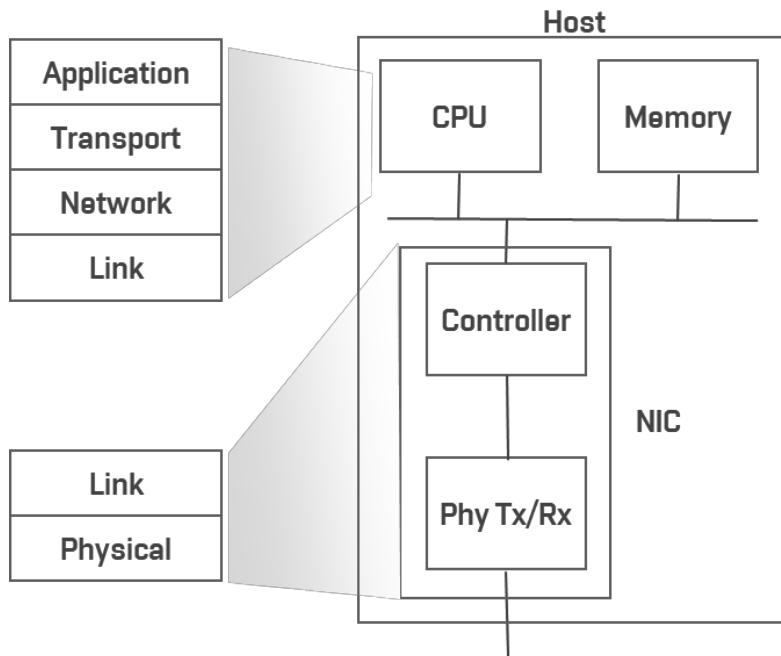
Motivace

- Linková vrstva doručuje rámce linkové vrstvy mezi sousedními počítači v lokální síti – na jedné lince
 - Rámec linkové vrstvy zapouzdřuje pakety datagram síťové vrstvy
 - Adresování na linkové vrstvě
- Různé technologie LAN sítí
 - podle řízení vícenásobného přístupu
 - přenosové médium může být řízené (koaxiální kabel, dvoulinka, optika) nebo neřízené (vzduch)
 - polo-duplexní (half-duplex) nebo plně-duplexní (full-duplex) přenos
- Umožňuje detekci chyby při přenosu
- Technologie řízení linkové vrstvy často implementována v síťovém adaptéru (NIC – Network Interface Card)

Služby Linkové vrstvy

- Přístup k médiu
 - Zabalení dat do rámců
 - Přístup ke sdílenému médiu
 - Adresování
- Spolehlivé doručení mezi sousedními uzly a řízení toku
 - Záleží na technologii (FrameRelay ano, Ethernet ne)
 - Proměnná rychlosť přenosu
- Detekce chyb
 - Chyby způsobené útlumem, rušením
- Oprava chyb
 - Není nutné znova přenášet poškozený rámec

Síťový adaptér

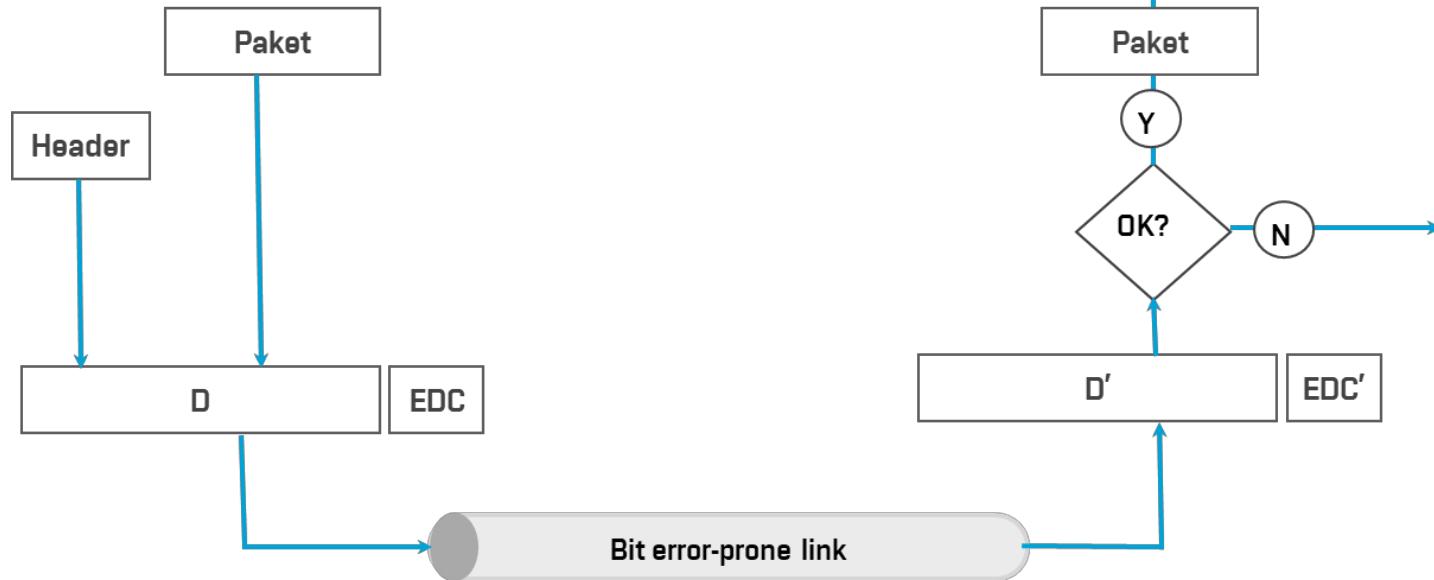


- většina funkcí implementována v HW
- v SW je realizováno vytváření rámců, adresování, komunikace s NIC kontrolérem
- optimalizace - více funkcí do HW (porušení vrstvení)

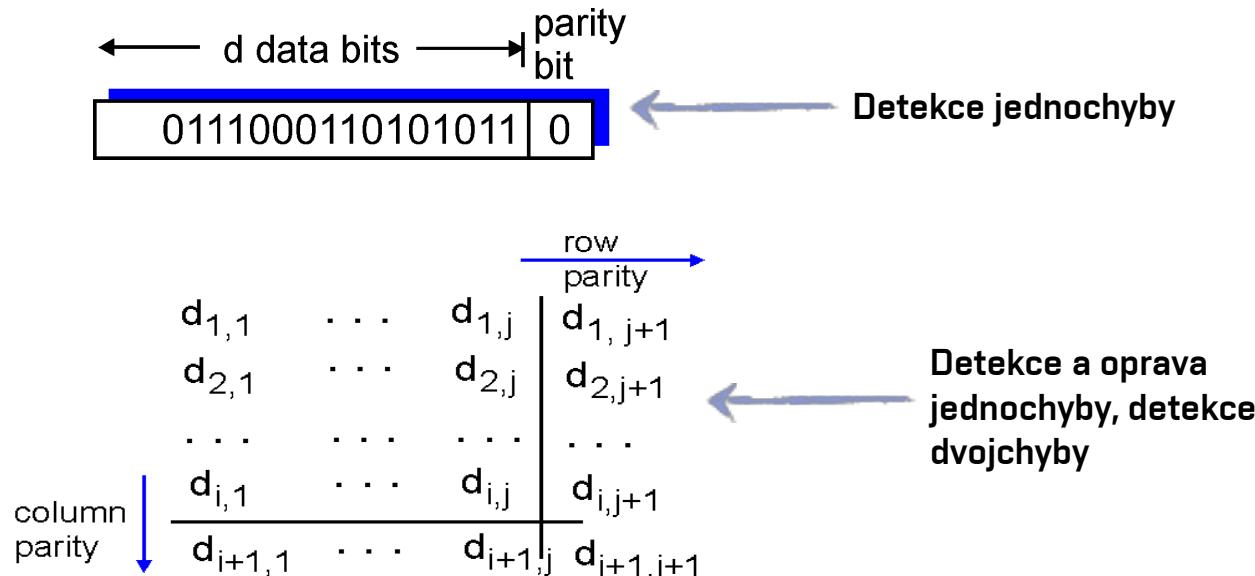


Detekce a oprava

- Při přenosu může dojít k chybě (útlum signálu, šum, interference, odraz)
- Detekce chyby
 - možnost oznámit chybu a data odesílatel odešle znovu nebo se pouze chybný rámec zahodí
- Oprava chyby
 - pokud umožňuje použitý kód opravu (v běžných LAN technologiích se nerealizuje), bez nutnosti vyslat chybný rámec znovu
- Nedetekované chyby



Parita



101011	101011
111100	101100 parity error
011101	011101
<u>101010</u>	101010
<i>no errors</i>	parity error

correctable single bit error

Forward error correction (FEC)

Hammingova vzdálenost je nejmenší počet pozic, na kterých se řetězce stejně délky daného kódu liší, neboli počet záměn, které je potřeba provést pro změnu jednoho z řetězců na druhý.

https://en.wikipedia.org/wiki/Hamming_distance

1010101010
1100110010



IPv4 Checksum

- 1) Datové oktety jsou sdruženy do 16-ti bitových slov, a jejich suma v jedničkovém doplňku je vypočtena.
- 2) Jedničkový doplněk tohoto součtu je uložen do checksum políčka paketu.
- 3) Při kontrole je vypočtena suma jedničkového doplňku pro všechny pole, je-li výsledek Oxffff, pak je v pořádku.

- Obvykle se používá dvojkový doplněk pro reprezentaci čísel
- Pro součet v jedničkové doplňku je nutné zahrnout přenos z MSB do LSB

	Byte-by-byte	"Normal" Order	Swapped Order
Byte 0/1:	00 01	0001	0100
Byte 2/3:	f2 03	f203	03f2
Byte 4/5:	f4 f5	f4f5	f5f4
Byte 6/7:	f6 f7	f6f7	f7f6
	---	----	-----
Sum1:	2dc 1f0	2ddf0	1f2dc
	dc f0	ddf0	f2dc
Carrys:	1 2	2	1
	-- --	----	-----
Sum2:	dd f2	ddf2	f2dd
	dd f2	ddf2	ddf2
Final Swap:	dd f2	ddf2	ddf2

IPv4 Checksum příklad

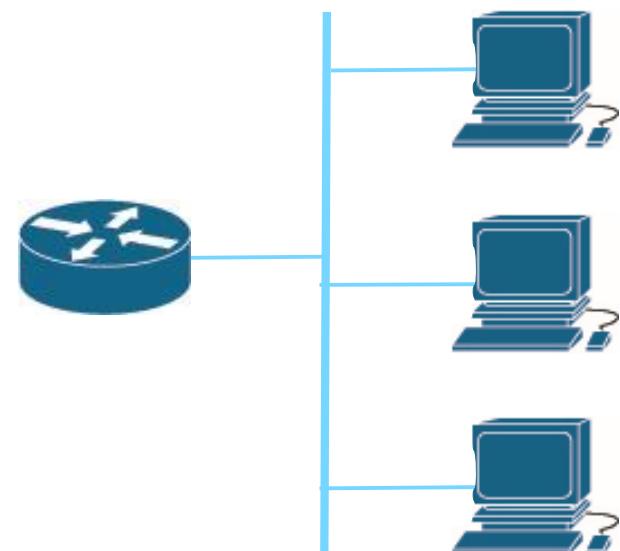
4	5	0	28			
1		0	0			
4	17	0		↑		
10.12.14.5						
12.6.7.9						
4, 5, and 0	→	4	5	0		
28	→	0	0	1 C		
1	→	0	0	0 1		
0 and 0	→	0	0	0 0		
4 and 17	→	0	4	1 1		
0	→	0	0	0 0		
10.12	→	0	A	0 C		
14.5	→	0	E	0 5		
12.6	→	0	C	0 6		
7.9	→	0	7	0 9		
Sum	→	7	4	4 E		
Checksum	→	8	B	B 1		

Cyclic Redundancy Check

- Teorie polynomiálních kódů
 - Generátor $G(x)$ (polynom) stupně $n + 1$
 - Zpráva $D(x)$ stupně d , délka zprávy d bitů
 - Zbytek po dělení $R(x)$ stupně n
- Snadná realizace pomocí posuvu a XOR
- Detekce všech shlukových chyb do délky r
- Použité u Ethernetu, HDLC, ATM, ISDN ...
- Standardizované generující polynomy pro CRC-8,12,16,32

Typy linek

- **Bod-bod (point-to-point)**
 - PPP protokol pro vytáčenou telefonní linku
 - přepínaný Ethernet mezi hostem s přepínačem
- **Multi-access**
 - funguje broadcast
 - tradiční (historický) Ethernet
 - 802.11 bezdrátové sítě
 - odchozí datový tok HFC (Hybrid Fiber-Coax)



Řízení multi-access přístupu

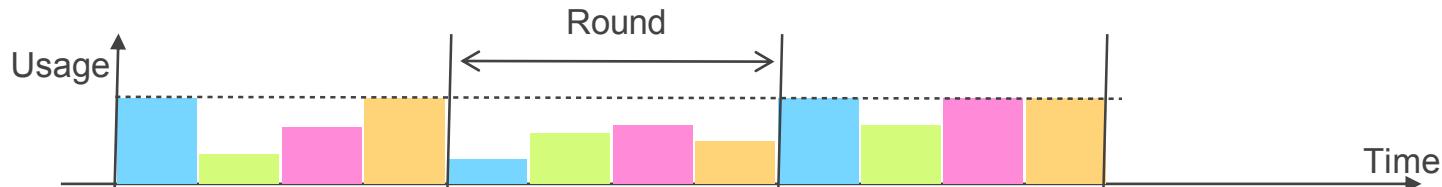
- *Máme*
 - Jeden sdílený přenosový kanál (médium)
 - Dva a více uzelů vysílající data ve stejném čase: interference
- *Chceme*
 - Férově rozdělit dostupnou kapacitu pro přenos...
 - ...kdy ovšem pouze jeden uzel může úspěšně přenést zprávu
- **Protokoly pro řízení vícenásobného přístupu**
 - Distribuovaný algoritmus určující jak uzly budou sdílet společný přenosový kanál, určit kdy uzel může vysílat data
 - Informace o řízení přístupu musí použít tento přenosový kanál (žádná komunikace jiným kanálem)
- Ideální protokol:
 - Plně decentralizovaný
 - Uzel může vysílat plnou rychlosť
 - Pokud M uzel požaduje přenos, každý bude komunikovat průměrnou rychlosť R/M (R – přenosová rychlosť)
 - Bez synchronizace hodin, časových slotů
 - Jednoduchý

Protokoly multi-access přístupu

- **Rozdělující přenosový kanál**
 - Rozdelení přenosového kanálu na menší části mezi uzly
 - TDMA, FDMA, CDMA
- **S náhodným přístupem**
 - Bez rozdělení, mohou vznikat kolize
 - Zotavení při vzniku kolize
 - ALOHA, CSMA, CSMA/CD, CSMA/CA
- **S koordinovaným přístupem**
 - Přesně koordinovaný přenos od uzelů, vyzvedání nebo předávání žetonu

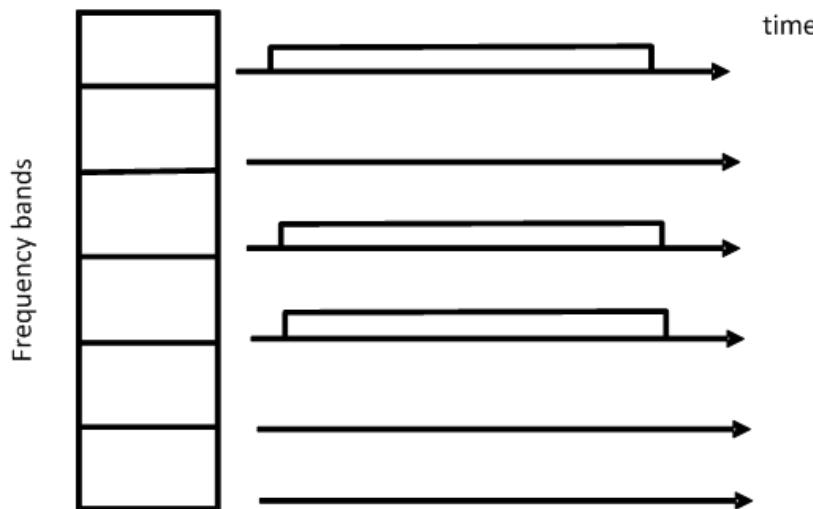
TDMA

- Time Division Multiple Access
- Jsou definovány intervaly (sloty), kdy může stanice přistupovat k médiu
- Intervaly se střídají v rámci kola
- Nevyužité časové sloty jsou prázdné
- Využití je nízké
 - počet obsazených/počet slotů celkem
- Vyšší zpoždění v případě dlouhého kola



FDMA

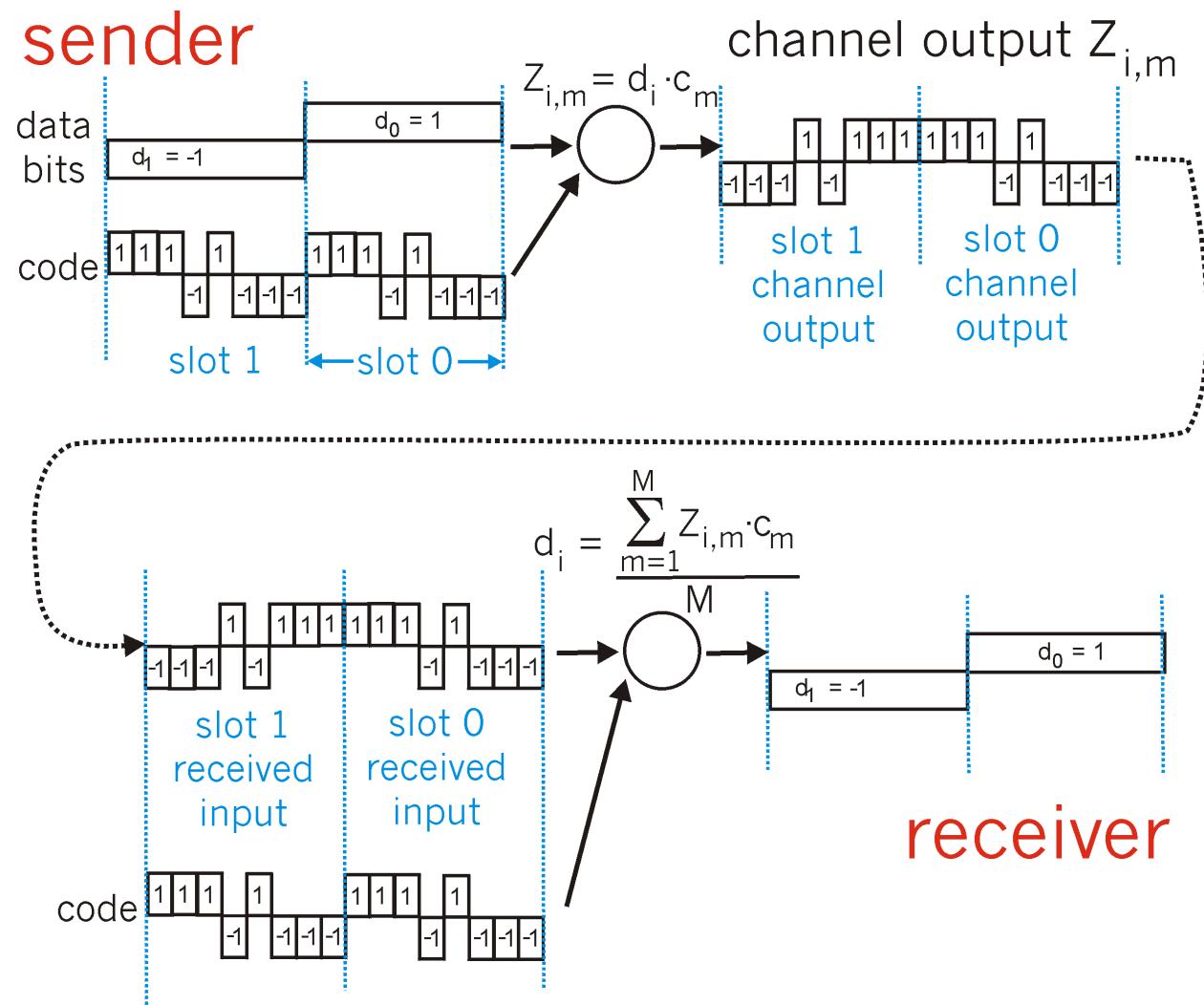
- Frequency division multiple access
- Dostupné přenosové pásmo je rozděleno do několika oblastí dle frekvencí
- Každá stanice má přiděleno určité frekvenční pásmo
- Nevyužité frekvenční pásmo
- Uzly mohou přenášet data v jeden čas



CDMA

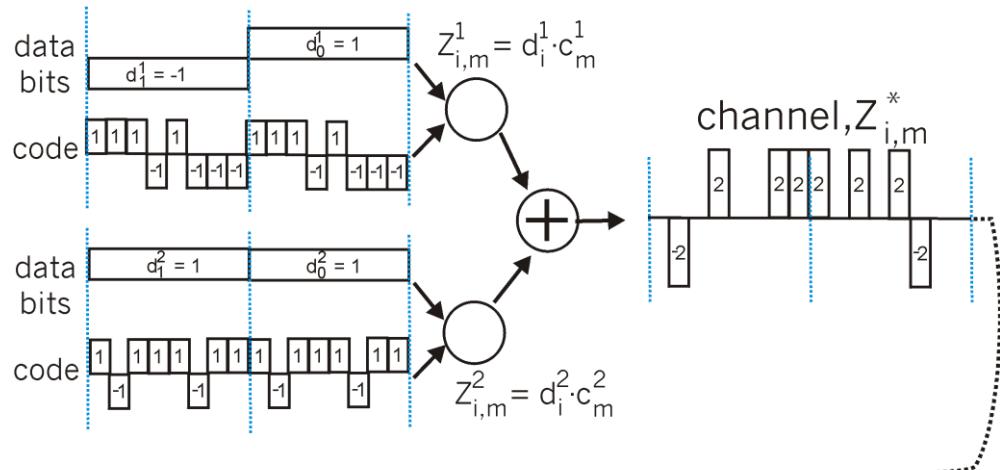
- Code Division Multiple Access
- Jedinečný identifikátor (code) je přiřazen každému uživateli
- Všichni uživatelé sdílejí stejnou frekvenci
- Každý uživatel zakóduje zprávu pomocí svého kódu
- Umožňuje sdílení média více uživateli současně (v případě ortogonality kódů)
- Používá se v bezdrátových sítích

CDMA kódování



CDMA interference

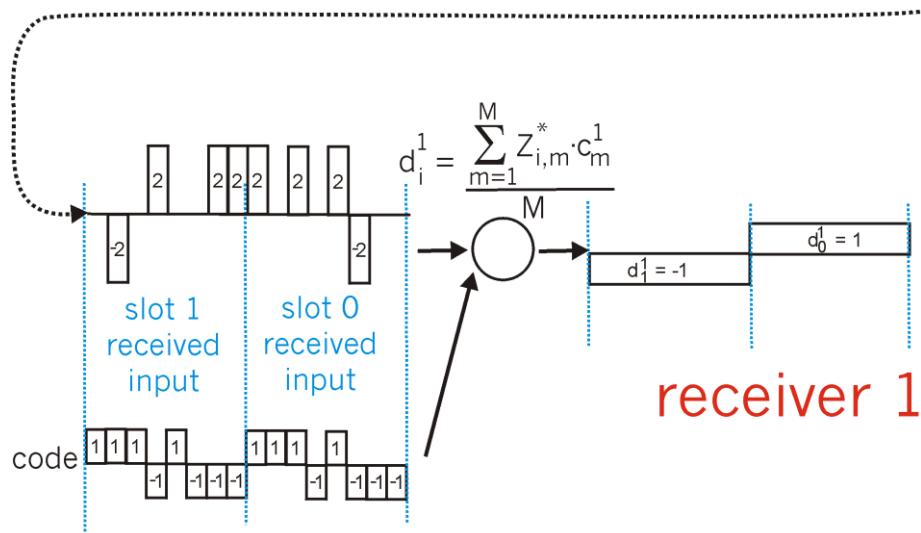
senders



Podmínka ortogonality

$$\sum_{m=1}^M c_m^2 \times c_m^1 = 0$$

$$1 \cdot 1 + 1 \cdot (-1) + 1 \cdot 1 + (-1) \cdot 1 + \\ 1 \cdot 1 + (-1) \cdot (-1) + (-1) \cdot 1 + (-1) \cdot 1 = 0$$



$$\begin{aligned} \sum_{m=1}^M z_{i,m}^* \times c_m^1 &= \sum_{m=1}^M z_{i,m}^1 \times c_m^1 + \sum_{m=1}^M z_{i,m}^2 \times c_m^1 \\ &= \sum_{m=1}^M d_i^1 \times c_m^1 \times c_m^1 + \sum_{m=1}^M d_i^2 \times c_m^2 \times c_m^1 \\ &= d_i^1 \sum_{m=1}^M c_m^1 \times c_m^1 + d_i^2 \sum_{m=1}^M c_m^2 \times c_m^1 \\ &= d_i^1 + 0 \end{aligned}$$

Protokoly random access

- Zabrání celé kapacity média v případě, že chce stanice vyslat data
- Kolize v případě, že více stanic chce vysílat současně
- Protokol specifikuje:
 - Detekci kolizí
 - Zotavení se z kolize
- Příklady:
 - Slotted ALOHA
 - ALOHA
 - CSMA, CSMA/CD, CSMA/CA

Slotted ALOHA

Předpoklady

- Všechny rámce mají stejnou fixní velikost
- Čas je rozdělen do stejných časových slotů (1 rámec)
- Uzly začínají vysílat pouze na začátku slotu
- Uzly jsou synchronizované
- V případě současného vysílání, všechny uzly detekují kolizi

Chování

- Uzel čeká na začátek časového slotu pro poslání nového rámce
- Není-li kolize uzel pokračuje v posílaní i dalším slotu
- V případě kolize je snaha o znovu poslání rámce v dalším slotu

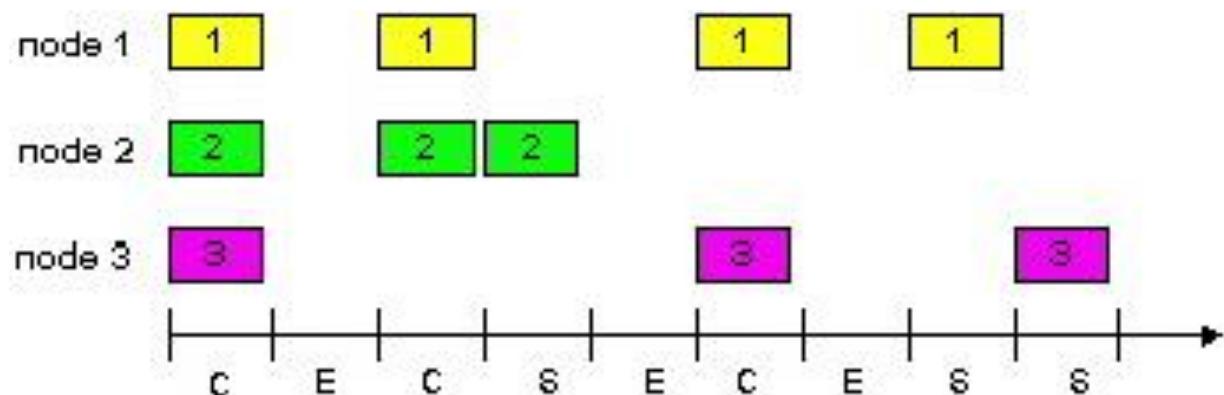
Slotted ALOHA

Výhody

- Jeden uzel může posílat rámce s využitím plné kapacity média
- Decentralizované
- Jednoduchý přístup

Nevýhody

- Kolize plýtvají sloty
- Nevyužité sloty
- Kolize je většinou možné detekovat dříve



Efektivnost

- N = počet uzlů s daty pro odeslání
- p = pravděpodobnost odeslání v daném slotu
- Pravděpodobnost, že první uzel úspěšně odešle ve slotu
$$p(1 - p)^{N-1}$$
- pravděpodobnost že každý další odešle rámec
$$N \times p(1 - p)^{N-1}$$
- Pro maximální efektivitu, je potřeba nalézt p tak, že
$$N \times p(1 - p)^{N-1}$$
 je maximální
- Pro mnoho uzlů předpokládáme $N \rightarrow \infty$. Potom:
$$N \times p(1 - p)^{N-1} = 0.37$$
- **Maximálně lze tak dosáhnout využití média na 37%**

Efektivnost – výpočet pro N

Pro nalezení maxima musíme spočítat první derivaci:

$$\begin{aligned}(20p(1-p)^{19})' &= (20p)'(1-p)^{19} + 20p[(1-p)^{19}] = \\20(1-p)^{19} &+ 20p[-19(1-p)^{18}] \\&= 20(1-p)^{19} - 20 \times 19 p(1-p)^{18}\end{aligned}$$

Tu položíme rovnou nule a určím p při kterém je výraz největší

$$20(1-p)^{19} - 20 \times 19 p(1-p)^{18} = 0$$

$$20(1-p)^{19} = 20 \times 19 p(1-p)^{18}$$

$$1-p = 19p$$

$$1 = 20p$$

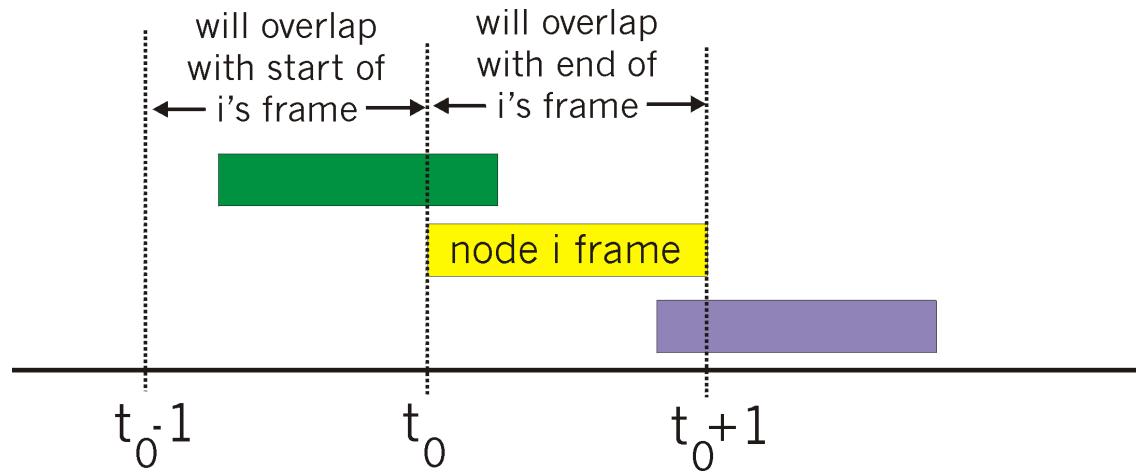
$$p = 0.05$$

Výsledná hodnota pro 20 uzelů je 37,73%

$$20 \times 0.05(1-0.05)^{19} = 0.3773$$

Pure ALOHA

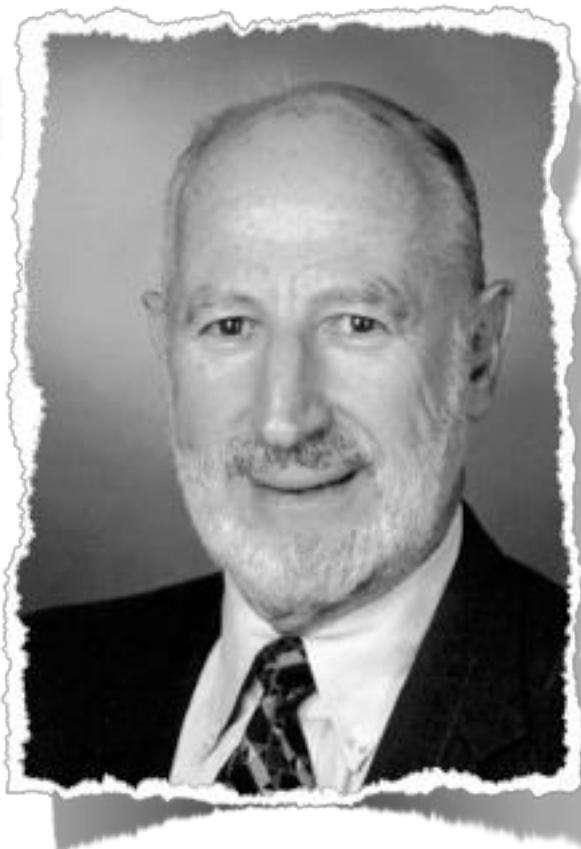
- Jednodušší, žádná synchronizace
- Odesílání okamžitě, bez čekání na začátek slotu
- Pravděpodobnost kolize vzrůstá
 - Rámec může kolidovat s rámci v „jiném slotu“
 - $N \cdot p(1 - p) \cdot p(1 - p)$
 - Pro N uzlů:
 - $N \cdot p \cdot (1 - p)2(N - 1)$



Maximálně lze dosáhnout využití média na cca 18%.

ALOHA a ETHERNET

Norm Abramson



Robert Metcalf

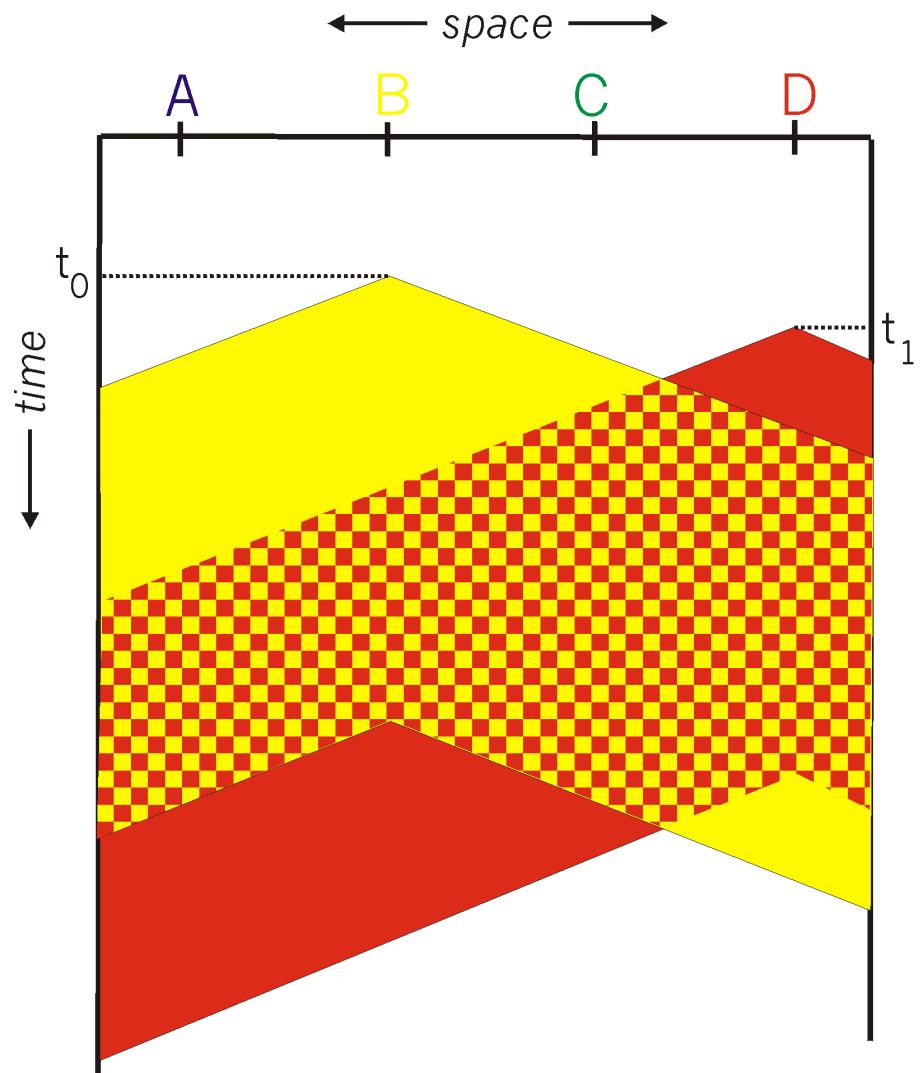
CSMA

Carrier Sense Multiple Access

- Je-li médium volné odešli rámec
- Je-li médium obsazené pak čekej

Kolize

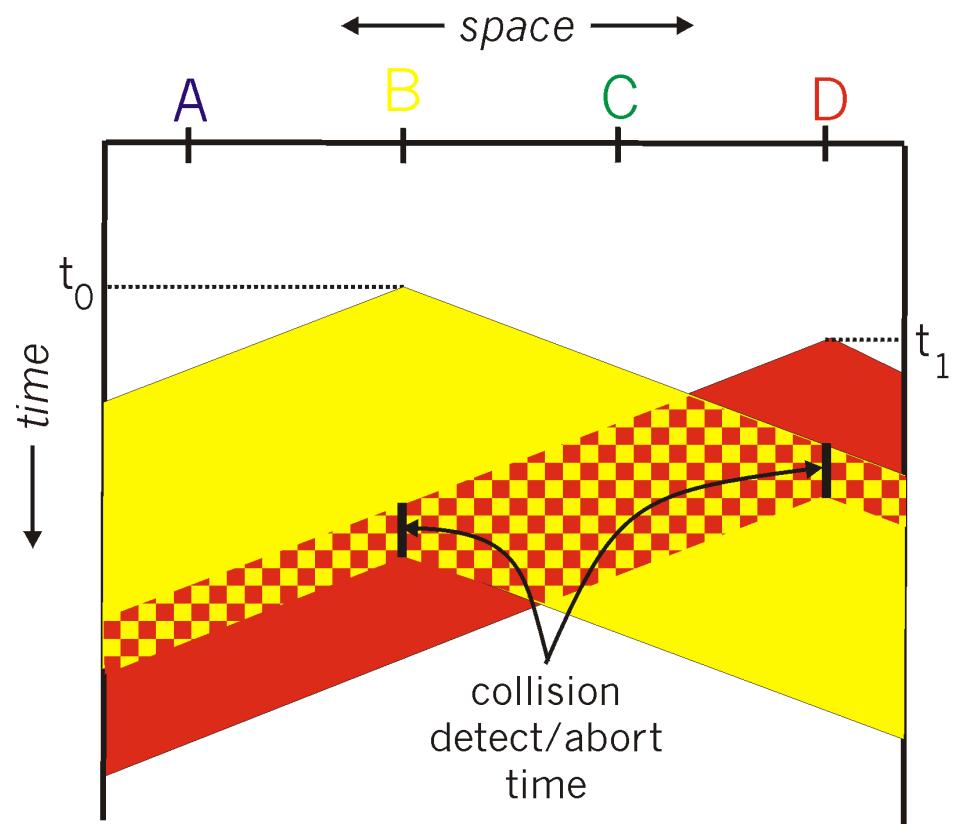
- Doba šíření signálu
- Celý kolizní rámec je nepoužitelný



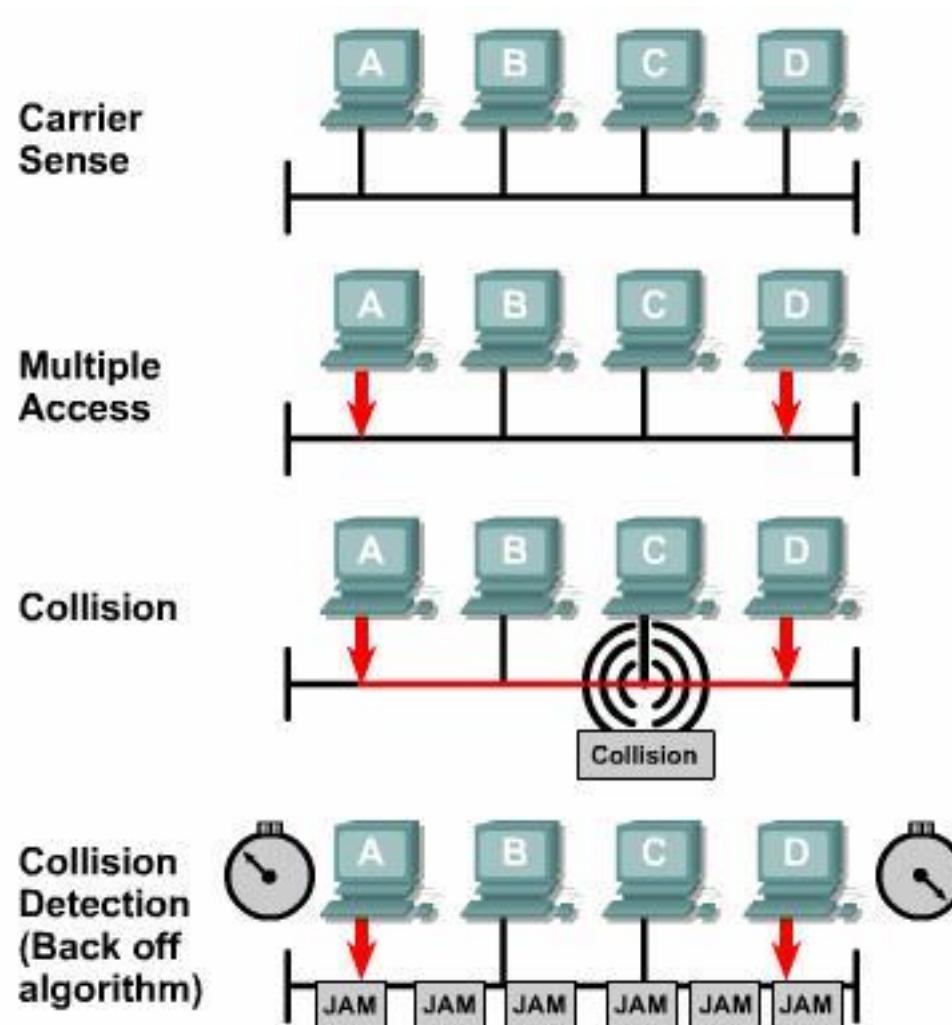
CSMA/CD

Collision Detection

- po detekci kolize je přenos okamžitě ukončen
- Šetření přenosovým pásmem
- jednoduché v drátových sítích
- těžké pro bezdrátové spoje, přijímač je při vysílání vypnut

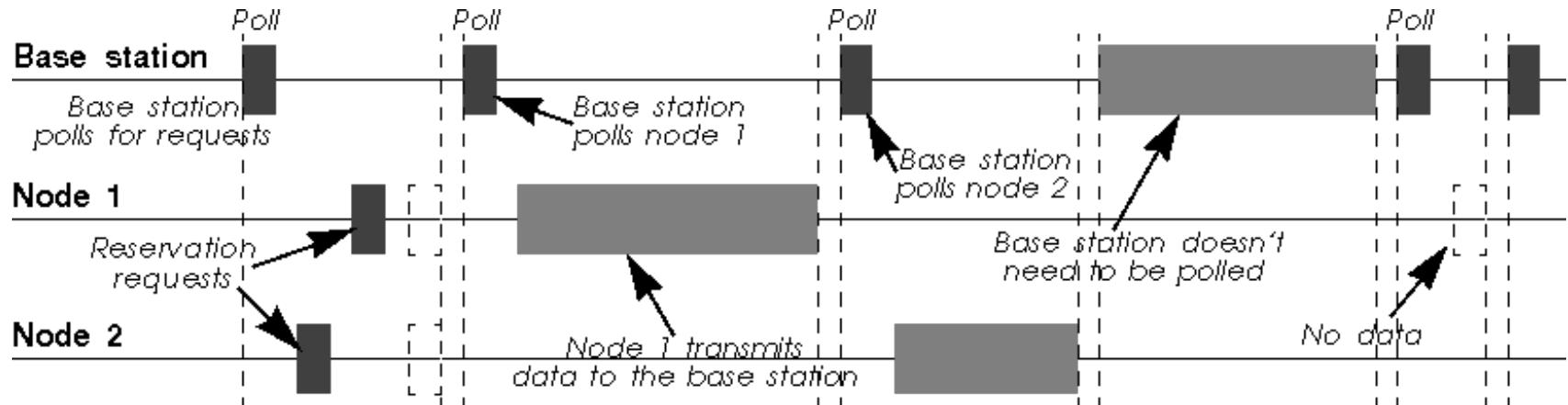


CSMA/CD postup



Polling protocol

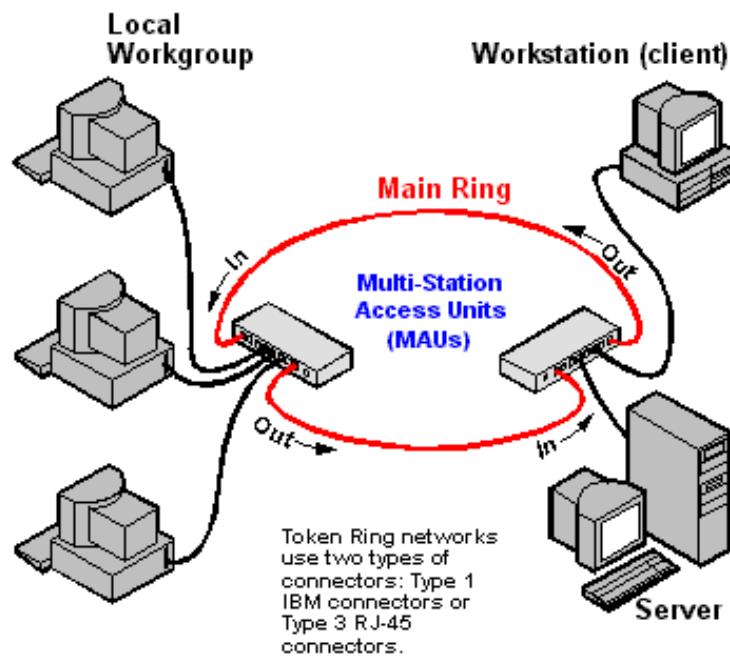
- Master uzel vyzývá uzly k odesílání dat
- Režie vyzývání
- Zpoždění při čekání na dotaz
- Selhání master uzlu



Token-ring

- Předávání žetonu
- Řídící žeton je posílan sekvenčně mezi uzly ve zvláštní zprávě
- Režie předávání žetonu
- Zpoždění při čekání na žeton
- Ztráta žetonu

From Computer Desktop Encyclopedia
© 1998 The Computer Language Co., Inc.



Přehled

- Rozdělení přenosového kanálu
 - Rozdělení přenosového kanálu na menší části mezi uzly
 - TDMA
 - FDMA
 - CDMA
- S náhodným přístupem
 - Bez rozdělení, mohou vznikat kolize
 - Zotavení při vzniku kolize
 - ALOHA, CSMA, CSMA/CD, CSMA/CA
- Koordinovaný přístup
 - Kooperace uzelů nebo centrální řízení
 - Polling protocol
 - Předávání žetonu

Obsah

1) Úvodní informace

- Motivace
- Detekce a oprava chyb

2) MEDIA ACCESS CONTROL

- Řízení přístupu k sdílenému médiu

3) ETHERNET

- Adresování
- ARP
- Aktivní síťové prvky

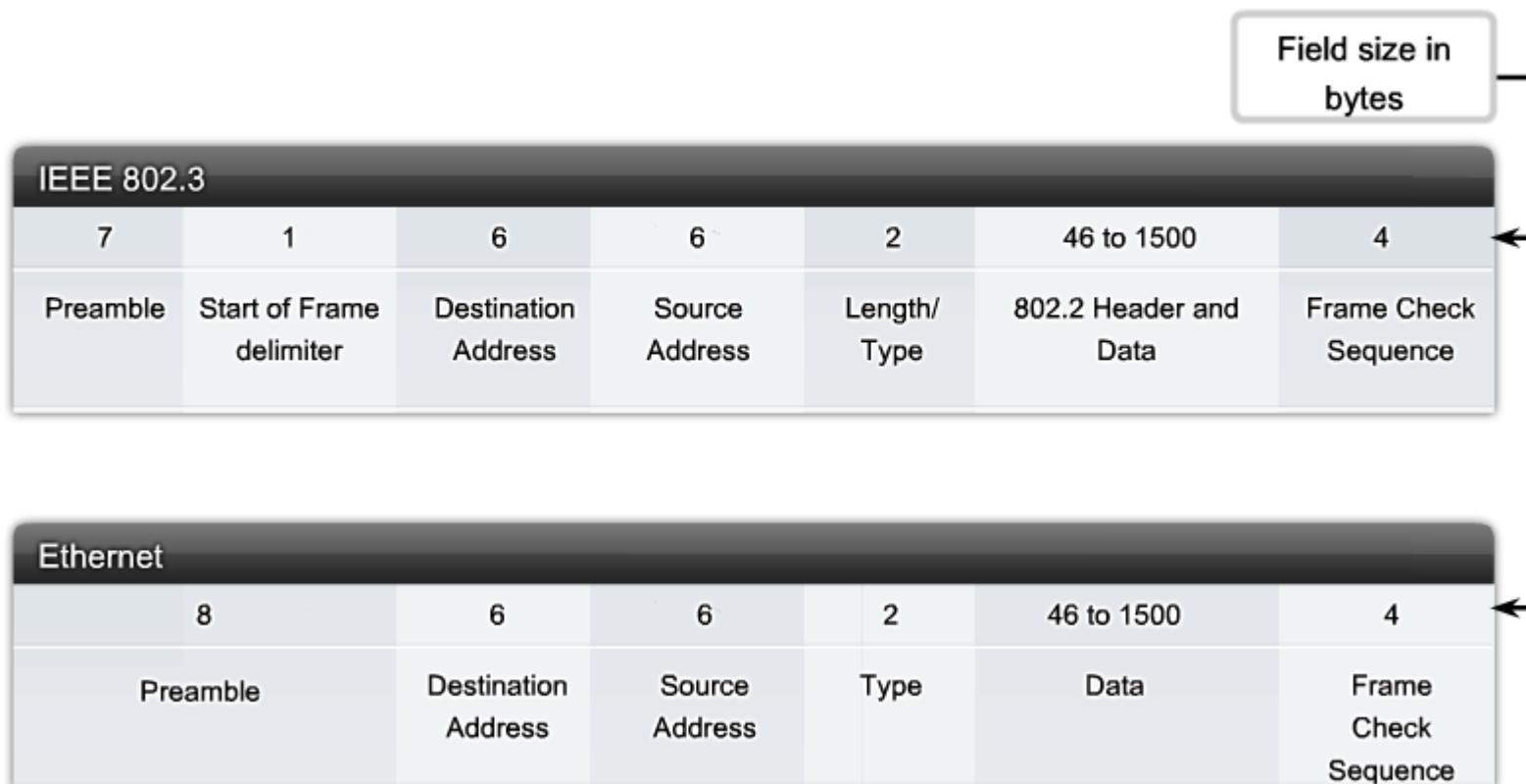
4) VIRTUÁLNÍ LAN sítě

5) STP

Ethernet

- IEEE Standard 802.3
- Levná technologie
 - Nejpoužívanější LAN technologie současnosti
 - Snadná instalace a správa
 - Spolehlivost
- Různé rychlosti od 10Mb/s do 400Gb/s
 - Sdílené médium
 - Přepínaný Ethernet
 - Half-duplex / Full-duplex

Struktura rámce

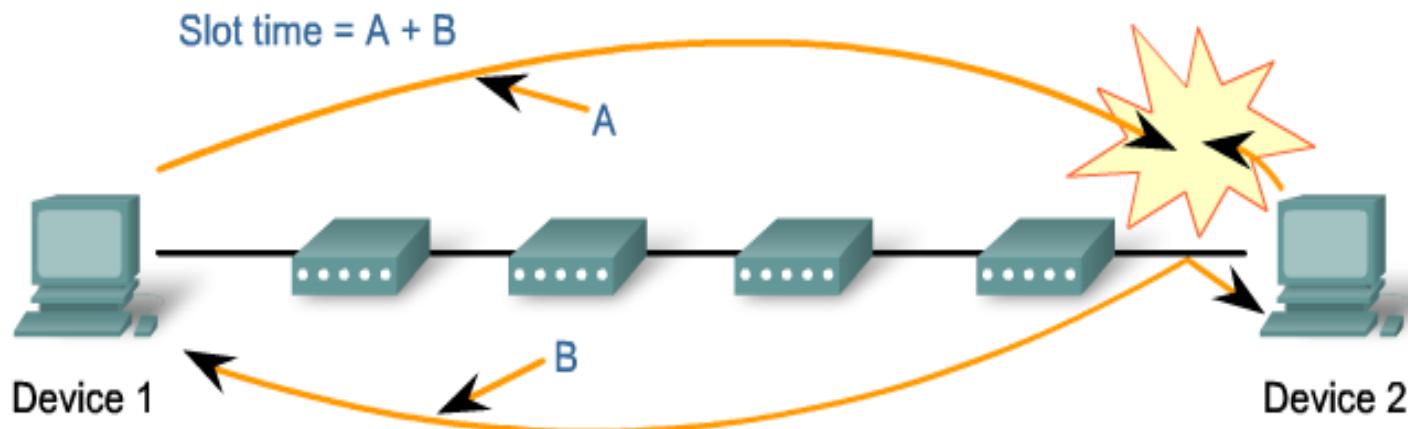


Vlastnosti

- Nespojovaná komunikace
 - žádná synchronizace stavu
- Nespolehlivá komunikace
 - max. kontrolní součet pro detekci chybných rámců
- Media Access Control
 - Bezkolizní pro full-duplex
 - Používá CSMA/CD pro half-duplex
 - Žádné sloty
 - Carrier sense
 - Collision detection
 - Random access

CSMA/CD

- V případě kolize vysílající strany posílají 32-bitů dlouhou JAM posloupnost
- Stanice musí detekovat kolizi před dokončením přenosu
 - Rámce musí být minimálně 64 bajtů dlouhé
 - Délka kabeláže musí být omezena



CSMA/CD Backoff Timer

Po kolizi se všechna zařízení odmlčí na určitý čas podle následujícího postupu:

- 1) Detekována kolize
- 2) Každá stanice vygeneruje náhodné číslo w v rozsahu $(0, 2^{\text{počet kolizí}})$
- 3) Čeká po dobu w time slotů, pak zkusí naslouchat
- 4) Jestliže znova přenesení selže, potom zvýší počítadlo kolizí.
- 5) Maximální počet kolizí je 16, pak je vyhlášen excessive collision error
- 6) V případě úspěšného přenesení dat je počítadlo kolizí vynulováno

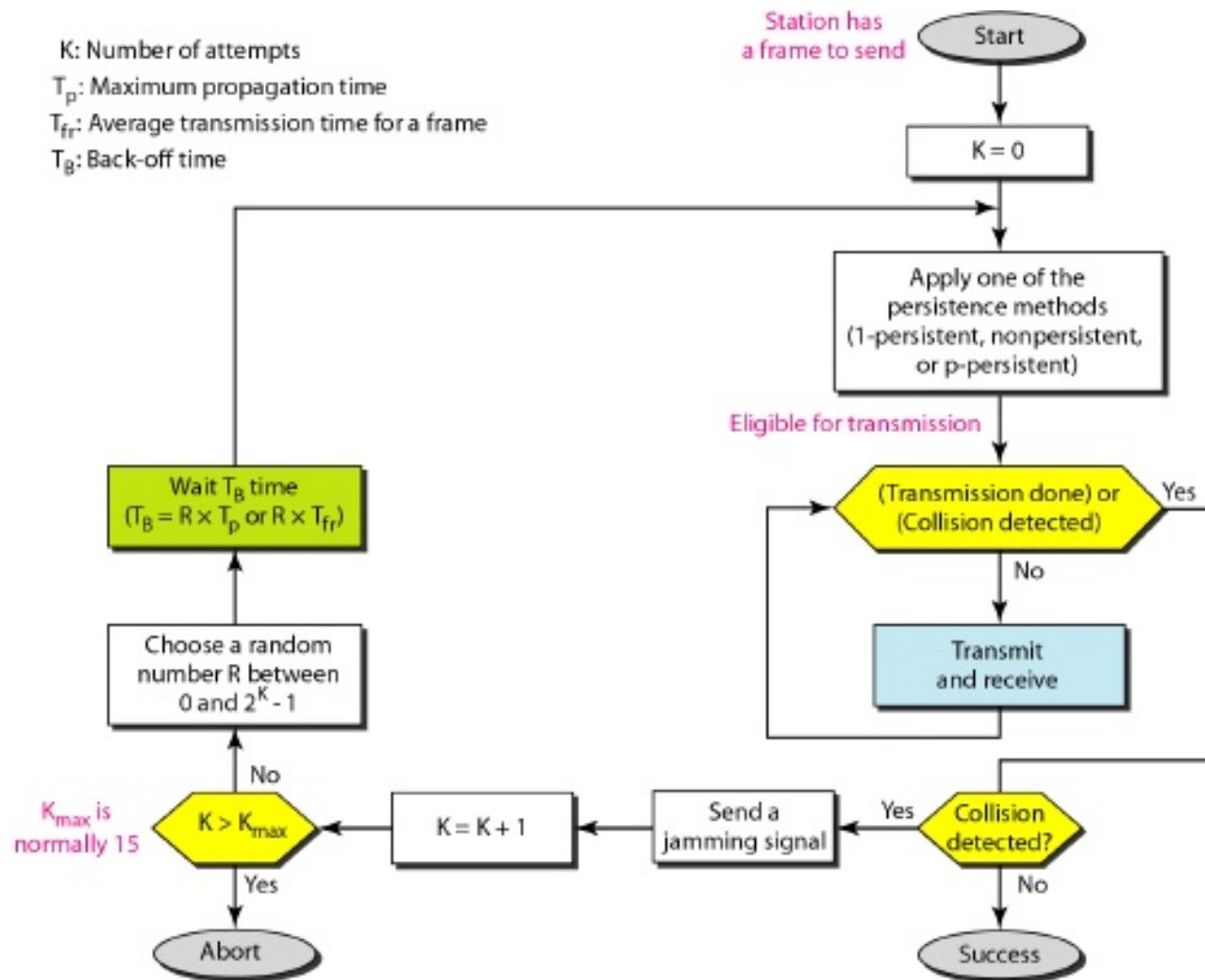
CSMA/CD Diagram

K: Number of attempts

T_p : Maximum propagation time

T_{fr} : Average transmission time for a frame

T_g : Back-off time

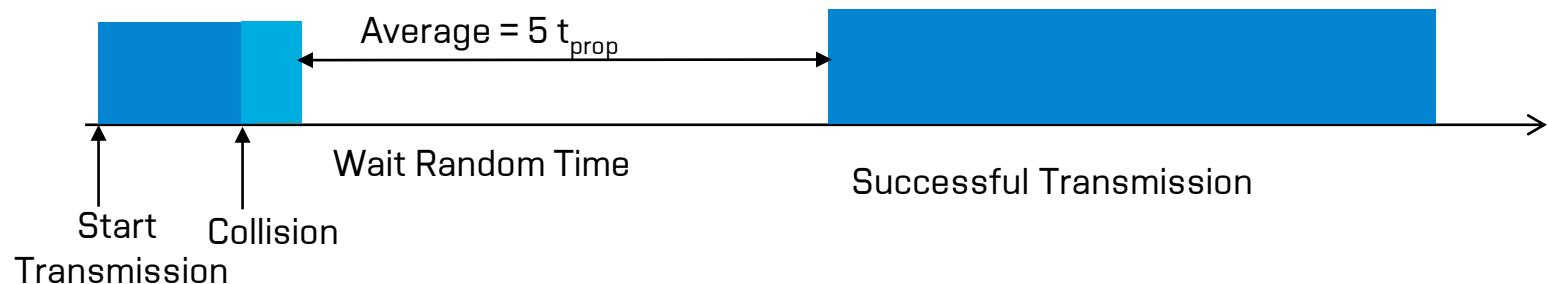


CSMA/CD efektivita

- t_{prop} = čas potřebný k přenosu signálu mezi dvěma stanicemi
- t_{trans} = čas potřebný k přenesení největšího rámce
- Aproximovaná efektivita využití je:

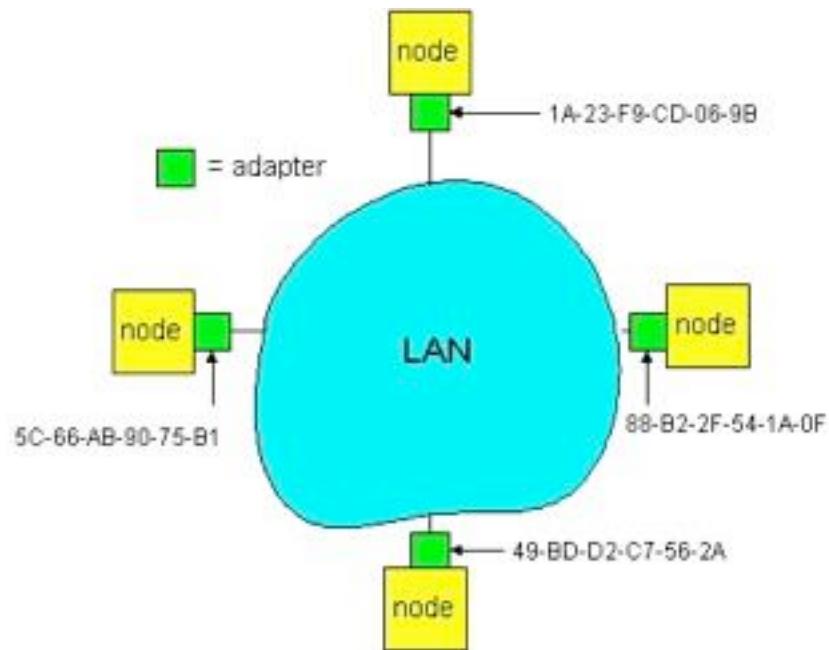
$$e = \frac{1}{1 + 5 \frac{t_{prop}}{t_{trans}}}$$

$$e_{10\text{ Mb/s}} = \frac{1}{1 + 5 \frac{51200}{1220800}} = 0.83$$

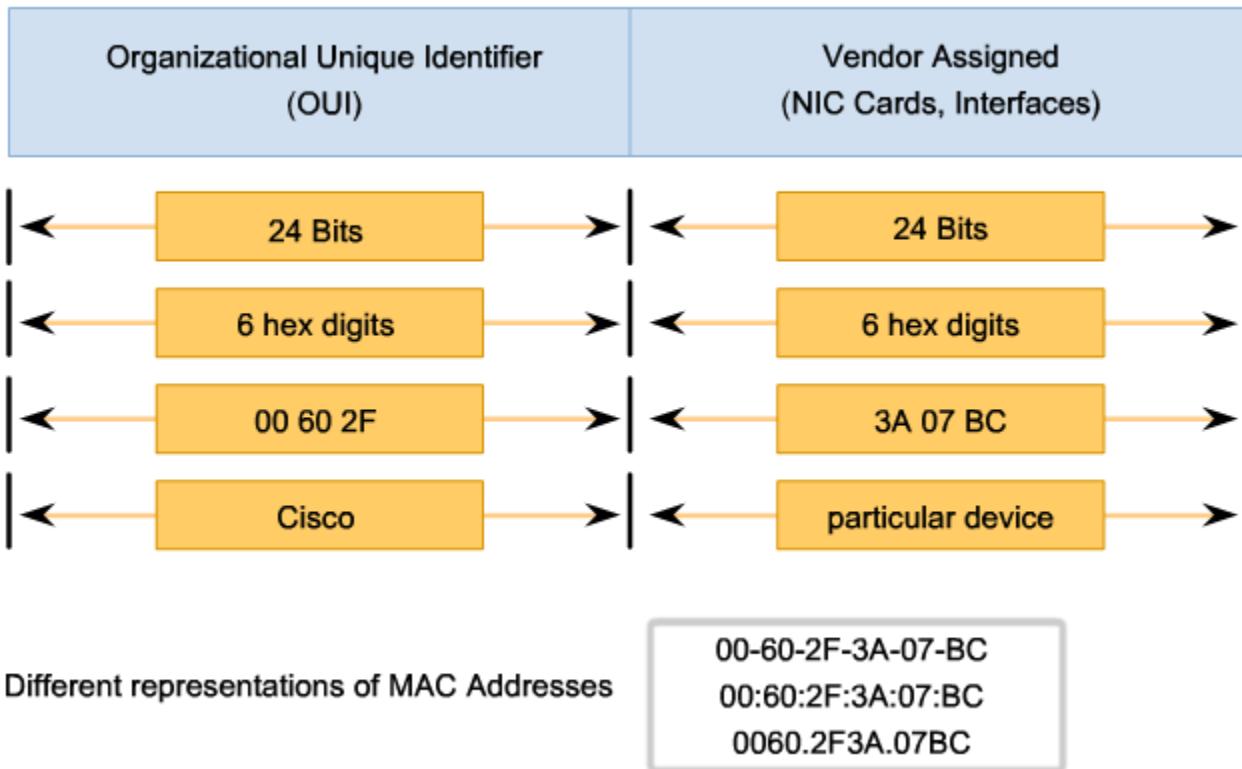


MAC Adresy

- 48-bitů, vypálena v ROM paměti síťového adaptéra
- Každý adaptér v lokální síti musí mít unikátní adresu
- Čísla MAC adres přidělovány tvůrcem standardu, tedy IEEE
- MAC adresy jsou ploché, snadné přenositelnost mezi LAN

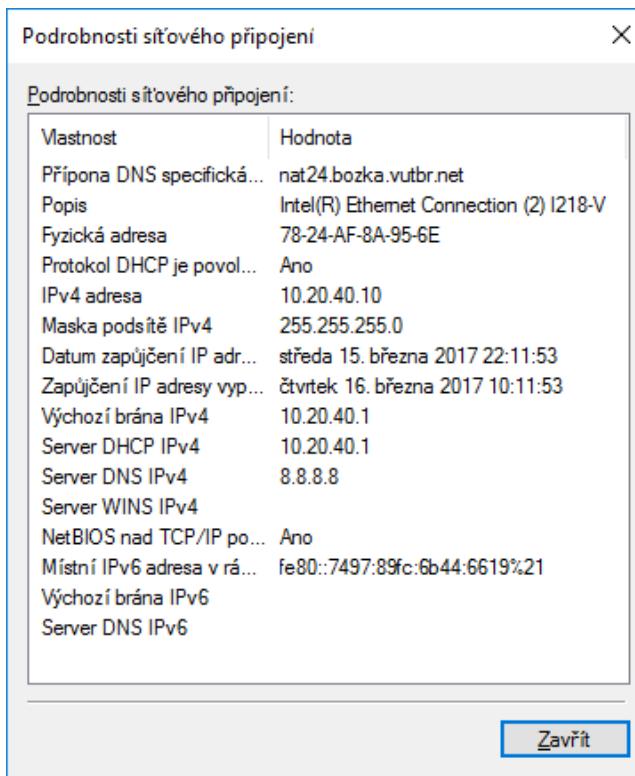


MAC Adresa



Jaká je moje MAC adresa?

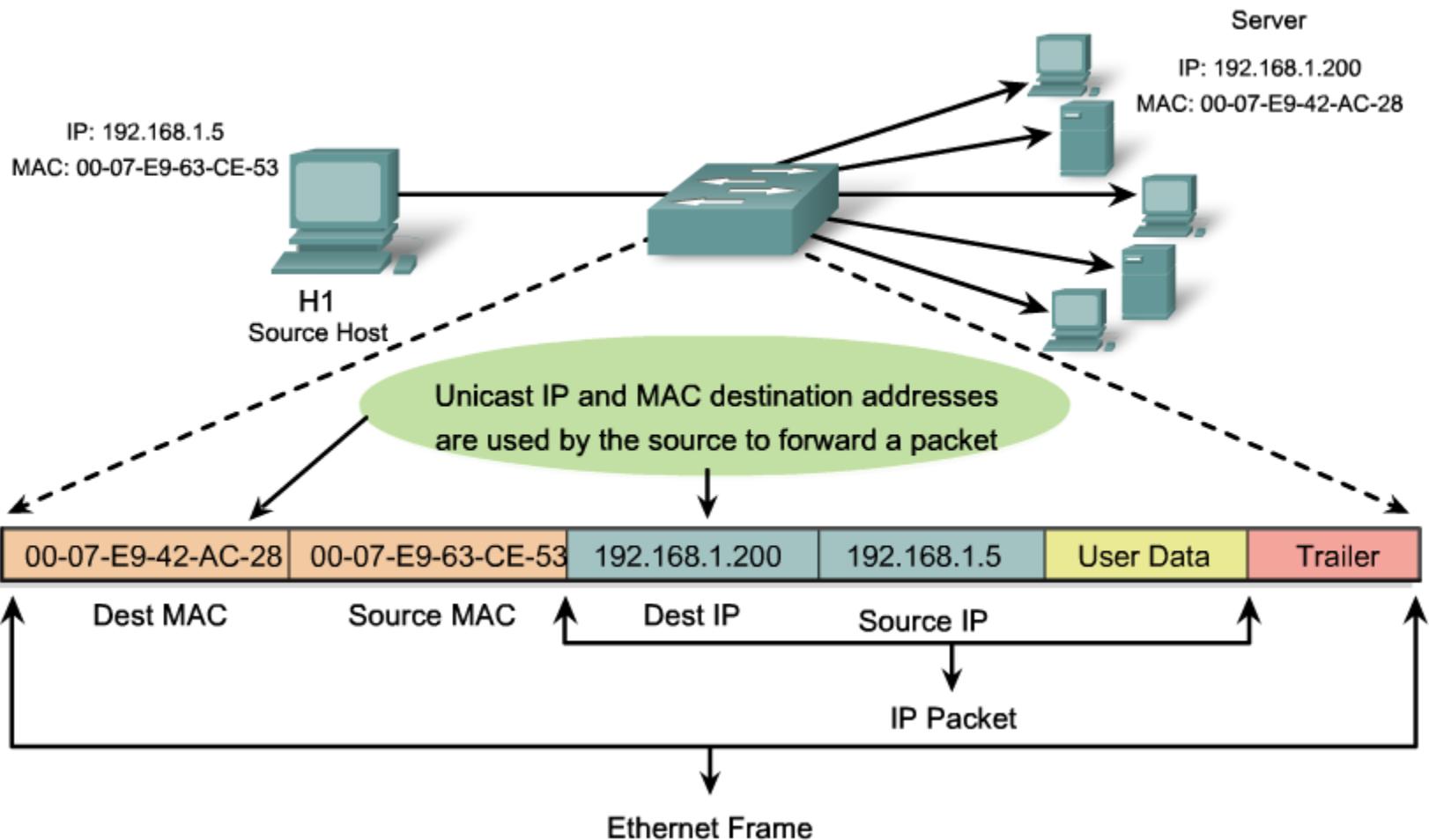
- Win: ipconfig /all
- Unix: ifconfig, ip addr



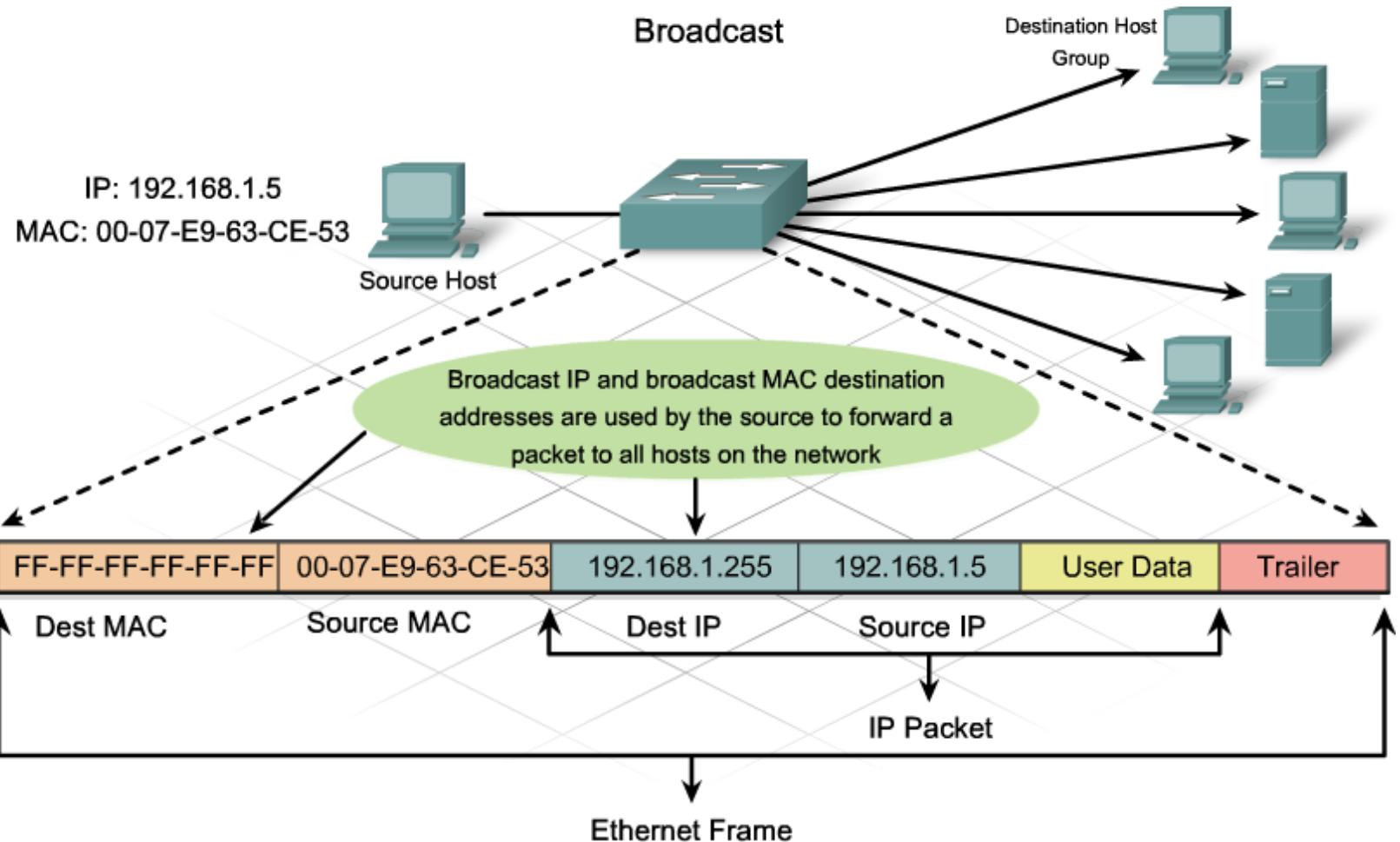
```
root@ciscoLab: ~
root@ciscoLab:~# ifconfig pnet0
pnet0      Link encap:Ethernet  HWaddr 00:0c:29:c9:11:06
           inet  addr:147.229.9.78  Bcast:147.229.9.255  Mask:255.255.255.0
                     inet6 addr: fe80::20c:29ff:fec9:1106/64  Scope:Link
                     inet6 addr: 2001:67c:1220:809::93e5:94e/64  Scope:Global
                     UP BROADCAST RUNNING MULTICAST  MTU:1500  Metric:1
                     RX packets:332165854 errors:0 dropped:3105 overruns:0 frame:0
                     TX packets:6598957 errors:0 dropped:0 overruns:0 carrier:0
                     collisions:0 txqueuelen:0
                     RX bytes:18092627024 (18.0 GB)  TX bytes:6992759417 (6.9 GB)

root@ciscoLab:~# ip addr show dev pnet0
4: pnet0: <BROADCAST,MULTICAST,UP,LOWER_UP> mtu 1500 qdisc noqueue state UP group default
      link/ether 00:0c:29:c9:11:06 brd ff:ff:ff:ff:ff:ff
      inet 147.229.9.78/24 brd 147.229.9.255 scope global pnet0
            valid_lft forever preferred_lft forever
      inet6 2001:67c:1220:809::93e5:94e/64 scope global
            valid_lft forever preferred_lft forever
      inet6 fe80::20c:29ff:fec9:1106/64 scope link
            valid_lft forever preferred_lft forever
root@ciscoLab:~#
```

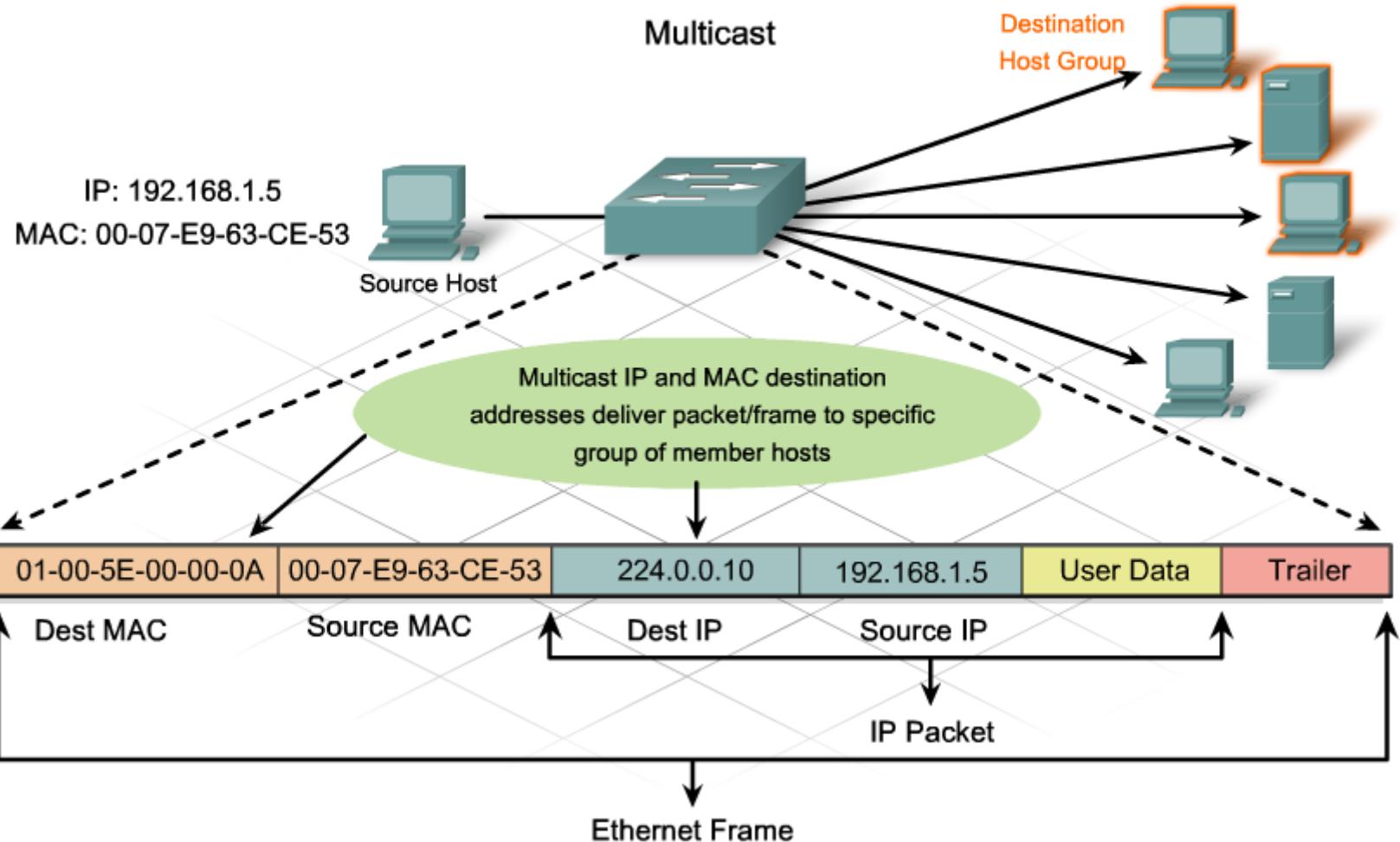
Ethernet Unicast



Ethernet Broadcast

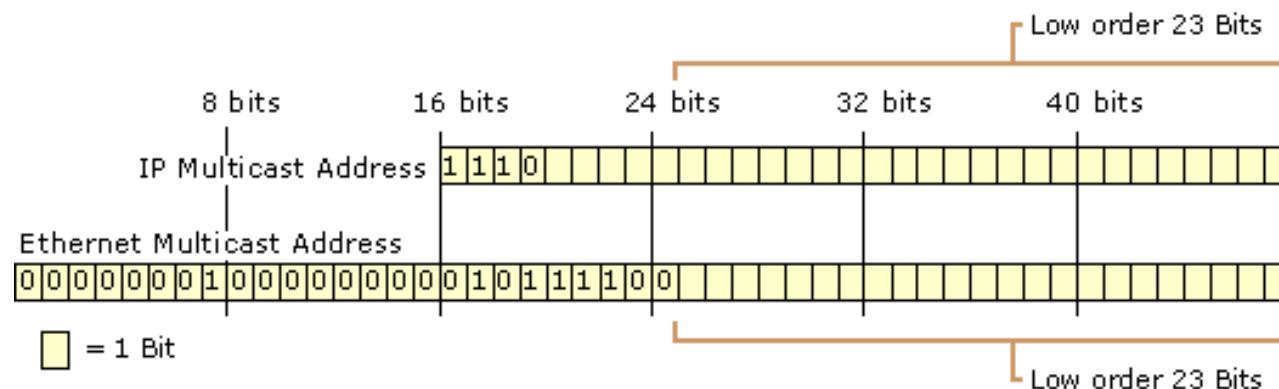


Ethernet Multicast



Mapování multicastu

- MAC Adresy 01-00-5E-00-00-00 to 01-00-5E-7F-FF-FF jsou vyhrazeny pro IPv4 multicast
- Spodních 23 bitů MAC adresy je použito pro kódování IP multicastové adresy
- Spodních 23 bitů IP multicastové adresy je mapováno na spodních 23 bitů MAC
- Zbývajících 5 bitů je MAC overloading



Obsah

1) Úvodní informace

- Motivace
- Detekce a oprava chyb

2) MEDIA ACCESS CONTROL

- Řízení přístupu k sdílenému médiu

3) ETHERNET

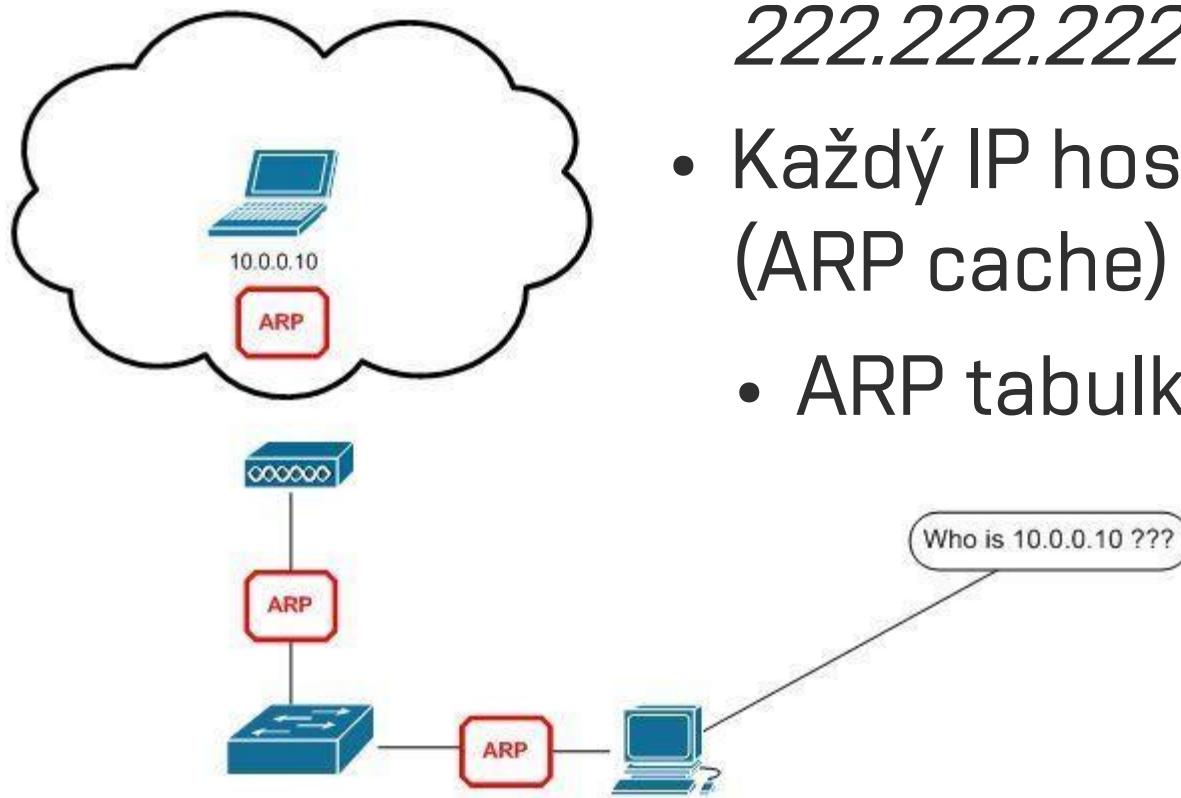
- Adresování
- ARP
- Aktivní síťové prvky

4) VIRTUÁLNÍ LAN sítě

5) STP

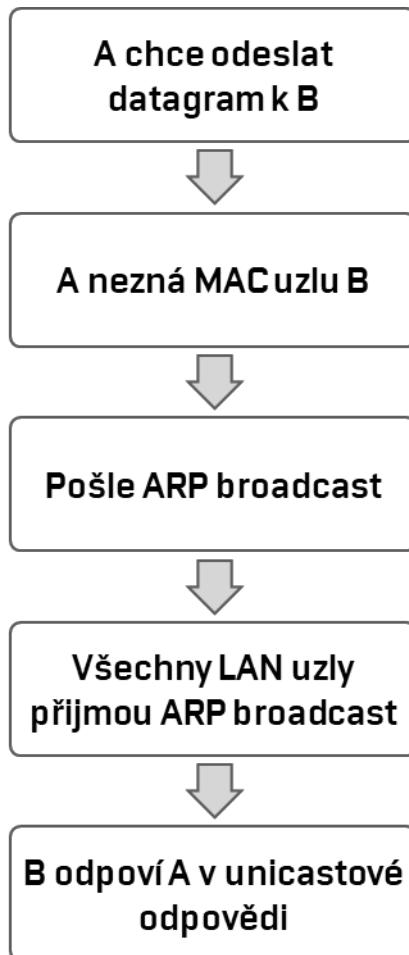
Address Resolution Protocol

- Jakým způsobem zjistíme MAC adresu uzlu s IP adresou 222.222.222.220?
- Každý IP host má ARP tabulkou (ARP cache)
 - ARP tabulka mapuje IP/MAC



Konfigurace

ARP nevyžaduje konfiguraci, je implicitně zapnuté v multiaccess sítích



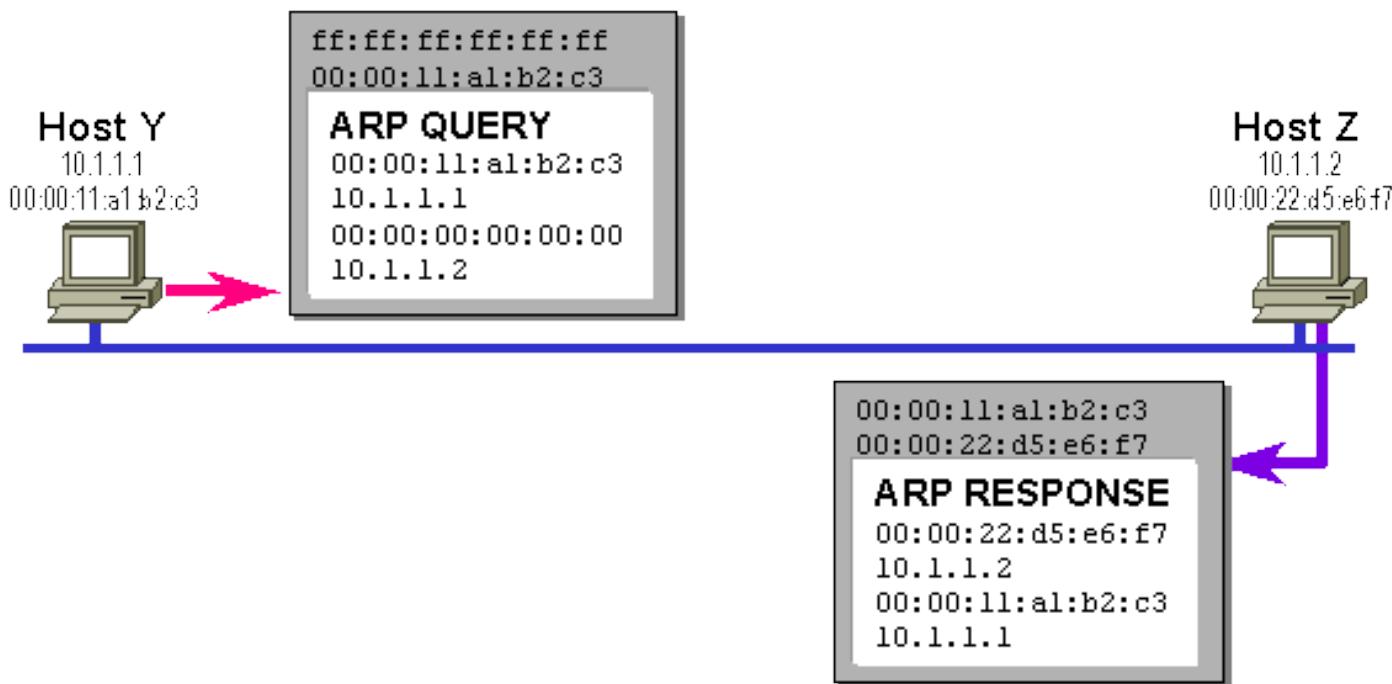
OS	Timeout
Windows 2000	2/10 minut
Windows Server 2003	2/10 minut
Windows Vista	15-45 sekund
Cisco IOS 12.0	4 hodiny

Hlavička

8 bits	8 bits	8 bits	8 bits
Hardware Type (2bytes)		Protocol Type (2bytes)	
Hardware Add Length (1byte)	Protocol Add Length (1byte)	Operation (2bytes)	
Sender Hardware Address (6bytes)			
		Sender IP Address (4bytes)	
		Target Hardware Address (6bytes)	
Target IP Address (4bytes)			

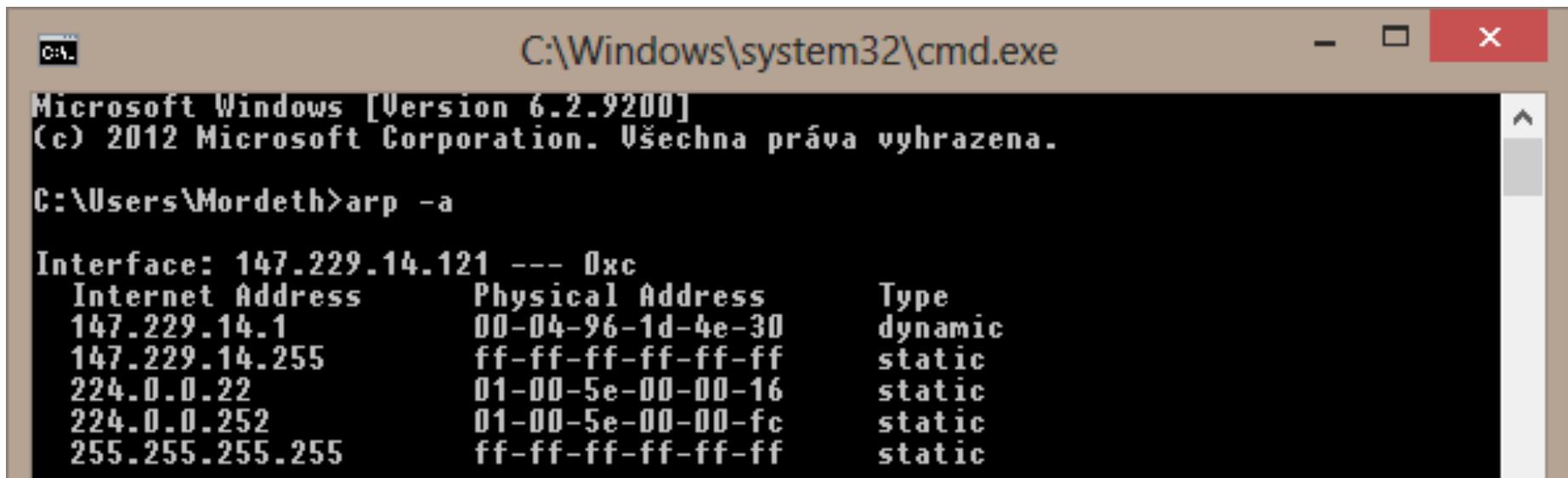
Výměna zpráv

- Request je broadcastnuto
- Příjemce si uloží odesílatelovu MAC do vlastní cache
- Response je unicastovaná



Jaký je obsah ARP cache?

- Windows/Linux: arp -a
- Linux: ip neighbor



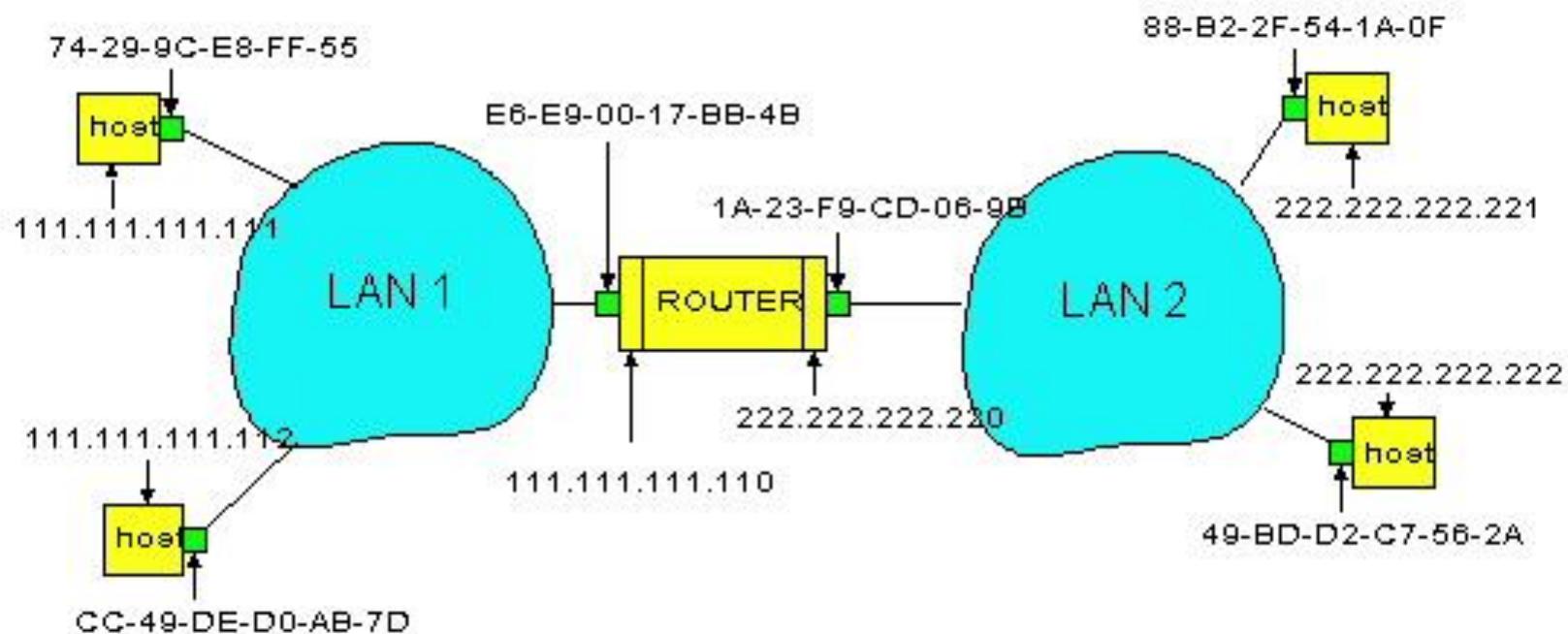
C:\Windows\system32\cmd.exe

```
Microsoft Windows [Version 6.2.9200]
(c) 2012 Microsoft Corporation. Všechna práva vyhrazena.

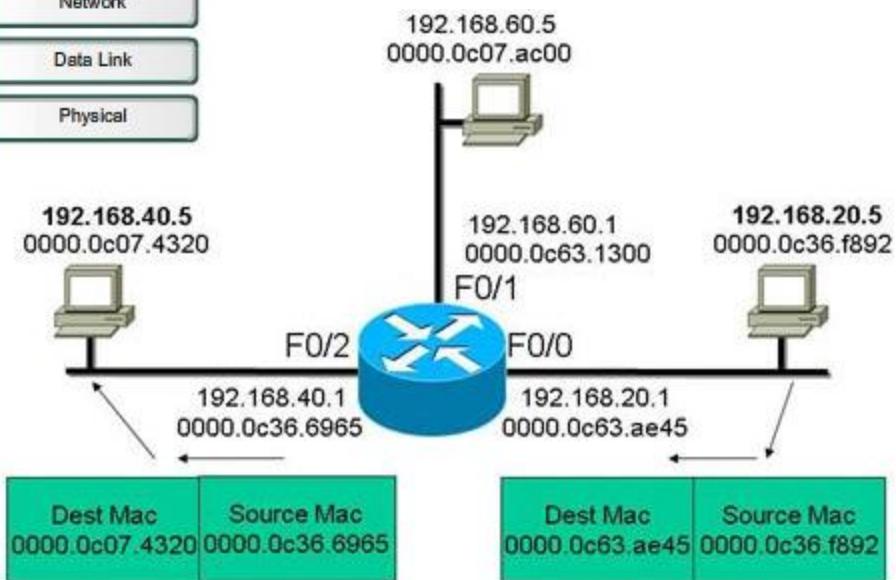
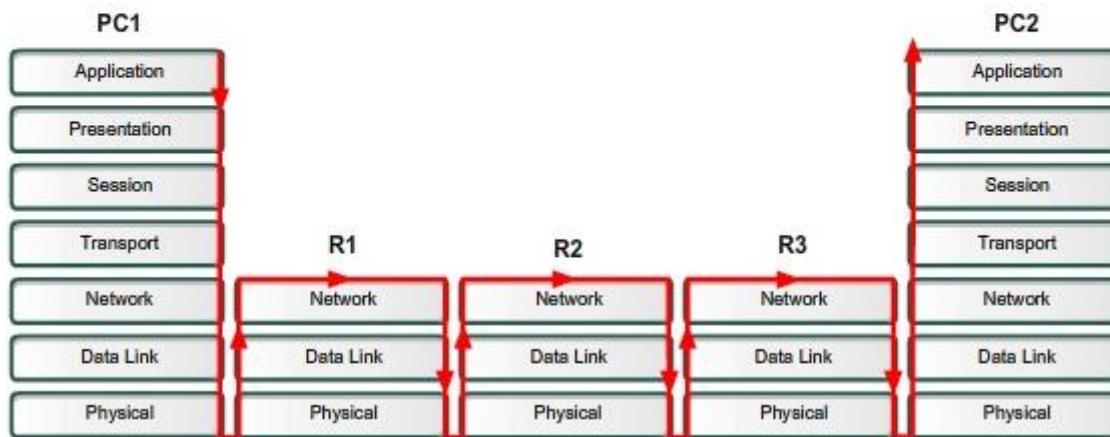
C:\Users\Mordeth>arp -a

Interface: 147.229.14.121 --- 0xc
 Internet Address      Physical Address          Type
 147.229.14.1           00-04-96-1d-4e-30        dynamic
 147.229.14.255         ff-ff-ff-ff-ff-ff        static
 224.0.0.22              01-00-5e-00-00-16        static
 224.0.0.252             01-00-5e-00-00-fc        static
 255.255.255.255        ff-ff-ff-ff-ff-ff        static
```

Směrování mimo LAN



Zpracování hop-by-hop



ARP ve Wiresharku

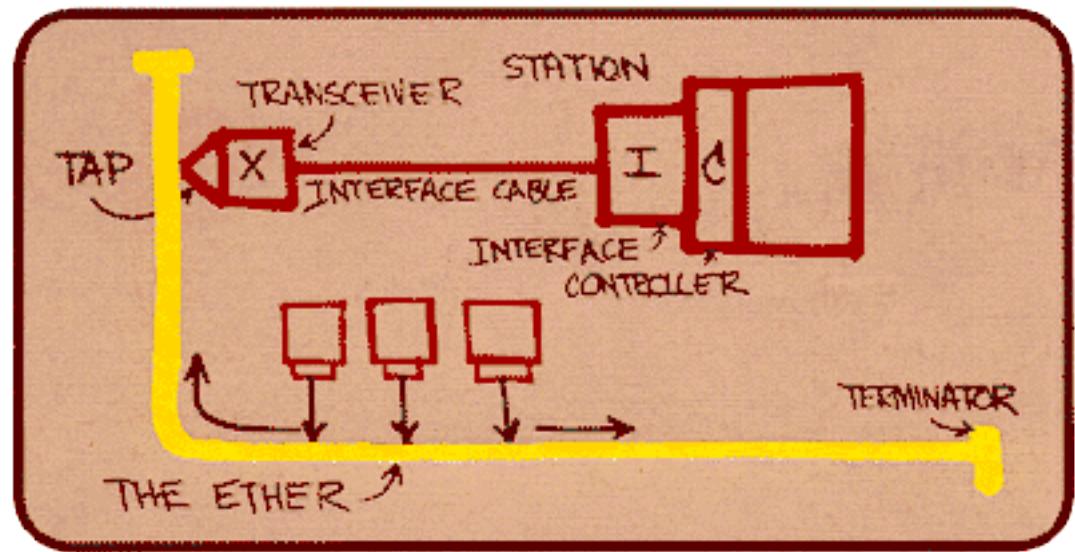
The screenshot shows the Wireshark interface with the following details:

- File menu:** File, Edit, View, Go, Capture, Analyze, Statistics, Telephony, Wireless, Tools, Help.
- Toolbar:** Includes icons for file operations like Open, Save, Print, and various analysis tools.
- Search bar:** Contains the text "arp".
- Table:** Shows captured packets. The first two rows are highlighted:
 - Row 376: Source AsustekC_8a:95:6e, Destination Broadcast, Protocol ARP, Length 42, Info: 42 Who has 10.20.40.1? Tell 10.20.40.10
 - Row 377: Source SuperMic_0e:a4:0d, Destination AsustekC_8a:95:6e, Protocol ARP, Length 60, Info: 60 10.20.40.1 is at 00:25:90:0e:a4:0d
- Details pane:** Displays the structure of the selected ARP request frame (Frame 376).
 - Hardware type: Ethernet (1)
 - Protocol type: IPv4 (0x0800)
 - Hardware size: 6
 - Protocol size: 4
 - Opcode: request (1)
 - Sender MAC address: AsustekC_8a:95:6e (78:24:af:8a:95:6e)
 - Sender IP address: 10.20.40.10
 - Target MAC address: 00:00:00_00:00:00 (00:00:00:00:00:00)
 - Target IP address: 10.20.40.1
- Hex/Binary pane:** Shows the raw bytes of the selected frame.

0000	ff ff ff ff ff ff 78 24 af 8a 95 6e 08 06 00 01x\$...n...
0010	08 00 06 04 00 01 78 24 af 8a 95 6e 0a 14 28 0ax\$...n...(.
0020	00 00 00 00 00 00 0a 14 28 01 (.
- Bottom status bar:** Address Resolution Protocol (arp), 28 bytes; Packets: 674 · Displayed: 2 (0.3%); Profile: Default.

Původní 10Base2 a 10Base5

- 10Base2
 - Maximální vzdálenost 200m
 - Tenký koaxiální kabel
- 10Base5
 - Maximální vzdálenost 500m
 - Tlustý koaxiální kabel



- Rychlosť 10Mbit/s
- Half-duplex
- Baseband

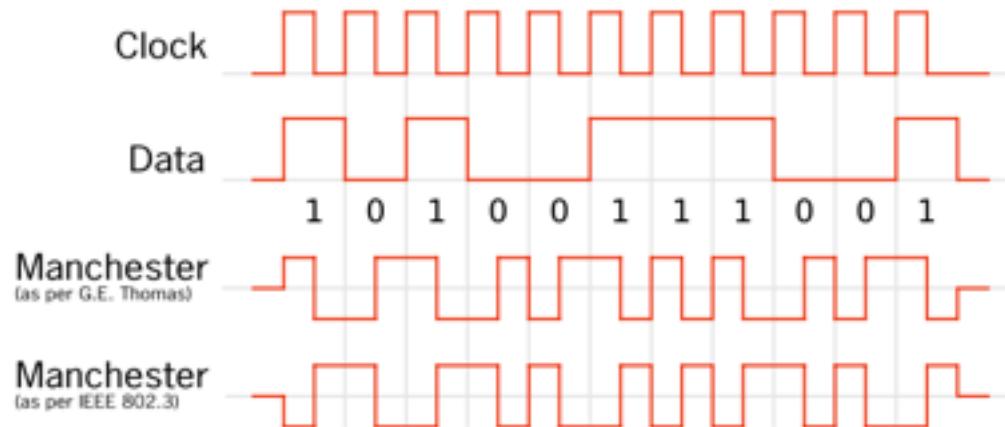


100BaseT

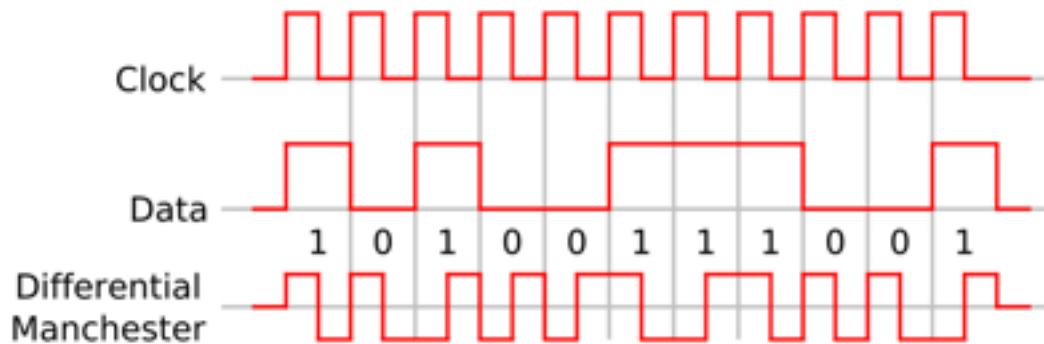
- Fast Ethernet
- Twisted Pair
 - Lepší odolnost vůči stínění a přeslechům
- Star topologie
- Maximální vzdálenost 100m mezi uzly
- RJ45 konektory



Manchester kódování



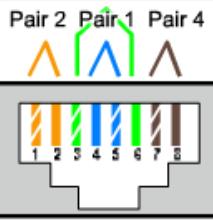
Synchronizace – v každém bitu je změna úrovně signálu



RJ45

10Base-T Ethernet RJ-45 Pinouts

Pair 3



RJ-45 Connectors



Pin Number	Signal
1	TD+ (Transmit Data, positive-going differential signal)
2	TD- (Transmit Data, negative-going differential signal)
3	RD+ (Receive Data, positive-going differential signal)
4	Unused
5	Unused
6	RD- (Receive Data, negative-going differential signal)
7	Unused
8	Unused

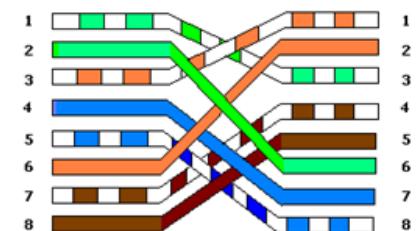
TIA/EIA 568A Wiring

1	White and Green
2	Green
3	White and Orange
4	Blue
5	White and Blue
6	Orange
7	White and Brown
8	Brown

TIA/EIA 568B Wiring

1	White and Orange
2	Orange
3	White and Green
4	Blue
5	White and Blue
6	Green
7	White and Brown
8	Brown

TIA/EIA 568A Crossed Wiring



TIA/EIA 568B Crossed Wiring

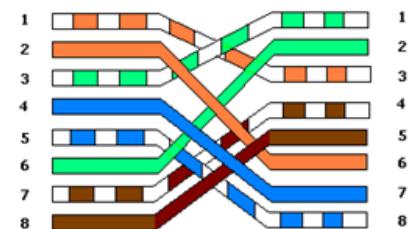


Figure A

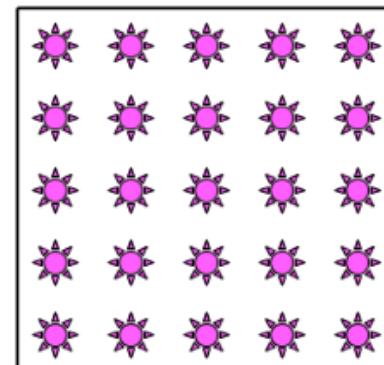
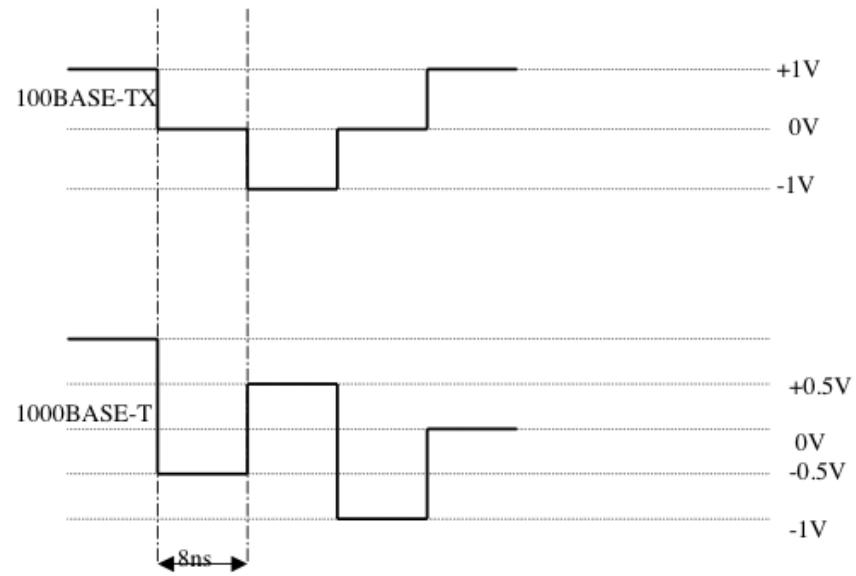
Shows the Pin Out of Straightthrough Cables

Figure B

Shows the Pin Out of Crossover Cables

Gigabitový Ethernet

- Definován jako IEEE802.3z
- Používá standardní formát rámce
- Použitelné pro point-to-point linky i pro broadcastová média
- CSMA/CD a huby (buffered distributors) pro sdílené médium
- Full-Duplex na 1Gbps pro P2P linky
- Alespoň UTP 5 kategorie
- Používá všechny vodiče a kódování PAM-5

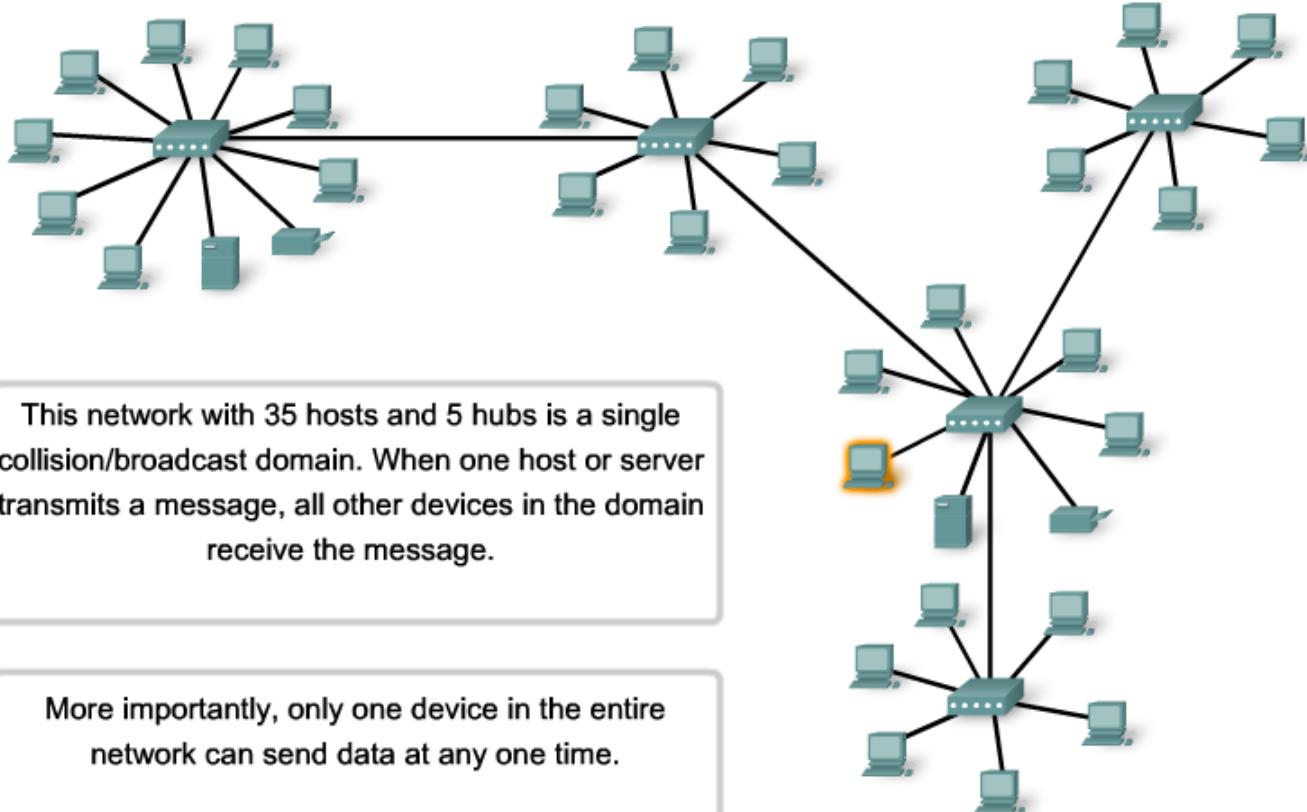


Ethernet - přehled

Ethernet Type	Bandwidth	Cable Type	Duplex	Maximum Distance
10Base-5	10 Mbps	Thicknet Coaxial	Half	500 m
10Base-2	10 Mbps	Thinnet Coaxial	Half	185 m
100Base-TX	10 Mbps	Cat3/Cat5 UTP	Half	100 m
100Base-TX	100 Mbps	Cat5 UTP	Half	100 m
100Base-FX	200 Mbps	Cat5 UTP	Full	100 m
100Base-FX	100 Mbps	Multimode Fiber	Half	400 m
1000Base-T	200 Mbps	Multimode Fiber	Full	2 km
1000Base-TX	1 Gbps	Cat5e UTP	Full	100 m
1000Base-SX	1 Gbps	Cat6 UTP	Full	100 m
1000Base-LX	1 Gbps	Multimode Fiber	Full	550 m
10GBase-CX4	1 Gbps	Single-Mode Fiber	Full	2 km
10GBase-T	10 Gbps	Twin-axial	Full	100 m
10GBase-LX4	10 Gbps	Cat6a/Cat7 UTP	Full	100 m
10GBase-LX4	10 Gbps	Multimode Fiber	Full	300 m
10 Mbps	10 Gbps	Single-Mode Fiber	Full	10 km

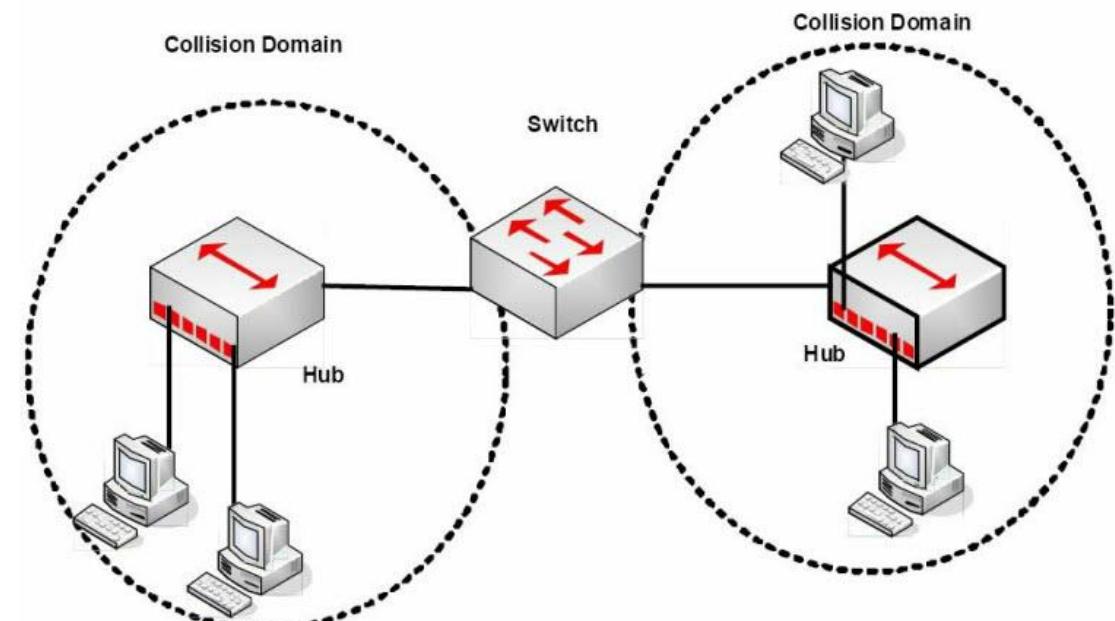
Repeater či Hub

- L1 zařízení
- Half-duplex
- Zvětšuje maximální vzdálenost mezi uzly
- Nemůže propojovat segmenty různých rychlostí
- Zvětšuje kolizní doménu



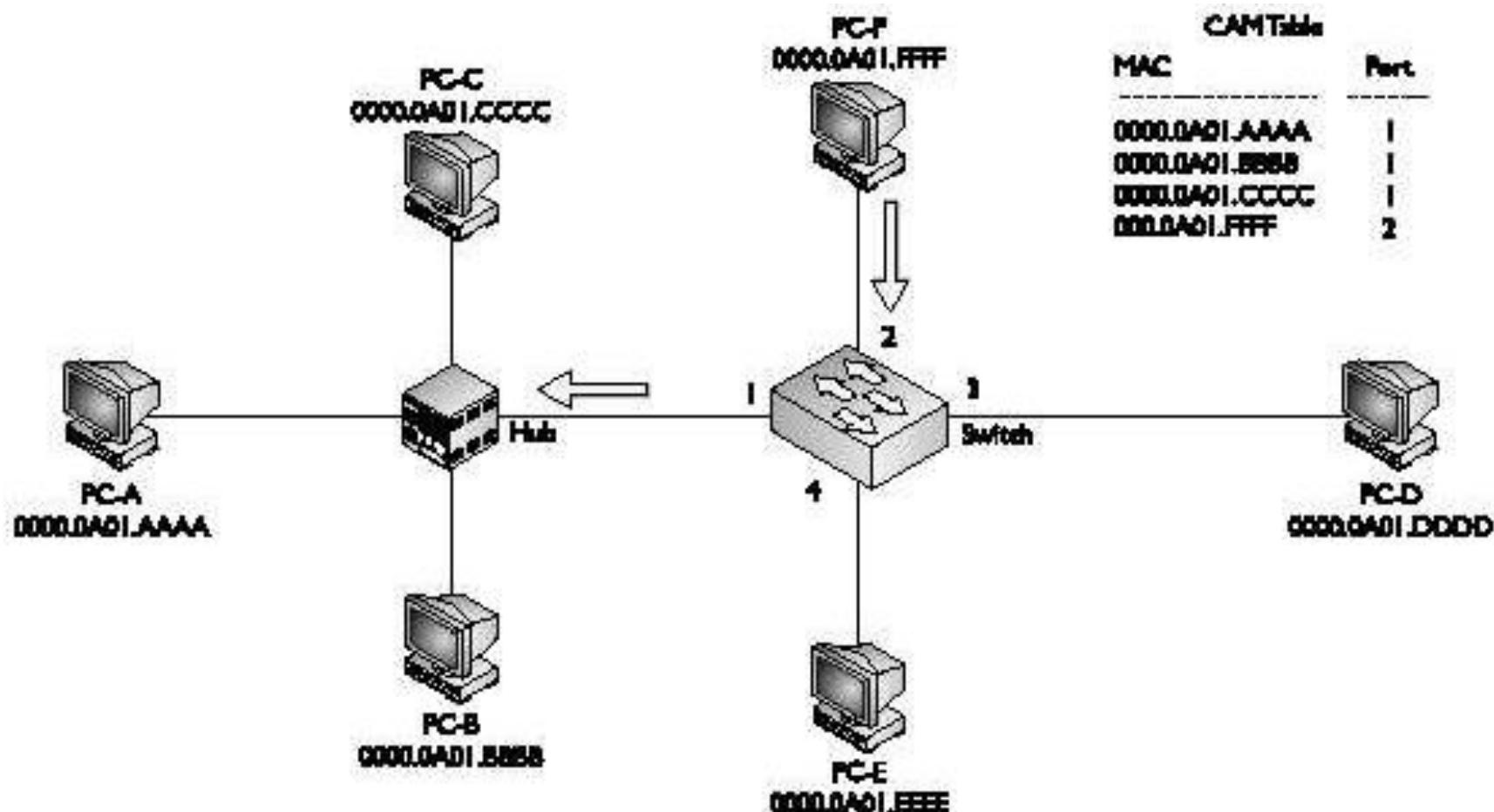
Most (Bridge) či Přepínač (Switch)

- L2 zařízení
- Full-duplex
- Ukládá a posílá rámce
- Zkoumá hlavičky rámciů a selektivně přeposíla rámce dle **Content Address Memory (CAM)** na základě cílové MAC
- Rozděluje kolizní doménu

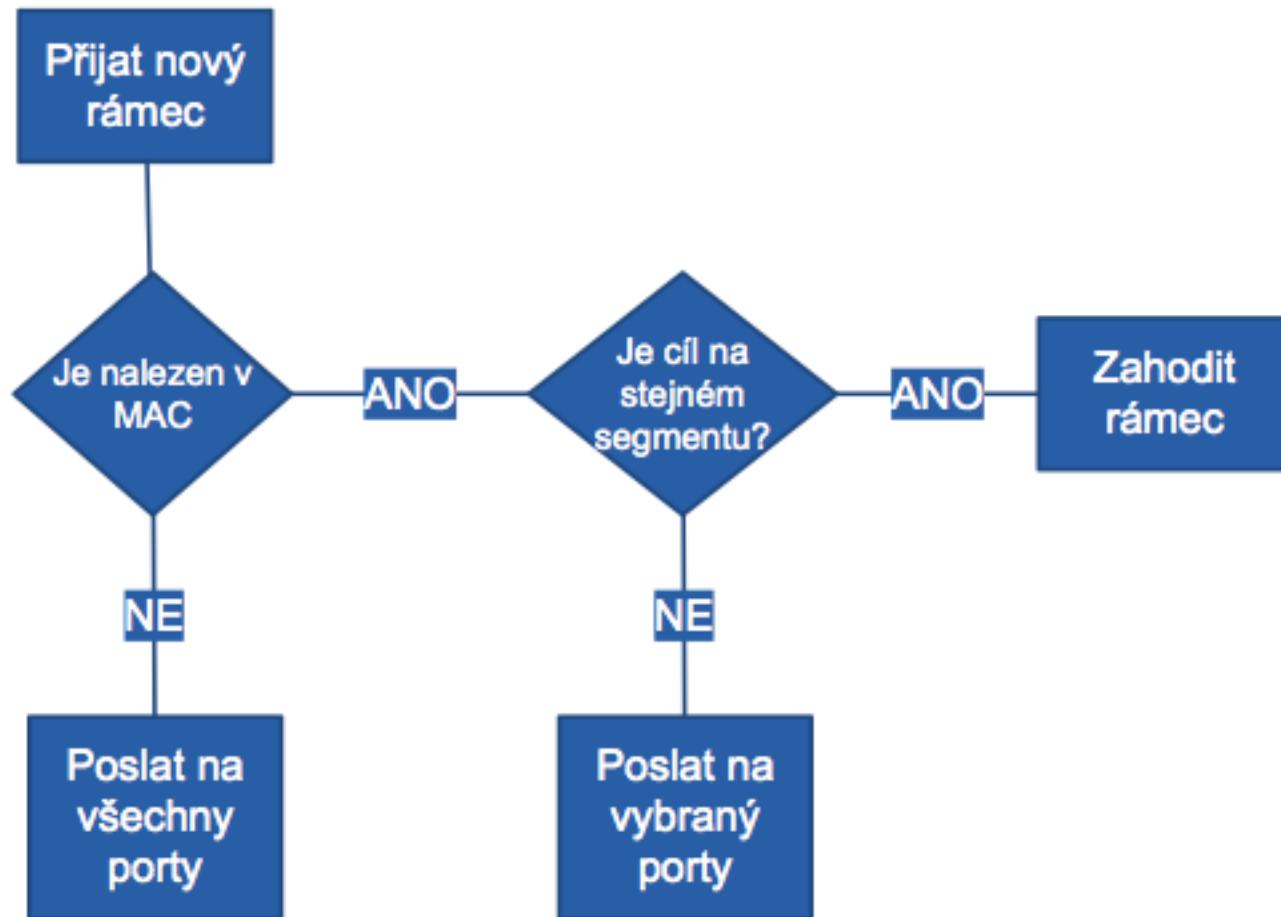


Příklad

- PC-F s PC-B



Forwarding (přenosílání)



Store-and-forward

Obdržení rámce

Celý rámec je načten do vstupní paměti

Rámec je zkontrolován zda neobsahuje chyby

Zpracování rámce

Pro rámec je vyhledán výstupní port dle cílové MAC

Jsou aplikovány další filtry (L2 ACL) a klasifikátory

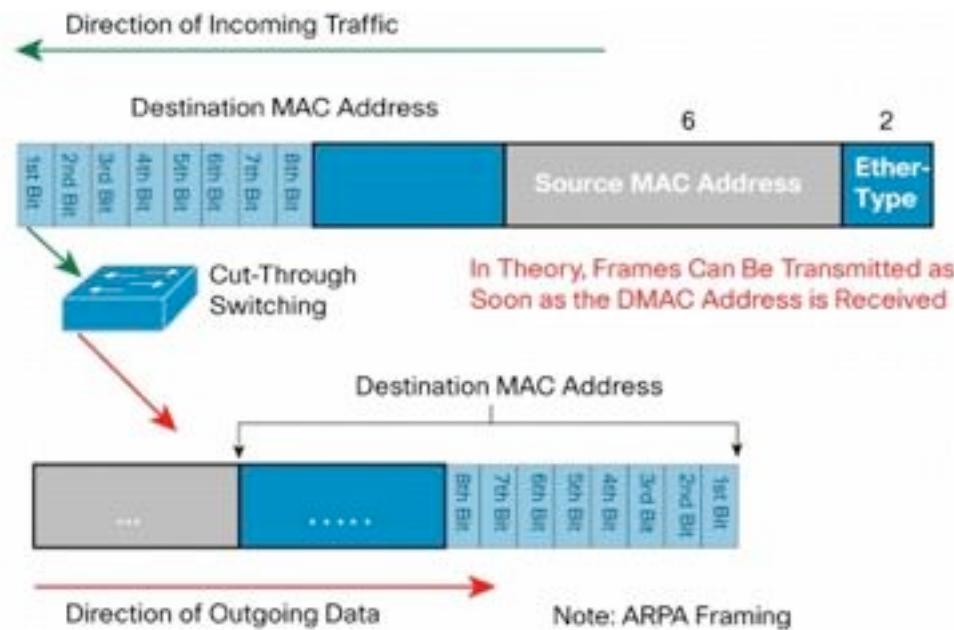
Odeslání rámce

Rámec je uložen ve výstupním buferu portu

Rámec je odeslán na médium

Cut-through

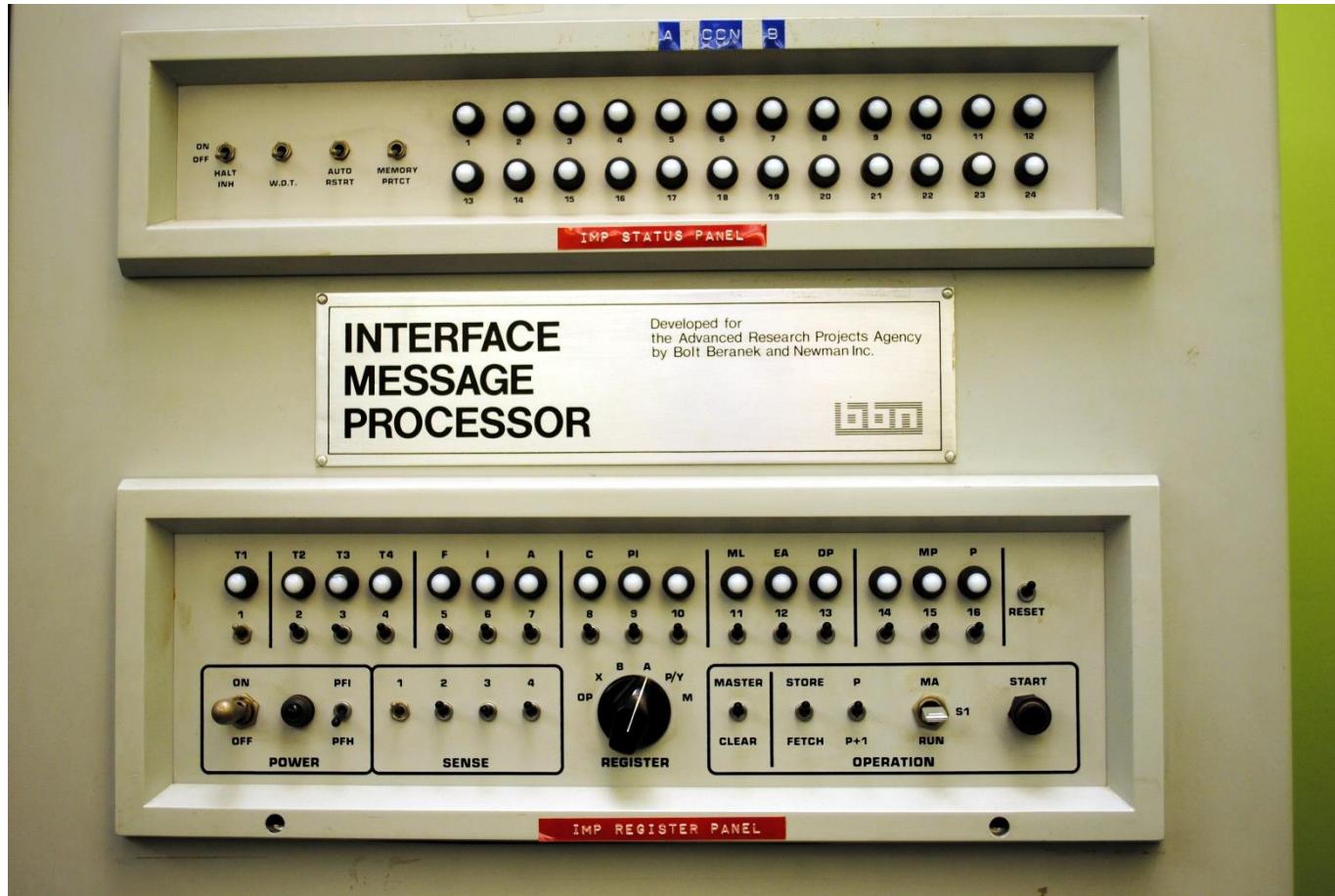
- Není potřeba načíst celý rámec pro jeho přenos, minimálně však DMAC
 - Ve skutečnosti je rámec odesílán až má switch dostatek informací (typ rámce, další hlavičky)
 - V případě ACL, se čeká na typ rámce a čtou se další hlavičky (IP, TCP, UDP)
- Není možné zahazovat neplatné rámce (je možné je pouze označit)



Cut-through

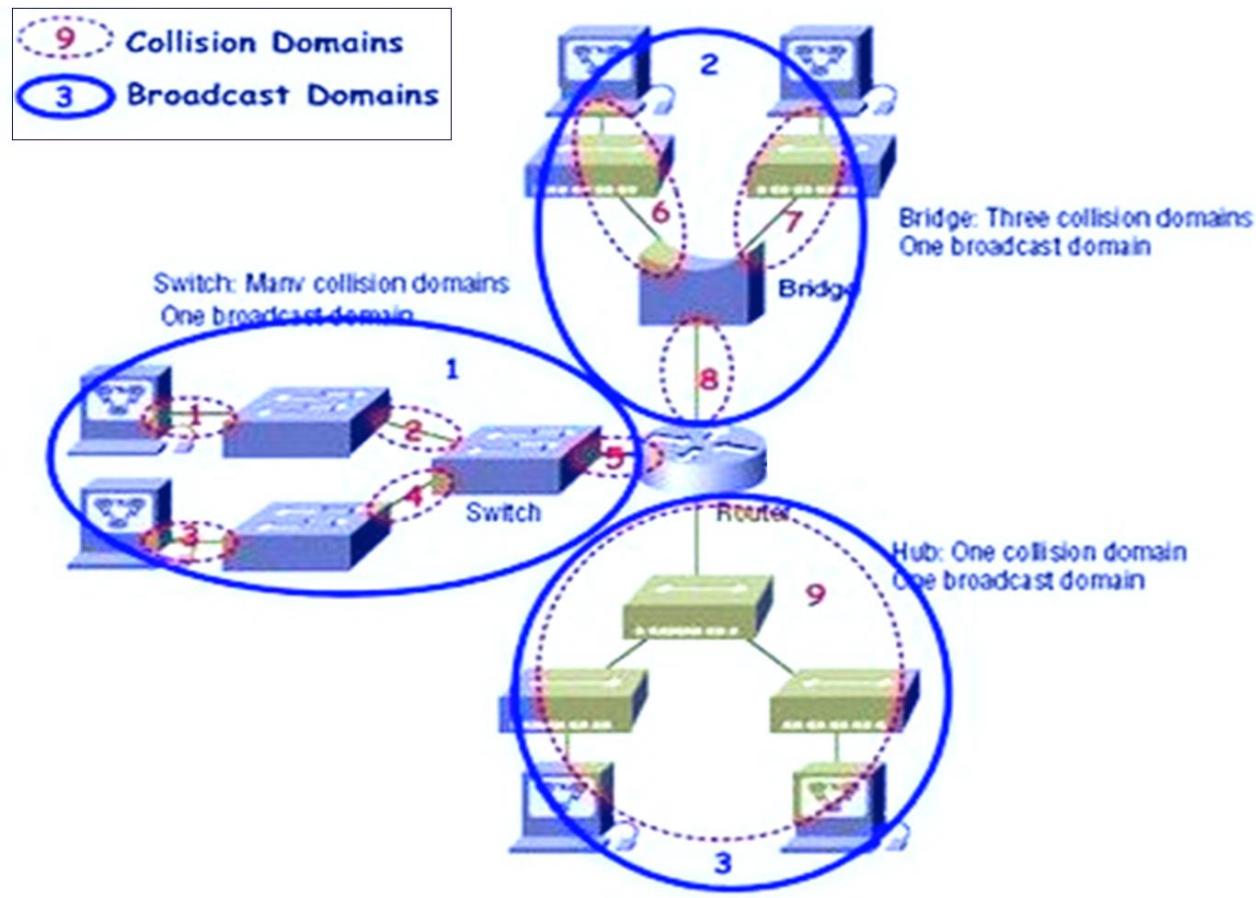
- *Pro rámce 9000 bajtů je úspora času několik mikrosekund v případě 10-Gbps*
- Výhody nejsou tak zřejmé při:
 - Použití transportních protokolů s řízením toku dat
 - Z pohledu uživatelského vnímání ve většině aplikací
 - Deep packet examination
 - Distribuce přes více cest (PortChannel)
 - IP ACL
 - Různé rychlosti přijímání a odesílání
 - Zahlcení výstupních portů

První router



Směrovač (Router)

- L3 zařízení
- Přeposílá IP pakety dle směrovací tabulky na základě cílové IP adresy
- Rozděluje broadcastovou doménu



Porovnání

	hub	bridge	router	switch
Traffic isolation	No	Yes	Yes	Yes
Plug and play	Yes	Yes	No	Yes
Optimal routing	No	No	Yes	No
Cut-trough	Yes	Yes	No	Yes

Obsah

1) Úvodní informace

- Motivace
- Detekce a oprava chyb

2) MEDIA ACCESS CONTROL

- Řízení přístupu k sdílenému médiu

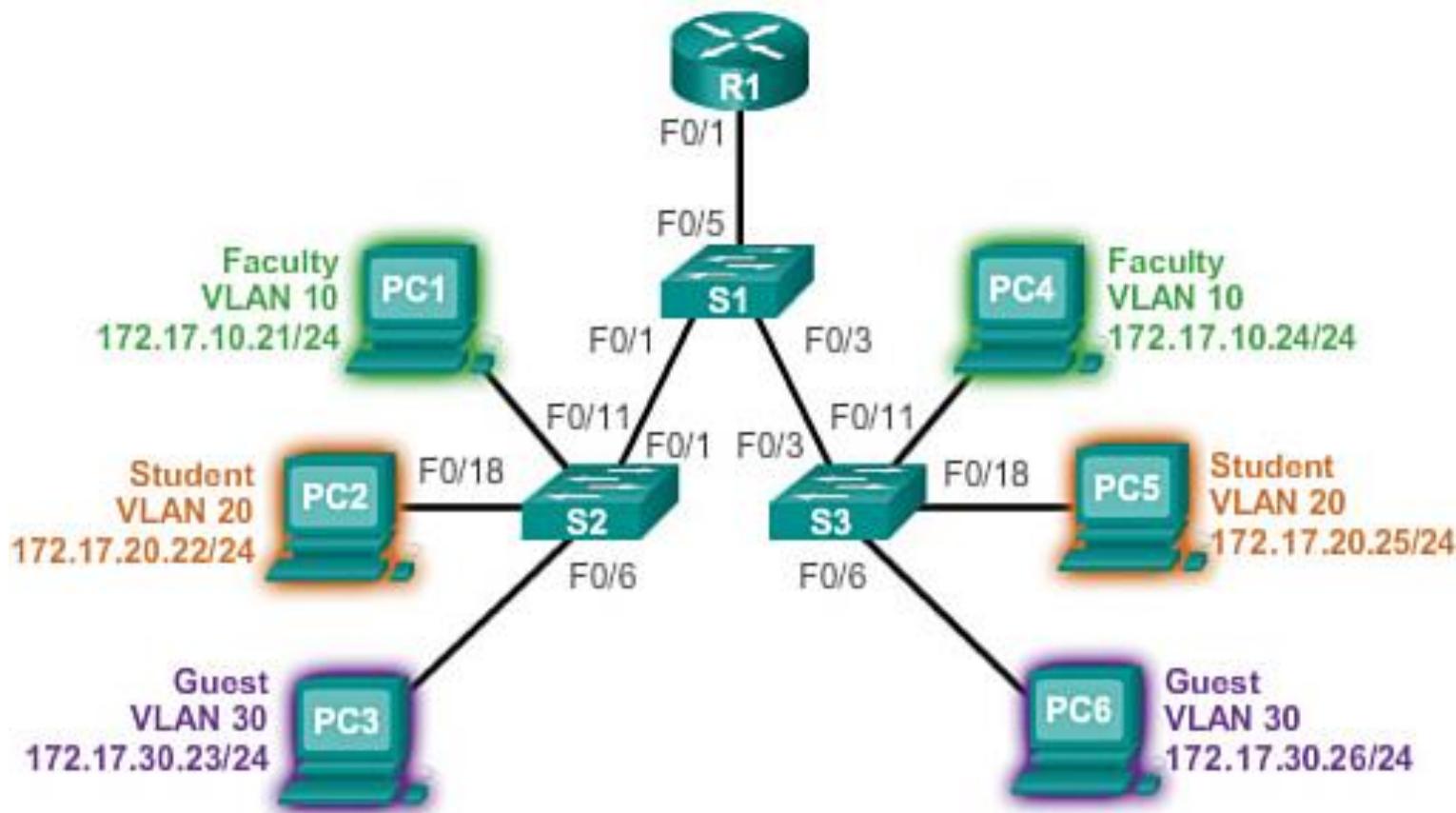
3) ETHERNET

- Adresování
- ARP
- Aktivní síťové prvky

4) VIRTUÁLNÍ LAN sítě

5) STP

Motivace

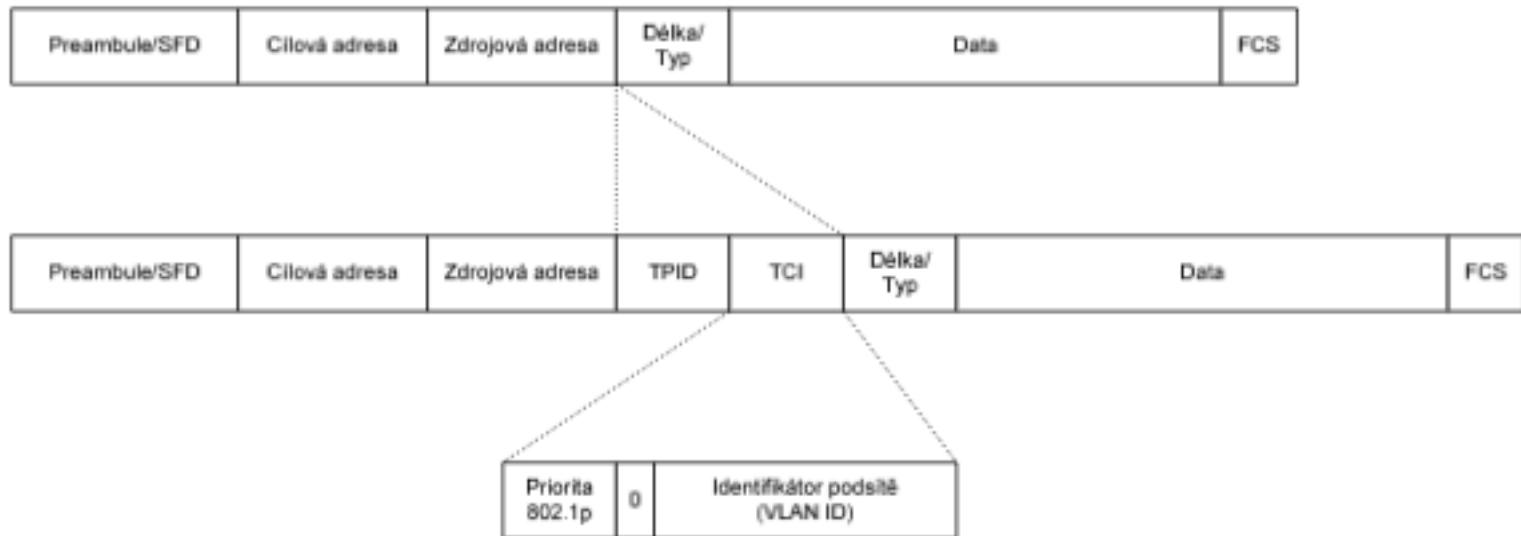


Virtuální LAN sítě (VLAN)

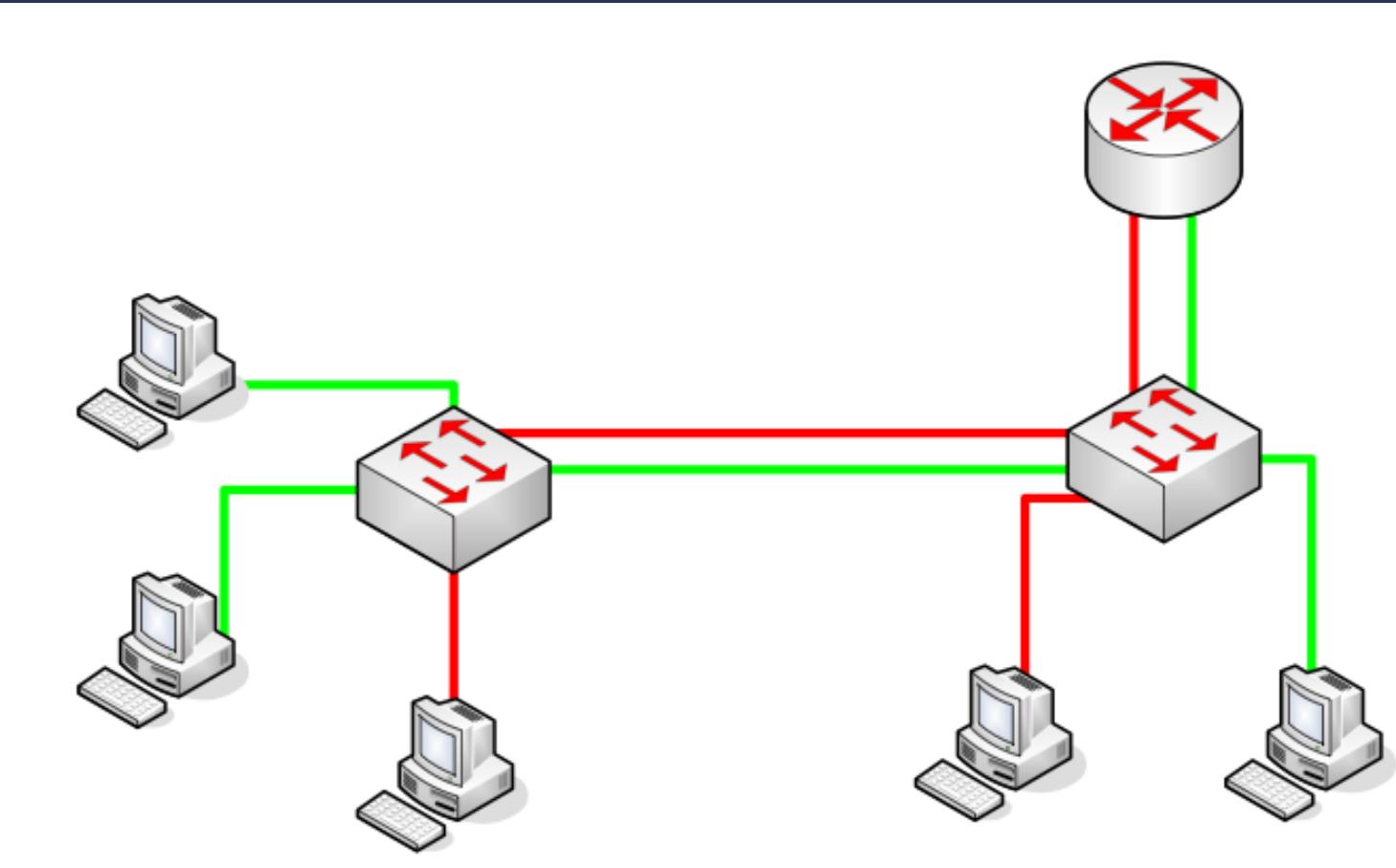
- Část síťové infrastruktury (typicky ethernetové), která se chová jako samostatná LAN.
- Softwarově konfigurovatelná, může zasahovat do několika budov.
- Počítače komunikují přímo, distribuuje se broadcast rámce apod.
- Propojení jednotlivých VLAN sítí pouze na směrovači.
- Není nutné pořizovat samostaný přepínač pro jednotlivé LAN sítě.
- Propojení více přepínačů bez nutnosti propojit samostaně každou VLAN (plýtvání porty) – trunking 802.1Q (Cisco prorietální ISL)

IEEE802.1Q

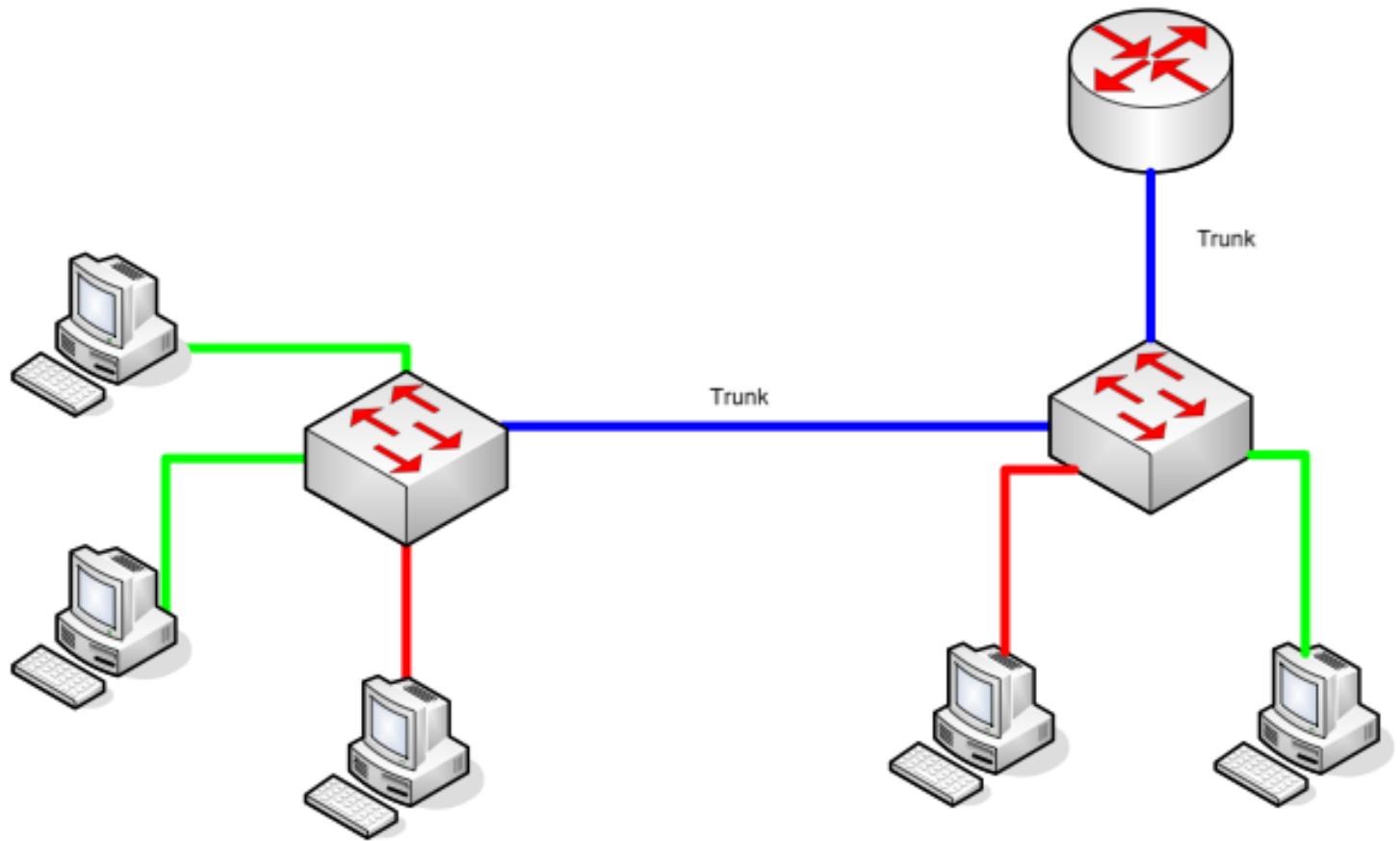
- Přidány 4B pro identifikaci virtuální sítě
- TPID–Tag Protocol Identifier (16bitu°)
0x8100 pro Ethernet
- TCI–Tag Control Information (16bitu°)
3 bity priorita, bit 0, 12 bitu° VLAN ID



VLAN bez trunků



VLAN 802.1Q trunk



Obsah

1) Úvodní informace

- Motivace
- Detekce a oprava chyb

2) MEDIA ACCESS CONTROL

- Řízení přístupu k sdílenému médiu

3) ETHERNET

- Adresování
- ARP
- Aktivní síťové prvky

4) VIRTUÁLNÍ LAN SÍTĚ

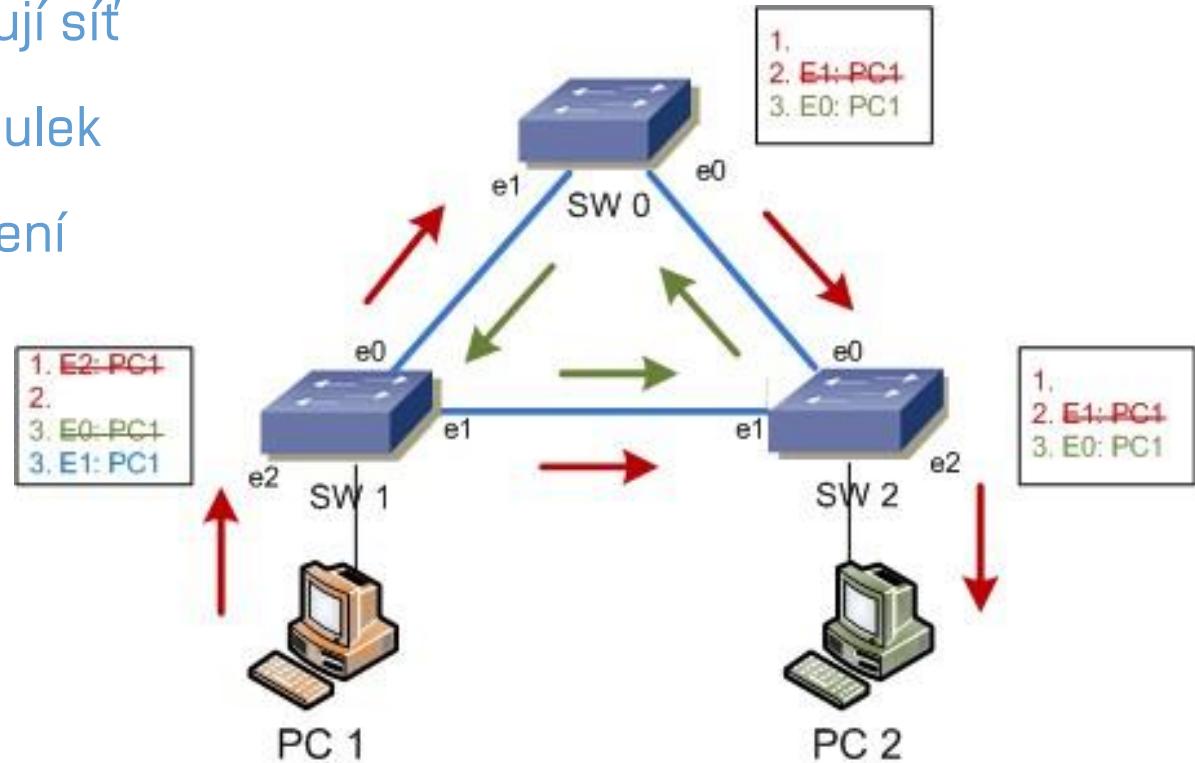
5) STP



Radia Perlman

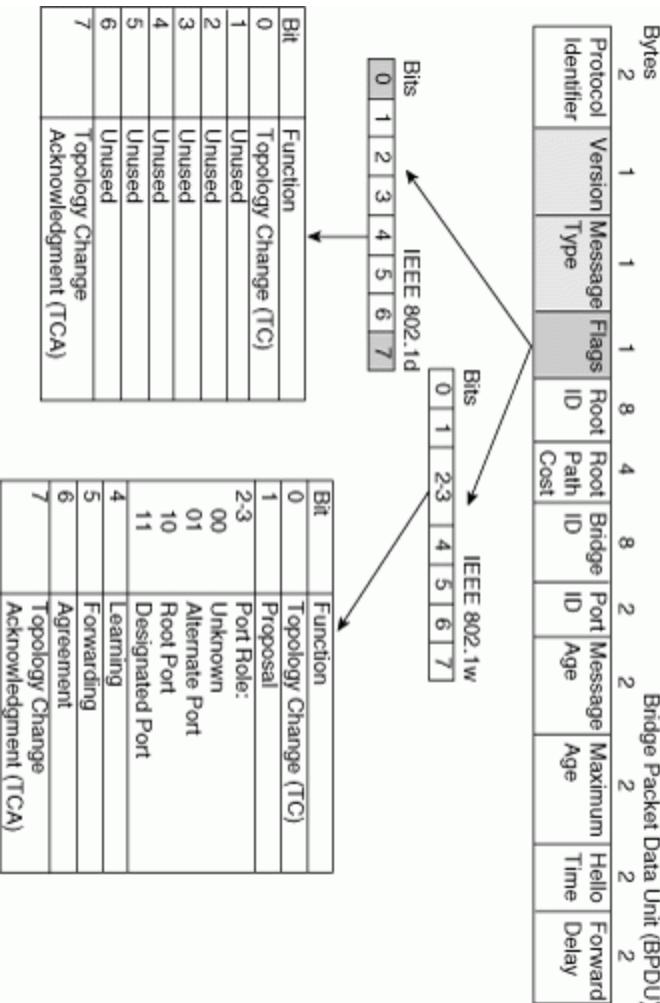
Spanning Tree

- Redundance pro zajištění spolehlivosti
- Problémy:
 - Broadcast storms - broadcastové rámce jsou neomezeně duplikovány a zahlcují síť
 - Nestabilita MAC tabulek
 - Vícenásobné doručení



BPDU

- Jsou vyměňovány mezi přepínači
 - ve stabilním stavu každé 2s
- Slouží k:
 - Volbě root-bridge
 - Volbě designated-portů pro každý segment
 - Odstranění smyček
- Každý BPDU obsahuje:
 - Jednoznačnou identifikaci přepínače (Switch MAC)
 - Identifikaci portu (Port MAC)
 - Cenu od tohoto portu k root-bridge (2 ~ 10Gbs, 4 ~ 1Gbs, 19 ~ 100Mbs)
 - Identifikaci root-bridge (Root MAC)

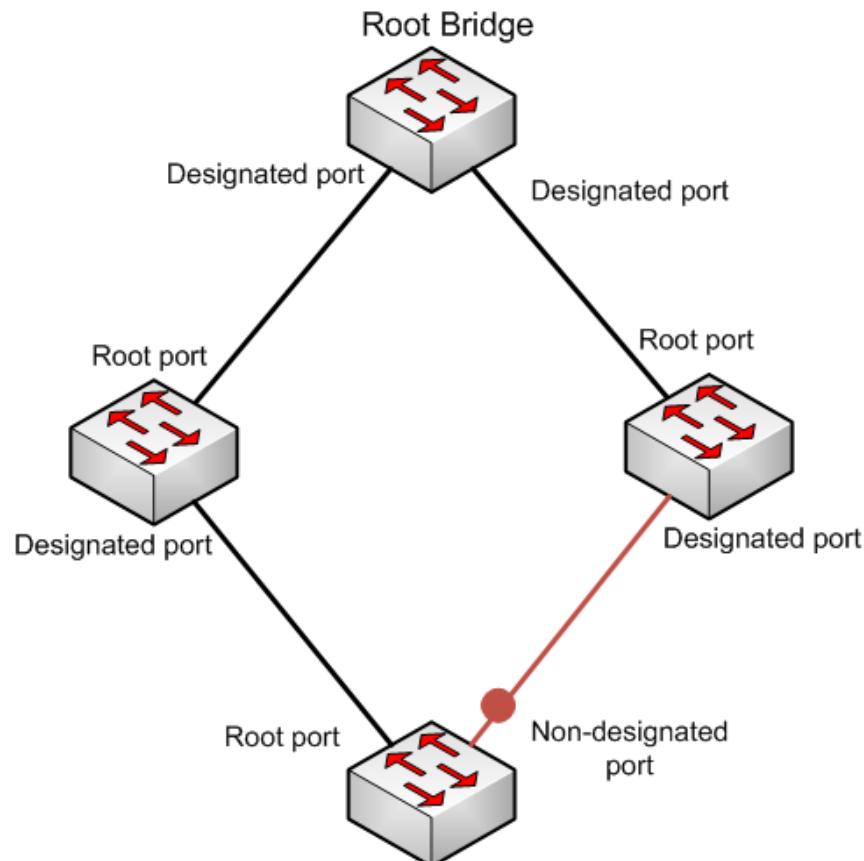


STP

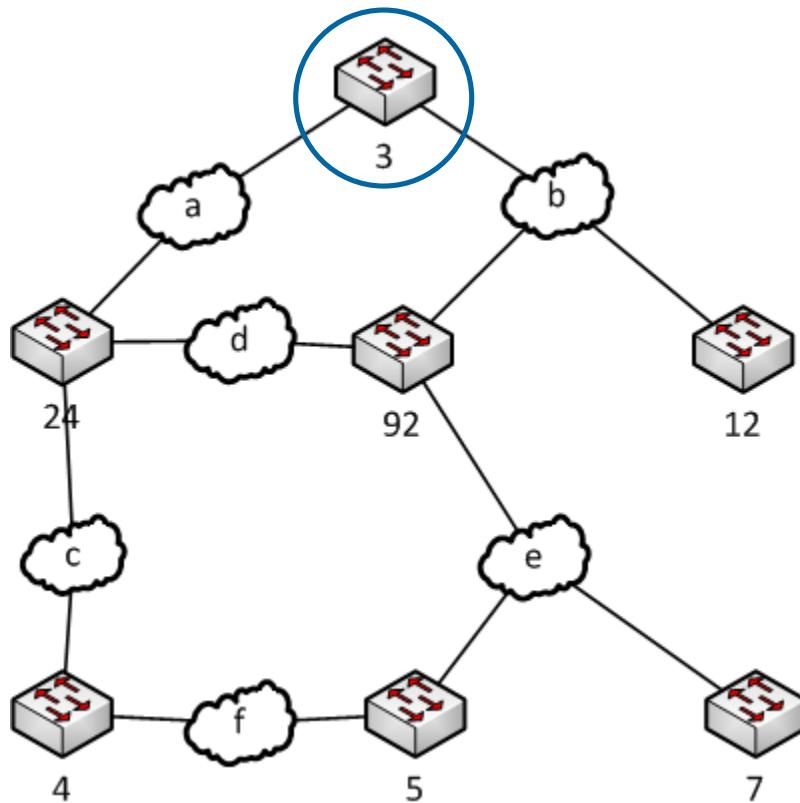
Operace

- 1) Volba Root Bridge
- 2) Výběr Root portů
- 3) Výběr Designated Portů
- 4) Ostatní jako Non-designated

- **root port** - port s nejnižší cenou, bud' linka přímo spojená s Root Bridgem nebo s nejkratší cestou k němu.
- **designated port** - port, který je členem STP topologie a připojuje segment.
- **non-designated port** - blokovaný port, redundantní cesta.



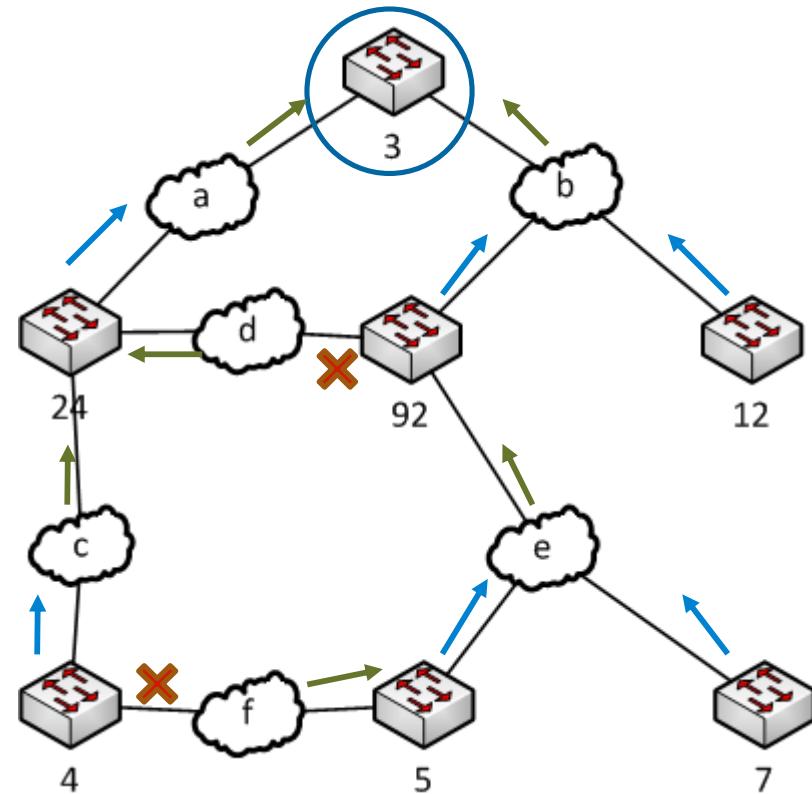
Volba root bridge



Bridge s nejmenším Bridge ID
- explicitně nastavena (Bridge priority)
- odvozena z nekonfigurovatelné MAC a konfigurovatelného parametru priority

Nalezení nejkratší cesty k

- Podle ceny linky/segmentu
- Porty vedoucí k root s nejnižší cenou jsou označeny jako **root**
- Porty které slouží segmentům jako cesta k root jsou označeny jako **designated**
- Ostatní porty jsou zakázány a označeny jako **blocked**



Stavy portů

Blocking

- Zahazuje rámce
- Přijímá BPDU
- Nezpracovává BPDU
- Neodesílá BPDU

Listening

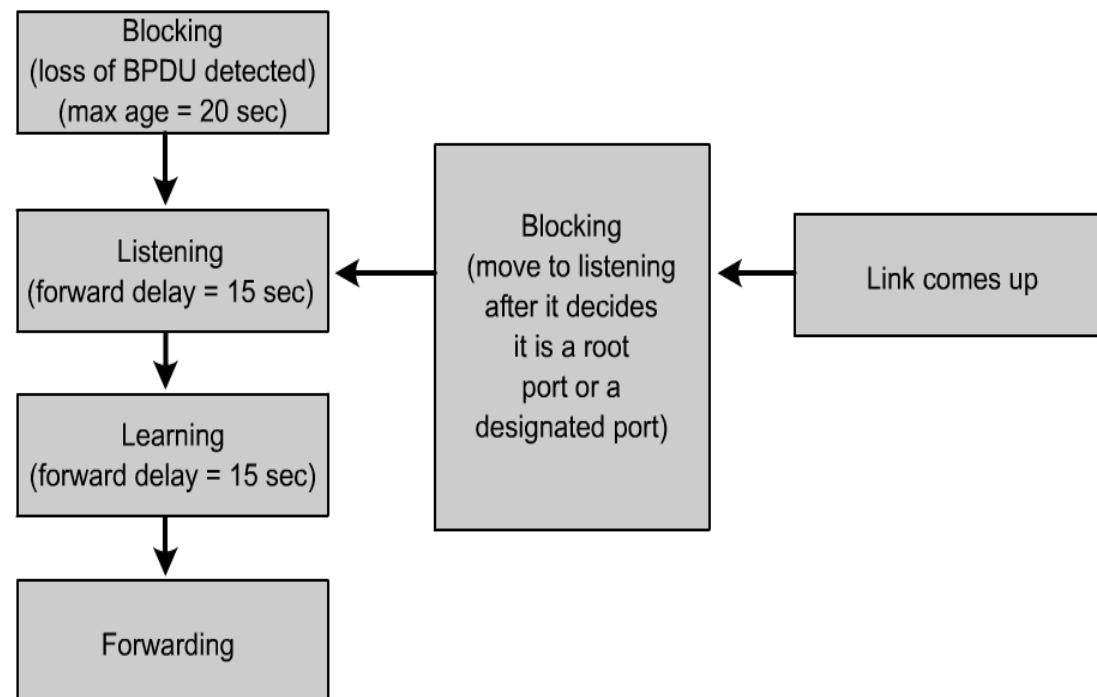
- Zahazuje rámce
- Přijímá BPDU
- Zpracovává BPDU
- Neodesílá BPDU

Learning

- Zahazuje rámce
- Přijímá BPDU
- Zpracovává BPDU
- Odesílá BPDU

Forwarding

- Posílá rámce
- Přijímá BPDU
- Zpracovává BPDU
- Odesílá BPDU



Typy STP

- **Common Spanning Tree (CST)**
 - IEEE 802.1d
 - pro všechny VLANy běží jediná instance STP
 - norma vznikla v roce 1998 a CST byl zrušen revizí v roce 2004
- **Per-VLAN Spanning Tree (PVST)**
 - Cisco, vychází z IEEE 802.1d
 - pro každou VLANu běží samostatná instance
 - ISL trunk
- **Per-VLAN Spanning Tree Plus (PVST+)**
 - Cisco
 - 802.1q trunk
- **Rapid Spanning Tree (RST)**
 - IEEE 802.1w
 - rychlá konvergence (okolo 1s)
- **Rapid per-VLAN Spanning Tree Plus (RPVST+)**
 - Cisco, modifikace a rozšíření IEEE 802.1w
 - RST běží pro každou VLAN zvláště
- **Multiple Spanning Tree (MST)**
 - IEEE 802.1s
 - rychlé jako RST a umožňuje mapovat několik VLAN do jedné STP instance, tedy umožní ušetřit počet STP pro velký počet VLAN

Studijní materiály

- Kurose J.F., Ross K.W.: **Computer Networking, A Top-Down Approach Featuring the Internet.** Addison-Wesley, 2003.
- Spurgeon, E. C.: **Ethernet, The Definitive Guide.** O'Reilly, 2000.
- Halsall, F.: **Computer Networking and the Internet.** Addison-Wesley, 2005.
- Tomáš Bílek. Spanning Tree Protocol. Seminární práce.
<http://netacad.fit.vutbr.cz/texty/ccna-moduly/ccna3-7.pdf>