

# KOMUNIKAČNÍ TECHNOLOGIE (BPC-KOM)

Ústav telekomunikací

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií

VUT v Brně

doc. Ing. Jan Jeřábek, Ph.D.

[jerabekj@feec.vutbr.cz](mailto:jerabekj@feec.vutbr.cz)

# SPOJOVÁ VRSTVA PŘENOSOVÝCH SYSTÉMŮ



# Plán přednášky

3

- Úloha spojové vrstvy
- Podvrstvy
- Režimy komunikace
- Vytváření rámců
- Adresace spojové vrstvy
- Techniky detekce chyb
- Spolehlivý přenos
- Logická vs fyzická topologie
- Přenosové technologie z pohledu spojové vrstvy
- Zařízení spojové vrstvy

# Úloha spojové vrstvy

4

- mění prostý proud bitů na spolehlivý přenos rámců (či buněk nebo bloků)
- zajišťuje vytvoření, udržení a uvolnění spojení mezi entitami síťové vrstvy
- implementace závislá na druhu sítě
- chybovost fyzické vrstvy
  - ▣ bitová chybovost ( $BER = \text{Bit Error Rate}$ )
    - poměr chybně přenesených bitů ku všem bitům
    - $10^{-3}$  až  $10^{-14}$
    - vyšší v bezdrátovém prostředí, nejnižší v optickém vlákně
    - příčiny
      - Šum, interference, zkreslení, špatná synchronizace, útlum, efekty spojené s vícecestným šířením signálu, ...
  - ▣ spojová vrstva se snaží chyby odstranit
    - její charakter efektivně přizpůsoben podmínkám

# Efektivní komunikace spojové vrstvy

5

## □ **rámcová synchronizace**

- data jsou vysílány v blocích (rámce)
- rámec je základní jednotka na úrovni spojové vrstvy
- začátek a konec rámce musí být identifikovatelný

## □ **řízení toku dat**

- rychlost vysílání rámců  $\times$  rychlost přijímání rámců
- adaptivní režim

## □ **řízení chybových stavů**

- rozpoznání a opravy chyb při přenosu

## □ **adresování**

- jednoznačná identifikace uzlů sítě (mnohobodové spoje)

# Efektivní komunikace spojové vrstvy

6

## □ **multiplexovaný provoz**

- sdružování provozu stejným kanálem (data, řídicí signály)
- rozlišení jednotlivých typů

## □ **řízení spoje**

- sestavení spojení mezi stanicemi
- udržování v chodu
- ukončení

# Podvrstvy spojové vrstvy

7

- **podvrstva řízení logického spoje (LLC = *Logical Link Control*)**
  - ▣ rozhraní mezi konkrétním přenosovým prostředkem a síťovou vrstvou
  - ▣ multiplexování požadavků síťové vrstvy
  - ▣ různé protokoly třetí vrstvy (zejména IP [v4 & v6], ojediněle IPX nebo Appletalk)
  - ▣ stará se i o kontrolu toku dat a řízení chybových stavů (× TCP)
- **podvrstva řízení přístupu k přenosovému médiu (MAC = *Media Access Control*)**
  - ▣ služby specifické pro daný přenosový prostředek
  - ▣ použité kódování a přenosové schéma
  - ▣ adresování
  - ▣ práce s rámcem
  - ▣ řešení problematiky přístupu k médiu s ohledem na ostatní uzly sítě (sdílení kapacity, řešení kolizí)

# Režimy komunikace ve spojové vrstvě

8

- tři základní typy komunikace dvou stran z hlediska obousměrnosti
  - ▣ simplexní spojení (*simplex*)
    - metoda jednosměrné komunikace
    - př.: klasické rozhlasové a televizní vysílání
  - ▣ poloviční duplexní spojení (*half-duplex*)
    - obousměrná komunikace není možná souběžně (střídání)
    - př.: klasické vysílačky
  - ▣ plně duplexní spojení (*full-duplex*)
    - umožňuje současnou komunikaci oběma směry
    - př.: běžné datové sítě



# VYTVÁŘENÍ RÁMCŮ



# Rámec

10

- základní jednotka spojové vrstvy (spolu s buňkou či blokem)
- vyžadované řídicí informace
  - ▣ které uzly spolu komunikují
  - ▣ kdy komunikace začíná a kdy končí
  - ▣ zda došlo při přenosu k chybám
  - ▣ kdo bude komunikovat jako další
- tři hlavní části
  - ▣ **datová část** – typicky paket nezávislý na přenosové technologii
  - ▣ **záhlaví** (*header*)
    - řídicí informace na začátku rámce
    - tvar závislý na konkrétní technologii
    - více polí, zejména:
      - **začátek rámce** (*preamble, flag*) – identifikace začátku rámce na médiu, předem daná sekvence
      - **adresy** – zdrojová a cílová
      - další – např. délka datové části

# Rámec

11

- tři hlavní části (pokračování)
  - ▣ **zápatí** (*trailer*)
    - řídící informace na konci rámce, tvar závislý na konkrétní technologii
    - obvykle určeno k
      - detekci poškození rámce
      - identifikace konce rámce
    - položky
      - **kontrolní sekvence rámce** (FCS = *Frame Check Sequence*)
        - detekce chyb při přenosu
        - k vytvoření využívány tzv. cyklické redundantní kódy (CRC = *cyclic redundancy check*)
      - **vlastní zápatí**
        - identifikace konce rámce
        - předem daná sekvenci jedniček a nul
        - nutné pokud záhlaví rámce neobsahuje informaci o délce
- záhlaví + zápatí představuje nezbytnou režii přenosu
- neexistuje univerzální rámec (požadavky přenosových prostředí se liší)
  - ▣ prostředí s více chybami – větší režie přenosu

# Rámec protokolu Bisync

12

- *Binary Synchronous Communication* (BSC, Bisync)
- jeden z nejstarších přístupů
- rámec je řadou oktetů
- znakově orientovaný protokol
  - ▣ určen primárně pro poloduplexní komunikaci
  - ▣ speciální řídicí znaky (každý vyjádřen jedním bajtem)
- celkem 5 možných formátů rámce
  - ▣ jeden z možných:

Bity 8	8	8		8		8	16
SYN	SYN	SOH	Záhlaví	STX	Tělo (data)	ETX	CRC

# Rámec protokolu Bisync

13

- **SYN** (*Synchronization*) – označení začátku rámce
- **SOH** (*Start of Header*) – značka za kterou následuje záhlaví
- **STX** (*Start of Text*) – označení začátku těla zprávy
- **ETX** (*End of Text*) – označení konce těla zprávy
- **CRC** (*Cyclic Redundancy Check*) – detekci chyb při přenosu
- problémem výskyt řídicích sekvencí v datové části, např. ETX
  - ▣ výskyt řídicí sekvence v datové části řešen přidáním dalšího speciálního symbolu
  - ▣ vkládání dodatečných bajtů do dat se nazývá *stuffing*

# Rámec protokolu PPP

14

- *Point-to-Point Protocol*
- hojně využíván na spojích bod-bod, více verzí
- ve spolupráci s dalšími protokoly umožňuje také
  - ▣ autentizace
  - ▣ šifrování
  - ▣ komprese přenášených dat
- přenos duplexní
- PPP protokol má dvě podvrstvy
  - ▣ **LCP** (*Link Control Protocol*) – správa spojení, tj. např. dojednání parametrů přenosu
  - ▣ **NCP** (*Network Control Protocol*) – vlastní přenos dat

# Rámec protokolu PPP

15

- jeden z možných formátů rámce (vycházející z HDLC)
  - ▣ Flag – návěst (značka) začátku a konce rámce
  - ▣ Adresa a řízení – fixní hodnoty (irelevantní)
  - ▣ Protokol – informace o protokolu vyšší vrstvy
  - ▣ CRC
  - ▣ pořadí polí pevně dáno, délka může být mezi komunikujícími stranami upravena

Bity 8	8	8	8		16	8
Flag	Adresa	Řízení	Protokol	Tělo (data)	CRC	Flag

# Rámec protokolu HDLC

16

- *High-Level Data Link Control*
- rámec je proud bitů
- pevná struktura rámce

Bitů 8	8	8		16	8
Flag	Adresa	Řízení	Tělo (data)	CRC	Flag

- Flag = 01111110
- nutný *bit stuffing* (rámce mohou být různě dlouhé)
- pro spoje
  - ▣ bod-bod
  - ▣ možno využít i na spojích bod – více bodů
- vyvinut organizací ISO, rozšiřován, např. firmou Cisco



# Rámeček standardu Ethernet

17

- nejčastější spojový protokol
- široká a neustále se vyvíjející specifikace
- sítě s vícenásobným přístupem
- několik podobných základních formátů rámce
- IEEE 802.3 (datová část může skrývat další záhlaví)

Bajty 8	6	6	2	46 až 1500	4
Preamble	Cílová adresa	Zdrojová adresa	Délka	Data	FCS

- Ethernet II (běžnější)

Bajty 8	6	6	2	46 až 1500	4
Preamble	Cílová adresa	Zdrojová adresa	Typ	Data	FCS

- Další pak jsou např. Ethernet II SNAP; 802.1q

# Rámec standardu Ethernet

18

- rozdíl mezi rámci
  - ▣ „délka“ u IEEE 802.3 – délka datové části
  - ▣ „typ“ u Ethernet II – info o typu vyššího protokolu (IP)
  - ▣ rozlišení rámců na základě hodnoty v tomto poli
    - nižší než 1500 (délka dat)
    - vyšší hodnota (kód typu protokolu)
  - ▣ pozn.: u rámce Ethernet II je rozpoznání konce založeno na kódování na fyzické vrstvě, kde je použit speciální kód umožňující zasílat mimo dat i určité řídicí sekvence

# Rámeč standardu Ethernet

19

## □ význam dalších polí

### ▣ preamble

- obsahuje i pole SFD (*Start Frame Delimiter*)
- určení začátku rámce, oddělení hlavní části rámce
- synchronizace příjemce

### ▣ cílová a zdrojová adresa

- adresy komunikujících uzlů
- cílová adresa pro doručení k adresátovi
- zdrojová adresa pro případnou odpověď

### ▣ datová část

- obsahuje typicky další záhlaví (vyšší protokoly) a vlastní data

### ▣ FCS (*Frame Check Sequence*)

- kontrolní sekvence rámce
- vytvořen z celého rámce s výjimkou preamble a SFD

# Rámec (buňka) technologie ATM

20

- ATM = *Asynchronous Transfer Mode*
- Komutace buněk + asynchronní přenosový režim
- Výhody komutace okruhů + komutace paketů
- V praxi na ústupu
- Čtyři třídy kvality služeb
  - ▣ CBR (*Constant Bit Rate*)
  - ▣ VBR (*Variable Bit Rate*)
  - ▣ ABR (*Available Bit Rate*)
  - ▣ UBR (*Unspecified Bit Rate*)

# Rámec (buňka) technologie ATM

21

- Buňka fixně 53 B, krátká, ideální pro hlas, velká režie přenosu

5 B	48 B
Záhlaví	Data

- Záhlaví z celkem šesti položek
  - **GFC** (*Generic Flow Control*), 4 bity – určité lokální funkce a řízení, např. sdílení ATM rozhraní, nicméně typicky nepoužíváno.
  - **VPI** (*Virtual Path Identifier*), 8 bitů – spolu s VCI definuje přenosovou trasu pro danou buňku.
  - **VCI** (*Virtual Channel Identifier*), 16 bitů – spolu s VPI definuje přenosovou trasu pro danou buňku, VCI reprezentuje konkrétní kanál v rámci dané trasy.
  - **PT** (*Payload Type*), 3 bity – rozlišení uživatelských či řídicích dat, indikace dalších stavů souvisejících s přenosem dat.
  - **CLP** (*Cell Loss Priority*), 1 bit – identifikátor zda má být buňka zahozena v případě extrémního zahlcení sítě.
  - **HEC** (*Header Error Control*), 8 bitů – kontrolní kód se schopností detekce bitových chyb ve zbytku záhlaví a i schopností opravy v případě pouze jedné bitové chyby.

# Rámec technologie Frame Relay

22

- Komutace paketů
- Spojově orientovaný přenos, virtuální okruhy (VC)
  - ▣ PVC (*Permanent Virtual Circuit*) - permanentní
  - ▣ SVC (*Switched Virtual Circuit*) - sestavovaný
  - ▣ DLCI (*Data Link Connection Identifier*) – ID daného VC
- Technologie v praxi na ústupu
- Rámec proměnné délky

8 b	16 b	až 1600 B	16 b	8 b
Flag	Adresa	Data	FCS	Flag

# Rámec technologie Frame Relay

23

- **Flag** (návěští), 8 bitů – sekvence „01111110“
- **Adresa**, 16 bitů
  - ▣ **DLCI** (*Data Link Connection Identifier*), nejčastěji 10 bitů
  - ▣ **EA** (*Extended Address*), nejčastěji 2 bity – indikace použití rozšířeného formátu DLCI
  - ▣ **C/R** (*Command response bit*), 1 bit – nepoužíváno
  - ▣ **Congestion Control**, 3 bity – notifikace případného zahlcení Frame Relay sítě + typu zahlcení
- **Data** – pole proměnné délky, komunikující strany si mohou domluvit maximum, standardně 1600 B
- **FCS** (*Frame Check Sequence*), 16 bitů – CRC kód

## Rámce založené na časové synchronizaci (SDH, SONET)

24

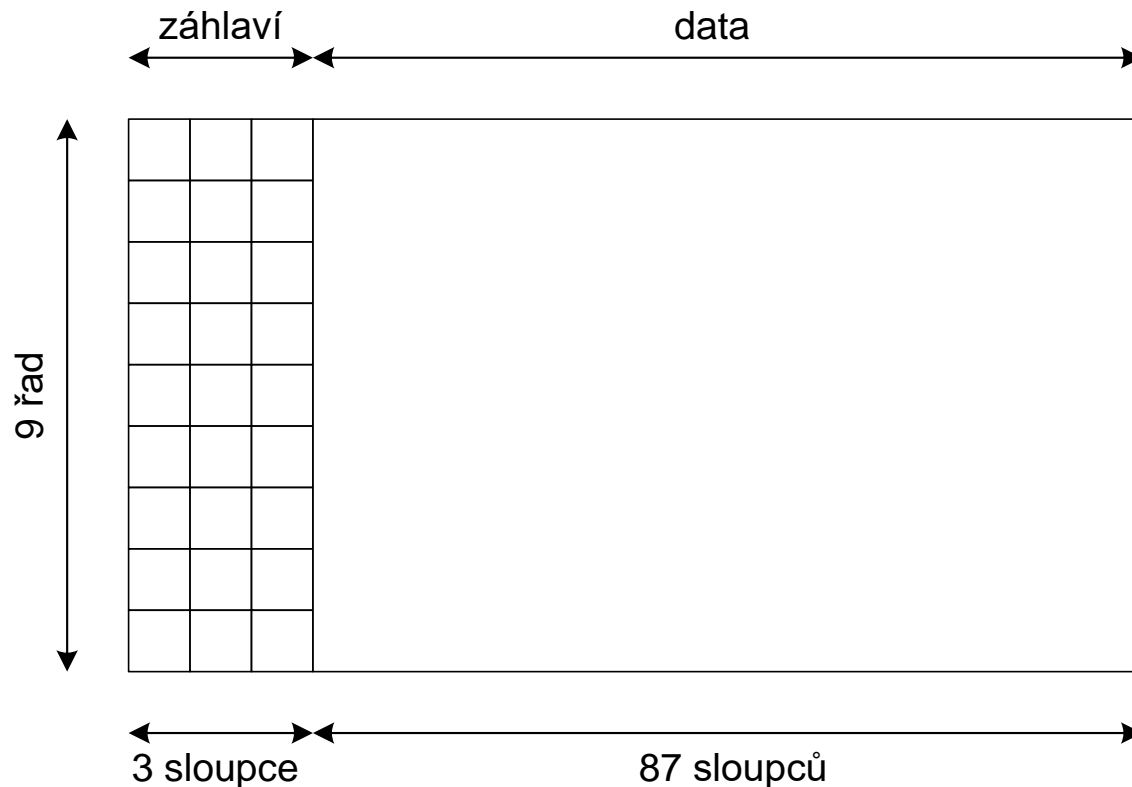
- vytváření rámců založené na přesném hodinovém signálu (*clock-based framing*)
- SDH či SONET
  - ▣ telefonní kanály
  - ▣ datové přenosy (Ethernet, IP, ATM)
- Nejmenší jednotka STM-0 (STS-1)
  - ▣ spojová přenosová rychlost 51,84 Mbit/s
  - ▣ datová kapacita 50,112 Mbit/s
  - ▣ overhead 1,728 Mbit/s (záhlaví)
  - ▣ rámec
    - 810 B celkově (125  $\mu$ s)
    - 27 B záhlaví (rozprostřeno v rámci)
    - synchronizace rozpoznáním očekávané posloupnosti v definovaném rozestupu (součást záhlaví)
    - žádný *stuffing*



## Rámce založené na časové synchronizaci (SDH, SONET)

25

- přenos rámce probíhá po řádcích
- pevná délka rámce není vždy ideálně efektivní



## Rámce založené na časové synchronizaci (GPON)

26

- *Gigabit Passive Optical Network*, NG-PON a další až do rychlostí  $\sim 40 \text{ Gb/s}$
- Různé formáty rámce pro download a upload, systémy jejich skládání
- Vždy fixní délka rámce  $125 \mu\text{s}$ , různý počet bajtů (např.  $2,48832 \text{ Gb/s} \rightarrow 38880 \text{ B}$ )
- Časové dělení, nejbližší asynchronnímu přenosovému módu
- Relativně velká režie přenosu, složitost technologie, ale variabilita
- Zajímavé pro skládání menších rámců do větších rámců

# Rámce založené na časové synchronizaci (GPON)

27

- Zjednodušený formát záhlaví v sestupném směru

Proměnná délka	Proměnná délka				4 B
Záhlaví FS	Datová část FS				FCS (BIP)
	GEM rámec	GEM rámec	...	GEM rámec	

- Záhlaví FS (*Frame Sublayer*)
  - ▣ Složitá struktura, řízení přístupu k médiu ve vzestupném směru, rozdělení kapacity, různé identifikátory, délka až 2078 B
- Datová část FS
  - ▣  $N$  rámců GEM (*GPON Encapsulation Method*)
    - Záhlaví 8 B + Datová část proměnné délky (běžně i délky Ethernet rámce bez preamble)
- FCS (BIP = *Bit Interleaved Parity*) – možnost detekce bitových chyb

# Umístění rámce na sdílené médium

28

- sdílené médium neumožňuje současnou komunikaci více stanic (× vícenásobný přístup)
- kolize rámců (současné vysílání)
- metody řízení přístupu na médium (*media access control*)
  - ▣ odlišnosti dle média
  - ▣ úkolem definovat způsob sdílení média
  - ▣ (paralela k dopravě na běžných silnicích)
  - ▣ závislé na:
    - způsobu jak je médium sdíleno mezi uzly sítě
    - topologii sítě na úrovni spojové vrstvy

# Umístění rámce na sdílené médium

29

- základní dělení metod
  - ▣ **metody s vysokým stupněm kontroly**
    - maximální snaha o vyhýbání se kolizím
    - velké zpomalení komunikace
    - nezanedbatelná režie
  - ▣ **metody s nízkým stupněm kontroly**
    - snaha o vyhýbání se kolizím
    - určitá míra chyb je tolerována (a následně řešena)
    - režie komunikace nižší
    - v běžných aplikacích zrychlení
- dělení dle náhodnosti metody (související)
  - ▣ **deterministické metody**
  - ▣ **nedeterministické metody**

# Deterministické metody

30

- plně řízený přístup
- v daný okamžik přenáší data pouze jedna stanice
- stanice se v možnosti vysílání střídají
- výhody
  - ▣ každá stanice má zaručenu určitou přenosovou kapacitu
  - ▣ systém je předvídatelný
- nevýhody
  - ▣ stanice před zahájením přenosu musí čekat, až přijde na řadu
  - ▣ dokud neskončí přenos rámce stanice, která byla na řadě, k žádnému dalšímu přenosu nedochází
  - ▣ poměrně neefektivní
- př. použití
  - ▣ kruhové topologie (Token Ring, FDDI)

# Nedeterministické metody

31

- založené na vzájemném soutěžení uzlů
- stanice mohou zkusit vysílat v *libovolný* okamžik
- v systému tedy existují kolize
- nutné mechanismy, jak tyto kolize řešit
- vylepšení
  - snížení počtu kolizí pomocí mechanismů detekce probíhajícího přenosu – *Carrier Sense Multiple Access (CSMA)*
  - pokud nějaký přenos již probíhá, snaha o další vysílání by vedla ke kolizi
  - v případě detekce přenosu tedy stanice krátký časový interval počká a poté pokus o vysílání opakuje

# Nedeterministické metody

32

- ke kolizi dojde pouze pokud médium prázdné a dvě nebo více stanic začnou vysílat ve stejný časový okamžik
- pokud se opakuje často, výrazně to snižuje přenosovou kapacitu (× zablokování sítě)
- celé funguje efektivně zejména v případech, kdy intenzita přenosů na sdíleném množství není vysoká
- př.:
  - ▣ Ethernet
    - varianta CSMA/CD (*Collision Detection*), odpovídá popisu výše
  - ▣ Wi-Fi (standardy 802.11)
    - CSMA/CA (*Collision Avoidance*), uzly se snaží kolizím vyhýbat
    - uzel po detekci prázdného média informuje ostatní stanice o tom, že bude vysílat
    - množství kolizí se sníží
    - snížení dosažitelných přenosových rychlostí



# ADRESACE SPOJOVÉ VRSTVY



# Adresy spojové úrovně

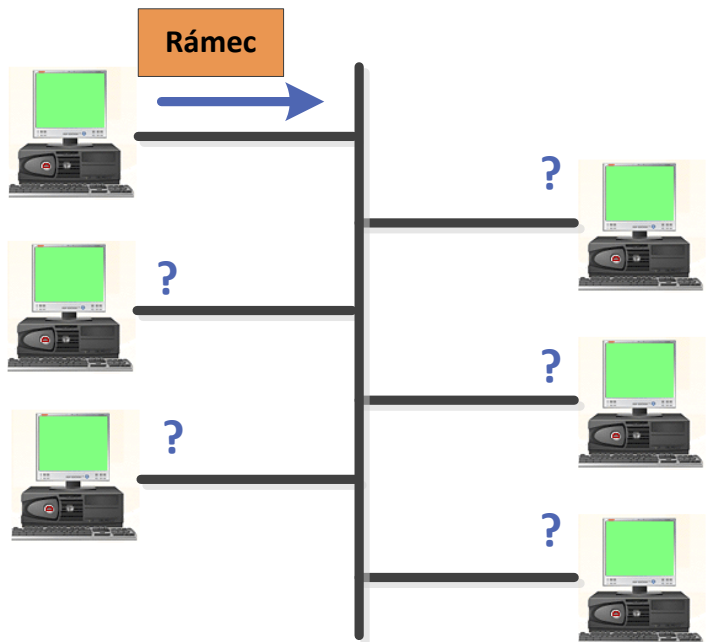
34

- používány často při transportu rámců po lokálním médiu
- fyzické, hardwarové adresy
- uložena(y) v záhlaví rámce
  - ▣ zdroj
  - ▣ cíl
- přesun uzlu do jiné sítě stejného typu – stejná adresa
- původní rámec nikdy neopustí síť bez změny podoby nebo obsahu
  - ▣ pokud určen stanici vně sítě, na hranici vytvořen nový rámec
  - ▣ datová část se nemění, spojové záhlaví a zápatí ano
- využívány
  - ▣ vždy až spojitou vrstvou
  - ▣ propojujícími zařízeními k přepínání rámců
  - ▣ pouze pro lokální adresování dané sítě
  - ▣ identifikace rámce na straně příjemce (zda je pro něj)

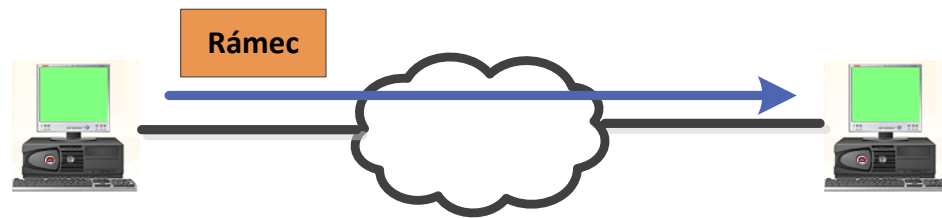
# Adresy spojové úrovně – význam

35

potřebné adresování



nepotřebné



# Adresace u Ethernetu a Wi-Fi

36

## □ obecná fakta

- ▣ nejčastější lokální technologie
- ▣ více verzí, mnohonásobný přístup
- ▣ způsob adresace nezávislý na verzi

## □ adresa

- ▣ každý uzel má unikátní, vztažena ke konkrétnímu rozhraní
- ▣ přednastavena výrobcem (celosvětově unikátní)
- ▣ zapsána v paměti HW
- ▣ délka 48 bitů (6 B)
- ▣ označována jako MAC adresa (× další názvy)
- ▣ binární či hexadecimální zápis
  - 01010000 11100101 01001001 00111000 10011101 10001111
  - čitelnější jako
  - 50:E5:49:38:9D:8F
  - (zápis po bajtech, oddělení např. dvojtečkou)

# Adresace u Ethernetu a Wi-Fi

37

- adresa (pokračování)
  - ▣ unikátnost zaručena i když použijeme karty různých výrobců
  - ▣ 24 bitů kód výrobce + 24 bitů kód karty
  - ▣ z MAC lze zjistit výrobce

# TECHNIKY DETEKCE CHYB



# Míra chybovosti a její vliv na přenos

39

- při přenosu rámce může dojít k chybám
- řádově 1 chybný bit na  $10^3$  až  $10^{14}$  bitů celkově přenesených bitů
- chyba
  - ▣ jednoduchá
    - záměna „1“ za „0“ a opačně
    - ojedinelé × shlukově
    - i jeden změněný bit může zničit data
  - ▣ složitější
    - špatná detekce konce rámce
  - ▣ řešeno ve všech spojových protokolech
    - př. na optické technologie: 40 Gbit/s, chybovost  $10^{-14}$  znamená průměrně 0,0004 chyb za sekundu ( $\sim 1,5$  chyb za hodinu)
    - př. na bezdrátový kanál: 1 Mbit/s, extrémní chybovost  $10^{-5}$  znamená 10 chyb za vteřinu

# Míra chybovosti a její vliv na přenos

40

- v praxi významnější počet poškozených rámců
- př.
  - ▣ rámec velikosti 1 250 B (10 000 bitů)
  - ▣ chybovost  $10^{-5}$ 
    - pravděpodobnost poškození rámce (alespoň jednoho bitu)  
10 % (příliš)  $[10000 \times 10^{-5} = 0,1]$
  - ▣ chybovost  $10^{-6}$ 
    - pravděpodobnost poškození rámce příznivější 1 %
  - ▣ chybovost  $10^{-14}$ 
    - pravděpodobnost poškození rámce 0,000000001 %
  - ▣ pozn.: přibližné výsledky (nepoužita složená pravděpodobnost [pst])



# Základní přístupy k detekci chyb při přenosu

41

- vícenásobný přenos
  - ▣ stejný rámec přenášen vícekrát (min 2×)
  - ▣ porovnání na straně příjemce
  - ▣ stejný obsah rámce – vysoká pst bezchybnosti
  - ▣ různé rámce – jeden nebo více s chybou, nelze poznat který
  - ▣ problémem periodické chyby
  - ▣ vysoká neefektivita, malá spolehlivost → nepoužitelné
- reakce na detekci chyby
  - ▣ žádost o opakovaný přenos (mechanismus)
    - původní rámec zahozen
    - nízká chybovost znamená malou pst opakovaných přenosů
    - dochází ke snížení propustnosti systému
  - ▣ automatická oprava rámce
    - kódování rámce musí umožňovat
    - zvýšení redundance (korekční kódy)
    - nad rámec předmětu (xDSL, WiMAX, ...)

## □ Paritní bity

- přidávání bitů na základě počtu jedniček v úseku dat
- sudá nebo lichá parita
- př.:
- 7 bitů zprávy
- přidán 1 bit paritní
  - reprezentuje informaci o celkovém počtu jedniček ve zprávě
  - sekvence 1 0 1 0 0 0 1
    - sudá parita 1 0 1 0 0 0 1 1 (sudý počet jedniček)
    - lichá parita 1 0 1 0 0 0 1 0 (lichý počet jedniček)
- není příliš spolehlivé
- dvě chyby v rámci jednoho bajtu nedetekovány
- využívána spíše doplňkově (solistikovaněji)

## □ **Kontrolní součty**

- mírně vyšší úroveň zabezpečení
- provádí se součet celého rámce (typicky po bajtech)
- výsledek přidán na konec (kontrolní bajt)
- nulová odolnost vůči záměně pořadí bitů

## □ **Cyklické redundantní kontroly**

- hojně využívány
- matematický aparát: dělení polynomu polynomem
- za rámec ukládán zbytek po dělení
- malá redundance (typicky 32 bitů)
- vysoká pravděpodobnost detekce chyby ( $\sim 100\%$ )
- fungování
  - vysílač i přijímač znají algoritmus
  - vysílač spočítá zbytek po dělení, přidá za rámec
  - příjemce po přijetí spočítá zbytek a porovná s tím co přijal
  - součty různé – nutné vyřešit (typicky opakovaný přenos)

# SPOLEHLIVÝ PŘENOS



# Řízení chybových stavů

46

- rozlišujeme dvě základní chyby
  - ▣ poškození rámce
    - bitová chyba
    - rozpoznána např. pomocí CRC
  - ▣ ztráta celého rámce
    - rámec nebyl přijat nebo rozpoznán
    - jak detekovat?
      - nutné řešit na spojové úrovni? (× transportní vrstva)
      - regulace toku dat spojové úrovně (rozpoznání)

# Základní předpoklady a fakta pro řízení chybových stavů

47

- **velikost vyrovnávací paměti příjemce není neomezená**
  - ▣ omezený počet rámců, které je možné vyslat pro určitého příjemce v rámci jednotky času
- **delší rámec = větší pravděpodobnost výskytu chyb**
  - ▣ riziko opakovaného přenosu rámce roste
- **kratší rámec = rychlejší detekce chyb**
  - ▣ výhodné i z pohledu opakovaného přenosu vyslaných dat
- **stanice nemůže blokovat médium na neomezeně dlouhou dobu**
  - ▣ platí pro sdílená média
  - ▣ příznivý vliv na zpoždění celé komunikace
- **snaha dosáhnout co nejmenší chybovosti**
  - ▣ velké objemy dat vyžadují typicky pevné spoje

# Možné systémy detekce ztracených rámců

48

## ❑ **kladná potvrzení**

- ❑ zasílání potvrzení pro bezchybně přijaté rámce
- ❑ nepotvrzené rámce vysílač přenesse opakovaně
  - až po vypršení určitého časového intervalu (*timeout*)
- ❑ intenzita přenosu mezi příjemcem a vysílačem vysoká
  - vazba mezi komunikujícími stranami
  - vyšší zatížení přenosových kapacit
- ❑ častější v praxi

## ❑ **záporná potvrzení**

- ❑ vysílač kontaktován v případě problémů
- ❑ žádost o opakovaný přenos např. po přijetí rámce mimo pořadí
- ❑ malá vazba, malé zatížení linek



# Techniky detekce ztracených rámců

49

- ARQ (*Automatic Repeat reQuest*)
  - ▣ automatická žádost o opakování
  - ▣ tři varianty
    - *stop-and-wait ARQ (SW)*
    - *go-back-N ARQ (GBN)*
    - *selective repeat ARQ (SR)*
- klouzavé (posuvné) okno (*Sliding Window*)
  - ▣ souvisí úzce s ARQ

# Stop-and-wait ARQ (SW)

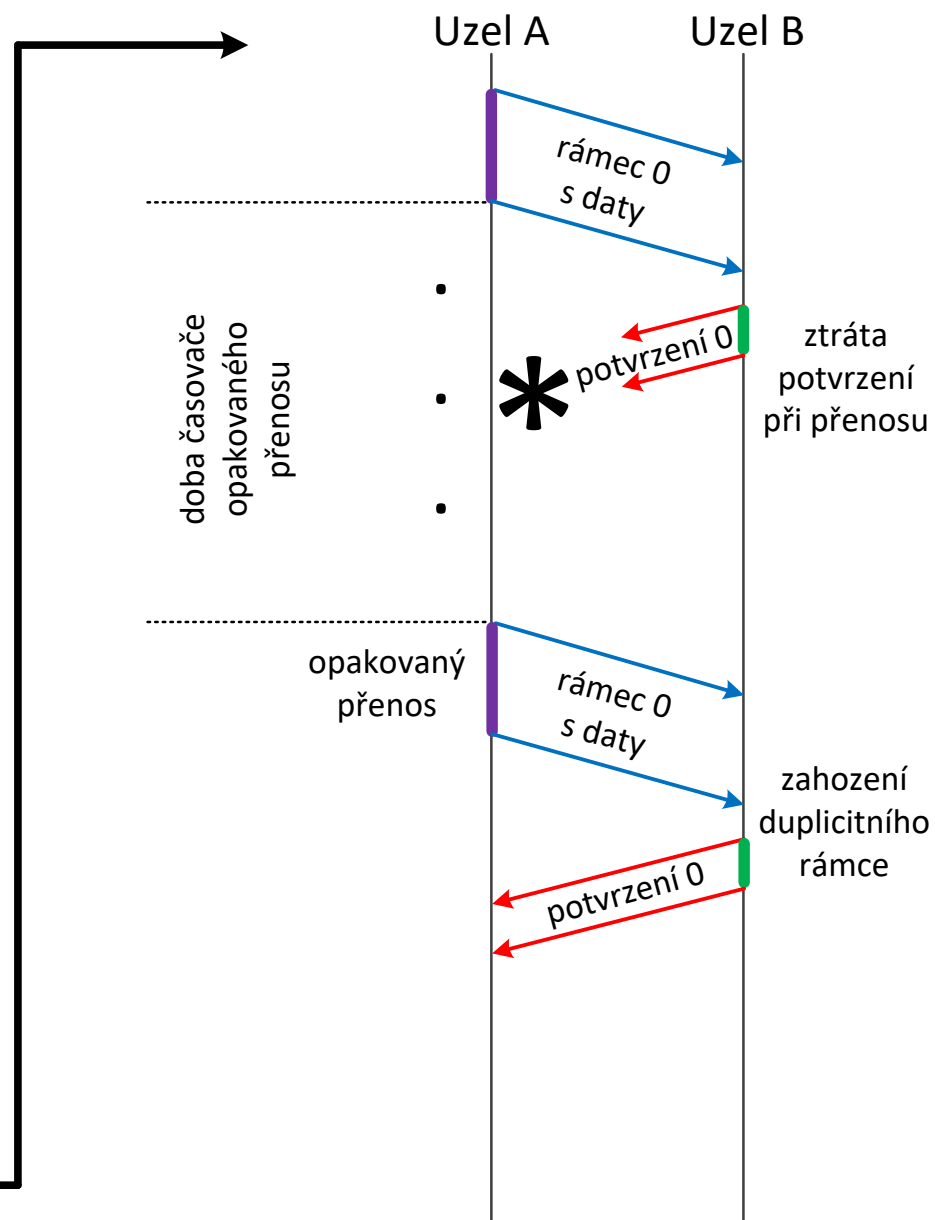
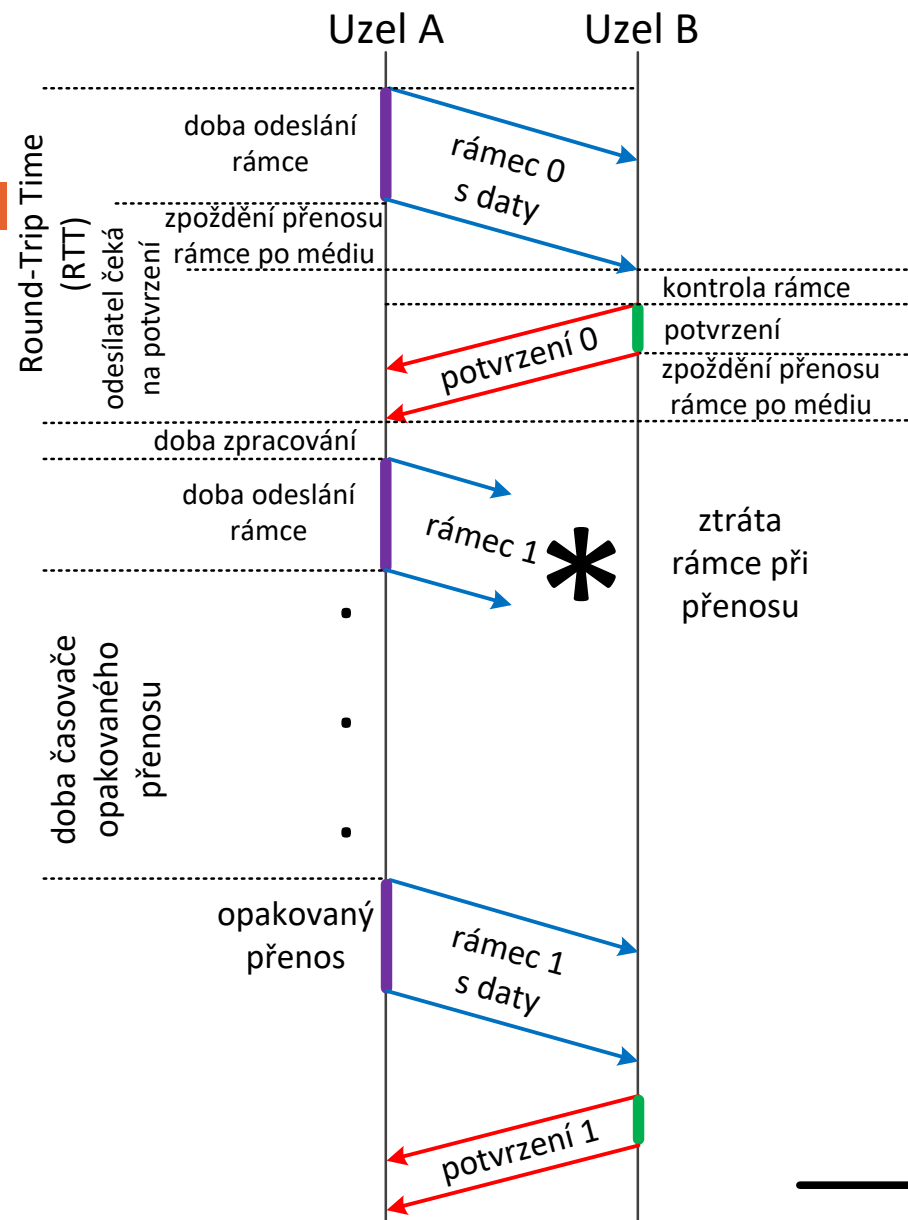
50

- vysílač a přijímač pracují sekvenčně
  - ▣ vysílač odešle rámeček a následně čeká
  - ▣ přijímač přijme rámeček, zkontroluje, odešle potvrzení o přijetí (*acknowledgment*)
  - ▣ vysílač přijme potvrzení
    - úspěšný přenos
    - připravenost přijímače pro další rámeček
- chyba = opakovaný přenos
  - ▣ ztráta rámečku
  - ▣ ztráta potvrzení
  - ▣ časovače (vhodná volba důležitá)
- odesílání rámečků je krokováno příjemcem, podle toho jak potvrzuje dříve odeslané rámečky

# Stop-and-wait ARQ

51

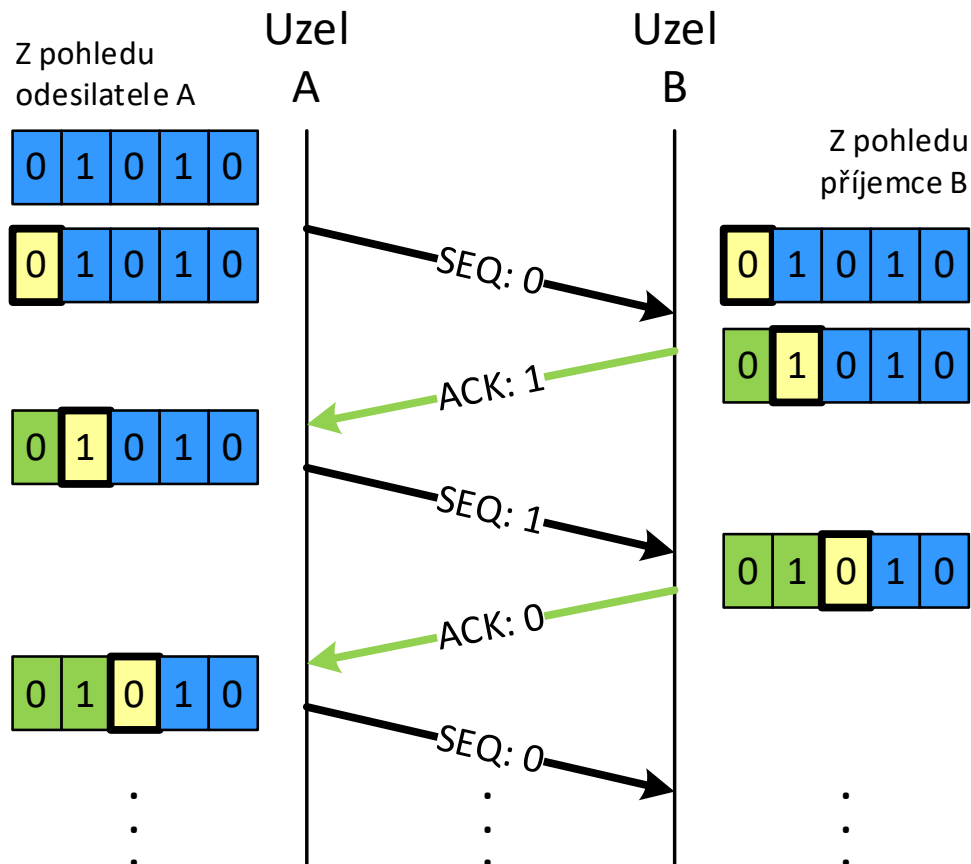
- systém umožňuje v jeden okamžik přenášet pouze jeden rámec
  - ▣ neefektivita z hlediska využití přenosové kapacity
  - ▣ přenosové médium dlouhé časy nevytíženo (délka média významná)
  - ▣ rámce číslovány „0“ a „1“ (rozpoznání duplicitního rámce)
- mechanismus využíván i jinde
  - ▣ aplikační protokol TFTP (*Trivial File Transfer Protocol*)






# Řazení a stav jednotlivých rámců u SW

53

□ Každá strana „vidí“ jen to „svoje“



	Význam označení rámce (odesílatel)	Význam označení rámce (příjemce)
	Připraven k budoucímu odeslání	Očekáváno budoucí přijetí
	Odeslán, čekající na potvrzení	Aktuálně očekáváno přijetí a potvrzení
	Přijato potvrzení, odstraněn z fronty	Přijat, odesláno potvrzení, předán

# Stop-and-wait ARQ

54

- RTT = 2x přenos
  - ▣ tam rámeček
  - ▣ zpět potvrzení
- Př.
  - ▣ 2 Mbit/s kanál s RTT 50 ms
  - ▣ rámeček délky 10 000 bitů
  - ▣ reálná max. přenosová rychlost při stop-and-wait
  - ▣  $(10000 / 0,05) = 200 \text{ kbit/s}$
  - ▣ 10 % kapacity !

# Technika klouzavého okna

55

- zvýšení efektivity plně duplexní komunikace
- vysílač může vyslat více než 1 rámec (velikost okna)
  - ▣ bez čekání na potvrzení
  - ▣ potvrzení evidována průběžně
- př. propočtu
  - ▣ násobek přenosové rychlosti  $\times$  zpoždění
$$2 \text{ Mbit/s} \times 50 \text{ ms} = 100 \text{ kb} = 12,5 \text{ kB}$$
  - ▣ velikost rámce
$$10000 \text{ b} = 1,25 \text{ kB}$$
  - ▣ podíl výše uvedeného násobku a velikosti rámce
$$12,5 \text{ kB} / 1,25 \text{ kB} = 10$$
  - ▣ minimální velikost okna k využití potenciálu kanálu

# Technika klouzavého okna

56

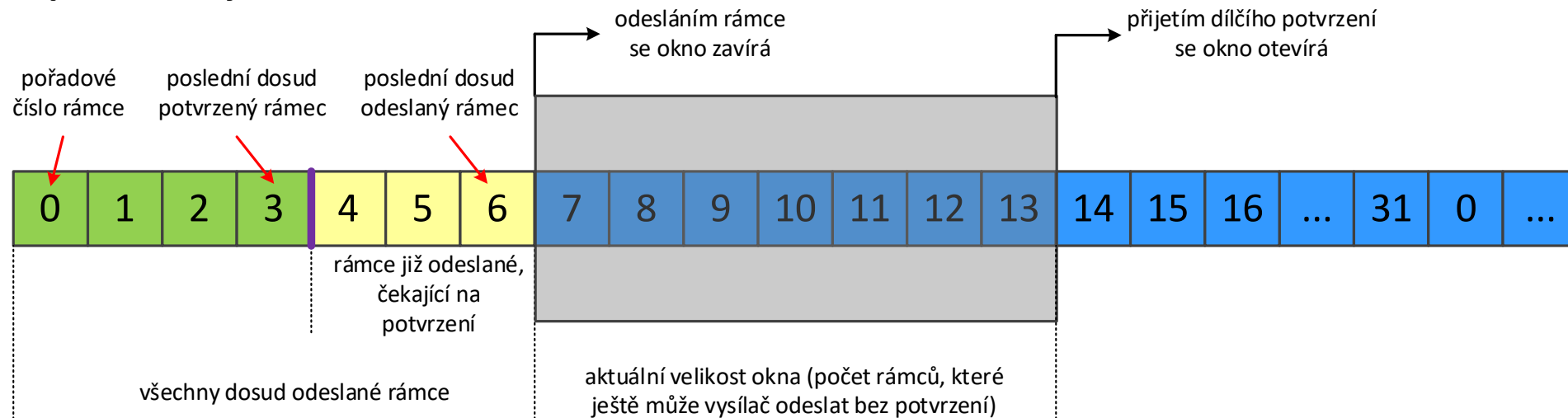
- nutné číslování rámců (cyklické, vícebitové pole)
  - ▣ správné fungování při větších ztrátách
  - ▣ v reálných systémech velikost okna běžně desítky až stovky jednotek
- vysílač × příjemce musí sledovat
  - ▣ odeslané rámce
  - ▣ přijaté rámce
  - ▣ již potvrzené rámce
  - ▣ aktuální velikost okna (navíc oproti SW)
- vyčerpání velikosti okna vede k zastavení vysílání
- potvrzování
  - ▣ samostatně
  - ▣ kumulativně
  - ▣ dává najevo připravenost na další rámce



# Technika klouzavého okna

57

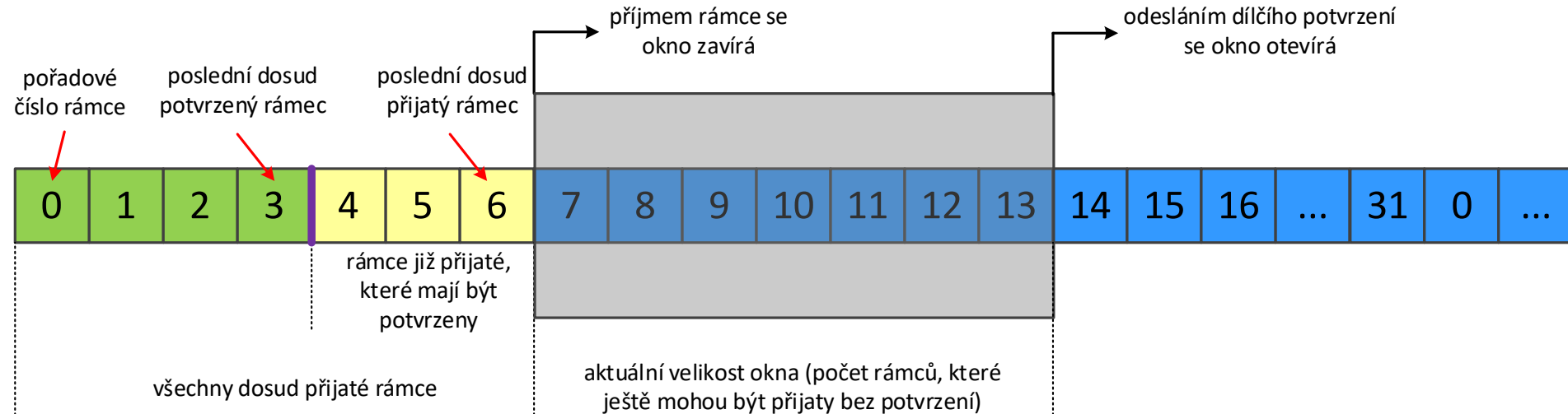
## Z pohledu vysílače



# Technika klouzavého okna

58

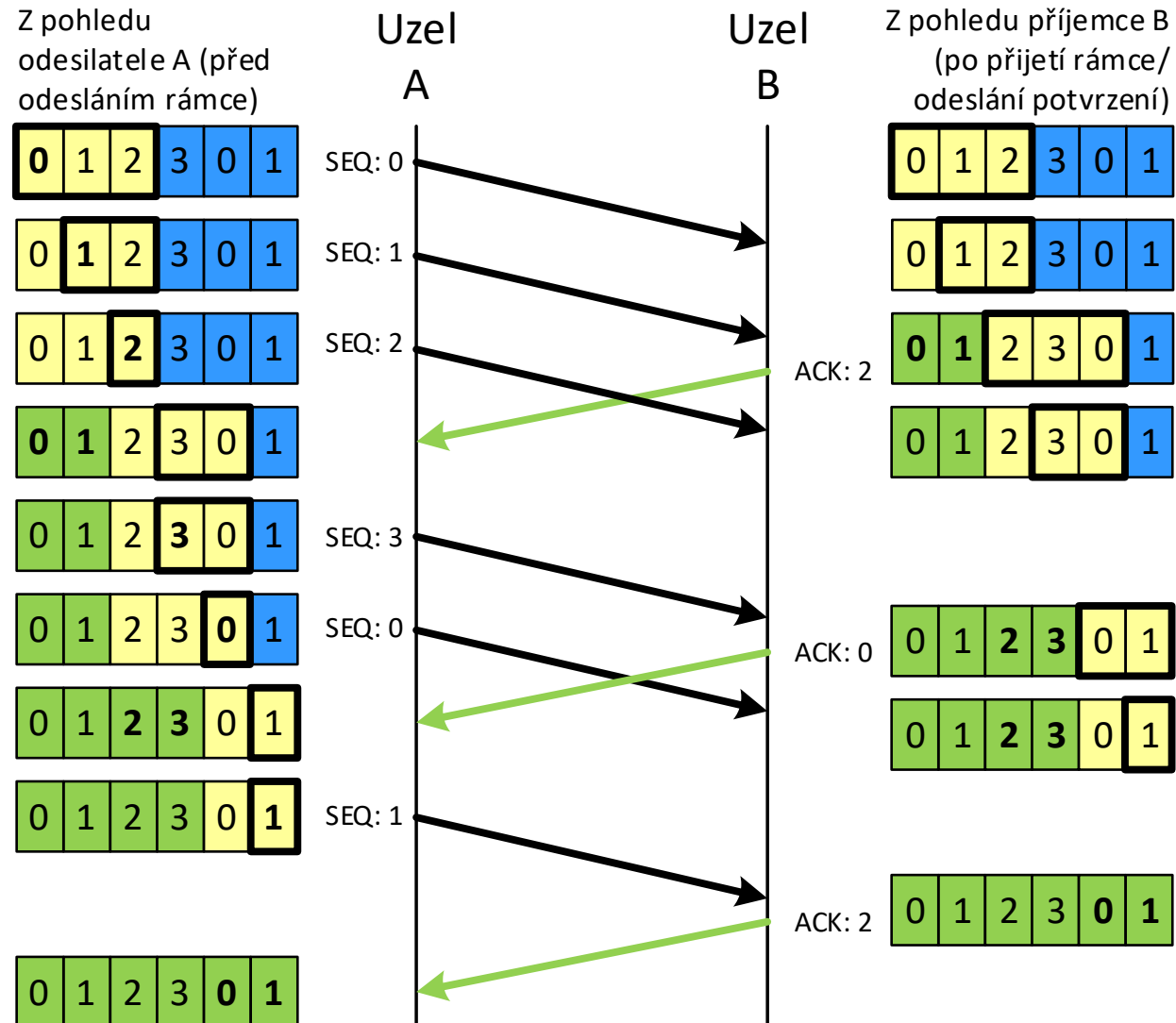
## Z pohledu přijímače



# Příklad fungování techniky klouzavého okna ve stavu bez chyb přenosu

59

- **Zadání**
  - ▣ 6 rámců k přenosu
  - ▣ Velikost okna (W) rovna 3
  - ▣ Kumulativní potvrzování po 2 rámcích
- **Dva pohledy**
- **Rámeček – aktuální W**
- **Tučně – aktuálně odesílaný či potvrzovaný rámeček**
- **Komunikace významně ovlivněna**
  - ▣ způsobem odezvy příjemce
  - ▣ hodnotou RTT



# Technika klouzavého okna

60

- předchozí popis nereflektuje situace, kdy dochází při přenosu k chybám
- chyby snižují významně reálnou propustnost
- různé přístupy s využitím klouzavého okna
  - ▣ *Go-back-N ARQ*
  - ▣ *Selective Repeat ARQ*

# Go-back-N ARQ (GBN)

61

- základem technika klouzavého okna
- metoda pracuje s návratem do určitého stavu (před chybou)
- často využívána
- řešení situace, kdy je přijat rámec s chybou
  - ▣ nutné dát vysílači info, že je třeba přenos rámce opakovat
- fungování
  - ▣ pravděpodobné, že vysílač mezitím vyslal další rámce
  - ▣ příjemce rámce přijaté po chybě zahazuje
  - ▣ dokud není opakovaně přenesen ten poškozený
  - ▣ jednoduché pro obě strany (žádné přeskládávání)
  - ▣ výhodné když je chyb málo nebo malé okno

# Go-back-N ARQ

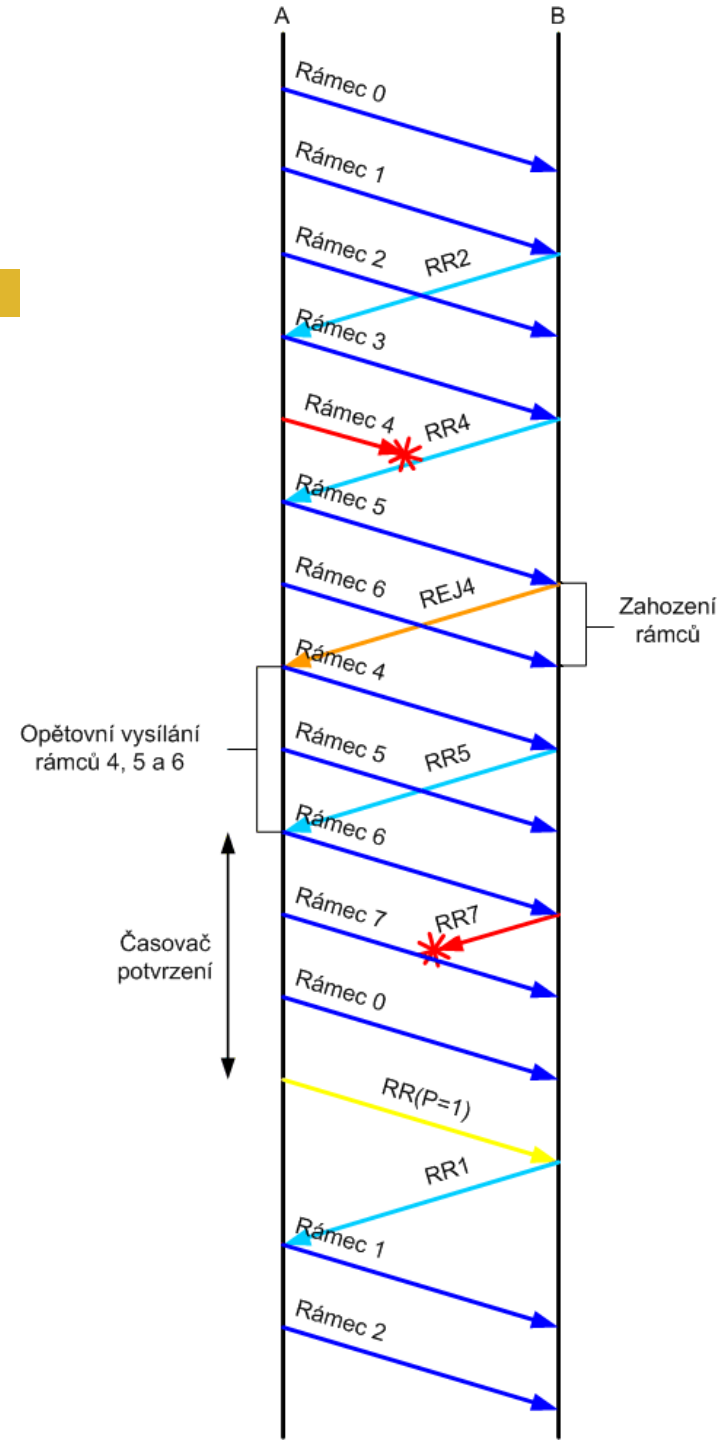
62

- Přijímač používá dva druhy zpráv, případně příznaků
  - ▣ kladné potvrzení
    - na principu ohlášení čísla dalšího očekávaného rámce
    - dává najevo úspěšné přijetí předcházejících dle číslování
    - zpráva *Receive Ready* (RR) (popř. ACK)
  - ▣ negativní potvrzení
    - označována jako *Reject* (REJ) (popř. NACK)
    - opět číslo dalšího očekávaného rámce (chybového)
    - vysílač musí přenést opakovaně tento a všechny následující
- $W \leq 2^m - 1$ 
  - ▣  $m$  – počet bitů číslování rámců
  - ▣  $W$  – velikost okna

# Go-back-N ARQ

63

- Celkový pohled
- Schéma ukazuje pouze možné chyby a možnou reakci na ně
- Neřešena velikost okna (předpoklad, že je dostatečně velké)
- Možné jednotlivé i kumulativní potvrzování, ovlivněno:
  - Zatížení zpětného kanálu
  - Rychlost reakce (síla zpětné vazby)

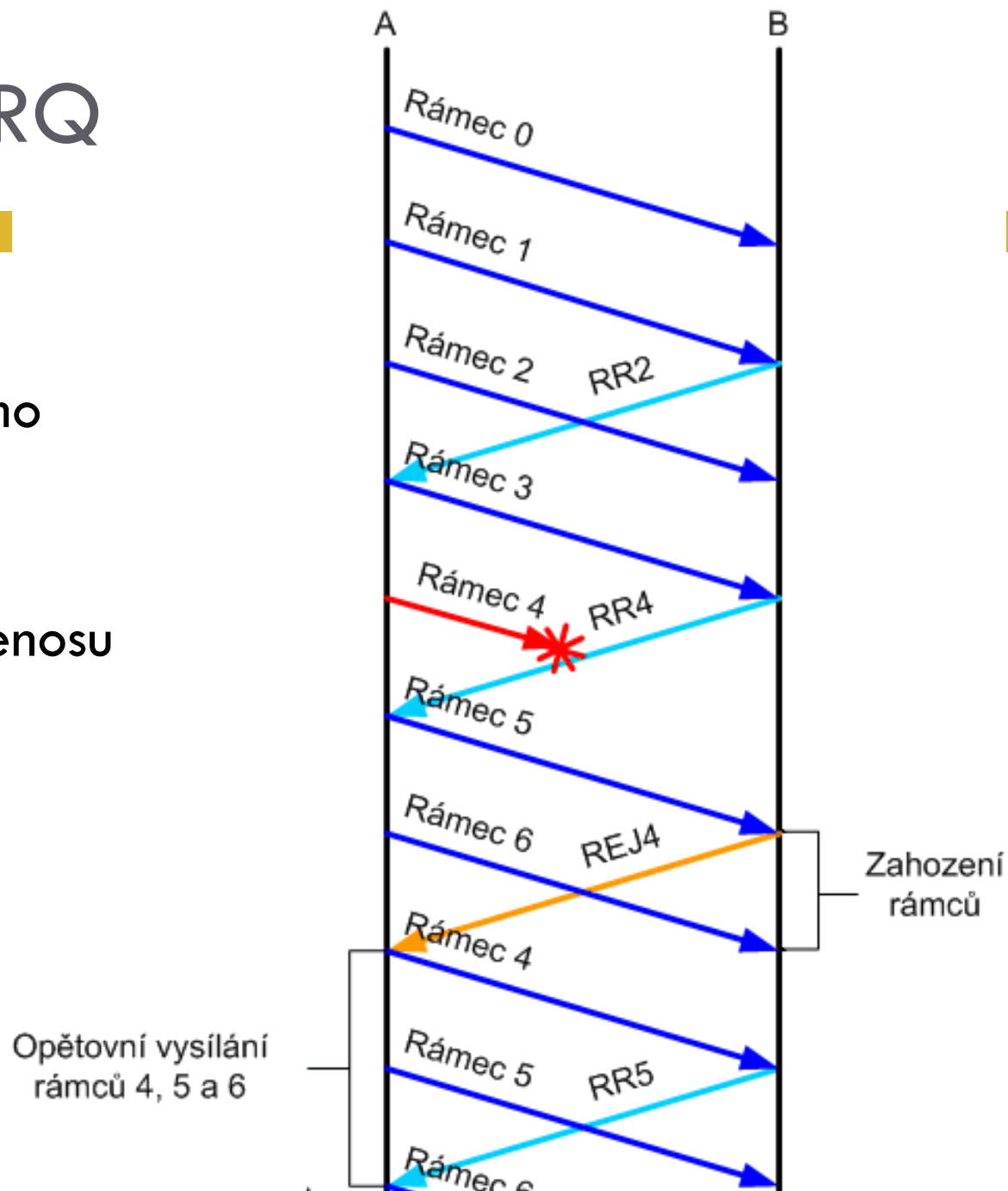


# Go-back-N ARQ

64

## □ Detail 1

- ▣ přijetí rámce mimo pořadí
- ▣ nebo poškození rámce (4) při přenosu

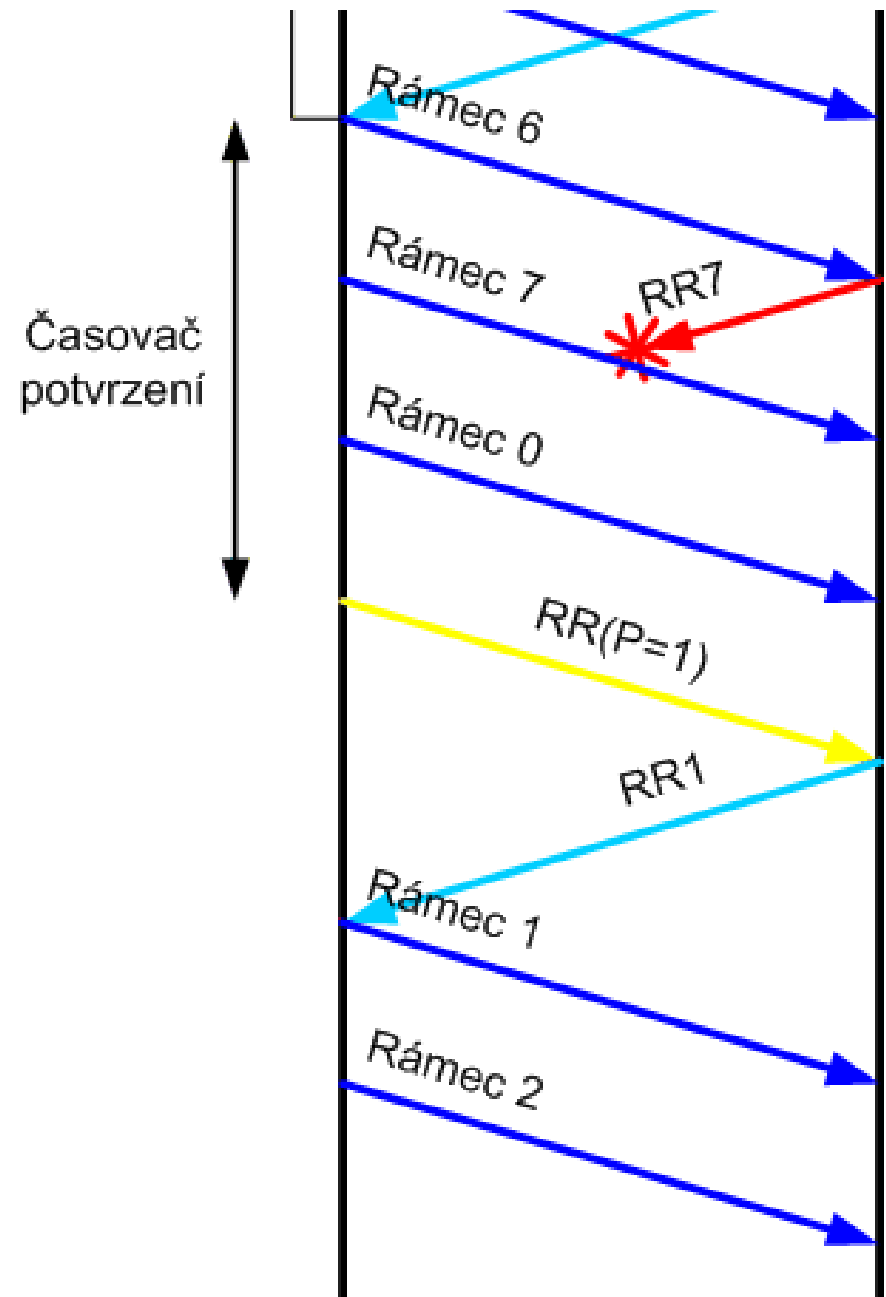




# Go-back-N ARQ

65

- Detail 2
  - ▣ ztráta potvrzení
  - ▣ nebo jeho poškození

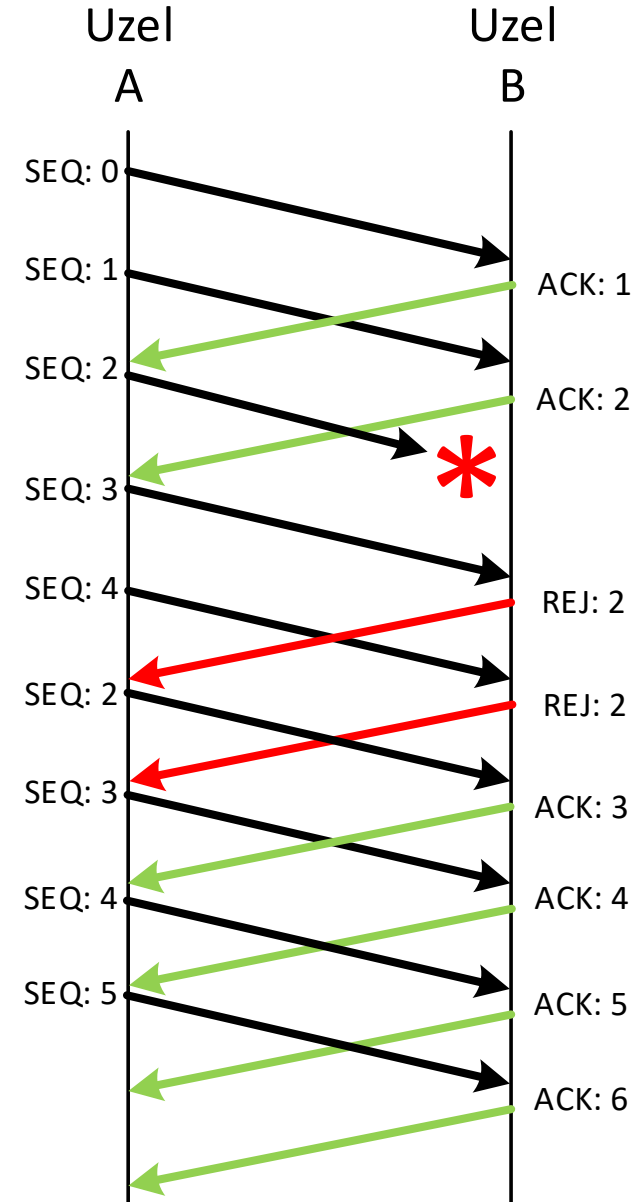
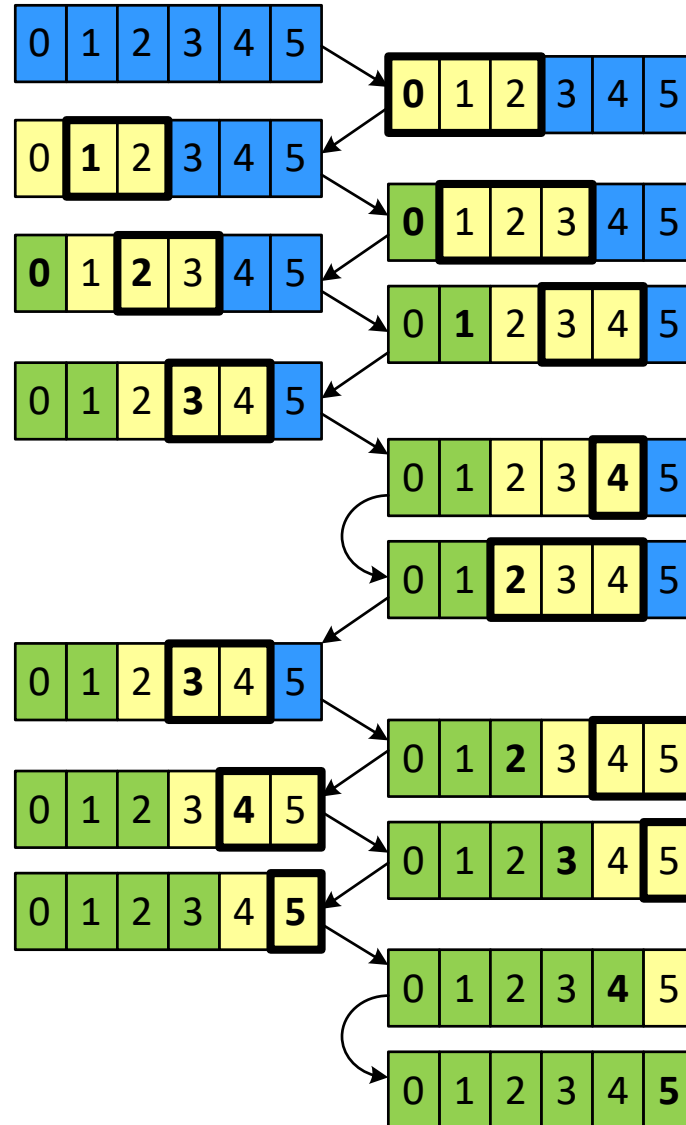


# Ukázka s konkrétním nastavením okna (GBN)

66

- 6 rámců
- $W = 3$
- Jednotlivé potvrzování rámců
- Ztráta rámce (SEQ: 2)
- Přijetí zprávy REJ: 2 dříve, než vypršel časovač opakovaného přenosu rámce SEQ: 2
- Rámce 2, 3 a 4 přenášeny 2x
- Může dojít i ke ztrátě potvrzení

Z pohledu odesílatele A (před odesláním rámce či po přijetí potvrzení)



# Selective Repeat ARQ (SR)

67

- řešení stejných problémů jako Go-back-N; jiný přístup
- dochází pouze k selektivnímu opakování přenosu
  - ▣ opakovaně přenášeny pouze poškozené rámce
  - ▣ po chybě se mezi aktuálně odesílané rámce vřadí ten opakovaně přenášený
  - ▣ řízení komunikace složitější na straně vysílače
- komplikace i na straně příjemce
  - ▣ spojová vrstva musí ukládat všechny rámce, které byly úspěšně přijaty po rámci s chybou
  - ▣ poté, co dojde k úspěšnému opakování přenosu, předává všechny rámce k dalšímu zpracování vyšším vrstvám
- hlavní výhodou úspora přenosové kapacity, taktéž časté v praxi

# Selective Repeat ARQ

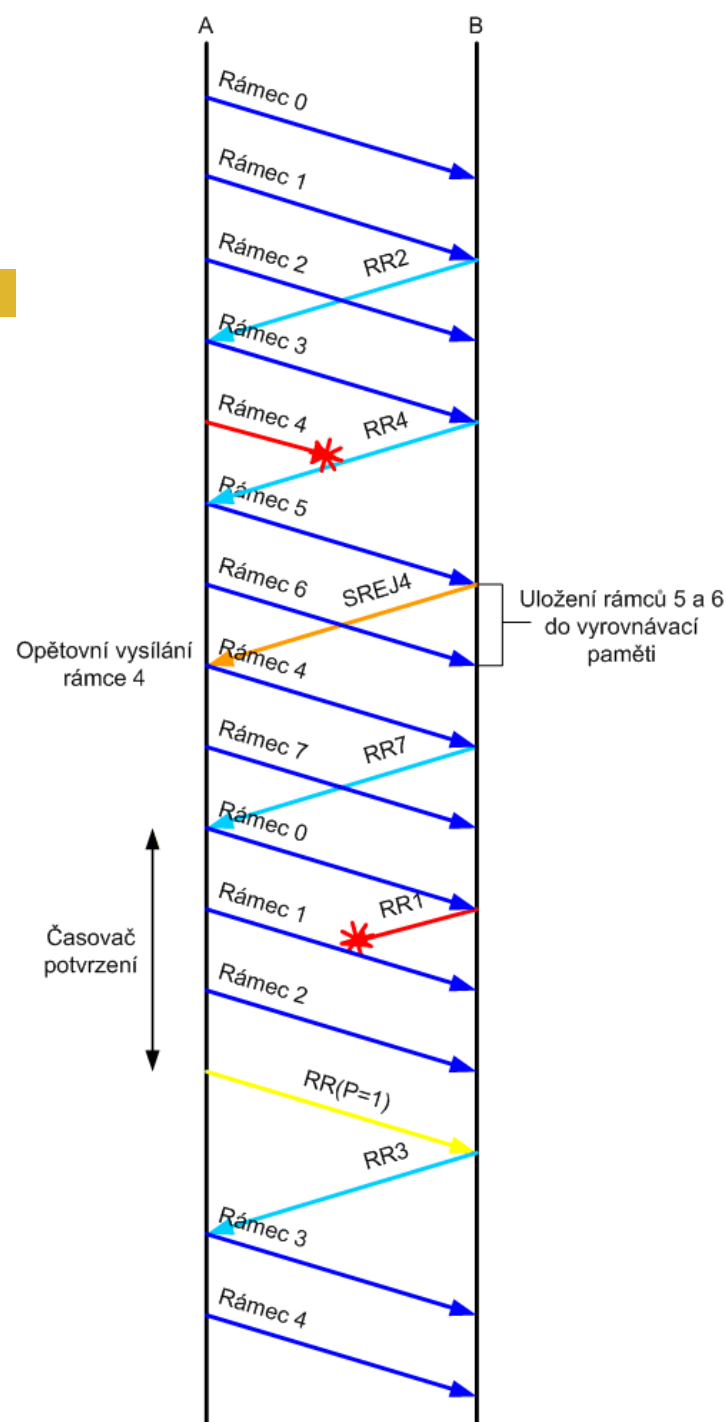
68

- zpráva *Selective Reject* (SREJ) či *Negative ACK* (NACK)
  - ▣ odeslána poté co je přijat narušený rámec
  - ▣ obsahuje číslo očekávaného rámce (tj. toho, co byl poškozen)
  - ▣ vysílač opakovaně přenáší pouze rámce u kterých
    - obdržel zprávu SREJ
    - případně vyprší hodnota časovače (ztráta potvrzení)
- $W \leq 2^m - 1$ 
  - ▣  $m$  – počet bitů číslování rámců
  - ▣  $W$  – velikost okna
  - ▣ odlišné od GBN kvůli větší variabilitě a jiným chybovým stavům, které mohou nastat

# Selective Repeat ARQ

69

- Celkový pohled
- Schéma ukazuje pouze možné chyby a možnou reakci na ně
- Neřešena velikost okna (předpoklad, že je dostatečně velké)
- Vhodnější použít individuální potvrzování rámců, lze ale i kumulativně (viz obrázek), což má nevýhody:
  - ▣ Slabší vazba komunikujících stran
  - ▣ Méně pružná reakce stran

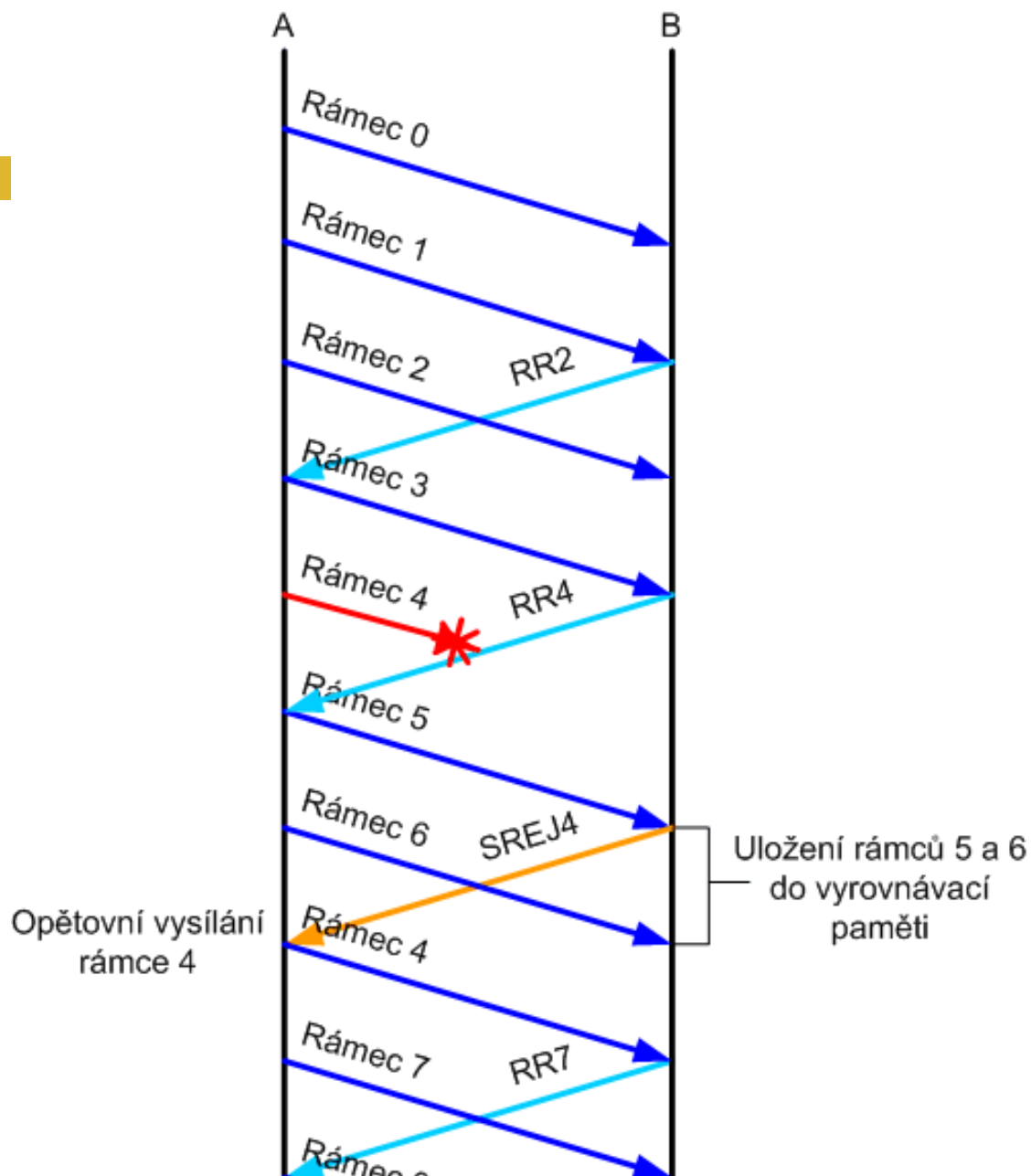


## Selective Repeat ARQ

70

### □ Detail 1

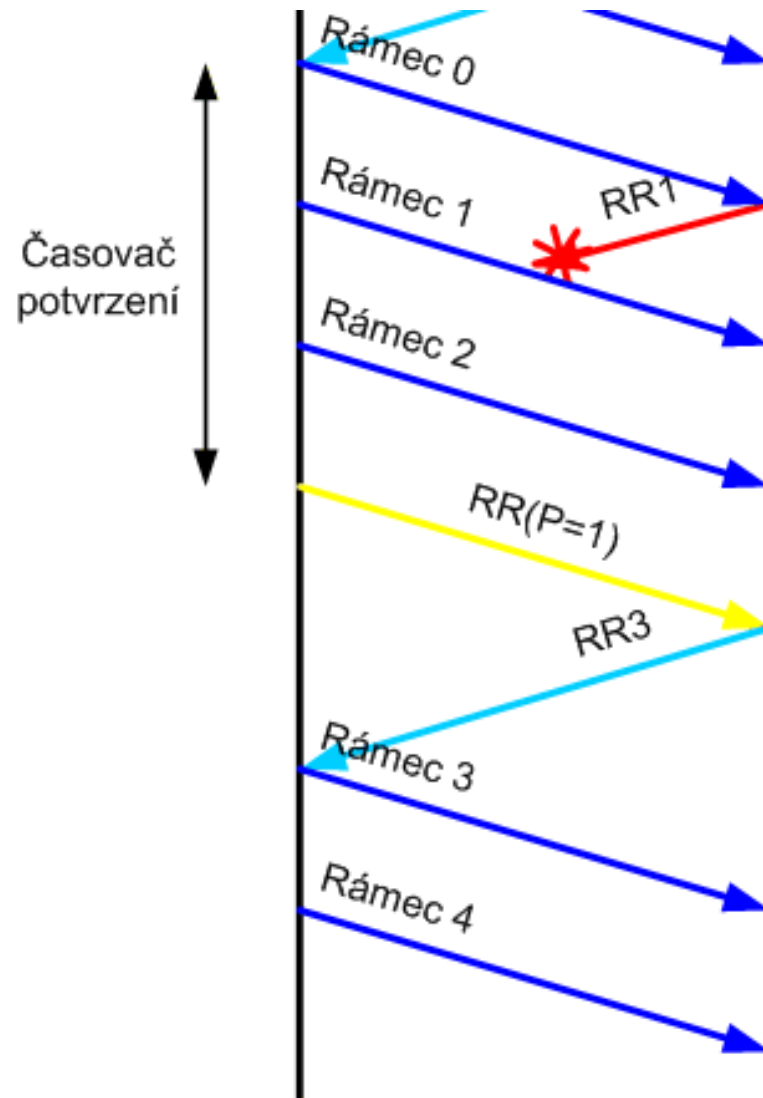
- ▣ přijetí rámce mimo pořadí
- ▣ nebo poškození rámce (4) při přenosu



# Selective Repeat ARQ

71

- Detail 2
  - ▣ ztráta potvrzení
  - ▣ nebo jeho poškození

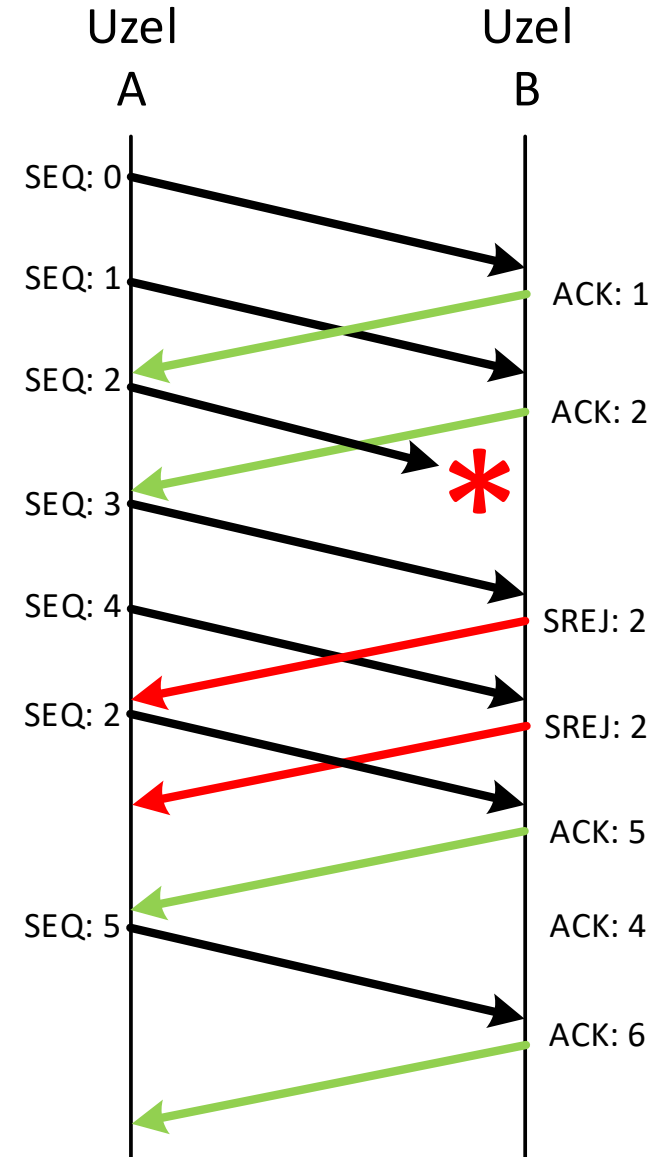
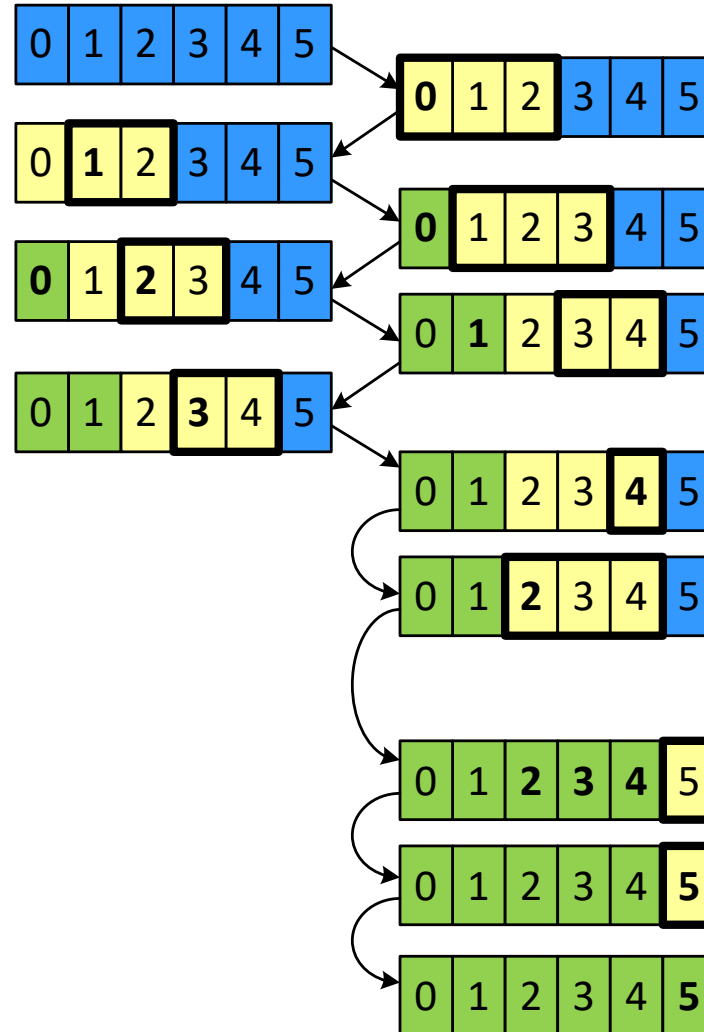


# Ukázka s konkrétním nastavením okna (SR)

72

- 6 rámců
- $W = 3$
- Jednotlivé potvrzování rámců
- Ztráta rámce (SEQ: 2)
- Přijetí zprávy SREJ: 2 dříve, než vypršel časovač opakovaného přenosu rámce SEQ: 2
- Rámce 2, 3 a 4 potvrzeny ACK: 5
- Může dojít i ke ztrátě potvrzení

Z pohledu odesílatele A (před odesláním rámce či po přijetí potvrzení)





# Technika klouzavého okna a řízení toku

73

- technika klouzavého okna slouží primárně k zajištění **spolehlivého přenosu rámců** přes kanál s chybami
- další dvě funkce
  - ▣ **zajištění správného pořadí předaných rámců**
    - rámec obsahuje sekvenční číslo (*sequence number*)
    - významné pro správné seskládání dat
    - změna trasy jednotlivých rámců – změna pořadí u příjemce
  - ▣ **řízení toku dat (*flow control*)**
    - zajištění, aby vysílač nezahltí příjemce
    - příjemce dá vědět vysílači, že nestačí rámce zpracovávat (např. přijímá i rámce odjinud)
    - velikost okna a potvrzující zprávy umožňují přijímači ovlivňovat chování vysílače
    - potvrzení zároveň informuje o tom, že přijímač je schopen zpracovat další rámce
    - detaily nad rámec kurzu

# Logická vs. fyzická topologie

74

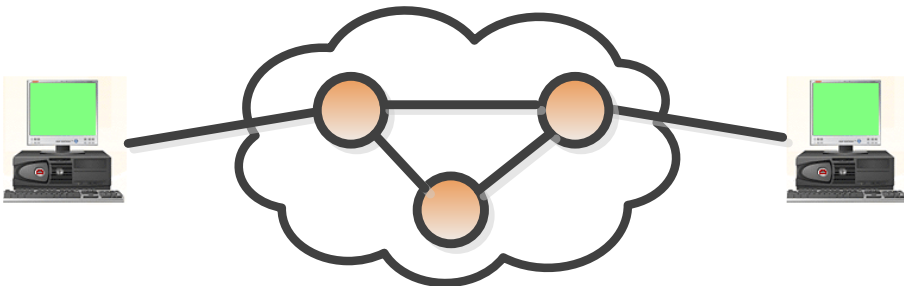
- síťové topologie mohou být vyhodnocovány z logické nebo fyzické úrovně
- topologie sítě představuje určité uspořádání mezi uzly a také způsob jejich propojení
- **Fyzická topologie**
  - ▣ skutečný způsob, jak jsou uzly propojeny
  - ▣ skutečná topologie, kterou lze zjistit např. zmapováním kabeláže
  - ▣ pouze uzly a spoje
- **Logická topologie**
  - ▣ reprezentuje způsob, jak síť funguje z hlediska přenosu rámců
  - ▣ vztah k fyzické topologie
    - shodná
    - různá
  - ▣ definována na úrovni spojové vrstvy
  - ▣ dána především použitým protokolem
  - ▣ ovlivňuje přístup na médium

# Logická vs. fyzická topologie

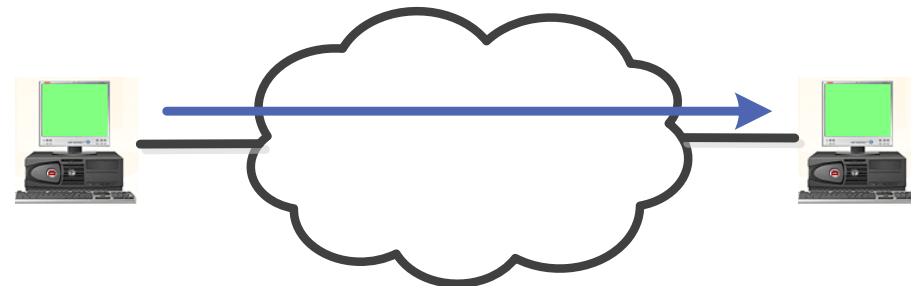
75

- Nejběžnější logické (i fyzické) topologie jsou:
  - ▣ bod-bod
  - ▣ hvězda
  - ▣ strom
  - ▣ topologie s vícenásobným přístupem
  - ▣ kruh

fyzická



logická



# Přenosové technologie z pohledu řešení spojové vrstvy

76

- existují různé technologie (vždy obsahují i řešení spojové vrstvy)
- různá členění, např.:
  - ▣ pevné lokální sítě
  - ▣ bezdrátové lokální sítě
  - ▣ WAN sítě bod-bod
  - ▣ spojované WAN sítě

# Přenosové technologie z pohledu řešení spojové vrstvy

77

## □ **pevné lokální sítě**

- typicky metalické - Ethernet v několika variantách
- *jednoduchý přístup k řešení problémů spojové vrstvy*
- velké množství uzlů
- vysoké rychlosti

## □ **bezdrátové lokální sítě**

- 802.11 (Wi-Fi), Bluetooth
- *náročnější protokoly, vyšší úroveň řízení*
- otevřené prostředí
- uzlů typicky méně než u pevných sítí
- rychlosti typicky o něco nižší než u drátových sítí

# Přenosové technologie z pohledu řešení spojové vrstvy

78

## □ **WAN síť bod-bod**

- DSL, E, T, SDH, SONET
- (DSL – lokální přípojky)
- nad telefonním kanálem typicky protokol PPP
- *jednoduchá spojová vrstva*
- propojení dvou uzlů
- rychlosti různé

## □ **spojované síť WAN**

- Frame Relay, ATM, popř. částečně i MPLS
- často určitá forma navazování spojení před přenosem
- rezervace kapacity sítě
- více uzlů než u WAN bod-bod
- typicky nižší rychlost než WAN bod-bod
- *složitější spojová vrstva*

# Přenosové technologie z pohledu řešení spojové vrstvy

79

- Sítě kabelových operátorů a FTTH
  - ▣ Spíše spojované WAN sítě
  - ▣ Složitější spojová vrstva daná sdílením kapacit
- 3G/4G/LTE a satelitní sítě
  - ▣ Spíše spojované WAN sítě, navíc bezdrátové
  - ▣ Složitější spojová vrstva daná sdílením kapacit a složitostí přístupových metod
- Zařazení do kategorií velmi nepřesné a přibližné

# Zařízení spojové vrstvy – přepínač (switch)

80

- nejvyšší vrstva fungování – spojová
- více portů (rozhraní) [4, 5, 8, 24, 48, 96]
- nejčastější Ethernetový přepínač
  - ▣ úkolem předávat rámce na konkrétní port na základě cílové adresy (MAC)
  - ▣ sleduje provoz (zdrojové MAC) a informace pak využívá k přepínání
  - ▣ eliminuje kolize (disponuje logikou)
  - ▣ zrychluje komunikaci
- vždy operuje i s fyzickou vrstvou
- L2 × L3 přepínače
  - ▣ L2 přepínače přepínají (spojová vrstva)
  - ▣ L3 přepínače i směrují (síťová vrstva) × směrovač



