

# **Vrstva datového spoje modelu ISO/OSI a technologie v ní užívané.**

(Slidy vytvořil Zdeněk Salvét, ÚVT MU)

# ***Referenční model ISO/OSI***

---

vrstva aplikační
vrstva prezentační
vrstva relační
vrstva transportní
vrstva síťová
vrstva datového spoje
vrstva fyzická

v. fyzická – přenos proudu bitů  
přenosovým médiem

v. datového spoje – přenos  
zprávy po společném médiu  
s využitím služeb fyzické vrstvy

# ***Služby spojové vrstvy***

---

- koordinace přístupu k médiu
- tvorba rámců – převod zpráv na sekvence bitů
- řízení toku
- adresování stanic připojených ke společnému médiu
- detekce, příp. oprava chyb přenosu

# ***Řízení přístupu k médiu (Medium Access Control)***

---

Protokoly pro řízení přístupu k médiu jsou obvykle založeny na

- soupeření o přístup (contention-based)
- rezervaci prostředků (času, kanálu)
- předávání oprávnění (token-based)
- kombinaci metod

# ***Faktory ovlivňující výběr MAC protokolu (1/2)***

---

- konfigurace spoje (jednosměrný, poloduplexní, duplexní)
- (ne)možnost všesměrového vysílání
- topologie spoje (bod – bod, sběrnice, kruh, ...)
- spolehlivost a chybovost
- přenosová rychlost (bity za sekundu)
- vzdálenost nebo délka vedení
- rychlost šíření signálu v médiu

# ***Faktory ovlivňující výběr MAC protokolu (2/2)***

---

- zpoždění signálu v aktivních prvcích (opakovače, převodníky mezi různými druhy přenosových médií, adaptéry připojených stanic)
- požadavky na MAC protokol
  - efektivita využití přenosových kapacit
  - spolehlivost při výpadku komponenty sítě
  - spravedlivost přidělování kapacit
  - zpoždění vznikající při provádění algoritmu
  - předpověditelnost chování

# ***MAC protokoly se soupeřením***

---

- Aloha
- CSMA (Carrier Sense Multiple Access)
- CSMA/CD (CSMA, Collision Detection)
- algoritmus sítě Ethernet
- CSMA/CA (CSMA, Collision Avoidance)

# Aloha

---

- všesměrové rádiové vysílání
- každá stanice vysílá, kdykoli má požadavek
- příjemce:
  - kontroluje rámce pomocí kontrolního součtu
  - vrací kladné potvrzení po příjmu neporušeného
- vysílající:
  - čeká maximální možnou dobu na potvrzení
  - při ztrátě (kolizí nebo šumem) znovu pošle po náhodném zpoždění (backoff)
  - opakuje do vyčerpání maximálního počtu pokusů
- využití teoretické kapacity kanálu je do 18%



# CSMA

---

- nesynchronizovaná kolizní metoda jako Aloha
- vysílající poslouchá signál
- nenaléhající CSMA: když je kanál obsazen, počká náhodný interval
- 1-naléhající CSMA: čeká dokud není volno, potom okamžitě vysílá
- $p$ -naléhající CSMA: když je volno,
  - s pravděpodobností  $p$  vysílá
  - s pravděpodobností  $(1 - p)$  čeká náhodný interval a opakuje pokus
- $p$  by měla být menší než  $1/(\text{počet vysílajících})$  pro omezení kolizí

# ***CSMA/CD***

---

- jako CSMA, navíc vysílající poslouchá při vlastním vysílání
- pokud zjistí kolizi, přeruší vysílání a vyšle rušící signál, aby kolizi s jistotou detekovala i druhá vysílající stanice
- pro detekci kolizí je nutná jistá minimální délka rámce
- normálně není použitelná u radiových přenosů, protože přijímací část by byla zahlcena vlastním signálem

# *MAC protokol Ethernetu*

---

- 1-naléhající CSMA/CD s exponenciálním růstem čekacího intervalu
- po 1. kolizi čekej náhodně 0 nebo 1 krát  $51.2 \mu\text{s}$  (doba vysílání minimálního rámce), potom opakuj pokus
- po  $n$ -té kolizi čekej náhodně 0 až  $(2^n - 1)$  krát  $51.2 \mu\text{s}$
- maximální čekací interval je 1023 min. rámců
- po 16 pokusech vzdej

# ***Vlastnosti MAC Ethernetu***

---

- průchodnost se zmenšuje a zpoždění zvětšuje s rostoucím počtem vysílajících stanic
- není spravedlivý:
  - pravděpodobnost vysílání při další příležitosti je menší u stanice, která je delší dobu blokována
  - stanice vysílající delší pakety jsou ve výhodě
  - spravedlivost roste s počtem stanic
- řešení: propojení přepínačem (zmenšení kolizních domén)

# ***CSMA/CD vs. délka média***

---

- vzdálenosti musí být takové, aby bylo možné zjistit kolizi při přenosu i mezi dvojicí od sebe nejvzdálenějších stanic  
⇒ maximální doba oběhu (Round Trip Time, RTT) musí být menší než délka vysílání nejkratšího možného rámce
- zpoždění DTE + zpoždění média + zpoždění opakovače = RTT/2
- u Ethernetu: RTT < 512 bitových časů
- délka média = (zpoždění média) · NVP ·  $c$   
kde NVP je faktor rychlosti šíření signálu (např. kolem 0,66 u optických vláken)

# CSMA/CA

---

- nenaléhající CSMA, začátek čekacího intervalu je synchronizován na pravidelný čas (např. po  $50 \mu\text{s}$  v 802.11 FH)
- potřeba opakování přenosu se určuje na základě potvrzení od příjemce rámce
- používá se v bezdrátových sítích (nelze použít detekci kolizí)

# ***MAC protokoly s rezervací***

---

- TDMA (Time Division Multi Access) - pevně stanovená časová okna pro každou stanici (např. SDH, GSM)
- MAC protokol systému DOCSIS (Data Over Cable Service Interface Specification)
- MAC protokoly pro Wireless ATM
- RTS/CTS handshaking
- polling MAC - řídicí stanice se dotazuje, zda je něco k přenesení

# ***MAC s předáváním oprávnění***

---

- oprávnění vysílat má vždy jedna stanice
- toto oprávnění si stanice mezi sebou předávají, obvykle přenosem speciálního rámce (token)
- MAC protokol musí obsloužit chybové a jiné neobvyklé stavy:
  - vytvoření příznaku oprávnění při inicializaci
  - obnovení příznaku pro ztrátě v důsledku chyby média
  - obnovení příznaku pro ztrátě či zdvojení v důsledku chyby nebo vypnutí některé stanice
- algoritmy distribuované dohody



# ***Technologie užívající předávání oprávnění***

---

- IEEE 802.4 (Token Bus, dnes zastaralá)
- IEEE 802.5 (IBM Token Ring)
- FDDI (Fiber Distributed Data Interface)
- IEEE 802.6 (DQDB, Distributed Queue Dual Bus)

# *Tvorba rámců (framing)*

---

- oddělení rámců speciálním bitovým vzorkem, při výskytu vzorku v datech je nutno data modifikovat tak, aby nedošlo k záměně
- např. v protokolu HDLC bitový vzorek 01111110, vysílač vkládá do dat 0 po každých 5 po sobě následujících 1
- rozpoznání podle CRC nebo čítače
- rámce na pevných pozicích (clock-based)

# ***Rámce v síti Ethernet***

---

Formát rámce:

preambule	SFD	adresa cíle	adr. zdroje	typ	data	CRC (FCS)
7 oktetů	1	6	6	2	46 – 1500	4

Formát adresy:

I/G	U/L	kód výrobce	sériové číslo
1 bit	1 bit	22 bitů	24 bitů

SFD – Start of Frame Delimiter, vzorek 10101011

preambule =  $7 \times 10101010$ , umožňuje synchronizaci příjmu bitů

I/G = 0 – individuální adresa

1 – skupinová adresa, samé jedničky  $\longrightarrow$  broadcast

U/L = 0 – univerzální adresa

1 – lokálně přidělená adresa

# ***Typy (protokoly) v Eth. rámcích***

---

0000-05DC délka dat v IEEE 802.3 rámcích

0800 Internet Protocol

0806 Address Resolution Protocol

(ARP, překlad IP → MAC addr.)

0835 Reverse Address Resolution Protocol (RARP)

8037 IPX (Novell Netware)

8100 IEEE 802.1Q Tag (pro virtuální LAN)

FFFF rezervováno

# ***Rozšíření formátu rámce***

---

- značení virtuálních LAN (VLAN tagging)
- prodloužení rámce na gigabitovém Ethernetu
- shlukování rámců (na GE)
- velké rámce (jumbo frames)

# ***VLAN tagging***

---

- standard IEEE 802.1Q (implementace pro Ethernet v 802.3ac)
- mezi zdrojovou adresou a typ/protokol se vkládá:
  - typ "VLAN tag" – 0x8100
  - 16 bitové řídicí pole:
    - 3 bity    priorita paketu
    - 1 bit    příznak přítomnosti směrovací informace (TokenRing)
    - 12 bitů  identifikátor virtuální sítě
- maximální délka rámce se prodlužuje o 4 oktety

# ***Prodloužení rámce na GE***

---

- při minimální délce rámce 512 bitů by byla na gigabitové síti silně omezena maximální velikost kolizní domény – asi desetkrát oproti Fast Ethernetu (100 Mb/s)
- rozšíření na 512 *oktetů* přidáním výplně (extension bits) za CRC pole standardního rámce
- pouze v poloduplexním režimu

# ***Shlukování rámců na GE***

---

- po úspěšném vyslání rámce stanice pokračuje ve vysílání dalších rámců do limitu 65 536 bitových časů
- mezi rámce se vkládá mezera, která se nepovažuje za uvolnění média, ale za výplň nebo prodloužení paketu
- druhý a další rámce ve shluku (burst) nepoužívají výplň na délku 512 oktetů
- cílem je zvýšení výkonu při přenosu krátkých rámců na poloduplexním médiu
- pouze v poloduplexním režimu (jinak není třeba)



# ***Jumbo frames***

---

- 1 Gb/s  $\approx$  80 000 paketů maximální délky za sekundu  $\longrightarrow$  velké nároky na CPU typických stanic
- návrh: maximální délka rámce 9216 oktetů
- podporuje mnoho výrobců, ale není součástí standardů IEEE
- při směrování do sítě se standardní max. délkou rámce dochází k fragmentaci

# ***Protokol ARP/RARP***

---

Slouží k překladu adres síťového protokolu na MAC adresu nebo zpět.

Formát paketu:

16 bitů	typ hardwaru/formát MAC adresy (Ethernet, FDDI, ...)
16 bitů	protokol síťové vrstvy (IP, ...)
8 bitů	délka MAC adresy
8 bitů	délka adresy síťového protokolu
16 bitů	kód operace {dotaz, odpověď} × {ARP, RARP, InARP}
$n$ oktetů	zdrojová MAC adresa
$m$ oktetů	zdrojová síťová adresa
$n$ oktetů	cílová MAC adresa
$m$ oktetů	cílová síťová adresa

# ***Operace ARP/RARP/InARP***

---

- ARP–zjištění MAC adresy stanice, které se má poslat paket, na základě adresy síťové vrstvy
- RARP–zjištění vlastní adresy síťové vrstvy podle MAC adresy (používané zejména při zavádění OS bezdiskových stanic)
- InARP–zjištění adresy síťové vrstvy jiné stanice podle její MAC adresy (např. při identifikaci nových virtuálních okruhů ve Frame Relay nebo ATM)

# ***Rámce IEEE 802.3, LLC***

---

- rámce IEEE 802.3 – jako rámce Ethernetu, datové pole typu nahrazeno délkou
- IEEE 802.2 Logical Link Control (LLC) – přídatný mechanismus pro vyšší vrstvy (především multiplexing a sekvenční čísla)

DSAP	SSAP	control	(data ...)
1 oktet	1	1–2	

- DSAP – Destination Service Access Point – cílová služba
- SSAP – Source Service Access Point (přiděluje IEEE, 06 pro IP)
- Control – řídicí informace, 03 pro nečíslovaný rámec

# ***SDH, SONET (1/2)***

---

- Synchronous Digital Hierarchy, Synchronous Optical Network (USA)
- rychlosti 50 Mb/s (OC-1) → 155 Mb/s (STM-1) → 10 Gb/s (STM-64)
- vychází z multiplexování digitalizovaných telefonních hovorů (proudů oktetů konstantní rychlosti)

# ***SDH, SONET (2/2)***

---

- *synchronní* = data jednotlivých příspěvkových toků se vždy nachází na stejném místě v rámci, rámce jsou neustále generovány na základě jednotného hodinového signálu
- rámce obsahují datová pole pro řídicí informace na různých úrovních zpracování (regenerátor signálu, multiplexor/demultiplexor, ukončení datových spojů)
- Packet-over-SONET/SDH – PPP s tvorbou rámců po oktetech (7E,7D) + scrambling (eliminace dlouhých sekvencí stejných bitů), výsledný proud oktetů přenášen pomocí SONET/SDH

# ***ATM (Asynchronous Transfer Mode)***

---

Základ pro Broadband Integrated Services Digital Networks (BISDN),  
cíle:

- podpora pro všechny existující i budoucí služby
- efektivní využití zdrojů
- zjednodušení směrování → vysoké rychlosti
- garance kvalitativních parametrů pro existující i budoucí služby

# ***Základní vlastnosti ATM***

---

- rodina protokolů od síťové vrstvy po fyzickou
- malé rámce pevné délky 53 B – buňky
- spojovaná (connection-oriented) služba
- dohoda o parametrech spojení při jeho ustanovení
- kontrola dodržování a vynucování dohodnutých parametrů
- zvláštní protokolové vrstvy pro přizpůsobení běžným potřebám (ATM Adaptation Layers, LAN emulace, emulace okruhů, . . .)



# ***Struktura ATM protokolů***

---

Convergence Segmentation and Reassembly	AAL
Cell VPI/VCI translation Cell multiplex/demultiplex Cell header manipulations	ATM
Cell rate decoupling HEC sequence generation/verification Transmission frame adaptation	TC
Bit timing Physical medium	PM

- AAL – ATM Adaptation Layer
- TC – Transmission Convergence
- PM – Physical medium

# ***ATM buňka***

---

GFC	VPI	VCI	PTI	CLP	HEC	uživ. data .....
4 bity	8 bitů	16 bitů	3 bity	1 bit	8 bitů	48 oktetů

- délka hlavičky – celkem 5 B
- GFC – Generic Flow Control – typicky nepoužito, pro lokální funkce, např. sdílení jednoho ATM interface více stanicemi
- VPI, VCI – Virtual Path Identifier, Virtual Channel Identifier – identifikace virtuálního spojení
- PTI – Payload Type Identifier
  - typ dat – uživatelská/řídící
  - indikace zahlcení sítě u buněk s uživatelskými daty
  - indikace poslední buňky v rámci AAL5
- HEC – Header Error Control – kontrolní součet hlavičky

# ***QoS na ATM***

---

- QoS – Quality of Service
- přenosová rychlost (rate), průměrná/špičková
- velikost shluků (burstiness)
- zpoždění, rozptyl zpoždění
- pravděpodobnost ztráty buňky
- pravděpodobnost chyby v buněce
- pravděpodobnost odmítnutí spojení

# *Typy provozu*

---

- Constant Bit Rate
- Variable Bit Rate (realtime, non-realtime)
- Available Bit Rate
- Unspecified Bit Rate