



RNDr. Ing. Vladimír Smotlacha, Ph.D.

Katedra počítačových systémů  
Fakulta informačních technologií  
České vysoké učení technické v Praze  
© Vladimír Smotlacha, 2018

## Počítačové sítě BI-PSI LS 2018/19, Přednáška 2

<https://courses.fit.cvut.cz/BI-PSI>



FAKULTA  
INFORMAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ  
ČVUT V PRAZE



EVROPSKÁ UNIE

## Linková vrstva

- typy služeb, protokoly
- detekce a oprava chyb
- kontrola toku – potvrzovací schémata

## Podvrstvy MAC a LLC

- metody přístupu

## Rámce

- HDLC, PPP, Ethernet, IEEE 802.3

## Implementace

- Ethernet
- bezdrátové sítě



Spolehlivostí myslíme reakci linkové vrstvy na ztracený blok dat (rámec, frame)

- za ztracený je považován i poškozený a tedy „zahozený“ rámec

Nepotvrzovaná nespojovaná služba (unacknowledged connectionless service)

- linková vrstva neřeší spolehlivost
- případné chyby musí být odstraněny ve vyšší vrstvě
- příklad: Ethernet



Potvrzovaná nespojovaná služba (acknowledged connectionless service)

- příjemce potvrzuje každý rámec (ACK, acknowledge)
- nepotvrzené rámce jsou opakovaně vyslány
  - vysílač obsahuje časovač - „timeout“
- může dojít k duplicitnímu přijetí rámců
  - musí řešit vyšší vrstva
- příklad: 802.11 (WiFi)



Potvrzovaná spojovaná služba (acknowledged connection-oriented service)

- nejvyšší spolehlivost
- 3 fáze:
  - navázání spojení
  - přenos dat
  - ukončení
- rámce jsou číslovány
- každý uzel v cestě udržuje informace o navázaném spoji
  - časovač a paměť pro uložení rámců



Protokoly zodpovídají za přenos dat mezi propojenými systémy

Další možné funkce

- zajištění spolehlivosti přenosu
  - zaručené doručení rámce
  - vyloučení duplikací
  - správné pořadí rámců
- adresace v rámci segmentu
  - koncové stanice mají přiděleny adresy
  - mapování síťových adres na linkové adresy



Volba kódování závisí na mediu ve fyzické vrstvě

Chybovost (BER – bit error rate)

- velké rozpětí - cca  $10^{-3}$  -  $10^{-12}$
- výjimečné a náhodné chyby v optické lince
- časté chyby v bezdrátových linkách

Základním principem je redundance přenášené informace

- snížení kapacity kanálu



## Parita (sudá nebo lichá)

- detekce chyb v jednom bitu
- počet „1“ v určitém řádku nebo sloupci je sudý / lichý

## Kontrolní součet (checksum)

- součet hodnot všech přenesených bytů nebo slov

## CRC (Cyclic Redundancy Check)

- je zvolen klíč  $G(x)$
- CRC je zbytek po dělení zprávy  $M(x)$  klíčem  $G(x)$





## Opakovací („koktavý“) kód

- každý bit (resp. blok dat) je opakován např. 3x
- výsledek je daný „hlasováním“

## Hammingovy kódy

- lineární samoopravné kódy
- příklad: Hamming (4,7) kóduje 4 bity do 7 bitů, lze opravit jeden chybný bit nebo detekovat chybu ve dvou bitech



Problém „bandwidth \* delay“

- součin *zpoždění* a *kapacity* udává množství dat „na cestě“
- má vliv na volbu způsobu potvrzování a opakování rámců

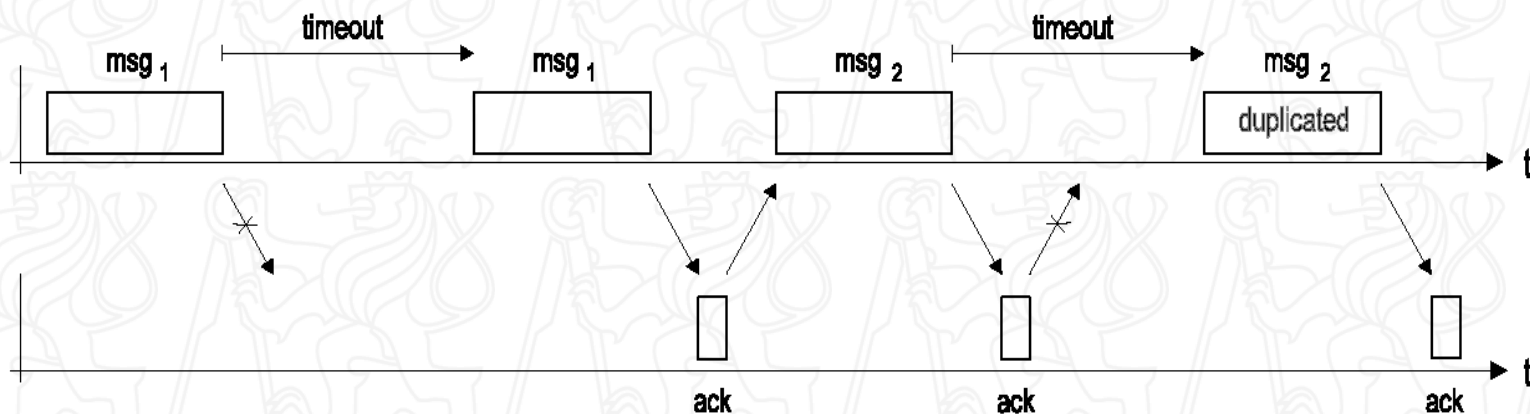
Příklady

- Ethernet (10BaseT) v lokální síti
  - $10 \text{ Mb/s} * 0.5 \text{ ms} = 625 \text{ Byte}$
  - méně než jeden rámec
- dlouhá mezistátní optická linka 10 Gb/s
  - $10 \text{ Gb/s} * 5 \text{ ms} = 6.25 \text{ MByte}$
  - řádově tisíce rámců v přenosovém kanále



## Pozitivní potvrzení

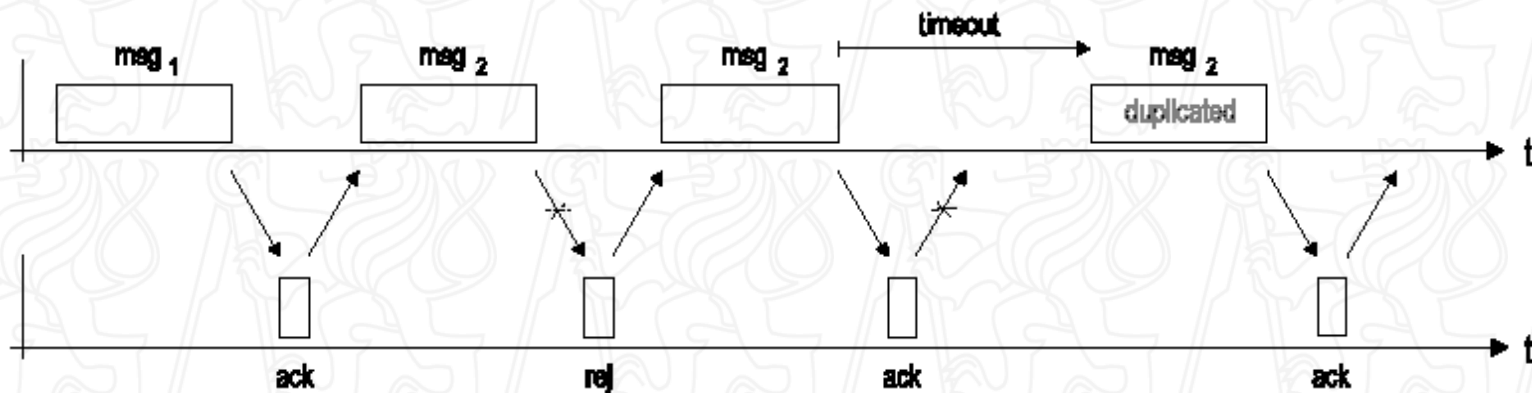
- každý rámeček je potvrzen
- pokud nepřijde potvrzení do dané doby (timeout), je rámeček vyslán znova





## Negativní potvrzení (NAK)

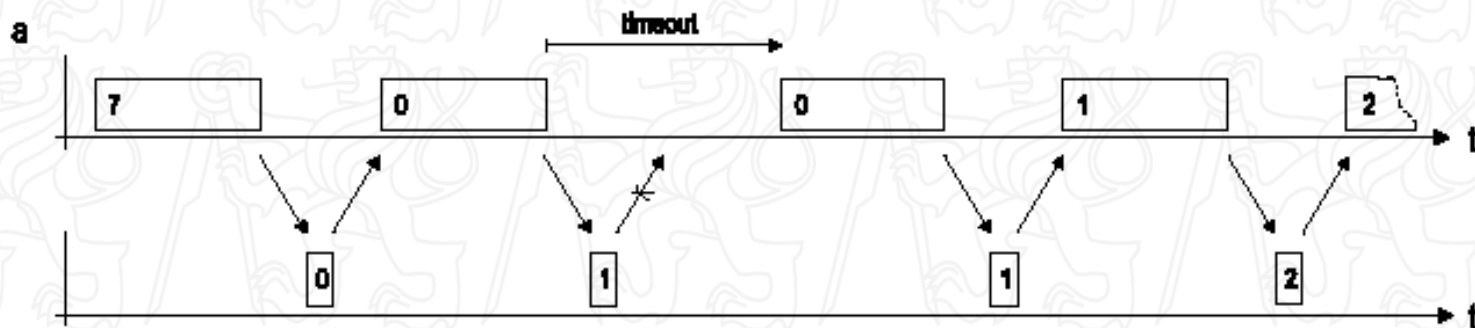
- přijímací strana pakety potvrzuje
- lze zaslat i negativní potvrzení (NAK), pokud paket nepřijde nebo je poškozen
- nepřijde-li ACK ani NAK, uplatní se timeout





## Číslování rámců (frame numbering)

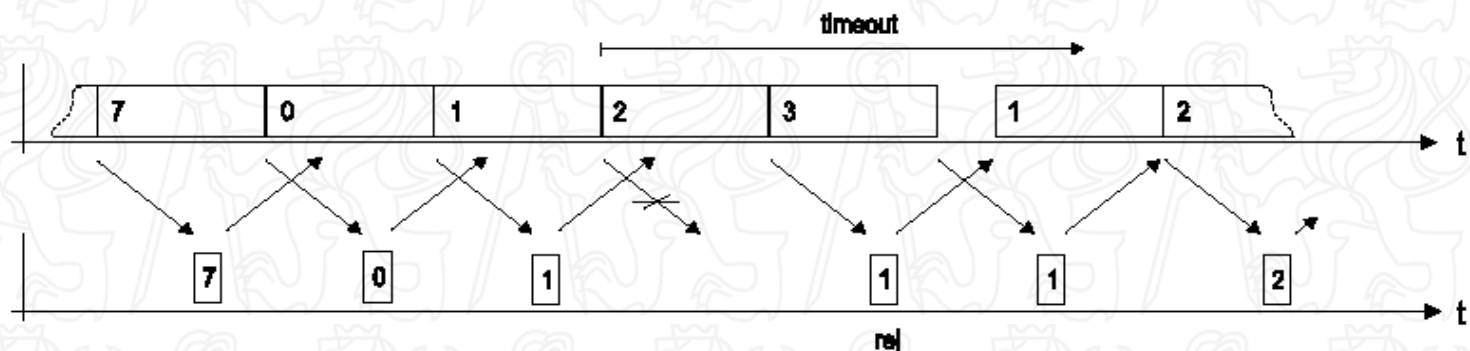
- pakety jsou „cyklicky“ číslovány (t.j. 0 -  $n$ )
- přijímací strana potvrdí dosavadní příjem číslem paketu, který očekává
- snadná identifikace duplicit





## Klouzavé okénko (sliding window)

- jako u číslování rámců, ale vysílač může odeslat  $n > 1$  rámců bez čekání na odpověď
- nezbytné, pokud přenosový kanál pojme více rámců (viz „bandwidth \* delay“)





Linková vrstva podle OSI je příliš obecná

Vyčlenily se dvě podvrstvy

- MAC (Medium Access Control) – řízení přístupu k mediu
  - zavádí adresaci rámců (MAC adresa)
- LLC (Logical Link Control)
  - podporuje sdílení linkové vrstvy různými síťovými vrstvami
  - obsahuje řízení datového toku



## MAC - Medium access control

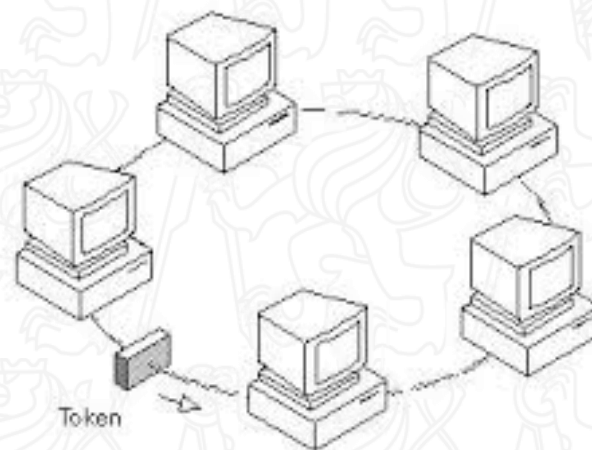
- podvrstva linkové vrstvy
  - má smysl jen v případě sdíleného media
- Deterministický přístup - alokace kanálů
  - statické vyhrazení - multiplexing
  - centralizované řízení
    - např. výzva – řídicí stanice nabízí možnost vysílat
  - Distribuované řízení
    - např. Token Ring – v síti se předává speciální rámec („token“), jehož aktuální držitel je oprávněn vysílat
- Náhodný přístup



IBM, IEEE 802.5

Logická struktura: jednosměrný „okruh“

- Rámce:
  - datový/příkazový
  - token (povoluje vysílání)
- V klidovém stavu obíhá značka (token)
  - příjemce tokenu jen nahradí datovým rámcem
  - vyslaný rámec oběhne celý okruh, pak je nahrazen tokenem
- Vlastnosti
  - deterministický přístup k médiu
  - lepší průchodnost než u Ethernetu





předchůdce - síť ALOHA

- radiová síť na Hawaii v 70. letech
- uživatel mohl kdykoliv vyslat datový rámeček
- centrální stanice opakovala (na jiné frekvenci) každý přijatý rámeček
- v případě chyby uživatel zopakoval vysílání po prodlevě náhodné délky

CSMA

CSMA/CD

CSMA/CA

## Carrier Sense Multiple Access

- vychází ze systému ALOHA
- kolize nejsou detekovány
- než stanice začne vysílat, poslouchá na lince zda nevysílá už někdo jiný
  - pokud nevysílá, začne vysílat
  - pokud vysílá, čeká na konec relace
    - a pak začne hned vysílat (1-persistent)
    - nebo začne vysílat s pravděpodobností  $p$ , jinak chvíli čeká a pak znovu naslouchá (p-persistent)

## CSMA with Collision Detection

- v průběhu vysílání stanice poslouchá provoz na lince
  - lze implementovat např. na elektrickém kabelu
- v případě zjištění kolize (přijme něco jiného než vysílá) přeruší vysílání
- lepší využití media oproti CSMA – nepokračuje se ve vysílání poškozeného rámce
- využití v Ethrenetu

## CSMA with Collision Avoidance

- u rádiových sítí nelze použít CSMA/CD
  - nelze naslouchat při vysílání
  - existence jevu „hidden terminal“



## Algoritmus RTS/CTS

- stanice vyšle paket RTS (Request to Send)
- centrální stanice odpoví CTS (Clear to Send)
  - => ostatní se dozví o plánovaném vysílání
- využívá se ve WiFi



LLC (Logical Link Control) – podvrstva linkové vrstvy

- standardizováno v IEEE 802.2

Poskytuje mechanismus pro existenci rozdílných síťových protokolů nad společnou MAC vrstvou (na tomtéž médiu)

- např. IP, IPX (Novell), NetBIOS, ...
- podporuje řízení toku a kontrolu chyb



## Rozdělení proudu bitů do rámce (frame)

### Problém jak určit hranici rámce

- Explicitní počet
  - stejná délka rámců
  - na začátku rámce je uvedena informace o délce
- Mezera na konci rámce
- Doplnkový znak (byte stuffing)
  - flag, udávající začátek a konec rámce
- Doplnkový bit (bit stuffing)
  - vložený bit – vznikne speciální sekvence, která se nevyskytuje jinde v proudu dat



## High Level Data Link Control, ISO 13239

- velmi rozsáhlá norma, existují různé implementace s omezenou kompatibilitou
- bitově orientovaný protokol
- synchronní i asynchronní přenos
- využít v sériových linkách





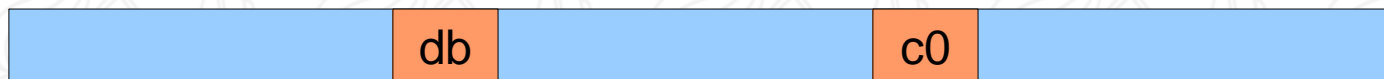
- flag – 0111 1110
- bit stuffing – vkládání „0“ po pěti „1“
- adresa – jen v některých typech rámců
- kontrolní součet 16/32
- data – v některých rámcích nejsou



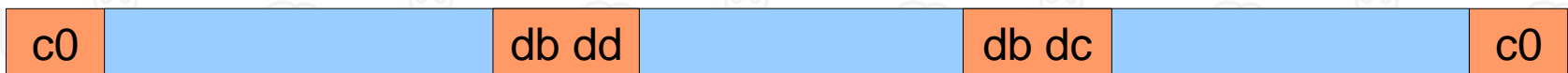
## Serial Line IP - počátek 80. let

- definuje pouze zapouzdření paketů na sériové lince
- nedefinuje: adresaci, typ paketů, detekci chyb, kompresi, ...
  - rámec ohraničen znaky END
  - definuje speciální znaky
    - END 0xc0, v datovém toku nahrazen 0xdb 0xdc
    - ESC 0xdb, v datovém toku nahrazen 0xdb 0xdd

data



SLIP – data na lince



## Point to Point Protocol, rfc 1661, rfc 1662

- podmnožina HDLC
- asynchronní, bitově i znakově synchronní
- umožňuje souběh více protokolů
- bitové linky – bit stuffing
- znakové
  - 0x7e -> 0x7d 0x5e
  - 0x7d -> 0x7d 0x5d



Dvě různé normy ethernetových rámců:

## Ethernet II

- původní verze konzorcia DIX = Digital, Intel, Xerox

## IEEE 802.3 (ISO 8802-3)

- obecnější verze podle IEEE
- V Internetu je podpora Ethernet II povinná
- lze rozlišit, jakého typu je rámec
- oba typy se mohou najednou vyskytovat ve stejném segmentu

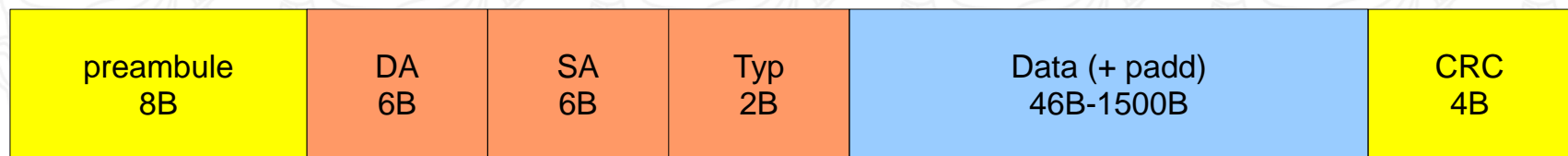


Preamble 10101010....101011

- DA, SA – adresa cíle, adresa zdroje
- 3B výrobce
- XXXXXXFB
- F – 0..globální, 1..firemní
- B – 0..adresa karty, 1..multicast
- 111...111 broadcast

Typ - ID protokolu

- 0800 ... IP
- 0806 ... ARP
- 8035 ... RARP
- 86DD ... IPv6
- 88A2 ... ATA over Ethernet





Místo pole *Typ* je *Délka* (0-5dc)

Data

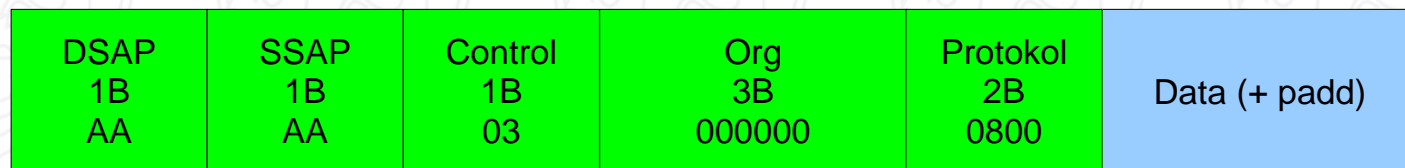
- přímo rámce IEEE 802.3 – Novell IPX
- rámce IEEE 802.2 – nepoužívá se přímo IP
- rámce IEEE 802.2 SNAP





## DSAP, SSAP – Destination/Source Service Access Point

- aa,ab                                      ... SNAP
- e0    ... Novell Netware
- f0    ... IBM NetBIOS
- Control – odpovídá HDLC
- pro SNAP U-rámec UI (Unnumbered Information)
- org – identifikace organizace
- 000000 ... Ethernet II typ, jinak definovaný organizací





## 10Base5

- koaxiální kabel („tlustý“), 50  $\Omega$ , max. 500m
- adaptéry s odbočkami („nabodnuto“ do kabelu)

## 10Base2

- koaxiální kabel RG-58 („tenký“), 50  $\Omega$ , max. 185m
- spojka T u každé síťové karty

## 10Base-T

- kroucená dvoulinka (twisted pair – UTP nebo STP)
- propojeno do hvězdy na hub (kolize) nebo switch (bezkolizní)





## Propojení bod-bod (tedy bezkolizní)

- vyžaduje přepínač (switch)

## Varianty

- 100 Mb/s
  - 100Base-TX - kroucená dvoulinka - UTP
  - 100Base-FX - optické vlákno (multimode)
- 1 Gb/s
  - 1000Base-SX (resp. LX) – optické vlákno, dosah 500m - 5km
  - 1000Base-TX - UTP
- 10 Gb/s
  - 10GBase-SR (resp. LR,ER) – optické vlákno, dosah 300m - 40km



## Vývoj směrem k vyšším přenosovým rychlostem

- využití jen pro dálkové trasy v optických sítích (nikoliv lokální sítě)
- 40 Gb/s
  - není moc využíváno, spíše jen jako mezistupeň k 100G
- 100 Gb/s
  - standard běžně podporovaný výrobci
  - v ČR zatím málo instalací (např. trasa Praha – Brno v síti CESNET)
- Terabit Ethernet
  - označuje rychlosti 100+, specifikace 200/300/400 Gb/s
  - málo implementací, v ČR jen experimentální (CESNET)
  - standardizace pokračuje
  - není dosud specifikace pro rychlosti nad 400 Gb/s

## 802.11 – WiFi

- využívá CSMA/CA

### 2 typy stanic

- klient
- AP (Access Point)

### Komunikace

- mezi AP a klientem
- mezi klienty – „ad-hoc network“

### Rozdílný dosah stanic („hidden terminal“)

- někteří klienti se nemusí „slyšet“, tedy ani detekovat vysílání

## Šifrování provozu

- Autentizační protokoly
  - volný přístup
  - WEP
  - WPA, WPA2

## Implementace

- |           |             |                 |
|-----------|-------------|-----------------|
| – 802.11a | 5 GHz       | 54 Mb/s         |
| – 802.11b | 2.4 GHz     | 11 Mb/s         |
| – 802.11g | 2.4 GHz     | 54 Mb/s         |
| – 802.11n | 5 / 2.4 GHz | 100 Mb/s a více |



Ericsson, IEEE 802.15.1

PAN – personal area network

Přenosová rychlost 720 kb/s

## Architektura

- piconet (rozsah cca 10 m)
  - master
  - max. 7 aktivních klientů
  - max. 255 neaktivních klientů
- scatternet
  - propojení piconet společným klientem



Děkuji za pozornost