

KOMUNIKAČNÉ A INFORMAČNÉ SIETE

LINKOVÁ VRSTVA

Ing. Michal Halás, PhD.

halas@kti.elf.stuba.sk, B-514 , <http://www.kti.elf.stuba.sk/~halas>

OBSAH

- základné funkcie
- typy služieb
- rámcovanie a bit/byte stuffing
- kontrola a riadenie chybovosti
- riadenie toku dát
- prístup na spoločné médium
- protokoly linkovej vrstvy HDLC, PPP, Ethernet

Základné funkcie

3

Linková vrstva:

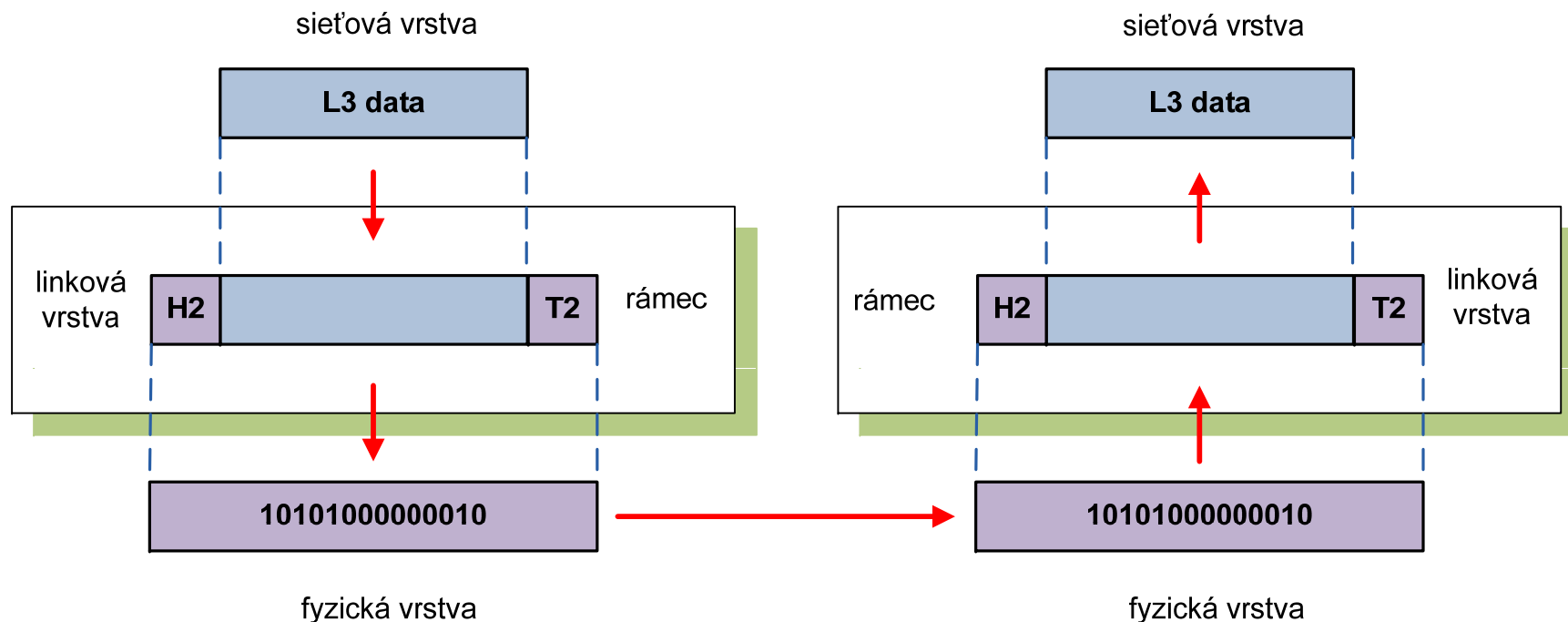
- ❑ 2. vrstva OSI modelu,
- ❑ poskytovať služby a rozhranie sieťovej vrstve, využíva služby fyzickej vrstvy,
- ❑ rámcová synchronizácia,
 - dáta sú vysielané v blokoch (rámcoch), pričom začiatok a koniec bloku musí byť ľahko identifikovateľný,
- ❑ kontrola chýb (Error Control),
 - detekovať a pokiaľ možno opraviť chyby vzniknuté v prenosovom rámci,
- ❑ riadenie toku dát (Flow Control),
 - rýchlejší vysielateľ nesmie zahltiť pomalší prijímač.

Základné funkcie

4

Linková vrstva:

- poskytuje spoľahlivý prenos informácií cez fyzickú linku, zabezpečuje aktiváciu, správu a deaktiváciu prenosovej linky,
- odosiela bloky (rámce / frames) spolu s nevyhnutnými informáciami pre synchronizáciu, detekciu chýb v prenose a pre riadenie prenosu.



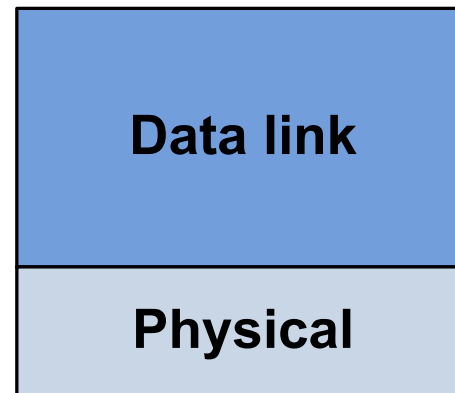
Linková vrstva

5

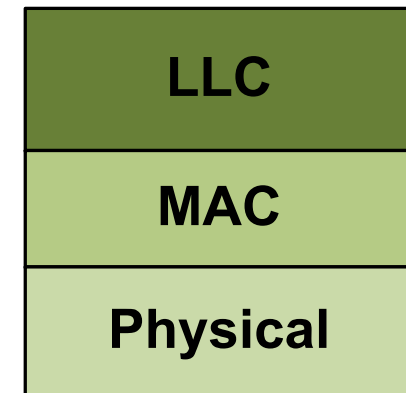
□ MAC podvrstva

- ▣ medium access control,
- ▣ podvrstva riadenia prístupu k médiu,
- ▣ súvisí s fyzickými komponentmi komunikácie.

OSI



IEEE 802



□ LLC podvrstva

- ▣ logical link control,
- ▣ podvrstva riadenia logického spoja,
- ▣ komunikačné procesy,
- ▣ nesúvisí s fyzickým pripojením,
- ▣ pridáva hlavičku a trailer
 - informácie pre 2. vrstvu cieľovej stanice.

Linková vrstva IEEE 802

6

□ MAC

■ riadenie prístupu k médiu,

■ deterministické

■ Token passing, Poling

■ stochastické

■ Fast Ethernet, CSMA/CD, CSMA/CA

■ fyzické adresovanie,

■ je hardvérovo závislá,

■ IEEE 802.3 - Ethernet, IEEE 802.11 – Wi-Fi, IEEE 802.16 WiMAX.

Linková vrstva IEEE 802

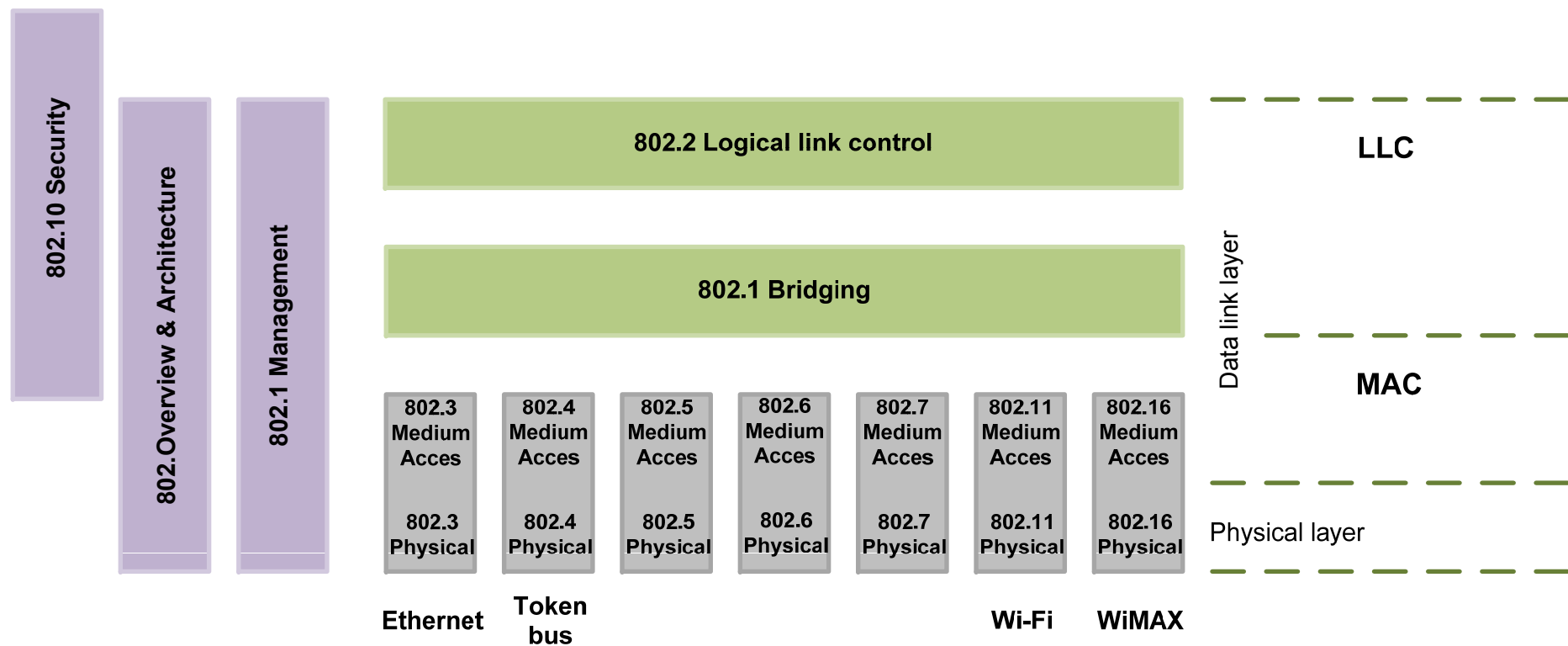
7

□ LLC

- multiplexácia/demultiplexácia vysielaných protokolov,
- riadenie toku,
 - ARQ
 - Stop&Wait , Go-Back-N , Selective Repeat
- zabezpečenie proti chybám,
 - kontrolné súčty CRC, Hammingové kódy, parita
- nie je hardvérovo závislá,
- IEEE 802.2.

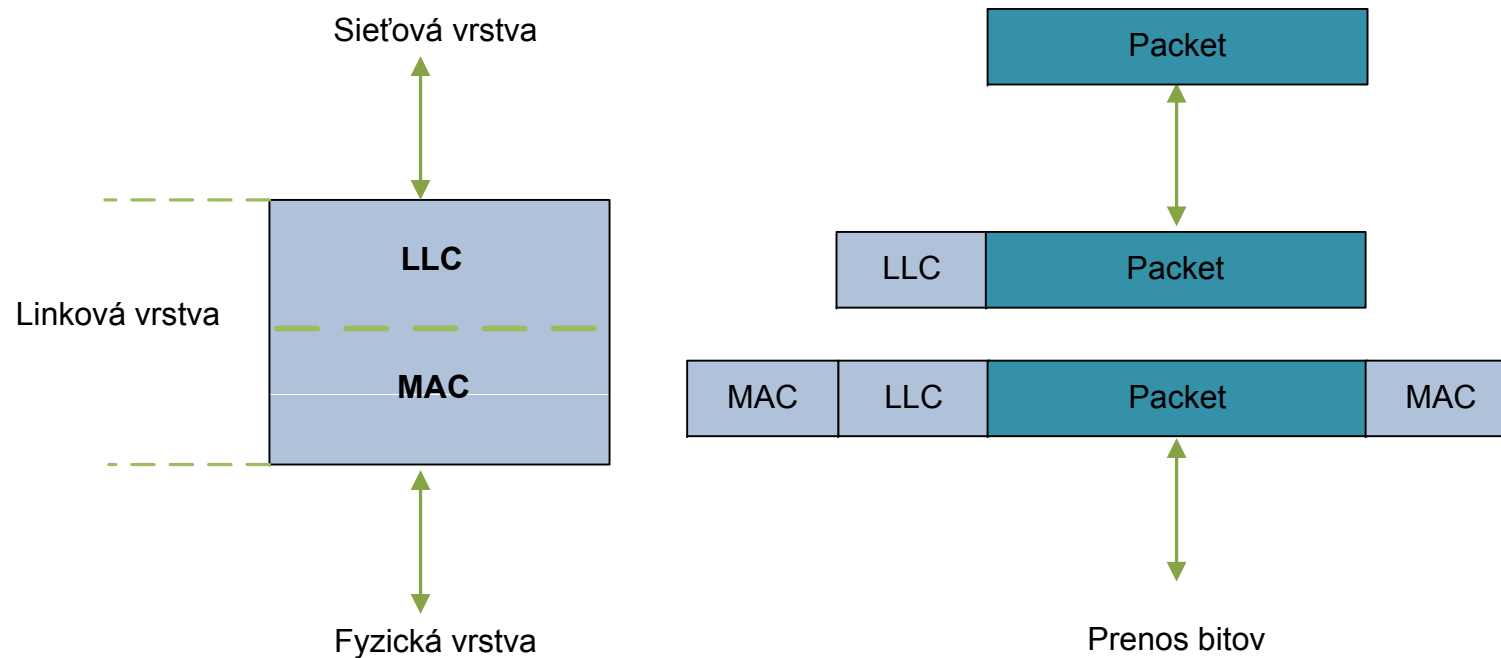
Linková vrstva IEEE 802

8



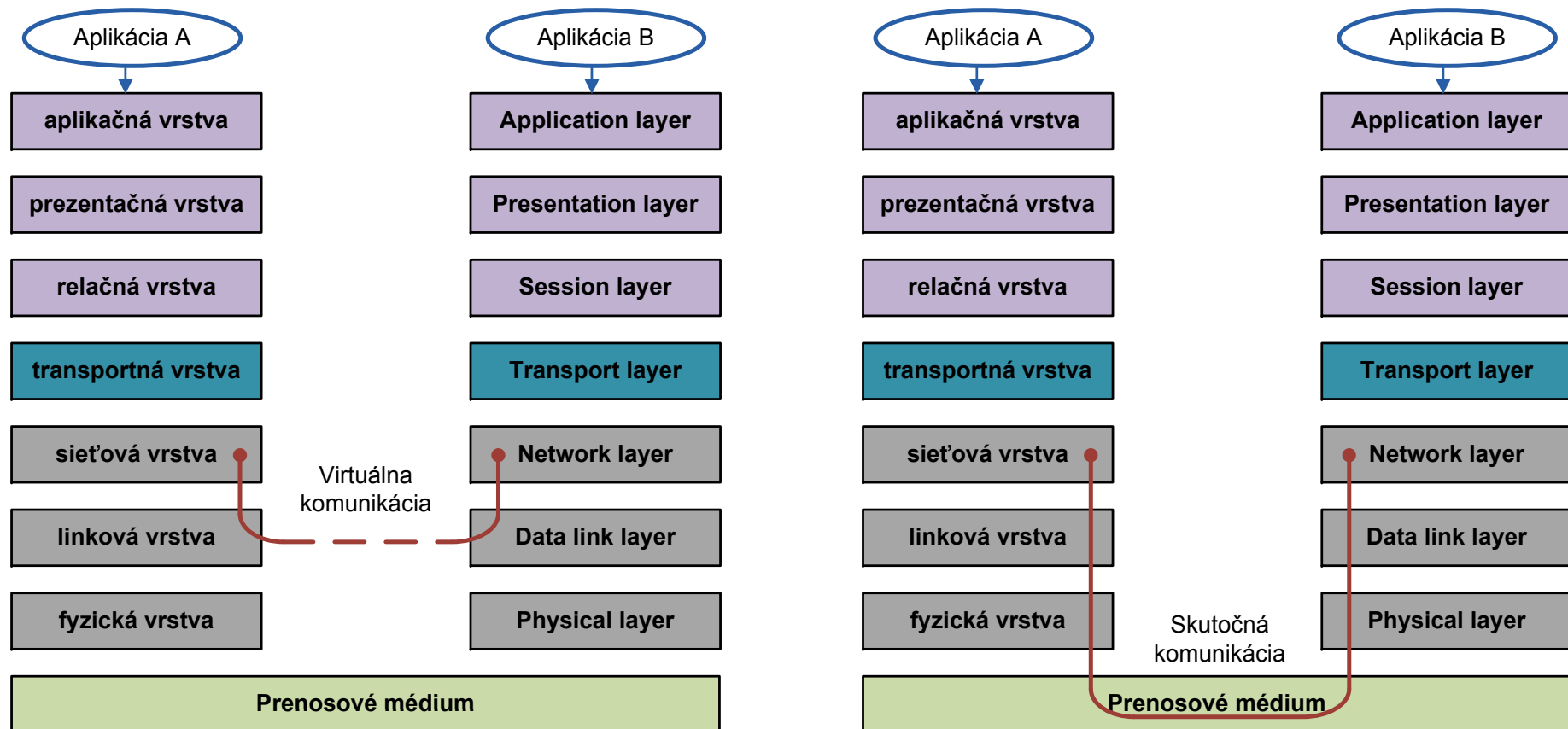
Linková vrstva IEEE 802

9



Služby poskytované sieťovej vrstve

10



Služby poskytované sieťovej vrstve

11

- Nepotvrdzovaná služba bez spojovej orientácie
 - ▣ Pred začatím prenosu nie je vytvorené logické spojenie.
 - ▣ Prenos nie je potvrdzovaný, chýba zabezpečenie bezchybného prenosu.
 - ▣ Takáto služba sa využíva v prípadoch, že vyššie vrstvy obsahujú tieto služby.
- Potvrdzovaná služba bez spojovej orientácie
 - ▣ Logické spojenie nie je vytvorené, avšak existuje úsekové potvrdzovanie prenosu.
 - ▣ Vhodné pre nespoľahlivé prenosové linky. Výhodou je, že v prípade straty rámca je rámec odoslaný znovu.
 - ▣ Takýto prenos sa využíva napríklad vo Wi-Fi.
- Potvrdzovaná spojovo orientovaná služba
 - ▣ Pred začatím prenosu je vytvorené logické spojenie, rámce sú potvrdzované.

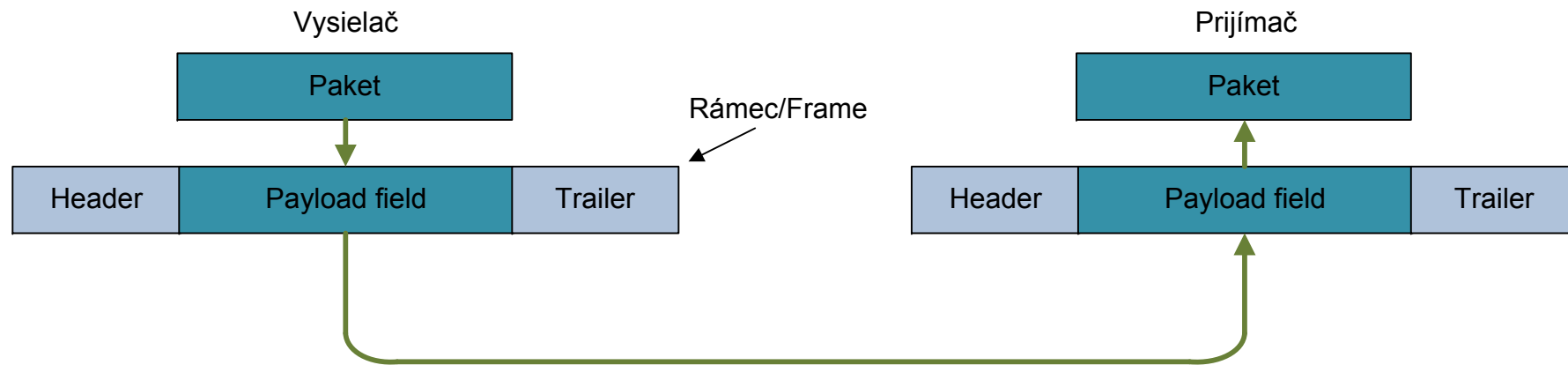
Rámcovanie

12

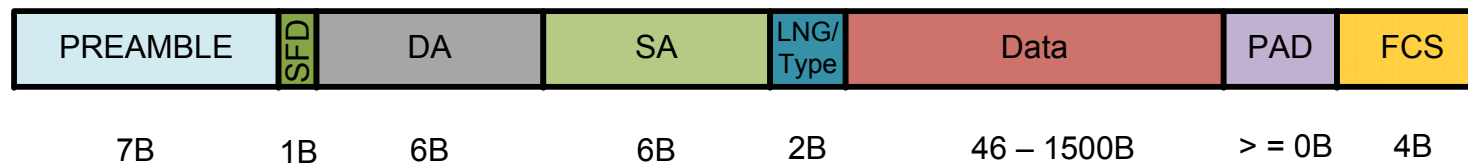
- veľkosť dátových blokov prenášaných fyzickou vrstvou je obmedzený,
- vyššie vrstvy pracujú s väčšími blokmi dát,
- rozdelenie veľkých blokov na menšie časti,
 - segmentácia/fragmentácia (TCP/IP)
 - ATM bloky (bunky/cells)
 - fixná veľkosť 53 B
 - Ethernet bloky (rámce/frames)
 - max 1518 B IEEE 802.3 (Ethernet)
 - max 1522 B IEEE 802.3ac (Ethernet – VLAN)

Formát rámca linkovej vrstvy

13



Ethernet II rámec



Rámcovanie

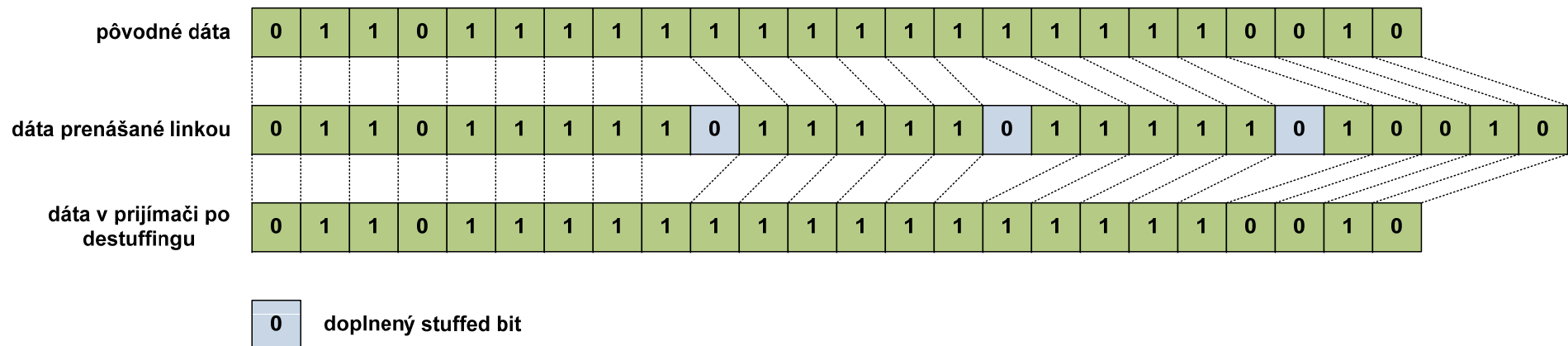
14

- je potrebné jednoznačne označiť začiatok a koniec rámca,
- nie je možné spoľahnúť sa na časovanie, je potrebné použiť návestia,
- stanoví sa bitová vzorka označujúca začiatočné a konečné návestie,
- pomocou metódy „bit stuffing“ sa zabezpečí, aby v samotných prenášaných dátach sa v žiadnom prípade táto vzorka neobjavila.

Rámcovanie

15

- Bit stuffing
- návestie začiatku a konca rámca je 01111110



Kontrola chybovosti

16

- dopredný prístup (forward),
 - korekčné kódy FEC
 - Hammingové kódy, RS (Reed Solomon) kódy
- spätnoväzobný prístup (backward),
 - kódy detekujúce chybu
 - kontrolné súčty CRC / parita
 - riadenie chybovosti
 - spätná väzba pre vysielateľ, či sa rámec prijal v poriadku
 - potrebné stanovenie doby expirácie, ak nepríde potvrdenie, odošle vysielateľ rámec znova
- hybridný prístup.

Cyklický kód CRC

17

- CRC – cyclic redundancy check
 - pomocou stanoveného generujúceho polynómu sa vypočíta vo vysielачi kontrolný súčet prenášaných dát,
 - kontrolný súčet CRC sa pripojí k prenášaným dátam,
 - prijímač si sám znovu spočíta kontrolný súčet pomocou rovnakého generujúceho polynómu a porovná ho s prijatým CRC,
 - konkrétny algoritmus implementácie je rôzny,
 - veľmi často na výpočet stačí jednoduchý posuvný register, umožňujúci funkciu EX-OR s pevne danou maskou.

Cyklický kód CRC

18

- od zloženia generujúceho polynómu závisí schopnosť detekcie chýb,
- IEEE odporúča polynóm CRC-32,
 - umožňuje detekovať zhľuky chýb, veľkosti max. 32 bitov a všetky zhľuky ovplyvňujúce nepárny počet bitov
- najčastejšie používané polynómy
 - CRC-12 $x^{12} + x^{11} + x^3 + x^2 + x + 1$
 - telekomunikačné systémy
 - CRC-16-CCITT $x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$
 - CDMA, Bluetooth, HDLC, PPP, IrDA
 - CRC-16-IBM $x^{16} + x^{15} + x^2 + 1$
 - SDLC, USB, ... často označovaný ako *CRC-16*
 - CRC-32-IEEE $x^{32} + x^{26} + x^{23} + x^{22} + x^{16} + x^{12} + x^{11} + x^{10} + x^8 + x^7 + x^5 + x^4 + x^2 + x + 1$
 - IEEE 802.3 Ethernet, MPEG-2, PNG

Riadenie chybovosti

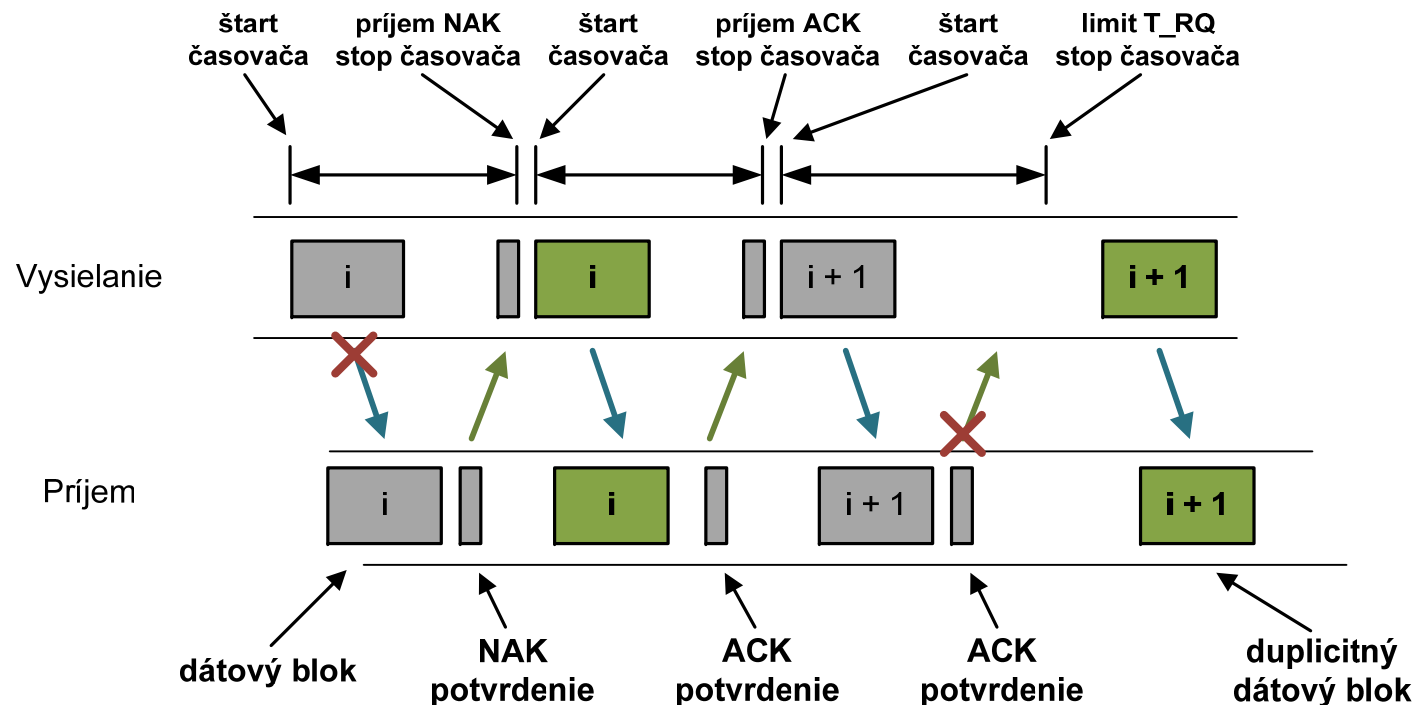
19

- ARQ – Automatic repeat request
 - ▣ metóda riadenia chybovosti, keď prijímač detekuje chyby a automaticky od vysielача vyžaduje znovu vyslanie poškodených rámcov
- spôsob vysielania
 - ▣ Stop&Wait
 - ▣ Go-Back-N
 - ▣ Selective Repeat
- typ potvrdenia
 - ▣ ACK - P-schéma
 - ▣ REJ (NAK) - N-schéma
 - ▣ ACK, REJ - A-schéma

Stop&Wait ARQ

20

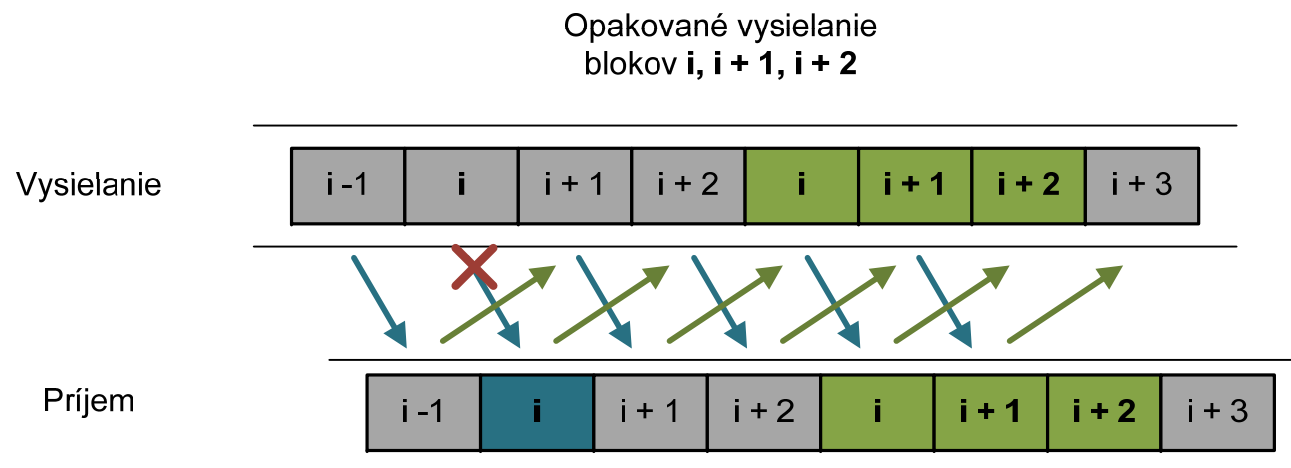
- Vysielač čaká potvrdenie každého vyslaného rámca, bez potvrdenia nevysiela ďalej.
- Pokiaľ vyprší časovač vyšle znovu posledný rámec
- napr: pri použití A-schémy (ACK/NAK).



Go-Back-N ARQ

21

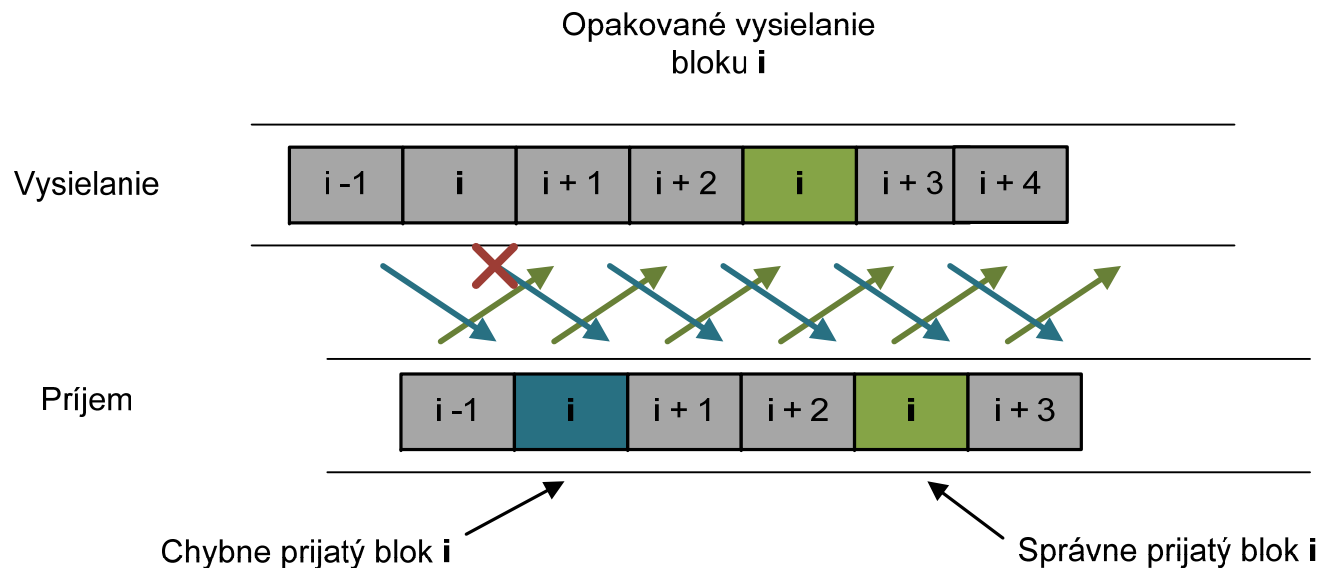
- Vysielač vysiela automaticky za sebou stanovený počet rámcov, daný veľkosťou okna.
- Prijímač posiela potvrdenie prijatia každého rámcu spolu s informáciou o poradovom čísle rámcu, ktorý očakáva.
- V prípade chyby, vysielač pošle chýbajúci rámec + všetky nasledujúce rámce.
- napr: pri použití A-schémy (ACK/NAK)



Selective repeat ARQ

22

- Vysielač automaticky vysiela počet rámcov, daný veľkosťou okna aj v prípade straty rámcu.
- Prijímač posíla potvrdenie s informáciou o poradovom čísle prvého neprijatého rámcu.
- napr: pri použití A-schémy (ACK/NAK)



Sliding window

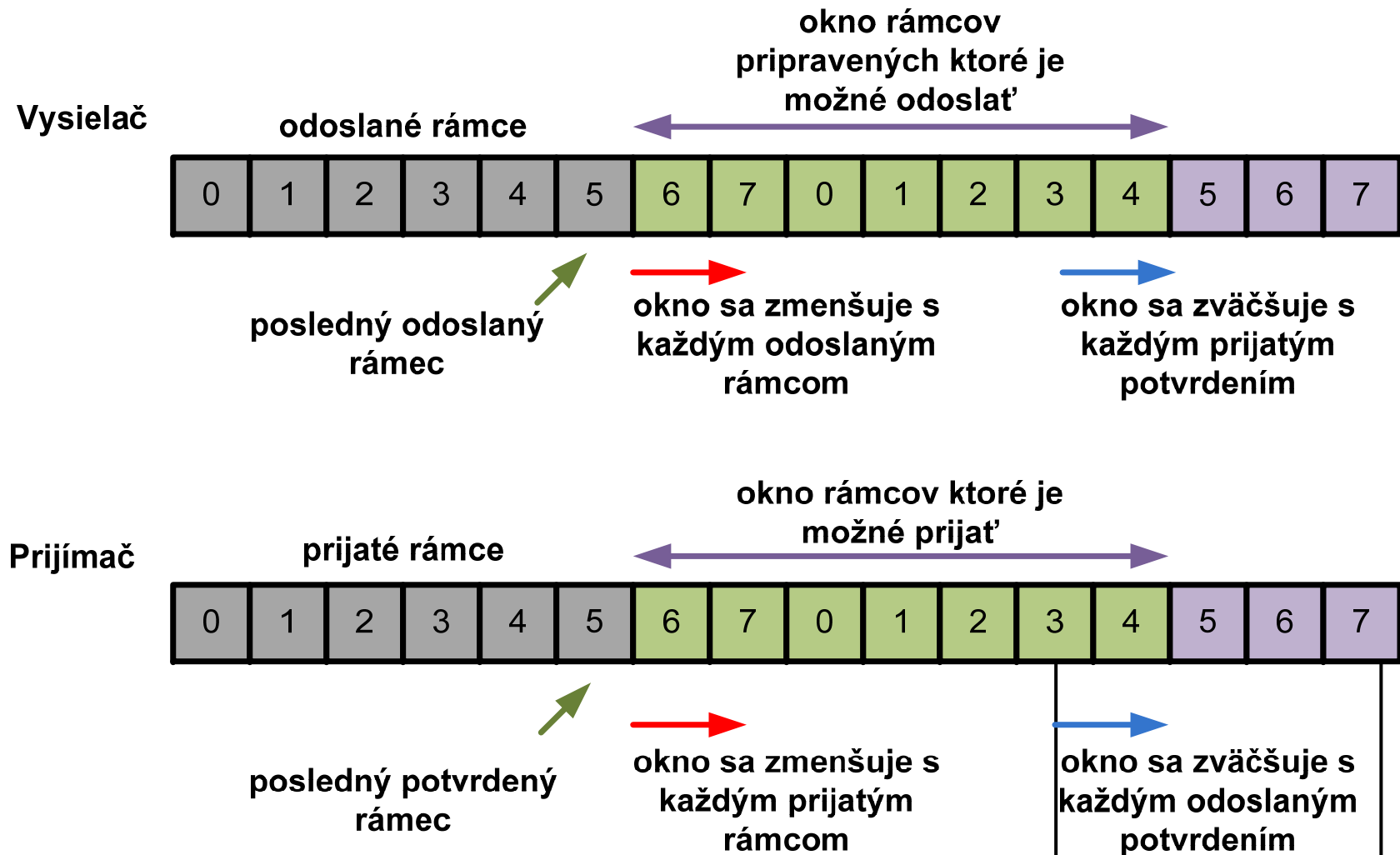
23

- umožňuje vysielacu odoslať určité množstvo rámcov bez toho, aby musel čakať na potvrdenie,
- využíva sa na integráciu riadenia chybovosti a riadenia toku dát,
- Sliding window vysieláča
 - zväčší sa, keď vysieláč obdrží ACK,
 - zmenší sa s každým vyslaným rámcom,
 - rámce v okne je potrebné uchovávať vo vyrovnávacej pamäti.
- Sliding window prijímača
 - zmenší sa s každým prijatým rámcom,
 - zväčší sa s každým odoslaným ACK.



Sliding window

24



Riadenie toku dát

25

- ako zabezpečiť, aby rýchlosť odosielania dát vysielačom, neviedla k zahlteniu prijímacieho uzla
 - preventívne metódy,
 - bez spätnej väzby
 - algoritmus deravej nádoby (leaky bucket)
 - algoritmus nádoby povolení (token bucket)
 - reaktívne metódy,
 - so spätnou väzbou
 - explicitná spätná väzba
 - implicitná spätná väzba
 - on-off, stop&wait, static window, dynamic window

Riadenie toku dát

26

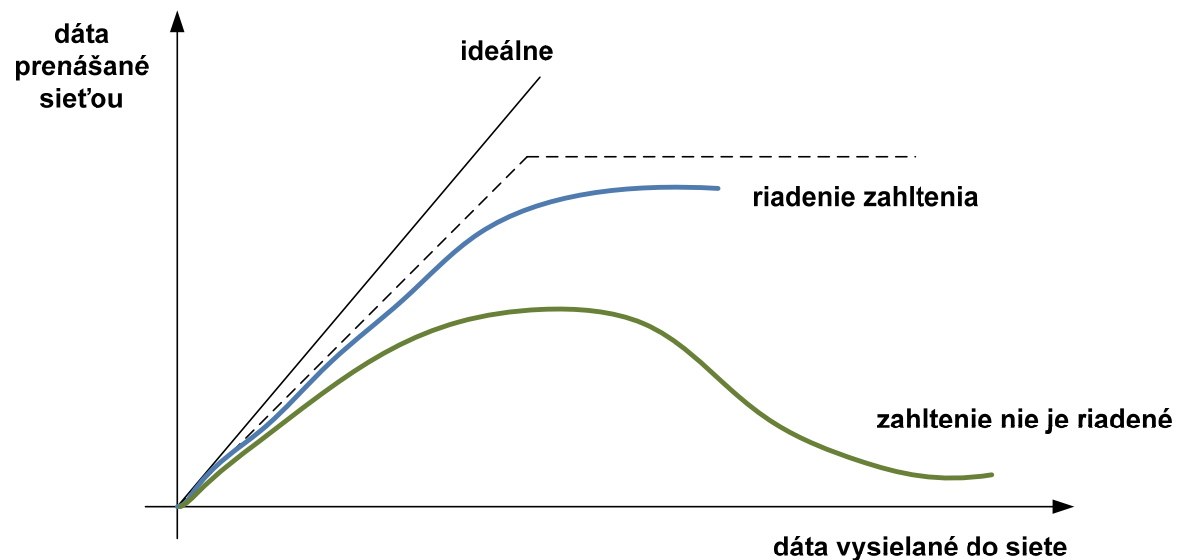
- je potrebné zabezpečiť, aby vysielateľ vysielal dáta len vtedy, keď je ich prijímač schopný prijať,
- vysielanie údajov sa najčastejšie riadi v závislosti od potvrdzovania prijatých rámcov prijímačom,
- v prípade jednotlivého potvrdzovania stačí, ak prijímač nepotvrdí prijatie rámca a vysielateľ nezačne vysielat' ďalší rámec,
- v prípade kontinuálneho potvrdzovania, vysielateľ je schopný vyslať bez prijatia odpovede, len určitý počet rámcov - metóda sliding window.

Riadenie zahltenia

27

Riadenie zahltenia (congestion control):

- zabezpečiť, aby v komunikačnej sieti nevzniklo blokovanie prenosu dát,
- potrebná prevencia a spätná väzba.
 - zahltenie prijímajúceho uzla
 - lokálne zahltenie siete
 - globálne zahltenie siete



Prístup na zdieľané médium

28



Ahoj ako sa máš ?



Celkom to ujde.

Prístup na zdieľané médium

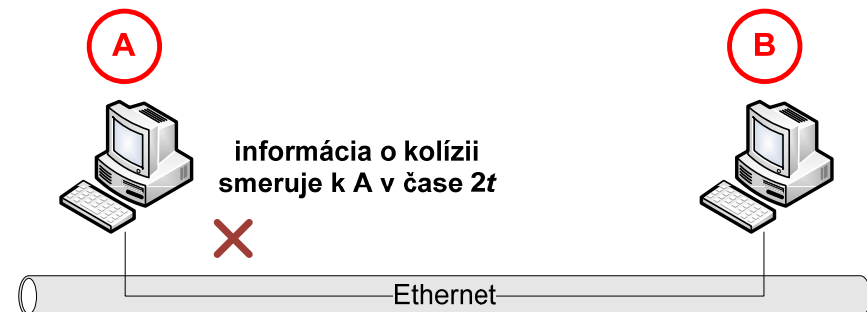
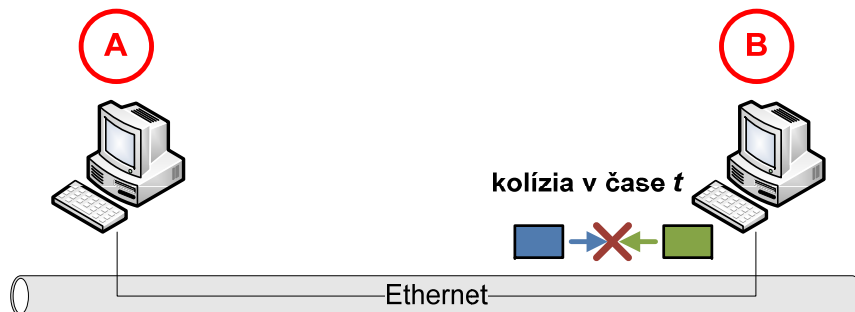
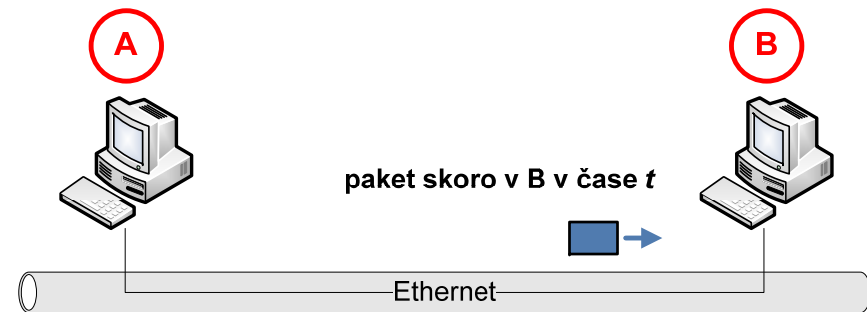
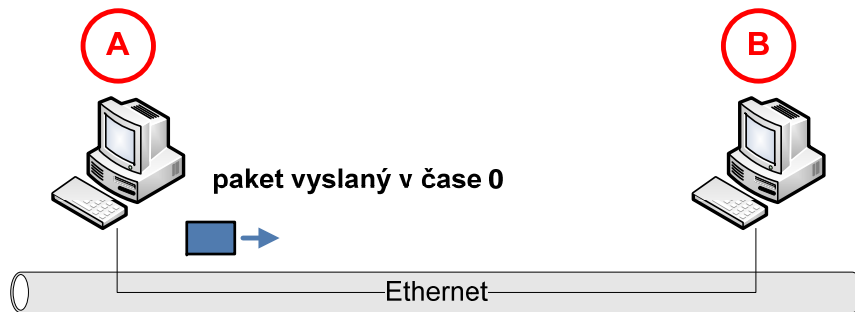
29



Prístup na zdieľané médium

30

- 3 typy kolízií:
 - ▣ lokálna, vzdialená a oneskorená kolízia
- Platí pravidlo, že čas vysielania rámca, musí byť väčší ako 2τ .



Prístup na zdieľané médium

31

- čas na vysielanie rámca musí byť väčší ako 2τ ,
- pre LAN 10 Mbit/s, je max. dĺžka 2500m (4 opakovače),
 $2\tau \approx 50\mu\text{s}$, tomu zodpovedá 500b,
- pridanie rezervy na $51,2\mu\text{s}$ zodpovedá 512b = 64B,
 - minimálna dĺžka 64B bez preamble a start frame delimiter
- pri zvyšovaní rýchlosti,
 - zväčšiť min. dĺžku rámca alebo zmenšiť dĺžku kábla
 - Ethernet 1 Gbit/s
 - min. dĺžka rámca 6400B a vzdialenosť 2500m
 - min. dĺžka rámca 640B a vzdialenosť len 250m

CSMA/CD

32

- metóda prístupu viacerých zariadení k zdieľanému médiu v rovnakom čase,
- CSMA – Carrier Sense Multiple Access Collision Detection,
 - detekcia, či niekto nevysiela na spoločnom médiu,
 - na médium pristupuje súčasne viacero zariadení,
 - detekcia kolízií, kedy viacero vysielačov vysiela v jednom okamihu,
- odvodená od ALOHA (prvá metóda náhodného prístupu),
- pracuje na 2. vrstve OSI modelu, konkrétne na MAC podvrstve.

CSMA/CD

33

- Nenaliehajúca metóda CSMA/CD (non-persistent CSMA/CD).
 - Stanica, pred odoslaním paketu testuje stav kanálu, ak je kanál voľný, stanica začne vysielat'.
 - Ak je kanál obsadený, stanica počká na náhodne zvolený časový okamih a znovu testuje stav kanálu. Postup opakuje do odoslania paketu.
 - Voľba náhodného časového okamihu je obvykle riešená ako voľba náhodného násobku taktu.

CSMA/CD

34

- Naliehajúca metóda CSMA/CD.
 - Stanica, pred odoslaním paketu testuje stav kanálu, ak je kanál obsadený, stanica odloží vysielanie na okamih jeho uvoľnenia.
 - Nevýhodou tejto jednoduchej metódy, je riziko kolízie staníc, ktoré čakajú na uvoľnenie kanálu.
 - Toto pomerne vysoké riziko sa prejaví nižšou priechodnosťou kanálu (cca 53%).

CSMA

35

- Metódy CSMA nie sú schopné zabrániť kolízii dovtedy, kým je časový interval medzi začatím vysielania dvoch staníc menší než určitá medza, daná konečnou rýchlosťou signálu v kanále, vzdialenosťou staníc a rýchlosťou reakcie detekčných obvodov.
- Dôsledkom nenulovej pravdepodobnosti kolízie a veľkej dĺžky paketu je zníženie priechodnosti kanálu.
- Aby sme zaistili, že kolíziu rozpoznajú všetky stanice, ktoré spôsobili kolíziu, vyšle stanica po detekcii kolízie tzv. kolíznu postupnosť (jam). Detekcia kolízie zvyšuje využitie kanála vo všetkých metódach CSMA.

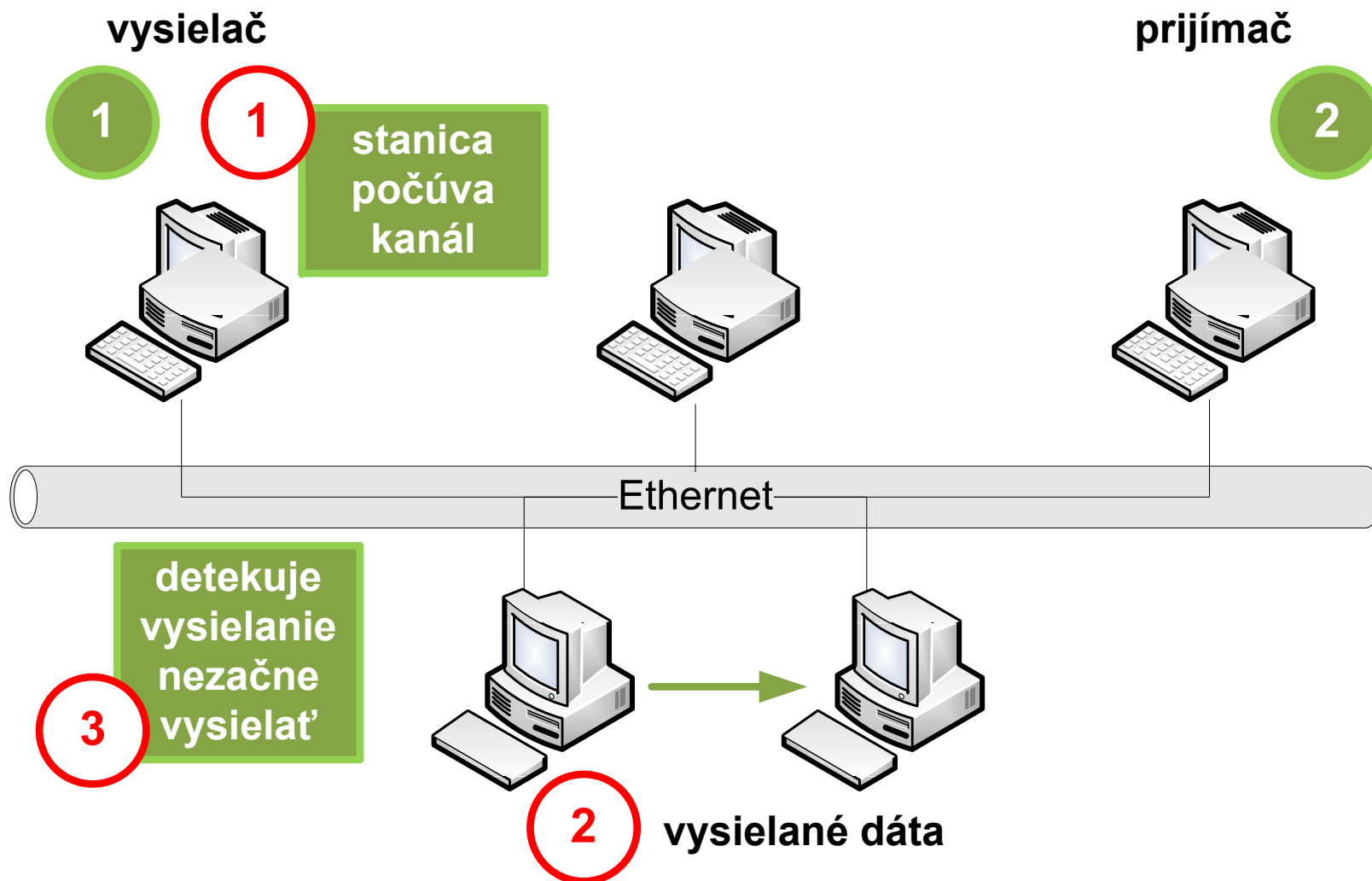
CSMA

36

- CSMA/CA – (Carrier Sense Multiple Access With Collision Avoidance)
 - ▣ vysielateľ musí najprv informovať ostatné uzly o úmysle vysielateľ, až následne môže vysielateľ,
 - ▣ predchádza kolíziám, často sa využíva v bezdrôtových sieťach, kde nie je možné súčasne vysielateľ aj prijímať.
- CSMA/CD – (Carrier Sense Multiple Access With Collision Detection)
 - ▣ detekcia výskytu kolízie,
 - ▣ nie je možné využiť v bezdrôtových sieťach.
- CSMA/CR - Carrier Sense Multiple Access with Collision Resolution
 - ▣ každý uzol má priradenú prioritu, pri výskyte kolízie sa na jej základe určí, ktorý uzol bude vysielateľ.

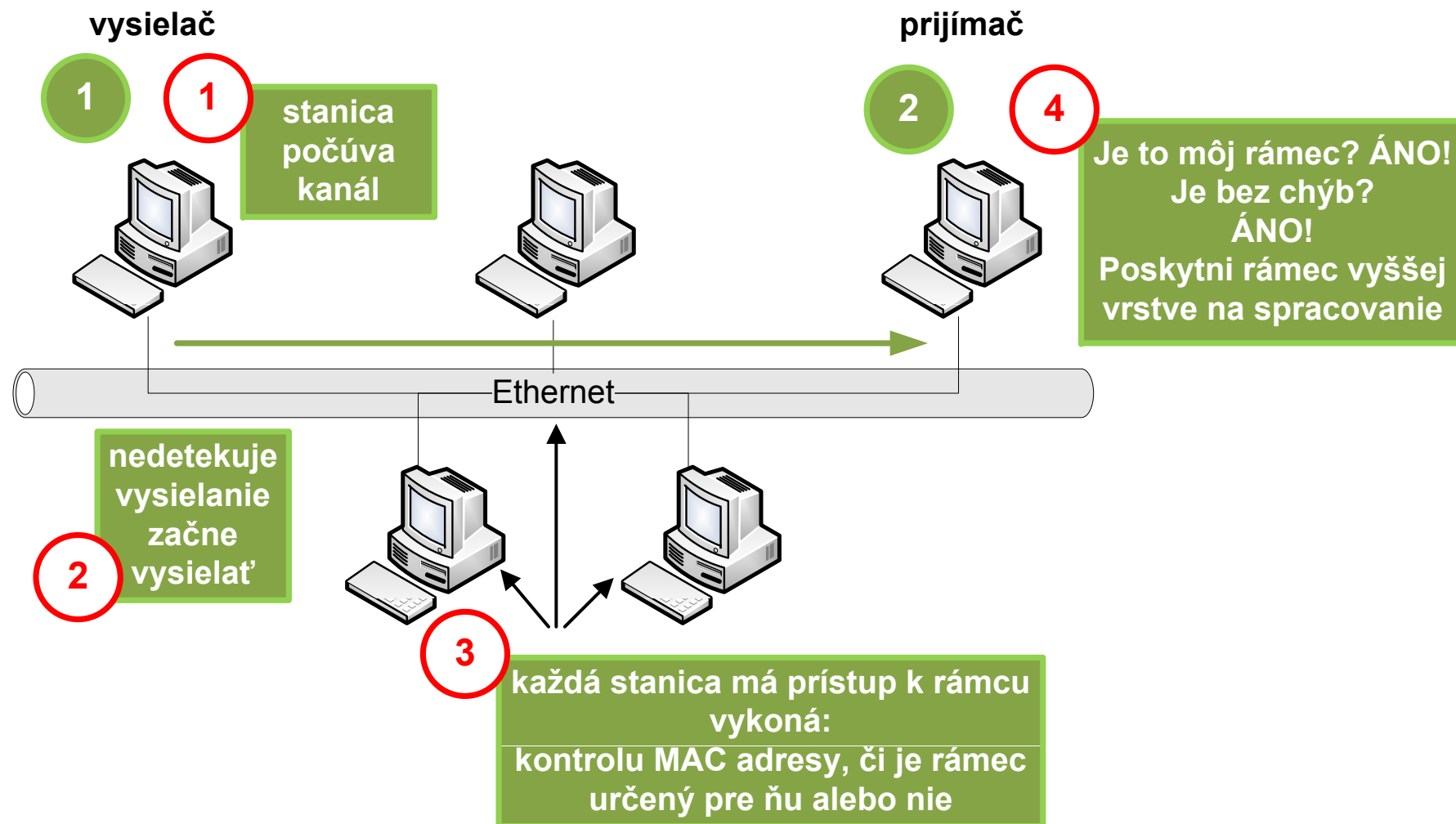
CSMA/CD

37



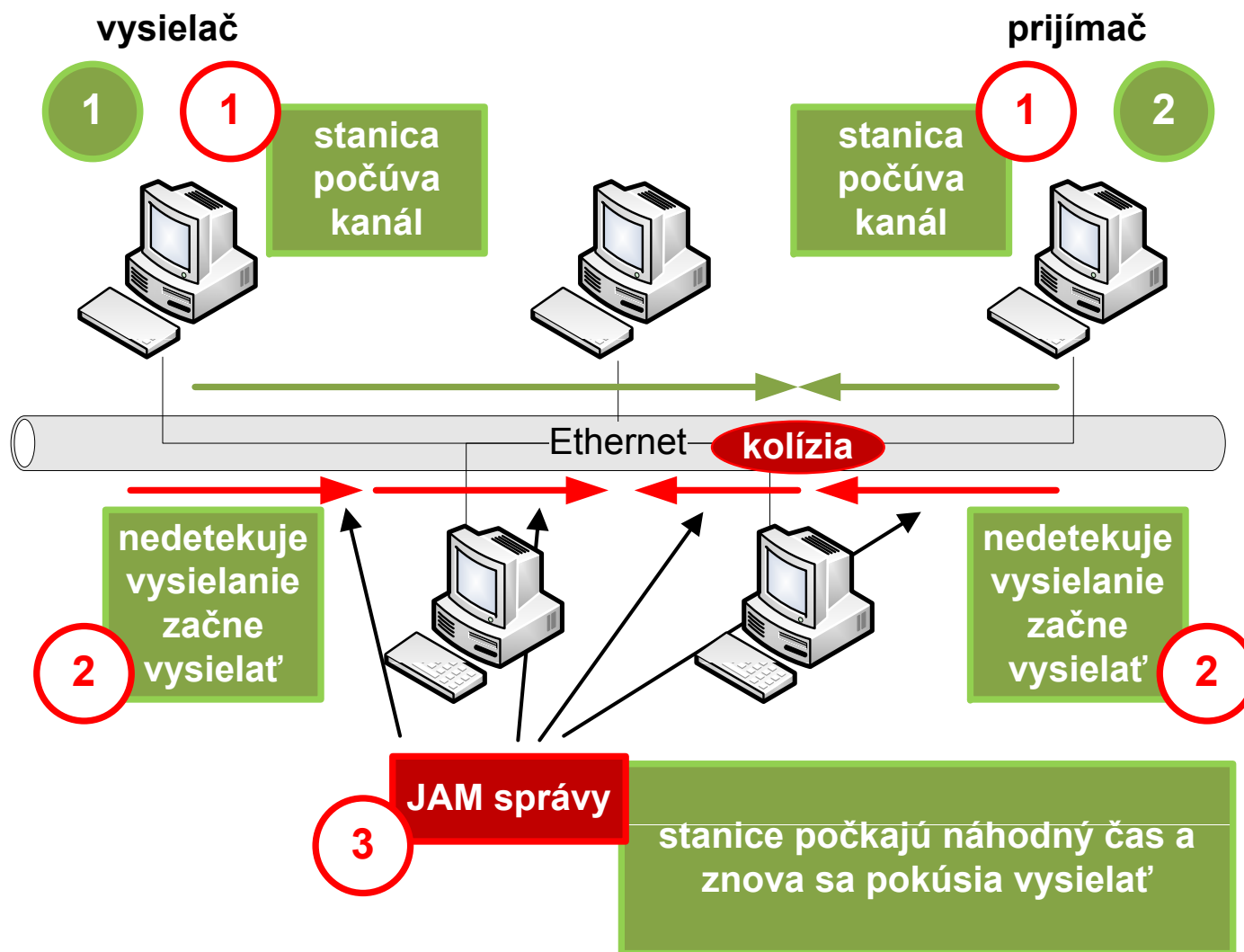
CSMA/CD

38



CSMA/CD

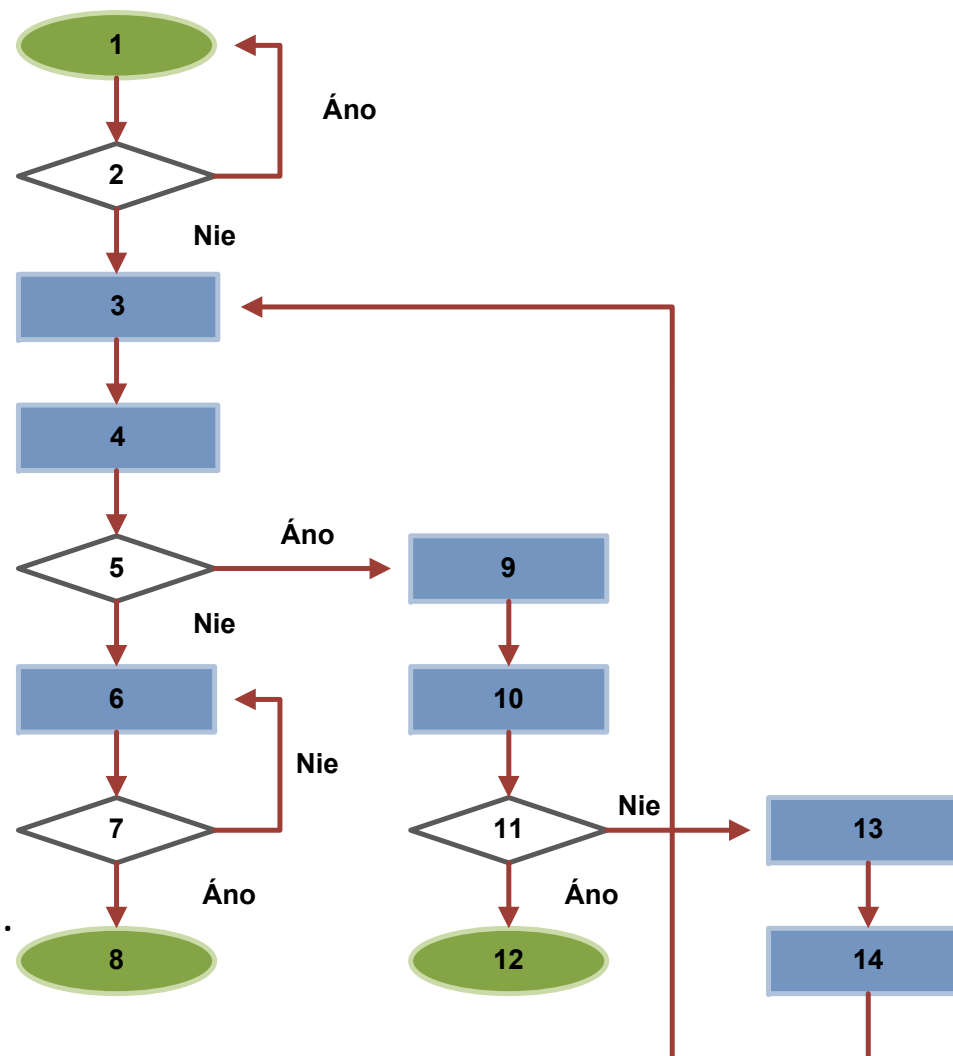
39



CSMA/CD

40

1. Vysielač chce vyselať.
2. Je médium obsadené?
3. Vytvor rámeček.
4. Odošli rámeček.
5. Nastala kolízia?
6. Pokračuj v prenose.
7. Skončil prenos?
8. Prenos ukončený.
9. Vyšli signál JAM
10. Pokus=pokus+1
11. Bolo príliš veľa pokusov? (max 16)
12. Príliš veľa kolízií, koniec prenosu.
13. Vypočítaj náhodný čas ďalšieho prenosu.
14. Počkaj stanovený počet milisekúnd.



Protokoly linkovej vrstvy

41

- HDLC – High-Level Data Link Control
- PPP – Point-to-Point Protocol
- Ethernet IEEE 802.x

HDLC

42

High-Level Data Link Control

- ISO 3309 and ISO 4335,
- detekcia chýb a riadenie toku dát,
- veľmi rozsiahla špecifikácia, mnoho výrobcov implementuje len určitú množinu, problém s kompatibilitou,
- vznikol z protokolu SDLC, pôvodne pre synchrónne prenosy, neskôr bol doplnený aj o možnosť asynchrónneho prenosu.

HDLC

43

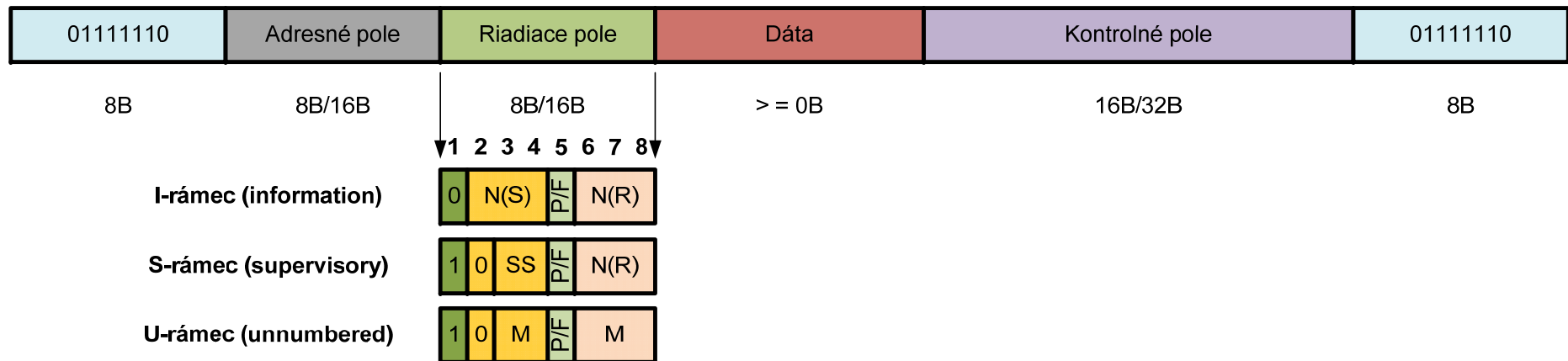
rozlišuje 3 módy prenosu:

- ABM (Asynchronous balanced mode)
 - ▣ prepojenie dvoch staníc plne duplexným spojením,
 - ▣ stanice môžu súčasne vysielat' bez vzájomného rušenia.
- NRM (Normal response mode)
 - ▣ prepojenie viacerých staníc halfduplexným spojením,
 - ▣ jedna stanica je riadiaca, ostatné sú podriadené. Riadiaca stanica môže vysielat' kedy chce, zodpovedá za inicializáciu linky, riadenie prenosu a obnovu chýb.
 - ▣ podriadené stanice môžu vysielat' len keď majú povolenie od riadiacej stanice, povolenie sa nastavuje P/F bitom.
- ARM (Asynchronous response mode)
 - ▣ dnes veľmi málo používaný mód,
 - ▣ podobný ako NRM, ale podriadená stanica nemusí pri vysielaní čakať na povolenie od riadiacej stanice.

HDLC

44

□ Formát HDLC rámca



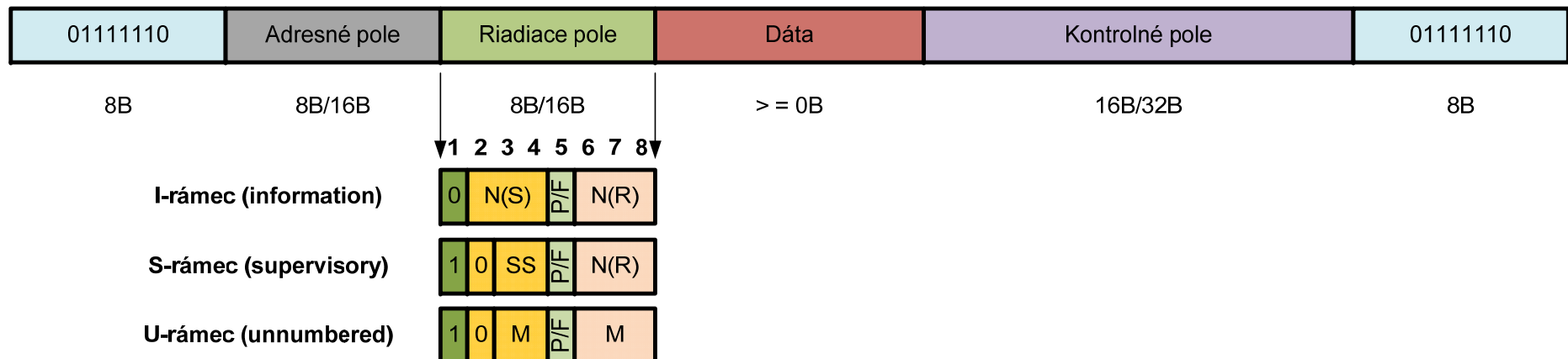
□ Flag – Návestie 01111110

- ▣ ohraničuje rámec
- ▣ využíva sa bit-stuffing

HDLC

45

- Address – v prípade viacerých terminálov identifikuje konkrétny terminál
- Control – riadiace pole – poradové čísla, potvrdenia ...
- Data – informácie zo sieťovej vrstvy
- Checksum – CRC súčet dát



HDLC

46

- riadiace pole – 3 formáty rámcov
 - I-rámec (Information)
 - informačný potvrdzovací rámec
 - S-rámec (Supervisory)
 - rámec na riadenia a dohľad
 - RR - receive ready, RNR - receive not ready, REJ - reject ...
 - U-rámec (Unnumbered)
 - nepotvrdzovaný rámec, zostavenie a zrušenie spojenia
 - SNRM – set normal response mode, SABM – set asynchronous balanced mode

HDLC

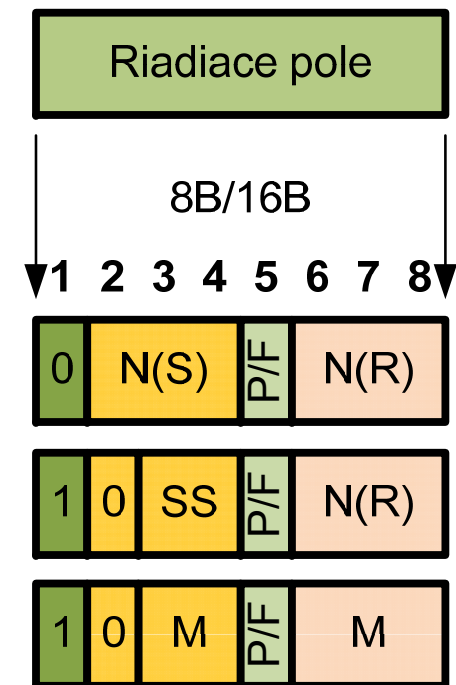
47

- riadiace pole 3 formáty rámcov
 - I-rámec (Information)
 - S-rámec (Supervisory)
 - U-rámec (Unnumbered)
- N(S) – poradové číslo
- N(R) – potvrdenie
- P/F – Poll/Final

I-rámec (information)

S-rámec (supervisory)

U-rámec (unnumbered)



PPP

48

- ❑ RFC 1661,
- ❑ využitie v sériových linkách a modemových spojeniach,
- ❑ umožňuje spojenie cez synchrónne aj asynchrónne linky,
- ❑ vyžaduje duplexné dvojbodové spojenie,
- ❑ podporuje dynamické nastavenie klienta,
- ❑ zabezpečenie pomocou overenia hesla,
- ❑ testovanie kvality linky a kompresia prenášaných údajov,
- ❑ využíva U-rámce protokolu HDLC, nie je schopný číslovať rámce,
- ❑ nevyužíva všetky možnosti HDLC protokolu.

PPP

49

- poskytuje
 - metódy rámcovania
 - LCP (Link control protocol)
 - inicializácia liniek, testovanie a dohoda komunikačných parametrov, zrušenie spojenia
 - NCP (Network control protocol)
 - dohoda parametrov sieťovej vrstvy nezávisle od použitého protokolu sieťovej vrstvy
- hlavným cieľom je umožniť súčasne prenášať po jednej linke viacero sieťových protokolov

PPP

50

- štandardné HDLC návestia
- používa sa byte stuffing (nie bit stuffing)
- Flag – návestia 01111110
- Address – adresné pole vždy 11111111
- control – riadiace pole, nečíslovaný rámec
- protocol – aký protokol sieťovej vrstvy je prenášaný
- data – dáta protokolu sieťovej vrstvy
- checksum – kontrolný súčet



pôvodné dáta



dáta prenášané linkou



dáta v prijímači po
destuffingu



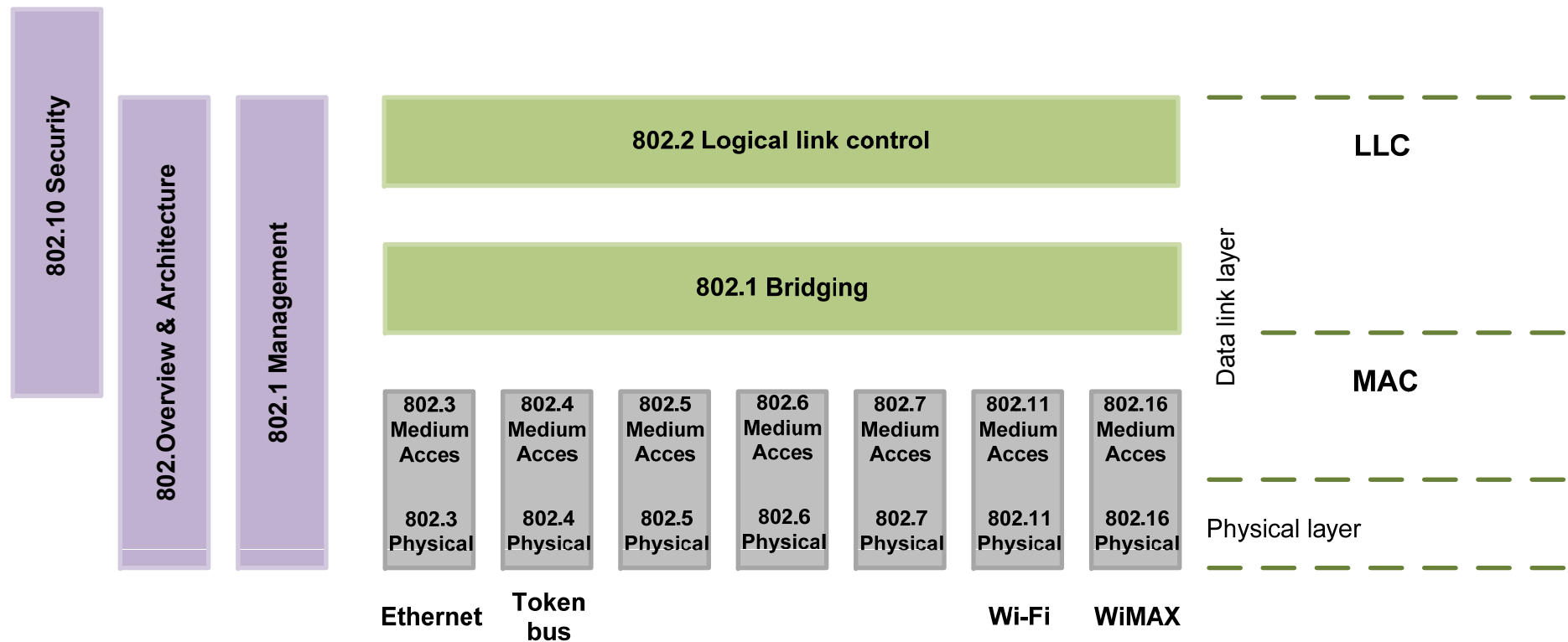
Ethernet

51

- pracuje na prvej vrstve OSI a na nižšej polovici druhej vrstvy (podsieť MAC)
 - ▣ prenos údajov medzi dvoma ethernetovými koncovými bodmi,
 - ▣ problém, ktorý vznikne v časti kolíznej domény ovplyvňuje celú doménu,
 - ▣ 1. vrstva – prenos signálov cez prenosové médium, komponenty, ktoré zabezpečujú presun bitov do kábla a rôzne technológie,
 - ▣ 2. vrstva - rieši obmedzenia prenosu (funkcií) 1.vrstvy,
- základné prvky
 - ▣ rámec,
 - ▣ riadiaci protokol prístupu k médiu,
 - ▣ signálne komponenty,
 - ▣ fyzické prenosové médium.

Ethernet

52

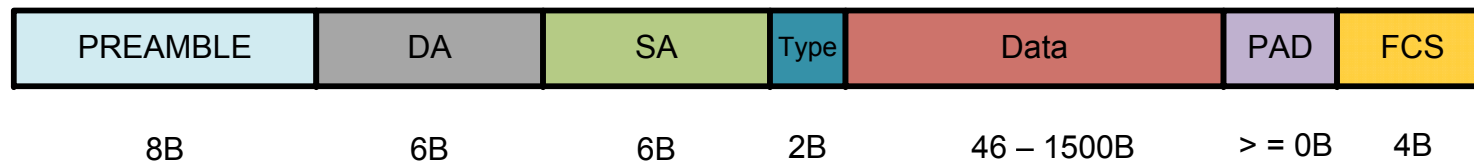


Ethernet

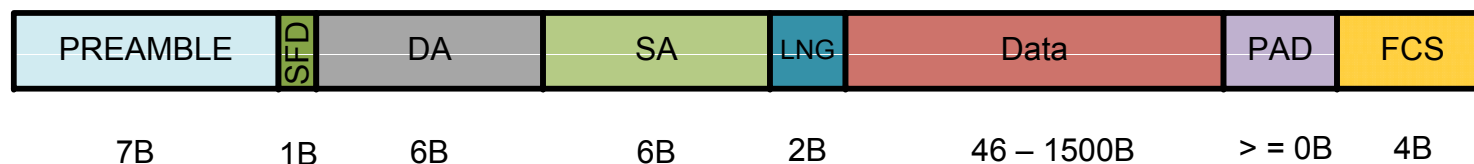
53

- Rámec
 - ▣ max. 1518 B IEEE 802.3 (Ethernet)
 - ▣ max.1522 B IEEE 802.3ac (Ethernet – VLAN)
 - ▣ min. 64B kvôli kolíziám
- preamble 7B - pomáha synchronizácii, 10101010....
- start frame delimiter 1B - začiatok rámca 10101011
- rámec
 - ▣ Destination address 6B – MAC adresa príjemcu
 - ▣ Source address 6B – MAC adresa odosielateľa
 - ▣ Type 2B – typ (DIX)
 - ▣ Length 2B – dĺžka (802.3)
 - ▣ DATA/LLC – dáta LLC alebo sieťovej vrstvy
 - ▣ Pad – výplň, aby bola dosiahnutá minimálna dĺžka dátového pola 46B
 - ▣ Frame check sequence 4B – CRC kontrolný súčet

DIX Ethernet (Ethernet II)



IEEE 802.3



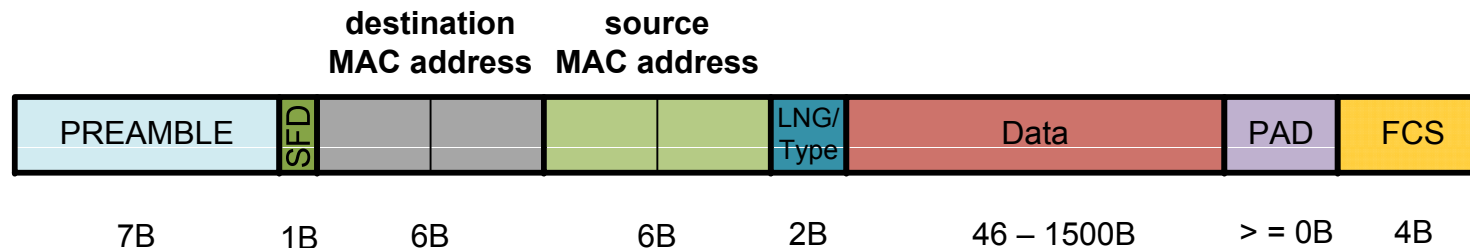
Ethernet

54

□ Adresácia

▣ MAC adresa – medium access control

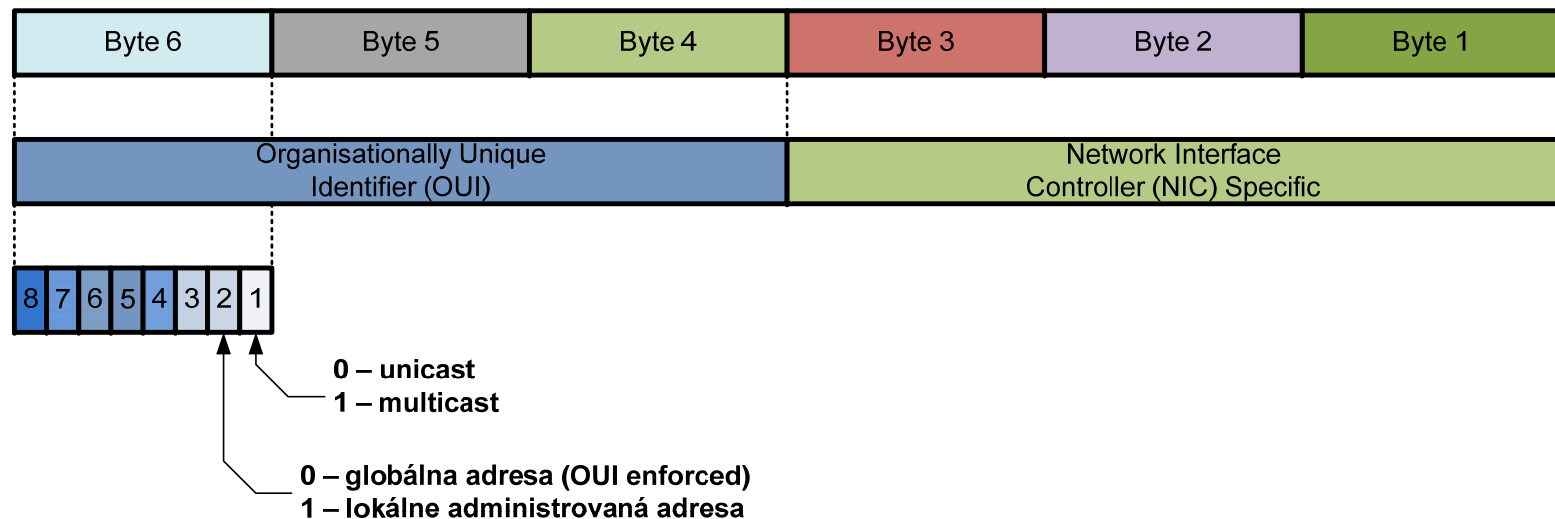
- IEEE riadi pridelenie adries,
- 3B OUI Organizationally Unique Identifier
 - jednoznačne pridelené konkrétnemu výrobcovi
 - CISCO 00:00:0C, SMC 00:00:C0, 3COM 00:60:97
- zvyšné 3B prideluje výrobca,
- musí zabezpečiť jedinečnosť adresy pre každé sieťové rozhranie,
- toto platí pre tzv. globálne adresy, ktoré sú celosvetovo jednoznačné.



Ethernet

55

- globálna adresa je uložená v permanentnej pamäti sieťovej karty,
- pri inicializácii je možné karte nastaviť, aby používala inú adresu,
- v rámci firmy je teda možné, používať vlastný systém linkových adries (DECnet),
- existujú špeciálne adresy,
 - všeobecný obežník určený pre všetky stanice,
 - adresa je FF:FF:FF:FF:FF:FF
 - adresný obežník,
 - určený len niektorým staniciam (tie, ktoré akceptujú danú adresu)
 - má nastavený najnižší bit prvého bajtu na jednotku
- nulový a prvý bit prvého bajtu linkovej adresy majú špeciálny význam.



Ethernet

56

- IEEE 802.2 LLC
 - protokoly 802.3, 802.4, 802.5 – best effort, datagramová prevádzka,
 - pre siete 802.x tvorí jednotné rozhranie k sieťovej vrstve, jednotný formát,
 - založený na HDLC,
 - poskytuje 3 typy služieb:
 - nespoľahlivá datagramová služba
 - bez riadenia chybovosti a toku dát,
 - potvrdzovaná datagramová služba
 - potvrdenia bez zostavenia spojenia,
 - spoľahlivá spojovo orientovaná služba
 - zostavenie spojenia, prioritizácia, riadenie chybovosti a toku dát.

KOMUNIKAČNÉ A INFORMAČNÉ SIETE

LINKOVÁ VRSTVA

Ing. Michal Halás, PhD.

halas@kti.elf.stuba.sk, B-514 , <http://www.kti.elf.stuba.sk/~halas>