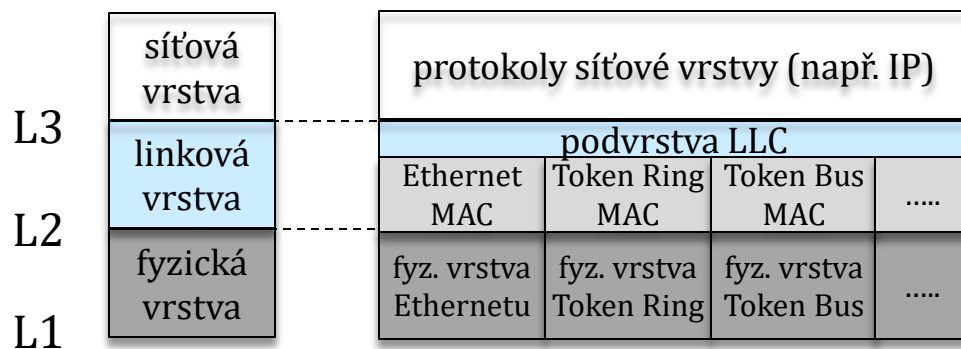


# Lekce 3: Ethernet

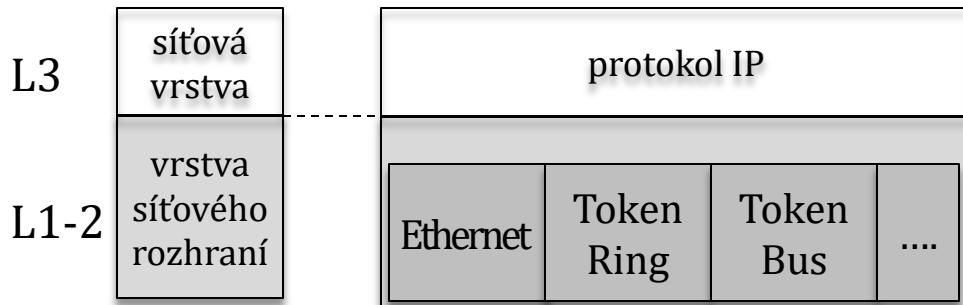
*Jiří Peterka*

# co je Ethernet?

- je přenosovou technologií na úrovni linkové a fyzické vrstvy
  - v RM ISO/OSI pokrývá fyzickou a linkovou vrstvu (jen její podvrstvu MAC)



- v TCP/IP spadá do vrstvy síťového rozhraní



## • přenáší:

– linkové rámce (podvrstvy MAC)

### • proto musí řešit:

– formáty rámců

- ethernetových rámců

– adresování

- pomocí ethernetových adres

– jednotlivé bity (na fyzické vrstvě)

### • proto musí řešit:

– přenosová média

- koaxiální kabel, kroucená dvoulinka, optika

– kódování jednotlivých bitů

- kódování Manchester, .....

# proč je Ethernet tak úspěšný?

- je přímočarý a jednoduchý

- v přímém souboji (cca 1980-1990) porazil jiné technologie

- začínal ve stejné době, jako například Token Ring a Token Bus

- prosadil se díky:

- rozumnějšímu přístupu svých tvůrců

- jeho specifikace se staly (otevřeným) standardem (od  IEEE )

- i když zpočátku byl Ethernet „pod licenci“ a chráněn copyrightem

- větší jednoduchosti své přístupové metody (CSMA/CD)

- je neřízená (nedeterministická)

- nemusí ošetřovat řadu (málo častých) nestandardních situací
- celkově se to ukazuje jako výrazná výhoda

- je distribuovaná

- nepotřebuje (nemá) žádný centrální prvek
- nemá „central point of failure“



- intenzivnímu dalšímu vývoji

- vyvíjel se směrem:

- k vyšším rychlostem
  - 10 Mbit/s, 100 Mbit/s
  - 1 Gbit/s, 10 Gbit/s, 100 Gbit/s
- k možnosti používat další přenosová média
  - koaxiální kabel, kroucená dvoulinka, optická vlákna, rádiový přenos
- k dalším schopnostem
  - řízení toku, plný duplex, přepínaný Ethernet, Power over Ethernet, .....

- 
- lepšímu marketingu

- úspěchu „klíčového slova“ Ethernet

- nízké ceně (i díky jednoduchosti)

# historie vzniku Ethernetu (cca 1973)

- **zrodil se ve středisku PARC (Palo Alto Research Center) firmy Xerox**

- kde mj. vznikly:

- laserové tiskárny (1969)
- optická myš (1981)
- rozhraní GUI
- princip WYSIWYG
- pracovní stanice (Alto)



- měly první WYSIWYG editor (BRAVO), první myš, GUI a rastrový displej
- pracovaly s rychlostí 2,94 Mbps
  - odvozeno od rychlosti systémových hodin

snaha vytvořit síť LAN

- **co bylo úkolem?**

- propojit mezi sebou větší počet stanic Alto, umístěných v jednom objektu
  - bez nutnosti „rekonfigurovat“ síť a měnit její topologii při přidávání dalších stanic
    - to bylo novinkou: dříve nikdo neměl (v jednom objektu) více pracovních stanic !!!
- propojit pracovní stanice Alto s rychlými laserovými tiskárnami
  - které Xerox ve středisku PARC také vyvíjel
    - laserové tiskárny byly pro Xerox zdrojem velkých příjmů
      - které dokázaly financovat řadu dalších projektů (včetně budoucího Ethernetu)

pro jejich sdílení

# základní principy Ethernetu (cca 1973)

- bude to přenosová technologie na principu přepojování paketů

- inspirováno protokoly TCP/IP

- které vznikaly prakticky souběžně – ve stejné době

- bude fungovat nespojovaně a nespolehlivě

- aby to bylo co nejjednodušší (vliv TCP/IP)

- bude fungovat stylem best effort

- nerozlišuje se druh přenášených dat, všem je měřeno stejně, žádná podpora QoS



David Boggs



Bob Metcalfe

- bude se využívat všesměrového šíření signálu

- inspirováno sítí ALOHAnet (na které se Robert Metcalfe podílel)

- bude využito takové přenosové médium, které umožňuje všesměrové šíření

- koaxiální kabel, který dokáže propojit více uzlů současně

- přes odbočky na kabelu

- řešení bude distribuované

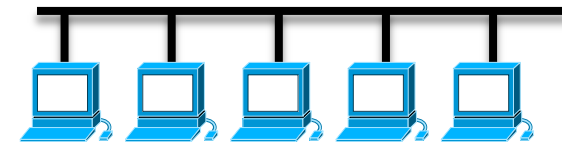
- bez centrálního prvku (řídícího prvku, centrální autority apod.)

- budou se detekovat kolize

- na rozdíl od ALOHAnet-u, díky možnostem drátového přenosového média

- a následně „nějak“ řešit – s využitím prvku náhody

- tj. nedeterministicky



# proč „ETHER“net?

- 19. století, zjištění (J. C. Maxwell): elektromagnetické záření se šíří ve formě vln
  - i tam, kde „nic není“ (ve vakuu) !!!
- fyzikové vyslovili domněnku:
  - i ve vakuu musí existovat „všeprostupující éter“
    - jako pasivní prostředí, kterým se tyto vlny šíří
- tuto domněnku si posléze zase vyvrátili
  - 1887, Michelson-Morleyův pokus:
    - dokázal, že éter nemůže existovat



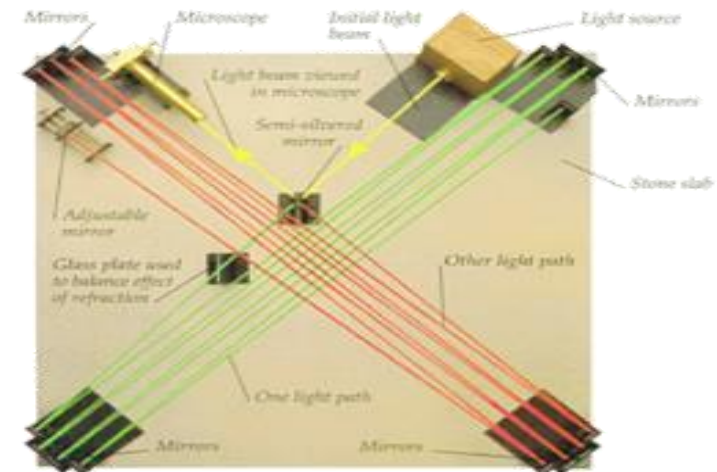
James Clerk Maxwell (1831-1879)



A.A. Michelson  
1852 - 1931

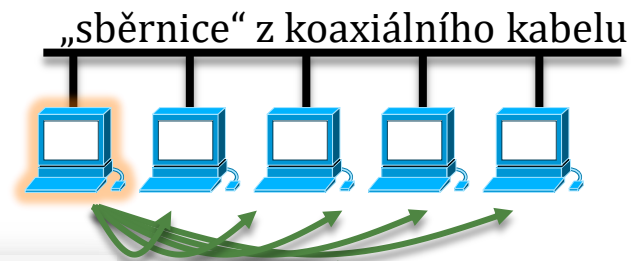


E.W. Morley  
1838 - 1923

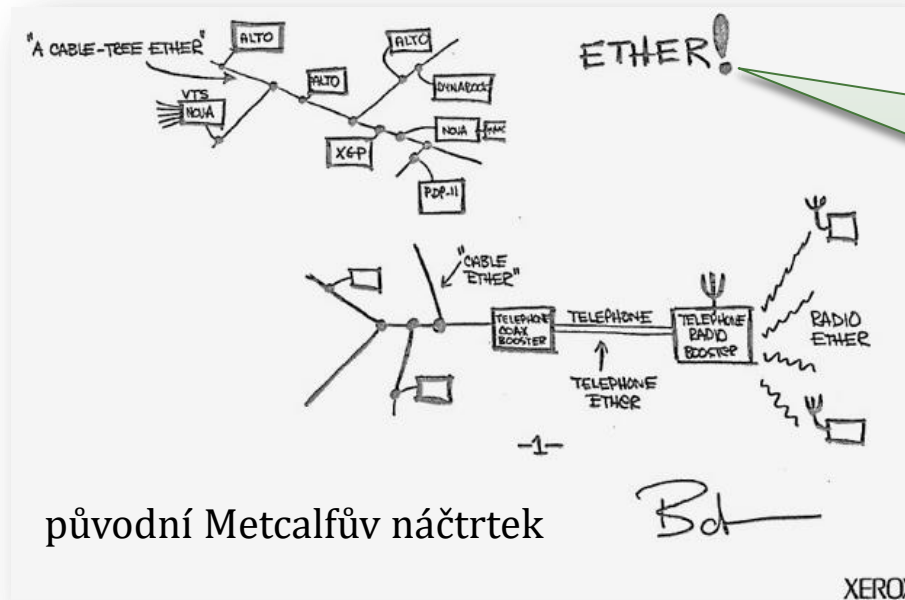


# proč „ETHER“net?

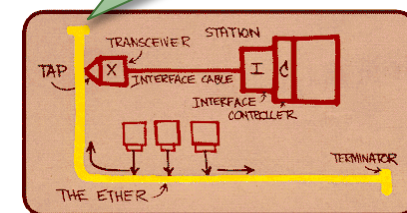
- 22.5.1973 napsal Robert Metcalfe memo pro své nadřízené
  - v něm poprvé popsal možnosti technologie, kterou jeho tým začal vyvíjet
- přitom si vzpomněl na „éter“ (mezitím vyvrácenou hypotézu fyziků)
  - kvůli paralele s všesměrovým šířením v Ethernetu
- poprvé použil jméno Ethernet
  - memo se jmenovalo „Alto Ethernet“



Bob Metcalfe



„když jeden uzel vysílá, všechny ostatní slyší jeho vysílání,“



- jakoby: namodeloval éter pomocí (koaxiálního) kabelu

# další vývoj Ethernetu

## • 1975:

### – firma XEROX si podává patent:

- „Multipoint data communication system with collision detection“

– autoři: Metcalfe, Thacker, Boggs, Lampson

- podán 31. března 1975, přijat 13.12.1977 jako US Patent #4,063,220

## • 1976:

### – přidán příposlech nosné (CS, Carrier Sense)

### – ve středisku PARC zprovozněna první síť Ethernet

- 1 km koaxiálního kabelu, propojuje přes 100 pracovních stanic
- pracuje s přenosovou rychlostí 2,94 Mbit/s

– odvozeno od rychlosti hodin stanic Alto

### – publikován článek:

- Metcalfe, Boggs: „Ethernet: Distributed Packet-Switching for Local Computer Networks“

– Communications of the ACM, Volume 19 Issue 7, July 1976

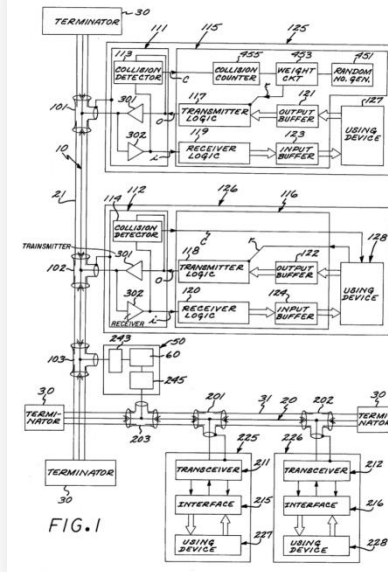
## • červen 1979:

### – Robert Metcalfe odchází do firmy 3COM

- založené za účelem dalšího rozvoje a komerčního využití Ethernetu

0. verze  
Ethernetu

U.S. Patent Dec. 13, 1977 Sheet 1 of 6 4,063,220



**1. Background**

One can characterize distributed computing as a spectrum of activities varying in their degree of decentralization, with one extreme being remote computer networking and the other extreme being multiprocessing. Remote computer networking is the least interconnection of previously isolated, widely separated, and rather large computing systems. Multiprocessing is the communication of previously monolithic and serial computing systems from increasingly numerous and smaller pieces computing in parallel. Near the middle of this spectrum is local networking, the interconnection of computers to gain the resource sharing of computer networking and the parallelism of multiprocessing.

The separation between computers and the associated bit rate of their communication can be used to divide the distributed computing spectrum into three activities. The product of separation and bit rate, now about 1 giga-meter per second (1 Gbps), is an indication of the limits of current communication technology and can be expected to increase with time.

**Ethernet: Distributed Packet Switching for Local Computer Networks**

Robert M. Metcalfe and David R. Boggs  
Xerox Palo Alto Research Center

**1.1 Remote Computer Networking**

Computer networking evolved from telecommunication-oriented computer communication, where the object was to connect remote terminals to a central computing facility. As the need for computer-computer interconnection grew, computers themselves were used to provide communication [1, 4, 2]. Communication using computers as packet switches [15-21, 26] and communication among computers for resource sharing [8, 32] were both advanced by the development of the Arpa Computer Network.

The Arpa Network at the University of Hawaii was originally developed to apply packet radio techniques for terminals scattered among the Hawaiian Islands [1, 2]. Many of the terminals are now minicomputer communicating among themselves using the Aloha Network's Message as a packet switch. The Message and an ArpaNet loop are now connected, providing terminals on the Aloha Network access to computing resources on the U.S. mainland.

As an computer network has grown across continents and oceans to interconnect major computing facilities around the world, they are now growing down corridors and between buildings to interconnect minicomputers in offices and laboratories [1, 12, 13, 14, 35].

**1.2 Multiprocessing**

Multiprocessing first took the form of connecting an I/O controller to a large central computer, then Arpa to a

**Copyright © 1976, Association for Computing Machinery, Inc. General permission is granted to reproduce this journal article for noncommercial use, provided that ACM copyright notice and this notice are displayed on the page. It is not to be republished, stored, or transmitted in any form or by any means, without the prior written permission of the Association for Computing Machinery.**

Author's present addresses: R.M. Metcalfe, Network Technology, Inc., 6800 Wilshire Boulevard, Los Angeles, CA 90048; D. Boggs, Xerox Palo Alto Research Center, 3333 Coyote Hill Road, Palo Alto, CA 94304.

789  
July 1976  
Volume 19  
Number 7  
of the ACM



# DIX (Digital, Intel, Xerox)

- **1979: k vývoji Ethernetu se (vedle XEROX-u) přidávají další 2 subjekty**
  - společnosti **DEC** (Digital Equipment Corporation) a **Intel**
  - vzniká trio, označované jako **DIX** (Digital, Intel, Xerox)
  - je založena společnost 3Com, získává venture kapitál ve výši 1,1 mil. USD
- **1980: DIX společně vytváří novou verzi Ethernetu: tzv. **DIX Ethernet****
  - již s přenosovou rychlostí 10 Mbit/s
- **původní představa:**
  - DIX si Ethernet „nechají pro sebe“ a udělají z něj (proprietární) komerční produkt
    - DEC bude vyrábět HW, Intel dodá čipy, Xerox poskytne svůj patent .....
  - problém: byl by to monopol, porušovalo by to antimonopolní zákony USA !!!
- **nová představa:**
  - specifikace Ethernetu se „otevrou“ (přijmou jako otevřený standard), podle nich bude moci vyrábět Ethernet kdokoli

rozhodující moment v historii Ethernetu, významně  
přispěl k jeho fenomenálnímu úspěchu

- srovnání:
  - firma IBM se v podobné situaci (se svou technologií Token Ring) zachovala přesně opačně
  - svůj Token Ring neotevřela, ale dále chránila licencemi a patenty – až prohrála .....

# IEEE a Ethernet

- **DIX si pro standardizaci Ethernetu vybral organizaci IEEE**



- **Institute of Electrical and Electronics Engineers**

- mezinárodní neziskovou profesní organizaci (z oblasti elektrotechniky a informatiky)

- se sídlem v USA

- jednou ze součástí IEEE je IEEE-SA (IEEE Standards Association), zabývající se standardizací



- jde o standardizační orgán de facto (nikoli de jure)

- tj. nemá žádný formální mandát a jeho standardy nejsou formálně závazné

- jeho standardy jsou dodržovány dobrovolně, protože je to považováno za vhodné a potřebné

- **IEEE-SA má řadu projektů v oblasti standardizace, například:**

- IEEE 610: terminologický slovník Software Engineering

- IEEE 754: aritmetika v plovoucí řádové čárce

- IEEE 802: standardy sítí LAN a MAN

- IEEE 1003: Unix compatibility programming standard - POSIX

- IEEE 1284: paralelní rozhraní (dříve Centronics)

- IEEE 1394: rozhraní FireWire

- .....

založen v únoru  
roku 1980

prý: číslo 802 bylo další  
volné pořadové číslo

# projekt IEEE 802

- v rámci projektu č. 802 (IEEE 802) existuje řada různých pracovních skupin (Working Groups), které se zabývají:

- konkrétními technologiemi

- **802.3: Ethernet**

- 802.4: Token Bus
- 802.5: Token Ring (MAC vrstva)
- 802.11: WLAN
- 802.12: 100VG-AnyLAN
- 802.13: nevyužito
- 802.15: Wireless PAN
  - 802.15.1 Bluetooth
  - 802.15.2 koexistence 802.15 a 802.11
  - 802.15.3 rychlé sítě WPAN (HR WPAN)
  - 802.15.4 úsporné sítě WPAN (LR-WPAN)
  - .....
- 802.16: Broadband Wireless (WiMax)
- 802.20: Mobile Broadband Wireless
- 802.22: Wireless Regional Area Network
- .....

původně nemohla mít v názvu „Ethernet“

tato pracovní skupina se dodnes zabývá všemi aspekty Ethernetu, její standardy jsou označovány jako „802.3.....“

- dalšími aspekty fungování sítí LAN a MAN

- 802.1: Bridging, network management
- 802.2: LLC

pracovní skupina již není aktivní

pracovní skupina je stále aktivní

# standardizace Ethernetu

- **1980:**

- DIX (Digital, Intel a Xerox) vydává vlastní specifikace Ethernetu
  - Ethernet **Blue Book** (též: DIX Standard), popisuje 1. verzi Ethernetu
    - tzv. **DIX Ethernet**, s rychlostí 10 Mbit/s, s použitím „tlustého“ koaxiálního kabelu
- DIX předkládá své specifikace (Blue Book) ke standardizaci společnosti IEEE
  - IEEE akceptuje většinu specifikací, ale vůči některým detailům má výhrady a chce změnu

- **„větev“ DIX:**

- DIX (Digital, Intel a Xerox) některé výhrady akceptují a zapracovávají do nového návrhu
  - jde hlavně o formát linkových rámců
- 1982: vychází nové specifikace
  - dodnes označováno jako **Ethernet II**
    - specifikace Blue Book 2



další vývoj v této „větví“ již neprobíhal

- **„větev“ IEEE:**

- IEEE sama provedla určité změny ve specifikacích (Blue Book)
- 23.6.1983: vydala je jako vlastní standard (IEEE 802.3)

veškerý další vývoj Ethernetu se odehrává již jen v této „větví“

- vyšší rychlosti, další přenosová média, řízení toku, Carrier Ethernet, ....

# jméno Ethernet



- **původně:**

- firma Xerox si zaregistrovala jméno Ethernet jako svůj trademark (ochrannou známku)
  - muselo se psát jako ETHERNET !!!

- **později:**

- v průběhu standardizace u IEEE se Xerox svého trademarku vzdal
  - proto dnes není nutné psát ETHERNET (ale lze psát Ethernet)

- **důsledek:**

- první standardy Ethernetu od IEEE ještě nepoužívaly jméno Ethernet

- ale (volně) „*sítě na bázi přístupové metody CSMA/CD*“

- protože vznikaly v době, kdy otázka trademarku ještě nebyla vyřešena

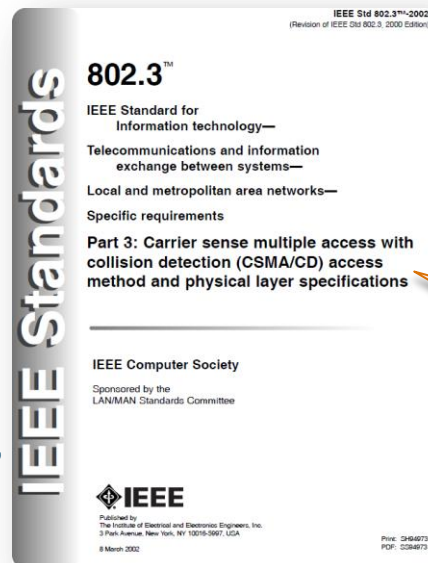
- **souvislost:**

- když se v roce 1995 vybíralo mezi 2 verzemi, kandidujícími na 100 Mbit/s Ethernet, byla vybrána ta, která ponechávala přístupovou metodu CSMA/CD

- protože: „*bez přístupové metody CSMA/CD by to už nebyl Ethernet*“

- verze, která odstranila metodu CSMA/CD, se nakonec stala standardem IEEE 802.12

- se jménem 100 VG Any-LAN

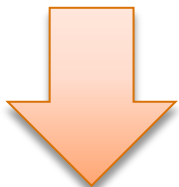


"IEEE 802.3 Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD) Access Method and Physical Layer Specifications."

# standardy Ethernetu

- „větev“ DIX (Digital, Intel, Xerox), standardy Blue Book

- 1973: 0. verze (2,94 Mbit/s)
- 1980: DIX Ethernet (10 Mbit/s)
- 1982: Ethernet II (DIX v2.0)
  - 10Base5, thicknet
  - 10Base2, thinnet, cheapernet



standard z „větve IEEE“ přebírá formáty rámců Ethernet II = faktický konec „dvou větví“



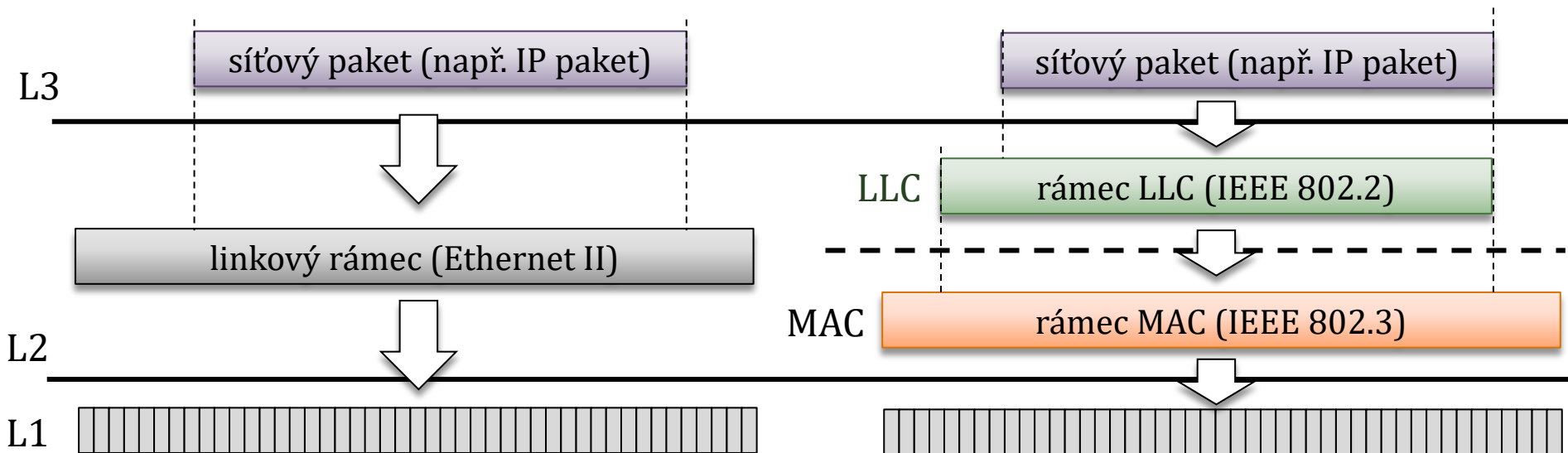
- „větev“ IEEE 802.3, standardy IEEE

- 1983: 802.3 10Base5
- 1985: 802.3a 10Base2
- 1985: 802.3b 10Broad36
- 1987: 802.3d FOIRL (optický opakovač)
- 1980: 802.3i 10BaseT (kroucená 2linka)
- 1980: 802.3j 10BaseF (optika)
- 1995: 802.3u 100 Mbit/s Ethernet
  - 100Base-TX, 100Base-FX, 100Base-T4
- 1997: 802.3x full duplex a řízení toku
- včetně eth. rámců z DIX standardů
- 1998: 802.3z 1 Gbit/s Ethernet
  - 1000Base-X (optika)
- .....



# linkové rámce Ethernetu

- hlavní rozdíl mezi „větví“ DIX a „větví“ IEEE 802.3 se týká linkových rámců
  - „větev“ DIX používala vlastní typ rámce, dnes označovaný jako **Ethernet II**
    - a síťové pakety (např. IP pakety) vkládá přímo do tohoto rámce
  - „větev“ IEEE 802.3 rozdělila linkovou vrstvu (L2) na 2 podvrstvy (MAC a LLC)
    - pro každou podvrstvu má samostatný typ rámce (**IEEE 802.3** a **IEEE 802.2**)
    - síťové pakety vkládá do rámce LLC
      - a ten vkládá do rámce MAC



- další rozdíly se týkají dalšího vývoje (DIX / Ethernet II se již dále nevyvíjel) , možnosti využití jiných přenosových médií, maximální velikosti nákladové části ....

# asynchronní Ethernet, preamble

- Ethernet je **asynchronní** (správně: **arytmický**)



- mezi jednotlivými rámci mohou být libovolně dlouhé prodlevy

- mají ale určitou minimální velikost (IFG: Interframe Gap): v délce min. **96 bitů !!**



- **důsledek:**

- synchronizace mezi příjemcem a odesilatelem se udržuje po (celou) dobu přenosu linkového rámce

- díky redundanci v kódování Manchester (2 změny signálu na 1 bit, z toho 1 změna je časování)

- mezi jednotlivými rámci (během IFG) se synchronizace může ztratit

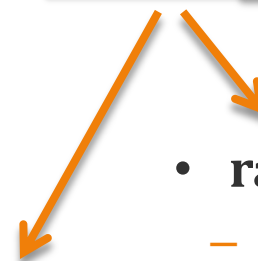
- ale na začátku rámce zase musí dojít k získání synchronizace

- k tomu slouží tzv. **preamble**

- posloupnost 64 bitů (8x8 bytů)

- vysílána před samotným linkovým rámcem

- obvodům příjemce umožňuje získat synchronizaci



- **rámce Ethernet:**

- preamble tvoří pravidelně se střídající 0 a 1:  
01010101.....01010101

- 8 bytů v hodnotě:  $55_{16}$   $55_{16}$   $55_{16}$   $55_{16}$   $55_{16}$   $55_{16}$   $55_{16}$   $55_{16}$

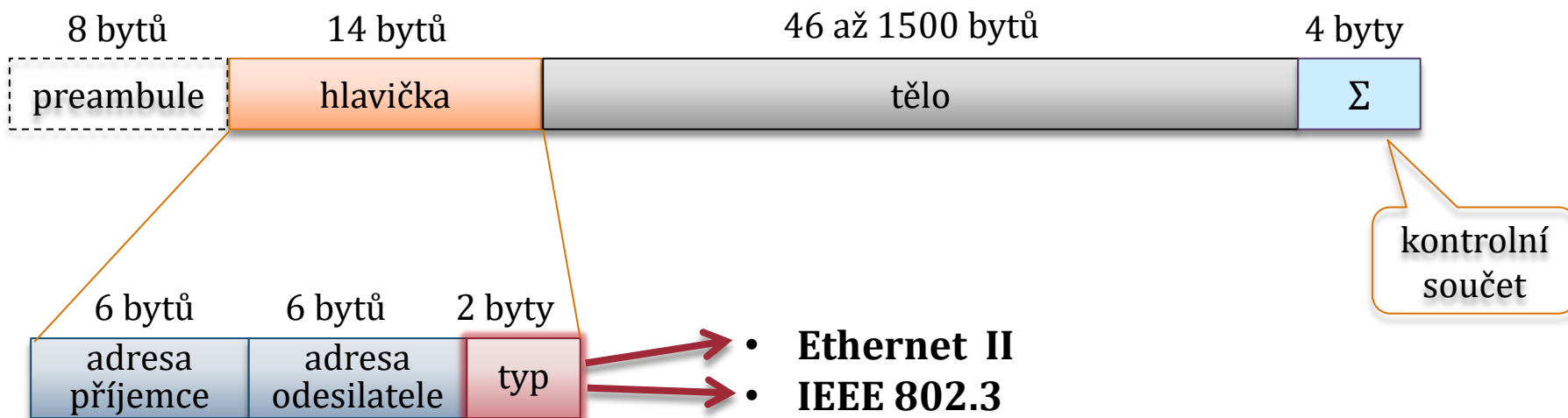
- **rámce IEEE 802.3:**

- střádání 0 a 1 je na konci preamble narušeno:  
010101.....01010111



# linkový rámec Ethernet II

- linkové rámce Ethernetu mají jednoduchý obecný formát



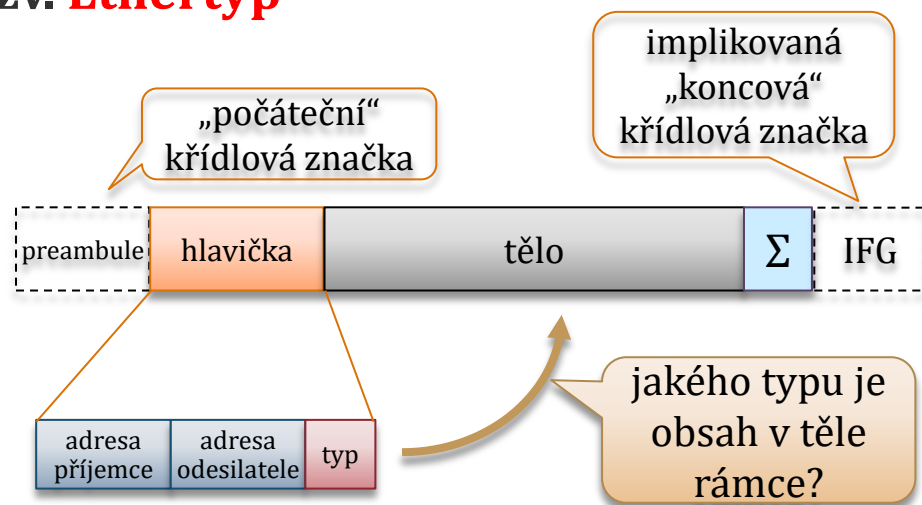
- různé druhy rámců se liší podle toho, jak obsazují položku **typ**
- rámec Ethernet II: v položce typ je tzv. **Ethertyp**

– neboli údaj o typu nákladu v těle rámce

– například:

- $0800_{16}$  = IPv4
- $86DD_{16}$  = IPv6
- $0806_{16}$  = ARP
- .....

vždy větší než  
**1500 ( $5DC_{16}$ )**



# příklad rámce Ethernet II

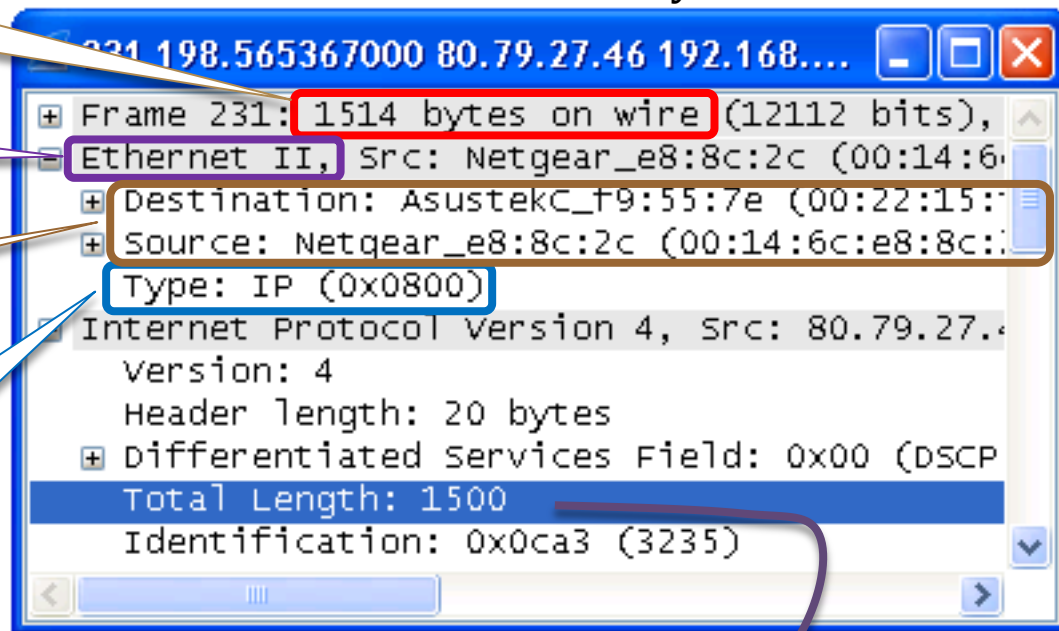
celková délka rámce  
(bez 4 bytů  $\Sigma$ )

druh linkového rámce:  
Ethernet II

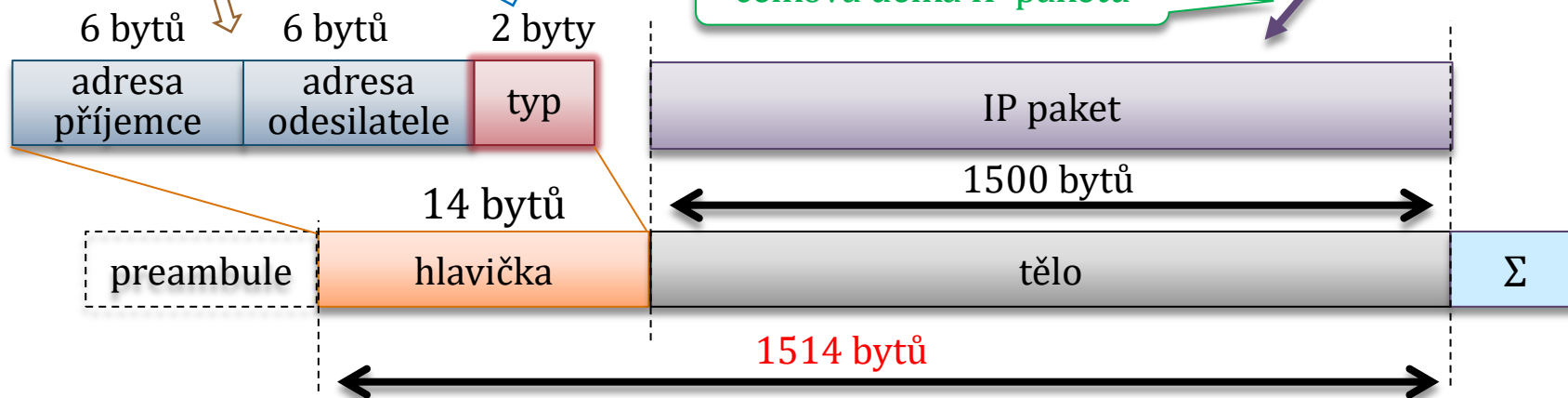
adresa příjemce a odesílatele

typ nákladu  
(Ethertyp):  
 $800_{16} = \text{IP}$

„snímek“ ze síťového analyzátoru Wireshark



celková délka IP paketu

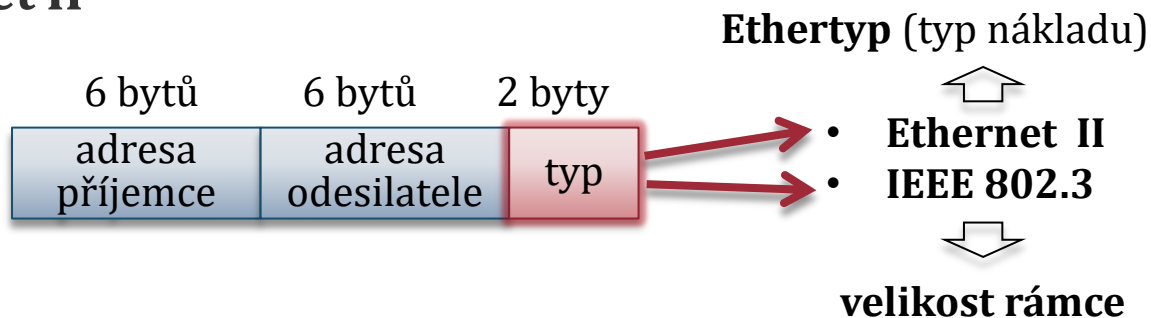


# MAC rámec IEEE 802.3

- **připomenutí: rámec Ethernet II**

- v položce **typ** je typ nákladu

- tzv. **Ethertyp**



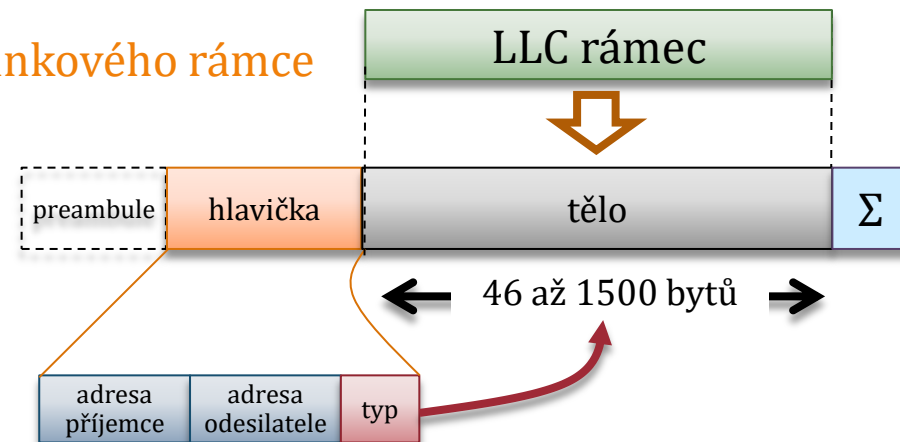
- **(MAC) rámec IEEE 802.3:**

- v položce **typ** je velikost (nákladové části) linkového rámce

- která je vždy menší (nebo rovna) 1500
  - přesněji: jde o velikost vloženého LLC rámce

- **připomenutí: jde pouze o MAC rámec**

- do kterého se vkládá ještě LLC rámec !!!!
  - a **typ nákladu** je vyjádřen v LLC rámci



- **možnost rozlišení obou typů rámců:**

- pokud je obsah položky **typ** > 1500, jde o (linkový) rámec Ethernet II

- a obsah položky **typ** představuje tzv. **Ethertyp**

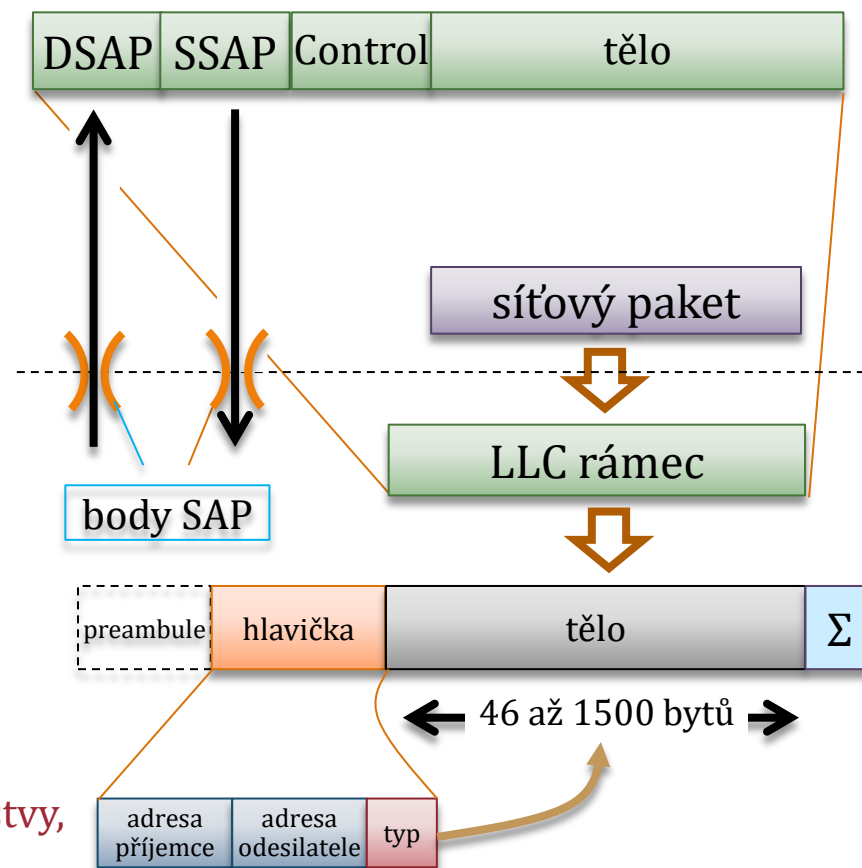
- pokud je obsah položky **typ** ≤ 1500, jde o (MAC) rámec IEEE 802.3

- a obsah položky **typ** je velikostí (nákladové části) rámce
  - tj. velikostí vloženého LLC rámce

| Protokol | EtherTyp           |
|----------|--------------------|
| IPv4     | 0800 <sub>16</sub> |
| ARP      | 0806 <sub>16</sub> |
| IPv6     | 86DD <sub>16</sub> |

# LLC rámec IEEE 802.2

- **tento rámec je univerzální**
  - není určen pouze pro Ethernet
    - tj. pro vkládání do MAC rámců IEEE 802.3
  - ale je využíván i v jiných technologiích
    - jako je např. Token Ring, Token Bus apod.
  - proto:
    - umožňuje rozlišovat různé druhy přenosů
      - Type 1: nespojovaný nespolehlivý přenos
      - Type 2: spojovaný přenos
      - Type 3: spojovaný přenos s potvrzováním
- **struktura LLC rámce (802.2):**
  - **DSAP: Destination Service Access Point**
  - **SSAP: Source Service Access Point**
    - „přechodový bod“, identifikuje entitu síťové vrstvy, která odesílá data
      - tím je určen i typ těchto dat (= obdoba Ethertypu)
        - jen 64 platných možností (tzv. SAP numbers), spravuje IEEE: 06 = IP
  - **Control:**
    - rozlišuje druh přenosu (Type 1, Type 2, Type 3, ....)

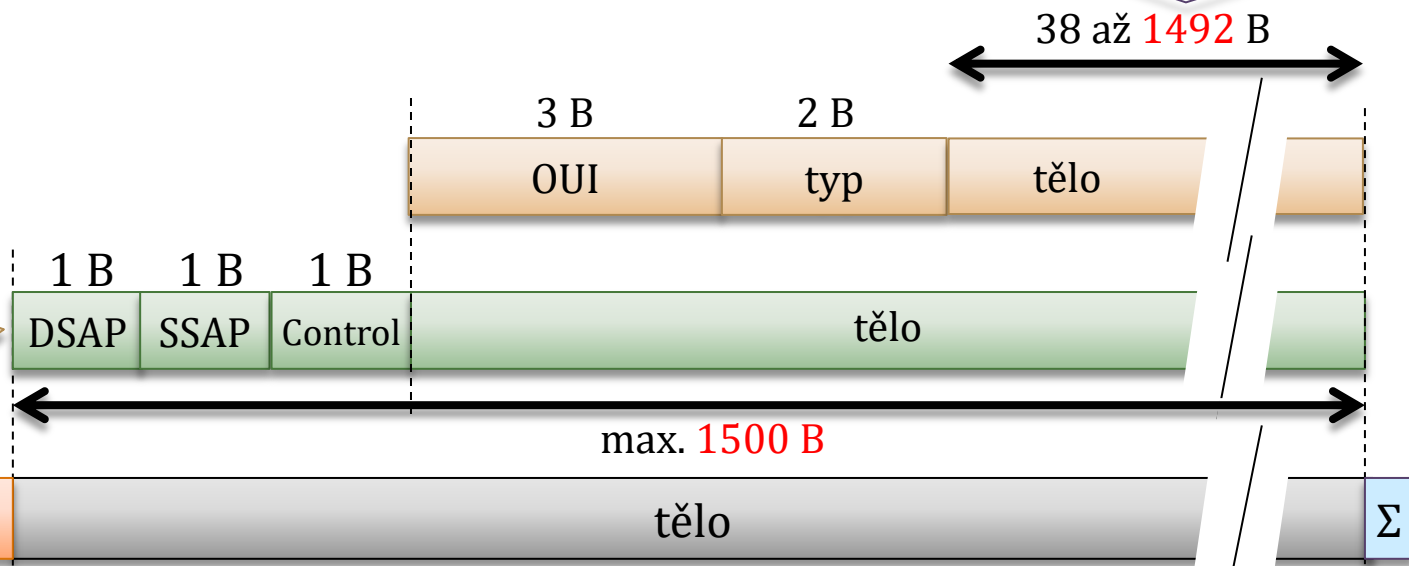


pro Ethernet jen Type 1  
(„U“ - unnumbered)

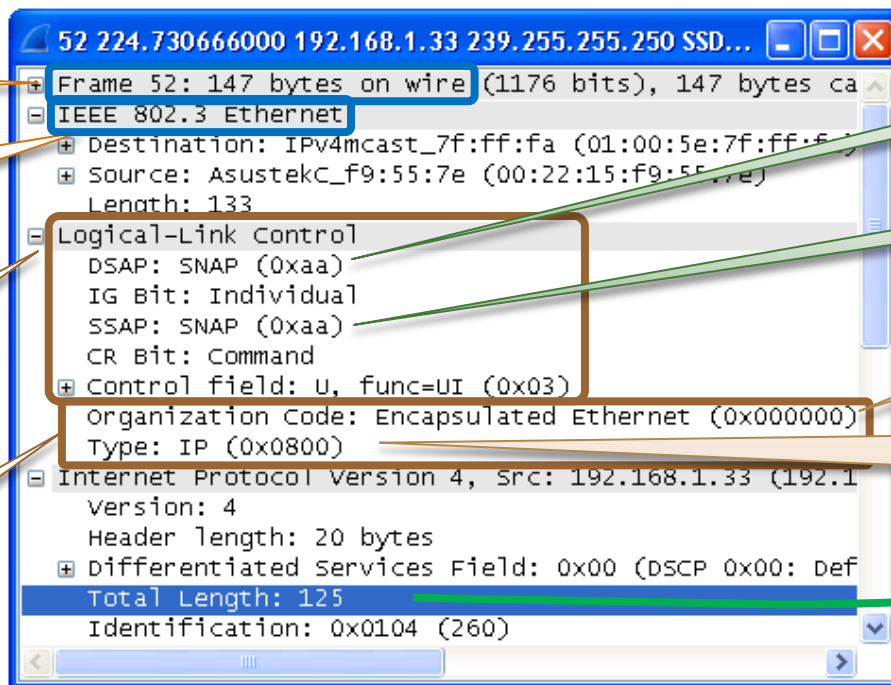
# LLC rámec IEEE 802.2 SNAP

- **(obecný) LLC rámec 802.2 má nepříjemný problém:**
  - 1 byte nestačí pro specifikaci všech typů nákladu
    - fakticky je pro typ nákladu vyhrazena jen 1/4 všech možných hodnot 1 bytu (64)
      - 2 bity jsou vyhrazeny pro „lokální“ využití
      - srovnání: MAC rámce Ethernet II mají 2 byty pro typ nákladu (Ethertype)
  - nejde použít pro protokol IP: není samostatný „SAP number“ pro protokol ARP
- **řešení: SNAP (SubNetwork Access Protocol)**
  - rozšíření rámce 802.2 tak, aby mohl pracovat s Ethertypy (jako Ethernet II)
    - dokonce: umožňuje používat (vlastní) 2-bytové Ethertypy, rozlišené přes OUI
      - OUI specifikuje výrobce: význam položky **typ**
        - (OUI = 0) => jde o původní Ethertyp

o 8 bytů méně než u rámců Ethernet II



## příklad rámce SNAP



MAC: 147 B

druh (MAC)  
rámce: IEEE  
802.3rámec LLC  
(IEEE  
802.2)rozšíření  
SNAPDSAP=AA<sub>H</sub>SSAP=AA<sub>H</sub>

OUI=00

typ (Ethertyp):  
0800<sub>H</sub>

IP: 125 bytů

IP paket

SNAP: 130 B

3 B

2 B

OUI

typ

tělo

LLC: 133 B

1 B

1 B

1 B

DSAP

SSAP

Control

tělo

MAC: 147 B

14 B

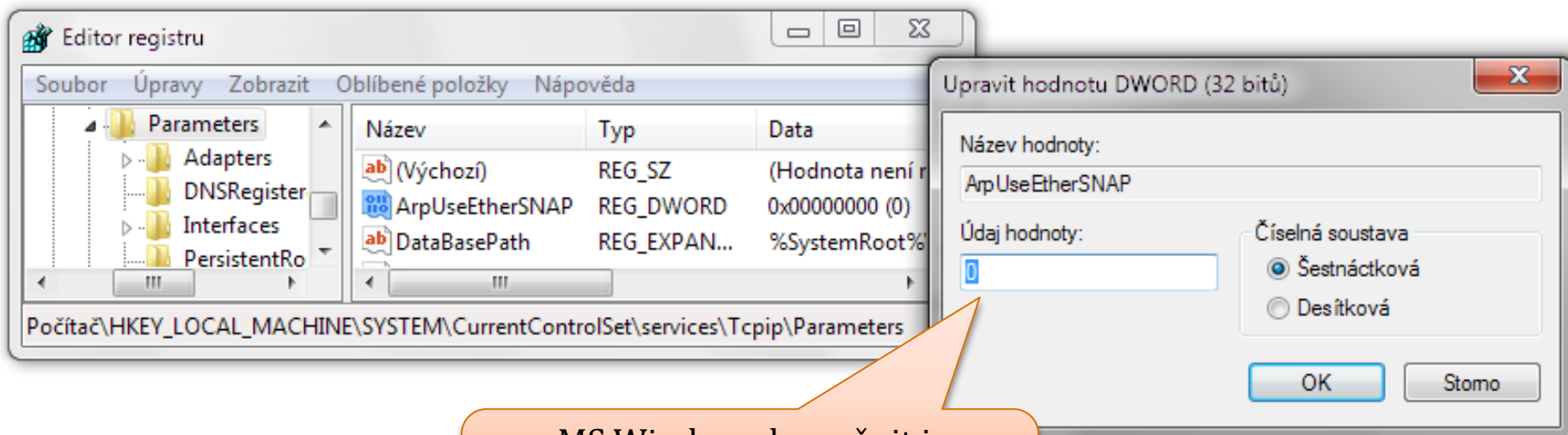
hlavička

tělo

Σ

# shrnutí problematiky rámců

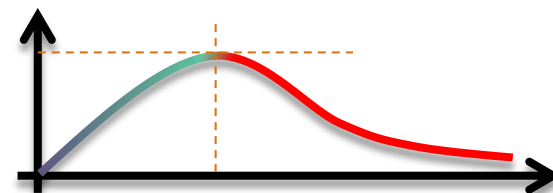
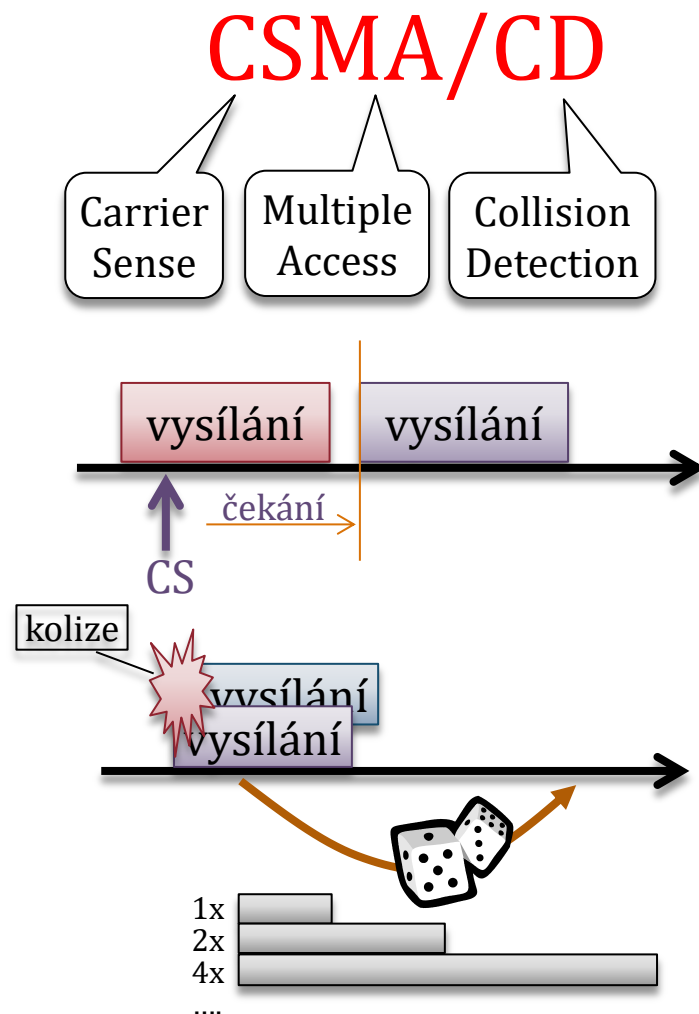
- v praxi se dnes používají dva druhy rámců
  - rámce Ethernet II
    - „pojmu“ až 1500 bytů užitečného nákladu (TCP/IP: **MTU=1500**)
  - v praxi převažují
    - jsou implicitní volbou v prostředí MS Windows i ostatních OS
- rámce IEEE 802.3+802.2, s rozšířením SNAP
  - „pojmu“ max. 1492 bytů užitečného nákladu (TCP/IP: **MTU=1492**)
    - o 8 bytů méně
      - 3 byty tvoří hlavička LLC rámce, 5 bytů rozšíření SNAP



v MS Windows lze měnit jen  
skrze nastavení v registru  
(Ethernet II: 0, SNAP: 1)

# přístupová metoda Ethernetu

- byla nutná u prvních verzí Ethernetu
  - kvůli použití sdíleného přenosového média
- vlastnosti přístupové metody:
  - je distribuovaná
    - nemá centrální autoritu
  - je 1-persistentní
    - když zájemce o vysílání (pomocí CS/příposlechu nosné) zjistí, že právě probíhá nějaké vysílání, je „vytrvalý“ (persistentní) - čeká na konec probíhajícího vysílání
  - je nedeterministická
    - využívá prvek náhody – nelze predikovat výsledek, negarantuje přístup k médiu
      - při detekci kolize se uzel odmlčí na náhodně zvolenou dobu
        - volí ji z intervalu, který se při opakované kolizi zvětšuje vždy na dvojnásobek – tzv. **binary backoff**
          - tím se dále „pomáhá“ náhodě
  - při vyšší zátěži přestává být efektivní
    - roste vliv režie kolem kolizí





# kolize, časový slot

- **přístupová metoda CSMA/CD pracuje s kolizemi**
  - snaží se minimalizovat jejich počet (skrze CS) – ale nevyklučuje jejich výskyt
- **kolize nejsou chybou, ale (běžným) „provozním stavem“**
  - ale musí se s nimi korektně nakládat
- **požadavky na kolize a jejich detekci:**
  - ke kolizím by mělo docházet jen na začátku vysílání ethernetového rámce
    - řešení (dle standardu):
      - ke kolizi může dojít jen během vysílání prvních 512 bitů přenášeného rámce
        - poté už by ke kolizím nemělo docházet
        - po odvysílání 512 bitů již vysílající uzel má jistotu, že „získal přenosový kanál“



doba vysílání prvních 512 bitů rámce představuje tzv. **časový slot** (slot time). označovaný též jako **okénko kolize** (collision window)

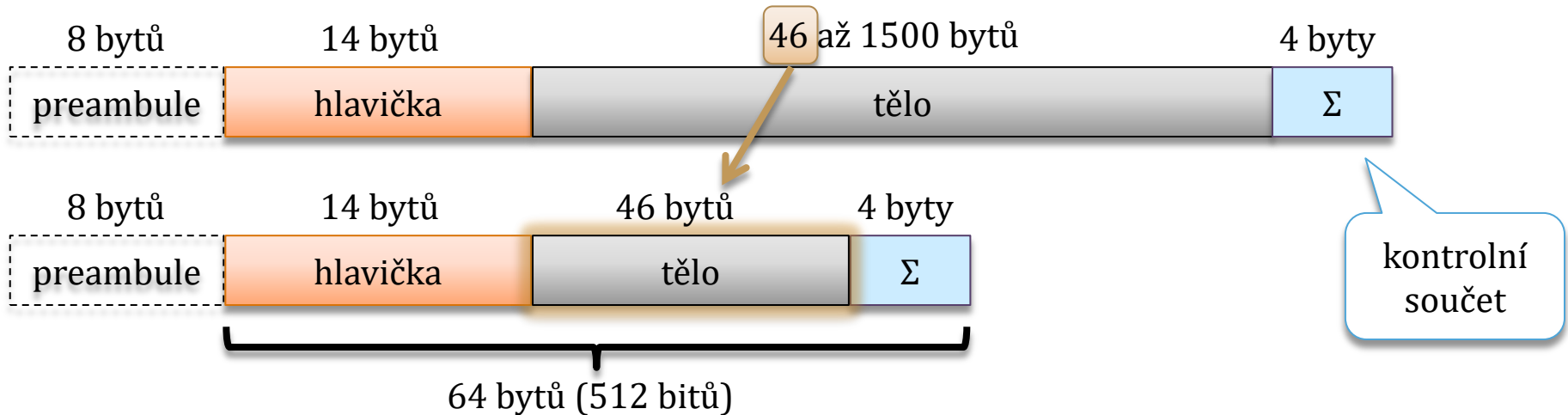
- velikost časového slotu (okénka kolize) je volena „*tak, aby se signál stihl dostat tam a vrátit zpět*“
  - cca 2x doba šíření signálu po nejdelší cestě v tzv. **kolizní doméně**



pokud přeci jen dojde ke kolizi, je to tzv. **pozdní kolize** (late collision) či **kolize mimo okénko** (out of window collision) a řeší se jako chyba

# minimální velikost ethernetového rámce

- kvůli časovému slotu (okénku kolize) musí mít každý ethernetový rámec určitou minimální velikost
  - nesmí být menší než časový slot: 512 bitů (64 bytů)



- minimální velikost linkového rámce je stejná pro různé rychlostní varianty poloduplexního Ethernetu
  - tj. toho, který používá přístupovou metodu CSMA/CD
- ale: kvůli různé přenosové rychlosti má časový slot (okénko kolize) různou délku v čase !!
  - Ethernet 10 Mbit/s: 512 bitů (64 bytů) se přenese za 51,2  $\mu$ s
  - Ethernet 100 Mbit/s: 512 bitů (64 bytů) se přenese za 5,12  $\mu$ s
- plně duplexního Ethernetu (10 Gbit/s a výše) se minimální velikost rámce netýká
  - u Ethernetu 1 Gbit/s je to „složitější“ (má plně duplexní i poloduplexní variantu)

# kolizní doména

- **kolizní doména**

- *taková část ethernetové sítě, v rámci které se šíří kolize*

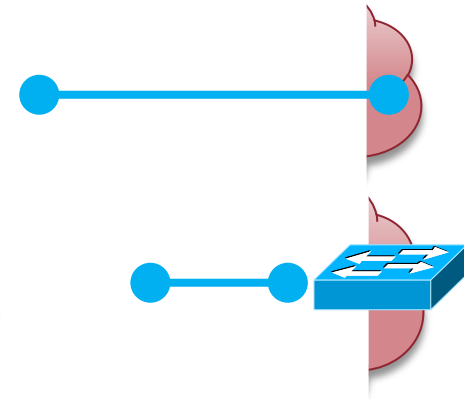
- možnosti:

- jeden kabelový segment 
- více kabelových segmentů, propojených na fyzické vrstvě (pomocí opakovačů)
  - neboť: opakovače propouští kolize



- kde kolizní doména „končí“?

- „na konci kabelu“ (pokud není napojen na nějaký aktivní prvek)
- na nejbližším přepínači, směrovači atd.
  - na aktivním prvku, který pracuje na linkové vrstvě či vyšší vrstvě
    - protože takovéto aktivní prvky již nešíří kolize !!



- **velikost kolizní domény**

- *„taková, aby se kolize stihla rozšířit během časového slotu“ (512 bitů / 64 bytů)*

- během vysílání nejkratšího rámce

- konkrétně: „délka“ kolizní domény je max. 232 bitů

- aby se informace o kolizi stihla rozšířit během dalších 232 bitů (celkem  $2 \times 232 = 464$  bitů)
  - a ještě zbylo 48 bitů na tzv. **jam signál**

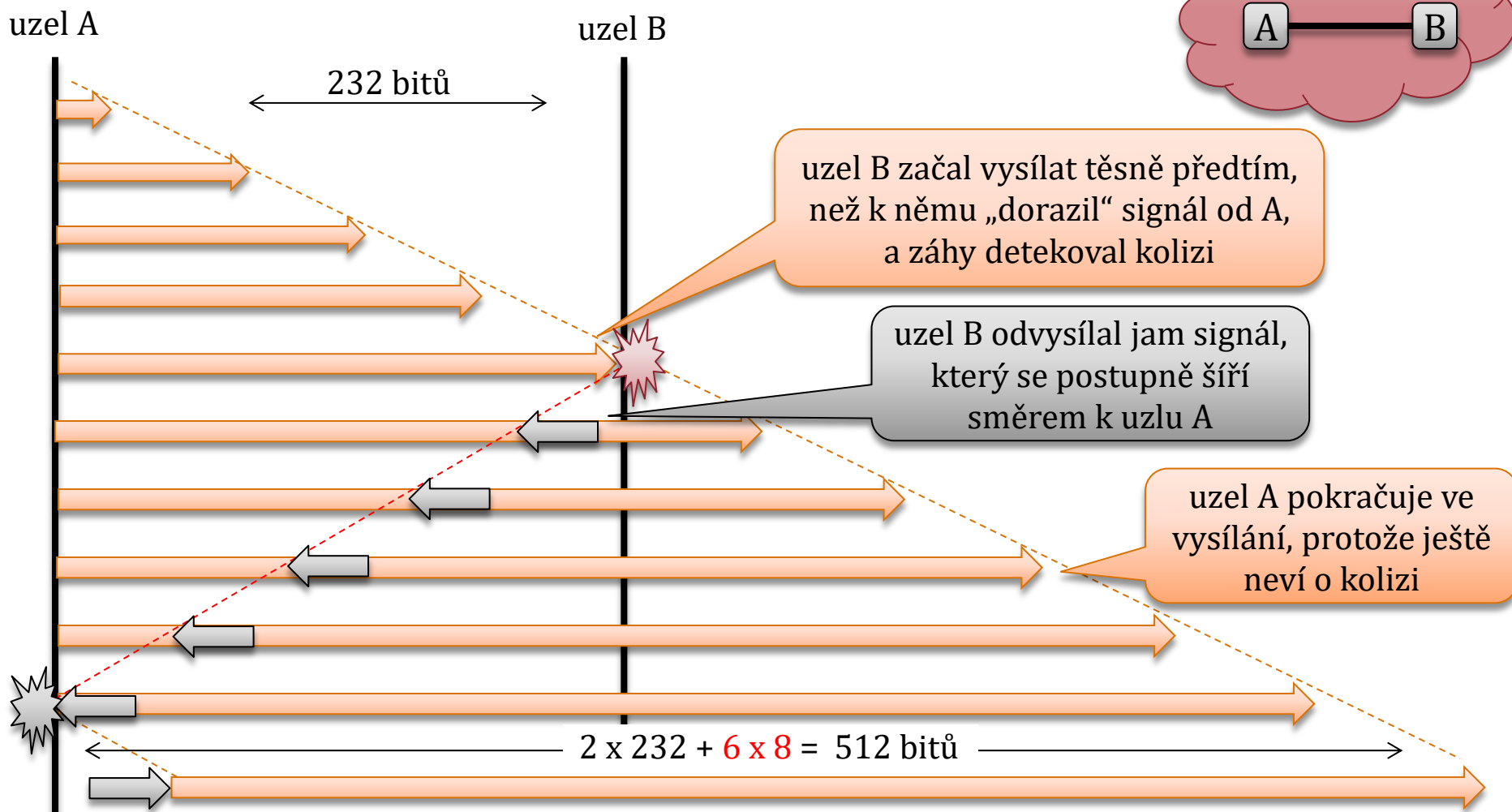


## kolize v kolizní doméně, jam signál

- uzel, který detekuje kolizi, nesmí ihned přestat vysílat

– ale musí odvysílat tzv. **jam signál** (4 až 6 bytů alternujících 0 a 1) ↔

- aby všechny uzly v kolizní doméně stihly korektně zaznamenat kolizi



# velikost kolizní domény: Ethernet 10 Mbit/s

- **koaxiální kabel:**

- přenos 1 bitu trvá  $1/10 \mu\text{s}$ , za tu dobu signál „urazí“ cca 23 metrů (v koax. kabelu)
  - max. délka souvislého kabelového segmentu:  $232 \text{ (bitů)} \times 23 \text{ m} = \text{cca } 5336 \text{ m}$

- **v praxi:**

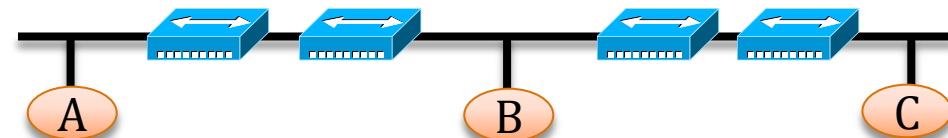
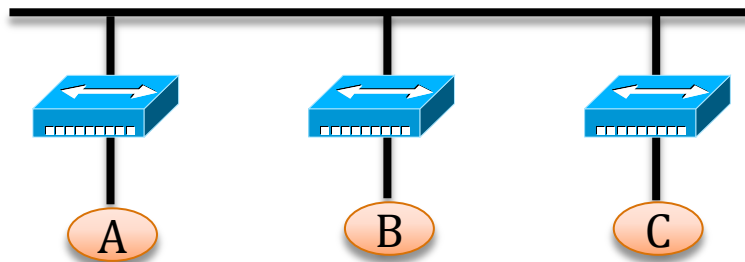
- max. délka všech kabelů kabelu musí být podstatně kratší (např. jen 2500 m)
  - protože ke zpoždění dochází i na dalších prvcích, například:
    - drop kabel: 1 bit na 19.5 metru
    - transceiver: 4 bity
    - opakovač: 6 bitů („a něco“)

- **obvyklá pravidla pro „velikost“ kolizní domény (Ethernet 10 Mbit/s)**

- max. 2 opakovače mezi libovolnými 2 uzly

- pravidlo 5-4-3

- max. 5 kabelových segmentů
- max. 4 opakovače
- max. 3 opakovače jsou „obydlené“



# velikost kolizní domény: 100 Mbit/s a vyšší

## • Ethernet **100 Mbit/s**

- teoreticky: vše se zkracuje na 1/10
- prakticky:
  - existují 2 druhy opakovačů:
    - typ I smí být v kolizní doméně jen 1x,
    - typ II smí být v kolizní doméně 2x
  - pro kroucenou dvoulinku (100 Base TX):
    - se 2 opakovači max. 205 metrů
    - s 1 opakovačem max. 200 metrů
    - bez opakovače: max. 100 metrů
  - pro (mnohovidové) optické vlákno:
    - bez opakovače: max. 412 metrů
    - s opakovači: méně !!

platí pro poloduplexní fungování  
Ethernetu 100 Mbit/s  
(může ale fungovat i plně duplexně)

## • Ethernet **1 Gbit/s**

- teoreticky se vše zkracuje na 1/100
  - což by bylo neúnosné
- prakticky: 2 různé režimy fungování

- poloduplexní Ethernet 1 Gbit/s
  - zvětšuje minimální velikost rámce 8x
    - spojováním více rámců nebo „vatou“

v praxi se téměř nepoužívá

- duplexní Ethernet 1 Gbit/s
  - již nepotřebuje přístupovou metodu, nemá kolize
    - omezení dosahu kvůli kolizím / kolizní doméně odpadají !!!

## • Ethernet **10 Gbit/s a vyšší**

- funguje již pouze plně duplexně
  - nevyžaduje přístupovou metodu
    - poloduplexní způsob fungování by vedl na zcela neúnosná omezení

# ethernetové adresy

- hovoří se o nich (obecně) jako o **MAC adresách**
  - protože se používají na podvrstvě MAC (Media Access Control)
- existují 2 různé rozsahy a 3 různá označení ethernetových adres:

1. 48-bitové adresy: **MAC-48** a **EUI-48** (Extended Unique Identifier)

již se nemá používat

2. 64-bitové adresy: **EUI-64**

má se používat  
(IEEE má na tuto  
označení trademark)



- mohou být přidělované:

1. globálně (**Universal**, globally unique address)

- z jednoho centrálního adresového prostoru, jehož správcem je IEEE

2. místně (**Local**, locally administered)

- přiděluje místní správce, není záruka celosvětové unikátnosti

- mohou sloužit potřebám

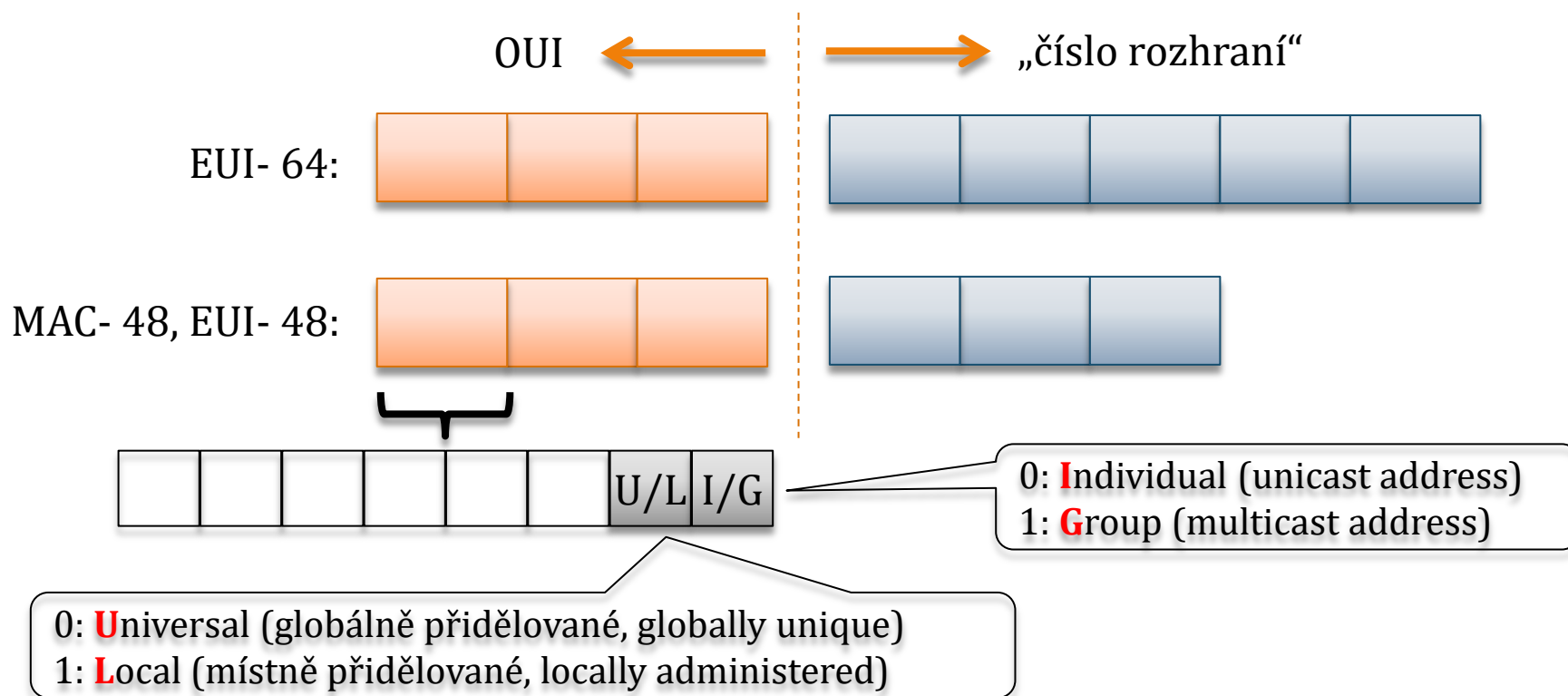
1. **unicastu**: označují jen jedno síťové rozhraní (a tím i jeden uzel)

2. **multicastu/broadcastu**: označují více síťových rozhraní

- více uzlů v rámci multicastové skupiny (či broadcastu)

# ethernetové adresy

- mají 2 logické složky
  - **OUI** (Organizationally Unique Identifier), vždy 3 byty (24 bitů)
    - identifikuje výrobce: konkrétní hodnoty OUI jim přiděluje IEEE
      - přidělení viz <http://standards.ieee.org/develop/regauth/oui/oui.txt>
    - část bitů OUI rozlišuje unicast/multicast a Universal/Local
  - „**číslo rozhraní**“: 3 nebo 5 bytů, konkrétní hodnota (sériové číslo rozhraní)





## příklad

```

C:\Windows\system32\cmd.exe
C:\Users\uzivatel>arp -a

Rozhraní: 192.168.1.2 --- 0x20
internetová adresa fyzická adresa typ
192.168.1.1 00-14-6c-35-29-98 dynamická
192.168.1.13 00-11-32-20-96-01 dynamická
192.168.1.14 00-24-be-57-c0-9c dynamická
192.168.1.15 e0-f8-47-e8-8c-2c dynamická
192.168.1.17 a0-f3-c1-0c-b1-26 dynamická
192.168.1.255 ff-ff-ff-ff-ff-ff statická
224.0.0.22 01-00-5e-00-00-16 statická
224.0.0.251 01-00-5e-00-00-fb statická
224.0.0.252 01-00-5e-00-00-fc statická
239.255.255.250 01-00-5e-7f-ff-fa statická
255.255.255.255 ff-ff-ff-ff-ff-ff statická

```

výrobce

globální, unicast adresa

00-14-6c: Netgear, U/L=U, I/G=I

00-11-32: Synology, U/L=U, I/G=I

00-24-be: Sony, U/L=U, I/G=I

e0-f8-47: Apple, U/L=U, I/G=I

a0-f3-c1: TP-LINK, U/L=U, I/G=I

ff-ff-ff: U/L=L, I/G=G (Local, Group)

01-00-5e: U/L=U, I/G=G (Universal, Group)

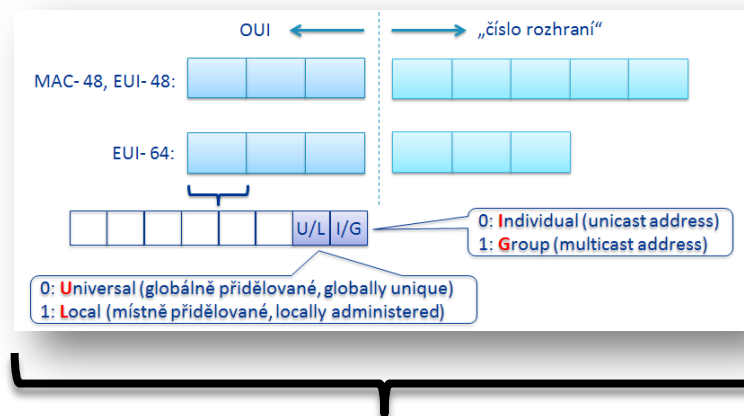
lokální, broadcast adresa

globální, multicast adresa

# pořadí přenosu (Endian) v Ethernetu

## Ethernet používá konvenci:

- **Big Endian**, pokud jde o jednotlivé byty
  - nejprve se přenáší vyšší („levé“) byty
- **Little Endian**, pokud jde o jednotlivé bity
  - nejprve se přenáší nižší („pravé“) bity



proč zrovna takto (divně)?

## příklad: 01-00-5e-7f-ff-fa

- jde o globální multicastovou adresu (U/L=0, I/G=1)

