

Lekce 4: Ethernet II

Jiří Peterka

původní koncepce Ethernetu

- **Ethernet vznikl jako technologie pro lokální sítě (sítě LAN)**

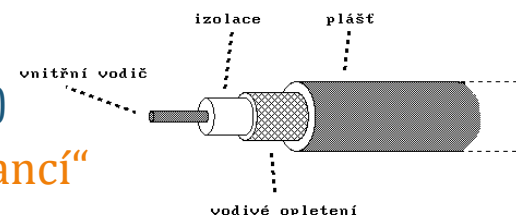
- jako řešení pro vzájemné propojování pracovních stanic (PC)

- na krátkou vzdálenost (stovky metrů), s malým přenosovým zpožděním
 - za účelem (plně transparentního) sdílení jejich zdrojů



- jako řešení využívající sdíleného přenosového média

- původní koncepce „šita na míru“ vlastnostem koaxiálního kabelu
 - konkrétní důsledek: potřebuje přístupovou metodu (CSMA/CD)



- jako řešení na principu přepojování paketů, fungující „bez garancí“

- přenáší data po blocích
 - konkrétně: po rámcích (Ethernetových rámcích)
- funguje nespojovaně a nespolehlivě
 - negarantuje doručení dat (ani nezajišťuje spolehlivost)
- funguje na principu best effort
 - se všemi daty nakládá stejně, nemá podporu QoS
- není určen k fungování v reálném čase
 - negarantuje, že se konkrétní uzel „dostane ke slovu“ v konečném čase
 - že získá právo přístupu ke sdílenému médiu a právo odeslat svá data
 - toto „slibuje“ jen s určitou pravděpodobností (sice vysokou, ale ne 100%)

Ethernet se **hodí** do kanceláří, domácností, učeben,

Ethernet se **nehodí** pro řízení v reálném čase (např. pro řízení výroby,)

další vývoj Ethernetu

- **změna přenosového média:**
 - **původně: jen koaxiální kabel**
 - **později také:**
 - kroucená dvoulinka (twist)
 - optika (optická vlákna)
 - bezdrátový (rádiový) přenos
 - je již považován za samostatnou technologii, nikoli za Ethernet
 - převzala skupina IEEE 802.11
 - neformálně: Wi-Fi
- **změna (nominální) rychlosti:**
 - **původně: 10 Mbit/s**
 - **později postupně:**
 - rychlost 100 Mbit/s (Fast Ethernet)
 - rychlost 1 Gbit/s (Gigabit Ethernet)
 - rychlost 10 Gbit/s (10G Ethernet)
 - rychlost 100 Gbit/s (100G Ethernet)
- **změna způsobu fungování:**
 - **původně: Ethernet je poloduplexní**
 - a potřebuje přístupovou metodu
 - **později: Ethernet je plně duplexní**
 - již nepotřebuje přístupovou metodu
 - 10G a 100G Ethernet již jen plně duplexní
- **změna dosahu:**
 - **původně: jen pro sítě LAN**
 - **později: i pro sítě MAN a WAN**
 - dosah už není omezen (přístupovou metodou)
 - ale jen vlastnostmi kabeláže/přenosových cest
- **další změny:**
 - řízení toku (flow control)
 - Ethernet pro poskytovatele (Carrier Eth.)
 - Ethernet pro metropolitní sítě (Metro E.)
 - napájení po Ethernetu (Power over Eth.)
 -

Ethernet 10Base5

- **první („původní“) verze Ethernetu, dle IEEE (z roku 1983)**

- standard má označení **IEEE 802.3** (bez dalšího písmenka)
- známější je spíše pod označením **10Base5**
 - též jako: ThickWire
- používá „tlustý“ koaxiální kabel, o průměru cca 1 cm

přenos v základním pásmu (baseband)

- **topologie je sběrnicová**

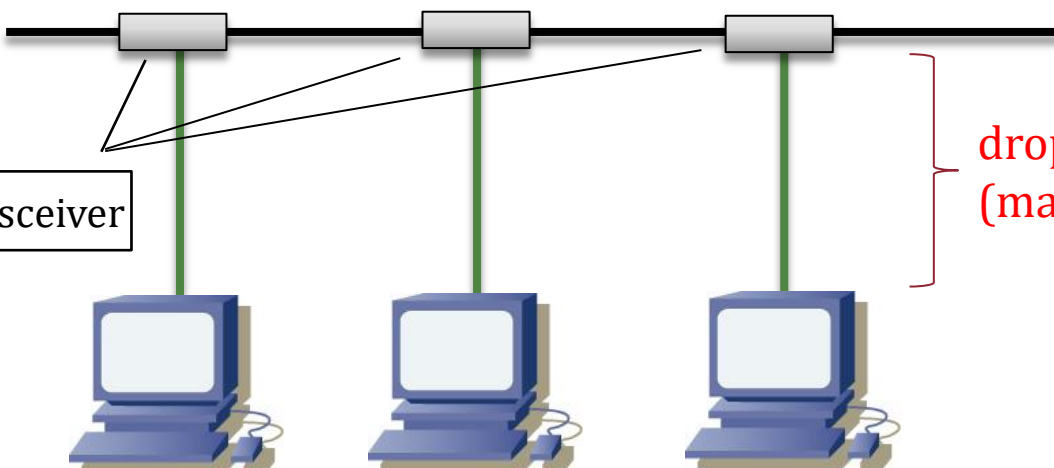
- tlustý koaxiální kabel představuje sběrnici
 - ze které jsou vedeny odbočky, pomocí tzv. drop kabelů

10 Base 5

rychlost
10 Mbit/s

kabelový
segment max.
500 metrů

← max. 500 metrů →



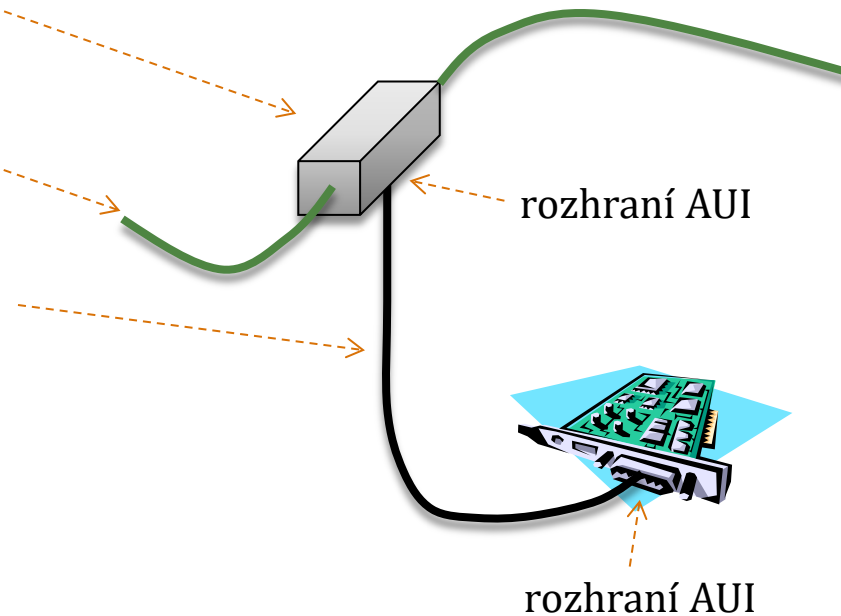
drop kabel
(max. 50 metrů)



transceiver

transceivery a rozhraní AUI

- **transceiver**
 - je konstrukční prvek, obsahující obvody pro vysílání a příjem signálu
- u 10Base5 jsou transceivery samostatné „krabičky“, umístěné na koaxiálním kabelu
 - a se síťovou kartou (NIC, Network Interface Card) jsou propojeny pomocí tzv. **drop kabelů**
 - též: transceiver kabelů
 - max. délka 50 metrů
- **rozhraní AUI (Attachment Unit Interface)**
 - rozhraní drop kabelu „vůči“ transceiveru i NIC
 - 15-pinový konektor Canon
- **výhoda:**
 - pro jiný druh kabeláže není třeba měnit NIC
 - stačí si pořídit jiný (samostatný) transceiver
 - takto se řešil např. přechod na optiku



Ethernet 10Base2

- se standardem 10Base5 (IEEE 802.3, též: ThickWire) byl problém:
 - jeho „tlustý“ koaxiální kabel byl drahý a neohebný
- řešení (10Base2, IEEE 802.3a, též: ThinWire, Cheapernet, z roku 1985)
 - použít tenčí koaxiální kabel (s polovičním průměrem)
 - plus: umístit transceivery přímo na síťovou kartu (NIC)
 - důsledek: koaxiální kabel se musí „protáhnout“ až k NIC
 - a zde se musí rozbočit pomocí tzv. T-konektorů (BNC)
 - reálně tak dále klesá dosah souvislého kabelu

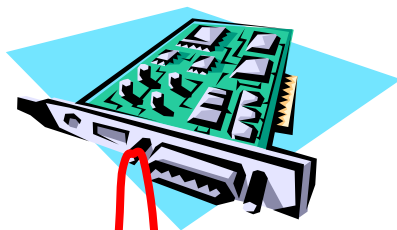
přenos v základním pásmu (baseband)

10 Base 2

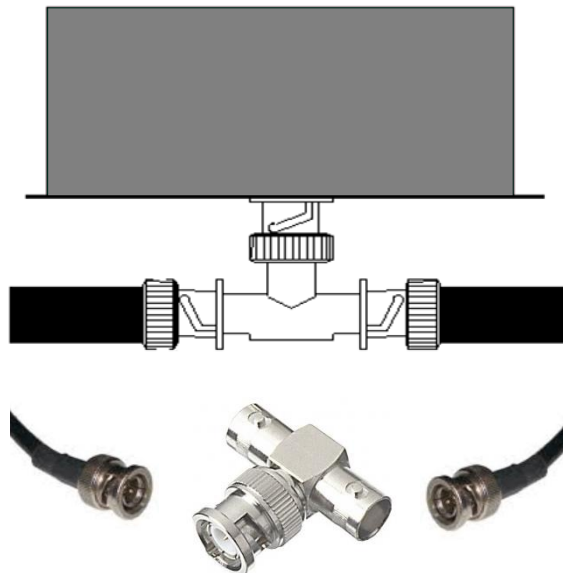
rychlost
10 Mbit/s

kabelový
segment max.
185 metrů

zaokrouhleno na 2x 100 m

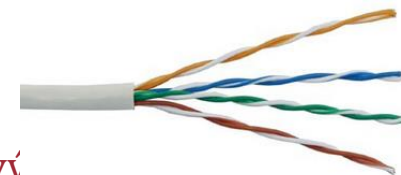


max. 185 metrů



další vývoj 10 Mbit/s Ethernetu

- **v USA je mnoho budov „hustě prokabelováno“**
 - jsou v nich nainstalované kabelové rozvody pro potřeby telefonie
 - jde o relativně kvalitní kroucenou dvoulinku, byť určenou pro (analogový
- **otázka:**
 - proč pokládat nové (koaxiální) kabely, když je k dispozici dostatek (jiných) kabelů?
- **důsledek:**
 - snaha využít kroucenou dvoulinku (tzv. twist) i pro Ethernet
 - zájem má hlavně firma AT&T (velký/monopolní telco operátor)
- **nejprve vznikl standard 1Base5 (IEEE 802.3e, 1987)**
 - délka souvislého kabelového segmentu až 500 metrů, ale rychlost jen 1 Mbps!!!
 - jiná rychlost než u 10Base5/2 neumožňuje propojení pomocí opakovačů !!!
- **později vzniká standard 10Base-T (IEEE 802.3i, 1990)**
 - rychlost již stejná jako u 10Base5/2 (10 Mbit/s)
 - max. délka souvislého kabelového segmentu jen 100 metrů
 - přípona T (místo 1) značí použití kroucené dvoulinky (Twist, twisted pair)

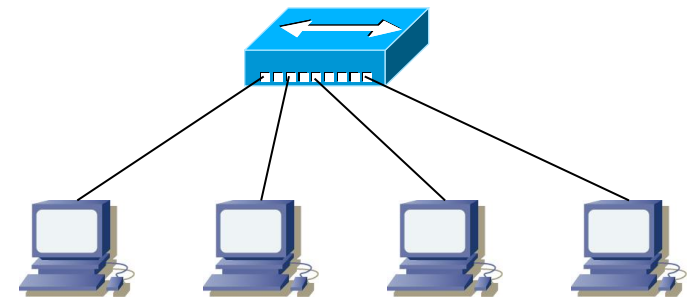
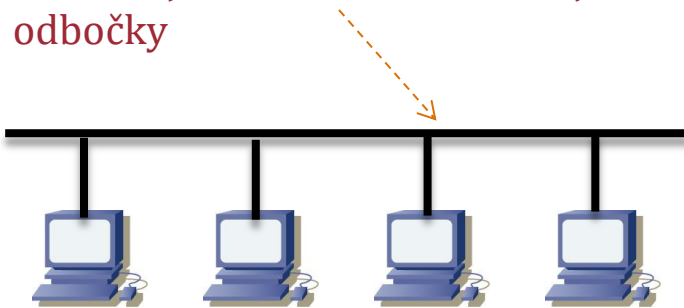


10 Base - T

twisted pair

Ethernet 10Base-T

- využívá kroucenou dvoulinku „hlasového typu“ (Cat. 3)
 - jde o 2-bodové médium – nelze na něm dělat odbočky (jako u koaxiálního kabelu)
- důsledek:
 - „rozbočení“ musí být realizována elektronickými obvody (v rámci tzv. rozbočovače)
- dochází ke změně topologie
 - Ethernet ve verzi 10Base5/2 má **sběrnicovou topologii**
 - sběrnicí je koaxiální kabel, z něj vedou odbočky
 - Ethernet ve verzi 10Base-T má **topologii „do hvězdy“**
 - ve středu je rozbočovač (hub), z něj vedou paprskovitě jednotlivé kabelové segmenty



- sběrnice (koax. kabel) je sdílené médium
 - a proto je nutná přístupová metoda
 - zde konkrétně: CSMA/CD

- jednotlivé kabelové segmenty (z kroucené dvoulinky) již nemají sdílený charakter – ale jsou vyhrazené
 - je ještě zapotřebí přístupová metoda?

kabeláž pro 10Base-T

- kroucená dvoulinka je (dnes) používána (nejčastěji) v provedení kabelu se 4 páry (kroucené) dvoulinky



- používané konektory:

– označují se jako RJ-45 (správně: 8P8C)

- mají 8 kontaktů (pinů) pro 4 páry kroucené dvoulinky

- 10Base-T: využívá jen 2 páry kroucené dvoulinky

– a tedy jen 4 kontakty na konektorech RJ-45 (8P8C)

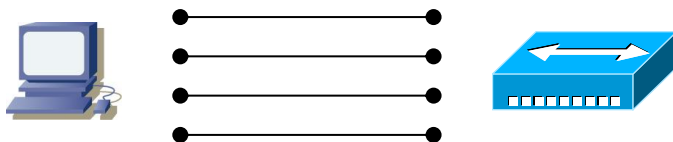
- vyšší verze Ethernetu mohou využívat všechny 4 páry

- existují 2 druhy kabelů:

– patch cable (přímý kabel)

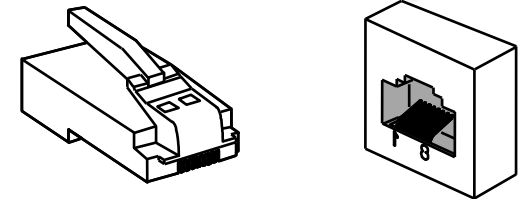
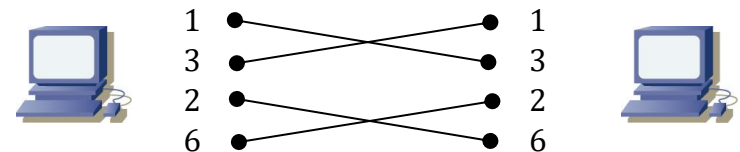
- určen k propojení rozbočovače a koncového uzlu

– zapojení stylem 1:1



– cross-over cable (překřížený kabel)

- určen k propojení 2 koncových zařízení nebo 2 rozbočovačů mezi sebou

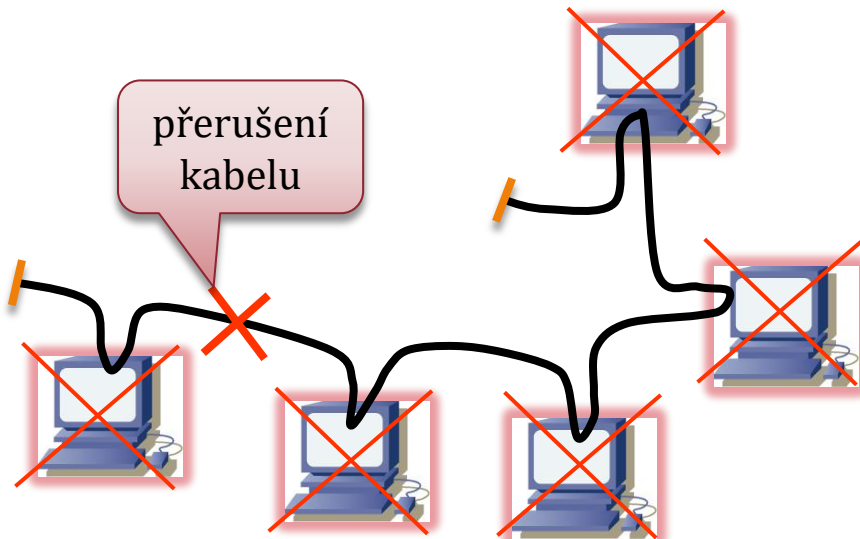


výhody topologie „do hvězdy“

- změna topologie (ze sběrnice na hvězdu) přináší zajímavé výhody

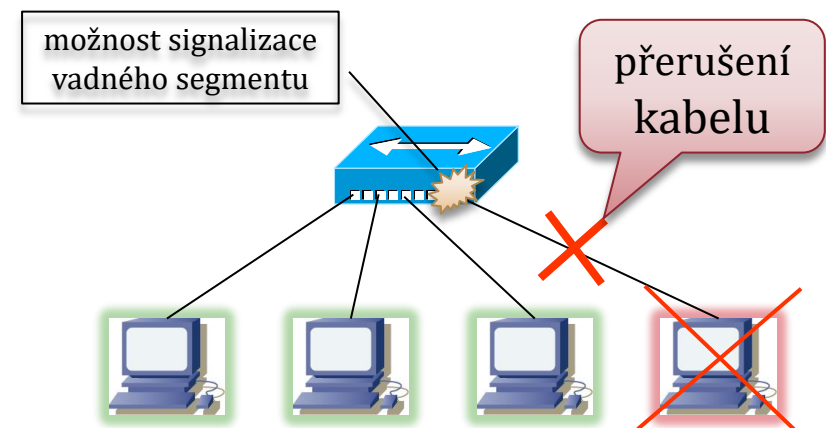
- sběrnicová topologie:

- když došlo k nějaké závadě na kabelovém segmentu (uvolnění konektoru apod.), vyřadilo to z provozu všechny uzly připojené k danému segmentu
- detekovat závadu šlo s přesností na celý segment
 - jinak to vyžadovalo speciální přístroje



- topologie „do hvězdy“

- segmenty jsou „jednouzlové“
 - připojují vždy jen jeden (koncový) uzel
- závada na jednom segmentu ovlivní připojení jen jednoho uzlu
 - nikoli „všech“ uzlů
- detekovat závadu lze s přesností na celý segment
 - což zde znamená na konkrétní uzel !!!!



výhody topologie „do hvězdy“

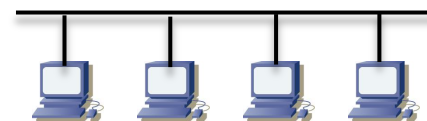
- **připomenutí:**

- sběrnicová topologie původního Ethernetu (10Base5 i 10Base2) potřebovala nějakou přístupovou metodu

- kvůli sdílenému médiu: sběrnici z koaxiálního kabelu

- proto Ethernet „dostal“ přístupovou metodu **CSMA/CD**

- která předurčila jeho vlastnosti: nedeterminismus (neřízený charakter), neschopnost garantovat odezvu / reakci v reálném čase



- **důsledek změny topologie (ze sběrnice na „do hvězdy“)**

- fyzicky: už se nejedná o sdílené přenosové médium (kabel)

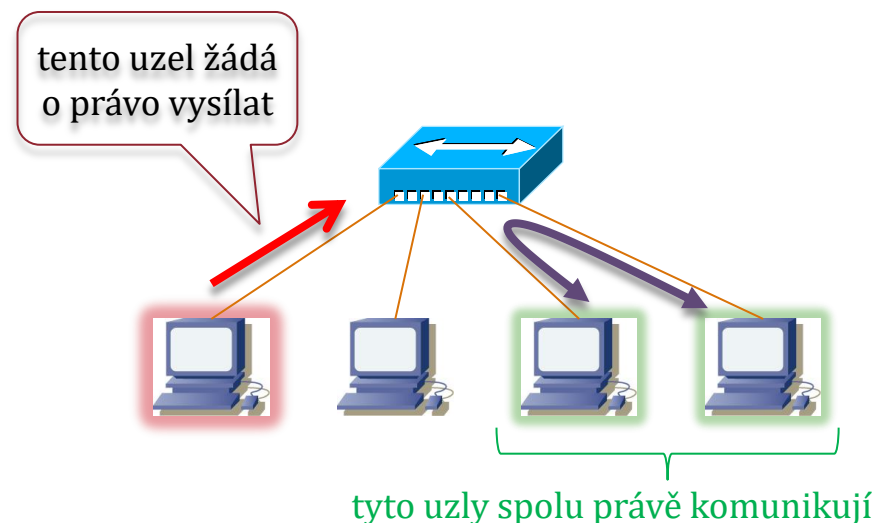
- jednotlivé kabelové segmenty (z kroucené dvoulinky) jsou vyhrazené pro jednotlivé koncové uzly

- proto: dala by se využít i jiná (centralizovaná a deterministická) přístupová metoda

- rozbočovač by fungoval jako centrální arbitř, každý koncový uzel by žádal o právo vysílat „po svém kabelu“

- je možný plný duplex (současné vysílání oběma směry)

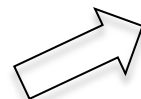
- nedochází při něm ke kolizím / znehodnocení dat



switched Ethernet

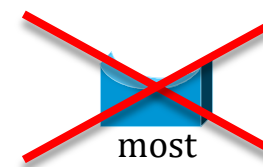
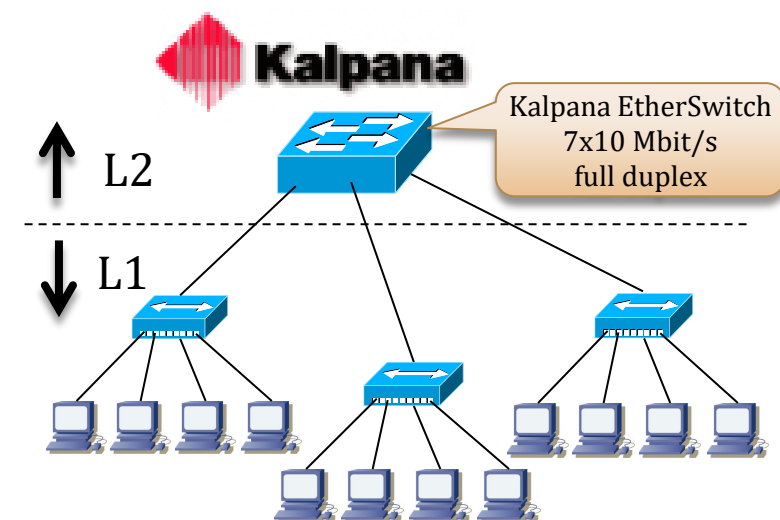
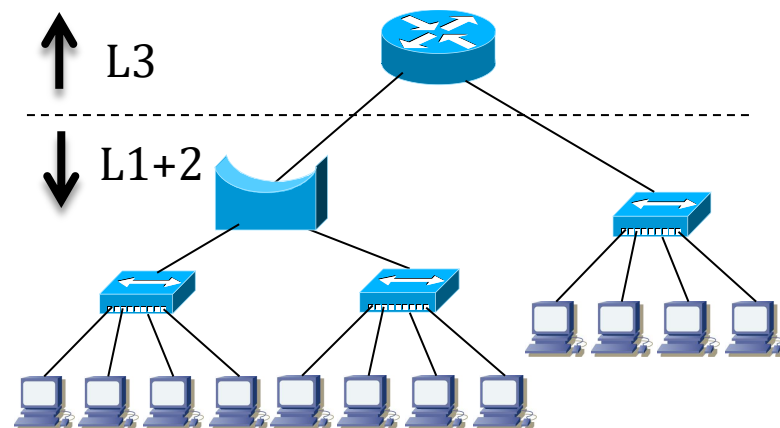
- **připomenutí:**

- rok 1990: je vydán standard 10Base-T
 - ale je stále využíván spíše sdíleným způsobem
 - v rámci velkých sdílených segmentů
 - potřeba zvýšení propustnosti se řeší rozdělením na menší segmenty a jejich propojením na síťové vrstvě, pomocí směrovačů



- firma **Kalpana** (ze Silicon Valley), rok 1990:

- přichází s nápadem zvýšit celkovou propustnost pomocí „akcelérátoru“: efektivnějšího propojení ještě na linkové vrstvě
 - místo až na vrstvě síťové
- pomocí zařízení, které se chová jako most
 - ale je optimalizované na výkon (propustnost)
- nesmí se označovat jako most (bridge) !!
 - nesplňuje definici mostu (bridge) od IEEE
 - funguje na principu cut-through (nikoli store&forward)
- proto: **přepínač (switch)**



jak vznikal stomegabitový Ethernet?

- snahy zrychlit desetimegabitový Ethernet (vytvořit tzv. **Fast Ethernet**) se ubíraly 2 různými cestami:
 - **cesta „beze změn“**
 - snaha zachovat vše
 - včetně nedeterministické přístupové metody
 - metody CSMA/CD
 - včetně formátu rámců, adres atd.
 - a pouze 10x zrychlit přenos
 - zkrátit bitový interval na 1/10
 - neboli:
 - nereflektovat změnu topologie a přechod od sdíleného k vyhrazenému médiu
 - tuto cestu prosazovalo průmyslové sdružení Fast Ethernet Alliance
 - sdružující největší firmy z oboru
 - např. Intel, 3Com, SynOptics, Grand Junction,
 - **cesta „se změnami“**
 - snaha změnit to, co se ukázalo jako překonané
 - zejména: nahradit nedeterministickou přístupovou metodou CSMA/CD metodou řízenou (deterministickou) a centralizovanou
 - metodou Demand Priority
 - neboli:
 - reflektovat změnu topologie a využít vyhrazený charakter kabeláže
 - tuto cestu prosazovala hlavně firma Hewlett Packard
 - ke které se následně přidala i IBM
 - která v tom viděla možnou perspektivu (záchranu) i pro svůj Token Ring
 - proto také pozdější název „.... AnyLAN ...“

Fast Ethernet vs. 100 VG AnyLAN

- standardizační komise IEEE 802.3 dostala oba návrhy k posouzení

- vybrala si návrh „beze změn“

- jeden z důvodů:
 - jméno Ethernet bylo původně chráněnou známkou Xerox-u, proto původní standardy IEEE nemluví o Ethernetu, ale o sítích „s přístupovou metodou CSMA/CD“
 - změna přístupové metody by tak „zrušila“ vazbu na původní Ethernet
- standard IEEE 802.3u byl schválen v červnu 1995
 - je označován také jako **Fast Ethernet** či **100Base-X**

802.3-1985 - IEEE Standards for Local Area Networks: Carrier Sense Multiple Access With Collision Detection (CSMA/CD) Access Method and Physical Layer Specifications

společné označení pro všechny varianty

802.3u-1995 - IEEE Standards for Local and Metropolitan Area Networks

- osud návrhu verze „se změnami“

- byla pro něj vytvořena samostatná nová pracovní skupina
 - IEEE 802.12
- ta přijala řešení „se změnami“ jako standard IEEE 802.12
 - v červnu 1995, a tedy ve stejné době jako Fast Ethernet
- častější označení: **100 VG AnyLAN**

802.12-1995 - IEEE Standards for Local and Metropolitan Area Networks: Demand Priority Access Method, Physical Layer and Repeater Specification for 100 Mb/s Operation

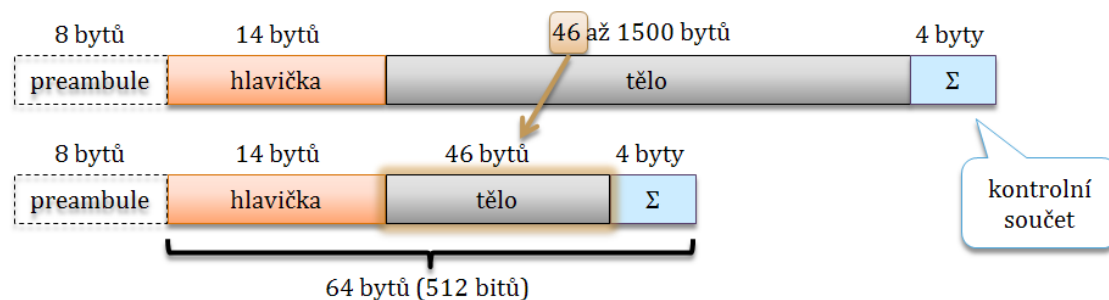
jak se dosáhlo zrychlení?

- **10-násobného zrychlení se dosáhlo:**
 - 10-násobným zkrácením bitového intervalu
 - z 0,1 μ s na 0,01 μ s
 - 10-násobným zkrácením nejkratšího možného odstupu mezi jednotlivými rámci
 - tzv. IFG (Inter Frame Gap) v délce 96 bitů: z 9,6 μ s na 0,96 μ s



- **beze změny zůstal:**

- formát linkového rámce a jeho velikost
 - minimální velikost rámce je stále 64 bytů/512 bitů



- **důsledek:**

- nejmenší linkový rámec se přenese za 1/10 času: 5,12 μ s
 - slot time (časový slot) stále odpovídá 512 bitům, ale zkracuje se z 51,2 μ s na 5,12 μ s
- to má zásadní dopady na velikost kolizní domény a max. délky kabel. segmentů
 - za 5,12 μ s signál „urazí“:
 - po kroucené dvoulince cca 205 metrů
 - po optickém vlákně cca 412 metrů

varianty Fast Ethernetu (100Base-X)

- Ethernet s rychlostí 100 Mbit/s (Fast Ethernet, 100Base-X) může používat různá přenosová média:

- kroucenou dvoulinku kategorie 5:
 - **100Base-TX**
 - využívá jen 2 páry kroucené dvoulinky

prakticky všechny instalace stomegabitového Ethernetu (na kroucené dvoulince) jsou dnes v tomto provedení

- kroucenou dvoulinku kategorie 3:
 - **100Base-T4**
 - využívá 4 páry kroucené dvoulinky
 - **100Base-T2**
 - využívá 2 páry kroucené dvoulinky
 - toto řešení bylo vyvinuto později, neprosadilo se – ale je využito u gigabitového Ethernetu

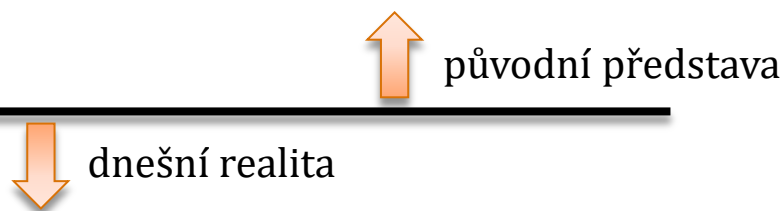
společně se označují jako **100Base-T**

v optice převažuje tato varianta

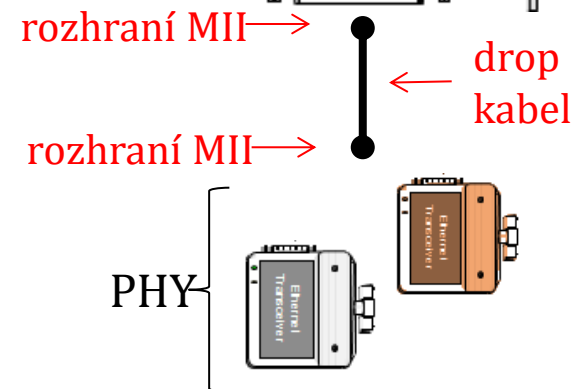
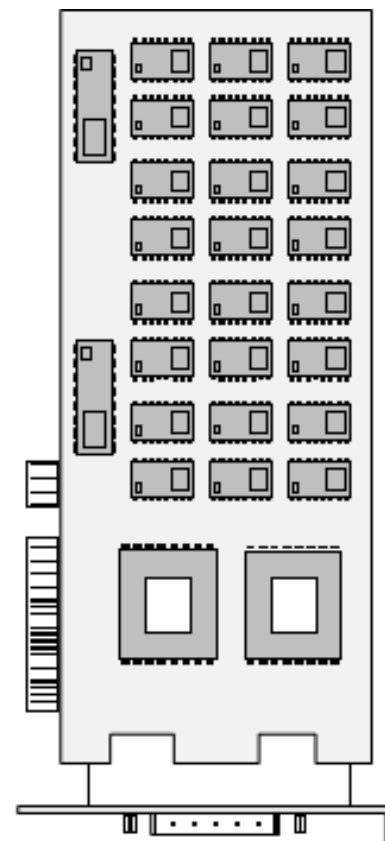
- **mnohovidová optická vlákna:**
 - **100Base-FX**
 - využívá 2 vlákna, každé pro jeden směr
 - max. 412 metrů pro poloduplexní provoz, max. 2 kilometry pro plný duplex
- **jednovidová optická vlákna:**
 - **100Base-BX**
 - využívá 1 jednovidové vlákno
 - pro oba směry, vlnový multiplex
 - max. 10, 20 nebo 40 km !!!
 - **100Base-LX10**
 - využívá 2 jednovidová vlákna, dosah 10 km

fyzická vrstva Fast Ethernetu (PHY)

- je označována jako **PHY**
 - může být implementována samostatně (ve formě transceiveru)
 - a propojena se zbytkem síťové karty přes rozhraní **MII**
 - Media Independent Interface
 - pomocí drop kabelu o délce max. 0,5 metru
 - jde o obdobu řešení v 10Base5, se samostatným transceiverem
 - rozhraní MII je obdobou rozhraní AUI u 10Base5
 - výhodou je možnost kombinovat různé transceivery
 - pro různé varianty přenosového média a kódování



- dnes:
 - transceiver je obvykle integrován přímo na síťové kartě
 - a nelze jej měnit
 - celá síťová karta je určena jen pro jeden druh média a přenosu
 - typicky: jen pro 100Base-TX, nebo jen pro 100Base-FX



jak funguje fyzická vrstva 100Base-TX?

- přenáší data rychlostí 100 Mbit/s

- místo každých 4 bitů vyše 5 bitů (kódování 4B/5B)

- vybírají se kombinace s co nejvíce 1
 - důsledek: rychlost „narůstá“ na 125 Mbit/s

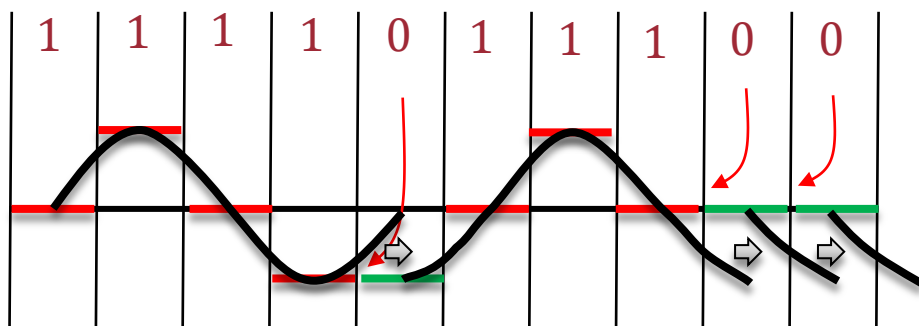
0000 $\xrightarrow{4B/5B}$ 11110

1110 $\xrightarrow{4B/5B}$ 11100

- pro přenos jednotlivých bitů využívá techniku MLT-3

- Multi Level Transition 3

- signál, který přechází mezi 3 různými polohami (+, 0, -) „jako sinusovka“
 - přenos bitu 1: „sinusovka se nechá běžet“
 - přenos bitu 0: „sinusovka se zastaví“



- je to obdoba fázové modulace
 - u které se nejlépe detekují změny

- výhoda:

- je to obdobné, jako kdyby se přenášela skutečná sinusovka o frekvenci $\frac{1}{4}$ ze 125 MHz = 31,25 MHz
 - (nestíněná) kroucená dvoulinka kategorie 5 je dimenzována do 100 MHz
 - 31,25 MHz „snese“ bez problémů

- max. délka souvislého kabelu: **100 m**

- stejně jako u 10Base-T

opakovače ve Fast Ethernetu

- existují 2 typy opakovačů, závislé na způsobu realizace fyzické vrstvy
 - na PHY (100Base-TX vs. 100Base-T4 vs. 100Base-T2 vs. 100Base-FX atd.)
- typ I: „*translational*“
 - dokáže propojovat segmenty s různými PHY
 - protože „překládá“ jednotlivé bity mezi různými způsoby kódování
 - ale způsobuje větší zpoždění
 - „překlad“ trvá déle
 - důsledek:
 - v kolizní doméně smí být maximálně 1 takovýto opakovač
- typ II: „*transparent*“
 - propojuje jen segmenty se stejným PHY
 - “nepřekládá” jednotlivé bity mezi různými způsoby kódování
 - díky tomu způsobuje menší zpoždění
 - důsledek:
 - v kolizní doméně mohou být až 2 takové opakovače



- max. délka pro 100Base-TX:
 - 200 m s jedním opakovačem
 - 205 metrů se 2 opakovači (typu II)

detekce typu kabelu (auto MDIX)

- síťové karty Ethernetu dokáží automaticky detekovat typ kabelu

- rozhraní MDI a MDIX

- je rozhraní na kabelovém konektoru

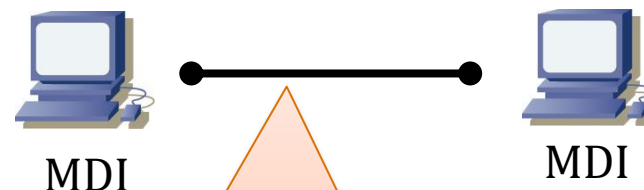
- 8P8C (RJ-45)

- MDI: Media Dependent Interface

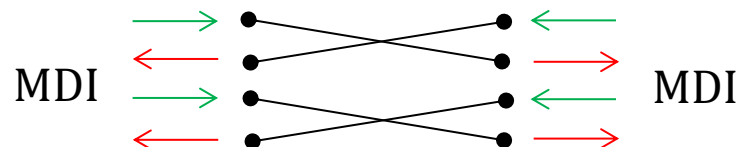
- je „přímé“ rozhraní, které má koncový uzel

- MDIX: MDI crossover

- je „překřížené“ rozhraní, které má rozbočovač



propojuje se pomocí
překříženého kabelu

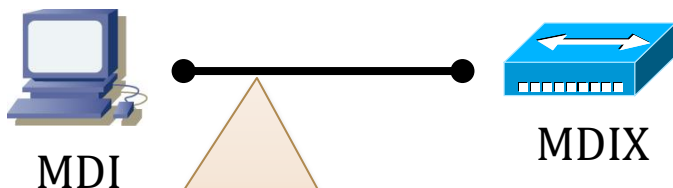


- **auto-MDIX**

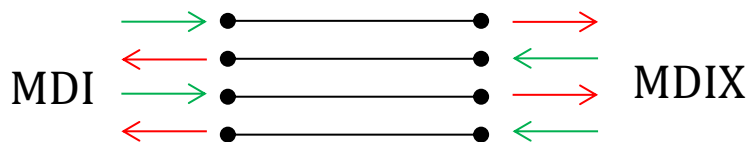
- je řešení, díky kterému síťová karta sama pozná druh kabelu

- a sama vybere mezi MDI a MDIX
 - díky tomu lze použít kterýkoli z obou typů kabelů

- dnes je implementováno všude



propojuje se pomocí „přímého“
(nepřekříženého) kabelu



mechanismy autodetekce

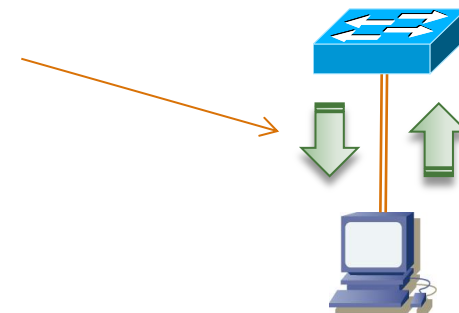
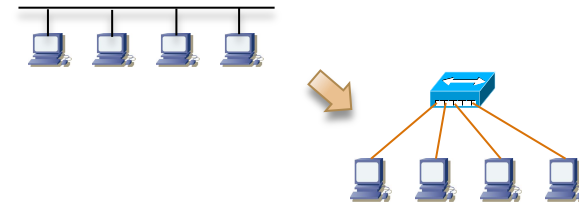
- **Ethernet má mechanismy, které umožňují automaticky detekovat (a „dohodnout se“) na parametrech komunikace (**autonegotiation**):**
 - **přenosové rychlosti: 10 Mbit/s, 100 Mbit/s, 1 Gbit/s atd.**
 - současně slouží i k detekci funkčnosti/přerušení linkového segmentu
 - **polovičním/plném duplexu**
 - **řízení toku (flow control)**
- **detekce rychlosti:**
 - **u 10 Mbit/s: NLP (Normal Link Pulse)**
 - každé zařízení vysílá každých 16 milisekund puls o délce 100 nanosekund
 - přítomnost vypovídá o rychlosti 10 Mbit/s
 - absence představuje přerušení spoje
 - **u 100 Mbit/s a vyšších: FLP (Fast Link Pulse)**
 - dávka 17 až 33 NLP pulsů „na začátku“
 - při zapojení kabelu
 - obsahuje 16-bitové slovo **LCW**
 - **Link Code Word**
 - které popisuje schopnosti koncového uzlu
- **použití:**
 - u 10 a 100 Mbit/s Ethernetu dobrovolné
 - u 1 Gbit/s a vyšších povinné

takovýchto slov (LCW), označovaných někdy jako „stránky“ (pages) může být přeneseno více (např. 1 Gbit/s Ethernet přenáší 3 stránky)

plně duplexní Ethernet

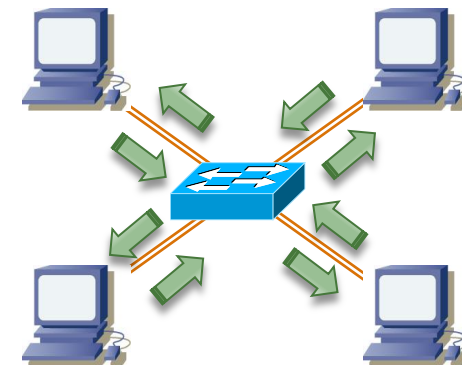
• připomenutí:

- „původní“ Ethernet mohl být (a je) pouze poloduplexní
 - kvůli sdílenému médiu a sběrníkové topologii
- s přechodem na nesdílené přenosové médium (kroucenou dvoulinku) a topologii „do hvězdy / do stromu“ se otevřela možnost pro plně duplexní fungování
 - pro přenos jsou k dispozici 2 páry kroucené dvoulinky
 - a každý může být využit pro samostatný přenos (v jiném směru)
 - tato možnost ale nemusí být využita !!!
 - Fast Ethernet (100 Mbit/s) ji standardně nevyužívá
 - současný přenos po obou párech interpretuje jako kolizi



• princip plně duplexního Ethernetu

- využívá možnosti (současného) přenosu v obou směrech
- důsledky:
 - již nemůže docházet ke kolizím
 - díky možnosti současného přenosu v obou směrech
 - již nepotřebuje přístupovou metodu (CSMA/CD ani jinou)
 - díky tomu odpadají omezení na max. dosah (kolizní domény)

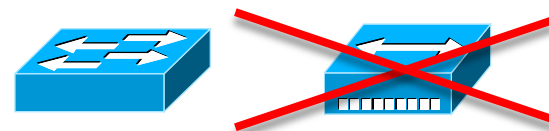


podmínky plně duplexního Ethernetu

- aby Ethernet mohl fungovat plně duplexně, musí být:

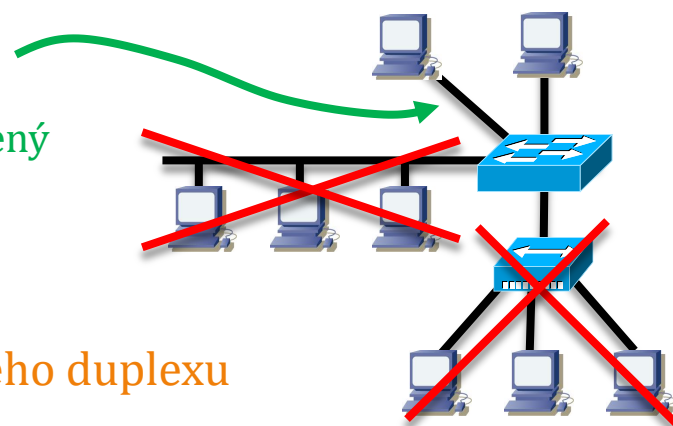
1. použity jen přepínače/switch-e

- přepojovací kapacita přepínače musí být dostatečná
 - nesmí být úzkým hrdlem



2. použita důsledná mikrosegmentace

- žádný segment nesmí být sdílený, každý musí být vyhrazený
 - nesmí být použity žádné opakovače
 - každý segment musí být 2-bodový (Point-to-Point)

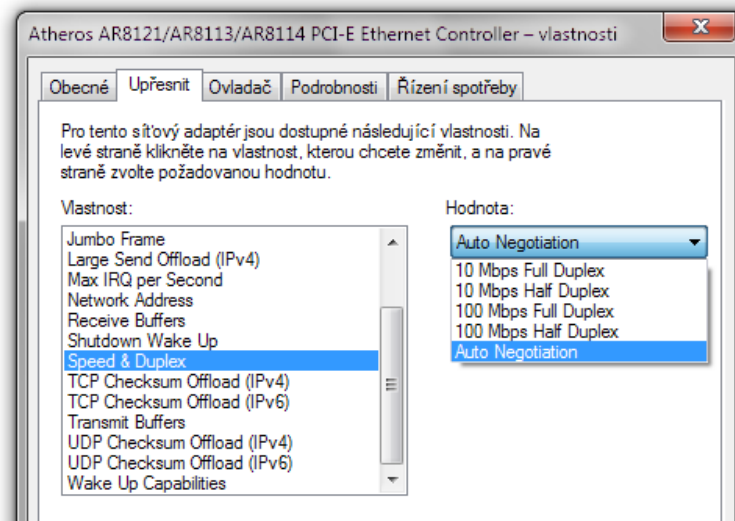


3. všechna síťová rozhraní musí fungovat v režimu plného duplexu

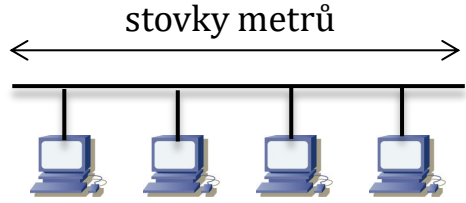
- jak v přepínačích, tak i v koncových uzlech
 - síťové karty se mohou mezi sebou dohodnout
 - pomocí mechanismů autodetekce/autonegotiation

4. přenosové médium (kabeláž) použitelné pro přenos oběma směry současně

- například u 100 Base T4 to neplatí
 - ze 4 párů jsou 3 využívány pro přenos 1 směrem

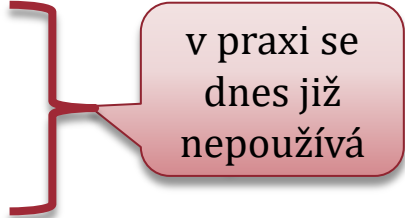


důsledky plně duplexního Ethernetu

- **původní (poloduplexní) Ethernet vznikl jako technologie pro sítě LAN**
 - pro propojování na krátké vzdálenosti (až stovky metrů)
 - hlavním omezením dosahu je přístupová metoda CSMA/CD a způsob jejího fungování
 - potřeba rozšíření kolize během přenosu nejkratšího linkového rámce
- 
- **plně duplexní Ethernet**
 - již nemá (nepotřebuje) přístupovou metodu
 - proto: odpadají striktní omezení, vyplývající z přístupové metody
 - zůstávají pouze omezení, vyplývající z reálných obvodových vlastností přenos. médií
 - jde hlavně o útlum, přímo úměrný délce
 - v praxi: tato omezení nemusí být tak striktní,
 - např. u jednovlákenných optických vláken lze „dosáhnout“ až na desítky kilometrů, pomocí jednoho souvislého (optického) segmentu
 - plně duplexní Ethernet může „dosáhnout“ na výrazně větší vzdálenosti, než Ethernet poloduplexní
 - (plně duplexní) Ethernet přestává být technologií jen pro sítě LAN
 - **stává se technologií použitelnou i v sítích MAN a WAN !!!!**
 - pro páteřní sítě, pro překonání poslední míle apod.

gigabitový Ethernet

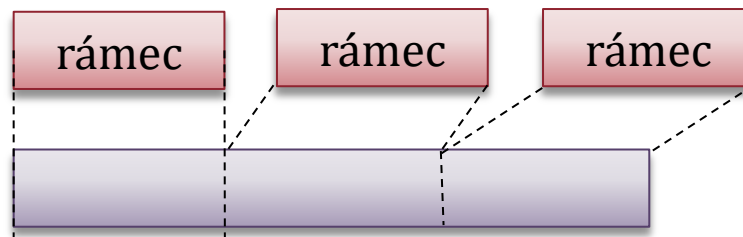
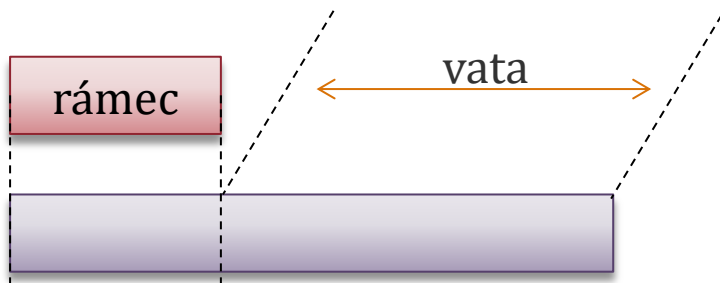
- **potřeba zvýšit celkovou propustnost Ethernetu neskončila se zavedením verze 100 Mbit/s**
 - snahy o zrychlení pokračovaly, dalším krokem byl 1 Gbit/s
- **požadavky, kladené na „rychlejší“ verzi Ethernetu:**
 - poloduplexní i plně duplexní přenos rychlostí 1 Gbit/s
 - použití linkových rámců IEEE 802.3
 - v poloduplexním režimu podpora přístupové metody CSMA/CD a 1 opakovače na kolizní doménu
 - zpětná kompatibilita s technologiemi 10Base-T a 100Base-T
 - s možností, aby uživatelé nadále vystačili s nestíněnou dvoulinkou (UTP) kategorie 5
- **řešení:**
 - **plně duplexní varianta:** už nemusí zachovávat (nepotřebuje) přístupovou metodu CSMA/CD
 - odpadá problém s krátkým dosahem
 - **poloduplexní varianta:** zásadní problém s maximálním dosahem
 - při 10-násobném zrychlení by zkrácení dosahu již bylo neúnosné
 - muselo se zvolit jiné řešení (pro zvětšení dosahu)



v praxi se
dnes již
nepoužívá

carrier extension a frame bursting

- **dosah je u poloduplexního Ethernetu dán velikostí časového slotu (slot time, resp. okénka kolize)**
 - a ten je zase odvozen od minimální velikosti linkového rámce: 512 bitů/64 bytů
 - pro 1 Gbit/s by max. dosah reálně vycházel na cca 25 metrů – neúnosné
 - snahou (u poloduplexního gigabitového Ethernetu) bylo zachovat obdobnou velikost dosahu, jako u Fast Ethernetu / 100Base-T: 2x100 metrů
- **řešením je (efektivně) zvětšit min. velikost linkového rámce, a to 8x**
 - na 512 bytů (4096 bitů)
 - lze toho dosáhnout 2 různými způsoby
- **Carrier Extension**
 - příliš krátký linkový rámec se „vycpe vatou“ na potřebnou velikost
- **Frame Bursting**
 - několik menších rámců se spojí do jednoho většího



varianty gigabitového Ethernetu



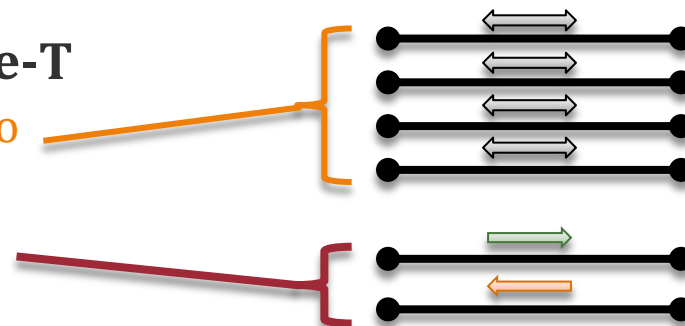
- **první záměr v roce 1995**
 - práce na standardu začaly v roce 1996
 - založeno sdružení Gigabit Ethernet Alliance
- **první standard schválen v červnu 1998**
 - IEEE 802.3z, v praxi označován jako 1000Base-X
 - vyžaduje optická vlákna, nebo stíněnou 2-linku (STP)
 - 1000Base-SX: mnohovidová optická vlákna, dosah 220 až 550 metrů.
 - 1000Base-LX: jednovidová optická vlákna, dosah až 550 metrů
 - 1000Base-CX: stíněná kroucená dvoulinka (STP), dosah až 25 metrů
- **další standard z roku 1999**
 - IEEE 802.3ab, 1000Base-T
 - pro nestíněnou kroucenou dvoulinku (UTP) kategorie 5 nebo vyšší
 - funguje plně duplexně, využívá všechny 4 páry kroucené dvoulinky
- **2004: „Ethernet in the First Mile“**
 - IEEE 802.3ah – pro využití v přístupových sítích, do 10 km
 - 1000Base-LX10, 1000Base-BX10: jednovidové vlákno

} dnes převažuje
v koncových
zařízeních
(pro uživatele)

} řešení pro operátory
alternativa k xDSL

gigabitový Ethernet: 1000Base-T

- **původně vyvinut pro nestíněnou kroucenou dvoulinku kategorie 5**
 - dnes se používá s kategorií 5e
 - která je vylepšením kategorie 5 o větší odolnost proti přeslechům (crosstalk), právě pro potřeby gigabitového Ethernetu
- **vhodnější je používat dvoulinku kategorie 6**
 - která je certifikována pro gigabitový Ethernet
 - pro kratší kabelové segmenty stačí kat. 5e, ale pro delší (do 100 m) je vhodná kat. 6
- **způsob fungování 1000Base-T**
 - využívá 4 páry kroucené dvoulinky současně, rozkládá do nich datový tok
 - používá kódování 8b/10b (efektivně se přenáší 1,25 Gbit/s)
 - pro znázornění jednotlivých bitů je využito 5 různých stavů přenášeného signálu
 - frekvence přenášeného signálu je 31,25 MHz (stejně jako u 100Base-TX !!!)
- **plně duplexní režim fungování 1000Base-T**
 - 4 páry kroucené dvoulinky jsou využívány pro přenos oběma směry - **současně !!!**
 - pro srovnání: 10Base-T i 100Base-TX využívají 2 páry, každý pro přenos jedním směrem



řízení toku v Ethernetu (802.3x)

- **původní předpoklad:**

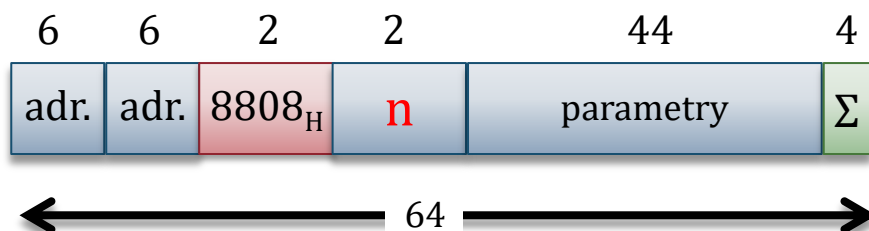
- Ethernet pracuje stylem "best effort"
 - nemá žádné mechanismy pro řízení toku
- Ethernet je málo zatěžován
 - absence řízení toku nevadí

- **dnes:**

- přepínače jsou hodně zatížené
- řízení toku na síťové či transportní vrstvě nestačí
 - není dostatečně efektivní
- vzniká potřeba dodatečného zpracování mechanismů pro řízení toku
 - přímo do (plně duplexního) Ethernetu

- **princip fungování:**

- příliš zatížený přepínač pošle odesilateli dat speciální rámec **PAUSE**
 - parametr: **n**
 - říká, na kolik časových jednotek se má zdroj odmlčet
 - velikost časové jednotky:
 - doba přenosu 512 bitů pro 10-100 Mbit/s
 - doba přenosu 4096 bitů pro 1 Gbit/s
- odesílatel pokračuje v odesílání:
 - až po vypršení n čas. jednotek, nebo
 - po příjmu rámce PAUSE 0
- rámec PAUSE může být poslán
 - jednomu konkrétnímu odesilateli
 - všem odesílatelům (broadcast)
 - na speciální multicastovou adresu 01-80-C2-00-00-01
 - neprochází dál přes mosty/přepínače !!!!



Power over Ethernet (PoE)

- **k Ethernetu jsou často připojována zařízení s malým příkonem**
 - ale s nutností zajistit jejich napájení (z baterie nebo ze sítě), v místě jejich výskytu
 - například: kamery, VOIP telefony, WiFi AP,



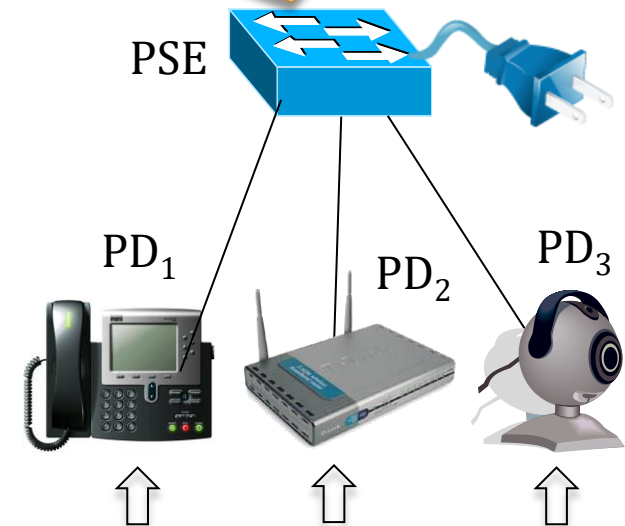
- **záměr:**

- zajistit jejich napájení „ze sítě“ (po Ethernetu), a to „na dálku“

- **princip řešení:**

- zdroj napájení je (nejčastěji) Ethernetový přepínač
 - obecně: Power Sourcing Equipment (PSE)
- napájené zařízení je tomu uzpůsobeno
 - obecně: Powered Device (PD)
- množství energie je omezeno
 - na relativně malý (neškodný) výkon
- pro přenos energie se využívají:
 - volné páry kroucené dvoulinky (nevyužité pro přenos)
 - nebo i páry využité pro datový přenos
 - s oddělením signálu od napájecího napětí

musí se chovat inteligentně, aby nepoškodilo zařízení nepodporující PoE



typicky: 3-6 W 4-11 W 5-12 W

Power over Ethernet (PoE)

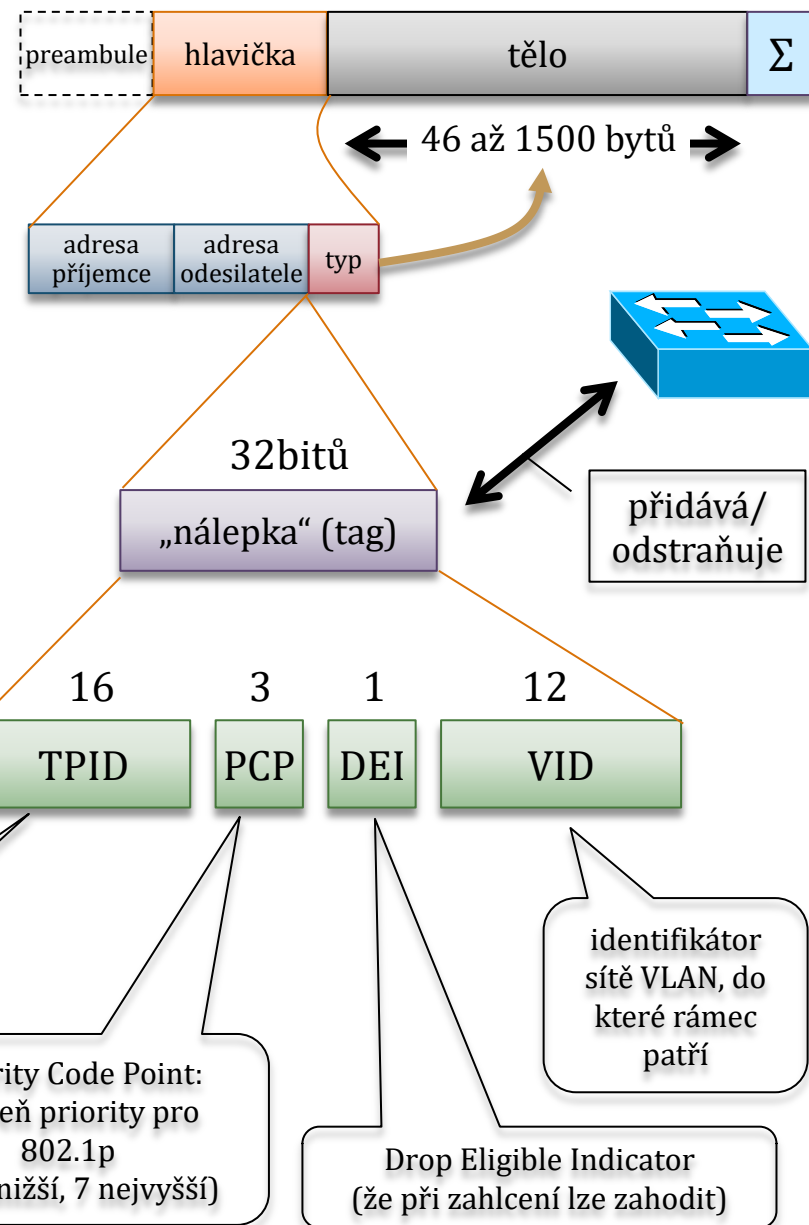
- **standard IEEE 802.3af-2003**
 - max. 15,4 W (44V x 0,35A) z PSE, max. 12,95 W dostává napájené zařízení (PD)
- **standard IEEE 802.3at-2009 (PoE+, PoE Plus)**
 - max. 25,5W z PSA
- **napájející zařízení (PSE) nesmí poškodit takové koncové zařízení, které nepodporuje PoE (není PD)**
 - aby PSE usoudilo, že „na druhém konci“ je zařízení PD podporující PoE, musí na kabelu naměřit impedanci cca 25 k Ω a kapacitu cca 150 nF
 - přesný rozsah hodnot určuje standard 802.3ad
 - navíc dochází k řízenému dialogu mezi PSE a PD
 - vzájemné domluvě na požadovaném příkonu a napětí pro PD
- **pasivní provedení PoE:**
 - injektor: „injektuje“ do vedení napájecí napětí
 - splitter: odděluje napájení od datového signálu

USB: max. 2,5W na 5 m
FireWire: max. 45W na 4,5 m



podpora VLAN a QoS v Ethernetu

- **standard IEEE 802.1Q-2005/2011**
 - definuje podporu pro síť VLAN v Ethernetu
- **princip:**
 - do jednotlivých rámců se vkládají „nálepky“ (labels), které definují příslušnost k síti VLAN
 - „nálepky“ přidávají / odstraňují až přepínače
 - koncové uzly nemusí nálepky podporovat
- **další možnost využití (IEEE 802.1p)**
 - součástí nálepky jsou i 3 bity, umožňující vyjádřit prioritu rámce
 - slouží k podpoře QoS v Ethernetu,
 - fungující na principu prioritizace
 - proto: CoS (Classes of Service)



802.1p není standardem IEEE, ve skutečnosti jde o součást IEEE 802.1Q

- **Ethernet 10 Gbit/s (poprvé) definován v IEEE 802.3ae-2002**

- funguje již pouze plně duplexně
 - nemá poloduplexní variantu, nemá opakovače, nemá přístupovou metodu CSMA/CD
- podporuje kroucenou dvoulinku, optická vlákna i tzv. backplane
 - má celou řadu různých variant pro různé druhy kabeláže (PHY)
 - backplane: řešení pro „zabudování“ do aktivních prvků
 - např. směrovačů, prepínačů atd.
- příklad:
 - **10GBase-T (IEEE 802.3an-2006)**
 - kroucená dvoulinka kategorie 6:
 - max. dosah 55 metrů
 - kroucená dvoulinka kat. 6a nebo 7:
 - dosah až 100 metrů

- **Ethernet 40 a 100 Gbit/s**

- práce na vývoji začaly v roce 2007
- poprvé:
 - je připravována rychlost, která není 10-násobkem
- záměr:
 - 40 Gbit/s je pro propojování serverů na krátkou vzdálenost
 - 100 Gbit/s je pro pátevní spoje na větší vzdálenosti
- první standard: IEEE 802.3ba-2010
 - 40 Gbit/s na 1 m v backplane
 - 40 Gbit/s a 100 Gbit/s na 7 metrů
 - po 4/10 párech kroucené dvoulinky
 - 40 Gbit/s a 100 Gbit/s až na 10 km
 - po jednovidovém optickém vlákně
- další standard: 802.3bj - 2014
 - 100 Gbit/s až na 5 m po měděném twinax kabelu
 - 100 Gbit/s v rámci backplane

další krok bude 400 Gbit/s