

3 LOKÁLNE SIETE

Ciele

- Pochopiť význam pojmu „lokálna sieť“,
- pochopiť vzťah lokálnej siete a referenčného modelu ISO/OSI,
- pochopiť princíp činnosti LAN Ethernet,
- oboznámiť sa so štandardmi LAN Ethernet,
- pochopiť princíp činnosti LAN Token Ring.

3.1 Úvod

Na vzájomné prepojenie viacerých miest, nazývaných *uzly* sa používajú *lokálne počítačové siete* (LAN - Local Area Networks). Umožňujú komunikáciu „každého s každým“.

Lokálna sieť je sieť určená na *prenos údajov*, ktorá sa nachádza v *prostredí užívateľa*, v *obmedzenej geografickej oblasti*.

Prenášané údaje reprezentujú ľubovoľnú informáciu vyjadrenú číslícovo (čísla, text, zvuk, obraz, ...). Lokálna sieť spája *obmedzený počet* počítačov, alebo iných zariadení, napríklad: v rámci budovy, firmy, prevádzky. Prepájaním lokálnych sietí je možné vytvárať rozsiahlejšie siete.

Rozmery lokálnej siete nie sú obmedzené potrebami používateľa, ale teoretickými vlastnosťami prístupových metód, ktoré lokálne siete používajú.

Ak vyjadríme *rozľahlosť siete* numericky, môžeme ju definovať ako pomer a medzi oneskorením signálu τ^1 a strednou dobou potrebnou na vyslanie jednej správy t_0 pri danej prenosovej rýchlosti.

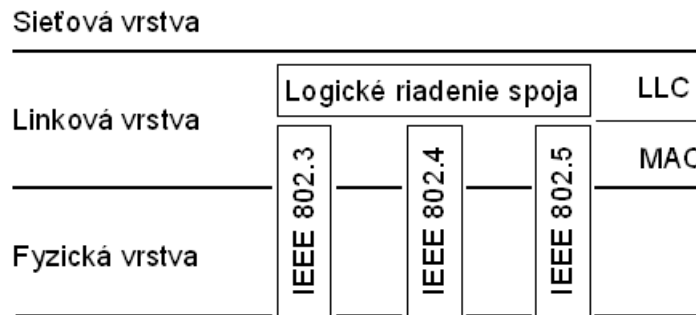
$$a = \frac{\tau}{t_0} ; [s] \quad (3.1)$$

Pre siete, ktoré sa označujú ako *rozľahlé*, platí $a > 1$. Siete, ktoré budeme označovať ako *lokálne*, majú $a < 1$. Prenosové médium je v danom okamihu využité na prenos jedinej správy. V rozľahlých sieťach je možné využiť prenosové médium na prenos viacerých správ súčasne.

¹ Ide o maximálne oneskorenie signálu medzi ľubovoľnými dvoma uzlami siete – čiže medzi vzájomne najvzdialenejšími uzlami.

3.2 Postavenie lokálnych sietí v referenčnom modeli ISO/OSI

LAN pokrývajú spodné dve vrstvy modelu OSI. Linková vrstva je rozdelená na dve podvrstvy: *riadenie prístupu na médium* (MAC - Medium Access Control), čo je reálne rozhranie na fyzické médium, a *logické riadenie spoja* (LLC - Logical Link Control), ktorá je zodpovedná za koordináciu prístupu na sieť (detekcia chýb, riadenie toku údajov). Úlohou podvrstvy MAC je realizovať algoritmus prístupu na médium - *prístupovú metódu*, t.j. zabezpečiť bezkolízny prístup na prenosové médium.



Obr.3.1 Architektúra štandardov LAN

Koncepcia je ilustrovaná na Obr.3.1. Fyzické médium môže byť to isté pre rôzne typy LAN (napríklad koaxiálny kábel, krútená dvojlinka, atď.). Signály, typ modulácie a protokol prístupu na médium sa pri rôznych LAN líšia. A nakoniec, vyššie riadenie činnosti LAN je opäť to isté. V LLC a vyšších vrstvách nie je dôležité vedieť, ktorý typ LAN je používaný.

3.3 Topológie lokálnych sietí

Ak je prostredníctvom LAN prepojených niekoľko uzlov, je možných viacero topológií, t.j. možností prepojenia. Dva uzly možno vzájomne prepojiť buď priamo, alebo prostredníctvom ďalších jednotiek, ktoré údaje postupne odovzdávajú až do miesta určenia. Topológia a rozvrhnutie komunikačných kanálov závisí od niekoľkých faktorov, napr. od typu prevádzky, vzdialenosti medzi uzlami, od typu porúch ovplyvňujúcich prenosový kanál a želanú prenosovú rýchlosť, od požadovanej priechodnosti a spoľahlivosti prenosu údajov. Pri voľbe topológie siete je dôležité zvoliť takú štruktúru, ktorá zaručí účinný prenos údajov od zdroja k cieľu a zabezpečí redundantnú cestu v prípade, keď sa priama cesta preruší.

Nižšie uvedené topológie vychádzajú zo signálovej (napr. elektrickej) topológie, teda zo spôsobu vzájomného prepojenia staníc. Z hľadiska vlastností siete má však veľký vplyv aj *fyzická topológia* (spôsob vedenia prenosového média) a *logická topológia* (metóda spolupráce staníc).

Zbernica

Základným prvkom LAN so zbernicovou topológiou je úsek prenosového média - zbernica, ku ktorej sú odbočkami pripojené uzly siete. Prepojenie uzlov siete pomocou zbernice je naznačené na Obr.3.2. Prenosovým médium je najčastejšie krútená dvojlinka, alebo koaxiálny kábel. Vlastnosti LAN so zbernicovou topológiou:

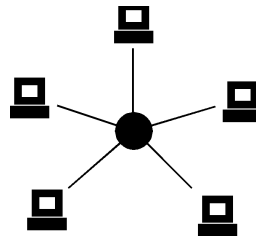
pasívne médium, jednoduché pripájanie staníc k médiu, odolnosť voči výpadkom staníc.



Obr.3.2 LAN s topológiou „Zbernica“

Hviezda

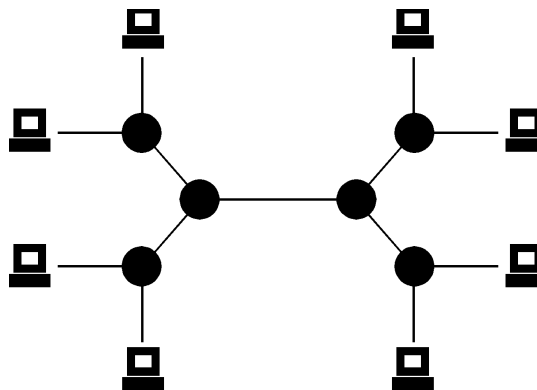
Uzly sú pripojené k centrálnemu uzlu samostatnými linkami. Centrálny uzol (hub) signál z jedného uzla rozdeľuje do ostatných uzlov. V LAN s hviezdicovou topológiou je možné jednoducho realizovať dvojbodový spoj medzi vonkajším a centrálnym uzlom, sieť je odolná voči výpadkom vonkajších uzlov a liniek. Nevýhodou je citlivosť na poruchu centrálného uzla.



Obr.3.3 LAN s topológiou „Hviezda“

Strom

Stromová topológia je prirodzeným rozšírením topológie typu „Hviezda“. Vlastnosti LAN vyplývajúce zo stromovej topológie: odolnosť voči výpadkom vonkajších uzlov a liniek, citlivosť na výpadky centrálnych uzlov, jednoduchá rozširiteľnosť, dvojbodové spoje.

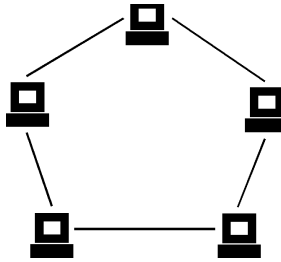


Obr.3.4 LAN so stromovou topológiou

Kruh

Pri kruhových sieťach sú komunikujúce uzly siete prepojené spojmi, ktoré sú využívané len jednosmerne. Signál vyslaný jednou stanicou je postupne odovzdávaný ostatným stanicam kruhu a po obehu kruhom sa vracia ku stanici, ktorá ho vyslala. Vlastnosti LAN vyplývajúce z kruhovej topológie sú nasledovné: dvojbodové jednosmerné spoje je možné ľahko realizovať aj pomocou optických káblov, v sieti je

možné kombinovať rôzne prenosové médiá (pre krátke spoje elektrické káble, pre dlhé spoje svetlovody), sieť je citlivá na výpadok ľubovoľného uzla.



Obr.3.5 LAN s kruhovou topológiou

3.4 Ethernet

V oblasti počítačových sietí sa objavilo množstvo rôznych prenosových technológií, založených na rôznych myšlienkach a základných predpokladoch, využívajúcich pre svoju funkciu rôzne prístupy a metódy. Najúspešnejšia však bola a je technológia Ethernetu.

Prvú verziu siete s názvom Ethernet zaviedla firma Xerox v roku 1973. V roku 1980 firmy Xerox, DEC a Intel vytvorili novú verziu tejto siete pod názvom DIX Ethernet. Tieto tri firmy predložili návrh špecifikácií DIX Ethernet-u pracovnej skupine IEEE 802 spoločnosti IEEE (konkrétne podskupine 802.3).

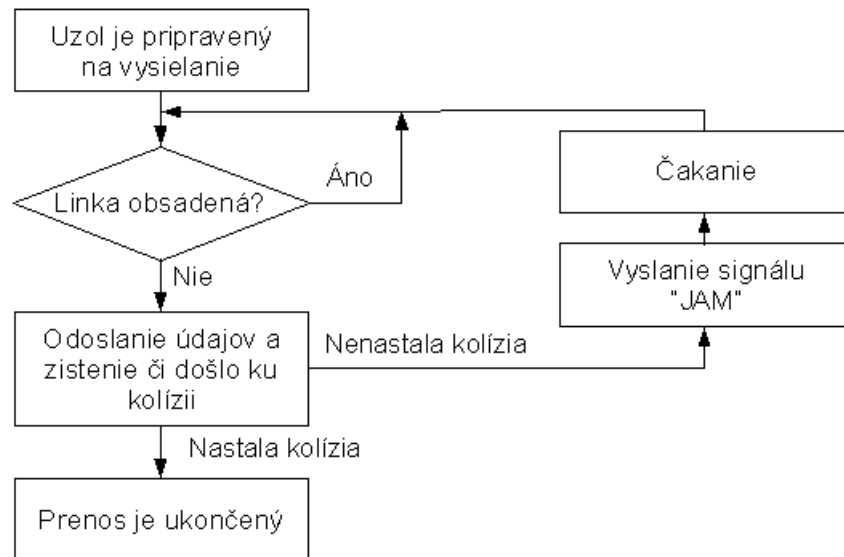
Ďalší vývoj Ethernet-u sa odohrával výlučne na pôde IEEE a jej komisie 802.3, ktorá rozhodovala o štandardizácii konkrétnych riešení vytvorených rôznymi firmami a spoločnosťami. Vďaka tomu boli postupne štandardizované riešenia Ethernetu realizované s využitím tenkého koaxiálneho kábla (pôvodne sa využíval hrubý koaxiálny kábel), krútenej dvojlinky a bezdrôtový Ethernet.

3.4.1 Prístupová metóda LAN Ethernet

Prístupová metóda Ethernet-u vychádza zo spôsobu prepojenia uzlov (staníc) siete. Staršie verzie Ethernet-u predpokladali zbernicovú topológiu siete (viď Obr.3.2) s možnosťou poloduplexného prenosu (t.j. nie je možné prijímať údaje a zároveň vysielat' iné údaje). Jednotlivé stanice (uzly) boli v tomto prípade prepojené pomocou koaxiálneho kábla.

Prístupová metóda sa nazýva **CSMA/CD** (Carrier-sensing Multiple Access/Collision Detection). Jednotky sa nezávisle rozhodujú, kedy pristúpia na linku a začnú vysielat'. Treba len skontrolovať, či neprebíha nejaký iný prenos a ak je linka voľná, možno začat' nový prenos. Vysielajúca jednotka priebežne kontroluje kvalitu svojho signálu na linke tak, že prijíma to, čo sama vysielala. Ak by niektorá z ostatných jednotiek, taktiež zistila, že kanál je voľný a pokúsi sa v tom istom okamihu vysielat', potom by obe jednotky zistili, že ich signály sú deformované. Hneď na to by mali obe jednotky zastavit' vysielanie. Treba zabezpečiť, aby všetky jednotky spoľahlivo zaregistrovali, že došlo ku kolízii. Preto vysielajúce uzly hneď po prerušení vysielania správy vyšlú na linku krátky výrazný signál („jam“), ktorý utvrdí výskyt kolízie po celej dĺžke siete

a preto ho môže zaregistrovať každý uzol siete. Princíp prístupovej metódy CSMA/CD je znázornený na Obr.3.6.



Obr.3.6 Princíp prístupovej metódy CSMA/CD

Čas, potrebný na to, aby elektrický signál prešiel po celej maximálnej dĺžke, je $51,2 \mu\text{s}$. V terminológii Ethernet sa táto doba nazýva čas slotu. Ak vysielajúca jednotka počas prvého slotu nezaregistruje kolíziu, potom je prenos korektný. Ak po detekcii kolízie majú čakať dve jednotky, potom skôr, ako sa pokúsia o nový prenos, čakajú náhodne zvolenú periódu rovnú 0 alebo jednonásobku času slotu. Pravdepodobnosť opätovnej kolízie je teraz 50%. Ak sa kolízia vyskytne znovu, potom sa rozsah, z ktorého sa náhodne volí perióda čakania, zvyšuje dvakrát, na 0-1-2, potom 0-1-2-3-4 sloty atď., až do maximálne 0 až 1023 slotov. V prípade, že sa kolízia vyskytuje naďalej, jednotky usúdia, že problém má iný pôvod a ohlásia túto situáciu vyšším vrstvám.

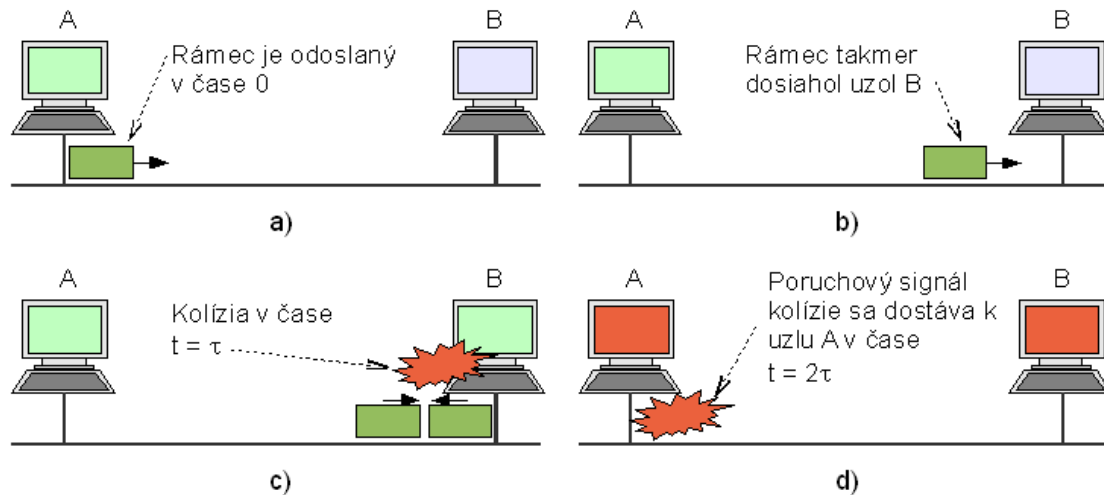
Kolízna doména

Pre správnu činnosť lokálnej siete je potrebné zaručiť, aby bola splnená podmienka (3.1) pre všetky prenášané správy. Prenášanou údajovou jednotkou lokálnej siete (nielen Ethernetu) je rámec. Podmienka (3.1) musí byť splnená aj pre rámec s minimálnou možnou dĺžkou. Ako vieme, minimálna dĺžka rámca v sieti Ethernet je 512 bitov (64 bajtov). To znamená, že rozsah LAN musí byť menší ako vzdialenosť do ktorej sa dostane signál prvého bitu rámca za čas potrebný na prenos celého rámca (pri danej prenosovej rýchlosti). Ako uvidíme, rozsah LAN musí byť menší ako jedna polovica tejto vzdialenosti. Dôvod prečo je to tak, je vysvetlený na Obr.3.7.

Predpokladajme, že v čase $t = 0$, začne uzol A vysielat' rámec, určený ľubovoľnému uzlu na sieti (nemusí ísť o uzol B) – vid' Obr.3.7 a). Rámec sa začne šíriť prenosovým médiom obmedzenou rýchlosťou. Uzol B prijíma signály z prenosového média a rozhodne sa tiež odoslať rámec. Pretože signál prvého bitu rámca z uzla A ešte

² Táto hodnota platí pre Ethernet s prenosovou rýchlosťou 10 Mbit/s. Čas slotu je vypočítaný tak, aby vzhľadom ku konečnej rýchlosti šírenia signálu a maximálnej možnej dobe počas ktorej sa signál šíri, mal každý uzol možnosť zaregistrovať kolíziu najneskôr do doby potrebnej na prenos 64 bajtov (512 bitov), čo je minimálna dĺžka rámca.

nedorazil k uzlu B, uzol B začne vysielat' svoj rámec. V čase $t = \tau$ dôjde ku kolízii prvých bitov rámcov vyslaných uzlami A a B.



Obr.3.7 Vznik kolízie v LAN Ethernet

Dôjde k skresleniu signálu na prenosovom médiu a tento skreslený signál sa začne šíriť k uzlu A aj uzlu B. Po čase $t = \tau$ od odoslania prvého bitu rámca uzla A, dorazí kolízny signál k uzlu A. Tento signál *musí* uzol A zaregistrovať ešte pred ukončením vysielania rámca, ktorého sa kolízia týka, pretože inak by uzol A nezistil, že došlo ku kolízii pri prenose jeho rámca.

Z vyššie uvedeného vyplýva, že *detekcia kolízie môže trvať až dvojnásobok času potrebného na prenos signálu z jedného konca siete na druhý*. Toto celkové oneskorenie definuje maximálny rozsah siete Ethernet, alebo *kolíznu doménu*. Maximálny rozsah siete Ethernet a je určený vzťahom (3.2).

$$a = \frac{1}{2} \cdot T_{bit} \cdot N_{min} \cdot v_{sig} \quad ; \quad t_{bit} = \frac{1}{R_{net}} \quad ; \quad [m, s, m/s, bps] \quad (3.2)$$

kde je:

T_{bit} - doba prenosu jedného bitu,

N_{min} - počet bitov rámca s minimálnou dĺžkou,

v_{sig} - rýchlosť šírenia signálu prenosovým médiom³,

R_{net} - prenosová rýchlosť.

Kolízna doména je teda oblasť počítačovej siete, v ktorej môžu prenášané správy navzájom kolidovať. Je tvorená skupinou uzlov LAN, ktoré súperia o prístup na prenosové médium. *Rozsah kolíznej domény* v LAN Ethernet udáva vzťah (3.2).

Nevýhodou sietí na báze CSMA/CD je, že pravdepodobnosť kolízie sa zvyšuje počtom pripojených jednotiek, úrovňou aktivity na sieti ako aj dĺžkou linky. Ak rastie počet kolízií, rastie aj čas stratený pokusmi o prístup na prenosové médium. To v praxi znamená, že nemožno stanoviť horné obmedzenie doby potrebnej na prístup k médiu a na prenos správy. Inými slovami, *sieť je nedeterministická*. Je to vážny nedostatok v priemyslových aplikáciách reálneho času, kde je nutné vopred presne poznať najnepriaznivejšie pracovné podmienky.

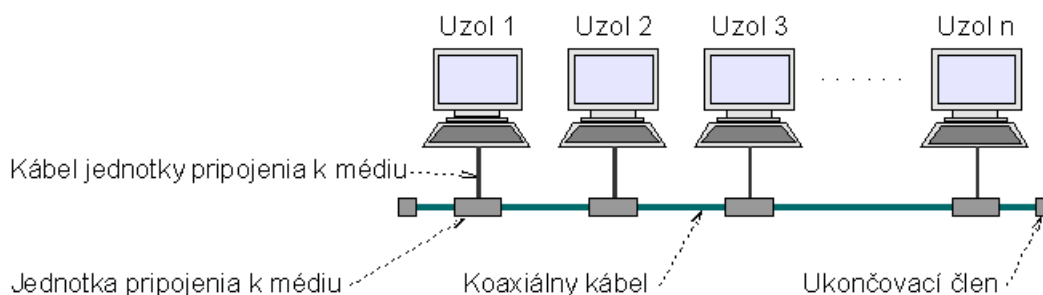
³ Napríklad pre káble Ethernet kategórie Cat5 platí: $v_{sig} = 0,68 c$ (c – rýchlosť svetla vo vákuu)

3.4.2 Štandardy LAN Ethernet

Ethernet bol pôvodne vyvinutý pre jeden druh koaxiálneho kábla, ktorý sa dnes označuje ako tzv. hrubý koaxiálny kábel, s prenosovou rýchlosťou 10 Mbit/s. Časom bol Ethernet upravený tak, aby dokázal fungovať aj s inými prenosovými médiami a vyššou prenosovou rýchlosťou.

Ethernet 10Base5

Využíva ako prenosové médium hrubý koaxiálny kábel (s priemerom približne 10 mm), na ktorý sú pripojené jednotlivé uzly pomocou jednotky pripojenia k médiu (MAU – Media Attachment Unit). Topológia siete Ethernet 10Base5⁴ je uvedená na Obr.3.8.



Obr.3.8 Segment siete Ethernet 10Base5

V mieste pripojenia uzla na zbernicu sa koaxiálny kábel preruší a následne prepojí pomocou jednotky pripojenia k médiu, pomocou ktorej sa na zbernicu pripojí koncový uzel prostredníctvom kábla jednotky pripojenia k médiu s dĺžkou max. 50 m. Maximálna dĺžka zbernice (koaxiálneho kábla) je 500 m, prenosová rýchlosť: 10 Mbit/s, min. vzdialenosť medzi dvoma uzlami (medzi dvoma jednotkami pripojenia k médiu): 2,5 m, maximálny počet uzlov v jednom segmente: 100.

Ethernet 10Base2

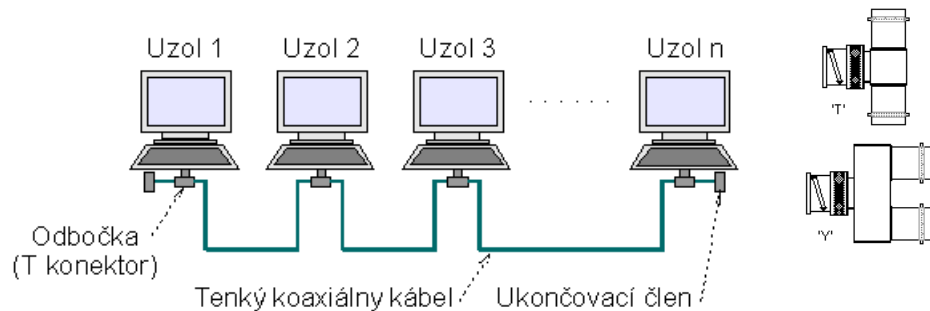
Odlišnosti verzie Ethernetu 10Base2 voči verzii 10Base5 sa vyskytujú na úrovni fyzickej vrstvy v dôsledku použitia tenkého koaxiálneho kábla ako prenosového média (priemer kábla je 5 mm). Zmenšila sa maximálna dĺžka segmentu na 185 m, na jeden segment je možné pripojiť maximálne 30 uzlov, s minimálnou vzdialenosťou medzi uzlami 2,5 m. Prenosová rýchlosť je rovnaká ako vo vyššie uvedenej verzii siete Ethernet: 10 Mbit/s.

Odlišný je aj spôsob pripájania uzlov na sieť. V prípade hrubého koaxiálneho kábla (10Base5) sa obvody zabezpečujúce vysielanie na zbernicu a príjem údajov zo zbernice nachádzali v jednotke pripojenia k médiu. Medzi jednotkou pripojenia k médiu a koncovým uzlom mohla byť vzdialenosť až 50 m.

V prípade použitia tenkého koaxiálneho kábla (10Base2) sa obvody na vysielanie a príjem nachádzajú na sieťovej karte (sieťovom adaptéri) koncového uzla. Následkom toho vodič zbernice (tenký koaxiálny kábel) je nutné priviesť až priamo k sieťovej karte uzla a tu na ňom urobiť odbočku pre pripojenie sieťovej karty⁵. V praxi ide

⁴Vysvetlenie označenia 10Base5: „10“ znamená prenosovú rýchlosť v Mbit/s; „Base“ vyjadruje skutočnosť, že prenos údajov prebieha v základnom pásme (údaje sa prenášajú v číslicovom tvare pomocou vhodného typu kódovania); „5“ vyjadruje maximálnu dĺžku segmentu v stovkách metrov.

spravidla o slučku kábla, ktorý je potrebné priviesť k sieťovej karte a späť. Potrebnou vytvárať takéto slučky sa znižuje efektívny dosah tenkého koaxiálneho kábla.

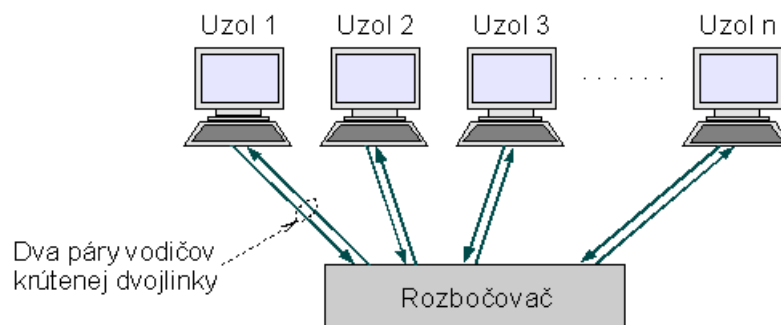


Obr.3.9 Segment siete Ethernet 10Base2, „T“ a „Y“ konektor

Ethernet 10BaseT

Vznikol na základe snahy využiť ako prenosové médium krútenú dvojlinku. Zásadným a principiálnym rozdielom medzi koaxiálnym káblom a káblom z krútenej dvojlinky je skutočnosť, že na koaxiálnom kábli je možné vytvárať odbočky, čo však nie je možné v prípade krútenej dvojlinky. Koaxiálny kábel vedie teda na zbernicovú topológiu, zatiaľ čo v prípade použitia krútenej dvojlinky takáto topológia nie je možná.

Namiesto odbočiek priamo na kábli sa potrebné „rozbočenie“ realizuje elektronicky. Každý súvislý úsek krútenej dvojlinky je možné použiť len ako dvojbodový spoj, takže jeden jeho koniec môže ústiť v koncovom uzle, kým druhý koniec ústi do elektronických obvodov, ktoré zabezpečujú potrebné rozbočenie. Tieto obvody sa nachádzajú v module, ktorý sa nazýva *rozbočovač* (hub).



Obr.3.10 Prepojenie uzlov v sieti Ethernet 10BaseT

Vo všeobecnosti rozbočovač môže prepojiť jednotlivé uzly na princípe opakovača, mosta, alebo smerovača (t.j. na úrovni fyzickej, linkovej, alebo sieťovej vrstvy modelu OSI). V prípade Ethernetu 10BaseT rozbočovač funguje ako opakovač a kompletnú prevádzku z jedného segmentu opakuje do všetkých ostatných segmentov.

Vzhľadom k dvojbodovému charakteru pripojenia uzla k rozbočovaču je zrejmé, že závada na jednom kábli nemusí vôbec ovplyvniť prevádzku na ostatných kábloch - príslušné obvody v rozbočovači poškodenú vetvu logicky i fyzicky odpoja.

Štandard 10BaseT sa od predchádzajúcich verzií Ethernetu odlišuje len použitou kabelážou (typom kábla a spôsobom prepojenia). Rovnaká zostáva prístupová metóda

⁵ Pre vytváranie odbočiek na tenkom koaxiálnom kábli sa zvyčajne používajú špeciálne konektory, tzv. BNC konektory. Majú tvar písmena T, alebo Y.

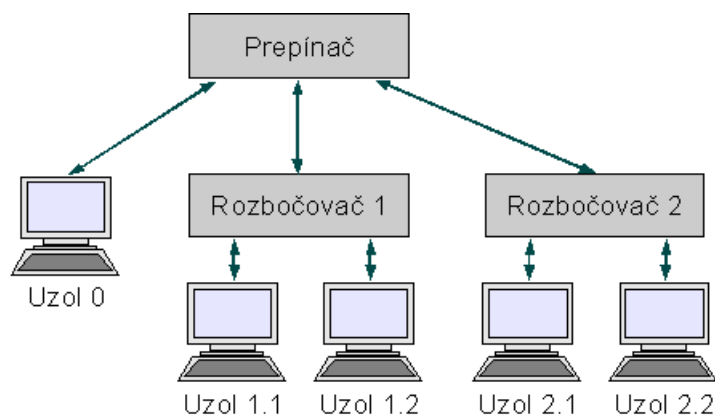
(CSMA/CD) aj formát rámcov na úrovni linkovej vrstvy. (So zmenou kabeláže a jej konkrétnym využitím však súvisia niektoré zmeny na úrovni fyzickej vrstvy.)

Každá prípojka každého uzla je tvorená dvomi párami krútenej dvojlinky, ktoré sa využívajú v poloduplexnom režime (t.j. jeden pár na vysielanie a druhý na príjem). Za štandardných okolností (tzn. bez kolízií) by nemalo dochádzať k tomu, že sa prenášajú údaje súčasne týmito dvomi párami vodičov. Ak dôjde ku kolízii, je signalizovaná práve tým, že sú prenášané údaje oboma smermi.

Prepínaný Ethernet (Switched Ethernet)

Prepínaný Ethernet vznikol na základe snahy oddeliť od seba príliš zaťažené segmenty siete. Oddelenie je realizované pomocou tzv. prepínača (switch), ktorý pracuje na úrovni linkovej vrstvy modelu OSI (presnejšie na úrovni podvrstvy MAC).

Prepínač po prijatí rámca, zisťuje adresu cieľového uzla, na základe ktorej odošle rámec príslušným smerom (na príslušný komunikačný port). Okrem toho prepínač overuje správnosť prenášaných rámcov.



Obr.3.11 Prepojenie segmentov siete Ethernet pomocou prepínača

Na Obr.3.11 je uvedený príklad prepojenia dvoch segmentov siete a samostatného uzla („Uzol 0“). V prípade, že „Uzol 0“ vyšle informáciu do uzla 2.1, prepínač túto informáciu odošle len do rozbočovača 2, ktorý ju následne vyšle do uzlov 2.1 a 2.2. Uzly 1.1 a 1.2 môžu súčasne komunikovať medzi sebou.

Prepínaný Ethernet si nevyžaduje špeciálnu kabeláž ani úpravy protokolov. Je možné využiť existujúcu sieť, v ktorej sa jednotlivé segmenty neprepoja rozbočovačmi (alebo opakovačmi), ale prepínačom.

Izochrónny Ethernet (IsoNet)

Vzhľadom k nedeterministickej povahe prístupovej metódy CSMA/CD nie je Ethernet schopný žiadnemu uzlu zaručiť, že bude môcť vysielat'. Nedokáže ani zabezpečiť pravidelnosť prenosov, alebo rezervovať konkrétnu prenosovú kapacitu. Pre použitie v reálnom čase (napr. na prenos hlasu, alebo obrazu) je to však nutné.

Izochrónny Ethernet zlučuje Ethernet 10BaseT a ISDN v jednej prenosovej štruktúre. Celková prenosová kapacita siete IsoNet je 16,144 Mbit/s a na princípe časového multiplexu je rozdelená na jeden kanál s prenosovou rýchlosťou 10Mbit/s (zabezpečuje komunikáciu s ostatnými uzlami pomocou prístupovej metódy CSMA/CD), 96 kanálov ISDN typu B s prenosovou rýchlosťou 64 kbit/s a jeden kanál typu D s prenosovou rýchlosťou 64 kbit/s určený pre potreby riadenia a signalizácie ISDN.

Ethernet 10BaseT a ISDN sú od seba logicky oddelené. Pre využitie všetkých prenosových možností izochrónneho Ethernetu sú nevyhnutné špeciálne sieťové karty do koncových uzlov a špecifické prepojovacie uzly (rozbočovače). Bezo zmeny zostáva celá kabeláž pre 10BaseT⁶.

K rozbočovačom izochrónneho Ethernetu je možné pripájať aj zariadenia určené len pre Ethernet 10BaseT, tieto však nemôžu využívať prenosové služby ISDN.

Fast Ethernet (100BaseT)

V porovnaní s predchádzajúcimi štandardami Ethernetu s prenosovou rýchlosťou 10 Mbit/s, dosahuje Fast Ethernet prenosovú rýchlosť 100 Mbit/s. Zvýšená rýchlosť sa dosiahla skrátením času prenosu jedného bitu na desatinu (v porovnaní s Ethernetom s prenosovou rýchlosťou 10 Mbit/s). Prístupová metóda je CSMA/CD.

Zo skrátenia doby prenosu jedného bitu vyplýva skrátenie času, ktorý zodpovedá prenosu 64 bajtov a počas ktorého by mal byť ľubovoľný uzol schopný detekovať kolíziu (ak nastala). V prípade Fast Ethernetu je tento čas rovný 5,12 μ s. Za túto dobu musí signál prejsť po celej dĺžke siete, z čoho vyplýva skrátenie maximálnej vzdialenosti medzi uzlami.

Ako prenosové médium sa používa krútená dvojlinka (100BaseT4, 100BaseTX) a optický kábel (100BaseFX).

Maximálna dĺžka siete⁷ (rozsah kolíznej domény) je podmienená typom prenosového média a typom opakovačov. V zásade je možné vysloviť nasledovné požiadavky:

- žiadny segment z krútenej dvojlinky nesmie byť dlhší ako 100 m,
- maximálny počet opakovačov v jednom segmente: 1, resp. 2 (v závislosti na type opakovača)⁸
- žiadny segment s optickým káblom nesmie byť dlhší ako 412 m.

Maximálna vzdialenosť medzi dvoma uzlami (ktoré sú prepojené rozbočovačom) je v prípade použitia krútenej dvojlinky 200 m.

Gigabitový Ethernet (1000BaseX, 1000BaseT)

Gigabitový Ethernet umožňuje dosiahnuť 10-násobne vyššiu prenosovú rýchlosť ako Fast Ethernet. Je určený predovšetkým na realizáciu prepojenia segmentov sietí a rýchlych pracovných staníc a na pripojenie serverov.

⁶ Zvýšenie prenosovej rýchlosti z 10 na 16,144 Mbit/s je dosiahnuté zmenou typu kódovania. V Ethernete 10BaseT sa využíva kódovanie Manchester, ktoré sa vyznačuje dvoma zmenami napätíovej úrovne signálu potrebnými na prenos jedného bitu - jedna zmena reprezentuje hodnotu prenášaného bitu, druhá slúži na synchronizáciu prijímača a vysielača. V izochrónnom Ethernete sa využíva kódovanie NRZI, v ktorom dochádza pri prenose jedného bitu len k jednej zmene napätíovej úrovne. Synchronizácia prijímača a vysielača sa realizuje vkladáním prídavného bitu za každé 4 údajové bity. Týmto spôsobom sa zvýši efektivita dostupnej prenosovej kapacity o 80 percent.

⁷ Myslí sa časť siete vytvorená segmentami, ktoré sú prepojené opakovačmi. Opakovače totiž prepúšťajú kolízie z jedného segmentu siete do druhého.

⁸ V sieťach 100BaseT existujú dva druhy opakovačov. **Opakovač triedy I** sa snaží rozpoznávať jednotlivé bity, ktoré ním prechádzajú, tzn. že musí poznať kódovanie bitov. Vďaka tomu môže prepájať segmenty vytvorené z rôznych prenosových ciest (napr. optický kábel a tienenu dvojlinku). Dekódovanie jednotlivých bitov zvyšuje oneskorenie signálu prechádzajúceho opakovačom. Preto môže byť v jednej kolíznej doméne maximálne jeden takýto opakovač. **Opakovač triedy II** nedeckóduje bity ním prechádzajúce, ale ich len zosilňuje. Spôsobuje menšie oneskorenie signálu a preto môžu byť v jednej kolíznej doméne až dva takéto opakovače.

Ako prenosové médium sa používa optický kábel (1000BaseX), s ktorým je možné dosiahnuť maximálnu dĺžku segmentu 3000 m (v závislosti na druhu optického vlákna), alebo krútená dvojlinka (1000BaseT), pri ktorej je maximálna dĺžka segmentu 25 m.

Prístupová metóda Gigabitového Ethernetu je CSMA/CD. Vyššie uvedené dĺžky segmentov by pri minimálnej dĺžke rámca, ktorá pri predchádzajúcich štandardoch Ethernetu určovala čas slotu, neumožňovali realizáciu metódy CSMA/CD. V Gigabitovom Ethernete sa totiž prenos 64 bajtov vykoná za 0,512 μ s. Za tento čas by sa signál nemusel dostať ku všetkým uzlom siete (pri vyššie uvedených dĺžkach segmentov). Preto sa pri prenose krátkych rámcov (kratších ako 512 bajtov) dopĺňa správa špeciálnymi riadiacimi znakmi na dĺžku 512 bajtov. Toto rozšírenie neznamená predĺženie rámca ako takého, ani predĺženie minimálnej dĺžky rámca (doplňujúce znaky sa zaraďujú za kontrolný znak rámca) a odohráva sa na úrovni podvrstvy MAC (tzn. pri prijímaní sa do LLC dostáva len pôvodný nerozšírený rámec).

Aby sa pri prenose väčšieho počtu krátkych rámcov neznižovala prenosová rýchlosť, v takomto prípade sa prvý vysielaný rámec dopĺňa na 512 bajtov (pomocou vyššie uvedeného mechanizmu) a ďalšie rámce sa prenášajú v pôvodnom tvare, len s minimálnou medzerou medzi nimi až kým celkový počet prenesených znakov nedosiahne hodnotu 1500.

3.4.3 Formáty rámcov LAN Ethernet

Ethernet pokrýva spodné dve vrstvy modelu OSI, t.j. fyzickú a linkovú vrstvu. Na úrovni fyzickej vrstvy špecifikuje ako majú byť prenášané jednotlivé bity, zatiaľ čo na úrovni linkovej vrstvy musí byť špecifikované ako spolu jednotlivé bity súvisia, aké tvoria celky (rámce), aké majú tieto rámce hlavičky a čo obsahujú.

Špecifikácie na úrovni fyzickej vrstvy, ktoré sa týkajú predovšetkým prenosu jednotlivých bitov, sa musia meniť pri zmene prenosovej cesty (napr. pri prechode z tenkého koaxiálneho kábla na krútenú dvojlinku), alebo pri prechode z Ethernet-u 10BaseT na 100BaseT, alebo na Gigabitový Ethernet.

Pri všetkých zmenách bol však kladený dôraz na to, aby sa nemuselo meniť nič na úrovni linkovej vrstvy. Ide o prístupovú metódu CSMA/CD a formát rámcov. Vďaka tejto skutočnosti je možné, aby sieťové protokoly a aplikácie, ktoré sú im nadradené, fungovali nezmeneným spôsobom bez ohľadu na to aká varianta Ethernetu je implementovaná.

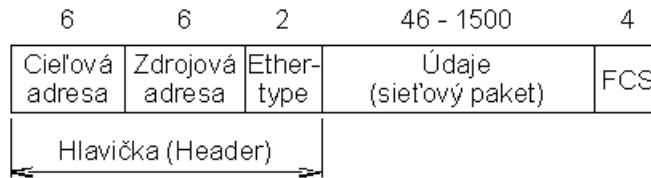
Pri vysielaní zaraďuje vysielateľ pred vysielaný rámec 8-bajtovú preambulu, ktorá slúži na synchronizáciu prijímača. Preambula obsahuje postupnosť striedajúcich sa núl a jednotiek, pričom posledný bajt končí dvoma jednotkami (označenie konca preambuly). Ďalej nasleduje samotný rámec. Preambula je rovnaká pre všetky typy rámcov Ethernetu.

Rámec „Version II“ (Ethernet_II)⁹

Rámec „Version II“ zaviedlo konzorcium DIX (DEC/Intel/Xerox) v roku 1982.

⁹ V zátvorke je uvedené označenie, ktoré používa firma Novell (toto značenie platí aj pre ďalšie typy rámcov Ethernet-u)

Rámec obsahuje adresu príjemcu¹⁰ a odosielateľa (adresa má dĺžku 6 bajtov), dvojbajtovú identifikáciu sieťového protokolu (EtherType), ktorému patrí sieťový paket vložený do rámca¹¹. Údajová časť má dĺžku 46 až 1500 bajtov. Rámec končí zabezpečovacou časťou FCS o dĺžke 4 bajty (kontrola CRC).



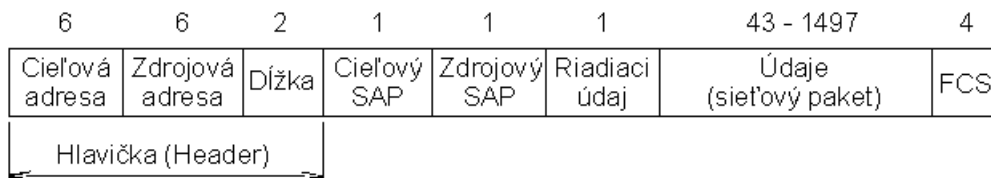
Obr.3.12 Formát rámca „Version II“

Rámec „IEEE 802.3“ (Ethernet_802.2)

Rámec „IEEE 802.3“ bol štandardizovaný organizáciou IEEE.

V hlavičke rámca sa nenachádza údaj o type sieťového protokolu (t.j. „druh“ prenášaných údajov), ale údaj o dĺžke rámca.

Za hlavičkou nasleduje tzv. rámec LLC, ktorý je rámcom podvrstvy LLC. Tento „vnútorný“ rámec obsahuje jednobajtový údaj o druhu prenášaných údajov, t.j. označenie typu údajovej časti („riadiaci údaj“). Je v ňom určená konkrétna entita ktorá údajovú časť vytvorila, resp. ju má spracovať. V skutočnosti je príslušným údajom číslo bodu poskytovania služby (SAP - vid' časť *Prenos údajov* v kapitole *Referenčný model komunikácie ISO/OSI*) medzi linkovou a sieťovou vrstvou, cez ktorý boli údaje prevzaté na odoslanie, resp. majú byť odovzdané k ďalšiemu spracovaniu.¹²



Obr.3.13 Formát rámca „IEEE 802.3“

Rámec „802.3 raw“ (Ethernet 802_3)

Rámec „802.3 raw“ zaviedla firma Novell a je určený pre siete, ktoré na úrovni sieťovej vrstvy používajú protokol IPX od firmy Novell.

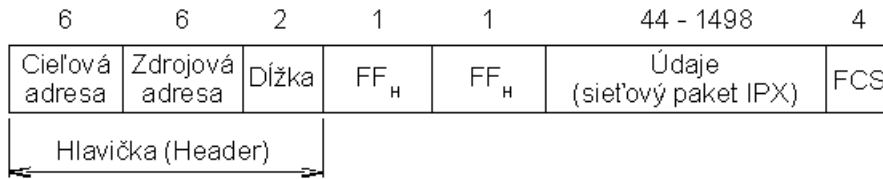
Na rozdiel od predchádzajúcich dvoch typov rámcov, rámec „802.3 raw“ neobsahuje označenie typu údajovej časti. Implicitne sa predpokladá použitie sieťového protokolu IPX.¹³

¹⁰ Prvé tri bajty adresy príjemcu (cieľovej adresy) rámca sú vyhradené pre označenie predajcu sieťového adaptéra.

¹¹ Každému sieťovému protokolu je centrálné pridelená konkrétna hodnota. Podľa nej sa linková vrstva na strane príjemcu dokáže rozhodnúť čo urobiť s prijatým rámcom - komu má odovzdať jeho „užitočný obsah“ (sieťový paket) na ďalšie spracovanie.

¹² Uvedený typ rámca je možné odlišiť od rámca „Version II“ na základe toho, že maximálna dĺžka rámca IEEE 802.3 (dĺžka údajovej časti) je vždy menšia alebo rovná 1500 bajtov, zatiaľ čo konkrétne hodnoty EtherTyp-u sú vždy väčšie (tzn. že rozlíšenie sa vykoná na základe vyhodnotenia 12. a 13. bajtu rámca - vyhodnotením časti EtherType v rámci „Version II“ a dĺžky rámca v „IEEE 802.3“).

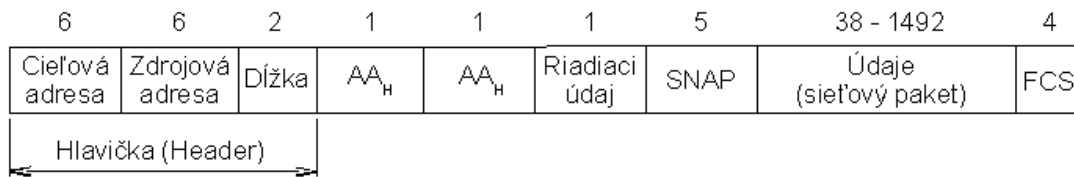
¹³ Rámec „802.3 raw“ je možné odlišiť od ostatných typov rámcov vďaka tomu, že každý IPX paket, ktorý je do týchto rámcov vkladajú, začína hodnotou FFFF_H.



Obr.3.14 Formát rámca „802.3 raw“

Rámec „IEEE 802.3 SNAP“¹⁴ (Ethernet_SNAP)

Účelom rámca „IEEE 802.3 SNAP“ je rozšíriť spektrum možností rámca „IEEE 802.3“ na označenie typu údajovej časti rámca. V rámci „IEEE 802.3“ je na tento účel vyhradený len jeden bajt, avšak rámec „IEEE 802.3 SNAP“ umožňuje využiť až 5 bajtov („SNAP“).



Obr.3.15 Formát rámca „IEEE 802.3 SNAP“

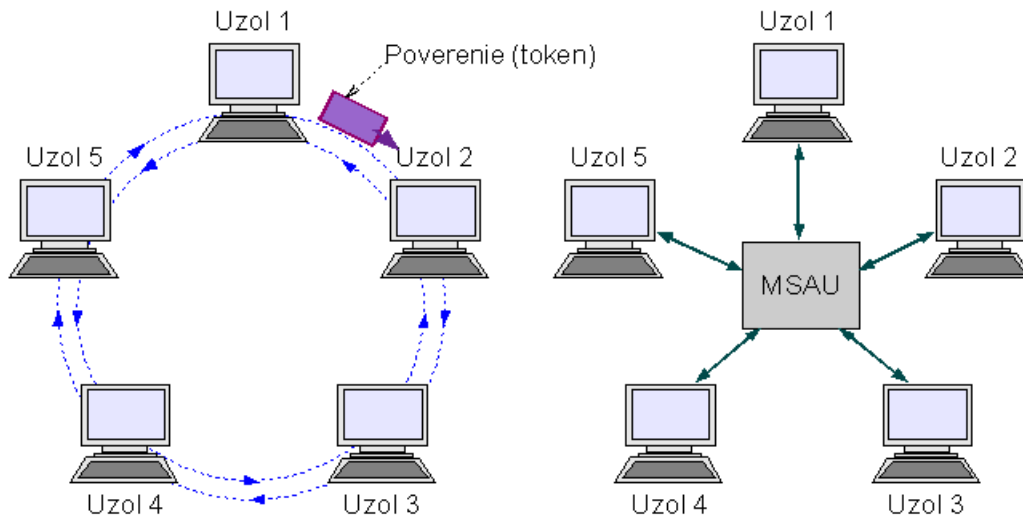
3.5 Token Ring

Technológia *Token Ring* bola vyvinutá firmou IBM v sedemdesiatych rokoch dvadsiateho storočia. Neskôr boli špecifikácie tejto siete predložené spoločnosti IEEE a jej pracovnej skupine 802, ktorá pre Token Ring zriadila podskupinu 802.5, ktorá prijala riešenie firmy IBM ako svoj štandard a v roku 1985 ho vydala pod názvom IEEE 802.5. Obidve verzie sú navzájom kompatibilné, sú však medzi nimi isté rozdiely (napr. IEEE 802.5 nešpecifikuje konkrétne druhy kabeláže, ale Token Ring od IBM áno). Token Ring bol ďalej vyvíjaný firmou IBM a štandardy IEEE jeho vývoj len kopírujú.

Uzly v sieti Token Ring sú elektricky aj logicky prepojené do kruhu. Prístupová metóda (metóda *Token passing*) je založená na odovzdávaní poverenia (tokenu). Stanica, ktorá prijala poverenie môže začať vysielat' údaje. Po prenose údajov odovzdá poverenie nasledujúcej stanici. Maximálna doba držania poverenia uzlom je 10 ms.

Token Ring využíva na prepojenie uzlov dva kruhy: hlavný (vonkajší) a vedľajší (vnútorný). Vedľajší kruh slúži na premostenie častí siete, na ktorých došlo k poruche.

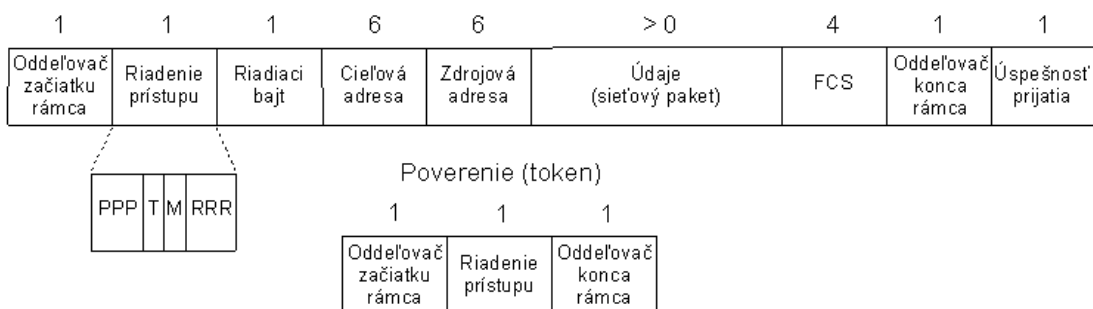
¹⁴ SNAP = Subnetwork Access Protocol



Obr.3.16 Princíp činnosti siete Token Ring a skutočné prepojenie uzlov

Pri realizácii siete Token Ring sú uzly prepojené prostredníctvom jednotky MSAU (Multistation Access Unit), ktorá ich prepája do kruhu. Takáto topológia sa nazýva Hviezdicový kruh (star-wired ring).

Kvôli vysvetleniu činnosti uzlov pri prenose údajov uvedieme formát rámca siete Token Ring s vysvetlením funkcie jeho častí.



Obr.3.17 Formát rámca Token Ring

Vo formáte token nie je obsiahnutá adresa, ktorá v skutočnosti nie je potrebná, lebo token postupuje po „fyzickom“ kruhu. Token je 3-bajtový, pričom jeho zložky sú:

- *Oddelovač začiatku rámca* - signalizuje začiatok tokenu (údajového rámca).
- *Riadenie prístupu*:
 - *PPP* - 3 prioritné bity. Indikujú prioritu tokenu a tým aj stanicu, ktorá smie použiť token. Ak má stanica pripravený rámec na vysielanie a detekuje token, ktorého priorita je rovnaká alebo menšia ako rámec pripravený na vysielanie, môže zmeniť token bit (T) na jednotku a vyslať svoj rámec.
 - *T* - token bit (ak je daný rámec vo funkcii token, je tento bit nulový, ak je rámec údajový, je bit jednotkový)
 - *M* - monitorovací bit. Používa sa na predchádzanie situáciám, v ktorých by token s vyššou prioritou ako nula alebo ktorýkoľvek iný rámec, obiehal trvale po kruhu. Na sieti sa nachádza jedna stanica, ktorá sa nazýva *Aktívny monitor* a slúži ako správca siete. Táto stanica okrem iného ruší rámce,

v ktorých je bit M jednotkový. Zmeniť hodnotu bitu M môže taktiež len Aktívny monitor. Čiže Aktívny monitor nastavuje na „1“ bit M v rámci v ktorom bol bit M „0“ (pri jeho prvom prechode cez Aktívny monitor) a ruší rámec pri jeho druhom prechode Aktívnym monitorom.

- *RRR* - rezervačné bity. Dovoľujú uzlom, ktoré majú pripravené rámce s vyššou prioritou, požiadať (prostredníctvom rámca alebo tokenu) o to, aby nasledujúci token bol vyslaný v nimi požadovanej priorite.
- *Oddelovač konca rámca* - signalizuje koniec tokenu (údajového rámca). Obsahuje chybový bit, ktorý môže nastaviť ktorýkoľvek uzol a indikovať tak, že bola detekovaná chyba rámca.

Ďalej sú uvedené polia, ktoré sa vyskytujú aj v údajovom rámci:

- *Riadiaci bajt* - indikuje či rámec obsahuje údaje, alebo riadiacu informáciu. V riadiacich rámcoch špecifikuje typ riadiacej informácie.
- *Údaje* - dĺžka údajového poľa je obmedzená časom držania tokenu jedným uzlom.
- *FCS* - kontrolný znak.

Uzol, ktorý čaká na vysielanie, priebežne testuje údaje prechádzajúce jeho registrom, pokiaľ nedetekuje token. Následne zmení bit T v poli „riadenie prístupu“ a tak indikuje že prijal token (inými slovami: modifikuje token na začiatok údajového rámca tak, že pridá patričné riadiace a adresné polia, užívateľské údaje, FCS a zakončovacie pole). V tom momente mu je dovolené vyslať údajové rámce až do skompletovania prenosu, alebo až po vypršanie limitu, po ktorý môže držať token (10 ms). Po skompletovaní prenosu vygeneruje nový token (s patričnou prioritou), ktorý pošle stanici na opačnú stranu ako je tá, z ktorej naposledy prijal token.

Každý uzol kontroluje cieľovú adresu prichádzajúcich správ. Ak správa nie je určená pre daný uzol, odosiela sa ďalej. Ak sa cieľová adresa správy zhoduje s adresou uzla, uzol správu prijme. V závislosti od používaného protokolu, môže správa tiež obiehať ďalej (cieľová stanica si ju len odpamätala), až pokiaľ opäť nedôjde k stanici, ktorá ju vyslala. Takýmto spôsobom sa vlastne potvrdzuje, že správa skutočne dosiahla cieľovú stanicu.

Všetky prenášané údajové rámce obsahujú pole „úspešnosť prijatia“, do ktorého zapisuje cieľový uzol úspešnosť prijatia údajov. Keďže údajový rámec sa po ukončení obehu kruhovou sieťou vracia späť k vysielajúcemu, t.j. zdrojovému uzlu, vie sa tento podľa indikovaného výsledku prenosu zariadiť. Okrem toho oddelovač konca rámca obsahuje chybový bit, ktorý môže nastaviť ktorýkoľvek uzol a indikovať tak, že bola detekovaná chyba rámca.

Technika Token ring umožňuje aj mechanizmus priority, ktorý je pre účely riadiacich systémov pracujúcich v reálnom čase veľmi potrebný. Pole „riadenie prístupu“ obsahuje trojbitovú prioritnú a trojbitovú rezervačnú premennú.

Ak uzol má pripravený na vyslanie rámec a chce ho odoslať s vysokou prioritou, pričom nemá k dispozícii žiadny token, spraví rezerváciu priority tokenu pomocou nastavenia rezervačných bitov v prechádzajúcom rámci alebo tokene (v poli „riadenie prístupu“) na hodnotu želanej priority. Ak doposiaľ vysielajúci uzol prijme svoj pôvodný rámec po prechode kruhom späť a zistí, že v ňom pribudla rezervácia priority, vygeneruje nový token a namiesto normálnej (resp. pôvodnej nižšej) priority v ňom nastaví novú - vyššiu želanú prioritu. Tento uzol si však musí ponechať

informáciu o pôvodnej úrovni suspendovaného tokenu, aby následne po tom, ako prioritný token obehne kruh mohol regenerovať suspendovaný token. Toto sa realizuje zapísaním potrebnej informácie do zásobníka. Vygenerovaný token s vyššou prioritou potom obieha kruh až ho uzol požadujúci prioritu prijme. Uzly siete s nižšou prioritou údajov nemajú dovolené prevziať riadenie token a preto token s vyššou prioritou prejde do požadovaného uzla, alebo do uzla s rovnakou alebo vyššou prioritou. Tá potom vyše svoj rámec a následne aj prioritný token. Ak uzol, ktorý prioritný token pôvodne vytvoril, prijme token späť (pričom je v ňom indikované, že už obehol kruh), nahradí prioritný token suspendovaným tokenom, pričom patrične zmení prioritu.

Pre udržanie spravodlivosti v rámci každej prioritnej úrovne, musí uzol, ktorý suspendoval token, tento token aj obnoviť. Inak by niektoré uzly mali viacnásobnú príležitosť využiť token danej priority a ostatné uzly žiadnu príležitosť. Predpokladajme napríklad, že by niektorý uzol bol užívateľom s vysokým pásmom priority a že prioritný protokol by pracoval takým spôsobom, že tento uvažovaný uzol (užívateľ prioritného tokenu) by bol zodpovedný aj za opätovné zníženie priority. V takomto prípade by uzol nasledujúci za uvažovanou stanicou mal oveľa vyššiu šancu získať token normálnej priority ako by mal uzol vzdialenejší od uvažovanej stanice. Pomocou popísaného spôsobu využitia mechanizmu, zabezpečuje token-ring protokol IEEE 802.5 regulárny postup tokenov všetkých priorít po kruhu a tým zabezpečuje spravodlivosť.

Prioritná schéma vyžaduje, aby uzly nevysielali token skôr ako po prijatí záhlavia svojho pôvodne vyslaného rámca. Na jednej strane sa zvyšuje spoľahlivosť protokolu MAC (každý vysielajúci uzol môže kontrolovať správnosť funkcie kruhu) a na druhej strane táto jedno-tokenová činnosť vedie na nižšiu priepustnosť pri vysokých rýchlostiach a dlhých vzdialenostiach.

Pokiaľ uzol na Token Ringu nie je pripojený na napájanie, jeho vstup a výstup sú premostené pomocou relé, takže správy na linke môžu obiehať bez prekážky.

Na prenos sa používa tlenená dvojlínka s prenosovou rýchlosťou 1 až 4 Mbit/s (v pôvodnej verzii). Zvýšenie prenosovej rýchlosti na 16 Mbit/s je možné dosiahnuť pomocou tzv. mechanizmu ETR („Early Token Release“). V tomto prípade je nový token generovaný aktívnou stanicou hneď po odoslaní údajového rámca (nečaká sa na jeho obbeh po kruhu). Mechanizmus ETR umožňuje aby bolo na kruhu niekoľko rámcov súčasne.

Deterministický charakter siete Token Ring a dokonalejšie využitie prenosovej kapacity si vyžaduje podstatne väčšiu zložitosť (v porovnaní s Ethernetom). Samotná prístupová metóda Token Passing si vyžaduje aby boli ošetrené rôzne situácie (prerušenie kruhu, pridanie ďalšej stanice do kruhu, strata tokenu, atď.). Kvôli ošetreniu takýchto situácií sa v sieti nachádza Aktívny monitor. Niektoré neštandardné situácie nedokáže zvládnuť ani on a potom za účelom zistenia príčiny neštandardného stavu rozosiela špeciálne monitorovacie rámce (tzv. beacon frames).

Zložitosť týchto mechanizmov v praxi zaisťuje dostatočnú robustnosť siete Token Ring, ktorá sa dokáže zotaviť z rôznych neštandardných situácií, na druhej strane značne zvyšuje zložitosť implementácie tejto technológie a tým aj cenu.

3.6 Súhrn

Používanie lokálnych sietí na prepájanie počítačov a automatizovaných zariadení v priemyselných systémoch sa rozšírilo v osemdesiatych rokoch. Vďaka vysokej priechodnosti lokálnych sietí a relatívne nízkym nákladom sa stalo skutočnosťou distribuované spracovanie údajov a mnohé nové funkcie automatizácie. Priemyselné automatizačné systémy sú často implementované na základe otvorenej distribuovanej architektúry s digitálnymi komunikačnými sieťami.

Pre užívateľov lokálnej siete je v súčasnosti bežné komunikovať s počítačmi, alebo automatizačnými prostriedkami pripojenými na inú sieť pomocou brán, ktoré ich pripájajú na rozsiahlu sieť (WAN).

V priemyselnej automatizácii sa lokálne siete používajú na zabezpečenie komunikácie na úrovni prevádzky (viď Obr.1.1 v kapitole 1: Komunikácia v priemyselnej automatizácii) a na vyšších úrovniach. Po zavedení koncepcie CIM (Computer Integrated Manufacturing) a DCCS (Distributed Computer Control System) si mnohé firmy vyvinuli proprietárne siete pre svoje automatizované systémy. Štandardom sa však stal Ethernet s protokolom TCP/IP.

3.7 Literatúra

- [1]Balogh, R., Bélai, I., Dorner, J., Drahoš, P.: Priemyselné komunikácie. Vydavateľstvo STU, Bratislava, 2001. ISBN 80-227-1600-6.
- [2]Janeček, J., Bílý, M.: Lokální sítě. Vydavatelství ČVUT, Praha, 2004, ISBN 80-01-02900-X

3.8 Kontrolné otázky

- 3.1. Čím je určená rozľahlosť siete?
- 3.2. Na úrovni ktorých vrstiev modelu OSI sú implementované lokálne siete?
- 3.3. Aké faktory ovplyvňujú rozsah kolíznej domény siete Ethernet?
- 3.4. Používajú štandardy LAN Ethernet so zbernicovou topológiou rovnakú prístupovú metódu ako LAN Ethernet s hviezdicovou (stromovou) topológiou?
- 3.5. Akým spôsobom je riadený prístup na prenosové médium v LAN Token Ring?

