

Místní síť LAN

Čtením této kapitoly získáte přehled o hlavních třídách sítí označovaných jako místní síť LAN (Local Area Networks), s výjimkou bezdrátových. Zabývá se jednotlivými technologiemi a jejich implementací. Mezi typy sítí, které probere, patří Ethernet, Token Ring, FDDI (Fiber Distributed Data Interface), X10 a standardy průmyslových sběrnic pro automatizaci. Vyjmenujeme i standardy z početné řady IEEE 802.x, které tyto typy sítí kodifikují.

Příkladem všesměrové sítě založené na zasilání rámců je Ethernet. Rámce jsou zkonstruovány podle předpisu, který zahrnuje položky jako zdrojovou a cílovou adresu, synchronizaci, kontrolu chyb a další. Skladbu ethernetového rámce popíšeme vyčerpávajícím způsobem. Někdy dochází k vysílání těchto rámců z několika zdrojů zároveň, což má za následek kolize. Proto se v Ethernetu používá technika naslouchání nosného signálu s vícenásobným přístupem a detekcí kolizí (CSMA/CD, Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection). Kolize jsou tedy rozpoznány a nedochází díky nim ke ztrátám dat.

V síti Token Ring byla pro přístup k síti zavedena jiná metoda. Koncové body dostanou šanci vysílat do sítě jen tehdy, když obdrží speciální rámec s tokenem. Technologie Token Ring je podporována firmou IBM. Síť FDDI jsou podobně jako Token Ring také kruhové a předává se v nich token, ale pro vyšší rychlost se používá médium optického vlákna. Uplatňovaly se hlavně dříve, zejména v odvětví telekomunikací.

Síť X10 modulují rádiové frekvence do napěťových linek a pomáhají automatizovat zařízení v domácnosti. Vysvětlíme jejich signalizační technologii a stručně představíme i alternativní síťové standardy pro automatizaci.

Budeme se zabývat také průmyslovými sítěmi určenými k automatizaci výrobních procesů. Jejich úkolem je shromažďovat data z čidel, senzorů, aktuátorů, spínačů, šoupátek a dalších výrobních zařízení. Tato data jsou pak dostupná řídicím stanicím s rozhraním pro lidskou obsluhu HMI (Human Machine Interface). Detailně popíšeme systémy pro řízení výrobních procesů, mezi nimi sběrnici Modbus pro zařízení,

Témata kapitoly:

- Úvod do místních sítí
- O technologii všesměrového vysílání a jak řeší některé problémy
- Fungování Ethernetu
- Síť Token Ring a FDDI
- Síťové systémy pro automatizaci v průmyslu
- Automatizace domácnosti s pomocí napěťových kabelů a sítě X10

PLC (Programmable Logic Controllers), výměnu dat OPC (OLE for Process Control) a systémy SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition).

Úvod

Definice místní sítě neboli LAN spočívá v tom, že je limitovaná co do rozsahu, je privátní a má omezený počet administrativních jednotek, tedy domén nebo podsítí. Síť LAN se dělí podle následujících atributů:

- Topologie
- Přenosové médium
- Technologické standardy
- Velikost
- Charakteristiky správy

Všechny možné síťové topologie jsme popsali v kapitole 3, o médiích pojednávala kapitola 8 a v kapitole 30 najdete popis správy sítí. Zde se proto budeme zabývat především technologickými standardy a velikostí sítě z hlediska počtu uzlů, spojení a délky vedení. Probereme několik nejdůležitějších standardů používaných pro budování místních sítí LAN, zejména:

- Ethernet – dominantní standard pro síť s všesměrovým vysíláním
- Token Ring – implementace myšlenky synchronizovaného přístupu k síti
- FDDI (Fiber Distributed Data Interface) – vysokorychlostní protokol typu Token Ring
- Síť založené na rádiových frekvencích (RF) na napětových linkách a další typy sítí pro automatizaci domácnosti
- Průmyslové sběrnice určené k automatizaci procesů a standardy pro výměnu dat

Uvedených pět typů místních sítí nám může sloužit jako rámcová představa, co to vlastně síť LAN je, jak přistupovat k jejímu návrhu a jak se data v sítích LAN zpracovávají. Také bezdrátová technologie je pro budování sítí LAN populární a její obliba se navíc časem stále zvyšuje. Pro úplný přehled tématu moderních místních sítí bychom proto museli zahrnout také všechny bezdrátové Wi-Fi standardy, které se dnes používají. Aby však tato kapitola měla rozumnou délku, vyňali jsme síť Wi-Fi do kapitoly 14, kde se tomuto tématu věnujeme samostatně a do hloubky.

Aby spolu mohly různé druhy ethernetových komponent kooperovat, musí být založeny na otestovaných průmyslových standardech. Většina norem pro fungování Ethernetu je produktem výborů institutu IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineering). V následující sekci se poučíte o jednotlivých IEEE normách, které se dodnes používají. Základní charakteristikou sítě je oblast, ve které se komunikace přenáší bez nutnosti zásadní modifikace, a té se říká všesměrová doména. Tyto domény a jejich vztah k ethernetovým sítím zkoumáme v sekcích, které bezprostředně následují.

Sítové standardy IEEE 802

Postupným vývojem standardů vznikla v rámci IEEE sada norem, které zrcadlí skutečné používání sítí v reálném světě. Všechny tyto standardy pro místní síť vznikly buď z práce jediného výrobce, jako například technologie Token Ringu v IBM, nebo pochází od malé skupiny výrobců, jako je tomu v případě skupiny DIX (DEC, Intel a Xerox), případně jsou výsledkem nějaké průmyslové pracovní skupiny.

Výbory IEEE vždy pokud možno zobecňují specifikace norem tak, aby mohlo docházet ke kooperaci produktů od co největšího množství výrobců. A tak přestože technologie Token Ring od IBM vyžadovala specifické přenosové médium, standard IEEE tento požadavek zobecnil. Všechny tyto normy procházejí stadiem návrhu, který je znám také pod označením RFC (z anglického Request For Comments, tedy žádost o komentáře). Mnohé z dokumentů RFC mají dlouhý život a některé jsou čas od času modifikovány či nahrazovány jinými. Nakonec IEEE některé normy formalizuje, a když to udělá, publikuje je jako referenční manuály.

Takto nakonec v průběhu téměř 30 let vznikla sada 15 standardů (zatím, protože jejich počet stále roste), které již byly vytvořeny nebo jsou stále ještě ve vývoji. Jejich souhrnný přehled podává tabulka 12.1. Některé z nich jsou složeny z několika podřízených norem. Některé standardy jsou navíc hojně nasazeny v praxi a dosáhly komerčního úspěchu, zatímco jiné ne. Pokud jste v posledním desetiletí sledovali například vývoj standardu 802.11 pro bezdrátové Wi-Fi síť, možná si pamatujete, že postupně vznikaly podřízené normy 802.11a, 802.11b, 802.11g a 802.11n.

Všesměrové kanály

Ve všech sítích LAN čelíme problému, jak sdílenou sítí všesměrově vysílat data. Vyřešení tohoto problému je zcela zásadním rozhodnutím, které od sebe jednotlivé typy sítí LAN odlišuje. Síť budovaná na základě bodových spojů (point-to-point) vedou k exponenciálnímu nárůstu počtu datových okruhů, tento přístup k vytváření sítí je proto nepraktický. S pomocí prepínačů je možné sestavit okruhy stejně, jako vytváříte virtuální bodová spojení přes rozlehlou síť WAN. Avšak ani zaplnění jediné sítě velkým množstvím virtuálních okruhů není praktické.

V páté kapitole jste mohli narazit na pojem kanálu. Jde o definovaný stav sítě, který umožňuje předávat informace implementační technikou na linkové vrstvě, specificky v její části pro řízení přístupu k médiu (MAC, Media Access Control). Kanály mohou být jednoduché nebo složené; dále existují kanály vyhrazené, s vícenásobným přístupem nebo s přímým přístupem. V sítích s virtuálními kanály, do nichž patří například klasická telefonní síť, se používají techniky podobné FDM (Frequency Division Multiplexing, multiplexování dělením frekvence), které „nakrájí“ pásmo na plátky a ty se pak přiřazují jednotlivým uživatelům. Tradičně se frekvenčním úsekům pro hlas říká DS0, a možná si pamatujete, že jejich propustnost je 64 kb/s.

Tabulka 12.1: Standardy IEEE 802 pro místní síť LAN

Standard	Uplatnění	Podřízené standardy
802.1	Mosty (bridging) a správa sítí LAN/MAN	802.1b – správa sítí LAN/MAN; 802.1D – mosty na vrstvě MAC (MAC Bridges); 802.1e – protokol System Load Protocol; 802.1f – definice a pravidla pro informace určené ke správě 802; 802.1G – vzdálené mosty na vrstvě MAC; 802.1H – ethernetové mosty na vrstvě MAC; 802.1Q – virtuální síť LAN (VLAN); 802.1x – přístup k síti na bázi portů (Port-based Network Access Control, NAC); 802.1AB – objeovávání konektivity pro stanice a MAC (LLD); 802.1ad – mosty poskytovatelů (Provider Bridging); 802.1AE – zabezpečení na úrovni MAC; 802.1af – bezpečnost klíčů na vrstvě MAC; 802.1ag – správa chyb konektivity (Connectivity Fault Management); 802.1ah – páteřní mosty poskytovatelů (Provider Backbone Bridge, PBB); 802.1aj – předávání mezi dvěma porty na vrstvě MAC (Two Port MAC Relay, TPMP); 802.1ak – protokol pro vícenásobnou registraci (MRP, Multiple Registration Protocol); 802.1ap – definice informační báze MIB; 802.1aq – mosty s nejkratší cestou (Shortest Path Bridging, SPB); 802.1AR – bezpečná identifikace zařízení (Secure Device Identity, DevID); 802.1AS – synchronizace času pro senzitivní aplikace v síti LAN s mosty; 802.1Qat – protokol pro rezervaci toku (Stream Reservation Protocol); 802.1Qau – správa zahlčení sítě; 802.1Qav – rozšíření časově senzitivních toků o předávání a fronty; 802.1Qaw – správa chyb konektivity závislých na datech nebo způsobených daty; 802.1Qay – řízení provozu na páteřních mostech poskytovatele (Provider Backbone Bridge Traffic Engineering, PBB-TE); 802.1Qaz – pokročilý výběr přenosu (Enhanced Transmission Selection); 802.1BA – systémy mostů pro audiovizuální přenosy (Audio Video Bridging, AVB).
802.2	Logické řízení na linkové vrstvě	Žádné podřízené standardy. Jedná se o správu komunikace a adresace na linkové vrstvě. Definuje přístupové body služby (Services Access Points, SAPs) a poskytuje řízení informací.
802.3	CSMA/CD	Ethernetové standardy. Podřízené standardy 802.3 najdete v tabulce 12.2.
802.4	Sběrnice Token Bus	802.4a – LAN: sběrnice Token Bus na optických vláknech
802.5	Síť Token Ring	802.5a – LAN: dodatek k 802.5 o správě stanic; 802.5n – nestíněná kroucená dvoulinka na rychlosti 4/16 Mb/s; 802.5q – LAN: část 5: revize řízení přístupu k médiu; 802.5 – LAN: vyhrazené připojení ke stanicí Token Ring.
802.6	DQDB (Distributed Queue Dual Bus)	802.6bm – rozšíření předpokladů pro metropolitní síť MAN 802.6 založené na DS3; 802.6e – nulovací uzel (Eraser Node) pro síť DQDB MAN; 802.6g – správa vrstvy pro síť 802.6 MAN; 802.6i – vzdálené mosty v sítích LAN s pomocí 802.6 MAN; 802.6l – rozhraní point-to-point pro podsítě sítí MAN; 802.6m – podsítě sítí MAN.
802.7	Širokopásmové síť LAN	

Standard	Uplatnění	Podřízené standardy
802.8	Sítě LAN/MAN na optických vláknech	
802.9	Integrované služby	802.9a – dodatek k integrovaným službám LAN: izochronní 802.9 spolu s řízením přístupu k médiu CSMA/CD; 802.9b – podpora funkční specifikace AU pro propojení sítí AU 802.9; 802.9c – dodatek k 802.9: Správa: Prohlášení o shodě objektů; 802.9d – dodatek k 802.9: prohlášení o shodě implementace protokolu; 802.9e – režim nosiče buňky (Cell Bearer Mode) v ATM (Asynchronous Transfer Mode ATM); 802.9f – vzdálené napájení terminálovou linkou v rámci integrovaných služeb pro terminálové vybavení (ISTE, Integrated Services for Terminal Equipment).
802.10	Bezpečnost v sítích LAN/MAN	802.10 – standard interoperabilní bezpečnosti LAN (SILS, Standard for Interoperable LAN Security); 802.10a – standard interoperabilní bezpečnosti LAN (SILS, Interoperable LAN Security) – model; 802.10c – SILS – správa klíčů; 802.10d – SILS – správa bezpečnosti; 802.10g – standard pro bezpečnostní značky v rámci bezpečné výměny dat (Standard for Security Labeling Within Secure Data Exchange); 802.10h – podpora interoperabilní bezpečnosti LM: proforma PICS/sekundární data.
802.11	Bezdrátové sítě LAN	802.11a – 5 GHz, 54 Mb/s; 802.11b – 2,4 GHz, 11 Mb/s; 802.11c – postupy pro fungování mostů; 802.11d – rozšíření pro mezinárodní roaming; 802.11e – rozšíření pro kvalitu služby QoS; 802.11g – 2,4 GHz, 54 Mb/s; 802.11h – 802.11a s řízením spektra (v Evropě); 802.11i – bezpečnostní rozšíření; 802.11j – rozšíření pro Japonsko; 802.11k – rozšíření pro správu rádiových zdrojů; 802.11m – údržba standardu; 802.11n – zdokonalení pro vyšší propustnost s pomocí antén MIMO (Multiple Input, Multiple Output), 5 GHz nebo 2,4 GHz, 600 Mb/s (nad čtyřmi 40 MHz kanály); 802.11p – bezdrátový přístup pro dopravní prostředky (WAVE, Wireless Access for the Vehicular Environment), například pro záchrannou a taxi službu; 802.11r – rychlý roaming (ve vývoji); 802.11s – sítě typu spleti, rozšířená sada služeb (ESS, Extended Service Set) (ve vývoji); 802.11T – předpovídání výkonosti bezdrátové sítě (WPP, Wireless Performance Prediction, WPP) – testovací metody a metriky; 802.11u – spolupráce se sítěmi mimo řadu norem 802 (například s buněčnými sítěmi) (plánováno); 802.11v – správa bezdrátové sítě (plánováno); 802.11w – chráněné rámce správy (plánováno); 802.11y – fungování frekvencí 3 650 až 3 700 MHz v USA; 802.11z – rozšíření pro DLS (Direct Link Setup) (ve vývoji); 802.11a – robustní streamování audiovizuálních datových toků (ve vývoji).
802.12	Vysokorychlostní sítě LAN	802.12a – funkčnost v rychlostech vyšších než 100 Mb/s; 802.12b – rozhraní 2-TP PMD nezávislé na médiu a jeho linková specifikace; 802.12c – funkčnost na úrovni 100 Mb/s: plně duplexní spoje; 802.12d – funkčnost na úrovni 100 Mb/s: redundantní linky.

Standard	Uplatnění	Podřízené standardy
802.13	Žádná síť LAN	Tento standard nebyl nikdy definován ze stejného důvodu, z jakého nejsou ve vysokých budovách třináctá patra: z pověřivosti.
802.14	Širokopásmové komunikační sítě na drátech pro kabelovou televizi	
802.15	Bezdrátové osobní sítě (WPAN, Wireless Personal Area Networks)	802.15.1 – Bluetooth; 802.15.2 – koexistence WPAN a bezdrátových sítí LAN; 802.15.3 – vysokorychlostní sítě WPAN.
802.16	Širokopásmový bezdrátový přístup (WiMAX2, WirelessMAN)	Spojení první a poslední míle; 802.16e – mobilní širokopásmový přístup; 802.16f – definice MIB; 802.16g – procedury a služby na úrovni správy; 802.16h – zdokonalení koexistence při vynětí z licence (ve vývoji); 802.16i – definice mobilní MIB (ve vývoji); 802.16j – specifikace předávání při více skocích (ve vývoji); 802.16k – mosty; 802.16m – pokročilé rozhraní v otevřeném prostoru (ve stadiu návrhu).
802.17	RPR (Resilient Packet Ring, odolný paketový kruh)	Používá se ve vysokorychlostních sítích SONET; 802.17b – prostorová podvrstva (SAS, Spatially Aware Sublayer).
802.18	Skupina pro regulaci rádiových vln	
802.19	Skupina pro koexistenci nelicencovaných bezdrátových sítí	
802.20	Mobilní širokopásmový bezdrátový přístup	Standard pro místní a metropolitní sítě, standardní rozhraní v otevřeném prostoru pro systémy mobilního širokopásmového bezdrátového přístupu s podporou dopravní mobility, specifikace fyzické vrstvy a vrstvy přístupu k médiu.
802.21	MIH (Media Independent Handover)	Umožňuje výměnu informací mezi buněčnými sítěmi, dále sítěmi GSM, GPRS, Wi-Fi, Bluetooth, 802.11 a 802.16 prostřednictvím skupiny předávacích mechanismů. Norma MIH se podobá předávacímu protokolu pro roaming s názvem UMA (Unlicensed Mobile Access), který funguje mezi technologiemi GSM, UMTS, Bluetooth a 802.11.
802.22	Sítě WRAN (Wireless Regional Area Networks), tedy bezdrátové regionální sítě	Sítě WRAN využívají k přenosu bílá místa ve frekvencích televizního vysílání. Jedná se o novou skupinu norem ve stadiu návrhu.

1. Sjednocené a zavržené normy jsou ze seznamu vynechány. 2. WiMAX je zkratka pro Wireless Interoperability for Microwave Access, tedy bezdrátová interoperabilita pro mikrovlnný přístup. V Jižní Koreji se nazývá WiBro (Wireless Broadband, bezdrátové široké pásmo).

Multiplexování dělením frekvence (FDM) se hodí pro síťový provoz, který je předvídatelný. Komunikovat tedy může v danou chvíli jen několik málo uživatelů. Data se pak na trase uklá-

dají do vyrovnávací paměti, aby se provoz přizpůsobil výkyvům. Jakmile se počet uživatelů zvětší, přestává být provoz předvídatelný a objem přenášených dat se prudce změní, což vede až k explozivnímu chování sítě. Model FDM tak přestává být efektivní. Multiplexování dělením času (TDM) vyhrazuje síť jednotlivým uživatelům na základě časových úseků, a ze stejných důvodů si nevede o moc lépe než FDM. Proto se v moderních sítích LAN zavádí všesměrový model. Informace se odesílají přímo do místní sítě, kde spolu soutěží s jinými balíčky informací, dokud se nedostanou do určeného cíle.

Při všesměrové komunikaci rozeznáváme pojem *kanálu*, který popisuje trasu nebo více tras skrz fyzické médium. Více tras (multipath) přichází ke slovu jakožto technika směrování, při níž lze využít několik alternativních cest ve stávající síti. Kanály mohou mít následující podobu:

- **Jednoduchý kanál se sekvenčním přístupem** – existuje jen jeden kanál sdílený mnoha stanicemi. Přístup k němu se odehrává na základě času v předem daném pořadí. Toto schéma zajišťuje, že nedochází k soupeření provozu na síti, ale není příliš efektivní, protože se datům nedají přiřazovat priority.

Technologie s jednoduchým kanálem nejsou efektivní pro plně duplexní režim, ale v poloduplexním módu vyhovují. Neexistuje však žádný dodatečný kanál pro zaslání režijních zpráv mezi koncovými body, což představuje jistý problém z hlediska efektivity.

- **Jednoduchý kanál s přístupem na základě tokenu** – schéma s tokenem si můžeme představit jako metaforu hry „chodí pešek okolo“. Stanice, která získá token, má přístup k síti a může vysílat. Poté na základě jistého algoritmu zjistí, zda může pokračovat ve vysílání, nebo musí předat token dál. Síť s tokeny nejsou náchylné na kolize a přitom umožňují velké přesuny dat, jsou však přesto o něco pomalejší než metody založené na všesměrovém vysílání.
- **Jednoduchý kanál s vícenásobným přístupem a kolizemi** – všechny stanice v síti vysílají data všesměrově. Neexistují žádné časové úseky ani hlavní hodinový takt. Když dva datové pakety dorazí ve stejný čas na tutéž koncovou stanici, vznikne kolize a spustí se mechanismus na opravu kolizí. Jeho výsledkem je opětovné zaslání dat.
- **Sledování nosiče signálu** – stanice vysílají do sítě data jen tehdy, když zjistí, že nikdo jiný nečiní totéž. Kolize jsou tím potlačeny, i když ne zcela eliminovány. Jedná se o efektivnější metodu než vysílání bez sledování nosiče signálu.
- **Více kanálů s všesměrovým vysíláním** – tato metoda nabízí největší propustnost a pro plně duplexní operace je nejefektivnější. Ve vícekanálové síti může jeden z účastníků posílat data, zatímco jiný řídí zpracování dat nebo zpráv, což přidává na efektivitě. Ve vícekanálových sítích je nutné implementovat navíc vyrovnávací paměti a cache i společnou koordinaci. Je zde také možnost vyhradit kanály.

Ethernet

Naprosto převažující technologií pro budování kabelových místních sítí LAN je dnes Ethernet. Tento standard definuje všesměrové vysílání rámců na médiu fyzické vrstvy spolu se signalizačními metodami linkové vrstvy založenými na metodě naslouchání nosného signálu s vícenásobným přístupem a detekcí kolizí (CSMA/CD, Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection). Ethernet je kodifikován normou IEEE 802.3. Uzly v ethernetové síti jsou identifikovány

vány globálně jednoznačnými 48bitovými MAC adresami. V ethernetové síti se vyskytují dvě třídy síťových uzlů:

- **Koncové datové zařízení (DTE, Data Terminal Equipment)** – tato kategorie obsahuje všechny komponenty, které mohou představovat zdroj nebo cíl ethernetového rámce. Patří sem počítače, servery, tiskárny a další prvky, které se také někdy nazývají koncové stanice.
- **Komunikační datové zařízení (DCE, Data Communications Equipment)** – síťové prvky, které ethernetové rámce přijímají a dále přeposílají. Do této skupiny spadají přepínače, směrovače, mosty, opakovací a dále síťová rozhraní, tedy síťové karty počítačů nebo modemy.

POZNÁMKA

Paket přenášený kabelovou sítí se nazývá rámeček.

Ethernet byl vyvinut ve společnosti Xerox PARC v 70. letech 20. století. Základem byl protokol CSMA/CD, vytvořený Robertem Metcalfe, Davidem Boggs, Chuckem Thackerem a Butlerem Lampsonem. (Robert Metcalfe později založil 3COM.) Název Ethernet pochází z myšlenky, že sítě jsou podobné éteru (anglicky ether), a v řecké kultuře je takto navíc nazýván čistý vzduch nebo obloha. V průběhu vývoje vědy bylo za éter označováno transportní médium pro elektromagnetismus, světlo, gravitaci i další látky. V rané chemii má také význam prostředí, ve kterém mizí hmota, a další nevysvětlitelné fenomény.

KŘÍŽOVÝ ODKAZ

V kapitole 8 jsou rozebrány různé standardy pro kabelový Ethernet.

Prototyp Ethernetu fungoval rychlostí 3 Mb/s a byl navržen tak, aby byla vysoká míra propustnosti sítě zachována i v případě, že je silně zatížena. V roce 1980 byla společností Digital Equipment Corporation, Intel a Xerox uvolněna první verze standardu Ethernet 1.0 (přezdívaná standard DIX). Jeho rychlost byla stanovena na 10 Mb/s a této první verzi odpovídá standard 802.3.

Raná verze Ethernetu zvaná StarLAN fungovala s nestíněnou kroucenou dvoulinkou (UTP, Unshielded Twisted Pair). Sloužila jako základ pro tehdejší místní síť LAN a časem byla zahrnuta do systému standardů jako kategorie 1BASE5. Na začátku 80. let 20. století byla síť StarLAN unikátní, protože se jako přenosové médium v budovách mohlo používat standardní telefonní vedení s konektory RJ 45. Dnes je tato metoda samozřejmá. Standard 10BASE-T převzal modulační schéma, detekci linek a funkce jednotlivých drátů právě od StarLAN.

KŘÍŽOVÝ ODKAZ

Technologie 10BASE-T je popsána v kapitole 8.

Název 10BASE-T je odvozen z rychlosti 10 Mb/s a přenosového média, kterým je kroucená dvoulinka (T pro anglické slovo twisted, tedy kroucený). V případě 100BASE-T4 je rychlost 100 Mb/s a vedení tvoří čtyři páry kroucených dvoulinek. Naproti tomu 100BASE-LX znamená Ethernet založený na dlouhých vlnových délkách, přenášený po optických vláknech. Slovo BASE ve všech názvech se odkazuje na základní pásmo (Baseband), tedy mechanismus filtrování signálu popsany v kapitole 5. Dnešní Ethernet se používá v širokopásmových spojeních,

v nichž jsou definovány vícečetné trasy na bázi frekvencí nebo amplitudy (Broadband). Nebere se tedy ohled na měřítko signálu, a i když se používá jiný signalizační mechanismus, nezapisují se tyto širokopásmové technologie jako 100BROAD a podobně, přestože by si to zasloužily. Další dvě signalizační metody zvané Wideband a Narrowband se v Ethernetu neuplatňují.

V tabulce 12.2 najdete přehled všech podob ethernetových standardů z rodiny 802.3. Jsou zde stanoveny normy pro nejdůležitější typy kabelového Ethernetu používané v moderních místních sítích. Čísla v závorce vyjadřují teoretickou datovou propustnost každého ze standardů.

Tabulka 12.2: Ethernetové standardy 802.3

Standard	Rok	Účel
Experimentální Ethernet	1972	2,94 Mb/s (367 kB/s) nad sběrnicí tvořenou koaxiálním kabelem
Ethernet II (DIX v2.0)	1982	10 Mb/s (1,25 MB/s) nad tenkým koaxiálním kabelem (Thinnet); rámce měly pole Typ. Tento formát rámců se používá od té doby ve všech formách ethernetových protokolů i v dnešním Internetu.
IEEE 802.3	1983	10BASE5 10 Mb/s (1,25 MB/s) nad tlustým koaxiálním kabelem (Thicknet); stejný jako DIX s tou výjimkou, že pole Typ bylo nahrazeno polem Délka, a záhlaví 802.3 následuje záhlaví 802.2 LLC.
802.3a	1985	10BASE2 10 Mb/s (1,25 MB/s) nad tenkým koaxiálním kabelem (Thinnet)
802.3b	1985	10BROAD36
802.3c	1985	Specifikace opakovačů 10 Mb/s (1,25 MB/s)
802.3d	1987	Optické spoje mezi opakovači (FOIRL, Fiber-Optic Inter-Repeater Link)
802.3e	1987	1BASE5 neboli StarLAN
802.3i	1990	10BASE-T 10 Mb/s (1,25 MB/s) nad kroucenou dvoulinkou
802.3j	1993	10BASE-F 10 Mb/s (1,25 MB/s) nad optickým vláknem
802.3u	1995	100BASE-TX, 100BASE-T4, 100BASE-FX zvané rychlý Ethernet (Fast Ethernet), rychlost 100 Mb/s (12,5 MB/s) s automatickou negociací
802.3x	1997	Plně duplexní Ethernet a řízení toků; zahrnuje také rámce DIX a odstraňuje odlišnosti mezi DIX a 802.3
802.3y	1998	100BASE-T2 100 Mb/s (12,5 MB/s) nad kroucenou dvoulinkou o nízké kvalitě
802.3z	1998	1000BASE-X gigabitový Ethernet nad optickými vlákny o rychlosti 1 Gb/s (125 MB/s)
802.3ab	1999	1000BASE-T gigabitový Ethernet nad kroucenou dvoulinkou o rychlosti 1 Gb/s (125 MB/s)
802.3ac	1998	Maximální velikost rámce byla rozšířena na 1522 bajtů kvůli možnosti přidání takzvaného Q-tagu; jedná se o informaci o síti VLAN z 802.1Q a prioritě z 802.1p

Standard	Rok	Účel
802.3ad	2000	Agregace paralelních linek
802.3ae	2003	10GBASE-SR, 10GBASE-LR, 10GBASE-ER, 10GBASE-SW, 10GBASE-LW a 10GBASE-EW; Ethernet nad optickými vlákny o rychlosti 10 Gb/s (1250 MB/s).
802.3af	2003	Napájení přes Ethernet (PoE, Power over Ethernet)
802.3ah	2004	Ethernet na první (nebo poslední, jak se to vezme) míli
802.3ak	2004	10GBASE-CX4; Ethernet nad dvojitém koaxiálním (twin-axiálním) kabelem o rychlosti 10 Gb/s (1250 MB/s)
802.3an	2006	10GBASE-T; Ethernet nad nestíněnou kroucenou dvoulinkou (UTP) o rychlosti 10 Gb/s (1250 MB/s)
802.3ap	2007	Ethernet pro podpůrné úrovně hardwaru (1 a 10 Gb/s, tedy 125 a 1250 MB/s) nad tištěnými plošnými spoji
802.3aq	2006	10GBASE-LRM; Ethernet nad vícevidovým optickým vláknem o rychlosti 10 Gb/s (1250 MB/s)
802.3as	2006	Rozšíření rámců
802.3at	2008	Vylepšení standardu napájení přes Ethernet (PoE)
802.3av	2009	Pasivní optický Ethernet EPON (Ethernet Passive Optical Network) o rychlosti 10 Gb/s (1250 MB/s)
802.3az	2007	Energeticky efektivní Ethernet
802.3ba	2009	Studijní skupina vyšších rychlostí. Vyvíjí Ethernet o rychlosti 40 Gb/s pro tištěné spoje do 1 metru, soubor měděných kabelů do 10 metrů (pruhy 4 x 25 Gb/s nebo 10 x 10 Gb/s), vícevidové optické vlákno do 100 metrů nebo jednovidové vlákno do 4 kilometrů nebo soubor měděných kabelů do 10 metrů, to vše o rychlosti 100 Gb/s.

V Ethernetu se kódují informace do časové posloupnosti signálů, které jsou cestou po síti zdeformovány. Někdy musí přijímající systém příchozí data filtrovat, kompenzovat odchylky či synchronizovat data tak, aby byl takt hodin správně nastaven a data ze signálu extrahována. Pro nápravu těchto problémů se používá několik kódovacích schémat. Raný Ethernet využíval kódování Manchester (jeho popis je uveden dále v této kapitole), ale v gigabitovém Ethernetu se začal používat systém založený na dopředných opravných kódech. V Ethernetu se detekují jen bitové chyby; ostatní typy chyb se předávají v protokolovém zásobníku výše a musí je odhalit další kontrolní mechanismy.

Ethernetové rámce

Rámce jsou porce dat zabalené pro účely síťového přenosu. Tvoří je software na linkové vrstvě, přičemž data rozděljuje do fragmentů nebo naopak doplňuje mezerami, aby bylo dosaženo správné velikosti pro odpovídající formát rámce. Datová část (anglicky se jí říká *payload*, tedy *užitečný náklad*) se zabalí či zapouzdří jistým množstvím počátečních a koncových bitů, reprezentujících doplňkové informace o tom, co jsou obalená data zač, odkud pochází a kam míří,

dále jsou zde informace pro kontrolu chyb a diagnostiku a tak dále. Ethernetový rámeček je přitom ukázkovým prototypem síťových rámečků, na němž je možné demonstrovat jejich funkci v síti. Rámce se používají i jinde než v sítích s přepínáním paketů, jakými jsou TCP/IP a Internet, i když se jedná o zřejmě nejznámější příklad.

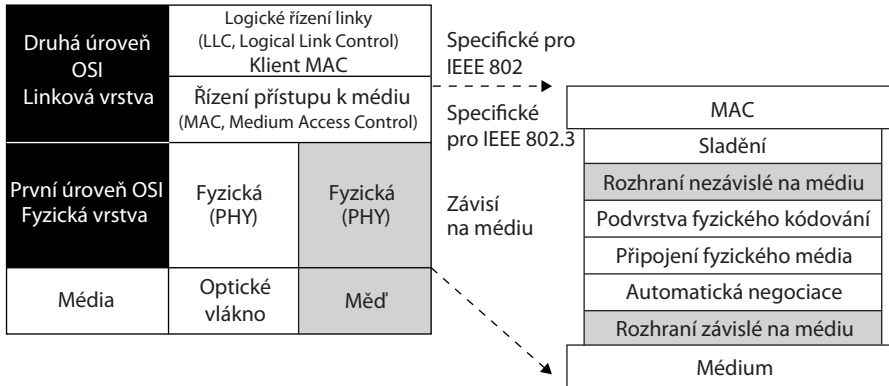
Rámce jsou velmi užitečné, protože poskytují přijímajícímu systému kontext příchozích dat. Díky němu je možné datům porozumět a interpretovat je. Z pohledu systému naslouchajícího v síti mohou být signály přijímány prakticky neustále, v závislosti na aktuálním vytížení sítě. Jakmile je rozpoznána úvodní sekvence, je možné seřadit hodiny a zajistit nezbytnou synchronizaci. Pak už lze zjistit, kde začíná první bit rámce a jak je dlouhý. Mezi charakteristiky prakticky všech struktur síťových rámečků, na které můžete narazit, patří tyto:

- Rámce mají svůj účel: v některých jsou přenášena data, jiné zadávají povely a další pak informace a zprávy protokolu.
- Rámce obsahují počáteční a koncové sekvence zvané oddělovače.
- Rámce většinou obsahují pole s počtem znaků, které vyznačuje velikost rámce a je součástí mechanismu pro kontrolu chyb. Některé rámce mají z definice pevnou délku a toto pole nepotřebují, to záleží na standardu.
- Datová pole mohou mít proměnlivou nebo pevnou délku, a mohou nebo nesmí být vynechána, v závislosti na účelu rámce. Datová pole se někdy musí vyplňovat (obvykle nulami), aby měla jistou délku (někdy se tomu říká „bitová nádivka“).
- Součástí rámce je sekvence bitů určená pro kontrolu chyb, která slouží k ověření platnosti zaslanych dat.

Kontrola chyb je při přenášení rámečků zcela kritickou funkcí. Neexistuje totiž jiný způsob, jak se stoprocentně ujistit o korektnosti rámce přijatého v cílové stanici. V síti s rámečky se od sebe jednotlivé rámce separují intervalem ticha, ale tento mechanismus není spolehlivý. Pokud dva rámce dorazí do cíle přibližně v témže čase (a dojde ke kolizi), může se zdát, že všechny přijaté signály náležejí ke stejnému rámečku – alespoň do chvíle, než dojde ke kontrole chyb. I tak může jisté procento chyb proklouznout do systému, ale ty (obvykle se vyskytují v samotných datech) jsou ponechány na diagnostice protokolů vyšších vrstev.

Navykli jsme si na bitovou reprezentaci dat založenou na překladové tabulce ASCII a podobných. Avšak velikost a kódování do takzvaných oktětů není jedinou možností, jak symbolizovat data. Existují i větší znakové sady s širší bitovou reprezentací a hlavním příkladem této kategorie je Unicode. Není přitom žádný principiální důvod, proč by se pro zobrazení znaků a slov měly používat 8bitové sekvence nebo jejich násobky. Navíc z pohledu síťových standardů je potřeba pro počet bitů udržovat jistou míru flexibility. To je také jedním z důvodů, proč data rámečků musí být oddělena a proč se datová pole vyplňují, aby bylo dosaženo požadované délky.

Obrázek 12.1 znázorňuje část referenčního modelu OSI, který koresponduje s protokoly, jež jsou součástí ethernetových sítí. Samotný Ethernet obsahuje definici protokolů na fyzické (první) vrstvě a linkové (druhé) vrstvě modelu OSI. Protokoly fyzické vrstvy jsou závislé na kabeláži, to jest zda se jedná o měděné dráty nebo optická vlákna. Zatímco oba typy médií používají stejný typ adresace MAC, jednotlivé podvrstvy propojující médium s vrstvou MAC se liší podle typu média, jak ukazuje pravá strana obrázku.



Obrázek 12.1: Ethernetové vrstvy a jejich vztah k modelu OSI

Zapouzdření a rozhraní k médiu probíhá na vrstvě řízení přístupu k médiu (MAC, Medium Access Control). Jeho součástí je řazení rámců, jejich kompletování a detekce chyb, ať už během přijetí nebo po verifikaci. Na vrstvě MAC dochází také k zahájení přenosu rámců a poskytuje se zde mechanismus opětovného přenesení rámců v případě, že došlo k chybě.

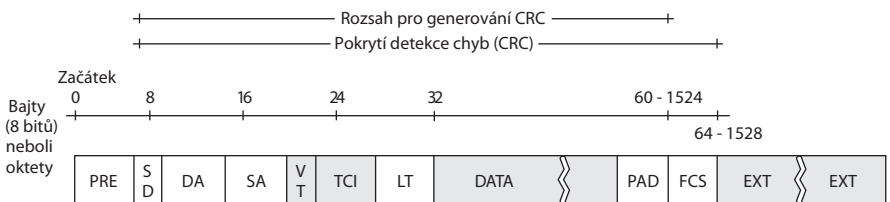
Logické řízení linky (LLC, Logical Link Control) je uvedeno jako klient vrstvy MAC a uplatňuje se na koncovém zařízení (DTE). Nad klientem MAC jsou již protokoly vyšších vrstev, například TCP/IP a další. Pokud je však klient MAC ve funkci mostu nebo jiného komunikačního zařízení (DCE), pak se žádné protokoly vyšších vrstev komunikace neúčastní a spojení je čistě typu Ethernet proti Ethernetu.

Struktura rámce

Ethernetové rámce se skládají až z jedenácti polí přenášených sekvenčně bez jakýchkoli mezer. Strukturu ethernetového rámce dle 802.3 představuje obrázek 12.2 a jeho 11 polí slouží následujícím účelům:

- **Preamble (PRE)** – Sekvence sedmi bajtů 10101010, která slouží k výstraze přijímající koncové stanice, že následuje nový rámec. Měnící se vzor pomáhá synchronizovat na médiu závislé rozhraní fyzické vrstvy.
- **Počáteční oddělovač (SD, Starting Delimiter)** – oddělovač začátku rámce je bitová sekvence (jeden bajt) s hodnotou 10101011. Dva koncové bity s hodnotou 1 jsou příznakem, že následuje pole s cílovou adresou.
- **Cílová adresa (DA, Destination Address)** – šestibajtové pole s adresou koncové stanice nebo skupiny (vícesměrové vysílání neboli multicast). První bit rozhoduje, zda se jedná o rámec určený jedinému cílovému uzlu sítě (hodnota 0) nebo skupině takových uzlů (hodnota 1). Naproti tomu poslední bit určuje dosah správy adresy: hodnota 0 značí globálně spravovanou adresu, zatímco jednička indikuje lokálně spravovanou adresu. Prostředních 46 bitů je jedinečnou MAC adresou cíle, ať už se jedná o jedinou stanici (jednosměrové vysílání, unicast), skupinu stanic (vícesměrové vysílání, multicast) nebo všechny stanice (všesměrové vysílání, broadcast).
- **Zdrojová adresa (SA, Source Address)** – šestibajtové pole obsahující zdrojovou adresu odesílající stanice. První bit je vždy nulový a adresa má délku 46 bitů.

- **Identifikace typu sítě VLAN (VT)** – toto volitelné dvoubajtové pole určuje, že rámec je typu VLAN (sítě VLAN probíráme dále v této kapitole). Aby sítě VLAN správně fungovaly, musí všechny stanice zapojené do komunikace tuto funkci podporovat.
- **Řídící informace s tagem (TCI, Tag Control Information)** – další volitelné, tentokrát 4bitové pole, které dává rámci prioritu a identifikátor skupiny sítě VLAN, pro niž je rámec určen.
- **Délka/Typ (LT, Length/Type)** – dvoubajtové pole obsahující velikost datového pole (46 až 1 500 bajtů). Může také sloužit k udání identifikátoru typu rámce, pokud je jeho hodnota větší než 1 536.
- **Data** – „užitečný náklad“ (payload) přenášeného rámce o proměnlivé velikosti od 46 do 1 500 bajtů. Pokud je dat méně než 46 bajtů, musí být vyplněna nulami nebo se jejich velikost musí jinak prodloužit na 46 bajtů.
- **Vyplnění do délky (PAD, Padding)** – výplň v datovém poli, která je tvořena dostatečným počtem znaků (typicky nul), jež nepatří k samotným datům, aby bylo dosaženo standardní délky.
- **Kontrolní součet rámce (FCS, Frame Check Sequence)** – čtyřbajtové pole obsahující 32bitovou hodnotu CRC (Cyclic Redundancy Check), která slouží ke kontrole chyb. Na obrázku 12.2 jsou bity používané k vygenerování hodnoty CRC vyznačeny úsečkou v horní části diagramu, označenou Rozsah pro generování CRC. Pole pod touto úsečkou vstupují do výpočtu hodnoty CRC tak, jak se objevuje napravo od těchto polí. Tento rozsah spolu s hodnotou CRC se používá v algoritmu pro detekci chyb, proto se společně označují jako Pokrytí detekce chyb (CRC).
- **Rozšíření (EXT, Extension)** – 12bajtové pole neobsahuje data, ale používá se ke snadnějšímu zaslání ethernetových rámců v gigabitových sítích. Pro 1000BASE-X je nastaveno na 416 bajtů, zatímco v případě 1000BASE-T se jedná o 520 bajtů.



LEGENDA

DATA = Užitečný náklad
 EXT = rozšíření, nedatové pole jen pro gigabitové sítě
 FCS = Kontrolní součet rámce
 LT = Délka/Typ
 PAD = Výplň
 PRE = Preambule
 SA = Zdrojová adresa
 SD = Počáteční oddělovač
 TCI = Řídící informace s tagem (pro sítě VLAN, volitelné)
 VT = Identifikace typu sítě VLAN (volitelné)

0 Data (proměnlivá délka) 46 - 1500 416 pro 1000Base-X 520 pro 1000Base-T

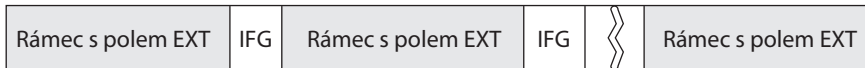
Obrázek 12.2: Struktura ethernetového rámce 802.3

Přesná podoba ethernetových rámců se v různých typech Ethernetu liší, ale všechny se řídí obecným formátem z obrázku 12.2. Mezi rozličné varianty Ethernetu, které se historicky používaly, patří hrubé rámce 802.3 od Novellu (bez záhlaví LLC), dále IEEE 802.2 LLC, 802.2 LLC/SNAP a Ethernet II (verze 2). Aby bylo možno mezi nimi rozlišovat, bylo do záhlaví MAC přidáno za zdrojovou adresu pole Délka/Typ (někdy se mu říká pole EtherType). Díky němu je možné provozovat ve stejné síti několik verzí Ethernetu souběžně.

Výbušný režim

S příchodem gigabitového Ethernetu byl do protokolu CSMA/CD přidán vysokorychlostní takzvaný výbušný režim (burst mode). V něm se přenáší posloupnosti velkých shluků o velikosti až 8 192 bajtů (65 536 bitů) v podobě více zapouzdřených rámců oddělených od sebe mezerami (InterFrame Gaps, IFG). Díky těmto shlukům rámců může zdroj dat kontrolovat síť déle a pro malé rámce získat až třikrát větší propustnost, než by v gigabitovém Ethernetu bylo normálně možné. Výbušný režim je vlastní gigabitovému Ethernetu, pomalejší varianty nepodporují pole Rozšíření (EXT), které udržuje možnost přenosu a potlačuje odesílání dat jinými stanicemi. Shluk gigabitových rámců ilustruje obrázek 12.3 s tím, že nosný cyklus je indikován největší bitovou délkou, jež může být přenášena maximálním shlukem rámců.

— Nosný cyklus —



Legenda

EXT = Rozšíření

IFG = Mezera mezi rámci

Obrázek 12.3: Výbušný režim v gigabitovém Ethernetu

Rámce VLAN

Virtuální místní síť LAN neboli VLAN je skupinou uzlů, které jsou součástí jediné logické všesměrové domény, a to nezávisle na jejich fyzickém umístění. Data odesílaná z jednoho uzlu v jedné síti jinému uzlu v jiné síti se jeví tak, jako by byla vzdálená síť součástí místní sítě. Provoz sítě VLAN může mít priority i skupiny a spravuje se z jediné konzoly. Síť VLAN definuje skupiny na druhé vrstvě modelu OSI a používá se k vytvoření ekvivalentů podsítí TCP/IP na vrstvě třetí.

KŘÍŽOVÝ ODKAZ

Produkty založené na sítích VLAN jsou uvedeny v kapitole 16.

K podpoře funkcí VLAN slouží dvě pole vložená do ethernetového rámce před pole Délka/Typ (EtherType). První z nich má délku dva bajty a jedná se o pole Identifikace typu sítě VLAN. Indikuje, že máme co do činění s VLAN rámcem. Druhé pole je pak dvoubajtová Řídící informace s tagem, obsahující prioritu od nuly (nejnižší) po sedm (nejvyšší) a VLAN ID (identifikátor skupiny). Aby mohl být rámec opatřen poli VLAN zpracován, musí mít všechny stanice příslušející do téže skupiny tuto volbu také funkční.

Naslouchání nosného signálu s vícenásobným přístupem a detekcí kolizí

Protokol naslouchání nosného signálu s vícenásobným přístupem a detekcí kolizí (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection, CSMA/CD) je poloduplexním komunikačním protokolem, který slouží k přenosu dat mezi mnoha uzly prostřednictvím souběžného všesměrového vysílání přes sdílené médium. Jedná se o alternativu k sítím s tokenem, jejímž účelem je maximální využití kapacity sítě. Protože je možné, že dvě nebo více stanic začnou vysílat překrývající se ethernetové rámce, přijímající stanice nemusí být schopna různé bitové toky detekovat a dojde k chybě. Tomuto druhu chyb se říká kolize. Protokol CSMA/CD nabízí detekci kolizí a zotavení z nich.

Celý dlouhý název se skládá z následujících složek:

- **Naslouchání nosného signálu (Carrier Sense)** – jde o mechanismus, kterým koncové stanice detekují podle mezer ve vysílání začátky a konce rámců.
- **Vícenásobný přístup (Multiple Access)** – kterákoli stanice může vysílat do sítě, pokud ovšem předtím zjistí, že tak již nečiní někdo jiný.
- **Detekce kolizí (Collision Detection)** – pokud dvě nebo více stanic odesílajících data zjistí, že dochází ke kolizi, musí stejný rámec přeposlat znovu později. Časový interval prodlevy určuje algoritmus založený na vygenerovaných pseudonáhodných číslech.

Protokol CSMA/CD se v Ethernetu může nacházet v jednom ze tří stavů:

- **Vysílání** – data cestují od zdrojové stanice ke svému cíli v síti.
- **Klid (nečinnost)** – žádná data se nepřenáší.
- **Zahlčení (kolize)** – data od dvou nebo více zdrojů jsou vysílána do sítě zároveň.

Kolize nastávají v ethernetové síti neustále. Čím více je síť využívána, tím větší procento rámců je zapleteno do kolizí. Bylo však prokázáno, že v Ethernetu je možné dosáhnout až 90 procent teoretické kapacity díky metodě zotavení z kolizí, kterou poskytuje protokol CSMA/CD.

Tabulka 12.3: Ethernetové rámce versus délka vedení¹

Faktor	10 Mb/s	100 Mb/s	1 Gb/s
Minimální velikost rámce	64 bajtů	64 bajtů	416 bajtů pro 1000BASE-X a 520 bajtů pro 1000BASE-T
Maximální dosah pro kolize ²	Kroucená dvoulinka 100 metrů	Kroucená dvoulinka 100 metrů; optické vlákno 412 metrů	Kroucená dvoulinka 100 metrů; optické vlákno 316 metrů
Maximální povolená vzdálenost mezi opakovacími	2 500 metrů	205 metrů	200 metrů
Povolený počet opakovacích na trase	5	2	1

¹ Kalkulace pro poloduplexní režim;

² Maximální dosah pro kolize je největší vzdálenost mezi libovolnými dvěma koncovými stanicemi (DTE) v jakékoli kolizní doméně.

Pokud je vedení sítě delší, může dojít k detekci kolizí na jednotlivých stanicích v různých časech. Právě tato skutečnost omezuje maximální délku vedení Ethernetu, která je vyvážená zvolenou velikostí rámců. Při přechodu na vyšší rychlosti (100 Mb/s a vyšší) se zpoždění při detekci kolizí zkrátilo, a rovnováha mezi délkou vedení a velikostí rámců byla narušena. Pro 100 Mb/s Ethernet bylo učiněno rozhodnutí ponechat velikost rámců stejnou a zkrátit povolenou délku vedení. Naproti tomu při definici gigabitového Ethernetu bylo přijato jiné řešení; délka vedení byla ponechána stejná jako u rychlosti 100 Mb/s, ale do ethernetových rámců přibylo pole Rozšíření. Díky němu se rámce jeví delší, než ve skutečnosti jsou. Velikost pole Rozšíření byla stanovena na 416 bajtů pro 1000BASE-X a 520 bajtů u 1000BASE-T. Shrnutí velikostí rámců a přípustných délek vedení pro různé rychlosti Ethernetu podává tabulka 12.3.

Přenos ethernetového rámce s pomocí metody CSMA/CD probíhá v následujících krocích:

1. Rámec je připraven pro přenos.
2. Odesílající stanice zkusí naslouchat na nosném médiu, zda se na něm odehrává nějaká aktivita.
3. Pokud je médium nečinné, je zahájeno vysílání. V případě, že na médiu k nějakému přenosu dochází, je vysílání odloženo na jistou dobu, danou protokolem. V Ethernetu se tento interval nazývá mezerou mezi rámci (IFG, InterFrame Gap), roztupem mezi rámci nebo mezerou mezi pakety (IPG, InterPacket Gap).
4. Odesílající stanice monitoruje médium a snaží se zjistit, zda přijímá stejné informace, jaké sama do sítě vysílala. Tímto způsobem se testuje výskyt kolize. Pokud nastane, ukončí odesílající stanice přenos a zahájí proces nápravy kolize, který je popsán o pár odstavců dále. Tento mechanismus je velmi podstatný, protože stanovuje limit na dobu, po kterou si libovolná odesílající stanice uzurpuje médium pro sebe.
5. Po potvrzení přijímající stanicí skončí odesílající stanice přenos a nastaví čítače CSMA/CD na nulu.

Hodnota časové prodlevy mezi rámci IFG je doba, po kterou musí stanice v ethernetové síti detekovat nečinnost, než může zahájit odesílání rámce. V tomto klidném období mohou ostatní zařízení nastavit svoje síťové zásobníky do výchozího stavu a začít přijímat rámec, který je připraven k přenosu. Velikost této časové mezery se liší podle protokolu. Mezi typické hodnoty patří:

- 9,6 ns (nanosekund, tedy 10^{-9} sekund) pro Ethernet o rychlosti 10 Gb/s (10 GigE)
- 96 ns pro gigabitový Ethernet (1 GigE)
- 960 ns pro 100 Mb/s Ethernet (Fast Ethernet)
- 9,6 μ s (mikrosekund, 10^{-6} sekund) pro původní 10 Mb/s Ethernet

Uvedené hodnoty nejsou nedotknutelné. Výrobci síťových karet s rychlejšími čipy často hodnotu IFG snižují, aby tím zvýšili datovou propustnost. Například karta Intel EtherExpress PRO/100B používá tuto metodu. Také opakovače, které zesilují signál na delší vzdálenosti, hodnotu IFG snižují. Podmínky v síti mohou při příchodu rámce do cíle hrát také svoji roli a v důsledku zmenšit časovou prodlevu mezi rámci. Děje se tak při přenosu přes opakovače, při shromažďování paketů po cestě nebo zahlcení sítě. Redukce hodnoty IFG je tolerována v síti 10 GigE na úroveň 40 bitů (5 bajtů), v síti 1 GigE 64 bitů (8 bajtů) a v 10 Mb/s Ethernetu je to 47 bitů.

Jakmile je detekována kolize, provede vysílající stanice na základě algoritmu CSMA/CD následující kroky:

1. Vyšle další pakety, aby kolizi detekovaly všechny stanice.
2. Zvýší čítač CSMA/CD.
3. Při nejvyšší úrovni přenosu se pokusí jej přerušit.
4. Počká jistou dobu, která je určena tím, kolik bylo zjištěno kolizí.
5. Začne opět vysílat rámeček podle postupu uvedeného výše.

Plně duplexní režim

V rychlejších variantách Ethernetu je populárnější plně duplexní fungování přenosu než poloduplexní režim. V plně duplexní síti cestují data oběma směry bez kolizí. Díky tomu jsou přenosy rychlejší, ethernetové rámce jsou menší, protože odpadá nutnost připojovat pole Rozšíření, a šířka pásma sítě se zhruba dvakrát zvyšuje. Rámce odesílané přes plně duplexní bodová spojení jsou odděleny mezerami (IFG) stejně jako v případě poloduplexní sítě, ale k vysílání dochází ihned, jakmile jsou rámce na odesílající stanici připravené.

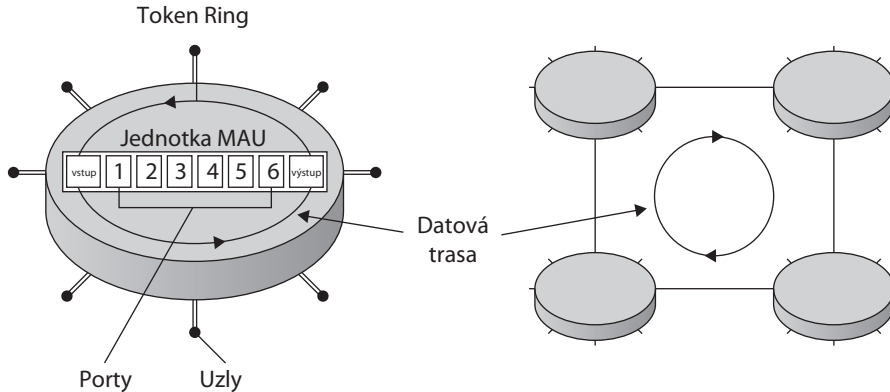
Aby bylo plně duplexní fungování sítě praktické, musí být v Ethernetu uplatněno řízení toků. To provádí prepínač nebo směrovač a zabráňuje tím zahlcení. Pro data v obou směrech musí být za tím účelem ustanoveny vyrovnávací paměti (buffery). Pokud je zjištěno velké množství zahozených paketů přesahující jistý práh, vyšle přijímající systém odesílajícímu speciální rámeček žádající o pauzu ve vysílání. Tento rámeček je speciálně zkonstruovaný a nezpracovává se mimo vrstvu klienta MAC.

Plně duplexní komunikace a řízení toku funguje ve všech typech Ethernetu o libovolné rychlosti. Tato metoda může být implementovaná jenom tehdy, pokud linka (médium) má na fyzické vrstvě potřebné vlastnosti.

Síť Token Ring

Ve štafetovém závodě předává jeden běžec štafetový kolík dalšímu. Ten pak běží další úsek a na jeho konci opět předává štafetový kolík. V sítích založených na tokenu je to podobné: roli štafetového kolíku hraje symbolický token, který dává uzlu právo odesílat data do sítě. Čas, po který má jakýkoli uzel vládu nad provozem v síti, je krátký. Komunikovat může jen jeden uzel, proto tento typ sítí netrpí nedostatky způsobenými kolizemi a zahozenými rámci. Data se proto odesílají v mnohem větších dávkách, než je to možné u Ethernetu. Aby byl přístup k síti zajištěn periodicky (čili cyklicky), byly tokenové sítě vždy stavěny do topologie kruhu, jak ukazuje také obrázek 12.4.

V levé části obrázku 12.4 přitom vidíme jediný tokenový kruh propojený s jednotkou vícenásobného přístupu (MAU, Multiple Access Unit). Je to zařízení určené ke směrování s jedním vstupním (In) portem, jistým počtem koncových portů (na obrázku jsou označené čísla 1 až 6) a jedním výstupním portem (Out), který je na obrázku vpravo. Každá tečka je koncový uzel propojený s jednotkou MAU dvěma kabely, jedním pro příchozí a druhým pro odchozí provoz. Datové přenosy se v kruhu odehrávají jen jedním směrem. Tokenový kruh můžete rozšířit jeho zřetěžením s dalšími (viz pravá část obrázku 12.4).



Obrázek 12.4: Logická topologie sítě Token Ring (nalevo) a čtyři zřetězené kruhy (napravo)

Sítě typu Token Ring pochází ze 70. let 20. století od společnosti IBM. Bylo to ve stejné době, kdy se v laboratořích XEROX PARC a ARCnet vyvíjel standard Ethernet. Původní norma pro Token Ring stanovila přenosovou rychlost na 4 Mb/s, což bylo ve srovnání s tehdejšími Ethernetem (10 Mb/s) méně. V roce 1989 byl představen Token Ring o rychlosti 16 Mb/s. Přes tuto teoreticky nižší rychlost měl ve svých počátcích Token Ring nad Ethernetem navrch, protože díky mnohem větší velikosti paketů byla efektivní propustnost Token Ringu větší.

Svou původní převahu nad Ethernetem Token Ring promarnil, protože pořizovací ceny přepínačů a síťových adaptérů byly vyšší. Navíc konkurenční technologie typu Token Ring od Apollo Computer a Proteonu nebyly s implementací IBM kompatibilní. Standard IEEE 802.5 je sice založen na Token Ringu od IBM, ale obsahuje zobecnění nezávislá na konkrétním typu média či topologie.

V polovině 80. let 20. století Token Ring z místních sítí LAN prakticky vymizel a byl nahrazen Ethernetem. Přesto zůstává omezeně dostupný na trhu zabudovaných systémů. Navíc 100megabitový Ethernet (Fast Ethernet) technologii Token Ring nechal daleko za sebou. Právě v době, kdy se objevil, vyvinuli výrobci přepínačů metody vedoucí ke značné redukci kolizí v ethernetových sítích. Nižší cena za vybudování Ethernetu prakticky vymazala Token Ring z trhu sítí LAN. Dnes byste jen velmi obtížně hledali technologii Token Ring jinde, než u zarytých příznivců a prodejců IBM. Přesto musíme uznat, že Token Ring sehrál ve vývoji síťových technologií významnou roli a stále má vliv na vývoj budoucích sítí. Proto je stručný popis jeho fungování velmi cenný.

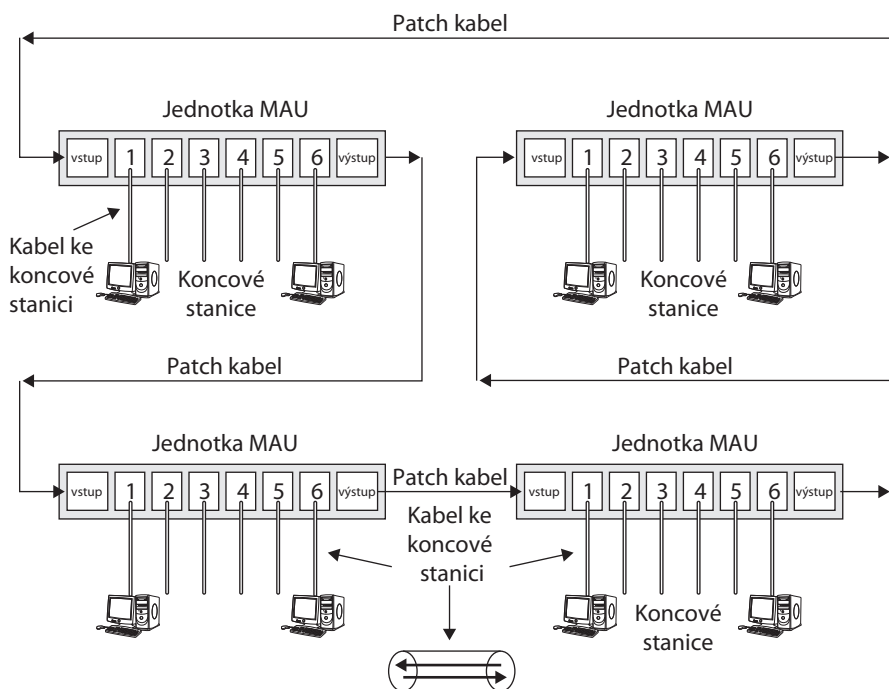
Sítě Token Ring jsou logickými kruhy v tom smyslu, že kabely jsou zapojeny do smyčky. Týká se to každého koncového bodu, který je propojen s přepínačem dvěma způsoby. Přepínač se v terminologii IBM nazývá jednotka vícenásobného přístupu (MUA nebo také MSUA, Multiple [Station] Access Unit). Instalaci sítě Token Ring musíte začít umístěním jednotky MUA do centrálního místa, například skříně v serverovně, a pokračovat protažením kabeláže od této jednotky směrem k hostitelským (koncovým) stanicím sítě.

Z hlediska fyzické topologie se tedy jedná o hvězdu, jejíž paprsky vycházejí z centrálního rozbočovače. Kruh (Ring) je v síti Token Ring vytvořen vlastně uvnitř jednotky MUA. Každá stanice je s ní spojena kroucenou dvoulinkou typu 1 a hermafroditním konektorem. Ty společně tvoří systém strukturované kabeláže IBM. Síť Token Ring pokrývá v rámci modelu OSI fyzic-

kou, linkovou a síťovou vrstvou. Každá jednotka MAU má vstupní a výstupní port, které slouží k rozšíření sítě na větší kruh.

Obrázek 12.5 představuje sadu čtyř tokenových kruhů zřetěžených dohromady tak, že tvoří větší síť. Každá jednotka MAU přitom propojuje šest koncových stanic, avšak pro přehlednost obsahuje obrázek pouze dvě. Tento obrázek vlastně znázorňuje fyzickou implementaci logické topologie z diagramu na pravé straně obrázku 12.4. Rozšíření sítě Token Ring zajišťuje vzájemné propojení jednotek MAU s pomocí patch kabelů. Data po těchto patch kabelech cestují pouze jedním směrem (na rozdíl od kabelů vedoucích ke koncovým stanicím). Uprostřed obrázku 12.5 dole je to naznačeno schematicky.

Token je reprezentován v síti tříbajtovým rámcem (každý bajt má osm bitů), jenž se předává z jednoho uzlu na další. Jakmile má jeden uzel token a tudíž i vládu nad sítí, může odesílat rámce. Když jsou jeho data korektně doručena do cíle, vytvoří uzel rámec s tokenem a pošle jej dalšímu uzlu, který je na řadě. V době, kdy kruhem obíhá rámec s daty, nemohou v síti existovat žádné další tokeny (pokud ovšem síť nepodporuje funkci zvanou předčasné uvolnění). V původní síti Token Ring o rychlosti 4 Mb/s se může předávat pouze jediný token, ale standard pro 16 Mb/s umožňuje souběžnou cirkulaci několika tokenů v síti. Celý tento systém v zásadě vylučuje kolizi rámců, takže síť je velmi robustní a doručování dat spolehlivé.



Obrázek 12.5: Síť složená ze čtyř zřetěžených tokenových okruhů

V sítích Token Ring probíhá řízení provozu s pomocí priority, která může nabývat hodnot od 0 do 7. Pokud uzel obdrží token s prioritou menší, než je jeho vlastní, prioritu tokenu změni a vyšle jej do sítě znovu. Token se pak předává síti, dokud se nedostane k uzlu s nejvyšší nastavenou prioritou. V té chvíli je tokenu nastavena nejvyšší priorita a je znovu vyslán na svou

cestu sítí, dokud se nevrátí k uzlu s nejvyšší prioritou zpět. Ten pak vyšle datový rámeček. Po jeho přijetí je priorita tokenu znovu nastavena na hodnotu, kterou měl při prvním přijetí uzlem s nejvyšší prioritou. Díky tomuto mechanismu jsou uzly obslouženy v pořadí, které odpovídá jejich prioritě.

Na obrázku 12.6 je představena struktura rámce s tokenem, datového a příkazového rámce a přerušovacího rámce. Datový i příkazový rámeček nese data o velikosti až 18 200 bajtů. Pole s počátečním oddělovačem (SD, Starting Delimiter), které je ve spodní části obrázku 12.6, obsahuje několik atributů. Jejich hodnoty odpovídají prioritě přenášených dat, která slouží k řízení přístupu k síti v danou chvíli. Pole SD také obsahuje token i hodnoty Monitor a Rezervace potřebné pro poskytování funkce kvality služby (QoS, Quality of Service).

Rámce v tokenovém kruhu používají ke kódování metodu zvanou Manchester. Je založena na čase; v síti se udržuje hodinový takt, v jehož rámci se pravidelně mění hodnoty (z jedničky na nulu a naopak). Při kódování metodou Manchester se nad daty a hodnotami z pravidelného taktu provede logická operace XOR (exkluzivní OR). Zde je příklad pro čtyřciferné binární číslo:

Datový řetězec: 1100

Taktovací řetězec: 1010

Manchester kód (XOR): 0110

Kódování metodou Manchester se dříve používalo i v Ethernetu, ale přepustilo svoje místo jinému mechanismu zvanému diferenciální kódování Manchester (podmíněné dvoufázové). Data a hodinový takt jsou zde synchronizovány a kódování logických hodnot se odehrává přímo při přenosu. Řetězce se pak kombinují takto:

Datový řetězec: 11001100

Taktovací řetězec: 1010101010

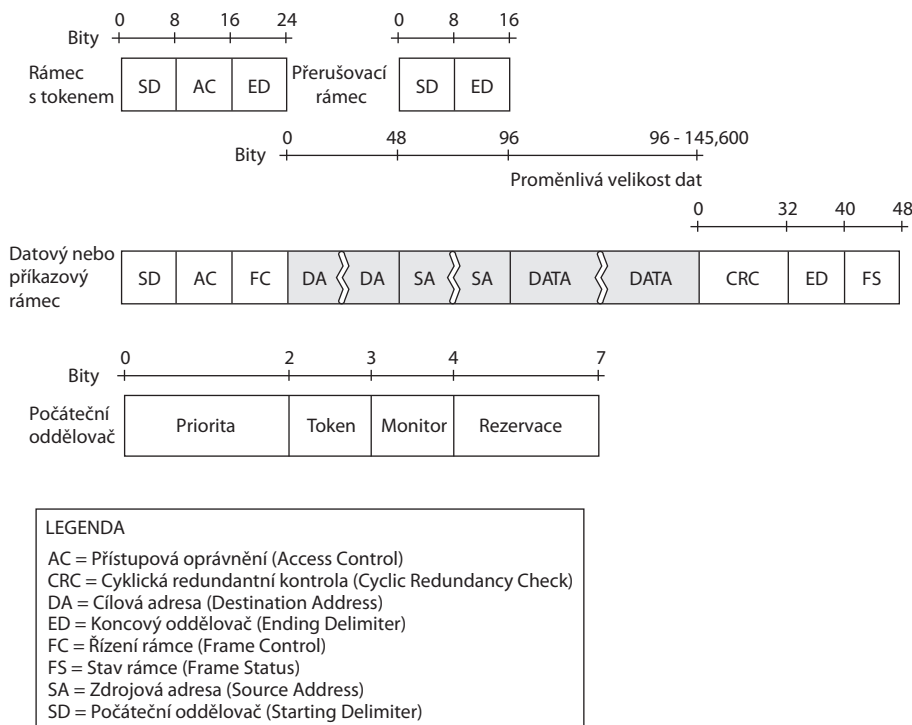
Manchester kód (XOR): 10100101

Diferenciální kódování Manchester je součástí specifikace protokolu Token Ring ve standardu 802.5 a používá se v implementacích od IBM.

Možnost výskytu síťových chyb existuje vždy, proto vybraná koncová stanice zvaná aktivní monitor (Active Monitor) neustále sleduje stav tokenu a koriguje případné chyby. Pro fungování sítě Token Ring je to naprosto kritická funkce, proto se někdy zavádějí i záložní monitorovací stanice. Při spojení více tokenových kruhů je jeden z původních monitorů vybrán jako aktivní pro celou novou síť a ten ji pak monitoruje. Volba nového aktivního monitoru je zahájena také v případě, že v síti není žádný signál, pokud aktivní monitor neodpovídá nebo jestliže se po jistou dobu neobjeví rámeček s tokenem. Podle definice protokolu Token Ring se aktivním monitorem může stát libovolná koncová stanice sítě.

Aktivní monitor má v síti Token Ring také velmi důležitou funkci související s časem. Sleduje totiž pravidelný časový takt, iniciuje prodlevu nutnou pro ukládání do vyrovnávací paměti a potlačuje oběh tokenu v době, kdy dochází k odesílání rámce s daty nebo s příkazem. Mezi jeho role spadá i zajištění, že token skutečně v síti cirkuluje. K testování sítě Token Ring slouží navíc algoritmus zvaný *beaconing* (volně přeloženo je to maják nebo strážný oheň), jehož úkolem je zahájení automatické rekonfigurace (restartu jednotky MAU) v případě fatálního problému v síti. V průběhu vykonávání tohoto algoritmu nemohou být v síti přenášena data.

Sítě typu Token Ring nejsou jediné, v nichž se používají tokeny. Technologie FDDI, jež je předmětem následující sekce, je druhým významným příkladem sítě založené na tokenech.



Obrázek 12.6: Struktura rámců v síti Token Ring

Sítě FDDI

FDDI (Fiber Distributed Data Interface) je síťový protokol s tokenovým okruhem, který se používá pro vysokorychlostní místní síť LAN. Specifikaci protokolu najdeme pod kódem IEEE 802.4 nebo jako ANSI standard X3T12. FDDI se od sítě Token Ring založených na specifikaci 802.5 liší zejména časovým schématem pro předávání tokenu. Fyzickým médiem je pro FDDI optické vlákno; odpovídající technologii používající místo něho měděný drát označujeme jako CDDI. Vztah jednotlivých součástí protokolu FDDI s referenčním modelem OSI ilustruje obrázek 12.7.

Na obrázku 12.7 tedy vidíme v levé části diagramu dvě vrstvy OSI umístěné nad fyzické médium. Součástí protokolu zvaná SMT (Station Management Task, správa stanice) pokrývá fyzickou a částečně i linkovou vrstvu OSI. Ačkoli vrstvy LLC (Logical Link Control, logické řízení linky) jsou pro FDDI a Token Ring stejné, je v síti Token Ring komponenta SMT rozdělena na vrstvu MAC (Medium Access Control, řízení přístupu k médiu) a dva další protokoly fyzické vrstvy. V případě, že se jako médium používá optické vlákno, jsou tyto dva protokoly označeny PMD (Physical Medium Dependent Interface, rozhraní závislé na fyzickém médiu) a PHY (fyzikální časování a kódování signálů). Pro měděné dráty se před názvy obou protokolů předazuje TP (podle anglického Twisted Pair, tedy kroucená dvoulinka), takže výsledkem jsou označení TP-PMD, respektive TP-PHY.

Druhá vrstva OSI (linková)	LLC (Logical Link Control, logické řízení linky)		
	První vrstva OSI (fyzická)	SMT (Station Management Task, správa stanice)	MAC (Medium Access Control, řízení přístupu k médium)
PHY			TP-PHY
PMD			TP-PMD
Médium		Optické vlákno	Měděný drát

LEGENDA

PHY = fyzikální časování a kódování signálů

PMD = Physical Medium Dependent Interface, rozhraní závislé na fyzickém médium

SMT = Station Management Task (správa stanice), obsahuje správu okruhu RMT (Ring Management), správu konfigurace CFM (Configuration Management), správu spojení CMT (Connection Management), fyzickou konfiguraci PCM (Physical Configuration) a správu koordinace entit ECM (Entity Coordination Management)

TP = Twisted Pair (kroucená dvoulinka)

Obrázek 12.7: Vztah mezi protokolem FDDI a síťovým modelem OSI

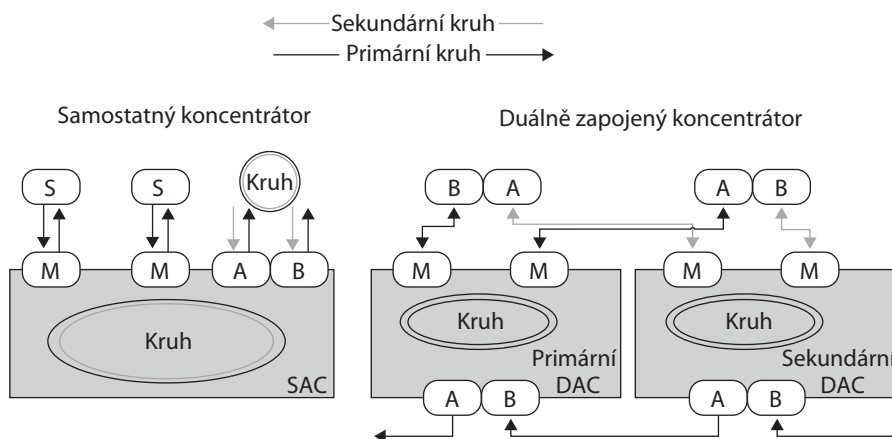
V sítích FDDI rozeznáváme dva typy zařízení:

- **Stanice** – jsou to počítače, tiskárny a další koncové prvky sítě. Mohou být připojené jednoduše (SAS, Single Attached Stations) nebo duálně (DAS, Dual Attached Stations).
- **Koncentrátory** – zařízení propojující prvky SAS se sítí FDDI. Koncentrátory se označují jako duální konektory DAC (Dual Attached Connector) a pro zapojení do sítě FDDI mají tři typy portů: port A (primární kruh), port B (sekundární kruh) a port M (hlavní neboli master). Koncentrátory mohou mít také podobu jednoduchých konektorů SAC (Single Attached Connector), jejichž port M je pak propojen s jediným portem S (podřízený neboli slave port) na zařízení typu SAS.

Druhy zapojení v sítích FDDI dělíme takto:

- **Stanice SAS** – zařízení s jednoduchým zapojením (Single Attached Stations).
- **Stanice DAS** – prvky s duálním zapojením do kruhu. Tyto stanice musí být funkční, jinak je kruh přerušen.
- **Vícenásobně zapojené stanice** – taková stanice má koncentrátor nebo prvek DAS propojený se dvěma dalšími koncentrátory. Je to ekvivalentní dvěma spojům typu SAS.

Podobně jako na obrázku 12.4, kde se více sítí Token Ring zapojuje do kruhů s pomocí jednotek MAU, se také kruhy sítí FDDI dají rozšířit prostřednictvím duálně zapojených koncentrátorů. Je možné mít jednoduchý samostatný FDDI kruh, ale pokud použijete vícenásobně zapojený koncentrátor, lze vytvořit alternativní trasy k duálním stanicím DAS, odolné vůči výpadku. Oba tyto scénáře si můžete prohlédnout na obrázku 12.8. Spojení M-S mohou být realizována jak optickými, tak kroucenými UTP kabely. Na obrázku 12.8 je vždy primární kruh označen tmavými a sekundární světlejšími čarami. Data se pohybují ve směru, který naznačují šipky u těchto čar.

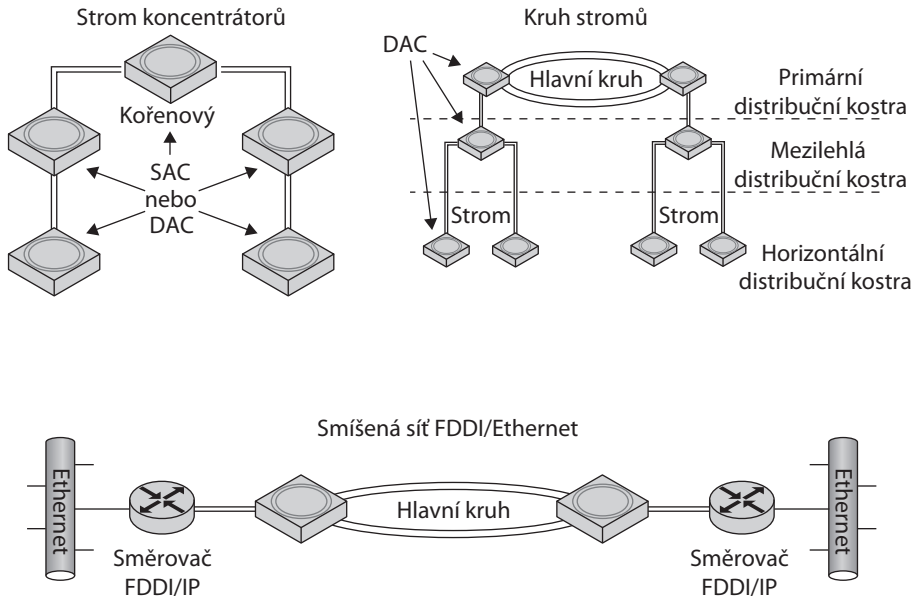


Obrázek 12.8: Samostatný a duálně zapojený koncentrátor

Pro přidání více uzlů do sítě FDDI je třeba opakovaně propojit jeden nebo více portů AB kořenového koncentrátoru s dalšími koncentrátory. Získáme tak hierarchický strom koncentrátorů. Pokud se kořenový koncentrátor nahradí duálním, lze takto vytvořit kruh ze stromů. Tato topologie se velmi často používá v místních sítích ve vysokoškolských kampusech. Sítě FDDI jsou také často propojovány s Ethernetem, vzniká tak smíšený typ sítě. V těchto případech musí být na hranici mezi všemi třemi typy sítí (FDDI, Ethernet a smíšená síť FDDI/Ethernet) umístěny IP směrovače s rozhraními do FDDI i Ethernetu.

Na obrázku 12.9 je ukázka uvedených tří topologií. Jedná se o různé přístupy k využití technologie FDDI ve stále větších typech sítí. FDDI lze využít jako páteřní síť koncentrátorů, jako je tomu v případě topologie se stromem koncentrátorů. Topologie kruhu stromů umožňuje hierarchické rozvětvení FDDI s tím, že každý koncentrátor v hlavním kruhu slouží jako kořenový pro svůj vlastní strom. Jednotlivé úrovně v topologii kruhu stromů jsou označeny jako primární, mezilehlá a horizontální distribuční kostra. Smíšená síť FDDI/Ethernet se dá vytvořit také s pomocí kombinace kruhu FDDI a propojení s Ethernetem prostřednictvím směrovačů FDDI/IP.

Sítě FDDI se v telekomunikačním světě velmi často používaly v roli páteřního systému, ale v poslední době se nahrazují vysokorychlostním Ethernetem. Tento osud stihl i další kruhové sítě s tokenem. Verze 2 standardu FDDI (značená FDDI-II) přišla s novinkou v podobě přepínání okruhů. Dříve se do FDDI investovalo hodně peněz a tyto sítě se používaly i pro audiovizuální přenosy. Dnes se sítě FDDI často propojují se sítěmi SONET (Synchronous Optical Network), které slouží jako páteř pro moderní vysokorychlostní spoje.



Obrázek 12.9: Tři druhy topologie sítě FDDI: strom koncentrátorů, kruh stromů a smíšená síť FDDI/Ethernet

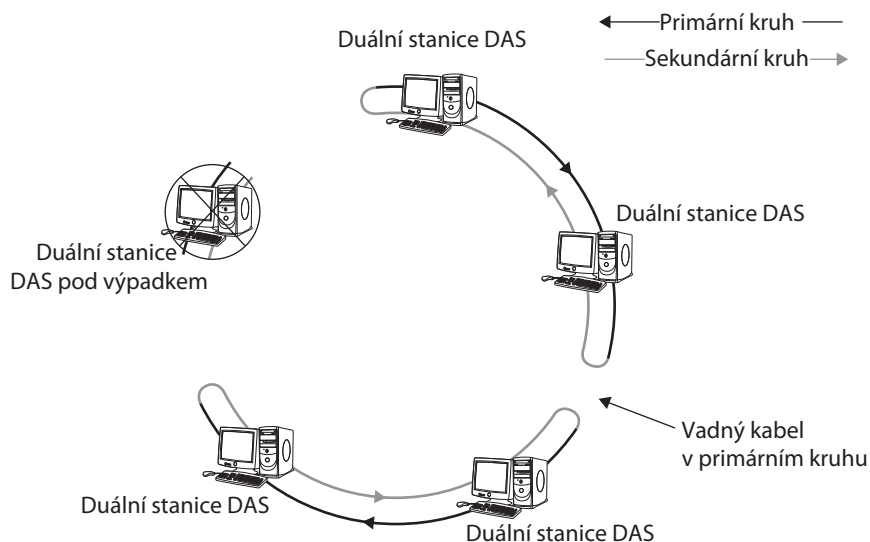
KŘÍŽOVÝ ODKAZ

Sítě SONET jsou popsány v kapitole 13.

FDDI se skládá ze dvou tokenových kruhů, z nichž každý slouží k odesílání dat opačným směrem. Tento typ topologie se často nasazuje v místních sítích pokrývajících jednotlivé místnosti. Primární kruh má rychlost 100 Mb/s a ten opačný má buď roli záložního spojení, nebo umožňuje také odesílat data a dosáhnout tak celkové propustnosti 200 Mb/s. Rozhraní FDDI ve směrovačích se připojují do obou těchto kruhů, což z nich činí duálně zapojená zařízení. Hostitelské stanice se připojují k síti FDDI jediným rozhraním. Stejně jako v případě dalších komunikačních systémů nad optickými vlákny, také zde jsou koncentrátoři, jejichž úlohou je zprostředkování komunikace mezi mnoha zařízeními v síti s jediným optickým vláknem.

Pokud je druhý kruh pouze záložní a připojení do kruhu jsou duální, může se celá síť v případě výpadku překloubit na sekundární okruh. Na obrázku 12.10 je znázorněna síť FDDI, v níž došlo ke dvěma chybovým stavům: vadný kabel a výpadek duální stanice DAS. Kdyby nastala jen jedna z chyb, síť by i nadále fungovala, ale druhý problém způsobil rozpojení sítě na dvě menší podsítě.

Sítě FDDI jsou pozoruhodné pro svou výjimečnou kombinaci rychlosti, potenciálu spojení na velké vzdálenosti a vysokého počtu připojených prvků. Do jedné sítě FDDI je možné zapojit až 500 duálních (DAS) nebo 1000 jednoduchých (SAS) stanic. Vedení optických kabelů pro FDDI může mít až 200 kilometrů a slouží tam, kde je třeba připojit tisíce uživatelů. Samotné kruhy mohou mít poloviční délku, tedy 100 kilometrů. Především z tohoto důvodu se síť FDDI těší takové popularitě v metropolitních sítích MAN.



Obrázek 12.10: FDDI je vysokorychlostní místní síť LAN vysoce tolerantní k výpadkům, dokonce i dvě chyby pouze rozdělí síť na dva segmenty

Technologie CDDI (tedy FDDI nad měděnými vlákny) má pro srovnání rychlost 16 Mb/s a maximální délku spojení 250 metrů v případě stíněné kroucené dvoulinky STP a 72 metrů pro nestíněnou kroucenou dvoulinku UTP.

Automatické síťové systémy

Přestože valná většina této knihy je věnovaná počítačovým sítím, neslouží síť jen pro propojení počítačů. Existují totiž i sítě, do nichž je možné zapojit pestrou škálu zařízení. Síť se vyskytuje v letadlech i automobilech; jedná se o místní síť LAN, jež propojují skupinu počítačů, senzorů a dalších prvků, které tvoří velmi sofistikované systémy. Stačí si prohlédnout mechanické zapojení diagnostického počítače v automobilu a oceníte, jak důležité jsou zde síťové komponenty.

Možná jste se někdy zajímali o „chytré domy“ a narazili na síťový standard X10 pro automatizaci domácnosti, který popisujeme dále v této kapitole. Kdybyste pátrali v moderních mnohapatrových budovách, pravděpodobně byste zjistili, že systémy topení, ventilace vzduchu, klimatizace i osvětlení jsou ovládané počítači, často z jediné počítačové konzoly. Obecně platí, že mnohé průmyslové systémy a zařízení různých typů jsou sledované a ovládané síťovými prvky. Roboty na automobilových výrobních linkách, farmaceutické továrny, pohyb vlaků po železnici, sledování balíků a další průmyslové aktivity jsou zapojené do sítí, jejichž úkolem je řídit uvedené procesy.

Ve všech automatických síťových systémech se v ovládacím softwaru prvků nějakým způsobem vytvářejí počítačová zařízení. Mezi ně patří senzory, přepínače, šoupátka a aktuátory, zapojené do síťových rozbočovačů a přepínačů, které umí rozpoznat ovladače jednotlivých síťových zařízení. K síťovému přepínači je pak nutné připojit i jeden nebo více počítačů, na nichž běží ovládací software určený ke sledování a ovládání koncových zařízení. Tento druh systému se

nazývá HMI (Human Machine Interface, rozhraní mezi člověkem a strojem), nebo alternativně SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition, řízení dohledu a pořizování dat).

Ovládací počítače používají k objevování síťových zařízení často síťové standardy, o kterých jste se již dozvěděli, například SNMP. Existují zařízení, jejichž úkolem je shromažďovat signály z automatizovaných prvků a posílat jim příkazy. Někdy se označují jako PLC (Programmable Logic Controllers, radiče naprogramované logiky) a komunikují buď prostřednictvím vlastního, proprietárního softwaru nebo naopak otevřených standardů, jakými jsou Sun Java, Microsoft OLE, DCOM nebo dokonce komponenty .NET Framework.

Mnohé z těchto typů sítí jsou uzavřené a je možné do nich zapojovat jen komponenty jediného výrobce, zatímco jiné pracují s otevřenými standardy. V následujících odstavcích probereme některé z úspěšných otevřených standardů v této kategorii a budeme se zabývat jejich implementací a možnostmi využití.

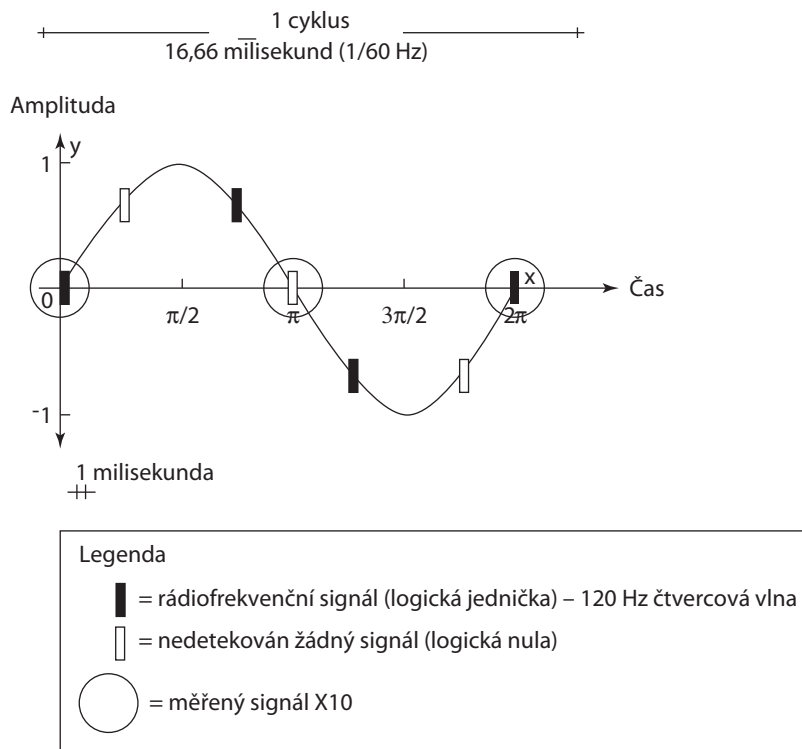
Standard X10 a automatizace domácností

X10 je otevřený standard pro signální komunikaci a ovládání zařízení prostřednictvím napěťových kabelů. Využití se dočkal především v domácnostech, protože s ním lze vytvořit domácí síť určenou k automatizaci (anglicky se jí někdy říká „smart home“, tedy „chytrý domov“). V rámci X10 je definován protokol pro přenos rádiových signálů nad nosnou vlnou. Krátké a nízkonapěťové porывy rádiových vln se přenáší synchronně společně s napěťovým signálem tak, že signál odpovídající modulačnímu bodu napěťové vlny (nulové amplitudě) je interpretován jako logická jednička, a jakýkoli modulační bod bez signálu je logickou nulou.

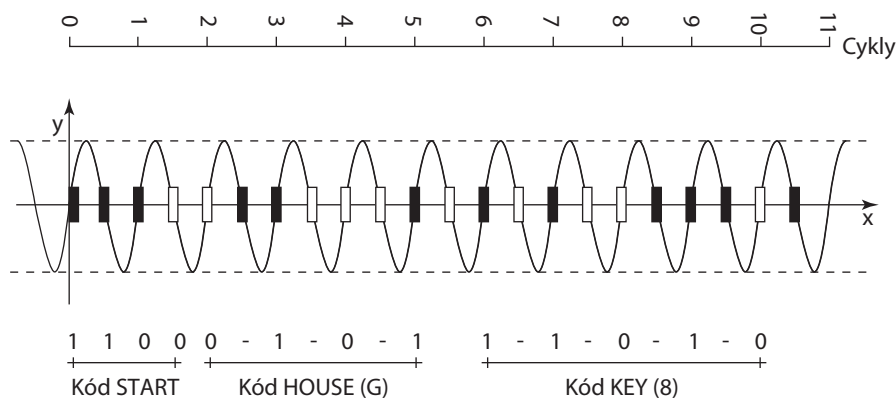
Protože signál má vyšší frekvenci než nosná vlna, je ve skutečnosti mezi dvěma modulačními body zopakován dvakrát, poprvé mezi 0 a π a podruhé mezi π a 2π . Tyto dodatečné signály slouží pro časování a nejsou považovány za signál X10, ačkoli hrají podstatnou roli. Mnoho kódovacích schémat se totiž nespolehá na rozpoznání signálu jako nuly nebo jedničky. Místo toho mají dva signály, z nichž první nese samotnou bitovou informaci a druhý je synchronizační. K vygenerování hodnoty 1 musí jednak první bit mít právě hodnotu jedničky, dále pak druhý bit musí být nulový. Je tedy rozpoznán signál 1-0. Pro nulu naopak musí být první bit nulový a druhý jedničkový, takže se jedná o signální pár 0-1. Právě toto překlápění činí hledání hranic signálu jednodušší a méně náchylné k chybám. Na obrázku 12.11 vidíme nosnou vlnu a signál spolu se špalíkem o velikosti jedné milisekundy, který je i součástí legendy pod obrázkem.

S pomocí radiče X10, který může mít podobu dálkového ovládání nebo virtuálního tlačítka na konzole, je možné stisknout tlačítko, čehož následkem je vygenerován binární kód a odeslán prostřednictvím napěťového kabelu. Tento kód je skupinou tří binárních identifikátorů: kód START (4 bity, 1110), kód HOUSE (8 bitů) a kód CONTROL (10 bitů), který definuje rámeček X10. Kód CONTROL může mít podobu kódu NUMBER nebo FUNCTION. Jeho součástí je kódování binárního signálu do modulačních bodů střídavě, přičemž prostřední bit je zanedbán. Příklad tohoto kódování je součástí obrázku 12.12, je zde potřeba 11 celých cyklů, které tvoří kompletní přenos nutný pro odeslání kódu CONTROL. Díky různým délkám kódů jsou všechny unikátní a můžeme tak sestavit překladovou tabulku.

Standard X10 obsahuje úplnou sadu kódů zasílaných dvakrát tam a zpět, prostor pro tři napěťové cykly a opakování kódů. Navíc kdykoli se odesílají koncovým zařízením časové příkazy, musí být pak přeneseny tři nulové bity. Kódy pro jasné a tlumené nastavení se zasílají nepřetržitě bez mezer, navíc se dvěma či raději více opakováními. Překladové kódy X10 jsou uvedeny v tabulce 12.4.



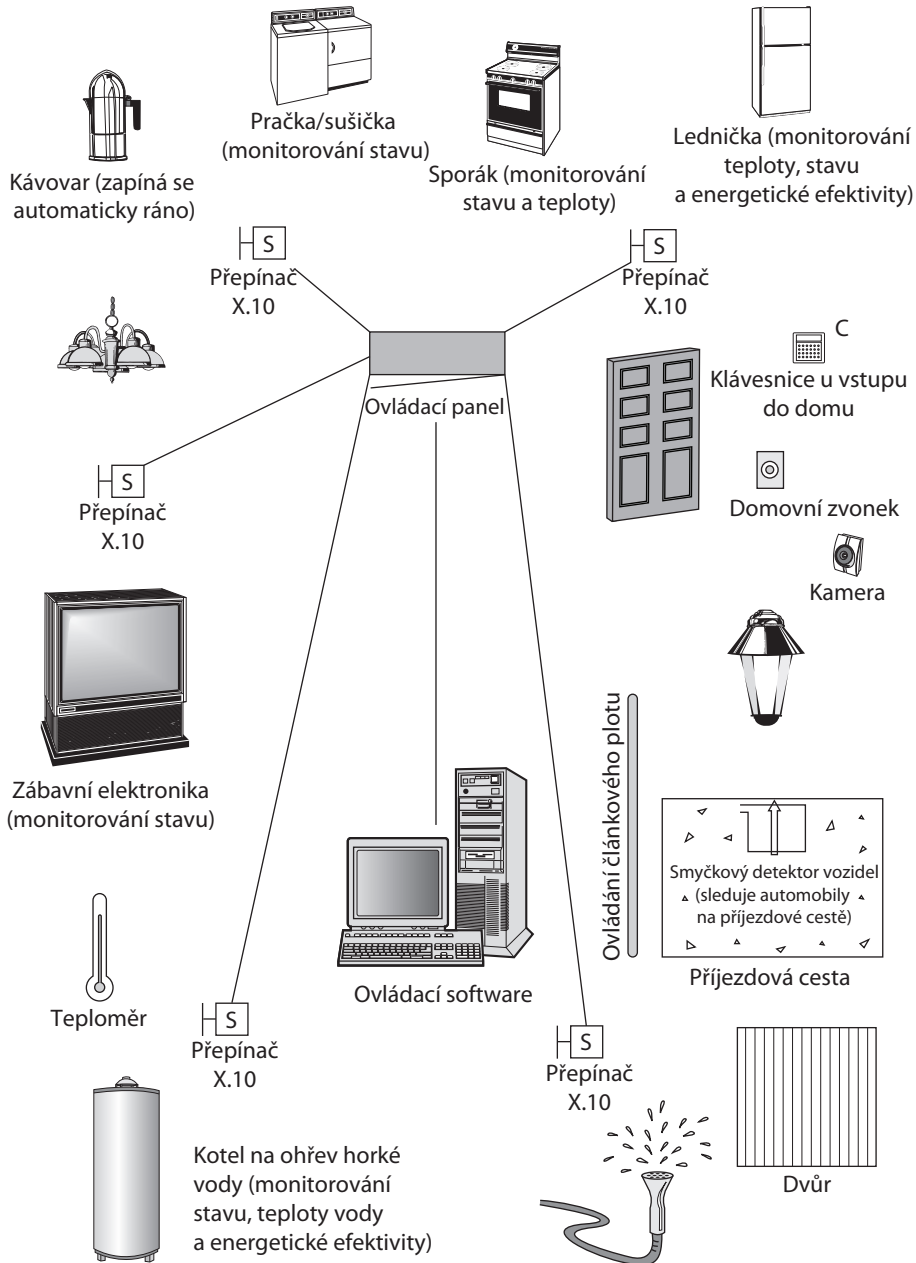
Obrázek 12.11: Rádiové signály na nosné vlně napěťové linky



Obrázek 12.12: Zakódovaný signál X10, mezilehlé časové signály jsou pro větší přehlednost vynechány

V síti X10 se do napěťové zásuvky v domě zapojí vysílač, do něhož je pak připojeno ovládané zařízení. Může se jednat o osvětlovací prvky, televizi, tepelná čidla, větráky a další domácí přístroje. Různá zařízení mohou vyžadovat jiné moduly X10. Některé moduly mají také lokální ovládání a mohou být zapnuty fyzickým spínačem. Osvětlovací moduly mohou mít vlastnost

zvanou lokální tlumení, díky kterému může být jas světla upraven postupně v krocích. Diagram na obrázku 12.13 představuje zařízení v domácnosti ovládaná sítí X.10. Tak například hadice v pravém dolním rohu se ovládá měřicím spínačem zapojeným do přepínače X.10.



Obrázek 12.13: Některá zařízení v domácnosti, jež lze ovládat prostřednictvím sítě X.10

Každý vysílač X10 má přiřazenu unikátní adresu, díky které může přijímat signály. Ty se posílají z klávesnice dálkového ovládání nebo softwarového programu na PC s rozhraním do systému X10 prostřednictvím přijímače zapojeného do napěťové zásuvky. Pokud se jedná o klávesnici, je pro komunikaci se zařízeními k dispozici kódová tabulka příkazů (viz tabulka 12.4).

Tabulka 12.4: Kódová tabulka příkazů X10

Kód	Bit 1	Bit 2	Bit 3	Bit 4	
START	1	1	1	0	
Kód HOUSE	Bit 1	Bit 2	Bit 3	Bit 4	
A	0	1	1	0	
B	1	1	1	0	
C	0	0	1	0	
D	1	0	1	0	
E	0	0	0	1	
F	1	0	0	1	
G	0	1	0	1	
H	1	1	0	1	
I	0	1	1	1	
J	1	1	1	1	
K	0	0	1	1	
L	1	0	1	1	
M	0	0	0	0	
N	1	0	0	0	
O	0	1	0	0	
P	1	1	0	0	
Kódy KEY	Bit 1	Bit 2	Bit 3	Bit 4	Bit 5
1	0	1	1	1	0
2	1	1	1	1	0
3	0	0	1	1	0
4	1	0	1	1	0
5	0	0	0	0	0
6	1	0	0	0	0
7	0	1	0	0	0
8	1	1	0	0	0
9	0	1	1	0	0
10	1	1	1	0	0
11	0	0	1	0	0

Kódy KEY	Bit 1	Bit 2	Bit 3	Bit 4	Bit 5
12	1	0	1	0	0
13	0	0	0	1	0
14	1	0	0	1	0
15	0	1	0	1	0
16	1	1	0	1	0
Všechny jednotky vypnout	0	0	0	0	1
Všechny jednotky zapnout	0	0	0	1	1
Zapnout	0	0	1	0	1
Vypnout	0	0	1	1	1
Ztlumit	0	1	0	0	1
Zjasnit	0	1	0	1	1
Všechna světla vypnout	0	1	1	0	1
Rozšířený kód	0	1	1	1	1
Žádost o potvrzení	1	0	0	0	1
Potvrzení žádosti	1	0	0	1	1
Předvolené tlumení	1	0	1	-	1
Rozšíření pro analogová data	1	1	0	0	1
Stav zapnuto	1	1	0	1	1
Stav vypnuto	1	1	1	0	1
Žádost o stav	1	1	1	1	1

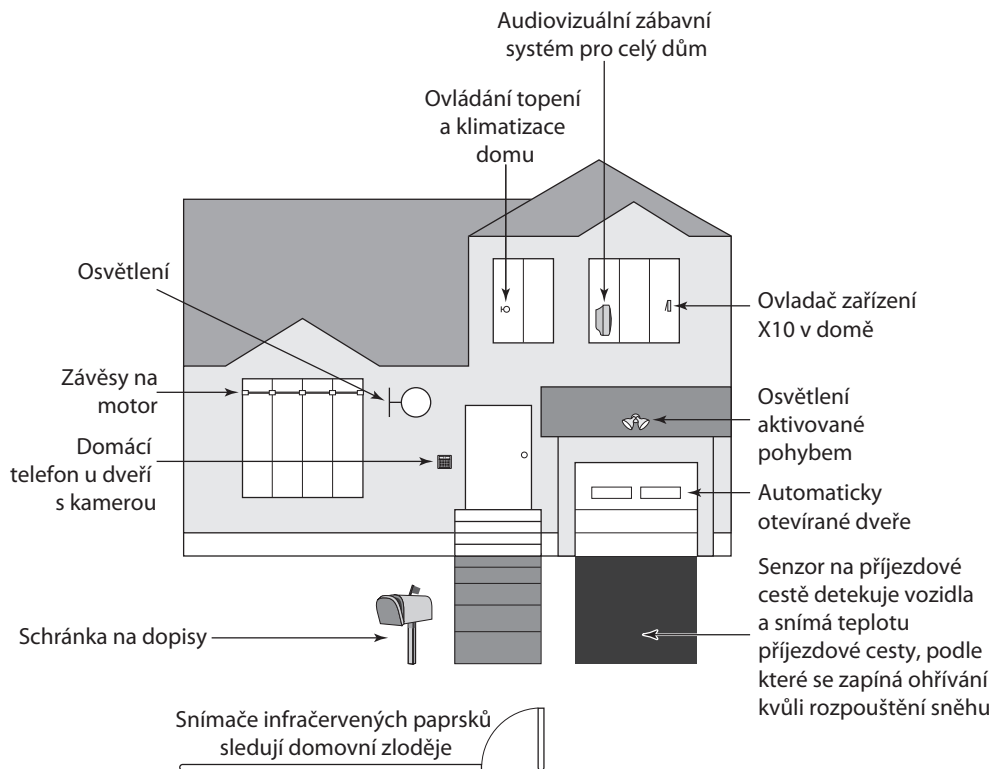
Vyžadují se tři prázdné cykly mezi každým párem přenosů, s výjimkou kódů pro ztlumení a zjasnění.

Zařízení mohou být softwarově naprogramována, přičemž jediným omezením je jim sofistikovanost programu. Lze tak řídit domácí kino s přizpůsobeným ovládáním, časově programovat akce, ukládat informace o událostech, zasílat o nich zprávy a provádět prakticky jakoukoli aktivitu, která vás napadne. Mezi nejznámější softwarové programy pro domácí automatizaci patří CHAD (Central Home Automation Director), hlasově ovládaný HAL 2000 Voice Control, dále Home controls, HAI Web-Link, HomeSeer, Indigo, PowerHome, Smarthome Manager PLUS, Superna ControlWare a Thinking Home.

Protokol X10 umožňuje zapojit také rádiové frekvenční zařízení jako vstupní klávesnice, domácí alarm, infračervené ovladače a další. V USA se k tomuto účelu používá frekvence 310 MHz, v Evropě je to 433 MHz. Jako most k přenášení příkazů X10 do kabelové sítě slouží rádiový přijímač. Příklad zařízení, která mohou být součástí sítě X10, je uveden na obrázku 12.14.

TIP

Zřejmě nejznámějším komerčním webovým serverem s produkty pro automatizaci zařízení v domácnosti je www.Smarthome.com.



Obrázek 12.14: Zařízení v domácnosti i mimo dům, která mohou být součástí sítě X10

Ačkoli X10 je nejrozšířenějším síťovým systémem pro automatizaci zařízení v domácnosti, existují také další, o kterých můžete uvažovat. Mezi alternativy patří INSTEON, UPB, ZigBee a Z-Wave. V tabulce 12.5 najdete seznam standardů pro síť určené k automatizaci domácnosti a jejich srovnání s některými druhy počítačových sítí.

Tabulka 12.5: Nejobvyklejší sítě pro automatizaci domácnosti

Typ sítě	Médium	Propustnost	Limit pro připojení
Bluetooth	Rádiové vlny	1 – 10 Mb/s	10 – 20 m
Ethernet	Nestíněná kroucená dvoulinka UTP nebo optické vlákno	10 Mb/s – 1 Gb/s	100 m – 15 km
HomePlug	Rádiové vlny v napěťových kabelech	14 – 200 Mb/s	200 m
HomePNA	Telefonní linky	10 Mb/s	300 m
INSTEON	Rádiové vlny v napěťových kabelech		
IRDA	Infračervené záření	9,6 kb/s – 4 Mb/s	2 m (přímá viditelnost)

Typ sítě	Médium	Propustnost	Limit pro připojení
LonWorks	Nestíněná kroucená dvoulinka UTP, rádiové vlny, rádiové vlny v napěťových kabelech, infračervené záření nebo Ethernet	1,7 kb/s – 1,2 Mb/s	1 500 – 2 700 m
Wi-Fi (IEEE 802.11)	Rádiové vlny	11 – 248 Mb/s	30 – 100 m
X10	Rádiové vlny v napěťových kabelech	50 – 60 b/s	500 m
Z-Wave	Rádiové vlny	9,6 – 40 kb/s	30 m
ZigBee	Rádiové vlny	20 – 250 kb/s	10 – 75 m

Tabulka 12.5 představuje základní charakteristiky systémů pro automatizaci domácnosti. Automatizace s pomocí sítí hraje významnou roli také v průmyslových systémech. V následující sekci proto popíšeme systémy pro řízení procesů v průmyslu.

Systémy pro řízení procesů

Sítě pro automatizaci průmyslu slouží k řízení procesů a nejčastěji se budují s pomocí systémů zvaných DCS (Distributed Control System, tedy systém distribuovaného řízení). Řízení průmyslových procesů může obnášet kontrolu teploty v pekárně, dodávku součástek na výrobní pás, osvětlení továrny a další ovladatelné prvky ve výrobním podniku. Síťové prvky se přitom zavádějí v místě, kde je vykonávána nějaká služba určená k monitorování anebo řízení. Tyto prvky odesílají výstupní data prostřednictvím sběrnice na zařízení určené ke shromažďování a překladu údajů. Zde jsou signály od jednotlivých prvků převedeny do podoby kompatibilní se sítí, nad níž řídicí systém pracuje. Systémy DCS se využívají v chemických továrnách, v rozvodnách elektrických sítí, pro řízení topení, ventilace a klimatizace, v ropných rafinériích, při transportu zboží, výrobě léčiv, v senzorových sítích, automobilech, ve vodním hospodářství a ve stovkách dalších odvětví.

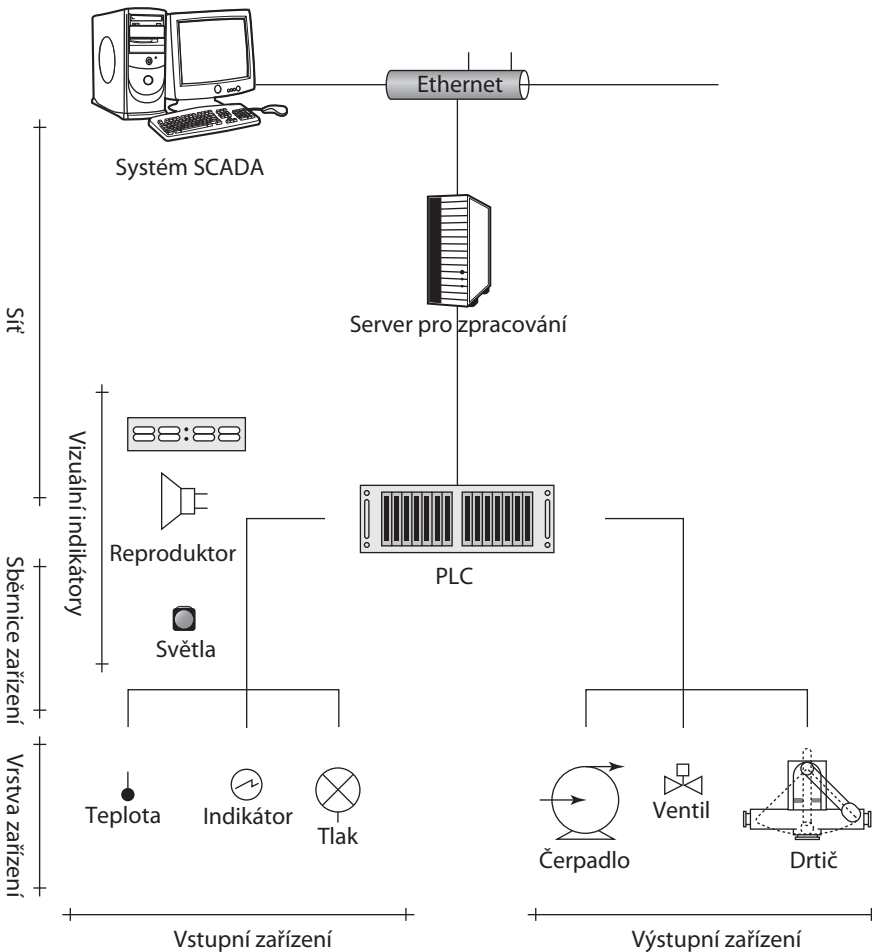
Systém DCS si můžete asi nejlépe představit jako dvě různé sítě propojující tři vrstvy zařízení. Tak se totiž nejčastěji používá. Distribuovaná část systému obsahuje skupinu senzorů, ovladačů, šoupátek, aktuátorů a dalších zařízení, která hrají svou roli v systému, jenž má být řízen po síti. Jedná se o takzvanou vrstvu zařízení.

Systém pro řízení procesů si můžete prohlédnout na obrázku 12.15. Vidíme zde řídicí konzolu neboli systém SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition), která slouží k interakci uživatele se systémem automatizace. K dispozici je typický grafické rozhraní HMI (Human Machine Interface, rozhraní mezi člověkem a strojem) s indikací aktuálního stavu systému a možností provést do něho zásahy. Příkazy se dostávají do vrstvy PLC (Programmable Logic Controllers, řadiče naprogramované logiky) a tam se potkávají se vstupy a výstupy připojených zařízení. Vrstva PLC propojuje zařízení vysílající data (výstupní zařízení) nebo přijímající data (příkazy). Jedná se o distribuovanou architekturu, v níž existuje síť vyšší úrovně (například Ethernet), sběrnice pro zařízení a vrstva koncových prvků.

V koncových zařízeních jsou jednoduché procesory nebo specificky upravené čipy, které přenášejí takzvané signály z pole. Mnohé z nich dokážou také přijímat a zpracovávat příkazy, kterým koncová zařízení rozumí. Signály z pole mohou být analogové nebo digitální, logické (jednička nebo nula) nebo pole hodnot aktualizovaných v reálném čase. Data mohou putovat

z mnoha zařízení zároveň v takovém přívalu, že jen malé množství z nich může být vzorkováno. Senzory přitom získávají ze svých obvodů data rychlostí v řádu milisekund, takže výsledkem jsou stovky hodnot za vteřinu. Software určený ke sběru těchto dat a jejich vynášení do grafů či ukládání do záznamových souborů pro pozdější přehrání a analýzu pravděpodobně většinu z příchozích dat vyřadí. Senzorům tak posílá příkazy a získává od nich data v rozumnějších intervalech.

Vrstva zařízení je připojená prostřednictvím sběrnice k modulu, který multiplexuje a demultiplexuje signály z pole. Tyto moduly mají řadu různých názvů v závislosti na protokolu, technologii, výrobci a dalších faktorech. Častým typem zařízení pro shromažďování dat je řadič programovatelné logiky PLC (Programmable Logic Controller). Jsou to speciální počítačová zařízení s širokými vstupně výstupními možnostmi. Jejich vývoj započal v 60. letech 20. století a jejich účelem byla integrovaná automatizace v automobilovém průmyslu tak, aby bylo možné kombinovat zařízení více různých výrobců.



Obrázek 12.15: Síť pro řízení procesů se třemi vrstvami

Zařízení PLC v reálném čase přijímají na vstupu údaje od distribuovaných prvků a zpracovávají je do podoby přijatelné řídicími systémy. Některá PLC používají interní logiku pro udržování stabilního stavu koncových zařízení s pomocí zpětné datové smyčky. Když bychom například uvázili reaktor vyžadující jistou teplotu, zařízení PLC by mohlo číst data z pole od teplotního čidla a podle nich pak příslušně upravit napětí pro topnou jednotku.

Prvky PLC také často slouží jako rozhraní mezi dvěma nebo více heterogenními sítěmi. Součástí PLC jsou konektory pro vstup a výstup, které umí číst analogová i digitální data a odpovídat omezením nastavení prvků. Lze s jejich pomocí ovládat motory, válce, přepínače, solenoidy a mnoho dalších zařízení. Programovatelnost PLC, kterou mají ve svém názvu, spočívá ve schopnosti přijímat a vykonávat povely od jiných prvků. PLC lze konfigurovat prostřednictvím sériových portů RS 232 nebo RS 485, ethernetového konektoru RJ 45 a dalších typů spojení. Většinou jsou zařízení PLC nejen konfigurovatelná, ale také rozšiřitelná. Mají podobu šasi, do kterého se vkládají PLC moduly s potřebnými rozhraními.

Komunikace mezi PLC a koncovými zařízeními probíhá na základě sběrnice protokolů, jejichž reprezentanty jsou Modbus nebo DF1, případně sběrnice jako DeviceNet nebo Profibus. Na trhu je také mnoho proprietárních protokolů a sběrnic. Mezi významné dodavatele systémů PLC patří ABB, Allen-Bradley, IDEC, Honeywell, Omron, General Electric, Mitsubishi, Siemens a další.

Ne všechny systémy pro distribuované řízení procesů (DCS) jsou založeny na zařízeních typu PLC. Některé technologie vyžadují extrémně rychlé řídicí signály, které PLC zařízení nestačí zpracovávat; příkladem je řízení systémů letadla. Jisté úkony v automatizaci řízení se opakují a mohou být ovládány mechanickými časovači mnohem levněji. Místo zařízení PLC se dříve používaly takzvané jednotky RTU (Remote Terminal Unit, jednotka vzdáleného terminálu), které měly podobné vlastnosti, ale neměly schopnost být vzdáleně programovány jako PLC. Dnes se již příliš nevyužívají. Čím dál častěji se však funkce PLC a RTU sdružují.

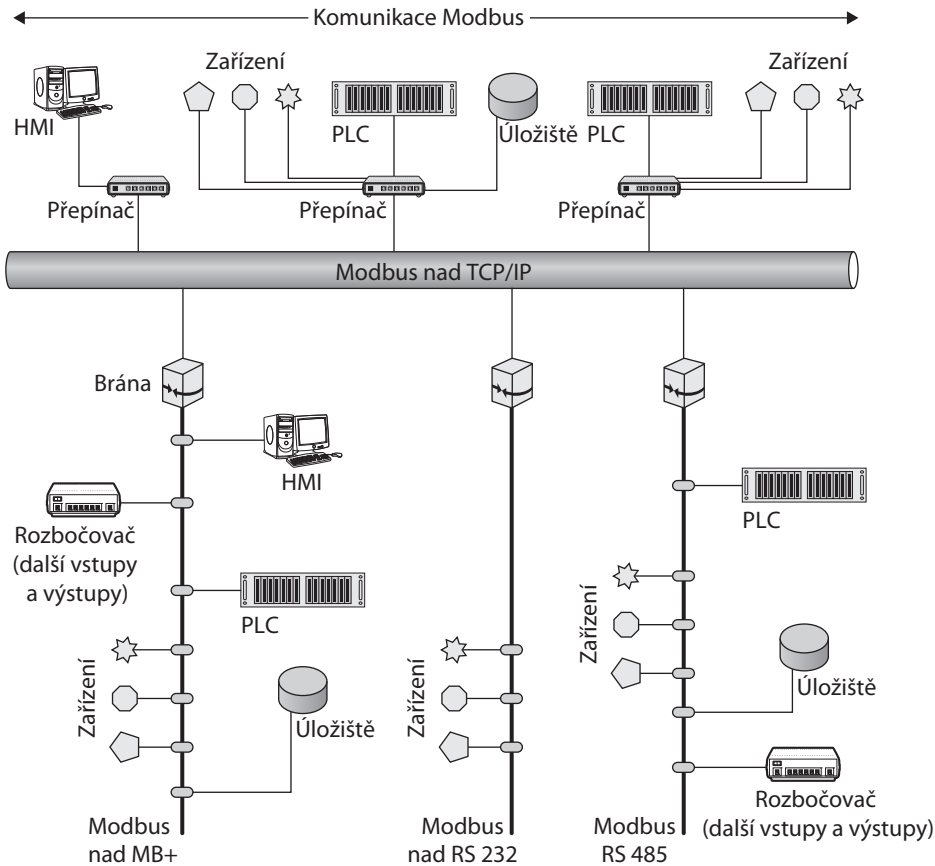
V současnosti se rozdíl mezi systémy založenými na technologiích DCS, PLC a RTU dají od sebe jen velmi obtížně rozpoznat. Název DCS se většinou vztahuje na systémy s velkými, nákladnými a proprietárními sítěmi pro průmyslovou automatizaci. Některé projekty tohoto druhu dosahují rozpočtu v řádu milionů dolarů. Systémy PLC obvykle pracují na základě novějších otevřených standardů, které jsou nezávislé na výrobci. Znamená to, že i když v případě otevřených systémů můžete kombinovat hardware a software od různých výrobců, technologie vás omezuje na jistou pevně danou aplikační a komunikační architekturu. Jednou z technologií v této kategorii je Microsoft OLE for Process Control (a později DCOM), která se zrodila ze standardů OPC pro systémy automatizace. Další podobné systémy se staví nad architekturami Sun Java, .NET Framework a dalšími.

Kromě samotných koncových zařízení a sběrnice, která je propojuje, tvoří třetí součást systému DCS síť obsahující řídicí software (mimo jiného i software SCADA). Systém SCADA může mít podobu příkazového řádku, ale častěji je implementován v podobě grafického rozhraní typu HMI. Jeho součástí je zabezpečení a zablokování přístupu tak, aby operátoři mohli sledovat, udržovat a řídit systémy na příslušném stupni oprávnění. Systém SCADA postavený nad operačním systémem jako Microsoft Windows bude plně využívat moderní objektově orientované programovací jazyky, nabízet velmi jemnou úroveň řízení na základě uživatelů, skupin a seznamů přístupových oprávnění (ACL, Access Control List), skriptování a další funkce.

V následujících odstavcích získáte bližší informace o významnějších a častěji používaných sběrnících pro zařízení: Modbus a BACnet. Najdete zde také standardy OPC pro datovou komunikaci v sítích Windows.

Modbus

Modbus je sériový datový komunikační protokol, na který v průmyslových sítích pro automatizaci narazíte nejčastěji. Tento otevřený standard pro PLC systémy byl publikován v roce 1979 společností Modicon (nyní součást Schneider Electric). Existují jeho varianty pro linky nad sériovými porty i Ethernetem, a protokol může být transportován prostřednictvím sítě TCP/IP. Používají se i různě odchylené varianty, mezi něž patří odlehčená verze Modbus RTU (data se kódují binárně), Modbus ASCII (data se překládají do čitelného, ale obsáhlého textu), Modbus+ neboli MB+ (je to proprietární verze protokolu od Modiconu) a Modbus/TCP pro Ethernet. Obrázek 12.16 ilustruje různé typy síťových spojení a protokolu Modbus v topologickém uspořádání.

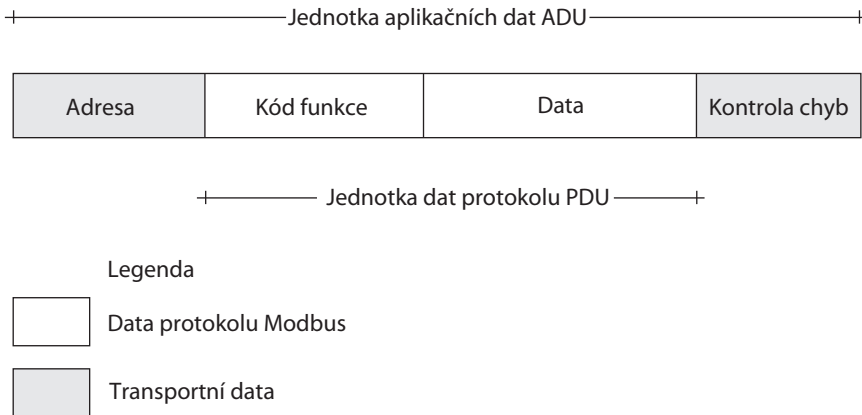


Obrázek 12.16: Různé typy sítí Modbus a spojení, která jsou podporována

Jak ukazuje obrázek 12.16, protokol Modbus může fungovat ve velmi různých typech sítí. Nahoře běží Modbus v horizontální síti TCP/IP (obvykle Ethernet). Tři různé přepínače nad

ethernetovou sběrnici propojují tuto síť postupně s řídicí stanicí (HMI) a s rozličnými zařízeními, PLC a ukládacími prvky (diskové subsystémy). Modbus však může pracovat také s jinými typy sítí. Nalevo na obrázku je patrné, že Modbus funguje nad sítí MB+, uprostřed je zapojen prostřednictvím sériové sběrnice RS 232 a nakonec napravo využívá dvoudrátovou poloduplexní sériovou síť označovanou jako RS 485.

Ve všech podobách protokolu Modbus se pracuje s kontrolními součty dat, aby mohly být přenášené informace ověřeny. V datových tocích se navíc nesmí vyskytovat mezery. Proto musí zařízení v síti Modbus udržovat data ve vyrovnávací paměti, do níž se doplňují pozdě přijatá data nebo z níž se data odesílají opakovaně. Na obrázku 12.17 najdete diagram s obecným rámcem protokolu Modbus. Pole Adresa a Kontrola chyb obsahují data přidaná protokolem na transportní vrstvě. Výsledkem je rámec ADU (Application Data Unit, jednotka aplikačních dat). Jeho součástí je jednotka dat protokolu PDU (Protocol Data Unit), která je nezávislá na komunikační vrstvě. Pole Kód funkce je vyplněno ze sady možných hodnot od 1 do 255, jež oznamují typ akce, která se má provést s daty v tomto rámci. Pole Data obsahuje informace zasílané klientem serveru a obsahuje další informace, které server potřebuje k vykonání akce. Může se jednat o položky jako adresy registru, počet jednotek, počet bajtů a podobně. Datové pole lze také zcela vynechat, což znamená, že akce serveru je standardní a nevyžaduje žádný dodatečný vstup.



Obrázek 12.17: Obecný rámec Modbus

V síti Modbus jsou zařízením na sběrnici přiřazeny unikátní adresy. Maximální počet zařízení v jedné síti Modbus je přitom 247. V závislosti na typu sítě Modbus mohou být zařízení ve vztahu nadřízené/podřízené, případně v Ethernetu je to vztah peer-to-peer. Nadřízený (master) systém je jediný, který může zasílat na sběrnici příkazy. Typické povely slouží ke změně nastavení hodnot v jednotce PLC nebo RTU, čtení nebo nastavení hodnot uložených v registru (adresy v paměti), čtení hodnot v reálném čase z nějakého vstupně výstupního portu a provádění dalších akcí.

POZNÁMKA

Specifikaci protokolu Modbus si můžete přečíst na stránkách www.modbus.org/specs.php.

Typy dat používaných na sběrnici Modbus (a dalších protokolech s pevnými linkami) jsou:

- Čísla s plovoucí řádovou čárkou
- Logické booleovské hodnoty
- 8bitová a 32bitová data (32bitové hodnoty jsou rozšířením Modbus)
- 32bitová celá čísla
- Exponenciální multiplikátory
- Smíšená data
- 16bitová slova
- Velké binární objekty BLOB (Binary Large Object) – ty jsou známé z jiných sběrnic než Modbus

Pokud máte spínač, který může být buď otevřený nebo zavřený, lze jeho stav uchovávat jako hodnoty 1 nebo 0 v nějakém paměťovém registru. Změnu stavu je možné vyvolat z dohledové stanice příkazem k úpravě hodnoty z 0 na 1 nebo naopak. Výsledkem by byla akce spojená se změnou napětí, která by vyvolala otevření, respektive zavření spínače.

BACnet a LonTalk

Protokol s názvem BACnet (Buildings Automation and Control Networks, tedy automatizace a řízení sítí v budovách) je alternativou ke sběrnici Modbus. Jedná se o otevřený standard podporovaný organizacemi ANSI, ASHRAE (American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers, americké sdružení inženýrů v oblasti topení, chlazení a klimatizace) a ISO. Norma BACnet předcházela Modbus, a když byla v roce 1996 uvolněna, přijala ji řada výrobců z odvětví automatizace ve stavebnictví.

BACnet byl navržen jako objektově orientovaný protokol se zabudovaným objevováním názvů objektů a jejich atributů. Mezi specifikované typy objektů patří: analogový výstup a hodnota, binární vstup, výstup a hodnoty, příkaz pro registraci události, zařízení, soubor, vícestavový vstup a výstup, třída upozornění, program a časový plán. Komunikace protokolu BACnet může být transportována prostřednictvím vrstev ARCNET, IP, Ethernet, Point-to-Point (P2P nad RS 232), Token Ring (Master-Slave nad RS 485) a LonTalk. BACnet je nezávislý na výrobci a nevyžaduje žádnou speciální hardwarovou podporu.

Protokol LonTalk je ještě starší než Modbus i BACnet, a i když to dříve byl uzavřený protokol firmy Echelon Corporation, stal se posléze standardem ANSI. Často je zmiňován jako alternativa k Modbusu i BACnetu a používá se pro automatizaci v průmyslu, v domácnostech, při přepravě a ve stavebnictví. Název pochází z anglického Local Operating Network (místní operační síť) a jeho implementace byla závislá na specifickém čipu zvaném Neuron Chip. Nyní již existuje více procesorů, které protokol LonTalk podporují.

OPC

Meziaplikační komunikační technologie OLE (Object Linking and Embedding, tedy propojování a vkládání objektů) od Microsoftu se stala základem automatizace řízení průmyslu metodou zvanou OPC (OLE for Process Control). Standardy OPC byly vyvinuty průmyslovou skupinou k podpoře výměny dat při řízení procesů prostřednictvím klientů a serverů Windows. Jejich rozvoj má na starosti organizace OPC Foundation (www.opcfoundation.org) a definuje skupinu metod (rozhraní a protokolů) pro přístup k datům ze zařízení na síti. OPC poskytuje otevřený, ale na Microsoftu založený standardizovaný přístup k propojení datových zdrojů,

PLC, řadičů, vstupně výstupních zařízení, databází a tak dále s klientskou aplikací HMI, jejíž součástí je grafika, trendy, alarmy a tak dále.

Když Microsoft změnil svou strategickou síťovou technologii z COM (Common Object Model) na DCOM (Distributed COM), standard OPC nezůstal vzadu. Aplikace používající OPC byly přepsány do podoby ovládacích prvků ActiveX, které mohou být přidány k objektu kontejneru. Dnes OPC přijímá schéma .NET Framework; děje se tak prostřednictvím speciální verze OPC zvané OPC-Universal Access neboli OPC-UA, která se aktivně vyvíjí.

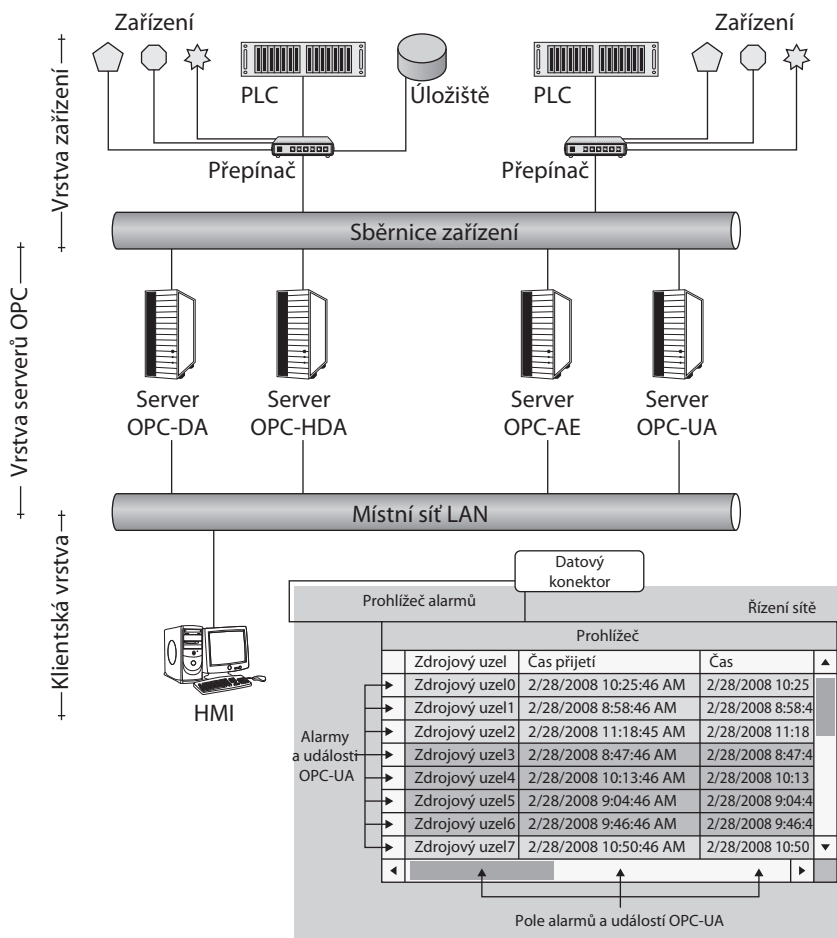
Existuje velký počet variant OPC:

- OPC Data Access (OPC-DA) – slouží k získávání dat ze zařízení v reálném čase.
- OPC Alarm & Events (OPC-AE) – zpracování dat událostí.
- OPC Historical Data Access (OPC-HDA) – standard pro záznamy o datech a událostech.
- OPC Batch – standard pro automatizaci zpracování dávek.
- OPC Data eXchange – komunikace mezi servery navzájem, monitorování, konfigurace a správa.
- OPC Commands – odesílání řídicích příkazů pro zařízení.
- OPC XML-DA – definice formátu pro výměnu dat v reálném čase.
- OPC Security – technologie selektivního zabezpečení dat klientů OPC.
- OPC Complex Data – přenos binárních dat a XML.
- OPC Unified Architecture (OPC-UA) – nejnovější technologie založená na .NET Framework.

Tři nejvýznamnější standardy jsou OPC-DA, OPC-AE a OPC-HDA.

OPC poskytuje mimo jiné rozhraní mezi klientskými a serverovými aplikacemi. Jedná se o univerzálně podporovanou a dobře zdokumentovanou metodu výměny dat mezi datovými zdroji a jejich klienty. Standard zahrnuje způsob předávání dat i specifické informace o dalších atributech doprovázejících tato data, například údaje o rozsahu, datovém typu, příznaku kvality a čase. Servery OPC získávají data z OPC zařízení, která se shromažďují na PLC stanici, a zpřístupňují je klientům v síti. Na obrázku 12.18 najdete typickou ukázkou sítě OPC.

Obrázek 12.18 vlastně znázorňuje třívrstvý síťový model systému OPC. Topologie je podobná té z obrázku 12.15, avšak úrovně jsou oproti ní obrácené. Na spodní vrstvě vidíme klienty s rozhraním HMI a řídicím systémem. Vpravo dole je navíc vidět okno s upozorněními na monitoru. Klient přijímá data o událostech a odesílá příkazy prostřednictvím sítě LAN na množství OPC serverů, které představují mezilehlou vrstvu. Její součástí jsou servery OPC Data Access (DA, přístup k datům), Horizontal Data Access (HDA, horizontální přístup k datům), Alarms & Events (AE, alarmy a události) a Universal Access (UA, univerzální přístup). Tyto servery si berou data z vrstvy zařízení a předávají je klientům, respektive příkazy z klientské vrstvy přeposílají zařízením.



Zobrazení událostí v prostředí HMI

Obrazek 12.18: Síť OPC typu klient/server

Vyvíjený standard OPC-UA sjednocuje OPC-AE, OPC-DA a OPC-HDA do jediné specifikace. OPC-UA přitom bere za svou architekturu orientovanou na služby SOA (Service-Oriented Architecture), spolu s aplikačním modelem, jmenným prostorem a schématem zabezpečení v rámci .NET Framework. OPC-UA má následující vlastnosti:

- Vyrovnávací paměť na data, s přenosem a potvrzením dat tak, aby byla zajištěna kvalita jejich doručení.
- Redundance dat s alternativními trasami, zrcadlenými daty, automatickým převzetím provozu a dalšími technologiemi.
- Pulzní signály poskytující časovací funkci pro zjištění stavu spojení a dalších akcí.
- Bezpečnostní model definující mechanismus přístupu k datům OPC založený na autentizaci a autorizaci. Používá se zde šifrování a model přístupu na základě certifikátů a elektronického podpisu.

- Model adresního prostoru, který definuje mapování datových zdrojů a jejich hodnot.
- Zpětná kompatibilita se servery DA, AE a HDA.
- Služby a jejich mapování, umožňující správu datových zdrojů v modelu jedné nebo více sítí. Komunikace probíhá prostřednictvím sady aplikačních rozhraní API pro OPC-UA (existují pro .NET, Javu a tak dále). Aplikace tak snadno mohou tyto služby využívat.

Shrnutí

V této kapitole jsme podali přehled několika typů místních sítí LAN a technologií, na nichž jsou založeny. Prošli jsme detaily standardů pro Ethernet, Token Ring, FDDI, X10 a několika sběrnic pro automatizaci v průmyslu. Navíc jsme se zabývali hierarchií standardů IEEE 802.x. Ethernet je všesměrová síť s přenosem rámců. Dozvěděli jste se, proč a jak se používají právě rámce.

V sítích Token Ring slouží k předávání přístupu koncových stanic k síti speciální rámec s tokenem. Síť FDDI (Fiber Distributed Data Interface) jsou také sítě s tokenovým kruhem, jejichž médiem je vysokorychlostní optické vlákno.

Nakonec jsme v této kapitole prošli některé sítě určené k automatizaci. Standard X10 pro rádiové frekvenční vlny v napěťových kabelech zavádí automatizaci do domácnosti. V průmyslové automatizaci se používá více technologií. Tyto sítě shromažďují data z čidel, senzorů, aktuátorů, spínačů, šoupátek a dalších zařízení a dávají je k dispozici uživatelům prostřednictvím monitorovacího, dohledového a řídicího softwaru.

V následující kapitole probereme rozlehlé sítě WAN. Jejich společnou charakteristikou je propojení sítí různých typů a velká vzdálenost spojů.