

Počítačové sítě

přednášky

Jan Outrata

říjen–prosinec 2010 (aktualizace září–prosinec 2013)

Tyto slajdy byly jako výukové a studijní materiály vytvořeny za podpory grantu FRVŠ 1358/2010/F1a.

Technologie fyzické vrstvy

Přenos dat

- u protokolů nižších vrstev (fyzické, linkové, síťové) rozlišujeme typ přenosu, synchronizaci přenosu, použití virtuálních okruhů aj.

Sériový přenos

- dvojice vodičů, signálový a zem, bity dat přenášeny za sebou – sériově
- symetrický signál – zvláště dvojice vodičů, např. pro příjem a vysílání dat, př. X.21
- asymetrický signál – více signálových vodičů oproti společné zemi, př. V.24

Paralelní přenos

- skupina, např. osmice, vodičů, signálové a zem, několik (8) bitů dat přenášeno zároveň – paralelně
- typické použití u vnitřních sběrnic v počítači nebo starší připojení periferních zařízení (tiskárna, modem)

Přenos dat

Synchronní přenos

- konstantní rychlostí, stejnoměrná garantovaná šířka pásma
- dříve blokový: bloky dat (**fyzické rámce**) konstantní délky rozložené do **slotů**, pro daný přenos vyhrazeny sloty se stejným pořadovým číslem, synchronizační bity pro synchronizaci přijímače s vysílačem na začátku bloku
- dnes kromě dat ještě **synchronizační signál** („hodiny“), zdrojem jedno zařízení, ostatní se přizpůsobí
- použití v telekomunikačních sítích (např. telefon 32 slotů po 64 kb/s), NE Internet

Paketový přenos

- proměnlivou rychlostí, bloky dat (**pakety**) obecně různé délky
- negarantovaná šířka pásma (maximální dosažení např. pomocí QoS), ale efektivnější využití pásma
- použití v datových sítích, např. Internet

Přenos dat

Asynchronní přenos

- kombinace předchozích, garance šířky pásma
- pakety stejné délky přenášeny proměnlivou rychlostí (start a stop bity), jednotlivé bity přenášeny synchronně (tzv. arytický přenos)
- přenos bitů na vzorkovací frekvenci (řádově vyšší než bitová, kvůli rozpoznání bitů), vyšší režie
- např. síť ATM (pakety = **buňky**)

Přenos dat

Virtuální okruh

- vytvářený v síti některými protokoly (na nižších vrstvách, ale i síťové), např. Frame Relay, X.25
- nejprve sestaven (pomocí **signalizace**), pak přenos dat (s identifikací okruhu) po okruhu, v případě přerušení přenosu se vytvoří okruh nový
- spíše telekomunikační sítě, NE u Internetu – přerušení okruhu znamená přerušení spojení, IP pakety přenášeny samostatně
- typy:
 - **pevný (permanent)** – sestavené v síti napevno správcem
 - **komutovaný (switched)** – dynamicky vznikající dle potřeby přenosů

Strukturovaná kabeláž [LAN]

- síťové (a telefonní) rozvody: zásuvky, propojovací kabely, **propojovací (patch) panel**, optická vlákna, distribuční box optiky aj., ve skříní (rack)

Koaxiální kabel

- dnes se již nepoužívá
- **tlustý**: \varnothing 1 cm (např. Belden 9880 PVC), max. 500 m, zakončený **terminátory** 50Ω , připojení uzlu přes **transceiver** napíchnutý svorkou **vampír**, redukce i na tenký a dvojlinku
- **tenký**: RG 58, max. 185 m (u stejných síťových karet uzlů až 400 m), zakončený terminátory 50Ω , připojení přes **BNC konektor** (existují i transceivery)

Strukturovaná kabeláž [LAN]

Kroucená dvojlinka (Twisted Pair)

- max. 100 m (závisí na kvalitě kabelu), přenos signálu kódováním Manchester II ($\log. 1 = -2V$)
- 4 páry měděných vodičů, drát nebo lanko (licna, svazek drátků), po dvou kroucených
- nestíněná (**UTP**): kategorie EIA/TIA 3 (do 25 MHz), 5(E) (do 100 MHz), 6 (do 250 MHz), 7 (do 600 MHz)
- stíněná (**STP**)

Obrázek: Obrázek průvodce 56→61(5)

- **konektor RJ45**: nejčastěji zapojení podle EIA/TIA 568B s 1. párem (modrý) pro telefon a 2. a 3. párem (oranžový a zelený) pro datovou síť

Obrázek: Obrázek průvodce 56→61,62(5)

Strukturovaná kabeláž [LAN]

Optická vlákna (Fiber optic)

- dvě vrstvy skla: obal (\varnothing 125 μm) a jádro – **vícevidové** (\varnothing 50 a 62.5 μm , paprsky se odráží od rozhraní skel) a **jednovidové** (9 μm), buzení laserem (850, 1300, 1500 nm)
- primární ochrana – \varnothing 250 μm , optický konektor SC s kouskem vlákna, tzv. **pigtail**, navařený na jiné vlákno
- sekundární, těsná sekundární ochrana – \varnothing 0.9 mm, možné nasadit **různé optické konektory** (FC, LC, ST aj., dříve připojení přes **optické transceivery**)
- svazky mnoha vláken s (kevlarovou) ochranou v optických kabelech
- vlákno simplexní, pro duplex dvojice vláken – pro jednu frekvenci, dnes i „multifrekvenční“ duplexní vlákna
- dosah 2–3 km (vícevidové) nebo až 70 km (jednovidové), použití optických rozbočovačů pro páteřní sítě

Lokální síť [LAN]

- v minulosti vyvinuta řada systémů LAN: Ethernet, FDDI, Token Ring a Token Bus, Arcnet aj., dnes jen Ethernet a FDDI
- IEEE: počátkem 80. let sjednocení a **normy IEEE 802.xx** pro systémy LAN, později převzaté ISO jako normy ISO 8802-xx

Obrázek: Obrázek průvodce 111→65(5)

- linková a částečně fyzická vrstva rozděleny do podvrstev:
 - **MAC (Medium Access Control)** – přístup na (sdílené) přenosové médium, zasahuje do fyzické i linkové vrstvy, řešená HW, závislost na topologii a HW, normy IEEE 802.3 – 802.15
 - **LLC (Logical Link Control)** – správa logických spojení, linková vrstva, řešená HW i SW, nezávislá na HW, IEEE 802.2
- připojení pomocí **síťové karty** – zčásti realizuje linkové protokoly

Ethernet [LAN]

- sdílené přenosové médium, v daném okamžiku využívá jeden uzel
- uzly samostatné, rovnocenné

Ethernet (II, IEEE 802.3)

- počátky koncem 70. let Xerox, 1982 DEC, Intel a Xerox jako DIX Ethernet (Ethernet II), 1985 IEEE 802.3
- 10 Mb/s, 8.5 MHz
- **segment** = počítače připojené na médium (kabel)
- **tlustý** (10BASE-5, DIX): tlustý koaxiální kabel, topologie sběrnice, konektor AUI (CANNON 15) na síťové kartě, max. 100 stanic
- **tenký** (10BASE-2, IEEE 802.3a): tenký koaxiální kabel, topologie sběrnice, připojení přes **konektor BNC-T** a konektor BNC na síťové kartě, max. 30 stanic

Ethernet [LAN]

Obrázek: Obrázek průvodce 61→69(5)

- **s kroucenou dvojlínkou** (10BASE-T, IEEE 802.3i):
 - konektor RJ45 na síťové kartě, kontrola integrity připojení pomocí signálu LinkBeat
 - připojení k **opakovači** (**linkový segment**), hvězdicová topologie, max. 100 m mezi počítačem a opakovačem
 - duplexní přenos (**Half Duplex**) – na uzlu 2. pár (oranžový) pro vysílání, 3. (zelený) pro příjem
 - při propojení dvou počítačů „překřížení“ – plně duplexní přenos (**Full Duplex**), teoreticky max. rychlost
- **s vícevidovými optickými vlákny** (10BASE-Fx, IEEE 802.3j):
původně jen propojení optických opakovačů (FO-HUB), konektor AUI (CANNON 15) na síťové kartě, dnes mnoho různých konektorů (LC, SC, FC, aj.), max. 2 km

Ethernet [LAN]

Opakovač (Repeater)

- HW zařízení pro propojení segmentů, rozbočovač
- data jsou zopakována na všechna ostatní rozhraní (**porty**) opakovače, tj. do všech linkových segmentů
- **HUB** = opakovač pro kroucenou dvojlinku, propojení dvou HUBů „překříženým“ kabelem (nebo jeden port HUBu s přepínačem)
- možnost centralizované správy segmentu

Vícesegmentové sítě

- omezující metody Model I a II pro max. dosah a konfiguraci sítě
- omezení na počty opakovačů a vzdálenosti mezi nimi (Model I) nebo pomocí maximálního zpoždění přenosové cesty (Model II)

Ethernet [LAN]

Fast Ethernet (IEEE 802.3u)

- 1993 síť 100BASE-T a 100VG-AnyLAN, z důvodu zpětné kompatibility u metody přístupu k médiu (viz linková vrstva) vybrána 100BASE-T
- 100 Mb/s, 125 MHz
- jen hvězdicová topologie s opakovači dvou tříd: **Class I** (retranslace signálu z linkového segmentu umožňující použití různých linkových segmentů, max. jeden na segmentu) a **Class II** (jen opakování signálu, jen stejné linkové segmenty, max. 2)
- fyzikální vrstva (100BASE-X) podle FDDI: přenos čtveřic bitů (nibble) kódovaných do 5 bitů
- kroucená dvojlinka (100BASE-TX kategorie 5, 100BASE-T4 kategorie 3 25 MHz dva páry vodičů navíc) – max. 200 m
- optická vlákna (100BASE-FX) – max. 300 m (Full Duplex 2 km)
- volitelná duální rychlost 10/100 Mb/s a Half/Full Duplex: pomocný **Auto-Negotiation Protocol** využívající rozšířený signál integrity sítě

Ethernet [LAN]

Gigabitový Ethernet (IEEE 802.3z, 802.3ab)

- 1988 pro optické linky (IEEE 802.3z), pak pro kroucenou dvojlinku kategorie 5E (IEEE 802.3ab), vytlačil FDDI a ATM
- 1 Gb/s, 1062.5 MHz (optika)
- jen hvězdicová topologie s opakovači
- optická vlákna (jednovidová 1000BASE-LX, vícevidová 1000BASE-SX): fyzická vrstva podle Fibre Channel: přenos 8 bitů kódovaných do 10 bitů, max. 550 m (vícevidové, 850 nm) nebo 2 km (jednovidové, 1300 nm)
- kroucená dvojlinka (1000BASE-T): duplexní přenos na všech 4 párech u kategorie 5E, plně duplexní přenos u kategorie 6, max. 100 m

Ethernet [LAN]

10Gigabitový Ethernet (IEEE 802.3ae)

- 10 GB/s, velký dosah
- jen režim Full Duplex, ne sdílené médium
- fyzická rozhraní pro LAN a WAN (propojení s DWDM)
- 4 rozhraní odvozená od 1000BASE-X s rychlostí 2.5 GB/s
- optická vlákna (mnohovidová 10GBASE-S 400 m, jednovidová 10GBASE-L/E 10/40 km)
- kroucená dvojlinka (10GBASE-T 55 m kabel kategorie 5E nebo 6, 100 6A nebo 7)

FDDI [LAN]

- Fiber Distributed Data Interface – optická vlákna, 1989 ANSI X3T12, 1990 ISO 9314
- CDDI (Copper DDI) – kroucená dvojlinka
- vysokorychlostní páteřní síť počátku 90. let, univerzitní síť (campus)
- 100 Mb/s, max. 2 km (vícevidová vlákna), 60 km (jednovidová)
- zdvojená kruhová topologie: protisměrné páteřní kruhy, jeden primární, druhý záložní, v daném čase aktivní jen jeden
- zařízení: koncové stanice – porty pro oba kruhy (DAS) nebo jen jeden (SAS), **koncentrátory** – více portů pro připojení více konc. stanic, mosty

Bezdrátové lokální sítě (WLAN) – Wi-Fi [LAN]

- důvody pro WLAN (**Wireless LAN**): mobilita, snadná použitelnost, dostupnost, nižší náklady, rozšiřitelnost, roaming (vysílače si klienta předávají), atd., polovina 90. let
- použití pro vnitřní (původně, popř. v kombinaci s kabeláží) i vnější prostory (např. připojení k Internetu), propojení s drátovými LAN
- norma **IEEE 802.11** (1997), 2 Mb/s, mnoho rozšíření, např. 802.11b = **Wi-Fi (Wireless Fidelity)** – až 11 Mb/s v závislosti na poměru signálu k šumu, běžně 60 %, dosah až 11+ km (venku), 802.11a/g – až 54 Mb/s, 802.11n – až 500+ Mb/s

Wi-Fi [LAN]

Konfigurace (topologie)

- peer-to-peer/**ad-hoc**: přímá komunikace mezi stanicemi, do 10-ti stanic
- **infrastrukturní**/s **přístupovým bodem (access point, AP)**: propojuje WLAN a “drátovou” LAN (např. Ethernet), stanice komunikují jen prostřednictvím AP (nejdříve asociace a autorizace), bezpečnostní prvky (filtrace, šifrování, atd.), až 100 stanic
- s více přístupovými body (**roaming**): AP propojeny pevnou sítí, klient se přepojuje k AP s nejlepším poměrem signálu k šumu, když tento klesne pod nějakou mez
- point-to-point: propojení dvou sítí pomocí AP

Přenosové médium

- rádiové vlny 2.4 (**802.11b/g/n**), 5 GHz (**802.11a/n**) – veřejné, není třeba licence, vzájemné rušení (také např. Bluetooth, RFID čipy, RC modely na dálkové ovládání a další)
- šíření signálu metodou rozptýleného spektra (v pásmu frekvencí):
 - přeskokování frekvencí (FHSS): 2.4 GHz pásmo dělené na 75 kanálů, při vysílání se periodicky přeskakuje mezi frekvencemi, př. starší Wi-Fi, Bluetooth
 - přímá sekvence (DSSS): 2.4 GHz pásmo dělené na 14 kanálů po 22 MHz, které se částečně překrývají, př. Wi-Fi 802.11b
 - ortogonální frekvenční multiplex (OFDM): 2.4 a 5 GHz, 802.11a/g, 802.11n technologie MIMO
- poloduplexní spoj, ale je možný i duplexní (dva páry antén)
- **antény**: horizontální, vertikální a kruhové polarizace signálu, všesměrové, sektorové, směrové, provedením síťové, paraboly, šroubovice, Yagi, omezení na výkon vyzářený anténou normou ČTÚ (100 mW)

Bezdrátové personální sítě (WPAN) – Bluetooth [PAN]

- projekt „Blue Tooth“, Ericsson, 1994, bezdrátová komunikace mezi různorodými zařízeními (počítače, mobilní telefony, PDA, dig. fotoaparáty, kamery aj.)
- rádiové vlny 2.4 GHz, přenosová rychlost 1 nebo 2 Mb/s, max. 10 m (s opakovači do 100 m)
- norma **IEEE 802.15**
- komunikace po kanálech (tzv. piconetech) s pseudo-náhodnými skoky
- **Master** a **Slave** uzly (max. 7, další zaparkované)

Bluetooth [PAN]

- odlišná protokolová architektura: fyzická (Bluetooth radio, podvrstvy Radio a Baseband), linková, vyšší (identifikace a možnosti zařízení, podpora služeb, protokoly SDP, RFCOMM, TCS BIN, WAE/WAP)
- **profily zařízení** – definice parametrů protokolů služeb, GAP a SDAP pro vyhledávání (SDP), TCS-BIN pro telefonii, SPP pro emulace sériového propojení (RFCOMM, modem, PPP do LAN), GOEP pro souborové přenosy aj.
- podvrstva **Baseband**: adresace, tvorba sítí Piconet (uzly ve stavech a režimech, procedury Inquiry a Paging), zřizování linek (synchronní SCO, asynchronní ACL), řízení toku dat a zabezpečení přenosu

Rozlehlé sítě [WAN]

- velké vzdálenosti → odlišné technologie přenosu dat než v LAN
- dvojbodová propojení mezi prvky DCE nebo virtuální okruhy
- využití **telekomunikačních sítí**
- optické systémy:
 - **SONET/SDH**: synchronní vysokorychlostní přenosy, rychlosti 50 Mb/s až 10 Gb/s, aplikace v síti ATM
 - **DWDM**: multiplex na různých vlnových délkách, desítky virtuálních optických vláken v existujících fyzických, rychlosti řádově až Tb/s, full duplex po jednom vláknu
- rádiové – tzv. „last mile“:
 - dvojbodové: přímá viditelnost, až 20 km, 2.4, 3.5, 10 GHz – až 90 Mb/s, licencovaná pásma
 - **FWA**: pevné bezdrátové okruhy vzdálených uzlů se základovou stanicí, 26 GHz, buňková síť, dosah 5 km
 - **WiMAX**

Sériová linka [telekomunikační WAN]

Obrázek: Obrázek průvodce 40→49,52(5)

- propojení koncového zařízení (DTE), např. počítač, s propojovacím prvkem (DCE), např. modem, nebo dvou propojovacích prvků
- **ITU V.24 (ANSI RS232)**: sériový asynchronní arytmičtý přenos, rychlost desítky kb/s (64, 115.2 max), full duplex, konektory CANNON 9 a 25 (porty COM), propojení dvou počítačů pomocí „překřížení“ vodičů (**nulový modem**)
- dnes nahrazena **bezdrátovými PAN** (Bluetooth, infra)
- připojení modemu: signály DTR, DSR (signalizace), RTS, CTS (řízení toku) nebo znaky XON, XOFF, signály TD, RD (data, AT-příkazy)

Modem [telekomunikační WAN]

- pro připojení k datové síti pomocí analogové telefonní sítě – modulace a demodulace dat a zvuku
- **modulátor/demodulátor = modem** – připojen sériovou linkou/bezdrátovou sítí k počítači nebo vestavěný a telefonní linkou (kroucená dvojlinka/bezdrátová síť) k telefonní síti
- vytvoření okruhu v telefonní síti, dohoda stran na parametrech komunikace (nejvyšší rychlost, zabezpečení apod., protokol PPP) a přepnutí na data, poté uzly (DTE) propojeny transparentně

AT-příkazy (Hayes)

- znakové ovládání modemu počítačem a zprávy od modemu, např. ATDTčíslo, AT OK, CONNECT

Modem [telekomunikační WAN]

- přenosové rychlosti na telefonní drátové lince (doporučení ITU):
 - **přeložené pásmo** (Voice Band, překlad dat na zvuk v pásmu 0.3 až 3.4 kHz, komutovaná linka přes zesilovací stanice mezi ústřednami): nominální 9.6 (V.32), 14.4 (V.32bis), 28.8 (V.34), 33.6 (V.34+), 56/33.6 (download/upload, **V.90**, digitální ústředny a linky mezi nimi) kb/s
 - **základní pásmo** (Base Band, tzv. „širokopásmové modemy“, pevné linky): stovky kb/s až jednotky Mb/s (plný duplex), rozhraní V.35
- dnes bezdrátové sítě, např. GSM
- možná komprese dat (protokol MNP 5, ITU **V.42bis**) – rychlosti až stovky kb/s (v přeloženém pásmu), potřeba vyšší rychlosti na lince k počítači
- detekce chyb přenosu (V.42)

ISDN [telekomunikační WAN]

- připojení k datové síti pomocí digitální telefonní sítě s integrovanými službami, normy I.430 / I.431
- synchronní přenos dat, kroucená dvojlinka, konektor RJ45
- přenosové rychlosti (na telefonní drátové lince):
 - **Basic Rate (euroISDN2, linka E0/T0)**: dva datové kanály B 64 kb/s, signalizační kanál D 16 kb/s, synchronizace
 - **Primary Rate (euroISDN30, linka E1/T1)**: třicet datových kanálů B 64 kb/s, signalizační kanál D 64 kb/s

euroISDN2 (V.110)

- rozhraní U: dvojlinka mezi telefonní linkou a zařízením **NT-1**
- rozhraní S/T: dvě dvojlinky z NT-1, sběrnice pro připojení digitálních zařízení (počítače pomocí „digitálního modemu“) nebo **terminálního adaptéru** pro připojení analogových zařízení, současně mohou komunikovat max. 2 (dva datové kanály B)

xDSL [telekomunikační WAN]

- dosažení maximální rychlosti na telefonní lince, různorodé technologie xDSL
- **ADSL** (Asymmetrical): rychlost 12/3.5 Mb/s (download/upload, ADSL2) nebo 24/1 Mb/s (ADSL2+), dosah do 7 km, využití dalších dvou kroucených párů vodičů pro přenos mimo telefonní pásmo (4 kHz) – potřeba **splitteru** u/v DSL modemu a zařízení DSLAM v ústředně, nástupce euroUSDN2
- HDSL (High data rate): rychlost 2 Mb/s, nástupce euroISDN30
- SDSL (Symmetrical), VDSL (Very-high-bit-rate, až 52 Mb/s) aj.

GSM [telekomunikační WWAN]

- bezdrátová původně analogová síť jen pro hlas, dnes digitální, normy ETSI
- pokryté území rozdělené do oblastí s (překrývajícími se) **buňkami** obsluhovanými jednou **BTS (Base Transceiver Station)** s max. 12 vysílači (běžně 4)

Obrázek: Obrázky průvodce 62→48,49(2)

- mobilní telefon komunikuje s BTS, roaming (síť si udržuje informaci, ve které oblasti buněk se telefon nachází a hledá jej ve všech buňkách oblasti)
- dvě frekvence: primární (900 MHz, rozsah 25 MHz po 200 kHz), sekundární (1800 MHz, rozsah 75 MHz), každá konkrétní frekvence rozdělena do 8 **slotů**

GSM [telekomunikační WWAN]

- další zařízení: BSC (řídí BTS), NSS (přepíná okruhy, obsahuje databáze uživatelů), TRAU (převody rychlostí) aj.
- komunikace mezi telefonem a BTS (ve slotech): datový kanál TCH (9.6 kb/s, asynchronně), kombinované služební kanály synchronizace (GSM používá synchronní přenos), signalizace, „špehovací“ (telefon odesílá asi 80 bytů každé 2 minuty)
- počítač propojen s telefonem pomocí zařízení **RA-0** (= modem, součást telefonu), NSS připojeno na směrovač ve WAN, se kterým počítač vytvoří virtuální okruh
- **GPRS/EDGE**: místo virtuálního okruhu paketový přenos, teoreticky až ve všech 8 slotech (GPRS až 171.2 kb/s, EDGE až 500 kb/s), prakticky 4 sloty
- **UMTS/HSPA**: GSM síť 3. generace, až 14 Mb/s, multimediální služby, 3.5 generace HSDPA, HSPA+ aj.
- **LTE**: GSM síť 4. generace, až 300 Mb/s (?)

Bezpečnost na fyzické vrstvě

- útoky:
 - přerušení (drátové) linky → záložní linka, fyzická ochrana
 - rušení (bezdrátové) komunikace – cílené, ale i např. vadné konektory, vlivy okolního nebo i přenosového prostředí ⇒ vadné linkové rámce
 - odposlech – fyzická ochrana linek a šifrování, omezení šíření bezdrátového signálu, užitečné pro správce
 - modifikace přenášených dat – neúměrně nákladná, spíše na vyšších vrstvách
- protokoly řeší ochranu a detekci chyb jen z technických příčin
- „inteligentní útočník“ → **fyzická ochrana** linek a omezení vysílačů + šifrování