Úvod do počítačových sítí (NSWI141)

Libor Forst, SISAL MFF UK

- Základní pojmy z oblasti komunikací
- Vrstevnatý model sítě (OSI vs. TCP/IP, adresace, multiplexing, ...)
- Aplikační vrstva (DNS, FTP, email, web, VoIP, ...)
- Transportní vrstva
- Síťová vrstva (IPv4, IPv6, směrování, firewally, ...)
- Linková a fyzická vrstva (switch vs. repeater, Ethernet, Wi-Fi, kabeláž, ...)

Literatura

- D. E. Comer, D. L. Stevens: Internetworking With TCP/IP; Prentice Hall 1991
- A. S. Tanenbaum: Computer Networks; Prentice Hall 2003
- C. Hunt: TCP/IP Network Administration; O'Reilly & Associates 1992
- P. Satrapa, J. A. Randus: LINUX - Internet server; Neokortex 1996; ISBN 80-902230-0-1
- L. Dostálek, A. Kabelová: Velký průvodce protokoly TCP/IP a systémem DNS; Computer Press 2002

- zdroje na internetu
- Request For Comment (RFC)
- **`http://www.warriorsofthe.net`**

Obecné atributy komunikace

- Identifikace
  - komunikující strany se musí „najít“ (telefonní čísla), představit
- Metoda
  - př.: hluchoněmý u přepážky, zkusí znakovou řeč, recepční napíše na papír, že nerozumí a navrhne psanou formu komunikace
- Jazyk
  - obě strany se musí dohodnout na jazyku, který použijí
- Rychlost
  - obě strany se musí dohodnout na rychlosti komunikace
- Proces
  - požadavky, odpovědi, potvrzení

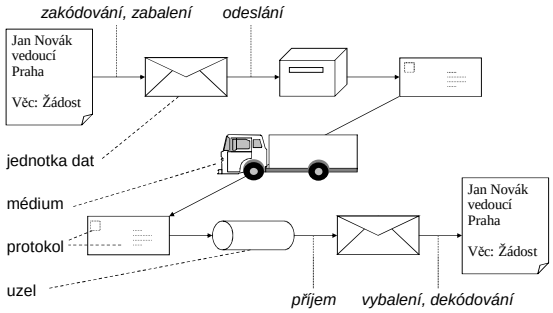
Porovnání komunikací

- Běžná komunikace
  - hlas, signály, písmo
  - volná intuitivní pravidla
- Telekomunikace
  - složitá technologie se zabudovanými pravidly
  - řízení má na starosti síť, řídí i koncová zařízení
- Počítačová síť
  - pravidla jsou volně dostupná
  - značná část logiky je v koncových zařízeních
  - síť se stará jen o přenos
- Konvergovaná síť
  - spojuje svět spojů a počítačů (cena, efektivita...)
  - úspěšnější je konvergence na bázi počítačové sítě

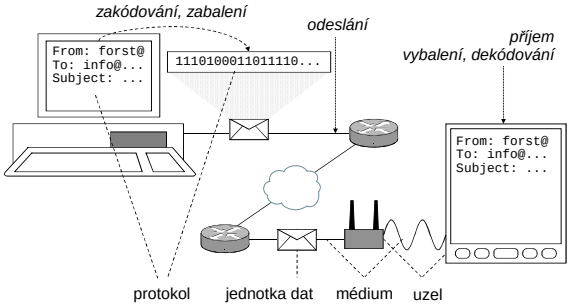
Prvky síťové komunikace

- Protokoly (pravidla)
  - normy
  - standardy
  - doporučení
- Jednotky dat
  - zpráva
  - paket
  - bit
- Média
  - drát
  - optika
  - „vzduch“
- Uzly
  - koncová zařízení
  - síťová zařízení

Přenos zprávy (pošta)

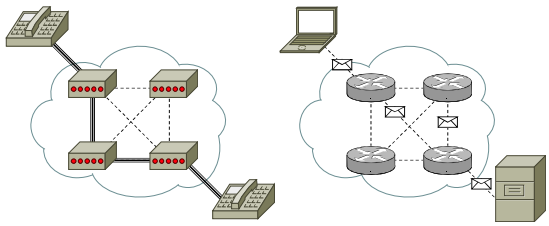


Přenos zprávy (e-mail)



Požadavky - odolnost

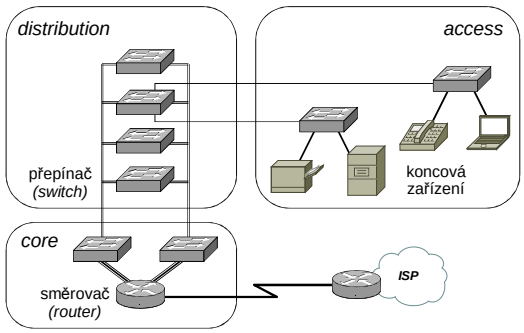
- přepojování okruhů: rychlejší, plynulejší, ale při výpadku uzlu se spojení rozpadne
- přepojování paketů: každý může jít jinou cestou, liší se doba přenosu, ale výpadek uzlu není fatální



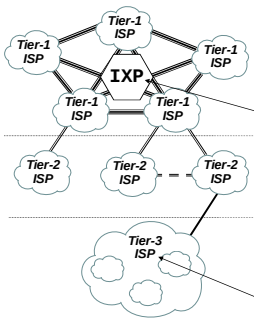
Požadavky - bezpečnost

- Relativně nové kritérium, staré technologie byly naivní:
  - otevřená komunikace (odposlech)
  - důvěra v identitu protistrany
  - důvěra ve správnost obsahu
- Základní dělení:
  - bezpečnost infrastruktury
  - bezpečnost dat
- Současné metody:
  - ověřování uživatelů a kontrola přístupových práv
  - ověřování počítačů (serverů, příp. i klientů)
  - inspekce dat (aplikační proxy, antiviry, antispamy, ...)
  - kryptografie (šifrování a podpisy)

Požadavky - rozšiřitelnost (LAN)



Požadavky - rozšiřitelnost (WAN)



- Tier 1: klíčoví hráči (nekupují přístup na páteř)

Internet Exchange Point

- Tier 2: závislí na ISP Tier 1, částečný peering, obvykle nemají koncové zákazníky
- Tier 3: závislí na ISP Tier 2, připojují koncové sítě

Internet Service Provider

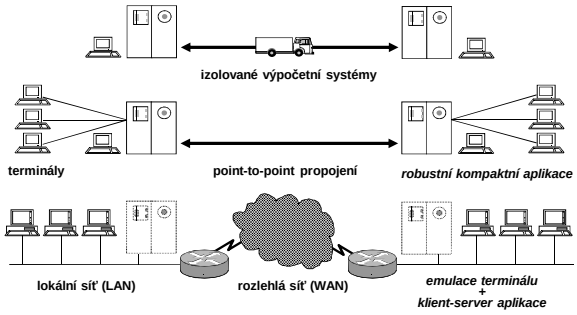
Požadavky - kvalita služeb

- Různé aplikace mají různé požadavky
  - zpoždění (*latence*, *delay*)
  - pravidelnost doručování (*jitter*, rozptyl zpoždění)
    - oba parametry kritické pro multimediální aplikace
  - ztrátovost dat
    - kritická pro přenos dat (WWW, pošta)
  - šířka pásma (*bandwidth*, „rychlost“)
- Cíl:
  - garance vymezeného toku pro konkrétní typ provozu
  - garance rychlejšího doručení prioritních zpráv

Quality of Service

- Externí faktory:
  - kvalita a zaplnění komunikačního kanálu
  - změny formy (hlas ⇒ text ⇒ obrázek)
  - přeposílání (změny adresy)
  - čas vymezený pro komunikaci
- Interní faktory:
  - velikost, složitost, důležitost zprávy
- Implementace:
  - data obsahují klasifikaci QoS
  - strategie *garance kvality*: vyhrazená šířka pásma
    - zaručená kvalita, plýtvání kapacitou
  - strategie *best effort*: prioritní fronty
    - efektivní využití média, není záruka kvality

Vznik počítačových sítí

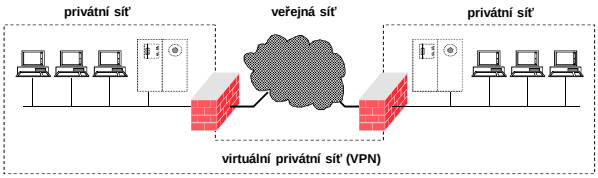


Základní dělení sítí

- Lokální sítě (Local Area Network)
  - sdílení prostředků (souborové a databázové servery, tiskárny)
  - menší vzdálenosti (budova, kampus), malé zpoždění
  - jednotné vlastnictví a řízení
- Rozlehlé sítě (Wide Area Network)
  - vzdálený přístup, komunikace
  - velké vzdálenosti, větší zpoždění
  - mnoho vlastníků, distribuované řízení
- Dnes:
  - rozdíly se stírají (nejmarkantnější jsou ve vlastnictví)
  - vznikají mezistupně (MAN)
- Není to dělení technické (neexistuje definice), ale logické

Veřejné a privátní sítě

- Většina LAN je privátních (uživatel je vlastníkem)
- Většina non-LAN je veřejných (uživatel není vlastníkem)

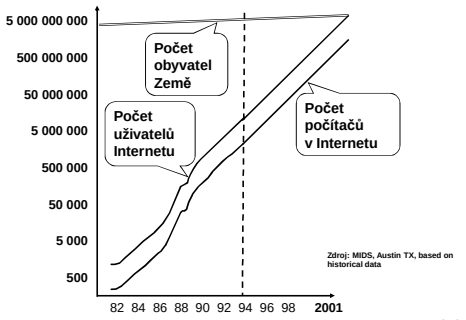


- Motivace VPN: bezpečnost, cena
- Typické použití VPN: propojení poboček, připojení (mobilních) koncových uživatelů

Historie Internetu

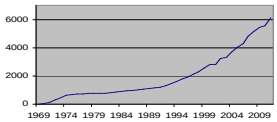
- zač. 60. let - koncepce „packet switching“
- 60.léta - US DoD podporuje koncept „packet switching“ pro odolnost proti fyzickému útoku
- 1969 - ARPANET - financuje Defense Advanced Research Project Agency, provozují akademická pracoviště, point-to-point, pevné linky
- 1974 - termín „Internet“ (zkratka „internetworking“) použit v RFC 675 definujícím TCP
- 1977 - na ARPANET páteř se připojuje první síť
- 1983 - TCP/IP nahrazuje NCP v ARPANETu
- pol. 80. - TCP/IP součástí BSD UNIXu

Vývoj Internetu v číslech



Request for Comments (RFC)

- Prostředek „standardizace" Internetu
- RFC 1 zveřejněno 7.4.1969



- Jsou volně šiřitelné (`http://www.ietf.org/rfc.html`)
- Různý charakter: standardy, informace, návody
- Návrh textu se předkládá IAB ⇒ IETF,IRTF ⇒ WG
- Dokumenty se nemění, aktualizace mají nové číslo (SMTP: *772*, *780*, *788*, 821, 2821, 5321)
- Aktuální stav lze najít v indexovém souboru
- Zdaleka ne všichni RFC dodržují

Vrstevnatá filozofie

- Př.: rozeslání zápisu z obchodní porady
  - vrstva Zapisovatel
    - vytvoří zápis z porady
    - pravidla: formát zápisu
    - požadavek na Sekretářku: poslat dopis [zápis;osoba]
  - vrstva Sekretářka
    - vyhledá adresu, doplní záhlaví, podpis ... vloží do obálky
    - pravidla: formát obchodního dopisu
    - požadavek na Podatelnu: odeslat poštou [dopis;adresa]
  - vrstva Podatelna
    - dopis ofrankuje a zařadí do balíku pro transport na poštu
    - pravidla: odesílání pošty
- Výhody:
  - snazší dekompozice a popis
  - snadná změna technologie (pošta/email, pošta/kurýr)

Síťový model, síťová architektura

- Síťový (referenční) model:
  - počet a struktura vrstev
  - rozdělení práce mezi vrstvy
  - př.: ISO/OSI
- Síťová architektura (protocol suite):
  - síťový model
  - komunikační technologie
  - služby a protokoly
  - př.: TCP/IP

OSI model

- Budovaný shora, megalomanský, nepraktický
- Vhodný jako teoretický model

Pořadí	Vrstva	Úkol
7	aplikační	komunikace mezi programy
6	prezentační	datové konverze pro aplikace
5	relační	řízení dialogu mezi koncovými uzly
4	transportní	end-to-end přenos datových celků
3	síťová	dosažení cílového počítače
2	linková	přenos dat mezi sousedy
1	fyzická	fyzický přenos (bitů) mezi uzly

X.400, X.500

- Implementace služeb na základě OSI se opírala o řadu podobně (shora) navržených standardů
  - X.400: Message Handling System (pošta), nějakou dobu byl základem Microsoft Exchange Serveru, př. adresy:
    ```
    G=Libor; S=Forst;
    O=Charles University;
    OU=Faculty of Mathematics and Physics;
    OU=SISAL;
    C=cz
    ```
  - X.500: Directory Access Protocol (adresářové služby, telefonní seznam), *perlička: implicitní položkou osoby je oblíbený nápoj*
- Následovníci:
  - LDAP (Lightweight DAP), např. MS Active Directory
  - X.509 Public Key Infrastructure (identifikace vlastníků klíčů)

Rodina protokolů TCP/IP

- Vyrostly z potřeb praxe, od jednoduchých ke složitějším

<table>
<tr><th>OSI</th><th>Vrstva</th><th colspan="3">Příklady protokolů</th></tr>
<tr><td>7</td><td rowspan="3">aplikační</td><td rowspan="3">FTP,
HTTP,
SMTP</td><td rowspan="3">DNS,
SIP</td><td>NFS</td></tr>
<tr><td>6</td><td>XDR</td></tr>
<tr><td>5</td><td>RPC</td></tr>
<tr><td>4</td><td>transportní</td><td colspan="2">TCP</td><td>UDP</td></tr>
<tr><td>3</td><td>síťová</td><td colspan="3">IP</td></tr>
<tr><td>2</td><td rowspan="2">síťové rozhraní</td><td colspan="3" rowspan="2">Ethernet, FDDI, ATM, WiFi, SLIP, PPP, ...</td></tr>
<tr><td>1</td></tr>
</table>

ICMP
ARP

Spojované/nespojované služby

- Spojované (connection-oriented) služby
  - obdoba telefonního spojení
  - zaručeno spolehlivé (*reliable*) doručení dat
  - aplikace je jednodušší, ale nemůže řídit komunikaci
  - v TCP/IP se používá TCP
- Nespojované (connectionless) služby
  - obdoba poštovního spojení
  - není zaručeno pořadí ani doručení paketů, služba se označuje jako „nespolehlivá“ (*unreliable*)
  - kontrolu musí provádět aplikace, zato může řídit komunikaci
  - v TCP/IP se používá UDP (IP samo je také nespolehlivé)

Aplikační modely

- Model klient-server
  - klient zná pevnou adresu serveru
  - klient navazuje komunikaci, zadává požadavky
  - server obvykle obsluhuje více klientů
  - tok dat server ⇒ klient: download
  - tok dat klient ⇒ server: upload
  - př. DNS, WWW, SMTP
- Model peer-to-peer (P2P)
  - partneři neznají pevné adresy „zdroje dat“
  - nejsou vyhraněné role
  - každý je zároveň klientem i serverem (=šíří data!)
  - Napster, Gnutella, BitTorrent

Adresování počítačů

- **HW** (linková vrstva)
  - **fyzická, MAC adresa** (např. ethernetová: `8:0:20:ae:6:1f`)
    - dána výrobcem (dříve), nastavitelná (dnes)
    - nerespektuje topologii
- **SW** (síťová vrstva)
  - **IP adresa** (např.: `194.50.16.71`, `::1`)
    - přidělována podle topologie sítě
    - určuje jednoznačně síť a v jejím rámci počítač
- **Lidé** (aplikační vrstva)
  - **doménová adresa** (např.: `whois.cuni.cz`)
    - přidělována podle organizační struktury
    - snazší zapamatování

Adresování služeb

- Uniform Resource Identifier (URI, RFC 3986)
  - jednotný systém odkazů
  - jeden klient pro více služeb (FTP ve WWW)
  - historické členění: URL (umístění), URN (název)

URI = ***schéma*****:**[**//**] ***autorita*** [***cesta***] [**?*dotaz***] [**#*fragment***]
autorita = [*jméno*[**:***heslo*]**@**]***adresa***[**:*port***]

př.: `ftp://sunsite.mff.cuni.cz/Net/RFC`
`http://1.2.3.4:8080/q?ID=123#Local`
`mailto:forst@cuni.cz`
`sip:221911111@voip.cz`

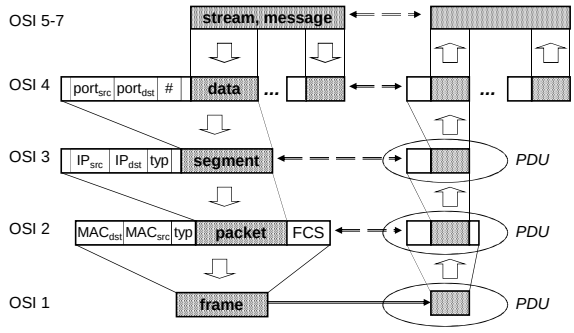
Port, socket

- **Port**
  - ... 16bitové číslo identifikující jeden konec spojení - aplikaci, proces, který má zpracovávat příchozí pakety
    - destination-port musí klient znát, typicky je to některý z tzv. *well-known services*
    - source-port navazovatele spojení přiděluje lokální systém (původně >= 1024)
- **Socket**
  - ... jeden konec komunikačního kanálu mezi klientem a serverem
  - … označení (adresa) jednoho konce kanálu <*IPadresa*, *port*>

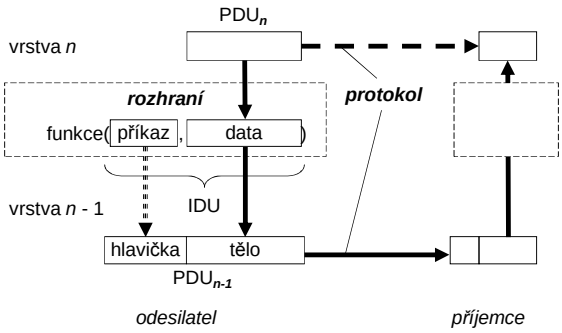
Příklady well-known services

- **21/TCP: FTP - F**ile **T**ransfer **P**rotocol (přenos souborů)
- **22/TCP: SSH - S**ecure **Sh**ell (vzdálené přihlášení a přenos souborů)
- **23/TCP: telnet - Tel**ecommunication **net**work (vzdálené přihlášení)
- **25/TCP: SMTP - S**imple **M**ail **T**ransfer **P**rotocol (přenos elektronické pošty)
- **53/*: DNS – D**omain **N**ame **S**ystem (překlad jmen na IP adresy a naopak)
- **67,68/UDP: DHCP - D**ynamic **H**ost **C**onfiguration **P**rotocol (vzdálená konfigurace)
- **80,443/TCP: HTTP - H**yper**T**ext **T**ransfer **P**rotocol (přenos stránek informačního systému WWW)
- **5060,5061/*: SIP - S**ession **I**nitiation **P**rotocol (VoIP, IP telefonie)

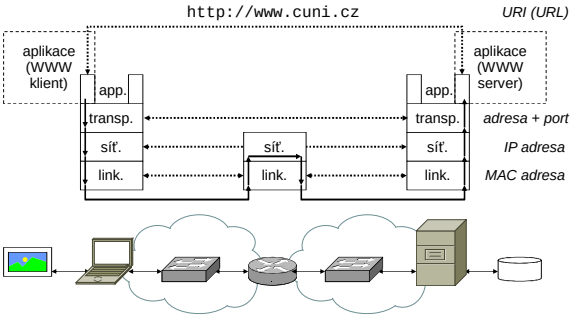
Multiplexing, zapouzdření



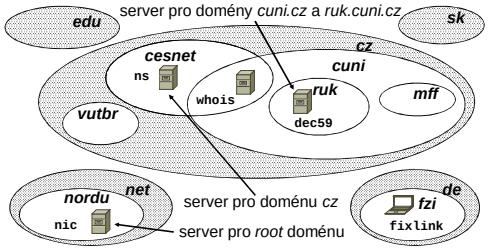
Komunikace a vrstvy



Adresace v TCP/IP



Doménový systém



Správa domén

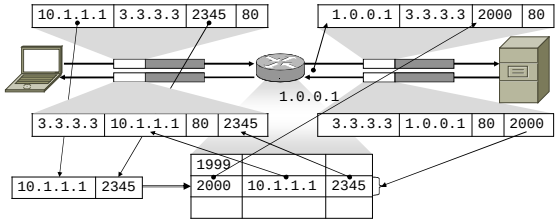
- Domény nejvyšší úrovně (spravuje ICANN, Internet Corp. for Assigned Names and Numbers):
  - původně čistě americké „rezortní“ (**`com`**, **`net`**, **`org`**, **`edu`**, **`mil`**, **`gov`**); postupně uvolněny a doplněny o další (**`info`**, **`biz`**, **`aero`**, ...); o další už mohou žádat privátní subjekty
  - ISO kódy zemí (**`cz`**, **`sk`**, ...) a několik výjimek (**`uk`**, **`eu`**); některé „zajímavé“ státečky jména prodávají (**`nu`**, **`to`**)
  - internacionalizované kódy (`.中国` = `.xn--fiqs8s`, `.рф`)
- TLD **`.cz`**:
  - CZ.NIC (sdružení ISP), dohoda s vládou o správě
  - není zavedena struktura, cca 3/4 mil. jmen pod `.cz`
  - nejsou podporována lokalizovaná jména (IDN)
- Nižší domény:
  - spravuje sám vlastník (`ms.[mff.[cuni.cz]]`)

IP adresy

- Každý koncový uzel v síti TCP/IP musí mít IP adresu
- V současnosti:
  - IP verze 4: 4 byty (např. **`195.113.19.71`**)
  - IP verze 6: 16 bytů (např. **`2001:718:1e03:a01::1`**)
- Přiřazení adresních bloků:
  - veřejné adresy přiděluje síti její ISP
  - uvnitř LAN lze používat privátní adresy nedostupné zvenku (bezpečnost vs. interoperabilita)
- Přiřazení adresy počítači:
  - o způsobu (pevné vs. dynamické, volné vs. omezené) rozhoduje správa LAN
  - platí i pro privátní, neplatí pouze pro *link-local* adresy

Překlad adres (NAT)

- Obecný princip, kdy lokální síť používá *privátní* adresy a ven se představuje *veřejnými* adresami (nebo jinými privátními)
- Jiný termín: *IP masquerading*
- Implementace i terminologie se v detailech liší



Tok dat v TCP/IP

- Multiplexing:
  - sdílení komunikačního kanálu více službami
- Demultiplexing:
  - přijímající strana musí data správně distribuovat podle řídících informací uložených v PDU (protocol data unit)
- Zapouzdření (encapsulation):
  - do PDU jedné vrstvy se uloží data i řídící informace jiné vrstvy (typicky n+1 => n, jsou možné i jiné kombinace)
- Segmentace:
  - rozdělení aplikačních dat na transportní vrstvě
- Fragmentace:
  - další dělení dat na síťové vrstvě díky malé MTU (maximum transmission unit) linkové vrstvy

Autentikace, autorizace

- Autentikace (autentizace, autentifikace) je proces ověření identity subjektu. Autorizace je vymezení rozsahu služeb pro identifikovaný subjekt.
- Lokálně lze autentikovat pomocí:
  - znalostí (heslo, PIN)
  - technických prostředků (klíč, HW token, ...)
  - biometrie (otisky prstů, ...)
- Vzdálená autentikace:
  - ochrana proti odposlechu: systém jednorázových hesel (OTP), kryptografie
  - přenos dat v protokolu: např. pomocí SASL (obecný model, zařazený do protokolů na základě *profilů*, např. v SMTP)
  - možnost použití autentikačního serveru a autentikačního protokolu (LDAP, RADIUS, NTLM, Kerberos)

One-Time Password (OTP)

- Obecné označení pro mechanizmy umožňující nereplikovatelnou plain-textovou autentikaci uživatele
- Původní varianta:

  Vytištěný seznam jednorázových hesel.
- Starší systém:

  Server vyšle jedinečný náhodný kód, uživatel na klientovi z něj určeným způsobem vyrobí odpověď (např. pomocí speciální HW či SW kalkulačky, kam zadá přijatý kód a svoje heslo a dostane odpověď) a klient ji pošle servru.
- Modernější řešení:

  Uživatel dostane speciální autentikační předmět (*token*), který na základě přesné časové synchronizace se servrem generuje jednorázový časově omezený kód.

Kryptografie – symetrické šifrování

- Historie: aditivní, transpoziční, substituční šifry, šifrovací mřížky a tabulky atd.
- Současnost: analogické principy převedené do digitální podoby a podložené matematickou teorií
- Podstata: pro šifrování a dešifrování se používá stejný klíč
- Příklady: DES, Blowfish, AES, RC4
- Výhoda: rychlé, vhodné na velká data
- Nevýhoda: partneři si musí klíč předat bezpečnou cestou

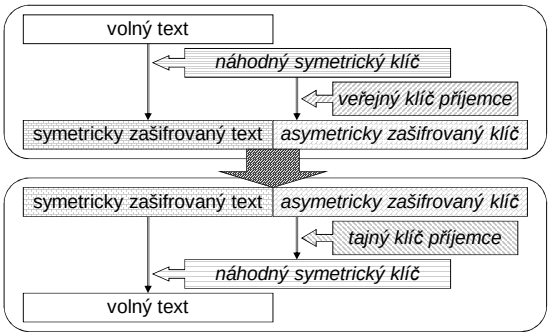
Kryptografie – asymetrické šifrování

- Podstata: pro šifrování a dešifrování se používá pár navzájem neodvoditelných klíčů
- Matematický základ: jednocestné funkce
  - násobení vs. rozklad na prvočinitele
  - diskrétní logaritmus $m = p^k \bmod q$
- Příklady: RSA, DSA
- Výhoda: odpadá problém sdíleného tajemství - jeden klíč (veřejný) lze šířit, druhý (tajný) pečlivě uschovat
- Nevýhoda: pomalé algoritmy, lze šifrovat jen malá data
- Zásadní problém: veřejný klíč je třeba pečlivě ověřovat

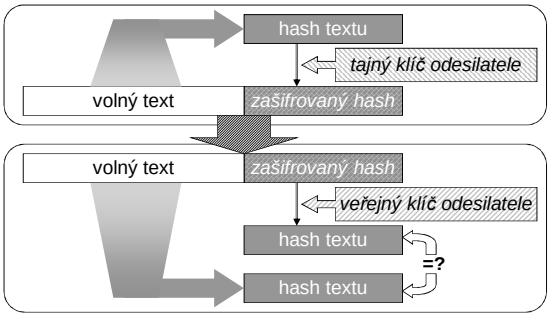
Kryptografie - hashovací funkce

- Hashovací funkce
  - vytvoření pevného „kódu“ z daného textu
  - široké uplatnění (kontroly shody, výběr z tabulky,...)
  - příklady: CRC, MD5
- Použití v kryptografii
  - doplnění požadavků na algoritmus o bezpečnostní prvky
  - malá změna textu = velká změna hashe, „skoro jednoznačný“
  - jednosměrnost, text je z hashe „neodvoditelný“
  - nalezení textu se shodným hashem je obtížné
  - příklad: SHA

Šifrování dat



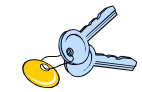
Elektronický podpis

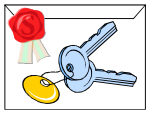


Diffie-Hellman algoritmus

- Způsob výměny informací mezi dvěma partnery posílanými nezabezpečeným kanálem tak, aby oba získali sdílenou tajnou informaci (např. symetrický šifrovací klíč)
- Základ řady protokolů založených na symetrické kryptografii
- Postup:
  1. Alice vygeneruje tajné číslo a a veřejná (prvo)čísla p a q.
  2. Spočítá číslo $A = p^a \bmod q$ a pošle p, q, a A Bobovi.
  3. Bob zvolí tajné číslo b, spočte $B = p^b \bmod q$ a pošle B Alici.
  4. Alice spočítá $s = B^a \bmod q$ a Bob totéž $s = A^b \bmod q$.
- Princip:
  - $A^b = (p^a)^b = p^{ab} = p^{ba} = (p^b)^a = B^a$
  - Bez znalosti tajných čísel a a b a při volbě dostatečně velkých prvočísel p a q je i při odchycení čísel A a B spočítání čísla s považováno za neřešitelnou úlohu.

Autenticita veřejných klíčů





- Je třeba ověřit, že jmenovka patří ke klíči
  - Mezi lidmi lze obvykle snadno ověřit, že komunikuji se správným partnerem dřív, než sdělím tajné informace
  - Klíč lze ověřit z více nezávislých zdrojů
  - Mezi komponentami SW je nutno nějak automatizovat
- Autenticitu ověří třetí strana a připojí svůj podpis; je to buďto
  - někdo, koho já osobně znám a mám jeho resp. její klíč ověřený („pavučina důvěry“)
  - veřejně uznávaná certifikační autorita; jejich seznam je např. v prohlížečích, ale věrohodnost takového seznamu není zcela stoprocentní

Certifikát

- Certifikát je klíč doplněný o identifikaci vlastníka a podepsaný vydavatelem, např. certifikační autoritou (CA)
- Pokud důvěřujeme vydavateli, můžeme věřit klíči vlastníka (ověřovat věrohodnost CA!)
- Struktura certifikátu podle X.509 (RFC 3280, SSL, ne SSH):
  - certifikát
    - verze certifikátu
    - sériové číslo certifikátu
    - vydavatel
    - doba platnosti
    - vlastník veřejného klíče
    - informace o veřejném klíči vlastníka (algoritmus a klíč)
  - algoritmus pro elektronický podpis
  - elektronický podpis

SSL, TLS

- Secure Socket Layer 3.0 ~ Transport Layer Security 1.0, *dnes již nedoporučovaná*, novější verze 1.1 a 1.2
- Mezivrstva mezi transportní a aplikační vrstvou umožňující autentikaci a šifrování
- Využívá řada protokolů (např. HTTPS na portu 443)
- Princip:
  1. Klient pošle požadavek na SSL spojení + parametry.
  2. Server pošle odpověď + parametry + certifikát serveru.
  3. Klient ověří server a vygeneruje základ šifrovacího klíče, zašifruje ho veřejným klíčem serveru a pošle mu ho.
  4. Server rozšifruje základ šifrovacího klíče. Z tohoto základu vygenerují jak server, tak klient hlavní šifrovací klíč.
  5. Klient a server si navzájem potvrdí, že od teď bude jejich komunikace šifrovaná tímto klíčem.

Aplikační vrstva TCP/IP

- Spojuje funkce OSI 5, 6 a 7
  - pravidla komunikace mezi klientem a servrem
  - stav dialogu
  - interpretaci dat
- Protokol na aplikační vrstvě definuje
  - průběh zpracování na obou stranách
  - formát zpráv (textový/binární, struktura,...)
  - typy zpráv (požadavků a odpovědí)
  - sémantiku zpráv, sémantiku informačních polí
  - varianty průběhu dialogu
  - interakci s transportní vrstvou

Domain Name System

- Klient-sever aplikace pro překlad jmen na adresy a naopak
- Binární protokol nad UDP i TCP, port 53, RFC 1034, 1035
  - Běžné dotazy (do 512B v non EDNS) se vyřizují pomocí UDP
  - Větší datové výměny probíhají v TCP
- Klient se obrací na servery definované v konfiguraci, postupně získává informace o dalších, dokud neví odpověď
- Jednotkou dat je „záznam“ (resource record - RR), př.:

```
ns.cuni.cz. 3600 IN A 195.113.19.78
```

  - jméno záznamu
  - doba platnosti (TTL)
  - typ a data

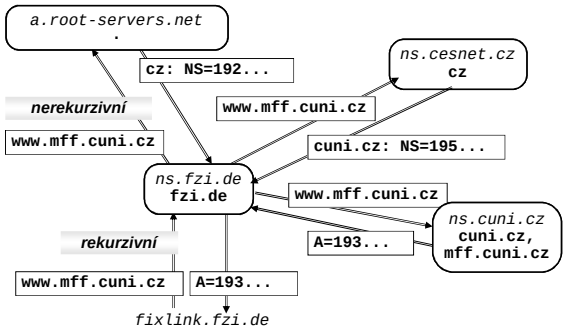
DNS záznamy

Typ	Jméno	Data
SOA	jméno domény	obecné informace o doméně
NS	jméno domény	jméno nameserveru domény
A	jméno počítače	IPv4 adresa počítače
AAAA	jméno počítače	IPv6 adresa počítače
PTR	reverzní jméno (např. pro IP adresu 1.2.3.4 je to `4.3.2.1.in-addr.arpa`, pro ::1 je to `1.0…0.ip6.arpa`)	doménové jméno počítače
CNAME	jméno aliasu	kanonické jméno počítače
MX	jméno domény/počítače	jméno poštovního serveru a jeho priorita

Servery DNS

- Typy serverů:
  - primární: spravuje záznamy o doméně
  - sekundární: stahuje a uchovává kopii dat o doméně
  - caching-only: udržuje jen (ne)vyřešené dotazy po dobu platnosti
- Každá doména (zóna) musí mít alespoň jeden, ale raději více *autoritativních* (primárních nebo sekundárních) nameserverů
- Pro výměnu dat se používá TCP, ale normální formát dotazu a odpovědi (data se posílají jako DNS RR)
- Aktualizaci zónové databáze vyvolává sekundární server, je ale možné z primárního serveru signalizovat její potřebu

Vyřizování DNS dotazu



DNS dotaz a odpověď

- **Dotaz:**

```
ID:          n
FLAGS:       Recursion Desired
QUERY:       www.cuni.cz.   IN A
```

- **Odpověď:**

```
ID:          n
FLAGS:       Authoritative Answer
QUERY:       www.cuni.cz.   IN A
ANSWER:      www.cuni.cz.   IN CNAME tarantula
             tarantula      IN A     195.113.89.35
AUTHORITY:   cuni.cz.       IN NS    golias
ADDITIONAL:  golias         IN A     195.113.0.2
```


Bezpečnost DNS

- Problém útočníka: jak se dostat ke znění dotazu?
  - volba náhodného zdrojového portu
  - volba náhodného ID
- Příklad útoku („cache poisoning“): Do korektní odpovědi může server do sekce `AUTHORITY` a `ADDITIONAL` přidat falešné údaje o jiné doméně.
- Možné řešení: postupovat od root serverů a ptát se pouze autoritativních serverů.
- Komplexní řešení:
  - podpisy zabezpečené DNS (DNSSEC) - delegující doména obsahuje hash podepisovacího klíče, který je uložen na autoritativním serveru domény
  - je ale komplikované a rozšiřuje se pomalu.

Konfigurace DNS

UNIX

lokální doména a nameserver: **`/etc/resolv.conf`**

```
domain jméno_domény
nameserver IP_adresa_nameserveru
nameserver IP_adresa_nameserveru
```

Windows

Control Panel ⇨ Network and Internet
⇨ Network Connections
⇨ Local Area Connection ⇨ Properties
⇨ TCP/IPv4 ⇨ Properties
⇨ General ⇨ Advanced ⇨ DNS

Diagnostika DNS

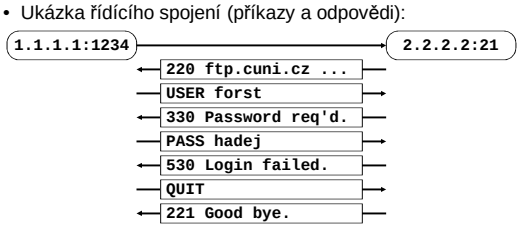
- Program **`nslookup`**
  - podpříkazy: **`set type`**, **`server`**, *name*, *IPadr*, **`ls`**, **`exit`**

```
> set type=ns
> cuni.cz
Server:         195.113.19.71
Address:        195.113.19.71#53

Non-authoritative answer:
cuni.cz nameserver = golias.ruk.cuni.cz.
cuni.cz nameserver = ns.ces.net.

Authoritative answers can be found from:
```

- Program **`dig`**
  - **`dig`** [*@server*] *jméno* [*typ_RR*] [*options*]

File Transfer Protocol

- Jeden z nejstarších protokolů (RFC 959, dodnes platí!)
- Původně přístup k vlastnímu účtu, otevřený přenos hesla!
- Dnes hlavně anonymní přístup (uživatel **`anonymous`** nebo **`ftp`**, heslo je email) k volně šiřitelným datům
- Ukázka řídícího spojení (příkazy a odpovědi):

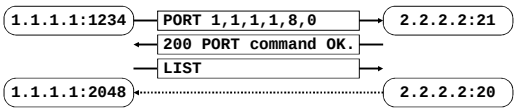


Kódy odpovědí

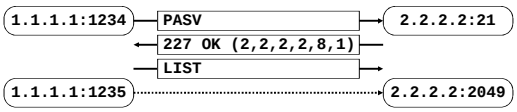
- Pro usnadnění automatického zpracování začíná každá odpověď trojmístným číslem
- První číslice vyjadřuje závažnost odpovědi:
  - 1xx **předběžná kladná odpověď** (akce byla zahájena, budou ještě další odpovědi)
  - 2xx **kladná odpověď** (definitivní)
  - 3xx **neúplná kladná odpověď** (jsou nutné další příkazy)
  - 4xx **dočasná záporná odpověď** (nepodařilo se, ale je možné příkaz opakovat)
  - 5xx **trvalá záporná odpověď** (nepodařilo se a nemá smysl příkaz opakovat)
- Podobné schéma převzala řada následníků

Aktivní/pasivní datové spojení

- Přenos dat probíhá po jiném (datovém) spojení
- Aktivní navázání datového spojení:



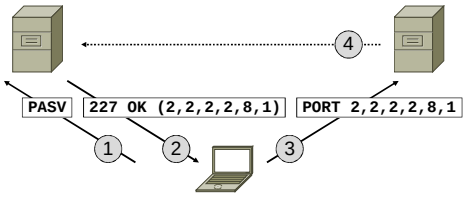
- Pasivní navázání datového spojení:



- Po skončení přenosu se datové spojení uzavře

Third Party Transfer

- Přímý přenos dat mezi servery (z výkonových, kapacitních nebo bezpečnostních důvodů)



- Bezpečnostní riziko: útočník může podvrhnout adresu a port

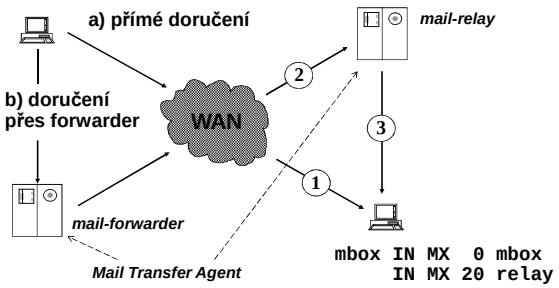
Aplikace pro FTP

- WWW prohlížeče
- správci souborů (Total Commander)
- řádkový interaktivní příkaz **`ftp`**
  - navazování relace: **`open`**, **`user`**
  - ukončování relace: **`close`**, **`quit`**, **`bye`**
  - vzdálené příkazy: **`cd`**, **`pwd`**, **`ls`**, **`dir`**
  - práce se soubory: **`delete`**, **`rename`**, **`mkdir`**, **`rmdir`**
  - lokální příkazy: **`lcd`**, **`!`***command*
    (`!cd` obecně nefunguje!)
  - přenos souborů: **`get`**, **`put`**, **`mget`**, **`mput`**
  - typ přenosu souborů: **`ascii`**, **`binary`**
    (pozor na textové/binární soubory mezi různými OS!)
  - pomocné příkazy: **`prompt`**, **`hash`**, **`status`**, **`help`**,...

Elektronická pošta

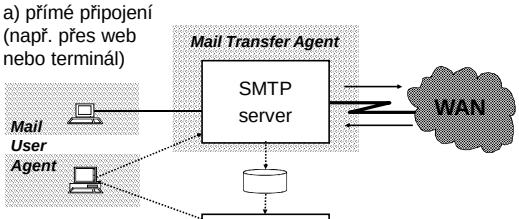
- Obecná služba, existuje i mimo Internet
  - off-line předávání zpráv příp. souborů
  - off-line použití informačních služeb
  - diskusní kluby (mailing-listy, konference)
  - komunikace mimo Internet
- Na Internetu funguje na základě RFC 821, 2821 a 5321 (protokol SMTP resp. ESMTP) a RFC 822, 2822 a 5322 (formát zpráv) na portu 25
- E-mailová adresa v Internetu (typicky):
  login@počítač nebo *alias@doména*
  např.:
  `forst@ms.ms.mff.cuni.cz, Libor.Forst@cuni.cz`

Příjem a odeslání pošty v SMTP

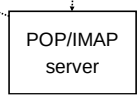


Přístup k poště z pohledu uživatele

a) přímé připojení (např. přes web nebo terminál)



b) připojení přes POP nebo IMAP (čtení) a SMTP (odesílání)



Ukázka SMTP protokolu

```
⇐ 220 alfik.ms.mff.cuni.cz ESMTP Sendmail ...
⇒ HELO betynka
⇐ 250 alfik Hello betynka, pleased to meet you
⇒ MAIL FROM: <forst@cuni.cz>
⇐ 250 2.1.0 <forst@cuni.cz>... Sender ok
⇒ RCPT TO: <libor@forst.cz>
⇐ 250 2.1.5 <libor@forst.cz>... Recipient ok
⇒ DATA
⇐ 354 Enter mail, end with "." on a line by itself
⇒ From: <forst@cuni.cz>
⇒ To: <libor@forst.cz>
⇒ ...
⇒ .
⇐ 250 2.0.0 h98G9FxT Message accepted for delivery
⇒ QUIT
⇐ 221 2.0.0 alfik closing connection
```

obálka

dopis

Elektronický dopis

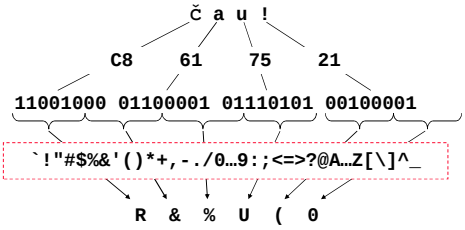
```
Received: from alfik.ms.mff.cuni.cz
    by betynka.ms.mff.cuni.cz...
Date: Thu, 16 Nov 1995 00:54:31 +0100
To: student1@ms.mff.cuni.cz
From: Libor Forst <forst@cuni.cz>
Subject: Test posty
Cc: student2@ms.mff.cuni.cz
MIME-Version: 1.0
Content-Type: multipart/mixed; boundary="=_XXX_="

--=_XXX_=
Content-Type: text/plain; charset=Windows-1250
Content-Transfer-Encoding: 8bit

Čau Petře!
...
--=_XXX_=--
```


Hlavičky dopisu

`Date:`	datum pořízení dopisu
`From:`	autor (autoři) dopisu
`Sender:`	odesilatel dopisu
`Reply-To:`	adresa pro odpověď
`To:`	adresát(i) dopisu
`Cc:`	(carbon copy) adresát(i) kopie („na vědomí:“)
`Bcc:`	(blind cc) tajní adresáti kopie
`Message-ID:`	identifikace dopisu
`Subject:`	předmět dopisu
`Received:`	záznam o přenosu dopisu

Soubory a diakritika v poště

- Původně pouze 7-bit ASCII, kódování souborů pomocí UUENCODE (pochází z UUCP, unix-to-unix-copy)



- Kódování OK, ale chybí systematické začlenění do dopisu

Multipurpose Internet Mail Extension

- RFC 2045-2049, umožňuje:
  - Strukturovat dokument
  - Pro každou část
    - Popsat typ a formát obsahu (př. `text/html`)
    - Zadat znakovou sadu a kódování dokumentu
    - Doplnit další informace ke zpracování
  - Používat diakritiku i v (některých) hlavičkách:

```
Subject: =?utf-8?b?SVRBVCAyMDEyIC0gcG96?=
```

- Kódování:
  - **`Base64`**: vychází z uuencode, jiná tabulka a formát řádek
  - **`Quoted-Printable`**: nonASCII znaky jsou uloženy jako řetězec „=*HH*“, kde *HH* je jejich hexadecimální hodnota
- Dnes široce používaný i mimo poštu

Etika poštovního styku

- RFC 1855 (Netiquette Guidelines)
  - přečíst všechny maily, než odpovíte
  - zvažovat zásah do konverzace, pokud jste jen Cc
  - nechat příjemci čas na odpověď (ale ověřit doručení lze)
  - odpovídat rychle, alespoň jako potvrzení
  - pečlivá volba Subjectu, kontrola adresátů
  - volba jazyka, výrazových prostředků, emocí
  - míra zachování původního textu v odpovědi
  - respektování ©, souhlas autora při přeposílání
  - účelné a ověřené posílání souborů, češtiny
  - kontrola toho, co mailer posílá (ne HTML!)
  - přetěžování uživatelů a sítě, řetězové dopisy
  - podpis

Bezpečnost pošty (uživatel)

- Dopis je vždy **otevřená listovní zásilka**
  (z různých příčin se může dostat do ruky mnoha lidem)

  Řešení: šifrovat obsah dopisu (např. PGP - Pretty Good Privacy)

- Nikdy není jistý **odesilatel**, ani shoda údajů v obálce a textu

  Částečná řešení: Sender Policy Framework, pokus o zpětné doručení

  Řešení: systém výzva/odpověď, elektronický podpis

- Neotevírat soubory neznámého původu!

Bezpečnost pošty (klient, server)

- Běžný server by měl posílat maily lokálních klientů/uživatelů komukoliv, ostatní maily pouze lokálním uživatelům; jinak se jedná o tzv. *open-relay* a hrozí riziko zneužití pro rozesílání hromadných mailů a díky tomu zablokování komunikace od jiných serverů.
- Ze stejného důvodu může při prvotním vložení mailu do systému (*mail submission*) server (někdy označovaný jako MSA) požadovat, aby se klient autentikoval pomocí ESMTP příkazu AUTH (je to součást SASL profilu pro SMTP).
- Klient může pomocí ESMTP příkazu STARTTLS požádat o zahájení SSL/TLS spojení (např. mezi pobočkami firmy, jinak je šifrování spíše problém uživatele).

Ochrana proti spamu

- Spam („kořeněná šunka“) je nevyžádaná pošta, jejímž smyslem je buď inzerce nebo prostě jen obtěžování lidí
  - Grey-listing: spam-engine obvykle neopakuje pokus o doručení, takže server udržuje databázi tripletů <klient, sender, recipient> a napoprvé mail odmítne odpovědí 450, opakované doručení již akceptuje.
  - Sender Policy Framework: doména publikuje (pomocí SPF příp. TXT DNS RR) algoritmus, jak ověřit, že stroj, který odesílá dopis z dané domény, má na to právo; problém při přeposílání dopisů.
  - DomainKeys Identified Mail (DKIM): server domény podepisuje text a některé hlavičky dopisu
  - Antispam: server na základě nastavitelné heuristiky odhaduje pravděpodobnost, že mail je spam; diskutabilní účinnost a riziko *false positive*

Post Office Protocol

- Protokol pro přístup uživatelů k poštovní schránce
- Aktuální je verze 3, RFC 1939, port 110
- Hlavní nevýhody:
  - Otevřené posílání hesla; existuje rozšiřující příkaz pro posílání šifrovaného hesla (APOP), ale řada klientů ho nemá implementovaný
  - Dopisy je nutno stahovat ze serveru celé; existuje příkaz TOP pro stažení začátku dopisu, ale opět je jen řídce implementovaný
  - Není možné pracovat se strukturou dokumentů
- Dnes podporován spíše kvůli zpětné kompatibilitě a nahrazován protokolem IMAP

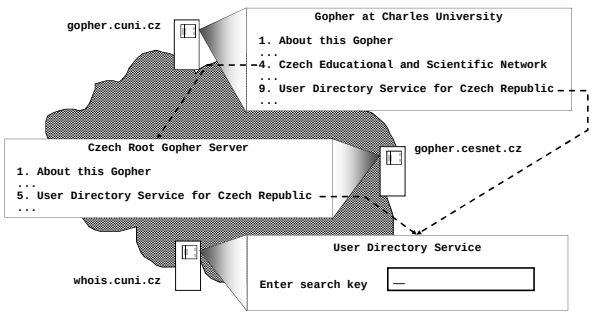
Ukázka POP3 protokolu

```
⇐ +OK POP3 server ready ...
⇒ USER forst
⇐ +OK User accepted
⇒ PASS heslo
⇐ +OK Pass accepted
⇒ LIST
⇐ +OK 2 messages (1234 octets)
⇐ 1 1111
⇐ 2 123
⇐ .
⇒ RETR 1
⇐ +OK 1111 octets
⇐ From: …
⇐ .
⇒ DELE 1
⇐ +OK message 1 deleted
```


Internet Message Access Protocol

- Modernější, ale složitější nástupce POP
- Aktuální verze 4rev1, RFC 3501, port 143
- Hlavní výhody:
  - Zabudována možnost používat šifrované spojení
  - Server uchovává informace o dopisech (stav)
  - Podpora více schránek (složek)
  - Protokol umožňuje vyžádat pouze část dopisu
  - Je možné nechat na serveru v dopisech vyhledávat
  - Možnost zadat paralelní příkazy
- Šifrování:
  a) navázání spojení na port 993
  b) vyvoláno příkazem STARTTLS
- IMAP má implementována většina stávajících MUA

Princip distribuované databáze



Hypertext

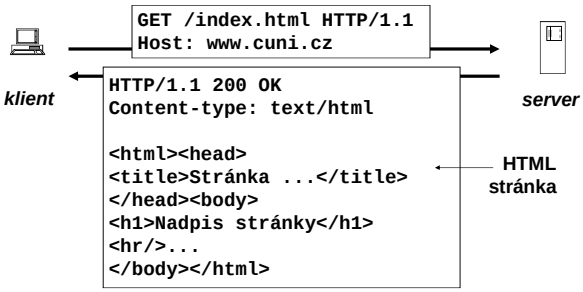
- Základní myšlenka (1945):
  nelineární hierarchický text obsahující vazby, které umožňují pokračovat čtením podrobnější informace nebo příbuzného tématu
- Pozdější rozšíření (1965):
  doplnění samotného textu o netextové informace (obrázky, zvuk, video...), někdy se používá pojem *hypermediální text*
- Praktická implementace (1989):
  systém World Wide Web vyvinutý v CERNu

World Wide Web

- WWW je distribuovaná hypertextová databáze
- Základní jednotkou je hypertextová *stránka* (dokument), kterou server posílá na žádost klientům
- Dokumenty jsou psány v textovém jazyce HTML (Hypertext Markup Language)
  - popisuje obsah i formu
  - konkrétní zobrazení je v režii klienta resp. uživatele
- Dokumenty existují staticky (cesta v URL pak obvykle odpovídá skutečné relativní cestě na disku serveru) nebo se vytvářejí dynamicky dle požadavků klienta
- Přenos stránek se odehrává pomocí protokolu HTTP (Hypertext Transfer Protocol)

Ukázka protokolu HTTP

URL: `http://www.cuni.cz/index.html`



Hypertext Transfer Protocol v.1

- V současnosti převažuje verze 1.1, RFC 7230, port 80
- Obecný formát zpráv:
  - úvodní řádka (požadavek/odpověď)
  - doplňující hlavičky
    - požadavek: jazyk, kódování, stáří stránky, autentikace,...
    - odpověď: typ dokumentu, kódování, expirace,...
  - (volitelné) tělo dokumentu
- Kódy odpovědí:
  1xx **informativní odpověď** (požadavek přijat, zpracovává se)
  2xx **kladná odpověď** (definitivní)
  3xx **přesměrování** (očekává se další požadavek od klienta)
  4xx **chyba na straně klienta** (nesprávný požadavek)
  5xx **chyba na straně serveru** (nepodařilo se vyhovět požadavku)

Metody HTTP

Metoda	Tělo požadavku	Tělo odpovědi
GET	---	požadovaná stránka
HEAD	---	---
POST	parametry stránky	požadovaná stránka
PUT	uploadovaný soubor	---
CONNECT	⇦ ..... *tunel* ..... ⇨	

Vlastnosti HTTP v.1

- Odpovědí na jeden požadavek je obvykle jeden dokument (stránka, obrázek,...)
- Po jednom (perzistentním) spojení může jít postupně více požadavků, klienti si obvykle otevírají současně několik spojení
- Požadavky jsou nezávislé, komunikace je bezestavová; stav je nutno přenášet jako dodatečná data, tzv. *cookies*:
  - server vygeneruje cookies s identifikací spojení a pošle je v hlavičkách klientovi
  - klient při dalších požadavcích na stejný server tato data přidává do hlaviček požadavku

Hypertext Transfer Protocol v.2

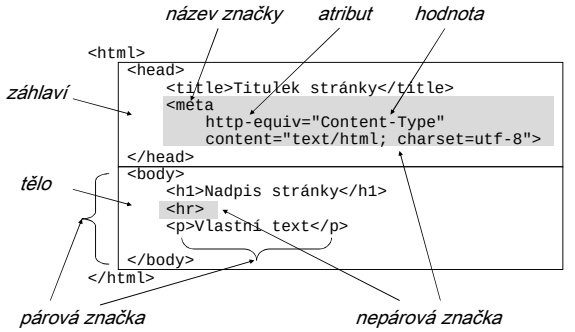
- Web je dnes úzce svázán s komercí, takže kolem vývoje inovace HTTP bylo trochu rušno
- Momentálně se prosazují implementace dle RFC 7540
  - binární protokol, lze na něj přejít v rámci HTTP/1 spojení
- Hlavní motivace: větší propustnost
- Metody:
  - vlastní multiplexing více *streamů* v rámci jednoho TCP spojení (streamy se neblokují, dají se prioritizovat)
  - server může poslat (*push*) více dat, než požadoval klient, pokud usoudí, že je klient bude potřebovat
  - v současné době narůstá rozsah hlaviček, navíc často mají podobný obsah - lze je efektivně komprimovat
- Neprošlo: povinné šifrování

Jazyk HTML

- Hypertext Markup Language, vývoj v posledních letech poněkud dramatický, 2014 vyšla kompromisní verze 5
- Vlastní textový obsah stránky je doplněn doplňujícími informacemi, značkami: strukturálními (např. odstavec), sémantickými (např. adresa), formátovacími (např. tučně)
- Je aplikací staršího SGML (Standard Generalized ML) a předchůdcem XML (Extensible ML)

- Formát značky: **<***znacka* [*atributy*]**>**
- Volný formát řádek (bílé znaky nevýznamné)
- Speciální znaky - entity (**`<`**, **`>`**, **`&`**, **` `**,...)
- Komentáře (**`<!-- ... -->`**)

HTML - struktura dokumentu



HTML - hypertext

- Odkazy - značka *anchor*:
  - odkaz na jinou stránku: `<a href="`*cílové URI*`">...</a>`
  - označení místa v dokumentu: `<a name="`*jméno*`"></a>`
  - odkaz na část dokumentu: `<a href="#`*jméno*`">...</a>`

- Obrázky - značka *image* (`img`), atributy:

`src`	URI obrázku
`alt`	alternativní text pro textové klienty
`width`, `height`	cílové rozměry obrázku
`border`	okraje obrázku

HTML - formátování

- Základní formátování:
  - odstavec (`<p>...</p>`)
  - nadpis (`<h1>` až `<h6>`)
  - pevné odřádkování (`<br>`)
  - vodorovná čára (`<hr>`)
  - vycentrování (`<center>`)

- Písmo:
  - určení fontu: `<font size=... color=... face=...>...`
  - fyzický formát: tučné (`<b>`), kurzíva (`<i>`), podtržení (`<u>`), pevná šířka (`<tt>`), index (`<sub>`)...
  - logický formát: zvýraznit (`<em>`, `<strong>`), ukázka kódu (`<code>`)...

HTML - seznamy

```
<ul>
<li>položka A</li>
<li>položka B</li>
</ul>

<ol>
<li>položka A</li>
<li>položka B</li>
</ol>

<dl>
<dt>termín A</dt>
<dd>vysvětlení</dd>
<dt>termín B</dt>
<dd>vysvětlení</dd>
</dl>
```

- položka A
- položka B

1. položka A
2. položka B

termín A
vysvětlení
termín B
vysvětlení

HTML - tabulky

```
<table border="1">
  <tr>
    <td colspan="2">Období</td>
    <td>Zisk</td>
  </tr><tr>
    <td rowspan="2">2012</td>
    <td>I - III</td>
    <td align="right">10</td>
  </tr><tr>
    <td>IV - VI</td>
    <td>2000</td>
  </tr>
</table>
```

Období		Zisk
2012	I - III	10
	IV - VI	2000

HTML - formuláře

```
<form action="mailto.cgi" method="post">
Jméno: <input name="jmeno">
Zpráva: <textarea name="zprava"
          rows="3" cols="40"></textarea>
Poslat
<input type="radio"
  name="kdy" value="hned">
hned
<input type="radio"
  name="kdy" value="zitra">
zítra
<input type="submit"
       value="Odeslat">
</form>
```

Jméno:
Zpráva:
Poslat hned zítra
Odeslat

Kaskádové styly

- Složitější formátování přímo v HTML je komplikované
- Kaskádové styly (CSS) je prostředek, jak
  - definovat vlastnosti pro celé oblasti stránky
  - vytvářet vlastní styly
  - dědit a upravovat vlastnosti jiných stylů
- Umožňují snazší údržbu rozsáhlých souborů stránek dodržujících zadané formátovací konvence
- Př.:

```
<style type="text/css">
h2 {color: blue; font-style: italic;}
</style>
```


Zodpovědnost za vzhled stránky

1. Autor stránky
   - vkládá do stránky svou ideu
   - hloubka detailu záleží na něm
2. Typ a verze prohlížeče
   - různé (verze) prohlížeče mohou interpretovat stejný kód mírně odlišným způsobem
   - je žádoucí ověřit vzhled na různých prohlížečích
3. Nastavení klienta
   - uživatel obvykle má možnost nastavením ovlivnit některé atributy vzhledu (např. zvolit strategii používání fontů, barev)

Dynamické stránky (server)

Dynamika řízena na serveru, na klientovi neběží žádný kód.

- V HTML lze vytvořit formulář, jeho odesláním se na serveru spouští tzv. *cgi-skript*, který za pomoci dat od uživatele (přenášejí se v URI nebo v těle požadavku) vygeneruje text dynamické stránky
- Autor stránky může nechat SW na serveru vložit do textu stránky určité části (tzv. *server-side include*)
- Do textu stránky je možné vložit kód, který zpracuje *HTML preprocesor* (PHP), klient už vidí jen výsledek (datum a čas)

```
<?php
    echo date(DATE_RFC822);
?>
```

PHP obsahuje širokou podporu funkcí, např. pro zacházení s databázemi

Dynamické stránky (klient)

Přenesení dynamiky (spuštění kódu) na klienta.

- Java - jazyk myšlenkově vycházející z C++, s vyššími nároky na bezpečnost, s knihovnami pro jednoduchou tvorbu uživatelského rozhraní

  Java programy (*applety*) se na klienta přenášejí ve formě **mezikódu** nezávislého na platformě, ten klient interpretuje a vykonává za pomoci lokálních knihoven
- Javascript - analogický princip, na klienta se ale přenáší **zdrojový kód** a on ho interpretuje přímo, př.:

```
<script>
    document.write("<b>POZOR</b>");
</script>
```

  Dnes umí i komunikovat se serverem.

Bezpečnost WWW

- Bezpečnost uživatele
  - komunikace probíhá **otevřeně**, přenos citlivých informací (hesla, údaje ve formulářích) představuje riziko
  - obsah stránky může být podvržen
  - spouštění nebezpečného Java(script) kódu
  - ➢ autentikace a šifrování (HTTPS: HTTP+SSL)
  - cookies se ukládají na klientovi, jsou čitelné a mohou být poslány jinému serveru
- Bezpečnost serveru
  - přes WWW server vede řada útoků
  - ➢ pečlivě udržovaný systém, minimální práva
- Bezpečnost sítě
  - pokud se klient a server domluví, lze do HTTP zabalit libovolný provoz

Telnet

- Protokol pro přihlašování na vzdálené stroje, port 23
- Zkratka z *Telecommunication Network*
- Jeden z nejstarších protokolů, poprvé v RFC 97 (1971!)
- Uživatel má k dispozici síťový virtuální terminál (NVT), protokol přenáší oběma směry znaky a příkazy pro řízení NVT (slabiny: např. nerozlišuje příkaz a odpověď)
- Hlavní nevýhoda: otevřený přenos dat (řeší až rozšíření podle RFC 2946, které ale přichází pozdě)
- Dnes:
  - přístup na síťová zařízení v rámci odděleného segmentu LAN
  - ladění jiných protokolů:

```
> telnet alfik 25
220 alfik.ms.mff.cuni.cz ESMTP Sendmail ...
HELO betynka
250 alfik Hello betynka, pleased to meet you
```


Secure Shell (SSH)

- Bezpečná náhrada starších protokolů pro vzdálené přihlašování resp. přenos souborů
  - klient ověřuje server
  - komunikace je šifrovaná
- Aktuální verze 2, RFC 4250-4254, port 22
- SSHv2 kromě základní funkce umožňuje:
  - otevírat paralelně více zabezpečených kanálů
  - tunelovat zabezpečeným kanálem jiný provoz
  - zpřístupnit souborový systém (SSHFS)
- Klienti (windows): putty, winscp
- Příkazy (unix):

```
ssh [user@]host [command]
scp [-pr] [user@[host:]]file1 [user@[host:]]file2
```


Bezpečnost SSH

- Klient ověřuje server
  - na základě klíče (potvrzuje uživatel)
  - certifikátu (ověřen autoritou)
- Server ověřuje uživatele
  - pomocí hesla
  - pomocí výzev a odpovědí (OTP)
  - pomocí veřejného klíče (server posílá výzvu zašifrovanou klíčem uživatele, klient odpovídá plain textem)
- Strategie používání klíčů
  - důkladně ověřovat klíč serveru, pozor zvl. při změně (nebezpečí útoku „*man-in-the-middle*“)
  - přihlášení bez hesla vázat na privátní klíč s heslem
  - na méně důležité cíle je možné i bez hesla, ale rozhodně nikoliv recipročně (A→B i B→A) - ochrana proti *červům*

Voice over IP

- Obecné označení technologií pro přenos hlasu po IP
- Lze realizovat různými navzájem nekompatibilními způsoby:
  - standard H.323
  - standard SIP
  - proprietárně (Skype)
- Celá řada problémů:
  - digitalizace hlasu
  - dohadování vlastností zařízení
  - nalezení partnera
  - propojení s běžnou telefonní sítí

H.323

- Komplexní řešení multimediální komunikace od ITU
- Založeno na ASN.1 (binární, bitové protokoly)
- Zahrnuje celou řadu dílčích protokolů, mj.:
  - H.225/RAS (Registration/Admission/Status) pro vyhledávání partnera pomocí tzv. *gatekeeper* uzlů
  - Q.931 (síťová vrstva ISDN) řeší navazování spojení
  - H.245 řeší řízení hovoru (dohodu o používaných vlastnostech zařízení)
  - RTP kanály (Realtime Transport Protocol, RFC 3550) se používají pro vlastní přenos multimediálních dat
  - RTCP (RTP Control Protocol) zabezpečuje jejich řízení
- Dnes postupně nahrazováno SIP

Abstract Syntax Notation 1

- Formální definice datové struktury, př.:

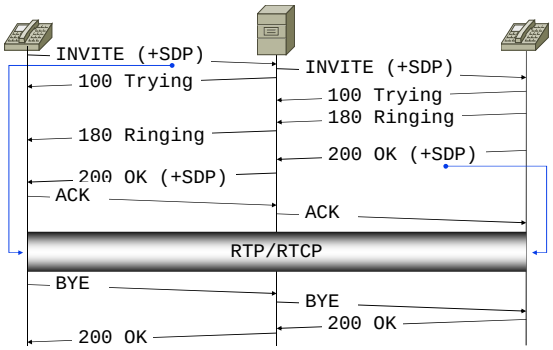
```
Answer ::= CHOICE {
   word PrintableString,
   flag BOOLEAN }
SignedData ::= SEQUENCE {
   version Version,
   digestAlgorithms DigestAlgorithmIdentifiers,
```

- Pochází z 80. let (a je to na ní znát)
  - př.: výčtový typ (enumerace) se zapíše do tolika **bitů**, kolik je třeba, dopředu se přidá bit s hodnotou 0, ale pokud bude mít hodnotu 1, je typ rozšířen a zapsán **jiným** počtem bitů
- Je možné automaticky generovat parser
- Umožňuje přenášet menší objemy dat, ale neprůhledně
- Příklady použití: H.323, X.509

Session Initiation Protocol

- Náhrada složitého H.323 jednodušším protokolem
- RFC 3261, port TCP i UDP 5060
- Architektura protokolu se podobá HTTP, informace se přenášejí ve formě hlaviček
- Neřeší vlastní přenos dat (obvykle používá RTP/RTCP)
- Řeší jen signalizaci (vyhledání partnera a navázání spojení)
- Dohodu o parametrech datových kanálů obvykle řeší SDP (Session Description Protocol, RFC 4566), jeho data se přenášejí zabalená do těla SIP zpráv
- Koncový uzel se může registrovat u registrátora, tím lze uskutečnit propojení na běžnou telefonní síť

Příklad SIP session



Sdílení systému souborů

- Připojení cizího filesystému transparentně do lokálního
- Network File System (NFS)
  - původně vyvinut v Sun Microsystems, dnes IETF
  - poslední verze 4.1, RFC 5661, port 2049 (UDP i TCP)
  - identifikace zdroje: server:cesta
  - autentikace: Kerberos
  - zajímavost: relační (RPC) a prezentační (XDR) vrstva
- Server Message Block (SMB)
  - původně vyvinut v IBM, posléze přejal Microsoft
  - open implementace Samba (UNIX)
  - identifikace zdroje: UNC (\\jméno_serveru\jméno_zdroje)
  - autentikace: obvykle uživatelské jméno a heslo

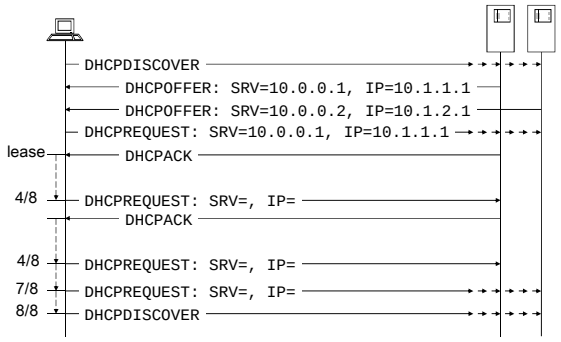
Network Time Protocol

- Synchronizace času mezi uzly sítě
  - stejné timestampy souborů
  - porovnávání času událostí na různých počítačích
- Aktuální verze 4, RFC 5905, port 123 (UDP)
- Klient kontaktuje servery uvedené v konfiguraci
- Zdroje mají kvůli přesnosti a prevenci cyklů klasifikaci:
  - přesné zařízení, stratum 0: např. atomové hodiny
  - server stratum *N*: řízený podle zdroje stratum *N*-1
- Problém: odpovědi od serverů mají (různé) zpoždění
  - podle časových známek se pro každý spočítá interval, do něhož pravděpodobně spadá jím udaný čas
  - pomocí Marzullova algoritmu se najde nejlepší průnik intervalů

BOOTP a DHCP

- Bootstrap Protocol, RFC 951, byl vyvinut pro automatickou konfiguraci bezdiskových stanic
  - stanice pošle (všem) fyzickou adresu síťové karty
  - server najde klienta v seznamu a pošle IP adresu, jméno...
  - pokud je odděluje router, musí umět BOOTP forwarding
- Nahrazen DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol)
  - stejný formát zpráv
  - kromě statické alokace adres i dynamická
  - časově omezený pronájem
  - možnost zapojení více serverů
- IPv4: RFC 2131, UDP porty 67 (server) a 68 (klient)
- IPv6: RFC 3315, UDP porty 546 (server) a 547 (klient)
- Klient si vybírá nabídku (podle adresy, délky pronájmu...)

Průběh DHCP



Prezentační vrstva (OSI 6)

- Představa o všeobecném modelu popisujícím kódování
  - datových typů: celých čísel, řetězců,...
  - datových struktur: polí, záznamů, pointrů,...
- Obecně velmi složité: kdo a kdy (de)kóduje
- Pokus o realizaci: ASN.1
- TCP/IP obecnou potřebu potlačilo, začlenilo definici výměnného formátu přímo do aplikačních protokolů, konverzi musí provádět aplikace
- Praktické problémy:
  - konce řádek: CRLF (`0x0D`, `0x0A`)
  - pořadí bytů: *big endian* (1 = `0x00`, `0x00`, `0x00`, `0x01`), např. Intel má *little endian* (1 = `0x01`, `0x00`, `0x00`, `0x00`)

Relační vrstva (OSI 5)

- Představa o obecném modelu dialogu
  - jeden dialog může obsahovat více spojení
  - po jednom spojení může probíhat více dialogů
- TCP/IP obecnou potřebu potlačilo, začlenilo princip dialogu přímo do aplikačních protokolů, př.:
  - v rámci jednoho SMTP spojení mezi klientem a serverem může být vyřízeno několik mailů
  - SIP inicializuje dialog za pomoci více parciálních spojení pro přenos audio či video dat

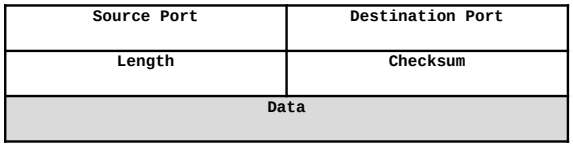
Transportní vrstva (OSI 4)

- Funkce OSI 4:
  - zodpovídá za end-to-end přenos dat
  - zprostředkovává služby sítě aplikačním protokolům, které mají rozdílné požadavky na přenos
  - umožňuje provozování více aplikací (klientů a serverů) na stejném uzlu sítě
  - (volitelně) zabezpečuje spolehlivost přenosu dat
  - (volitelně) segmentuje data pro snazší přenos a opětovně je skládá ve správném pořadí
  - (volitelně) řídí tok dat (*flow control*, „rychlost vysílání“)

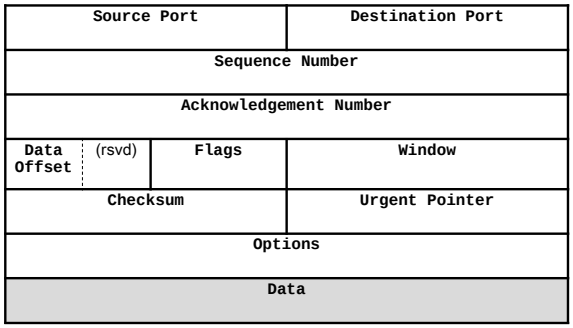
Transportní vrstva v TCP/IP

- TCP (Transmission Control Protocol):
  - používá se pro spojované služby
  - klient naváže *spojení*, data tečou ve formě *proudu* (*streamu*)
  - *spojení* (relaci) řídí a zabezpečuje TCP, nikoliv aplikace
  - TCP je komplikované, má velkou režii
  - příp. méně pravidelné, ale bezeztrátové doručování
- UDP (User Datagram Protocol):
  - používá se pro nespojované služby
  - neexistuje *spojení*, data se posílají jako nezávislé *zprávy*
  - UDP je jednoduché, relaci musí řídit aplikace
  - pravidelný tok, za cenu vyšší ztrátovosti
- Další modifikace či kombinace: SCTP, DCCP, MPTCP

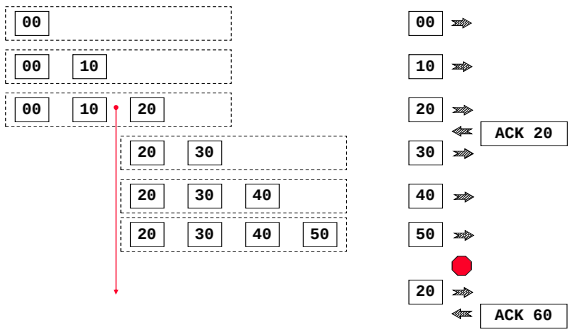
Struktura UDP datagramu



Struktura TCP paketu

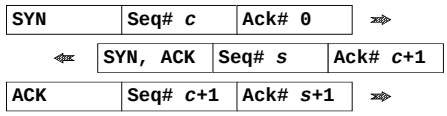


TCP okna

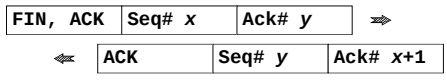


Zahájení a ukončení spojení

- Navázání TCP spojení (three-way handshake):



- Uzavření spojení (jednostranné):

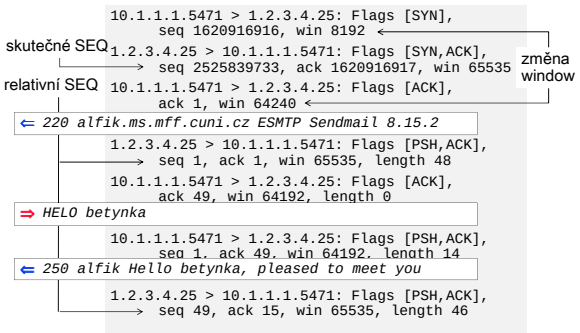


Protistrana (hned nebo později) provede totéž.

TCP příznaky

- **SYN** - paket slouží k synchronizaci čísel segmentů (inicializace „`Sequence number`“)
- **ACK** - paket potvrzuje doručení všech paketů až po „`Acknowledgement number`“ (nevčetně); paket může ale nemusí obsahovat i data
- **PSH** - informuje příjemce, že obdržel kompletní blok a má ho předat aplikaci („`push`“)
- **FIN** - odesilatel zavírá svoji stranu spojení, nehodlá už posílat žádná data
- **RST** - odesilatel odmítá přijmout spojení resp. oznamuje okamžité přerušení spojení („`reset`“)
- **URG** - paket obsahuje urgentní (*out-of-band*) data, jejich adresa je v „`Urgent pointer`“

Výpis programu `tcpdump`



Výpis existujících socketů

```
C:\Users\forst> netstat -an
Active Connections
  Proto  Local Address          Foreign Address        State
  TCP    0.0.0.0:135            0.0.0.0:0              LISTENING
  TCP    0.0.0.0:623            0.0.0.0:0              LISTENING
  TCP    127.0.0.1:49209        127.0.0.1:49210        ESTABLISHED
  TCP    127.0.0.1:49210        127.0.0.1:49209        ESTABLISHED
  TCP    192.168.28.73:139      0.0.0.0:0              LISTENING
  TCP    192.168.28.73:49167    195.113.19.78:22       ESTABLISHED
  TCP    192.168.28.73:49183    195.113.19.78:80       ESTABLISHED
  UDP    0.0.0.0:3702           *:*
  UDP    127.0.0.1:1900         *:*
  UDP    192.168.28.73:1900     *:*
```

TCP spojení: místní adresa / port vzdálená adresa / port
poslouchající server

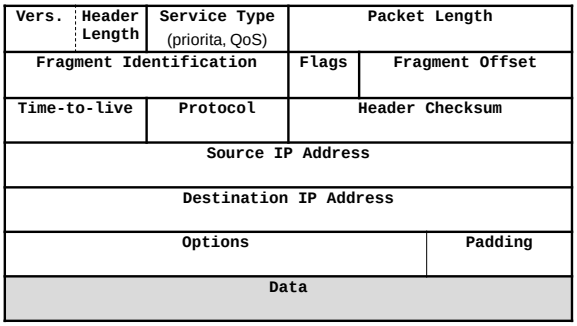
Síťová vrstva (OSI 3)

- Hlavní funkce OSI 3: přenos dat předaných transportní vrstvou od zdroje k cíli
- Základem této činnosti jsou
  - *adresace* - protokol síťové vrstvy definuje tvar a strukturu adres komunikujících partnerů
  - *encapsulation (zapouzdření)* - řídící data potřebná pro přenos (zjm. adresy) se musí vložit do PDU
  - *routing (směrování)* - vyhledání nejvhodnější cesty k cíli přes mezilehlé sítě
  - *forwarding (přeposílání)* - předání dat ze vstupního síťového rozhraní na výstupní
  - *decapsulation* - vybalení dat a předání transportní vrstvě
- Příklady protokolů: **IPv4**, **IPv6**, IPX, AppleTalk

Internet protokol (IP)

- Vlastnosti:
  - nespojovaná služba (každý datagram běží svou cestou)
  - best effort (nespolehlivá, spolehlivost řeší vyšší vrstvy)
  - nezávislá na médiu (vyšší vrstvy neřeší typ média)
- Adresy:
  - obsahují část s adresou sítě a část s adresou uzlu
  - IPv4: 4 byty, IPv6: 16 bytů
- Přidělování:
  - centrální: IANA (Internet Assigned Numbers Authority), oddělení ICANN
  - regiony: RIR (5x, náš: RIPE NCC)
  - dále: ISP různých úrovní
  - v lokální síti: lokální správa sítě (ručně nebo automaticky)

Struktura IPv4 datagramu



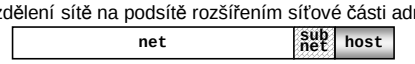
IPv4 adresy

- Původně: jeden byte
- 1975 (RFC 687): tři byty („*This expansion is adequate for any forseeable ARPA Network growth.*“)
- 1976 (RFC 717): jeden byte (síť) + tři byty (počítač)
- 1981 (RFC 791): třídy A, B a C

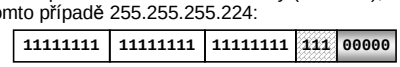
Třída	1.byte | 2.byte | 3.byte | 4.byte	1. byte	Sítí	Adres
A	0 net | host	1-126	126	~16 M
B	10 net | host	128-191	~16 k	~64 k
C	110 net | host	192-223	~2 M	254
D	1110 net	224-239	multicast	
E	1111	240-255	experimental	

Subnetting

- Rozdělení sítě na podsítě rozšířením síťové části adresy:



pomocí specifikace tzv. síťové masky (*netmask*), v tomto případě 255.255.255.224:



- Nedoporučuje se používat subnet "all-zeros" a "all-ones", takže zde máme jen 6 x 30 adres (70%)
- Je přípustná nespojitá maska, obvykle se nepoužívá
- V současnosti se často ignorují třídy (*classless* mód) a uvádí jen počet bitů prefixu (např. 193.84.56.71/27)
- Pokud se v síti používají různé masky, hovoříme o síti s *variable length subnet mask* (VLSM)
- Posun hranice sítě opačným směrem: *supernetting*

Speciální IPv4 adresy (RFC 5735)

- Speciální adresy „by design“
  - **this host** (smí být použita pouze jako zdrojová): `0.0.0.0/8`
    - adresa rozhraní s dosud nepřiřazenou adresou
  - **loopback** (RFC 1122): `127.0.0.1/8`
    - adresa lokálního počítače, umožňuje vytvoření smyčky
  - **adresa sítě**: *<adresa sítě>.<samé nuly>*
  - **network broadcast** (RFC 919): *<adresa sítě>.<samé jedničky>*
    - „všem v dané síti“, normálně se doručí do cílové sítě
  - **limited broadcast** (RFC 919): `255.255.255.255`
    - „všem v této síti“, nesmí opustit síť
- Speciální adresy „by definition“
  - **privátní adresy** (RFC 1918):
    `10.0.0.0/8, 172.16-31.0.0/16, 192.168.*.0/24`
    - pro provoz v lokální síti, přiděluje správce, nesmí opustit síť
  - **link-local adresy** (RFC 3927): `169.254.1-254.0/16`
    - pouze pro spojení v rámci segmentu sítě, uzel si ji sám volí

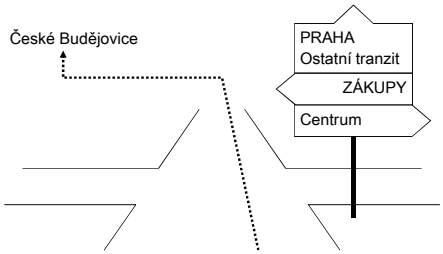
Krize Internetu

- Vyčerpávání adresního prostoru
  - Podstata problému: díky hrubému členění dochází k „plýtvání“
  - Částečné řešení: přidělování bloků adres bez ohledu na třídy (tzv. *classless*), vracení nepoužívaných bloků, privátní adresy + NAT
  - IANA už prostor vyčerpala, APNIC 2011/04, RIPE NCC 2012/09, LACNIC 2014/04, ARIN 2015/09, AFRINIC ?
- Přeplňování směrovacích tabulek
  - Podstata problému: velký počet nesouvisle přidělených bloků rychle plní směrovací tabulky
  - Částečné řešení: realokace adres, CIDR (Classless InterDomain Routing) agregace

IPv6 adresy

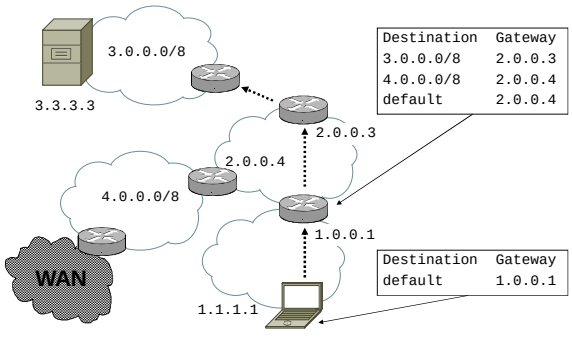
- Dlouhý vývoj, konečná podoba: 128 bitů (16 bytů)
- Zápis: `fec0::1:800:5a12:3456`
- Druhy adres:
  - unicastová - adresa jednoho uzlu; zvláštní adresy (RFC 5156):
    - *Loopback* (`::1/128`)
    - *Link-Scope* (`fe80::/10`), dříve *link-local*
    - *Unique-Local* (`fc00::/7`), dříve *site-local*, obdoba privátních adres v IPv4
  - multicastová (`ff00::/8`) - adresa skupiny uzlů (rozhraní)
  - anycastová - de facto unicastová adresa, přidělená více uzlům; doručení řeší směrování; účel: distribuce serverů po světě
  - chybějí broadcastové
- Přechod z IPv4 usnadňují různé varianty tunelování IPv4 a IPv6

Směrování (silnice)

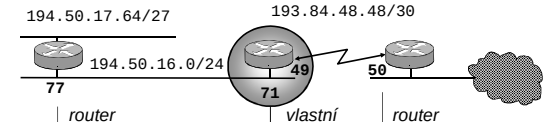


- Na každé křižovatce se rozhodujeme podle směrovek
- Ke správné interpretaci potřebujeme lingvistickou a geografickou znalost

Směrování (síť)



Příklad směrovací tabulky

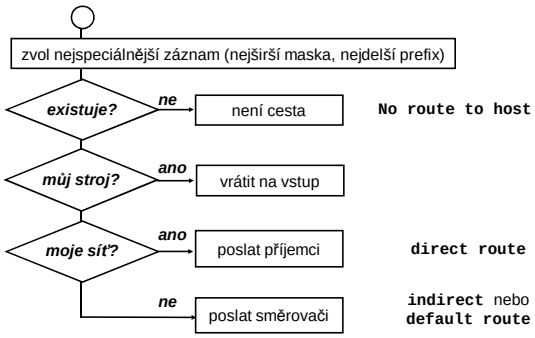


Destination	Mask	Gateway	
194.50.16.0	255.255.255.0	194.50.16.71	***direct, net***
193.84.48.50	255.255.255.255	193.84.48.49	***direct, host***
194.50.17.64	255.255.255.224	194.50.16.77	***indirect, subnet***
default	0.0.0.0	193.84.48.50	***default***

Principy směrování

- Směrování by měla umět každá stanice v TCP/IP síti
- Záznam ve směrovací tabulce obsahuje „sloupce“:
  cíl, *maska*, *gateway*
- Maska vyjadřuje „uvažovanou část“ adresy cíle
- Dřívější členění cílů: host (/32), net, default (/0)
- Typy záznamů:
  - *direct* (přímo připojená síť, “gateway” je vlastní adresa)
  - *indirect*, *default*
- Vznik záznamu:
  - *implicitní* (automaticky po přiřazení adresy rozhraní)
  - *explicitní* („ručně“ zadán příkazem)
  - *dynamický* (v průběhu práce od partnerů v síti)

Směrovací algoritmus



Konfigurace sítě

UNIX

- IP adresa: **`ifconfig`** *interface IP_adr* [**`netmask`** *maska*]
- defaultní router: **`route add default`** *router*
- DHCP: **`dhclient`** *interface*
- často uložené v konfiguračním souboru, liší se podle typu OS

Windows

`Control Panel ⇨ Network and Internet`
`⇨ Network Connections`
`⇨ Local Area Connection ⇨ Properties`
`⇨ TCP/IPv4 ⇨ Properties`
`⇨ General`

Internet Control Message Protocol

- ICMP slouží pro posílání řídících informací pro IP:
  `Echo`, **`Echo Reply`** ... testování dosažitelnosti počítače (**`ping`**)
  `Destination Unreachable` ... nedostupný stroj, služba, síť, zakázaná fragmentace
  `Time Exceeded` ... vypršel Time-to-live (chyba v routování)
  `Source Quench` ... žádost o snížení rychlosti toku datagramů
  `Router Solicitation`, **`Router Advertisement`** ... vyhledávání routerů
  `Redirect` ... výzva ke změně záznamu v routovací tabulce
  `Parameter Problem` ... chyba v záhlaví datagramu
- Používá IP datagramy, ale není to transportní protokol
- ICMPv6 podstatně doplněn a rozšířen (např. o zprávy pseudoprotokolu Neighbor Discovery Protocol)

Ping

- Základní prostředek pro diagnostiku sítě

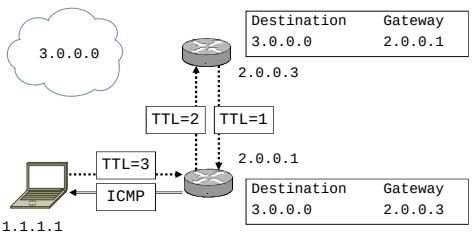
```
betynka:~> ping alfik
```


```
PING alfik.ms.mff.cuni.cz (195.113.19.71): 56 data bytes
64 bytes from 195.113.19.71: icmp_seq=0 ttl=64 time=0.214 ms
64 bytes from 195.113.19.71: icmp_seq=1 ttl=64 time=0.323 ms
64 bytes from 195.113.19.71: icmp_seq=2 ttl=64 time=0.334 ms
^C
--- alfik.ms.mff.cuni.cz ping statistics ---
3 packets transmitted, 3 packets received, 0.0% packet loss
round-trip min/avg/max/stddev = 0.214/0.290/0.334/0.054 ms
```

- na cílovém uzlu nemusí běžet žádný speciální program
- nezaručuje dostupnost služeb (pouze síťové vrstvy)

Time To Live (IP)

- Prostředek pro ochranu před zacyklením v případě routovací smyčky (chybné konfigurace routerů)
- Udává počet hopů, které smí paket ještě přeskočit
- Při dosažení 0 se posílá ICMP Time Exceeded



Diagnostika směrování

- Výpis směrovací tabulky: **`netstat -r`**[**`n`**]
  příp.: **`route print`**

```
Destination Gateway Flags Ipkts ... Colls Interface
194.50.16.0 this    U     15943 ... 0     tu0
127.0.0.1   loopback UH          ...       lo0
default     gw       UG         ...       tu0
193.84.57.0 gate     UGD        ...       tu0
```

- Kontrola cesty: **`traceroute`**, **`tracert`**

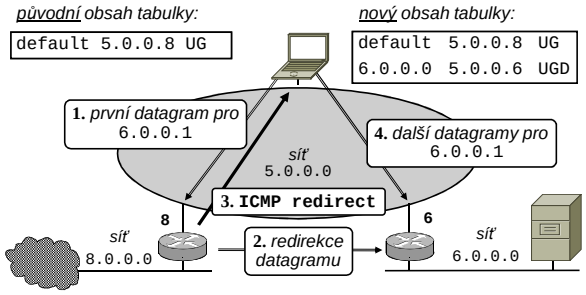
```
1 gw.thisdomain (194.50.16.222)  2 ms  1 ms  1 ms
2 gw.otherdomain (193.84.48.49) 12 ms 15 ms 15 ms
3 * * *
```


Statické řízení směrovacích tabulek

Cesty se nastavují při startu podle konfigurace
- nepružné při změnách
- problémy se subnettingem
- nesnadné zálohování spojení
+ méně citlivé na problémy v síti
+ dostupné i ve zcela heterogenním prostředí
⇨ vhodné pro jednodušší, stabilní sítě

`route` { **`add`** | **`delete`** | **`flush`** | **`-f`** } { [[**`-`**]**`host`**] *host* | [[**`-`**]**`net`**] *net* [[**`-`**]**`netmask`**] *mask* | **`default`** | **`0`** }
[**`gw`**] { *router* | *interface* [**`-interface`**] } [*metric*]

Redirekce



Dynamické řízení směrovacích tabulek

Routery si navzájem vyměňují informace o síti pomocí *routovacího protokolu*, stanice se jím mohou řídit také, ale v režimu read-only
+ jednoduché změny konfigurace
+ síť se dokáže sama „opravovat“
+ směrovací tabulky se udržují automaticky
- citlivější na problémy příp. útoky

- na počítači musí běžet program obsluhující protokol
  - př. routed, gated, BIRD (vyvinutý na MFF),...
  - pro lokální sítě *(interní routery)* se používají nejčastěji protokoly RIP a OSPF

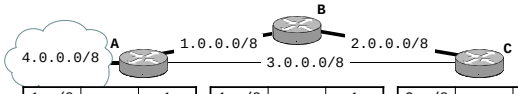
Distance vector protokoly

- Základní myšlenka:
  - uzel má u záznamů ve směrovací tabulce i „vzdálenosti“
  - svou tabulku periodicky posílá sousedům, ti si upraví svoji tabulku a v dalším taktu ji posílají dál
- Výhody:
  - jednoduché, snadno implementovatelné
- Nevýhody:
  - pomalá reakce na chyby
  - metrika špatně zohledňuje vlastnosti linek (rychlost, spolehlivost, cenu...)
  - omezený rozsah sítě
  - chyba ve výpočtu jednoho routeru ovlivňuje celou síť (možnost vzniku routovacích smyček)

Routing Information Protocol

- Nejstarší směrovací protokol, RFC 1058
- Vlastnosti:
  - metrikou je počet routerů v cestě (*hop count*)
  - rozsah sítě je omezen na 15 hopů, 16 je „nekonečno“
  - pro výpočet nejkratších cest používá Bellman-Fordův algoritmus
- Aktuálně verze 2, RFC 2453
  - používá UDP port 520, multicast adresu 224.0.0.9
  - umí subnetting vč. VLSM
  - obsahuje mechanizmy na urychlení detekce chyb (triggered updates, split horizon, poison reverse)
- Dostupný na nejrůznějších systémech
- Nepoužitelný pro velké, složité nebo dynamické sítě

Metrika a kvalita linek



1../8	-	1
3../8	-	3
4../8	-	1

1../8	-	1
2../8	-	1

2../8	-	1
3../8	-	3

A rozesílá update:

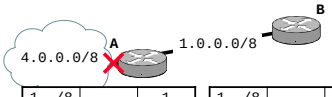
1../8	-	1
2../8	-	1
3../8	**A**	**3+1**
4../8	**A**	**1+1**

1../8	**A**	**1+3**
2../8	-	1
3../8	-	3
4../8	**A**	**1+3**

B rozesílá update:

1../8	**B**	**1+1**
2../8	-	1
3../8	-	3
4../8	**B**	**2+1**

Counting to infinity



1../8	-	1
2../8	B	2
3../8	-	3
4../8	-	1

1../8	-	1
2../8	-	1
3../8	A	4
4../8	A	2

Výpadek linky A/4:

4../8	**-**	**16**

B rozesílá update:

4../8	**B**	**2+1**

A rozesílá update:

4../8	**A**	**3+1**

...

Stav po 14x30sec:

4../8	**-**	**16**

4../8	**-**	**16**

Link state protokoly

- Základní myšlenka:
  - každý router zná „mapu“ celé sítě
  - routery si navzájem sdělují stav svých linek a podle toho si každý modifikuje svoji mapu sítě
- Nevýhody:
  - výpočet mapy je náročnější na výkon CPU i na paměť
  - při startu a na nestabilních sítích může výměna dat znamenat významnou zátěž sítě
- Výhody:
  - pružná reakce na změny topologie
  - každý si počítá sám za sebe, chyba neovlivní ostatní
  - síť je možné rozdělit na menší podsítě (rychlost výpočtu!)
  - výměna dat probíhá pouze při změnách

Open Shortest Path First

- Nejrozšířenější link-state interní routovací protokol
- Vlastnosti:
  - používá Dijkstrův algoritmus nalezení nejkratší cesty
  - používá hierarchický model sítě:
    - oblast (area) 0 tvoří páteř
    - ostatní oblasti se připojují pouze na páteř
    - každý router zná mapu své oblasti a cestu k páteři
  - metriku je možné konfigurovat, implicitně je to *path cost*, součet „cen“ na cestě, kde cena je dána šířkou pásma
- Používá samostatný protokol transportní vrstvy 89 a multicast adresy 224.0.0.5 a 224.0.0.6
- Aktuální je verze 2 pro IPv4 (RFC 2328) a revize pro IPv6 označovaná jako verze 3 (RFC 5340)

Autonomní systémy

- Definice: blok sítí se společnou routovací politikou
- Zavedeny v r. 1982: snazší routování na globální úrovni, nasazení *externích routovacích protokolů* (EGP)
- Jako EGP se dnes používá Border Gateway Protocol (BGP)
- Identifikátor: 16bitové číslo, dnes přechod na 32bitová
- V ČR: na počátku 2, nyní stovky

IP filtrování

- Router na perimetru (intranet/internet) má v konfiguraci uvedeno, jaký provoz je povolen a za jakých podmínek
- Přísná konfigurace: ven vybrané, dovnitř nic
  - dobré pro protokoly s jedním kanálem (HTTP, SMTP)
  - problém u protokolů s více kanály (FTP, SIP)
- Obvyklá konfigurace: ven cokoliv, dovnitř nic
  - naráží např. u FTP s aktivním přenosem
  - nepoužitelné u protokolů s mnoha kanály (SIP)
- Lépe se dá řešit nastavením aplikací a SW na routeru, který musí částečně rozumět aplikační vrstvě
- Problém se službami „uvnitř“ (např. www server, pošta)
  - povolení výjimek je riskantní
  - lepší je oddělený segment, DMZ, demilitarizovaná zóna

Proxy server

- Transparentní varianta:
  - SW na **routeru** zachytí spojení, uloží požadavek, naváže „svým jménem“ spojení na server a požadavek odešle.
  - Odpověď přijde zpět na router, ten ji uloží (pro další klienty) a zároveň odešle původnímu žadateli.
  - Není třeba konfigurovat na klientovi.
- Netransparentní varianta:
  - Klienty je třeba **nakonfigurovat**, aby se požadavky neposílaly přímo, ale proxy-serveru v lokální síti (lze i automaticky po síti).
  - Proxy server nemusí být nutně router.
  - Je nutná podpora v protokolu.
- Významný bezpečnostní a výkonnostní prvek:
  - umožňuje správě sítě efektivně kontrolovat činnost klientů
  - umožňuje omezit objem provozu na přípojné lince

Address Resolution Protocol

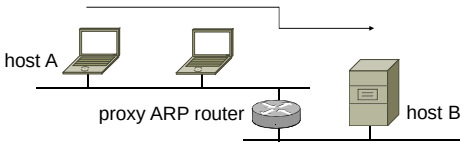
- Konverze MAC (např. Ethernet) a síťových (např. IP) adres
- Neznámé adresy se zjišťují broadcastovou výzvou:

`Ethernet=1`	`IP=0x0800`		`ARPreq=1`
`Sender MAC`			`Sender IP`
`FF:FF:FF:FF:FF:FF`			`Target IP`

- Výsledky se ukládají na stanici do ARP *cache*
- Unicastová odpověď (odpovídající si nejprve musí přidat informace o tazateli do svojí ARP tabulky)
- Neexistuje metoda, jak ověřit správnost odpovědi
- Gratuitous ARP: nevyžádané ARP (rychlejší změny, riziko)
- Výpis ARP tabulky: `arp -a`
- Omezení na linkový segment, mezi sítěmi je v činnosti OSI 3

Proxy ARP

1. **host A** posílá broadcastem **ARP `request`** s IP adresou **B**
2. **router** pozná, že dotaz nebude zodpovězen, proto sám posílá **ARP `reply`** s MAC adresou **routeru**
3. MAC **routeru** přiřazena k IP adrese **B** v ARP cache na **A**
4. **host A** posílá data pro **B** s MAC adresou **routeru**



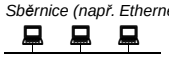
Linková vrstva (OSI 2)

- Dělí se na dvě podvrstvy:
  - Logical Link Control (LLC) umožňuje různým protokolům síťové vrstvy přístup ke stejnému médiu (multiplexing)
  - Media Access Control (MAC) řídí adresaci uzlů a přístup k médiu: kdo, kdy a jak může data odesílat a jak je přijímat
- TCP/IP už se touto vrstvou („síťového rozhraní“) nezabývá
- Síťový segment (fyzická síť):
  - množina uzlů sdílející stejné médium
- PDU na linkové vrstvě: rámec (frame)
  - liší se podle použitého média
  - obecně obsahuje: synchronizační pole, hlavičku (adresy, typ, příp. řídící data), datové pole a patičku (Frame Check Sequence - detekce chyb)

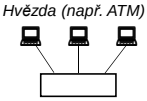
Typy fyzických topologií

Multipoint

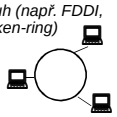
Sběrnice (např. Ethernet)



Hvězda (např. ATM)



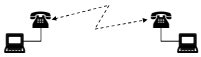
Kruh (např. FDDI, Token-ring)



Point-to-point

Přímé propojení kabelem (např. sériový, koaxiální, UTP, optický)

Propojení přes modemy

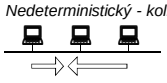


Bezdrátové propojení (např. laser, radioreléové)

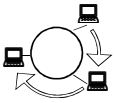
Typy přístupu k médiu

Multipoint

Nedeterministický - kolize

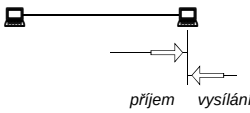


Deterministický - režie

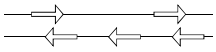


Point-to-point

Half duplex



Full duplex (nejsou kolize)



Řešení kolizí

- CSMA (Carrier Sense with Multiple Access)
  - uzel poslouchá „nosnou“, a pokud není volno, čeká
- CSMA/CD (Collision Detection), např. Ethernet
  - během vysílání uzel současně detekuje případnou kolizi
  - při kolizi stanice zastaví vysílání, upozorní ostatní, počká určitou (náhodnou!) dobu a pokus opakuje, obvykle se postupně prodlužuje interval čekání (*exponenciální čekání*)
  - podmínka: doba vysílání rámce > doba šíření po segmentu (*kolizní okénko*); limituje max. délku segmentu a min. velikost rámce
- CSMA/CA (Collision Avoidance), např. WiFi
  - když je volná nosná, vysílá se celý rámec a čeká se na ACK
  - pokud není volná nosná nebo nedorazí ACK, zahájí se exponenciální čekání

Ethernet

- Historie:
  - první pokusy o realizaci LAN ve firmě Xerox
  - standardizaci převzalo IEEE (únor 1980 → IEEE 802)
  - dva nejběžnější formáty Ethernet II, IEEE 802.3
- Momentálně vůdčí technologie pro lokální sítě
  - dokáže pružně reagovat na progresivní vývoj HW
  - přizpůsobí se širokému spektru přenosových médií
- Na multipoint spojích řízení přístupu metodou CSMA/CD
  - při detekci kolize uzel vysílá „jam signal“
  - exponenciální čekání končí po 16 pokusech chybou
- Adresy:
  - 3 byty prefix (výrobce, multicast...), 3 byty adresa
  - dříve „vypálená“ v kartě, dnes nastavitelná

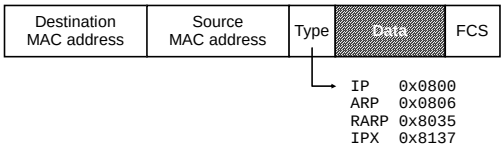
Standardy IEEE 802.3

Standard	Rok	Označení	Rychlost	Médium
802.3	1983	10BASE5	10 Mbit/s	tlustý koaxiální kabel
802.3a	1985	10BASE2	10 Mbit/s	tenký koaxiální kabel
802.3i	1990	10BASE-T	10 Mbit/s	kroucená dvoulinka (UTP)
802.3j	1993	10BASE-F	10 Mbit/s	optický kabel
802.3u	1995	100BASE-TX,FX	100 Mbit/s	UTP nebo optický kabel
802.3z	1998	1000BASE-X	1 Gbit/s	optický kabel
802.3ab	1999	1000BASE-T	1 Gbit/s	kroucená dvoulinka
802.3ae	2003	10GBASE-SR,...	10 Gbit/s	optický kabel
802.3an	2006	10GBASE-T	10 Gbit/s	kroucená dvoulinka
802.3ba	2010	100GBASE-SR	100 Gbit/s	optický kabel

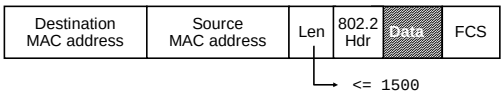
Na rozdíl od RFC jsou normy IEEE vázány licencí.

Struktura ethernetového rámce

Ethernet v2:

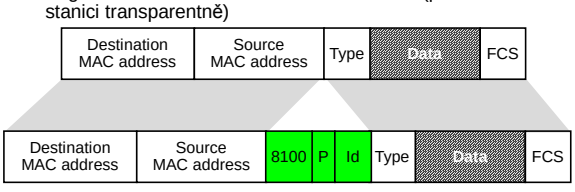


IEEE 802.3



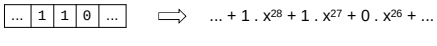
Virtuální sítě (VLAN)

- Prostředek, jak po jedné fyzické síti provozovat více nezávislých lokálních sítí
- Sítě jsou označeny 12bitovým identifikátorem (VLANID)
- Ethernetový rámec se prodlouží o 32 bitů dlouhý tag (tag protocol identifier 0x8100, QoS prioritu a VLANID)
- Tagovat může koncová stanice nebo switch (pro koncovou stanici transparentně)



Cyklický kontrolní součet (CRC)

- CRC (Cyclic Redundancy Check) je hashovací funkce široce používaná pro kontrolu konzistence dat (např. FCS)
- Posloupnost bitů je považována za koeficienty polynomu (ve dvojkové soustavě)



- Ten se vydělí tzv. *charakteristickým polynomem* (např. pro CRC-16 je to $x^{16} + x^{15} + x^2 + 1$)
- Zbytek po dělení se převede zpět na bity a použije jako hash
- Jednoduchá implementace (i pomocí HW)
- Velká síla, *n*-bitový CRC detekuje:
  - na 100% chyby s lichým počtem bitů, chyby kratší než *n* bitů
  - s vysokou pravděpodobností i delší chyby

Wi-Fi

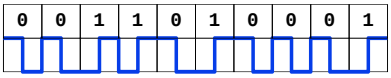
- Bezdrátová síť, jiný název: WLAN (wireless LAN)
- Mnoho různých variant pod souhrnným označením IEEE 802.11 (802.11a, b, g, n, y,...):
  - různá pásma (2,4 až 5 GHz)
  - různé rychlosti (2 až 600 Mbps)
- WiFi zařízení dnes prakticky v čemkoliv
- Struktura sítě:
  - ad-hoc peer-to-peer sítě
  - infrastruktura přístupových bodů (access pointů)
- SSID (Service Set ID): řetězec (až 32 znaků) pro rozlišení sítí
- Problém: zabezpečení!

Fyzická vrstva (OSI 1)

- Funkce vrstvy:
  - přenos dat po konkrétním fyzickém médiu
  - převod digitální informace na analogovou a obráceně
- Různé typy médií
  - metalické: elektrické pulzy
  - optické: světelné pulzy
  - bezdrátové: modulace vln

Druhy přenosu dat

- Analogový vs. digitální
  - ve skutečnosti je vše analogové (přenáší se např. proud)
  - digitální: rozhoduje, zda hodnota signálu spadá do nějakého intervalu (menší vliv zkreslení)
  - převody: D→A a zpět *modem* (modulator/demodulator), A→D *codec* (coder/decoder)
- Baseband vs. broadband
  - baseband přenáší přímo signál a kóduje ho, Ethernet používá tzv. Manchester:



  - broadband přenáší základní signál a moduluje ho (fázi, amplitudu, frekvenci)

Nestíněná kroucená dvoulinka (UTP)

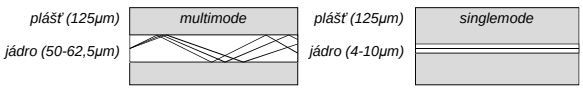
- Dnes standardní prostředek strukturované kabeláže
- 4 páry Cu vodičů navzájem pravidelně zakroucené
  - zakroucení snižuje vyzařování i příjem elektromagnetického záření (nižší rušení)
- 100Mb Ethernet používá jen dva páry (je možno rozdělit)
- Konektory: RJ 45
- Při propojení je třeba zohlednit povahu zařízení
  - dnes obvykle už autodetekce MDI/MDIX

přímý kabel křížený kabel (crossover)

- Alternativa: kabel s kovovým stíněním (STP)

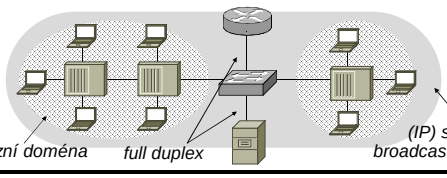
Optická vlákna

- Signál se šíří jako viditelné světlo vláknem z SiO_2
  - vysoké frekvence, velká šířka přenosového pásma
  - nízký útlum, žádné rušení
- Nevýhody:
  - vyšší cena, náročnější manipulace, nekoukat do kabelu
- Druhy vláken:
  - jednovidová (singlemode): svítí se laserem => jeden paprsek, větší dosah, šířka pásma („rychlost“, ne rychlost), cena
  - mnohovidová (multimode), svítí se LED

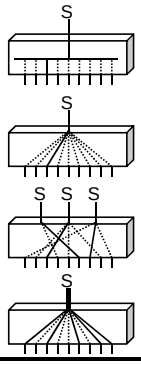


Segmentace sítě

- Repeater (opakovač) spojuje segmenty na fyzické vrstvě
  - řeší: větší dosah (překonává útlum kabelu)
  - neřeší: propustnost (problém kolizí naopak zhoršuje)
  - ve strukturované kabeláži se nazývá *hub*, *rozbočovač*
- Bridge (most) spojuje segmenty na linkové vrstvě
  - řeší: větší propustnost (rozděluje kolizní doménu)
  - ve strukturované kabeláži se nazývá *switch*, *přepínač*

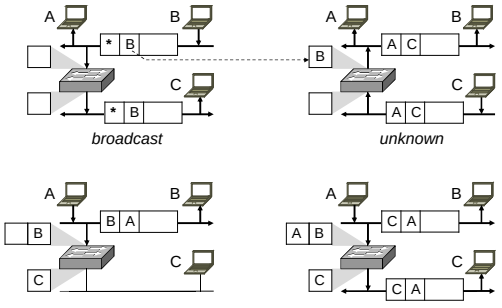


Porovnání hub vs. switch



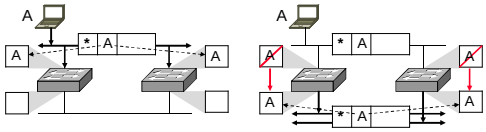
- HUB
  Σ 10 Mbit/s
- Switch
  Σ 10 Mbit/s
- Switch, více serverů
  Σ > 10 Mbit/s
- Switch s uplinkem
  Σ up to 100 Mbit/s

Learning bridge



Spanning Tree Algoritmus

- Motivace: pokud je v síti záložní switch, learning nefunguje a síť se zahltí přeposíláním rámců



- Důvod: graf je cyklický
- Řešení: najít acyklickou podmnožinu, kostru (spanning tree)
- Switche se musejí dohodnout, který z nich bude mít potlačeno forwardování a bude pouze monitorovat provoz
- Protokol (STP) má nezbytné timeouty, start portů je pomalý
  - obvykle lze STA na portu potlačit („faststart“), nutno zvážit

The End