

Báječný svět počítačových sítí

Část čtvrtá – rodina protokolů TCP/IP

JIRÍ PETERKA

Síťovou architekturou se rozumí celkový pohled na to, jak by počítačové sítě měly být řešeny a jak by měly fungovat. Zahrnuje představu o celkovém počtu vrstev, představu o tom, co má každá vrstva dělat i jak má fungovat, resp. jaké protokoly má ke svému fungování využívat. V současné době je nejrozšířenější síťovou architektura ta, na níž je postaven a na níž funguje celosvětový internet. Základní součástí této architektury jsou protokoly, souhrnně označované jako „rodina protokolů TCP/IP“.

Rodina protokolů TCP/IP je opravdu početná (má přes 100 „členů“) a neustále se rozrůstá o nově vznikající protokoly. Její základ však vznikl poměrně dávno, alespoň podle „počítačových měřítek“ – již v polovině sedmdesátých let. Důvodem byla existence sítě ARPANET, kterou v USA nechali vybudovat (a také zaplatit) tamní vojáci, aby na ní vyzkoušeli myšlenku tzv. paketového přenosu. Jednalo se o přenos dat „po vhodně velkých kusech“, označovaných právě jako pakety. Dnes tak fungují snad všechny datové a počítačové sítě, ale tehdy to byla úplně revoluční myšlenka, která se musela někde otestovat. A k tomu posloužila právě síť ARPANET.

Pro nás je podstatné ještě to, že když síť ARPANET splnila svůj účel a potvrdila životaschopnost paketového přenosu, její vlastníci (resort obrany USA) ji nezrušili. Právě naopak, rozhodli se ji zachovat a ponechat akademické sféře (univerzitám) k používání a k řešení výzkumných úkolů. Dokonce aktivně podpořili to, aby se na ARPANET začaly napojovat další univerzity i celé akademické sítě.

K tomu skutečně došlo a na zárodečný ARPANET se začaly postupně „nabalovat“ další a další sítě. Výsledné soustavě vzájemně propojených sítí se pak začalo říkat internet...

Vznik TCP/IP

Jak s tím ale souvisí protokoly TCP/IP? Když se vojáci v USA rozhodli nerušit ARPANET a předat ho akademické sféře, bylo zapotřebí vyvinout nové protokoly, na nichž by tato síť fungovala. Původně totiž používala jen experimentální protokoly (hlavně protokol NCP, Network Control Protocol), které se pro rutinní provoz příliš nehodily. Resort obrany USA (DoD, Department of Defense) zadal tamní akademické sféře další výzkumný úkol, který také zaplatil ze svých peněz: vyvinout sadu nových protokolů, vhodných pro běžné používání ARPANETu.

Toto zadání přišlo v první polovině sedmdesátých let. V roce 1980 již byla koncepce protokolů TCP/IP připravena a resort obrany ji odsouhlasil jako „správnou“ koncepci, na kterou musí celý ARPANET přejít. Uplynuly ještě dva roky – a k 1. lednu 1983 přestal rodící se internet používat protokol NCP a přešel již na výlučně používání protokolů TCP/IP.

4 vrstvy TCP/IP

S rodinou protokolů TCP/IP je úzce spojena i představa o počtu

a struktúře vrstev, do nichž jsou tyto protokoly „zapasovány“. Tuto představu zachycuje následující obrázek, který ji srovnává se sedmivrstevným referenčním modelem ISO/OSI.

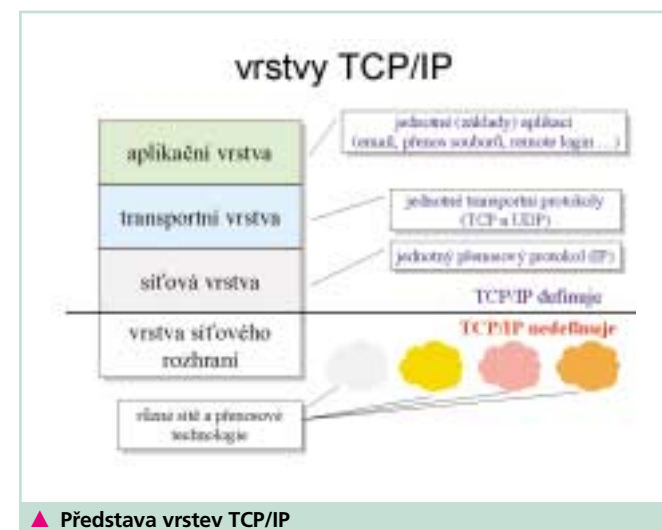
Protokoly TCP/IP předpokládají existenci pouze čtyř vrstev:

- aplikační,
- transportní,
- síťové (označované též jako „IP vrstva“),
- vrstvy síťového rozhraní.

Z těchto čtyř vrstev však protokoly TCP/IP „obsazují“ jen tři nejvyšší. U nejnižší vrstvy (vrstvy síťového rozhraní) se počítá s tím, že zde budou využity takové přenosové mechanismy, které jsou k dispozici a „pocházejí odjinud“ (tj. nejsou sou-



▲ Představa protokolů TCP/IP.



▲ Představa vrstev TCP/IP



▲ Představa cest v síti.



▲ Transportní vrstvu mají jen koncové uzly sítě.

částí TCP/IP). Může jít třeba o Ethernet, o Wi-Fi, o technologie ATM či FR nebo o xDSL (ADSL) atd.

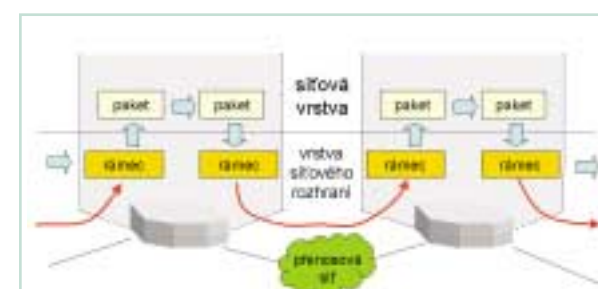
Síťová vrstva – IP vrstva

Přenosové služby, které zajišťuje vrstva síťového rozhraní, umožňují přenášet „kusy dat“ (označované jako rámce) mezi sousedními uzly. To jsou počítače, které mezi sebou mají přímé spojení. Na něm pak staví síťová vrstva, která již zajišťuje přenos „kusů dat“ (nyní označovaných jako pakety) nejen mezi přímými sousedy, ale mezi libovolnými dvěma uzly.

Musí tedy hledat nejvhodnější cestu od odesílatele až ke koncovému příjemci (zajišťovat tzv. směrování, anglicky routing). Když vhodnou cestu najde, zajistí postupný přenos paketu přes případné mezilehlé uzly. To dělá tak, že pro každý „přeskok“ vloží svůj paket do rámce a požádá vrstvu síťového rozhraní o přenesení rámce i s jeho obsahem k přímému sousedovi. Zde je obsah rámce (paket) vybalen, předán zdejší síťové vrstvě a ta znovu rozhodne, kterým směrem jej bude předávat dál. Tento princip naznačuje obrázek.

Rodina protokolů TCP/IP „obsazuje“ síťovou vrstvu především protokolem IP (Internet Protocol). Ten je pro celou rodinu protokolů natolik významný a charakteristický, že se postaral i o její pojmenování. Ve zkratce TCP/IP je za lomítkem jméno právě tohoto protokolu.

Podle protokolu IP jsou také pojmenovány pakety, přenášené na úrovni síťové vrstvy – říká se jim IP pakety nebo také IP datagramy.



▲ Představa fungování síťové vrstvy.

Transportní vrstva

Síťová vrstva, alias IP vrstva, je poslední vrstvou (počítáno odspodu), která se ještě vyskytuje ve všech uzlech – jak ve vnitřních uzlech přenosové sítě (v tzv. směrovačích), tak i v koncových uzlech (což mohou být například pracovní stanice uživatelů). Vyšší vrstvy, konkrétně vrstva transportní a vrstva aplikační, pak jsou přítomné již jen v koncových uzlech sítě.

Transportní vrstva má na starosti vzájemnou komunikaci koncových uzlů. Pokud se to po ní požaduje, zajišťuje např. spolehlivost přenosů. Tedy to, aby se přenášená data po cestě neztratila nebo nějak nepoškodila. Kromě toho transportní vrstva rozlišuje i mezi různými entitami v rámci jednoho uzlu. To znamená, že příchozí data rozděljuje těm aplikacím, běžícím na daném počítači, kterým jsou určeny. Obdobně přejímá data, určená k odeslání, od jednotlivých počítačů a předává je k přenosu síťové vrstvě. Ta již nerozlišuje mezi jednotlivými odesílateli a příjemci a každý uzel sítě považuje za dále nedělitelný celek.

Na úrovni transportní vrstvy jsou v rámci TCP/IP provozovány dva hlavní transportní protokoly.

- UDP (User Datagram Protocol),
- TCP (Transport Control Protocol).

Právě protokol TCP je vedle protokolu IP tím, který dal název celé rodině protokolů TCP/IP.

Aplikační vrstva

Na úrovni aplikační vrstvy jsou provozovány jednotlivé aplikace. Nikoli ovšem celé, ale jen ty jejich části, které musí být

navzájem kompatibilní. Třeba u elektronické pošty jde o celé poštovní servery a ty části poštovních klientů, které zajišťují odeslání, přenos a příjem jednotlivých zpráv. Uživatelské rozhraní, jež uživateli umožňuje zprávy číst, tisknout, různě třídit, archivovat atd., není součástí aplikační vrstvy a nemusí být standardizováno. Díky tomu



▲ Představa rozlišení různých příjemců a odesílatele v rámci jednoho uzlu.



▲ Představa aplikací a aplikační vrstvy.

pak mohou být uživatelská rozhraní jednotlivých aplikací různá, s různým rozsahem funkcí a různým uživatelským komfortem.

Naopak třeba formát zpráv a jejich přenos musí být důsledně sjednoceny (standardizovány), aby je bylo možné přenášet mezi jednotlivými poštovními servery a aby jim „rozuměli“ všichni poštovní klienti.

Filosofie TCP/IP

Chceme-li správně pochopit základní vlastnosti síťové architektury, založené na protokolech TCP/IP, musíme si nejprve něco říci o základní filozofii, z níž vyšli či jí zvolili autoři TCP/IP. Pomůže nám to i k pochopení toho, proč se právě

TCP/IP tak dobře ujal v reálné praxi a vydrželo bez zásadnějších změn až do dnešních dnů.

Vratme se znovu do doby, kdy protokoly TCP/IP teprve vznikaly. Když resort obrany USA zadával akademické sféře úkol vyvinout protokoly TCP/IP, staly se součástí zadání některé konkrétní požadavky. Třeba ten, aby se nepočítalo s žádným centrálním prvkem, na němž by fungování sítě stálo, ale se kterým by také celé padalo. To je ostatně typické pro uvažování vojáků, kteří se bojí toho, že by nepřítel jako první napadl právě centrální bod, zničil ho a tím vyřadil z provozu celou soustavu sítí.

Pravdou je, že ani dnešní internet nemá žádný centrální bod, který by jej řídil a bez něhož by nemohl existovat. Je značně distribuovaný a díky tomu dokáže fungovat jako celek, i když některé jeho dílčí části jsou právě vyřazeny z provozu (nejspíše z důvodu technické závady). Nás ale zajímají protokoly TCP/IP, které nejsou přesně to samé jako internet. Vznikly sice pro potřeby internetu a v něm se také nejvíce rozšířily, ale mohou být použity i mimo něj, v jakékoli třeba i samostatné počítačové síti.

Nespojovaný způsob fungování

I samotné protokoly TCP/IP předpokládají distribuované řešení nejrůznějších funkcí, důležitých pro fungování celé soustavy sítí. Asi nejlépe je to vidět na způsobu, jak je v rámci protokolu IP (tj. na úrovni síťové vrstvy) řešeno tzv. směrování, neboli hledání cest v síti pro potřeby přenosu jednotlivých paketů. Neexistuje zde žádná centrální autorita, která by mezilehlým uzlům (tzv. směrovačům) říkala, kam mají dále předávat jednotlivé pakety, aby se dostaly ke svému cíli. Místo toho potřebné směrovací informace získávají jednotlivé směrovače ve vzájemné spolupráci. Když některý z nich vypadne nebo se nějaký spoj stane neprůchodným, ostatní najdou cestu, jak výpadek obejít, resp. jak dopravit pakety na místo jejich určení jinou.



▲ Představa nespojovaného způsobu přenosu.

Odpovídá to tzv. nespojovanému (anglicky connectionless) způsobu fungování, při kterém nedochází k navazování spojení mezi odesílatelem a příjemcem a k vytyčení trasy, po níž by se následně přenášela všechna data. Pokud by tomu tak bylo a došlo by k nějaké změně v síti (třeba k výpadku nějakého dílčího spoje), muselo by se to nejprve zjistit a pak napravit – ukončením existujícího spojení a navázáním nového spojení.

U nespojovaného spojení se jednoduše „jede dál“ a pro každý paket se nevhodnější cesta jeho přenosu hledá vždy znovu, podle momentální situace. Díky tomu se může stát, že jednotlivé

livé pakety budou protokolem IP přenášeny ke svému cíli různou cestou a třeba i dorazí v jiném pořadí, než v jakém byly původně odeslány. Ale to už je na vyšších vrstvách, aby si je správně poskládaly zpátky.

Nespojovaný způsob přenosu jednotlivých paketů velmi připomíná fungování běžné pošty. Ta také přenáší jednotlivé dopisy (zásilky) nezávisle na sobě, aniž by předem „navazovala spojení“ a dopředu zjišťovala, zda adresát vůbec existuje. Místo toho dopis od odesílatele nejprve převezme a pak se jej snaží doručit tak, jak nejlépe umí. Také se klidně může stát, že dva současně odeslané dopisy jdou jinou cestou a přijdou svému adresátovi v různou dobu.

Právě kvůli této podobnosti s klasickou poštou se také pakety protokolu IP přirovnávají k datagramům a jsou označovány jako IP datagramy.

Princip maximální snahy, ale nezaručeného výsledku

Velmi významnou charakteristikou síťového protokolu IP, který má na starosti přenos jednotlivých paketů (IP paketů, resp. IP datagramů), je, že negarantuje jejich doručení. Nedokáže totiž vždy zaručit, že bude mít pokaždé dostatek kapacity (přenosových i výpočetních) k přenesení všech paketů, které by přenést měl. Dokud mu tyto kapacity budou stačit, bude pochopitelně přenášet všechny pakety. Jakmile jich ale bude příliš mnoho a jemu se nebudou dostávat kapacit, má právo zahazovat ty pakety, které již nedokáže přenést.

Říká se tomu také princip „maximální snahy...“ (anglicky best effort), a to kvůli tomu, že protokol IP se snaží využít všech prostředků a zdrojů, jež má k dispozici. Dodatkem pak je „...ale nezaručeného výsledku“, kvůli tomu, že když maximální snaha protokolu IP nestačí, dochází k zahazování paketů. Z pohledu jejich odesílatelů a příjemců je pak výsledek skutečně nezaručený.

Alternativou k fungování podle principu „maximální snahy, ale nezaručeného výsledku...“ by bylo garantování kvality přenosových služeb. Tedy situace, kdy konkrétní přenos by měl garantováno, že pro něj budou k dispozici takové a takové zdroje, včetně přenosových a výpočetních kapacit. Pak by se nemělo stávat, že na něj zdroje nevystačí a bude nutné některé jeho pakety zahazovat.

Na principu garancí a garantovaných přenosových služeb funguje tzv. přepojování okruhů, které je alternativou k přepojování paketů a používá se hlavně v telekomunikačních sítích. Jeho nevýhodou je ale velmi nevhodné využití dostupných zdrojů. Ty jsou totiž vyhrazeny pro potřeby jednotlivých přenosů, bez ohledu na to, zda jsou či nejsou skutečně využity. Pokud využity nejsou, nemohou být přenechány ostatním přenosům, které by je naopak mohly potřebovat.

Princip paketového přenosu, označovaný také jako „přepojování paketů“, je na rozdíl od přepojování okruhů velmi efektivní právě proto, že účelně hospodář s dostupnými zdroji, právě vý-

še popsaným způsobem, na principu „maximální snahy...“.

Protokol IP, který funguje na principu „maximální snahy...“, navíc měří všem přenosům stejně. To znamená, že v situaci, kdy se mu již nedostávají dostatečné zdroje, zahazuje pakety bez ohledu na to, co jsou zač – od koho pochází, komu mají být doručeny, či co v sobě nesou (jaký typ dat) atd.

Nespolehlivost místo spolehlivosti

Další významnou charakteristikou protokolu IP je, že funguje způsobem, kterému se říká „nespolehlivý“. Ne snad proto, že by se protokol IP snažil přenášet data spolehlivě, to opravdu ne. Otázkou spíše je, jak se má zachovat, když dostane nějaká data, která se při přenosu poškodila, obvykle v důsledku nějaké chyby při přenosu. Protokol IP, který přijal poškozený paket a měl by jej dále zpracovat, má v principu dvě možnosti:

- Postarat se sám o nápravu, obvykle tak, že si stejný paket nechá znovu zaslat. Tato varianta přenosu se označuje jako „spolehlivá“.
- Nestarat se o nápravu a poškozený paket zahodit. Právě tato varianta je označována jako „nespolehlivá“.

Nespolehlivá varianta přenosu na první pohled nevypadá příliš smysluplně. Autoři protokolů TCP/IP ale byli jiného názoru a protokol IP koncipovali právě jako nespojovaný. Tedy tak, že když narazí na poškozený paket, smí jej zahodit a nemusí se starat o nápravu.

Tento přístup má logiku v tom, že se zajištěním spolehlivosti by byla spojená nemalá reže. Hlavně opakovaný přenos, který by si příjemce poškozeného paketu vyžádal, by nejen spotřeboval další přenosovou kapacitu, ale hlavně by oddálil přenos dalších dat a tím zvýšil nerovnoměrnost (nepravidelnost) v jejich doručování. Některým aplikacím přitom právě takovéto zpoždění a nerovnoměrnost může vadit více než poškození či dokonce ztráta určitých dat.

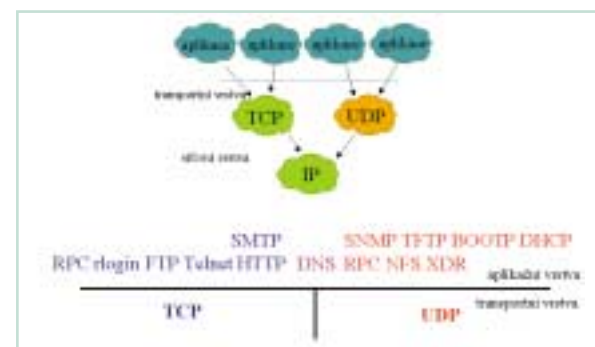
Například při přenosu multimediálních dat (např. digitalizovaného zvuku či obrazu) je pravidelnost doručování jednotlivých částí dat podstatně důležitější než jejich občasný výpadek. Lidské ucho či oko většinou ani nezaznamená nějaké drobné zkreslení zvuku či malou chybu v obraze, které velmi rychle odezní. Naopak by znamenalo jakoukoli změnu v rychlosti (pravidelnosti) přehrávání zvuku či obrazu. Lze to přirovnat k efektu zrychlování či naopak zpomalování magnetofonového pásu či filmového pásu. To je znát podstatně více, než občasný drobný kaz na médiu.

Autoři protokolů TCP/IP navíc vyšli z předpokladu, že protokol IP by se měl soustředit na to, co je jeho hlavní úkolem – tedy na přenos dat – a už by se neměl zabývat dalšími věcmi, které pro něj nejsou klíčovými. Lze to vyjádřit i oblíbeným sloganem: protokol IP by se měl soustředit na svůj hlavní byznys a neztrácet čas s podružnými věcmi. Mezi tyto „podružné věci“ bylo zahrzeno i zajišťování spolehlivosti.

Transportní demokracie

Protokol IP, zajišťující přenos paketů na úrovni síťové vrstvy, tedy funguje nespojově a také nespojovaně. Skutečně se maximálně soustřeďuje „na svůj byznys“ a nedělá nic jiného, než že přenáší jednotlivé IP pakety. Počítá přitom s tím, že pokud budou vyšší vrstvy (resp. aplikace) potřebovat něco jiného – ať již spojovaný či spolehlivý způsob fungování, stále tu je ještě transportní vrstva, která může jejich přání splnit. Autoři TCP/IP skutečně zabydleli transportní vrstvu dvěma vzájemně alternativními transportními protokoly, mezi nimiž si aplikace mohou vybírat.

Mohou zvolit protokol UDP (User Datagram Protocol), který je jen drobnou nadstavbou nad protokolem IP a zachovává jeho způsob fungování – tedy nespojovaný a nespojlivý. Prakticky to jediné, co k funkčnosti protokolu IP přidává, je rozlišování jednotlivých příjemců a odesílatelů v rámci daného uzlu (podle tzv. čísel portů, na rozhraní mezi transportní a aplikační vrstvou).



▲ Představa vzájemně alternativních transportních protokolů.

Naproti tomu druhý transportní protokol, protokol TCP (Transport Control Protocol), už funguje spolehlivě a spojovaně. Sám sice využívá nespojlivých a nespojovaných služeb protokolu IP, ale zajišťuje navazování spojení mezi komunikujícími stranami (na úrovni transportní vrstvy) a stará se také o spolehlivost. Jinými slovy, pokud protokol IP něco nedoručí tak jak má, protokol TCP se postará o nápravu (vyžádá si opakované odeslání poškozených či úplně ztracených dat).

Hlavně všechny aplikační protokoly mají na výběr, zda v rámci transportní vrstvy využijí služeb transportního protokolu TCP nebo protokolu UDP. Vybírat si mohou například podle toho, zda je pro ně důležitější spolehlivost přenosu (pak asi sáhnou po TCP), nebo zda před spolehlivostí dají přednost spíše rychlosti a pravidelnosti doručování (pak sáhnou po protokolu UDP).

IP over everything

Vratme se ale ještě k protokolu IP a jeho fungování. Jak jsme si již uvedli, na samém počátku, kdy protokoly TCP/IP teprve vznikaly, měly americké univerzity velký zájem připojovat se na zárodečnou síť ARPANET i se svými již existujícími sítěmi. Ty ale byly dosti různorodé, založené na



▲ Představa „IP over Everything“.

různých přenosových technologiích (odpovídajících vrstvě síťového rozhraní).

Proto autoři protokolů TCP/IP dostali v rámci svého zadání ještě jeden úkol: vyjít podobnému připojování (resp. propojování) maximálně vstříc a umožnit připojení a provoz protokolů TCP/IP nad jakýmkoli přenosovými technologiemi, schopnými přenášet data.

Dnes (s odstupem 30 let) lze konstatovat, že se to autorům povedlo nadmíru dobře. Protokol IP, který „zabydluje“ síťovou vrstvu, je skutečně velmi pružný a dokáže fungovat „nad címkoli“.

Ostatně vystihuje to i slogan „IP over everything“. Nad přenosovými technologiemi vrstvy síťového rozhraní přitom vytváří jakousi „jednotnou pokličku“, která zastírá jejich specifické rozdíly a vytváří nad nimi jednotné přenosové prostředí. Díky tomu se pak protokoly vyšších vrstev (transportní vrstvou počínaje) nemusí vůbec zabývat tím, nad jakou technologií nižších vrstev vlastně fungují.

V době vzniku a rozvoje internetu to mělo zásadní význam pro připojování dalších sítí k ARPANETu. Dnes se této vlastnosti s úspěchem využívá k tomu, aby se lidé mohli připojovat k celosvětovému internetu opravdu nejrůznějšími způsoby, jaké mají právě k dispozici – třeba přes vytáčenou telefonní linku, ADSL, Wi-Fi, přes kabelovou televizi atd. Ve všech případech je nad uvedenými přenosovými technologiemi nejnižší vrstvy (vrstvy síťového rozhraní) provozován „jednotný“ protokol IP a nad ním již standardním způsobem ostatní protokoly.

IP verze 6

Protokoly TCP/IP byly navrženy opravdu dobře a v praxi se velmi úspěšně ujal. Prakticky bez jakýchkoli zásadnějších změn vydržely až do dnešní doby. Samozřejmě se dále vyvíjely, ale „inkrementálním“ způsobem, tj. postupným přidáváním dalších a dalších vlastností a schopností, nikoli zahazováním celých předchozích řešení a přeprogramováním protokolů „od základů“. Snad jedinou výjimkou jsou adresy, používané na úrovni

síťové vrstvy (tzv. IP adresy). Pro ně bylo vyhrazeno 32 bitů, což ve své době představovalo značnou redundanci (nadbytečnost). Později ale, vzhledem k fenomenálnímu úspěchu celosvětového internetu, se potřeba IP adres zvýšila natolik, že začalo hrozit jejich

brzké vyčerpání. Našla se ale různá „úsporná“ řešení, která úbytek IP adres výrazně zpomalila.

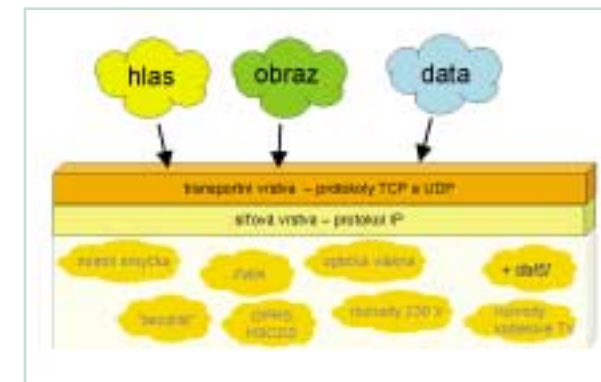
Přesto se muselo hledat i celkové řešení, které přišlo v podobě zcela nového síťového protokolu IP verze 6 (IPv6). Ten bohužel již není vůči stávajícímu protokolu IP (též: IP verze 4) inkrementální, ale musí jej nahradit. Existují však i scénáře pro jejich vzájemnou koexistenci a pro postupný přechod od jednoho protokolu ke druhému.

Everything over IP

Velký úspěch protokolů TCP/IP vedl ještě k jednomu zajímavému jevu: snad všechny úspěšné aplikace a služby, které kdy vznikly v nějakém jiném prostředí než pro TCP/IP a internet, byly časem převedeny (portovány) právě na platformu TCP/IP. Je to ostatně logické, když jde o aplikace, které byly původně vyvinuty pro jiné přenosové sítě, že již nejsou rozvíjeny a jsou naopak čím dál tím více nahrazovány právě sítěmi na bázi TCP/IP. Dnes je stav takový, že snad neexistuje žádná alespoň trochu smysluplná a užitelná aplikace, která by ještě nebyla přenesena na platformu TCP/IP.

Platí to ostatně i pro tak „odlišné“ aplikace a služby, jako je přenos živého hlasu a obrazu. Ty byly dlouhou dobu doménou telekomunikačních sítí, fungujících na principu přepojování okruhů. Dnes se ale čím dál tím více prosazují i do sítí s přepojováním paketů a nejvíce právě do sítí na bázi protokolů TCP/IP.

Nepříliš správně se pro celý tento trend ujal slogan „Everything over IP“ (doslova „cokoliv nad IP“), což není úplně pravda, protože mezi proto-



kolem IP a samotnými aplikacemi jsou ještě transportní protokoly (TCP nebo UDP). Nicméně i zkratky typu „něco nad IP“ jsou dnes již běžně zařazeny a také používány. Příkladem může být zkratka VOIP (Voice over IP), označující přenos hlasu prostřednictvím protokolu IP.