

8. SÍŤ

„Pane Watsone, přijďte sem, potřebuji vás tady.“

První srozumitelný vzkaz přenesený telefonem,
Alexander Graham Bell, 10. března 1876.¹

V následující kapitole se budeme zabývat síťovými technologiemi, s nimiž se každý den setkáváme: „drátovými“ sítěmi – k nim patří tradiční pevné telefonní síť, kabelové televize a ethernet – a poté bezdrátovými sítěmi, z nichž nejlépe známe Wi-Fi a síť pro mobilní telefony. Přes ně se většina lidí připojuje na internet, který bude námětem kapitoly 9.

Všechny komunikační systémy mají stejnou základní vlastnost. Informace se u zdroje převádějí do reprezentace, kterou je schopno určité médium přenést na místo určené. V cíli komunikace se tato reprezentace převádí zpět do použitelné podoby.

Základní vlastností každé sítě je *přenosová rychlost* – ta udává, jak rychle dokáže daná síť přenášet data. Pohybuje se od několika bitů za sekundu u systémů, které jsou výrazně omezeny energií či prostředím, až po terabity za sekundu, jichž dosahují sítě z optických vláken, které zprostředkovávají internetovou komunikaci napříč kontinenty a přes oceány. Pro většinu lidí je přenosová rychlost zdaleka nejdůležitější vlastností sítě. Pokud je dostatečná, data proudí rychle a hladce; pokud je slabá, bývá komunikace trýznivým zážitkem plným přerušování a zadržování.

Latence čili prodleva nebo také zpoždění měří, jak dlouho trvá, než dané množství informací projde systémem. Vysoká latence nemusí znamenat nízkou přenosovou rychlost: kamion plný pevných disků, který projíždí přes celou zemi, může mít vysokou latenci, ale také, vzhledem k enormnímu množství přepravovaných bitů, vysokou přenosovou rychlost.

V některých komunikačních systémech hraje roli i *jitter* – kolísání prodlevy; jde zvláště o ty systémy, které přenášejí řeč a video.

Termín *dosah* definuje, jakou může mít síť při dané technologii geografickou velikost. Některé velmi lokální sítě mají dosah nanejvýš pár metrů, jiné se doslova klenou nad celým světem.

Mezi další vlastnosti sítí patří například to, zda síť vysílá „one to many“, což znamená, že vysílání z jednoho zdroje slyší mnoho příjemců (například rozhlas), nebo jde o dvoubodový spoj „one to one“, kdy se spárují jen dva koncové body. Broadcastové sítě, které vysílají data mnoha příjemcům, jsou svou povahou

zranitelnější síťovým odposloucháváním, což může mít dopad na jejich zabezpečení. Je nutné vědět, jaké druhy chyb mohou v jakých typech sítí nastat a jak se s nimi vypořádat. Zapotřebí je také zvažovat další faktory, jako jsou náklady na hardware a infrastrukturu nebo objemy posílaných dat.

8.1 TELEFONY A MODEMY

Telefonní síť je rozsáhlý systém, který se úspěšně prosadil po celém světě, po větší část své existence přenášel hlasový provoz a nakonec se vyvinul i do nástroje pro přenos značného datového provozu. V raných dobách domácích počítačů byla většina jejich uživatelů připojena k síti právě telefonními linkami.

Pevná telefonní síť na úrovni domácností stále přenáší především analogové zvukové signály. Než ji tedy můžeme použít jako datovou síť, musíme mít zařízení, které převádí analogový zvuk na digitální data čili bity. Proces, jímž se analogový signál nabaluje na nosič, který přepravuje digitální informace, se nazývá *modulace*. Na druhé straně je pak nutné tento modulovaný signál převést zpět do jeho původní formy, tedy *demodulovat*. Zařízení, které moduluje a demoduluje signály, se nazývá *modem*. Telefonní modem býval kdysi velkou a drahou krabicí plnou elektroniky, dnes je to jeden malý čip a je prakticky zadarmo. I přesto pevné telefonní linky používáme pro připojení k internetu už jen zřídka, takže modemy příliš mnoho počítačů nemá.

Používat klasický telefon pro datová připojení je nevýhodné. Telefon je při datovém připojení obsazený, takže pokud máme doma jenom jednu linku, musíme si vybrat mezi internetem a telefonováním. Pro většinu lidí je ale ještě důležitější striktní omezení rychlosti, jakou je možné pevnou sítí posílat informace. Maximální rychlost je zhruba 56 kilobytů za sekundu (56 kb/s), což je cca 6–7 kilobajtů (kB) za sekundu. Stažení webové stránky o velikosti 20 kB tak trvá 3 sekundy, obrázku velikého 400 kB téměř 60 sekund a aktualizace softwaru může klidně zabrat celé hodiny.

8.2 KABELOVÁ TELEVIZE A DSL

Omezení rychlosti přenosu signálů analogovou telefonní linkou na 56 kb/s je neoddelitelně spojeno s jejím designem. Pro mnoho lidí jsou dobrou alternativou dvě jiné drátové technologie, jejichž přenosová rychlost je zhruba stokrát vyšší než rychlost pevné linky.

První alternativou je použít k přenosu dat kabel, který do mnoha domácností přivádí signál kabelové televize. Tento kabel může přenášet stovky kanálů současně a má dostatek přebytečné kapacity, kterou lze využít k přenosu dat. Přenosová rychlost kabelového systému se může pohybovat v širokém rozpětí,

obvykle se používá 10 nebo 20 Mb/s. Zařízení, které převádí signály z kabelu na bity pro počítač a zpět, se nazývá *kabelový modem* - ten moduluje a demoduluje signál stejně jako telefonní modem, běží ale o něco rychleji.

Vysoká udávaná rychlost kabelového připojení je z určitého pohledu iluzorní. Tentýž televizní signál jde do každého připojeného domu, bez ohledu na to, zda se tam zrovna televize sleduje. Data proudící společným kabelem do mého domu jsou naopak určena jen pro mě a budou to jiná data než ta, která v tutéž dobu směřují do sousedova domu, takže není možné, abychom je my dva sdíleli. O datové pásmo kabelu se musí dělit více uživatelů, a pokud si ho zaberu příliš hodně, na mého souseda se dostane méně. Nejspíš to dopadne tak, že oba budeme mít k dispozici méně. Naštěstí není příliš pravděpodobné, že bychom si vzájemně tolik překáželi. Trochu se to podobá praktikám leteckých společností a hotelů, které běžně přijímají více rezervací, než jsou jejich skutečné kapacity. Vědí totiž, že nikdy se nedostaví všichni, takže díky této praxi lépe využijí své zdroje. Totéž funguje i v komunikačních systémech.

Nyní je vidět další problém. Televizní kanály můžeme sledovat všichni stejně, nechceme ale, aby naše data šla do sousedova domu, a stejně tak nechceme, aby jeho data chodila k nám. Jsou to konec konců osobní data - je v tom náš e-mail, naše internetové nákupy a bankovní informace a možná i informace o našich osobních zálibách, které bychom raději před ostatními utajili. To se dá řešit šifrováním, které ostatním znemožní čtení našich dat; o tomto tématu si povíme více v kapitole 12.

Je zde však ještě jedna komplikace. První síť kabelových televízí byly jednosměrné: signály se k domácnostem pouze vysílaly, což bylo technicky snadno proveditelné, ale uživatel už neměl možnost posílat informace operátorovi. Kabelové společnosti musely každopádně najít způsob, jak to řešit, protože potřebovaly zavést placené pořady na objednávku a další možnosti, které vyžadují komunikaci od zákazníka k operátorovi. Kabelové systémy se tak staly obousměrnými a díky tomu se začaly používat i k přenosu počítačových dat. Někdy tato „obousměrnost“ měla podobu dvou oddělených kanálů: například některé satelitní televizní systémy používají pro zpětnou komunikaci od zákazníka k firmě telefonní linky. K objednání filmu to sice stačí, pro přístup k internetu je to ale mučivě pomalé. Přenosová rychlost zpětného kanálu od uživatele k operátorovi bývá často zřetelně nižší než rychlost přenosu k uživateli, takže kdo tímto způsobem posílal internetem obrázky a videa, musel se vyzbrojit trpělivostí.

Druhá rozumně rychlá síťová technologie pro domácnosti je založena na systému, který často už doma máme - starém dobrém telefonu. Jde o technologii *DSL*, což je zkratka slov digital subscriber loop či digital subscriber line (někdy se uvádí zkratka *ADSL*, když jde o „asymetrickou“ linku, na níž je rychlost

k zákazníkovi vyšší než směrem od něj). DSL poskytuje zhruba tytéž služby jako kabelové televize, ale s několika významnými rozdíly.

DSL posílá data telefonním vedením způsobem, který nepřekáží hlasovému signálu, takže můžeme telefonovat a zároveň brouzdat po internetu, aniž by si obojí překáželo. Funguje to dobře, ale jen do určité vzdálenosti. Bydlíme-li do pěti kilometrů od místní ústředny našeho telefonního operátora, což platí pro většinu uživatelů z měst a velkých předměstí, je DSL dobrá volba. Kdo bydlí dál, má smůlu.

Další dobrá věc na DSL je, že nejde o sdílené médium. Vedení mezi vaším domem a operátorem používáte jen vy, jeho kapacitu nesdílíte se svými sousedy, a vaše bity tak nemohou končit u nich. Doma máte speciální modem (druhý takový je v budově telefonní společnosti) a oba převádějí signály do takové podoby, kterou lze posílat vedením. Jinak kabelové televize a DSL vypadají a slouží v zásadě stejně. Zhruba stejné bývají i ceny, alespoň tam, kde je nějaká konkurence. Aktuálně se zdá, že používání DSL klesá, protože telefonní společnosti nahrazují stará vedení optickými vlákny.

Technologie se neustále zlepšují, a tak dnes často můžeme mít doma místo staršího koaxiálního kabelu nebo měděných drátů přípojku vedení z optických vláken. Optické systémy jsou mnohem rychlejší než jiná vedení. Signály jsou v nich přenášeny velmi tenkým a mimořádně čistým skleněným vláknem v podobě světelných pulzů a tento přenos se vyznačuje nízkými ztrátami – pulzy se mohou šířit celé kilometry, než je nutné použít zesilovač. Počátkem 90. let jsem se účastnil výzkumného experimentu „optické vlákno pro domácnosti“ a celé desetiletí jsem měl doma připojení s rychlostí 160 Mb/s. To mi dávalo právo povyšovat se nad ostatní, nic dalšího na tom ale ke chlubení nebylo, protože tehdy neexistovalo skoro nic, k čemu by se tak vysoká rychlost dala využít. Dnes mám díky další zeměpisné náhodě optické připojení o gigabitové rychlosti, faktická rychlost je ale jen 20 až 30 Mb/s, protože ji omezuje moje domácí bezdrátové připojení. Do laptopu v práci dostávám z tamní bezdrátové sítě data rychlostí asi 80 Mb/s, počítač ve stejné místnosti připojený na kabelové vedení má ale 500 až 700 Mb/s. Rychlost svého vlastního připojení si můžete zkontrolovat na mnoha různých webech.

8.3 LOKÁLNÍ SÍŤE A ETHERNET

Telefony, kabelové televize a DSL jsou síťové technologie, které propojují počítač kabelovým vedením s nějakým větším systémem, obvykle na delší vzdálenosti. Z jiné historické linie vývoje se zrodila další často používaná technologie – ethernet.

Na přelomu 60. a 70. let vyvinuly laboratoře PARC (Palo Alto Research Center) firmy Xerox novátorský osobní počítač Alto jako nástroj pro experimenty,

kteře vedly k řadě dalších inovací. Alto měl jako první systém oken a bitmapový displej, to znamená takový, který se neomezuje na zobrazování znaků. Počítače Alto byly sice na osobní počítače v dnešním smyslu příliš drahé, tehdy ale měl jeden takový každý výzkumný pracovník PARC.

Jedním problémem v té době bylo, jak tyto počítače vzájemně propojit a jak sdílet společná zařízení, například tiskárny. Řešení, které počátkem 70. let vymysleli Bob Metcalfe a David Boggs, byla síťová technologie, kterou nazvali *Ethernet*. Ethernet přenášel signály mezi počítači, které byly všechny připojeny k jedinému koaxiálnímu kabelu, podobnému tomu, který přivádí do domácností kabelovou televizi. Jako signály sloužily pulzy elektrického napětí a hodnoty bitů určovala úroveň nebo polarita napětí; v nejjednodušší verzi se používalo kladné napětí pro bit 1 a záporné napětí pro bit 0. Každý počítač byl připojen k ethernetu zařízením s vlastním identifikačním číslem. Když chtěl jeden počítač poslat zprávu druhému, chvíli „poslouchal“, zda nevysílá někdo jiný, a pak svůj vzkaz spolu s identifikačním číslem příjemce vyslal po kabelu. Zprávu sice zachytil každý připojený počítač, jejím čtením a zpracováním se však zabýval jen adresát.

Každé ethernetové zařízení má 48bitové identifikační číslo, které se liší od čísla všech ostatních zařízení a určuje jeho (ethernetovou) adresu. To umožňuje připojit celkem 2^{48} (zhruba $2,8 \times 10^{14}$) zařízení. Ethernetovou adresu svého počítače si snadno najdete – bývá vytištěna na zadní straně přístroje a mohou ji ukazovat programy jako „ipconfig“ na Windows nebo „ifconfig“ na počítačích Mac. Ethernetové adresy jsou vždy v šestnáctkové soustavě, tedy dvě číslice na bajt, takže je tvoří celkem 12 číslic. Hledejte něco jako 00:09:6B:D0:E7:05 (s dvojtečkami nebo bez nich); číslice budou samozřejmě jiné, protože toto je adresa jednoho z mých notebooků. Váš smartphone bude mít ethernetovou adresu pro Wi-Fi; najdete ji nejspíše v menu „Nastavení“.

Z toho, co jsme si před chvílí řekli o kabelových systémech, si jistě dovedeme představit, že ethernetová připojení budou mít podobné problémy jako ony – jak zajistit soukromí a jak řešit spory o omezenou kapacitu vedení.

S problémem kapacity se vypořádal jeden důmyslný trik: když síťové rozhraní začne vysílat, ale zjistí, že zrovna vysílá i někdo jiný, zastaví se, chvíli počká, a zkusí to znovu. Pokud je doba čekání zvolena náhodně a po nezdařených pokusech bude narůstat, nakonec se volné okénko vždy najde.

Otázka soukromí původně nehrála žádnou roli, protože v počátcích ethernetu byl každý zaměstnancem téže firmy a všichni pracovali v jedné malé budově. Dnes je však soukromí velmi významný problém. Softwarově můžeme nastavit rozhraní ethernetu do „promiskuitního režimu“, který zachytává obsah všech zpráv na síti, nejen těch, které jsou určeny našemu zařízení. To znamená, že můžeme snadno hledat zajímavý obsah, například nezašifrovaná hesla. Tento

„sniffing“ („čenicování“) býval běžným bezpečnostním problémem na ethernetových sítích na studentských kolejích. Řešením je šifrování paketů čili přenášených bloků dat, i když ne všechen provoz má šifrování nastaveno automaticky.

Se sniffingem můžeme experimentovat pomocí volně dostupného programu Wireshark, který zachytává a zobrazuje informace o veškerém ethernetovém provozu, včetně bezdrátového. Tu a tam ukazují Wireshark svým studentům, když se mi zdá, že se věnují spíše svým počítačům a telefonům než mně; to je alespoň na chvíli zaujme.

Informace se na ethernetu přenášejí po paketech. *Paket* je posloupnost bitů či bajtů, které obsahují informace v přesně definovaném formátu. Dá se to přirovnat k obálce s adresami odesílatele a příjemce, obsahem a různými dalšími informacemi; dobrou metaforou paketů jsou i standardizované balíky zasílatelských firem jako FedEx.

Uvidíme, že v podrobnostech formátu a obsahu paketů se sítě výrazně liší. Ethernetový paket (obrázek 8.1) má šestibajtové adresy zdroje a cíle, různé další informace a až zhruba 1 500 bajtů dat.

| | | | | |
|--------------------|------------------|--------------|--------------------------|------------------|
| zdrojová adresa | cílová adresa | délka dat | data (48-1 518 bajtů) | kontrola chyb |
|--------------------|------------------|--------------|--------------------------|------------------|

Obr. 8.1: Formát ethernetového paketu.

Ethernet je výjimečně úspěšnou technologií. Poté, co se z něj stal komerční produkt (ten z něj neudělal Xerox, ale Metcalfeova firma 3COM), se prodaly miliardy ethernetových zařízení. První verze běžela rychlostí 3 Mb/s, dnešní verze mají rychlosti od 100 Mb/s do 10 Gb/s. Stejně jako u modemů byla první ethernetová zařízení nešikovně objemná a drahá, dnes však ethernetové rozhraní tvoří jediný levný čip.

Ethernetové sítě mají omezený dosah, obvykle pár set metrů. Původní koaxiální kabel byl nahrazen osmídrátovým kabelem se standardním konektorem, jímž se každé zařízení připojuje k síťovému přepínači, který vysílá příchozí data na připojená zařízení. Zdířku pro takový konektor mívají běžně stolní počítače, objevuje se ale i na základnových stanicích mobilních sítí a kabelových či DSL modemech, které simulují chování ethernetu; mnohem méně už bývá taková zdířka na novějších noteboocích, které se opírají o bezdrátové připojení.

8.4 BEZDRÁTOVÉ SYSTÉMY

Ethernet má jednu podstatnou nevýhodu: potřebuje dráty, fyzické předměty, které procházejí stěnami, podlahou a někdy (mluvím z vlastní zkušenosti) se

musí táhnout halou, schodištěm, jídelnou a kuchyní až do obývacího pokoje. Počítač, který je na ethernetu, není snadné přemístit, a kdo se se svým notebookem rád natahuje na pohovce, tomu může být ethernetový kabel na obtíž.

Naštěstí máme možnost, jak si užívat výhod ethernetu bez jeho nedostatků - bezdrátové sítě. Bezdrátový systém používá k přenosu dat obvykle rádiové spektrum elektromagnetického záření, takže může fungovat všude tam, kde je dostatečný signál. Bezdrátové sítě mají dosah desítek až stovek metrů. Na rozdíl od infračerveného záření, jehož využívají dálkové ovladače televizorů, bezdrátový systém nemusí mít mezi zdrojem a příjemcem signálu volný prostor, protože rádiové vlny řadou materiálů procházejí, i když ne všemi. Hůře pronikají kovovými či betonovými stěnami a podlahami, takže v praxi může být jejich dosah o něco menší než v otevřeném prostoru.

Elektromagnetické záření, které bezdrátové systémy používají k přenosu signálů, je vlnění o určité frekvenci, měřené v hertzech (Hz), ačkoli u systémů, o nichž zde mluvíme, je to spíše v MHz nebo GHz - rozhlasová stanice vysílající na velmi krátkých vlnách má vysílací frekvenci například 107,7 MHz. Původní signál, který nese informace, se modulačním procesem přemění na nosnou vlnu. Například amplitudová modulace (AM) mění amplitudu čili sílu nosné vlny, zatímco frekvenční modulace (FM) mění frekvenci vlny kolem její střední hodnoty. Síla přijímaného signálu je přímo úměrná výkonu vysílače a nepřímo úměrná čtverci vzdálenosti mezi vysílačem a přijímačem; přijímač, který je od vysílače dvakrát dál než jiný, tedy dostává signál čtvrtinové síly. Rádiové vlny při procházení různými materiály slábnou, některé více než jiné. Za jinak stejných podmínek jsou vyšší frekvence pohlcovány více než nižší.

Bezdrátové systémy podléhají přísným pravidlům pro to, jaké rozpětí frekvencí - *spektrum* - mohou používat a jak velký výkon jejich vysílače mohou mít. Přidělování spektra provázejí spory, protože se vždy objevují konkurenční požadavky. Jednotlivé frekvence spektra přidělují vládní úřady a na mezinárodní úrovni tento provoz koordinuje Mezinárodní telekomunikační unie (ITU), což je specializovaná agentura OSN.

Standard bezdrátových systémů pro počítače má chytlavý název IEEE 802.11b/g/n/ac, častěji se ale setkáváme s pojmenováním *Wi-Fi*, což je ochranná známka odvětvového sdružení *Wi-Fi Alliance*. IEEE je Institut pro elektrotechnické a elektronické inženýrství, mezinárodní profesní organizace, která mimo jiné stanovuje standardy pro široké spektrum elektronických systémů, včetně bezdrátových sítí. 802.11 je číslo standardu pro *Wi-Fi* a má několik verzí: 802.11b má maximální přenosovou rychlost 11 Mb/s, standard 802.11g má maximální rychlost 54 Mb/s, 802.11n má 600 Mb/s a 802.11ac je rychlejší verzí 802.11n. Tato nominální maxima bývají zhruba dvojnásobkem prakticky dosažitelných rychlostí.

Bezdrátové zařízení kóduje digitální data do formy, v níž mohou být přenášena rádiovými vlnami. Typický systém standardu 802.11 se chová stejně jako ethernet. Jeho dosah bývá podobný a hlavní rozdíl pro uživatele spočívá v tom, že se nemusí potýkat s vedením.

Bezdrátová ethernetová zařízení vysílají na frekvencích kolem 2.4–2.5 GHz a novější verze 802.11 jsou i na 5 GHz. Pokud všechna bezdrátová zařízení používají totéž úzké frekvenční pásmo, jsou na obzoru spory. Horší je, když totéž přeplněné pásmo používají i jiná zařízení, například domácí bezdrátové telefony, lékařské přístroje, či dokonce mikrovlnné trouby.

Nyní si krátce popíšeme tři další široce používané bezdrátové systémy. Prvním z nich je Bluetooth, pojmenovaný podle dánského krále Haralda Modrozuba z 10. století a určený k příležitostné komunikaci na krátké vzdálenosti. Využívá totéž frekvenční pásmo 2,4 GHz jako jiné bezdrátové systémy standardu 802.11. V závislosti na výkonu má dosah od jednoho do sta metrů a přenosovou rychlost 1 až 3 Mb/s. Bluetooth se používá v dálkových ovladačích, bezdrátových mikrofonech, sluchátkách, klávesnicích, myších a herních ovladačích, tedy všude tam, kde je důležitá nízká spotřeba energie; najdeme jej rovněž v sadách hands-free pro používání mobilních telefonů v automobilech.

Dalším je RFID čili identifikace na rádiové frekvenci. Je to nízkoenergetická bezdrátová technologie, která se používá v elektronických dveřních zámčích, k identifikaci zboží, v automatických mýtných systémech, v pasech a dalších dokumentech a také v čipech implantovaných domácím zvířatům. Čip RFID je v podstatě malý rádiový přijímač a vysílač, který vysílá svou identifikaci v podobě proudů bitů. Pasivní čipy RFID nemají baterie a energii získávají z antény, která přijímá signál vyslaný čtečkou RFID. Tyto systémy používají širokou řadu frekvencí, obvyklým kmitočtem je ale 13,56 MHz. Čipy RFID umožňují potichu monitorovat věci i lidi. Velmi oblíbené jsou čipy implantované domácím mazlíčkům – má ho i naše kočka, aby se dala identifikovat, kdyby se ztratila – a jak se dá čekat, už se objevily návrhy takové čipy implantovat i lidem, pod dobrými i špatnými záminkami.

Posledním je GPS čili Global Positioning System (Globální polohovací systém). Je to důležitý jednosměrný bezdrátový systém, který běžně máme v automobilech nebo navigačních aplikacích ve svých telefonech. Družice GPS vysílají přesné časové značky a přijímače GPS využívají k výpočtu své polohy na zemi dobu, za kterou k nim dorazí signály ze tří až čtyř satelitů. Žádné vysílání opačným směrem se však neodehrává. Na tomto omylu se zakládají tvrzení, že GPS nějakým způsobem sleduje své uživatele. List *New York Times* otiskl před několika lety zprávu, podle níž „některé [mobilní telefony] se opírají o globální polohový systém čili GPS, který satelitům posílá signály, díky nimž je možné takřka přesně zjistit, kde se uživatel nachází“. To je naprostý nesmysl. Ke sledování pomocí

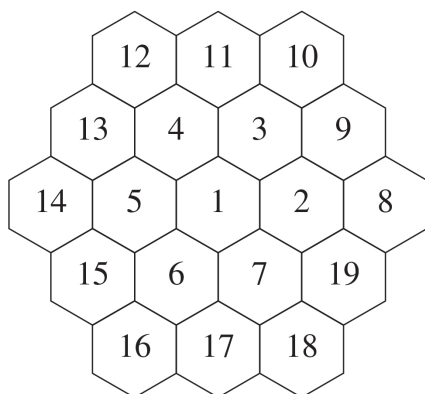
GPS jsou zapotřebí pozemní systémy, které vysílají údaje o své poloze, což jsou třeba mobilní telefony. Mobilní telefon, jak uvidíme dál, neustále komunikuje se základnovými stanicemi, takže může nepřetržitě hlásit (a také hlásí) naši polohu; s přijímačem GPS to jenom může dělat mnohem přesněji.

8.5 MOBILNÍ TELEFONY?

Nejrozšířenějšími bezdrátovými komunikačními systémy jsou mobilní telefony, jimž obvykle říkáme „mobily“; tato technologie ještě v 80. letech minulého století takřka neexistovala, nyní ji ale využívá skoro celá světová populace. Mobilní telefon je dokonalým ztělesněním toho, čemu se naše kniha věnuje – spojení zajímavého hardwaru, softwaru a komunikace, to vše doprovázeno celou řadou sociálních, ekonomických, politických a právních otázek a problémů.

První komerční systém mobilního telefonování vyvinula počátkem 80. let americká AT&T. Tehdejší telefony byly těžké a neskladné; reklamy v té době ukazovaly jejich uživatele, jak s sebou vláčejí kufrík s baterií a stojí vedle auta, na němž je připevněna anténa. Mobilní síť se odborně říká „celulární“, protože *základnové stanice*, které vysílají a přijímají rádiové signály mobilních telefonů, rozdělují území do „buněk“ (latinsky „cellula“) ve tvaru pomyslných šestiúhelníků (obrázek 8.2); základnová stanice pokrývá svou buňku a je kabely napojena na zbytek systému. Telefony komunikují s nejbližší stanicí, a když se přesunou z území jedné buňky ke druhé, dosavadní základnová stanice předává probíhající hovor další stanici; uživatelé obvykle ani netuší, že se něco takového děje.

Jelikož rádiový signál slábne se čtvercem vzdálenosti, mohou buňky, které spolu nesousedí, používat stejné frekvence pásma v rámci přiděleného spektra, aniž by docházelo k významnějším interferencím (rušení) signálů; díky tomuto



Obr. 8.2: Buňky sítě mobilních telefonů.

zjištění lze omezené spektrum používat velmi efektivně. Na schématu na obrázku 8.2 nemá základnová stanice 1 společné frekvence se základnovými stanicemi 2 až 7, může ale používat stejné frekvence jako stanice 8 až 19, protože ty jsou dost daleko na to, aby docházelo k rušení. Obrázek je ale pouze idealizací a konkrétní detaily budou záviset na různých faktorech, například na podobě antén.

Velikosti buněk jsou různé a pohybují se od několika set metrů po desítky kilometrů; závisí to na provozu, terénu, překážkách a podobných věcech.

Mobilní telefony jsou součástí celé telefonní sítě, k ní však nejsou připojeny kabelovým vedením, ale rádiovými signály prostřednictvím základnových stanic. Podstatou mobilních telefonů je mobilita čili pohyblivost. Mohou se pohybovat na velké vzdálenosti, často vysokou rychlostí, a mohou se najednou a bez varování objevovat na zcela jiných místech, například když je znovu zapneme po dlouhém letu.

Mobilní telefony sdílejí úzké spektrum rádiových frekvencí, jehož kapacita přenosu informací je omezená. Telefony musí pracovat s nízkým množstvím radiofrekvenční energie, protože používají baterie, a jejich vysílací výkon je omežován zákonem, aby nedocházelo k rušení. Čím má telefon větší baterii, tím déle vydrží fungovat mezi nabíjecími cykly, tím je ale také větší a těžší; je to další z dilemat „něco za něco“, která musejí výrobci řešit.

Celulární telefonní systémy používají v různých částech světa různá frekvenční pásma, nejčastěji je to ale kolem 900 a 1 800 MHz. Každé frekvenční pásmo je rozděleno na mnoho kanálů a každý hovor používá jeden kanál pro oba směry. Signalizační kanály, přes něž se navazuje a řídí spojení, sdílejí všechny telefony v buňce, a v některých systémech se používají rovněž pro textové zprávy a data.

Každý telefon má jedinečné 15místné identifikační číslo IMEI (International Mobile Equipment Identity), které je obdobou ethernetové adresy. Když telefon zapneme, přístroj vyše své číslo. To zaregistruje nejbližší základnová stanice a nechá je potvrdit svým řídicím systémem. Pokud se telefon pohybuje, základnové stanice sledují jeho polohu a hlásí ji řídicímu systému; když na tento telefon někdo zavolá, řídicí systém ví, která základnová stanice je s ním právě v kontaktu.

Telefony komunikují se základnovou stanicí s nejsilnějším signálem. Přístroj neustále upravuje svou energetickou úroveň - když je základnová stanice blíže, může spotřebovávat méně vlastní energie; to mu šetří baterii a omezuje možnost rušení s ostatními telefony. Udržování kontaktu se základnovou stanicí je energeticky mnohem méně náročné než telefonování - proto se doba, kdy je telefon jen v pohotovostním režimu, počítá na dny, kdežto doba, kdy z něj uživatel volá, se uvádí v hodinách. Pokud se telefon nachází v oblasti, kde je slabý signál nebo tam žádný není, spotřebuje svou baterii rychleji, protože stále vysílá na plný výkon, případně marně hledá nějakou základnovou stanicí.

Ve Spojených státech vedle sebe fungují dvě různé, navzájem nekompatibilní mobilní technologie. AT&T a T-Mobile používají GSM (Globální systém pro

mobilní komunikaci), evropský systém, který rozděluje frekvenční pásmo do úzkých kanálů a do každého pak v rámci takzvaného časového multiplexu vkládá několik hovorů, které se vysílají v krátkých intervalech zvaných časové sloty. GSM je nejpoužívanější systém mimo USA. Další američtí operátoři Verizon a Sprint používají systém CDMA (Code Division Multiple Access – kódový multiplex) a metodu „rozprostřeného spektra“, kdy se signál rozptýlí přes celé přidělené frekvenční pásmo, ale pro každý samostatný hovor je modulován jinou frekvenční změnou. Tato metoda má tu vlastnost, že většinou nedochází k žádné koncentrované interferenci mezi hovory, které všechny sdílejí totéž frekvenční pásmo.

Oba systémy používají datovou kompresi, aby vtěsnaly signál do co nejmenšího počtu bitů, a pak k němu přidávají korekci chyb, aby se vypořádaly s nevyhnutelnou chybovostí při posílání dat přes rádiové kanály zamořené rušením. K tomuto tématu se zakrátko vrátíme.

Mobilní telefony přinášejí složité politické a sociální problémy. Jedním z nich je rozhodně otázka přidělování spektra; v USA vláda omezuje používání přidělených frekvencí na nanejvýše dva operátory pro každé pásmo. Spektrum je tedy vysoce cenný zdroj.

Dalším problémem je rozmístování stožárů základnových stanic. Stožáry nepatří v krajině k nejhezčím stavbám; na obrázku 8.3 například vidíme stožár, který se snaží vypadat jako strom (anglicky se takovým výtvarům říká „Frankenpine“ – „Frankensteinův strom“). Řada obcí takové stavby na svém území odmítá, vysokou kvalitu telefonních služeb ovšem chtějí všichni.

Telefonní operátoři si ohledně umístění a stavby stanic obvykle prosadí svou, i když někdy až po dlouhých právních šarvátkách. Podotkneme, že nejvyšší stavbou v okolí bývá často kostelní věž a církve jsou v USA osvobozeny od daní, takže logické umístění antény vede občas k zajímavým místním diskusím.

Mobilní provoz je náchylný k cíleným útokům pomocí sledovacího zařízení zvaného *stingray*, což je generický název odvozený od komerčního produktu „Sting-Ray“. Stingray se chová jako základnová stanice, aby mobilní telefony v okolí komunikovaly místo skutečných stanic s ním. Zařízení lze využít k pasivnímu sledování i aktivnímu ovlivňování telefonní komunikace (útokům typu *man-in-the-middle*). Telefony jsou nastaveny na komunikaci se základnovou stanicí, která v daném místě dodává nejsilnější signál; stingray se tak dá použít v malé oblasti, v jejímž rámci může nabízet silnější signál než řádná základnová stanice.

Stingray podle všeho stále masivněji nasazují americké vládní bezpečnostní agentury, snaží se to ale udržet v tajnosti, popřípadě o tom aspoň příliš nemluvit, není totiž jisté, zda je jeho využití k získávání informací o potenciální trestné činnosti vůbec legální.³

Na sociální úroveň vyvolaly mobilní telefony revoluci v řadě aspektů života. Teenageři posílají stovky i tisíce textových zpráv denně, a jelikož zprostředkování



Obr. 8.3: Stožár mobilní základnové stanice maskovaný (dost chabě) jako strom.

textové zprávy operátory skoro nic nestojí, jsou pro telefonní společnosti lukrativním zdrojem vysokých zisků. Chytré telefony jako iPhone nebo přístroje na platformě Android transformovaly obor komunikace – lidé už je používají méně k telefonování než ke všemu ostatnímu – a to změnilo i svět softwaru. Smartphony se i přes relativně malé displeje staly významnou branou k internetu, protože mají prohlížeče a elektronickou poštu, umožňují nakupovat, poskytují přístup k zábavě a sociálním sítím. Dochází dokonce k určité konvergenci mezi notebooky a mobilními telefony – telefony jsou stále výkonnější, a přitom zůstávají dokonale přenosné. Smartphony rovněž pohlcují funkce jiných zařízení, od hodinek a telefonních seznamů po kamery, navigaci GPS a přehrávače hudby a filmů.

Ke stahování filmů na telefon nebo tablet je zapotřebí značná přenosová rychlost. Se stále širším využíváním těchto mobilních přístrojů se bude dál zvyšovat nápor na stávající infrastrukturu. Američtí operátoři doplňují své datové plány cenami podle množství stahovaných dat a limity na stahování, údajně aby krotili „datové zhrouty“, kteří si stahují celovečerní filmy. Tyto limity však nechávají v platnosti i za slabého provozu. Uživatelé také mohou připojit notebook k telefonu takzvaným „tetheringem“, kdy se počítač připojuje k internetu přes telefon. Ani to operátoři nevidí rádi a odpovídají na to limity a příplatky, protože tato praxe může blokovat značnou část sdíleného pásma.