

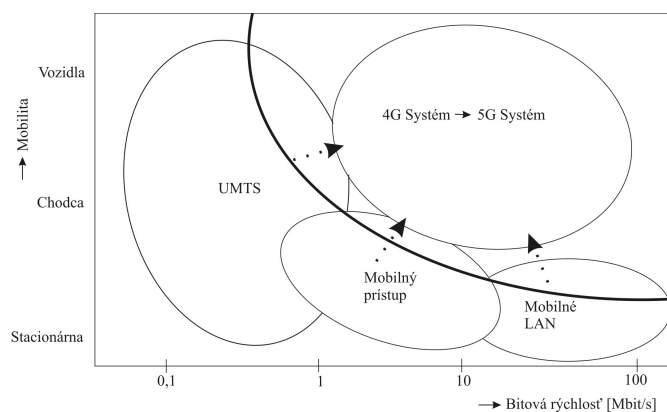


REFERÁTY

Videokomunikácie v mobilných sieťach

1 Úvod

Začiatky rozvoja mobilných komunikačných služieb boli v 1980-tich rokoch na báze analógových systémov. Preto tieto predstavujú prvú generáciu mobilných systémov, ktoré umožňovali telefónne služby. Ešte predtým sa začal rozvoj číslicových (digitálnych) celulárnych mobilných (bezdrôtových) služieb. Potom v 1990-tich rokoch v číslicových celulárnych (mobilných) telefónnych sieťach [1] mobilné systémy druhej generácie GSM (Global System for Mobile Communications) umožňovali tie isté telefónne služby s bitovými rýchlosťami 10 – 15 kbit/s. Takéto rýchlosti však neboli postačujúce pre realizáciu videoslужieb. Preto v roku 2000 bol štandardizovaný mobilný systém tretej generácie (3G), akým je UMTS (Universal Mobile Telecommunications System), ktorý umožňuje videokomunikácie s bitovou rýchlosťou až do 2 Mbit/s v prostredí s nízkou mobilitou a len s 144 kbit/s v prostredí s vysokou mobilitou. Z tohto vyplýva, že 3G mobilné systémy neumožňujú širokopásmové videoslужby [2], pretože ich prípustné bitové rýchlosti sú obmedzené, ale na druhej strane umožňujú úplnú mobilitu. Pritom je uvažovaná mobilita chodca (niekoľko m/s), vozidla (okolo 100 m/s), a stacionárna s rýchlosťou menšou ako je rýchlosť chodca, ale je možná aj vysokorýchlostná (stovky km/s). Na **obr. 1** sú znázornené oblasti bitových rýchlostí v závislosti od mobility aj nasledovných mobilných komunikačných systémov vo vzťahu k UMTS. Z tohto obrázka vidno, že 4G (5G) mobilné systémy [3] ako aj siete mobilného (bezdrôtového) prístupu (do Internetu) [4] a LAN sa vyznačujú vyššími bitovými rýchlosťami umožňujúce širokopásmové videoslужby (2 až 20 Mbit/s) ako vo fixných sieťach, ale na druhej strane majú obmedzenú mobilitu.



Obr. 1. Oblasť bitových rýchlostí v závislosti od mobility jednotlivých mobilných komunikačných systémov.

Vo všeobecnosti mobilné siete neumožňujú garantovanú kvalitu videokomunikácií (videoslужieb) [5], pretože v nich dochádza k vysokým chybovým bitovým rýchlostiam, spôsobeným signálovými únikmi. Pritom prenosové chyby ich mobilných rádiových kanálov sú chyby jednotlivých bitov

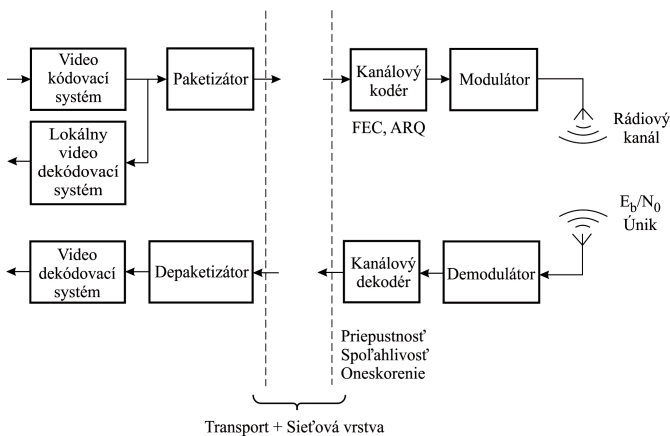
alebo zhluky (bursty) týchto chýb až po striedavú (prerušovanú) stratu spojenia. Klasické techniky FEC (Forward Error Correction) [6] potlačania týchto prenosových chýb sú obmedzené širokými zmenami chybových podmienok. Viacej účinné sú techniky ARQ (Automatic Repeat reQuest) [7], ktoré používajú retransmisiu skreslených (poškodených) snímok videosekvencie. Na druhej strane toto spôsobuje prídavné oneskorenie, čo by mohlo byť neakceptovateľné pre videokomunikácie v reálnom čase. Ani kombinácie týchto techník neumožňujú úplne vylúčiť prenosové chyby v mobilných rádiových kanáloch. Z tohto dôvodu návrh prenosu videosignálu v mobilnom rádiovom kanáli využíva kompromis medzi redundanciou kanálového kódovania, ktorá chráni bitový tok videosignálu, a redundanciou zdrojového kódovania, ktorá je zámerne zavedená za účelom väčšej chybovej odolnosti video dekódovacieho systému.

2 Rádiový videokomunikačný systém

Na **obr. 2** je znázornená základná bloková schéma rádiového videokomunikačného systému [8]. Diskrétny priestorovo-časový vstupný videosignál je privedený do video kódovacieho systému, ktorý je charakterizovaný pomocou funkcie rýchlostného skreslenia $D_k(m_k)$. Táto udáva jeho priemerné skreslenie D_k pre strednú bitovú rýchlosť m_k . Potom na výstupe lokálneho video dekódovacieho systému s touto bitovou rýchlosťou m_k dostaneme rekonštruovaný videosignál so skreslením D_k . Po zdrojovom kódovaní vstupného videosignálu v tomto video kódovacom systéme sa jeho výstupný bitový tok upravuje pre prenos v mobilnej sieti. Častokrát sa používa jeho paketovanie, čo súvisí s prenosom tohto bitového toku pomocou IP (Internet Protocol) [9]. Potom paketovaný videosignál sa vedie do kanálového kodéra, ktorého súčasťou sú aj techniky FEC alebo ARQ na kontrolu prenosových chýb. Nakoniec bitový tok z výstupu kanálového kodéra postupuje do modulátora, z ktorého výstupu dostaneme jeho modulovanú analógovú reprezentáciu vhodnú pre jeho prenos rádiovým kanálom. Veľmi často sa definuje pomer bitovej energie ku výkonu šumu rádiového kanála pomocou E_b/N_o , ktorý charakterizuje jeho šumové vlastnosti. Pritom E_b predstavuje energiu použitú na prenos každého bitu a N_o zasa výkon šumu v rádiovom kanáli. Na prijímacej strane po demodulácii prijatého signálu kanálový dekódér za pomoci FEC alebo ARQ opravných techník obnovuje paketovaný videosignál. Tento je spätne depaketovaný a nakoniec dekódovaný vo video dekódovacom systéme.

Kombinácia kanálového kodeka, modulátora/demodulátora a rádiového kanála predstavuje chybovo-kontrolovaný kanál. V ideálnom prípade by mal byť binárnou linkou bez chýb s garantovanou bitovou rýchlosťou a maximálnym oneskorením do video dekódovacieho systému. V skutočnosti efektívnosť kanálového kódovania je limitovaná v mobilnom prostredí, keď údaje musia byť vysielané s malým oneskorením. Vtedy sa môže dosiahnuť len kompromis medzi spoľahlivosťou, priepustnosťou a oneskorením. Tento kompromis je typický pre komunikácie cez šumové kanály, akým je aj rádiový kanál, a musí byť uvažovaný pri návrhu rádiového

videokomunikačného systému. Pretože chybovo-kontrolovaný kanál musí vyvážiť spoľahlivosť, priepustnosť a oneskorenie, tak nejaké zvyškové (reziduálne) prenosové chyby obvykle zostávajú aj po kanálovom dekódovaní, najmä pre aplikácie s malým oneskorením. V takomto prípade video dekódovací systém musí byť schopný spracovať aj chybný bitový tok. Potom tieto zvyškové (reziduálne) chyby spôsobujú dodatočné skreslenie ΔD v dekódovanom videosignáli, takže jeho totálne skreslenie bude $D_d = D_k + \Delta D$. Z tohto možno odvodiť aj vzťah medzi príslušnými špičkovými pomermi S/\bar{S} , t.j. $S/\bar{S}_d = S/\bar{S}_k - \Delta S/\bar{S}$.



Obr. 2. Základná blokovaná schéma rádiového videokomunikačného systému.

Vo všeobecnosti rádiovému videokomunikačnému systému na obr. 2 zodpovedá celková (konštantná) bitová rýchlosť $m_c = m_k + m_r$, kde m_k je bitová rýchlosť video kódovacieho systému a m_r je doplnková bitová rýchlosť. Potom pre $m_k \leq m_c$ sa môže m_r použiť ako informácia kontroly chýb na zvýšenie spoľahlivosti prenosu cez rádiový kanál a tak redukovať reziduálnu chybovú rýchlosť (RCHR), ktorá predstavuje pravdepodobnosť reziduálnych chýb po kanálovom dekódovaní. Z tohto vyplýva základný kompromis medzi priepustnosťou a spoľahlivosťou rádiového kanála vzhľadom na bitovú alokáciu medzi zdrojové a kanálové kódovanie. V prípade znižovania m_k dochádza k degradácii kvality videa bez ohľadu na prenosové chyby, ale na druhej strane narastá m_r , pri konštantnej m_c , čo má za následok znižovanie RCHR. Pretože RCHR je dôležitým parametrom chybovo-kontrolovaného kanála, t.j. kanálového kodeka, modulátora/demodulátora a rádiového kanála, bude veľkosť znižovania RCHR závisieť od jeho vlastností. V konečnom znižovaní RCHR spôsobuje redukcii stratového $\Delta S/\bar{S}$, resp. zvyšovanie S/\bar{S}_d , t.j. kvality dekódovaného videosignálu na výstupe video dekódovacieho systému.

3 Mobilný rádiový kanál

V mobilnom rádiovom kanáli okrem pohlcovania (absorption) je šírenie elektromagnetického vlnenia ovplyvňované ďalšími tromi činiteľmi: odrazom (reflection), ohýbaním (diffraction) a rozptyľovaním (scattering). V spojení s mobilitou vysielača a/alebo prijímača tieto činitele spôsobujú jeho šírenie s časovo-premenlivým oneskorením alebo spektrálnym rozširovaním (rozptyl), čo znehodnocuje samotný prenos [10]. Keď sa mobilný videoterminál pohybuje na veľkej oblasti, bude sa značne meniť vzdialenosť medzi rádiovým vysielačom

a prijímačom. Ďalej sa obvykle mení počet a druh objektov medzi vysielačom a prijímačom, čo spôsobuje tienenie. Vo vonkajšom prostredí sú to kopce, lesy, budovy a vo vnútro- nom prostredí steny, povyaly atď. Toto všetko zapríčiňuje útlm (únik) výkonu rádiosignálu a teda prenosové straty. Okrem týchto prenosových strát, malé zmeny pozície môžu značne (dramaticky) meniť výkon (energiu) rádiosignálu. Tieto úniky výkonu v mobilných rádiokomunikáciách sú predovšetkým spôsobené mnohocestným šírením, ku ktorému dochádza medzi vysielačom a prijímačom s rôznym odrazom. Vtedy každý odrazený rádiosignál prichádza z rôznych smerov s iným oneskorením, čo pre úzkopásmové signály spôsobuje rozdielny útlm ako aj fázový posuv. Potom superpozícia takýchto signálov môže zapríčiniť konštruktívne a deštruktívne interferencie meniace sa v malom rozsahu (menšom ako je vlnová dĺžka). Pre mobilný prijímač takáto priestorovo premenlivá intenzita signálu je vnímaná ako časovo premenlivý rádiový kanál, v ktorom rýchlosť mobilného terminálu určuje jeho rýchlosť fluktuácií [11]. Závažným problémom mnohocestného šírenia rádiového signálu je rozptyl časového oneskorenia. Pre jednotlivý vysielačový impulz, čas T_m medzi jeho prvou a poslednou prijatou zložkou významnej amplitúdy predstavuje maximálne rozdielové oneskorenie. Tento je dôležitým parametrom rádiového kanála, pretože ak je väčší ako doba T_s prenášaného symbolu (impulzu), tak spôsobuje medzisymbolovú interferenciu. V opačnom prípade dochádza len k symbolovej interferencii.

Podobne so vznikom rozptylu prijímaného signálu v časovej oblasti bude v mobilnom rádiovom kanáli dochádzať aj k jeho rozptylu vo frekvenčnej oblasti. Pre jednoduchý harmonický signál, mobilný prijímač môže mnohonásobne prijať signály s posunutými frekvenciami. Tento spektrálny rozptyl je zapríčinený Dopplerovým posunom elektromagnetického vlnenia, keď je pozorované z pohybujúceho sa objektu. Veľkosť posunu pre každú odrazovú cestu bude závisieť od dopadajúceho smeru vo vzťahu k vektoru pohybu prijímača. Maximálna veľkosť (frekvenčného) posunu sa nazýva Dopplerovou frekvenciou, ktorá je daná podielom mobilnej rýchlosti a vlnovej dĺžky nosné. Potom spektrálny rozptyl bude tiež ovplyvňovať časovo-premenlivé vlastnosti rádiového kanála.

Vo všeobecnosti mobilný rádiový prenos [12] je ovplyvňovaný časovo-premenlivými podmienkami rádiového kanála vo veľkom alebo malom priestore (rozsahu). Tieto zmeny sú hlavne spôsobené pohybom vysielača alebo prijímača, ktorý takto mení vlastnosti prenosových ciest. Toto má za následok nielen chyby jednotlivých bitov, ale aj ich objavovanie v celých zhlukoch (burstoch), ba dokonca stratu synchronizácie, ktorá môže spôsobiť občasnú (prerušovanú) stratu spojenia.

4 Modulácie a kanálové kódovanie s kontrolou chýb

Za účelom efektívneho prenosu kódovaného videosignálu jeho bitový tok nie je priamo privádzaný do antény rádiového videokomunikačného systému. Tento je najprv vedený do modulátora, kde moduluje nosný harmonický signál a potom sa už modulovaný signál vysiela do rádiového kanála. Pritom možno použiť vhodné diskkrétne (digitálne) modulácie [13] s moduláciou amplitúdy, fázy a/alebo frekvencie nosného signálu, známe ako kľúčovanie. Napr. pre najjednoduchší

prípade, kedy jeden symbol korešponduje s jedným bitom, tak binárne fázové kľúčovanie komutuje medzi dvoma harmonickými signálmi s rovnakou amplitúdou aj frekvenciou, ale s fázovým posunom o 180 stupňov. V prípade digitálnych modulácií vyšších rádov komutácia sa uskutočňuje medzi väčším počtom harmonických signálov, čo umožňuje poskytnúť vyššiu bitovú rýchlosť pre rovnaký interval trvania symbolu. Na druhej strane tieto majú menšiu odolnosť (robustnosť) voči šumu pre rovnaký priemerný prenosový výkon (energiu). Samotný výber vhodnej digitálnej modulácie a ich možných kombinácií sa preto stáva dôležitou súčasťou návrhu rádiového videokomunikačného systému.

Medzi dve základné kategórie kanálového kódovania s kontrolou chýb patrí FEC a ARQ. FEC môže byť implementované ako blokové alebo konvolučné kódovanie. Hoci tieto sú v podstate iné, tak sú založené na rovnakom princípe. Vo vysielaní sa vloží do bitového toku kontrolná informácia o parite tak, že prijímač môže detekovať a eventuálne (prípadne) opraviť chyby, ktoré sa objavujú v dobe vysielania (prenosu). Množstvo tejto vlozenej redundantnej informácie sa obvykle vyjadruje pomocou bitovej rýchlosti kanálového kódovania. Najviac používané blokové kódy sú: Reed-Solomon (RS), Bose-Chaudhuri-Hocquenghem (BCH), Reed-Muller a Golay kódy. Pre ne s narastajúcou dĺžkou bloku bitov sa účinnosť opravy chýb zväčšuje, ale na druhej strane narastá oneskorenie. Pretože pre videokomunikácie má byť toto oneskorenie menšie ako 250 ms, tak voľba dĺžky bloku je obmedzená. Potom pri obmedzenej dĺžke bloku, FEC sa stáva menej spôsobilé, ak v prenosovom kanáli sa objavujú zhľuky (bursty) chýb. V takomto prípade určité zlepšenie možno dosiahnuť pre FEC s prekladaním (interleaving) blokov [6].

Iné techniky kontroly chýb, ktoré zväčšujú spoľahlivosť prenosu na úkor oneskorenia a priepustnosti sú ARQ. Tieto na rozdiel od FEC požadujú spätnoväzobný kanál z prijímača do vysielateľa. V prijímači sa prichádzajúci bitový tok najprv zoskupuje do blokov, podobne ako pre FEC. Pritom každý blok je rozšírený o hlavičku, včítane sekvenčného čísla a chybového detekčného kódu na konci každého bloku. Potom táto informácia je v prijímači použitá pre detekciu chýb a na požiadavku o opätovné vyslanie (vysielanie) poškodeného bloku pomocou pozitívneho alebo negatívneho príkazu vysielaného v spätnoväzobnom kanáli. Obvykle sa opätovné vyslanie poškodeného bloku uskutočňuje dotedy, pokiaľ nie je prijatý bezchybne alebo nedôjde k prekročeniu povoleného času na opravu. Existujú tri základné techniky ARQ: Stop and Wait (SW), Go Back N (GN) a Selective Repeat (SR) [7]. Iné možnosti ako zlepšiť ARQ sú v možných kombináciách s FEC dávajúc hybridné ARQ.

Mobilné videokomunikácie sa uskutočňujú na pozadí pevných (fixných) sietí, kedy na prenos videosignálov cez mobilné a fixné siete sú potrebné spoločné protokoly. Tieto zodpovedajú IP protokolu, pre ktorý v mobilnej rádiovj sieti je potrebné vykonávať fragmentáciu a defragmentáciu IP paketov. Pretože v mobilných rádiových sieťach sa používajú rámcové veľkosti omnoho menšie než maximálne možné veľkosti IP paketov, tak tieto najprv musia byť fragmentované na menšie rámce (FEC bloky) za účelom ich prenosu a potom spätne defragmentované v prijímači. Pritom, ak sa poškodí pri rádiovom prenose akýkoľvek fragment dát, tak ten spôsobí poškodenie celého IP paketu a týmto znásobujúc rýchlosť strát paketov. Aby nebola potrebná fragmentácia paketov, tak

pre ich rádiový prenos by bolo žiaduce nastaviť im minimálnu veľkosť, čo nie je vždy možné vzhľadom na dostupnú informáciu v termináli.

5 Záver

V tomto referáte najprv uvádzame rozdelenie mobilných systémov do jednotlivých generácií. Vo všeobecnosti mobilné siete neumožňujú garantovanú kvalitu videokomunikácií. Z tohto dôvodu návrh prenosu videosignálu v mobilnom rádiovom kanáli využíva kompromis medzi redundanciou kanálového kódovania a redundanciou zdrojového kódovania. Potom pojednávame o mobilnom rádiovom videokomunikačnom systéme, ktorého súčasťou sú aj techniky FEC alebo ARQ na kontrolu prenosových chýb a modulátory pre analogový prenos rádiovým kanálom. Na základe toho rozoberáme vlastnosti mobilného rádiového kanála, ktorý je ovplyvňovaný jeho časovo-premenlivými podmienkami vo veľkom alebo malom priestore. Nakoniec uvádzame aj používané diskrétné modulácie ako aj techniky kontroly chýb.

Prof. Ing. Ján Mihalík, PhD.

Literatúra

- [1] Lee, W. C. Y. *Mobile Cellular Telecommunications*. McGraw-Hill, 1995.
- [2] Wesel, E. K. *Wireless Multimedia Communications*. Addison-Wesley, 1997.
- [3] Wang, H., Kondi, L. P., Luthra, A., Ci, S. *4G Wireless Video Communications*. John Wiley & Sons, 2009.
- [4] Perkins, Ch. E. Mobile Networking through Mobile IP. *IEEE Internet Computing*, 1998, vol. 2, no. 1, p. 58 - 69.
- [5] Bahl, P., Girod, B. (eds). Special Section on Wireless Video. *IEEE Communication Magazine*, 1998, vol. 36, no. 6, pp. 92 - 151.
- [6] Wang, Y., Zhu, Q. F. Error Control and Concealment for Video Communication: A Review. *Proceedings of the IEEE*, 1998, vol. 86, no. 5, pp. 974 - 997.
- [7] Girod, B., Färber, N. Feedback-Based Error Control for Mobile Video Transmission. Special Issue on Video for Mobile Multimedia. *Proceedings of the IEEE*, 1999, vol. 97, no. 10, pp. 1707 - 1723.
- [8] Girod, B., Fäber, N. *Wireless Video. Compressed Video Over Networks (Reibman, A. R. - Sun, M. T., Eds)*. New York, NY: Marcel Dekker, 2000.
- [9] Mihalík, J. Videokomunikácie na Internete. *Slaboproudý obzor*, 2016, roč. 72, č. 4, s. 9 - 13.
- [10] Special Issue on Mobile Radio Centennial. *Proceedings of the IEEE*, 1998, vol. 86, no. 7.
- [11] Sklar, B. Rayleigh Fading Channels in Mobile Digital Communication Systems, Part I: Characterization. *IEEE Communication Magazine*, 1997, vol. 35, no. 9, pp. 136 - 146.
- [12] Steele, R. *Mobile Radio Communications*. Pentech Press, London, 1992.
- [13] Bingham, J. Multicarrier Modulation for Data Transmission: An Idea Whose Time Has Come. *IEEE Communication Magazine*, 1990, vol. 28, no. 5, pp. 5 - 14.