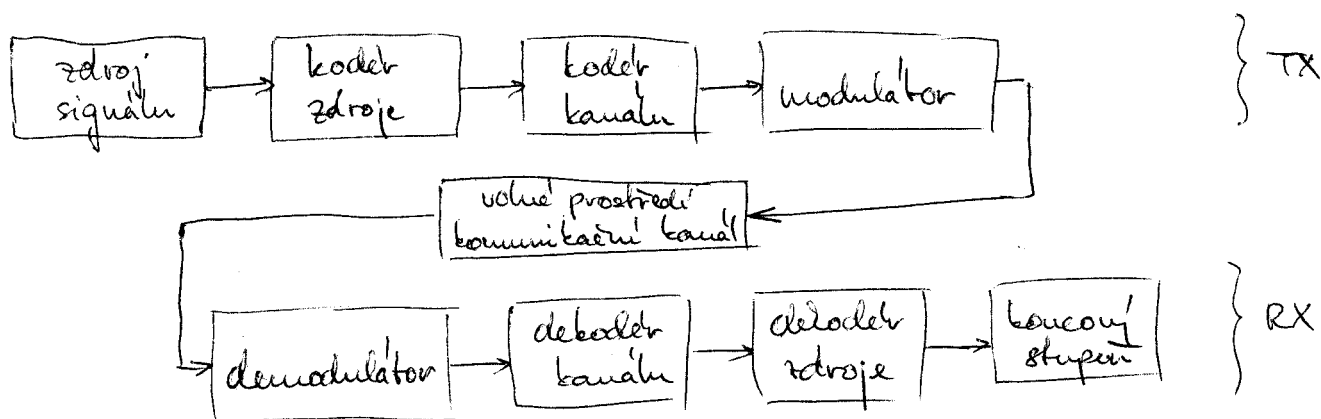


① Popište obecné blokové schéma digitálního radiokomunikačního systému a vysvětlete funkci jednotlivých bloků.



- kodek zdroje
 - odstranění redundance a irelevance, příp. A/D převod
 - zdrojové kódování trasy vlny, parametrické zdrojové kódování, transformační kódování MPEG a JPEG, hybridní kódování
- kodek kanálu
 - zabezpečení proti chybám (detekční, blokové a konvoluční kódy)
 - interleaving
- modulátor
 - modifikace PSK, FSK (nPSK, nQAM, MSK, GMSK)
 - vícecestové modulace (vyšší přenosová rychlost, šetřící demodulace)
- koncový stupeň PA, anténa
- systémový útlopásmové ($S/N \gg 1$, $C/B_0 < 1 \text{ bit/s/Hz}$), širokopásmové ($S/N < 1$, $C/B_0 \rightarrow 1,413 \text{ bit/s/Hz}$)
- přenosová kapacita kanálu $C = B \log_2(1 + S/N) \text{ [bit/s]}$

② Popište základní operace při zpracování signálů v systémech mobilní komunikaci. U každé operace (zdrojové kódování, kanálové kódování, prokládání a digitální modulace) uveďte několik konkrétních příkladů.

• zdrojové kódování (odstranění redundance a irelevance)

- hovorové signály
 - kódování frází: PCM, DPCM, DM, ADM, ADPCM
 - parametrické kódování: syntetizátor - vokodér, $< 4 \text{ kbit/s}$
 - hybridní kódování: kombinace (v kodéru i dekodéru, rozdíl se přenáší, dělení podle způsobu buzení - multiimpulsní MPE, regulární PPE, kódové CELP)
- aluské signály (maslovací jev, maslovací práh, subpásmové kódování, sequentace, psychoakustický model, MPEG 1 a 2)
- obrazové signály
 - JPEG (bloky 8×8 , DCT, kvantování, Huffmanovo kódování)
 - MPEG (smíšený I, P, B; u MPEG4 vektorový polybu)

• kanálové kódování (zabezpečení proti chybám přenosu)

- podstatou zabezpečení úmyslné zvýšení redundance
- dělení kódy (pouze identifikace, nutný zpětný kanál)
- blokové kódy (kódový poměr $R = \text{před}/\text{po}$)
 - Fireho kódy (paging, GSM signalizace)
 - Hammingovy kódy
 - cyklické kódy (GSM, proti sklonům dyb), Reed-Solomonovy (nad bajty - vnější kód)
- konvoluční kódy (přidávají redundanci zvýšením přenosové rychlosti, konvoluce inputu odezvy kodéru s bitovým točem; generující mnohočetný, dekodování Viterbiho algoritmem)
- interleaving (ochrana před skupinovými chybami rozprostřením)

• digitální modulace

- základní modulace ASK, FSK, PSK; dvoustavové/vícestavové
- bitová rychlost f_b , symbolová rychlost $f_s = f_b/n$, chybovost bitová BER, symbolová SER, účinnost energetická, spektrální $\{b, Hz/Hz\}$
- QPSK (čtyřstavové fázové kódy, AM 100%), modifikace O-QPSK (zpoždění Q o bit, AM 30%), modifikace $\pi/4$ -QPSK (dibitům přidává $\Delta\varphi$ nosné)
- MSK (spojitá změna fáze, $\Delta\varphi$ za T_b je π ; kl. blok zůstává u PSK, ale postranní klesají výškou), modifikace GMSK (MSK s Gaussovou DP $\Rightarrow$ potlačení postranních lobeů)

③ Systémy s mnohonásobným přístupem a metody multiplexování. U každého přístupu uveďte jeho výhody a nevýhody.

• kmitočtové dělení FDMA

- nejstarší metoda, už u analog. systémů
- nevyžaduje synchronizaci
- malé využití kapacity kanálu
- kanál: číslo, šíř. kmitočt., šířka pásma

• časové dělení TDMA

- přenos neprobíhá spojitě, vyžaduje synchronizaci
- komunikace v time-slotech
- dříve přenos digitálních hlř. signálů, dnes GSM (8 timeslotů v rámci TDMA)

• kódové dělení CDMA

- systémy s rozptýřeným spektrem
- přímá modulace kódovou posloupností DSSS (nosná přímo modulována digitálním signálem o číkové rychlosti)
- kmitočtové slábnutí nosné FHSS (kmitočt. nosné se přeladuje podle PNK)
- odolnost proti šitokopásmovému i úškopásmovému rušení
- utajení (projevuje se zvýšením šumu)
- používá v "CDMA", UMTS

• náhodný přístup ALOHA

- možnost kolize $\Rightarrow$ vstup účastníka do systému není omezený
- opalovaný náhodný přístup (všedny vstupy náhodné)
- náhodný přístup s rezervací (první vstup náhodný, další již řízený)
- používá v družicových systémech

④ Způsoby přenosu (simplex, duplex) a typy spojení (komutované a paketové).

• Způsoby přenosu

- simplex (jednosměrný, např. TV, R, paging)
- poloduplex (přepínání směru, PMR)
- duplex (současná komunikace oběma směry, radiotelefonní systémy)
 - FDD: různé rádiové kanály, duplexer, downlink/uplink
 - TDD: různé kmitočty v jediném kanálu, pulsní charakter; dopravní zpoždění (Guard Time) $\Rightarrow$ omezení vzdálenosti

• Typy spojení

- komutované spojení

- po navázání je pro spojení využíván jediný kanál
- výhody: pořádková kvalita, konstantní parametry přenosu
- nevýhody: neefektivní využití, kanál obsazen i když nejsou přenášena data
- pro digitální signály synchronní přenosový mód SDM

- paketové spojení

- přenos paketů s hlavičkou
- služba bez spojení (směrování jednotlivých paketů po různých kanálech $\Rightarrow$ nutná řazení; vhodné pro malé objemy dat)
- služba se spojením (první paket vytváří a rezervuje virtuální okruh, vhodné pro velké objemy dat)
- možné konfliktace při komunikaci v reálném čase
- asynchronní mód ATM (pevná délka paketu, vysoká rychlost 155 Mbit/s)

⑤ Popište strukturu obecné bunčové sítě a uveďte její hlavní výhody. Vysvětlete pojem „handover“ a popište jeho různé typy.

- bunčková struktura (efektivní hospodaření se spektrem mnohonásobným opalováním kmitočtu v obsluhované oblasti)
 - pikobunč (50m), mikrobunč (1km), makrobunč (desítky km), umbrella cells (nad pico/mikro.)
 - „včelí plátek“ (opalování kmitočtu po sedmicích $\Rightarrow$ dvě bunčy sousedních sítí využívající stejné kmitočty jsou vzdálené cca $5 \times$ ekvivalentní ploché bunčy $\Rightarrow$ nemusí se)
 - Fixed Channel Allocation FCA - pevné přidělování kanálů $\uparrow$; sektonizace (3/6 sektonů), předrytí (přidání dalších menších bunčů)
 - Dynamic Channel Allocation DCA - dynamické přidělování kanálů, každá BTS má přístup ke všem kanálům sítě, použitý kanál nesmí být užíván vedlejší bunčou $\Rightarrow$ nutnost monitorování
 - návrh umístění BTS (pomocí počítače, využívá digitální mapu terénu)
- handover (přepnutí spojení na jiný kanál během komunikace)
 - dle průběhu přepínání:
 - tvrdý HO (nejdříve odpojení, pak připojení, přerušeno ~ 100 ms - hovoru uvidí)
 - bezesný seamless HO (nejdříve vytvoření nového spojení, pak odpojení - DECT)
 - měkký HO (MS připojena na všechny BTS - UMTS)
 - dle řízení HO:
 - síť řízení - NCHO (kvalitu mezi BTS, rozhoduje o přepnutí - NMT)
 - řízení MS - MCHO (kvalitu mezi BTS i MS, přepíná MS - DECT)
 - síť řízení s asistencí MS - MAHO (kvalitu mezi MS, předává BTS, která rozhoduje o přepnutí - GSM)

⑥ Popište rušivé vlivy působící na signál v systémech mobilních komunikací a uveďte možnosti jejich omezení.

• Dopplerův princip

- při vzájemném přibližování zdroje vlnění a pozorovatele je kmitočet přijímaného vlnění vyšší, při vzdalování nižší
- projevuje se odchylkou od frekvence nosné při pohybu MS, u GSM max. 250 km/h $\Rightarrow \Delta f = 200 \text{ Hz}$

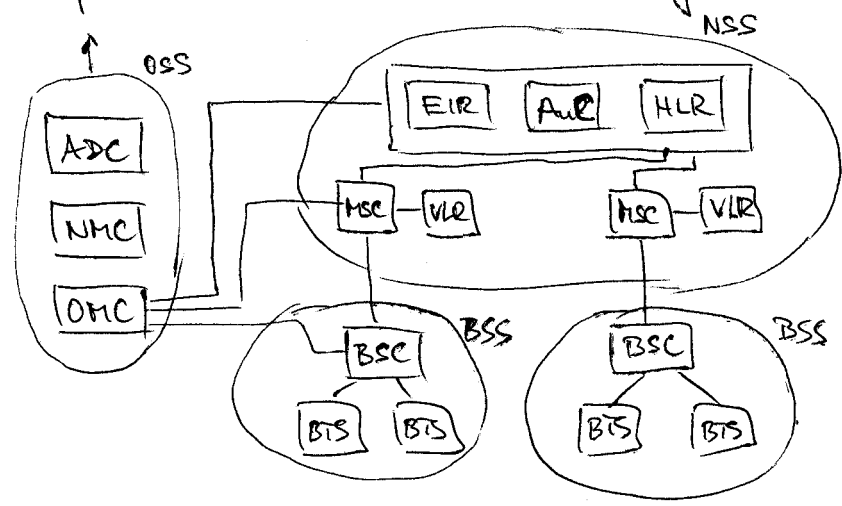
• Equalizace

- lineární zkrácení kanálu (úniky, rušení) lze kompenzovat v RX pomocí equalizačních obvodů s přenosovou fci $H_E(\omega) \sim H_{CH}^{-1}(\omega)$
- adaptivní equalizace (nastavení equalizátoru se mění v určitých časových intervalech)
- trellisová equalizace (vkládána do dat digit. systému $\Rightarrow$ nastavení adaptivního digitálního filtru $\Rightarrow$ minimalizace ISI $\Rightarrow$ BER)

• diverzitní příjem

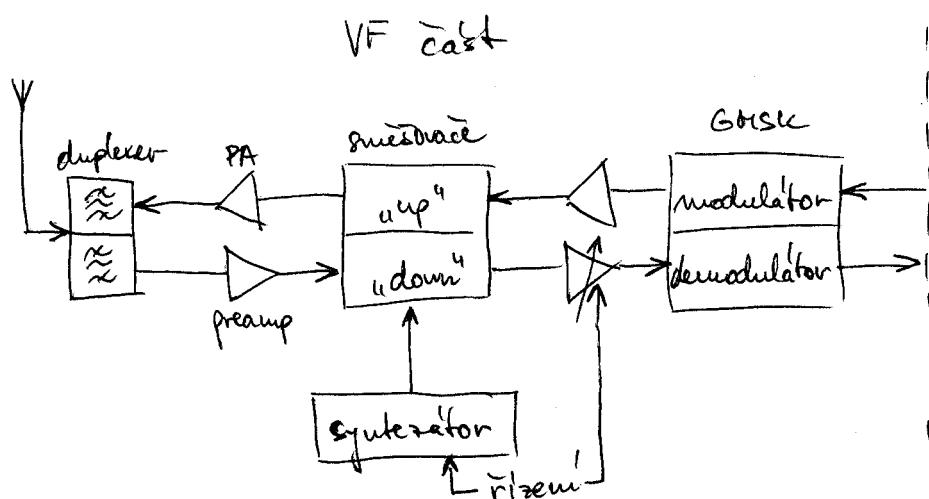
- řeší únik (fading) - kolísání signálu v místě příjmu
- diverzitní příjem - vytvoření více přenosových kanálů TX $\rightarrow$ RX s minimální vzájemnou korelací úniků
- únik pomalý (zastavení BIS $\Rightarrow$ handover), rychlý (mnohocestné šíření $\Rightarrow$ frekv. hopping)
- způsoby sdružování signálů: vážený součet "n", součet "n", nejlepší z "n"
- diverzitní systémy:
 - s prostorovým výběrem (u RX více antén)
 - s úhlovým výběrem (směrové antény - přijímají odražené signály)
 - s polarizačním výběrem (přenos zároveň s H i V polarizací)
 - s kmitočtovým výběrem (odstupy kmitočtů $\sim 3\%$ nosné, 1 anténa, více TX/RX)
 - s časovým výběrem (TDM se stejným obsahem informace; dlouhá doba přenosu)

7 Popište základní architekturu systému GSM



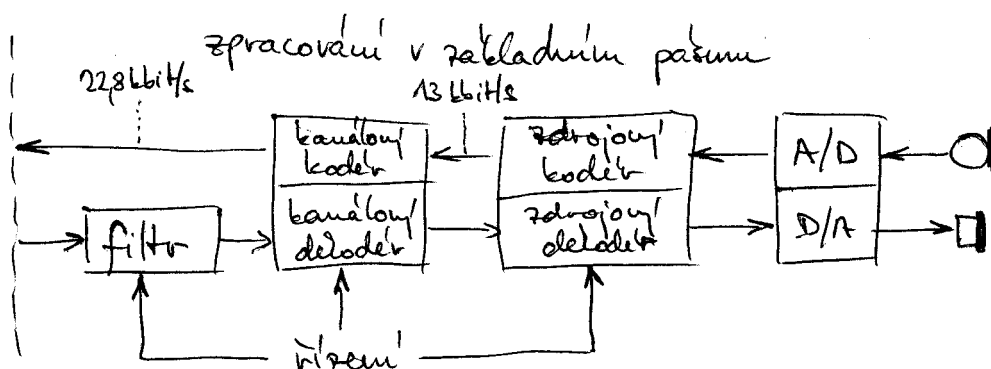
- BSS (Base Station System) - systém, s kterým komunikují MS
 - BTS (Base Transceiver Station)
 - BSC (Base Station Controller)
- NSS (Network & Switching Subsystem) - radiotelefonní ústředna
 - MSC (Mobile Switching Center)
 - HLR (Home Location Register) [info o užívatelích sítě, aktuální pozici]
 - VLR (Visitor Location Register) [info o MS v oblasti působnosti VLR]
 - AUC (Authentication Center)
 - EIR (Equipment Identity Register) [seznam platných IMEI - blokování kradených]
- OSS (Operation Support Subsystem) - servis a koordinace
 - OMC (Operational & Maintenance Center)
 - NMC (Network Management Center) [správa MS, řízení poruch]
 - ADC (Administrative Center) [registrace a tariface]
- systém 2G, pásma 900/1800/1900 MHz, duplexní odstup 45/95 MHz, kanál 200 kHz
- MS: hovor/data, synchronizace, kódování/dekódování, evaluace, TA, výkon, RSSI, SMS
- BTS: komunikace s MS, řízení bit. rychlosti, synchronizace, FHSS, RSSI, TA

⑧ Popište blokové schéma mobilní stanice systému GSM.



ostatní:

- procesor
- RAM, ROM
- rozhraní SIM
- klávesnice
- vibrační vložka
- baterie
- ...



• zdrojové kódování

- volkodér RPE-LTP, segmentace 20ms
- výstup 13 kbit/s

• kanálové kódování

- na 20ms rámec připadá 260 bitů
- třída 1a (kontrola paritou), 1b (koncové bity), 2 (bez kontroly)
- konvoluční kódování $R=1/2$ nad 1a+1b $\Rightarrow$ 456 bitů/rámec
- výstup 22.8 kbit/s

• modulační/demodulační GMSK

- minimální postranní lobky
- relativní šířka pásma $BT_b = 0,3$ (kompromis mezi OBW a ISI)

⑨ Uveďte hlavní rozdíly standardů GPRS, HSCSD a EDGE používaných pro datové přenosy v sítích GSM.

- GPRS (General Packet Radio Service)
 - rozšíření stávajícího systému GSM pro podporu paketového přenosu
 - implementace: BSC napojena na PCU (Packet Control Unit), která GPRS pakety dále směruje na SGSN a GGSN (Serving/Gateway GPRS Support Node) a do IP sítě
 - kódovací systémy CS1 až CS4, přepínání podle S/N (1 = max. zabezpečení, min. rychlost)
 - max. rychlost při CS4 a teor. 8 timeslotech $21,4 \cdot 8 = 171,8 \text{ kbit/s}$, uživatelův nižší (nevážuje přenos klavičů fyz. vrstvy)
 - tarifikace dle přenesených dat
- HSCSD (High Speed Circuit Switched Data)
 - kompatibilitu s GSM, změna způsobu kódování - rychlost $14,4 \text{ kbit/s}$ na kanál
 - typická konfigurace 3+1: downlink $43,2 \text{ kbit/s}$, uplink $14,4 \text{ kbit/s}$
 - tarifikace dle času připojení
- EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution)
 - využití modulace 8PSK, teoretická rychlost $48 \cdot 8 = 384 \text{ kbit/s}$
 - kódovací systémy MCS1 až MCS4 - podobné GPRS, modulace GMSK
 - kódovací systémy MCS5 až MCS9 - modulace 8PSK, větší lepeší C/I

Vývoj systémů mobilních komunikací z pohledu jednotlivých generací (od 1G do 4G).
U každé generace uveďte nejznámější systémy a průměrné přenosové rychlosti signálů.

• 1G

- analogové tlf. systémy
- přístup FDMA, duplex FDD, modulace NFM, signalizace FSK
- systémy NMT450, AMPS

• 2G

- digitální tlf. systémy, současně
- přístup TDMA/FDM, duplex FDD
- systém GSM - pásma GSM, EGSM (900MHz), GSM 1800 (1800MHz), modulace GMSK, zdrojové kódování RPE-LTP 13 kbit/s, kanálové kódování paritu a konvoluci 23,8 kbit/s, prokládání, tvorba buněk, na 8 timeslotů 270,833 kbit/s
- přenos dat: HSCSD (2G, 115 kbit/s), GPRS (2.5G, 171 kbit/s), EDGE (2.75G, 384 kbit/s), standardní GSM (jediny timeslot 9,6 kbit/s)

• 3G

- systémy s kódovým multiplexem, UMTS/IMT-2000
- pásma v okolí 2GHz
- přenosová rychlost 2 Mbit/s (závisí na rychlosti pohybu MS, poměru S/N)
- současný přenos hlasu a videa (videotelefony)

• 4G

- plán od r. 2010, využití OFDM
- systémy WiMAX, Flarion
- přenosová rychlost ~ 20 Mbit/s