



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

## MODELOVÁNÍ SYSTÉMU UMTS

SIMULATION OF UMTS SYSTEM

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

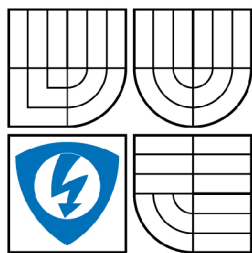
MARTIN PREDAJŇA

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. PETR KEJÍK

BRNO 2009



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

Ústav radioelektroniky

# Bakalářská práce

bakalářský studijní obor  
**Elektronika a sdělovací technika**

**Student:** Martin Predajňa

**ID:** 72934

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2008/2009

## NÁZEV TÉMATU:

### Modelování systému UMTS

#### POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se se zpracováním signálů v systému UMTS. V programu MATLAB vytvořte model downlinku, případně uplinku tohoto systému.

S pomocí vytvořeného modelu sledujte chybovost přijímaného signálu v závislosti na typu a velikosti rušících signálů. Vyzkoušejte vliv AWGN, intercell a intracell uživatelů. Vytvořte aplikaci, která bude umožňovat zadávání jednotlivých parametrů.

#### DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] HOLMA, H., TOSKALA, A. WCDMA for UMTS, 3/E. Chichester: J. Wiley & Sons, 2004.

[2] NAWROCKI, M., DOHLER, M., AGHVAMI, A. Understanding UMTS Radio Network Modelling, Planning and Automated Optimisation. Chichester: J. Wiley & Sons, 2006.

**Termín zadání:** 9.2.2009

**Termín odevzdání:** 5.6.2009

**Vedoucí práce:** Ing. Petr Kejík

**prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida**

*Předseda oborové rady*

#### UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

# Abstrakt

Bakalárska práca sa zaoberá modelovaním systému UMTS v downlinku v programe MatLab. Je zameraná na spracovanie signálu vo fyzickej vrstve a sleduje vplyv nastavenia jednotlivých parametrov na chybovosť BER pri prenose reálnym prostredím.

V práci je popísaná základná architektúra systému UMTS, kanálové kódovanie a multiplexovanie transportných kanálov do fyzických. Je popísaná základná štruktúra rádiového rámca pre downlink DPDCH. Využívanie pseudonáhodných sekvencií a ich vlastností je v CDMA systémoch kľúčovým parametrom pre sledovanie chybovosti.

Je vytvorený model pre komunikáciu jedného užívateľa v základnom pásme, ktorý umožňuje sledovať vplyv rádiového kanála definovaného pomerom SNR a úzkopásmového rušenia definovaného pomocou množstva ovplyvnených prenášaných chipov. Pre tieto vlastnosti rádiového kanála je sledovaná chybovosť systému UMTS, používajúci širokopásmový mnohonásobný prístup s kódovým delením. Ortogonalita sekvencií je ovplyvnená MAI, a detekcia signálu na základe korelačných vlastností rozprestieracích sekvencií je obmedzená.

## Kľúčové slová

UMTS, CDMA, W-CDMA, pseudonáhodné sekvencie, Walshové sekvencie, AWGN, MAI, intracell interferencie, intercell interferencie.

# Abstract

The bachelor's thesis deals with modeling of UMTS system in downlink. It is focused on signal processing in physical layer and observes BER depending on parameters of model of real environment by setting different interruption.

Basic architecture of UMTS system, channel coding and multiplexing of transport channels to physical channels is described in this thesis. Radio frame structure for downlink dedicated physical data channel is also described there. Using of pseudorandom sequences in CDMA systems and their properties are key parameters for observation of BER.

Simulation uses single-user model in basic band, which enables to observe the influence of noise and narrowband jamming. These channel properties have impact on BER, which is used for evaluation of UMTS system. The orthogonality of sequences is influenced by multi access interference so detection of required signal (which uses correlation properties of spreading sequences) is limited.

## Keywords

UMTS, CDMA, W-CDMA, pseudorandom sequences, Walsh sequences, AWGN, MAI, intracell interference, intercell interference.

PREDAJŇA, M. *Modelovanie systému UMTS*. Brno: Vysoké učení technické v Brne,  
Fakulta elektrotechniky a komunikačných technológií, 2008. 20 s. Vedúci diplomovej práce  
Ing. Petr Kejík

## Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Modelování systému UMTS jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne 5. června 2009

.....  
podpis autora

## Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Petrovi Kejíkovi za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne 5. června 2009

.....  
podpis autora

## Obsah

1	ÚVOD .....	8
2	VÝVOJ UMTS .....	9
2.1	História .....	9
2.2	Releases .....	9
3	CHARAKTERISTIKA UMTS .....	11
3.1	Frekvenčné pásma .....	11
3.2	Architektúra systému .....	12
4	SPRACOVANIE SIGNÁLU .....	14
4.1	Multiplexovanie služieb a kanálové kódovanie.....	14
4.2	Rozprestieranie .....	17
4.3	Chanellization .....	19
4.4	Scrambling .....	21
4.5	Modulácia .....	22
5	MODELOVANIE SYSTÉMU .....	23
5.1	AWGN kanál .....	27
5.2	Úzkopásmové rušenie .....	29
5.3	Interferencie spôsobené viacnásobným prístupom.....	31
5.3.1	Intracell simulácie.....	31
5.3.2	Intercell simulácie.....	34
6	ZÁVER .....	36
	Použitá literatúra .....	37
	Zoznam skratiek .....	38
	Zoznam príloh .....	39

# 1 ÚVOD

System UMTS je súčasťou systémov tretej generácie, ktoré tvoria v súčasnosti jeden z najrozšírejších rádiových rozhraní na svete. Umožnenie prenosu multimediálnych služieb v reálnom čase je jednou z hlavných dôvodov rozvoja radiokomunikačných systémov 3G. K celosvetovému rozšíreniu ich predurčujú výhodné vlastnosti kódovo multiplexovaného signálu s rozprestretým spektrom ( W-CDMA ) v prenosovom prostredí.

Pre minimalizáciu interferencií treba zaistiť nízku, najlepšie nulovú vzájomnú koreláciu, k čomu využívame Walshové funkcie (alebo sekvencie). V systéme UMTS pre DL sa ich ortogonálne vlastnosti využívajú k oddeleniu jednotlivých účastníkov. Pretože ich autokorelačné vlastnosti nie sú vhodné pre synchronizáciu, používame scamblovacie kódy s impulzovým priebehom autokorelácie. Touto vlastnosťou sa vyznačuje náhodný proces, ktorému sa snažíme priblížiť generovaním pseudonáhodných - PN funkcií pomocou LFSR registrov, používaných pre oddelenie jednotlivých Node B.

Cieľom tejto práce je vytvoriť model downlinku systému UMTS. Vplyv reálneho prenosového prostredia na prenášaný signál sa realizuje vytvorením modelu na základe charakteristických vlastností prostredia. Simulácia vplyvu širokopásmového rušenia v podobe AWGN a úzkopásmového rušenia je vyhodnocovaná na základe chybovosti BER. Je vytvorený komplexný model v základnom pásme pre CDMA signálu v programe Matlab, pričom vyhodnotenie chybovosti prenosu informácie závisí na statických podmienkach- na úrovni odstupe signálu od šumu, výkonu prijímaného signálu, úrovne vzájomnej interferencií signálov. Program umožňuje meniť kvalitu prostredia a regulovať veľkosť interferencií spôsobených ostatnými užívateľmi v danej bunke- intracell a okolitých bunkách-intercell.



# 2 VÝVOJ UMTS

## 2.1 História

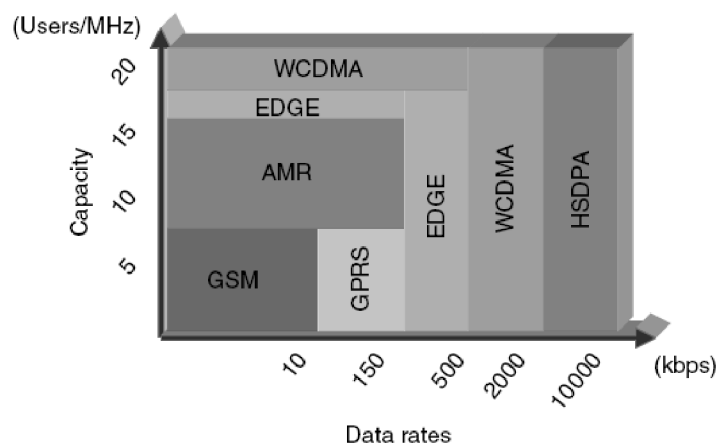
Výskum a vývoj mobilného systému, ktorý by zabezpečil pre užívateľa celosvetový roaming na základe jednej univerzálnej mobilnej siete s unifikovanými službami a rovnakými frekvenciami na celom svete začal už v roku 1986. Bol presadzovaný ITU (International Telecommunication Union) a nazýval sa FPLMTS (Future Public Land Mobile Telecommunication System), ktorý sa však z marketingových dôvodov premenoval na IMT-2000 (International Mobile Telecommunications for the year 2000). Tiež sa nazýva aj systémom tretej generácie. Myšlienka jedného univerzálneho systému tretej generácie sa postupne zmenila na rodinu systémov tretej generácie (3G family) hlavne preto, lebo je náročne presadiť celosvetovo jednotný systém kvôli rôznorodosti úrovni vývoja regiónov, už existujúcich používaných systémov a v neposlednom rade z marketingových dôvodov. Celý rádiokomunikačný trh je vedený slobodnými rozhodnutiami jednotlivých operátorov, t.j. sami sa rozhodnú či danú technológiu implementujú do svojich systémov, alebo nie. V Európe je vývoj, výskum a štandardizácia mobilného komunikačného systému známa pod pojmom UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) a vedený je organizáciou ETSI (European Telecommunications Standards Institute) - Európsky telekomunikačný štandardizačný inštitút. Popri rozvoji UMTS technológie vznikla v roku 1996 organizácia UMTS Fórum, ktorá zastrešuje medzinárodné spoločnosti a okrem výskumných úloh sa snaží aj propagovať mobilné systémy tretej generácie tak medzi užívateľmi ako aj medzi operátormi, či výrobcami.

## 2.2 Releases

Postupný vývoj rádiového systému bol realizovaný prostredníctvom ucelených technologických „balíčkov“ tzv. releases, v ktorých sú zahrnuté technické normy, kódovacie techniky pre zníženie dátovej rýchlosti, zvýšenie bezpečnosti a efektívnosti prenosu a v neposlednom rade pre implementáciu nových služieb

- Systémy **1G** – analógový prenos
- GSM fáza 1 – podporuje základné služby ako sú napríklad jednoduché telefonovanie, núdzové hovory, SMS, dátový prenos do 9.6 kbps a presmerovanie hovorov
- GSM fáza 2 – obsahuje identifikačné služby (CLIP, CLIR), podržanie hovoru a konferenčné hovory, FAX – systémy **2G** – digitálny prenos
- Rel' 96 – prvý release generácie 2,5 (**2,5G**, 2+G) ktorý zvýšil dátový prenos pomocou technológie HSCSD (High Speed Circuit-Switched Data) až 64 kbps,
- Rel' 97 – bol predstavený GPRS- General Packet Radio System, dizajnovaný hlavne pre pripojenie k internetu. Paketový systém nezabezpečuje stále spojenie, ale prerušované, čo sa efektívne využíva pri internetových aplikáciach. Maximálna teoretická prenosová rýchlosť je 160 kbps
- Rel' 98 – pre kódovanie rečové signálov sa začala používať technológia s premennou prenosovou rýchlosťou AMR (Adaptive Multi-Rate Speech Coding)

- Rel' 99 – technológia EDGE (Enhanced Data Dates for GSM Evolution) zvyšuje prenosovú rýchlosť na 236,8 kbit/s. Je založená na modulácii 8PSK (Eight Phase Shift Keying).
- Rel' 04 – boli pridané nové prvky do GPRS a EGPRS (Enhanced GPRS) protokolov a signalizácia na zvýšenie účinnosti dátového prenosu
- Rel' 05 – technológia HSDPA (High-Speed Downlink Packet Access ) zvyšuje prenosovú rýchlosť v downlinku na 1,8; 3,6; 7,2 a 14,4 Mbit/s a rýchlosť v uplinku na 384 kbit/s. Je založená na modulácii QPSK (Qadrature Phase Shift Keying) – systémy **3G**
- Rel' 06 – zvýšenie uplink rýchlosti a zníženie zpozdzenia pre užívateľa technológiou HSUPA (High Speed Uplink Packet Access), ktorá bola špeciálne navrhnutá pre internetové aplikácie. Maximálna rýchlosť v uplinku je 5.76 Mbit/s. Je založená na modulácii QPSK pre zašumené kanály a 16QAM pre čistejšie kanály
- Rel' 07 – HSPA+ (Evolved HSPA) dosahuje maximálnu rýchlosť 42 Mbit/s v downlinku a 22 Mbit/s v uplinku
- Rel' 08 –LTE (Long Term Evolution) má potenciál stať sa medzinárodným, „univerzálnym“ štandardom budúcej generácie mobilných sietí s prenosovými rýchlosťami 300 Mbit/s v downlinku, 75 Mbit/s v uplinku. LTE podporuje šírku kanálov od 1,25 MHz do 20 MHz. Umožňuje efektívne využitie celého pásma súčasných aj budúcich bezdrôtových frekvenčných rozsahov. Rádiové rozhranie je založené na modulácii OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing).

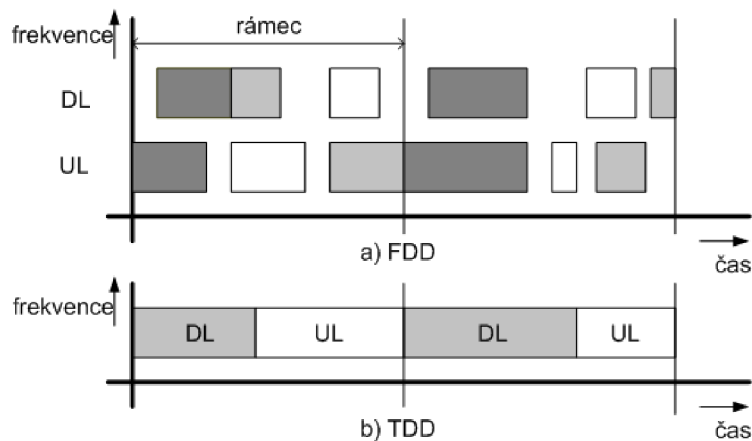


**Obr. 2.1** Prehľad prenosových rýchlostí a kapacít jednotlivých prenosových technológií [5]

# 3 CHARAKTERISTIKA UMTS

## 3.1 Frekvenčné pásma

Systém UMTS využíva dve prístupové techniky závisiace na oddelení smeru prenosu, a to *frekvenčný duplex FDD (Frequency Division Duplex)*, ktorý má pre každý smer prenosu vyhradený jeden rádiový kanál. Účastnícke stanice UE obsahujú vysielateľ aj prímač (Transciever = receiver + transmitter). Pre oddelenie uplinku (od UE k Node B) od downlinku (od BTS k UE) sa používa filter nazývaný duplexer. *Časový duplex (Time Division Duplex)* oddeľuje smery prenosu v časovej oblasti, kde každému smeru je pridelený jeden časový úsek (Time Slot). Tieto úseky sa pravidelne v čase opakujú. Nevýhodou pri TDD prenose je zpozdienie, ale vďaka pulznému charakteru prenosu má UE nižší príkon, dlhšiu životnosť zdroja a menšiu hmotnosť.

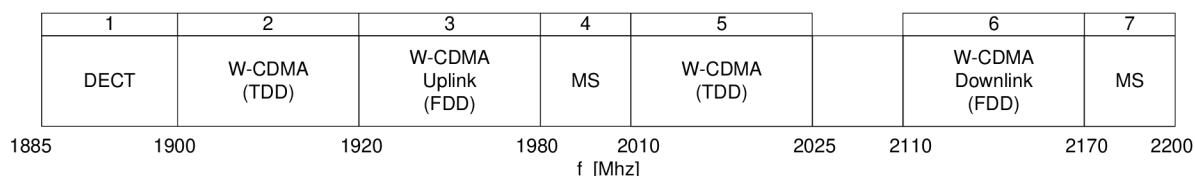


Obr. 3.1 Frekvenčný (FDD) a časový (TDD) duplex [2]

Pozemné rádiové rozhranie systému UMTS sa nazýva UTRA/UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access /Network). Pre systém je vyhradená frekvenčná oblasť v okolí 2 GHz viz [obr.3.2](#). Nepárové pásma 2 a 5 sú využívané prenosovou technológiou TDD. Pre UMTS sa tento druh prenosu nazýva TD- WCDMA (UTRA/TDD). Prenos pomocou FDD sa využíva pri párových pásmach 3 (uplink) a 6 (downlink), pre UMTS to je FD-WCDMA (UTRA/FDD). Frekvenčné pásmo 1 sa používa pre systém DECT (Digital Enhanced Cordless Telecommunications), čiže pre domáce prenosné telefóny. Pásmo 7 je vyhradené pre družicovú komunikáciu (Mobile Satellite application) v systéme UMTS.

Základná prístupová metóda sa nazýva širokopásmový kódový multiplex s priamim rozprostrením DS-WCDMA. Multiplexovanie je proces združovania signálov z rôznych samostatných zdrojov do jedného signálu vhodného k prenosu komunikačným kanálom. Opačný proces je demultiplexovanie, kde sú z preneseného signálu opäť získané jednotlivé pôvodné signály. Rozprestretá dátová postupnosť sa uvádza v Mchip/s (mega čípoch za

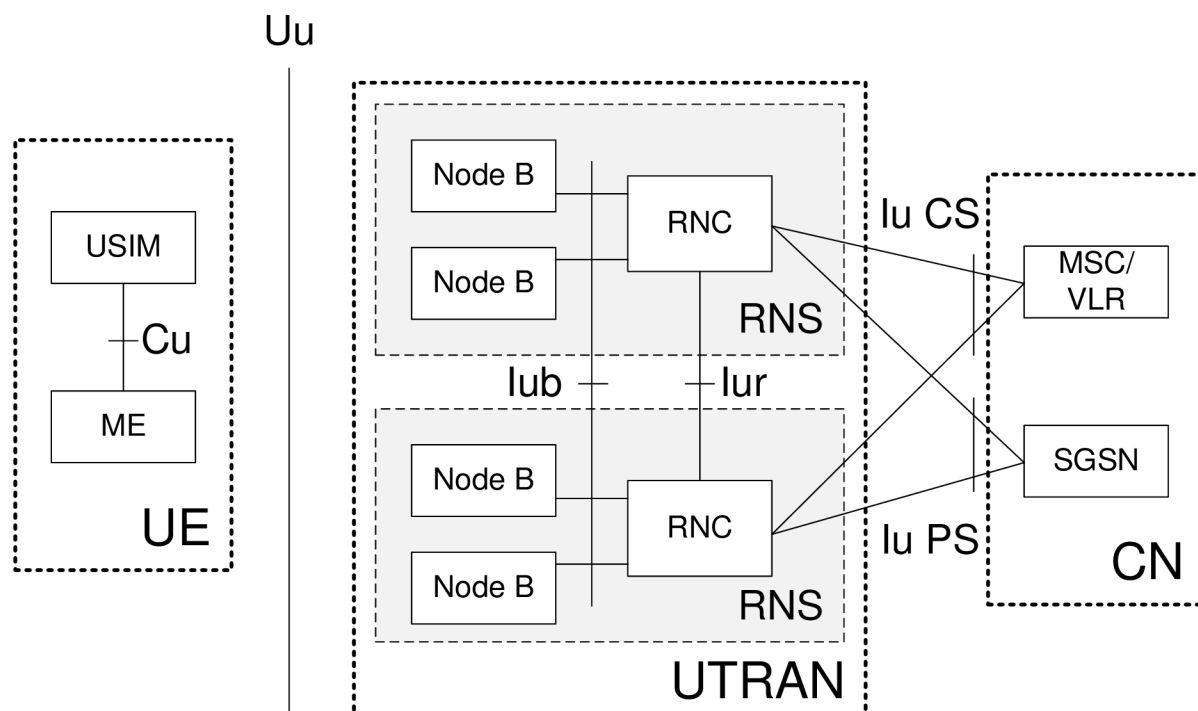
sekundu). Pri šírke pásma 5 MHz je čipová rýchlosť konštantná 3,84 Mchip/s a zaistí prenosovú rýchlosť do 2 Mbit/s. Pre downlink sa používa modulácia QPSK a pre uplink modifikovaná QPSK.



Obr. 3.2 Frekvenčné pásma systému UMTS [10]

### 3.2 Architektúra systému

Architektúru systému UMTS môžeme znázorniť pomocou rôznych modelov, pričom každý z nich popisuje systém z iného hľadiska. Základne časti sú chrbticová sieť (Core Network), ktorá riadi komunikáciu a spojenie v systéme, rádiová prístupová sieť RNS (Radio Network System), ktorá využíva rozhranie UTRAN a koncový používateľ UE (User Equipment). UE je zložený z mobilného zariadenia a UMTS SIM karty, komunikuje prostredníctvom rádiového rozhrania (Uu) s jedným alebo viacerými Node B. Prenos informácií medzi CN a RNS prebieha prostredníctvom rozhrania Iu v móde CS (Circuit Switch Mode), PS (Packet Switch Mode) alebo môže byť pripojený k obidvom doménam PS/CS..



Obr. 3.3 Základná architektúra systému UMTS [3]

V UMTS dochádza kvôli mnohocestnému šíreniu rádiových vln voľným priestorom k diverzitému príjmu v UL, čo zvyšuje pravdepodobnosť úspešného prijatia signálu. Signál prijatý viacerými Node B, sa zlučuje v RNC zlučovači a umožňuje zníženie výkonu UE, bez potreby synchronizácie. V prípade diverzity v downlinku, sa zvýši úroveň interferencií, pretože viacej prenosových ciest pôsobí pre ostatné UE ako rušenie. Vzniká tým nárast interferencií.

Napriek ortogonalite signálov v downlinku, sa dôsledkom odrazov stávajú signály neortogonálnymi, tým sa zvyšuje veľkosť interferencií, a efektívna plocha bunky sa znižuje. To vedie k zníženiu počtu užívateľov v bunke a následne k zníženiu interferencií, čo umožní vzdialeným užívateľom opätovné nadviazanie spojenia. Proces variabilného počtu užívateľov v bunke obsluhovanej jedným Node B sa nazýva dýchanie bunky. Je riadený na základe výkonných algoritmov pre riadenie výkonu UE na najnižšiu možnú úroveň.

Jednou z úloh RNC je meranie interferencií v bunkách ktoré spadajú pod jeho správu. Na základe týchto meraní, vysiela riadiace informácie pre riadenie výkonu vo vonkajšej slučke pre ich zníženie. Ďalej má na starosti riadenie HO, okrem softer HO, ktorý vykonáva Node B. Z pohľadu pridelovania rádiových prostriedkov sa rozdeľuje na:

- Controlling RNC (CRNC)- obsluhuje spojenie s jedným Node
- Serving RNC (SRNC)- obsluhuje spojenie s jedným UE
- Drift RNC (DRNC)- v prípade diverzitého príjmu v inej bunke komunikuje s SRNC

# 4 SPRACOVANIE SIGNÁLU

Signál spracovávaný v systéme UMTS sa prenáša medzi vrstvami podľa modelu OSI [2]. *Logické kanály* sa používajú medzi RLC (Radio Link Control) a vrstvou MAC (Medium Access Control), rozdeľujú sa na prenos dát (Data channels) a prenos riadiacich informácií (Control channels). Medzi vrstvou MAC a fyzickou vrstvou sú definované *transportné kanály*, ktoré sa delia na vyhradené transportné kanály (Dedicated transport channels), slúžiace pre prenos ku jednému UE (data + riadiace informácie), a spoločné transportné kanály (Common transport channels), používané viacerými UE. Ďalej nasleduje prenos vo fyzickej vrstve (rádiové rozhranie) používajúc *fyzické kanály*, ktoré sú definované frekvenciou nosnej, skramblovacím kódom, kódom pre rozlíšenie kanálu a dobou trvania. Nemenné parametre sú šírka pásma rádiového kanálu - 5MHz, a rozteč duplexného páru - 190 MHz, dĺžka prenášaného rádiového rámce je 10 ms. V práci je uvedený popis iba niektorých fyzických kanálov, podrobný popis všetkých kanálov sa nachádza v [12].

## 4.1 Multiplexovanie služieb a kanálové kódovanie

Multiplexovanie služieb sa používa, ak viacej druhov služieb s rovnakou alebo premenlivou dátovou rýchlosťou požadujú rozdielnu QoS počas prenosu dát jedného užívateľa. Každá služba je reprezentovaná priradeným transportným kanálom. Do fyzickej vrstvy vstupujú dáta z vyšších vrstiev v sadách transportných blokov definovanými fixnou dobou prenosu - interval TTI (Transmission Time Interval) s dĺžkou 10ms, 20ms, 40ms alebo 80ms.

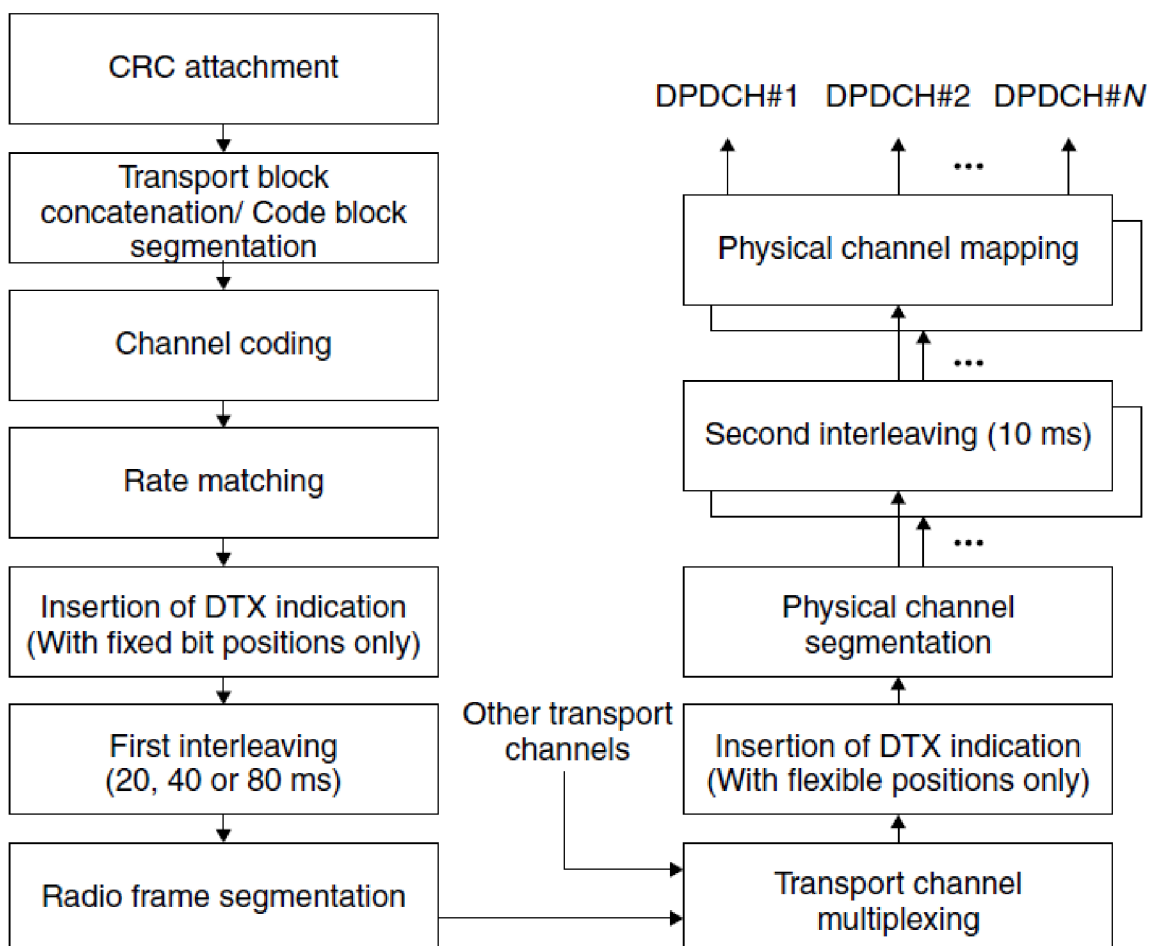
Kanály DPDCH a DPCCH s premenlivou prenosovou rýchlosťou sa kódomo multiplexujú pomocou OVVSF kódov podobne popísaných v kapitole 4.3. Diagram spracovania signálu fyzickou vrstvou je na obrázku 4.1.

V závislosti na TTI transportného bloku, sa vypočíta kontrola prídavnými bitmi CRC (Cyclic Redundancy Check), ktorá obsahuje 24, 16, 12, 8, alebo 0 paritných bitom ktoré sa pridávajú na koniec transportného bloku. Voľba kontrolného redundantného kódu sa definuje vo vyšších vrstvách.

Následné sa bloky sériovo zreťazia. V prípade ak počet bitov prekročí maximálnu dĺžku kódového bloku dáta sa segmentujú na kratšie bloky a ak sú požadované kódy s rovnakou dĺžkou, doplnia sa nulami v poslednom kódovom bloku. Podľa indikátoru formátu transportného bloku TFI (Transport Format Indicator), ktorý obsahuje informácie o type prenášaného kanálu sa pre jednotlivé transportné kanály zvolí konvolučné alebo turbo kódovanie, poprípade sa nepoužije žiadne. Kódový blok konvolučného kodéru má maximálnu dĺžku 504 bitov, a turbo kodéru 5114 bitov. Konvolučné kódy sa používajú v prípade požadovanej chybovosti služby BER  $10^{-3}$ , čo postačuje na prenos hlasu. Pre služby požadujúce prenos s chybovosťou na  $10^{-6}$  sa použije turbo kódovanie.

Kvôli požiadavke určitého celkového množstva dát v rádiovom rámci po multiplexovaní transportných kanálov sa musí prispôbiť bitová rýchlosť pred prvým prekladáním. V prípade ak vo vyhradenom fyzickom dátovom kanály (DPDCH) nie sú žiadne dáta pre

prenos, vložia sa bity DTX ( Discontinuous Transmission ). Funkcia DTX sa neprenáša rádiovým rozhraním, ale informuje vysielateľ, kedy má prestať vysielateľ. Pred prvým prekladaním sa používa DTX s fixnou pozíciou a v UE môže slúžiť napríklad na detekciu bitovej rýchlosti. Funkcia DTX s fixnou pozíciou nemá priamy vplyv na prenosovú rýchlosť ostatných transportných kanálov - súčasne môžu využívať maximálnu prenosovú rýchlosť [3].

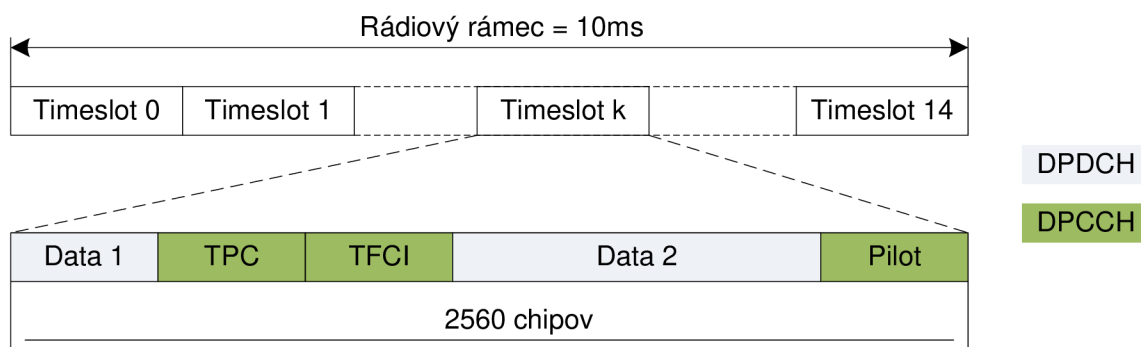


**Obr. 4.1 Spracovanie signálu vo fyzickej vrstve [3]**

Výsledok prvého prekladaní sa segmentuje na rádiové rámce s dĺžkou 10 ms patriacej určitej službe využívajúcej daným transportným kanálom. Požadovaný počet rámcov je  $TTI/10$ .

Multiplexovaním transportných kanálov do jedného kódovaného kompozitného rádiového kanálu CCTrCH ( Coded Composite Transport CHannel ) sa dosiahne využívanie viacerých služieb jedným UE. Dátová rýchlosť jednotlivých CCTrCH je premenlivá v závislosti na použitom činiteli rozprestierania pre každý transportný kanál aj v prípade, že sa jedná o spojenie s jedným užívateľom, viz tabuľka 1. Informácia o bitovej rýchlosti pre prijímač je uložená v TFCI ( Transport Format Combination Identifier ) pre každý transportný blok. V downlinku sa používa časové multiplexovanie a v uplinku kódový multiplex. Príklad rádiového rámca pre DL je zobrazený na obr. 4.2. Rádiový rámec obsahuje 15 timeslotov. Každý timeslot obsahuje okrem TFCI aj ďalšie informácie z vyhradeného fyzického kontrolného kanála DPCCCH slúžiace pre riadenie výkonu v uzatvorenej slučke TPC

(Transmission Power Control), a pilotné vzorky bitov, pomocou ktorých sa meria intenzita interferencií v prenosovom prostredí.



**Obr. 4.2 Štruktúra rádiového rámca  
(Downlink DPCH - Dedicated Physical Channel)**

V prípade, ak je potreba prenášať transportné kanály bez potreby maximálnej dátovej rýchlosti, ale s použitím maximálnej prenosovej rýchlosti, použije sa funkcia DTX s flexibilnou pozíciou. Nepoužitú bitovú kapacitu sa môžu použiť inou službou, čo umožní v downlinku znížiť počet používaných rozprestieracích kódov.

Pre prenos vo viacerých fyzických kanáloch, sa multiplexované transportné kanály segmentujú. Typickým príkladom je ak kódový kompozitný transportný kanál prekročí maximálne množstvo alokovaných bitov pre fyzický kanál.

**Tabulka 1 Bitová rýchlosť v kanále DPDCH v závislosti na SF**

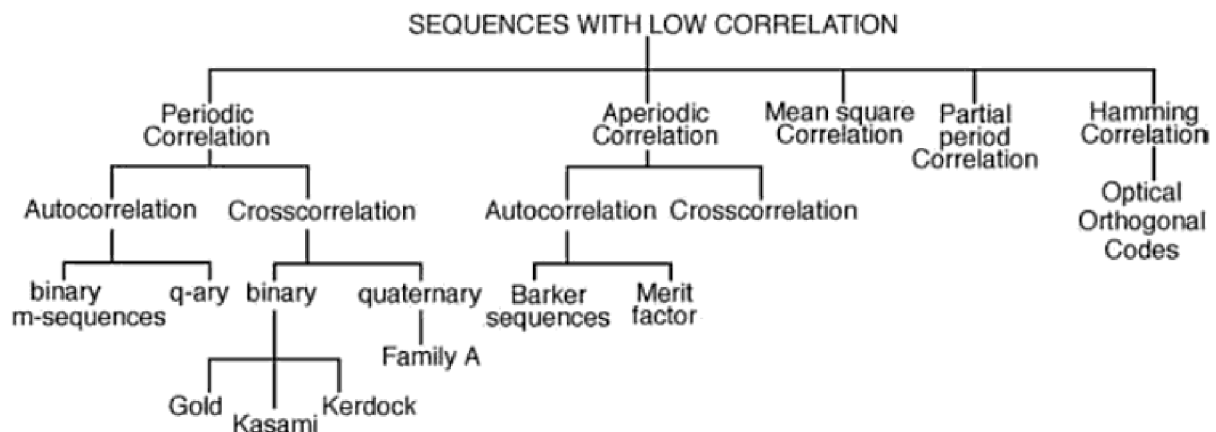
Činiteľ rozprestierania	Celková bitová rýchlosť (kbps)	Dátová bitová rýchlosť	Počet dátových bitov v timeslote
4 (3 paralelné kódy)	5760	5616	1248
4	1920	1872	1248
8	960	912	608
16	480	432	288
32	240	210	140
64	120	90	60
128	60	42-51	28-34
256	30	12-24	8-16
512	15	3-6	2-4



## 4.2 Rozprestieranie

Na vysielacej strane je úzkopásmový informačný dátový signál zložený z časovo multiplexovaných riadiacich a dátových fyzických kanálov kódovaný jedinečnou kódovou sekvenciou (rozprestieracím kódom) s omnoho väčšou šírkou pásma, čiže sa jeho spektrum výrazne rozšíri a súčasne sa zmenší jeho spektrálna výkonová hustota. Rozprestieranie sa obecné realizuje pomocou pseudonáhodných sekvencií (v prípade UMTS Walshovými sekvenciami), ktoré sa využívajú v rádiokomunikačných systémoch k synchronizácii, riešení otázky viaccestného šírenia, kryptografii, identifikácie signálu a viacnásobného prístupu.

Charakterizujeme ich na základe komplexného produktu korelácie medzi dvoma sekvenciami, viz obr. 4.3. Jedná sa auto koreláciu, ak sú obe sekvencie rovnaké, vzájomnú koreláciu, ak sú odlišné, periodickú koreláciu v prípade cyklického posuvu, aperiodickú koreláciu, v prípade ak sa nejedná o cyklický posuv a čiastočne periodickú koreláciu, ak je zachovaná iba určitá časť zo sekvencií. Jednotlivé vlastnosti sekvencií sú bližšie popísané v [11].



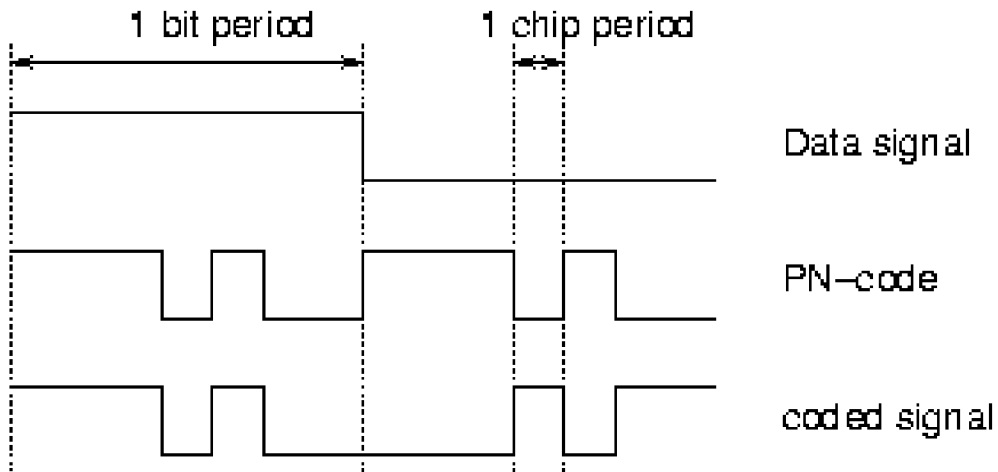
**Obr. 4.3 Rozdelenie PN sekvencií podľa korelačných vlastností [11]**

Rozprestieranie sa realizuje pomocou Frekvenčného skákania FH-SS (Frequency Hopping Spread Spectrum) a priameho rozprestierania DS-SS (Direct Sequence Spread Spectrum), kde sú rozprestieracie sekvencie vzájomne ortogonálne. Rozprestreté signály od rôznych užívateľov sú vysielané súčasne.

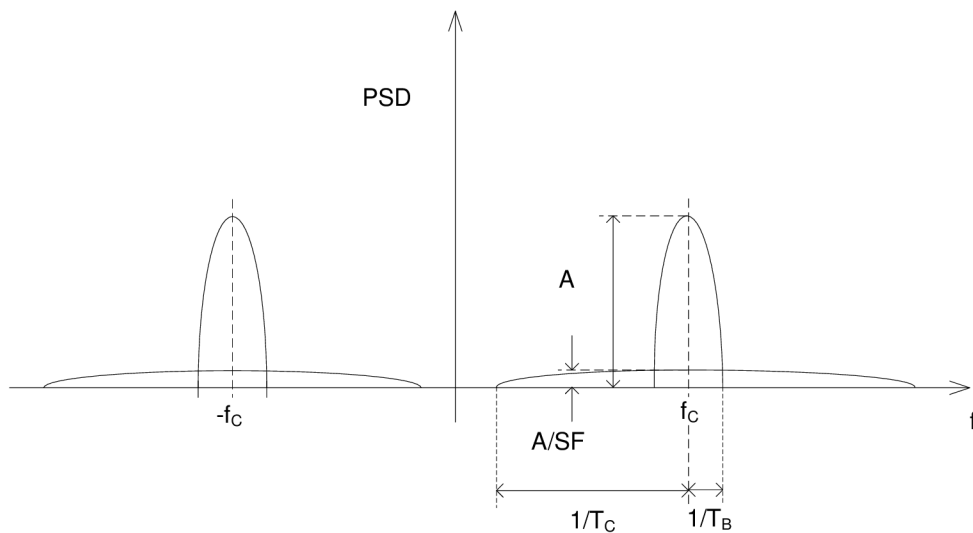
Na prijímacej anténe sú okrem superponovaných signálov s rovnakou informačnou zložkou vzniknutých mnohocestným šírením aj signály ostatných účastníkov, ktoré tvoria interferencie a predstavujú jednu z hlavných nevýhod signálov s rozprestretým spektrom limitujúcich počet účastníkov. V každom prijímači je uložený iný rozprestierací kód, ktorým sa prijatý signál dekóduje (despreading), pričom sa na výstupe dekódovacieho obvodu zobrazí len signál, ktorý bol kódovaný rovnakým rozprestieracím kódom. Systémy s kódovým viacnásobným prístupom s rozprestretým spektrom sa javia ako šum a ich identifikácia v rádiovom prostredí je náročnejšia ako pri úzkopásmovom signáli. Vďaka týmto vlastnostiam sa systémy s rozprestretým spektrom radia medzi systémy s vlastnou ochranou

voči odposluchu. Spektrálne vlastnosti DS-SS, ktoré sa používajú v UTRAN sú zobrazené na obr. 4.5. Pre rozšírenie spektra je definovaný činiteľ rozprestierania SF (1) , ktorý je definovaný ako pomer medzi bitovou periódou dátového signálu a chipov periódou rozprestieracej sekvencie. Časový priebeh je zobrazený na obr. 4.4.

$$SF = \frac{T_b}{T_c} \quad (1)$$



Obr. 4.4 Časový priebeh rozprestierania



Obr. 4.5 Výkonová spektrálna hustota pred a po rozprestretí

### 4.3 Chanellization

Pre kanálové kódovanie sa používajú Walshove funkcie a sekvencie. Walsh stanovil, že funkcie sú ortogonálne, normálne a úplne. Ortogonálne znamená, že ak sú násobené akékoľvek dve rozdielne funkcie uvažovaného súboru, ich integrál cez celý interval je nula. Normálne znamená, že ak sú násobené akékoľvek dve rovnaké funkcie uvažovaného súboru, ich integrál cez celý interval je jedna. Označením úplné znamená, že súbor ortogonálnych funkcií sa používa k vyjadreniu akejkoľvek danej funkcie na definičnom intervale ako ich lineárna kombinácia tak, že ich stredná kvadratická chyba v tomto intervale ide k nule, keď sa zvyšuje počet ortogonálnych funkcií. Walshové funkcie sú vyjadrené časovými priebehmi s hodnotami  $\pm 1$  a pre prácu s nimi sa používa matematická operácia násobenie. Walshové sekvencie sú vyjadrené sledom 0 a 1 a sú používa sa logická operácia sčítanie modulo-2. Prevod medzi funkciami a sekvenciami sa realizuje priradením okamžitým hodnotám Walshových funkcií  $\pm 1$ , logickej úrovne  $\{0,1\}$ . Tj.  $+1 \rightarrow "0"$  a  $-1 \rightarrow "1"$ . Pre generovanie Walshových funkcií a sekvencií sa napríklad využívajú symetrické vlastnosti samotných funkcií, Rademacherove funkcie a Hadamardová matica.

Hadamardová matica je štvorcová matica radu  $N$ , s hodnotami  $+1$  a  $-1$ . Riadky sú vzájomne ortogonálne. Príklad Hadamardovej matice 2. rádu je zobrazený vo vzťahu (1), a generovanie Hadamardových matic vyššieho rádu je zobrazené vo vzťahu (2).

$$H_2 = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} \equiv \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

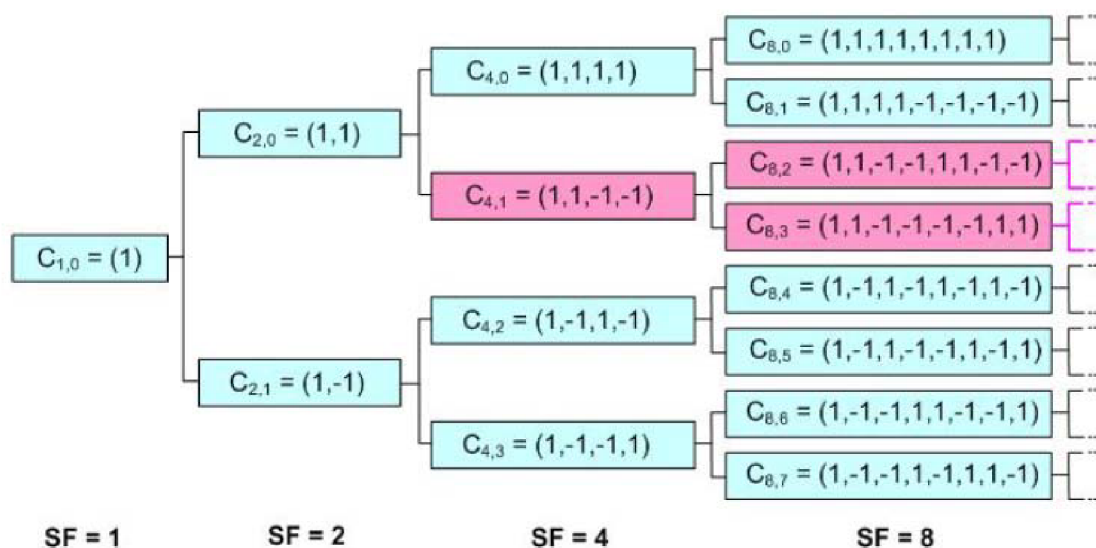
$$H_{2N} = \begin{bmatrix} H_N & H_N \\ H_N & -H_N \end{bmatrix} \quad (2)$$

Ekvivalentný zápis Hadamardovej matice 8. rádu je zobrazený v tab. 4.1 pomocou Walshových sekvencií.

**Tabulka 2 Walshové sekvencie 8. rádu**

$H_0 = 0$	0	0	0	0	0	0	0	0
$H_1 = 0$	1	0	1	0	1	0	1	0
$H_2 = 0$	0	1	1	0	0	1	1	0
$H_3 = 0$	1	1	0	0	1	1	0	0
$H_4 = 0$	0	0	0	1	1	1	1	0
$H_5 = 0$	1	0	1	1	0	1	0	0
$H_6 = 0$	0	1	1	1	1	0	0	0
$H_7 = 0$	1	1	0	1	0	0	1	0

Rozprestieracie kódy používané v rádiovom prostredí UTRAN sa znázorňujú pomocou Walshovho stromu (obr. 4.3.). Každý kód je označený symbolom  $C_{SF,k}$ , kde  $SF$  (Spreading Factor) je činiteľ rozprestierania a  $k$  je číslo kódu v rozsahu od 0 do  $(SF-1)$ .



Obr. 4.6 Strom Walshových funkcií [1]

Dátový signál rozprestretý kódom  $C_{8,2}$  z Walshovho stromu sa bude derozprestierať rovnakým kódom, avšak sa môže rozprestierať aj kódom  $C_{4,1}$ , pretože kód  $C_{8,2}$  vznikne dvojnásobným opakovaním kódu  $C_{4,1}$ . Pre tieto vlastnosti sa kódy nazývajú ortogonálne s variabilným činiteľom rozprestierania OVVSF (Orthogonal Variable Spreading Factor codes). Ak je nejakému užívateľovi pridelený kód napríklad  $C_{4,1}$ , potom nemôže byť iným užívateľom súčasne používaný žiadny iný kód z jeho substromu ( $C_{8,2}$ ,  $C_{8,3}$ ,  $C_{16,4}$  až  $C_{16,7}$ , ...), pretože niesú s týmto pôvodným signálom ortogonálne. Pre UTRAN FDD sa používa SF od 4 do 512, pri SF=4 jeden bit je reprezentovaný 4 chipmi a môžu byť rozlíšený iba 4 užívatelia.

Používaná chipová rýchlosť je konštantná 3,84 Mchip/s, čiže vstupný dátový signál (pred rozprestieraním) môže mať premenlivú dátovú rýchlosť. Čím nižší je SF, tým je dosiahnutá vyššia užívateľská prenosová rýchlosť. Ortogonalita Walshových kódov je zaručená len pri presnej časovej synchronizácii kódov. Keďže sa rádiový signál šíri do všetkých smerov, prijímaný signál kvôli odrazom spôsobenými prekážkami v prenosovom prostredí môže byť prijatý v rôznych časových okamžikoch. Prípady prímu signálov líšiacich sa iba úrovnou a zpozdením do jednej čipovej periódy rieši prijímač RAKE, ktorý je schopný tieto signály spracovať a vytvoriť kvalitnejší signál než ktorýkoľvek samostatne prijatý [8].

## 4.4 Scrambling

Skramblovanie sa využíva ku vzájomnému oddeleniu signálov vysielaných z rôznych zdrojov, pre downlink je to oddelenie jednotlivých Node Bs a ich sektorov. Používajú sa dlhé skramblovacie kódy (38 400 chipov) a krátke skramblovacie kódy (256 chipov).

Pomocou PN sekvencie sa náhodne zmení dátová sekvencia pôvodného signálu napríklad sčítaním modulo-2 dátovej a PN sekvencie. V prijímači sa pomocou rovnakej pseudonáhodnej sekvencie obnoví pôvodný signál opäť sčítaním modulo-2 prijatého signálu a PN sekvencie.

PN sekvencia musí byť reprodukovateľná v prijímači a musí byť zosynchronizovaná so skramblovaciu sekvenciou vo vysielacom, preto sa používajú sekvencie natoľko nepravidelné, aby ich nerozpoznal nežiaduci prijímač, ale taktiež sa musia jednoducho generovať a zosynchronizovať v prijímači. Pre tento účel sa najčastejšie využíva lineárny spätnoväzobný posuvný register LFSR (Linear Feedback Shift Register). Generátor sekvencie obsahuje  $n$  stupňový LFSR, ktorému môžeme nastaviť počiatočné podmienky podľa potreby a po určitom počte cyklov bude generovať opäť rovnakú sekvenciu. Maximálny počet možných stavov je  $2^n - 1$ , treba vylúčiť počiatočný stav so samými nulami, pretože by sa s hodinovými impulzmi nemenil. Výstupná sekvencia s periódou  $2^n - 1$  sa tiež nazýva sekvencia s maximálnou dĺžkou, alebo  $m$ -sekvencia.

Komplexnú skramblovaciu sekvenciu s rovnakým výkonom v oboch vetvách môžeme definovať vzťahom (2) a komplexné dáta po rozprestretí pomocou OVSF vzťahom (3). Pričom  $d_I$  reprezentuje dáta z vetvy I,  $d_Q$  na druhú stranu komplexnú časť.

$$c_s(t) = c_s^I + jc_s^Q \quad (2)$$

$$d(t) = d_I + jd_Q \quad (3)$$

V prípade ak nebude výkonová úroveň dátového signálu rovnaká v oboch vetvách (uplink), po komplexnom skrambľovaní dát (4) je výkonová úroveň rovnaká vo vetve I aj vo vetve Q bez ohľadu na výkon v jednotlivých vetvách pred skrambľovaním. Komplexné skrambľovanie zvyšuje účinnosť výkonového zosilňovača znížením výkyvu pomeru špičkového ku priemernému výkonu [12].

$$s(t) = (d_I + jd_Q) \cdot (c_s^I + jc_s^Q) = c_s^I \cdot d_I - c_s^Q \cdot d_Q + j(c_s^Q \cdot d_I + c_s^I \cdot d_Q) \quad (4)$$

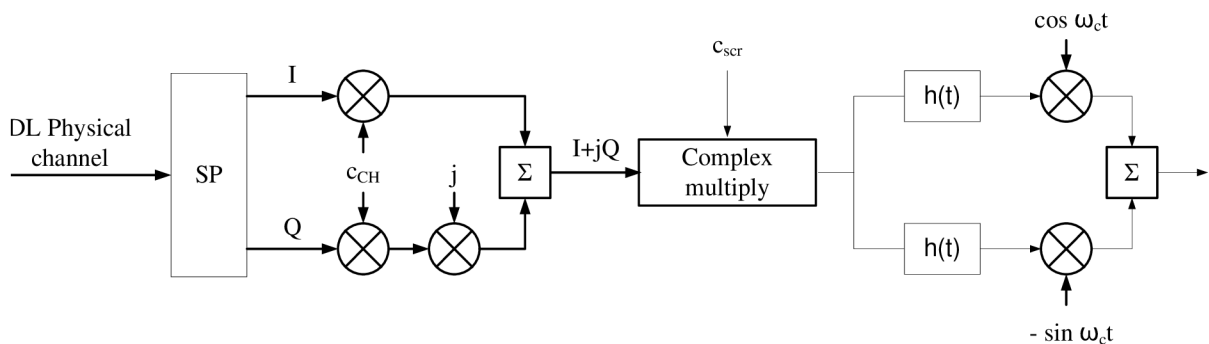
V UL je definovaných  $2^{24}$  skramblovacích kódov, ktoré sa generujú použitím dvoch  $m$ -sekvencií generovaných polynomom  $1+X^3+X^{25}$  a  $1+X+X^2+X^3+X^{25}$ . Pre I vetvu sa používajú Goldové kódy, pre Q vetvu rovnaké, ale posunuté o 16 777 232 chipov. Aj keď je možné generovať sekvencie s dĺžkou  $2^{25}-1$  chipov, pre dlhé skramblovacie kódy sa využíva iba 38 400 chipov, čo odpovedá dĺžke jedného rádiového rámca. Dĺžka krátkych kódov je 256 chipov a využíva sa pri viac užívateľskej detekcii.

V DL sa používajú tiež Goldové kódy, ale generujúce polynómy sú nasledovné:  $1+X^7+X^{18}$  a  $1+X^5+X^7+X^{10}+X^{18}$ . Pre vetvu I sa posunú o 131 072 chipov. Napriek celkovému počtu  $2^{18}-1=262\,143$  kódov sa používa iba 8192. Tie sú rozdelené na 512 skupín, pričom

každá skupina obsahuje jeden primárny a 15 sekundárnych. To dohromady tvorí 512 primárnych a 7680 sekundárnych kódov. Každá bunka obsahuje jeden primárny kód použitý vo fyzických kanáloch CPICH (Common Pilot CHannel -  $C_{256,1}$ ) a P-CCPCH (Primary Common Control Physical CHannel -  $C_{256,2}$ ). V systéme UMTS sú pre tieto dva kanály rezervované činitele rozprestierania 256 s poradovými číslami 1 a 2. Ďalšie fyzické kanály patriace jednej bunke využívajú buď rovnaký primárny kód, alebo jeden z 15 sekundárnych.

## 4.5 Modulácia

V downlinku sa dáta z fyzického kanálu namodulujú v pri mapovaní zo sériového dátového toku do vetiev I, Q pred rozprestretím na chipovú postupnosť viz obr. 4.7. V DL sa používa modulácia QPSK - štvorstavové fázové kľúčovanie, ktoré vykazuje výhodný kompromis medzi dobrou spektrálnou a energetickou účinnosťou. V UL sa používa OCQPSK, pri ktorej sa do reálnej vetvy Q mapuje DPDCH a do komplexnej vetvy I DPCCH. Prenosová charakteristika  $h(t)$  Nyquistovho filtru typu raised cosine používa činiteľ tvaru  $\beta = 0.22$ .



Obr. 4.7 Rozprestieranie, skramblovanie a modulácia v DL

# 5 MODELOVANIE SYSTÉMU

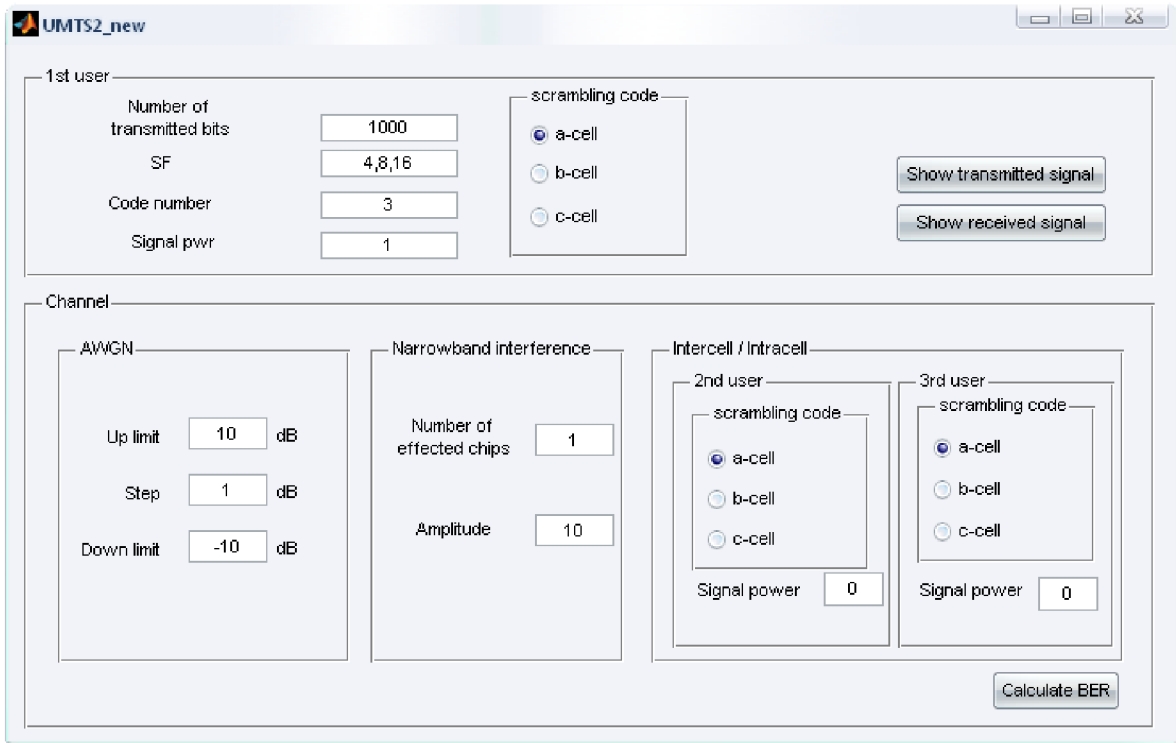
Bakalárska práca je zameraná na model fyzickej vrstvy, ktorá umožňuje kódovo multiplexovať dáta, využitím korelačných vlastností používaných sekvencií v downlinku, preto nasledujúci text bude popisovať prenos od Node B k UE. Základná bloková schéma spracovania signálu v systéme UMTS DL v základnom pásme je zobrazená na obrázkoch [4.7](#) a [5.2](#). V programe nie sú zahrnuté opravné kódy používané pre zníženie chybovosti. Predpokladá sa LOS- priama viditeľnosť, so statickou polohou užívateľa bez vplyvu viacestného šírenia. Ukážka grafického rozhrania je na obr. [5.1](#).

Pre analýzu vlastností systému UMTS sú simulované podmienky v ktorých systém pracuje v programe MATLAB®. Vytvorený model realizuje nasledovné simulácie reálneho prenosového prostredia, ktoré ovplyvňuje prenášaný signál:

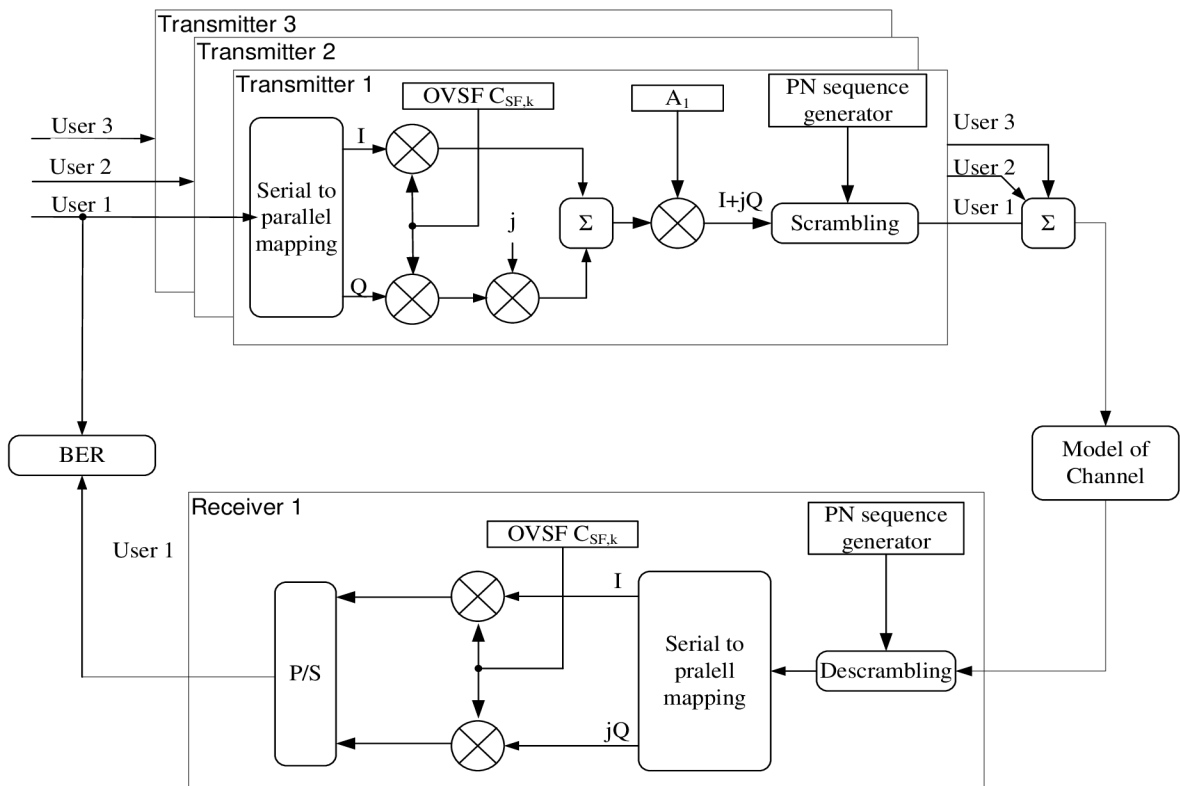
- Šum- sa modeluje pomocou matematického modelu AWGN využívaného na simuláciu aditívneho charakteru šumu ktorý v spektrálnej oblasti má konštantnú hodnotu, a v časovej oblasti má jeho intenzita Gaussovské rozloženie pravdepodobnosti hodnôt. Pomocou tohto modelu sa simuluje vplyv termálneho šumu, ktorý predstavuje pohyb elektrónov vplyvom tepla a ich rozptyl v elektrických súčiastkach.
- Úzkopásmové rušenie- vplýva na určitý počet chipov prenášaného signálu s definovanou úrovňou rušenia. Vzniknúť môže napríklad priemyselným rušením či kozmickým žiarením (v prípade S-UMTS).
- Interferenčné signály- jedná sa o signály nesúcu informačnú zložku pre ostatných užívateľov. V programe sa realizujú pomocou ďalších dvoch užívateľov, pričom je možné zadať, či sa jedná o komunikáciu inercell poprípade intracell.

**Tabulka 3. Význam funkcií používaných programom**

m-file	Funkcia
UMTS_GUI.m	Skript priradený grafickému rozhraniu
Main_fcn.m	Počíta chybovosť a vykresľuje závislosť na SNR
Had_walsh.m	Priraduje riadky Hadamardovej matice k indexom rozp. sekvencie $C_{SF,k}$
Usertr.m	Vysielač používaný všetkými užívateľmi
Userlre.m	Prijímač pre prvého užívateľa
Band_int.m	Realizuje úzkopásmový šum
Sh_sig_pr_tr	Zobrazuje spracovanie signálu vo vysielači pre prvých 10 bitov
Sh_sig_pr_re	Zobrazuje spracovanie signálu v prijímači ( s úzkopásmovým rušením)



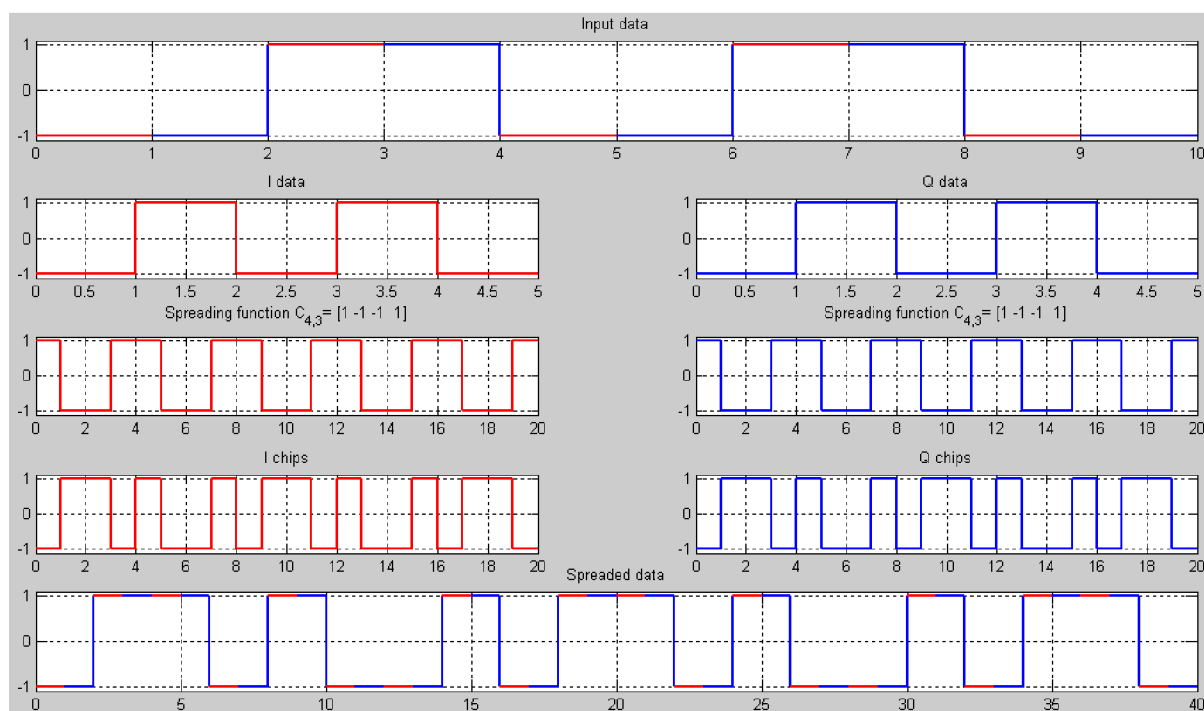
Obr. 5.1 Grafické rozhranie



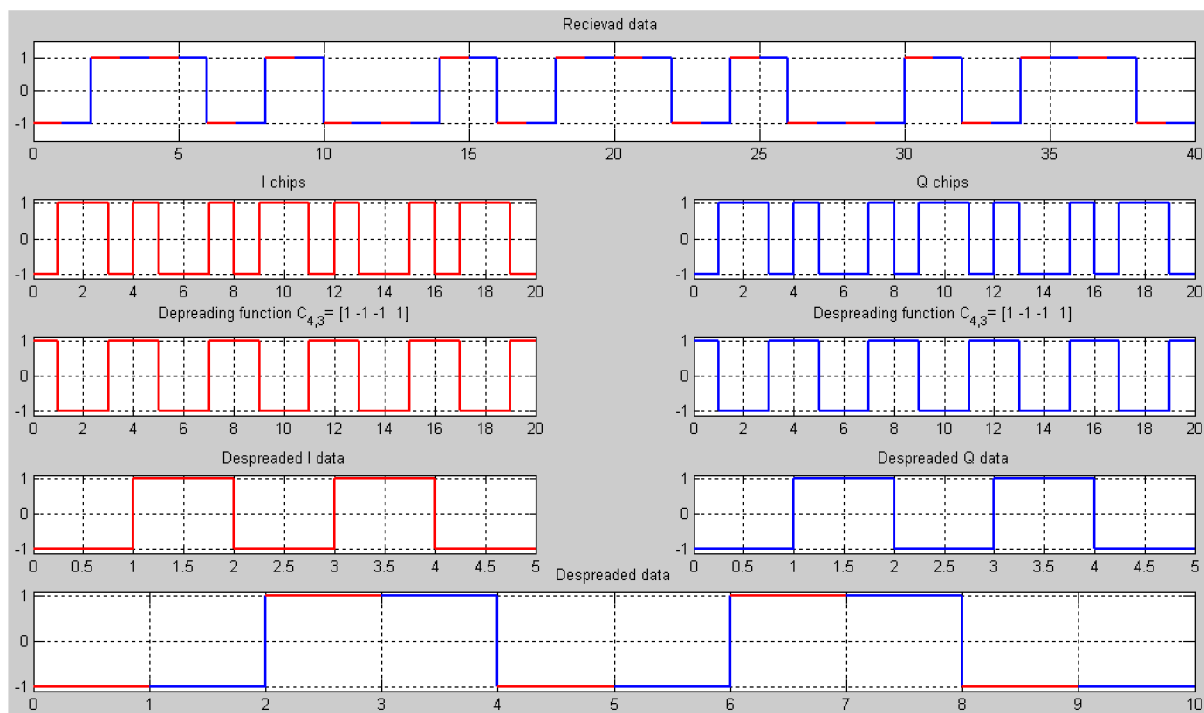
Obr. 5.2 Bloková schéma programu



Model predstavuje synchronný DS-CDMA prenosový systém pracujúci komplexne v základnom pásme. Úprava signálu prebieha v troch hlavných krokoch a to prevod S/P, kódovanie kanálu a scrambling. Pre prevod sériových dát na paralelné sa používa QPSK mapovanie. Dátový tok sa rozdelí do vetiev I a Q. Channelization sa používa pre rozlíšenie spojenia rôznych užívateľov v jednej bunke, využitím nulovej auto-korelačnej vlastnosti PN sekvencií. Obe vetvy používajú pre rozprestretie dát rovnaké kódy OVFS. Po pričítaní imaginárnej jednotky ku vetve Q sa vetvy sčítajú a predstavujú QPSK namodulované dáta. Nasleduje komplexné scrambling, ktoré slúži pre rozlíšenie jednotlivých buniek pomocou funkcií s výhodnou auto-korelačnou vlastnosťou. Výsledná chipová postupnosť vstupuje do VF modulátora a do prenosového prostredia. Časový priebeh spracovania signálu vo vysieláči je zobrazený na obr. 5.3. Rozprestretý komplexný signál má pre názornosť farebne rozlíšenú reálnu a imaginárnu zložku.



**Obr. 5.3 Časový priebeh rozprestierania užívateľských dát, mapovanie IQ, rozprestieracie sekvencie, rozprestreté dáta (chipy) a komplexné chipy**



**Obr. 5.4 Časový priebeh prijatých chipov, mapovanie IQ derozprestieracie sekvencie, derozprestreté dáta a prijatá dátová postupnosť**

Po prijatí signálu z ideálneho prenosového prostredia, sa signál po demodulácii vynásobí scamblovaciou postupnosťou a opäť sa rozdelí na vetvy I a Q. Každá vetva sa vynásobí (derozprestie) OVFSF kódom a nasleduje P/S prevod. V prípade rovnakých derozprestieracích kódov, aké sa použili pri rozprostieraní, dostaneme požadovanú dátovú postupnosť. V prípade iného derozprestieracieho kódu je výsledná dátová postupnosť nulová. Diskrétny časový priebeh derozprestierania prijatého signálu je zobrazený na obr. 5.4.

## 5.1 AWGN kanál

Dáta  $k$ -tého užívateľa  $b_k[i]$  s amplitúdou prijatého signálu  $A_k$  sú rozprestreté pseudonáhodnou sekvenciou  $s_k$ , rozloženie pravdepodobnosti hodnôt šumu  $n(t)$  AWGN kanálu je definované smerodatnou odchýlkou  $\sigma$ ,  $T$  je perioda  $b_k$ .

$$y(t) = \sum_{i=-M}^M \sum_{k=1}^K A_k b_k[i] s_k(t - i \cdot T) + \sigma \cdot n(t) \quad (5)$$

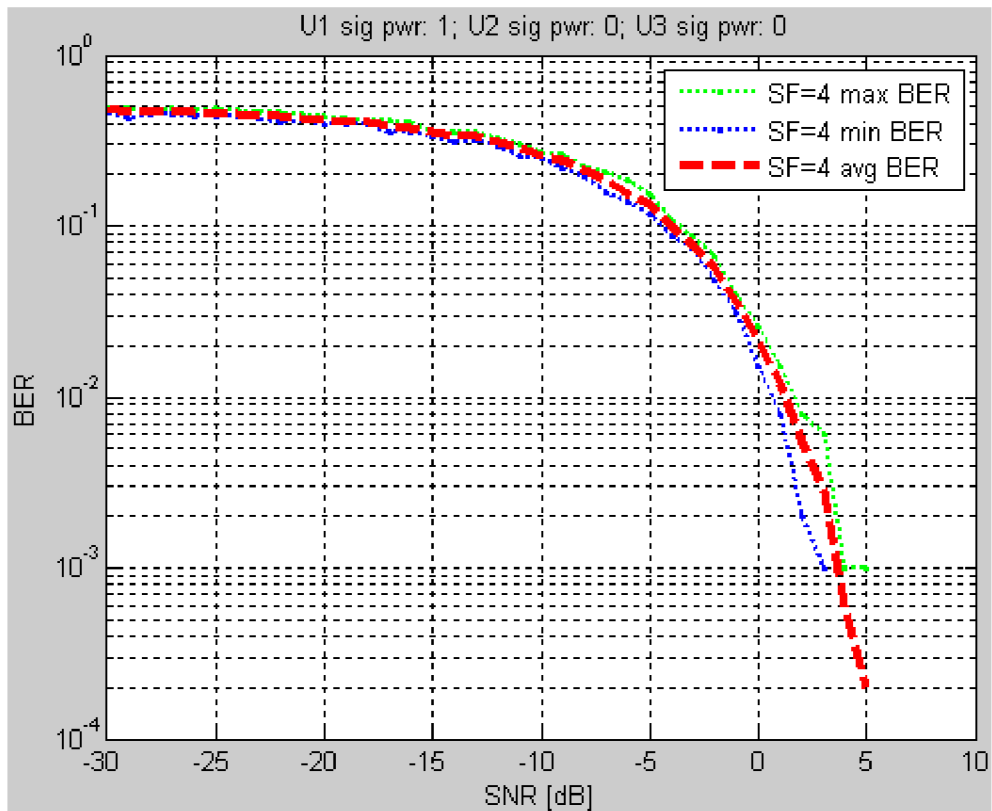
Keďže sa jedná o náhodný proces s Gausovým rozložením pravdepodobností, každá realizácia vykazuje inú chybovosť, preto je potrebné jednotlivé realizácie priemerovať. Program generuje užívateľské dáta hneď po spustení, dáta sú konštantné pri všetkých simuláciách, pričom bity s nulovou logickou úrovňou sú vygenerované s rovnakou pravdepodobnosťou ako bity s úrovňou log 1. Odstup výkonovej úrovne signálu od šumu je definovaný pomerom SNR podľa vzťahu (6).

$$SNR = 10 \cdot \log \left( \frac{\text{úroveň signálu}}{\text{úroveň šumu}} \right) dB \quad (6)$$

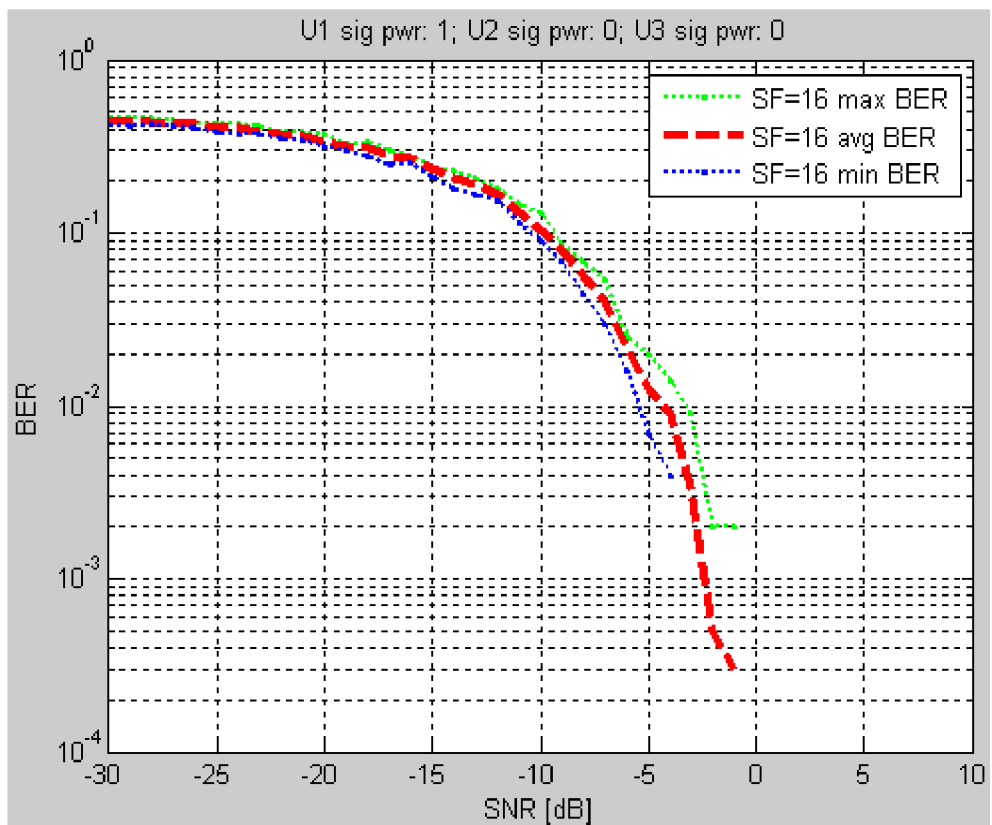
Nasledujúce simuláciu budú zobrazené pre 10 cyklov programu s konštantným činiteľom rozprestierania pre 1000 užívateľských bitov, ktorým odpovedá chybovosť pri prenose jedného chybného bitu hodnote  $10^{-3}$ . V grafe je zobrazená priemerná hodnota chybovosti spolu s so zobrazením jej maximálnej a minimálnej nameranej hodnoty.

Ako príklad uvádzam dve simulácie pre SF=4 a SF=16, nulové úzkopásmové rušenie a nulový výkon užívateľov predstavujúcich interferencie. Výkon požadovaného užívateľa nie je treba v tomto prípade uvažovať, pretože úroveň šumu je vzťahovaná k výkonu prenášaného signálu pomocou definovaného SNR. To znamená, že pre pomer SNR=10dB môže byť výkon užívateľa 10, a výkon šumu 1, alebo výkon užívateľa 100 a šumu 10.

Záporné hodnoty pomeru SNR vyjadrujú, že signál má menšiu úroveň ako šum. Napriek tomu pri voľbe vyššieho SF, pomocou ktorého sa predĺži integračný interval vzájomne korelovanej prijatej sekvencie s rozprestieraciou sekvenciou, klesá chybovosť signálu. Preto je jeho použitie možné v prostrediach s horšími prenosovými podmienkami.



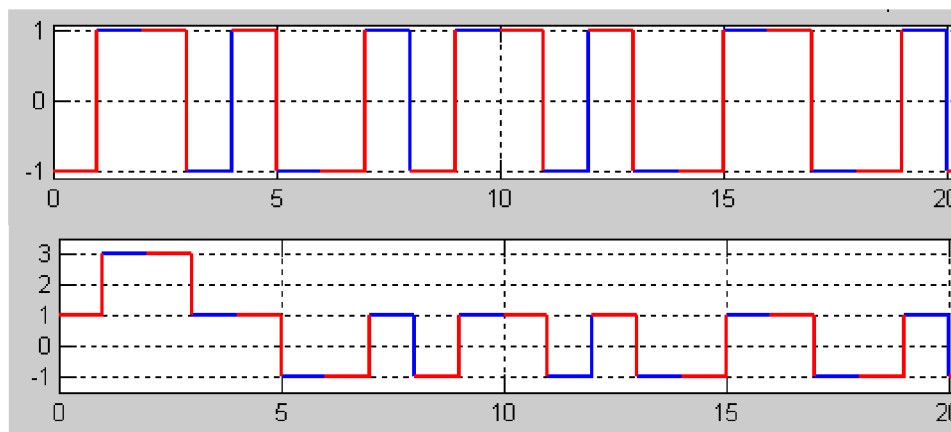
**Obr. 5.5** Chybovosť AWGN kanálu pre SF=4



**Obr. 5.6** Chybovosť AWGN kanálu pre SF=16

## 5.2 Úzkopásmové rušenie

Ovplyvňuje definovaný počet komplexných chipov, čiže pri zadaní rušenia jedného komplexného chipu signálom s určitou amplitúdou, pripočíta výkon šumu ako k reálnej zložke signálu spracovávanej vo vetve I, tak aj k imaginárnej zložke spracovávanej vo vetve Q. Výkon na obr. 5.7 je vyslaná chipová sekvencia rozprostretá pomocou  $C_{4,3}$  a prijatá, pri rušení dvoch komplexných chipov úzkopásmovým signálom s obdĺžnikovým priebehom a amplitúdou 2.

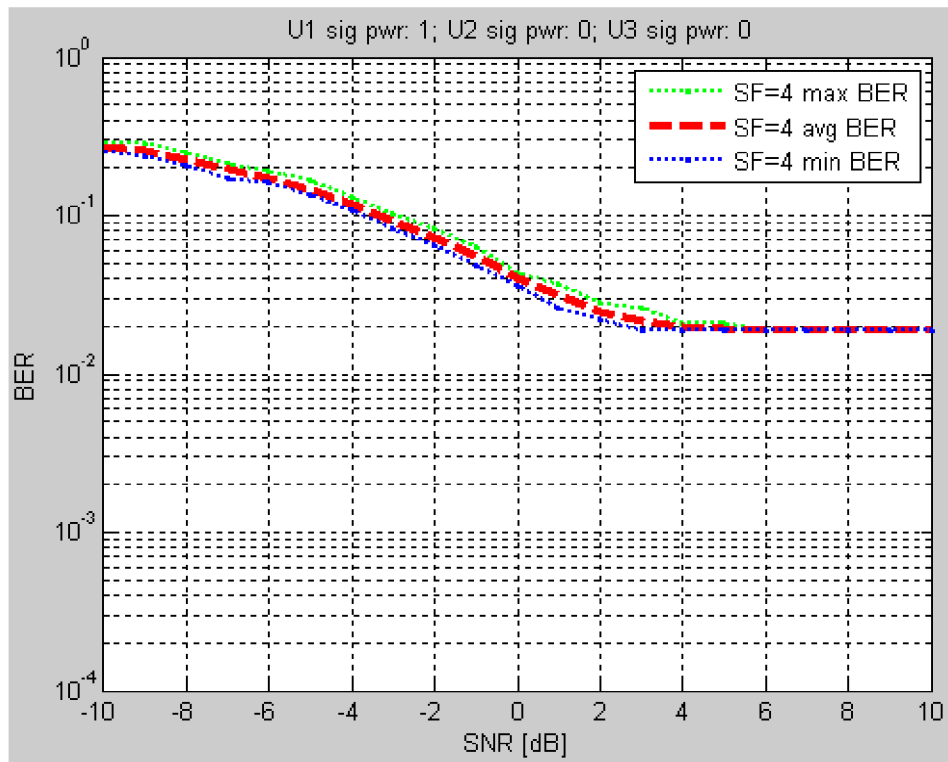


**Obr. 5.7 Časový priebeh vyslaného rozprestretého signálu a prijatého signálu ovplyvneného úzkopásmovým rušením**

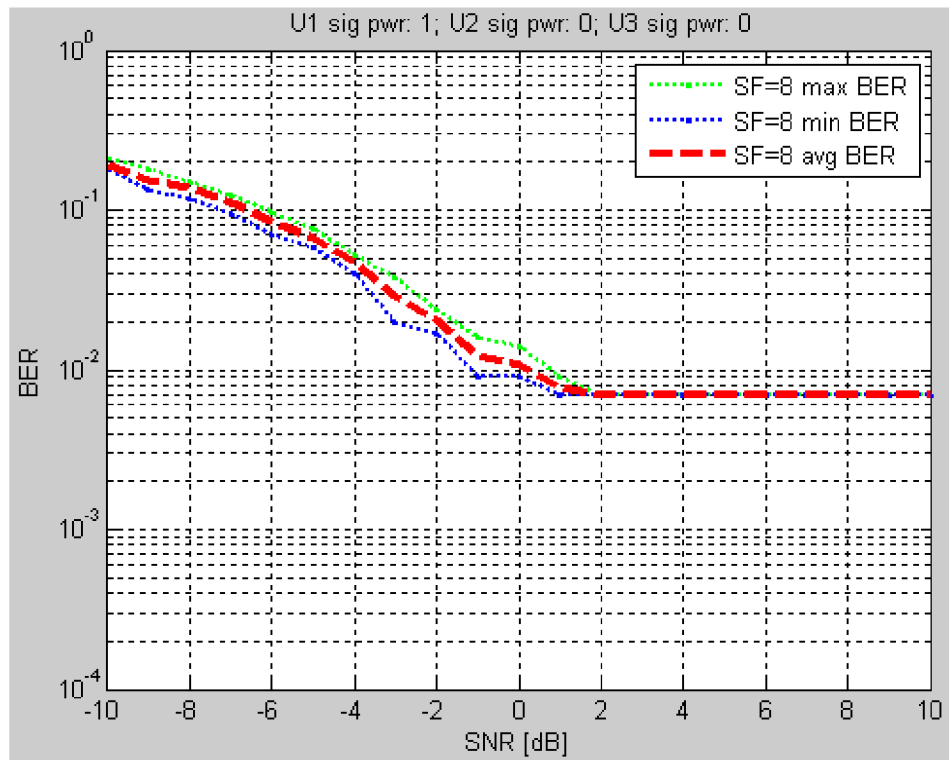
Pri vyhodnotení prípadu na obr. 5.7 došlo k správne vyhodnoteniu prvých dvoch užívateľských bitov, napriek tomu že boli rušené. Pri intenzívnom rušení 100 chipov signálom s amplitúdou 10 krát väčšou, ovplyvní prenášaný signál na niekoľkých bitových intervaloch napr. pri  $SF=4$ , dôjde k nesprávne vyhodnoteniu 25 bitov a to odpovedá chybovosti  $25/1000=0,025$ . V prípade ak to bude simulácia prevedená v AWGN kanále, dostávame chybovosť zobrazenú na obrázku 5.6. Chybovosť je mierne nižšia ako teoretická, pretože pre niektoré komplexné chipy boli napriek zarušeniu vyhodnotené správne, čo je dôsledkom náhodného generovania vstupných užívateľských dát.

Úzkopásmové rušenie je opäť ovplyvňované výberom rozprestieracieho kódu. Pri zachovaní parametrov simulácie a zvýšení činiteľa rozprestierania na 8, bude rušenie zasahovať iba polovicu bitov reprezentovaných rovnakým množstvom chipov a chybovosť sa dvojnásobne zníži na hodnotu 0,0125. Chybovosť po prechode AWGN kanálom a rušením 100 komplexných chipov je tiež mierne nižšia a je zobrazená na obr. 5.9.

V prípade nižšej výkonovej úrovne úzkopásmového šumu ako  $\frac{1}{2}$  výkonu prenášaného signálu sa chybovosť takmer neovplyvní. V prípade ak šum presiahne hodnotu výkonu prenášaných chipov závisí na voľbe SF koľko bitov bude na prijímacej strane vyhodnotených ako chybných.



**Obr. 5.8** Chybovosť signálu pri intenzívnom rušení 100 chipov pri SF=4



**Obr. 5.9** Chybovosť signálu pri intenzívnom rušení 100 chipov pri SF=8

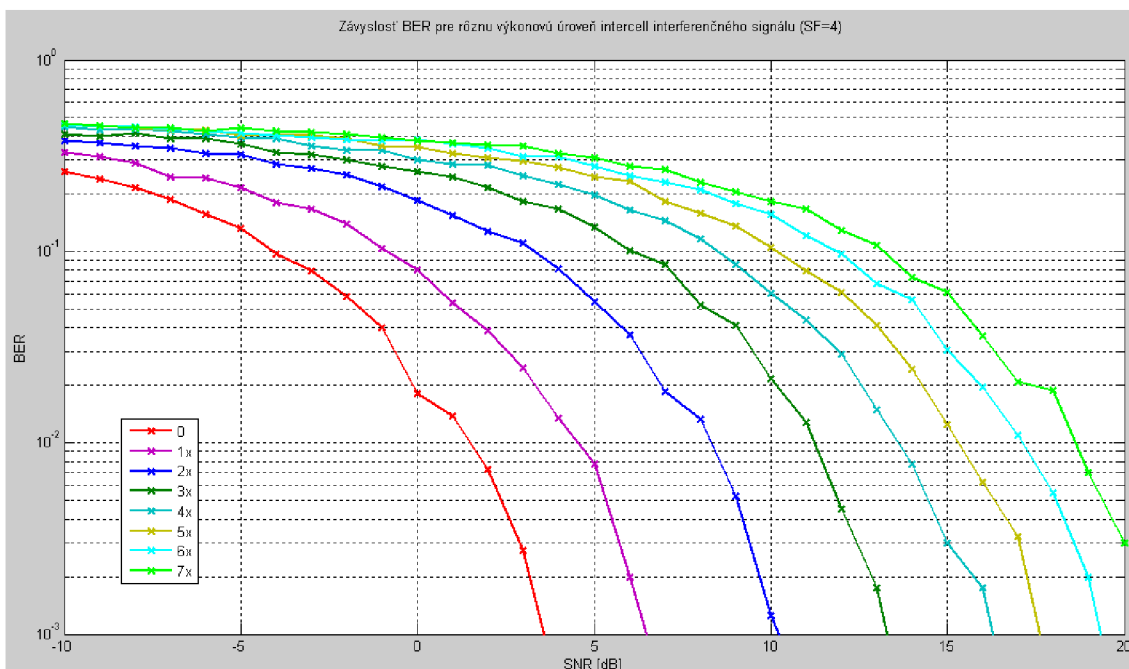
## 5.3 Interferencie spôsobené viacnásobným prístupom

Vlastnosti praktického použitia DS-CDMA v reálnom prostredí sú obmedzené interferenciami signálov nesúcich informácie pre ostatných užívateľov. MAI (Multiple Access Interference) – interferencie viacnásobného prístupu sa rozdeľujú na intracell interferencie – interferencie vznikajú vplyvom užívateľov v jednej bunke a intercell interferencie – interferenčné rušenie je spôsobené signálmi z okolitých buniek. Použitím sekvencií s nízkou vzájomnou koreláciou sa redukuje vznik MAI. Pri vyššom počte užívateľov, ich interferencie môžu presahovať výsledok korelácie, čo sťažuje detekciu signálu požadovaného užívateľa.

### 5.3.1 Intracell simulácie

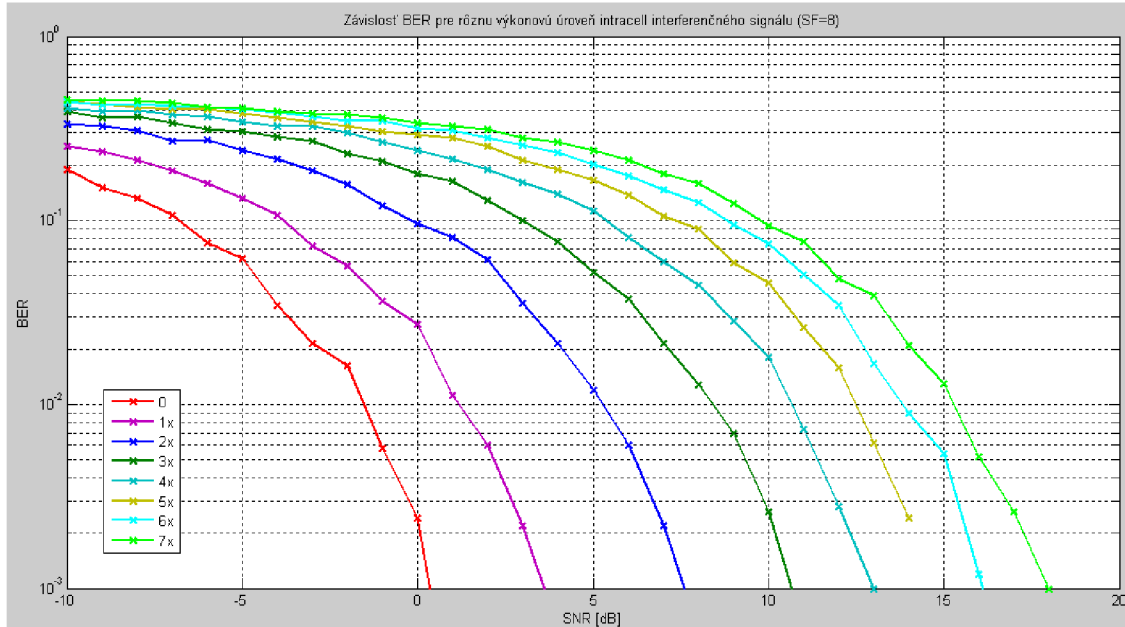
Pri komunikácii v oblasti pokrytej jedným Node B, sa jedná o synchronný prenos. Porušenie ortogonálnej vlastnosti nastáva v prípade mnohocestného šírenia signálu, ktorého simulácia nie je súčasťou modelu.

Na obr. 5.10 sú zobrazené krivky chybovosti príjmu pre SF=4 a rastúceho výkonu interferenčného signálu od jedného rušiaceho užívateľa v rámci jednej bunky. Krivka s indexom 0 vyjadruje chybovosť bez interferenčného signálu, krivka 1x je pri rovnakej výkonovej úrovni kódo multiplexovaného signálu ako signálu, ktorého chybovosť bola sledovaná. Ďalšie krivky sa odlišujú veľkosťou interferencií vyjadrenej je násobkom uvedeným v legende a intenzity sledovaného signálu.

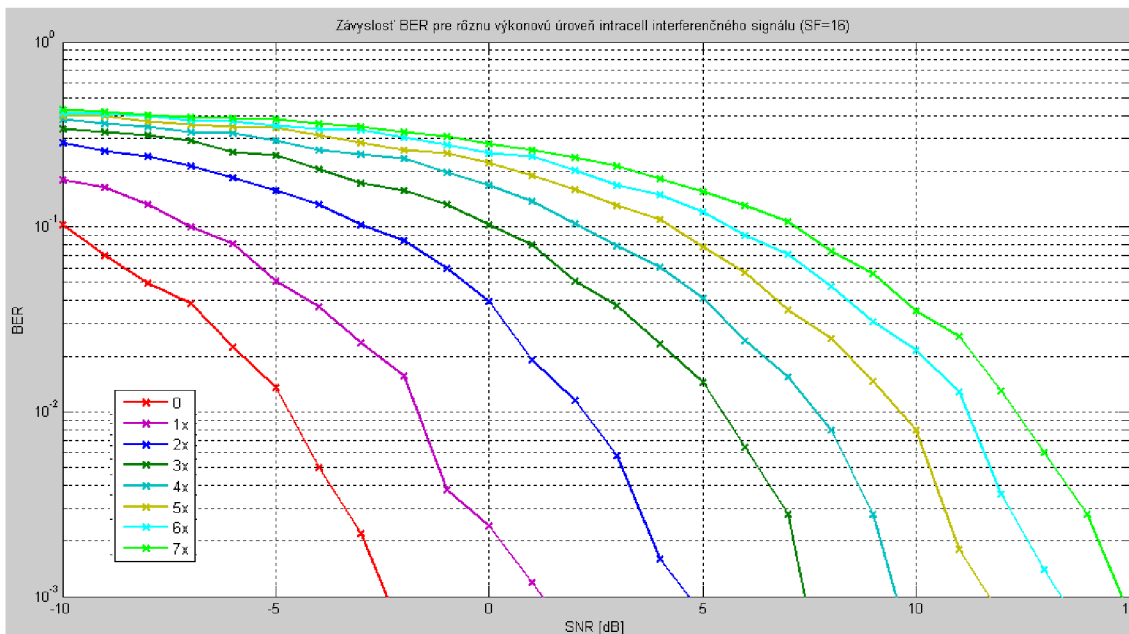


Obr. 5.10 Závislosť BER pre rôznu výkonovú úroveň intracell interferenčného signálu (SF=4)

Zobrazené signály sa líšia svojou chybovosťou napriek tomu, že pri prenose nevzniká interferenčné rušenie. Je to spôsobené použitou funkciou AWGN kanálu, ktorá najprv určí úroveň signálu, a následne k nemu určí úroveň šumu podľa požadovaného SNR podľa vzťahu (6).



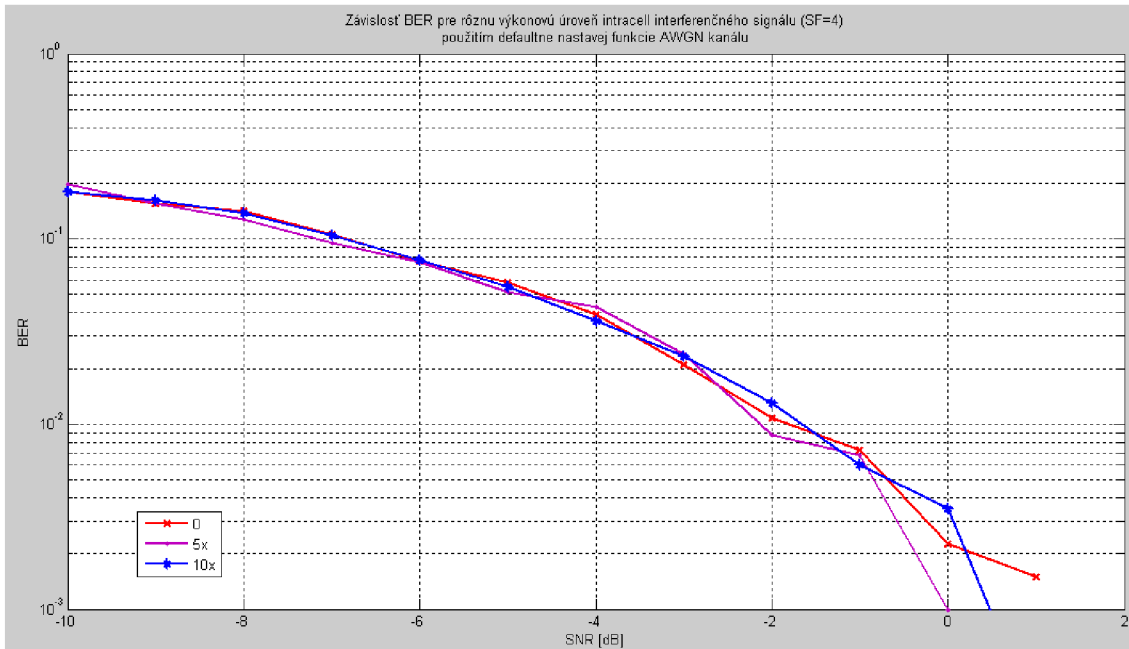
**Obr. 5.11 Závislosť BER pre rôznu výkonovú úroveň intracell interferenčného signálu (SF=8)**



**Obr. 5.12 Závislosť BER pre rôznu výkonovú úroveň intracell interferenčného signálu (SF=16)**



Simulácie na obr. 5.11 a 5.12 zobrazujú krivky chybovosti príjmu pre SF=8 a SF=16 a rastúceho výkonu interferenčného signálu od jedného rušiaceho užívateľa v rámci jednej bunky CDMA systému. Z grafov opäť vyplýva, že predĺžením integračného intervalu ortogonálnych kódov sa znižuje pravdepodobnosť chybného vyhodnotenia prenášaného bitu, ale nepriamo úmerne užívateľskej dátovej rýchlosti.



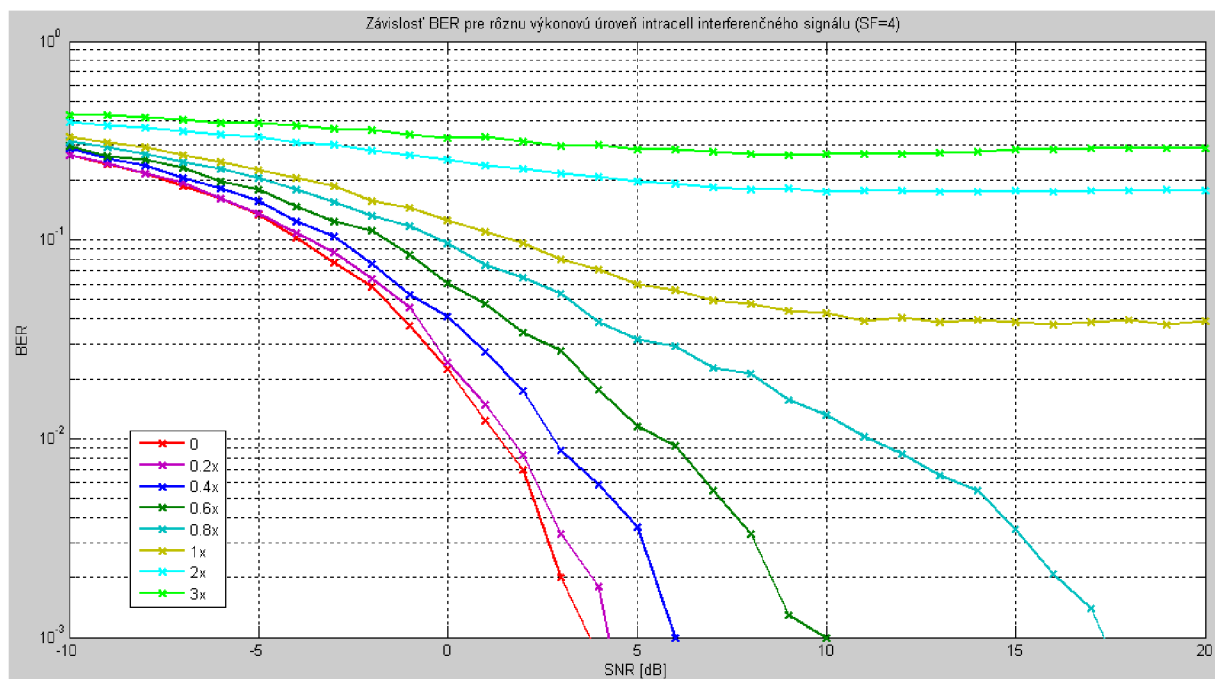
**Obr. 5.13 Závislosť BER pre rôznu výkonovú úroveň intracell interferenčného signálu (SF=4) použitím funkcie AWGN kanálu vzťahenej k výkonu signálu 0dB**

Použitím funkcie AWGN kanálu, ktorá pridáva aditívny šum podľa pomeru SNR k referenčnej výkonovej hodnote signálu 0dB. Simulácia na obr. 5.13 potvrdzuje, že v synchronne pracujúcom systéme (intercell) v DL ortogonálna vlastnosť zostáva zachovaná, pretože chybovosti signálu bez ostatných intercel signálov sú približne rovnaké ako so superponovanými signálmi používajúcimi multiplexovanie s kódovým delením.

Nasledujúce simulácie budú používať ako referenčnú hodnotu úroveň výkonu superponovaných signálov pre generovanie šumu.

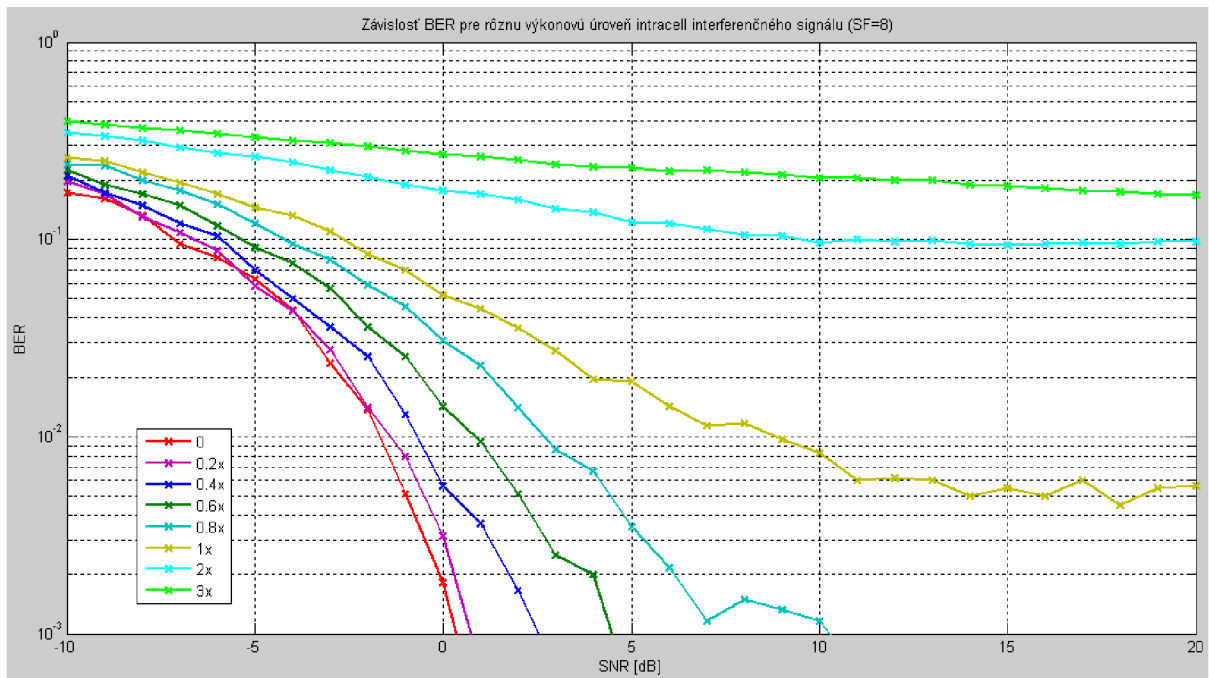
### 5.3.2 Intercell simulácie

Intercell prenos v DL nie je ortogonálny, pretože Node B sú voči sebe asynchrónne a tým pádom superponované signály v prostredí sú neortogonálne. UE musí najprv identifikovať Node B, pomocou primárnej scamblovacej sekvencie, a následne použitím priradeného OVFSF kódu získa zo superponovaných signálov dáta pre daného užívateľa. Najväčší vplyv intercell interferencií môžeme uvažovať na okrajoch bunky, ktorý môžeme eliminovať napríklad pomocou riadenia výkonu užívateľa, prevedením handoveru alebo adaptívnymi vyžarovacími diagramami smerových antén použitých v sektoroch buniek. Čím bližšie sa UE nachádza k Node B ktoré ho práve obsluhuje, tým nižšie úrovne intercell interferencií vplývajú na prijímaný signál

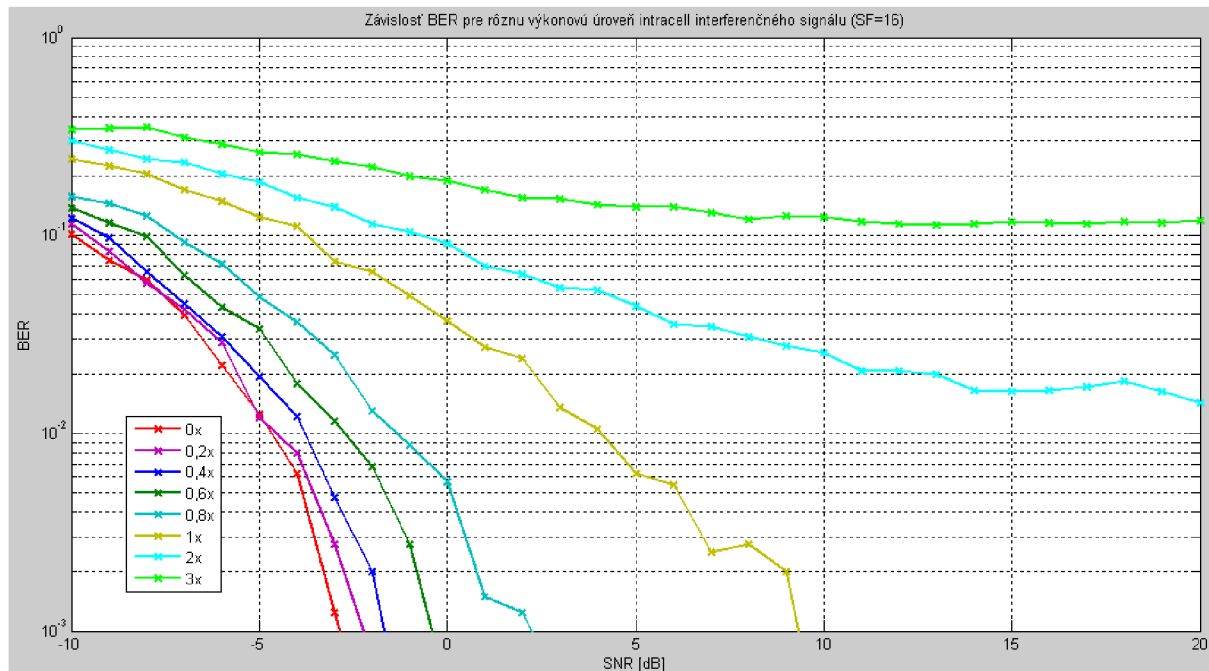


**Obr. 5.14 Závislosť BER pre rôznu výkonovú úroveň intercell interferenčného signálu (SF=4)**

Z Obr. 5.14 vyplýva, že ak je UE blízko Node B s ktorým komunikuje nemajú intercell interferencie vplyv na chybovosť signálu. V pozíciách UE v oblasti danej bunky, so zväčšujúcou sa vzdialenosťou od Node B sa chybovosť mierne zvyšuje. Chybovosť pri rovnakej úrovni užívateľského signálu ako intercell interferenčného signálu je vysoká, tento prípad nastane keď pozícia UE je v hraničných oblastiach bunky. V prípade ak sa UE nachádza v oblasti pokrytej bunkou s ktorou nekomunikuje, superponované interferenčné signály znemožnia správne vyhodnotenie užívateľského signálu. V tomto prípade je vhodné vykonať soft handover. Predĺžením integračného intervalu bitovej periódy pomocou zvýšenia SF sa chybovosť sa zníži.



**Obr. 5.15 Závislost' BER pre rôznu výkonovú úroveň intercell interferenčného signálu (SF=8)**



**Obr. 5.16 Závislost' BER pre rôznu výkonovú úroveň intercell interferenčného signálu (SF=16)**

## 6 ZÁVER

Práca sa zaoberá úpravou signálu vo fyzickej vrstve systému UMTS. Je tu popísané spracovanie signálu v určitých kanáloch. Je zameraná na rozprestieranie signálu v downlinku, pričom sa používajú PN kódy s nulovou vzájomnou koreláciou – Walshové kódy a s impulzným priebehom autokorelácie- Goldové kódy. Je vytvorený model na sledovanie vplyvu jednotlivých sekvencií na základe nastavenia rušiacich signálov v reálnom prostredí.

Bola overená ortogonalita rozprestieracích kódov, pre ktoré bola sledovaná chybovosť pre CDMA systém. Pri použití modelu AWGN kanálu pre jedného užívateľa sa zvýšením činiteľa rozprestierania znížila chybovosť. Pri vyšších hodnotách SF bola dosiahnutá nulová chybovosť systému aj pre signály s nižšou výkonovou úrovňou ako šum. Ďalej bol sledovaný vplyv úzkopásmového rušenia, pri ktorom bol opäť overený vplyv vyššieho SF na zníženie chybovosti. Následne bol sledovaný vplyv použitých rušení na viacnásobný prístup s kódovým delením používaný v systéme UMTS.

V prípade sledovania chybovosti pri rôznych výkonoch intracell interferenčných signálov, nenastala žiadna zmena chybovosti. Pri vysielaní signálov viacerých užívateľov s rôznym výkonom z jedného Node B, je ortogonalita zachovaná. V prípade prijímania signálu z viacerých Node B, nastáva porušenie ortogonálnych vlastností, čo sa odzrkadlilo aj na výsledkoch simulácie pre prípad Intercell. Ak výkonová úroveň prijímaných interferenčných signálov prekročí úroveň signálu, v ktorom sa prenášajú dáta pre daného užívateľa je výhodné použiť soft handover.

Zníženie chybovosti je možné dosiahnuť pre prenos ako hovorových tak aj dátových informácií pomocou zabezpečovacích kódov prípadne použitím adaptívnych smerových antén.

Pre modelovanie systému UMTS je možnosť použiť modul programu MatLab - Simulink, ktorý obsahuje bloky priamo určené pre simuláciu rádiokomunikačných systémov - Communications Blockset. Nachádzajú sa v ňom už vytvorené modely, ktoré predstavujú komplexnejšie modelovanie systému UMTS ako mnou vytvorený model.

## Použitá literatura

- [1] HANUS, S. ; FENCL, J.; ŠTENČEL, V. *Bezdrátové a mobilní komunikace II*. I.vyd. Brno : VUT, 2005. ISBN 80-214-2817-1
- [2] HANUS, S. *Bezdrátové a mobilní komunikace*. I.vyd. Brno : VUT, 2003. ISBN 80-214-1833-8.
- [3] HOLMA, H.; TOSKALA, A. *WCDMA for UMTS*, 3/E. Chichester: J. Wiley & Sons, 2004. ISBN 80-214-1833-8.
- [4] Chitrapu, P.; BRIANCON, A. *Wideband TDD*. Chichester: J. Wiley & Sons, 2004. ISBN 0-470-86104-5
- [5] HALONEN, T.; ROMEO, J.; MELERO, J. *GSM, GPRS and EDGE performance*. Chichester: J. Wiley & Sons, 2004. ISBN 0-470-86694-2
- [6] FANUCCI, L.; GIANNETTI, F.; LUISE, M.; ROVINI, M. *An Experimental Approach to CDMA and Interference Mitigation*. Kluwer Academic Publishers, 2004. ISBN 1-4020-2537-8
- [7] KEJÍK, P. *Potlačení interferencí u systémů 2G a 3G: diplomová práce* Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2007. 57 s. Vedúci diplomovej práce prof. Ing. Stanislav Hanus, CSc.
- [8] RYBÁR, R. *UMTS/IMT-2000: diplomová práce*. Košice: Fakulty elektrotechniky a informatiky Technickej Univerzity v Košiciach, 2001. Vedúci diplomovej práce doc. Ing. Ľubomír Doboš, PhD.
- [9] CHITRAPU, P.; BRIANCON, A. *Wideband TDD*. Chichester: J. Wiley & Sons, 2004. ISBN 0-470-86104-5
- [10] STAVROULAKIS, P. *Interference Analysis and Reduction*. Boston-London : Artech House, 2003. ISBN 1-580053-316-7.
- [11] JERRY, D Gibson. *The communication handbook*. 2nd illustrated edittion CRC Press, 2002. ISBN 9780849309670
- [12] BLOGH, J. S.; HANZO, L. *Third-generation systems and inteligent wireless networking*. Chichester: J. Wiley & Sons, 2002. ISBN 0470-84519-8

## Zoznam skratiek

<b>AMPS</b>	(American Mobile Phone Systém)- americký mobilný telefóny systém
<b>AMR</b>	(Adaptive Multi-Rate Speech Codong)- kódovanie s premennou dátovou rýchlosťou
<b>AWGN</b>	(Additive White Gaussian Noise)- aditívny biely Gausovský šum
<b>BER</b>	(Bit Error Rating)- bitová chybovosť
<b>BTS</b>	(Base Transciever Station)- základná prenosová stanica
<b>CCTrCH</b>	(Coded Composite Transport CHannel)- kódovaný kompozitný transportný kanál
<b>CDMA</b>	(Code division multiple access)- mnohonásobný prístup s kódovým delením
<b>CRC</b>	(Cyclic Redundancy Check)- kontrola redundantnými kódmi
<b>DPCCH</b>	(Dedicated Physical Control CHannel)- vyhradený fyzický riadiaci kanál
<b>DPDCH</b>	(Dedicated Physical Data CHannel)- vyhradený fyzický dátový kanál
<b>CPICH</b>	(Common Pilot CHannel)- spoločný pilotný kanál
<b>DTX</b>	(Discontinous Transmission)- nekontinuálny prenos
<b>ETSI</b>	(European Telecommunications Standards Institute) - Európsky telekomunikačný štandardizačný inštitút
<b>ETSI</b>	(European Telecommunications Standards Institute) - Európsky telekomunikačný štandardizačný inštitút
<b>FDD</b>	(Frequency Division Duplex)- kmitočtový duplex
<b>FDMA</b>	(Frequency Division Multiple Access)-mnohonásobný prístup s kmitočtovým
<b>GSM<sup>1</sup></b>	(Global system for mobile communications) - globálny systém pre mobilnú komunikáciu
<b>HSCSD</b>	(High Speed Circuit-Switched Data)- Vysokorýchlostné kruhovo-spínané dáta
<b>ITU</b>	(international telecommunication union) – medzinárodná telekomunikačná únia
<b>IMT2000</b>	(International Mobile Telecommunications for the year 2000) - Medzinárodné mobilné telekomunikácie pre rok 2000
<b>LFSR</b>	(Linar feedback Shift Register)- lineárny spätno väzobný register
<b>OVSF</b>	(Orthogonal variable spreading factor) – ortogonálne kódy s premenlivým činiteľom rozprestierania
<b>P-CCPCH</b>	(Primary Common Control Physical CHanel)- primárny spoločný riadiaci fyzický kanál
<b>QPSK</b>	(Qadrature phase shift keying)- štvorstavové fázové kľúčovanie
<b>RNC</b>	(Radio Network Controller)- riadiace jednotka rádiovkej siete
<b>RNS</b>	(Radio network system)- rádiová prístupová sieť
<b>SNR</b>	(Signal to Noise Ratio)- pomer signálu k šumu
<b>TDD</b>	(Time Division Duplex)- časový duplex
<b>TDMA</b>	(Time Division Multiple Access)- mnohonásobný prístup s časovým delením
<b>TFI</b>	(Transport Format Indicator)

---

<sup>1</sup> Pôvodne skratka GSM znamenala Groupe Special Mobile, postupom času sa zmenila na súčasný oficiálny názov Global system for mobile communications

<b>TFCI</b>	(Transport Format Combination Identifier)- Identifikátor kombinovaného transportného formátu
<b>TPC</b>	(Transmit Power Control)- kontrola výkonu vysielania
<b>TTI</b>	(Transmission Time Interval)- doba prenosu sady transportných blokov
<b>UE</b>	(User Equipment)- mobilná stanica v systéme UMTS
<b>UMTS</b>	(Universal Mobile Telecommunication System ) - Univerzálny mobilný telekomunikačný systém)
<b>UTRAN</b>	(UMTS Terrestrial Radio Access Network)- pozemná realizácia UMTS
<b>W-CDMA</b>	(Wideband CDMA)- širokopásmový mnohonásobný prístup s kódovým delením

## **Zoznam príloh**

- CD s elektronickou podobou tohto textu a zdrojovými kódmi simulácie