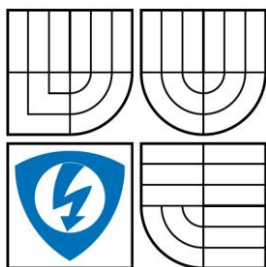


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY



FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

ZPRACOVÁNÍ A PŘÍJEM SIGNÁLU V SYSTÉMU UMTS

SIGNAL PROCESSING AND RECEIVING IN UMTS SYSTEM

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

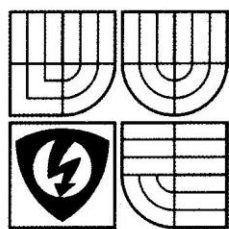
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

MICHAL HRON

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: Hron Michal

Ročník: 3

ID: 89314

Akademický rok: 2008/09

NÁZEV TÉMATU:

Zpracování a příjem signálů v systému UMTS

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se se zpracováním signálů v systému UMTS a s principem přijímače RAKE. V programu MATLAB vytvořte model downlinku tohoto systému, pro příjem signálů použijte přijímač RAKE.

S pomocí vytvořeného modelu sledujte chybovost přijímaného signálu v závislosti na typu přenosového kanálu. Vyzkoušejte vliv AWGN, Riceova a Rayleighova kanálu na příjem signálu. Vytvořte aplikaci, která bude umožňovat měnit parametry přenosového kanálu.

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

Konzultanti bakalářské práce:

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.

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma *Zpracování a příjem signálu v 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. Speciální poděkování patří Ing. Pavlovi Zezulovi Fakulty z ČVUT v Praze, Fakulty elektrotechnické, za metodickou pomoc s programovým prostředím Matlab.

V Brně dne 5. června 2009

.....
podpis autora

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá detailním rozбором přijímacího kanálu systému UMTS. Je zaměřena na šíření vícecestných signálů a jejich zpracování přijímačem typu RAKE. Teoretická část se zabývá obecnými principy zpracování signálů v sítích W-CDMA zvaných také sítěmi s rozprostřeným spektrem. Čtenáře detailně seznamuje s problematikou únikových kanálů a principy vícecestného šíření.

Teoretické poznatky jsou poté přeneseny do praktické části práce, která prostřednictvím programového prostředí MATLAB modeluje reálnou funkci downlinkového kanálu systému UMTS. Praktická část čtenářům zprostředkovává základní poznatky o zpracování a příjmu vícecestně šířených signálů se zaměřením na přijímač typu RAKE.

Výstupem práce jsou závislosti sledující chybovost přijímaného signálu při použití tří rozdílných přenosových kanálů - AWGN, Riceova a Rayleighova. Parametry těchto kanálů je možné měnit ve vytvořeném uživatelském prostředí. Součástí práce je kompletně okomentovaný kód v programovém prostředí MATLAB, který zájemci naleznou na přiloženém elektronickém nosiči (CD, případně USB drive).

Abstract

This Bachelor's Thesis is concerned with the detailed analysis of the UMTS receiving channel system. It is aimed at spreading multi-path signals and their processing by a RAKE-type receiver. The theoretical section is concerned with the general principles of processing signals in the W-CDMA networks, also referred to as networks with an spread spectrum. The reader shall be acquainted in detail with the problem of space channels and the principles of multi-path spreading.

These theoretical observations shall then be transferred to the practical section of the work, which, via the medium of the MATLAB programming environment, models the real function of the UMTS downlink channel system. The practical section provides the reader with basic observations on the processing and reception of multi-path spread signals with emphasis on RAKE-type receivers.

The departure-point of the work is the relation which monitors the error-rate of the received signal while using three different channels: AWGN, Rice's and Rayleigh's. It is possible to change the parameters of these channels in an artificially-created user interface (UI). A section of the work is the completely commented code in the MATLAB environment, which those who are interested will find on the supplemented electronic carrier (CD or USB drive).

Klíčová slova

downlink, MATLAB, simulace, UMTS, UTRAN, RAKE, přijímač, zpracování, příjem, signál, WCDMA, DS-CDMA, vícecestné šíření, diverzitní příjem, AWGN, RICE, RAYLEIGH

Key words

downlink, MATLAB, simulation, UMTS, UTRAN, RAKE, receiver, processing, receiving, signal, WCDMA, DS-CDMA, multipath, diversity, AWGN, RICE, RAYLEIGH

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE MÉ PRÁCE:

HRON, M. *Zpracování a příjem signálů v systému UMTS*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2009. 43 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Petr Kejík.

Obsah

1. ÚVOD.....	7
2. SYSTÉM UMTS (WCDMA)	9
2.1 ZÁKLADNÍ PARAMETRY SYSTÉMU UMTS	9
2.2 ZÁKLADNÍ STRUKTURA SYSTÉMU UMTS	10
2.3 VÝVOJOVÁ STÁDIA SYSTÉMU UMTS.....	12
3. ZPRACOVÁNÍ SIGNÁLŮ V SYSTÉMU UMTS	13
3.1 ROZPROSTÍRÁNÍ SIGNÁLU	14
3.2 SKRAMBLOVÁNÍ SIGNÁLU.....	16
3.3 POUŽÍVANÉ KANÁLY	17
4. ZPRACOVÁNÍ SIGNÁLŮ V DOWNLINKU A UPLINKU.....	18
4.1 UPLINK	18
4.2 DOWNLINK	19
5. DIVERZITNÍ PŘÍJEM A ÚNIKOVÉ KANÁLY	19
5.1 PROBLEMATIKA ÚNIKOVÝCH KANÁLŮ	19
5.1.1 <i>Selektivita únikových kanálů</i>	20
5.1.2 <i>Statistické modely únikových kanálů</i>	21
5.2 TECHNIKA DIVERZITNÍHO PŘÍJMU	22
6. PŘÍJÍMAČ RAKE	24
6.1 PRINCIP PŘÍJÍMAČE	24
6.2 ZÁKLADNÍ FUNKCE PŘÍJÍMAČE	25
6.3 PŘÍJÍMAČ TYPU G-RAKE.....	26
7. SIMULACE DOWNLINKOVÉHO KANÁLU SYSTÉMU UMTS.....	27
SIMULACE 1: VÝCHOZÍ STAV.....	28
SIMULACE 2: VÝCHOZÍ STAV + VÍCE UŽIVATELŮ	28
SIMULACE 3: VÍCE UŽIVATELŮ + ZVÝŠENÍ SF	29
SIMULACE 4: VÍCE UŽIVATELŮ + ZVÝŠENÍ SF + VYŠŠÍ POČET VZORKŮ + DEFINICE ÚNIKOVÝCH KANÁLŮ	29
SIMULACE 5: NÁZORNÁ UKÁZKA Vlivu RAKE PŘÍJÍMAČE	30
SIMULACE 6: VLIV DOPPLEROVY FREKVENCE	30
SIMULACE 7: REÁLNÝ PŘÍPAD – MAXIMÁLNÍ VYTÍŽENÍ BTS NA TÝNSKÉM CHRÁMU (2 x TRX = 16 UŽIVATELŮ, ODRAZY, ÚTLUMY, DOPPLER ZANEDBATELNÝ – CHODEC)	31
8. POPIS FUNKCÍ SIMULAČNÍHO PROGRAMU	31
8.1 SEZNAM FUNKCÍ A SKRIPTŮ SIMULAČNÍHO PROGRAMU.....	32
8.2 DETAILNÍ POPIS JEDNOTLIVÝCH FUNKCÍ A SKRIPTŮ	32
8.3 UŽIVATELSKÉ ROZHRAŇÍ PROGRAMU	35
9. ZÁVĚR.....	37
SEZNAM LITERATURY	38
SEZNAM PŘÍLOH	39
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	40

1. Úvod

Brzy po komerčním spuštění mobilních systémů druhé generace začalo být jasné, že v budoucnu tyto systémy nebudou schopny zajistit služby a informace v požadovaném rozsahu a kvalitě. Začalo se pracovat na vývoji nového systému třetí generace označovaného jako 3G (*Third-generation*). Vývoje se zpočátku chopily například organizace CEPT (*Conference of European Posts and Telecommunications*) a UMTS Forum, později práci dále rozvíjel evropský telekomunikační institut ETSI (*European Telecommunications Institute*).

Jedním z hlavních cílů projektu bylo zajistit celosvětovou kompatibilitu jak na uživatelské úrovni (mezinárodní roaming), kdy bude možné využívat služeb jednotných mobilních sítí kdekoli na světě, tak na úrovni operátorů. Významným požadavkem bylo i lepší využití rádiových frekvencí (vyšší spektrální účinnost modulací, účinnější zdrojové a kanálové kódování atp.), které jsou považovány za národní bohatství.

V roce 1998 se rozhodlo 5 standardizačních organizací z různých koutů světa (včetně ETSI) spojit do projektu 3GPP (*Third Generation Partnership Project*). Původní snaha o vytvoření jednotného systému ale selhala, protože systém historicky vždy musel vycházet z dosud zbudovaných sítí. Jednotný standard IMT 2000 (*International Mobile Telecommunication in the year 2000*) tak byl nahrazen rodinou 3G standardů, která tyto požadavky dané regionální odlišností jednotlivých infrastruktur respektovala.

Mezinárodní autority a standardizační organizace se shodli na následujících 3G standardech, které jsou součástí rodiny standardů označovaných i nadále jako IMT-2000:

- **W-CDMA**

3G standard WCDMA (nebo také W-CDMA) je evropsko-japonský 3G standard. V obou teritoriích jsou sítě mírně odlišné. Tento standard definuje jak terestrickou, nebo-li pozemní, tak satelitní mobilní službu. Pozemní, nazývaná jako UTRA (*UMTS Terrestrial Radio Access*), dnes tvoří podstatnou část telekomunikační infrastruktury v Evropě. Satelitní služba S-UMTS prozatím zůstává upozaděna kvůli vysokým nákladům na její vývoj i vybudování. WCDMA sítě používají frekvenčně dělený duplex FDD pro párové spektrum a časově dělený duplex TDD pro spektrum nepárové.

- **CDMA2000**

Americká technologie, za jejímž vývojem stojí společnost Qualcomm. První síť tohoto typu byla spuštěna v roce 2000 korejským operátorem SK Telecom, celosvětově šlo o vůbec první spuštěnou síť třetí generace. Až poté se technologie rozšířila i na domácí trh v USA.^[7] I přes podobné označení s W-CDMA sítěmi jde o značně odlišné technologie. V první vývojové fázi dosahovala síť CDMA 2000 přenosových rychlostí až 144 Kb/s, ve druhé až 2 Mb/s. Příjím

technologickým protikladem UMTS jsou až sítě CDMA2000 druhé vývojové fáze.

- **TD-CDMA/TD-SCDMA**

3G standard značně vycházející ze systému WCDMA (UMTS). Používá časově dělený duplex za účelem zajištění výrazné asymetrie mezi uplinkovým a downlinkovým kanálem. To je výhodné zejména z pohledu přístupu k internetovému obsahu, kdy je potřeba více dat přijímat, než odesílat. Tuto asymetrii standardní WCDMA síť neumožňuje. Výraznou nevýhodou TD-CDMA sítě je problematická synchronizace. To řeší čínský standard TD-SCDMA, kde přidané S znamená přidanou synchronizaci terminálů pro omezení interferencí mezi uplinkem a downlinkem. Časově dělený duplex má totiž problémy rozeznat, zda přidělený TDD rámec je určen pro uplink nebo downlink. Kompatibilita mezi TD-SCDMA a TD-CDMA je omezená.

- **UWC-136**

UWC-136 je pouze jiné (kryptické) označení pro známou technologii EDGE (*Enhanced Data Rates for GSM Evolution*), která je dnes již řazena mezi technologie 2,5G (dva a půl generace). V rodině 3G standardů je uváděna spíše z historického renoncu, kdy původní předpoklad pro 3G síť požadoval jako minimální přenosovou datovou rychlost 144 Kb/s. Tento požadavek EDGE splňuje. Vysokorychlostní datové přenosy byly dosaženy několika změnami v rádiové části GSM/GPRS sítě, zejména změnou modulace z původní GMSK na efektivnější 8PSK.

- **DECT**

DECT je evropský standard pro bezdrátové mobilní telefony. Mezi standardy IMT-2000 je zaveden kvůli předpokládanému použití DECT pro vytváření „telefonních hotspotů“, jež mohou být dále do 3G sítí integrovány. Samy ale nenabízejí možnost vytvoření plošného pokrytí. DECT pracuje ve frekvenčním pásmu 1880 - 1900 MHz, které je rozděleno na 10 kanálů dělených na řetězce 24 opakujících se timeslotů. Dvanáct z těchto timeslotů obsluhuje provoz ze základnové stanice BS k mobilnímu zařízení a druhých dvanáct slotů se používá pro opačný směr. DECT stejně jako GSM používá GMSK modulaci. Stejně jako na EDGE se na DECT již jako na 3G standard nehledí.

V současné době vývojové práce na systémech třetí generace celosvětově řídí mezinárodní telekomunikační unie ITU (*International Telecommunication Union*) v úzké spolupráci s 3GPP. Přenosová rychlost v těchto systémech závisí zejména na rychlosti pohybu mobilního terminálu UE (*User Equipment*) a na kvalitě přenosového rozhraní. V roce 1992 stanovila ITU pro systémy 3G frekvenční pásma v okolí 2 GHz (párové pásmo 1920÷1980 MHz a 2110÷2170 MHz, nepárové pásmo 1910 ÷1920 MHz a 2010÷2025 MHz), v roce 2000 byla přidána i další tři pásma: 806 ÷ 960 MHz,

1710 ÷ 1885 MHz, a 2500 ÷ 2690 MHz. V Evropě je však možné využít pouze třetí z nich, první dvě jsou obsazena systémy GSM.

2. Systém UMTS (WCDMA)

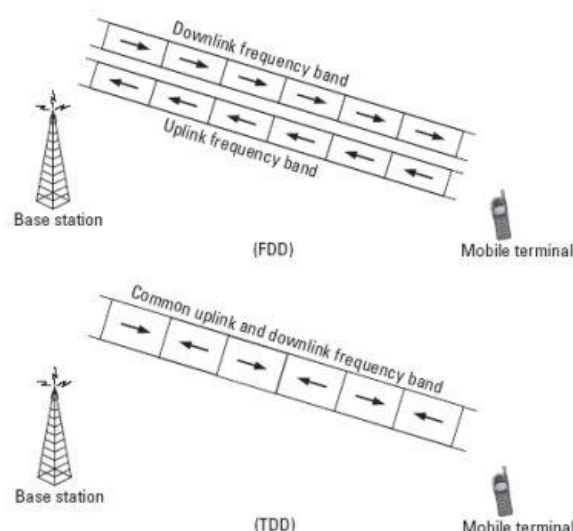
Systém UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*) z rodiny systémů třetí generace je ryze evropský projekt vyvíjený a standardizovaný evropským telekomunikačním institutem ETSI. Síť UMTS byla navržena jako přímý nástupce systému GSM (*Global System for Mobile communications*) a je implementována do existujících mobilních sítí druhé generace. Oproti nim přináší několik vylepšení, jako jsou vyšší přenosové rychlosti či podpora několika současně aktivních služeb.

S mobilními sítěmi typu UMTS se lze setkat i na území České republiky. V současné době je provozují operátoři T-Mobile (UMTS TDD) a Telefónica O2 (UMTS FDD). V blízké budoucnosti se chystá vybudovat síť UMTS FDD operátor Vodafone, který již spustil pilotní provoz v části Prahy, a T-Mobile, který bude na našem území provozovat síť s časově i frekvenčně dělným duplexem. ^[4]

2.1 Základní parametry systému UMTS

Systém UMTS definuje pozemní rádiové rozhraní nazývané UTRA (*UMTS Terrestrial Radio Access*) i satelitní rozhraní USRA (*UMTS Satellite Radio Access*). Toto rozhraní je do současné chvíle ale spíše jen vzdálenou budoucností. Systém používá přístupovou metodu s kódovým dělením CDMA (*Code Division Multiple Access*) s přímým rozptýlením zvanou W-CDMA (*Wideband CDMA*). Všichni uživatelé tak používají přidělené frekvenční pásmo po celou dobu komunikace. K rozeznání různých uživatelů, kteří používají jedno frekvenční pásmo současně, se používá uživateli přidělený unikátní binární kód.

Frekvenční pásmo systému UMTS má šířku 5 MHz a čipová rychlost je 3,84 Mchip/s. Metoda W-CDMA používá frekvenčně dělený duplex FDD (*Frequency Division Duplex*) i časově dělený duplex TDD (*Time Division Duplex*). U obou módů jsou informace přenášeny v rámci o délce 10 ms skládajících se z 15 slotů o délce 2/3 ms. Základnové stanice BS (*Base Station*) pracují v asynchronním režimu, přenosová rychlost se pohybuje od 144 kbit/s do 2 Mbit/s. Výrazného asynchronismu, výhodného zejména z pohledu přístupu k webovým službám, lze ale docílit pouze při použití časového duplexu TDD.



Obr. 2.1 – Rozdíl mezi frekvenčním (FDD) a časovým (TDD) duplexem ^[8]

Poslední specifikace systém rozšiřují o dílčí řešení širokopásmové komunikace zvané HSPA (*High-Speed Packet Access*) spojující protokoly pro downlinkový (HSDPA – *High-Speed Downlink Packet Access*) a uplinkový (HSUPA – *High-Speed Uplink Packet Access*) směr komunikace. S tímto rozšířením jsou UMTS sítě schopny v praxi nabídnout přenosové rychlosti až 14 Mbit/s, teoreticky jde o rychlosti řádově vyšší.

Systém používá modulačních metod QPSK (*Quadrature Phase Shift Keying – čtyřstavová fázová modulace*) pro sestupnou trasu (downlink) a dvoukanálové QPSK v případě vzestupné trasy (uplink). Pro mód 1,28 Mchip/s se zde dále uplatňuje modulace 8PSK (*Phase Shift Keying – osmistavová fázová modulace*), pouze pro tzv. HS (*High-speed*) fyzické kanály v downlinku také 16QAM (*Quadrature Amplitude Modulation – šestnáctistavová modulace*). ^[3]

2.2 Základní struktura systému UMTS

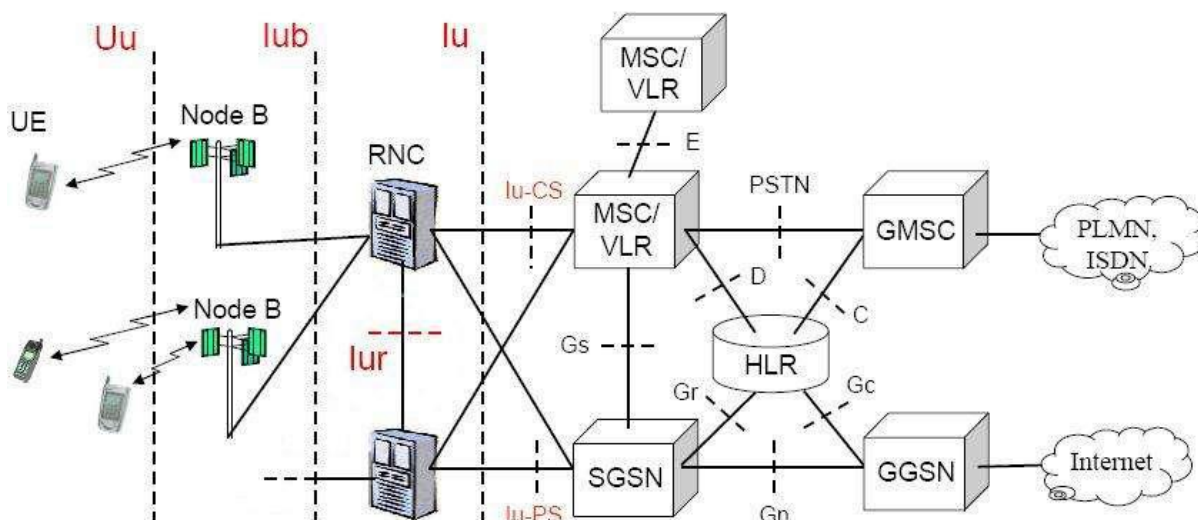
Systém UMTS používá stejně jako GSM buňkovou (celulární) strukturu, která se kromě jistých výhod, mezi něž patří efektivní využití kmitočtového pásma a s tím spojená vyšší kapacita systému, vyznačuje i negativními vlastnostmi, zejména pak problematikou interferencí. ^[2] Mezi základní stavební bloky systému patří páteřní síť CN (*Core Network*), rádiová přístupová síť UTRAN a uživatelské terminály UE (*User Equipment*).



Obr. 2.2 – Základní struktura systému UMTS

- Pátevní síť CN:** jádro sítě UMTS, zajišťuje spojovací funkce (propojení účastníků, směrování paketů), udržuje a aktualizuje důležité uživatelské informace (poloha, bezpečnost, účtování) a zajišťuje propojení do externích sítí (ISDN, X.25, PSTN, Internet, atd.)
- Přístupová síť UTRAN:** umožňuje uživatelům mobilní přístup ke službám poskytovaným pátevní sítí CN pomocí rádiového prostředí, zprostředkovává rádiový přenos, řídí a přiděluje rádiové prostředky
- Uživatelský terminál UE:** UE představuje mobilní stanici, skládá se z ME (*Mobile Equipment*), jež se stará o navázání rádiového spojení přes rádiové rozhraní, a USIM (*UMTS Subscriber Identity Module*) sloužící k identifikaci uživatele, uchování autorizačních a šifrovacích klíčů a dalších informací vyžadovaných terminálem

V detailnějším pohledu na síť se již objevují další stavební prvky, mezi něž patří zejména propojení jednotlivých částí systému, takzvaná rozhraní (interface). Rozhraní mezi uživatelskou stanicí (UE) a mezi UTRAN se jmenuje Uu a rozhraní mezi UTRAN a jádrem sítě se jmenuje Iu. Na následujícím obrázku si lze povšimnout i dalších typů rozhraní, například Iub propojující jednotlivé řídicí a vysílací bloky UTRAN. Rozhraní Iu se dále rozděluje podle toho, zda se využívá pro propojení paketově spínané technologie (Iu-PS – Packet Switched) nebo okruhově spínané technologie (Iu-CS - Circuit Switched). To koresponduje s rozdělením jádra sítě do dvou domén, tedy na služby paketově spínané a okruhově spínané.



Obr. 2.3 – detailní struktura systému UMTS odpovídající specifikaci Release 99 ^[10]

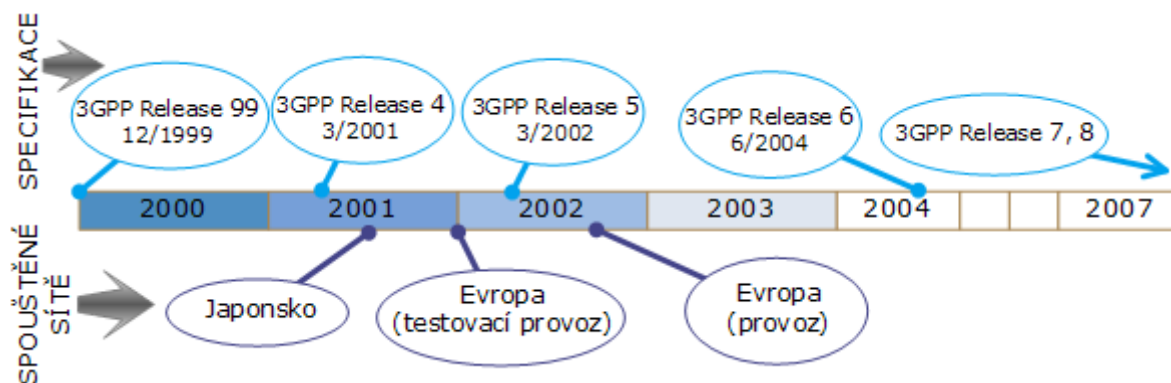
Při pohledu na strukturu sítě UMTS je třeba mít na paměti, že struktura sítě UMTS není a ani nemůže být kompletní. Jednotlivé nové služby přidávají své vlastní síťové prvky, například služby založené na poloze (LBS – Location Based Services) vyžadují zavedení center mobilní polohy atd. Musíme také počítat s nejrůznějšími

registry a dalšími prvky závisujícími na konkrétní implementaci určené operátorem a navíc je třeba si uvědomit, že výrobci mohou jednotlivé logické síťové prvky kombinovat do jednoho fyzického zařízení. Do dnešní specifikace UMTS tak bylo vneseno mnoho dalších souvisejících stavebních bloků, které se starají o přidání nových služeb a funkcí, v poslední době zaměřených zejména na IP komunikaci a již zmíněné lokalizační služby.

2.3 Vývojová stádia systému UMTS

Detailní struktura sítě se mění v závislosti na uznaných vývojových stádiích sítě UMTS, tzv. Release neboli souborech závazných technických specifikací. První platná technická specifikace byla vydána sdružením 3GPP v roce 2000 a označena jako Release 99. Později se upustilo od spojování jmen jednotlivých vývojových stádií s rokem jejich uvolnění. Zjistilo se totiž, že perioda jeden rok pro vytvoření významného počtu přidanych vlastností, aby bylo opodstatněné vydání nové specifikace, je příliš krátká.

Od prvního „zmraženého“ souboru technických specifikací došlo k vývoji zejména z pohledu propustnosti sítě (přidání HSPA technologií), vylepšení a zpřehlednění architektury a protokolů, celý systém navíc prošel několika revizemi pro odstranění nepotřebných alternativ. První Release 99 se soustředilo zejména na minimalizaci dopadů na páteřní síť, byl tedy vytvořen nový typ rozhraní mezi páteřní sítí a přístupovými sítěmi. Zachovány zůstaly služby systému GSM, ze kterého tato první verze technické specifikace značně vycházela.



Obr. 2.4 – vývojová stádia systému UMTS ^[6]

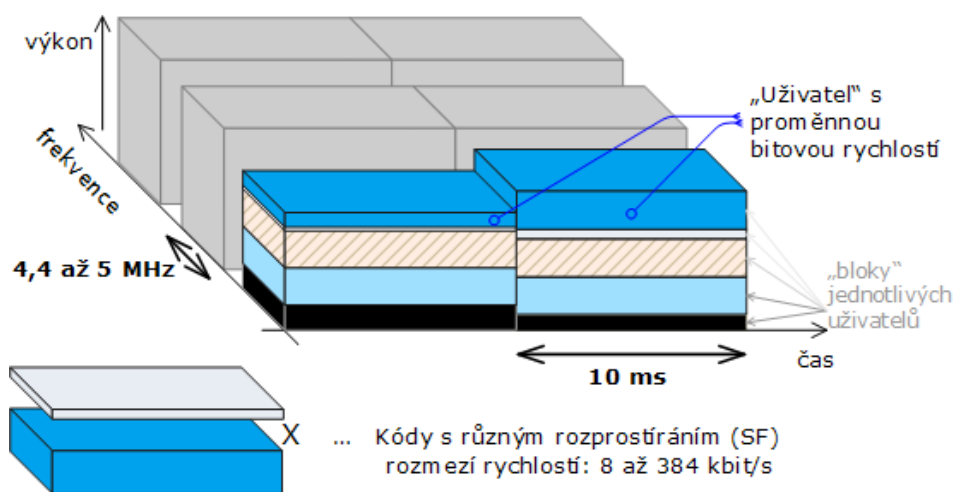
Po vypuštění Release 99 se však ukázalo, že je zde mnoho věcí, které lze i nadále vylepšovat či upravovat. V následném Release 4 tak byla ošetřena zejména technická zpráva požadavků na tzv. end-to-end QoS (kvalita služby řízena od začátku na konec spojení), od které bylo v první specifikaci upuštěno. Drastičtější zásahy do struktury sítě přinesla až Release 5, která poprvé zavádí službu pro vysokorychlostní paketový přenos v downlinku (HSDPA). Dodána je i podpora IP komunikace. Tato specifikace je nyní zaváděna v České republice, ve světě se již pokročilo k praktickému nasazování Release 6. Ta k HSDPA přidává i vysokorychlostní přenos dat v uplinkovém směru HSUPA, nabízí sdílení přístupové sítě, rozšíření v podobě podpory integrace WLAN (*Wireless Local Area Networks*) do

sítě, úpravy QoS, nové možnosti SIP, širokopásmový řečový kodek AMR (včetně podpory přenosu hudby) a zlepšuje se také hlas a video přes IP. Cílem Release 7 bylo pak spíše jen doladit drobnosti ve stávajících technických specifikacích se zaměřením na kvalitu nabízených služeb, zmrazeny byly tyto specifikace v roce 2007.

Od Release 7 vydaly standardizační autority postupně i další soubory technických specifikací, a to Release 8 a 9. Na nich se v současné době ještě stále pracuje. Zaměřeny jsou především na zefektivnění RAN sítě, zaměřují se i na další rozšíření IP komunikace a služeb, zejména z pohledu SIP. Cílem je zajistit, aby produkty a služby UMTS/HSDPA byly vysoké kvality, korektně fungovaly a aby bylo v praxi plně dosaženo zamýšlených cílů.

3. Zpracování signálů v systému UMTS

V systému UMTS se používá kombinovaná přístupová metoda FDMA/CDMA, ač se v praxi pro zjednodušení často uvádí pouze druhá z nich. Metodu FDMA představuje rozdělení kmitočtového pásma na jednotlivé rádiové kanály. V nich se poté uplatňuje metoda CDMA, kdy jsou jednotlivé uživatelské kanály rozlišeny jedinečnou kódovou sekvencí (rozprostíracím kódem), kterou se kóduje přenášená informace.



Obr. 3.1 – princip kombinované přístupové metody FDMA/CDMA

Vzhledem k tomu, že šířka pásma používané kódové sekvence je mnohem větší, než šířka pásma signálu nesoucího informaci, dochází po kódování k rozproštění původního spektra a snížení jeho spektrální výkonové hustoty. Proto se technika CDMA také označuje jako mnohonásobný přístup s rozproštěným spektrem SSMA (*Spread Spectrum Multiple Access*). Výhodou těchto systémů je odolnost vůči úzkopásmovému i širokopásmovému rušení. ^[1]

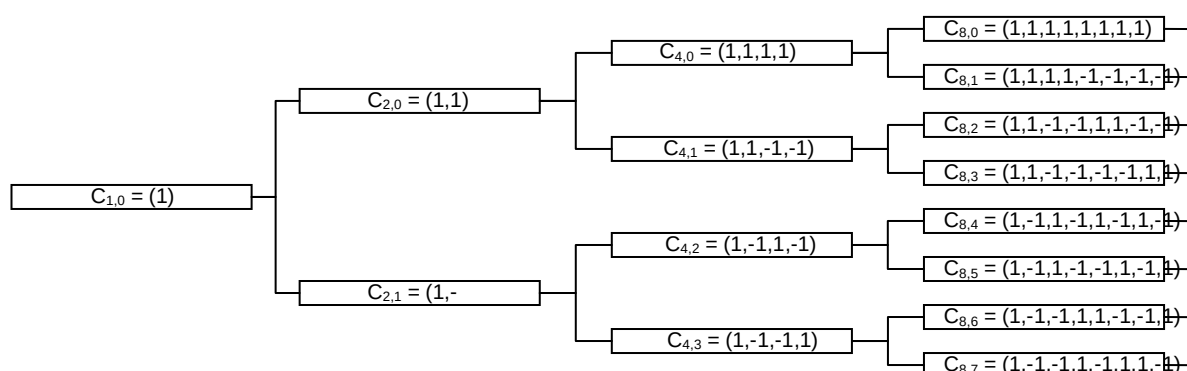
V systému UTRA se ke generování rozproštěného signálu užívá modulační technika DS-SS (*Direct Sequence Spread Spectrum*), u které je relativně úzkopásmový datový signál sčítán (XOR) s kódovou sekvencí. Používají se zde činitele rozprostírání přibližně v rozmezí 10 až 1000. Bity kódové sekvence a

rozprostřeného signálu se pro odlišení od bitů datového signálu označují jako čipy (*Chips*), počet těchto čipů na jeden datový symbol vyjadřuje rozprostírací faktor SF (*Spreading Factor*). Kódové sekvence jsou vzájemně ortogonální, z čehož plyne, že v ideálním prostředí (bez odrazů) vzájemně neinterferují. Rozprostírání je aplikováno ve fyzické vrstvě. Skládá se z vlastního rozprostírání a tzv. skramblování.

3.1 Rozprostírání signálu

Rozprostírání představuje v obecném pohledu proces odlišení jednotlivých uživatelů či zařízení v rádiovém přenosovém kanálu. Data každého uživatele jsou rozprostírána unikátním kódem, sekvencí. Tyto sekvence (impulsní funkce), které jsou určující pro přenosové kanály přenášející informace z jednotlivých zdrojů pro různá spojení, se vyznačují vzájemnou ortogonalitou, tj. nulovou vzájemnou korelací. Skupina těchto vzájemně ortogonálních kódů umožňujících měnit faktor rozprostření se označuje jako kód OVFS (*Orthogonal Variable Spreading Factor Code*).

Ortogonalita použitých kódů nám tedy zajišťuje rozlišení informací pro jednotlivá spojení, vysílaných ze základnové stanice v rámci jedné buňky v sestupném směru (downlink) a rozlišení přiřazených fyzických datových kanálů od účastnického zařízení ve vstoupném směru (uplink). K rozprostírání signálu se v prostředí UTRA používají kódy, které lze znázornit pomocí tzv. Walshova stromu. Jeho struktura je dána rekurentními vztahy pro Hadamardovy matice ^[1].



Obr. 3.2 – Walshův strom

Každý kód je označen symbolem $C_{SF,k}$, kde SF je činitel rozprostírání, případně zisk rozprostírání (používá se na straně přijímače), a k je číslo kódu v rozsahu od 0 do (SF-1). Činitel rozprostření SF popisuje, kolik čipů používá WCDMA k bezdrátovému přenosu na jeden symbol. Matematicky jej lze vyjádřit vzorcem (3.1):

$$SF=2^k, \text{ kde } k=0,1,2,\dots,9 \quad (3.1)$$

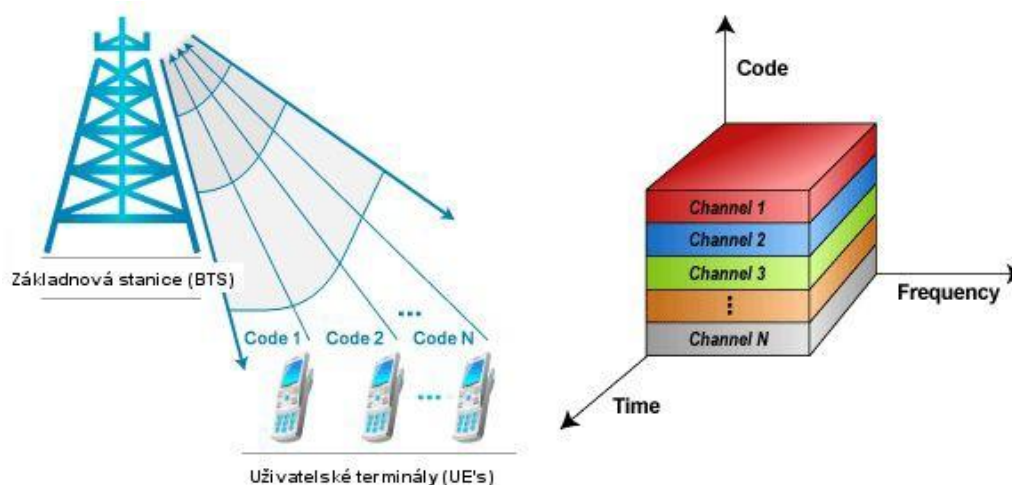
, respektive jako zmíněný zisk (*Processing Gain* G_p) ve vztahu (3.2):

$$G_p = \frac{W}{R_B} = \frac{B_{Uu}}{B_B} \quad (3.2)$$

, kde B_{Uu} je šířka pásma na rozhraní Uu (tj. širokopásmový rozprostřený signál), B_B je šířka pásma signálu (dat) v základním pásmu (tj. před rozprostřením), W je čipová rychlost systému a R_B je bitová rychlost v přenosovém kanále.

Pokud je signál rozprostřen například kódem $C_{4,1}$, může být na straně přijímače derozprostřen nejen stejným kódem, ale i všemi kódy z jeho substromu. Tato vlastnost platí i naopak, tedy je-li přidělen uživateli kód $C_{8,2}$, na straně přijímače může být použit k derozprostření signálu kterýkoli vyšší kód z Walshova stromu.

Zároveň ale platí, že kódy obsažené v substromu přiděleného kódu jednomu uživateli již nemohou být použity pro uživatele druhého. Docházelo by totiž ke vzniku nežádoucích interferencí, viz [1].



Obr. 3.3 – princip odlišení uživatelů kódovou posloupností

Rozprostřené signály od různých uživatelů jsou současně vysílány do rádiového prostředí. Každý přijímač pak obsahuje odlišný rozprostírací kód, kterým se dekoduje (derozprostírá) přijímaný signál. Na výstupu dekodéru se objevuje pouze jediný úzkopásmový informační datový signál, který byl ve vysílači kódován stejným rozprostíracím kódem. Ostatní signály zůstanou kódovány a v přijímači se projeví pouze jako šumové pozadí užitečného signálu. Po zpracování pásmovou propustí obdrží další obvody přijímače už jen požadovaný úzkopásmový signál a malou část šumového pozadí.

Pro síť UTRA FDD je minimální přípustný činitel rozprostírání $SF = 4$, což znamená, že každý datový bit je reprezentován čtyřmi čipy. S vyšší hodnotou SF , která může ve zmíněném systému dosáhnout hodnoty 512, ale klesá uživatelská přenosová rychlost signálu. Zároveň se ale zvyšuje odolnost proti interferencím. Je třeba také pamatovat na fakt, že ortogonalita Walshových kódů je zajištěna pouze pro nulový časový posun, což vzhledem k odrazům signálu od překážek v reálném prostředí nemusí být vždy dodrženo. Existuje mnoho principů, jak tomuto nežádoucímu efektu zabránit. Podrobněji jsou popsány opět v [1].

3.2 Skramblování signálu

Skramblování se využívá ke vzájemnému oddělení signálů vysílaných z různých zdrojů. Zatímco při kódování kanálů (rozprostírání) se používají Walshovy kódy nebo Walshovy sekvence, při skramblování se ke slovu dostávají pseudonáhodné kódy PN (*Pseudo-Noise codes*, *Pseudorandom codes*) nebo pseudonáhodné sekvence. Čipy se zde komplexně násobí, přenosová rychlost signálu ale zůstává vzhledem ke stejné čipové rychlosti PN kódů a OVFSF kódů stejná.

PN sekvence, kterou byl signál násoben, musí být dostupná na přijímací straně k obnovení původního signálu. PN sekvence tedy musí být reprodukovatelná v přijímači a zároveň musí být v synchronismu se stejnou skramblovací frekvencí ve vysílači. Pro generování pseudonáhodných sekvencí se často využívá posuvný registr LFSR, jehož princip je detailně popsán v [1].

Ke skramblování v uplinku se používají dva druhy PN kódů: dlouhé skramblovací kódy odvozené z Goldových kódů (38 400 čipů) a krátké skramblovací kódy odvozené z S(2) kódů (256 čipů). Krátký kód se doporučuje používat v případě, kdy základnová stanice využívá vylepšený příjem multiuživatelskou detekcí, nebo pro potlačení interferencí. Kódy se generují podle vzorce (3.3):

$$C_{SC} = C_1 + jW_2C_1C_{2D} \quad (3.3)$$

, kde C_{SC} je krátký nebo dlouhý komplexní kód, C_1 a C_2 jsou pseudonáhodné sekvence (nekomplexní), C_{2D} decimovaná pseudonáhodná sekvence získaná decimováním dvěma sekvencemi C_2 a W_2 je imaginární část tohoto rotátoru, tedy $W_2 = [1 \ -1]$. K vytvoření výsledného komplexního kódu je tedy třeba generovat jednu sekvenci C_1 , sekvence C_2 je posunutá verze C_1 o 16777232 čipů. C_1 je Goldův kód, který vznikne sečtením (modulo 2) dvou PN sekvencí. Detailnější rozbor viz. [11].

V downlinkovém kanálu se na rozdíl od uplinkového používá jen jeden druh kódu odvozeného z Goldových kódů. Ten má odlišnou strukturu od 3.3, skramblovací sekvence je zde generována dle vztahu (3.4):

$$S_n(i) = z_n(i) + jz_n(i + 131072) \quad (3.4)$$

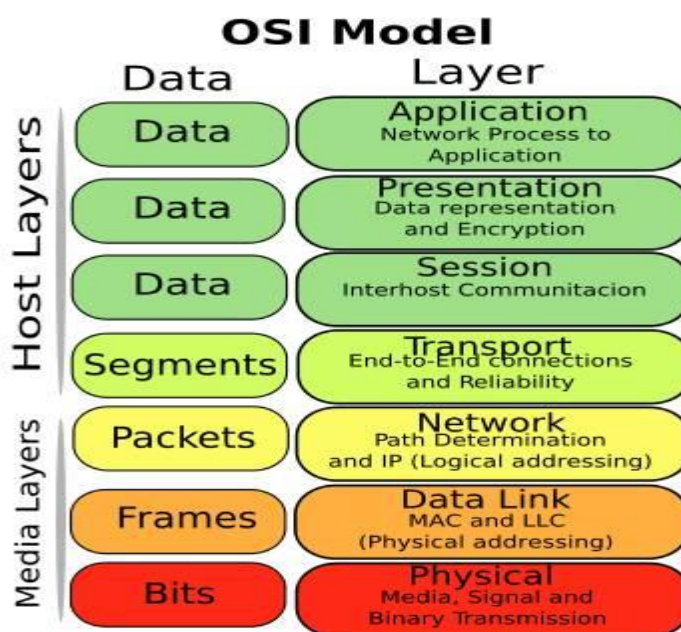
, kde i je číslo od 0 do 38399 a sekvence z_n je z rodiny Goldových kódů. Získává se ze dvou m-sekvencí pomocí vztahu (3.5):

$$z_n = (x((i+n) \bmod ulo(2^{18}-1)) + y(i)) \bmod ulo2 \quad (3.5)$$

, kde n je číslo daného výsledného skramblovacího kódu, vztah $2^{18}-1$ určuje počet různých skramblovacích kódů a x a y představují PN sekvence vzájemně od sebe odlišené různými primitivními polynomy. Tyto kódy nás budou nadále velice zajímat, jelikož se používají v souvislosti s přijímačem RAKE.

3.3 Používané kanály

V systému UMTS se používají pro přenos signálů mezi jednotlivými vrstvami dle OSI (viz. obrázek 3.4) různé kanály. Rozlišujeme zde mezi fyzickými kanály (*Physical Channels*) používanými pro vysílání datových signálů přes rádiové rozhraní, transportními kanály (*Transport Channels*) používanými pro multiplexování signálů různých služeb s proměnnou bitovou rychlostí a logickými kanály (*Logical Channels*) určenými pro přenos signalizace a uživatelských dat na rozhraní mezi vrstvami MAC (*Medium Access Control*) a RLC (*Radio Link Control*).



Obr. 3.4 – Referenční model OSI

Fyzické kanály: používají se k přenosu datových signálů přes rádiové rozhraní. Rozdělují se na společné a vyhrazené fyzické kanály. Společné fyzické kanály (*Common Physical Channels*) jsou sdíleny všemi UEs v buňce, zatímco vyhrazené fyzické kanály (*Dedicated Physical Channels*) jsou přiděleny jednotlivým rádiovým spojením. Podle přenášené informace se fyzické kanály dále dělí na fyzické kanály přenášející transportní kanály a fyzické kanály potřebné pro řízení systému.

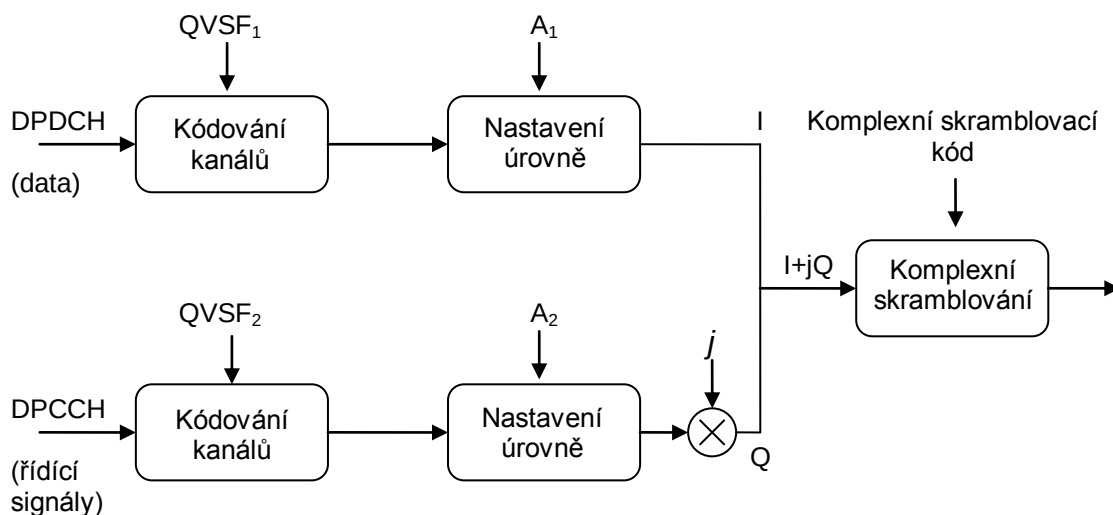
Transportní kanály: používají se na rozhraní fyzické vrstvy a vrstvy MAC. Oproti logickým kanálům jsou pouze jednosměrné. Nerozlišují mezi přenosem řídicích a uživatelských dat. Přenos dat se zde provádí pomocí transportních bloků. Do rádiového rámce o délce 10 ms může být umístěno i několik těchto bloků, každý z nich je ale stejně velký. Doba přenosu jedné sady transportních bloků může nabývat hodnot 10, 20, 40, nebo 80 ms.

Logické kanály: obecně se rozdělují na řídicí kanály (*Control Channels*) a provozní kanály (*Traffic Channels*). První z nich slouží k přenosu signalizace, provozní kanály pak k přenosu uživatelských dat. Jednotlivé kanály mohou být vytvořeny pro uplink i downlink, případně pro oba směry současně. Detailní přehled dělení logických kanálů je k nahlédnutí v [1]. Logické kanály jsou mapovány do transportních kanálů.

4. Zpracování signálů v downlinku a uplinku

Nyní se můžeme podrobněji podívat na zpracování signálů v sestupné (downlink) a vzestupné (uplink) trase systému UMTS. Níže jsou uvedeny procesy pro jednotlivé linky. Jako modulace se v případě uplinku užívá OCQPSK (*Orthogonal Komplex QPSK*) nazývaná taktéž jako hybridní PSK modulace. V takovém případě jsou signály kódově multiplexovány a fázový stav nosné je vyjádřen dvěma čipy – jedním z kanálu DPDCH a jedním z kanálu DPCCH. V downlinku se používá modulace QPSK, kdy každý fázový stav nosné je reprezentován dvěma vstupními po sobě následujícími čipy.

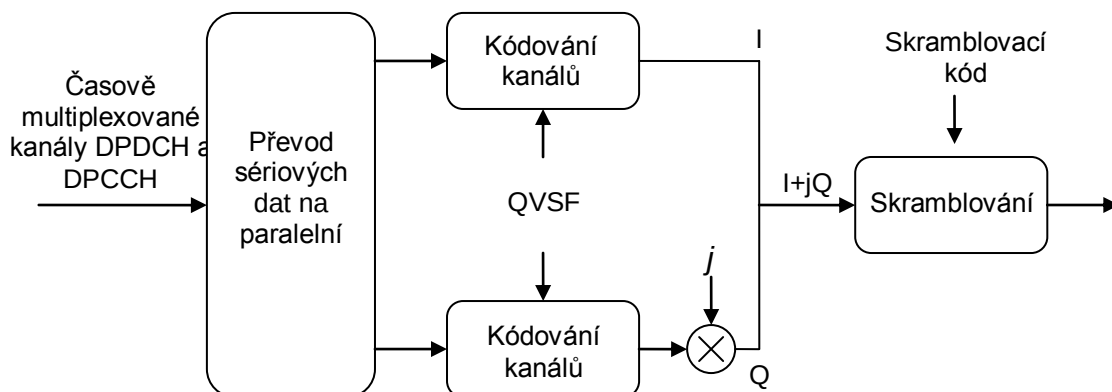
4.1 Uplink



Obr. 3.1 – Rozprostírání signálů v uplinku

Princip zpracování signálů v uplinku je vysvětlen na obrázku 3.1. Nejprve jsou kanály DPDCH (data) a DPCCH (řídicí signály) rozprostřeny pomocí odlišných rozprostíracích kódů $QVSF_1$ a $QVSF_2$. Poté se za pomoci koeficientů A_1 a A_2 upraví jejich úrovně a signály se sečtou. Následuje proces skramblování, který je podrobněji vysvětlen v [1], po němž je signál rozdělen do dvou větví na reálnou a imaginární složku a přiveden na QPSK modulátor.

4.2 Downlink



Obr. 3.2 – Rozprostírání signálů v downlinku

V případě downlinku, jak ukazuje obrázek 3.2, se příchozí signál z fyzického kanálu DPDCH a řídicí signály z fyzického kanálu DPCCH nejdříve převedou ze sériové do paralelní formy a poté jsou data namapována na QPSK symboly. Obě vzniklé větve jsou rozprostřeny stejným ortogonálním kódem QVSF₁. Dochází tím ke zvětšení šířky pásma, dále již jde o čipy. Jedna z větví je poté násobena imaginární jednotkou j a signál je dále zpracováván jako komplexní. Po procesu skramblování (vynásobení komplexním skramlovacím kódem) se signál sčítá se signály z dalších kanálů rozprostřených odlišnými OVFS kódy.

5. Diverzitní příjem a únikové kanály

Dosud jsme jen krátce zmiňovali dopad reálných prostředí na šíření signálu. Zatímco teoretický průběh výše uvedených principů je v podstatě bezproblémový, v praxi se setkáváme s jevy, které neodmyslitelně doprovází každé reálné rádiové prostředí. Signály, které se takovým prostředím šíří, se potýkají s jevem zvaným únik (*fading*), kdy vlivem odrazů signálů od překážek či terénních nerovností a několika dalších faktorů dochází ke kolísání úrovně signálu v místě příjmu. Takové nežádoucí jevy se snažíme potlačit metodou zvanou diverzitní příjem, jejíž myšlenka je postavena na použití více komunikačních kanálů pro přenos stejné informace. Příjímač má pak k dispozici více než jednu verzi přenášeného signálu, čímž se významně sníží pravděpodobnost jeho úniku, např. přerušení spojení [2].

5.1 Problematika únikových kanálů

Šíření elektromagnetických vln přenosovým rádiovým kanálem v reálném prostředí je doprovázeno hned několika nežádoucími jevy, se kterými je nutno při návrhu každého systému počítat. V první řadě jde o aditivní šum, který se na užitečný signál superponuje. Tento šum, definovaný gaussovským rozložením AWGN (*Additive white Gaussian noise*), je však jednou z nejmenších překážek pro zajištění kvalitního přenosu signálu. Zatímco šum lze poměrně „snadno“ na konci

přenosové cesty eliminovat, odrazy a interferencemi způsobený únik elektromagnetických vln je již problémem o poznání větším.

Únik je jev spočívající v kolísání úrovně přijímaného rádiového signálu během určitého časového úseku. Vlivem mnohacestného šíření signálu tak na přijímací straně dochází k interferencím dvou a více verzí téhož vysílaného signálu s rozlišným časovým zpožděním a útlumem. Tyto nežádoucí jevy lze navíc popsat jen statisticky, nelze je nijak předvídat či přesně matematicky popsat. Přijímaný signál tedy může značně měnit svou amplitudu i fázi a to v závislosti na mnoha faktorech, které při návrhu daného systému neznáme, ale musíme je uvážit.

5.1.1 Selektivita únikových kanálů

Únikové kanály, ve kterých k těmto jevům dochází, dělíme na časově a frekvenčně selektivní, respektive kanály s mnohocestným časovým rozšířením kanálu (*multipath delay spread*) a dopplerovským kmitočtovým rozšířením signálu (*Doppler spread*).

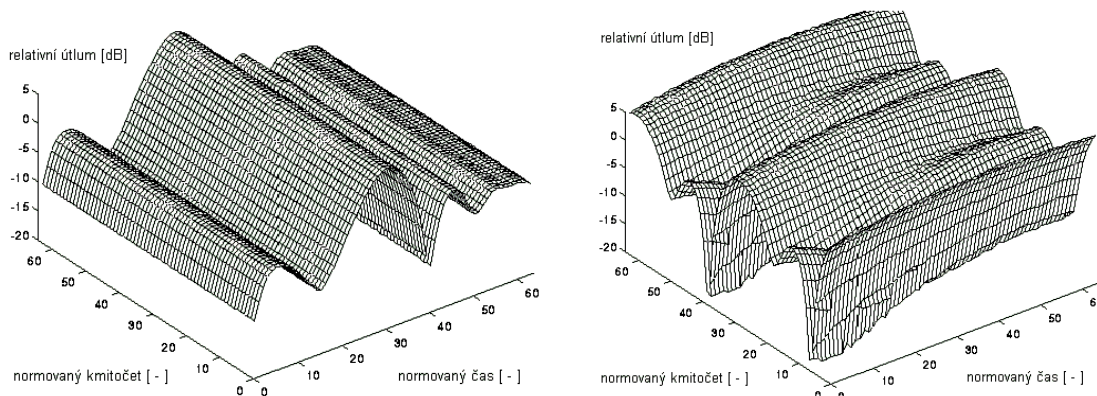
Časově selektivní kanál je závislý zejména na vzájemném pohybu přijímací a vysílací strany a definuje jej dopplerovské kmitočtové rozšíření. Příkladem může být vzájemný pohyb mobilní stanice vůči stanici základnové, kdy dochází ve zhruba pravidelných časových intervalech k tzv. hlubokým únikům, což je krátkodobý pokles úrovně signálu pod prahovou úroveň přijímače (řádově o 30 až 40 dB). Časově selektivní únikový kanál tedy závisí na vzájemné rychlosti přijímače, vysílače a objektů, na kterých dochází k odrazu.

Frekvenčně selektivní kanál je závislý na délce impulsní odezvy rádiového kanálu. U frekvenčně selektivních kanálů závisí silně vlastnosti kanálu na kmitočtu, a to i v rámci jednoho frekvenčního kanálu. Obvykle bývá charakterizován tzv. efektivní hodnotou rozptylu zpoždění v kanálu, kdy za frekvenčně selektivní kanál lze označit každý, který splňuje podmínku (5.1). Přesně definovaná hranice mezi frekvenčně neselektivním a selektivním kanálem však neexistuje.

$$\tau_{rms} > \frac{T_s}{2} \quad (5.1)$$

, kde τ_{rms} je rozptyl zpoždění v kanálu a T_s značí dobu trvání signálového prvku.

Rozdíl mezi frekvenčně selektivním a časově selektivním kanálem je pro ilustraci znázorněn na obrázku 5.1. Z pohledu mobilních komunikací, a tedy i sítě UMTS, se nejčastěji setkáváme s přenosovými kanály, které obě selektivity vzájemně kombinují.



Obr. 5.1 – Časově a frekvenčně selektivní únikový kanál [12]

5.1.2 Statistické modely únikových kanálů

Jak jsme již naznačili, jevy způsobované únikovými kanály nelze přesně matematicky popsat. Proto vzniklo hned několik statistických modelů, ze kterých se při návrhu rádiových systémů vychází. Mezi nejpoužívanější statistické modely únikových kanálů patří Riceův a Rayleighův přenosový kanál. Tyto modely kanálů spolu velice úzce souvisejí. Zatímco Riceův kanál je definován úniky a přímou viditelností mezi vysílačem a přijímačem, Rayleighův kanál tuto přímou viditelnost nemá definovanou. Je tedy tvořen pouze odraženými signály. Podrobněji tuto problematiku rozebírá [14].

- **Rayleighův kanál**

Tento stochastický model vychází z předpokladu, že reálné prostředí je tvořeno mnoha odrazovými plochami. Simuluje tak prostředí, ve kterém se šíří pouze odražené vlny. Jejich únik pak definuje pomocí Rayleighova rozložení, kterého lze dosáhnout například skládáním sinusových signálů podle Jackova modelu nebo vzájemnou kombinací nekorelovaného Gaussova rozložení. Rayleighův únikový kanál slouží zejména při návrhu rádiových sítí v silně zastavěných oblastech, velmi blízký reálný model šíření rádiových vln dle tohoto modelu byl například nalezen v centru New Yorku.

- **Riceův kanál**

Riceův únikový kanál představuje stochastický matematický model přenosového prostředí, které oproti Rayleighově kanálu definuje i přímou cestu mezi vysílačem a přijímačem (*line of sight*). Minimálně jeden signál je zde tedy značně méně postižen únikem, ovlivňují ho ale na přijímací straně interference s jeho kopiemi zpožděnými o daný časový úsek. Signál tedy na přijímač dopadá dvěma různými cestami – přímou a odraženou. Amplitudy jednotlivých signálů jsou ovlivněny Riceovou distribucí. Důležitým parametrem Riceova kanálu je takzvaný K-faktor, který udává poměr mezi výkonem dominantní komponenty šíření a výkonovým minimem v odražených cestách šíření elektromagnetické vlny.

5.2 Technika diverzitního příjmu

Protistranou únikových kanálů jsou metody, jak různě zpožděné signály z přenosové cesty efektivně na přijímací straně zachytit. Hlavní myšlenkou je použití více komunikačních kanálů pro přenos stejné informace. Přijímač tak má k dispozici více než jednu verzi přenášeného signálu. Tyto techniky jsou souborně nazývány jako diverzitní (výběrový) příjem. Používají se právě pro potlačení rušivých jevů, které působí na signál během jeho šíření rádiovým prostředím, v našem případě mezi mobilní stanicí a „základnou“.

Diverzitní příjem lze v praxi řešit několika způsoby. Jednotlivé používané systémy se liší především logikou nakládání s přijatými signály, jejich výběrem. Níže popsané techniky lze za účelem zlepšení vlastností systémů i vzájemně kombinovat.

- **Diverzitní systém s prostorovým výběrem**

U tohoto systému se na přijímací (primárně) i vysílací (sekundárně) straně používá více antén, které jsou navzájem vzdálené o několik vlnových délek tak, aby relativní fáze přijímaných signálů byly odlišné. Každá z přijímacích antén je připojena k samostatnému přijímacímu obvodu a výsledný signál se získá buď sečtením všech přijímaných signálů nebo vhodným výběrem některého (nejsilnějšího, nejméně rušeného) z nich. Poměrně často bývá jedna z antén současně přijímací i vysílací (pomocí duplexeru), v takovém případě jsou použity dvě antény - jedna pro vysílání i příjem a druhá pouze pro příjem. Tento typ příjmu využívají mobilní systémy včetně UMTS.

- **Diverzitní systém s úhlovým výběrem**

Systém funguje na podobném principu jako předchozí s tím rozdílem, že využívá směrových antén. Ty jsou nastaveny do různých směrů a přijímají signály odražené od okolních objektů (domy apod.). Antény jsou tentokrát upevněné ve stejném místě, ale natočené do různých směrů. Každá z nich pak přijímá signál z jiného směru, ať už přímý nebo odražený.

- **Diverzitní systém s polarizačním výběrem**

Využívá se zde dvou různě polarizovaných antén, kterými je signál vyslán do přenosového kanálu. Různě polarizované signály se liší i ve svých odrazech od překážek, čímž se zajistí nízká korelace mezi oběma vytvořenými přenosovými kanály.

- **Diverzitní systém s kmitočtovým výběrem**

Spočívá v použití více nosných přenášejících stejnou informaci, čímž umožňuje vytvoření v podstatě libovolného počtu přenosových kanálů. V mobilních systémech je jeho užití ale nevhodné kvůli omezenému kmitočtovému spektru.

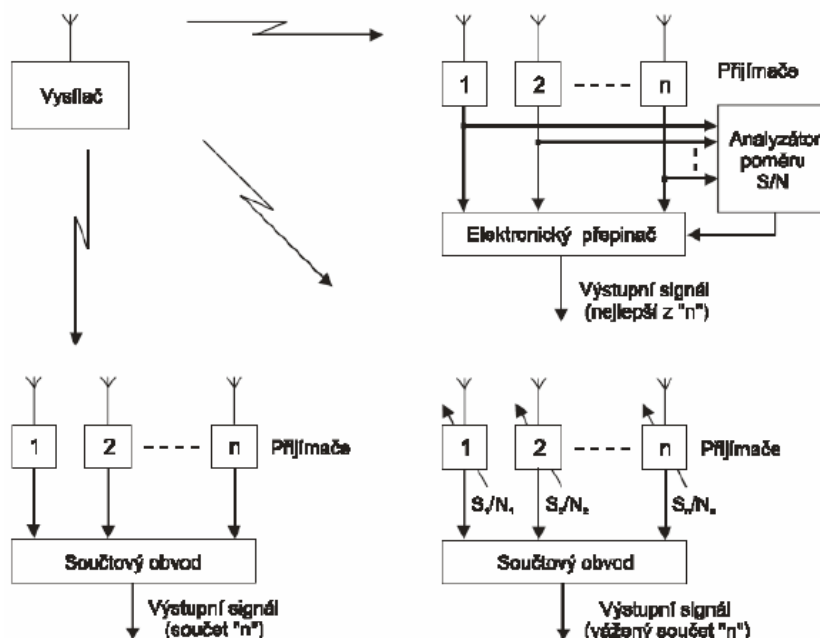
- **Diverzitní systém s časovým výběrem**

Využívá známého principu časového multiplexu, kdy je signál opakovaně přenášen v několika vzájemně nezávislých time slotech představujících uživatelské kanály. Stejně jako u kmitočtového výběru lze vytvořit v podstatě neomezený počet přenosových cest, avšak za cenu dlouhé doby přenosu.

- **Diverzitní systém využívající vícecestné šíření**

Tento systém představuje zvláštní případ diverzitního příjmu. Zatímco u dosavadních metod se přenosové cesty vytvářeli ještě před samotným příjmem signálu, systém využívající vícecestného šíření nezávislé cesty vytváří až v samotném přijímači. To ale znamená, že vlastnosti takového příjmu silně závisí na parametrech přenosového kanálu.

Na přijímací straně se u všech systémů dále využívá některé z kombinačních technik, které z přijatých signálů vybírají či vytvářejí nejsilnější verzi signálu vysílaného. Stejně jako u systému pro diverzitní příjem lze i tyto techniky vzájemně různě kombinovat za účelem co nejlepšího výsledku. Některé z kombinačních technik jsou naznačeny na obrázku 5.2. Existují i další, příkladem může být speciální princip switched and stay, kdy přijímač využívá vždy jen jednoho vybraného signálu a to do té doby, než jeho úroveň klesne pod stanovený práh. Poté si „sáhne“ pro další signál odpovídající podmínce minimální úrovně a celý proces probíhá znovu.



Obr. 5.2 – některé metody sdružování přijímaných signálů při diverzitním příjmu ^[15]

Jak je patrné, diverzitní příjem lze realizovat mnoha způsoby. Nás bude zajímat speciální metoda této techniky v podobě diverzitního systému využívajícího vícecestné šíření, kterého využívá přijímač RAKE.

6. Přijímač RAKE

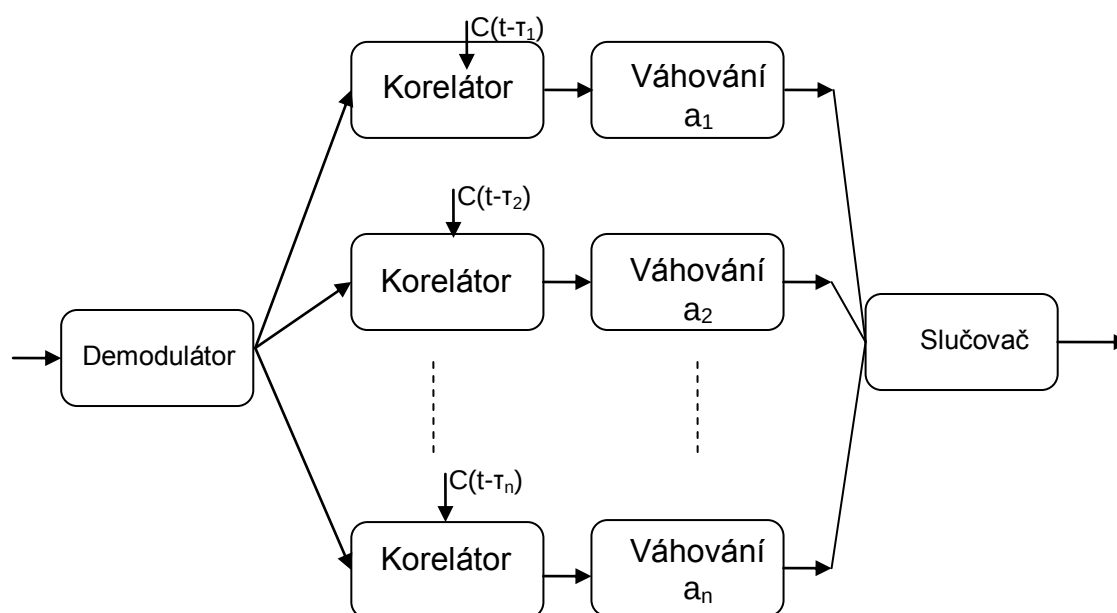
V mobilních systémech, zejména pak na straně uživatelských terminálů, je téměř nemožné kvůli malým rozměrům používat některých metod diverzifikačního příjmu vyžadujících použití více antén. Zároveň zde kvůli omezenému frekvenčnímu spektru i požadavku na rychlý přenos dat není možné využívat kmitočtového, respektive časového výběru. V rozsáhlém měřítku se zde proto uplatňuje speciální metoda diverzifikačního příjmu založená na využití vícecestného šíření signálu.

Tohoto principu využívá i přijímač zvaný RAKE, jehož anglický název mající význam českého synonyma „hrábě“ není náhodný. Přijímač dokáže za účelem zvýšení poměru signál-šum kombinovat signály přicházející z více cest, které jsou zpožděnou verzí vyslaného signálu. Tímto „shrabáním“ jednotlivých cest tak docílí výrazného zlepšení odstupu mezi signálem a šumem. V úvahu jsou přitom brány pouze ty kopie originálního signálu, které jsou zpožděny o méně než jednu čipovou periodu, což odpovídá rozdílu drah signálů 78 metrů.

RAKE přijímač se snaží zachytit a určit časově posunuté verze signálu provedením korelací pro každou jednotlivou složku. Vychází při tom z předpokladu, že komponenty jsou vzájemně nekorelované. Používá se v systémech založených na CDMA (*Code Division Multiple Access*) či obecněji v systémech s rozprostřeným spektrem. Lze snadno odvodit, že jeho použití v systémech GSM nemá význam. [1]

Jednotlivé kopie originálního signálu se liší pouze svým zpožděním a výkonovou úrovní. Nezávislé přenosové kanály jsou vytvořeny až uvnitř přijímače, který ze všech přijatých signálů odpovídajících podmínce uvedené výše dokáže vytvořit výsledný signál vyšší kvality, než byl kterýkoli vstupní signál. RAKE přijímač byl patentován již v roce 1956.

6.1 Princip přijímače



Obr. 6.1 – Princip přijímače RAKE

Princip přijímače ilustruje obrázek 6.1. Po demodulaci příchozího signálu je tento rozdělen do několika větví zvaných v anglické literatuře *fingers*. Každá větev obsahuje korelátor, kterému v praxi předchází přizpůsobený filtr pro zvýraznění špiček původního signálu. Každý korelátor pak během korelace přijatého signálu s kódem použitým na vysílači k rozproštění spektra (příslušně zpožděným) detekuje zpožděnou verzi původně vyslaného signálu. Tím se získá M složek vícecestného signálu. Výstupní signál každého korelátoru je poté váhován koeficienty a_i podle SNR dosaženého v každé větvi. Po váhování jsou všechny signály sloučeny podle vztahu (6.1):

$$Z' = \sum_{i=1}^M a_i \cdot Z_i \quad (6.1)$$

, kde Z' představuje výsledný signál získaný principem MRC (*Maximum Ratio Combining*), Z_i reprezentuje jednotlivé zpožděné složky originálního signálu M je počet získaných nejsilnějších složek originálního signálu, a_i jsou váhovací koeficienty.

Pro stanovení zpoždění a velikosti jednotlivých složek vícecestného signálu se mohou do vysílaných signálů periodicky vkládat vzorky nemodulovaného signálu nebo se vysílá pilotní signál. Na přijímací straně se k zajištění stejného zpoždění (fáze) rozprostíracích kódů v každé větvi využívá fázových závěsů.

6.2 Základní funkce přijímače

Základní funkce přijímače RAKE lze shrnout do pěti bodů [5]:

- 1) *Matched filtering*: pomocí přizpůsobeného (vzhledem k vysílacímu filtru) fitrování získáváme signál, ze kterého lze určit jednotlivá zpoždění filtrováním (přizpůsobené k vysílacímu filtru) dostáváme signál, ze kterého lze určit jednotlivá zpoždění.
- 2) *Descrambling*: přijatý signál je násoben „skramblovacím“ kódem a jeho opožděnými verzemi. Dochází k rozdělení signálu do několika větví. Jednotlivá zpoždění korespondují s jednotlivými cestami vícecestného šíření.
- 3) *Despreading*: v každé větvi jsou deskramblována data pronásobena rozprostíracím kódem použitým na vysílači.
- 4) *Integration and Dump*: signál je dále integrován přes jednu symbolovou periodu tak, že výstupem je jeden kanálový symbol.

5) *MRC*

obdržené odhady kanálového symbolu z jednotlivých větví jsou vhodně zkombinovány do jediného, podle kterého se rozhoduje o přenášených bitech.

6.3 Přijímač typu G-RAKE

Vzhledem ke ztrátě ortogonalitě přenášených signálů vznikají během přenosu interference označované jako intercelulární (*intercell*). Běžný přijímač RAKE tyto interference ignoruje a považuje je za barevný Gaussovský šum. Proto byl vyvinut přijímač G-RAKE (*Generalized RAKE*), který se snaží tyto interference potlačit. Vyznačuje se lepším odstupem signálu od šumu o asi 1-3 dB, ale také vyššími nároky na výrobu přijímače. [2]

7. Simulace downlinkového kanálu systému UMTS

Jak se výše popsané poznatky projevují v praxi nám ukáže simulační program downlinkového kanálu systému UMTS. Ten byl vytvořen speciálně pro ověření vlivu typu použitého přenosového kanálu na vlastnosti systému. Vstupní data se zadávají pomocí vytvořeného uživatelského rozhraní. To je, včetně jednotlivých funkcí programu, detailně popsáno v následující kapitole.

The screenshot shows a software window titled "RAKE simulation" with a subtitle "Simulation of UMTS downlink channel" and a copyright notice "© 2009, Michal Hron". The interface is organized into several sections:

- Input parameters:** Contains three input fields: "Signal length" set to 512, "Spreading factor" set to 8, and "Number of users" set to 1.
- AWGN channel:** Contains three input fields: "Lower SNR limit" set to 0, "SNR Step" set to 1, and "Upper SNR limit" set to 40.
- RICIAN channel:** A section with six input fields: "Path number" (1), "TS" (1/3.84e6 [s]), "FD" (0 [Hz]), "TAU" (0 [s]), "PDB" (0 [dB]), and "K" (0).
- RAYLEIGH channel:** A section with six input fields: "Path number" (1), "TS2" (1/3.84e6 [s]), "FD2" (0 [Hz]), "TAU2" (0 [s]), "PDB2" (0 [dB]), and an unlabeled field set to 0.

Below these sections is a large "Start" button. At the bottom of the window is a text area labeled "LAST ERRORS:" in red, which is currently empty.

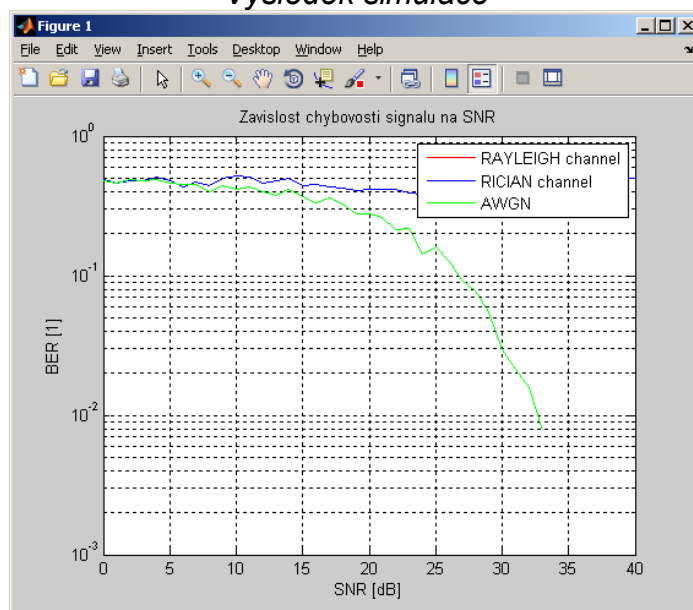
Obr. 7.1 – uživatelské rozhraní simulačního programu

Cílem zkoumání je vliv přenosového kanálu na závislost BER(SNR).

Simulace 1: výchozí stav

Parametry simulace

Výsledek simulace



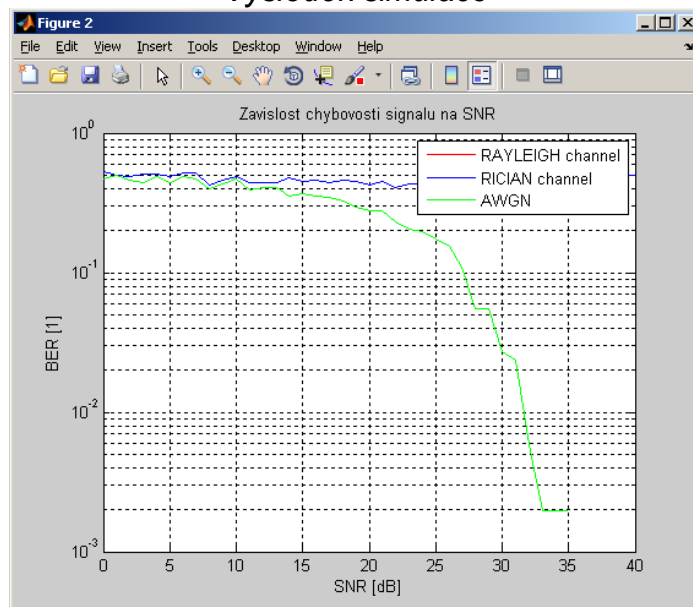
Obr. 7.1 – Simulace výchozích parametrů

Jak je patrné, nejlepších výsledků dosahuje dle předpokladů AWGN kanál. RICIAN a RAYLEIGH jsou v tuto chvíli v zákrytu, jelikož se při tomto nastavení parametrů chovají zcela shodně.

Simulace 2: výchozí stav + více uživatelů

Parametry simulace

Výsledek simulace



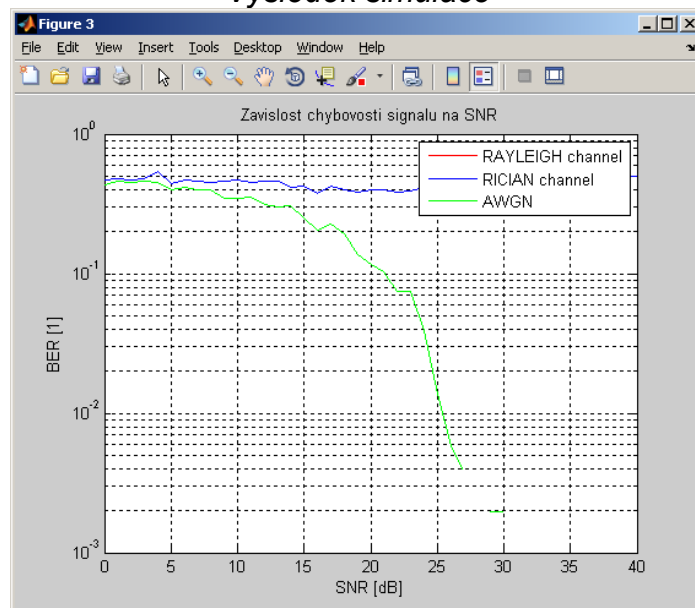
Obr.7.2 – Simulace více uživatelů v ideálním kanálu

Při zvýšení počtu uživatelů je na křivce relativní chybovosti patrný její méně strmý pokles. To odpovídá vzájemné interferenci uživatelů. RICIAN a RAYLEIGH v zákrytu a s vysokou chybovostí (odpovídá nastaveným parametrům).

Simulace 3: více uživatelů + zvýšení SF

Parametry simulace

Výsledek simulace



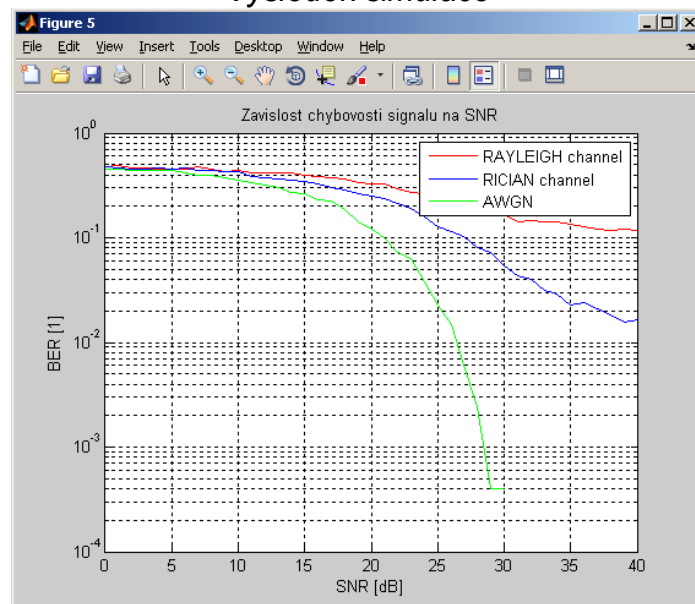
Obr. 7.3 – Simulace vlivu rozprostíracího faktoru

Zvýšení SF se pozitivně projevilo na chybovosti AWGN. To odpovídá logice kanálového kódování, které chrání přenášený signál před chybami. Rician a RAYLEIGH v zákrytu s vysokou chybovostí (odpovídá nastaveným parametrům).

Simulace 4: Simulace 3 + vyšší počet vzorků + definice kanálů

Parametry simulace

Výsledek simulace



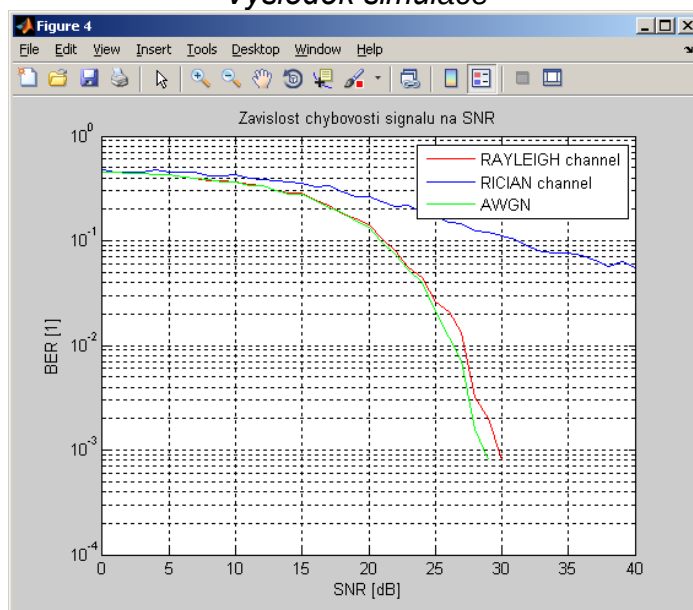
Obr. 7.4 – Simulace s nastavením únikových kanálů

Při definici parametrů únikových kanálů je již vidět rozdíl v chybovosti mezi AWGN, RAYLEIGH a Rician kanálem. Nejmenší chybovostí se vyznačuje AWGN, následuje Rician a až poté RAYLEIGH, který je definován pouze odrazy. Tyto průběhy odpovídají teoretickým předpokladům.

Simulace 5: názorná ukázka vlivu RAKE přijímače

Parametry simulace

Výsledek simulace



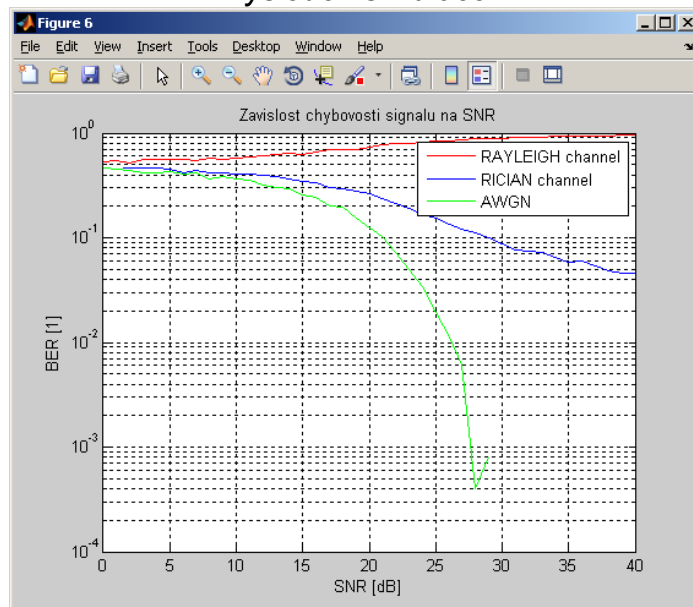
Obr. 7.5 – Simulace vlivu RAKE přijímače

Na této simulaci je patrné, že teoretický předpoklad nemusí být absolutní. Nižší chybovostí se zde vyznačuje RAYLEIGH kanál a to i přesto, že nemá oproti Rician kanálu definovanou přímou viditelnost. Je zde vidět agresivita simulovaného přijímače RAKE, který z pěti nezávislých cest s nulovým zpožděním u RAYLEIGH kanálu dokázal „vyrobit“ silnější signál, než z Rician kanálu s dvěma cestami a zpožděním.

Simulace 6: vliv dopplerovy frekvence

Parametry simulace

Výsledek simulace



Obr. 7.6 – Simulace vlivu dopplerovy frekvence

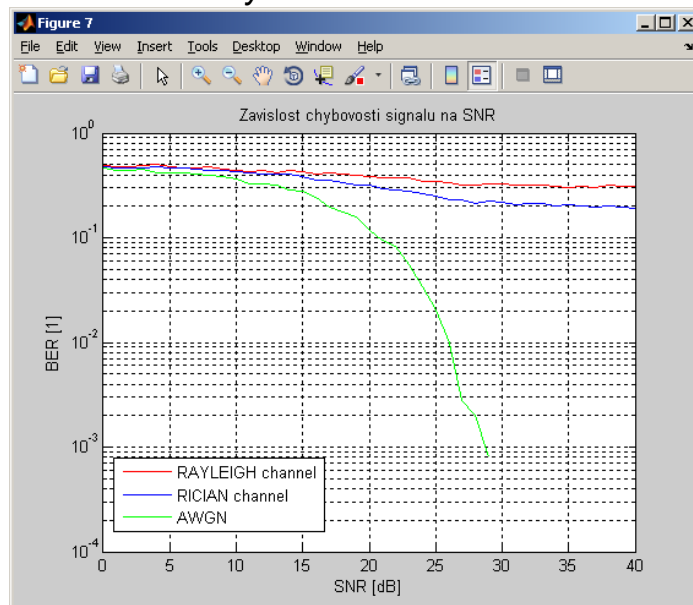
V tomto případě se poprvé projevuje silně abnormální chování RAYLEIGH kanálu v našem modelu (podrobně rozebráno v závěru). Ze simulace je však patrné, jak dopplerova frekvence negativně ovlivňuje chybovost přijímaného signálu.

Simulace 7: reálný případ – maximální vytížení BTS na Týnském chrámu (2 x TRX = 16 uživatelů, odrazy, útlumy, doppler zanedbatelný – chodec)

Parametry simulace

The screenshot shows the 'RAKE simulation' window with the title 'Simulation of UMTS downlink channel'. It contains several input fields and buttons. The 'Input parameters' section includes 'Signal length' (2500), 'Spreading factor' (32), and 'Number of users' (16). The 'AWGN channel' section has 'Lower SNR limit' (0), 'SNR Step' (1), and 'Upper SNR limit' (40). The 'RICIAN channel' section has 'Path number' (8), 'TS' (1/3.84e6 [s]), 'FD' (0 [Hz]), 'TAU' ([4 9 2 10 4 7 12 1] [s]), 'PDB' ([4 5 9 3 8 0 3 0] [dB]), and 'K' ([1 1 1 0 0 0 0]). The 'RAYLEIGH channel' section has 'Path number' (12), 'TS2' (1/3.84e6 [s]), 'FD2' (0 [Hz]), 'TAU2' ([4 9 2 3 10 4 7 1 5 3 2 1] [s]), and 'PDB2' ([0 10 4 0 6 8 3 2 1 4 3 20] [dB]). A 'Start' button is at the bottom. A 'LAST ERRORS' section is at the bottom left.

Výsledek simulace



Obr. 7.7 – Simulace reálného prostředí

Takováto simulace je již extrémně náročná na čas. Je z ní ale patrné vysoké zatížení rádiového kanálu. 16 interferujících uživatelů a značné odrazy a útlumy dávají ve výsledku i vysoké hodnoty chybovosti v únikových kanálech. Téměř ideální kanál AWGN si logicky stále zachovává své parametry.

8. Popis funkcí simulačního programu

Program napsaný ve vývojovém prostředí MATLAB se v maximální míře snaží respektovat všechny vlastnosti a principy používané v downlinkovém kanálu systému UMTS, které jsou pro vysílač nastíněné na obrázku 3.2. Na přijímací straně se tyto procesy pouze zrcadlí. V modelu se využívá i principu RAKE přijímače popsaného na obrázku 6.1.

Pro zjednodušení modelu bylo upuštěno od některých bloků, které jsou v praxi podstatné, avšak pro názornost simulace nadbytečné. Vytvořený model tedy nezohledňuje používanou modulaci a oprostuje se i od používání SRRC (*Square Root Raised Cosine*) filtrů. O tyto vlastnosti lze celý model snadno v případě potřeby rozšířit, vliv na výsledky simulací ale budou mít jen minimální.

Výsledkem každé simulace je závislost bitové chybovosti BER (*Bit Error Ratio*) na odstupu signálu a šumu SNR (*Signal-Noise Ratio*) a to pro tři různé přenosové kanály – AWGN, Riceův a Rayleighův.

8.1 Seznam funkcí a skriptů simulačního programu

Součástí této práce je elektronický nosič s vytvořeným modelem. Na něm naleznou zájemci celkem devět souborů (M-files) představujících vytvořené skripty a funkce. Jejich dělení bylo zvoleno co nejlogičtěji v návaznosti na obecné blokové schéma zpracování signálu v downlinkovém kanálu systému UMTS.

Seznam manuálně vytvořených funkcí a skriptů:

- UserSignal.m
- splitDATA.m
- ovssf.m
- scramb.m
- channal.m
- rake.m
- rakegui.m
- compareChan.m
- test.m

Kromě manuálně vytvořených funkcí je v modelu využito i vnitřních funkcí vývojového prostředí MATLAB. Tyto funkce z komunikačního toolboxu (*Communication Toolbox*) simulují dané únikové kanály:

- AWGN.m
- Rayleighchan.m
- Ricianchan.m

Model downlinku byl vytvořen ve vývojovém prostředí MATLAB verze R2008a.

8.2 Detailní popis jednotlivých funkcí a skriptů

Nyní si popíšeme jednotlivé funkce a skripty tak, jak jdou v hierarchii zpracování signálu za sebou. Celý model simuluje řetězec vysílač – přenosový kanál – přijímač. Model pracuje i s více uživateli, simulace je ale definována pouze pro prvního z nich. Ten představuje zkoumanou přenosovou cestu, ostatní uživatelé s ním pouze interferují. V modelu je využito vlastností přijímače RAKE.

- **UserSignal.m**

```
function [US,nu]=UserSignal(pocetUzivatelu,delka);  
if rem(delka,2)==1,  
delka=delka+1;  
end  
US=randsrc(pocetUzivatelu,delka);
```

Funkce pro generování uživatelských dat. Je zde využito poznatku, že hovorová data jsou náhodného charakteru. Ke generaci je tedy využita funkce

randsrc pro vygenerování náhodné PN posloupnosti. Funkce má dva vstupní a dva výstupní parametry. Využívá maticového zápisu pro x-uživatele, kdy počet řádků odpovídá počtu těchto uživatelů a počet sloupců délce generovaných dat. Použitý cyklus ošetřuje sudý počet dat pro případ, že by byl uživatelem zadán počet lichý. Tato podmínka je důležitá pro další zpracování signálu.

- **splitDATA.m**

```
function [I_DATA,Q_DATA]=splitDATA(signalDATA);  
I_DATA=signalDATA(:,1:2:end);  
Q_DATA=signalDATA(:,2:2:end);
```

Jednoduchá funkce vykonávající převod sériových dat na paralelní. Náhodný hovorový signál získaný z předchozí funkce (matice US) se zde dělí do I a Q větve dle jednoduchého klíče: v I větvi jsou nyní liché bity signálu a v Q větvi sudé bity signálu.

- **ovsf.m**

```
function IQ=ovsf(SF,I,Q);  
H=hadamard(SF);  
sz=size(Q);  
n_users=sz(1);  
lenght_signal=sz(2);  
I_ovsf=zeros(n_users,lenght_signal*SF);  
Q_ovsf=zeros(n_users,lenght_signal*SF);  
for userX=1:n_users,  
    I_ovsf(userX,:)=kron(I(userX,:),H(userX,:));  
    Q_ovsf(userX,:)=kron(Q(userX,:),H(userX,:));  
end  
IQ=I_ovsf+i*Q_ovsf;
```

Funkce provádějící rozprostření signálu, tedy část kanálového kódování. Na základě parametru SF generuje Hadamardovu matici, jejíž řádky představují unikátní rozprostírací OVFS kódy pro každého uživatele. Velikost matice je $SF \times SF$, počet uživatelů tedy musí být menší nebo roven rozprostíracímu faktoru. Na základě testování je zjištěn počet uživatelů a délka vstupního signálu. Těchto hodnot je poté využito při definici velikosti potřebných matic pro uložení rozprostřených signálů. Následuje samotný proces rozprostírání realizovaný koneckerovým součinem. Cyklus představuje rozprostírání pro jednotlivé uživatele. Po naplnění matic rozprostřenými signály se zde tvoří komplexní signál a dále se s daty pracuje jako s komplexními.

- **scramb.m**

```
function [scrambledDATA,srm_vector]=scramb(IQ);  
sz=size(IQ);  
srm_vector=randsrc(1,sz(2))+i.*randsrc(1,sz(2)); srm_mtr=repmat(srm_vector,sz(1),1);  
scrambledDATA=sum(IQ.*srm_mtr,1);
```

Jednoduchá funkce provádějící scamblování dat. Na základě vyšetření stávající velikosti matice uživatelských dat generuje komplexní scamblovací kód představující opět náhodný signál a to stejné délky, jako jsou

scramblovaná data. Tento scramblingovací vektor se snažíme zachovat pro jeho použití v přijímači. V jednom kroku zde poté data scramblingujeme (násobíme bit po bitu scramblingovacím kódem) a sumujeme pro jejich odeslání do přenosového kanálu (sečtení všech řádek matice s uživatelskými daty). Takto ošetřený signál posíláme do přenosového kanálu.

- **channel.m**

```
function [Y_channel,chnnl]=channel(scrambledDATAwithSNR,ch_type,SNR,TS, FD, K, TAU,
PDB);
chnnl=0;
switch ch_type
case 'RICIANCHAN'
chnnl=ricianchan(TS, FD, K, TAU/3.84e6, PDB);
length_delay=[scrambledDATAwithSNR,zeros(1,max(TAU)+10)];
Y_channel=filter(chnnl,length_delay);
case 'RAYLEIGHCHAN'
chnnl=rayleighchan(TS,FD,TAU/3.84e6,PDB);
length_delay=[scrambledDATAwithSNR,zeros(1,max(TAU)+10)];
Y_channel=filter(chnnl,length_delay);
case 'AWGN'
Y_channel=[scrambledDATAwithSNR,zeros(1,max(TAU)+10)];
otherwise
error('Unknown argument');
end
```

Následuje přenosový kanál. Využívá se zde již hotových funkcí MATLABu. Pomocí přepínače switch jsou zde definovány jednotlivé přenosové cesty. U AWGN se na základě parametru SNR přidává šum. Rayleighův a Riceův kanál je definován parametry FD – dopplerova frekvence, TAU - vektor zpoždění únikových cest a PDB - vektor definující výkonový útlum jednotlivých cest. U Riceova kanálu je navíc definován K parametr zmíněný v kapitole 5.1.2. Je-li tento parametr skalár, pak RICE procesům odpovídá jen jedna cesta signálu, ostatní se řídí parametry RAYLEIGH kanálu. Je-li K vektor, pak všechny odpovídající cesty jsou definovány procesy RICE kanálu.

- **rake.m**

```
function rx_data= rake (rx_signal,srm_vector,chnnl,SF,nu);
if chnnl==0,
shft=0;
...
finger_sumRE=sum(invovsfRE,1);
finger_sumIM=sum(invovsfIM,1);
rx_data(userX,:)=reshape([finger_sumRE',finger_sumIM'],1,2*sgn_length/SF);
end
rx_data(rx_data>0)=1;
rx_data(rx_data<0)=-1;
```

Nejobsáhlejší funkce řetězce představující procesy v přijímači RAKE. Kvůli rozsáhlosti ji zde nevypisujeme celou. Po nutném ošetření několika parametrů se zde využívá vektoru zpoždění z únikových kanálů, na jehož základě se poté v cyklu provádí selekce užitečného signálu, jeho descramblování a derozprostření. Tento proces proběhne tolikrát, kolik uživatelů je v systému zaneseno. Získaná data se poté skombinují sumací, čímž se získá vyšší SNR.

Výsledná data se prahují. Z přijímače za ideálních podmínek získáváme vstupní signál.

- **compareChan.m**

```
x_scala=(LSNRlimit-USNRlimit):SNRstep:(USNRlimit-USNRlimit);
szU=size(U);
for SNR=1:1:length(x_scala),
    scrambledDATAwithSNR=awgn(scrambledDATA,x_scala(SNR));
    [Y_channel_AWGN,chnnl]=channel(scrambledDATAwithSNR,'AWGN',0,1/3.84e6,0,0,0,0);
    rx_data=rake (Y_channel_AWGN,srm_vector,0,SF,nu);
    ...
```

Velmi rozsáhlý skript starající se o konečné volání jednotlivých funkcí, výpočet chybovosti BER a vykreslení závislosti BER(SNR). Zavádí se zde zašuměný signál AWGN, který je poté předáván do únikových kanálů. Volají se odtud procesy RAKE přijímače. Celý proces je uveden do cyklu se vstupními parametry odpovídajícími požadovanému intervalu parametru SNR. Pomocí snadné syntaxe se nastavují parametry grafu závislosti.

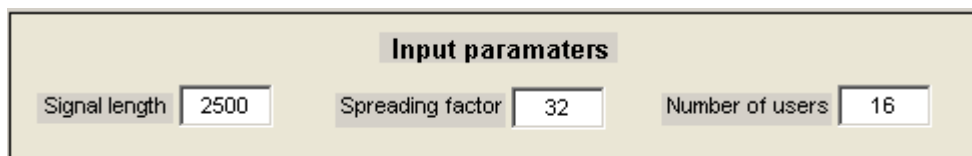
- **test.m**

Pouze pomocný skript pro testování vytvořených procesů mimo uživatelské prostředí. Volá jednotlivé funkce a skripty a umožňuje měnit většinu vstupních parametrů.

8.3 Uživatelské rozhraní programu

Pro větší uživatelský komfort při práci s modelem downlinkového kanálu systému UMTS bylo vytvořeno jednoduché uživatelské rozhraní (dále jen GUI). To je definováno v posledním v předchozí kapitole nezmíněném souboru rakegui.m. Rozhraní lze snadno spustit po správném nastavení cest v programu MATLAB zadáním příkazu „rakegui“.

Vytvořené GUI se skládá z celkem šesti funkčních částí. První z nich je určeno pro zadávání obecných vstupních proměnných. Uživatel zde má možnost zvolit, jak dlouhý bude vstupní signál, jakým Spreading Faktorem se bude tento signál kódovat a kolik má být pro danou simulaci v downlinkovém kanálu uživatelů.



Input parameters					
Signal length	2500	Spreading factor	32	Number of users	16

Obr. 8.1 – zadávání obecných parametrů simulace

Druhým v pořadí je blok pro volbu rozmezí intervalu zkoumané závislosti. Z původního záměru, kdy si uživatel mohl volit jakýkoli interval si zvolil, jsme však upustili. Jednak je to z důvodu nutného ošetření nestandardního chování vnitřních funkcí simulujících jednotlivé přenosové kanály, jednak jsme zjistili, že nabídka této možnosti je zcela zbytečná. Pro všechny simulace je plně dostačující rozsah 0 – 40

dB. Jedinou editovatelnou položkou, která v tomto bloku zůstala zachována, je volba kroku mezi jednotlivými hodnotami. Pokud se tento krok zvýší, urychlí se tím simulace, avšak za cenu nižší přesnosti výstupní závislosti. Pro případ potřeby lze zneaktivněné bloky snadno zapnout v editaci GUI.

Obr. 8.2 – parametry AWGN kanálu, určení intervalu a kroku rozmítání

Následující dva bloky slouží k nastavení parametrů přenosových kanálů. V závislosti na počtu nastavených uživatelů se automaticky přizpůsobí výchozí zápis zpoždění (TAU), útlumu (PDB) a v případě Ricianova kanálu i parametru K. Uživatel tedy na první pohled ví, že má vyplnit vektor, nikoli skalár. Parametr TS je zneaktivněný, jeho hodnota je pevně dána a není určena k editaci.

Obr. 8.3 – nastavování parametrů únikových kanálů

Tlačítkem Start se spustí simulace. Tato klávesa slouží i jako indikace práce programu. V průběhu výpočtů uživatele informuje o stavu simulace. Z časových důvodů se tuto funkci nepodařilo zcela odladit, proto se může stát, že se hlášky v tlačítku objeví jen velmi krátce či dokonce vůbec (u rychlých simulací).

Posledním blokem je Error Message Box sloužící k výpisům chyb plynoucích z nestandardního zadávání vstupních parametrů. Pokud například uživatel zadá ve vektoru o délce 4 jen tři hodnoty, v tomto místě je informován o své chybě.

Obr. 8.4 – Error Message Box

9. Závěr

Cílem této práce bylo zkoumání vlivu přenosového kanálu na chybovost přenášeného signálu. Za tímto účelem jsem měl vytvořit model downlinkového kanálu systému UMTS v programovém prostředí MATLAB. Na přijímací straně byl požadován přijímač RAKE. Na tomto kanálu bylo úkolem vyzkoumat vliv přenosových kanálů AWGN, RICE a RAYLEIGH. Cílem byla i tvorba uživatelského prostředí, které bude umožňovat měnit parametry přenosových kanálů.

Požadovaný program včetně všech náležitostí je dostupný v příloze k této práci. Součástí této práce je i jeho detailní popis. Ač simulace odpovídají teoretickým předpokladům, v některých situacích se chová zejména Rayleighův kanál nestandardně. Vzhledem k nutným úpravám programu z pohledu nečekaného chování vnitřní funkce AWGN.m si dovoluji pojmout podobné podezření na funkci Rayleighchan.m. V tomto smyslu jsem již v kontaktu s podporou programu MATLAB pro Českou republiku.

Za pomoci vytvořeného programu ve vývojovém prostředí MATLAB, který simuluje downlinkový kanál systému UMTS při použití přijímače typu RAKE, bylo dosaženo několika simulačních výsledků. Ty v mnoha případech potvrzují či dále rozšiřují teoretické poznatky detailně popsané v první části této práce.

Simulacemi se mimo jiné podařilo potvrdit silně negativní vliv únikových kanálů na chybovost přenášeného signálu. Zároveň jsem ověřil chování těchto kanálů v závislosti na počtu přenosových cest, jejich útlumů či zpoždění. Demonstroval jsem pozitivní vliv velikosti rozprostíracího faktoru SF na chybovost přenášeného signálu. V konečné fázi byla zvolena simulace blízká reálnému prostředí, která mi umožnila udělat si představu o složitosti návrhů mobilních sítí a technologií v nich používaných.

Simulací se mi dále podařilo jasně demonstrovat funkci RAKE přijímače a opodstatnit tak jeho používání. Z výsledku je navíc patrné, že ne vždy musí být Rayleighův únikový kanál nejméně vhodnou formou šíření elektromagnetické vlny v rádiovém prostředí, jak udává teorie. Simulovaná situace ale v reálném případě zřejmě nikdy nenastane.

SEZNAM LITERATURY

- [1] HANUS, S.; FENCL, J.; ŠTENEC, V. *Bezdrátové a mobilní komunikace II*. I.vyd. Brno : VUT, 2005. ISBN 80-214-2817-1.
- [2] KEJÍK, P. *Potlačení interferencí u systémů 2G a 3G*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2007. 57 s. Vedoucí diplomové práce prof. Ing. Stanislav Hanus, CSc.
- [3] KAŠPAREC, T. Simulace W-CDMA v Matlabu. *Elektrorevue* [online]. 2003, č. 47 [cit. 2005-11-01]. Dostupný na WWW: <http://www.elektrorevue.cz/>.
- [4] VOKÁČ, L., T-Mobile šokuje, postaví klasickou síť třetí generace. *Mobil.cz* [online]. 2008, [cit. 2008-15-12]. Dostupný na WWW: <http://www.mobil.cz/>.
- [5] SANDR, J., *RAKE přijímač*. Praha: České vysoké učení technické, Fakulta elektrotechnická, 2006. 3 s. Vedoucí seminární práce: Ing. Mikuláščík
- [6] HLÍDEK, J., *Vývoj systému UMTS*. Praha: České vysoké učení technické, Fakulta elektrotechnická, 2007. 36 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Robert Bešťák, Ph.D.
- [7] ZANDL, P., 3G není jen UMTS - přehled standardů sítí 3G. *Mobil.cz* [online]. 2004, [cit. 2004-07-01]. Dostupný na WWW: <http://www.mobil.cz/>.
- [8] ZANDL, P., TD-CDMA je UMTS. Jen není podporováno v terminálech.. *Marigold.cz* [online]. 2005, [cit. 2005-22-06]. Dostupný na WWW: <http://www.marigold.cz/>.
- [9] BEŠŤÁK, R.; PRAVDA, I., Sítě UMTS. Praha: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechnická. *access.feld.cvut.cz* [online]. 2005, [cit. 2005-30-12]. Dostupný na WWW: <http://access.feld.cvut.cz>.
- [10] WEIGL, J., Struktura sítě UMTS. Praha: České vysoké učení technické, Fakulta elektrotechnická, 2005. 3s. Vedoucí seminární práce: Ing. Karel Mikuláščík
- [11] Radio Access Network Working Group 1. Multiplexing and channel coding (FDD). *3gpp.org* [online]. TS 25.212 V4.6.0 (2002-09). Dostupný na WWW: <http://www.3gpp.org/>
- [12] ŠVÍRÁK, M., Simulace rádiových únikových kanálů. *Elektrorevue* [online]. 2002, č. 43 [cit. 2002-31-10]. Dostupný na WWW: <http://www.elektrorevue.cz/>.
- [13] CHIEN, CH., Digital Radio Systems on Chip. A Systems Approach. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2001. p. 56-73
- [14] M.G. LINNARTZ, J.P., Wireless Communication. *Wireless.per.nl* [online]. 2006. Dostupný na WWW: <http://wireless.per.nl/>

- [15] PROKEŠ, A., Komunikační systémy. Brno: Vysoké učení technické v Brně. Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. 2006. 63 s.

SEZNAM PŘÍLOH

CD s elektronickou verzí této práce a kompletním zdrojovým kódem požadovaného programu

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

3G	Third-generation
3GPP	Third Generation Partnership Project
8PSK	Phase Shift Keying
16QAM	Quadrature Amplitude Modulation
AWGN	Additive white Gaussian noise
BER	Bit Error Ratio
BS	Base Station
CEPT	Conference of European Posts and Telecommunications
CDMA	Code Division Multiple Access
CN	Core Network
DS-SS	Direct Sequence Spread Spectrum
EDGE	Enhanced Data Rates for GSM Evolution
ETSI	European Telecommunications Institute
FDD	Frequency Division Duplex
GPRS	General Packet Radio Service
GSM	Global System for Mobile communications
G-RAKE	Generalized RAKE
HSPA	High-Speed Packet Access
HSDPA	High-Speed Downlink Packet Access
HSUPA	High-Speed Uplink Packet Access
IMT 2000	International Mobile Telecommunication in the year 2000
ITU	International Telecommunication Union
LBS	Location Based Services
MAC	Medium Access Control
ME	Mobile Equipment
MRC	Maximum Ratio Combining
OCQPSK	Orthogonal Komplex QPSK
OVSF	Orthogonal Variable Spreading Factor Code
PN	Pseudo-Noise codes, Pseudorandom codes
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
RLC	Radio Link Control
SF	Spreading Factor
SNR	Signal-Noise Ratio
SSMA	Sprad Spectrum Multiple Access
TDD	Time Division Duplex
UE	User Equipment
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
USIM	UMTS Subscriber Identity Module
USRA	UMTS Satelite Radio Access
UTRA	UMTS Terrestrial Radio Access
WCDMA	Wideband Code Division Multiple Access
WLAN	Wireless Local Area Networks

LICENČNÍ SMLOUVA

POSKYTOVANÁ K VÝKONU PRÁVA UŽÍT ŠKOLNÍ DÍLO

uzavřená mezi smluvními stranami:

1. Pan/paní

Jméno a příjmení: Michal Hron
Bytem: Moravská 1079/17, Praha 2, 120 00
Narozen/a (datum a místo): 22. srpna 1983 v Praze

(dále jen „autor“)

a

2. Vysoké učení technické v Brně

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
se sídlem Údolní 53, Brno, 602 00
jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:
prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida, předseda rady oboru Elektronika a sdělovací
technika
(dále jen „nabyvatel“)

Čl. 1

Specifikace školního díla

1. Předmětem této smlouvy je vysokoškolská kvalifikační práce (VŠKP):

- ☐ disertační práce
- ☐ diplomová práce
- ☒ bakalářská práce
- ☐ jiná práce, jejíž druh je specifikován jako

.....
(dále jen VŠKP nebo dílo)

Název VŠKP: Zpracování a příjem signálu v systému UMTS

Vedoucí/ školitel VŠKP: Ing. Petr Kejík

Ústav: Ústav radioelektroniky

Datum obhajoby VŠKP: _____

VŠKP odevzdal autor nabyvateli*:

- ☒ v tištěné formě – počet exemplářů: 2
- ☒ v elektronické formě – počet exemplářů: 3

2. Autor prohlašuje, že vytvořil samostatnou vlastní tvůrčí činností dílo shora popsané a specifikované. Autor dále prohlašuje, že při zpracovávání díla se sám nedostal do rozporu s autorským zákonem a předpisy souvisejícími a že je dílo dílem původním.

3. Dílo je chráněno jako dílo dle autorského zákona v platném znění.

4. Autor potvrzuje, že listinná a elektronická verze díla je identická.

* hodící se zaškrtněte

Článek 2

Udělení licenčního oprávnění

1. Autor touto smlouvou poskytuje nabyvateli oprávnění (licenci) k výkonu práva uvedené dílo nevýdělečně užít, archivovat a zpřístupnit ke studijním, výukovým a výzkumným účelům včetně pořizování výpisů, opisů a rozmnoženin.
2. Licence je poskytována celosvětově, pro celou dobu trvání autorských a majetkových práv k dílu.
3. Autor souhlasí se zveřejněním díla v databázi přístupné v mezinárodní síti
 - ☒ ihned po uzavření této smlouvy
 - ☐ 1 rok po uzavření této smlouvy
 - ☐ 3 roky po uzavření této smlouvy
 - ☐ 5 let po uzavření této smlouvy
 - ☐ 10 let po uzavření této smlouvy
(z důvodu utajení v něm obsažených informací)
4. Nevýdělečné zveřejňování díla nabyvatelem v souladu s ustanovením § 47b zákona č. 111/ 1998 Sb., v platném znění, nevyžaduje licenci a nabyvatel je k němu povinen a oprávněn ze zákona.

Článek 3

Závěrečná ustanovení

1. Smlouva je sepsána ve třech vyhotoveních s platností originálu, přičemž po jednom vyhotovení obdrží autor a nabyvatel, další vyhotovení je vloženo do VŠKP.
2. Vztahy mezi smluvními stranami vzniklé a neupravené touto smlouvou se řídí autorským zákonem, občanským zákoníkem, vysokoškolským zákonem, zákonem o archivnictví, v platném znění a popř. dalšími právními předpisy.
3. Licenční smlouva byla uzavřena na základě svobodné a pravé vůle smluvních stran, s plným porozuměním jejímu textu i důsledkům, nikoliv v tísní a za nápadně nevýhodných podmínek.
4. Licenční smlouva nabývá platnosti a účinnosti dnem jejího podpisu oběma smluvními stranami.

V Brně dne: 5. června 2009

.....
Nabyvatel

.....
Autor