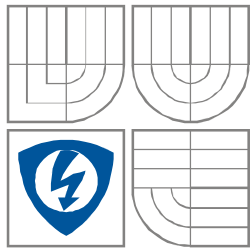




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ  
ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND  
COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

## RAKE receiver pro systém UMTS

RAKE receiver for the UMTS system

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

Oldřich Koudela

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. Jan Prokopec, Ph.D.

BRNO, 2008

**Anotace:** Tato práce se zabývá teoretickým popisem dějů probíhajících v systému UMTS při práci se signálem, jeho rozprostřením za použití modulační techniky DS SS(direct sequence spread spectrum) a následným zpracováním signálů v RAKE přijímači. Popisem jeho základních funkcí: přizpůsobeným filtrováním, deskramblováním, derozprostřením a integrací. Navíc je práce doplněna o výsledky simulace přijímače pro nízký počet vzorků v programu MATLAB, dále vytvoření aplikace simulující RAKE přijímač a její výsledky.

**Klíčová slova:** rozprostírání, rozprostření spektra přímou sekvencí, RAKE přijímač, přizpůsobené filtrování, deskramblování, derozprostírání, integrace,

**Abstract:** This thesis is focused on theoretical description of procedures which take place in the UMTS system when processing a signal, its spreading with modulation technique DS SS(direct sequence spread spectrum), and subsequent processing in the RAKE receiver. Another focus is made in the basic functions of a RAKE receiver: match filtering, descrambling, despreading and integration. Additionally, this thesis is supplemented with the results of a RAKE receiver simulation for a small number of samples in the MATLAB software and creation of application that simulates the receiver and its results.

**Keywords:** spreading, direct sequence spread spectrum, RAKE receiver, match filtering, descrambling, despreading, integration

KOUDELA, O. *RAKE receiver pro systém UMTS*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2008. 42 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jan Prokopec, Ph.D.

# Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma RAKE receiver pro systém 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 2. ledna 2008

.....  
podpis autora

# LICENČNÍ SMLOUVA POSKYTOVANÁ K VÝKONU PRÁVA UŽÍT ŠKOLNÍ DÍLO

uzavřená mezi smluvními stranami:

## 1. Pan/paní

Jméno a příjmení: Oldřich Koudela  
Bytem: Hýsly 68, 696 50  
Narozen/a (datum a místo): 24. února 1986 v Brně

(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: RAKE receiver pro systém UMTS

Vedoucí/ školitel VŠKP: Ing. Jan Prokopec, Phd.

Ústav: Ústav radioelektroniky

Datum obhajoby VŠKP: \_\_\_\_\_

VŠKP odevzdal autor nabyvateli\*:

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

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.

\_\_\_\_\_

## 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: 6. června 2008

.....  
Nabyvatel

.....  
Autor

# Obsah

Obsah .....	7
Seznam obrázků .....	8
1. Úvod .....	9
2. UMTS .....	10
2.1. Rozprostírání .....	10
2.2.1. DS-SS (Direct Sequence Spread Spectrum).....	11
2.2. Derozprostírání .....	11
2.3. Zpracování a přenos signálu v UMTS .....	12
2.3.1. Walshovy funkce.....	13
2.3.2. Rademacherovy funkce .....	14
2.3.3. Hadamardovy matice.....	14
2.3.4. Pseudonáhodné sekvence .....	14
2.4. Vlastnosti systému UMTS -FDD.....	16
2.5. Bitová chybovost signálu .....	17
2.5.1. AWGN kanál .....	17
2.5.2. Vícecestný Rayleighův zeslabovací kanál.....	17
2.5.3. QPSK modulace.....	17
3. RAKE receiver .....	19
3.1. Základní operace RAKE přijímače.....	19
3.2. Procesy s vlnou v prostředí .....	21
3.3. Maximal Ratio Combining .....	24
4. Simulace v programu MATLAB.....	25
4.1. Simulace RAKE receiveru pro nízký počet vzorků.....	26
4.2. Vytvoření aplikace .....	30
4.2.1. Výsledky simulace .....	32
5. Závěr .....	38
Literatura.....	39
Seznam zkratk .....	41

# Seznam obrázků

- Obrázek 2.1** Příklad rozprostírání datového signálu str.10
- Obrázek 2.2** Příklady korelace kódu C8,4 a C8,2: a)  $\Delta t = 0$ , b)  $\Delta t = 1$  chipová perioda str.10
- Obrázek 2.3** Příklad rozprostření signálu technikou DS-SS str.11
- Obrázek 2.4** Vliv úzkopásmového a širokopásmového prostředí str.11
- Obrázek 2.5** Příklad derozprostření datového signálu str.12
- Obrázek 2.6** Walshovy funkce 8. řádu str.13
- Obrázek 2.7** Rademacherovy funkce se 16 částmi str.14
- Obrázek 2.8** Blokové schéma QPSK modulátoru str.18
- Obrázek 2.9** Konstelační diagram QPSK modulace str.18
- Obrázek 3.1** RAKE finger str.19
- Obrázek 3.2** Příjem signálu přijímačem RAKE str.20
- Obrázek 3.3** Odraz vlny str.21
- Obrázek 3.4** Lom vlny str.21
- Obrázek 3.5** Rozptyl vlny str.21
- Obrázek 3.6** Blokové schéma RAKE přijímače str.22
- Obrázek 3.7** Efekt vícecestného šíření na přenášený impuls str.23
- Obrázek 3.8** RAKE přijímač s derozprostíračem str.23
- Obrázek 3.9** Příklad přenosu signálu v CDMA str.24
- Obrázek 3.10** Princip MRC v RAKE přijímači str.25
- Obrázek 3.11** Zapojení MRC v RAKE přijímači str.25
- Obrázek 4.1** Spektrum signálu str.26
- Obrázek 4.2** PSD rozprostřeného signálu str.26
- Obrázek 4.3** Přijímaný signál + rozprostření bitů str.27
- Obrázek 4.4** Signál na vstupu přijímače str.27
- Obrázek 4.5** Signál na výstupu přijímače str.28
- Obrázek 4.6** Rozprostíraný signál str.28
- Obrázek 4.7** Výstupní signál z RAKE pro vícecestné šíření + rozprostření bitů str.29
- Obrázek 4.8** Rozložení komponent aplikace str.30
- Obrázek 4.9** Funkční diagram GUI str.31
- Obrázek 4.10** Spektrum signálu 1 str.32
- Obrázek 4.11** Spektrum signálu 2 str.32
- Obrázek 4.12** Rozprostření signálu 1 str.33
- Obrázek 4.13** Rozprostření signálu 2 str.33
- Obrázek 4.14** Výstupní signál z RAKE přijímače pro jednocestné šíření str.34
- Obrázek 4.15** Výstupní signál z RAKE přijímače pro dvoucestné šíření str.34
- Obrázek 4.16** Výstupní signál z RAKE přijímače pro třícestné šíření str.35
- Obrázek 4.17** Výstupní signál z RAKE přijímače pro čtyřcestné šíření str.35
- Obrázek 4.18** BER pro jednocestné šíření str.36
- Obrázek 4.19** BER pro dvoucestné šíření str.36
- Obrázek 4.20** BER pro třícestné šíření str.37
- Obrázek 4.21** BER pro čtyřcestné šíření str.37



# 1. Úvod

Tato práce pojednává o funkci RAKE receiveru pro systém UMTS, jeho využití a vlivech okolního prostředí na jeho funkci. Navíc je práce doplněna o výsledky simulace modelu RAKE receiveru v programu MATLAB, na jejichž základě jsem následně vytvořil aplikaci.

Systém UMTS vykazuje oproti analogovým systémům mnohonásobně vyšší spektrální účinnost, některé zdroje uvádějí 5x až 10x vyšší. Se spektrální účinností úzce souvisí přenosová rychlost a provozní kapacita systému, které jsou také mnohonásobně vyšší. Dále nemohu opomenout imunitu vůči úmyslnému rušení a magnetickým interferencím. Systém UMTS se vyznačuje jistou odolností vůči možnému odposlechu nebo jiným způsobům zneužití. V neposlední řadě, díky tomu, že systém pracuje s rozprostřeným signálem, umožňuje realizaci přijímačů RAKE.

RAKE přijímač pracuje na základě příjmu signálů nejen těch přímo od vysílače ale i signálů odražených od různých terénních překážek (budovy, kopec, stromy). Důležitým poznatkem je to, že tyto odražené signály se oproti přímým liší jak dobou šíření, tak i amplitudou a fází. RAKE přijímač ve svém principu zpracuje jen ty nejsilnější složky přijímaného vícecestného signálu. Ve výsledku je pak kvalitnější signál a s menší chybou přenosu, to je hlavní výhoda použití RAKE přijímače.

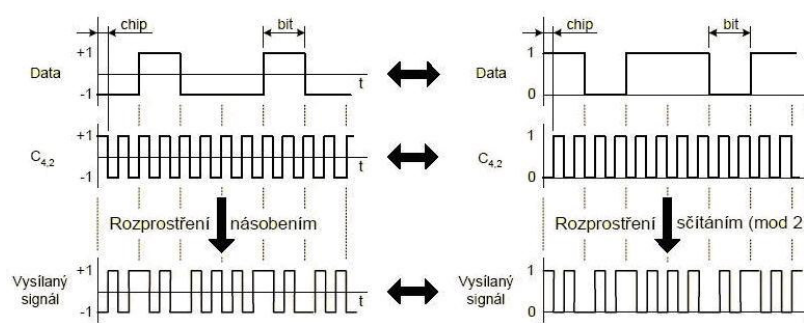
## 2. UMTS

UMTS systém používá kombinovaný přístup FDMA/CDMA. Kmitočtové pásmo přiděleného systému je rozděleno na jednotlivé rádiové kanály a v každém rádiovém kanálu jsou několikrát uživatelské kanály, které jsou rozlišeny unikátní kódovou sekvencí (rozprostírací kód), kterou je kódována přenášená informace. Co se týče uživatelů, tak všichni mohou používat systém ve stejném čase a se stejným nosným kmitočtem, avšak každý používá svou vlastní kódovou sekvenci. Na základě té je signál dekódován a tak se obnoví přenášená informace.

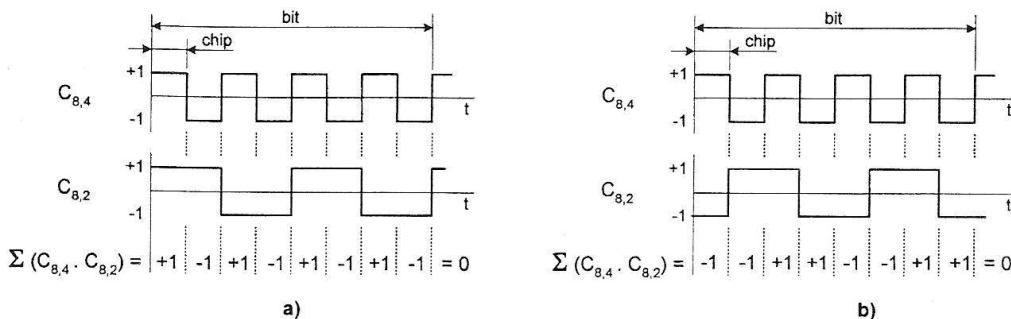
Protože šířka pásma signálu nesoucího zakódovanou informaci je mnohem užší než šířka pásma používané kódové sekvence, tak se spektrum signálu po kódování výrazně rozšíří. Dojde k rozprostření.<sup>2)</sup>

### 2.1. Rozprostírání

Rozprostírací kódy užívané v rádiovém prostředí UTRA (radiový přístup pro UMTS)<sup>1)</sup> je možné znázornit pomocí Walshova stromu jehož struktura je dána rekurentními vztahy Hadamardovy matice. Kódy různých větví jsou ortogonální. Každý kód je označen symbolem:  $C_{SF, k}$ , kde SF je činitel rozprostírání (spreading faktor) neboli zisk rozprostírání (Spreading Gain), a  $k$  je číslo kódu nabývající hodnot  $k = \{0, SF-1\}$ . Pokud je nějakému uživateli přidělen kód, tak žádný jiný uživatel nemůže získat kód z jeho podstromu, neboť není s původním kódem ortogonální. Pokud by některý z kódů z podstromu byl přidělen jinému uživateli, nemohl by být signál na přijímači obnoven. Ortogonalita různých kódů bývá zajištěna pomocí korelační funkce, jež vyjadřuje vzájemné vazby mezi dvěma kódy. Pokud nejsou dva různé kódy korelované, jejich korelační funkce bude nulová.<sup>2) 3)</sup>



Obr. 2.1 Příklad rozprostírání datového signálu [ 1 ]



Obr. 2.2 Příklad korelace kódu  $C_{8,4}$  a  $C_{8,2}$ : a)  $\Delta t = 0$ , b)  $\Delta t = 1$  chipová perioda [ 1 ]

<sup>1)</sup> RICHTR, J. *Struktura UMTS-UTRAN*

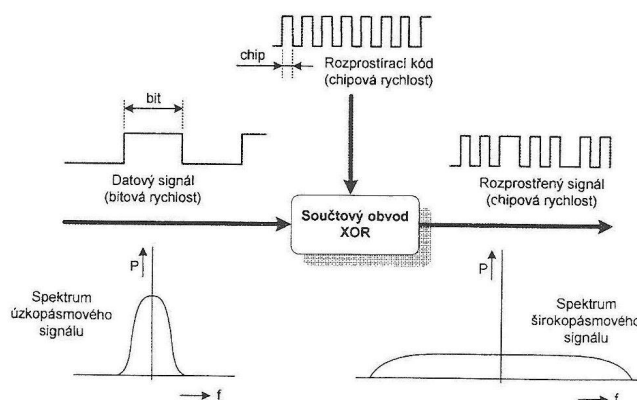
<sup>2)</sup> HANUS, S. *Bezdrátové a mobilní komunikace II*, s. 33-35.

<sup>3)</sup> KORHONEN, J. *Introduction to 3G mobile communications*, s. 25-28

K rozprostření signálu se používá několik modulačních technik a to FH-SS a DS-SS. O modulační technice FH-SS se zde nebudu zmiňovat, neboť se netýká této práce.

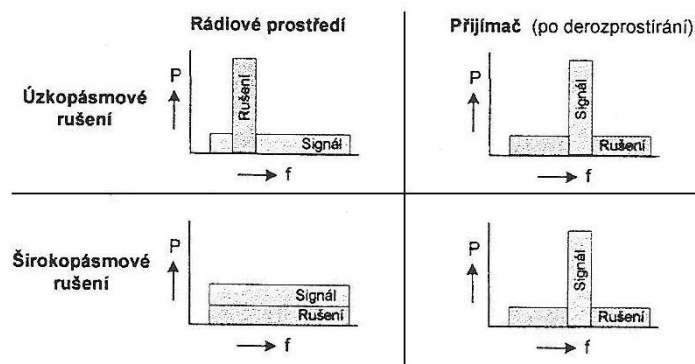
### 2.2.1. DS-SS (Direct Sequence Spread Spectrum)

V systému s použitím této techniky je úzkopásmový signál sčítaný s kódovou sekvencí. Používané kódové sekvence jsou navzájem ortogonální a v ideálním přenosovém prostředí, jedná se o prostředí bez odrazů, neinterferují. Sečtením úzkopásmového datového signálu uživatele a rozprostíracího kódu s mnohem větší přenosovou rychlostí, bude spektrum výsledného signálu výrazně rozšířeno. Činitel rozprostírání SF (spreading faktor) je pro systémy CDMA:  $SF = 10 - 1000$ . Bity kódové sekvence a rozprostřeného signálu se nazývají čipy, aby se odlišili. Po provedení součtu XOR je tedy místo každého bitu datového signálu přenášena odpovídající sekvence čipů rozprostřeného signálu.<sup>4) 5) 6)</sup>



Obr. 2.3 Příklad rozprostření signálu technikou DS-SS [ 1 ]

Jak jsem zde již napsal, signál bývá rozprostřen kvůli jeho vyšší odolnosti vůči rušení široko i úzkopásmového charakteru. Na obrázku 2.4 je vše zakresleno:



Obr. 2.4 Vliv úzkopásmového a širokopásmového rušení [ 1 ]

Nyní už mohu jen dodat, že proces Walshových ortogonálních funkcí se provádí se stejným rozprostíracím kódem s jakým byl signál na vysílači vytvořen.

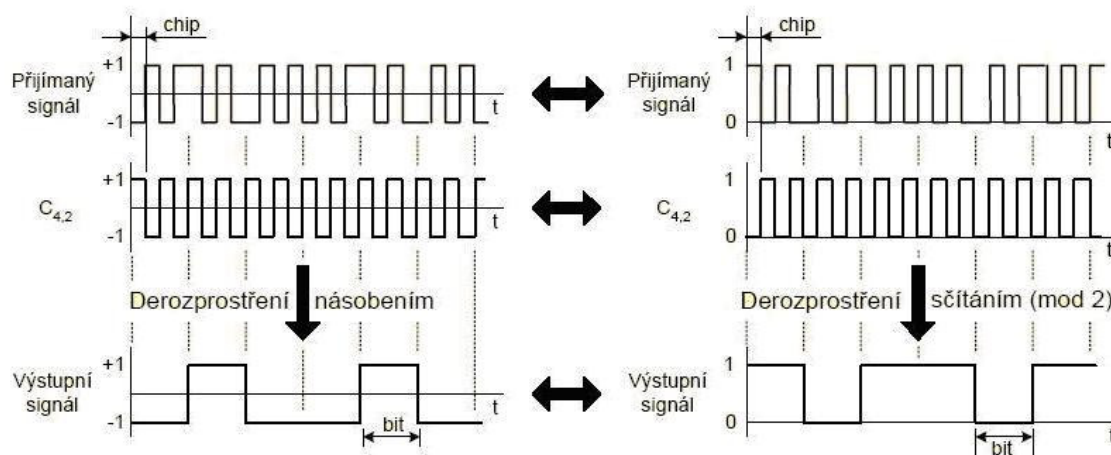
<sup>4)</sup>HANUS, S. *Bezdrátové a mobilní komunikace II*, s. 17-18.

<sup>5)</sup>AHSAN A. *Channel Estimation for WCDMA RAKE receiver AN 2251*, s.1-5

<sup>6)</sup>KORHONEN, J. *Introduction to 3G mobile communications*, s. 103-104

## 2.2. Derozprostírání

Tento proces je velmi podobný procesu rozprostírání. Přijímaný širokopásmový signál s vysokou čipovou rychlostí je násoben (příp. sčítán) se stejným kódem, s jakým byl signál rozprostřen. Výsledkem tohoto procesu je původní úzkopásmový signál. Příklad derozprostírání signálu viz následující obrázek 2.5.<sup>7) 8)</sup>



Obr. 2.5 Příklad derozprostření datového signálu [ 1 ]

Zvýšení účinnosti tohoto procesu se dosáhne za použití korelačního přijímače.

V plně ortogonálním systému jednotlivé signály vzájemně neinterferují a úroveň interferencí v přenosovém prostředí je tedy nulová. Pokud je v takovém systému přijímaný signál derozprostírán nevhodným kódem, na výstupu integrátoru bude nulový signál a komparátor se potom náhodně překloupí do jednoho ze dvou možných stavů.<sup>8)</sup>

<sup>7)</sup>HANUS, S. *Bezdrátové a mobilní komunikace II*, s. 35-37.

<sup>8)</sup>KORHONEN, J. *Introduction to 3G mobile communications*, s. 25-28

## 2.3. Zpracování a přenos signálu v UMTS

Základní funkce používané v UMTS jsou kódování kanálů (channelization) a skramblování (Scrambling). Obecně při těchto operacích dochází k rozproštění spektra, to závisí na vzájemném vztahu bitové rychlosti datového signálu a Walshovy rychlosti rozprostíracího kódu. Při výběru vhodné skupiny kódů jsou důležité jejich korelační vlastnosti, korelační funkce každého kódu by měla být co nejmenší nebo i nulová a jejich autokorelační funkce by měla mít impulsní průběh, tyto podmínky však nejde nikdy splnit zároveň.

Pro kódování kanálů se používají ortogonální rozprostírací kódy zvané Walshovy kódy a pro skramblování se užívají pseudonáhodné sekvence.<sup>9)</sup>

### 2.3.1. Walshovy funkce

Jsou ortogonální, normální a úplné. Ortogonální znamená, že když jsou násobeny kterékoliv dvě funkce uvažovaného souboru a integrovány přes celý interval, výsledkem je nula. Normální: jestliže dvě funkce jsou jedna a tatáž, integrál součinu je roven jedné. Úplná znamená, že soubor Walshových ortogonálních funkcí může být využit pro vyjádření kterékoliv funkce na definičním intervalu jako jejich lineární kombinace tak, že jejich střední kvadratická chyba jde k nule, když se počet Walshových ortogonálních funkcí zvyšuje přes limit.

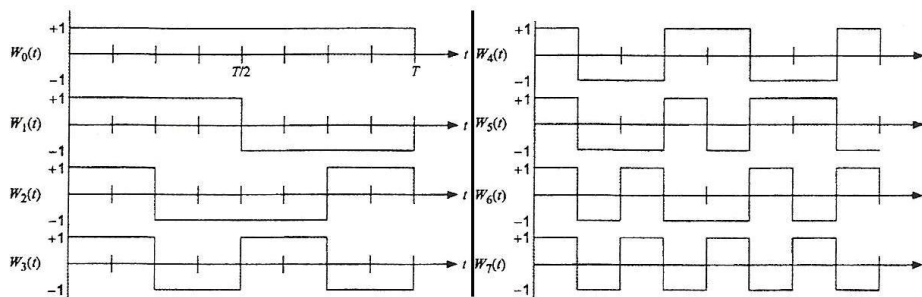
Walshovy funkce řádu  $N$  jsou definovány jako soubor  $N$  časových funkcí označených<sup>9) 10)</sup>

$$\{W_j(t); t \in (0, T), j = 0, 1, \dots, N-1\} \quad (1)$$

Pro něž platí:

- $W_j(t)$  nabývá hodnot  $\{+1, -1\}$  kromě skoků, kde má hodnotu 0,
- $W_j(t) = 1$  pro všechna  $j$ ,
- $W_j(t)$  má právě  $j$  znaménkových změn (přechodů přes nulu) v intervalu  $(0, T)$ ,
- $\int_0^T W_j(t) \cdot W_k(t) dt = \begin{cases} 0; & \text{pro } j \neq k \\ T; & \text{pro } j = k \end{cases}$ ,
- každá  $W_j(t)$  je buď lichá nebo sudá vzhledem ke středovému bodu intervalu

Walshovy funkce a sekvence mohou být generovány s využitím symetrických vlastností samotných Walshových funkcí, Rademacherových funkcí nebo užitím Hadamardových matic.



Obr. 2.6 Walshovy funkce 8. řádu [ 1 ]

Walshovy funkce mohou být vypočítány různými způsoby, asi nejpoužívanější jsou tyto tři:

- a) s využitím symetrických vlastností samotných Walshových funkcí
- b) s využitím Rademacherových funkcí
- c) s použitím Hadamardových matic<sup>9) 11)</sup>

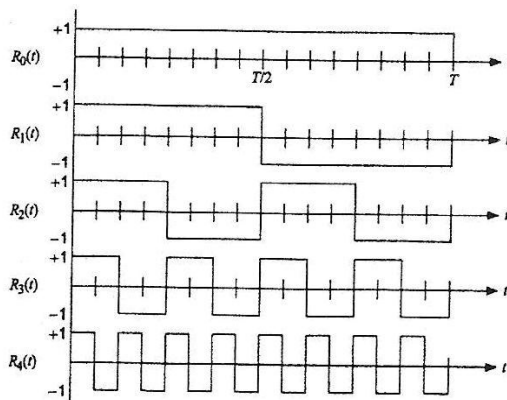
<sup>9)</sup>HANUS, S. *Bezdrátové a mobilní komunikace II*, s. 20-21.

<sup>10)</sup>KORHONEN, J. *Introduction to 3G mobile communications*, s. 110

<sup>11)</sup>RŮŽIČKA, Z. *Walshovy funkce a způsoby jejich generování*,

### 2.3.2. Rademacherovy funkce

Jsou souborem  $1 + \log_2 N$  ortogonálních funkcí sestávajících z  $N = 2^K$  pravoúhlých impulsů, které v intervalu  $(0, T)$  nabývají střídavě hodnot  $+1$ ,  $-1$  s výjimkou skoků při kterých procházejí nulou. Na následujícím obrázku můžeme vidět Rademacherovy funkce pro  $N = 16$ :<sup>12) 13)</sup>



Obr. 2.7 Rademacherovy funkce se 16 částmi [ 1 ]

Rademacherovy funkce mohou být také definovány tímto vztahem:

$$R_n(t) = \text{sgn}(\sin 2^n \pi t), \quad t \in (0, T), \quad n = 1, 2, \dots, \log_2 N = K \quad (2)$$

### 2.3.3. Hadamardovy matice

Jsou čtvercové matice  $N$ -tého řádu, jejichž prvky nabývají pouze hodnot  $+1$  a  $-1$ , řádky a sloupce těchto matic jsou vzájemně ortogonální. Jestliže první řádek a sloupec matice obsahuje hodnotu  $+1$  pak se dá říct, že se jedná o normální tvar Hadamardovy matice. Pokud vyměníme prvek  $+1$  za logickou hodnotu  $0$  a prvek  $-1$  za logickou hodnotu  $1$  obdržíme Hadamardovu matici logických prvků. Viz matice 2. řádu<sup>12) 13)</sup>

$$H_2 = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

Všechny řádky a sloupce Hadamardovy matice  $N$ -tého řádu jsou Walshovými funkcemi  $N$ -tého řádu. Indexy walshových funkcí však nesouhlasí s označením sloupců a řádků příslušné Hadamardovy matice.<sup>13)</sup>

<sup>12)</sup>HANUS, S. *Bezdrátové a mobilní komunikace II*, s. 22-27.

<sup>13)</sup>RŮŽIČKA, Z. *Walshovy funkce a způsoby jejich generování*.

### 2.3.4. Pseudonáhodné sekvence

Pseudonáhodné sekvence se používají při procesu skramblování, kdy současně dochází k rozproštění spektra výstupního signálu. Skramblováním se pod vlastním přenosem s pomocí pseudonáhodné sekvence náhodně změní datová sekvence původního signálu, tatož sekvence pak slouží na přijímači k obnovení původního signálu:<sup>14)</sup>

Vysílač:		Přijímač:	
Datová sekvence:	11001010010101	Přijímací sekvence:	01101011001111
Pseudonáhodná sekvence:	10100001011010	Pseudonáhodná sekvence:	10100001011010
Vysílaná sekvence:	01101011001111	původní datová sekvence:	11001010010101

Z toho vyplývá, že pseudonáhodná sekvence musí být reprodukovatelná v přijímači a musí být synchronizovaná se stejnou skramblovací sekvencí ve vysílači.

Nejvýznamnější metoda generování těchto binárních sekvencí využívá lineární zpětnovazební posuvný registr LFSR (Linear Feedback Shift Register) . Generátor sekvence obsahující n stupňový LSFR bude po určitém počtu hodinových impulsů generovat stejnou sekvenci. Ta bude periodická. Sekvence označované jako m-sekvence neboli PN sekvence mají tři vlastnosti:<sup>14)</sup>

- vyvážený počet jedniček a nul
- definovaný počet běhů jedniček a nul
- výhodné korelační vlastnosti

---

<sup>14)</sup>HANUS, S. *Bezdrátové a mobilní komunikace II*, s. 29-31.

## 2.4. Vlastnosti systému UMTS -FDD

Základní specifikace fyzické vrstvy UMTS systému:

**UMTS = W-CDMA :** Wideband CDMA – širokopásmové CDMA

**Využívané frekvenční pásma:** 1920MHz -1980MHz a 2110MHz – 2170MHz

(Frequency Division Duplex) UL(Uplink) a DL(Downlink)

**Minimální potřebná šířka frekvenčního pásma:** ~ 2x5MHz

**Frequency re-use:** 1

**Rozestup nosičů:** 4.4MHz – 5.2MHz

**Maximální počet „hlasových“ kanálů na 2x5MHz:** ~196 (spreading factor 256 UL, AMR 7.95kbps) / ~98 (spreading factor 128 UL, AMR 12.2kbps)

**Kódování řeči:** AMR kodér (4.75kHz – 12.2kHz, GSM EFR=12.2kHz) a SID (1.8kHz)

**Kanálové kódování:** konvoluční kódování, Turbo kódy pro vysoké přenosové rychlosti,

**Tx/ Rx poměr:** (poměr vysílacího a přijímaného výkonu) MS: 55dB, BS: 80dB

**Používaný přijímač:** RAKE

**Citlivost přijímače:** Node B: -121dBm, Mobile -117dBm pro BER =  $10^{-3}$

**Typ dat:** (Paketový a obvodový přepínač) Packet and circuit switch

**Modulace:** QPSK

**Pulsní tvarování:** Root raised cosine, roll-off faktor = 0.22

**Chipová rychlost:** 3.84 Mcps

**Kanálový rastr:** 200kHz

**Maximální přenosová rychlost pro jednoho uživatele (Fyzický kanál):** ~ 2.3Mbps (spreading factor 4, paralelní kódy (3 DL / 6 UL), 1/2 míra kódování), je to ale limitováno interferencí.

**Maximální přenosová rychlost pro jednotlivé uživatele (Nabízená):** 384kbps (rok 2002), vyšší rychlosti ( ~ 2 Mbps), v blízké budoucnosti. HSPDA bude poskytovat přenosovou rychlost až 8-10 Mbps (a 20 Mbps pro MIMO systémy)

**Channel bit rate:** 5.76Mbps

**Délka časového rámce:** 10ms (38400 chipů)

**Počet slotů / rámec:** 15

**Počet chipů / slot:** 2560 chipů

**Handover:** Měkký, Měkčí (mezi frekvencemi Tvrdý)

**Perioda kontroly výkonu:** Time slot = 1500 Hz rate

**Šířka kroku kontroly výkonu:** 0.5, 1, 1.5 a 2dB (mění se)

**Rozsah výkonové kontroly:** UL 80dB DL 30dB

**Přenášený špičkový výkon:** Výkonová třída 1: +33 dBm (+1dB/-3dB) = 2W; třída 2 +27 dBm, třída 3 +24 dBm, třída 4 +21 dBm

**Počet základních identifikačních kódů:** 512 / frekvence

**Rozprostírací faktor fyzické vrstvy:** 4 ... 256 pro FDD

**Přenosové rychlosti:** 1.8; 3.6; 7.2 a 14.4Mbit/s

**Trvání časového intervalu:** 667us

**Maximální chipová rychlost:** 3,84Mchip/s

15)

### FDD:

(Frequency division duplex) využívá se pro hlasové služby s velkým pokrytím (velké oblasti)

<sup>15)</sup> <http://www.umtsworld.com/technology/wcdma.htm>



## 2.5. Bitová chybovost signálu

Zkráceně BER (podle anglického bit error rate). Chybovost komunikačního systému je udávána jako poměr chybně přijatých bitů ku celkovému počtu všech odeslaných bitů.

$$BER = \frac{N_{ch}}{N} = P_{ch} \quad (4)$$

$N_{ch}$  ... počet chybných bitů;  $N$  ... celkový počet bitů,  $P_{ch}$  ... pravděpodobnost chybného přijetí bitů.

Je pravděpodobné, že se mezi přenášenými bity objeví minimálně jeden chybný bit nezávisle na míře přenosu. Obvyklá hodnota BER je  $10^{-6}$ , tato hodnota udává jeden chybný bit na jeden milion přenesených bitů. V této práci ji vynáším do charakteristik v závislosti na poměru signál/šum (SNR), viz výše. Existuje několik způsobů jak zredukovat bitovou chybovost signálu. Některé zde uvedu:<sup>16)</sup>

### 2.5.1. AWGN kanál

(Additive White Gaussian Noise)

Přidává bílý Gaussův šum do reálného či komplexního vstupního signálu, tam se rozprostře přes celé spektrum nosné frekvence. Pokud je signál reálný, tak se do něj přidá reálný Gaussův šum, a na výstupu bude reálný signál. Pokud je vstupní signál komplexní, tak se přidá komplexní Gaussův šum a výsledkem bude komplexní výstupní signál. Tento kanál dědí vzorkovací periodu od vstupního signálu.<sup>17)</sup>

### 2.5.2. Vícecestný Rayleighův zeslabovací kanál

(Multipath Rayleigh fading channel)

Při vícecestné šíření se signál dostává k přijímači z více cest(směrů), každá tato cesta má jinou délku a z toho důvodu mají přidružené jiné časové zpoždění. Fading (slábnutí) signálu nastává tehdy, začnou-li spolu signály během šíření interferovat.<sup>17)</sup>

### 2.5.3. QPSK modulace

(Quadrature Phase Shift Keying):

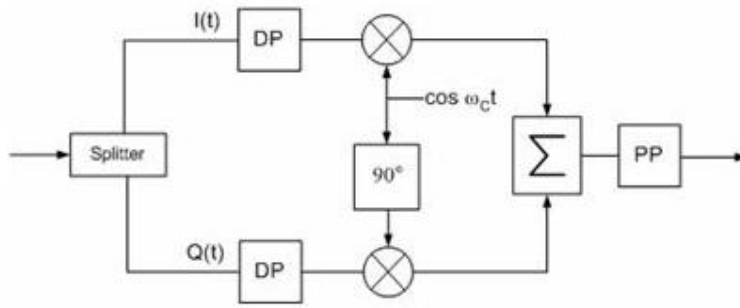
Klíčování QPSK patří mezi digitální kvadraturní modulace. Díky ortogonalitě funkcí sinus a cosinus, umožňuje QPSK přenášet data 2x rychleji než BPSK, protože je čtyřstavová a za dobu jednoho symbolu jsou přeneseny 2 bity. Co se však týče chybovosti, u QPSK je téměř stejná jako u BPSK.

Protože však systém UMTS modulaci QPSK používá, tak se zde o ní zmíním trochu šířeji. Na následující straně je možné shlédnout blokové schéma QPSK modulátoru.<sup>18)</sup>

<sup>16)</sup> ČÍŽ, J. *Teorie sdělování, přednáška 3*, s. 1-3.

<sup>17)</sup> MATLAB toolbox

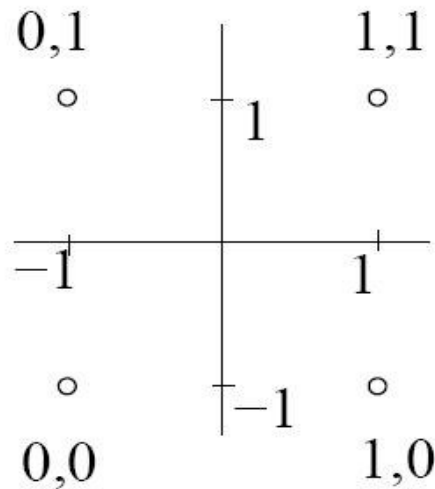
<sup>18)</sup> MARŠÁLEK, R. *Teorie sdělování*, s.9



Obr. 2.8 Blokové schéma QPSK modulátoru [ 17 ]

Do modulátoru vstupuje digitální signál. Nejdříve je rozdělen vstupní signál do dvou větví  $I$  a  $Q$ . Signál je dále filtrován a následně modulován nosným signálem. Z obou větví je sečten a znovu filtrován. Získáme tím modulovaný signál QPSK.<sup>20)</sup>

Nosná vlna zde má konstantní amplitudu a může zaujímat čtyři různé fázové stavy. Takže, existují zde čtyři různé signálové prvky, přičemž každému z nich odpovídá jedna bitová dvojice (dibit).<sup>19)</sup>



Obr. 2.9 Konstelační diagram QPSK modulace [ 17 ]

<sup>19)</sup> ČÍŽ, J. *Teorie sdělování, přednáška 3*, s. 1-3.

<sup>20)</sup> MARŠÁLEK, R. *Teorie sdělování*, s.9

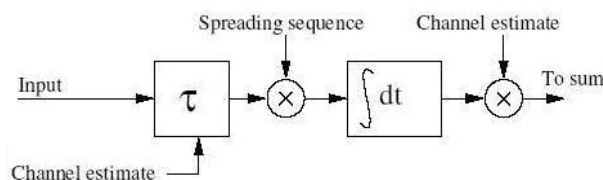
## 3. RAKE receiver

RAKE přijímač se používá v systémech založených na CDMA (Code Division Multiple Access) a může kombinovat signály přicházející z více cest. Tyto signály jsou zpožděnou verzí vysílaného signálu. Kombinace signálu je prováděna za účelem zvýšení poměru signál-šum na přijímači.

V CDMA systémech (systémy s rozprostřeným spektrem) je chipová rychlost vždy mnohem vyšší než šířka pásma kanálu s „plochými úniky“ (flat fading channel). Rozprostírací kódy v CDMA jsou navrženy tak, aby zajistili velmi malou korelovanost mezi sousedními chipovými pulsy. Delay spread radiového kanálu poskytuje na přijímači různé verze vysílaného signálu. Pokud jsou tyto příspěvky po cestě kanálem zpožděny o více než jednu chipovou periodu, pro RAKE přijímač vypadají jako nekorelovaný šum.<sup>22)</sup>

V CDMA celulárních systémech může kombinovat vícecestné komponenty, které jsou zpožděnými verzemi původního signálu. Kombinace je prováděna aby byl zvýšen poměr signál-šum na přijímači. RAKE přijímač se snaží zachytit a určit časové posunuté verze signálu provedením korelací pro každou jednotlivou složku, přičemž vychází z předpokladu, že komponenty jsou vzájemně nekorelované.<sup>22)</sup>

V překladu slovo RAKE znamená hrábě, každý určitě ví, jak takové hrábě vypadají, že mají mnoho prstů. A právě ty ke své funkci využívá, „prsty“, z anglického slova „Fingers“. Slouží k tomu aby zachytili signály, které by byly následně funkcí přijímače ( tohoto slova budu užívat místo anglického výrazu „reciever“ ), složeny do jediného výsledného signálu s lepšími vlastnostmi než signály ze kterých byl složen. Vlastně se snaží získat energii nejsilnějších složek.<sup>21)</sup>



Obr. 3.1 RAKE finger [ 9 ]

### 3.1. Základní operace RAKE přijímače

- Match filtering: (přizpůsobené filtrování – přizpůsobené k vysílacímu filtru) touto operací dostaneme signál, ze kterého lze určit jednotlivá zpoždění.
- Descrambling: (descramblování) přijatý signál je násoben „scramblovacím“ kódem a jeho opožděnými verzemi. Jednotlivá zpoždění korespondují s jednotlivými cestami vícecestného šíření. (Signál se rozdělí mezi „prsty“ přijímače.)
- Despreading: (Derozprostření) v každém „prstu“ jsou descramblovaná data pronásobena rozprostíracím kódem použitým na vysílači.<sup>23)</sup>

<sup>21)</sup>KIM-CHYAN, G. *W-CDMA RAKE receiver comes to life in DSP*, s.1

<sup>22)</sup>HANUS, S. *Bezdrátové a mobilní komunikace II*, s. 13-14

<sup>23)</sup>AHSAN A. *Channel Estimation for WCDMA RAKE receiver AN 2253*, s.1-5

- Integration: (integrace) takto upravený signál (v každé větvi) je dále integrován přes jednu symbolovou periodu tak, že na výstupu je jen jeden komplexní QPSK symbol.

V konečném důsledku se všechny signály ze všech „prstů“ spojí v jeden jediný výsledný signál.<sup>25) 26)</sup>

V prostředí s vícecestným šířením signálů zpracovává přijímač několik signálů (se shodným obsahem informací) lišících se jen svým zpožděním, fází a amplitudou nosné vlny, to bývá způsobeno reflexí a difrakcí našich vysílaných signálů na překážkách (například kopec, vysoká budova). Jestliže zpoždění není větší než jedna chipová perioda, přijímač RAKE je schopen tyto signály zpracovat a vytvořit z nich výsledný signál, který je kvalitnější než by byl výsledný signál z kteréhokoliv vstupního signálu. Ve standardu UMTS je chipová frekvence signálu  $f_{ch} = 3,84 \text{ Mchip/s}$ , tudíž chipová perioda  $T_{ch} = 0,26 \mu\text{s}$ . K této hodnotě dojdeme podle vztahu:<sup>27)</sup>

$$T_{ch} = \frac{1}{f_{ch}} = \frac{1}{3,84 \cdot 10^6} = 0,2604 \mu\text{s} \quad (5)$$

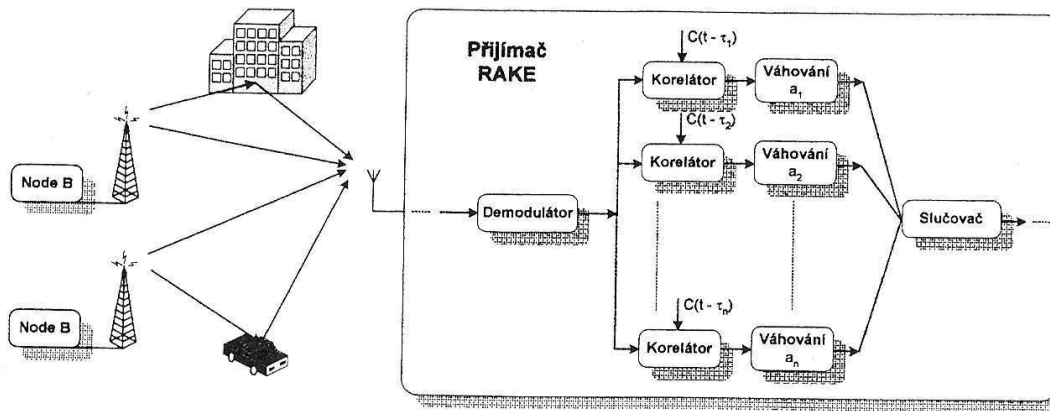
Z toho vyplývá, že pokud signál nepřesáhne hodnotu periody  $0,26 \mu\text{s}$ , přijímač RAKE by měl všechny tyto signály zpracovat.

Z těchto hodnot můžeme také získat rozdíl jednotlivých drah šíření využitelných složek:<sup>24)</sup>

$$\Delta l = \frac{c}{f_{ch}} = \frac{3 \cdot 10^8}{3,84 \cdot 10^6} = 78,1 \text{ m} \quad (6)$$

Tato podmínka je splněna u velkých a malých buněk, naproti tomu u mikrobuněk ne, proto se za takových podmínek RAKE přijímače nemohou uplatnit.<sup>27)</sup>

Znázornění příjmu signálu:



Obr. 3.2 Příjem signálu přijímačem RAKE [ 1 ]

Na tomto obrázku je jasně vidět, jak RAKE přijímač zachytává všechny přímé i odražené signály z vysílače a nakonec je ve slučovači spojuje v jeden.

<sup>24)</sup>HANUS, S. *Bezdrátové a mobilní komunikace II*, s. 13-14.

<sup>25)</sup>IMRAN, A. *W-CDMA RAKE receiver comes to life in DSP*, s.1

<sup>26)</sup>AHSAN A. *Channel Estimation for WCDMA RAKE receiver AN 2253*, s.1-5

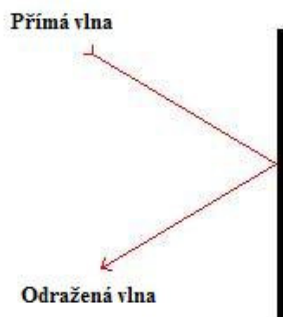
<sup>27)</sup>DOBEŠ, J. ŽALUD, V. *Moderní radiotechnika*, s.715-716

## 3.2. Procesy s vlnou v prostředí

Jevy se kterými se můžeme setkat, při šíření prostředím, těsně před zachycením RAKE přijímačem. Jsou to odraz, lom a rozptyl.

### Odraz

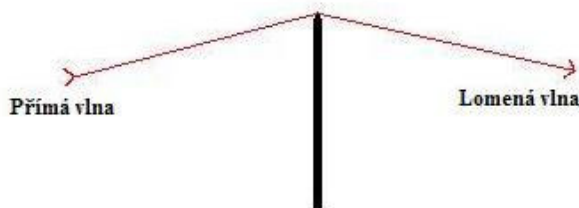
Je jev, kdy dochází při dopadu vlny na nějakou rovnou plochu, nezáleží jaký svírá plocha úhel s povrchem země či samotnou vlnou, k odrazení vlny a to podle zákona: úhel dopadu je roven úhlu odrazu:  $\alpha_D = \alpha_O$



Obr. 3.3 Odraz vlny

### Lom

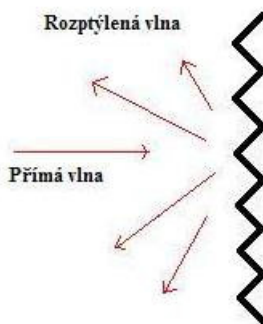
K tomuto jevu dochází na ostrých hranách různých předmětů, kterými signál nemůže projít, například o roh budovy či střechu...



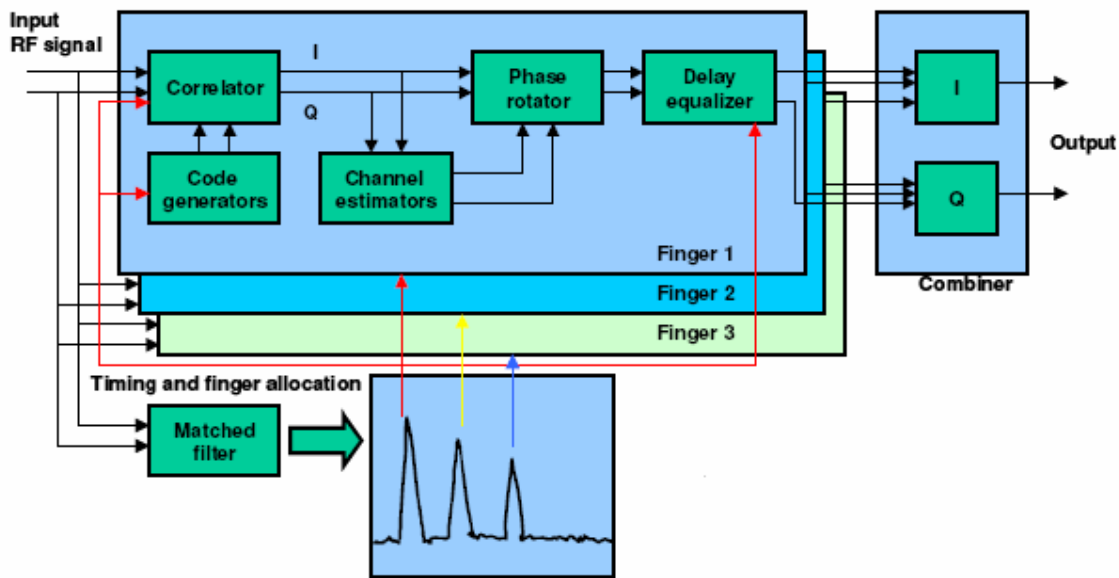
Obr. 3.4 Lom vlny

### Rozptyl

Nastává, když vlna narazí do objektu s nerovnostmi menšími než je vlnová délka vlny. Tehdy dochází k rozptylu.



Obr. 3.5 Rozptyl vlny



Obr. 3.6 Blokové schéma RAKE přijímače [ 5 ]

Na obrázku 3.6 je vidět případ tří nejsilnějších přijímaných složek. Mají větší vzájemný posun, než čipová perioda, a proto se jeví jako vzájemně nekorelované a dobře rozlišitelné.

Na vstupy jednotlivých „prstů“ přichází z vysokofrekvenčních stupňů přijímače ve formě složek I a Q digitalizované vzorky přijímaného signálu. Ty se přivádějí jednak ke korelátoru, jednak k přizpůsobenému filtru.<sup>28)</sup>

Přizpůsobený filtr (Matched filter) slouží k nepřetržitě aktualizovanému získávání okamžitého mnohocestného profilu zpoždění (MDP). MDP je časový průběh přijímaného signálu, odpovídající jedinému vysílanému impulsu, s nevyraznějšími mnohocestnými složkami.

V korelátoru (Correlator) se provádí, za pomoci časově synchronizované rozprostírací sekvence, selekce určité zvolené mnohocestné složky. Uvedené sekvence se získává z generátoru kódu (Code generator), synchronizovaném příslušnou složkou, odvozenou z profilu zpoždění MDP.

Na výstupu korelátoru se objevuje užitečná složka dané větve s již komprimovaným spektrem.

Užitečná složka se dále v bloku vyrovnání fáze, realizovaném fázovým rotátorem (Phase rotator) fázově posouvá, čímž se kompenzuje fázové zkreslení nosné vlny této složky vzniklé na trase šíření.

Informaci o tomto zkreslení dodává odhad kanálu (Channel estimator), který ke zjištění okamžitého stavu kanálu používá pilotní symboly, přenášené buď v samotném pilotním kanálu, nebo vkládané do vyhrazených časových segmentů datových provozních kanálů.

Následuje blok vyrovnávání zpoždění (Delay equalizer), ten adaptivně koriguje relativní časový posun dané mnohocestné složky na její trase.

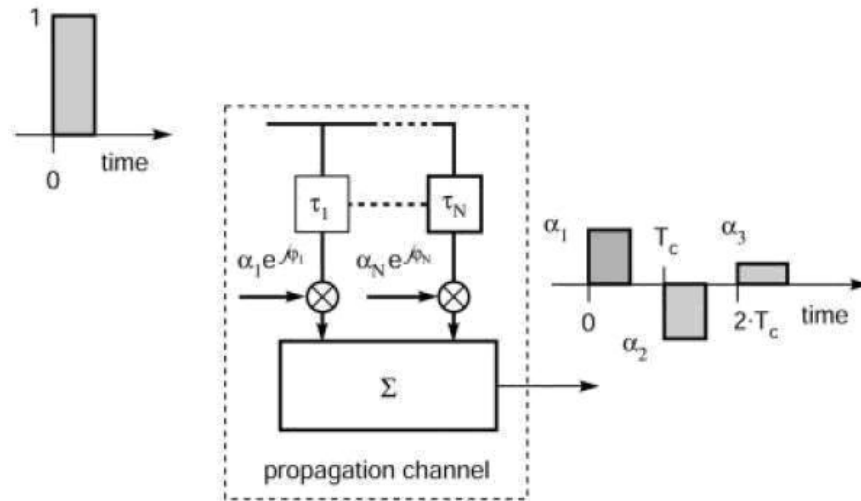
Kromě úpravy fáze a zpoždění se dá v každé větvi přijímače individuálně vyrovnávat různý útlum mnohocestných složek.

Tímto postupem zpracovaná složky I a Q všech větví se dále v kombinačním obvodu sčítají. Výsledný signál se podrobuje deskramblování, inverznímu prokládání a kanálovému dekódování.<sup>29)</sup>

<sup>28)</sup> HEIKKILÄ, T. *RAKE receiver*, s.8-10

<sup>29)</sup> DOBEŠ, J. ŽALUD, V. *Moderní radioelektronika*, s.714-717

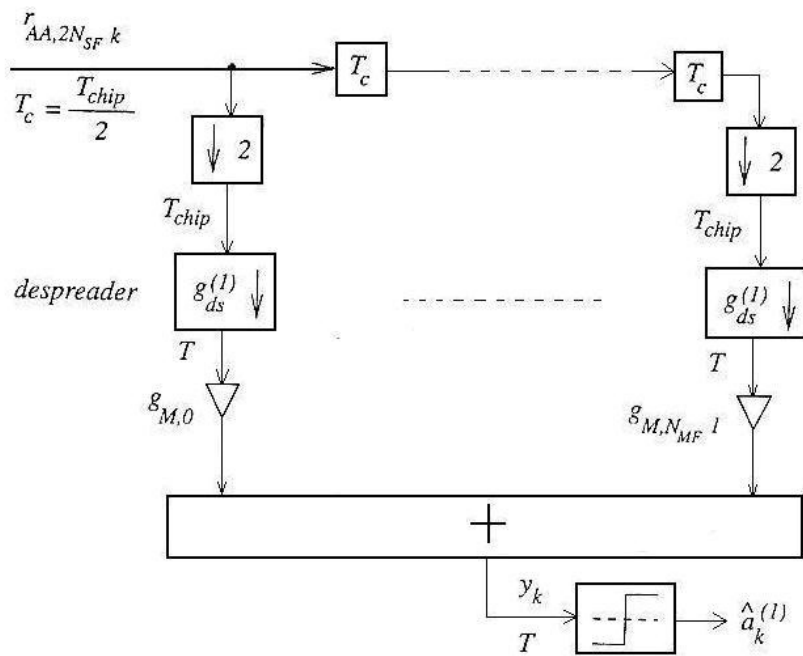
V praxi dochází k tomu, že RAKE přijímač vlastně detekuje a zpracovává sekvenci pulsů jejichž amplituda, fáze a zpoždění se mění s časem dle přesně stanovených zákonů. Tento efekt na rádiovém kanálu je zobrazen na následujícím obrázku, kde  $\alpha_i$ ,  $\varphi_i$  a  $\tau_i$ , jsou amplituda, fáze a zpoždění  $i$ -té cesty (signálu).<sup>30)</sup>



Obr. 3.7 Efekt vícecestného šíření na přenášený impuls [ 4 ]

Zde je vidět efekt vícecestného šíření na přenášený puls.

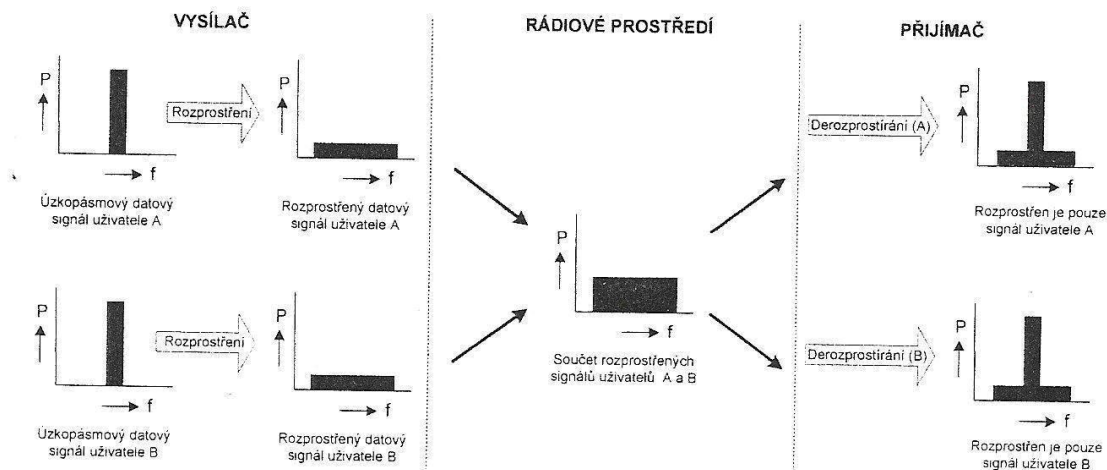
K vlastnímu rozprostírání signálu, dochází už na vysílači, aby signál šířící se prostředím byl co nejméně rušený. Na následujícím obrázku 3.8 je vidět RAKE přijímač s připojeným derozprostíračem (despreader):



Obr. 3.8 RAKE přijímač s derozprostíračem [ 2 ]

<sup>30)</sup>HEIKKILÄ, T. RAKE receiver, s.8-10

A zde můžeme vidět průběh rozprostírání signálu ve vysílači, následně jeho šíření radiovým prostředím a derozprostírání pomocí přijímače, v našem případě RAKE přijímače.<sup>31)</sup>



Obr. 3.9 Příklad přenosu signálu v CDMA [ 1 ]

Zvětšuje-li se počet větví RAKE přijímače kvalita příjmu se z počátku zvětšuje, avšak po překročení určitého optima, které bývá obvykle mezi třemi až šesti větvemi, klesá kvalita příjmu v důsledku zvyšujících se ztrát v kombinačním obvodu.

Činnost RAKE přijímačů je limitována různými interferencemi, jsou to především mezicestné a mezikanálové interference.

Mezicestné interference IPI se projevují v narušení původních autokorelačních vlastností vysílaného signálu u dílčích mnohocestných složek.

Mezikanálové interference ICI vznikají tehdy, když vlivem rozdílných vzdáleností přijímač-vysílač je úroveň přijímaných signálů nežádoucích kanálů mnohem větší, než úroveň signálu žádaného kanálu, tento problém však řeší adaptivní řízení výkonu APC vysílačů mobilních i základových stanic.<sup>32)</sup>

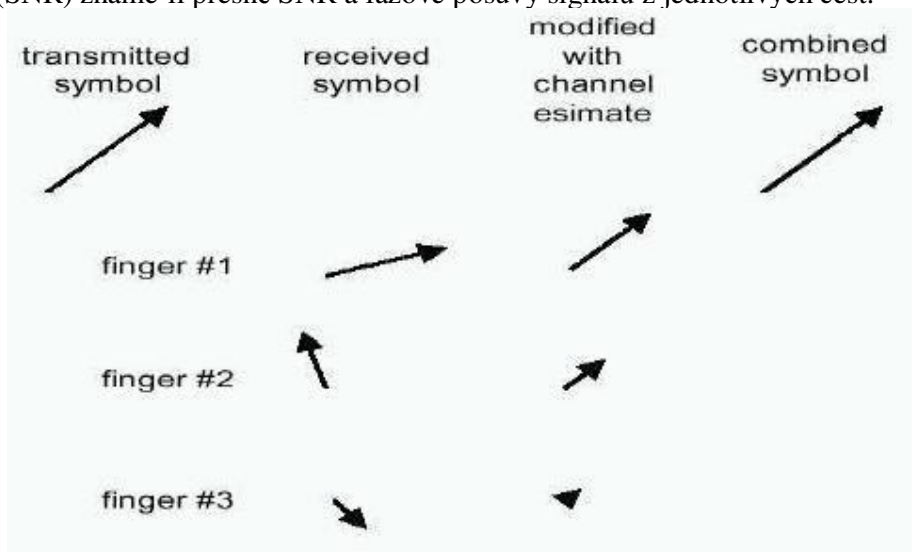
<sup>31)</sup>CHERUBINI, G. *Algorithms for Communications Systems and their Applications*, s.814

<sup>32)</sup>DOBEŠ, J. ŽALUD, V. *Moderní radiotechnika*, s.715-716



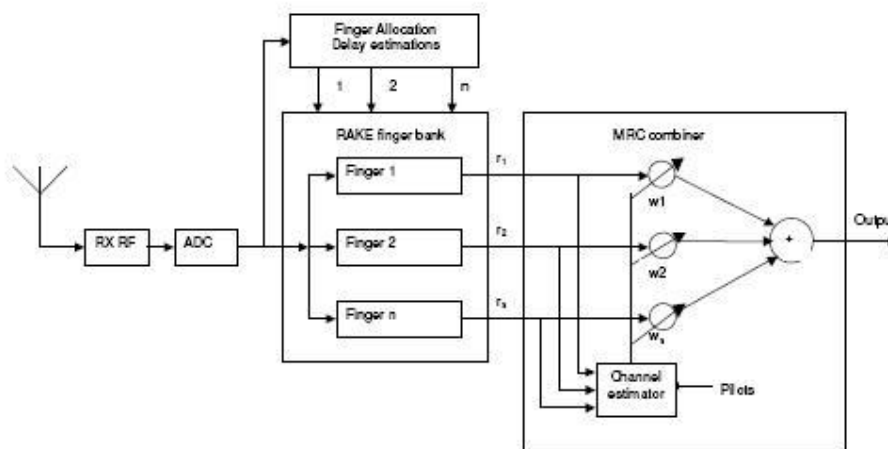
### 3.3. Maximal Ratio Combining

Jedná se o princip kombinování signálu, který zaručuje maximální možný poměr signál k šumu (SNR) známe-li přesně SNR a fázové posuvy signálů z jednotlivých cest.<sup>32)</sup>



Obr. 3.10 Princip MRC v RAKE přijímači [ 22 ]

Na obrázku 3.10 je možné shlédnout funkční princip MRC, od přenášeného symbolu, který se rozdělí do několika cest, následně je modifikován při odhadu kanálu, a ve výsledku se symboly jednotlivých cest spojí v jeden, který je stejný jako vysílaný symbol.<sup>32)</sup>



Obr. 3.11 Zapojení MRC v RAKE přijímači [ 22 ]

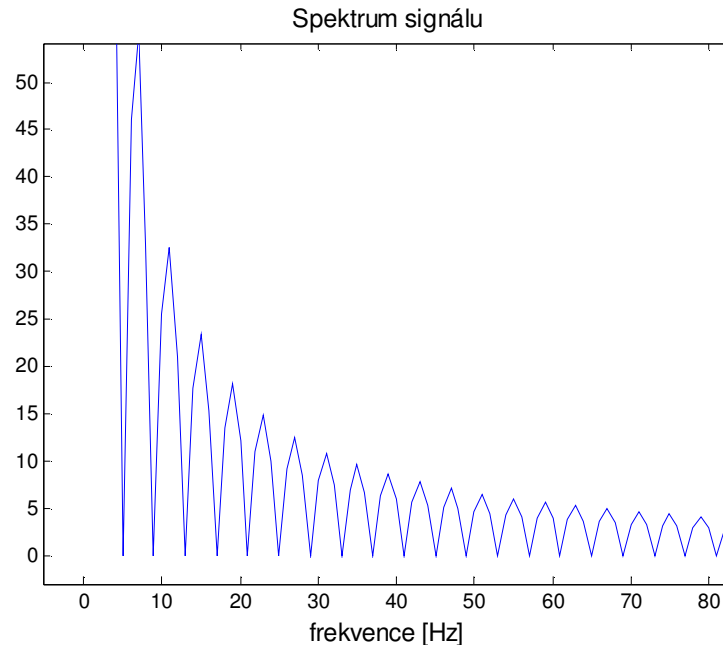
Jedná se vlastně o jiný popis skutečností popsaných výše v principu blokového schématu RAKE přijímače.

<sup>32)</sup>HEIKKILÄ, T. *RAKE text*, s.4-5

# 4. Simulace v programu MATLAB

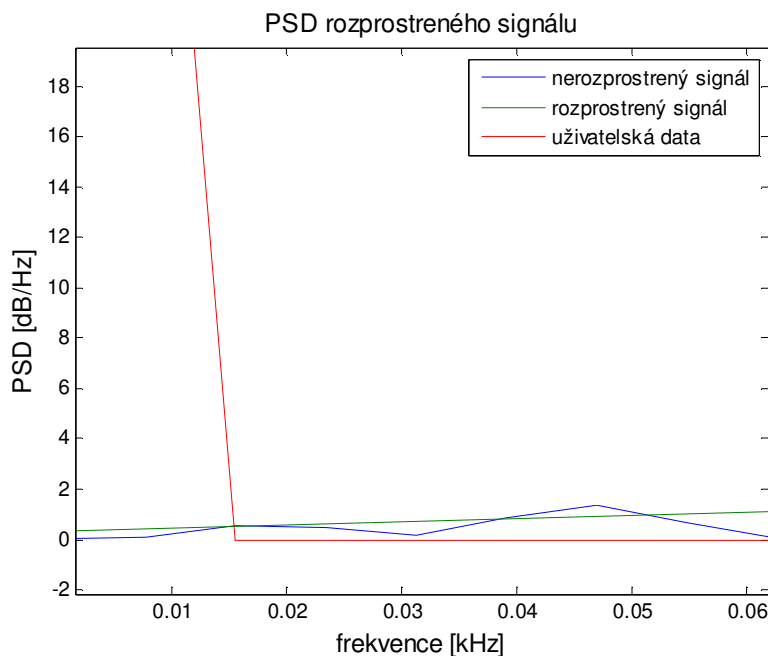
## 4.1. Simulace RAKE receiveru pro nízký počet vzorků

Co se týče simulace pro malý počet vzorků (8192). V první části jsem si nadefinoval počet bitů, chipů a vzorků na chip, rozprostírací sekvenci a signál který bude RAKE receiver přijímat a pomocí rychlé Fourierovy transformace (*FFT*) jsem si nechal zobrazit jeho spektrum:



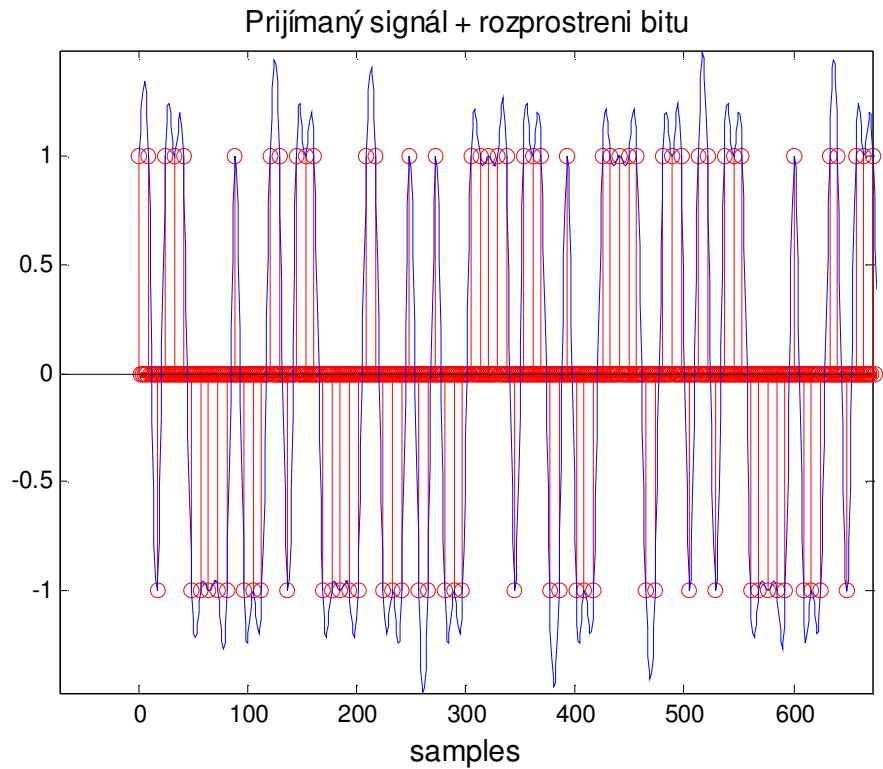
Obr. 4.1 Spektrum signálu

Následně jsem začal signál rozprostírat pomocí funkce *PSD* – spektrální hustota výkonu



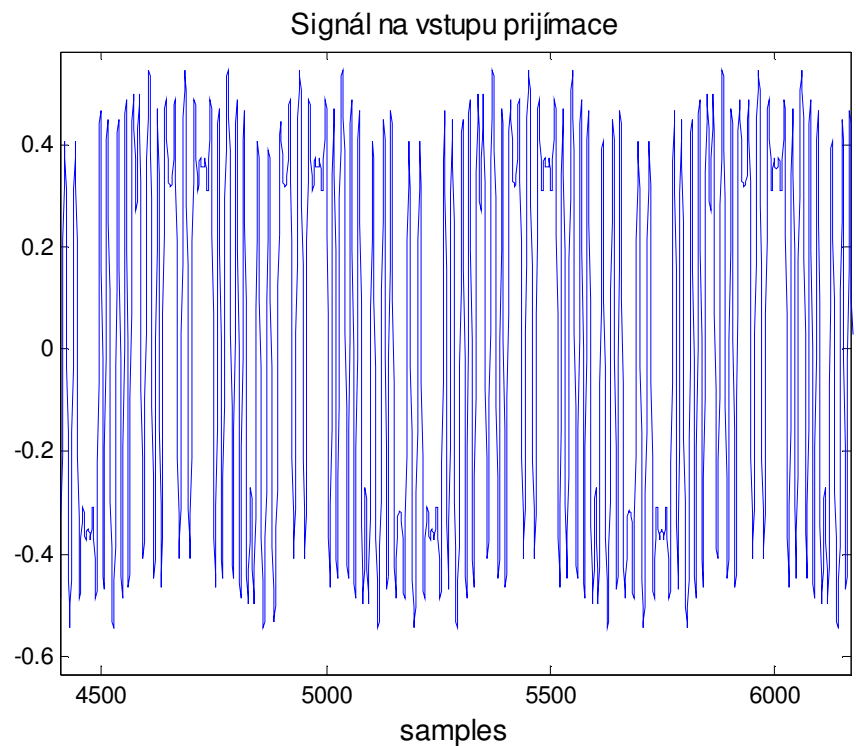
Obr. 4.2 PSD rozprostřeného signálu

V grafu si můžeme všimnout křivky rozprostřeného(modrá) i nerozprostřeného(zelená) signálu. Červená křivka nahrazuje spektrum.  
Dále jsme signál přefiltrovali přes tvarovací filtr funkcí *RCOSFLT*:



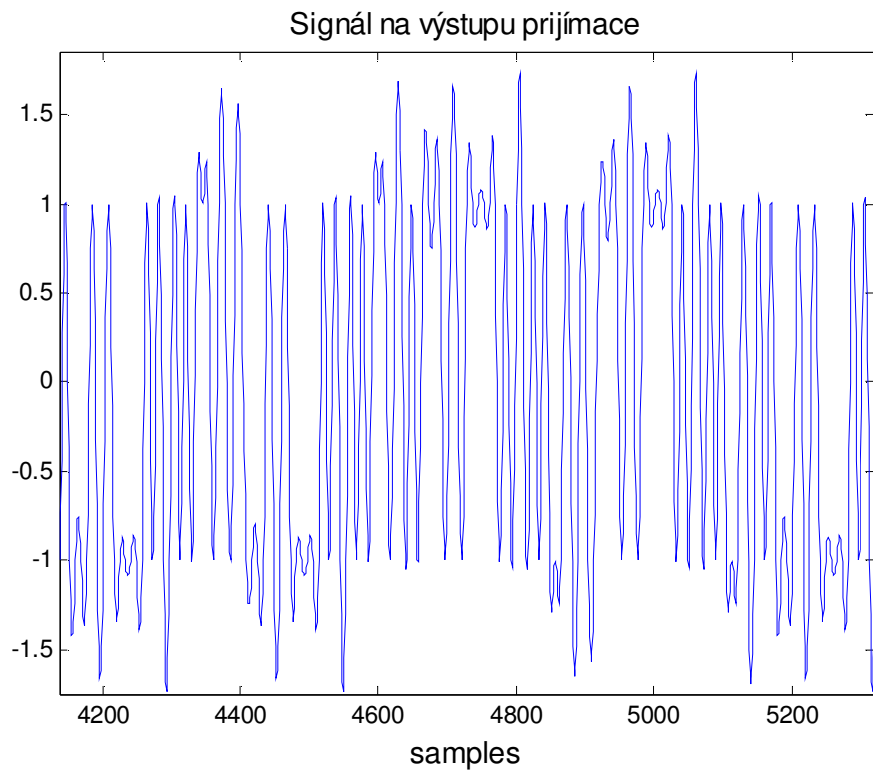
Obr. 4.3 Přijímaný signál + rozprostření bitů

Aby vše správně fungovalo, bylo nutno přijímaný signál převzorkovat.



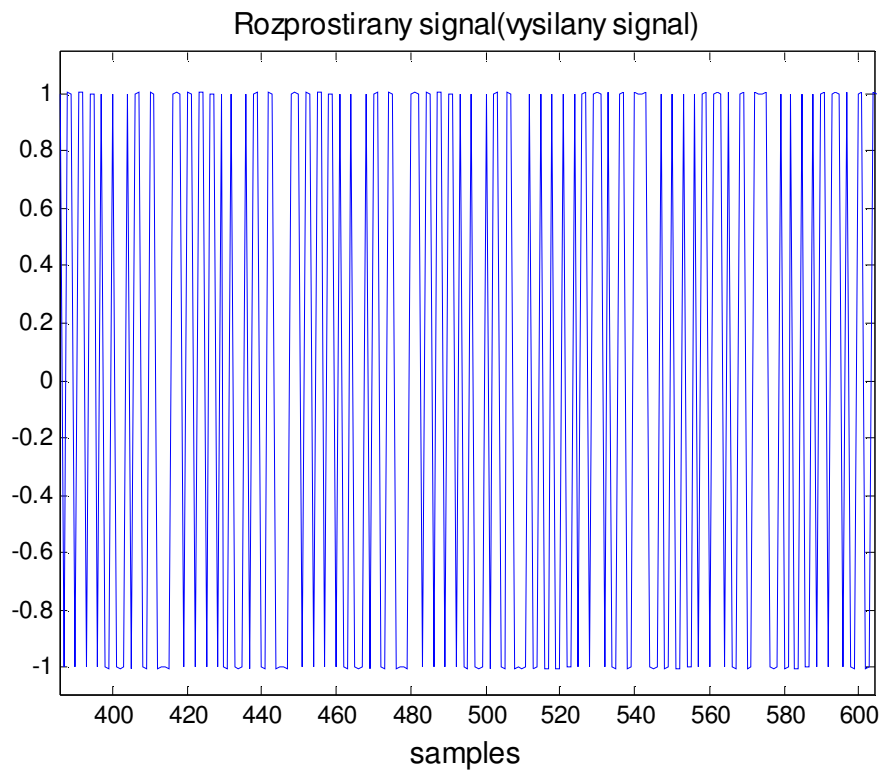
Obr. 4.4 Signál na vstupu přijímače

Při průchodu signálu přijímačem v něm dochází k přiřazení zpoždění:



Obr. 4.5 Signál na výstupu přijímače

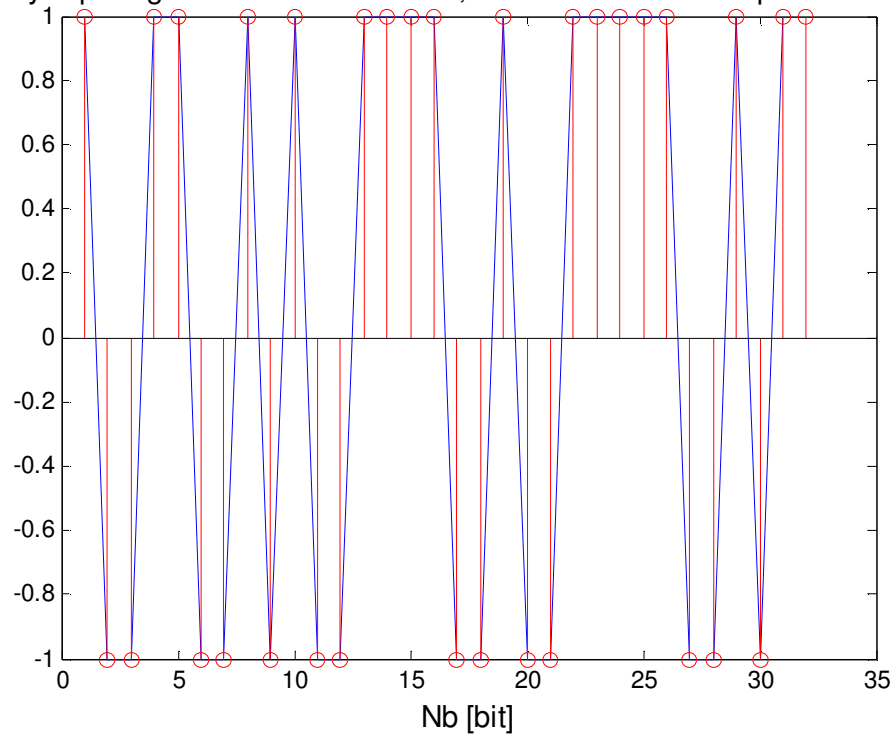
Signál bylo nutné podvzorkovat:



Obr. 4.6 Rozprostíraný signál

A protože už jsem se vlastně dostal ke konci celého zpracování signálu, tak jsem ho mohl již derozprostřit. Následující graf zobrazuje derozprostřený signál pro vícecestné šíření(modrá) + rozprostření bitů (červená). Bylo zpracovááno 32 bitů.

Výstupní signál na RAKE recieveru, vícecestné šíření + rozprostření bitů

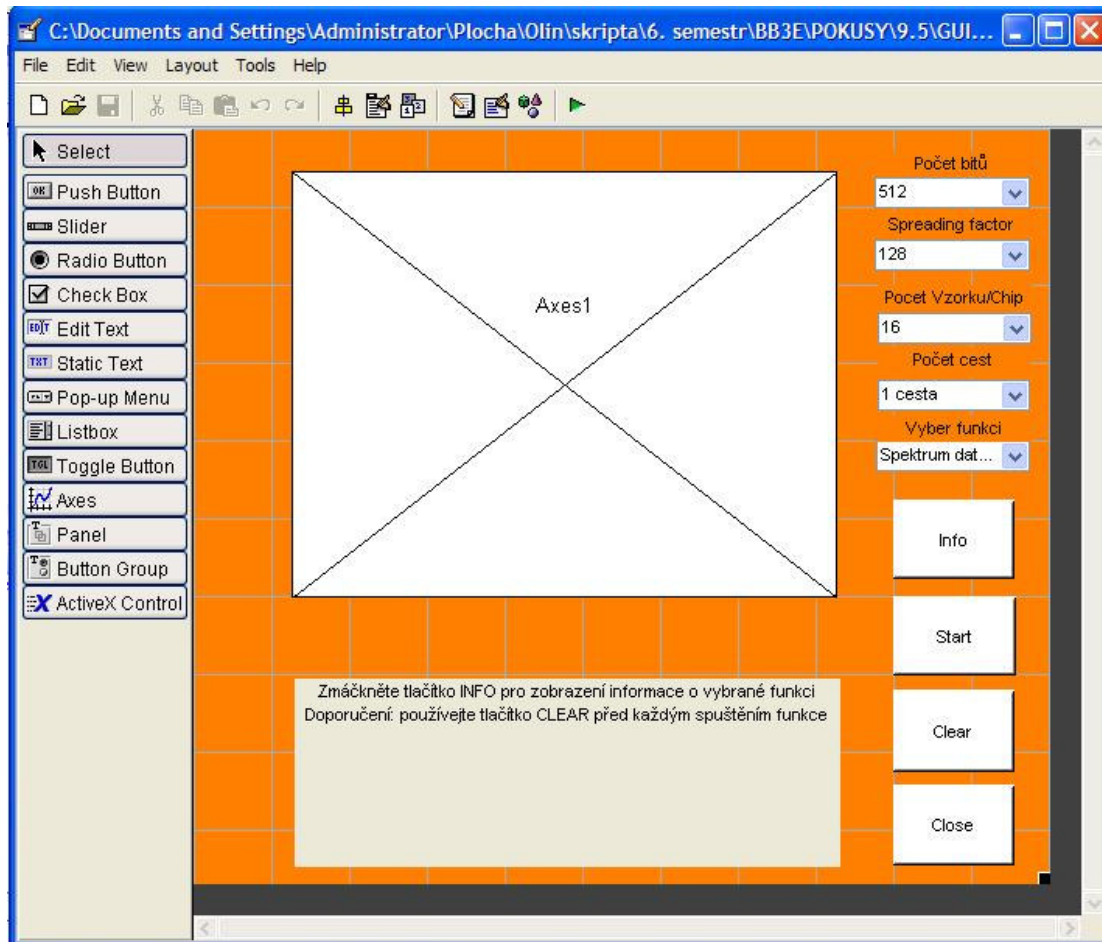


Obr. 4.7 Výstupní signál z RAKE pro vícecestné šíření + rozprostření bitů

## 4.2. Vytvoření aplikace

V aplikaci jsem použil zdrojového kódu, vytvořeného v semestrálním projektu 2, jen bylo třeba zvýšit celkový počet vzorků se kterými program pracuje a rozdělit zdrojový kód pro jednotlivé funkce. Hlavním zdrojovým souborem je GUI.m .

Aplikaci jsem vytvářel v Graphical User Interface (zkráceně GUI) programu MATLAB. Na začátku bylo nutné udělat rozložení jednotlivých komponentů, které budou zadávat parametry signálu a spouštět jednotlivé funkce.



Obr. 4.8 Rozložení komponent aplikace

### Použité prvky:

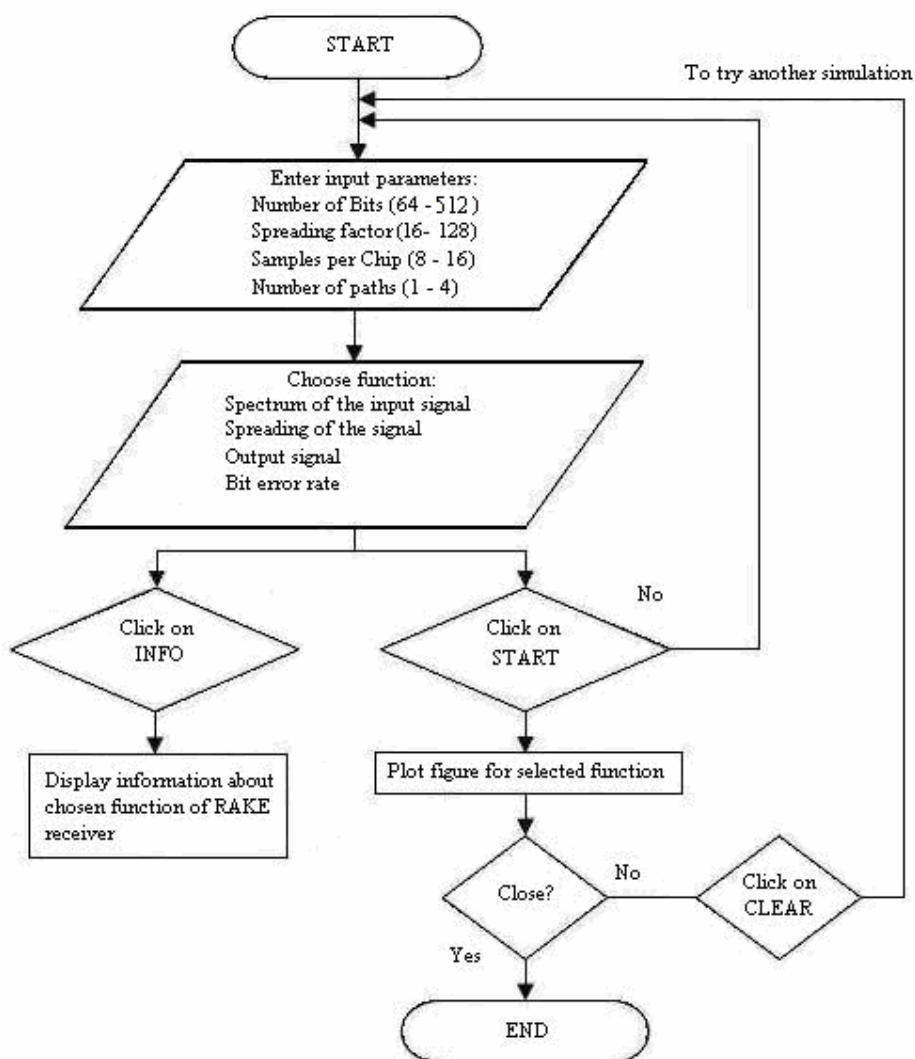
Pop-up Menu: Využil jsem ho pro výběr parametrů signálu a výběr prováděné funkce.

Static Text: Použil jsem ho pro zobrazení informace o vybrané funkci a pro popisky jednotlivých výběrových menu.

Axes: Okno pro zobrazení grafů.

Push Button: Využil jsem celkem čtyři tyto prvky; tlačítko START pro spuštění funkce, tlačítko INFO pro zobrazení informace o dané funkci; tlačítko Clear, které vymaže zobrazenou funkci a tlačítko Close jež uzavře celý program.

Zde můžete shlédnout funkční diagram celé aplikace.

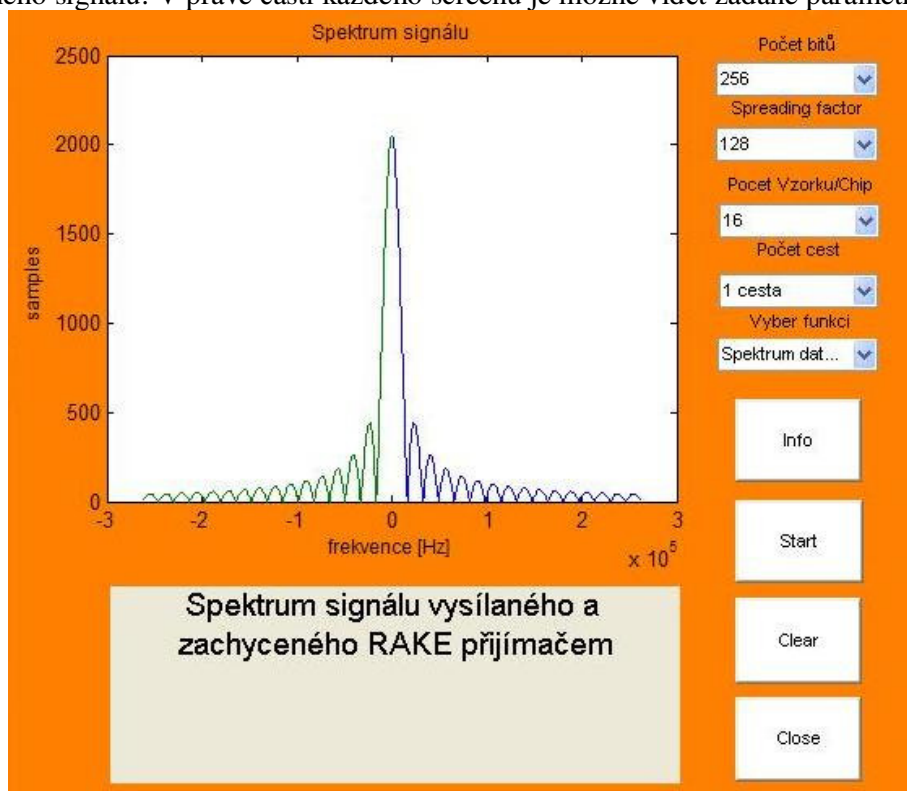


Obr. 4.9 Funkční diagram GUI

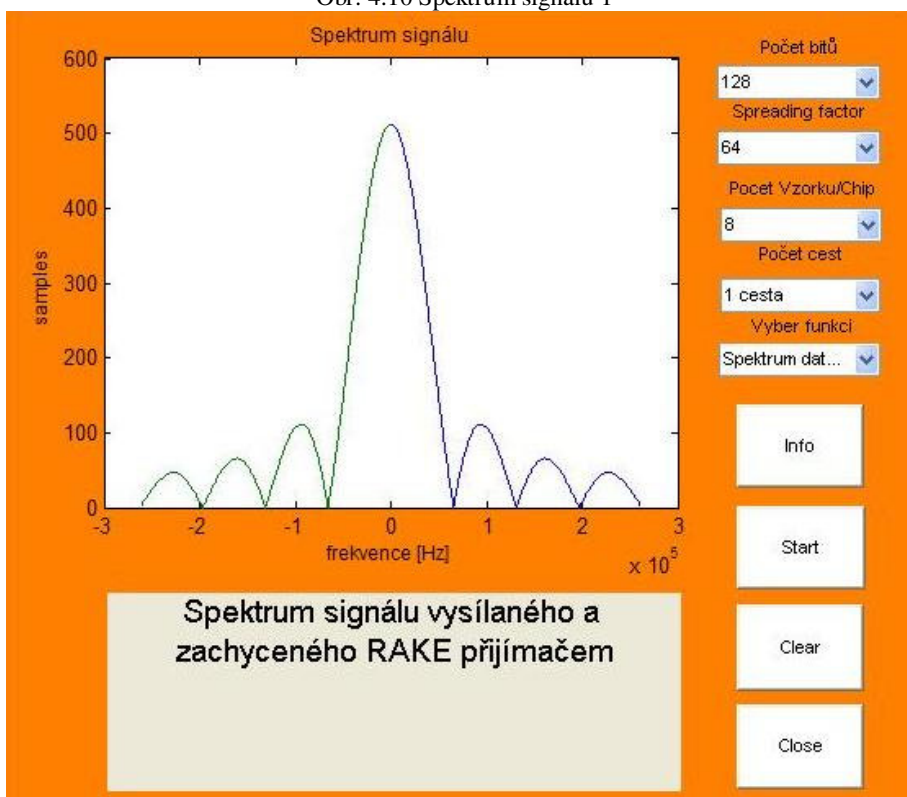
Manipulace s aplikací je velmi jednoduchá stačí zadat počáteční parametry signálu se kterým chcete pracovat, tedy počet bitu, rozprostírací faktor, počet vzorků na chip a počet cest, dále pak už jen stačí vybrat funkci kterou chcete zobrazit a kliknout na tlačítko Start. Musím však dodat, že funkce pro zobrazení spektra a rozprostření signálu nepotřebují všechny parametry, které jsou zde k výběru. Funkce Spektrum potřebuje jen parametry počet vzorků na chip a spreading factor. Funkce Rozprostření nepotřebuje mít zadaný počet cest. Dále bych chtěl upozornit na chybu, která nastává při několika násobném zobrazení funkce Výstupní signál. Dochází zde k překrývání grafů prvním s následujícími, byť je to ošetřeno ve zdrojovém kódu, stále k tomu dochází, proto bych doporučil před každým spuštěním funkce použít tlačítko Clear. Funkce BER nepotřebuje znát počet vzorků na chip. U této funkce bych chtěl upozornit na skutečnost, že její zpracování trvá přibližně minutu až dvě, vykazuje velké množství errorů, které však na průběh funkce nemají žádný vliv. Při okamžitém spuštění funkce BER po zobrazení Výstupního signálu dochází ke zkreslení grafu, tudíž i zde doporučuji použít tlačítko Clear. Dále je zde tlačítko INFO, jež po kliknutí na něj zobrazí informace o vybrané funkci. Tlačítkem Close program zavřete.

### 4.2.1. Výsledky simulace

Nyní zde předvedu některé vybrané výsledky funkcí z aplikace. Začneme zobrazením spektra přenášeného signálu. V pravé části každého screenu je možné vidět zadané parametry signálu:



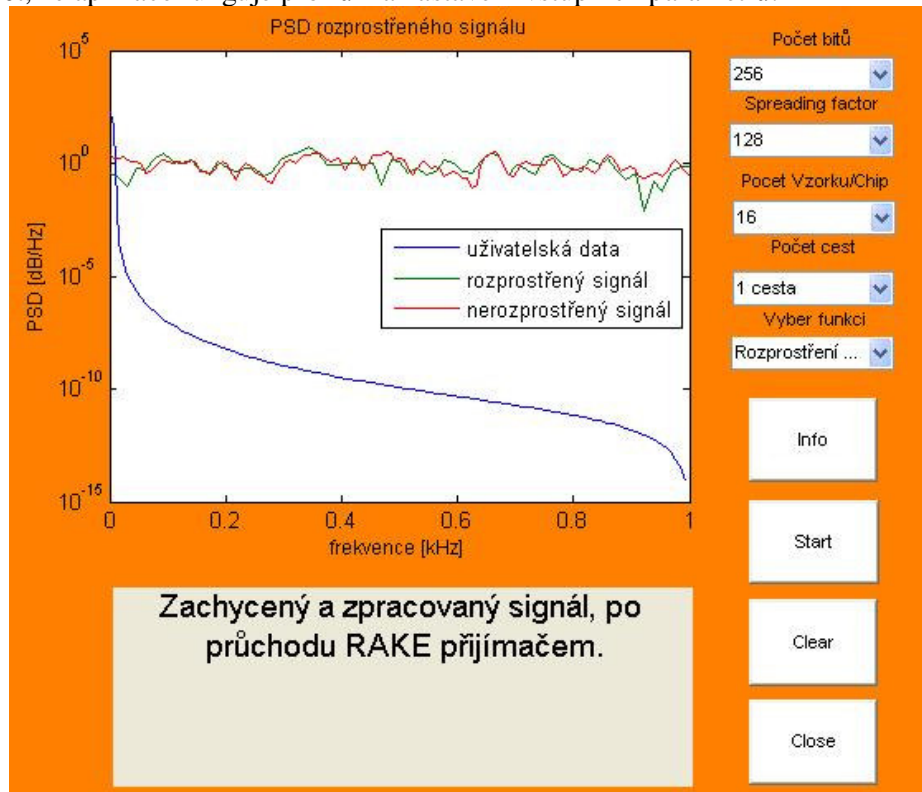
Obr. 4.10 Spektrum signálu 1



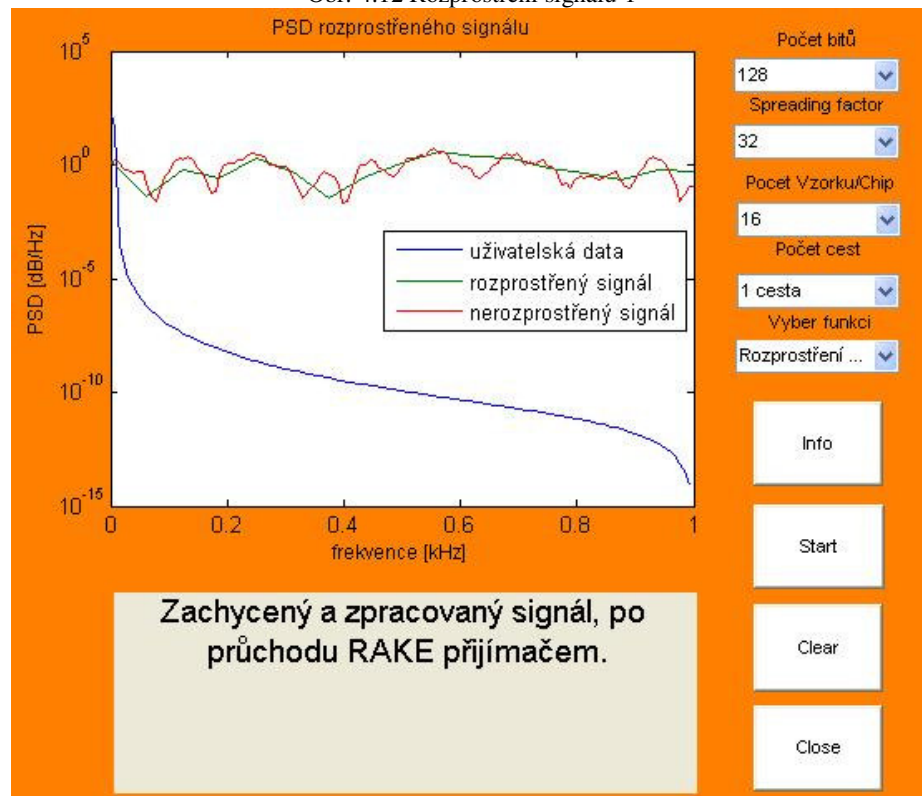
Obr. 4.11 Spektrum signálu 2



Následuje zobrazení rozprostřeného a nerozprostřeného signálu. Používám vždy 2 grafy, aby bylo vidět, že aplikace funguje pro různá nastavení vstupních parametrů.

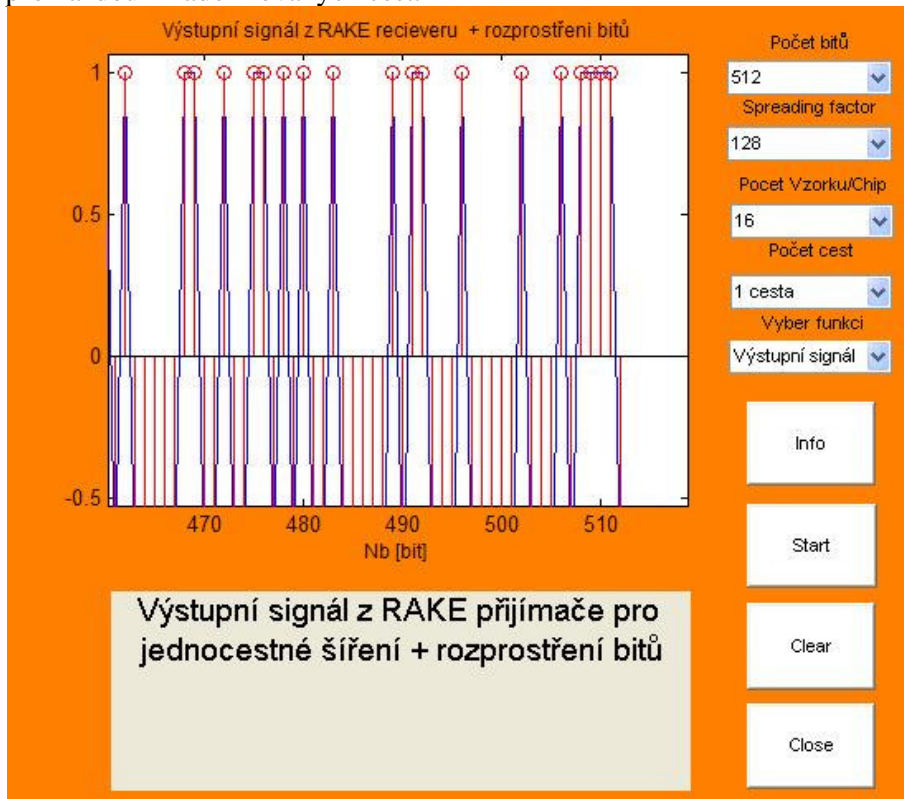


Obr. 4.12 Rozprostření signálu 1

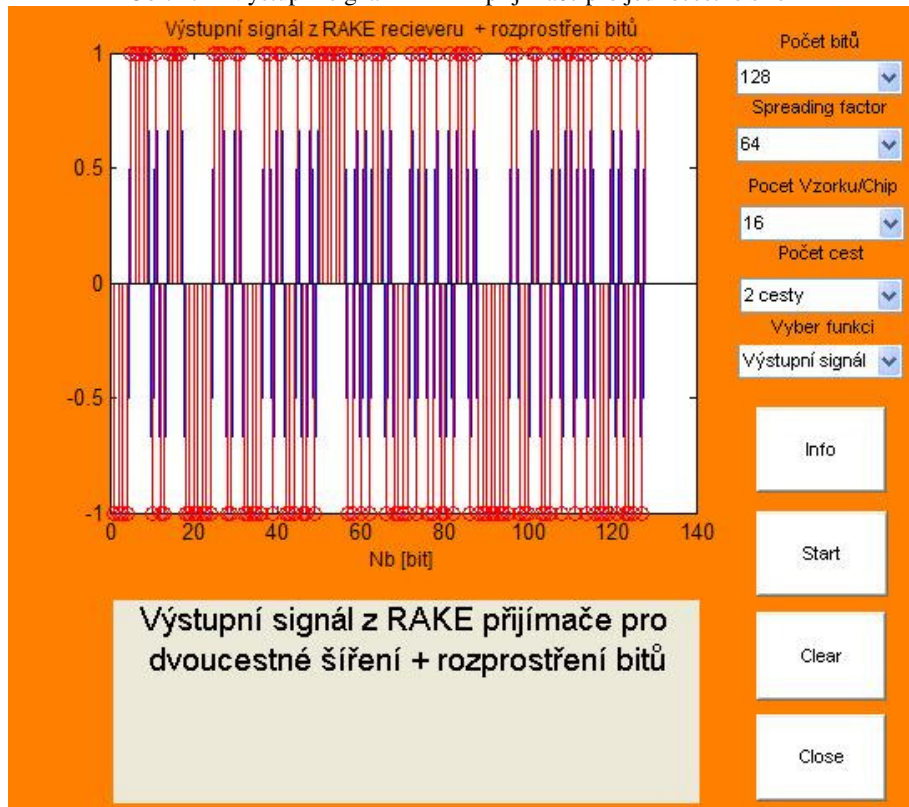


Obr. 4.13 Rozprostření signálu 2

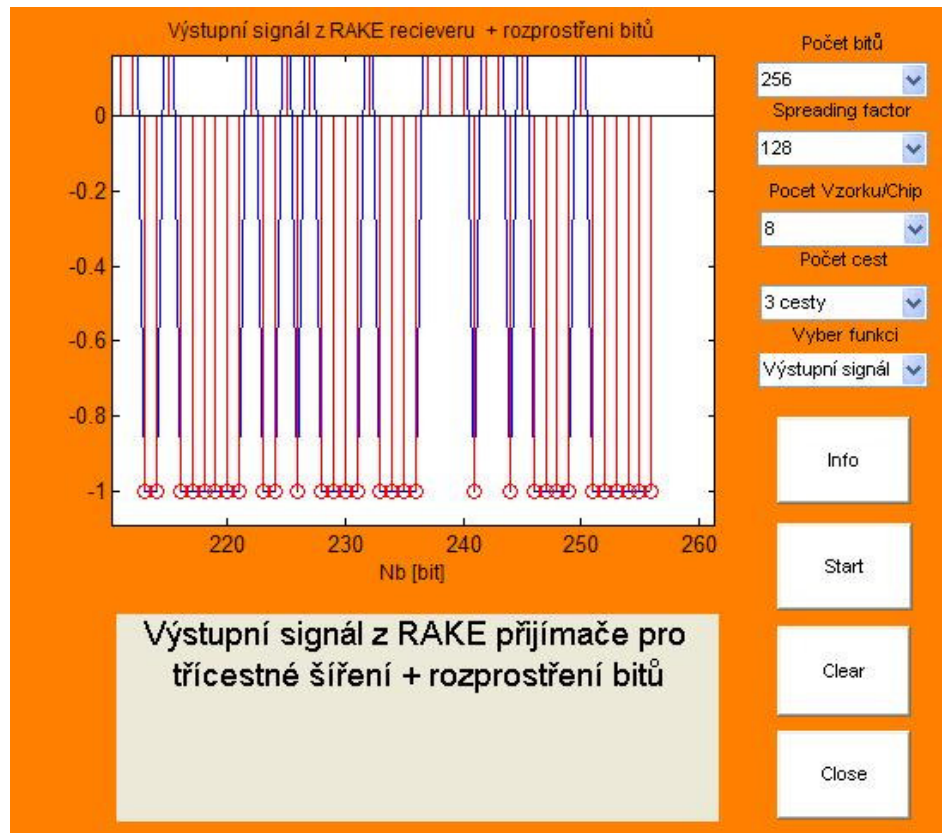
Na dalších čtyřech screenech je zobrazení výstupního signálu, který vychází z RAKE receiver, pro každou z nadefinovaných cest.



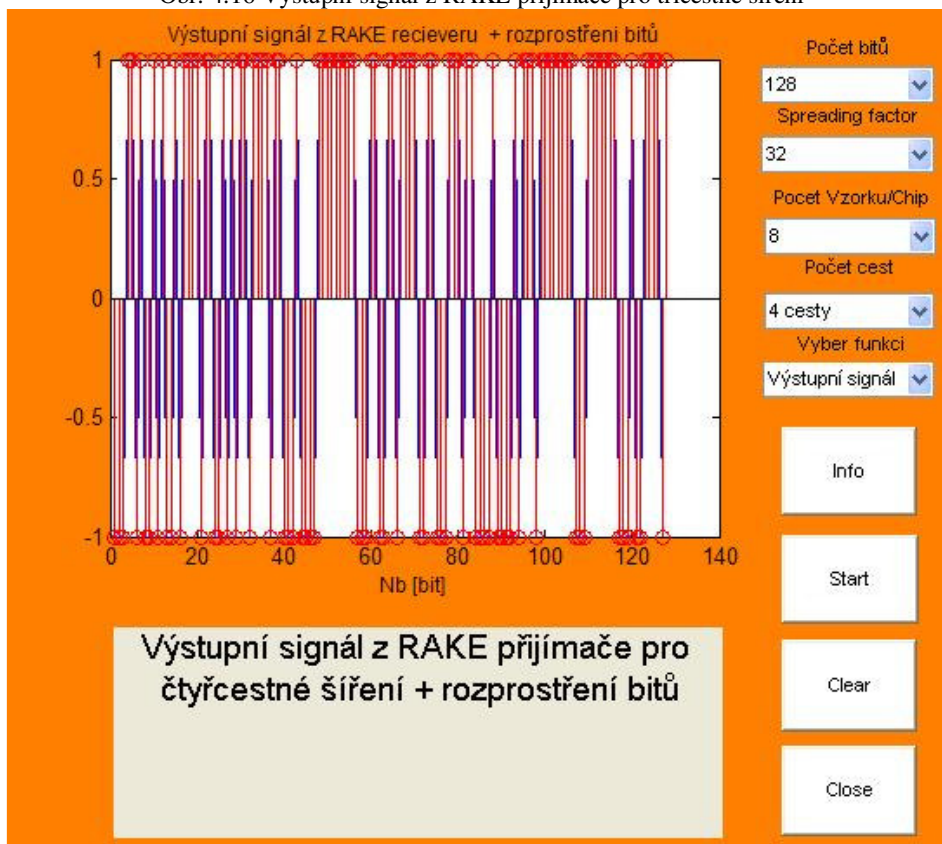
Obr. 4.14 Výstupní signál z RAKE přijímače pro jednocestné šíření



Obr. 4.15 Výstupní signál z RAKE přijímače pro dvoucestné šíření

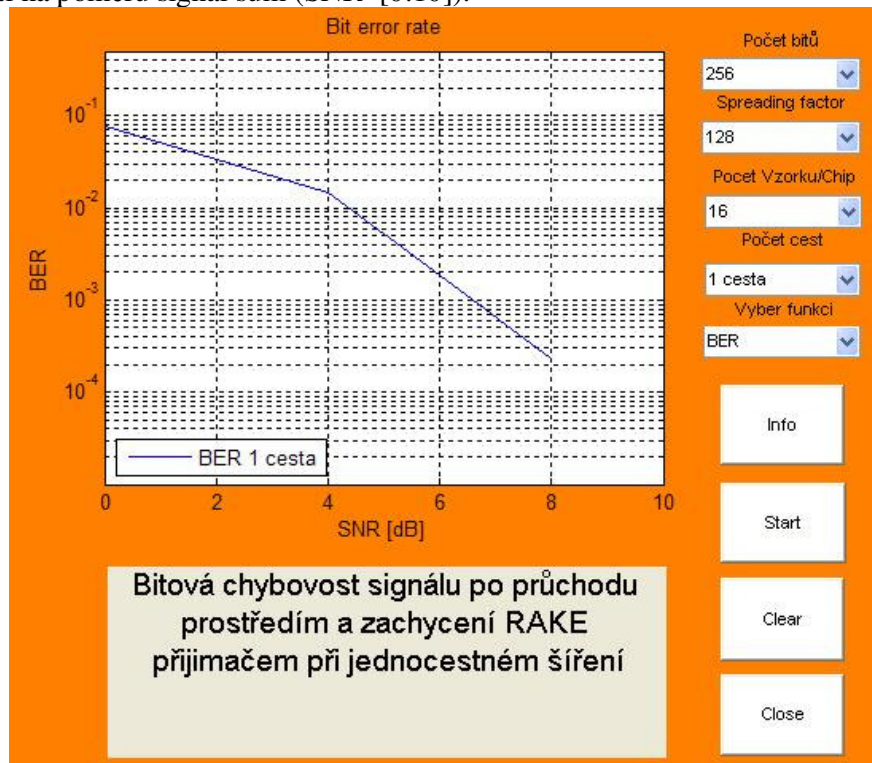


Obr. 4.16 Výstupní signál z RAKE přijímače pro třícečné šíření

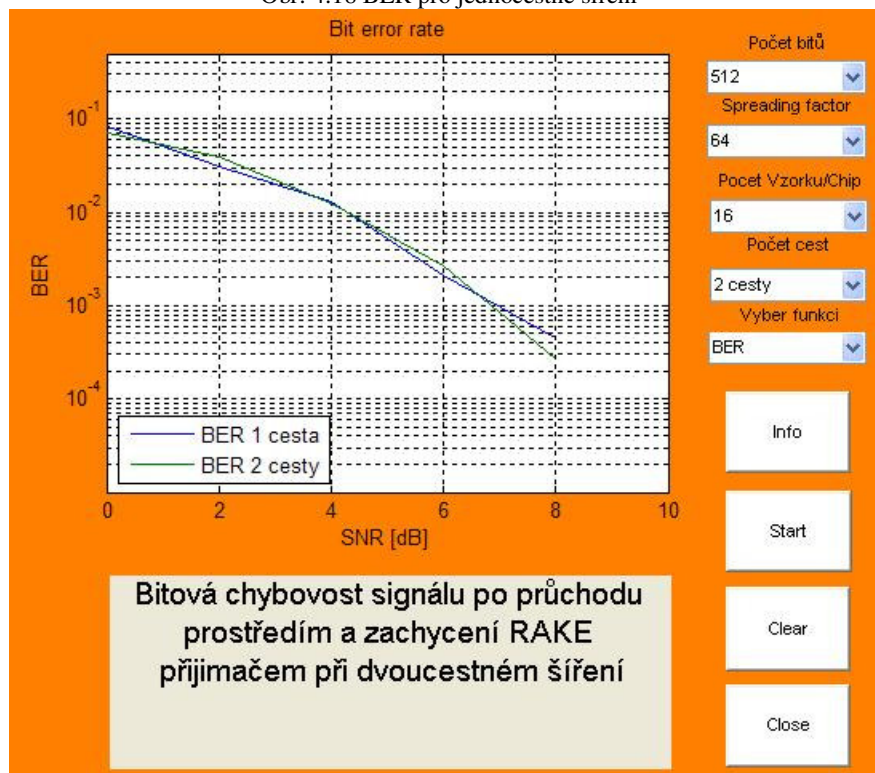


Obr. 4.17 Výstupní signál z RAKE přijímače pro čtyřcečné šíření

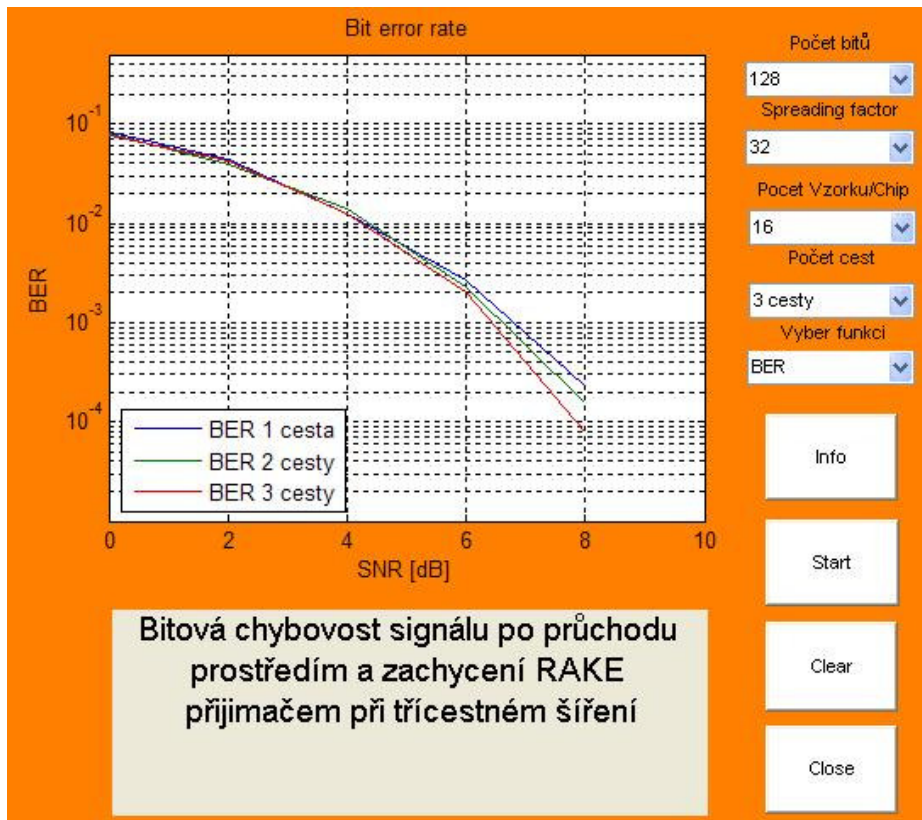
Jako poslední funkce je vyobrazení bitové chybovosti signálu, na obrázcích je vynesena v závislosti na poměru signál šum (SNR=[0:10]).



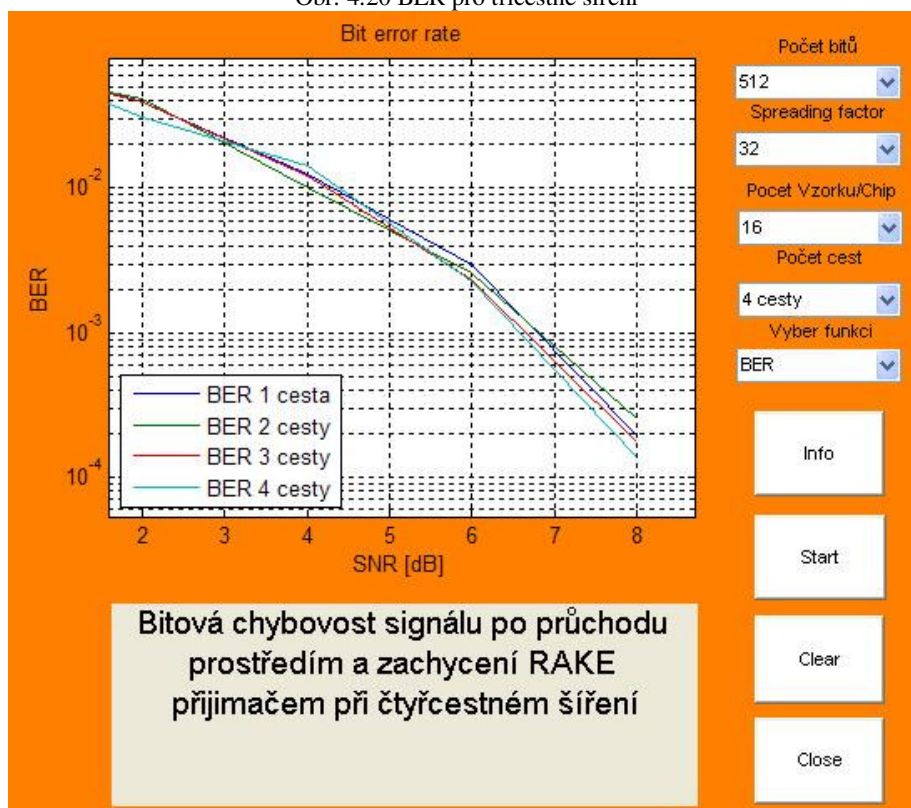
Obr. 4.18 BER pro jednocestné šíření



Obr. 4.19 BER pro dvoucestné šíření



Obr. 4.20 BER pro třicestné šíření



Obr. 4.21 BER pro čtyřcestné šíření

## 5. Závěr

Cílem mé práce bylo prostudovat princip činnosti RAKE přijímače pro systém UMTS a na základě získaných znalostí vytvořit jeho model v programovatelném prostředí MATLAB. To jsem provedl, výsledky této simulace je možno shlédnout na stranách 22 - 25. Vytvořené funkce a získané zkušenosti, jsem následně použil při vytváření aplikace v grafickém prostředí programu MATLAB, pomocí jíž mohu simulovat spektrum vstupního signálu, rozprostření signálu, výstupní signál z RAKE přijímače a míru bitové chybovosti s možností měnit parametry signálu aniž bych musel zasahovat do zdrojového kódu programu. Na stranách 32-37 je jsou vyobrazeny výsledky simulací jednotlivých funkcí, některé z nich, konkrétně spektrum, rozprostření a výstupní signál z RAKE přijímače je možno porovnat s výsledky simulace pro nízký počet vzorků na stranách 22-25 a tak zjistit jejich vzájemnou podobnost a tím pádem i možnou správnost. Je pravda, že výsledky pro spektrum signálu jsou celkem odlišné, neboť v aplikaci jsem výsledný graf rozdělil na poloviny a symetricky rozložil na obě strany osy Y.

Bohužel program nepracuje zcela správně, byť je daná chyba ve zdrojovém kódu opravena, pořád se vyskytuje. O jakou chybu(chyby) se jedná jsem vysvětlil na straně 31 v popisu ovládání programu. Taktéž jsem se o ní zmínil v textovém souboru (manuál) přiloženém ke zdrojovým souborům programu.

Co se týče chybovosti přenosu bitů, její hodnota se u RAKE přijímačů pohybuje mezi  $10^{-3}$  až  $10^{-4}$ . V programu vychází, při poměru signál šum nabývajícím hodnoty 8, něco kolem  $10^{-4}$ , což znamená jeden špatně přenesený bit na 10000 správně přenesených bitů. Hodnoty jsou si tedy celkem blízké.

# Literatura

- [ 1 ] HANUS, S., FENCL, J., ŠTENČEL, V. Bezdrátové a mobilní komunikace II. I. Vyd. Brno: FEKT VUT v Brně, 2005. ISBN 80-214-2817-1.
- [ 2 ] BENVENUTO, N, CHERUBINI, G. Algorithms for Communications Systems and their Applications. Chichester: John Wiley & Sons, 2002. 1200 stran, ISBN 0-470-84389-6.
- [ 3 ] HOLMA, H, TOSKALA, A. WCDMA for UMTS. Chichester: John Wiley & Sons, 2000. 322 stran, ISBN 0-471-72051-8.
- [ 4 ] MURATORE, F. UMTS Mobile Communications for the Future. Chichester: John Wiley & Sons, 2001. 249 stran, ISBN 0-471-49829-7.
- [ 5 ] HEIKKILÄ, T. RAKE receiver (Postgraduate Course in Radio Communications), 2004 Dostupné na WWW < [http://www.comlab.hut.fi/opetus/333/2004\\_2005\\_slides/RAKE.pdf](http://www.comlab.hut.fi/opetus/333/2004_2005_slides/RAKE.pdf) >
- [ 6 ] KIM-CHYAN, G. Maximum Ratio Combining for a WCDMA RAKE Receiver AN 2251, FREESCALE SEMICONDUCTOR, 2004 Dostupné na WWW < [http://www.freescale.com/files/dsp/doc/app\\_note/AN2251.pdf](http://www.freescale.com/files/dsp/doc/app_note/AN2251.pdf) >
- [ 7 ] AHSAN A. Channel Estimation for WCDMA RAKE receiver AN 2253, FREESCALE SEMICONDUCTOR, 2004 Dostupné na WWW < [http://www.freescale.com/files/dsp/doc/app\\_note/AN2253.pdf](http://www.freescale.com/files/dsp/doc/app_note/AN2253.pdf) >
- [ 8 ] KIM-CHYAN, G, AHSAN A, IMRAN, A. W-CDMA RAKE receiver Comes to Life in DSP. EETIMES [online]. Listopad 2003 [cit. 19. listopad 2003]. Dostupné na WWW <<http://www.us.design-reuse.com/articles/6689/w-cdma-rake-receiver-comes-to-life-in-dsp.html> >
- [ 9 ] NILSSON, A. TELL, E. LIU, D. A programmable SIMD-BASED MULTI-Standard RAKE receiver architecture. 2006 Dostupné na WWW < [www.da.isy.liu.se/pubs/andni/andni-eusipco2005.pdf](http://www.da.isy.liu.se/pubs/andni/andni-eusipco2005.pdf) >
- [ 10 ] MATLAB tutorials. Dostupné na WWW <[www.blinkdagger.com](http://www.blinkdagger.com)>
- [ 11 ] MATLAB toolbox. Dostupné na WWW: <http://www.radio.feld.cvut.cz/matlab/toolbox/commblocks/awgnchannel.html>
- [ 12 ] WCDMA(UMTS) FDD Technical summary. Dostupné na WWW: <http://www.umtsworld.com/technology/wcdma.htm>
- [ 13 ] HANUS, S., PROKOPEC, J. Systémy mobilních komunikací. SKRIPTUM
- [ 14 ] ČÍŽ, J. Teorie sdělování, přednáška 3. 2007
- [ 15 ] VALENTA, V. Makro diverzní zisk soft handoveru v síti UMTS FDD. ELEKTRONREVUE [online]. Říjen 2007 [cit. 25. říjen 2007]. Dostupné na WWW: <http://www.elektrorevue.cz/>

- [ 16 ] SVOBODA, J. Mobilní datová síť UMTS-FDD. SDĚLOVACÍ TECHNIKA [online]. Únor 2006 [cit. 19. únor 2006]. Dostupné na WWW <http://www.stech.cz/articles.asp?idk=169&ida=710>
- [ 17 ] MOLNÁR, J. UMTS, [http://www.umts.wz.cz/Mob\\_radio\\_site\\_3G/modulace.htm](http://www.umts.wz.cz/Mob_radio_site_3G/modulace.htm)
- [ 18 ] MARŠÁLEK, R. Teorie radiové komunikace - počítačová cvičení. SKRIPTUM
- [ 19 ] DOBEŠ, J. ŽALUD, V. Moderní radiotechnika. Praha: BEN, 2006, 768 stran. ISBN 80-7300-132-2.
- [ 20 ] KORHONEN, J. Introduction to 3G mobile communications. Norwood: Artech House, 2001, 559 stran. ISBN 1-58053-27-X
- [ 21 ] RICHTER, T. Struktura UMTS. Dostupné na WWW: <http://tomas.richtr.cz/mobil/umts-strukt.htm>
- [ 22 ] HEIKKILÄ, T. RAKE text (Postgraduate Course in Radio Communications), 2004 Dostupné na WWW < [www.comlab.hut.fi/opetus/333/2004\\_2005\\_slides/RAKE\\_text.pdf](http://www.comlab.hut.fi/opetus/333/2004_2005_slides/RAKE_text.pdf) >



# Seznam zkratek

## A

- AWGN Additive White Gaussian Noise - aditivní bílý gaussovský šum
- AMR Adaptive Multirate Speech Coder - adaptivní řečový kodér
- APC Adaptive power control - adaptivní řízení výkonu

## B

- BER Bit Error Rate - míra bitové chybovosti
- BPSK Binary-Phase Shift Keying - binární klíčování fázovým posunem

## C

- CDMA Code Division Multiple Access - Vícenásobný přístup s kódovým dělením

## D

- DS-SS Direct Sequence Spread Spectrum - Rozprostření spektra přímou sekvencí

## E

## F

- FDMA Frequency Division Multiple Access - Vícenásobný přístup s frekvenčním dělením
- FH-SS Frequency Hopping Spread Spectrum - Rozprostření spektra kmitočtovým skákáním
- FDD Frequency Division Duplex

## G

- GUI Graphical User Interface - Uživatelské grafické rozhraní

## H

## I

- IPI Inter Path Interference - mezicestné interference
- ICI Inter Channel Interference - mezikanálové interference

## J

## K

## L

## M

- MDP Multipath Delay Profile - vícecestný profil zpoždění
- MRC Maximal Ratio Combining -

## N

## O

## P

- PSD Power Spectral Density - spektrální výkonová hustota

## Q

## R

## S

- SF Spreading Factor - rozprostírací faktor
- SNR Signal to Noise Rate - poměr signál šum

## T

## U

- UMTS Universal Mobile Telecommunications System
- UTRAN UMTS Terrestrial Radio Access Network - síť radiového přístupu pro UMTS

## V

## W

- WCDMA Wide Band Code Division Multiple Access - širokopásmové CDMA

## X

## Y

## Z

# Poděkování

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Janu Prokopci, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne 2. ledna 2008

.....  
podpis autora