



Akademie věd České republiky
Ústav teorie informace a automatizace, v.v.i.

Academy of Sciences of the Czech Republic
Institute of Information Theory and Automation

RESEARCH REPORT

Ing. Tomáš Mazanec, Ing. Antonín Heřmánek, Ph.D.

Simulace ekvalizérů TEQ pro ADSL toolbox:

výsledky experimentů

No. 2194

18. září 2007

ÚTIA AV ČR, P.O.Box 18, 182 08 Prague, Czech Republic
Tel: (+420)266052472, Fax: (+420)266052511, Url: <http://zs.utia.cas.cz>,
E-mail: {mazanec,hermanek}@utia.cas.cz

This report constitutes an unrefereed manuscript which is intended to be submitted for publication. Any opinions and conclusions expressed in this report are those of the author(s) and do not necessarily represent the views of the institute.

Obsah

1	Podmínky	1
2	Dosažené výsledky	2
3	Závěr	5
4	Srovnávací experimenty	6
4.1	Schodovitý bitload	6
4.2	Plochý bitload 6 bits per tone	8
5	Závěr 2 - srovnávací experimenty	10
6	TODO	11
A	Parametry top-level skriptu	12

Abstrakt

Dokument prezentuje výsledky simulace TEQ na implementovaném ADSL toolboxu, a to ve fázi vývoje kterou lze považovat za první odladěnou a full-featured verzi. Porovnávány jsou jednotlivé TEQ algoritmy. Předmětem k diskuzi je volba a realizace bitload algoritmu.

Algoritmus bitload má značný vliv na výslednou chybovost BER. Implementovaný algoritmus je založený na "water-filling" metodě a ukázalo se, že má tendenci přeceňovat vlastnosti daného kanálu. Tato tendence vedla k rozšíření bitload algoritmu o korekci, která snižuje bitload v závislosti na rostoucím SNR kanálu.

Kapitola 1

Podmínky

Aktuální stav:

Popisovaná verze: 11

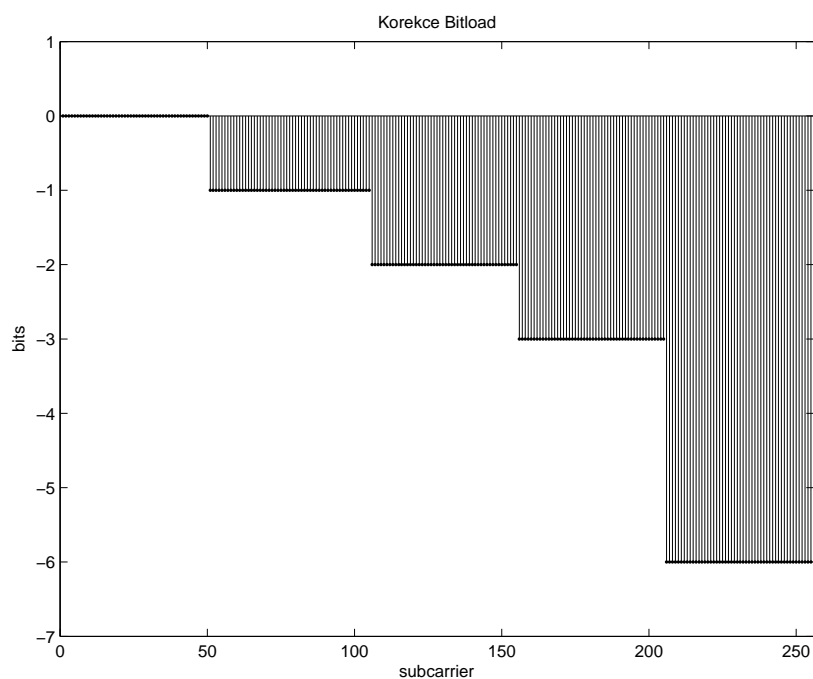
Top-level: `do_tx_rx_rand11_adslsim.m`

- Uživatelská data byla segmentována z náhodné posloupnosti (normální rozdělení - `randn.m`) do pěti set různých datových DMT symbolů.
- Šum přidávaný k referenčnímu modelu kanálu byl získán simulací rušení na ADSL vedení [5], tato simulace používá parametry reálných metalických kabelů. Konfigurace výpočtu rušení byla: ADSL2+ over ISDN, frekvenční dělení, rušící profil A a pro směr downstream.
- SNR vysílaného signálu a přidaného šumu byl měněn od 30ti do 90 dB.
- Každá simulace pro jeden vybraný TEQ a jedno SNR byla 10-krát opakována s různými realizacemi náhodných posloupností pro získání jisté statistické nezávislosti výsledků.
- Použitý bitload algoritmus je typu "RA (Rate Adaptive) water-filling" s možností korekce snížením bitloadu pro vyšší SNR. Korekce snižuje bitloadem navržený počet bitů v závislosti na SNR a to schodovitě směrem k vyšším tónům. Přesněji, korekce sniží navržený bitload o hodnoty dle obrázku č. 2.1, jakmile SNR přesáhne 60 dB. Pokud SNR překročí 80 dB sniží se bitload ještě o jeden bit.
- Bitload byl určován pro každý ref. model kanálu zvlášť a pro vysoké hodnoty SNR byla prováděna korekce snížením bitloadu. Každý tón mohl nést jeden symbol až 2048-stavové QAM, tzn. až 11 bitů.
- Nižší pásmo dvaceti tónů bylo nepoužito, vyhrazeno pro ISDN/POTS. Celkový počet využitelných tónů byl 235.
- Rozměr (řád) FFT v de/modulátoru DMT byl 512. Délka cyklického prefixu byla 40 vzorků, tzn. každý symbol měl délku 552 vzorků.
- Řád filtru ekvalizéru TEQ a cílové impulsové odezvy TIR byl zvolen 32. Systémové zpoždění bylo proměnné od 3 do 39 vzorků.

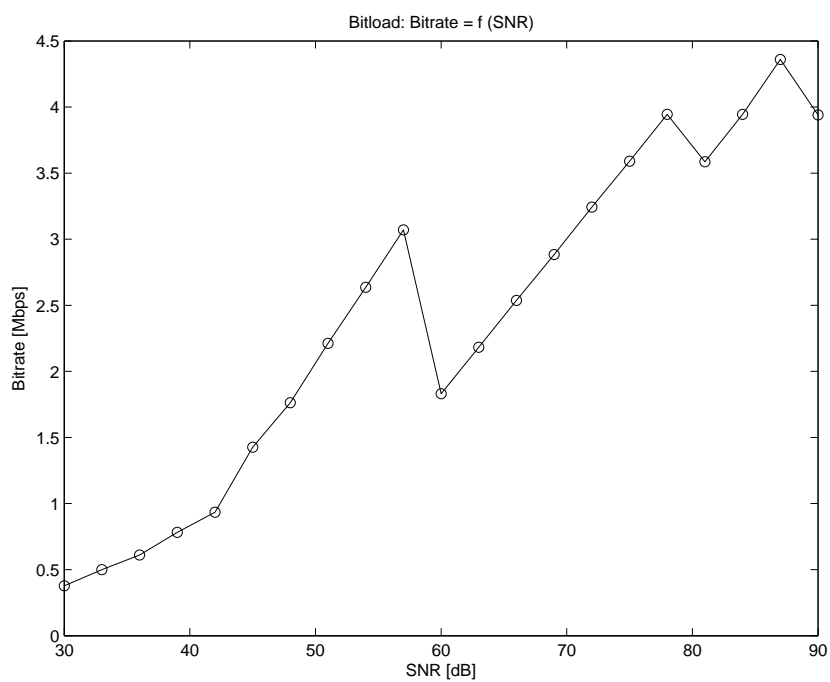
Kapitola 2

Dosažené výsledky

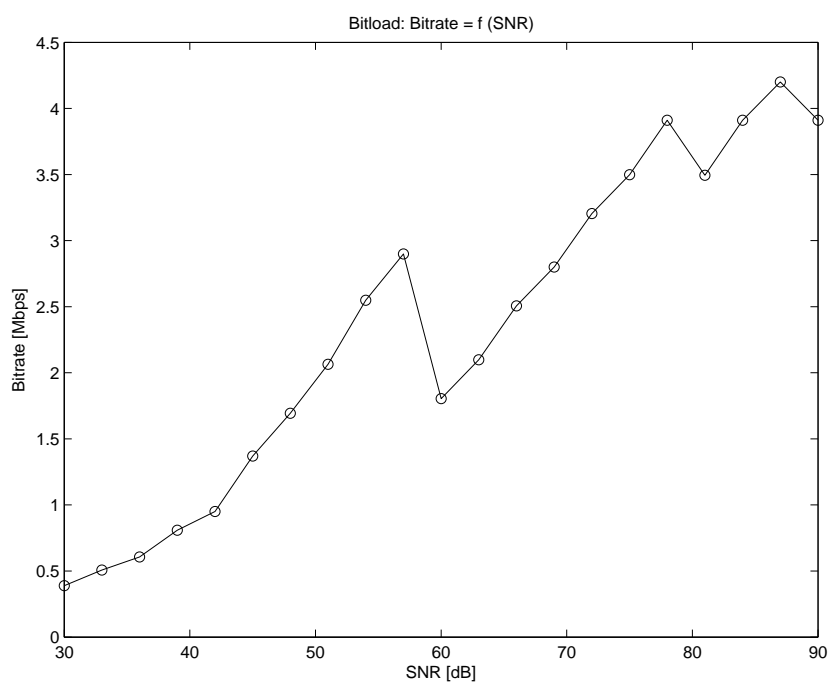
Grafy 2.2 a 2.3 zobrazují přenosové rychlosti dosažené s naší verzí bitload algoritmu pro dva modely ADSL kanálu. Grafy 2.4 a 2.5 ukazují chybovosti BER vypočítané během simulace.



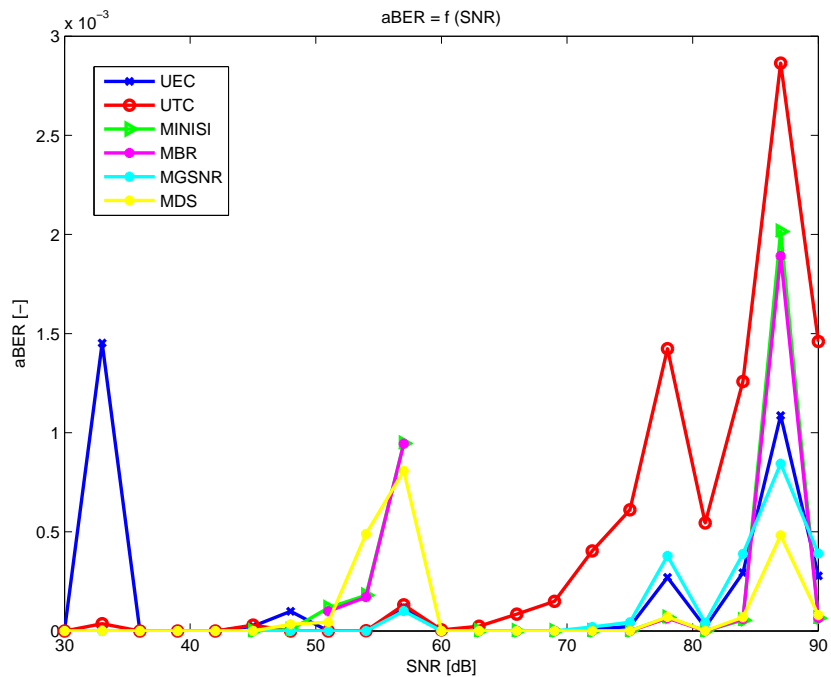
Obrázek 2.1: Korekce bitload algoritmu snížením pro SNR vyšší 60 dB.



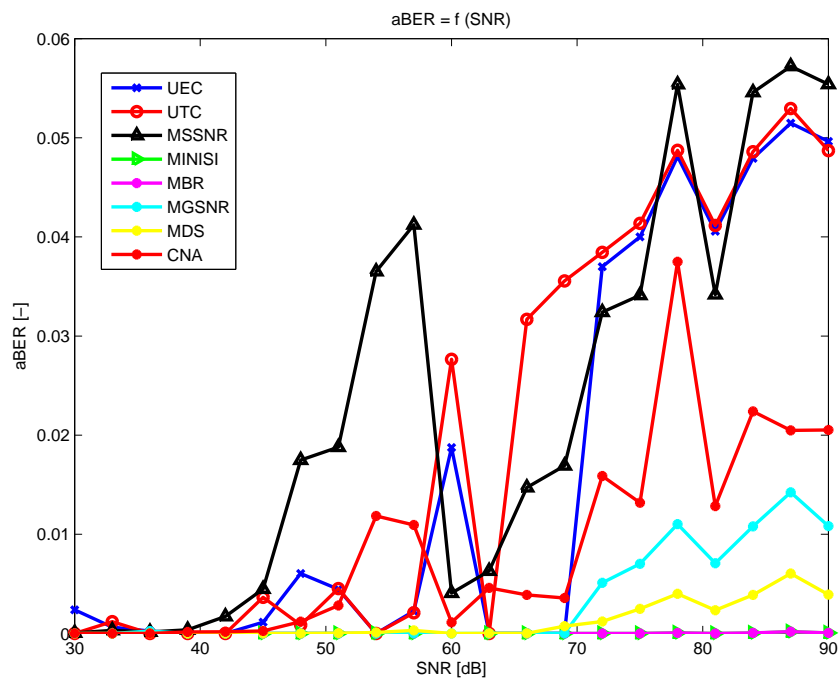
Obrázek 2.2: Přenosová rychlost v závislosti na SNR pro kanál CSA #6 (water-filling bitload).



Obrázek 2.3: Přenosová rychlost v závislosti na SNR pro kanál CSA #3 (water-filling bitload).



Obrázek 2.4: Chybovosti BER v závislosti na SNR pro kanál CSA #6, průměrné hodnoty pro jednotlivé TEQ algoritmy (water-filling bitload).



Obrázek 2.5: Chybovosti BER v závislosti na SNR pro kanál CSA #3, průměrné hodnoty pro jednotlivé TEQ algoritmy (water-filling bitload).

Kapitola 3

Závěr

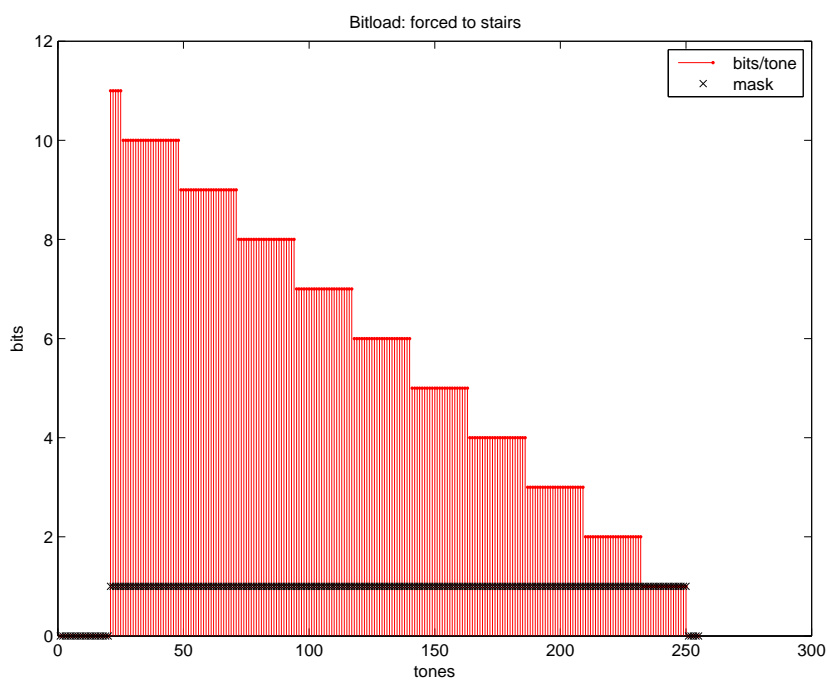
- Algoritmus bitload má značný vliv na výslednou chybovost BER. Implementovaný algoritmus je založený na "water-filling" metodě a ukázalo se, že má tendenci přeceňovat vlastnosti daného kanálu. Tato tendence vedla k rozšíření bitload algoritmu o korekci, která snižuje bitload v závislosti na rostoucím SNR kanálu. Vliv této korekce je patrný jak na grafech dosažených přenosových toků obr. 2.2 a obr. 2.3, tak na grafech výsledných chybovostí BER, kde způsobuje zřejmé špičky.
- Prezentované grafy jsou výsledkem simulací na dvou různých ref. modelech kanálů. Výsledné chybovosti dosažené algoritmy MSSNR a CNA s modelem kanálu CSA #6 nebyly zahrnuty, protože jejich hodnoty nebyly ve srovnání s ostatními algoritmy korektní.
- Model kanálu označený CSA #3 zahrnuje větší počet odboček na vedení, oproti tomu model CSA #6 je nepřerušovaný (bez odboček). Zaznamenali jsme, že některé algoritmy dosáhly významně nižších chybovostí na modelech s odbočkami, zejména MSSNR a MinISI.
- Algoritmus CNA, přestože je založen na slepé metodě ekvalizace a nevede ke zkrácení kanálu, vykázal dobré výsledky v chybovosti na modelech s odbočkami (obr. 2.5).

Kapitola 4

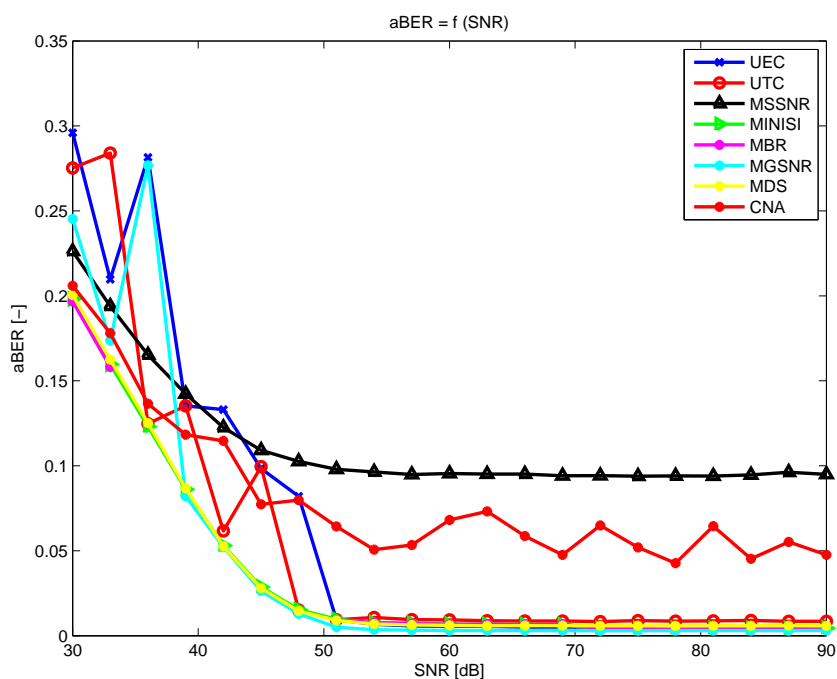
Srovnávací experimenty

Srovnávací experimenty mají za cíl porovnat vlastnosti waterfilling metody bitloadu použité v předchozích experimentech. Podmínky, za kterých proběhly srovnávací experimenty, se shodují s podmínkami předchozích experimentů. Srovnávací experimenty se liší v bitloadu a tak i počtu použitých tónů. Bitload byl, nezávisle na parametrech kanálů, volen tak, aby výsledná přenosová rychlost byla zhruba 5 Mbps.

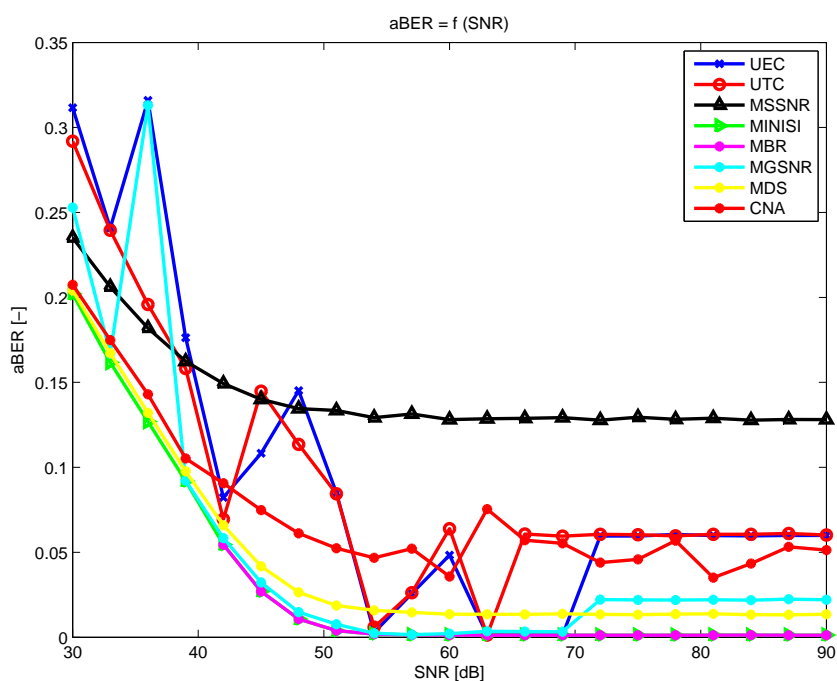
4.1 Schodovitý bitload



Obrázek 4.1: Přednastavený bitload - schodovitá charakteristika (CSA #6 a CSA #3).

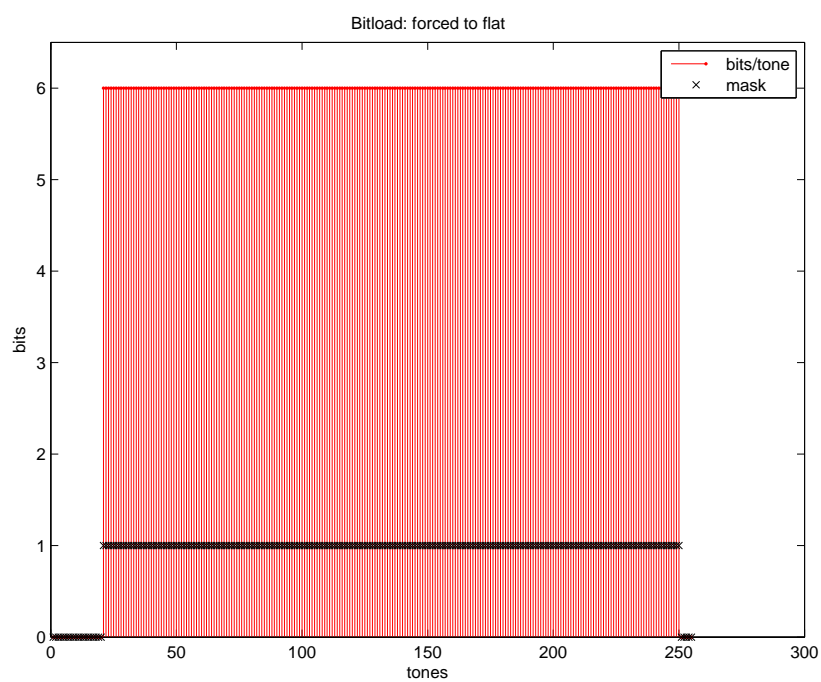


Obrázek 4.2: Chybovosti BER v závislosti na SNR pro kanál CSA #6, průměrné hodnoty pro jednotlivé TEQ algoritmy (schodovitý bitload).

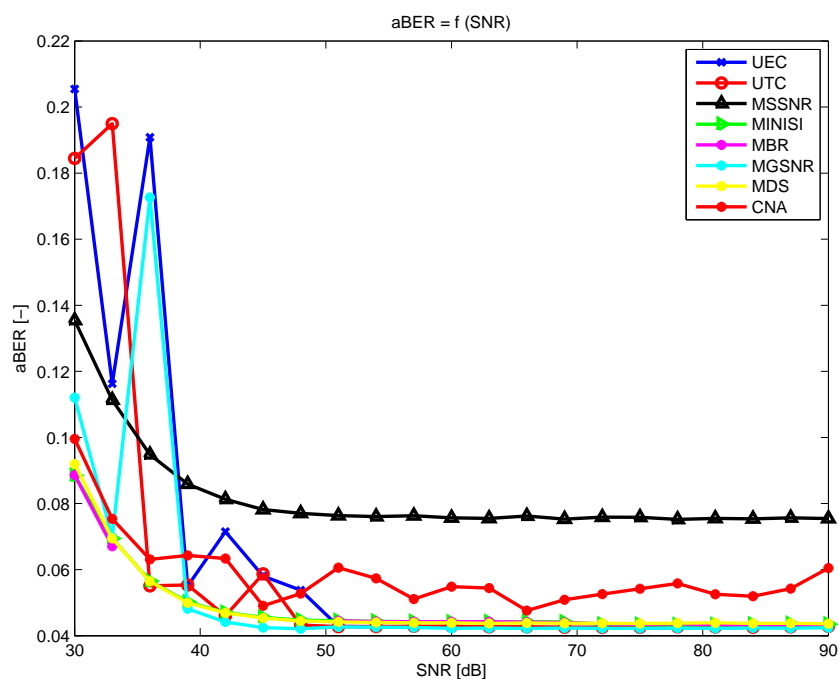


Obrázek 4.3: Chybovosti BER v závislosti na SNR pro kanál CSA #3, průměrné hodnoty pro jednotlivé TEQ algoritmy (schodovitý bitload).

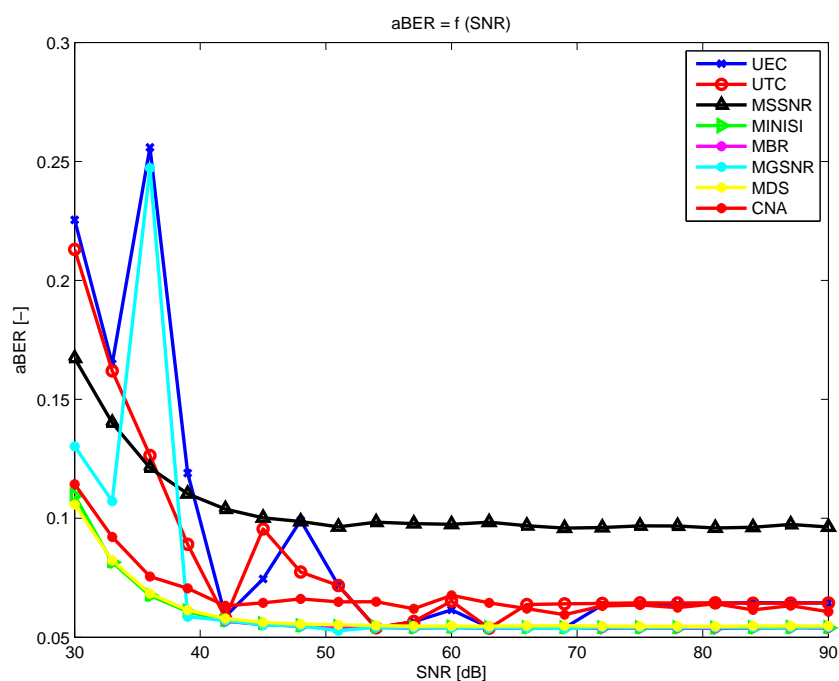
4.2 Plochý bitload 6 bits per tone



Obrázek 4.4: Přednastavený bitload - plochá charakteristika 6 bitů na tón (CSA #6 a CSA #3).



Obrázek 4.5: Chybovosti BER v závislosti na SNR pro kanál CSA #6, průměrné hodnoty pro jednotlivé TEQ algoritmy (plochý bitload).



Obrázek 4.6: Chybovosti BER v závislosti na SNR pro kanál CSA #3, průměrné hodnoty pro jednotlivé TEQ algoritmy (plochý bitload).

Kapitola 5

Závěr 2 - srovnávací experimenty

- Schodovitý bitload (obr. 4.1) má klesající charakteristiku, nejvyšší počet bitů na tón je $b_{\max} = 11$, nejvyšších pět tónů nepoužívá, umožní přenosovou rychlost 5,02 Mbps.
- Plochý bitload (obr. 4.4) přiřazuje každému použitému tónu 6 bitů, tím se dosáhne přenosové rychlosti 5,26 Mbps, nejvyšších pět tónů také nepoužívá.
- Chybovosti BER při experimentech ukazují grafy č. 4.2 a 4.3 pro schodovitý bitload a grafy č. 4.5 a 4.6 pro plochý bitload.
- Schodovitý bitload, oproti plochému, snižuje bitload směrem k vyšším tónům, což je v souladu s charakteristikou kanálů na vyšších tónech. Grafy výsledných chybovostí BER tento soulad potvrzují řádově nižšími hodnotami BER u schodovitého bitloadu (obr. 4.2 a 4.3).
- Celkové porovnání vlivu zvoleného bitload pro jednotlivé TEQ algoritmy shrnuje tabulka č. 5.1. Hodnoty chybovostí jsou vybrány pro nejvyšší $\text{SNR} = 90 \text{ dB}$, při kterém byly dosaženy velké přenosové rychlosti (4 Mbps pro water-filling a 5 Mbps pro schodovitý a plochý bitload).
- MBR je inicializován vektorem TEQ koeficientů \mathbf{w} získaným MinISI algoritmem. Výsledné chybovosti nenaznačují další přínos optimalizací MBR, přestože dřívější nepublikované experimenty, méně statisticky nezávislé, ukázaly jistý přínos.
- MGSNR je inicializován vektorem TIR koeficientů \mathbf{b} získaným UEC algoritmem. Ve většině testovaných případů zajistí MGSNR podstatně menší chybovost než inicializační UEC algoritmus.

TEQ alg.	Tvar Bitloadu					
	water-filling		schodovitý		plochý	
	CSA #6	CSA #3	CSA #6	CSA #3	CSA #6	CSA #3
	BER [-]	BER [-]	BER [-]	BER [-]	BER [-]	BER [-]
UEC	2,7E-04	0,05	5,1E-03	0,06	0,04	0,06
UTC	1,5E-03	0,05	8,5E-03	0,06	0,04	0,06
MSSNR	0,1	0,06	0,1	0,13	0,08	0,1
MinISI	6,4E-05	4,6E-05	4,5E-03	1,2E-03	0,04	0,05
MBR	6,5E-05	4,6E-05	4,5E-03	1,2E-03	0,04	0,05
MGSNR	3,9E-04	0,01	3,1E-03	0,02	0,04	0,05
MDS	8,0E-05	3,9E-03	5,9E-03	0,01	0,04	0,05
CNA	0,03	0,02	0,05	0,05	0,06	0,06

Tabulka 5.1: Průměrné chybovosti BER pro jednotlivé TEQ a dle zvoleného bitloadu, $\text{SNR} = 90 \text{ dB}$.

Kapitola 6

TODO

- Promyslet zda-li má smysl zabývat se algoritmem MSSNR, dává celkově špatné výsledky a přitom bylo ověřena jeho korektní implementace (interpretace) vůči jeho teoretickému odvození.
- Proč není přínos algoritmu MBR znatelný při prezentovaných experimentech?
- Porovnat výpočetní náročnost jednotlivých algoritmů vůči jejich výsledkům. Například CNA v případě CSA #3 a malých SNR.

Dodatek A

Parametry top-level skriptu

```
[br_Mbps, BER, MMSE, params] = do_tx_rx_rand11_adslsim( SNR ,...  
                                                       eq_type ,...  
                                                       Ns ,...  
                                                       loop_num ,...  
                                                       noisemodel ,...  
                                                       lower_bitload)
```

Vstup:

SNR	[dB], poměr signálu ku přidanému šumu, druh šumu dle <code>noisemodel</code>
eq_type	['string'], algoritmus ekvalizéru: UEC, UTC, MinISI, MBR, MDS, CNA, MSSNR nebo MGSNR
Ns	počet přenesených datových symbolů
loop_num	(1...6), typ referenčního ADSL kanálu (CSA # loop)
noisemodel	(0 nebo 1), 0...AWGN, 1...Model č.1
lower_bitload	(0 nebo 1), 0...Ne, 1...Ano, Korekce bitload algoritmu snížením navrženého bitloadu

Výstup:

Defaultní hodnoty: `br_Mbps = 0`; `BER = NaN`; `MMSE = NaN`;

br_Mbps	datový tok dosažený při simulaci
BER	chybovost (Bit Error Ratio) přenosu datových symbolů při simulaci
MMSE	pro MSE algoritmy - orientační údaj o dosažení optima algoritmu

Pevné a interní parametry ve výstupní struktuře params

params.Ntused	počet použitých tónů (subnosných), určuje bitload algoritmus dle zvoleného modelu kanálu
params.cplen	40, délka cyklického prefixu datových symbolů
params.Gam	Gamma [dB], interní konstanta, souvisí s potřebným SNR pro danou N-stavovou QAM
params.Gamgap	Γ [dB], dtto
params.Codgain	Coding gain [dB], dtto
params.Margin	Margin [dB], dtto
params.power	TX Power [dBm], interní konstanta pro reálné škálování signálů v simulaci
params.Nb	délka cílové odezvy (TIR) pro některé algoritmy ekvalizace
params.Nw	délka vlastního ekvalizéru (řád filtru)
params.Ntu	maska použitých tónů
params.bn	vyžití jednotlivých tónů pro přenos, n-bitů na daný tón
params.delay	optimální systémové zpoždění
params.bDMT0	odhad kapacity kanálu: [bits/symbol], teoretický odhad kapacity kanálu
params.RDMT0	odhad kapacity kanálu: [Mbps], teoretický odhad max. přenosové rychlosti kanálu
params.SNRgeo	odhad kapacity kanálu: [dB], poměrná hodnota daná geometrický průměrem odezvy kanálu vůči úrovni šumu

Literatura

- [1] G. Ysebaert. Equalization and echo Cancellation in DMT-based Systems. SISTA-ESAT K.U. Leuven, Belgium, April 2004.
- [2] J. A. C. Bingham. *ADSL, VDSL and Multicarrier Modulation*. A Wiley-Interscience Publication, John Wiley & Sons, Inc., New York, USA, 2000.
- [3] J. M. Cioffi, N. M. W. Al-Dhahir. Efficiently Computed Reduced-Parameter Input-Aided MMSE Equalizers for ML Detection: A Unified Approach. *IEEE Trans. on Information Theory*, 42(3):903–915, May 1996.
- [4] K. Van Acker. Equalization and Echo Cancellation for DMT Modems. SISTA-ESAT K.U. Leuven, Belgium, January 2001.
- [5] katedra telekomunikací FEL ČVUT Praha. Simulace přípojek xDSL.
<http://matlab.feld.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2005071801>.

Acknowledgements

This report was supported by project number 1ET300750402.