



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

MULTIMEDIÁLNÍ ZPRACOVÁNÍ SIGNÁLŮ

MULTIMEDIA SIGNAL PROCESSING

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. MIROSLAV STANĚK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. MILAN SIGMUND, CSc.

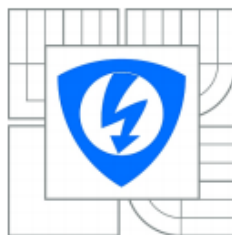
BRNO, 2012

Výzkum realizovaný v rámci této diplomové práce byl finančně podpořen projektem
CZ.1.07/2.3.00/20.0007 **Wireless Communication Teams**
operačního programu **Vzdělávání pro konkurenceschopnost**.



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Finanční podpora byla poskytnuta Evropským sociálním fondem
a státním rozpočtem České republiky.



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav radioelektroniky

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Elektronika a sdělovací technika

Student: Bc. Miroslav Staněk
Ročník: 2

ID: 106790
Akademický rok: 2011/2012

NÁZEV TÉMATU:

Multimediální zpracování signálů

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se s anglickou terminologií z oblasti popisu a zpracování signálů. Zpracujte v textové podobě česko-anglický a anglicko-český slovník častých odborných výrazů z uvedené oblasti. Vytvořte v softwarové formě anglické multimediální podklady zaměřené na problematiku jednorozměrných spojitých signálů. Dále vytvořte softwarový systém pro parametrické zpracování jednorozměrných diskrétních signálů. Vytvořené produkty doplňte vhodnými testovacími signály.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] ŠEBESTA, V., SMÉKAL, Z. Signály a soustavy. Skriptum. Brno: FEKT VUT v Brně, 2004.
[2] JAN, J. Číslíková filtrace, analýza a restaurace signálů. Brno: VUT v Brně, 1997.

Termín zadání: 6.2.2012

Termín odevzdání: 18.5.2012

Vedoucí práce: prof. Ing. Milan Sigmund, CSc.
Konzultanti diplomové práce:

prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida
Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové 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 části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá vytvořením vhodných multimediálních podkladů z oblasti signálů a soustav se spojitým časem. Pochopení této problematiky je velmi důležité, neboť povinný předmět Signály a soustavy, resp. BSIS, je vyučován na bakalářském stupni oboru EST. Porozumění vyučované látce je nezbytnou prerekvizitou v dalších předmětech k úspěšnému zvládnutí navazující látky. Další část diplomové práce je zaměřena na jednorozměrné diskrétní signály. Konkrétně si klade za cíl realizaci softwarového systému. Navržený systém disponuje jak základními operacemi (energie signálu, počet průchodů nulou atd.) se zvukovými soubory, tak i funkcemi složitějšími, mezi které se řadí např. vyhledávání samohlásek v plynulé řeči. Systém je rozdělen na dvě části. První program analyzuje právě zvukové soubory, vytváří nový zvukový soubor s hledanou samohláskou a soubory s potřebnými parametry pro další zpracování. Druhý program analyzuje získaná data, která následně statisticky vyhodnocuje. Výsledný systém může být užitečný pro identifikaci mluvčího, jeho emočního stavu atd.

Klíčová slova

PHP, HTML, multimediální podpora, Signály a soustavy, BSIS, LPC, LSP, samohlásky

Abstract

The aim of this thesis is creation the appropriate multimedia support for signals and system with continuous time. The understanding of this issue is very important, because the obligatory subject Signals and systems, exactly BSIS, is taught at the EST bachelor degree. The understanding is also necessary prerequisite to successful understanding next topics in other related subjects. The next part of this thesis is focused on one dimension discrete signals. Concretely, the aim of this part is a realization of software system. Designed system has some basic operations (the signal energy, the number of signal zero crossing etc.) with sound files and also some advance functions e.g. vowel seeking and separating in fluent speech. The system is divided into two main parts. The first one analyzes sound files, creates the new sound file with wanted vowel and matrices with important parameters for other processing. The second program computes with given data, which statistically evaluates in other steps. The final system can be useful for speaker recognition, his emotional status etc.

Keywords

PHP, HTML, multimedia support, Signals and systems, BSIS, LPC, LSP, vowels

STANĚK, M. *Multimediální zpracování signálů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav radioelektroniky, 2012. 51 s., 17 s. příloh. Diplomová práce. Vedoucí: prof. Ing. Milan Sigmund, CSc.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma Multimediální zpracování signálů jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové 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 diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové 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., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorských a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákona č. 40/2009 Sb.

V Brně dne 18.května 2012

.....

(Miroslav Staněk)

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu diplomové práce prof. Ing. Milanu Sigmundovi, CSc. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc, vlídný přístup, cenné rady a nevídanou ochotu při zpracování mé diplomové práce. Dále děkuji projektu WICOMT za poskytnutou finanční podporu při řešení této diplomové práce, a samozřejmě děkuji všem důležitým lidem v mém životě, kteří mi pomáhají určit správný směr mé cesty a podporují mě v každém kroku.

V Brně dne 18.května 2012

.....

(Miroslav Staněk)

Obsah

Seznam obrázků.....	viii
Seznam tabulek.....	x
1. Úvod.....	1
2. Jazykové požadavky na tvorbu podkladů.....	3
2.1 Významové odlišnosti v překladu	3
2.2 Odlišnosti mezi britskou a americkou angličtinou	4
3. Multimediální podklady.....	4
3.1 HTML	4
3.2 PHP.....	5
3.2.1 Využití vícevrstvé architektury.....	6
3.2.2 Základy práce s PHP.....	6
3.3 Další použité technologie.....	7
3.3.1 CSS.....	7
3.3.2 EasyPHP	7
3.3.3 MATLAB.....	7
3.3.4 JpGraph	8
3.3.5 FunctionGenerator	9
3.3.6 Funkce eval().....	10
3.4 Tvorba webových stránek	10
4. Realizace podkladů	11
4.1 Obsahová část práce	12
4.1.1 Testové určení periodicity signálu.....	12
4.1.2 Určení linearity systému	14
4.1.3 Dirichletovy podmínky.....	15
4.1.4 Zvukové ukázky.....	16
4.1.5 Konvoluce.....	17
4.1.6 Simulace průchodu signálu systémem	19
4.1.7 Řešený příklad	22
5. Softwarový systém.....	24
5.1 Řečový signál.....	24
5.2 Vytěžování informací z řečového signálu	25
5.3 Lineární predikce (LPC)	25
5.5 Čárové spektrální páry (LSP).....	27
5.6 MFCC	28

6. Realizace systému	29
6.1 Program analyzující zvukový soubor	29
6.1.1 <i>Princip programu</i>	30
6.1.2 <i>Vyhledávání samohlásek</i>	34
6.1.3 <i>Prezentace dalších výsledků</i>	36
6.2 Program pro statistické zpracování dat	39
6.2.1 <i>Princip programu</i>	39
6.2.2 <i>Obsluha a popis</i>	40
6.3 Využití softwarového systému	42
Závěr	46
Zdroje a literatura.....	48
Seznam symbolů, veličin a zkratk	50
Seznam příloh	52

Seznam obrázků

Obr. 1:	Grafické vysvětlení významové nesrovnalosti mezi CS a EN názvoslovím.....	3
Obr. 2:	Průběh PHP komunikace (Cibulka, 2010).	5
Obr. 3:	Možnosti využití knihovny JpGraph.	8
Obr. 4:	Průběhy funkcí vytvořené nástrojem FunctionGenerator.....	9
Obr. 5:	Tvorba webových stránek pomocí textového editoru PSPad.	10
Obr. 6:	Tvorba webových stránek pomocí WYSIWYG editoru NVU.	11
Obr. 7:	Výsledný vzhled navržených webových stránek.....	12
Obr. 8:	Ukázka vytvořeného periodického a neperiodického signálu.	12
Obr. 9:	Test z oblasti periodicity signálů.	13
Obr. 10:	Vyhodnocení zvolených odpovědí.....	13
Obr. 11:	Testování linearity soustavy na základě podobností průběhů	14
Obr. 12:	Testování linearity systému na základě podobností spekter.	15
Obr. 13:	Softwarové testování z oblasti Dirichletových podmínek.	16
Obr. 14:	Část obrazovky věnující se zvukovým signálům.	17
Obr. 15:	Vzhled neaktivního (vlevo) a aktivního (vpravo) stavu přehrávače.	17
Obr. 16:	Výběr dvojice signálů k provedení konvoluce.	18
Obr. 17:	Průběh animované konvoluce.....	19
Obr. 18:	Volba parametrů vstupního signálu a systému.	20
Obr. 19:	Vykreslení průběhů signálu soustavy dle zadaných parametrů.	21
Obr. 20:	Zadání příkladu.	22
Obr. 21:	Zobrazení vypočteného kroku vedoucího k řešení příkladu.	22
Obr. 22:	Část stavu obrazovky po stisku tlačítka Show results.	23
Obr. 23:	LPC spektrum samohlásky A.	25
Obr. 24:	Znázornění lidského hlasového aparátu (McLoughlin, 2009, upraveno).	26
Obr. 25:	LPC spektrum (modře) se svými odpovídajícími spektrálními páry (ružově).	28
Obr. 26:	Rozložení filtrů na frekvenční osu v hertzech(Kočí, 2010).	28
Obr. 27:	Rozložení filtrů na frekvenční osu v melech(Kočí, 2010, upraveno).	29
Obr. 28:	Rozdíl mezi segmenty bez a s překrytím.....	31
Obr. 29:	Podobnost LPC a FFT spektra.	32
Obr. 30:	Nalezení polohy významných parametrů LPC spektra pomocí derivací.	33
Obr. 31:	Vytvořené soubory s informacemi o hledané samohlásce.	35
Obr. 32:	Nalezené úseky samohlásky /a/.....	35
Obr. 33:	Ukázky průběhů různých oken a váhovaných signálů.....	36
Obr. 34:	Autokorelace různě váhovaného úseku zvukového signálu.....	37
Obr. 35:	FFT a LPC spektra různě váhovaného úseku zvukového signálu.	37
Obr. 36:	Energie signálu a počet průchodů nulou pro uživatelem zadaný úsek.	38
Obr. 37:	Průběh původního a normovaného signálu na zvoleném úseku.	38
Obr. 38:	Vypočtené LPC spektrum a LSP pro váhovaný signál Hammingovým oknem.	38
Obr. 39:	Významné body pro určení příslušných relativních frekvenčních poloh.	39

Obr. 40:	Významné body pro určení příslušných relativních poloh úrovní.	39
Obr. 41:	Zadávání názvu souboru s parametry samohlásky /a/.	40
Obr. 42:	Histogramy samohlásky /a/.	40
Obr. 43:	Zadání kýžených formantů.	41
Obr. 44:	Zobrazení statistických parametrů formantů F1 a F2 všech samohlásek.	41
Obr. 45:	Prostor mezi F1, F2 a F2, F3 samohlásky /a/ pro normální stav mluvího.	42
Obr. 46:	Prostor mezi F1, F2 a F2, F3 samohlásky /a/ pro expresivní stav mluvího.	43
Obr. 47:	Prostor mezi F1, F2 a F2, F3 samohlásky /a/ pro pasivní stav mluvího.	43
Obr. 48:	Prostor mezi F1, F2 a F2, F3 samohlásky /a/ pro opojeného mluvího.	44
Obr. 49:	Prostor mezi F1, F2 a F2, F3 samohlásky /a/ pro radostný stav mluvího.	44

Seznam tabulek

Tab. 1:	Stručný přehled vývoje jazyka HTML.	4
Tab. 2:	Formanty českých samohlásek (Psutka, 2006).	24
Tab. 3:	Možné stavy detekce.	36

1. Úvod

Práce se zabývá tematikou z oblasti signálů a soustav. Konkrétně si klade za cíl vytvoření vhodných anglických multimediálních podkladů k výuce stejnojmenného předmětu a vytvoření softwarového systému pro parametrické zpracování jednorozměrných diskrétních signálů. Přesné řešení této práce nebylo nijak striktně zadáno, a tak bylo nutné zvolit vhodné vypracování dané problematiky z několika možných.

Správným řešením první části diplomové práce byla zvolena varianta jednoduchého e-learningového kurzu, který si uchazeč bude moci spustit kdekoliv i na nejjednodušším zařízení s internetovým připojením. Velkou výhodou online aplikací je bezesporu přenositelnost. Návštěvník daného kurzu si tedy své znalosti může procvičovat ve vlaku, při cestě tramvají na zkoušku z předmětu BSIS, v knihovně, a na mnoha dalších místech. Z důvodu jednoduchosti a následné zpětné kompatibility i se staršími, nebo ne moc technicky vyspělými mobilními zařízeními, byla zvolena realizace multimediální podpory pomocí jazyků HTML a PHP, ve které se vyskytují tematické situace zhotovené programovacím prostředím MATLAB.

Jazyk PHP je mocným a oblíbeným nástrojem při tvorbě webových aplikací. Avšak jeho bezplatné matematické schopnosti jsou značně limitující. Z tohoto důvodu byl zvolen MATLAB jako pomocný nástroj při realizaci obsahu multimediálních podkladů. Jazyk PHP také umožňuje přímou spolupráci s MATLABem na daném serveru. Tento způsob implementace je vhodný pro výkonné servery s dostatečným datovým prostorem. Jelikož se v této práci nepředpokládá umístění online kurzu na server disponující dostatečnými datovými a přenosovými parametry, tak byla pro grafické a matematické účely této práce využita základní verze knihovny, s volně šiřitelnou licencí, JpGraph japonské firmy Asial. Její pokročilejší verze obsahuje mnohá rozšíření, ale bohužel pro nás se jedná již o komerční produkt.

Aktuální doba přeje rozmachu tzv. open source projektům. Tyto projekty se vyznačují tím, že jejich použití a úprava nenesou žádná omezení. Ohromnou výhodou těchto projektů je časová úspora. Po nakousnutí tohoto tématu by bylo dobré zmínit, že i samotný design navržených stránek vychází z open source šablony, která dostala redukcemi, rozšířeními a úpravou kýženou podobu.

Výsledná první část diplomové práce je doplněna, jak již bylo zmíněno, výstupy z programovacího prostředí MATLAB. Jedná se především o zvukové ukázky a grafické průběhy jednotlivých situací. Animované ukázky konvolucí byly navíc převedeny do formátu *.swf (tzv. flash formát), ale z důvodu aktuální nestálosti jednotlivých webových *.swf přehrávačů byly i převedeny do klasického obrazového formátu *.gif.

Hlavní myšlenkou první části práce je vysvětlení probírané látky pomocí obrazových, či jinak didaktických, materiálů doprovázených nezbytnými texty, které jsou mnohdy lepšími studijními prvky než obsáhlé textové části doplněné teorií a rovnicemi.

Vybraným řešením druhé části práce bylo zvoleno naprogramování softwarového systému pro parametrické zpracování jednorozměrných signálů pomocí, již zmíněného, programovacího prostředí MATLAB. Požadavky na výslednou podobu programu vyplývaly s postupem času, a tak výsledný program disponuje základními i pokročilejšími operacemi se zvukovými soubory.

Mezi tzv. složitější funkcí je možné zařadit automatické vyhledávání českých samohlásek pomocí LPC (linear prediction coding). O lineární predikci je možné říci, že se řadí mezi parametrická zdrojová kódování a je často využívanou metodu (zejména v systému GSM) pro zpětnou rekonstrukci řečového signálu.

Obecně je použití principu lineární predikce založeno na navzorkování daného úseku (nejčastěji po 20ms úsecích) signálu, kde se pro každý vzorek vypočte příslušný LPC koeficient pomocí lineární kombinace vzorků předchozích. Následná rekonstrukce signálu spočívá v přenosu spektrální obálky pomocí LPC koeficientů reprezentujících právě přenosovou funkci přizpůsobeného filtru pro rekonstrukci daného signálu.

Při řádu 10 lineární predikce obsahuje spektrum řečového signálu maximálně 4 ostrá maxima (formanty), jejichž vlastnosti jsou závislé na konkrétních mluvčích, jejich emočních stavech a aktuálních rozpoloženích. Druhá část práce se tedy zabývá analýzou LPC spekter českých samohlásek, ve kterých jsou hledány významné body a jejich hodnoty. Těmito body jsou maxima (formanty), minima (antiformanty) a inflexní body, které slouží k určení šířek formantů a antiformantů.

Takto získaná data prvním programem jsou dále zpracována programem druhým, který určuje procentuální rozpoložení významných bodů v prostorech mezi po sobě jdoucími formanty (z frekvenčního hlediska) či formantem a jeho příslušným antiformantem (úrovňové hledisko). Nově získané informace jsou statisticky prezentovány pomocí histogramů. Díky tomuto způsobu interpretace obdržených výsledků dochází k jejich jednoduššímu pochopení, a tak je porozumění aktuální analýzy řeči pro jednotlivé mluvčí a jejich momentální rozpoložení jednodušší. Úspěšnost metody a rozdílnost výsledků stanoví až následné podrobné zkoumání histogramů pro jednotlivé mluvčí a jejich módy z vhodné řečové databáze.

Shrnutím úvodu můžeme tvrdit, že oba dílčí programy softwarového systému mohou být dále rozšiřovány, či využívány pro další aplikace jako jsou např. identifikace samotného mluvčího, jeho stavu atd. Mělo by se tedy jednat o užitečné nástroje, které najdou uplatnění v různých aplikacích a mohou sloužit jako základní kameny dalším inovacím. Nesmíme ovšem zapomenout ani na vytvořený online kurz, který jistě najde své využití nejen při výuce předmětu BSIS.

2. Jazykové požadavky na tvorbu podkladů

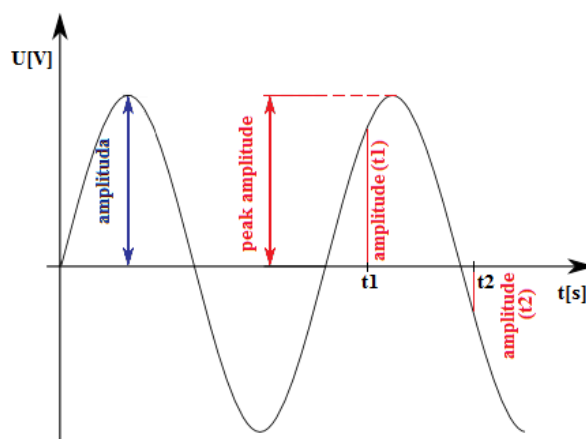
Následující text zabývá základními požadavky na výslednou podobu multimediální podpory výuky BSIS. Prvním z požadavků je zpracování projektu v anglickém jazyce. Díky tomuto postulátu by měla aplikace sloužit především zahraničním studentům. Své uplatnění najde i u studentů tuzemských, neboť je spousta kvalitní oborové literatury psané anglickým jazykem, a tak dojde k zažití potřebných pojmů. Budoucím rozšířením aplikace o české jazykové rozhraní mohou podklady sloužit i tuzemským studentům bez jazykové bariéry.

2.1 Významové odlišnosti v překladu

Po důkladném prozkoumání používané terminologie a vytvořených slovníků (příloha A) lze zjistit, že při překladu nejčastějších výrazů z oblasti signálů nedochází téměř k žádným významovým nedorozuměním. Jediným významným rozdílem mezi jazykem českým a anglickým je pouze použití termínu amplituda. V angličtině není jeden ustálený výraz pro tento termín, protože daný výraz vždy doprovází nějakou konkrétní situaci. Nejčastěji používanými spojeními jsou max. amplitude, maximum amplitude, peak, magnitude či peak amplitude. Dle mého názoru je nejlepší volbou k popsání tohoto parametru signálu právě poslední ze zmíněných termínů.

Výraz peak amplitude by měl být pro studenty snadno zapamatovatelný, neboť na různých přístrojích je možné měřit velikosti nejrůznějších veličin volbou peak-to-peak, český ekvivalent je špička – špička, či hledat v průběhu dané veličiny její maxima pomocí voleb next či previous peak.

V českém jazyce je výraz amplituda používán ve smyslu maximální hodnoty zkoumané veličiny. V jazyce anglickém, pokud mluvíme o amplitudě, hovoříme o aktuální hodnotě zkoumané veličiny. Praktické vysvětlení tohoto faktu je zobrazeno na obr. 1, pomocí časového průběhu sinusového napětí, kde jsou anglické významy a výrazy zobrazeny červeně a české modře.



Obr. 1: Grafické vysvětlení významové nesrovnalosti mezi českým a anglickým názvoslovím.

2.2 Odlišnosti mezi britskou a americkou angličtinou

Je známo, že existuje několik rozdílů mezi americkou a britskou angličtinou. Nejčastěji jsou použity různé názvy pro totožné věci. Toto pravidlo se ne však zcela týká oblasti signálů a soustav. Jediné nalezené odlišnosti jsou pouze gramatického a fonetického charakteru.

Konkrétní zjištěné nesrovnalosti z oboru signálů a soustav jsou color (US) x colour (UK), analog (US) x analogue (UK) a dvojice slov dialog (US) x dialogue (UK).

Je tedy zřejmé, že všechny ostatní používané termíny mají mezinárodní význam, a jejich záměna s jiným termínem, ať již významová či gramatická, je téměř nemožná.

3. Multimediální podklady

3.1 HTML

HyperText Markup Language je přesné znění zkratky HTML. Jazyk HTML byl vyvíjen na konci osmdesátých let minulého století a oficiálně byl představen v letech 1990 až 1991 společně s komunikačním protokolem HTTP, který se stará právě o přenos tzv. hypertextů, a prvním webovým prohlížečem. Zajímavostí je, že na jeho vývoji spolupracovalo švýcarské výzkumné centrum fyziky CERN [1].

Od počátku poslední dekády minulého století probíhá neustálý vývoj jazyka HTML díky masivnímu zájmu o webové aplikace a prezentace. V průběhu uplynulých dvaceti let došlo k několika standardizacím jazyka HTML, které jsou uvedeny v následujícím stručném přehledu.

Tab. 1: Stručný přehled vývoje jazyka HTML.

Verze	Poznámka
0.9	Vydání standardu nepodporujícího grafický režim se datuje k roku 1991.
2.0	K původní specifikaci je v roce 1994 přidána podpora grafiky a interaktivních formulářů.
3.2	Představení této verze došlo v roce 1997. K jazyku byly přidány tabulky, zarovnání textu a ovlivňování vzhledu pomocí stylových elementů.
4.0	Standardizace nových prvků pro tvorbu tabulek, formulářů a implementaci rámců.
4.01	Vydána v roce 1999. Mělo se jednat o poslední verzi opravující chyby předchozího standardu. Po jejím uvedení měl být umožněn plynulý přesun na jazyk XHTML.
5	Se změnou pracovní skupiny zabývající se vývojem tohoto jazyka došlo i v roce 2008 k jeho nové standardizaci.

Od roku 2008 je vývoj jazyka HTML pod záštitou sdružení WHATWG [2].

Jazyk HTML je charakterizován množinou značek doplněných o jejich atributy. Celý hypertextový projekt je rozdělen na dvě základní části – hlavičku (obsahující metadata) a tělo stránky, které obsahuje vlastní text projektu. Tyto jednotlivé části jsou určeny příslušnými párovými značkami <head> a <body>. Důležitou poznámkou je, že se o interpretaci zdrojového kódu internetové stránky stará samotný webový prohlížeč.

Předchozím odstavcem byla nastíněna syntaxe jazyka HTML. Názvy jednotlivých značek a příkazů jsou uzavírány do úhlových (ostrých) závorek, do kterých se i zapisují, pokud to daný příkaz umožňuje, rozšiřující atributy. Jsou rozlišovány párové a nepárové příkazy.

Párovými příkazy jsou většinou direktivy formátující obsah. Konec párového příkazu je definován ukončujícím značkou. Pod tímto odstavcem je uveden příklad k zápisu odkazu pomocí párových příkazů jazykem HTML. Konkrétně je k textu „UREL“ přidán odkaz na domovské stránky Ústavu Radioelektroniky.

```
<a href= "http://www.urel.feec.vutbr.cz"> UREL </a>
```

Vkládání odstavců, obrázků, odřádkování apod. je řízeno pomocí nepárových příkazů. Tento příkaz začíná levou ostrou závorkou a je ukončen pravou ostrou závorkou- nikoliv ukončovacím příkazem. Jako příklad je uvedeno vložení obrázku UREL.jpg do těla stránky.

```
<body><img src= "UREL.jpg"></body>
```

3.2 PHP

Rozšířením multimediální podpory o různé interaktivní ukázky a jednoduché vyhodnocovací testy je zapotřebí doplnit webové stránky o jazyk PHP zajišťující aktivní odezvu na dané požadavky.

Vznik jazyka PHP se datuje k roku 1995. Jazyk PHP je určen k programování dynamických internetových stránek a aplikací v různých formách. Nejčastější podobou výskytu jazyka PHP jsou HTML, XHTML či WML aplikace. PHP také existuje v kompilované formě jazyka sloužící k tvorbě konzolových aplikací.

Při použití jazyka PHP jsou skripty prováděny na straně serveru, který následně zasílá zpět klientovi pouze vyhotovení jeho požadavků. Grafické znázornění komunikace je znázorněno na obr. 2.



Obr. 2: Průběh PHP komunikace [3].

Samotný jazyk PHP je díky jednoduché syntaxi vycházející z populárních programovacích jazyků jako C, Perl nebo Java velmi oblíben, a stává se tak mocným nástrojem pro tvorbu internetových obchodů, emailových klientů a jiných internetových aplikací.

Ohromnou výhodou tohoto jazyka je multiplatformní stálost a funkčnost. Další výhodou je široká rozšiřitelnost napsané aplikace různými doplňky spolupracujícími právě s PHP. Mezi nejznámější použití patří spolupráce PHP s databázovými systémy (MySQL, PostgreSQL aj.). V případě řešení této práce nebude použití databázových systémů zapotřebí. Dále je možné PHP aplikaci rozšířit knihovnami obsahujícími kýžené funkce. Použití těchto knihoven je omezeno pouze jejich dostupností a licenčními podmínkami.

Jak uvádí Cibulka [3], samotný jazyk PHP prochází neustálým vývojem, a je poskytován zcela zdarma s online přístupnou dokumentací [4].

3.2.1 Využití vícevrstvé architektury

Většina aktuálních internetových aplikací používá tzv. třívrstvý model využívající prezenční, aplikační a datovou vrstvu. Výsledná práce bude využívat pouze vrstvu prezenční a aplikační.

Prezenční vrstva je ve většině případů reprezentována zobrazenou internetovou stránkou na straně klienta obsahující uživatelské rozhraní a potřebné funkce.

Na opačné straně, straně serveru, se nachází vrstva aplikační, která zpracovává a převádí obdržené příkazy klientovi v podobě finální verze zobrazených aplikací. Tato vrstva je spojnicí mezi datovou (databázovou) a prezenční vrstvou. V dnešní situaci je téměř pravidlem, že je tato vrstva reprezentována oblíbených serverem Apache, nebo jeho lokální softwarovou implementací, a PHP interpretem.

3.2.2 Základy práce s PHP

Jak již bylo zmíněno, PHP je skriptovací programovací jazyk umožňující programování dynamických webových stránek a dalších aplikací. Použité proměnné není potřeba nijak definovat, na rozdíl od jiných jazyků, protože jazyk PHP určí automaticky jejich typ po přiřazení odpovídající hodnoty. V následující části jsou uvedeny jednoduché příklady pro vytvoření představy základního programování v PHP.

```
$jm1 = 'Jarmila';  
$jm2 = 'Karel';  
$retezec = "Na návštěvu přišla " . $jm1 . " i její manžel " . $jm2;
```

Výše zmíněnou ukázkou PHP kódu je demonstrováno spojování různých forem řetězců ve výsledný řetězec \$retezec. Porovnání shody dvou řetězců se provádí operandem ==. Následujícím příkladem PHP kódu je ukázáno právě porovnání shody od uživatele získaného řetězce \$jmeno se zadaným řetězcem, resp. jeho hodnotou, a vypsání příslušného textu na obrazovku pomocí podmínky if - else.

```
$jmeno = $_GET['jmeno'];
if($jmeno == Karel)
{ echo "Jarmila přišla se svým manželem."; }
else { echo "Jarmila nepřišla se svým manželem."; }
```

Analýzou výše napsaného kódu zjistíme, že pokud do uživatelem napsané proměnné \$jmeno, která se např. může vázat na formulář, bude dosazen řetězec Karel, stane se podmínka if pravdivou a vypíše se na obrazovku příslušná hláška. V případě zadání jiného řetězce bude vypsáno upozornění týkající se neshody řetězců.

Jazyk PHP je velmi podobný ostatním běžným programovacím jazykům, jako jsou Perl, C či Java. Důležité je zmínit, že PHP podporuje všechny základní cykly a příkazy, jako do – while, if – else, switch, for atd. Práce s PHP je tedy velmi snadná, a proto nebude nadále v této práci detailněji popisována. Všechny potřebné informace jsou k nalezení na oficiálních stránkách PHP Group [4].

3.3 Další použité technologie

Následující část se věnuje ostatním použitým prostředkům, které pomohly k vytvoření první dílčí části diplomové práce, a jejich použití bylo nezbytné.

3.3.1 CSS

Cascading Style Sheets je celý název zkratky CSS. Do češtiny se tento termín překládá jako tabulky kaskádových stylů. Jak již název napovídá, jedná se o externí textový soubor, který se připojuje v hlavičce webové stránky a slouží k formátování textu. Kaskádové styly definují velikosti, zarovnání, typ písma, jeho barvu a mnohé další parametry v závislosti na dané situaci. Při použití *.css souboru tedy stačí definovat celkový vzhled a formátování webových stránek pouze jednou, a to právě tímto souborem, který je možné používat v HTML či PHP aplikacích pro rozlišování použitého stylu daným pojmenováním.

Velkou výhodou použití CSS je zrychlení webu, neboť celý styl stránek je načten pouze jednou a nadále je využíván bez jakéhokoli zbrzdění komunikace. Naopak nevýhodou může být nekompletní či nulová podpora kaskádových stylů ze strany různých webových prohlížečů.

3.3.2 EasyPHP

EasyPHP je balík obsahující nástroje Apache, PHP, MySQL a PHPMyAdmin pro snadnou instalaci [5]. Díky softwarové emulaci serveru Apache umožňuje EasyPHP spuštění PHP skriptů a jejich programování na lokálním počítači bez nutnosti dispozice fyzického vzdáleného serveru, čímž značně ulehčuje vývoj PHP aplikací. Detailnější informace o EasyPHP jsou k nalezení na příslušných internetových stránkách [5].

3.3.3 MATLAB

MATLAB je profesionální programovací nástroj sloužící jak k inženýrským výpočtům, analýze dat, tvorbě algoritmů, tak i k tvorbě aplikací. Výhodou tohoto prostředí je možnost spolupráce s PHP po jeho umístění na vhodný server. Tento způsob implementace prostředí umožňující zpracování matematicky náročných dat a požadavků

je vhodný pouze na profesionální servery disponující patřičnou rychlostí, odezvou a datovou kapacitou.

MATLAB byl především využíván při řešení druhé části diplomové práce, kde se jednalo o primární programovací prostředí. Naopak při tvorbě webových stránek byl MATLAB využíván pouze jako doprovodný nástroj, sloužící k vygenerování vhodných obrazových situací z oblasti signálů a soustav se spojitým časem. Podrobný popis tohoto rozsáhlého programovacího prostředí s nepřehledným množstvím funkcí je k nalezení na internetových stránkách výrobce [6].

3.3.4 JpGraph

Vynikajícím nástrojem pro tvorbu jednoduchých grafů a jiných matematicky nenáročných ilustrací pro webové aplikace je knihovna JpGraph, pomocí níž je účinek PHP rozšířen o několik užitečných funkcí. Tato knihovna si umí poradit s klasickými čárovými, polárními i sloupcovými grafy. Výrobce také uvádí na svých stránkách [7], že daná bezplatná knihovna je schopna zobrazovat i impulsní grafy či jednoduché geodetické mapy. Všechna uvedená tvrzení jsou pravdivá, ale generování grafů je limitováno jednoduchými funkcemi sloužícími pro výpočet funkčních hodnot. Zmíněná knihovna je tedy velmi užitečná ke grafické interpretaci získaných dat, jež jsou zapsány jako pole funkčních hodnot.



Obr. 3: Možnosti využití knihovny JpGraph.

JpGraph je distribuován také v komerční verzi, která oproti běžné, bezplatné, nabízí generování tzv. captcha sloužící jako ochrana proti spamu pomocí vygenerovaného textu, který musí být následně opsán uživatelem do správného pole formuláře. Komerční verze disponuje mnoha dalšími užitečnými nástroji, a tak je vhodná například k vytváření QR a čárových kódů, aj. Obrázek 3 uvádí všechny možnosti využití knihovny JpGraph.

3.3.5 FunctionGenerator

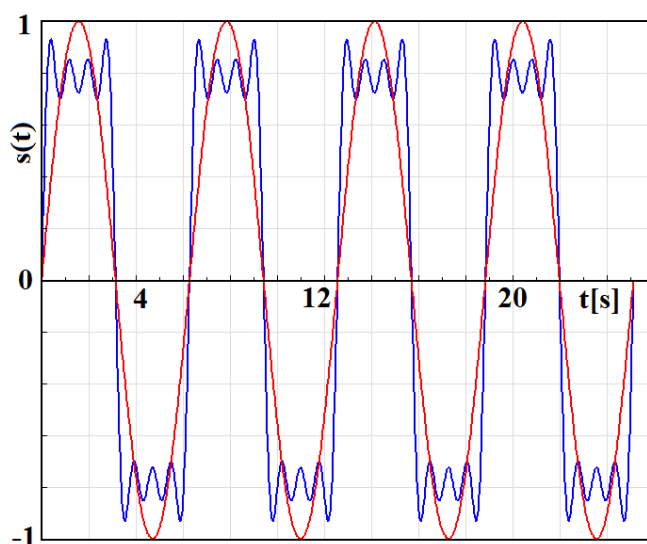
FunctionGenerator je jednou z mála matematických součástí, kterou nabízí knihovna JpGraph. Tato funkce slouží pro generování grafických průběhů zadaných funkčních předpisů na zvoleném intervalu.

Syntaxe této funkce je velmi podobná základním operacím v MATLABu. Pro daný předpis je určen interval řešení počáteční a konečnou hodnotou, přesnost výpočtu je udávána počtem kroků na daném intervalu. Následujícím obrázkem, obr. 4, jsou ukázány dvě vygenerované funkce pomocí tohoto nástroje. Předpis první (červené) funkce je zadán rovnicí (1) a předpisem modře znázorněné funkce je rovnice (2).

$$f(x) = \sin(x) \quad (1)$$

$$g(x) = \sin(x) + \frac{\sin(3x)}{3} + \frac{\sin(5x)}{5} + \frac{\sin(7x)}{7} \quad (2)$$

Z obou předpisů funkcí je patrné, že se jedná o základní harmonické funkce (signály), se kterými lze běžně přijít do styku v kurzu BSIS.



Obr. 4: Průběhy funkcí vytvořené nástrojem FunctionGenerator.

Nevýhodou výpočtu funkčních hodnot zadaných předpisů pomocí tohoto nástroje je pomalost výpočtů určena odesláním požadavku na server, který vypočte funkční hodnoty a zpracuje je do dobře interpretovatelné podoby. Server následně vysílá celou webovou stránku klientovi, který ji pouze zobrazí na displeji svého zařízení. Celková

latence přenosové soustavy také závisí na zvoleném počtu výpočetních kroků. Při rozumné definici početního kroku (experimentálně byla ověřena velikost minimální kroku $\Delta x = \frac{1}{40}$) je rychlost odezvy požadavku bez sebemenšího problému přijatelná.

Nástroj FunctionGenerator se však neúspěšně potýká s problémy spojenými s funkčními hodnotami limitně se blížícími k $\pm\infty$, např. vykreslení $\ln(x)$ se stává pro tento nástroj téměř nesplnitelným úkolem. Tento zásadní problém se při řešení první dílčí části nepodařilo opravit.

3.3.6 Funkce eval()

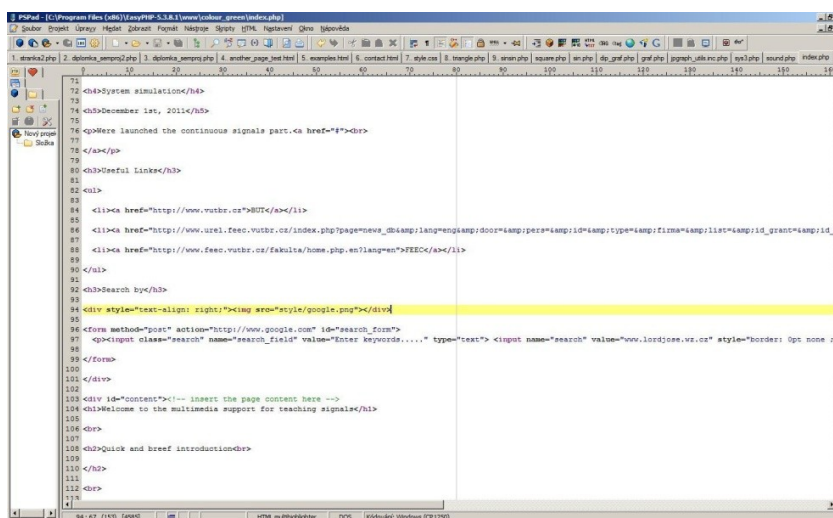
Po detailnějším prozkoumání nástroje FunctionGenerator lze objevit funkci eval(), která zajišťuje výpočet funkčních hodnot na řešeném intervalu. Pomocí několika úprav složitějšího zápisu funkce lze částečně usměrnit hodnoty do ní vstupující v roli neznámé. O využití této úpravy bude ještě v této práci podrobněji zmíněno.

3.4 Tvorba webových stránek

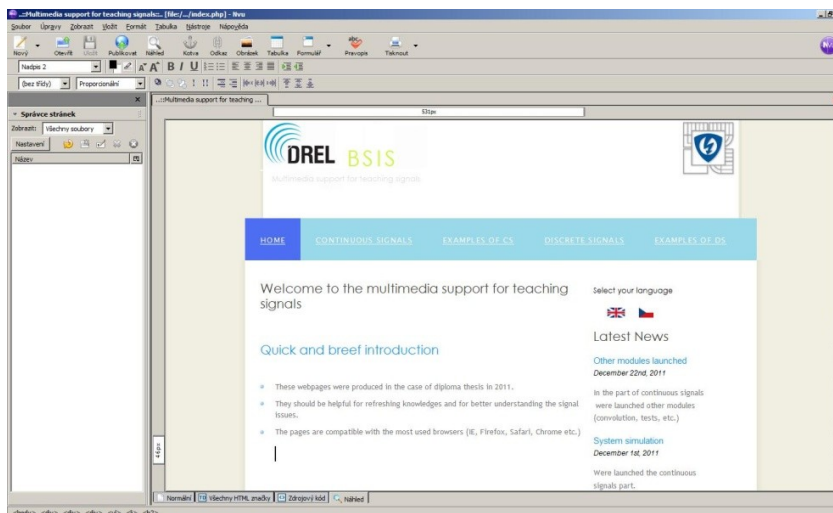
Internetové prezentace mohou být vytvořeny dvěma způsoby, a to klasickými textovými či grafickými editory. Při použití textových editorů je přímo zapisován zdrojový kód do editoru (WordPad, Poznámkový blok atd.), a je tedy nutná znalost jazyka HTML a jeho syntax.

Naopak grafické editory označované zkratkou WYSIWYG jsou uživatelsky přívětivější. Při použití těchto druhů editorů nemusí uživatel oplývat přímou znalostí hypertextového jazyka. WYSIWYG je zkrácení anglické věty „What you see is what you get“. Český ekvivalent tohoto označení je: „Co vidíte, to dostáváte“. Jak již název napovídá, jedná se o opravdu uživatelsky přátelské programy, které jsou bohužel svým „user-friendly“ prostředím pro vývojáře a ostatní osoby HTML jazyka znalé příliš neohrabané.

Na obrázcích 5 a 6 je nastíněn rozdíl mezi textovým a WYSIWYG editorem.



Obr. 5: Tvorba webových stránek pomocí textového editoru PSPad.



Obr. 6: Tvorba webových stránek pomocí WYSIWYG editoru NVU.

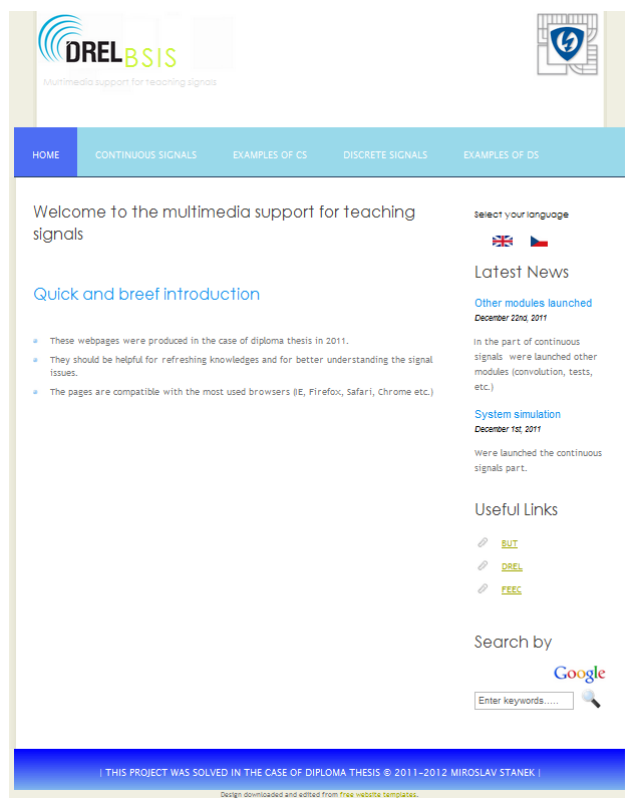
4. Realizace podkladů

První část diplomové práce byla vypracována ve formě internetové multimediální podpory s rozmanitým obsahem. Doposud vyhotovené podklady jsou k nalezení na internetové adrese <http://www.bsis.wz.cz>. Po zadání této adresy do prohlížeče je zobrazena nezbytná první stránka obsahující reklamu bezplatného webového serveru, ze které se lze snadno přemístit na úvodní stranu multimediálních podkladů. Ve vyhotovených podkladech jsou k nalezení určovací testy, simulace průchodu signálem soustavou, řešený příklad, zvukové ukázky atd.

Design stránek byl převzat, kvůli časové úspoře, ze serveru [8], který se zabývá poskytováním open source webových šablon. Po důkladném přezkoumání rozvržení obsahu všech nabízených šablon byla zvolena ta nejvhodnější pro zadání tohoto projektu. Následně došlo k úpravě vzhledu šablony a částečně i jejího rozvržení. Provedené úpravy byly realizovány pomocí univerzálního textového editoru PSPad. Na obr. 7 je zobrazen výsledný vzhled stránek sloužící jako multimediální podpora k výuce BSIS.

Obr. 7 vysvětluje celou koncepci vytvořené internetové prezentace. V horním vodorovném pruhu jsou umístěna nezbytná loga fakulty a ústavu, která dotvářejí celkový vzhled stránek a odkazují na úvodní stránku celého projektu. Níže se nachází horizontální menu, jehož položky mění zbarvení pomocí CSS v případě najetí kurzoru myši.

Dále se na stránce nacházejí dva vertikální sloupce- vlevo širší a vpravo užší. Levý sloupec slouží k veškerému zobrazování daných aktivit, kdežto v pravém sloupci se nacházejí užitečné odkazy, vyhledávání na příslušných stránkách, informace o posledních provedených změnách a odkazy na další témata související s aktuálně zobrazeným tématem.



Obr. 7: Výsledný vzhled navržených webových stránek.

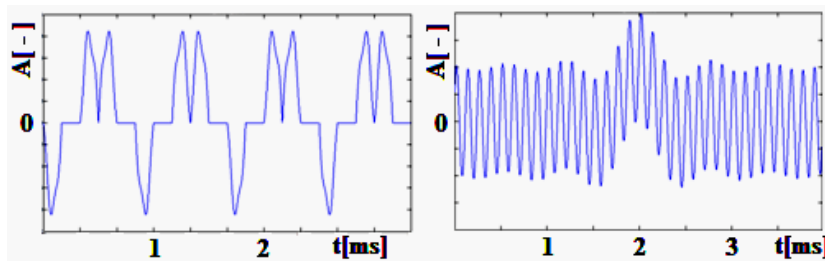
4.1 Obsahová část práce

Vytvořené multimediální podklady k výuce signálů obsahují jednoduché testy, jež se vážou k různým tématům z oblasti signálů a soustav. Tato část uvádí jednotlivá témata vyskytující se projektu. U každého tématu je i uvedeno praktické zpracování ve webové aplikaci.

4.1.1 Testové určení periodicity signálu

Jedním z jednoduchých vyhodnocovacích testů se určuje, zda je daný signál periodický či nikoliv. Soubor obsahuje 17 situací signálů vytvořených programovacím prostředím MATLAB, které jsou následně upraveny různými grafickými editory.

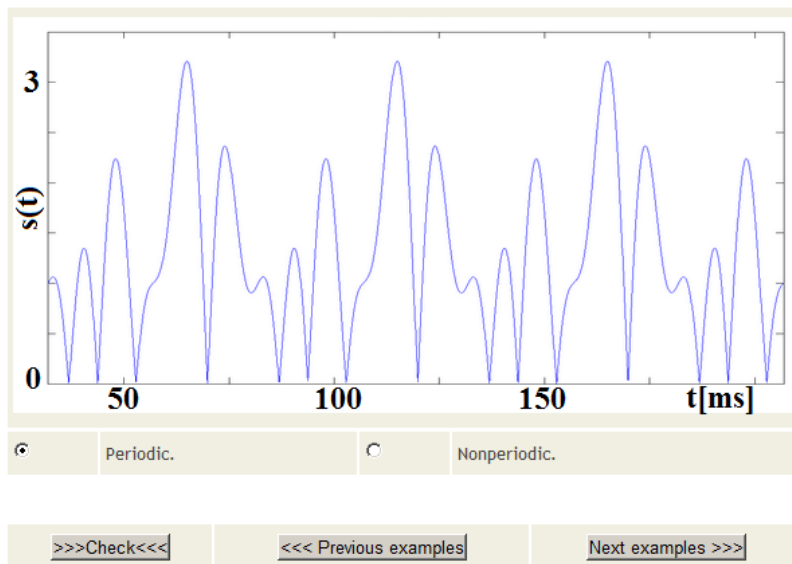
Na obrázku 8 jsou uvedeny příklady vytvořeného periodického a neperiodického signálu.



Obr. 8: Ukázka vytvořeného periodického (vlevo) a neperiodického (vpravo) signálu.

Všechny výsledné průběhy signálů byly vytvořeny a schváleny na základě konzultací s vedoucím diplomové práce. Ostatní vygenerované průběhy signálů jsou k nalezení v příloze B.1.

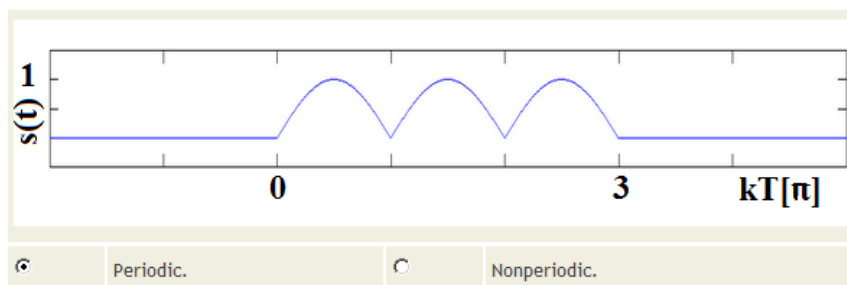
Ve vytvořeném projektu se nachází i část, ve které si může návštěvník stránek otestovat své znalosti z oblasti periodických a neperiodických signálů. Obrázky 9 a 10 je vysvětlena funkčnost daného testu.



Obr. 9: Test z oblasti periodicity signálů.

Na každé stránce zabývající se tímto tématem je zobrazeno 4 až 5 průběhů signálů. Pod každým průběhem se nachází políčko, kterým uživatel volí svou odpověď. Při zodpovězení všech otázek může uživatel provést vyhodnocení svých znalostí na aktuální stránce tlačítkem Check, nebo se může pohybovat, tlačítky Previous examples a Next examples, k předchozí či následující sérii příkladů ze stejné tematiky. Tímto přesunem se neprovádí vyhodnocení zvolených odpovědí.

Your first aswer is incorrect, your second answer is correct, third aswer is incorrect, the fourth answer is correct and your last answer is correct.



Obr. 10: Vyhodnocení zvolených odpovědí.

Testování je napsáno jazykem PHP a vyhodnocení testu se provádí na základě vyhodnocení parametrů, které se vztahují pro jednotlivé odpovědi. Na stejném principu pracují i ostatní testy vyskytující se v tomto projektu, tedy funkčnost testování nebude už v této práci zmíněna.

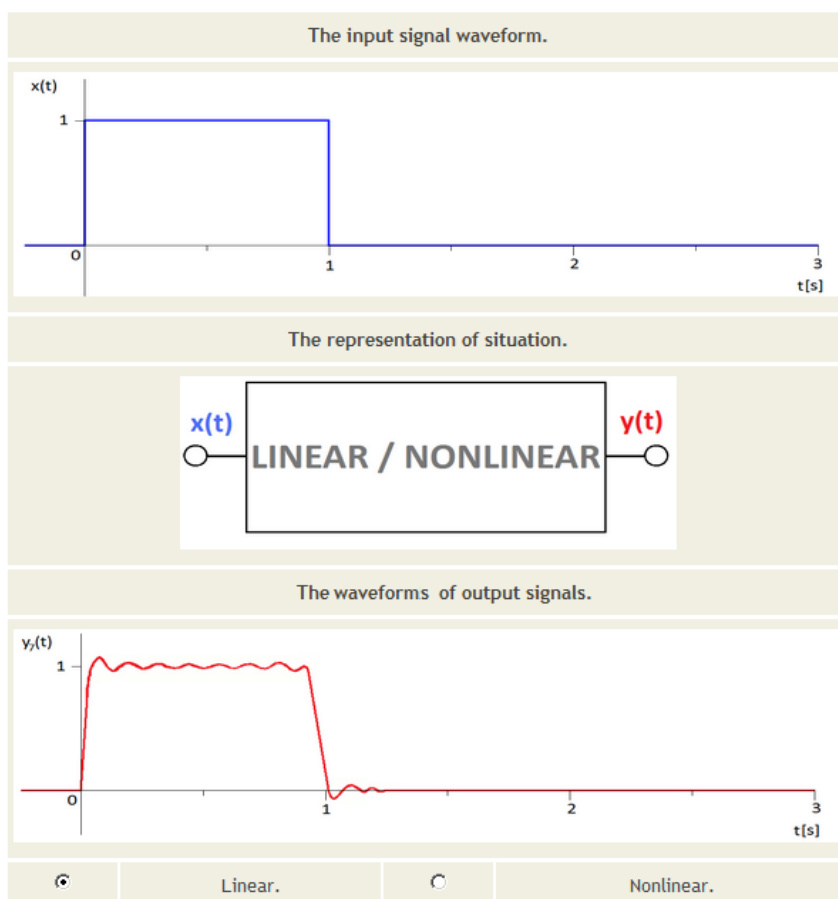
4.1.2 Určení linearity systému

Další částí obsažené ve vytvořené podpoře je určování linearity systému dvěma způsoby.

Prvním způsobem určování linearity systému je na základě porovnání průběhů výstupního signálu se signálem vstupním. Tato část obsahuje 18 vytvořených průběhů výstupních signálů pomocí MATLABu, které byly následně upraveny grafickými editory. Na obrázku 11 je k nalezení ukázka testování znalostí z této problematiky na vytvořených webových stránkách.

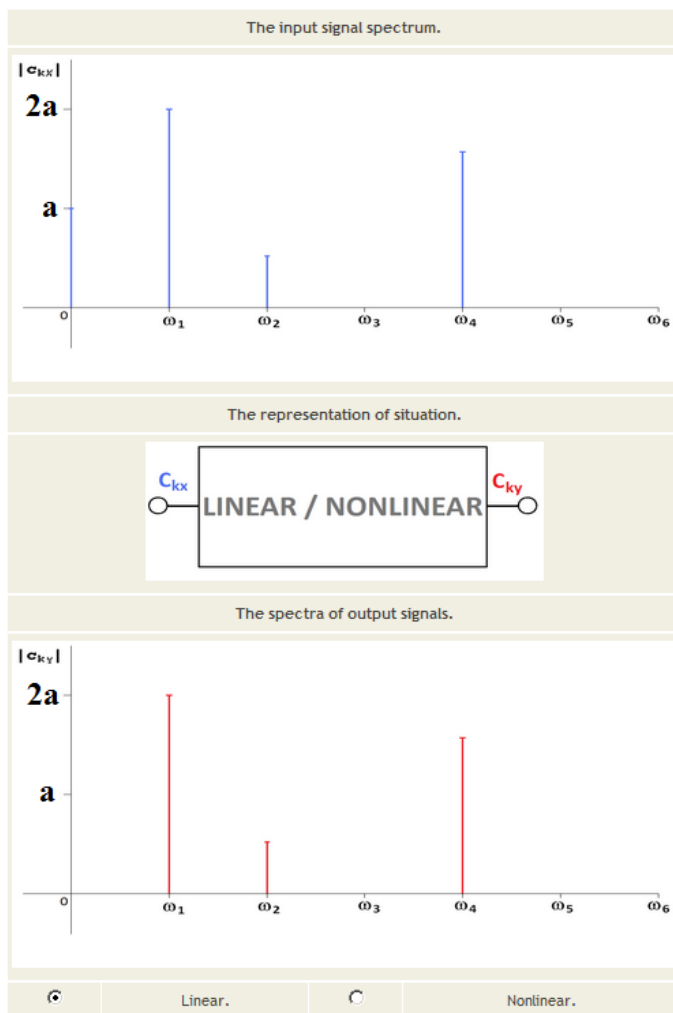
Příloha B.2 obsahuje všechny vytvořené tematické průběhy.

Your first answer is incorrect, your second answer is incorrect, third answer is incorrect, your next answer is correct and your last answers are correct and incorrect.



Obr. 11: Testování linearity soustavy na základě podobností průběhů včetně vyhodnocení testu.

Dalším způsobem určování linearity systému je pomocí porovnání spekter. Tento testový soubor obsahuje 10 vytvořených grafických průběhů spekter výstupního signálu. Všechny příslušné průběhy jsou obsaženy v příloze B.3. Na obrázku 12 je ukázka právě tohoto testování ve zhotovené aplikaci.



Obr. 12: Testování linearity systému na základě podobností spekter.

4.1.3 Dirichletovy podmínky

Důležitou kapitolou týkající se především oblasti Fourierových řad jsou Dirichletovy podmínky. V případě splnění Dirichletových podmínek lze danou funkci rozvinout ve Fourierovu řadu.

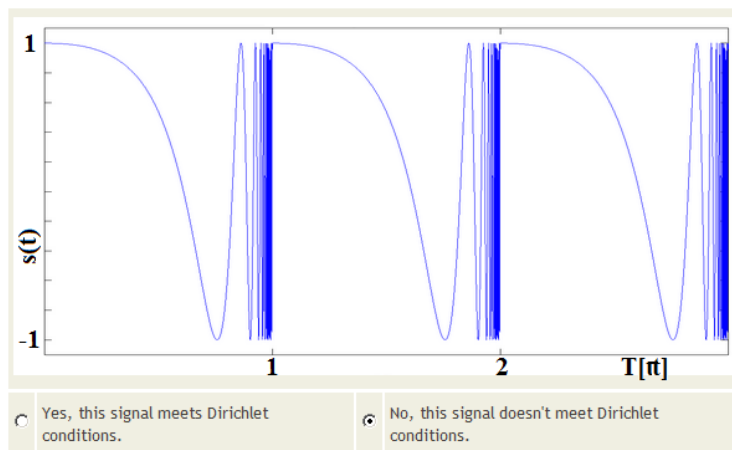
Pro zopakování jsou uvedeny Dirichletovy podmínky týkající se periodických signálů.

- Signál musí být absolutně integrovatelný na celé své periodě.
- Na jedné periodě signálu se může vyskytovat pouze konečný počet extrémů.
- Signál může mít na jedné své periodě konečný počet nespojitostí prvního druhu.

Část určená k testování tohoto tématu obsahuje 4 průběhy funkcí, které jsou k nalezení v příloze B.4. Na obrázku 13. je ukázána část průběhu tohoto testu.

Choose, if these signals meet Dirichlet conditions.

All signals don't meet Dirichlet conditions. Your first answer is correct, your second answer is correct, third answer is incorrect and your last answer is incorrect.



Obr. 13: Softwarové testování z oblasti Dirichletových podmínek.

4.1.4 Zvukové ukázky

Rozšířením podkladů o zvukové ukázky se uživateli dostává praktická ukázka toho, jak proměnná fáze signálu může ovlivnit výsledný vněm daného zvuku.

Jedná se tedy o demonstrativní prezentaci deformace původního zvuku (sinusový signál o frekvenci 250Hz) pomocí lineární změny fáze. Cílem této ukázky je, aby si jednotlivý posluchač individuálně uvědomil, jaké změny je lidské ucho schopno vnímat, a které jsou naopak pro běžného člověka neznatelné.

Všechny zvukové ukázky byly vygenerovány pomocí MATLABu. Nejdůležitější části zdrojového kódu jsou uvedeny na webové prezentaci vždy vedle zvukového souboru společně s experimentálním vyhodnocením aktuálního vjemu aplikovaného na skupinu o velikosti 8 osob, viz obrázek 14.

K této webové aplikaci byl přidán multimediální online přehrávač [9], jehož autorem je populární multimediální server Yahoo. Zvolení této bezplatné aplikace bylo především z důvodu složitosti vytvoření vlastního webového přehrávače audio souborů. Samotná implementace tohoto atraktivního přehrávače do webových stránek je vyřešena velmi elegantně, neboť se jedná o pouhé dva řádky napsané Javascriptem. Vnoření přehrávače je provedeno následovně.

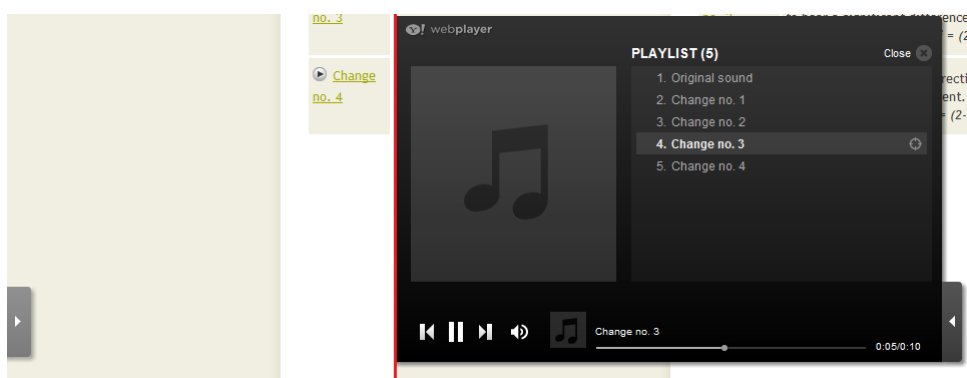
```
<script type="text/javascript" src="http://mediaplayer.yahoo.com/js">
</script>
```

Výsledný vzhled integrovaného přehrávače lze spatřit na obrázku 15, který zobrazuje jak neaktivní, tak i aktivní stav přehrávače.

How does the floating phase change influence the final signal sound.

▶ Original sound	Original sound without any phase change. This signal is defined in MATLAB with this code: $x1 = \cos(\omega_1 t + \phi)$; , where $\omega_1 = 2\pi f_1$; , $\phi = 2\pi \cdot 0.75$; and $f_1 = 250$;
▶ Change no. 1	Phase is changed by the directive -3 depending on time. The change in this signal definition is $\phi = (2-3t)\pi \cdot 0.75$; .
▶ Change no. 2	Phase is changed by the directive -5 depending on time. A small difference should be possible to hear. The phase change is $\phi = (2-5t)\pi \cdot 0.75$; .
▶ Change no. 3	Phase is changed by the directive -10 depending on time. Now, it should be possible to hear a significant difference. The phase definition is $\phi = (2-10t)\pi \cdot 0.75$; .
▶ Change no. 4	Phase is changed by the directive -50 depending on time. The original and actual sound are absolutely different. The phase is defined: $\phi = (2-50t)\pi \cdot 0.75$; .

Obr. 14: Část obrazovky věnující se zvukovým signálům.



Obr. 15: Vzhled neaktivního (vlevo) a aktivního (vpravo) stavu přehrávače.

Přehrávání audio souborů by se obešlo bez implementace tohoto přehrávače, neboť samy internetové prohlížeče jsou schopny přehrávat některé multimediální soubory. Toto řešení však není příliš vhodné kvůli dočasné ztrátě užitečných informací z obrazovky a paralyzování činnosti uživatele po dobu přehrávání souboru.

4.1.5 Konvoluce

Základním využitím konvoluce u diskretních signálů je především zkoumání odezvy systému na libovolné signály $x(n)$, pokud je známá impulsní odezva systému $h(n)$.

Pro spojité signály platí, že konvoluce dvou signálů v časové oblasti odpovídá prostému násobení signálu v oblasti frekvenční a naopak. Tohoto faktu je možné využít např. při zkoumání produktu dvou násobených signálů ve frekvenční oblasti, když známe pouze časové průběhy obou signálů. V tomto případě se provede jejich konvoluce.

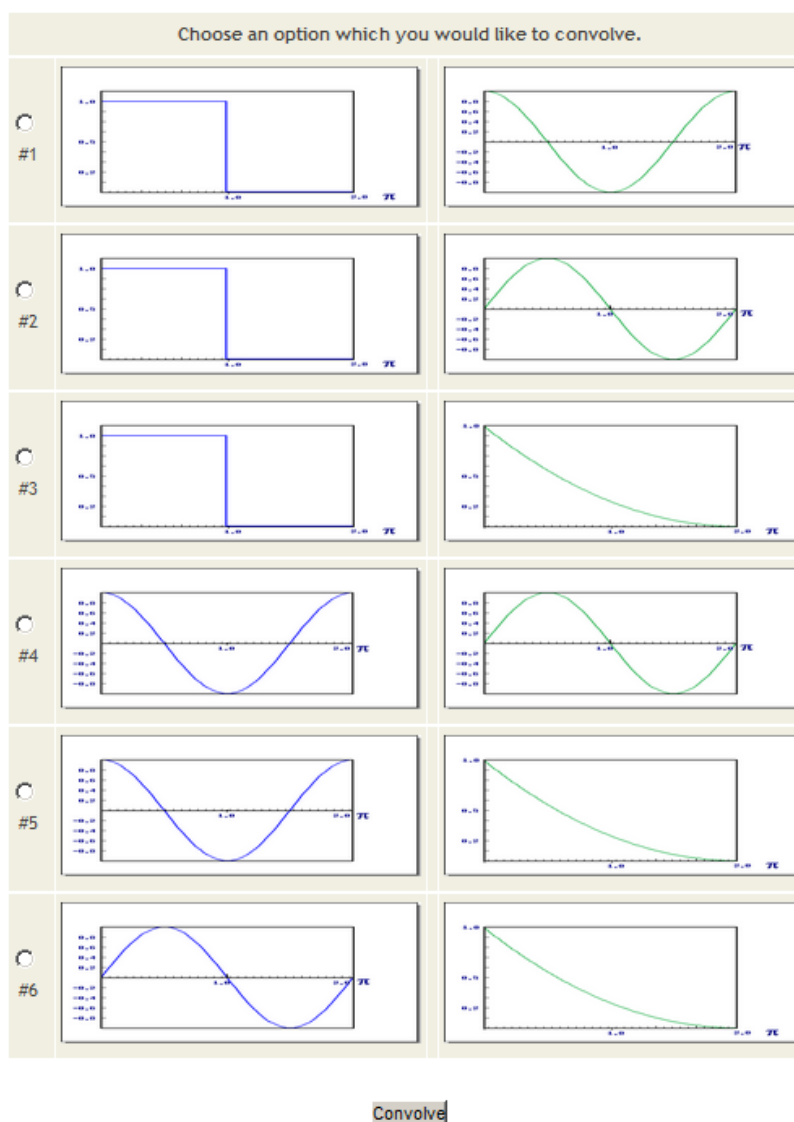
Konvoluce pro signály se spojitým časem je definována vztahem (3).

$$y(t) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t - \tau) h(\tau) d\tau \quad (3)$$

Předchozí vztah se dá vysvětlit následovně. Pomocí otočení prvního signálu kolem osy y dostáváme signál $x(-\tau)$. Takto vzniklý signál je postupně posouván vpravo o zvolený krok $x(-\tau+t)$ a hodnoty překrývajících se částí s druhým signálem jsou na stejných pozicích mezi sebou vynásobeny a následně je proveden jejich celkový součet.

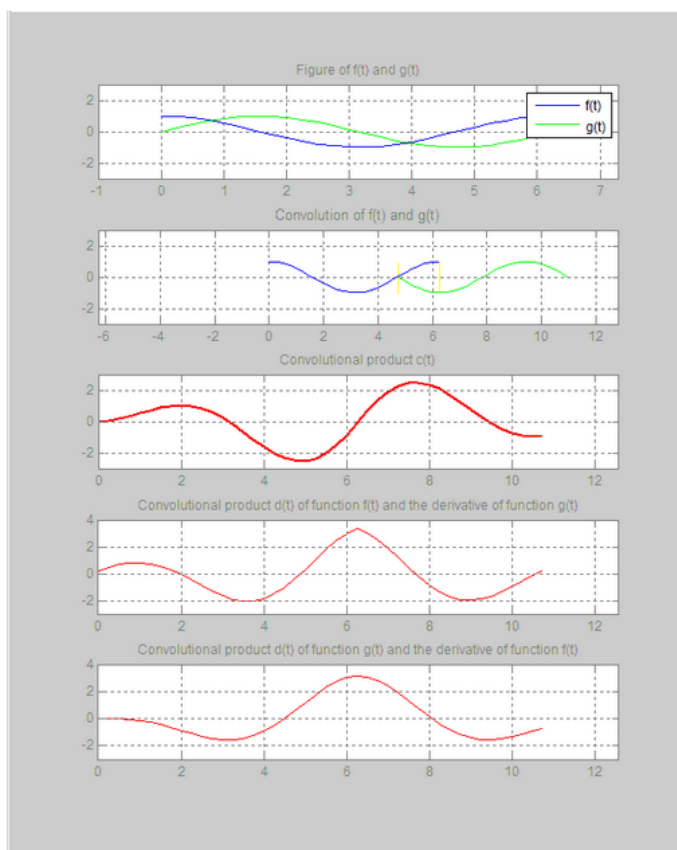
Konvoluce není nijak složitá operace, avšak její pochopení pomocí definic a textů se u studentů nepotýká s kladným ohlasem. Pro rychlejší pochopení principu konvoluce byla vytvořena následující část multimediální podpory výuky BSIS.

Obrázkem 16 je patrné, že student má na výběr šest možností příkladů konvoluce obsahující čtyři různé typy signálů.



Obr. 16: Výběr dvojice signálů k provedení konvoluce.

Po vybrání vhodné dvojice signálů a stisknutím tlačítka Convolve se spustí příslušná animace zobrazující průběh konvoluce obou signálů. Po domluvě s vedoucím práce byla animace doplněna o konvoluci jednoho původního signálu s derivací signálu druhého. Derivovaný signál vždy byl zvolen s ohledem na zajímavý průběh charakteristiky produktu konvoluce. Animovaná konvoluce byla naprogramována v prostředí MATLAB. Inspirací pro vytvořený program se stal příspěvek na diskusním fóru uživatelů MATLABu [10], který byl modifikován k aktuálním potřebám multimediálních podkladů. Statický snímek probíhající konvoluce je uveden na obrázku 17.

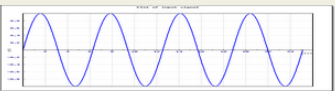
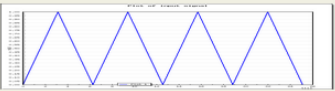
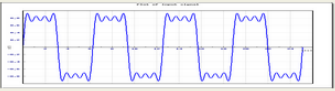


Obr. 17: Průběh animované konvoluce.

Jednotlivé průběhy konvolucí byly naprogramovány v prostředí MATLAB, a následně uloženy do formátu *.swf vhodného k internetové prezentaci. Z důvodu nestálosti, která se často v poslední době vyskytuje, příslušných flash přehrávačů byly animace nakonec uloženy do klasického grafického formátu *.gif.

4.1.6 Simulace průchodu signálu systémem

Dalším modulem obsaženým ve výsledné internetové aplikaci je simulace průběhu signálu systémem. Na obrázku 18 je vidět, že je uživatelem vybírán jeden ze čtyř typů vstupního signálu, u kterého se dají měnit parametry, jako jsou amplituda, frekvence a počáteční fáze vstupního signálu. Nadcházejícím polem je uživatelem zadána charakteristická rovnice systému.

Select the input signal and set its parameters.		
☐		
☐		peak amplitude = 1
☐		frequency = 1 Hz
☐		and phase = 0 π
Set the equation of system.		
f(Sx): y = e.g. a*pow(\$x,3)+b*pow(\$x,2)		
Send		

Obr. 18: Volba parametrů vstupního signálu a systému.

Po potvrzení správnosti zadaných parametrů stisknutím tlačítka Send jsou pomocí PHP skriptu data odeslána knihovně JpGraph k vypracování. Přenos rovnice funkce musí být ošetřen pomocí přenosu tzv. syrového kódu, neboť např. znak + odpovídá v PHP mezeře. Podobné situace nastávají i pro další znaky.

Správný přenos rovnice je ošetřen následujícím způsobem.

```
rawurlencode($_POST["g"]);
```

Následně probíhá zpracování všech obdržených dat knihovnou JpGraph. Z této knihovny je využíván pro vykreslení průběhů nástroj FunctionGenerator.

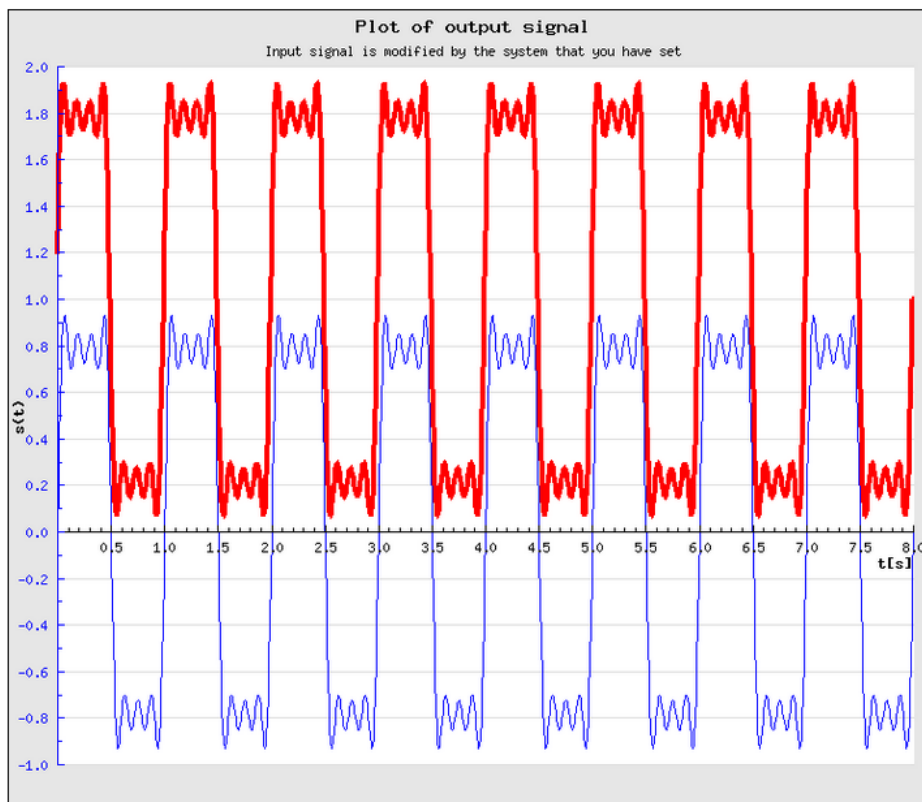
FunctionGenerator neumí pracovat se vstupními daty, která jsou zadána uživatelem- v našem případě se jedná o data reprezentující funkční hodnoty vstupního signálu. Proto bylo nutné, pro správnou simulaci průchodu signálu systémem, upravit samotnou funkci eval(), která poskytuje vypočtená data nástroji FunctionGenerator pro jejich následnou grafickou interpretaci.

Změn kódu základního souboru bylo provedeno několik. Největší vliv na samotnou funkčnost měla úprava kódu následujícím způsobem.

```
$f = new FuncGenerator($_GET['f']); //vytvoreni vstupni funkce
list($fxdata,$fydata) = $f->E(0,$range,1000); //jeji vykresleni
$f = $_GET['f']; //opetovne ziskani vstupni funkce
$t = 'for($i=1; $i<1002; $i += 1) //dosazeni hodnot y funkce f
    {$x = $gydata[$i]; $ya[.='.$f.'}'; //do t
@eval($t); //vypocteni t
```

Pomocí předchozí úpravy kódu knihovny JpGraph jsou získávány očekávané výsledky simulace. Výsledné průběhy vstupní – modré - funkce a výstupní – červené - funkce jsou k nalezení na obrázku 19, ve kterém jsou i uvedeny parametry vstupního signálu a systému.

You've chosen the **input signal** number 4 with peak amplitude 1, frequency 1Hz and the initial phase 0π .
You've also set the system by the equation $y=\$x+1$. The **output signal** is in the chart below.



Obr. 19: Vykreslení vstupního a výstupního signálu soustavy dle zadaných parametrů.

Dobrá rozlišitelnost jednotlivých kmitů signálu o vysoké frekvenci na celém intervalu je ošetřena vykreslováním prvních osmi period vstupního i výstupního signálu.

Výsledná simulace průchodu signálu soustavou se měla zabývat i vykreslováním jednotlivých spekter výstupního a vstupního signálu. Tento nástroj se podařilo zprovoznit pouze pro jednoduché harmonické signály. Z důvodu výpočetní náročnosti, kterou knihovna JpGraph nepodporuje, a neexistence jiného open source nástroje, vhodného pro korektní výpočet a zobrazení spekter, bylo od této funkce upuštěno.

Možnou alternativou se pro řešení tohoto problému stává volání pomocí PHP výpočetních funkcí programu MATLAB umístěného na server. Toto řešení ale není možné, z technických důvodů uvedených na začátku této práce, zrealizovat.

4.1.7 Řešený příklad

Poslední částí, kterou obsahují vyhotovené multimediální podklady, jsou řešené příklady nápomocné k hlubšímu pochopení daných témat. Konkrétně se ve vypracovaných multimediálních podkladech nachází prozatím jeden příklad, který má za úkol nastínit, jak by měly další vyhotovené příklady vypadat. Doplněním dalších řešených příkladů mohou být tímto způsobem suplovány numerická cvičení z předmětu BSIS.

Následujícími obrázky je vysvětlena funkčnost řešených příkladů. Obrázkem 20 je odhaleno zadání příkladu s výběrem rychlosti pohybu ke správnému řešení.

Fourier series - example #1.

Draw the spectrum of signal $s(t)$.

$$s(t) = 2\cos(10\pi t + 0.5\pi)$$

Show results Next step >>>

Obr. 20: Zadání příkladu.

Tlačítkem Next step je zobrazen následující krok vedoucí k řešení s popisem vysvětlujícím provedené operace, viz obr. 21.

Draw the spectrum of signal $s(t)$.

$$s(t) = 2\cos(10\pi t + 0.5\pi)$$

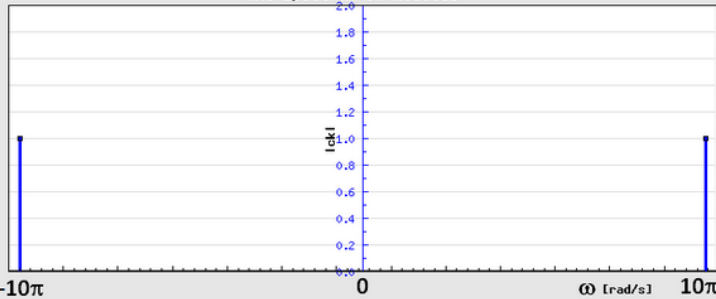
Step 1:

The spectrum of modules is defined by the green highlighted parts.

$$s(t) = 2\cos(10\pi t + 0.5\pi)$$

It means- a half of multiplier in front of cosine is height (exactly 1) of spectral component on angular frequencies $\pm 10\pi$.

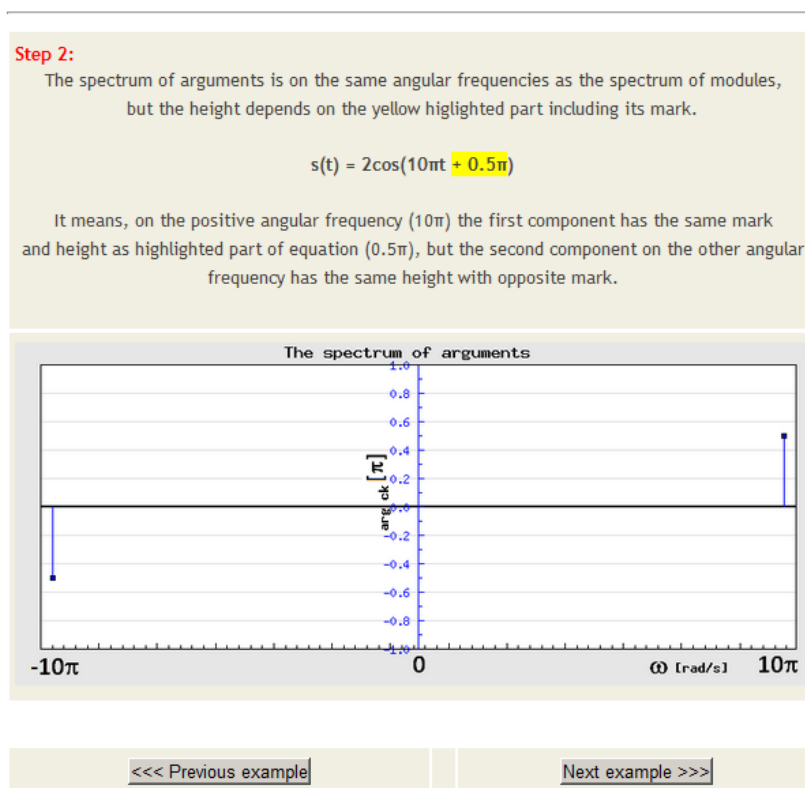
The spectrum of modules



Show results Next step >>>

Obr. 21: Zobrazení vypočteného kroku vedoucího k řešení příkladu.

Opětovným stiskem tlačítka Next step je umožněno zobrazení následujícího kroku, stisknutím tlačítka Show results je zobrazeno celé řešení zadaného příkladu. Stav obrazovky po stisknutí tlačítka Show results je zachycen na obrázku 22.



Obr. 22: Část stavu obrazovky po stisku tlačítka Show results.

Obrázek 22 je rozšířením obrázku 21. Z důvodu úspory místa byla uvedena pouze nová část řešení, a ne celkový stav obrazovky. Z obrázku 22 je patrné, že je možné se po odhalení celého výpočtu příkladu pohybovat směrem k předchozímu či následujícímu příkladu.

Shrnutím první části diplomové práce lze zjistit, že byly vyhotoveny anglické multimediální podklady k výuce signálů. Patřičným rozšířením webové aplikace o české rozhraní, popisy jednotlivých metod, problematiky z oblasti diskrétních signálů a rozšířením sbírky řešených příkladů, se z internetových stránek může stát velmi užitečný nástroj, který poslouží nejen studentům patřičného předmětu, ale i zájemcům z daného oboru.

5. Softwarový systém

Druhou částí diplomové práce byla realizace softwarového systému, vhodného k zpracování jednorozměrných diskrétních signálů. Následující text je věnován samotné realizaci a funkcím vyprodukovaného softwarového systému. Funkce vytvořeného softwarového systému byly vždy konzultovány s vedoucím práce tak, aby bylo možné program užívat i v dalších užitečných aplikacích.

5.1 Řečový signál

Řeč je lidským projevem, sloužící především ke komunikaci. Je možné ji charakterizovat jako souvislý, časově proměnný proces, nesoucí zakódovanou informaci mechanickým, akustickým, vlnění od řečníka k příjemci. Obecně vnímá posluchač řečový signál jako sled hlásek.

Dýchací ústrojí zároveň slouží k základní životní funkci- k dýchání. V tomto ústrojí se vzduch uvádí poprvé do pohybu, a je tedy splněna první podmínka produkce řeči. Dýchání má dvě fáze (nádech a výdech). Při mluvené řeči je dýchací frekvence a poměr mezi nádechem a výdechem odlišný od fyziologického dýchání. Při řeči dochází k markantnímu zkrácení vdechu, a naopak k výraznému prodloužení výdechu. Většina produkovaných hlásek je interpretována ve fázi výdechu. Krčmová uvádí v [11], že je také možné vyslovit některé výrazy při nádechu. Tyto výrazy jsou především citosloveného charakteru, např. „au“. Spotřeba vydechovaného vzduchu závisí na produkované hlásce. Nejvíce vzduchu z plic k vlastní tvorbě spotřebují hlásky /a/, /e/, /h/, /f/, /s/, nejméně pak samohlásky /u/ a /i/. Spotřeba vzduchu řečníka se také mění s hlasitostí jeho projevu.

V hlasovém ústrojí, nacházejícím se v hrtanu, prostupuje vzduch z plic přes hlasivky, které se buď smršťují, nebo roztahují. Tato činnost charakterizuje základní tón každého hlasu a znělé resp. neznělé úseky řeči [11].

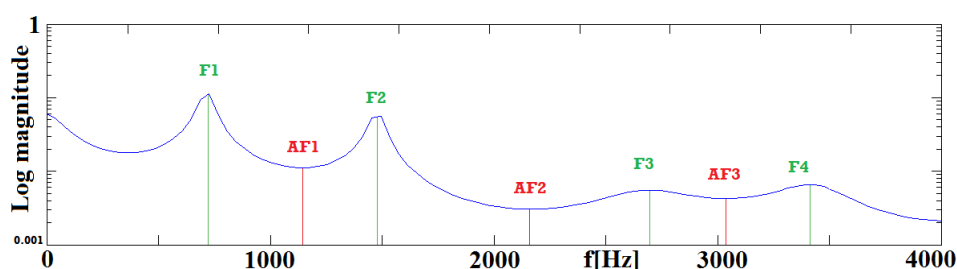
Poslední oblastí mluvního ústrojí je modifikující část. Zde produkovaný základní tón prochází přes různé dutiny a orgány. Tato poslední část nejvíce ovlivňuje výsledný charakter řeči. Řeč zde získává svou barvu na základě fyziologických proporcí dutin mluvního, kde základní tón rezonuje. Pomocí rezonancí v dutině hrdelní, ústní a nosní vznikají ve spektru řečového signálu lokální maxima -formanty F1, F2 a F3. Obvyklé hodnoty formantů českých samohlásek jsou uvedeny v tabulce 2. Dále je řeč ovlivněna činností rtů (ovlivnění rezonance ústní dutiny) a jazyka (především výslovnost).

Tab. 2: Formanty českých samohlásek [12].

Samohláska	F1 [Hz]	F2 [Hz]	F3 [Hz]
I / Í	300 – 500	2000 – 2800	2600 – 3500
E / É	480 – 700	1560 – 2100	2500 – 3000
A / Á	700 – 1100	1100 – 1500	2500 – 3000
O / Ó	500 – 700	850 – 1200	2500 – 3000
U / Ú	300 – 500	600 – 1000	2400 - 2900

Ne všechny české hlásky disponují základním tónem F0. Hlásky, u nichž se vyskytuje absence základního tónu F0 nazýváme neznělými, např. /p/, /t/, /f/, zatímco absenci formantových pruhů ve spektru nazýváme nevokálností. Artikulačně je vokálnost založena na otevřenosti nadhrtanových prostor, zatímco znělost (sonorita) záleží na generování základního tónu F0 hlasivkami. Krčmová [11] uvádí, že rozdíl mezi znělými a neznělými hláskami je pro češtinu základním korelačním rysem. Pro důkladnější seznámení s problematikou z oblasti fonetiky a fonologie doporučuji nahlédnout do online kurzu prof. Krčmové z Filozofické fakulty Masarykovy univerzity.

Na obrázku 23 je vyobrazeno hladké spektrum samohlásky /a/ vytvořené pomocí lineární predikce (LPC), ve kterém jsou zeleně označeny formanty a červeně lokální minima- antiformanty.



Obr. 23: LPC spektrum samohlásky A.

Z předchozího obrázku je patrné, že mezi základním tónem F0 a prvním formantem F1 vzniká nultý antiformant AF0, který není v našem případě tak důležitý pro analýzu řečových signálů jak následující antiformanty, neboť např. v GSM je nejnižší přenášená frekvence lidského hlasu 300 Hz.

5.2 Segmentace řečového signálu

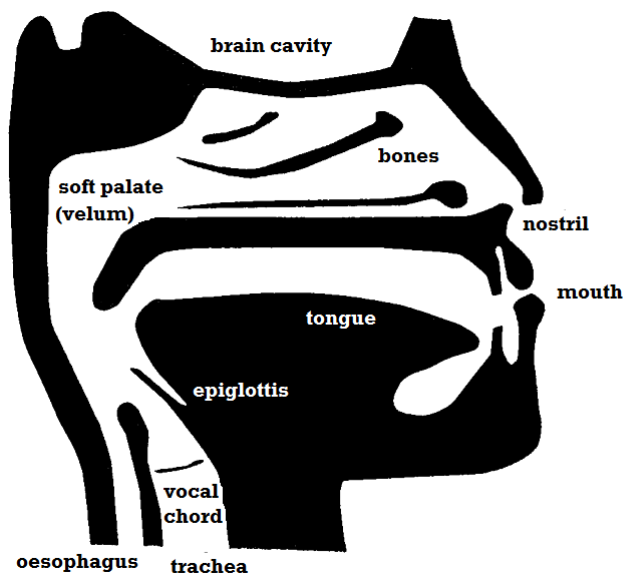
Parametrizace řečového signálu má za úkol vyjádřit jeho průběh pomocí omezeného množství hodnot. Pokud by byla jakákoliv metoda aplikována na celý požadovaný signál bez předchozích úprav, bylo by určení jednotlivých parametrů zcela bezvýznamné. Pro relevantnost získaných dat k případné zpětné rekonstrukci signálu je tedy nutné zvukový soubor rozdělit na krátké úseky. V praxi je využívána segmentace na úseky 15 – 30 ms s překrytím po sobě jdoucích segmentů, či bez překrytí. Analýza překrývajících se úseků vede sice k lepšímu rozpoznání řeči, ale je výpočetně a časově náročnější než metoda bez vzájemného překrytí segmentů. Kompromisem mezi rychlostí a kvalitou výsledků je délka jednotlivých úseků 20 ms.

5.3 Lineární predikce (LPC)

LPC (Linear Prediction Coding) je jeden z nejefektivnějších způsobů analýzy a zpětné rekonstrukce hlasového signálu, který je nejmasivněji využíván v systému GSM. Počátky užívání lineární predikce k řečovému kódování se datují k roku 1971. Tato metoda umožňuje výpočet spektra analyzovaného signálu pomocí LPC koeficientů. Její princip spočívá v oddělení rezonančních kmitočtů hlasu pomocí inverzní filtrace a následného zanalyzování zbylého hlasového úseku. Ve své podstatě je tedy lineární

prediktor adaptivní filtr nastavující své koeficienty dle průběhu procházejícího signálu tak, aby docházelo právě k predikci filtru (k jeho předpovídání).

Zpracování řeči pomocí lineární predikce vychází z předpokladu, že hlasový signál je generován hlasivkami. Hlasivky vytvářejí tón o požadované frekvenci a intenzitě, který dále prochází krkem a ústy. Tyto dvě části tvoří jakousi ozvučnici daného signálu a vytvářejí díky svým jedinečným proporcím odlišné rezonance pro jednotlivé mluvčí. Obrázek 24 prezentuje nejvýznamnější části lidského vokálního aparátu, které ovlivňují cestu vygenerovaného signálu z hlasivek po interpretovaný zvuk z úst.



Obr. 24: Znárodnění lidského hlasového aparátu. Jeho budiče, rezonátory a další součásti [13].

McLoughlin [13] uvádí, že díky pohybu hlasového ústrojí je řečový signál tvarován. Hlasivky jsou svalem, a tak se nemohou pohybovat nekonečně rychle. I když se lidská mluva jeví souvislou, hlasivky potřebují ke svému přeuspořádání do jiného tvaru cca 30 ms. Po tuto dobu tedy zůstávají hlasivky pseudo-stacionárními. Pokud je hlasový signál digitálně zpracován vzorkovacím kmitočtem $f_v = 8$ kHz, zjistíme, že pseudo-stacionarita hlasivek trvá 240 vzorků signálu. Dobu tohoto ustálení lze aproximovat pomocí malého počtu hodnot. Typickým počtem koeficientů lineární predikce je 6 až 14 hodnot.

Matematicky lze artikulační ústrojí vyjádřit přenosovou funkcí filtru

$$H(z) = \frac{1}{A(z)} \quad (3)$$

kde je $A(z)$ polynom popisující lineární predikci vztahem

$$A(z) = 1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2} + \dots + a_P z^{-P} \quad (4)$$

kde P je řád polynomu, resp. lineární predikce, popsany rovnicí

$$P = \frac{f_{vz}}{1000} + 2. \quad (5)$$

Nulové body polynomu $A(z)$ určují polohu pólů přenosové funkce $H(z)$. Řešením vztahu (4) jsou převážně kořeny v podobě komplexně sdružených čísel. Je-li řešením polynomu $A(z)$ dvojice komplexně sdružených kořenů z_i a $\bar{z}_i$, pak formantový kmitočet je dán vztahem

$$F_i = \frac{f_{vz}}{2\pi} \arg(z_i) \quad (6)$$

a odpovídající šířka formantu

$$B_i = -\frac{f_{vz}}{\pi} \ln |z_i|. \quad (7)$$

Vhodný řád predikce (frekvenčního rozlišení) je určen rovnicí (5), do které je dosazen vzorkovací kmitočet f_{vz} v Hz. Při vzorkovacím kmitočtu $f_{vz} = 8$ kHz je z rovnice (5) patrné, že vhodný řád lineární predikce pro tento vzorkovací kmitočet je 10.

5.5 Čárové spektrální páry (LSP)

Aby nebylo nutné přenášet všechny LPC koeficienty, které se následně špatně kvantují, vznikl počátkem 80. let minulého století přenos koeficientů LSP (Line Spectral Pairs), resp. jejich samostatných spektrálních párů. Tyto čáry jsou méně náročné na následnou kvantizaci, a tím pádem jsou i méně choulostivé na přenos.

Následujícím textem bude vysvětlen princip získání hodnot LSP z LPC koeficientů. Spektrální páry lze určit predikčním polynomm (reprezentací inverzního filtru)

$$A_p(z) = 1 - \sum_{i=1}^P a_i z^{-i} \quad (8)$$

kde P je řád predikce vypočtený rovnicí (4). Předchozí vztah může být zapsán jako aritmetický průměr hodnot polynomů $P(z)$ a $Q(z)$

$$A_p(z) = \frac{P(z) + Q(z)}{2}. \quad (9)$$

Rovnici (9) lze rozdělit do dvou polynomů řádu $P+1$ [13]

$$P(z) = A_p(z) - z^{-(P+1)} A_p(z^{-1}) \quad (10)$$

$$Q(z) = A_p(z) + z^{-(P+1)} A_p(z^{-1}). \quad (11)$$

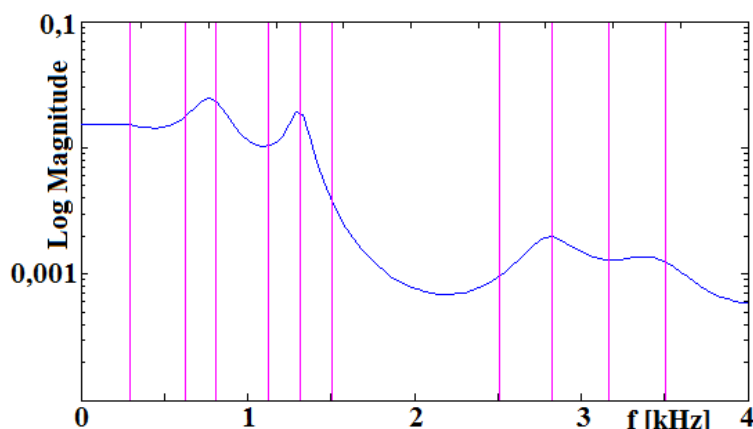
Označíme-li množinu získaných komplexních kořenů z rovnic (10) a (11) jako ϑ_k , spektrální páry se následně vypočtou vztahem

$$\omega_k = \tan^{-1} \left(\frac{\operatorname{Re}(\vartheta_k)}{\operatorname{Im}(\vartheta_k)} \right) \quad (12)$$

kde ω_k je vyjádřením frekvencí spektrálních čar P v radiánech. Obdržené LSP koeficienty je nutné vzestupně seřadit, aby bylo možné získat jejich adekvátní umístění. Frekvence formantů f_k lze získat rovnicí

$$f_k = \frac{\omega_k}{2\pi} f_{vz}. \quad (13)$$

Obrázek 25 ilustruje vzájemnou relaci mezi vyhlazeným LPC spektrem a příslušnými spektrálními páry.



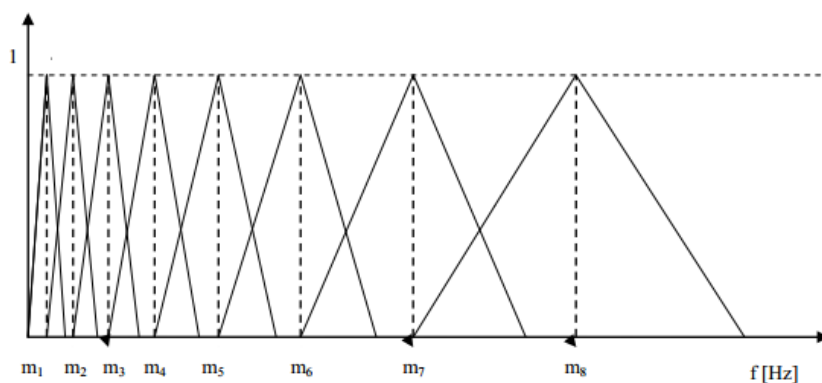
Obr. 25: LPC spektrum (modře) se svými odpovídajícími spektrálními páry (fialově).

5.6 MFCC

Melové koeficienty (Mel-Frequency Cepstral Coefficients) jsou další vhodnou metodou k vytěžování řečových parametrů. Výpočet MFCC je následující: nejprve je nutné vypočítat pomocí DFT spektrum signálu, které je následně umocněno a vynásobeno trojúhelníkovým filtrem. Obdržené hodnoty se sečtou, zlogaritmují a pomocí DCT jsou z nich vypočteny MF koeficienty. Hlavní myšlenka metody spočívá v tom, že frekvenční lineární osa je modifikována na osu nelineární, která je pro lidský sluch přirozenější. Takto upravená osa je reprezentována v melech. Přepočtení frekvence na melovou frekvenci se provede následujícím vztahem

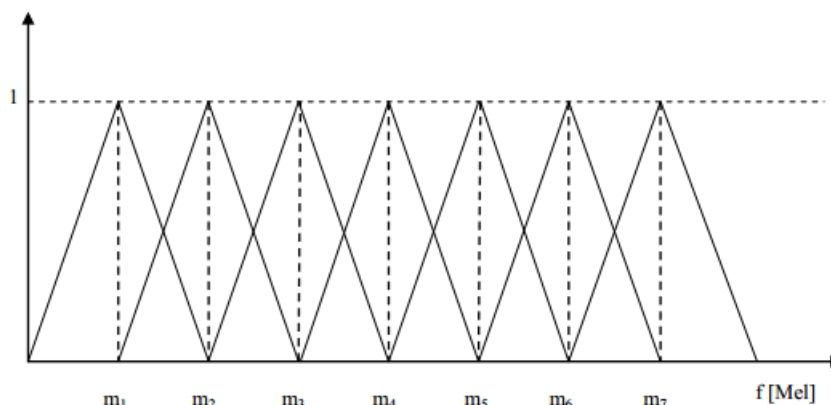
$$f_{MEL} = 2959 \log_{10} \left(1 + \frac{f_{Hz}}{700} \right) \quad (14)$$

kde f_{MEL} je frekvence v melech a f_{Hz} v hertzech. Převodní vztahem lze spatřit, že se jedná o zlogaritmování frekvenční osy, na kterou se následně rozloží banka korektně navržených filtrů. Z obrázku 26 je patrné, že filtry (trojúhelníky) jsou hustěji rozmístěny v nižších frekvencích. Tedy přesně tam, kde je lidské ucho nejvnímavější.



Obr. 26: Rozložení filtrů na frekvenční osu v hertzech [14].

Při převedení horizontální osy na mely je patrné, že filtry jsou lineárně rozmístěny, viz. obr. 27.



Obr. 27: Rozložení filtrů na frekvenční osu v melech [14].

Výpočet MFCC je velmi účinnou metodou pro zpracování řečových signálů. Na počátku tvorby softwarového systému bylo s Mel koeficienty počítáno a pracováno, ale s plynoucím časem byla tato metoda ve výsledném programu nevyužita. Subjektivně si ale myslím, že je dobré vědět, na jakém principu metoda MFCC funguje, a jaký je rozdíl mezi jednotlivými používanými metodami.

6. Realizace systému

Kapitola 6 se věnuje vytvořenému softwarového systému. Výsledný softwarový systém se skládá ze dvou programů. První program se stará o analyzování zvukových souborů a sběr dat. Užitečná data jsou poté vstupem druhého programu, který slouží k jejich statistickému zpracování a grafické interpretaci výsledků.

Výsledné programy byly napsány v programovacím prostředí MATLAB a mají formu klasické konzolové aplikace bez grafického prostředí (GUI).

V průběhu realizace tohoto softwarového systému byly paralelně vypracovány další rozšíření a úpravy stávajícího systému. Například byl vytvořen doplňující program sloužící k porovnání vhodnosti různých metod k identifikaci mluvčího na základě unikátnosti řečových parametrů. Vstupem pro tento rozšiřující doplněk byla užitečná data získaná právě prvním programem softwarového systému, který je předmětem této diplomové práce.

6.1 Program analyzující zvukový soubor

Vyhotovený soubor obsahující první program je pojmenován `detekce.m`, a slouží k analýze zvukových souborů. Prvním krokem k správnému spuštění programu je zadání názvu zvukového souboru do skriptu. Lokaci zvukového souboru lze zapsat dvěma způsoby. Prvním způsobem je zadání pouhého názvu souboru. V tomto případě se jedná o tzv. relativní cestu. Jedinou podmínkou v tomto případě je, že se musí kýžený zvukový soubor nacházet v adresáři se spuštěným programem. Druhým způsobem

určení zvukového souboru je pomocí absolutní cesty, kdy musí být zadána přesná adresa. V tomto případě se zvukový soubor může nacházet téměř kdekoli. Adresa analyzovaného souboru musí být zadána dvakrát. První zadání slouží k načtení dat ze zvukového souboru. Druhé zadání souboru slouží k duplikovanému načtení dat souboru a jeho parametrů.

6.1.1 Princip programu

Program analyzuje pouze zvukové soubory s vzorkovacím kmitočtem $f_{vz} = 8$ kHz. Po spuštění programu je tedy zkoumáno, zda zadaný soubor splňuje tuto podmínku. Pokud ano, je na obrazovku vypsán požadavek k pojmenování výsledného souboru a k zadání vyhledávané samohlásky. V případě, kdy se vzorkovací kmitočet zvukového souboru nerovná 8 kHz dochází k vytvoření nového souboru jeho převzorkováním. Na obrazovku je vypsán požadavek k zadání jména nově vytvořeného souboru. Tento soubor je poté nutné zadat do programu ke korektní analýze.

Pokud je f_{vz} zadaného souboru nižší než 8 kHz je potřeba zvukový signál interpolovat. V tomto případě je umístěn antialiasingový filtr (AAF) po převzorkování stávajícího zvukového souboru. Při decimaci je vzorkovací kmitočet vyšší, než požadovaný. Je tedy nutné nejprve zvukový signál vyfiltrovat pomocí AAF, a následně jej převzorkovat. Těmito způsoby převzorkování nedojde k nežádoucímu překrytí spekter. Pro tyto účely byl navržen IIR filtr řádu 2 typu Butterworth. Výhodou navrženého filtru je, že dochází k malému fázovému zkreslení. Tento fakt je dán tím, že zvukový signál projde dvakrát IIR filtrem. Následující ukázka zdrojového kódu ilustruje předchozí odstavce.

```
y=wavread('morseovka.wav'); [N, channels,] = size(y);
[y1, Fs, bit] = wavread('morseovka.wav');

if Fs~=8000 %prevzorkovani puvodniho zvukoveho souboru
    disp(sprintf('Your sound file does not meet the file condition
of this progam. It is necessary to resample it.\n'))
    Fs_n=8000;
    name=input('Set the name of the new sound file: ','s')
    %decimace...filtrace pred
    if Fs > Fs_n
        n_filt=2; %rad filtru
        Wn=Fs_n/(Fs/2); % normovane mezni f PP
        [b2,a2] = butter(n_filt,Wn,'low'); %dolni propust BW
        filt_y1=filtfilt(b2,a2,y1); %filtrace signalu
        y1=resample(filt_y1,Fs_n,Fs);
        wavwrite(y1,Fs_n,bit,name);

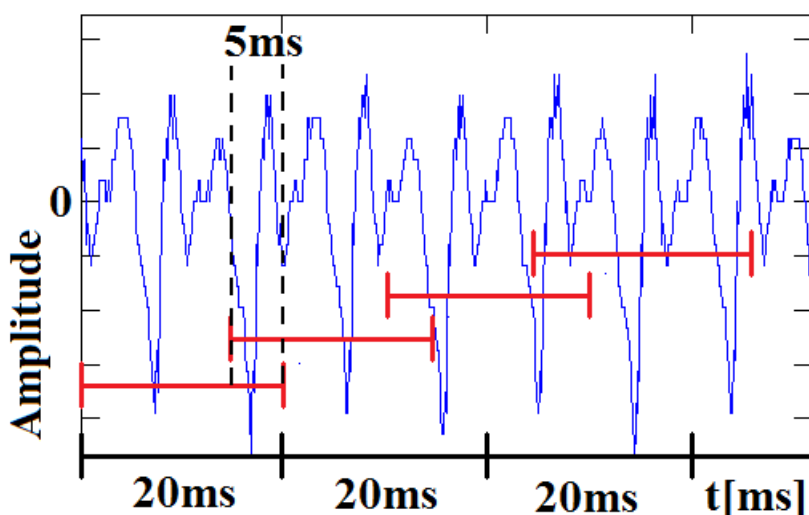
    %interpolace- filtrace po
    elseif Fs < Fs_n
        y1=resample(y1,Fs_n,Fs);
        n_filt=2; %rad filtru
        Wn=Fs_n/(Fs/2); % normovane mezni f PP
        [b2,a2] = butter(n_filt,Wn,'low'); %DP Butterworth
        y1=filtfilt(b2,a2,y1); %filtrace signalu
        wavwrite(y1,Fs_n,bit,name);
    end
    disp(sprintf('Resampling done. Please start the program again with
the resampled *.wav file.\n'))
```

```

break;
disp(sprintf('Resampling done. Please start the program again with
the resampled *.wav file.\n'))
break;
else
    disp(sprintf('The sound file is OK. Let us analyze it.\n'))
end
name=input('Please set the name of analyzed file without
extension: ','s')

```

Po provedení nezbytných počátečních operací se zvukovým souborem jsou programem provedeny další operace. Program nejprve vypočte velikost šířky okna. V našem případě je soubor rozdělen na krátké úseky o délce 20 ms. Uvažujeme-li vzorkovací kmitočet $f_{vz} = 8$ kHz, získáváme jednotlivé segmenty k analyzování o délce 160 vzorků. Pokud je celkový počet vzorků signálu celočíselně nedělitelný délkou okna (160 vzorků), je signál doplněn o potřebný počet nul tak, aby byl celkový počet vzorků signálu beze zbytku dělitelný délkou okna. Vytvořený program využívá rozdělení zvukového souboru bez vzájemného překrytí sousedních úseků. Rozdíl mezi překrývajícími se segmenty a oddělenými segmenty je znázorněn na obrázku 28, kde jsou červeně znázorněna okna o délce 20 ms s překrytím 5 ms, a černě okna o délce 20 ms bez překrytí.



Obr. 28: Rozdíl mezi segmenty bez a s překrytím.

Po provedení segmentace jsou vždy prováděny operace s aktuálním úsekem. Na konci celého procesu je daný úsek vyhodnocen jako užitečný nebo neužitečný. V případě, že je daný úsek vyhodnocen jako užitečný, je společně se svými parametry uložen. V opačném případě je úsek zapomenut a identické operace jsou prováděny s následujícím úsekem.

Na daném úseku je nejprve signál normován tak, aby příslušná absolutní hodnota amplitudy na daném úseku dosahovala úrovně 1. Následně je normovaný signál váhován Hammingovým oknem k potlačení nežádoucích efektů na kraji jednotlivých segmentů. Následně jsou na daném úseku vypočteny LPC koeficienty lineární predikce řádu 10, pomocí kterých je vyhotoveno příslušné LPC spektrum. K vykreslení

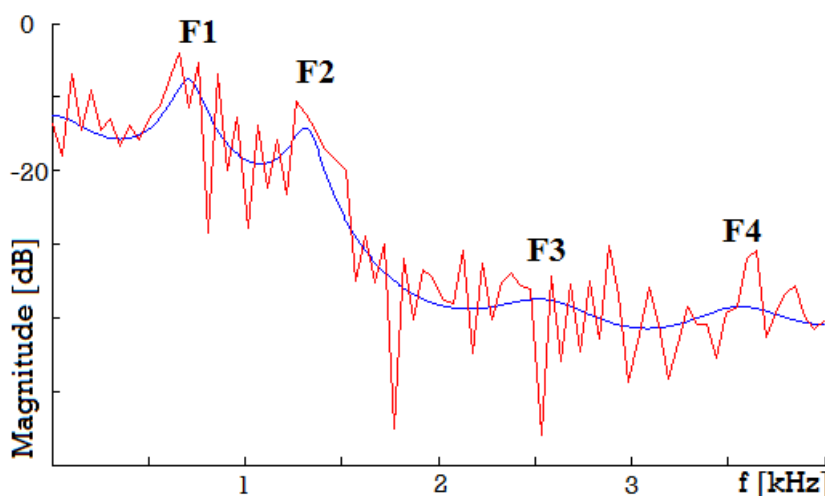
a vypočtení spektrální hustoty výkonu z LPC parametrů je výhodné v MATLABu použít funkci `freqz`, která simuluje frekvenční odezvu daného filtru. Spektrální hustota je zapsána následujícím kódem.

```
Glp=10*log10(abs(freqz(g,aa,ceil(Fs/10))).^2); %spek.lpc.hustota
```

Pomocí předchozího řádku zdrojového kódu je velikost spektrální hustoty výkonu udána v dB. Průběh FFT spektra stejného úseku lze vypočítat pomocí následujícího příkazu.

```
Gfft=10*log10(abs(fft(hamm,h_win)).^2 / h_win); %FFT spektrum
```

Obrázek 29 znázorňuje spojitost mezi vyhlazeným LPC spektrem a FFT spektrem.



Obr. 29: Podobnost LPC a FFT spektra.

Derivací průběhu LPC spektra lze vyhledat příslušné lokální extrémy. Pokud je první derivace funkce rovna nule, nachází se v daném bodě lokální extrém. V praktickém programování v MATLABu je však výjimkou, že se daná hodnota derivace rovná nule. Tudíž je lepším způsobem pro nalezení extrémů LPC spektra sledovat změnu znaménka aktuálních hodnot. Pro tento účel MATLAB disponuje funkcí `sign`, která vrací výsledek v podobě -1 pro záporné funkční hodnoty, a 1 pro kladné funkční hodnoty. Pokud je hodnota `sign` první derivace funkce pro aktuální pozici rovna 1, a pro následující pozici rovna -1, nachází se mezi těmito pozicemi lokální maximum (formant). V opačném případě je zde detekován výskyt lokálního minima- antiformantu. Vyhledávání lokálních extrémů LPC spektra lze zapsat následující kódem.

```
dsig=sign(dGlp); %znamenko derivace

if dsig(a+1) > 0 && dsig(a) < 0
mincnt = mincnt + 1;

imin=((a)+(a+1))/2;
imin=(imin*((Fs/2)/ceil(Fs/10))); %frekvence minima
Ga=(Glp(a)+Glp(a+1))/2; %uroven minima

elseif dsig(a+1) < 0 && dsig(a) > 0
```

```

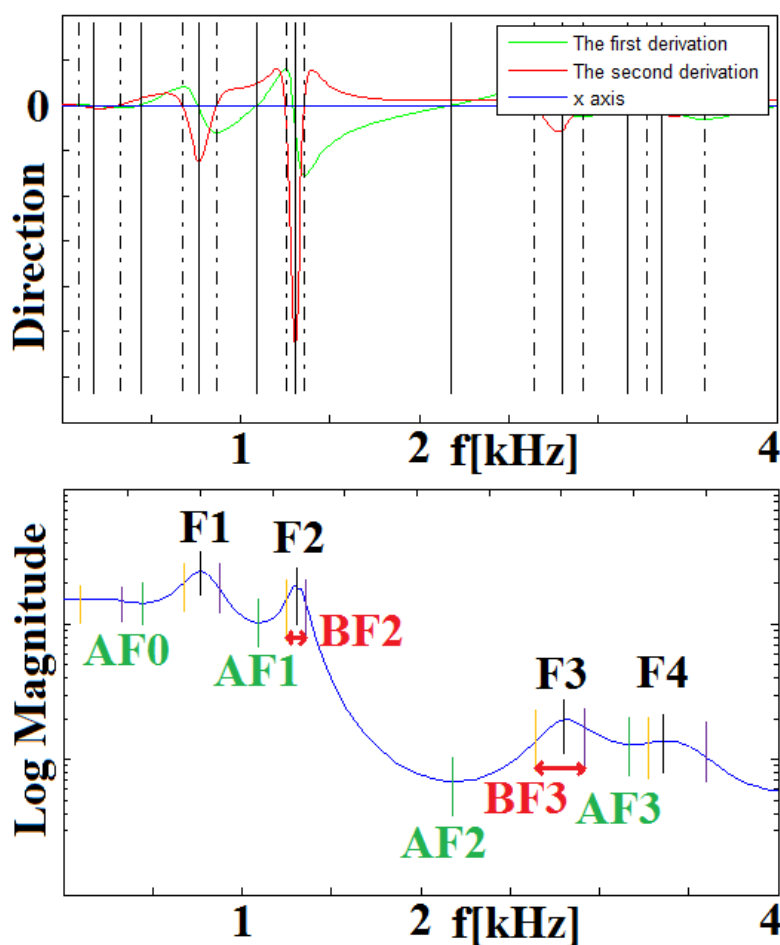
maxcnt = maxcnt + 1;
imax=( (a)+(a+1))/2;
imax=(imax*Fs/(2*length(dGlpC)) );
Ga=(GlpC(a)+GlpC(a+1))/2;
end

```

%frekvence maxima
%uroven maxima

V tomto kódu je proměnná `dGlpC` derivace průběhu LPC spektra, proměnná `a` je zkoumaná pozice.

Použitím druhé derivace na průběh LPC spektra, respektive použitím další derivace na již jednou zderivovaný průběh funkce, lze určit inflexní body. Pokud je hodnota druhé derivace rovna nule, nachází se v daném místě inflexní bod. Prakticky lze tuto podmínku zrealizovat opět pomocí zkoumání změny znaménka druhé derivace. V tomto případě je využíváno pořadí po sobě jdoucích měnících se znamének k určení horního či dolního inflexního bodu příslušného formantu. Obdržené inflexní body slouží v této diplomové práci k určení šířek formantů. Obrázek 30 znázorňuje nalezené důležité body LPC spektra pomocí první a druhé derivace. V LPC spektru jsou nalezené polohy antiformantů AF vyznačeny zeleně, formantů F černě, horních inflexních bodů formantů fialově a dolních inflexních bodů formantů oranžově. Červeně jsou v LPC spektru znázorněny šířky formantů BF.



Obr. 30: Nalezení polohy významných parametrů LPC spektra pomocí derivací.

6.1.2 Vyhledávání samohlásek

Úseky vyslovených samohlásek lze určit několika způsoby. Nejčastějším způsobem určení samohlásky je využití jejich téměř periodického průběhu v čase. K tomuto účelu se využívá kritérium AMDF (Average Magnitude DifferenceFunction), které slouží k odhadu periody základního tónu řeči. Důkladněji je tato metoda popsána v literatuře, např. [15].

V této práci jsou však samohlásky vyhledávány na základě polohy formantů v LPC spektru. Podmínkou pro stanovení analyzovaného úseku užitečným je výskyt prvních dvou formantů. První formant F1 vzniká pomocí rezonance dutiny ústní. Rezonancí základního tónu F0 v dutině hrdelní vzniká formant F2. Je-li v analyzovaném úseku zaznamenán výskyt prvních dvou formantů, které se nacházejí ve svých obvyklých frekvenčních pásmech pro danou samohlásku, je klasifikován zkoumaný úsek jako užitečný. Pro užitečný úsek dochází k dodatečnému vypočítání LSP koeficientů pomocí LPC koeficientů.

Vytěžená data z užitečného úseku jsou uložena na příslušná místa v maticích. Vždy je pro jeden úsek alokován jeden sloupek matice. Pořadí sloupku matice odpovídá i pořadí užitečného úseku. Zbylé parametry řečového signálu jsou umístěny na vhodné pozice do matice. Kvůli rychlejšímu a přehlednějšímu přístupu k datům jsou získané parametry matice duplikovány. Ve výsledném datovém souboru jsou uloženy jak matice hodnot pro jednotlivé metody, tak i objemnější matice, obsahující doposud všechny obdržené výsledky.

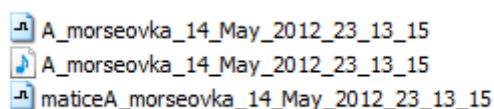
Ani průběh zvukového signálu není zapomenut. Příslušná data na analyzovaném užitečném segmentu jsou uložena do paměti, kde jsou při posledním ukládacím kroku zpracována ve zvukový soubor. Při ukládání finálního zvukového souboru je mezi každých 160 vzorků užitečného zvukového signálu vloženo 10 vzorků nul. Vložení této mezery mezi jednotlivé segmenty slouží k lepší orientaci pro případné další zpracování vytvořeného souboru.

Pojmenování vytvořených souborů obsahuje název hledané samohlásky, zadaný název souboru, místní datum a čas. Vytvoření nových souborů dat s příslušnými názvy zajišťuje následující část zdrojového kódu.

```
mat='matice';
datetime=datestr(now);
datetime=strrep(datetime,':','_');%nahrazení dvojtečky podtržítkem
datetime=strrep(datetime,'-','_');%stejně tak pomlčky
datetime=strrep(datetime,' ','_');%a mezery

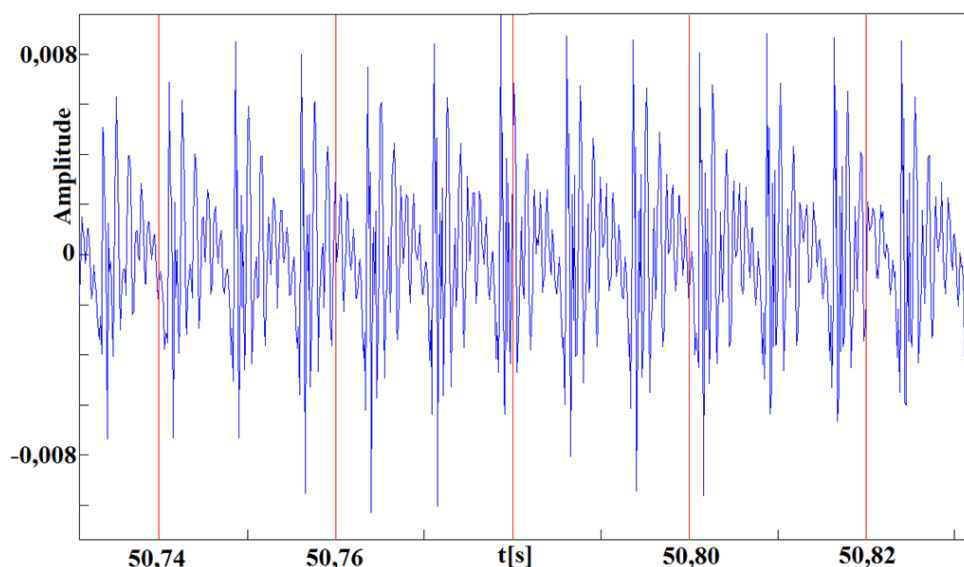
voweldatetime= strcat(vowel,'_',name,'_',datetime);
matf= strcat(mat,voweldatetime);
save(voweldatetime,'descF','maticeF','descAf','maticeAf','descIfd',
'maticeIfd','descIfh','maticeIfh','maticeLSP','maticeLPC','maticeB'
);
save(matf, 'maticeSamples');
wavwrite(maticeSound,Fs,bit,voweldatetime);
[rdk slp]=size(maticeF); %zjisteni kolik vzorku bylo nalezeno
```

Ukážkou předchozího kódu je patrné, že po každé provedené analýze zvukového souboru jsou vytvořeny 3 výstupní soubory. Prvním z nich je zvukový soubor obsahující zvukové úseky vyhledané samohlásky. Druhým vytvořeným souborem je vytvořená matice se všemi získanými parametry a popisy pozic. Vytvořený třetí soubor obsahuje několik menších matic k přehlednějšímu přístupu. Obrázek 31 znázorňuje nově vytvořené soubory pro vyhledanou samohlásku A ve zvukovém souboru „morseovka“.



Obr. 31: Vytvořené soubory s informacemi o hledané samohlásce.

Po ukončení analýzy je zobrazen průběh vstupního zvukového souboru, do kterého jsou vyznačeny červenými čarami úseky, které byly vyhodnoceny jako užitečné. Část zvukového signálu s nalezenými úseky samohlásky /a/ je znázorněna na obrázku 32. Konkrétně se jedná o část první slabiky slova „krákorá“.



Obr. 32: Nalezené úseky samohlásky /a/.

Ne vždy dochází k správnému vyhodnocení daného úseku. Největším problémem pro korektní detekci je samohlásky /i/, která je velmi specifická pro každého mluvčího. Tento problém by byl nejspíše ošetřen použitím metody AMDF. Tabulka 3 znázorňuje možné stavy detekce. Touto tabulkou je znázorněno, že jediným korektním stavem vyhledání samohlásek je správná detekce. Dále je v praxi také upřednostňován stav zmeškané detekce před falešným poplachem.

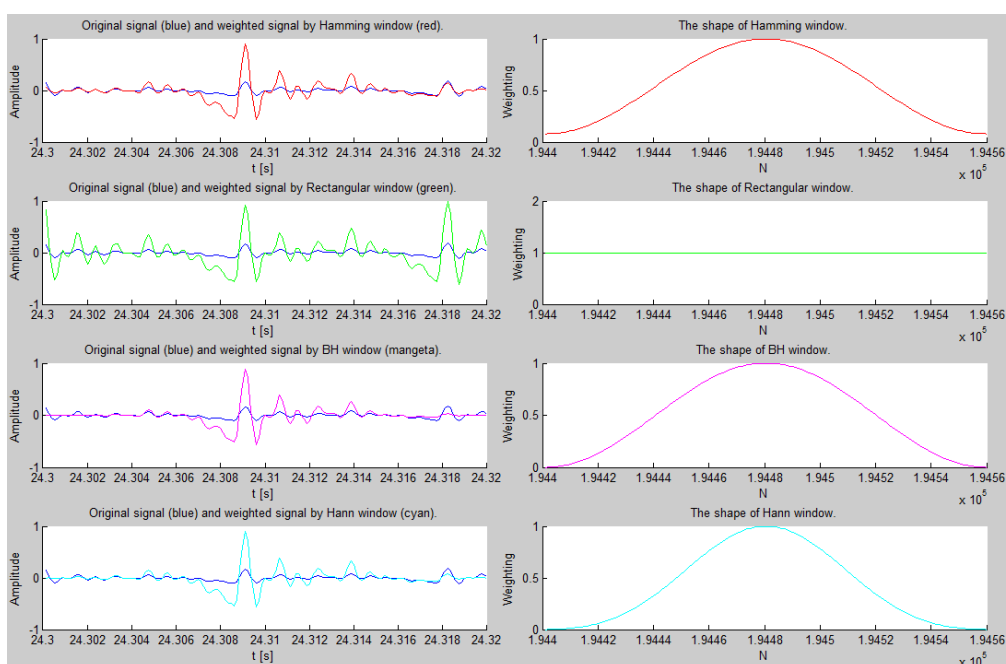
Tab. 3: Možné stavy detekce.

Stav	Popis
Správná detekce	Na daném úseku je požadovaný signál. Daný úsek je vyhodnocen užitečným.
Zmeškaná detekce	Na daném úseku se nachází požadovaný signál, úsek je však označen jako neužitečný.
Falešný poplach	Na daném úseku se nevyskytuje požadovaný signál. Přesto je úsek klasifikován jako užitečný.

6.1.3 Prezentace dalších výsledků

Po ukončení vyhledávání zadané samohlásky a uložení všech souborů přejde program do uživatelské smyčky. V této smyčce je uživatel vyzván k zadání libovolného úseku analyzovaného zvukového souboru, aby mu byl umožněn detailnější náhled na zpracovávaný signál.

Na zvolený úsek jsou aplikovány čtyři druhy oken, které se nejčastěji používají k váhování signálu. Obrázek 33 ilustruje průběh signálu před (modře zobrazený signál) a po váhování společně s průběhy oken. Pro demonstraci různých průběhů oken byla zvolena tato okna: Hammingovo, pravoúhlé, Blackman-Harrisovo a Hannovo.



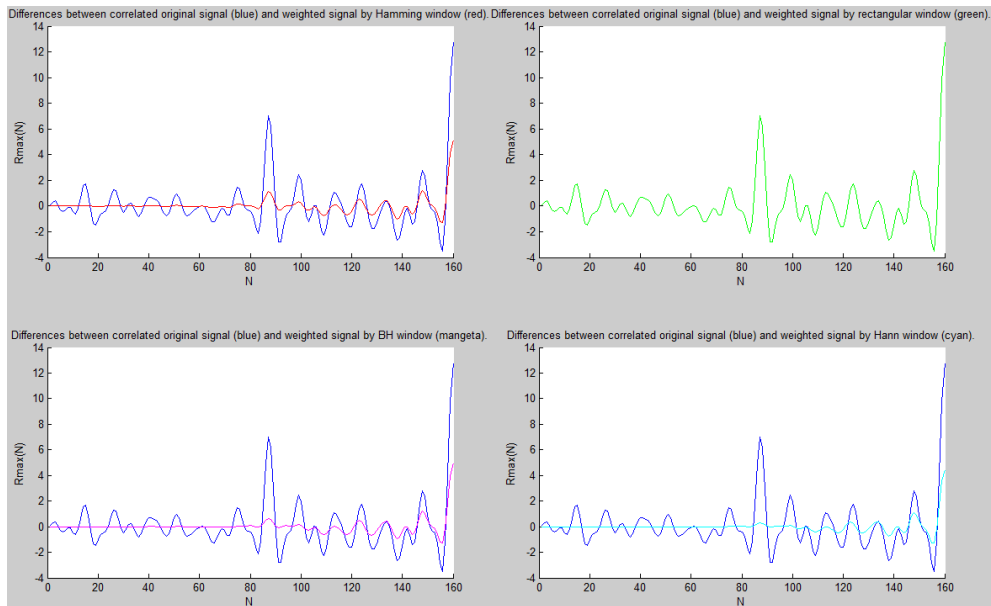
Obr. 33: Ukázky průběhů různých oken a váhovaných signálů.

Pro takto různě váhovaný segment je vypočtena následně autokorelace, počet průchodů signálu nulou, energie signálu, FFT a LPC spektrum, LSP koeficienty, první a druhá derivace LPC spektra. Obrázky 34 až 38 ilustrují situace vypočtené na zvoleném úseku. Počet průchodů signálu nulou je vyřešen stejným způsobem jako u hledání lokálních extrémů a inflexních bodů LPC spektra. V tomto případě však zdrojový kód pro Hammingovo okno vypadá následovně.

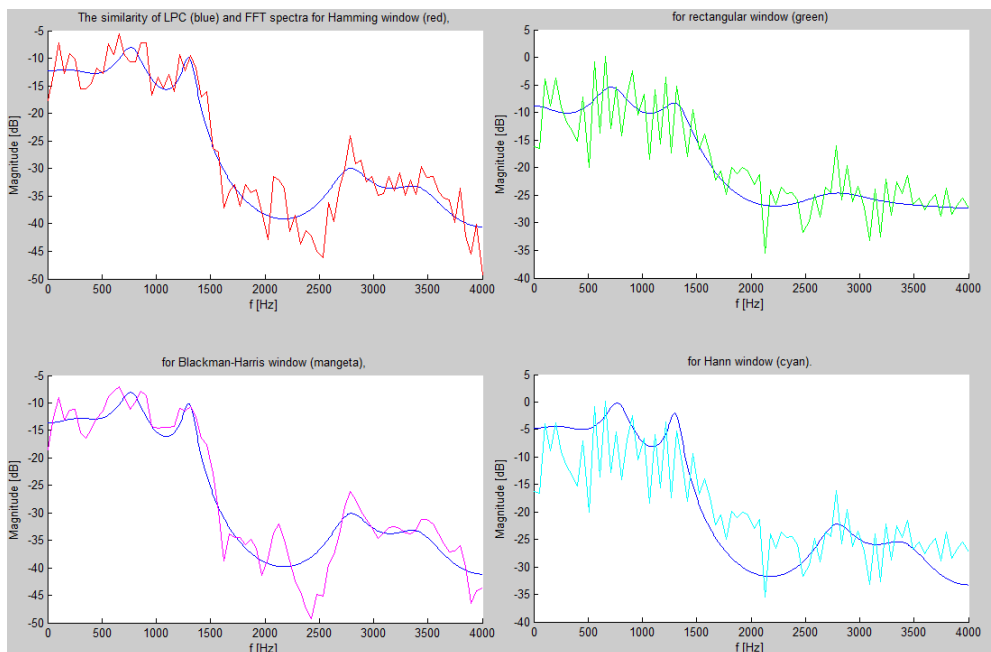
```

count=0;
hamm=norm*y(minimuml:maximuml,n).*hamming(h_win);      %vahovaniH.O.
sig=sign(hamm);
for a =(2:length(hamm))    %zjisteni poctu pruchodu nulou
    if sig(a) ~= sig(a-1) && sig(a) ~= 0 && sig(a-1) ~= 0
        count = count + 1;          %inkrementace poctu
    end
end
disp(sprintf('The number of signal zero crossing after using the
Hamm. window on this segment is %i.',count))

```



Obr. 34: Autokorelace různě váhovaného úseku zvukového signálu.



Obr. 35: FFT a LPC spektra různě váhovaného úseku zvukového signálu.

```

.....Processing DONE.....
Choose the desired segment from 1 to 5896 or press N for abort:

Segment no. 1216

The number of zero crossing of original signal on this segment is 22.
The number of signal zero crossing after using the Hamm. window on this segment is 22.
The number of signal zero crossing after using the rectangular window on this segment is 22.
The number of zero crossing after using the Hann window on this segment is 22.
The number of zero crossing after using the BH window on this segment is 24.

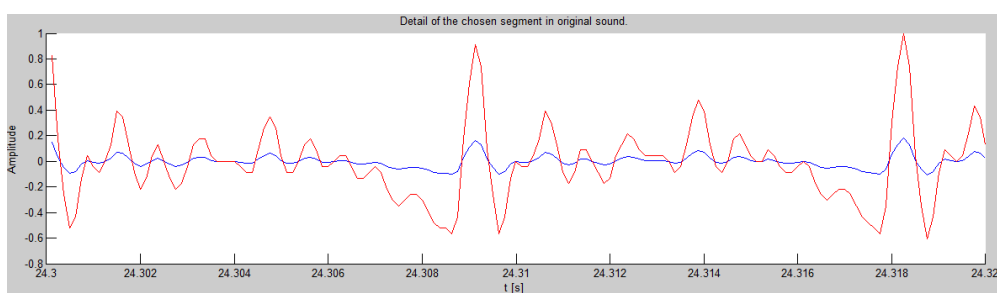
The energy by Hamm. window weighted signal on this segment is 5.125653e+000.

Choose the desired segment from 1 to 5896 or press N for abort:

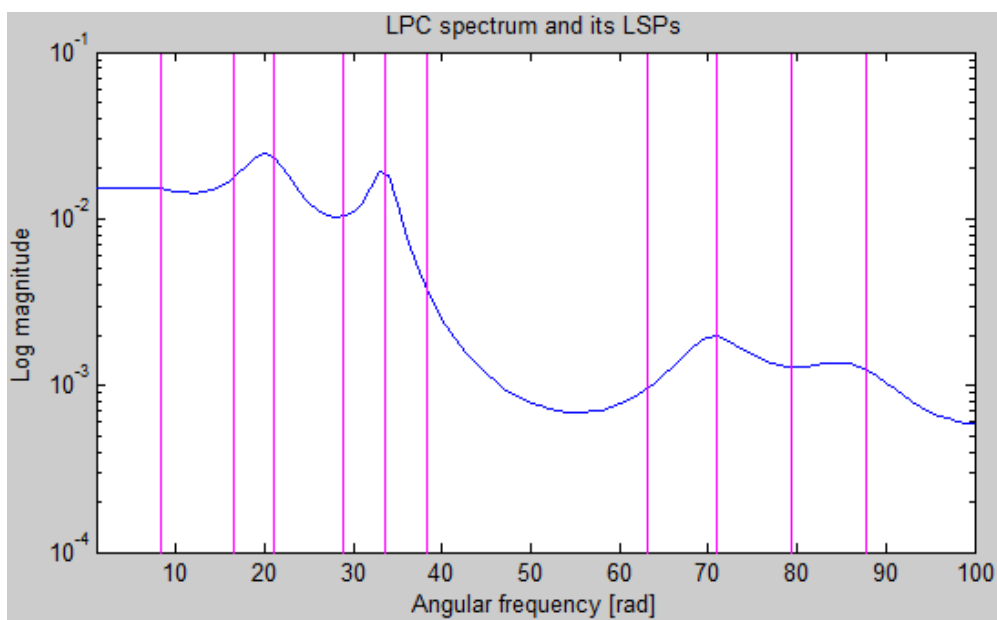
Segment no. |

```

Obr. 36: Energie signálu a počet průchodů nulou pro uživatelem zadaný úsek.



Obr. 37: Průběh původního, modrého, zvukového signálu a normovaného, červeného, signálu na zvoleném úseku.



Obr. 38: Vypočtené LPC spektrum a odpovídající LSP pro váhovaný signál Hammingovým oknem.

Touto podkapitolou byly představeny všechny funkce vyhotoveného první programu, který je součástí softwarového systému pro multimediální zpracování

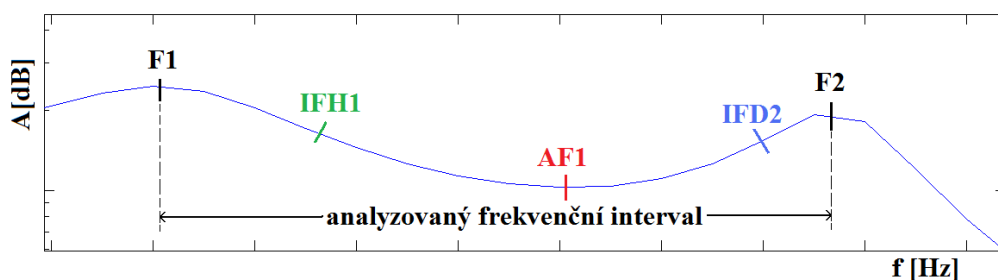
signálů. Druhý program, sloužící k statistickému vyhodnocení výsledků získaných prvním programem, je popsán v následujícím textu.

6.2 Program pro statistické zpracování dat

Druhou část zrealizovaného softwarového systému tvoří program pro statistické zpracování vytěžených parametrů řečového signálu. Tento program pracuje s daty, získanými předchozím programem. Jedná se opět o konzolovou aplikaci psanou v MATLABu.

6.2.1 Princip programu

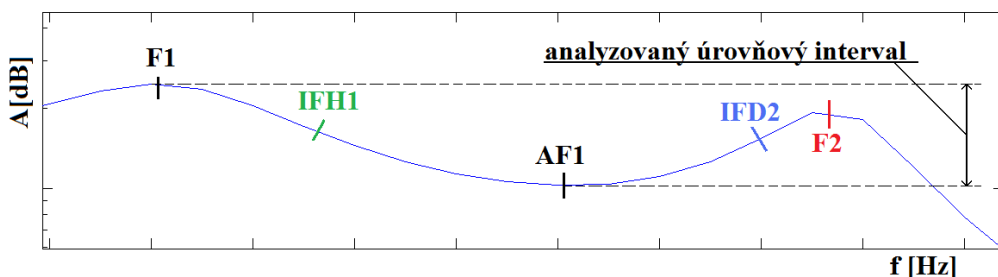
Vytvořená aplikace generuje dva druhy histogramů. Prvním histogramem program ilustruje relativní polohu inflexních bodů a antiformantu mezi sousedními formanty F1 a F2, F2 a F3, F3 a F4. Obrázkem 39 je vysvětlen analyzovaný interval pro vytvoření prvního druhu histogramů, který se zabývá relativní polohou významných bodů ve frekvenčním smyslu. V obrázku 39 je horní inflexní bod formantu F1 označen IFH1, dolní inflexní bod formantu F2 je označen IFD2. První antiformant má označení AF1.



Obr. 39: Významné body pro určení příslušných relativních frekvenčních poloh.

Obrázkem 39 je patrné, že velikost vzdálenosti $|F1, F2|$ odpovídá hodnotě 100%. Od tohoto faktu jsou odvozeny ostatní relativní vzdálenosti vůči formantu F1, např. $|F1, IFH1|$.

Druhý typ histogramů je analogií prvního typu. V tomto případě je ale pozměněný interval analyzován z úrovněového hlediska. Krajními body intervalu jsou nyní aktuální formant s antiformantem. Mezi těmito krajními body je analyzována relativní poloha úrovní inflexních bodů a následujícího formantu. Obrázkem 40 je vysvětlen princip zkoumání intervalu z úrovněového hlediska.



Obr. 40: Významné body pro určení příslušných relativních poloh úrovní.

Obrázek 40 je patrné, že nyní hodnota 100 % odpovídá vzdálenosti $|F1, AF1|$. Ostatní relativní hodnoty opět vychází z formantu F1. Z dosazených dat program dále vypočte průměrné hodnoty a směrodatné odchylky každého formantu.

6.2.2 Obsluha a popis

Po spuštění programu je na hlavní obrazovku vypsán požadavek, aby uživatel zadal název souboru s vhodnými daty. Tento požadavek je vypsán celkem pětkrát- pro každou samohlásku odděleně. Před samotným zadáváním jednotlivých názvů souborů, je nutné importovat vygenerované soubory prvním programem do stejného umístění, kde se nachází program pro statistické zpracování dat.

Odpovědí na dotaz ohledně analyzovaného souboru je zadání názvu souboru bez přípony. V tomto případě se vždy zadává vygenerovaný datový soubor, jehož název začíná příslušnou samohláskou. Na obrázku 31 se tento soubor nachází na první pozici od shora. Obrázek 41 je demonstrováno zadání názvu souboru a jeho zpracování.

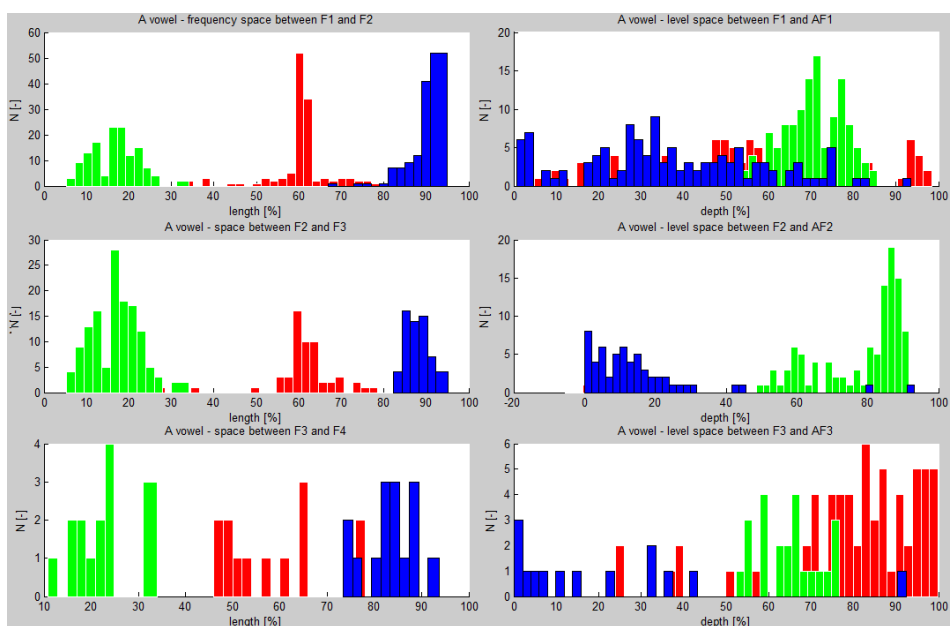
```
Set the data matrix for A vowel:

Name file: A_morseovka_14_May_2012_23_13_15

Processing...
```

Obr. 41: Zadávání názvu souboru s parametry samohlásky /a/.

Zvolený soubor je ihned zpracován, a po dokončení nezbytných procesů je zobrazen příslušný soubor histogramů pro zadanou samohlásku. Obrázek 42 znázorňuje vyhotovené histogramy, a je přímým pokračováním obrázku 41. Levá polovina obr. 42 představuje analyzovaný frekvenční prostor mezi formanty. Pravá polovina téhož obrázku znázorňuje úroňový prostor mezi příslušnými formanty a antiformanty.



Obr. 42: Histogramy samohlásky /a/.

Barevné označení histogramů v obr. 42 pro danou situaci odpovídá barevnému označení významných bodů v obrázcích 39 a 40. Po zadání souborů s daty pro jednotlivé samohlásky pro vypočte základní statistické údaje formantů. Konkrétně je vypočtena směrodatná odchylka a průměr pro formanty F1, F2, F3 a F4. Ukončením těchto výpočtů je uživatel požádán, aby zadal dvojici formantů, která ho zajímá. Nejprve je nutné zadat číslo prvního formantu, a následně číslo druhého formantu. Tato situace je zachycena na obrázku 43.

```
Set the data matrix for U vowel:

Name file: U_normal_O3_May_2012_11_47_32

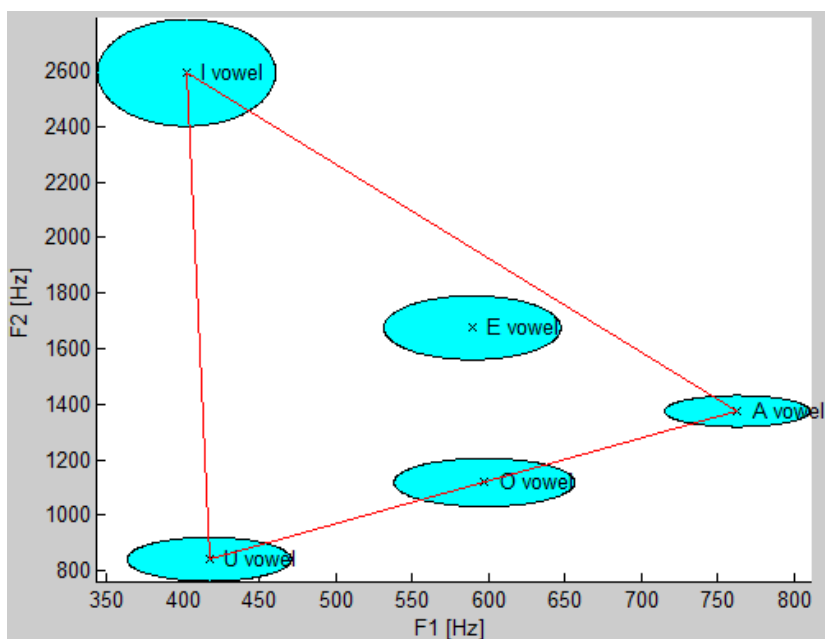
Processing...

Choose which couple of formants you want to plot.

The formant number: 1
and the second formant is number: 2
```

Obr. 43: Zadání kýžených formantů.

Z obrázku 43 je patrné, že byly zadány formanty F1 a F2. Nyní program provede patřičné vykreslení, které spočívá ve vykreslení elipsy pro každou samohlásku. Souřadnice x středu elipsy odpovídá průměrné hodnotě prvně zadaného formantu. Souřadnici y určuje střední hodnota formantu, který byl zadán jako druhý v pořadí. Délka hlavní poloosy elipsy je určena první směrodatnou odchylkou, kdežto vedlejší poloosa elipsy má velikost druhé směrodatné odchylky. Pro vykreslení elipsy byla použita funkce `ellipse.m` dostupná z [16]. Obrázek 44 zobrazuje statistické údaje formantů F1 a F2, a je přímým pokračováním obrázku 43.

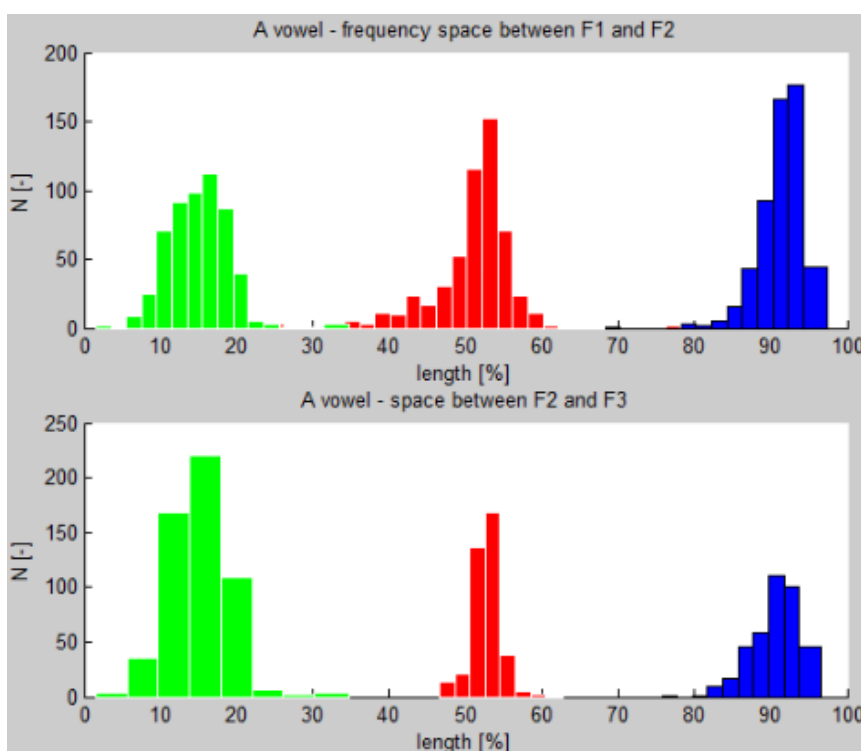


Obr. 44: Zobrazení statistických parametrů formantů F1 a F2 pro všechny samohlásky.

Vykreslením těchto statistických údajů dospěje program do svého závěru a je ukončen. Pro zobrazení dalších statistických průběhů je tedy nutné program opět znovu spustit a projít všemi nezbytnými procedurami. Při řešení této diplomové práce nebylo opětovné spouštění programu pro statistické vyhodnocení dat bráno jako problém, a tak nebyla vyhotovena uživatelská smyčka jako v případě prvního programu. Tento problém by se dal vyřešit implementací pár řádek kódu s použitím příkazu `while` do stávajícího zdrojového kódu.

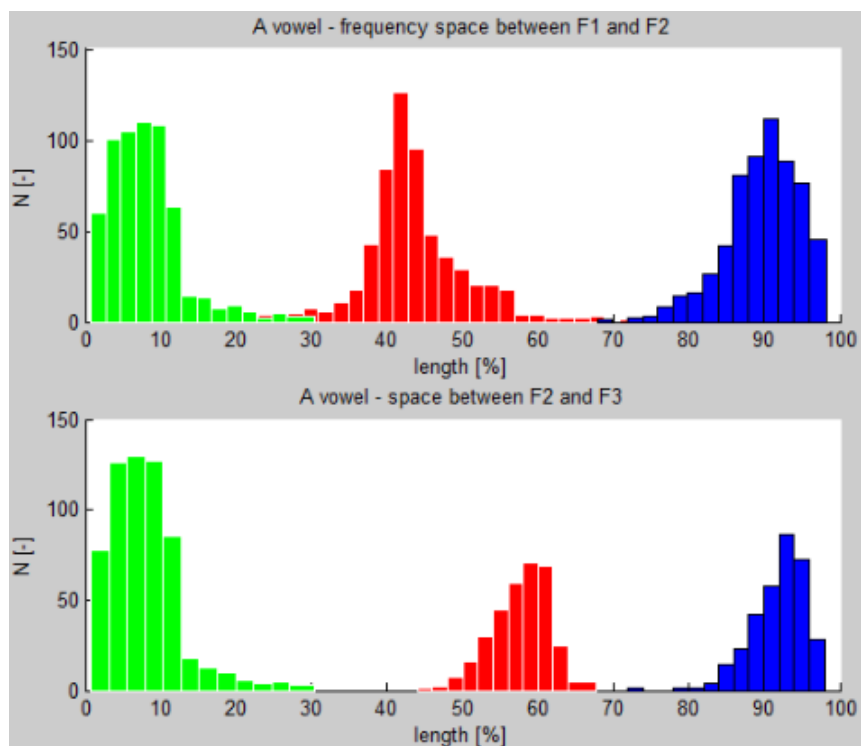
6.3 Využití softwarového systému

V průběhu řešení této diplomové práce byly uskutečněny pomocí vytvořeného systému některé operace nad rámec diplomové práce. Například byly zkoumány rozdíly parametrů řeči pro různé simulované stavy mluvčího. Konkrétně byly povrchově zkoumány viditelné rozdíly mezi tvary histogramů pro tutéž samohlásku, mluvčího i text. Obrázek 45 znázorňuje frekvenční prostor mezi formanty F1, F2 a F2, F3 pro normální stav mluvčího a vyhledanou samohlásku /a/.

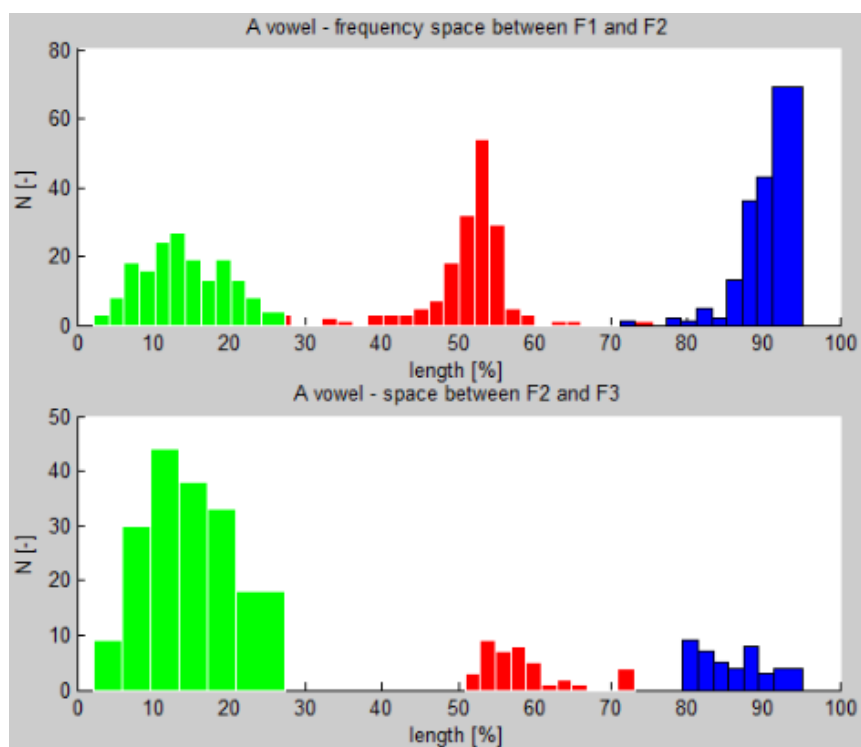


Obr. 45: Prostor mezi F1, F2 a F2, F3 samohlásky /a/ pro normální stav mluvčího.

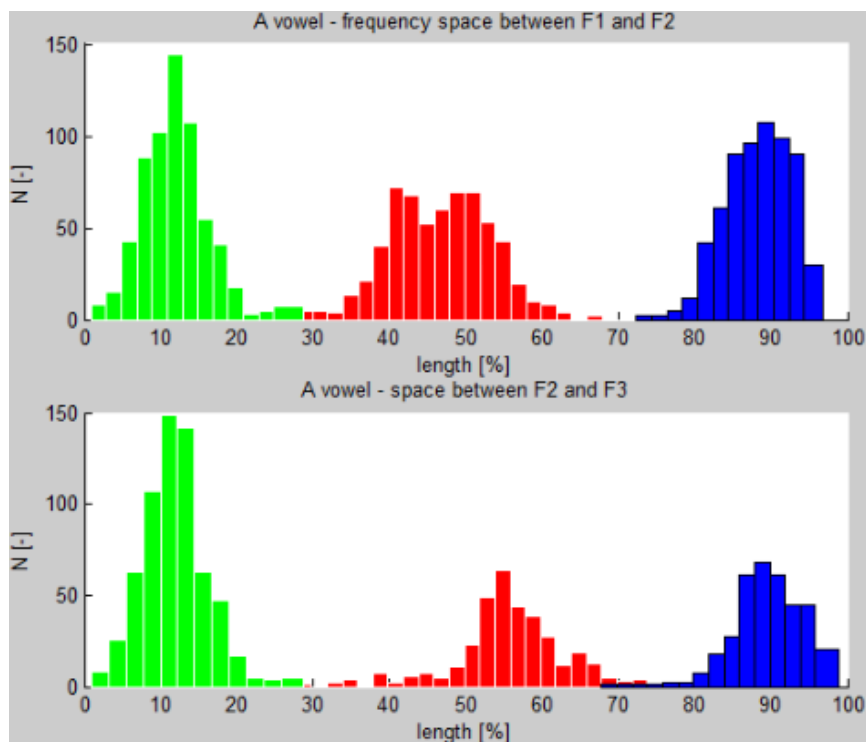
Histogramy na obrázcích 46, 47, 48 a 49 jsou pro identického mluvčího i identickou samohlásku. Liší se u nich pouze momentální psychické rozpoložení řečníka. Pro účely této diplomové práce byly pořízeny pouze záznamy řeči simulovaných stavů. Obrázek 46 znázorňuje vztek mluvčího, obrázek 47 ilustruje znučeného mluvčího. Histogramy na obrázku 48 charakterizují identického mluvčího opojeného alkoholem, a obrázek 49 vypovídá o radostném rozpoložení mluvčího.



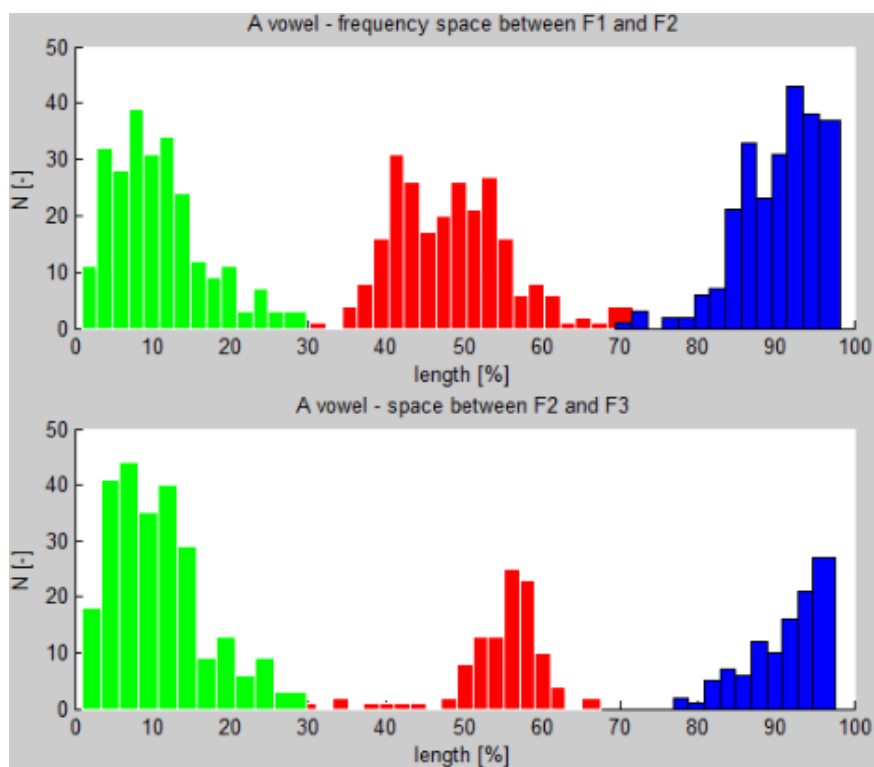
Obr. 46: Prostor mezi F1, F2 a F2, F3 samohlásky /a/ pro vztek.



Obr. 47: Prostor mezi F1, F2 a F2, F3 samohlásky /a/ pro depresivní stav mluvčího.



Obr. 48: Prostor mezi F1, F2 a F2, F3 samohlásky /a/ pro mluvčího opojeného alkoholem.



Obr. 49: Prostor mezi F1, F2 a F2, F3 samohlásky /a/ pro radostný stav mluvčího.

Letným porovnáním předchozí série pěti obrázků lze dospět k několika závěrům. Z obrázku 45 a 47 lze spatřit, že při simulovaném depresivním rozpoložení mluvčího

dochází k výraznému snížení výskytu AF2. Tento fakt je dán největší pravděpodobností tím, že nedochází při této náladě k potřebné rezonanci některých dutin, a tak v mnoha případech nedojde vůbec ke vzniku formantu F3. Obrázkem 46 je patrné, že rozložení polohy u antiformantu AF2 je při vzteklém rozpoložení řečníka typu gamma, kdežto u normálního stavu mluvčího se jedná o Gaussovo rozložení. Dále si je možné všimnout, že jednotlivé histogramy pro simulovanou opilost a radost jsou si velmi podobné. U těchto dvou stavů převažuje normální rozložení jednotlivých histogramů nad rozložením gamma. Ve většině případů je tomu právě naopak.

Detailnější analýzou získaných histogramů pro různé stavy mluvčího a všechny samohlásky by mohla vést cesta např. k určování emočních stavů mluvčího. V tomto případě by bylo nutné pořídit několik záznamů řeči při různých reálných stavech mluvčího. Následně by bylo nutné vytvořené histogramy podrobně analyzovat. Pro relevantnost a směrodatnost budoucích výsledků by také bylo zapotřebí pořídit co nejobjemnější soubor užitečných segmentů pro co největší počet mluvčích.

Nad rámec diplomové práce byla také zkoumána vhodnost použití jednotlivých metod k identifikaci mluvčího právě pomocí vytvořeného softwarového systému. Získané výsledky jsou shrnuty v práci [17].

Vzhledem k již vyzkoušeným aplikacím, by mohl vytvořený systém sloužit k několika dalším účelům. Jedná se tedy, dle mého názoru, o užitečný nástroj, který může být dodatečným rozšířením nápomocen i v dalších oblastech analýzy řečových signálů.

Závěr

Vytvořenou diplomovou prací se podařilo v první části zrealizovat anglické multimediální podklady k výuce signálů, které obsahují několik interaktivních studijních pomůcek sloužící jako doprovodné programy samotné výuky předmětu BSIS.

Po řádném promyšlení všech výhod jednotlivých způsobů prezentace těchto multimediálních materiálů bylo docíleno závěru, že nejlepší formou prezentace vytvořeného obsahu jsou webové stránky. Vytvořené internetové stránky jsou upravenou open source šablonou. Všechna vzniklá rozšíření internetové aplikace jsou napsána jazykem HTML a PHP.

Obsahovou formou doplňující formu vizuální tvoří vypracované materiály především v programovacím prostředí MATLAB implementované do webových stránek. Ve vytvořené aplikaci je k dispozici rozmanitý obsah probírané látky. Jsou zde k nalezení testy z oblasti periodicity signálu, Dirichletových podmínek, linearity systému na základě podobnosti časových průběhů signálů a jejich spekter. Dále internetové stránky disponují animovanými ukázkami konvoluce a jejich produktů, zvukovými ukázkami a řešeným příkladem. Multimediální podklady disponují také částí, simulující průchod zvoleného signálu systémem.

Vypracováním první části diplomové práce se podařilo vytvořit pevný základ pro případné její rozšíření. Aby se první část stala plnohodnotným e-learningovým kurzem, bude nutné stávající podklady rozšířit o problematiku diskrétních signálů, více řešených příkladů a doprovodné texty. Případnou budoucí práci na vytvořených podkladech by mohlo také být rozšířením stávajících multimediálních podkladů o databázový systém, např. MySQL, aby vznikl plnohodnotný e-learningový systém. Pokud by došlo k české lokalizaci podkladů, mohla by aplikace sloužit jako výukový kurz předmětu BSIS studentům dálkového studia.

Druhou částí diplomové práce byl zrealizován softwarový systém. Vytvořený softwarový systém se skládá ze dvou dílčích programů. První program slouží k vyhledávání samohlásek v plynulé řeči na základě umístění lokálních maxim (formantů) LPC spektra. Jedná se o konzolovou aplikaci vytvořenou v programovacím prostředí MATLAB, do které zadá uživatel název analyzovaného souboru a požadovanou samohlásku, kterou chce vyhledat.

Program využívá segmentaci vstupního zvukového signálu na krátké úseky o délce 20 ms. Každý úsek je vypočteno LPC spektrum. Pomocí derivací tohoto spektra jsou nalezeny frekvence formantů. Pokud je zaznamenán výskyt prvních dvou formantů v obvyklém frekvenčním pásmu pro danou samohlásku, je úsek vyhodnocen jako užitečný. Pro užitečné úseky jsou nadále vypočteny další spektrální parametry řečového signálu. Pro každý užitečný úsek je následně uchován společně s vytěženými parametry. Výstupem dokončené analýzy zadaného zvukového souboru je nový zvukový soubor s úseky hledané samohlásky a datové soubory s vytěženými parametry řečového signálu.

První program také slouží k demonstraci dalším operací se zvukovým souborem. Uživatel po provedení analýzy zvukového souboru zadává segmenty, které

chce zobrazit. Pro zadaný úsek jsou vykresleny průběhy signálu váhovány různými okny, příslušná LPC a FFT spektra, jsou vypočteny LSP koeficienty a zobrazeny čárové spektrální páry. Také je zobrazena příslušná autokorelace, vypočten počet průchodů signálu nulou a krátkodobá energie signálu.

Pro správnou detekci úseků vyhledávané samohlásky je nutné analyzovat kvalitní zvukový záznam. Správnost detekce může zejména negativně ovlivnit příliš vysoká citlivost mikrofону, která způsobuje silné zkreslení řečového signálu při krátké distanci mezi řečníkem a mikrofónem. Dalšími faktory, které mohou negativně ovlivnit detekci, jsou např. zkreslení mikrofónu, kvalita zvukové karty atd.

Druhý program se stará o interpretaci vytěžených dat prvním programem pomocí statistických výsledků. Opět se jedná o konzolovou aplikaci, která byla vytvořena v programovacím prostředí MATLAB. Uživatel je vyzván k zadání názvů souborů s daty pro jednotlivé samohlásky. Pomocí těchto souborů program analyzuje relativní polohu významných bodů z frekvenčního a úroňového hlediska pro tři intervaly LPC spektra. Relativní polohu významných bodů poté zobrazuje ve formě histogramů. Po provedení všech procedur je uživatel vyzván k tomu, aby zadal požadovanou dvojici formantů, pro kterou chce zobrazit základní statistické údaje.

Nad rámec této práce bylo také analyzováno, pomocí vytvořeného systému, několik emočních stavů mluvího, pro které byly vytvořeny histogramy. Obdržené histogramy byly pouze zkoumány z vizuálního hlediska. Konkrétně byly srovnávány tvary histogramů pro simulované stavy mluvího. Nad rámec diplomové práce bylo také provedeno porovnání vhodnosti použití různých metod k identifikaci mluvího pomocí vytvořeného softwarového systému.

Vytvořený softwarový systém je tedy užitečný nástroj k analýze zvukových souborů, resp. řečových signálů, který nalezne uplatnění i v dalších aplikacích než těch, které byly uvedeny v této práci. V případě absence některé požadované funkce je možné program rozšířit, a tak se dopracovat dalších kýžených výsledků.

Díky již vyzkoušeným aplikacím může být zrealizovaný systém využit pro případnou budoucí výzkumnou činnost z oblasti analýzy řečových signálů.

Zdroje a literatura

- [1] CERN. European Organization for Nuclear Research [online], c2011.
URL: <<http://public.web.cern.ch/public>>
- [2] WHATWG. Web Hypertext Application Technology Working Group [online], c2011.
URL: <<http://www.whatwg.org>>
- [3] CIBULKA, T. Návrh softwarových testů BSIS: bakalářská práce [online], c2010.[cit.2011-12-01].
URL:<https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=28201>
- [4] PHP Group. PHP Manual. [online], c2011. URL:<<http://www.php.net/manual/en>>.
- [5] JAKPSATWEB. EasyPHP. [online], c2011.
URL: <<http://www.jakpsatweb.cz/php/easyphp.html>>.
- [6] MATHWORKS. MATLAB – The Language Of Technical Computing [online], c2011.
URL: <http://www.mathworks.com/products/MATLAB/?s_cid=global_nav>.
- [7] Asial. JpGraph [online], c2011. URL:<<http://www.jpgraph.net>>.
- [8] Free Web Templates. SimpleStyle_5 [online], c2011.
URL:<<http://www.freewebtemplates.com/downloads/popular/11632>>.
- [9] YAHOO!. Yahoo! WebPlayer [online], c2011.
URL:<<http://www.webplayer.yahoo.com/#update>>.
- [10] KAHSAI, L. Animated convolution [online], c2004.
URL:<<http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/4616>>.
- [11] KRČMOVÁ, M. Fonetika: Mluvní orgány a jejich funkce [online]. FF MU Brno, 2007.
[cit. 2012-07-05]. URL: <<http://is.muni.cz/elportal/estud/ff/js07/fonetika/materialy/ch05s01.html>>.
- [12] PSUTKA, J. *Mluvíme s počítačem česky*. Praha: Academia, 2006. 746 s. ISBN 80-200-1309-1.
- [13] McLOUGHLIN, I. *Applied speech and Audio Processing: With Matlab Examples*. Cambridge University Press, 2009. 218 s. ISBN 978-0-521-51954-0.
- [14] KOČÍ, M. Rozpoznání slov diskrétního diktátu: diplomová práce [online], c2010.
[cit.2012-04-21]. URL:<http://dspace.upce.cz/bitstream/10195/36914/1/KociM_rozpoznani_slov_ZN_2010.pdf>.
- [15] SIGMUND, M. *Rozpoznávání řečových signálů*. Skriptum FEKT VUT, Brno, 2007.
- [16] LONG, D. Ellipse [online], c1998.
URL:<<http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/289>>.
- [17] STANĚK, M., SIGMUND, M. *Porovnání efektivity řečových spektrálních parametrů pro identifikaci mluvčích*. Electorevue, 2012 (v recenzi).

- [18] ALENCAR, M., da ROCHA, V. Communication Systems [online], c2005. URL: <<http://books.google.cz/books?id=X2d28MNmyagC>>.
- [19] BARROW, M. Project Britain: British live & culture [online], c2010. URL: <<http://www.woodlands-junior.kent.sch.uk/customs/questions/americanbritish.html>>.
- [20] ERTINGER, Z., SKLENÁŘ, J. *Signály a soustavy*: skriptum. Praha: SNTL, 1987. 198 s.
- [21] GILMORE, J. *Velká kniha PHP 5 a MySQL*. 1. vydání, Brno: ZONER Press, 2005. 711 s. ISBN 80-86815-20-X.
- [22] JAN, J. *Číslíková filtrace, analýza a restaurace signálů*. 2. vydání, Brno: VUTUM, 2002. 427 s. ISBN 80-214-1558-4.
- [23] JAN, J. *Medical Image Processing, Reconstruction and Restoration: concepts and methods*. 1. vydání, New York: Taylor & Francis Group, 2006. 710 s. ISBN 0-8247-5849-8.
- [24] JAN, J., KOZUMPLÍK, J. *Systémy, procesy a signály – Studijní texty pro obor Výpočetní technika a informatika*: skriptum. Brno: VUTUM, 2000. 123 s. ISBN 80-214-1593-2.
- [25] O'SHAUGHNESSY, D. *Speech communication Human and Machine*. Addison-Wesley Publishing company, 1987. 568 s. ISBN 0-201-16520-1.
- [26] RABINER, L.R., JUANG, B.H. *Fundamentals of Speech Recognition*. Prentice-Hall, Englewood-Cliffs, 1993.
- [27] RABINER, L. Terminology in Digital Signal Processing [online], c1972. URL: <http://www.ece.ucsb.edu/Faculty/Rabiner/ece259/Reprints/048_terminology.pdf>.
- [28] SMITH, S. The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing [online], c1997-2006. URL: <<http://www.dspguide.com/pdfbook.htm>>.
- [29] ŠEBESTA, V., SMÉKAL, Z. *Signály a soustavy*: skriptum. Brno: FEKT VUT v Brně, 2004.
- [30] ŠEBESTA, V. *Signály a soustavy - II. díl*: skriptum. Praha: SNTL, 1983. 118 s.
- [31] ŠEBESTA, V. *Signály a soustavy – Sbírka příkladů*: skriptum. Praha: SNTL, 1984. 104 s.
- [32] ULLMAN, L. *PHP a MySQL*. 1. vydání, Brno: Computer Press, 2004. 536 s. ISBN 80-251-0063-4.
- [33] WIKIPEDIA. American and British English differences. [online], c2011. URL: <http://www.en.wikipedia.org/wiki/American_and_British_English_differences>.
- [33] WIKIPEDIA. HTML. [online], c2011. URL: <<http://www.en.wikipedia.org/wiki/HTML>>.

Seznam symbolů, veličin a zkratek

B	Šířka formantu
f_{vz}	Vzorkovací kmitočet
Hz	Hertz, jednotka frekvence
s	Sekunda, jednotka času
t	Čas
U	Napětí
V	Volt, jednotka napětí
ln	Přirozený logaritmus
log	Logaritmus o základu 10
sin	Sinus, goniometrické funkce
*.swf	ShockWave Flash, formát tzv. flashových animací
*.gif	Graphics Interchange Format, obrazový formát umožňující tvorbu jednoduchých animací
AF	Antiformant
AAF	Anti-aliasing filter, Anti-aliasingový filtr
AMDF	Average Magnitude DifferenceFunction
BSIS	Signály a soustavy (předmět na bakalářském stupni EST)
CSS	Cascading Style Sheets, tabulky kaskádových stylů
DCT	Discrete Cosine Transform, Diskrétní kosinová transformace
DFT	Discrete Fourier Transform, Diskrétní Fourierova Transformace
EST	Elektronika a sdělovací technika, studijní obor na FEKT
F	Formant
FEKT	Fakulta Elektrotechniky a komunikačních technologií, VUT
FFT	Fast Fourier Transform, Rychlá Fourierova transformace

GSM	Groupe Spécial Mobile, Globální Systém pro Mob. komunikaci
GUI	Graphic User Interface, Grafické uživatelské prostředí
HTML	HyperText Markup Language, hypertextový značkovací jazyk
HTTP	HyperText Transfer Protocol, protokol pro přenos hypertextu
IFD	Dolní inflexní bod formantu
IFH	Horní inflexní bod formantu
IIR	Infinite impulse response, Nekonečná impulsní odezva
LPC	Linear Predictive Coding, Lineární prediktivní kódování
LSP	Line Spectral Pairs, Čárové spektrální páry
MF	Mel-frequency, Melová frekvence
MFCC	Mel-Frequency Cepstral Coeficients
PHP	Hypertext Preprocessor, programovací jazyk
SQL	Structured Query Language, strukturovaný dotazovací jazyk sloužící především pro práci s daty uložených v databázi
UK	Britská angličtina
US	Americká angličtina
VUT	Vysoké učení technické v Brně
WML	Wireless Markup Language, jazyk pro mobilní zařízení sloužící ke tvorbě HTML dokumentů
XHTML	eXtensible HyperText Markup Language, rozšiřitelný hypertextový značkovací jazyk

Seznam příloh

A	VYTVOŘENÉ SLOVNÍKY	53
A.1	Česko-anglický slovník.....	53
A.2	Anglicko-český slovník	58
B	VYTVOŘENÉ PRŮBĚHY SIGNÁLŮ	64
B.1	Určení periodicity signálu.....	64
B.2	Určení linearity systému dle časových průběhů	65
B.3	Určení linearity systému dle spekter.....	66
B.4	Určení Dirichletových podmínek.....	67
B.5	Konvoluce.....	67

A VYTVOŘENÉ SLOVNÍKY

A.1 Česko-anglický slovník

CS	EN	poznámka
(druhá) odmocnina	square root	<i>adj. + noun</i>
(pokročilá) Z-tranformace	(advanced) Z-transform	<i>adj. + noun</i>
adaptivní, přizpůsobivý	adaptivní	<i>D, adj.</i>
aktuální hodnota veličiny	amplitude	<i>noun</i>
amplituda (maximální hodnota veličiny)	peak amplitude	<i>adj. + noun</i>
analogově-digitální	analog-to-digital	<i>adj.</i>
analogový	analog (US), analogue (UK)	<i>adj.</i>
analytický	analytical	<i>adj.</i>
analýza	analysis	<i>noun</i>
aproximace, odhad	approximation	<i>D, noun</i>
barva	color (US), colour (UK)	<i>noun</i>
bilinéární transformace	bilinear transform	<i>adj. + noun</i>
bílý šum	white noise	<i>adj. + noun</i>
binární	binary	<i>adj.</i>
biologický	biological	<i>adj.</i>
blokové schéma	block diagram	<i>adj. + noun</i>
bodový graf	line graph	<i>adj. + noun</i>
časová oblast	time domain	<i>C, adj. + noun</i>
datový	data	<i>adj.</i>
délka	length	<i>noun</i>
dialog, dialogový	dialog (US), dialogue (UK)	<i>noun, adj.,</i>
digitálně-analogový	digital-to-analog	<i>adj.</i>
digitální	digital	<i>adj.</i>
Diracův impuls	Dirac impulse	<i>adj. + noun</i>
Diskrétní časová Fourierova transformace (DTFT)	Discrete-time Fourier transform	<i>D</i>
Diskrétní Fourierova transformace (DFT)	Discrete Fourier transform	<i>D</i>
diskrétní, oddělený	discrete	<i>D, adj.</i>
dočasný	temporary	<i>adj.</i>
dolní propust	low-pass filter	<i>adj. + noun</i>
dosáhnout	to achieve	<i>verb</i>
druhá mocnina	sqare power	<i>adj. + noun</i>
dynamika	dynamics	<i>noun</i>
ergodický	ergodic	<i>adj.</i>
exponenciální váhování	exponential averaging	<i>adj. + noun</i>

CS	EN	poznámka
fáze, úhel	phase	<i>noun</i>
filtr	filter	<i>noun</i>
frekvence	frequency	<i>noun</i>
Gaussovský šum	Gaussian noise	<i>adj. + noun</i>
harmonický	harmonic	<i>adj.</i>
histogram	histogram	<i>noun</i>
hloubka	depth	<i>noun</i>
hodinový signál	clock signal	<i>adj. + noun</i>
hodnota	value	<i>noun</i>
homogenní, stejnorodý	homogeneous	<i>adj.</i>
horní propust	high-pass filter	<i>adj. + noun</i>
hudební	musical	<i>adj.</i>
hustota	density	<i>noun</i>
chyba	error	<i>D, noun</i>
Impulsní invariance	impulse invariance	<i>adj. + noun</i>
impulsní odezva	impulse response	<i>D</i>
interval	interval	<i>C, noun</i>
inverzní	inverse	<i>D, adj.</i>
jas	brightness	<i>noun</i>
jednotka	unit	<i>noun</i>
klesat	to decrease	<i>verb</i>
klouzavé okno	sliding window	<i>adj. + noun</i>
kompence	offset	<i>noun</i>
komplexní	complex	<i>adj.</i>
konečný	finite	<i>C, D=discrete, adj.</i>
kontrast	contrast	<i>noun</i>
konvoluce	convolution	<i>noun</i>
korelace	correlation	<i>noun</i>
kosinus	cosine	<i>noun</i>
kroky, postupy	approaches	<i>noun</i>
kumulativní metody	cumulating methods	<i>adj. + noun</i>
kvantizace	quantization	<i>D, noun</i>
lineární	linear	<i>adj.</i>
mapování	mapping	<i>D, noun</i>
matice (sg.)	matrix	<i>D, 2dimensional, singular</i>
matice (pl.)	matrices	<i>D, 2dimensional, plural</i>
mezí kmitočet	cutoff frequency	<i>adj. + noun</i>
modulace	modulation	<i>noun</i>
monotónní, jednotvárný	monotonous	<i>adj.</i>

CS	EN	poznámka
náčrt	sketch	<i>noun</i>
náhodný	arbitrary	<i>C, adj.</i>
napětí	voltage	<i>noun</i>
následek	consequence	<i>noun</i>
návrh	design	<i>noun</i>
negativní, záporná	negative	<i>adj.</i>
nejméně významný bit	least significant bit	<i>D</i>
nejvíce významný bit	most significant bit	<i>D</i>
nekonečno, nekonečný	infinite	<i>C, noun, adj.</i>
nelineární	non-linear	<i>adj.</i>
nepočítatelný	uncountable	<i>C, adj.</i>
nezávislý	independent	<i>adj.</i>
nosná (frekvence)	carrier (frequency)	<i>adj. + noun</i>
Notch filtr	Notch filter	<i>adj. + noun</i>
n-tá odmocnina	n-th root	<i>adj. + noun</i>
Nyquistův teorém	Nyquist theorem	<i>D</i>
oblast	domain	<i>noun</i>
obnovený	restored	<i>adj.</i>
obrácený, opačný	reverse	<i>adj.</i>
obrazový	image	<i>adj.</i>
odhad	estimation	<i>noun</i>
odkódovat	to decode	<i>D, verb</i>
odpovídající	corresponding	<i>adj.</i>
opakované signály	repetitive signals	<i>adj. + noun</i>
opakování	repetition	<i>noun</i>
osa x	horizontal axis, x-axis	<i>adj. + noun</i>
osa y	vertical axis, y-axis	<i>adj. + noun</i>
ostření	sharpening	<i>D, 2dimensional</i>
osy	axes	<i>noun</i>
pásmová propust	band-pass filter	<i>adj. + noun</i>
pásmová zadrž	band-stop filter	<i>adj. + noun</i>
perioda	period	<i>noun</i>
pevná (délka)	fixed (length)	<i>D, adj.</i>
platnost	validity	<i>noun</i>
počáteční	initial	<i>adj.</i>
podobnost	similarity	<i>D, noun</i>
podvzorkování	undersampling	<i>D, noun</i>
pohyblivá / proměnná (délka)	floating (length)	<i>D, adj.</i>
pohybový	motion	<i>adj.</i>
poměr signál-šum	signal to noise ratio (SNR)	<i>noun</i>

CS	EN	poznámka
pomocná (osa)	auxiliary (axis)	<i>adj. + noun</i>
popis	description	<i>noun</i>
porovnáváný	compared	<i>adj.</i>
poškozen	corrupted	<i>adj.</i>
potlačit	to suppress	<i>verb</i>
pozitivní, kladná	positive	<i>adj.</i>
požadovaný	required	<i>adj.</i>
pravidlo změny stupnice	change-of-scale rule	<i>D, 2dimensional</i>
proměnná, proměnlivý	variable	<i>noun</i>
prostorový	spatial	<i>D, adj.</i>
proud	current	<i>noun</i>
průměrování	averaging	<i>noun</i>
předběžný	preliminary	<i>adj.</i>
předloha, vzorek	pattern	<i>noun</i>
překrytí spekter	aliasing	<i>D, noun</i>
přesnost	precision, accuracy	<i>D, noun</i>
převodník	converter	<i>noun</i>
převzorkování	oversampling	<i>D, noun</i>
přídavný	additive	<i>adj.</i>
přírůstek, nabývání	acquisition	<i>D, noun</i>
rámec	frame	<i>D, noun</i>
rekonstrukce	reconstruction	<i>D, noun</i>
rovina	plane	<i>noun</i>
rovnoměrné váhy	uniform weights	<i>adj. + noun</i>
rozhodovací úroveň (mez)	decision boundary	<i>D</i>
rozlišení, rozklad	resolution	<i>D, noun</i>
rozměr	dimension	<i>noun</i>
rozsah	range	<i>noun</i>
růst	to increase	<i>verb</i>
řádek	row	<i>noun</i>
řečový	speech	<i>adj.</i>
řešení	solution	<i>noun</i>
sekvence	sequence	<i>noun</i>
sestupující, klesající	descending	<i>adj.</i>
signál	signal	<i>noun</i>
sinus	sine	<i>noun</i>
sloupcový graf	bar chart	<i>adj. + noun</i>
sloupec	column	<i>noun</i>
složky	components	<i>noun</i>
směs, smíchání	mixture	<i>adj. , noun</i>

CS	EN	poznámka
smyčka	loop	<i>noun</i>
spektrum, spektra	spectrum, spectra	<i>noun</i>
spojitý	continuous	<i>C=continuous, adj.</i>
stacionární	stationary	<i>adj.</i>
stochastický, náhodný	stochastic	<i>adj.</i>
stupně šedi	grey-scale	<i>noun</i>
širokopásmový	wideband	<i>adj.</i>
šířka	width	<i>noun</i>
šířka pásma	bandwidth	<i>D, noun</i>
špička	peak	<i>noun</i>
šum	noise	<i>noun</i>
šum typu pepř a sůl	pepper and salt noise	<i>D, 2dimensional</i>
šumové zlepšení	noise improvement	<i>adj. + noun</i>
trvání resp. doba trvání	duration	<i>noun</i>
tvarování	shaping	<i>noun</i>
účel	pupose	<i>noun</i>
úhlová frekvence	angular frequency	<i>adj. + noun</i>
úhlová rychlost	angular velocity	<i>adj. + noun</i>
ultrazvukový	ultrasonic	<i>adj.</i>
unikání	leakage	<i>noun</i>
úroveň	level	<i>D, noun</i>
užitečný	useful	<i>adj.</i>
vektor	vector	<i>noun</i>
video	video	<i>adj.</i>
vlastnosti	properties	<i>noun</i>
vlnková transformace	wavelet transform	<i>adj. + noun</i>
vstup, vstupní	input	<i>noun</i>
vyhlazování	smoothing	<i>noun</i>
výkon, mocnina	power	<i>noun</i>
výpočet	computation	<i>noun</i>
vyrovnání	equalisation	<i>noun</i>
výsledek	result	<i>D, noun</i>
výstup, výstupní	output	<i>noun, adj.</i>
vývojový diagram	flow chart	<i>adj. + noun</i>
vzorek	sample	<i>D, noun</i>
vzorkovací frekvence	sampling frequency/rate	<i>D, adj.+noun</i>
vzorkovací podmínka	sampling theorem	<i>D</i>
vzorkování	sampling	<i>D, noun</i>
vztah, spojení	relation	<i>noun</i>
zakódovat	to encode	<i>D, verb</i>

CS	EN	poznámka
zákon zachování celkové energie	total energy preservation law	
zkreslení	distortion	<i>noun</i>
zlepšit, zvýšit, obohatit	to enhance	<i>verb</i>
změna, posun	shift	<i>noun</i>
zobrazení nul a pólů	pole-zero mapping	<i>noun</i>
zpětná vazba	feedback	<i>noun</i>
zpracování	processing	<i>D, noun</i>
zvukový	sound	<i>adj.</i>

A.2 Anglicko-český slovník

EN	CS	poznámka
(advanced) Z-transform	(pokročilá) Z-tranformace	<i>adj. + noun</i>
acquisition	přírůstek, nabývání	<i>D, noun</i>
adaptivní	adaptivní, přizpůsobivý	<i>D, adj.</i>
additive	přídavný	<i>adj.</i>
aliasing	překrytí spekter	<i>D, noun</i>
amplitude	aktuální hodnota veličiny	<i>noun</i>
analog (US), analogue (UK)	analogový	<i>adj.</i>
analog-to-digital	analogově-digitální	<i>adj.</i>
analysis	analýza	<i>noun</i>
analytical	analytický	<i>adj.</i>
angular frequency	úhlová frekvence	<i>adj. + noun</i>
angular velocity	úhlová rychlost	<i>adj. + noun</i>
approaches	kroky, postupy	<i>noun</i>
approximation	aproximace, odhad	<i>D, noun</i>
arbitrary	náhodný	<i>C, adj.</i>
auxiliary (axis)	pomocná (osa)	<i>adj. + noun</i>
averaging	průměrování	<i>noun</i>
axes	osy	<i>noun</i>
band-pass filter	pásmová propust	<i>adj. + noun</i>
band-stop filter	pásmová zádrž	<i>adj. + noun</i>
bandwidth	šířka pásma	<i>D, noun</i>
bar chart	sloupcový graf	<i>adj. + noun</i>
bilinear transform	bilinéární transformace	<i>adj. + noun</i>
binary	binární	<i>adj.</i>
biological	biologický	<i>adj.</i>

EN	CS	poznámka
block diagram	blokové schéma	<i>adj. + noun</i>
brightness	jas	<i>noun</i>
carrier (frequency)	nosná (frekvence)	<i>adj. + noun</i>
clock signal	hodinový signál	<i>adj. + noun</i>
color (US), colour (UK)	barva	<i>noun</i>
column	sloupec	<i>noun</i>
compared	porovnáváný	<i>adj.</i>
complex	komplexní	<i>adj.</i>
components	složky	<i>noun</i>
computation	výpočet	<i>noun</i>
consequence	následek	<i>noun</i>
continuous	spojitý	<i>C=continuous, adj.</i>
contrast	kontrast	<i>noun</i>
converter	převodník	<i>noun</i>
convolution	konvoluce	<i>noun</i>
correlation	korelace	<i>noun</i>
corresponding	odpovídající	<i>adj.</i>
corrupted	poškozen	<i>adj.</i>
cosine	kosinus	<i>noun</i>
cumulating methods	kumulativní metody	<i>adj. + noun</i>
current	proud	<i>noun</i>
cutoff frequency	mezní kmitočet	<i>adj. + noun</i>
data	datový	<i>adj.</i>
decision boundary	rozhodovací úroveň (mez)	<i>D</i>
density	hustota	<i>noun</i>
depth	hloubka	<i>noun</i>
descending	sestupující, klesající	<i>adj.</i>
description	popis	<i>noun</i>
design	návrh	<i>noun</i>
dialog (US), dialogue (UK)	dialog, dialogový	<i>noun, adj.,</i>
digital	digitální	<i>adj.</i>
digital-to-analog	digitálně-analogový	<i>adj.</i>
dimension	rozměr	<i>noun</i>
Dirac impulse	Diracův impuls	<i>adj. + noun</i>
discrete	diskrétní, oddělený	<i>D, adj.</i>
Discrete Fourier transform	Diskrétní Fourierova transformace (DFT)	<i>D</i>
Discrete-time Fourier transform	Diskrétní časová Fourierova transformace (DTFT)	<i>D</i>
distortion	zkreslení	<i>noun</i>
domain	oblast	<i>noun</i>

EN	CS	poznámka
duration	trvání resp. doba trvání	<i>noun</i>
dynamics	dynamika	<i>noun</i>
equalisation	vyrovnání	<i>noun</i>
ergodic	ergodický	<i>adj.</i>
error	chyba	<i>D, noun</i>
estimation	odhad	<i>noun</i>
exponential averaging	exponenciální váhování	<i>adj. + noun</i>
feedback	zpětná vazba	<i>noun</i>
filter	filtr	<i>noun</i>
finite	konečný	<i>C, D=discrete, adj.</i>
fixed (length)	pevná (délka)	<i>D, adj.</i>
floating (length)	pohyblivá / proměnná (délka)	<i>D, adj.</i>
flow chart	vývojový diagram	<i>adj. + noun</i>
frame	rámec	<i>D, noun</i>
frequency	frekvence	<i>noun</i>
Gaussian noise	Gaussovský šum	<i>adj. + noun</i>
grey-scale	stupně šedi	<i>noun</i>
harmonic	harmonický	<i>adj.</i>
high-pass filter	horní propust	<i>adj. + noun</i>
histogram	histogram	<i>noun</i>
homogeneous	homogenní, stejnorodý	<i>adj.</i>
horizontal axis, x-axis	osa x	<i>adj. + noun</i>
change-of-scale rule	pravidlo změny stupnice	<i>D, 2dimensional</i>
image	obrazový	<i>adj.</i>
impulse invariance	Impulsní invariance	<i>adj. + noun</i>
impulse response	impulsní odezva	<i>D</i>
independent	nezávislý	<i>adj.</i>
infinite	nekonečno, nekonečný	<i>C, noun, adj.</i>
initial	počáteční	<i>adj.</i>
input	vstup, vstupní	<i>noun</i>
interval	interval	<i>C, noun</i>
inverse	inverzní	<i>D, adj.</i>
leakage	unikání	<i>noun</i>
least significant bit	nejméně významný bit	<i>D</i>
length	délka	<i>noun</i>
level	úroveň	<i>D, noun</i>
line graph	bodový graf	<i>adj. + noun</i>
linear	lineární	<i>adj.</i>
loop	smyčka	<i>noun</i>
low-pass filter	dolní propust	<i>adj. + noun</i>

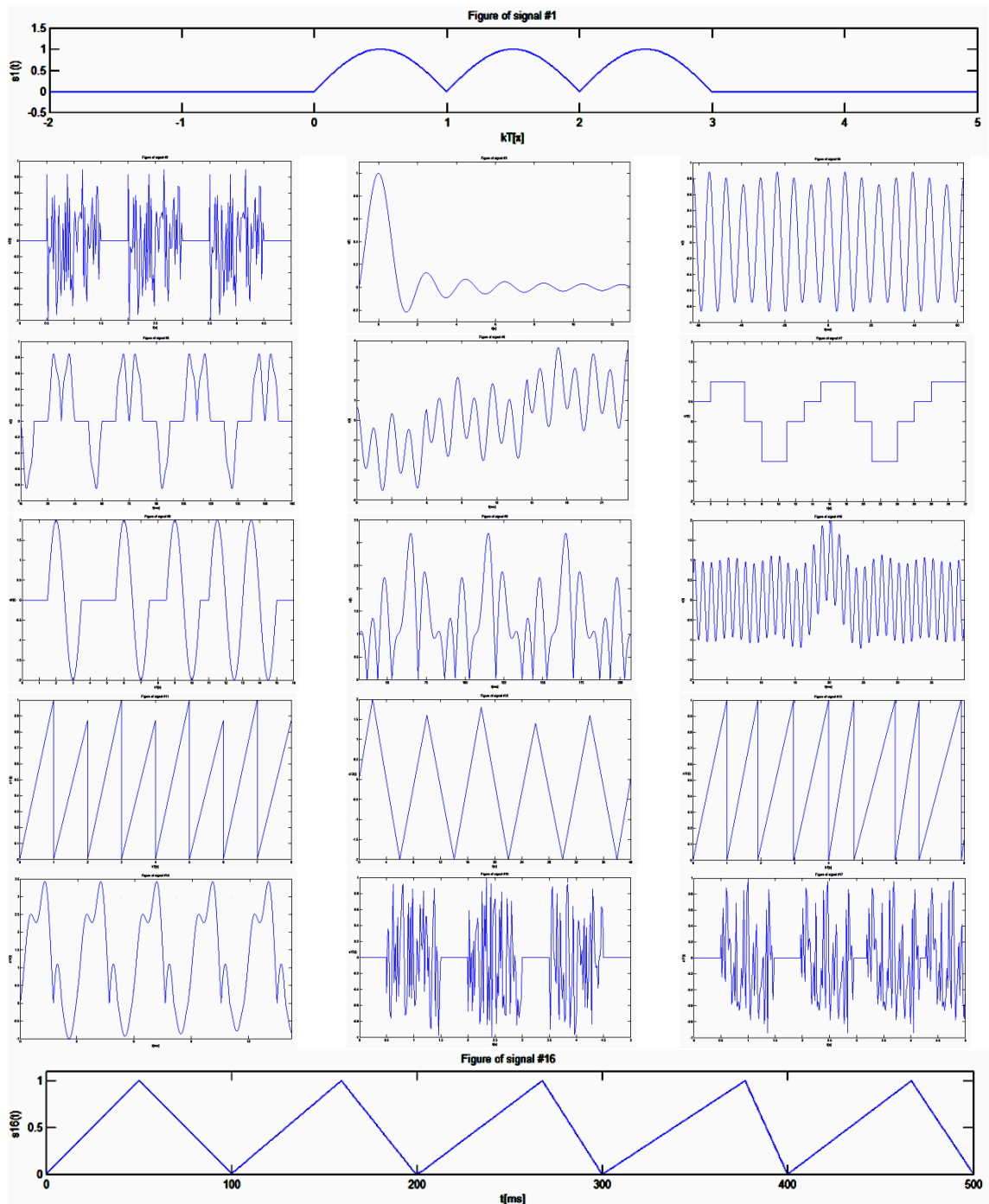
EN	CS	poznámka
mapping	mapování	<i>D, noun</i>
matrices	matice	<i>D, 2dimensional, plural</i>
matrix	matice	<i>D, 2dimensional, singular</i>
mixture	směs, smíchání	<i>adj. , noun</i>
modulation	modulace	<i>noun</i>
monotonous	monotónní, jednotvárný	<i>adj.</i>
most significant bit	nejvíce významný bit	<i>D</i>
motion	pohybový	<i>adj.</i>
musical	hudební	<i>adj.</i>
negative	negativní, záporná	<i>adj.</i>
noise	šum	<i>noun</i>
noise improvement	šumové zlepšení	<i>adj. + noun</i>
non-linear	nelineární	<i>adj.</i>
Notch filter	Notch filtr	<i>adj. + noun</i>
n-th root	n-tá odmocnina	<i>adj. + noun</i>
Nyquist theorem	Nyquistův teorém	<i>D</i>
offset	kompenzace	<i>noun</i>
output	výstup, výstupní	<i>noun, adj.</i>
oversampling	převzorkování	<i>D, noun</i>
pattern	předloha, vzorek	<i>noun</i>
peak	špička	<i>noun</i>
peak amplitude	amplituda (maximální hodnota veličiny)	<i>adj. + noun</i>
pepper and salt noise	šum typu pepř a sůl	<i>D, 2dimensional</i>
period	perioda	<i>noun</i>
phase	fáze, úhel	<i>noun</i>
plane	rovina	<i>noun</i>
pole-zero mapping	zobrazení nul a pólů	<i>noun</i>
positive	pozitivní, kladná	<i>adj.</i>
power	výkon, mocnina	<i>noun</i>
precision, accuracy	přesnost	<i>D, noun</i>
preliminary	předběžný	<i>adj.</i>
processing	zpracování	<i>D, noun</i>
properties	vlastnosti	<i>noun</i>
pupose	účel	<i>noun</i>
quantization	kvantizace	<i>D, noun</i>
range	rozsah	<i>noun</i>
reconstruction	rekonstrukce	<i>D, noun</i>
relation	vztah, spojení	<i>noun</i>
repetition	opakování	<i>noun</i>

EN	CS	poznámka
repetitive signals	opakované signály	<i>adj. + noun</i>
required	požadovaný	<i>adj.</i>
resolution	rozlišení, rozklad	<i>D, noun</i>
restored	obnovený	<i>adj.</i>
result	výsledek	<i>D, noun</i>
reverse	obrácený, opačný	<i>adj.</i>
row	řádek	<i>noun</i>
sample	vzorek	<i>D, noun</i>
sampling	vzorkování	<i>D, noun</i>
sampling frequency/rate	vzorkovací frekvence	<i>D, adj.+noun</i>
sampling theorem	vzorkovací podmínka	<i>D</i>
sequence	sekvence	<i>noun</i>
shaping	tvarování	<i>noun</i>
sharpening	ostření	<i>D, 2dimensional</i>
shift	změna, posun	<i>noun</i>
signal	signál	<i>noun</i>
signal to noise ratio (SNR)	poměr signál-šum	<i>noun</i>
similarity	podobnost	<i>D, noun</i>
sine	sinus	<i>noun</i>
sketch	náčrt	<i>noun</i>
sliding window	klouzavé okno	<i>adj. + noun</i>
smoothing	vyhlazování	<i>noun</i>
solution	řešení	<i>noun</i>
sound	zvukový	<i>adj.</i>
spatial	prostorový	<i>D, adj.</i>
spectrum, spectra	spektrum, spektra	<i>noun</i>
speech	řečový	<i>adj.</i>
sqare power	druhá mocnina	<i>adj. + noun</i>
square root	(druhá) odmocnina	<i>adj. + noun</i>
stationary	stacionární	<i>adj.</i>
stochastic	stochastický, náhodný	<i>adj.</i>
temporary	dočasný	<i>adj.</i>
time domain	časová oblast	<i>C, adj. + noun</i>
to achieve	dosáhnout	<i>verb</i>
to decode	odkódovat	<i>D, verb</i>
to decrease	klesat	<i>verb</i>
to encode	zakódovat	<i>D, verb</i>
to enhance	zlepšit, zvýšit, obohatit	<i>verb</i>
to increase	růst	<i>verb</i>
to suppress	potlačit	<i>verb</i>

EN	CS	poznámka
total energy preservation law	zákon zachování celkové energie	
ultrasonic	ultrazvukový	<i>adj.</i>
uncountable	nepočítatelný	<i>C, adj.</i>
undersampling	podvzorkování	<i>D, noun</i>
uniform weights	rovnoměrné váhy	<i>adj. + noun</i>
unit	jednotka	<i>noun</i>
useful	užitečný	<i>adj.</i>
validity	platnost	<i>noun</i>
value	hodnota	<i>noun</i>
variable	proměnná, proměnlivý	<i>noun</i>
vector	vektor	<i>noun</i>
vertical axis, y-axis	osa y	<i>adj. + noun</i>
video	video	<i>adj.</i>
voltage	napětí	<i>noun</i>
wavelet transform	vlnková transformace	<i>adj. + noun</i>
white noise	bílý šum	<i>adj. + noun</i>
wideband	širokopásmový	<i>adj.</i>
width	šířka	<i>noun</i>

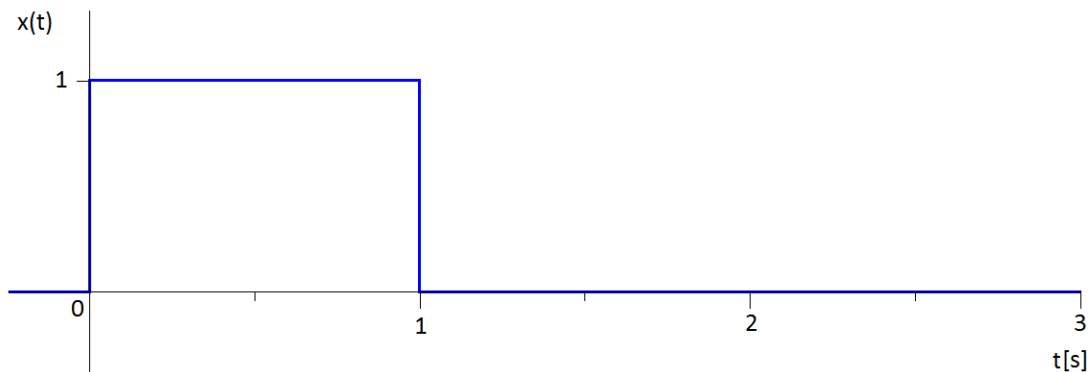
B VYTVOŘENÉ PRŮBĚHY SIGNÁLŮ

B.1 Určení periodicity signálu

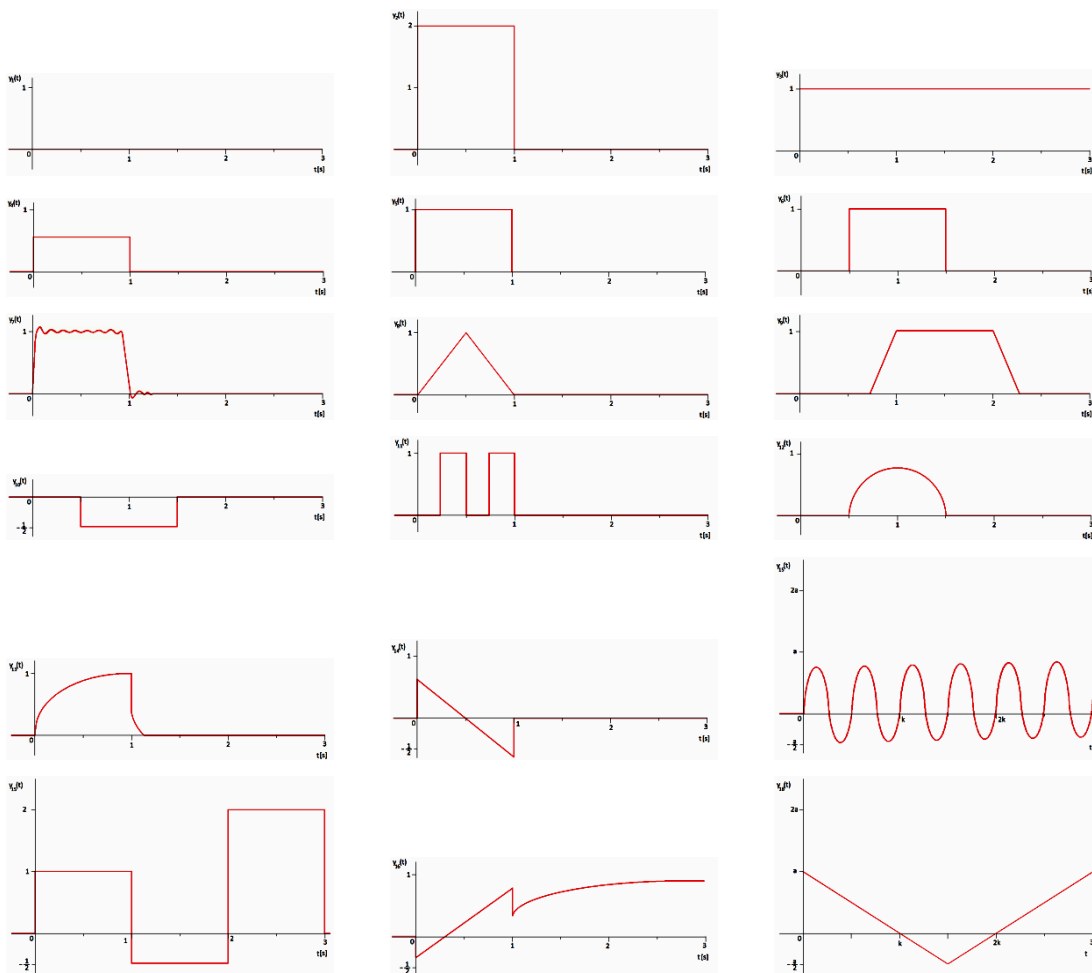


B.2 Určení linearity systému dle časových průběhů

Průběh vstupního signálu.

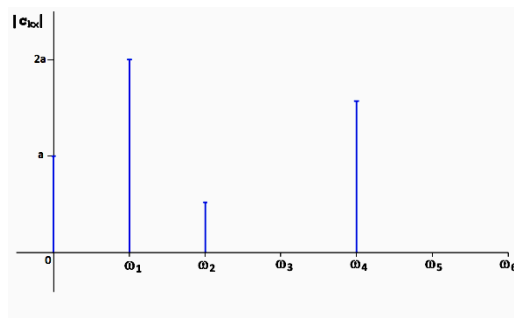


Průběhy výstupních signálů.

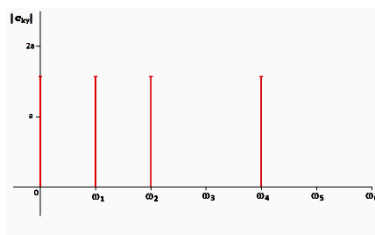
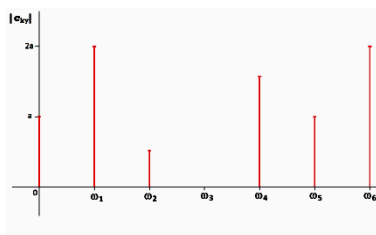
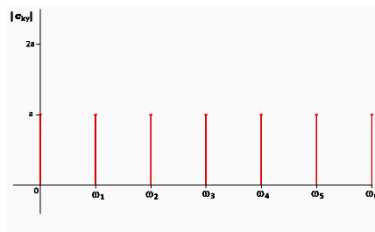
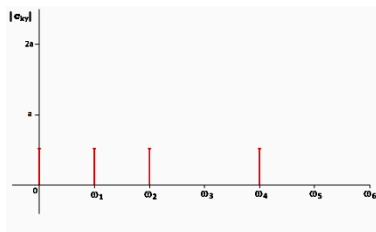
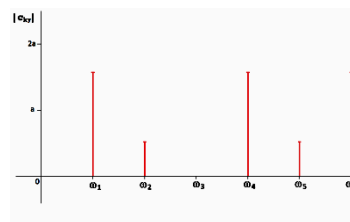
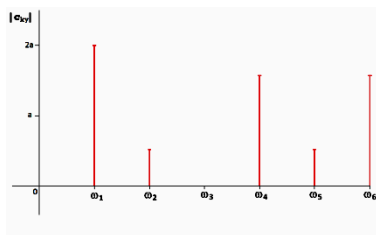
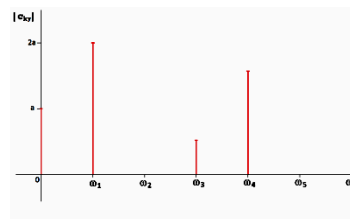
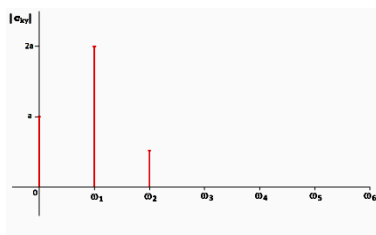
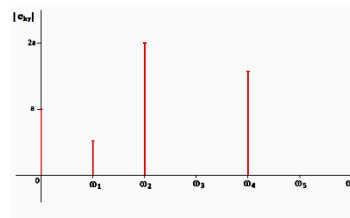
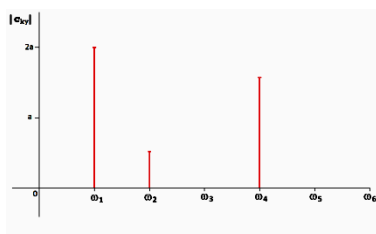


B.3 Určení linearity systému dle spekter

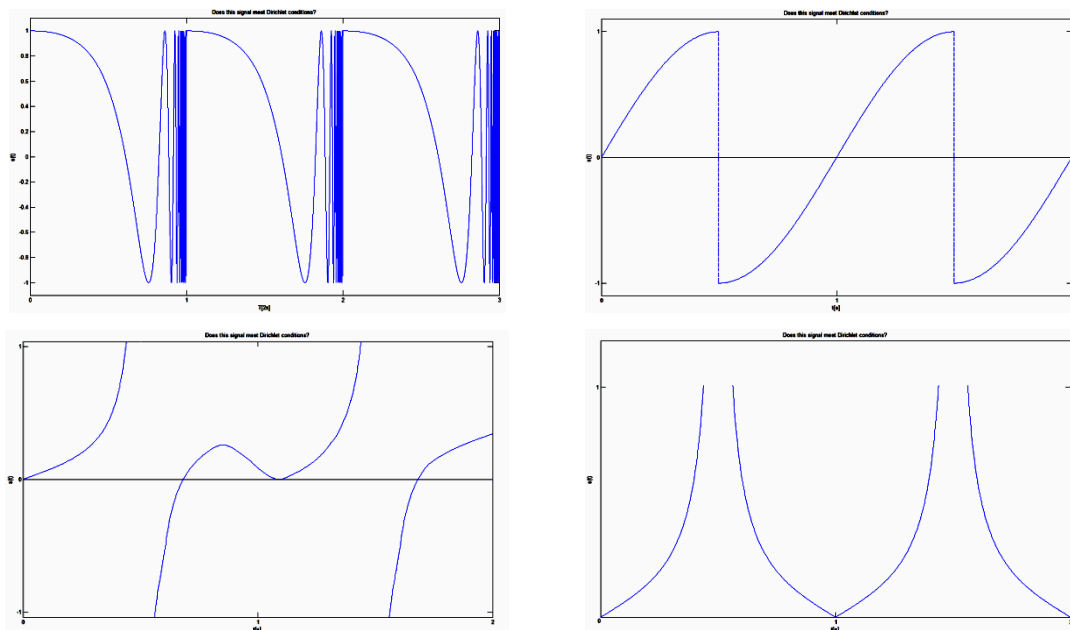
Spektrum vstupního signálu.



Spektra výstupních signálů.

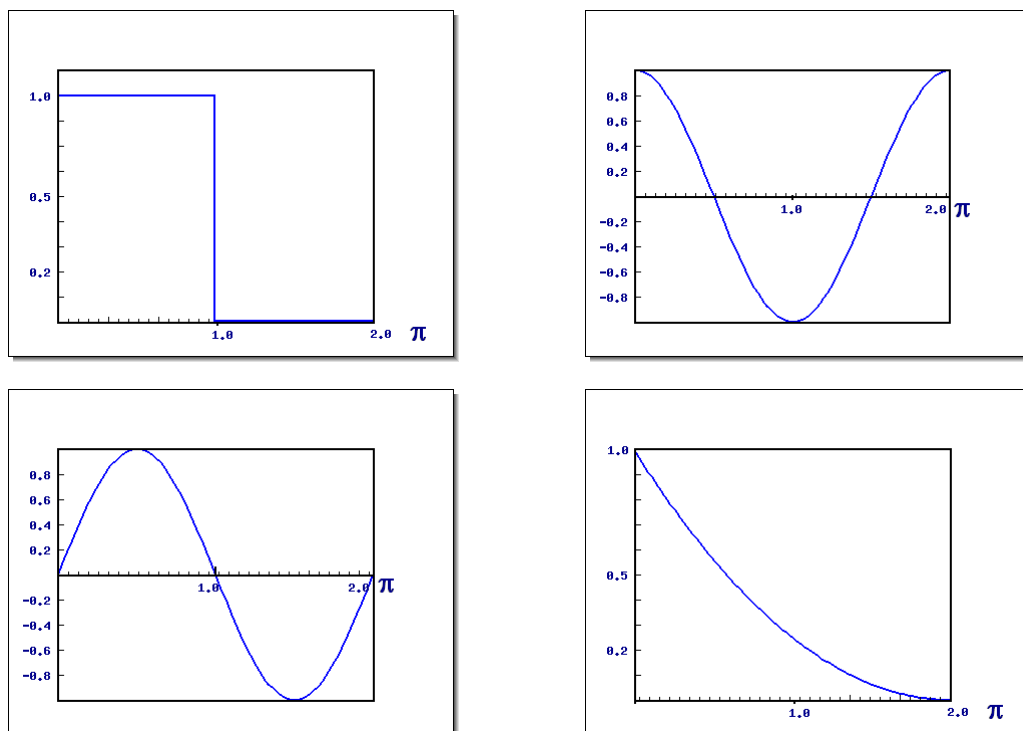


B.4 Určení Dirichletových podmínek



B.5 Konvoluce

Průběhy vstupních signálů.



Průběhy uskutečněných konvolucí.

