

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV POČÍTAČOVÉ GRAFIKY A MULTIMÉDIÍ

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF COMPUTER GRAPHICS AND MULTIMEDIA

SADA WEBOVÝCH DEMONSTRACÍ
PRO ZPRACOVÁNÍ SIGNÁLŮ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

TOMÁŠ KAŇOK

BRNO 2009



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV POČÍTAČOVÉ GRAFIKY A MULTIMÉDIÍ
FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF COMPUTER GRAPHICS AND MULTIMEDIA

SADA WEBOVÝCH DEMONSTRACÍ PRO ZPRACOVÁNÍ SIGNÁLŮ

SET OF WEB-BASED DEMONSTRATIONS FOR SIGNAL PROCESSING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

TOMÁŠ KAŇOK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Dr. Ing. JAN ČERNOCKÝ

BRNO 2009

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá konvolucemi a komplexními exponenciálními funkcemi využívanými při zpracování signálů, jmenovitě jejich vysvětlení a popis využití. Dále si klade za cíl zhodnotit stávající veřejné interaktivní edukační zdroje na Internetu. Na základě jejich analýzy je navržen, implementován a zhodnocen program pro výukové účely zpracování signálů.

Abstract

The aim of this bachelor's thesis is to give a basic overview about convolutions and complex exponential functions used in signal processing. Additionally, it contains the list of existing public educationally-oriented solutions available on the Internet. Set of web-based demonstrations for signal processing is proposed, implemented and evaluated upon analyzed solutions.

Klíčová slova

konvoluce, komplexní exponenciální funkce, zpracování signálů, impulzní odezva, signál, přehled existujících animací, Diracova δ -funkce

Keywords

convolution, complex exponential function, signal processing, impulse response, signal, overview of existing animations, Dirac delta function

Citace

Tomáš Kaňok, Sada webových demonstrací pro zpracování signálů, bakalářská práce, Brno, FIT VUT v Brně, 2009

Sada webových demonstrací pro spracovanie signálov

Prehlásenie

Prehlasujem, že som túto bakalársku prácu vypracoval samostatne pod vedením doc. Dr. Ing. Jana Černockého.

Uviedol som všetky literárne pramene a publikácie, z ktorých som čerpal.

.....
Tomáš Kaňok
18.5.2009

Pod'akovanie

Chcel by som poďakovať môjmu školiteľovi doc. Dr. Ing. Janovi Černockému, mojim rodičom, bratovi, Michalovi Černákovi, Romanovi Kantorovi, Michalovi Krupovi, Zuzane Štichovej a Milošovi Vyletelovi.

© Tomáš Kaňok, 2009

Tato práce vznikla jako školní dílo na Vysokém učení technickém v Brně, Fakultě informačních technologií. Práce je chráněna autorským zákonem a její užití bez udělení oprávnění autorem je nezákonné, s výjimkou zákonem definovaných případů.

Obsah

Obsah.....	1
1 Úvod.....	3
2 Teoretický úvod.....	4
2.1 Signál.....	4
2.2 Premietanie signálov do báz.....	4
2.3 Spracovanie signálov ku komplexne exponenciálnym funkciám.....	4
2.4 Fourierov rad.....	6
2.5 Konvolúcia.....	6
3 Prehľad existujúcich riešení.....	7
3.1 Simulácie konvolúcií.....	7
3.1.1 Cuthbert A. Nyack.....	7
3.1.2 The Johns Hopkins University, Baltimore.....	8
3.1.3 Griffith School of Engineering, Brisbane.....	9
3.1.4 Mississippi State University, Mississippi.....	10
3.1.5 Brown University, Providence.....	12
3.1.6 Zhrnutie.....	13
3.2 Simulácie komplexne združených exponenciálnych funkcií, zhrnutie.....	13
4 Návrh vlastných demonštrácií.....	14
4.1 Konvolúcia.....	14
4.2 Súčet komplexne exponenciálnych funkcií.....	15
5 Implementácia.....	17
5.1 Implementácia konvolúcií.....	17
5.1.1 Popis metód triedy convolution:.....	17
5.1.2 Vstupy programu.....	18
5.1.3 Výstupy programu.....	18
5.1.4 Scenár použitia.....	19
5.2 Implementácia súčtu komplexne exponenciálnych funkcií.....	21
5.2.1 Popis metód triedy exponential:.....	21
5.2.2 Vstupy programu.....	21
5.2.3 Výstupy programu.....	22
5.2.4 Scenár použitia.....	22
6 Vyhodnotenie implementácie.....	24
7 Záver.....	25
Literatúra.....	26

Zoznam príloh.....	27
--------------------	----

Zoznam ilustrácií

Obrázok 2.1: Demonštrácia súčtu komplexných exponenciál do kosínusu.....	5
Obrázok 3.1: Snímka demonštrácie konvolúcie od Cuthbert A. Nyack [4].....	7
Obrázok 3.2: Snímka demonštrácie konvolúcie z The Johns Hopkins University [5].....	8
Obrázok 3.3: Snímka demonštrácie konvolúcie z Griffith School of Engineering [6].....	9
Obrázok 3.4: Snímka demonštrácie konvolúcie z Mississippi State University [7].....	10
Obrázok 3.5: Snímka demonštrácie konvolúcie z Brown University [8].....	12
Obrázok 5.1: Snímka programu demonštrácie konvolúcie.....	20
Obrázok 5.2: Snímka programu demonštrácie súčtu komplexne exponenciálnych funkcií.....	23

Zoznam tabuliek

Tabuľka 6.1: Výsledky prieskumu medzi študentmi.....	24
--	----

1 Úvod

Spracovanie multimedialných dát je v dnešnej dobe vysoko diskutovaná a aktuálna téma, čím získava na atraktivite. O jej dôležitosti svedčia medzi iným aj špecializované vedecké pracoviská po celom svete ako aj nastupujúci trend rozpoznávania vizuálnych dát technikou v bežnom živote. Ten je spôsobený stále väčšími možnosťami nasadenia výkonných systémov, ktoré sú pre väčšinu operácií nevyhnutné. Pre analýzu technikou je nevyhnutné tieto informácie vhodne roztriediť. A práve väčšina surových dát sa dá interpretovať formou signálu, zrozumiteľného pre výpočtové systémy.

Spracovanie signálov má dosah v rozličných sférach bežného života, počnúc úpravou zvuku, cez hľadanie význačných bodov v obraze, nekončiac rozpoznávaním ľudskej reči. Nasadenia dynamického rozpoznávania informácií umožňujú nové formy zabezpečenia objektov, identifikácií užívateľov či objektov. Napriek technologickému rozvoju musia byť kvantá dát vhodne selektované podľa dôležitosti k problému.

Z celého radu postupov sa táto práca venuje teoretickému základu rozkladu signálov do komplexných exponenciálnych funkcií, ktoré sú vhodné na ďalšie spracovanie. Rovnako sa venuje vysvetleniu a popisu konvolúcie ako operácie často využívanéj v spracovaní signálov.

Vzhľadom na množstvo nekvalitných výukových materiálov je v ďalšej časti vytvorený prehľad dostupných riešení pre danú problematiku a na základe jeho analýzy sú navrhnuté a vytvorené programy pre názornú demonštráciu konvolúcie a rozklad kosínusových funkcií.

Prvý program sa snaží o názorné vysvetlenie problematiky rozkladu kosínusovej reálnej funkcie do dvoch exponenciálnych funkcií so zameraním na interaktivitu a druhý slúži na vysvetlenie operácie konvolúcie signálov. Technické špecifikácie sú rovnako zahrnuté v práci.

Záver práce sa venuje spracovaniu spätnej väzby malej vzorky užívateľov ako aj zhodnoteniu celého úsilia.

2 Teoretický úvod

2.1 Signál

Na popis ďalšieho textu rozumejme pod pojmom signál akúkoľvek funkciu jednej premennej, alebo v prípade diskrétného signálu sled vzoriek, ktoré nesú spracovávanú informáciu.

2.2 Premietanie signálov do báz

Pre popis signálu sa využíva premietanie do báz. Bázy sú, neformálne povedané, z diskrétného pohľadu množinou „ôs“ (napríklad osy x , y , z v euklidovskom priestore), ktorá umožňuje zaviesť v danom priestore súradnice [1]. Z pohľadu spojitého signálu sa pod pojmom báza rozumie funkcia. Výsledkom premietnutia je hodnota, ktorej veľkosť určuje mieru podobnosti k danej báze (súradnicu). Z pohľadu spracovania je nutné vybrať vhodnú kombináciu báz tak, aby nedochádzalo k redundantnému ukladaniu dát v závislých bázach. Najlepšie je zvoliť ortonormálny systém. Pre diskrétné signály sa premietnutie počíta ako vektorový súčin, pre spojité ako integrál súčinu signálu, alebo jeho časti s bázou:

$$y_n = b_n^T x \quad , \quad (1)$$

$$y = \int s(t) b(t) dt \quad . \quad (2)$$

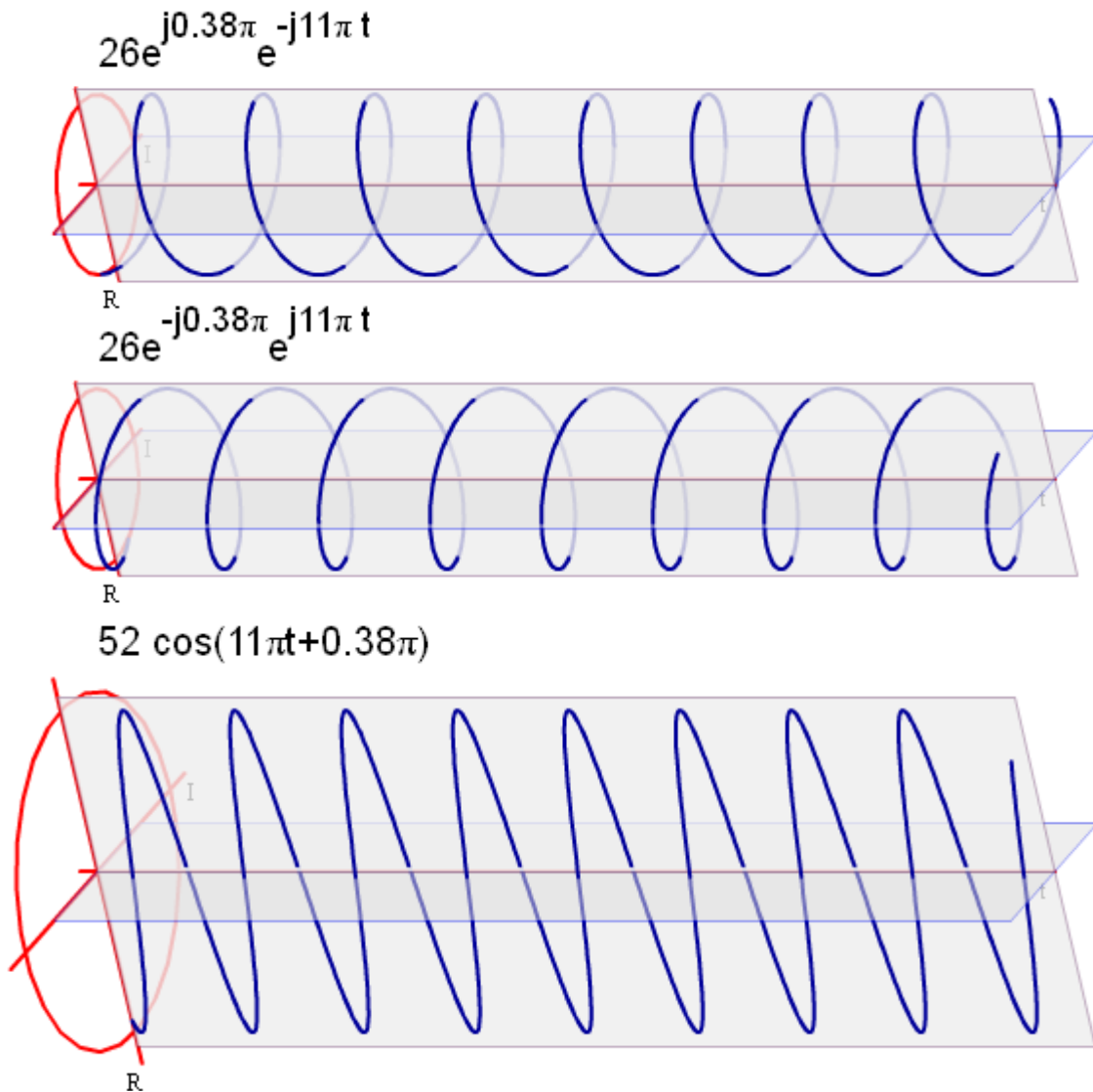
Z pohľadu reprezentácie spojitého periodického signálu alebo časti neperiodického sa javí výhodné použiť báзовý systém zložený zo sínusovej a kosínusovej funkcie. V prípade použitia priemetu do komplexne exponenciálnej funkcie dochádza k zahrnutiu oboch funkcií podľa vzorca:

$$e^{j\omega t} = \cos(\omega t) + j \sin(\omega t) \quad . \quad (3)$$

2.3 Spracovanie signálov ku komplexne exponenciálnym funkciám

Každý periodický signál sa dá aproximovať ako súčet kosínusových funkcií. Vlastnosťou komplexne združených exponenciálnych párov funkcií (ďalej len „komplexné exponenciály“) je, že ich súčtom vždy vznikne reálna kosínusová funkcia s dvojnásobnou amplitúdou a daným posunutím.

$$C_1 \cos(\omega_1 t + \phi_1) = \frac{C_1}{2} e^{j(\omega_1 t + \phi_1)} + \frac{C_1}{2} e^{-j(\omega_1 t + \phi_1)} \quad (4)$$



Obrázok 2.1: Demonštrácia súčtu komplexných exponenciál do kosínusu.

Prechodom komplexnej exponenciály cez lineárne časovo invariantný systém sa okrem amplitúdy a posunutia nemenia jej vlastnosti [2]. Práve tieto vlastnosti sú hojne využívané pri rozklade signálu do Fourierovho radu, pretože reprezentácia signálu rozloženého do komplexne združených exponenciál je univerzálna a nenáročná na uloženie v pamäti.

Vzťahy medzi komplexne združenými exponenciálami a kosínusovou funkciou demonštruje implementovaný program, popísaný v ďalších kapitolách.

2.4 Fourierov rad

Každý periodický signál sa dá rozložiť na súčet harmonicky vzťahných komplexných exponenciál, ako bolo spomenuté vyššie. Fourierov rad je potom množina týchto funkcií, rozlíšiteľných modulom a argumentom.

$$s(t) = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} c_k e^{jk\omega_1 t} . \quad (5)$$

2.5 Konvolúcia

Konvolúcia je matematický operátor spracovávajúci dve funkcie. Spojitá konvolúcia (značí sa hviezdičkou) jednorozmerných funkcií (signálov) $f(x)$ a $g(x)$ je definovaná vzťahom [3]:

$$(h * x)(t) = \int_{-\infty}^{\infty} x(\tau) h(t - \tau) d\tau . \quad (6)$$

Konvolúcia patrí medzi často používané operácie v spracovaní signálov, pretože popisuje zmenu signálu, ktorý prechádza lineárne invariantným systémom. Ten je význačný tým, že nemení svoje správanie s ohľadom na veľkosť vstupného signálu, rovnako ako nemení svoje správanie v čase. Jeho základnou vlastnosťou je impulzná odozva, ktorá opisuje signál, ktorý vystupuje zo systému pokiaľ je na vstupe jednotkový impulz. Ak je na vstupe zložitejší signál, výstupný sa doráta ako súčet prebiehajúcich impulzných odoziev pomocou konvolúcie.

V praxi sa konvolúcia používa pri väčšine filtrov, pričom vlastnosti sa určujú práve podľa impulznej odozvy.

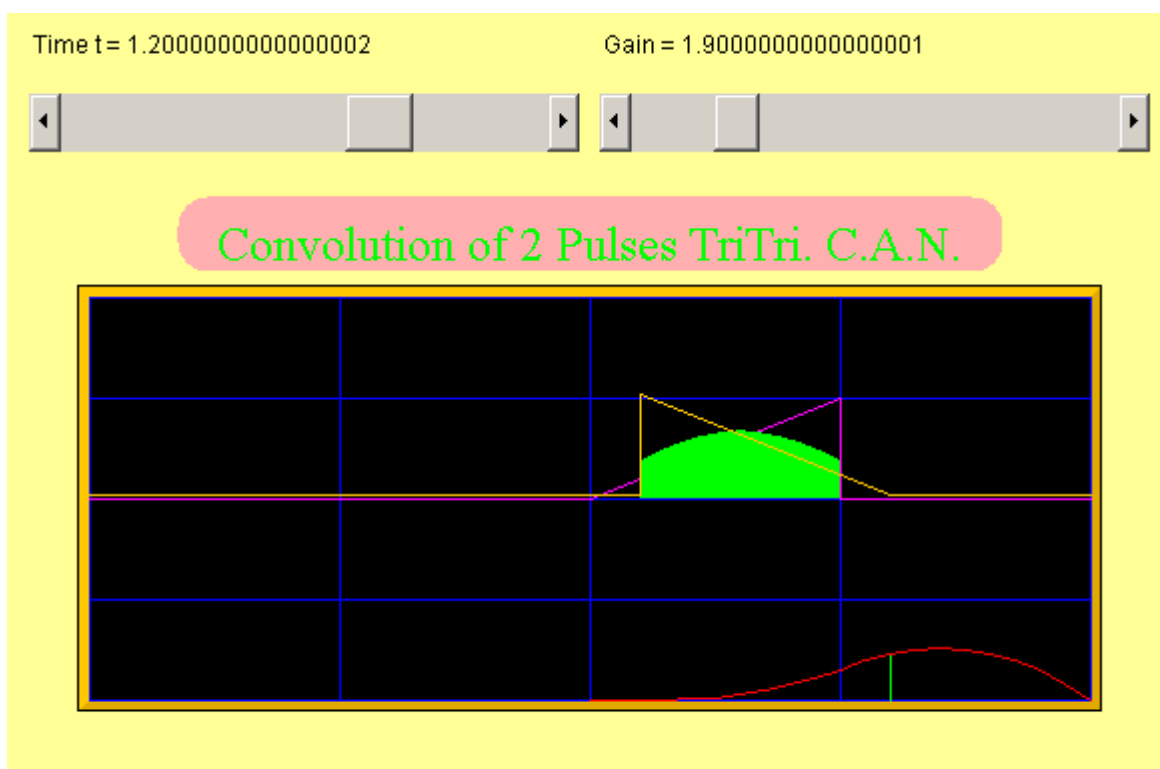
3 Prehľad existujúcich riešení

Táto kapitola sa venuje stručnému prehľadu existujúcich demonštračných animácií verejne prístupných na Internete. Snaží sa kriticky zhodnotiť ich vlastnosti a na ich základe sformulovať vlastnosti mnou implementovaných animácií.

Vzhľadom na to, že som sa rozhodol venovať problematike demonštrácie komplexne združených exponenciálnych funkcií a konvolúciám, pochopiteľne uvádzam len prehľad týchto pomôcok mnou nájdených.

3.1 Simulácie konvolúcií

3.1.1 Cuthbert A. Nyack¹



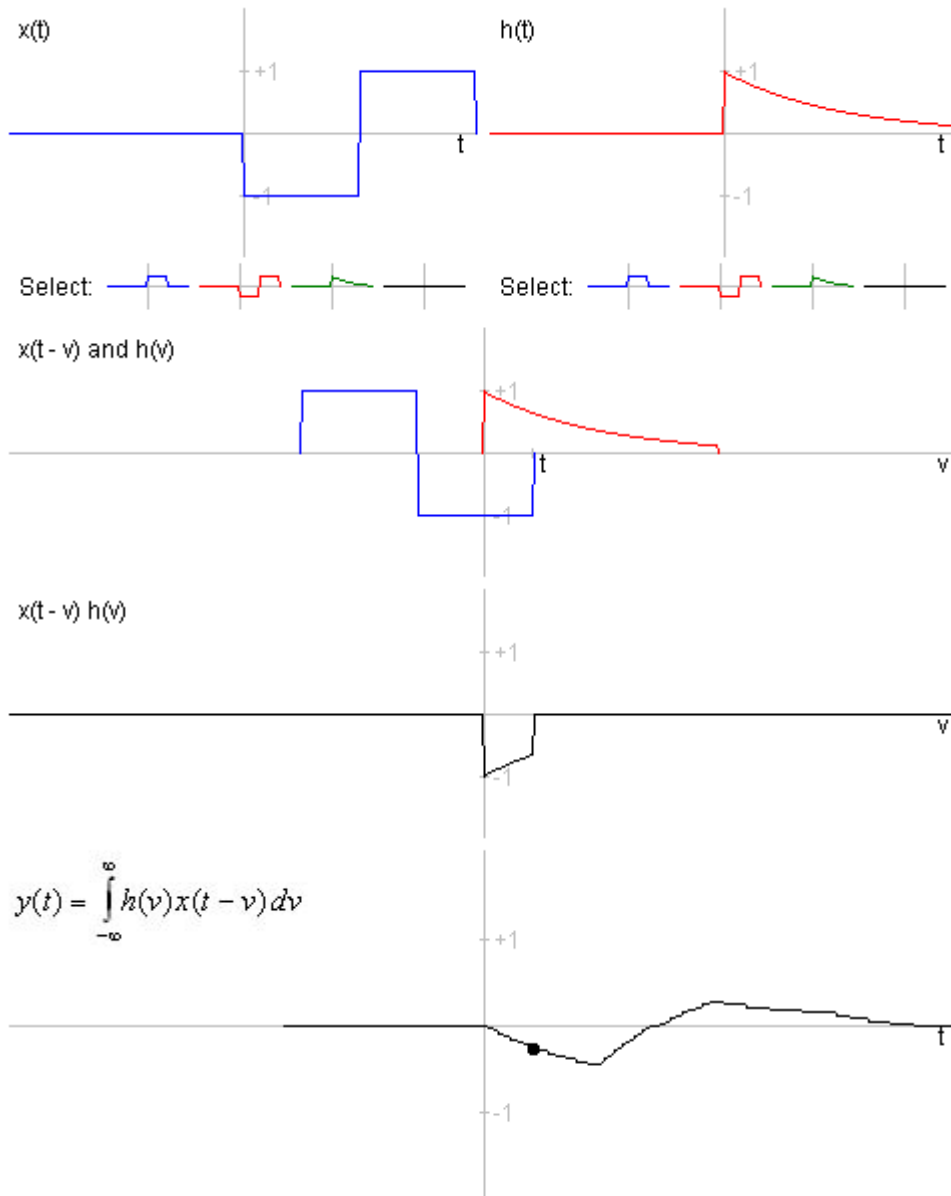
Obrázok 3.1: Snímka demonštrácie konvolúcie od Cuthbert A. Nyack [4].

Jedná sa pravdepodobne o súkromný projekt, pričom predpokladám, že autor už program ďalej nevyvíja. Z pohľadu užívateľského rozhrania je možné meniť aktuálne posunutie signálu a zväčšenie výslednej konvolúcie. Tým by sa dali klady riešenia zhrnúť. Súčin dvoch signálov je vykresľovaný

¹ <http://cnyack.homestead.com/files/aconv/convau1.htm>

cez ne, čím stráca na prehľadnosti. Ako inovatívne považujem možnosť meniť mierku konvolúcie, pretože môže nabrať hodnoty veľkého rozsahu.

3.1.2 The Johns Hopkins University, Baltimore²



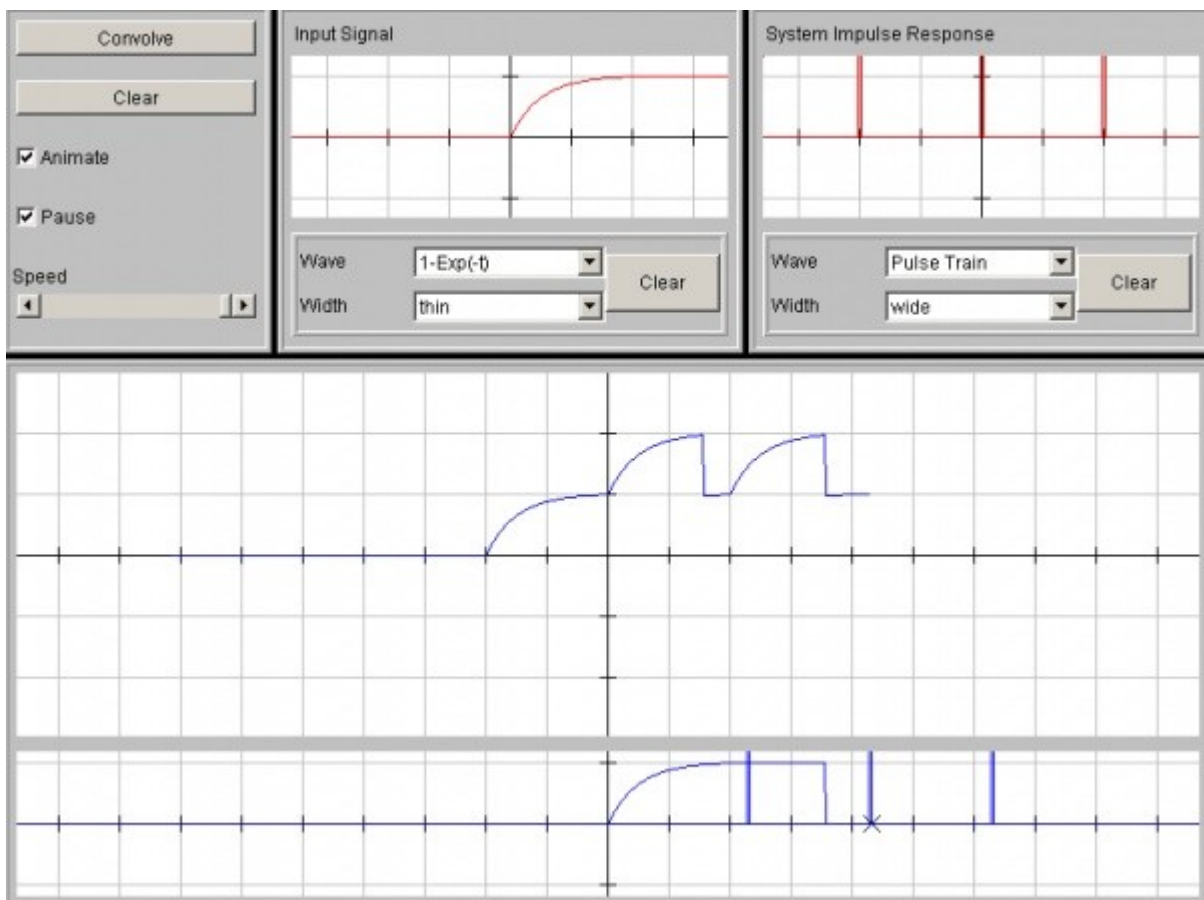
Obrázok 3.2: Snímka demonštrácie konvolúcie z *The Johns Hopkins University* [5].

Demonštrácia je umiestnená na stránkach americkej The Johns Hopkins University. Vyznačuje sa jednoduchosťou a rýchlosťou. Od užívateľa sa očakáva výber z preddefinovaných signálov alebo si môže intuitívne nadefinovať vlastné pomocou ťahu myši. Vzhľadom na nepresnosť ľudskej ruky je

² <http://www.jhu.edu/signals/convolve/>

táto alternatíva skôr doplnkového charakteru. Jednotlivé stavy výpočtu konvolúcie sú vizuálne oddelené s možnosťou prechádzania v čase. Jednotlivé časti dopĺňajú statické rovnice. Ako nevýhoda sa dá považovať nemennosť mierky pri súčine a pri konvolúcii, takže pri nevhodne zvolených vstupných signáloch dochádza k orezaniu grafov. Ako inovatívne považujem možnosť výberu z preddefinovaných signálov, oddelenie jednotlivých krokov a možnosť tvorby vlastného signálu. Celkovo pôsobí animácia až príliš stroho, čo môže byť na škodu pri prvotnom zaujatí užívateľa.

3.1.3 Griffith School of Engineering, Brisbane³



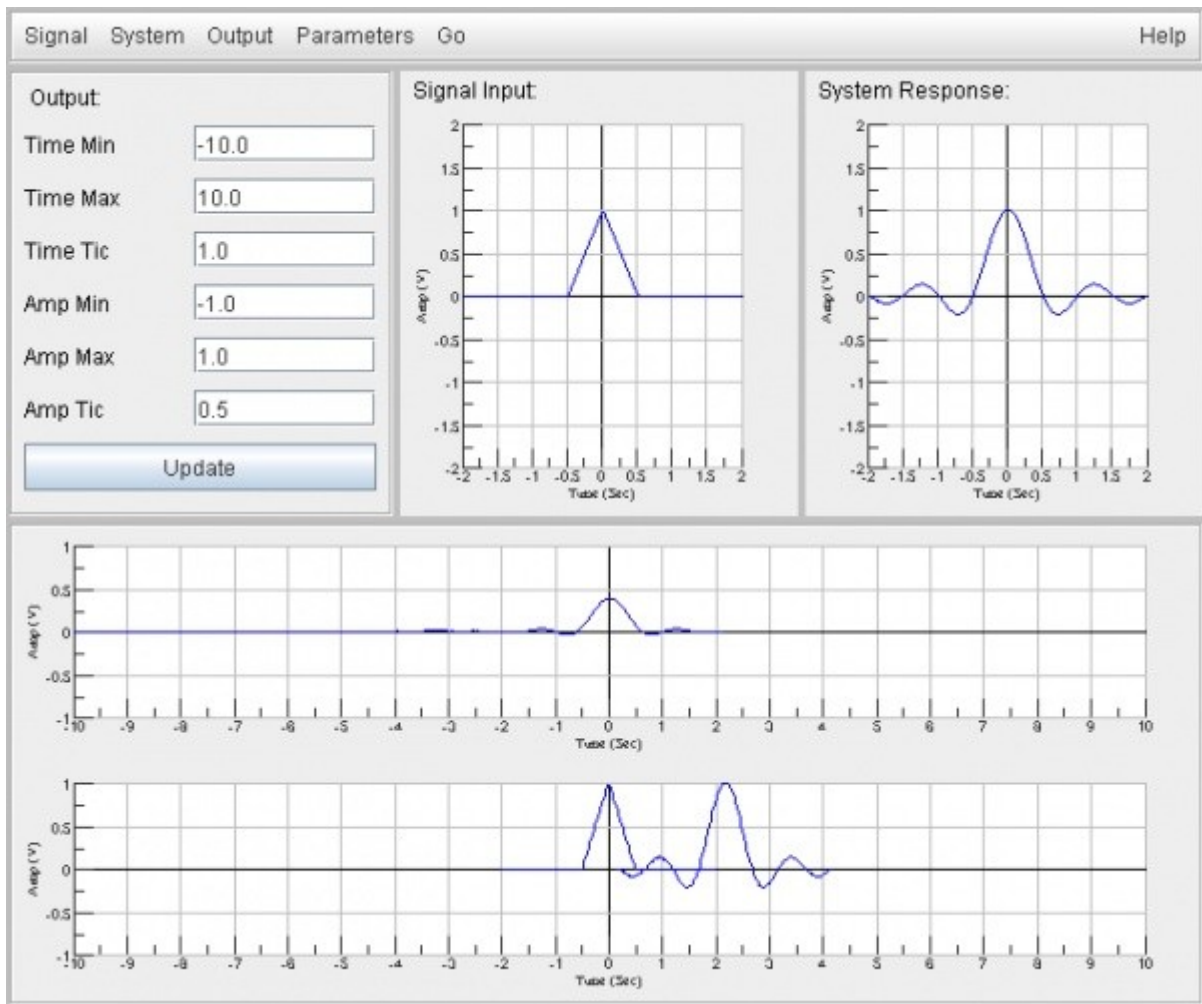
Obrázok 3.3: Snímka demonštrácie konvolúcie z Griffith School of Engineering [6].

Ide o aplikáciu umiestnenú na stránkach austrálskej školy Griffith School of Engineering. Každý signál má vyhradené vlastné menu na nastavenie. Na výber je ponúknutých 10 prednastavených typov signálov, pričom pre všetky sa dá v obmedzenej miere meniť ich šírka. Absencia možnosti zmeny výšky signálov môže byť mätúca pre nezainteresovaného užívateľa, vzhľadom na prednastavenú výšku jedna, ktorá pri počítaní súčinu konvolúcie nemení výšku druhého signálu. Takisto nezobrazený medzikrok súčinu sťažuje pochopenie celej operácie. Na druhú stranu ponúka oproti

3 <http://maxwell.me.gu.edu.au/spl/Excalibar/Jtg/Conv.html>

ostatným možnosť animácie s nastaviteľnou rýchlosťou, pričom jej ovládanie je vyriešené mierne neštandardným spôsobom pomocou zaklikávacieho políčka. Rovnako, ako ani minulé riešenie, nemá ošetrené vykresľovanie kriviek väčších ako dimenzie grafu. Zaujímavé je umiestnenie plnej ortogonálnej siete, avšak vhodnosť jej použitia nechávam na čitateľovi.

3.1.4 Mississippi State University, Mississippi⁴



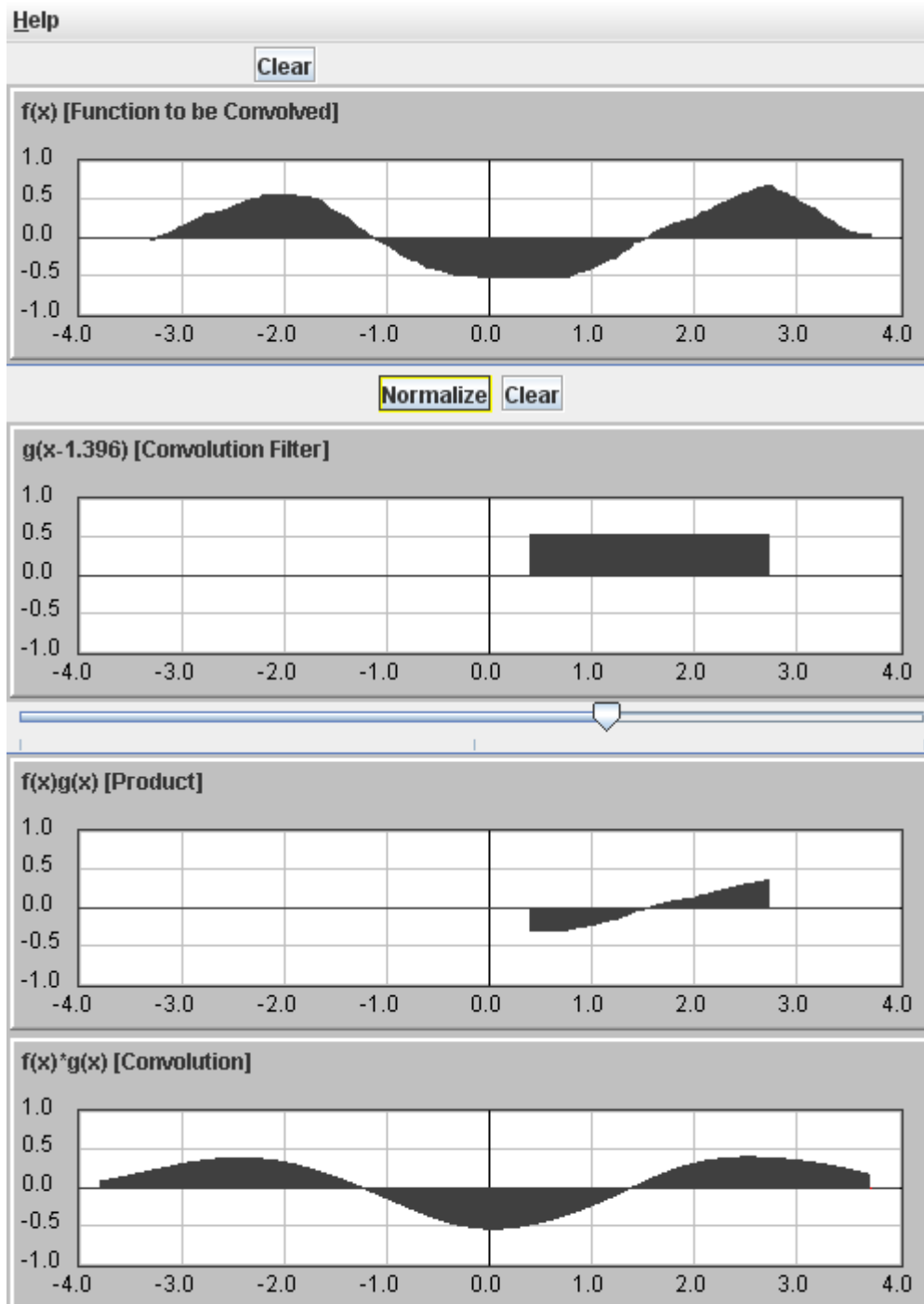
Obrázok 3.4: Snímka demonštrácie konvolúcie z Mississippi State University [7].

Ide o aplikáciu umiestnenú na stránkach americkej Mississippi State University. Na prvý pohľad ponúka značne rozšírené možnosti nastavenia. Ako jediná umožňuje nadefinovať ľubovoľne presné kótovanie jednotlivých súradnicových sietí. Pre nastavenie signálov je zvolené menu, ktoré ponúka na výber osem preddefinovaných signálov. Použitie niektorých z nich je však diskutabilné, vzhľadom na to, že nie sú funkčne ohraničené, aj keď graf konvolúcie tomu napovedá. Pre zainteresovaných je

4 <http://www.isip.piconepress.com/projects/speech/software/demonstrations/applets/util/convolution/current/index.html>

možnosť výberu zložitejších signálov určite vítaná. Ovládanie animácie je zvolené obdobne neštandardne ako v predchádzajúcom príklade pomocou zaklikávacieho políčka. Animáciu je vždy nutné nechať dokončiť, čo po chvíli experimentovania pôsobí unavujúco. Rovnako nie je možné sa navrátiť k predchádzajúcemu stavu. Užívateľ si môže vybrať jednu z troch rýchlostí animácie, pričom podľa môjho názoru sú všetky tri zbytočne pomalé. Vzhľadom na jednoduchosť operácie je celá aplikácia navrhnutá bez ohľadu na užívateľské pohodlie a pôsobí ťažkopádne.

3.1.5 Brown University, Providence⁵



Obrázok 3.5: Snímka demonštrácie konvolúcie z Brown University [8].

Posledná popisovaná demonštrácia je vyvinutá a uložená na internetových stránkach ďalšej z amerických univerzít, konkrétne Brown University. Jednotlivé vstupné signály je možné vložiť len

⁵ http://www.cs.brown.edu/exploratories/freeSoftware/repository/edu/brown/cs/exploratories/applets/convolution/convolution_java_plugin.html

pomocou ťahu myši. Samotná animácia sa začína vykreslovať pri ťahu jazdca v strede okna. Rozvrhnutie je takisto zvolené nešťastne s ohľadom na pracovné výšky monitorov s menším rozlíšením, pri ktorých je časť programu zakrytá. Pri používaní vznikali viditeľné chyby vo vykresľovaní konvolúcie. Ako mínus považujem aj obmedzenie maximálnej výšky signálu na 1. Celkovo by som označil túto demonštráciu za nepodarenú.

3.1.6 Zhrnutie

Všetky programy trpeli väčšími či menšími nedostatkami, pričom sa naopak individuálne vyznačovali inovatívnym prístupom v rôznych ohľadoch. Súhrn všetkých pozitívnych prístupov a ich prenesenie do návrhu mnou naprogramovanej aplikácie aj s odôvodnením rozoberiem v ďalšej kapitole.

3.2 Simulácie komplexne združených exponenciálnych funkcií, zhrnutie

Ani po vytrvalom hľadaní sa mi nepodarilo nájsť animáciu, ktorá by demonštrovala rozklad kosínusových funkcií do komplexne združených exponenciál. V tomto ohľade budem pri návrhu vychádzať zo zásad tvorby užívateľsky príjemných rozhraní.

4 Návrh vlastných demonštrácií

Cieľovou skupinou mnou implementovaných demonštrácií je akademická obec, preto u koncového užívateľa predpokladám základné vedomosti z matematiky na vysokoškolskej úrovni technického smeru.

Rovnako je predpokladané využitie aj na medzinárodnej úrovni, preto ako základný jazyk v rozhraní volím angličtinu na odporúčanie vedúceho práce.

Je zadané, aby bola animácia umiestnená na webe. Vzhľadom na mieru rozšírenia serverov ponúkajúcich multimedialny obsah cez Adobe Flash Player si dovoľím tvrdiť, že voľba implementácie obidvoch animácií v Adobe Flash nebude uberať na dostupnosti.

S ohľadom na stále silnú základňu používateľov s rozlíšením 1024×768px [9], je vhodné obmedziť pracovné rozmery obidvoch demonštrácií na 800×600px. To podľa môjho názoru zodpovedá minimu viditeľnej časti prehliadačov väčšiny používateľov.

4.1 Konvolúcia

Z vlastnej skúsenosti viem, že rovnica konvolúcie pôsobí na prvý pohľad nezrozumiteľne. Avšak obe operácie (súčin a integrál), ktoré zaoberá, sa dajú vynikajúco názorne graficky demonštrovať:

$$(h * x)(t) = \int_{-\infty}^{\infty} x(\tau)h(t-\tau)d\tau \quad . \quad (7)$$

Forma vstupu na nastavenie signálov musí byť jednoduchá a zároveň poskytovať možnosť nastavenia rozmerov typizovaných signálov, používaných bežne pri výuke. Po konzultácií som sa rozhodol pre implementáciu trojuholníkového a obdĺžnikového signálu, Diracovho impulzu a pre kompletnosť som zachoval vloženie ľubovoľného signálu pomocou ťahu myši.

Okrem vlastného signálu považujem za vhodné mať možnosť si zvoliť dodatočné parametre signálov avšak nenásilne, intuitívnou formou. Toho by som chcel dosiahnuť formou posunovateľných kurzorov, podobným z grafických rozhraní bežných operačných systémov.

Aby boli jednotlivé kroky konvolúcie čo najnázornejšie, každý krok výpočtu bude osadený do vlastnej časti demonštrácie. Menovite dve časti pre vstupné signály, tj. pre $h(t)$ a $x(t)$. Ďalší pre animáciu prechodu v čase, čo znamená pre signály $h(t-\tau)$ a $x(\tau)$. Nasledujúci pre súčin týchto dvoch signálov, tj. $h(t-\tau)x(\tau)$, s vyznačením plochy integrálu. Posledný pre grafické znázornenie veľkosti integrálu v závislosti od času, čo je priebeh konvolúcie.

Existencia hustej súradnicovej siete v skúmaných existujúcich riešeniach pôsobila rušivo, avšak pre súčin je zakomponovanie hodnoty 1 kľúčové, pretože určuje či sa výsledok zmenší alebo zväčší. Rovnako pri zmene mierky slúži ako referenčná hodnota.

Je nevyhnutné aby výšky jednotlivých častí boli zvolené tak, aby nedochádzalo k vykresľovaniu mimo danú plochu. Ak by sa tak stalo, demonštrácia by strácala zmysel. Pre súčin signálov sa dajú rozmery dorátať, pretože výška nepresiahne súčin maximálnych možných hodnôt užívateľom voliteľných signálov. Pre konvolúciu je tento rozsah možných hodnôt značne väčší. Ošetrovanie tohto stavu vidím v použití nastaviteľnej mierky.

Signály sa budú vykresľovať v časti pre ich animáciu paralelne, vzhľadom na nutnosť obrátenia jedného z nich. Súbežným zobrazovaním chcem zabezpečiť názornosť.

Aby bolo možné jednotlivé stavy výpočtu pozorovať, je nutné, aby bola animácia jednoducho ovládateľná a kedykoľvek jednoducho zastaviteľná, či znova spustiteľná. Toho by som chcel dosiahnuť použitím ovládania pomocou tlačítok so zaužívanými piktogramami na prehrávanie či zastavenie.

Reštart a posun na ľubovoľný čas musí byť intuitívny a možný v akomkoľvek stave.

4.2 Súčet komplexne exponenciálnych funkcií

Vzhľadom na charakter komplexných exponenciálnych funkcií (ďalej len „exponenciál“) je vhodná ich demonštrácia v troch rozmeroch (\mathbb{R} , \mathbb{I} , t , vid' nižšie), preto ako základ demonštrácie vidím umiestnenie a otáčanie krivkami v priestore.

$$y(t) = e^{jx} \quad , \quad (8)$$

$$\Re(e^{jx}) = \cos(x) \quad , \quad (9)$$

$$\Im(e^{jx}) = \sin(x) \quad . \quad (10)$$

Aby bol súčet evidentný, musia byť krivky umiestnené v logickom rozložení. Ako najprirodzenejšie považujem umiestnenie pod sebou, kedy sa horné dve krivky komplexných exponenciál budú sčítat' do spodnej kosínusovej. Mierka zobrazenia musí zachovávať pomery amplitúd kriviek ako aj ich ostatné vlastnosti podľa:

$$C \cos(\omega t + \phi) = \frac{C}{2} e^{j(\omega t + \phi)} + \frac{C}{2} e^{-j(\omega t + \phi)} \quad . \quad (11)$$

Vlastnosti exponenciál musia byť ľubovoľne meniteľné, za predpokladu zachovania rozumných rozmerov s ohľadom na veľkosť pracovného okna.

Vzťah jednotlivých bodov súčtu musí byť jasný, prípadne podložený vizuálnou pomôckou. V mojej implementácii som sa rozhodol pre možnosť nechať paralelne obiehať guľôčky po jednotlivých krivkách.

Jednotlivé pohľady musia jasne demonštrovať vzájomnú redukciu imaginárnych zložiek, zdvojnásobenie reálnej zložky vo výsledku, ako aj charakter akéhokoľvek prierezu kriviek rovinami tvorenými osami.

Pre názornosť musia byť voliteľne viditeľné jednotlivé roviny, či osy.

Vzťahy medzi krivkami musia byť popísané rovnicami, dynamicky sa meniacimi s ohľadom na aktuálne užívateľove nastavenia.

5 Implementácia

Ako implementačný jazyk bol zvolený ActionScript 3.0. Ako vývojové prostredie bolo použité Adobe Flash CS4 (ďalej len „Flash“). Flash umožňuje zápis ActionScriptu priamo v rozhraní, previazaním s jednotlivými objektami, ale ja som sa rozhodol zachovať všetok ActionScript oddelený od Flash projektu pre zachovanie určitej čistoty v zdrojových kódoch. Preto je každá z demonštrácií zložená z Flash projektu a textového súboru so zdrojovým kódom ActionScriptu. Pri tvorbe boli použité manuály a tutoriály zo stránky Kirupa [10]. Hlavná pracovná plocha a jednotlivé statické grafické objekty použité v animáciách boli vytvorené vo Flashi a exportované pre potreby ActionScriptu. Program nebol testovaný na starších verziách Flash Playera, preto je jeho použitie obmedzené na Flash Player verziu 10 a vyššiu. Kontrola verzie je zabezpečená pomocou voľne distribuovaného Detection Kitu vyvíjaného firmou Adobe [11].

Programy pozostávajú vždy z dvoch súborov – convolution.as (exponential.as) a convolution fla (exponential fla). Prvý je textový súbor obsahujúci zdrojové kódy ActionScriptu, druhý je projekt vo Flashi. V súbore fla sa nachádzajú len grafické statické objekty, to znamená podklady a statické ovládacie prvky. Okrem toho je v súbore Flash uložené základné rozmiestnenie inštancií. Ostatné grafické prvky sú vytvorené pomocou ActionScriptu. V súbore .as je zadaná jediná trieda, ktorá obsahuje všetky premenné a metódy programu. Z tohto dôvodu nie je do práce vložená grafická reprezentácia tried diagramom.

5.1 Implementácia konvolúcií

5.1.1 Popis metód triedy convolution:

- convolution – funkcia volaná pri štarte, inicializuje ostatné funkcie, pridáva reakcie na udalosti základného rozhrania,
- redrawIntegral – počíta aktuálny stav súčinnu vstupných signálov a vykresľuje ho,
- redrawConvolution – počíta aktuálny stav veľkosti integrálu súčinnu a adekvátne ho vykresľuje,
- playAnimation – spúšťa a zastavuje animáciu vzhľadom na aktuálny stav,
- resetAnim – nastaví východzie podmienky animácie,
- preSetConArray – alokuje a inicializuje pole, v ktorom je konvolúcia uložená,
- invertSigPoints – obracia pole reprezentujúce vstupný signál,
- animate – animuje jeden krok animácie,

- dragMoveMD – funkcia volaná pri stlačení tlačidla myši, využívaná pri definíciách signálov,
- dragMoveMM – ako dragMoveMD, len je volaná pri pohybe myši,
- dragMoveMUO – volaná, keď myš opustí aktívnu časť alebo je tlačidlo zdvihnuté,
- resetAll – nastaví všetky premenné do pôvodného stavu,
- clearArrays – vymaže všetky polia, reprezentujúce signály,
- reSetSignal – aktualizuje priebeh vykreslených signálov podľa stavov,
- changeSpeed – funkcia meníaca rýchlosť animácie. Volaná ako reakcia na podnet z rýchlostného jazdca,
- setTime – funkcia upravujúca čas animácie podľa kliknutia na konvolučnú časť,
- sliderChangeTime – funkcia upravujúca čas animácie podľa pohybu jazdca v spodnej časti,
- setUpDraggers – funkcia, ktorá zobrazuje a nastavuje jednotlivé posuvníky pre definovanie parametrov signálov vzhľadom na výber vstupu,
- recomputeSignal – počíta prednastavené hodnoty vstupných signálov,
- redrawSignal – prekresľuje vstupné signály,
- initialiseSignals – inicializuje polia, reprezentujúce vstupné signály,
- MakeSigPoint – inicializuje jeden prvok, reprezentujúci bod signálu,
- changeZoom – mení priblíženie,
- initialiseComponents – funkcia, ktorá nastavuje základné rozostavenie a stav jednotlivých prvkov,
- debug – funkcia štandardne nevolaná, pri volaní vypisuje na výstup stav vnútorných polí.

5.1.2 Vstupy programu

Vstupy programu sú:

- typ vstupného signálu (Diracov impulz, trojuholníkový signál, obdĺžnikový signál, vlastný),
- jazdci na upresnenie parametrov signálu,
- spustenie a zastavenie animácie,
- jazdec na nastavenie rýchlosti animácie,
- jazdec na nastavenie mierky zobrazenia konvolúcie,
- časová os, posúvateľná na ľubovoľný čas,
- plocha vykreslenia reagujúca obdobne ako časová os.

5.1.3 Výstupy programu

Výstupmi programu sú:

- animácia prechodu signálov cez seba,

- dynamicky sa meniaci graf aktuálneho súčinnu prekrytia,
- dynamicky sa tvoriaci graf konvolúcie.

5.1.4 Scenár použitia

Po otvorení je časť ovládacích prvkov vypnutá, pretože je nutné nadefinovať vstupy. Na to slúžia dve časti umiestnené po stranách, odlišené fialovým podkladom. Po výbere typu vstupu sa signál nastavi podľa preddefinovaných vlastností. Jednotlivé úpravy sú sprístupnené pomocou jazdcov v tvare obojstranných šípok, alebo viacsmerovej ružice. Pre definovanie vlastného signálu sa využíva ľah myši so stlačeným tlačidlom.

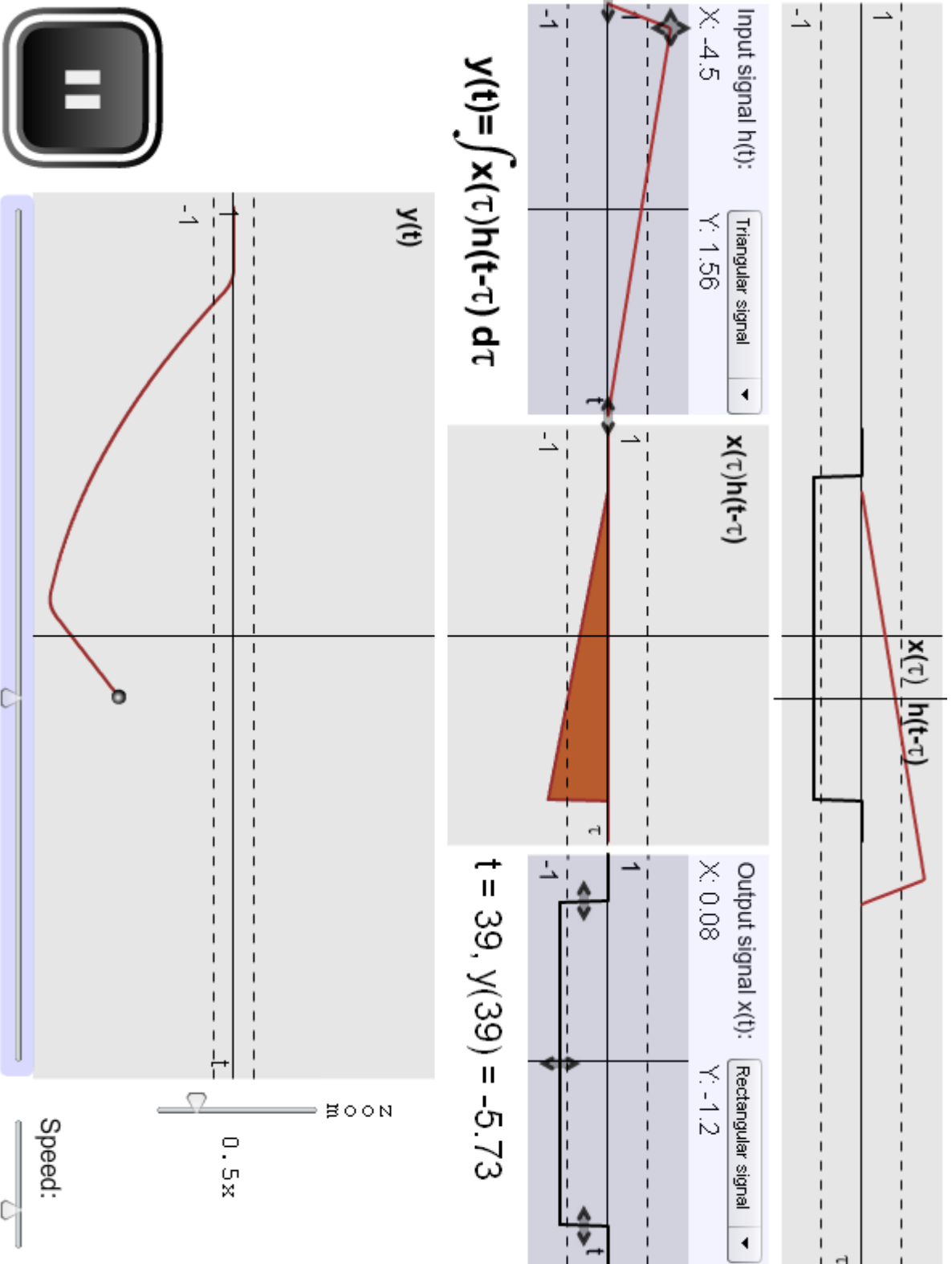
Po zvolení oboch signálov sa aktivuje možnosť spustiť animáciu konvolúcie príslušným tlačidlom. V najvyššej časti sa animuje prechod signálov. V strede ide o simuláciu súčinnu s vyznačením plochy, ktorá sa ďalej integruje. Dole sa postupne vykresľuje konvolúcia. Animácia sa dá kedykoľvek zastaviť kliknutím na jediné tlačidlo už zmenené na pauzu. Rovnako sa dá zmeniť aktuálny čas pretiahnutím časovej osi v spodnej časti okna, alebo kliknutím do časti zobrazujúcej konvolúciu. V druhom prípade sa automaticky nastaví na čas, zodpovedajúci polohe kliku.

Prestavenie vstupných signálov spôsobí reštart celej demonštrácie na počiatočný stav.

Rovnako sa dá kedykoľvek dynamicky meniť mierka zobrazenia konvolúcie.

V priebehu sa vykresľuje aktuálny čas animácie a aktuálna veľkosť integrálu, čiže aktuálna hodnota konvolúcie pre daný čas.

Snímka programu je na obrázku 5.1.



Obrázok 5.1: Snímka programu demonštrácie konvolúcie.

5.2 Implementácia súčtu komplexne exponenciálnych funkcií

5.2.1 Popis metód triedy exponential:

- exponential – funkcia volaná pri spustení, nastavuje funkcie reagujúce na vstupy a vykreslí prednastavené krivky,
- recomputeComplexExponential – zistí aktuálne nastavenie parametrov a prepočíta body kriviek,
- rewriteComplexEquations – prepíše rovnice kriviek,
- computeComplexExponential – spočíta pozície bodov kriviek,
- computeAxesPoints – zdefinuje pozície ôs,
- make3DPoint – vracia objekt reprezentujúci bod v troch rozmeroch,
- make2DPoint – vracia objekt reprezentujúci bod v dvoch rozmeroch,
- trans3DptsTo2D – prepočíta body z troch do dvoch rozmerov,
- writeComplexExponential – vypíše komplexnú krivku podľa prednastavených parametrov,
- rewriteComplexExponential – zistí aktuálne parametre krivky a prepíše ju,
- enableBallMovie – umiestni guľôčku na scénu a aktivuje tlačidlo prehrávania,
- changeBallSpeed – zmení rýchlosť animácie,
- playBall – spustí animáciu,
- moveBalls – centralizovane volá funkciu moveBall pre posun jednotlivých guľôčok po krivkách,
- moveBall – posunie danú guľôčku po krivke,
- resetBall – nastaví guľôčku na začiatok krivky a zastaví animáciu,
- writeAxesFront – vypíše časti ôs, umiestnených za krivkami,
- writeAxesBack – vypíše časti ôs, umiestnených pred krivkami,
- drawPlanes – podľa nastavených parametrov vykresľuje jednotlivé roviny,
- setUpMenu – nastaví pozície a vlastnosti ovládacích prvkov pri štarte,
- presetCurves – funkcia ošetrujúca prednastavené pohľady a ich aplikácie,
- updateLabels – nastaví popisy ovládacích prvkov podľa ich stavu.

5.2.2 Vstupy programu

Vstupy programu sú:

- jazdec na nastavenie rotácie okolo x-ovej a y-novej osy,

- zaškrťavacie políčka s prednastavenými kombináciami pohľadov,
- výber zobrazenia jednotlivých rovín a ôs,
- jazdec na nastavenie amplitúd kriviek,
- jazdec na nastavenie fázového posunu kriviek,
- jazdec na nastavenie uhlovej rýchlosti kriviek,
- jazdec na nastavenie rýchlosti animácie,
- zaškrťavacie políčko na aktiváciu animácie,
- tlačidlo na spúšťanie a zastavovanie animácie.

5.2.3 Výstupy programu

Výstupmi programu sú:

- trojrozmerné zobrazenie komplexne združeného exponenciálneho páru funkcií a ich súčtu s výberom uhla pohľadu,
- animácia guľôčok prechádzajúcich po vykreslených krivkách.

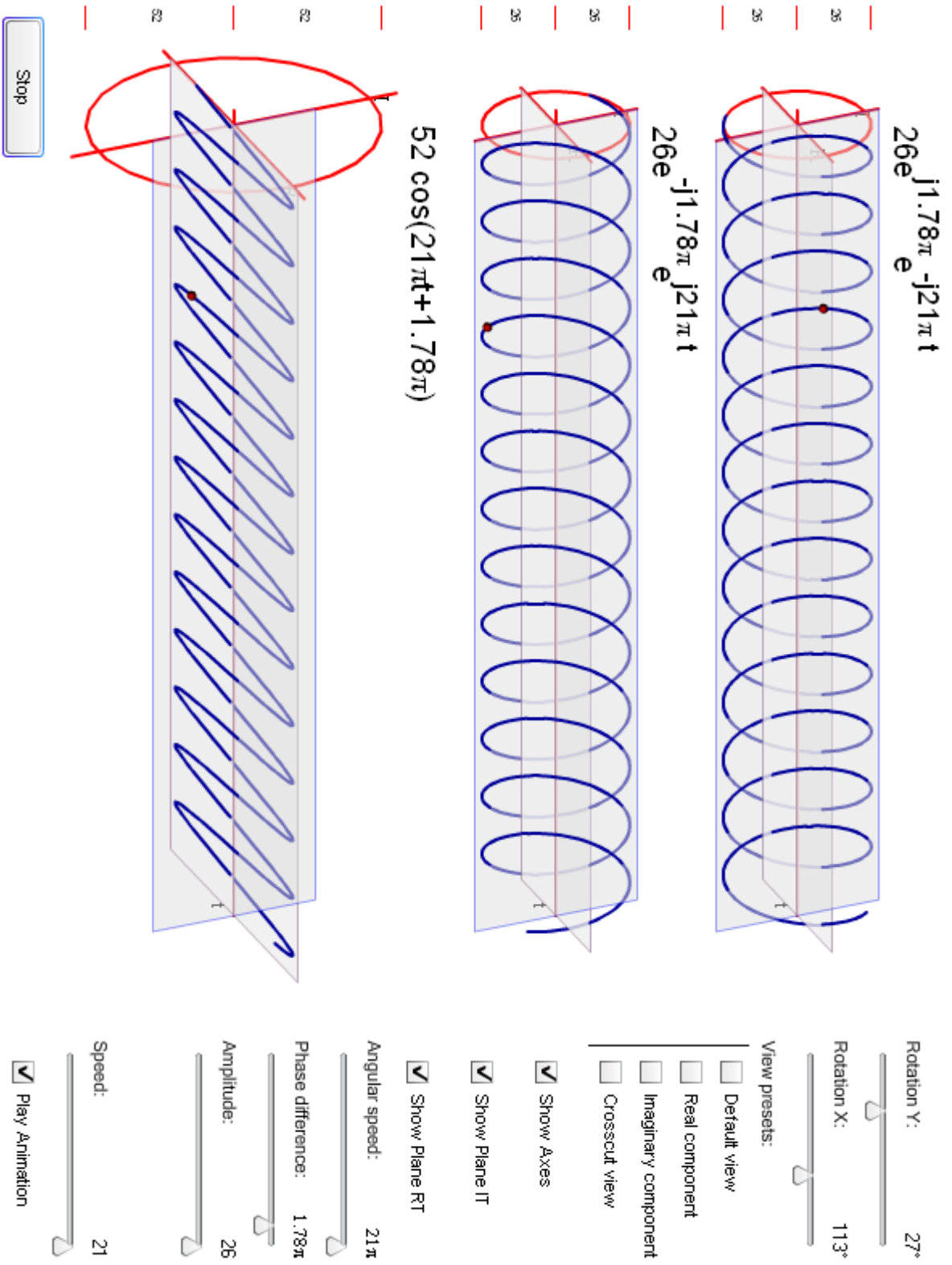
5.2.4 Scenár použitia

Na začiatku je program nastavený tak, aby zobrazoval pohľad na funkcie z názorného uhla. Po spustení je užívateľ oprávnený meniť ľubovoľne pohľad na jednotlivé krivky alebo si vybrať z prednastavených pohľadov tak, aby bol zobrazený prierez jednotlivými rovinami. Rovnako môže užívateľ meniť jednotlivé vlastnosti funkcií pomocou jazdcov. Všetky zmeny sa zobrazujú paralelne so zmenami užívateľa.

Pre pustenie guľôčky po krivkách musí užívateľ označiť plošku s popisom „Play Animation“. Vtedy sa aktivuje tlačidlo „Play“, ktorým sa spúšťa a zastavuje animácia guľôčky po krivkách.

Prednastavené pohľady sú označené ako „View presets“ a sú zvolené s ohľadom na demonštráciu súčtov v jednotlivých rovinách.

Snímka programu je na obrázku 5.2.



Obrázok 5.2: Snímka programu demonstrácie súčtu komplexne exponenciálnych funkcií.

6 Vyhodnotenie implementácie

Po dokončení oboch animácií som ich umiestnil na verejne prístupný školský server⁶ a pripravil krátku anketu, s ktorou som oslovil študentov, ktorí už absolvovali predmet ISS, zaoberajúci sa týmito demonštráciami. Cieľom ankety bolo zistiť, ako hodnotia zmysluplnosť a využiteľnosť oboch demonštrácií. Anketa pozostávala z dvoch otázok pre každú demonštráciu a to: „Ako hodnotíš intuitívnosť a užívateľskú prívetivosť?“ a „Ohodnot' prínos demonštrácií ako výukového materiálu pre štúdium na prednáške ISS, pre vlastné štúdium a pre prípravu na skúšku.“ Hodnotiaci mali v obidvoch prípadoch hodnotiť na stupnici od 1 do 10, pričom väčší počet bodov znamenal lepšie hodnotenie. Hodnotiaci nemali k dispozícii žiaden manuál a videli jednotlivé demonštrácie po prvý krát. Priemerné výsledky zhŕňa nasledujúca tabuľka:

	Intuitívnosť a užívateľská prívetivosť	Pomôcka pri prednáške	Pomôcka k samostatnému štúdiu	Pomôcka pred skúškou
Rozklad funkcie	9	7	7	6
Konvolúcia	9	9	7	7

Tabuľka 6.1: Výsledky prieskumu medzi študentmi.

Z výsledkov a reakcií užívateľov považujem demonštráciu rozkladu kosínusovej funkcie za vhodného kandidáta na využitie behom prednášok predmetu ISS ako aj na zopakovanie demonštrácie pri ďalšom štúdiu. Myslím, že vynikajúce hodnotenie intuitívnosti napomôže k lepšiemu pochopeniu spracovávanej témy. Demonštrácia konvolúcie naplnila očakávania obdobne. V reakciách hodnotiacich sa opakovali pochvalné názory na demonštratívnosť a názornosť implementácie.

Dočasné umiestnenie je na stránkach uvedených v prílohe. Podľa konzultácie s vedúcim práce dodatočne prebehne umiestnenie demonštrácií na stránkach predmetu ISS.

6 Konvolúcia – <http://www.stud.fit.vutbr.cz/~xkanok00/conv/>

Rozklad funkcií – <http://www.stud.fit.vutbr.cz/~xkanok00/expo/>

7 Záver

Zadaním práce bolo zhodnotiť stav mnou zvolených typov demonštrácií na Internete a na ich základe vytvoriť nové.

Pri práci som musel:

- zopakovať si základnú teóriu z prostredia spracovania signálov,
- zdokonaľiť sa v analýze stávajúcich a návrhu nových užívateľských rozhraní,
- zväčšiť svoje vedomosti v oblasti počítačovej grafiky, programovacieho jazyka ActionScript a vývojového prostredia Adobe Flash.

Jednotlivé demonštrácie boli implementované, fungujú a boli kladne ohodnotené. Verím, že napomôžu k priblíženiu spracovávanej problematiky.

Literatúra

- [1] Článok o bázach na Wikipédii, [online], [16-05-2009],
[http://cs.wikipedia.org/wiki/Báze_\(algebra\)](http://cs.wikipedia.org/wiki/Báze_(algebra))
- [2] Skriptá predmetu ISS venované Fourierovmu radu, [online], [16-05-2009],
<http://web.fit.vutbr.cz/study/courses/ISS/public/pred/fr/fr.pdf>
- [3] Článok o konvolúciách na Wikipédii, [online], [16-05-2009],
<http://cs.wikipedia.org/wiki/Konvoluce>
- [4] Convolution and Autocorrelation, [online], [16-05-2009],
<http://cnyack.homestead.com/files/aconv/convau1.htm>
- [5] The Joy of Convolution, [online], [16-05-2009], <http://www.jhu.edu/signals/convolve/>
- [6] Convolution Tool, [online], [16-05-2009],
<http://maxwell.me.gu.edu.au/spl/Excalibar/Jtg/Conv.html>
- [7] Java Convolution Demo, [online], [16-05-2009],
<http://www.isip.piconepress.com/projects/speech/software/demonstrations/applets/util/convolution/current/index.html>
- [8] Exploratories, [online], [16-05-2009],
http://www.cs.brown.edu/exploratories/freeSoftware/repository/edu/brown/cs/exploratories/applets/convolution/convolution_java_plugin.html
- [9] Článok o rozlíšení obrazoviek, [online], [16-05-2009], <http://www.iinfo.cz/tiskove-centrum/tiskove-zpravy/navrcholu-obrazovky/>
- [10] Stránky zaoberajúcimi sa programovaním vo Flashi, [online], [16-05-2009],
<http://www.kirupa.com/>
- [11] Flash Player Detection Kit, [online], [16-05-2009],
http://www.adobe.com/products/flashplayer/download/detection_kit/

Zoznam príloh

Príloha 1. Spustenie demonštrácií

Demonštrácia konvolúcie sa spustí otvorením súboru v bežnom webovom prehliadači s podporou Flash Playera verzie 10 a vyššej:

D:\conv\html\index.html ; kde D je jednotka mechaniky,
alebo otvorením stránky:

<http://www.stud.fit.vutbr.cz/~xkanok00/conv/> .

Demonštrácia rozkladu funkcií do komplexne exponenciálnych funkcií sa spustí otvorením súboru v bežnom webovom prehliadači s podporou Flash Playera verzie 10 a vyššej:

D:\expo\html\index.html ; kde D je jednotka mechaniky,
alebo otvorením stránky:

<http://www.stud.fit.vutbr.cz/~xkanok00/expo/> .

Príloha 2. Ovládanie demonštrácií

Ovládanie demonštrácií je striktné obmedzené na použitie polohovacieho zariadenia, zvyčajne myši.

Príloha 3. Obsah priloženého CD

Priložené CD obsahuje:

- zdrojové kódy demonštrácií,
- projekt Adobe Flash CS4,
- skompilovaný výstup jednotlivých demonštrácií umiestnený do jednoduchej webovej stránky využívajúcej Detection Kit zo stránok Adobe [11],
- text bakalárskej práce vo formátoch .odt a .pdf.