



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMATIZACE A INFORMATIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMATION AND COMPUTER SCIENCE

SOFTWARE PRO ZPRACOVÁNÍ DAT Z AKCELEROMETRU

SOFTWARE FOR PROCESSING DATA FROM THE ACCELEROMETER

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE DAVID ZAHRADNÍK
AUTHOR

VEDOUcí PRÁCE ING. JIŘÍ KOVÁŘ
SUPERVISOR

BRNO 2012

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automatizace a informatiky
Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): David Zahradník

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Aplikovaná informatika a řízení (3902R001)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č. 111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Software pro zpracování dat z akcelerometru

v anglickém jazyce:

Software for processing data from the accelerometer

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Cílem práce bude vytvoření softwaru pro zpracování dat z akcelerometru v jazyce C#. Práce je rozdělena do dvou etap. První etapou práce bude návrh a tvorba softwaru pro zpracování dat z akcelerometru. Druhou a poslední etapou bude testování funkčnosti softwaru na daném akcelerometru.

Cíle bakalářské práce:

- 1) Prostudujte problematiku počítačového zpracování měřených dat.
- 2) Navrhnete a realizujete software pro zpracování dat z akcelerometru.
- 3) Otestujete funkčnost vytvořeného softwaru na daném akcelerometru.
- 4) Formulujete doporučení a závěry.

Seznam odborné literatury:

[1] Hanák, J, "C# 3.0 - Programování na platformě .NET 3.5", Zoner Press, 2009, ISBN: 978-80-7413-046-5

[2] Webové stránky firmy Freescale. [<http://www.freescale.com/>]

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jiří Kovář

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2011/2012.

V Brně, dne

L.S.

Ing. Jan Roupec, Ph.D.
Reditel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Dekan fakulty

Abstrakt:

Tato práce se zabývá tvorbou softwaru pro statistické zpracování dat z akcelerometru. V první části jsou stanoveny cíle. V dalších částech následuje návrh a tvorba vlastního softwaru pro real-time, ale i post-processingové zpracování statistických dat. Výsledný program je testován pomocí uložených dat z akcelerometru. V závěru je zhodnocena funkčnost tohoto vytvořeného programu. Tento program je vytvořen pomocí programovacího jazyka C#.

Abstract:

This thesis deals with the creation of software for statistical processing of data from the accelerometer. In the first part are specify the objectives. The next part of the thesis is followed by design and creation software for statistical processing of data in real-time as well as post-processing mod. Final program is tested by using stored data from the accelerometer. At the end the functionality of the created software is evaluated. This program is created by using the programming language C #.

Klíčová slova:

Akcelerometr, zpracování dat

Key words:

Accelerometer, data processing

Prohlášení o originalitě

Čestně prohlašuji, že jsem tuto práci vytvořil samostatně pod vedením Ing. Jiřího Kováře a za použití uvedené literatury.

V Brně dne 23.5.2012, Zahradník David

Bibliografická citace mé práce:

ZAHRADNÍK, D. *Software pro zpracování dat z akcelerometru*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 29 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jiří Kovář.

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Jiřímu Kováři za odborné rady a připomínky během zpracování mé bakalářské práce.

Obsah

1	Úvod.....	13
1.1	Formulace problému, účelů a cílů řešení	13
2	Rešerše	15
2.1	Zvolený způsob řešení.....	15
2.2	Pokročilejší statistické metody.....	17
2.3	Softwarové požadavky	18
3	Návrh DLL knihovny.....	19
3.1	DLL knihovna s stat. funkcemi a implementace pokročilých stat. funkcí.....	20
3.2	Knihovna pro načtení již naměřených dat	23
3.3	Formát knihovny pro načítání dat	24
4	Testování programu	25
4.1	Akcelerometr KISTLER 8636C10	25
4.2	Princip PiezoBEAM akcelerometru	25
4.3	Vlastnosti 8636C10 akcelerometru	25
4.4	Propojovací jednotka NI 9234.....	26
4.5	MEMS akcelerometr Freescale RD3965MMA7660FC	26
4.6	Propojovací jednotka MEMS akcelerometru	27
4.7	Výsledky.....	27
5	Závěr	29
	Seznam použité literatury.....	31
	Příloha	32

1 Úvod

Na Ústavu automatizace a informatiky, ve spolupráci s Ústavem mechaniky těles, mechatroniky a biomechaniky, Fakulty strojního inženýrství Vysokého učení technického v Brně je v současné době řešena problematika bezdrátového měření zrychlení technických soustav. Senzorická soustava, která toto měření zabezpečuje, je částečně tvořena pomocí bezdrátových akcelerometrů. Akcelerometr je senzor, který měří dynamické zrychlení (sílu vzniklou změnou rychlosti pohybujícího se předmětu) nebo statické zrychlení (sílu vzniklou působením zemské gravitace). Existuje mnoho druhů akcelerometrů, které fungují na různých fyzikálních principech. Od piezoelektrických, piezodoporových (tenzometrických), tepelných, kapacitních až po MEMS akcelerometry jak popisuje ve svých přednáškách Prof. Ing. Miroslav Husák CSc.[1]. S akcelerometry je zpravidla dodáván i základní obslužný software, který ale nemusí obsahovat i metody pro zpracování naměřených dat. Pro zpracování měřených dat je možné použít celou řadu softwarů, ať už komerčně prodáváných nebo šířených pod některou z open source licencí (freeware, open source software apod.) Mezi komerčně prodáváné můžeme zařadit např. Maple od firmy Maplesoft, Inc. [2], Matlab od firmy MathWorks [3], Statistica od firmy StatSoft [4], Wolfram Mathematica od firmy Wolfram [5] a jiné. Jejich výhodou je možnost použití na široké spektrum úloh, z velké části se jejich použití omezuje na post-processingovou část řešení problému. Do druhé skupiny můžeme zařadit např. Octave [6] apod.

Jinou cestou zpracování měřených dat je rozšíření softwaru, který je dodáván k akcelerometru, o požadované statistické metody a jiné programové funkce. Tato bakalářská práce se zabývá realizací softwaru (ve formě dynamicky linkované knihovny – dále jen DLL knihovna), který slouží jako rozšíření takového programu. Tento software se bude používat jak pro real-time, tak pro post-processingovou etapu zpracování měřených dat. Požadavky na funkčnost DLL knihovny vyplývají z potřeb (požadavků) řešeného projektu.

1.1 Formulace problému, účelů a cílů řešení

Použitý akcelerometr, MMA 7660FC ZSTAR3 firmy Freescale, je dodáván se základním ovládacím softwarem. Ten slouží mimo jiné k ovládání a přenosu snímaných dat do počítače. Postrádá ovšem základní statistické funkce a metody pro strukturované ukládání a načítání dat. Účelem této práce je vytvořit příslušné DLL knihovny, která tento software rozšíří o výše zmíněné vlastnosti. Tento úkol lze rozčlenit na jednotlivé dílčí cíle:

- Vytvořit DLL knihovnu obsahující metody, které budou reprezentovat základní jednoduché statistické metody
- Implementovat možnost použití pokročilých statistických metod třetích stran
- Vytvořit DLL knihovnu, jejímž účelem je načítat a ukládat data v přesně definovaném formátu (čitelného v programu Microsoft Excel)

Vytvořené knihovny je nutné implementovat do existujícího softwarového řešení. Tento software je vytvořen v programovacím jazyce C# a je dodáván firmou Freescale. Vytvořené řešení dovolí (po úpravě vlastního ovládacího softwaru) použít tyto funkce jak v režimu real-time, tak i v post-processingové etapě zpracování dat.

Požadavky na obsahované metody a funkce jsou výsledkem potřeb, jež jsou definovány celým projektem. Tyto potřeby jsou:

- Příslušné DLL knihovny mají být realizovány v programovacím jazyce C#
- Formát ukládání dat (stejný má být použit pro načítání) je definován standardem, který je používám v programu NI LabVIEW [7]
- Mají být obsaženy tyto statistické metody: průměr, medián, modus, směrodatná odchylka, variační koeficient, regrese a korelační koeficient
- Má být implementována již existující DLL knihovna s pokročilejšími statistickými metodami

2 Rešerše

U většiny používaných akcelerometrů je možné použít s nimi dodávané softwarové řešení (jako u použitého akcelerometru ZSTAR3[8] od firmy Freescale). Tento software je volně stažitelný v editovatelné podobě (je realizován v jazyce C#). Součástí tohoto softwaru ovšem není možnost statistického zpracování měřených dat. Pro použití real-time modu akcelerometru je nutné implementovat tyto metody buď za pomoci softwarových řešení třetích stran, nebo naprogramováním vlastní DLL knihovny. Tato knihovna bude obsahovat jen vybrané funkce a bude odrážet potřeby celého projektu.

Celý software je vytvořen na platformě firmy Microsoft .NET Framework v programovacím jazyce C#. Z tohoto důvodu je výhodné vytvářet uvedené DLL knihovny v programovacím prostředí Microsoft Visual Studio 2010[9].

Pro implementaci pokročilejších statistických metod je možné použít několik přístupů. V praxi se využívá metody softwarového propojení s komerčně prodávaným softwarem. To ale zahrnuje nutnost mít tento software nainstalovaný na tomto konkrétním počítači (měření nemusí vždy probíhat za aktivního připojení do počítačové sítě Internet) což se může stát finančně náročné. Z tohoto důvodu je výhodné použít software některé z třetích stran, který je distribuován pod některou z neproprietárních licencí. Takovým softwarem je hojně používaná DLL knihovna FFTWLIB[10], která byla vytvořena na MIT. Tato knihovna obsahuje metody některé netriviální statistické a jiné funkce, mimo jiné také metody pro rychlý výpočet Fourierovy transformace.

U celé řady dalších akcelerometrů jejich výrobci neposkytují open source software. Do kterého je možno implementovat vlastní knihovny (jako u použitého akcelerometru KISTLER[11]). Je potřeba použít placený software pro komunikaci a uložení dat z akcelerometru (v našem případě LabVIEW od NI[7]). Tento program ukládá naměřená data v přesně definovaném formátu. Tyto data se dají zase načíst a zpracovat pomocí softwarových řešení třetích stran, nebo naprogramovat vlastní DLL knihovnu. Tato knihovna zprostředkuje načítání dat i s možností mírné korekce změny předdefinovaného formátu.

2.1 Zvolený způsob řešení

Do knihovny budou naprogramovány (v datovém typu FLOAT a DOUBLE) tyto statistické metody:

Aritmetický průměr

Je základní charakteristikou polohy statistického souboru $(x_1, \dots, x_n)$. Kde x_i je hodnota znaku statistického souboru s indexem i přičemž i nabývá hodnot od 1 po n , kde n je počet znaků v tomto souboru a $\bar{x}$ je aritmetický průměr[12] tohoto statistického souboru.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (1)$$

Medián

Jedná se o číslo, které rozděluje statistický soubor o velikosti n na dvě poloviny. Tato charakteristika není tak ovlivněna extrémně odlišnými hodnotami jako Aritmetický průměr. Medián[12] statistického souboru se značí $\tilde{x}$.

$$\tilde{x} = x_{\left(\frac{n+1}{2}\right)} \quad \begin{matrix} n \\ \text{pro lichá} \end{matrix} \quad (2)$$

$$\tilde{x} = \frac{1}{2} \left[x_{\left(\frac{n}{2}\right)} + x_{\left(\frac{n}{2}+1\right)} \right] \quad \begin{matrix} n \\ \text{pro sudá} \end{matrix} \quad (3)$$

Modus

Pokud statistický soubor rozdělíme na více tříd pak modus[12] $\hat{x}$ je střed třídy, která obsahuje prvky vyskytující se s největší četností v tomto souboru. Počet tříd volíme nejčastěji jako odmocninu z velikosti statistického souboru $m = \sqrt{n}$. Následně volíme délku třídy jako podíl rozpětí (rozdíl maximální od minimální hodnoty statistického souboru) a počtu tříd.

Rozptyl

Je základní charakteristika proměnlivosti statistického souboru. Kde n je velikost a $\bar{x}$ průměr tohoto statistického souboru. Čím je větší proměnlivost znaků ve statistickém souboru, tím je větší rozptyl[12] s^2 a naopak.

$$s^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^2 \right) - \bar{x}^2 \quad (4)$$

Směrodatná odchylka

Určuje proměnlivost znaků zkoumaného souboru čím je směrodatná odchylka[12] s větší tím je větší proměnlivost statistického souboru, kde s^2 je rozptyl.

$$s = \sqrt{s^2} \quad (5)$$

Variační koeficient

Jde o relativní proměnlivost znaků zkoumaného statistického souboru. Tato variabilita se uvádí v procentech. Variační koeficient[12] v je podíl směrodatné odchylky s a aritmetického průměru $\bar{x}$.

$$v = \frac{s}{\bar{x}} \quad (6)$$

Regrese

Pomocí regrese[13] se určuje vzájemná funkční závislost znaků statistického souboru $((x_1, y_1), \dots, (x_n, y_n))$. Tato závislost se vyjadřuje na základě předpisu regresní funkce. Nejčastěji se jedná o regresní přímku. Kde $\sum x$, $\sum y$ jsou součty všech hodnot x a y ze statistického souboru, $\bar{x}$, $\bar{y}$ jejich aritmetické průměry a n je velikost tohoto souboru. Pro regresní přímku je b směrnice a a posunutí.

Rovnice posunutí přímky:

$$a = \frac{\sum y - b \sum x}{n} = \bar{y} - b\bar{x} \quad (7)$$

Rovnice směrnice přímky:

$$b = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{n \sum x^2 - (\sum x)^2} \quad (8)$$

Rovnice přímky:

$$\hat{y} = a + bx \quad (9)$$

Korelační koeficient

Určuje míru lineární závislosti. Čím těsnější lineární závislost obou veličin, tím více se korelační koeficient[13] blíží 1. Pokud je roven 1 znamená to, že body leží na přímce. U tohoto koeficientu jsou x_i a y_i hodnoty znaku statistického souboru $((x_1, y_1), \dots, (x_n, y_n))$, $\bar{x}$, $\bar{y}$ jejich aritmetické průměry a n je velikost tohoto souboru, kdy i nabývá hodnot od 1 po n .

$$r_{xy} = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 \sum (y_i - \bar{y})^2}} = \frac{\sum x_i y_i - n \bar{x} \bar{y}}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 \sum (y_i - \bar{y})^2}} \quad (10)$$

2.2 Pokročilejší statistické metody

Na měřená data je nutné aplikovat pokročilejší statistické metody. Tyto jsou již v hojně míře dostupné pod různými licencemi. Z projektu vyplynul požadavek na implementaci rychlé diskrétní Fourierovy transformace.

Tato metoda je plně implementována v již existující knihovně FFTW[10](the Fastest Fourier Transform in the West), naprogramovaná na MIT. Což je C knihovna pro počítání DFT(discrete Fourier transform) v jedné nebo více rozměrech. To zahrnuje komplexní, reálné, symetrické a paralelní transformace a zvládne také vstupní pole o libovolné velikosti. FFTW je typicky rychlejší, než jiné veřejně dostupné FFT implementace. K dosažení takového výkonu FFTW používá nových kódů generujících a samo optimalizačních technik. FFTW je volně stažitelný software distribuovaný pod GNU licenci.

FFTW je primárně C knihovna, proto je potřeba stáhnout ještě `fftwlib.dll`, která upravuje funkčnost C knihoven `libfftw3-3.dll`, `libfftw3f-3.dll`, `libfftw3l-3.dll` pro C#. Tato knihovna pracuje s proměnnými typu float.

2.3 Softwarové požadavky

Z požadavků na software plyne i způsob řešení tvorby DLL knihovny. K vytvoření programu bude použito vývojové prostředí Visual Studio 2010 firmy Microsoft [9]. Tento program je pro studenty na FSI VUT v Brně přístupný pod licenci Microsoft AA nebo je možné tento produkt získat pomocí projektu Microsoft DreamSpark.

Struktura dat je dána standardem používaným prostředím NI LabVIEW pro ukládání dat. Jedná se o XML soubor (Obr 1 a 2). Tento typ souborů je v .NET Framework 4.0 podporován.

	A	B	C	D	E	F
1	Root Name	Title	Author	Date/Time	Groups	Description
2	Acceleration	27.03.2012 12:41:52	Vetiska	27.03.2012 12:41:53,000 PM	1	
3						
4	Group	Channels	Description	DateTime	DecimationLevel	IntervalIndex
5	27.03.2012 12:41:52 - Acceleration - All Data	1		27.03.2012 12:41:53,000 PM	0	0
6						
7	27.03.2012 12:41:52 - Acceleration - All Data					
8	Channel	Datatype	Unit	Length	Minimum	Maximum
9	Dev2_ai0	DT_DOUBLE	g	137012	-0,25255036	0,228800607
10	Implicit	Start	Interval	Length		
11	Time	0	3,90625E-05	137012		
12						

Obr.:1 Ukázka dat List1

	A	B	C	D	E	F
1	Time*	Dev2_ai0				
2	0	-0,042106109				
3	3,91E-05	-0,02679128				
4	7,81E-05	-0,028913762				
5	0,000117	-0,02158837				
6	0,000156	-0,017340945				
7	0,000195	-0,015011871				
8	0,000234	-0,011026376				
9	0,000273	-0,035985834				
10	0,000313	-0,03412774				
11	0,000352	-0,059239682				
12	0,000391	-0,070331682				
13	0,00043	-0,054930772				
14	0,000469	-0,056437169				
15	0,000508	-0,084504109				
16	0,000547	-0,076518361				
17	0,000586	-0,097963303				
18	0,000625	-0,099046679				
19	0,000664	-0,06679872				
20	0,000703	-0,062968168				
21	0,000742	-0,064313473				
22	0,000781	-0,062505797				
23	0,00082	-0,09674097				
24	0,000859	-0,065190257				
25	0,000898	-0,088011247				

Obr.:2 Ukázka dat ze XML souboru

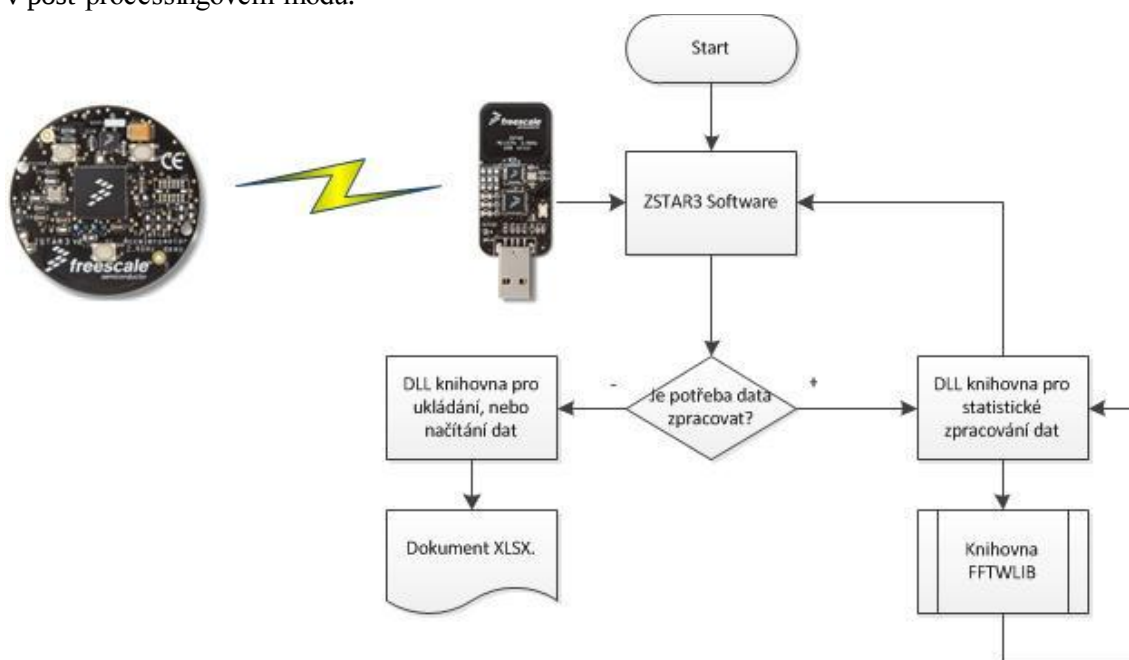
K implementaci pokročilejších statistických metod bude použita DLL knihovna fftwlib.dll (viz. výše).

Pro zobrazení výsledků bude vytvořeno jednoduché grafické prostředí.

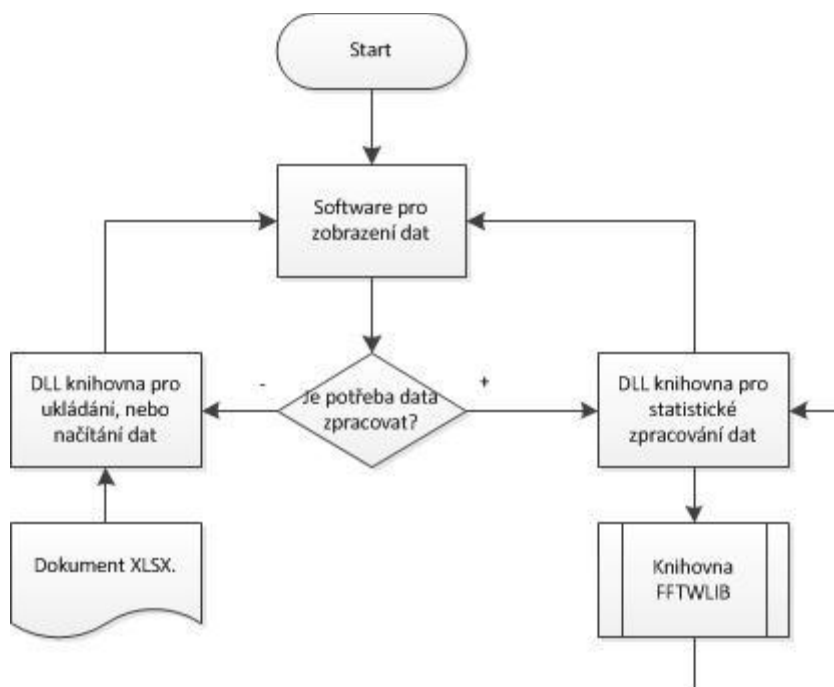
3 Návrh DLL knihovny

Vytvořeny jsou dvě knihovny. První obsahuje sadu statistických funkcí. Tato knihovna je použita jak pro real-time tak pro post-processingovou etapu zpracování dat. V real-time režimu se připojí k ZSTAR3 softwaru, který obstará potřebná data jak je vidět na schématu (Obr.:3). V případě post-procesingu se data musí načíst z externího souboru podle schématu (Obr.:4).

Druhá knihovna tvoří Parser, který umožňuje načíst externí data, jenž se zašlou knihovně na statistické zpracování dat. Tato knihovna se dá použít ke zpracování dat jak v real-time tak v post-processingovém modu.



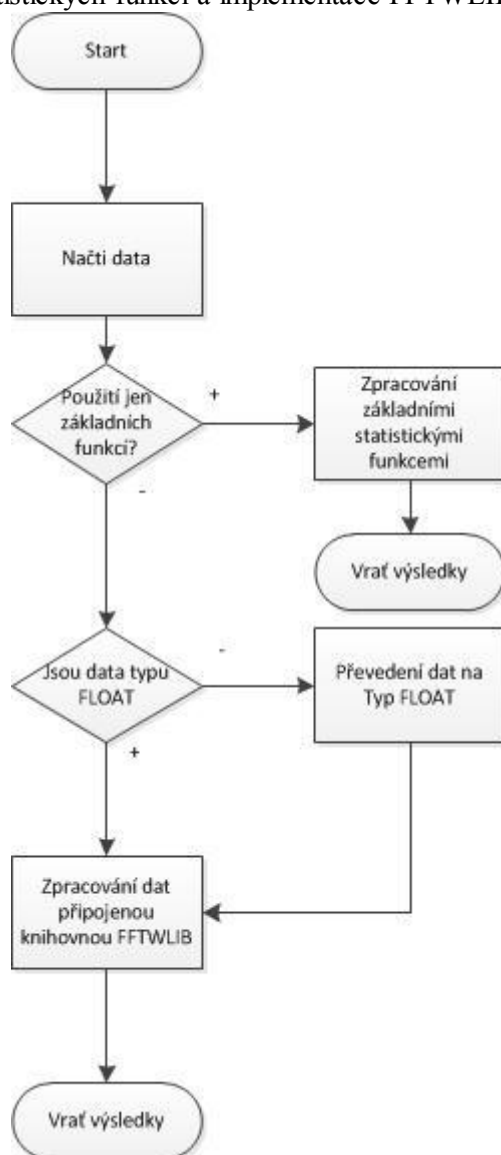
Obr.:3 Schéma programu pro real-time zpracování dat[8]



Obr.:4 Schéma programu pro post-processingové zpracování dat

3.1 DLL knihovna s stat. funkcemi a implementace pokročilých stat. funkcí

Knihovna pro statistické zpracování dat je tvořena sadou statistických funkcí, které pracují s proměnnými typu DOUBLE a FLOAT. Z tohoto důvodu jsou všechny funkce přetížení pro zpracování obou typů formátů jak je vidět na obrázku č. 7. Na vstup funkcí se zasílá vždy celé pole dat, ale výstup může být pouze jedna hodnota, nebo celé pole záleží na zvolené metodě. Implementace knihovny FFTWLIB je zobrazena níže, tato knihovna pracuje s proměnnými typu FLOAT. To znamená, že všechna vstupní data je potřeba na typ FLOAT převést. Vývojový diagram pro knihovnu statistických funkcí a implementace FFTWLIB je zobrazeno na obr.:5



Obr.:5 Vývojový diagram knihovny se statistickými funkcemi

Ukázka implementace knihovny FFTWLIB[10] :

```
using fftwlib;

//načtení pole se vstupními proměnnými _Data
//vytvoření proměnných pro vstup a výstup
float[] _IN, _OUT;
//vytvoření ukazatelů pro vstup a výstup
IntPtr _PointerIN = fftwf.malloc(_Data.Length * 8);
IntPtr _PointerOUT = fftwf.malloc(_Data.Length * 8);
//inicializace ukazatele na nastavení výpočtu
IntPtr _Setup;
//alokování paměti pro proměnné
_IN = new float[_Data.Length*2];
_OUT = new float[_Data.Length*2];
//Nahrání vstupních dat do proměnné _IN
_IN = _Data;
//nastavení ukazatelů na data
Marshal.Copy(_IN, 0, _PointerIN, _Data.Length);
Marshal.Copy(_OUT, 0, _PointerOUT, _Data.Length);
//sestavení příkazu pro zpracování FFT
_Setup = fftwf.dft_r2c_1d(_Data.Length, _PointerIN, _PointerOUT,
fftwf_flags.Estimate);
//provedení výpočtu
fftwf.execute(_Setup);
//nahrání výsledných dat na které ukazuje ukazatel do pole
FLOAT.
Marshal.Copy(_PointerOUT, _OUT, 0, _Data.Length);
//uvolnění nastavení z paměti
fftwf.destroy_plan(_Setup);
//odeslání výsledku
return _OUT;
```



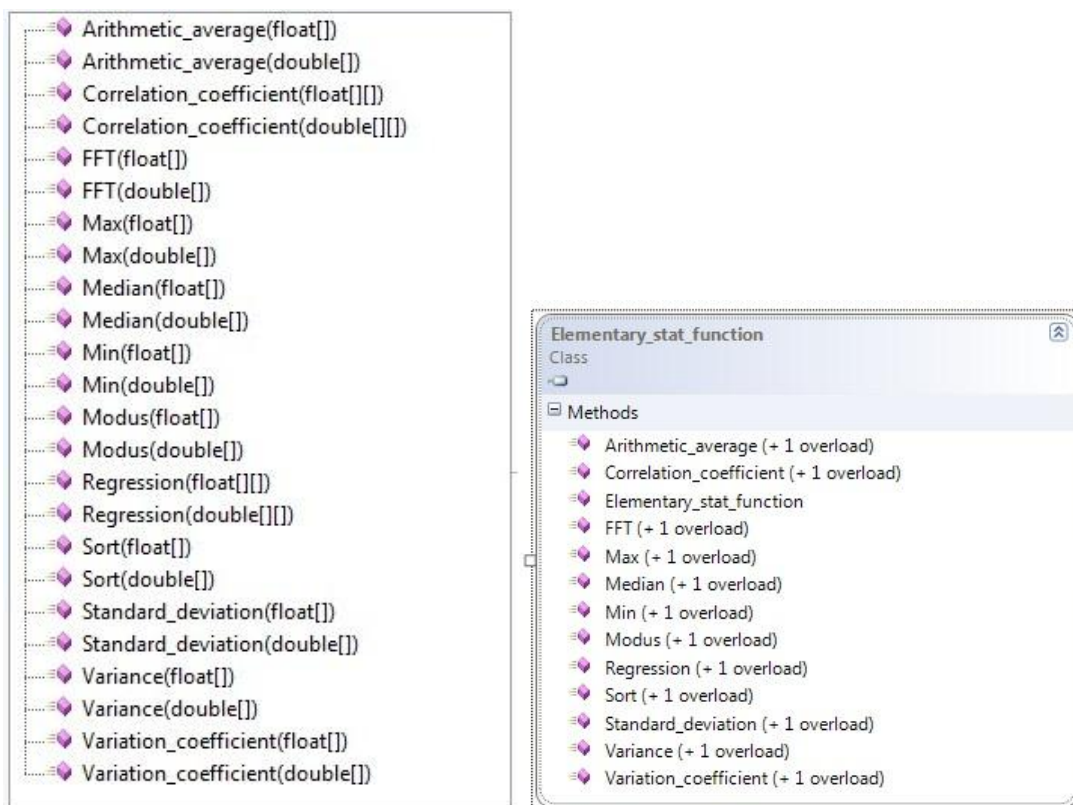
Obr.:6 Funkce knihovny FFTWLIB

Nastavení hlavní funkce:

Tato knihovna obsahuje spoustu možností, jak se Fourierova transformace zpracovává, viz obr.:6. Námí vybraná možnost `fftw.dft_r2c_1d` provádí 1 rozměrnou Fourierovu transformaci s reálnými hodnotami na vstupu. Výsledkem je komplexní číslo rozdělené do pole na reálné a imaginární hodnoty podle vzoru:

`_OUT[0]` = reálná část Fourierovy transformace prvního vzorku
`_OUT[1]` = imaginární část Fourierovy transformace prvního vzorku
`_OUT[2]` = reálná část Fourierovy transformace druhého vzorku
`_OUT[3]` = imaginární část Fourierovy transformace druhého vzorku
 atd.

Výsledkem je jen první polovina transformace, protože ta druhá část je symetrická.



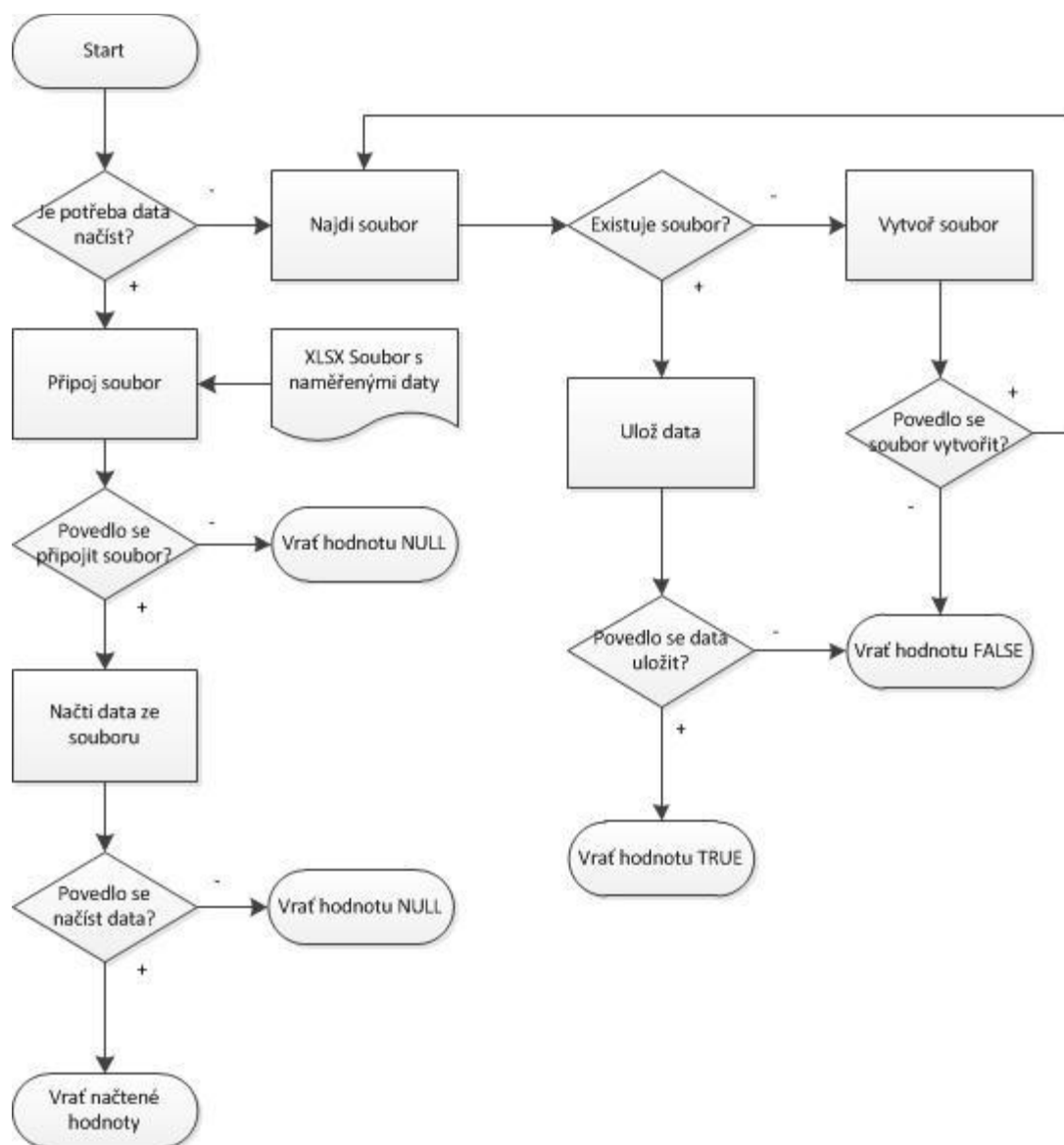
Obr.:7 Knihovna se statistickými funkcemi

3.2 Knihovna pro načtení již naměřených dat

Pro práci s daty v souboru byla zvolena metoda SQL dotazu. Microsoft Visual Studio tuto možnost podporuje již v základu, bez nutnosti připojení externí knihovny. SQL dotaz je zprostředkován knihovnou OLEDB[14]. Avšak k propojení s XML souborem je potřeba mít nainstalovaný ACE OLEDB provider[15].

Tato knihovna umožňuje načíst a uložit data z nebo do souboru pomocí předem daného formátu a s příponou .xls nebo .xlsx. Jak bylo zmíněno již dříve tento formát vychází z formátu používaných programem NI LabVIEW. Soubor obsahuje v prvním listu popis naměřených dat jako je datum měření, vzorkovací frekvence atd. Druhý list obsahuje naměřená data. Úkolem této knihovny je lokalizovat data v sešitě, pomocí zadaných parametrů. Pokud jsou data uložena ve standardním formátu lze knihovně zaslat pouze cestu a název souboru. Pro případ, že je ale sešit s uloženými daty pozměněn je tato funkce knihovny několikrát přetížena. Postupně lze změnit list, sloupec a řádek od kterého se mají data načítat. Pozor naše knihovna automaticky nepočítá prázdné řádky.

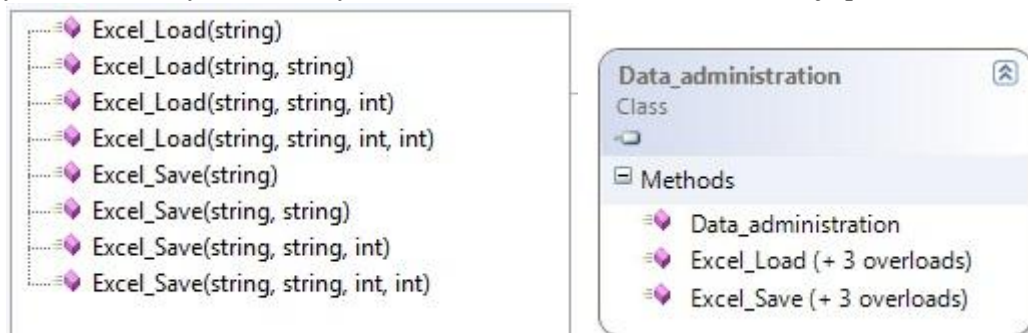
Takto vypsycifikovaná data se následně převedou do formátu double a předají se hlavnímu programu. Počet zaznamenaných hodnot se pohybuje řádově ve 100 000. Schéma knihovny pro ukládání a načítání dat je zobrazeno na obr.:8 a přehled jejich funkcí následně na obr.:9.



Obr.:8 Vývojový diagram knihovny pro ukládání a načítání dat

3.3 Formát knihovny pro načítání dat

Standartní formát pro Parser je xlsx sešit, který v prvním listu obsahuje popis naměřených dat a ve druhém samotné data v prvním řádku s popisem sloupců dat. První sloupec obsahuje časy měření a druhý velikosti zrychlení. Ukázka těchto standardních dat je přiložena na CD.



Obr.:9 Funkce knihovny pro načítání dat

4 Testování programu

K praktickému otestování knihovny jsou použity dva akcelerometry. Jeden je od společnosti Kistler[16], což je velká Švýcarská firma zabývající se vyvíjením a výrobou senzorů a elektroniky pro snímání tlaku, síly, krouticího momentu a zrychlení. Druhý akcelerometr je od společnosti Freescale[17] jenž je velká nadnárodní společnost zabývající se mikroelektronikou od procesoru, mikrokontroléru až po senzory.

První akcelerometr je připojen k jednotce od společnosti National Instruments[18], která slouží jako AD převodník a také k propojení s PC přes USB konektor. K získání dat z tohoto akcelerometru byl použit software od NI, který sadu přijatých dat uložil do xlsx souboru. Za pomoci uložených dat jsme náš program otestovali v tzv. post-processing modu. Kdy jsme naměřená a uložena data nejdříve načeti pomocí knihovny Parser.dll a následně zpracovali pomocí knihovny ElementaryStatsLibrary.dll. Výsledek je zobrazen na Obr. 14.a15.

Druhý akcelerometr je propojen s PC pomocí bezdrátového ZSTAR řešení které zajišťuje i softwarovou komunikaci. Přímou k tomuto softwaru byla připojena naše knihovna akcelerometr, kterou jsme takto otestovali v tzv. real-time režimu.

4.1 Akcelerometr KISTLER 8636C10



Obr.:10 Akcelerometr KISTLER typ 8636C10 [11]

Tento typ PiezoBEAM akcelerometru[11] zobrazeného na obrázku 10 je velmi lehký 5g, což je velkou výhodou zejména, když je jich potřeba použít více. Tento akcelerometr vyznačuje vysokou citlivostí.

4.2 Princip PiezoBEAM akcelerometru

Vnitřní část PiezoBEAM[18] akcelerometru se skládá z keramického nosníku podepřeného centrální základnou. Působením vibrací se tento nosník ohýbá a na vetknutém nosníku vzniká náboj. Tento náboj je převeden zesilovačem na proporcionálně vyšší napětí s výstupní impedancí menší než 500 Ω .

4.3 Vlastnosti 8636C10 akcelerometru

Rozsah: $\pm 10g$
 Citlivost: $\pm 5\%$
 Pracovní teplotní rozsah: $0 \dots 65^\circ C$
 Maximální puls (0.2ms dlouhý): 10 000g
 Rezonanční frekvence: 22kHz
 Váha: 5g

Výstup:
 Impedance: $< 500\Omega$
 Napěťový rozsah: $\pm 5V$
 Proud 2mA

Zdroj:
 Konstantní proud: 2-20mA
 Napětí: 20-30V

4.4 Propojovací jednotka NI 9234

Pro propojení akcelerometru s počítačem je použita jednotka od společnosti National Instruments NI 9234[19] viz obrázek 11. Tento čtyř kanálový modul je určen pro vysoce přesné měření a je vybaven vyhlazovacím filtrem, který automaticky přizpůsobuje vzorkovací frekvenci. Každý signál je vzorkován 24 bitovým delta sigma AD převodníkem.

Vlastnosti:

Maximální vzorkovací frekvence je 51.2kS/s
 Spojování pomocí AC/DC
 Napájení 0 až 2 mA



Obr.:11 Propojovací jednotka NI 9234 [19]

4.5 MEMS akcelerometr Freescale RD3965MMA7660FC

MMA7660FC[20] akcelerometr zobrazený na obr.:12 je 3 osý kapacitní akcelerometr s digitálním výstupem (I²C). Tento akcelerometr obsahuje 6-bitovou hodnotu, pomocí které se dá nakonfigurovat rychlost vzorkování. Typicky se tento akcelerometr používá v mobilních telefonech, PDA, notebookech.



Obr.:12 Akcelerometr freescale MMA7660FC [20]

4.6 Propojovací jednotka MEMS akcelerometru

ZSTAR3[8] systém používá více digitálních a analogových akcelerometrických desek, propojených skrz RF ZigBee 2.4GHz s jediným USB uzlem připojeným k počítači viz Obr.:13. Akcelerometrická deska měří zrychlení ve třech osách používá pin kompatibilní s digitálním nebo analogovým senzorem. Citlivost senzorů je definována výběrem akcelerometru. Tato deska je vybavena MMA7660FC akcelerometrem. USB uzel je částí ZSTAR dizajnu vybaveného softwarem podporujícím více uzlů. RF protokol podporuje až 16 senzorových desek na jeden USB přijímač. Vysílač senzorové desky je napájen 3V baterií a bezdrátový dosah je 20m.

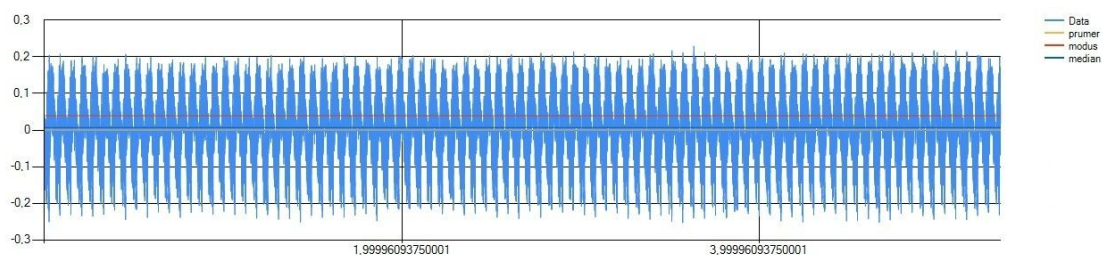


Obr.:13 ZSTAR propojovací systém [8]

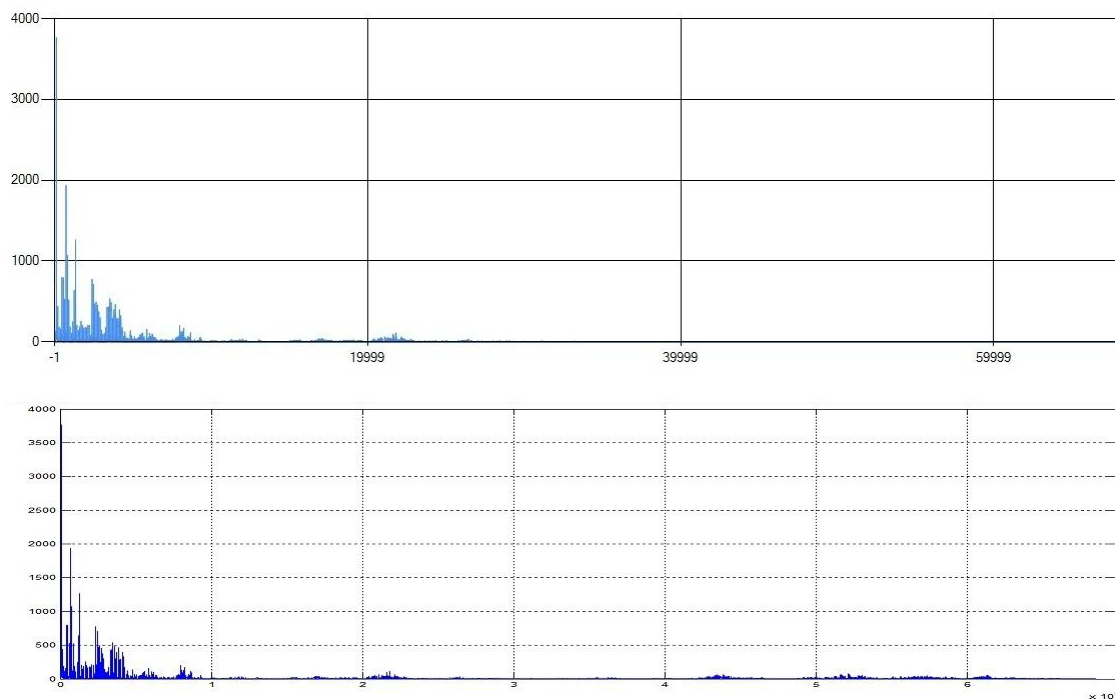
4.7 Výsledky

Pro otestování knihoven jsme vytvořili pomocný software, vykreslující data do grafů za pomoci knihovny System.Windows.Forms.DataVisualization.dll[21]. K tomuto software jsme připojili obě knihovny a načetli data ze souboru .xlsx. Porovnáním výsledků jsme zjistili, že data načtená pomocí knihovny Parser a zpracovaná pomocí knihovny statistických funkcí odpovídají výsledkům vypočítaných komerčním programem Matlab. Jak je možno vidět na obrázku 15. V horní polovině je vypočítaná absolutní hodnota rychlé Fourierovy transformace pomocí námi vytvořené knihovny. Ve druhé polovině je pro srovnání zobrazen stejný výpočet provedený programem Matlab.

Na obrázku 14 je vidět výsledek použití knihovny pro načítání dat, kde na svislé ose jsou zobrazeny zrychlení ve formě g a na vodorovné ose čas v sekundách.



Obr.:14 Zobrazená data po použití knihovny pro načítání dat.



Obr.:15 Porovnání absolutní hodnoty Fourierovy transformace vypočítané pomocí knihovny statistických funkcí a programem Matlab[3]

5 Závěr

V této bakalářské práci byla zpracována problematika návrhu a realizace dynamicky linkovaných knihoven (DLL knihoven) pro zpracování dat měřených pomocí akcelerometru. Požadavky na tyto knihovny jsou definovány na základě požadavků většího projektu, který je řešen Ústavem automatizace a informatiky FSI VUT v Brně. První část bakalářské práce se věnuje rozdělení tohoto úkolu na jednotlivé cíle. Podle požadavků projektu je vyvíjený software v této bakalářské práci rozdělen na dvě části, dvě DLL knihovny.

První vytvořená knihovna `ElementaryStatsLibrary.dll` obsahuje základní statistické metody pro zpracování dat jako je průměr, medián, atd. Tato knihovna zpracovává data typu `DOUBLE`, ale oproti požadavkům, byla rozšířena pro práci s typem proměnných `FLOAT`. To hlavně díky (`FFTWLIB`) knihovně s pokročilými statistickými funkcemi (obsahující různé metody pro výpočet Fourierových transformací), která byla do této první knihovny implementována. Druhá vytvořená knihovna `Parser.dll` slouží pro načítání a ukládání dat naměřených akcelerometrem. Ukládání, nebo načítání dat probíhá na základě přesně daného formátu (`XLSX` formát definovaný v prostředí `LabVIEW`). Obě knihovny jsou poté používány hlavně se softwarovým řešením `ZSTAR3` obsluhujícím akcelerometr.

V další části této bakalářské práce byla testovaná a ověřena funkčnost těchto knihoven. Pro tento účel bylo vytvořeno jednoduché grafické prostředí, které umožnilo obě knihovny připojit a otestovat. Ověření funkčnosti byla načtena data z předem daného souboru pomocí knihovny `Parser.dll` a zpracována pomocí knihovny `ElementaryStatsLibrary.dll`. Výsledky jednotlivých implementovaných statistických metod byly porovnány s výsledky získaných pomocí programu `Matlab` firmy `MathWorks`. Správnost jednotlivých metod je tedy ověřena.

Knihovnu `ElementaryStatsLibrary.dll` by bylo vhodné v další práci rozšířit o jiné statistické metody. Dále je možné knihovnu `Parser.dll` rozšířit o podporu více předem definovaných formátů pro načítání a ukládání dat.

Seznam použité literatury

- [1] HUSÁK, M. 8. Akcelerometry.[online].[cit. 23.5.2012].Dostupné z:
<http://www.micro.feld.cvut.cz/home/X34SES/prednasky/08%20Akcelerometry.pdf>
- [2] MAPLESOFT, Maple.[online].2012.[cit. 22.5.2012].Dostupné z: www.maplesoft.cz/maple
- [3] MATHWORKS, Matlab.[online].2012.[cit. 22.5.2012].Dostupné z: www.mathworks.com
- [4] STATSOFT, Statistica. [online].2012.[cit. 22.5.2012].Dostupné z: www.statsoft.cz
- [5] WOLFRAM, WolframMathematica8. [online].2012.[cit. 22.5.2012].Dostupné z:
<http://www.wolfram.com/mathematica/>
- [6] GNU, Octave.[online].2012.[cit. 22.5.2012].Dostupné z:
<http://www.gnu.org/software/octave/>
- [7] NATIONAL INSTRUMENTS, LabVIEW.[online].2011.[cit. 21.5.2012].Dostupné z:
http://czech.ni.com/labview?nipkw=labview&nisrc=Google&niurl=&ninet=search&nicam=Czech-VI_Software&nigrp=CZ_LabVIEW_2010
- [8] FREESCALE SEMICONDUCTOR Inc, ZSTAR3 Accelerometer Family Expansion.[online].2009.[cit. 20.5.2012] Rev 2.Dostupné z:
http://www.freescale.com/files/sensors/doc/fact_sheet/ZSTAR3BOARDFS.pdf
- [9] MICROSOFT,Microsoft Visual Studio 2010.[online].2012.[cit. 18.5.2012].Dostupné z:
<http://www.microsoft.com/cze/msdn/vstudio/2010/>
- [10] FRIGO, M. JOHNSON, S. G. *FFTW*. [online]. 2008.[cit. 23.5.2012], Dostupné z:
<http://www.fftw.org/fftw3.pdf>
- [11] KISTLER, 8630C & 8636C PiezoBEAM ACCELEROMETERS.[online].[cit. 20.5.2012].Dostupné z :
http://www.intertechnology.com/Kistler/pdfs/Accelerometer_Model_8630C_8636C.pdf
- [12] KARPÍŠEK, Zdeněk. *Matematika IV: statistika a pravděpodobnost*. 3. dopl. vyd. Brno: CERM, 2007, 170 s. ISBN 978-80-214-3380-9.
- [13] OTYEPKA, M. BANÁŠ, P. OTYEPKOVÁ, E. Základy zpracování dat.[online].16.2.2007.[cit. 20.5.2012].Dostupné z:
<http://fch.upol.cz/skripta/zzd/chemo/chemo.pdf>
- [14] MICROSOFT, OLE DB programmer's Guide.[online].2012.[cit. 15.5.2012].Dostupné z:
<http://msdn.microsoft.com/en-us/library/windows/desktop/ms713643%28v=vs.85%29.aspx>
- [15] MICROSOFT, Microsoft Access Database Engine 2010 Redistributable.[online].2012.[cit. 16.5.2012].Dostupné z: <http://www.microsoft.com/en-us/download/details.aspx?id=13255#instructions>
- [16] KISTLER, Vítejte ve světě měřících technologií.[online] [cit. 22.5.2012].Dostupné z:
http://www.kistler.com/cz_cz-cz/KistlerCountryHome_KCS

- [17] FREESCALE, About Freescale.[online].2012.[cit. 23.5.2012].Dostupné z:
http://www.freescale.com/webapp/sps/site/homepage.jsp?code=COMPANY_INFO_HOME
- [18] KISTLER, PiezoBEAM Accelerometers.[online].2012.[cit. 21.5.2012].Dostupné z:
<http://www.kistler.com/mediaaccess/en-ex/20.148e-08.93.pdf>
- [19] NATIONAL, INSTRUMENTS. NI9234.[online].2012.[cit. 20.5.2012].Dostupné z:
<http://sine.ni.com/ds/app/doc/p/id/ds-316/lang/en>
- [20] FREESCALE SEMICONDUCTOR Inc. Data Sheet, MMA7660FC.[online].3.2012.[cit. 20.5.2012]. Rev 8.Dostupné z:
http://www.freescale.com/files/sensors/doc/data_sheet/MMA7660FC.pdf
- [21] MICROSOFT, Chart Class.[online].14.11.2011.[cit.24.5.2012].Dostupné z:
<http://msdn.microsoft.com/en-us/library/system.windows.forms.datavisualization.charting.chart.aspx>

Příloha

CD-obsahuje:

Tuto bakalářskou práci ve formátu .pdf
 Příklad formátu naměřených a uložených dat
 Zdrojové kódy obou vytvořených knihoven
 Knihovnu FFTWLIB