

David Matoušek, Bohumil Brtník

APLIKACE ALGORITMŮ ČÍSLICOVÉHO ZPRACOVÁNÍ SIGNÁLŮ 1

Praha 2014



David Matoušek, Bohumil Brtník

Aplikace algoritmů číslicového zpracování signálů

1. díl

Bez předchozího písemného svolení nakladatelství nesmí být kterákoli část kopírována nebo rozmnožována jakoukoli formou (tisk, fotokopie, mikrofilm nebo jiný postup), zadána do informačního systému nebo přenášena v jiné formě či jinými prostředky.

Autor a nakladatelství nepřijímají záruku za správnost tištěných materiálů. Předkládané informace jsou zveřejněny bez ohledu na případné patenty třetích osob. Nároky na odškodnění na základě změn, chyb nebo vynechání jsou zásadně vyloučeny.

Všechny registrované nebo jiné obchodní známky použité v této knize jsou majetkem jejich vlastníků. Uvedením nejsou zpochybněna z toho vyplývající vlastnická práva.

Veškerá práva vyhrazena

© David Matoušek, 2014

© Bohumil Brtník, 2014

© Nakladatelství BEN – technická literatura, Věšínova 5, Praha 10

David Matoušek, Bohumil Brtník: Aplikace algoritmů číslicového zpracování signálů 1

BEN – technická literatura, Praha 2014

1. vydání

ISBN 978-80-7300-478-1 (tištěná kniha)

ISBN 978-80-7300-479-8 (elektronická kniha v PDF)

Obsah

1	Úvod do filtrace signálů.....	1-1
1.1	Realizace filtrace číslicovým způsobem.....	1-1
1.2	Citlivost filtrační funkce na změnu koeficientů.....	1-4
1.3	Citlivost filtrační funkce na polohu pólů.....	1-5
2	Metoda impulsní invariance.....	2-1
2.1	Princip.....	2-1
2.2	Příklad.....	2-2
3	Metoda skokové invariance.....	3-1
3.1	Princip.....	3-1
3.2	Příklad.....	3-2
4	Metoda užívající bilineární transformace a vycházející z tolerančního pole filtru...4-1	
4.1	Bilineární transformace.....	4-1
4.2	Příklad.....	4-4
4.3	Příklad.....	4-10
5	Realizace číslicových filtrů pomocí ATmega644.....	5-1
5.1	Přípravek EADC – vstupní modul pro A/D převodník.....	5-1
5.2	Přípravek MSPIDAC – sériový 12bitový D/A převodník.....	5-2
5.3	Transparentní režim.....	5-3
5.4	Realizace filtru dle kapitoly 4.2.....	5-10
5.5	Realizace filtru dle kapitoly 4.3.....	5-21
6	Realizace číslicových filtrů pomocí PIC32MX.....	6-1
6.1	Vývojový kit PIC32MXBOARD.....	6-1
6.2	Realizace filtru dle kapitoly 4.2 ve float-point aritmetice.....	6-2
6.3	Realizace filtru dle kapitoly 4.3 ve float-point aritmetice.....	6-7
6.4	Knihovna PIC32 DSP.....	6-8
6.5	Volba výstupního formátu A/D převodníku.....	6-10
6.6	Realizace filtru dle kapitoly 4.2 pomocí knihovny PIC32 DSP.....	6-11
6.7	Realizace filtru dle kapitoly 4.3 pomocí knihovny PIC32 DSP.....	6-15
6.8	Porovnání fractional a float aritmetiky.....	6-17
7	Spektrální analyzátor.....	7-1
7.1	Princip funkce.....	7-1
7.2	Výpočet FFT pomocí knihovny PIC32 DSP.....	7-2
7.3	Návrh vstupní analogové části.....	7-3
7.4	Schéma zapojení.....	7-7
7.5	Program pro mikrokontrolér.....	7-9
7.6	Ověření funkce.....	7-15
7.7	Prosakování.....	7-17
7.8	Upravený program pro spektrální analyzátor.....	7-19
7.9	Ověření funkce nové varianty programu.....	7-21
8	Číslicový měřič RLCG.....	8-1
8.1	Princip funkce.....	8-1
8.2	Návrh analogové části.....	8-7
8.3	Popis obvodu TLV5619.....	8-8
8.4	Schéma zapojení.....	8-9
8.5	Program pro mikrokontrolér.....	8-13
8.6	Kontrolní měření.....	8-20

9	Číslicový wattmetr.....	9-1
	9.1 Princip funkce	9-1
	9.2 Návrh analogové části	9-6
	9.3 Schéma zapojení	9-8
	9.4 Program pro mikrokontrolér	9-11
	9.5 Kalibrace.....	9-18
	9.6 Ověření funkce	9-19
A.	Příloha – podklady pro výrobu přípravků	A-1
	A.1 COM644KIT – vývojový kit	A-1
	A.2 Přípravek EADC – vstupní modul pro A/D převodník	A-5
	A.3 MSPIDAC – sériový 12bitový D/A převodník	A-7
	A.4 PIC32MXBOARD – vývojový kit	A-8
	A.5 SPEC_ANAL – Spektrální analyzátor	A-10
	A.6 RLCG METER	A-13
	A.7 W-metr.....	A-16
	A.8 MLCDDW – 2řádkový LCD displej	A-19

Předmluva

Kniha je určena všem zájemcům o problematiku číslicového zpracování signálů a je věnována praktickým aspektům realizace číslicových filtrů a číslicově pracujících měřicích přístrojů.

Po nezbytném teoretickém úvodu, jsou prakticky realizovány filtry typu pásmová propust za použití float-point aritmetiky, fractional aritmetiky a pomocí tabulky předem stanovených součinnů jednotlivých koeficientů filtru. Tyto realizace jsou ověřeny měřením a výsledky porovnány.

Druhá část knihy je věnována realizaci číslicově pracujících měřicích přístrojů. Je realizován spektrální analyzátor, RLCG metr a W-metr.

*První kapitola představuje **úvod do filtrace signálů**. Jsou připomenuty základní aproximace kmitočtových charakteristik. Dále je vysvětlena realizace filtru číslicovým způsobem a diskutována citlivost přenosové funkce na změnu koeficientů a polohu pólů.*

*Druhá kapitola připomíná **metodu impulzní invariance**, tedy realizaci číslicového filtru tak, aby jeho impulzní charakteristika odpovídala analogovému prototypu. Uvedený příklad ukazuje prakticky dosažitelné výsledky včetně diskuze citlivosti na konečný počet platných cifer realizovaných koeficientů. Filtry jsou analyzovány programem MicroCap 10.*

*Třetí kapitola představuje méně známou **metodu skokové invariance**.*

*Čtvrtá kapitola popisuje **metodu užívající bilineární transformaci a vycházející z tolerančního pole filtru**. Tímto způsobem jsou v kapitolách 4.2 a 4.3 navrženy dvě pásmové propusti, které jsou posléze v kapitolách 5 a 6 prakticky realizovány pomocí mikrokontrolérů řad Atmel AVR ATmega a Microchip PIC32MX.*

*Pátá kapitola popisuje **realizaci číslicových filtrů pomocí mikrokontroléru ATmega644**. Nejdříve jsou dynamika sestavy přípravků EADC (vstupní modul pro A/D převodník) a MSPIDAC (sériový 12bitový D/A převodník) a jádro konstrukce filtru ověřeny na tzv. transparentním režimu. Následují realizace pásmových propustí navržených v kapitolách 4.2 a 4.3. Realizace pomocí float-point aritmetiky není pro zvolený vzorkovací kmitočet 10 kHz možná. Jako alternativy jsou předvedeny realizace založené na použití fractional aritmetiky a předem vypočítané tabulky součinnů koeficientů pro 8bitové, 10bitové a 12bitové rozlišení. Na závěr jsou porovnány výsledky měření filtrů s ohledem na časovou a paměťovou náročnost a výsledný poměr útlumu v propustné a nepropustné oblasti.*

*Šestá kapitola popisuje **realizaci číslicových filtrů pomocí mikrokontroléru PIC32MX**. Filtry dle kapitol 4.2 a 4.3 lze nyní realizovat pomocí float-point aritmetiky. Realizace pomocí fractional aritmetiky je předvedena rovněž. Pro fractional aritmetiku se používají funkce z knihovny PIC32 DSP. Dosažené výsledky jsou opět ověřeny měřením a porovnány.*

*Sedmá kapitola uvádí realizaci **spektrálního analyzátoru**. Realizace je založena na použití FFT (rychlé Fourierovy transformace). Nejdříve je popsána konstrukce vstupní analogové části (zajistí úpravu amplitudy vstupního signálu, zabraní vzniku aliasingu a vloží stejnosměrnou složku pro následný A/D převod). Pro realizaci je použit mikrokontrolér PIC32MX130F064B-I/SP. Spektrální analyzátor je 5-pásmový, jednotlivá pásma jsou 100 Hz, 300 Hz, 1 kHz, 3 kHz a 10 kHz. Zobrazení amplitudy signálu v jednotlivých pásmech je řešeno pomocí maticového displeje.*

*Osmá kapitola uvádí realizaci **RLCG měřiče**. Realizace spočívá ve vytvoření referenčního sinusového signálu pomocí D/A převodníku. Tento signál prochází impedančním převodníkem. Následně je vzorkován A/D převodníkem a pomocí korelace i a q složek jsou stanoveny reálné a imaginární složky měřené impedance. Jedná se vlastně o plně číslicově provedený vektor-voltmetr. Pro realizaci je použit*

mikrokontrolér PIC32MX130F064B-I/SP. Měřicí signál má kmitočet 1 kHz, rozlišení převodu je 12 bitů a na periodu připadá 360 vzorků. Naměřená hodnota reálné a imaginární části je zobrazena na dvouřádkovém LCD displeji, který je ovládán pomocí SPI sběrnice.

V deváté kapitole je popsána realizace **W-metru**. Pro realizaci je použit mikrokontrolér PIC32MX130F064B-I/SP. Vzorkovací kmitočet je 50 kHz. Mikrokontrolér provádí výpočet činného výkonu, střední a efektivní hodnoty napětí a proudu. Rovněž jsou stanoveny maximální hodnoty napětí a proudu. Následně je stanovena hodnota zdánlivého výkonu. Na LCD displeji je možno zobrazit: činný výkon a účinník, maximální hodnoty napětí a proudu, efektivní hodnoty napětí a proudu, střední hodnoty napětí a proudu. Tím tento přístroj nahrazuje nejen klasický W-metr ale také představuje levnou realizaci obvodu pro stanovení skutečné efektivní hodnoty (True RMS) napětí nebo proudu.

V příloze nalezneme podklady pro výrobu jednotlivých přípravků: **COM644KIT** (levný vývojový kit pro ATmega644), **EADC** (vstupní modul pro A/D převodník), **MSPIDAC** (sériový 12bitový D/A převodník), **PIC32MXBOARD** (levný vývojový kit pro PIC32MX130F064B-I/SP), **SPEC_ANAL** (spektrální analyzátor), **RLCG METER** (měřič RLCG), **W-metr** (měřič výkonu, maximální a efektivní hodnoty), **MLCDW** (2řádkový LCD displej).

Přehled uváděných příkladů:

- **FILTRY:**
 - FILTRY/ATMEGA644/PP_DLE43/TRANSPARENTNI – ověření transparentního režimu filtru (ATmega644).
 - FILTRY/ATMEGA644/PP_DLE42/FLOAT_NELZE – pokusná verze filtru dle kapitoly 4.2 realizovaného v aritmetice float-point (ATmega644).
 - FILTRY/ATMEGA644/PP_DLE42/FRACTIONAL – realizace filtru dle kapitoly 4.2 v aritmetice fractional (ATmega644).
 - FILTRY/ATMEGA644/PP_DLE42/TAB08 – realizace filtru dle kapitoly 4.2 pomocí 8bitové tabulky (ATmega644).
 - FILTRY/ATMEGA644/PP_DLE42/TAB10 – realizace filtru dle kapitoly 4.2 pomocí 10bitové tabulky (ATmega644).
 - FILTRY/ATMEGA644/PP_DLE42/TAB12 – realizace filtru dle kapitoly 4.2 pomocí 12bitové tabulky (ATmega644).
 - FILTRY/ATMEGA644/PP_DLE43/FRACTIONAL – realizace filtru dle kapitoly 4.3 v aritmetice fractional (ATmega644).
 - FILTRY/ATMEGA644/PP_DLE43/TAB08 – realizace filtru dle kapitoly 4.3 pomocí 8bitové tabulky (ATmega644).
 - FILTRY/ATMEGA644/PP_DLE43/TAB10 – realizace filtru dle kapitoly 4.3 pomocí 10bitové tabulky (ATmega644).
 - FILTRY/ATMEGA644/PP_DLE43/TAB12 – realizace filtru dle kapitoly 4.3 pomocí 12bitové tabulky (ATmega644).
 - FILTRY/PIC32/PP_DLE42/FLOAT – realizace filtru dle kapitoly 4.2 ve float-point aritmetice (PIC32).
 - FILTRY/PIC32/PP_DLE42/FRACTIONAL – realizace filtru dle kapitoly 4.2 v aritmetice fractional (PIC32).
 - FILTRY/PIC32/PP_DLE43/FLOAT – realizace filtru dle kapitoly 4.3 ve float-point aritmetice (PIC32).
 - FILTRY/PIC32/PP_DLE43/FRACTIONAL – realizace filtru dle kapitoly 4.3 v aritmetice fractional (PIC32).

- SPEC_ANAL – dvě verze spektrálního analyzátoru (PIC32) dle kapitoly 7,
- RLCG_METER – RLCG metr (PIC32) dle kapitoly 8,
- W_METER – W-metr (PIC32) dle kapitoly 9.

Obsah doprovodného CD-ROM (ke stažení na www.ben.cz):

- COM644KIT – ovládací program pro vývojový kit COM644KIT (pro mikrokontrolér ATmega644),
- DATASHEET – katalogové listy vybraných obvodů,
- INSTALACE – instalační soubory pro mikrokontroléry řad PIC32 (MPLABX verze 1.85 a XC32 verze 1.21) a AVR (AVR Studio 4.16),
- KOEFTAB – program pro generování tabulek součinů vzorků s koeficienty,
- PROGRAMY – zdrojové texty jednotlivých příkladů (adresáře FILTRY, SPEC_ANAL, RLCG_METER a W_METER),
- SPOJE – podklady pro výrobu desek plošných spojů jednotlivých přípravků v Eagle verze 6.4.