

Digitální signálové procesory v diagnostice a řízení

Zdeněk Macháček

Katedra měřicí a řídicí techniky, FEI, VŠB – Technická univerzita Ostrava
17. listopadu 15, 708 33 Ostrava–Poruba
zdenek.machacek@vsb.cz

Abstrakt. Tento příspěvek obsahuje mé dosavadní výsledky a teoretické poznatky z oblasti řízení a měření v průmyslu pomocí Digitálního Signálového Procesoru (DSP). Dále jsou zde popsány a vysvětleny důvody použití takového procesoru, oblasti jeho využití, výhody, či nevýhody, spolu se základními parametry procesoru. V dnešním technicky vyspělém světě je snímáno, měřeno a řízeno stále více veličin, signálů a hodnot daných zařízení, okolního prostředí a také organismů. Je tedy nutné se zabývat jejich nejdokonalejším a nejpresnějším snímáním, diagnostikou a řízením, čehož lze dosáhnout vhodnou volbou metod měření a vyhodnocení, volbou kvalitních měřicích a řídicích přístrojů a také dobrým nastavením a naprogramováním celého řídicího systému. Pro řídicí či diagnostický systém pracující se signály, který při jejich vyhodnocování používá komplikované a časově náročné výpočty, je velmi výhodné použití Digitálního Signálového Procesoru. V moderních DSP jsou dnes již implementovány standardní periférie, což umožňuje také komunikaci s dalšími DSP nebo průmyslovými počítači. DSP je možné použít jako součást, či dokonce jako hlavní řídicí jednotku ve vestavěných systémech.

Klíčová slova: Vestavěný Systém, Digitální Signálový Procesor, Diagnostika, EKG.

1 Úvod

Hlavním a nejčastějším úkolem signálového řízení je získání informací ze signálu a jejich zpracování. Informace mohou být obsaženy ve formě amplitudy, frekvence, spektrální hustoty, časového poměru.

U dnešních DSP je standardem 16 bitové nebo 32 bitové binární číslo, reprezentující v daném okamžiku jednu složku signálu, což je dostatečně velké číslo pro hodnověrné a přesné vyjádření signálu ve většině průmyslových, řídicích a monitorovacích aplikacích.

Použití těchto signálových procesorů nachází stále větší uplatnění téměř ve všech oblastech elektroniky, nejen v průmyslu, ale také v televizní, audio a spotřební elektronice. Je totiž výhodnou alternativou analogových systémů složených z mnoha součástek, ve srovnání se systémem digitálního signálového procesoru. Vlastní součástky u analogových zapojení, tedy složitý hardware, je nahrazen méně komplikovaným zapojením DSP, kde podstatnou část výpočtů a řízení je prováděna v procesoru pomocí naprogramovaného softwaru. Tím je možné dosáhnout podstatně nižších výdajů za zařízení srovnatelné či lepší.

2 Popis používaných digitálních signálových procesorů

Charakteristickou funkcí a vlastností digitálního signálového procesoru je paralelní provádění jednotlivých instrukcí (Pipelining) v jednom instrukčním cyklu. Tento paralelismus je velkou výhodou oproti ostatním počítačům. U dnešních digitálních signálových procesorů je možné provádět až 8 instrukcí v jednom instrukčním cyklu. Je možné programování například v jazyce C, lineárním Assembleru, strojovém Assembleru. Programování v jazyce C je výhodnější nejen pro komfortní uživatelské prostředí a programování, ale také jsou zde většinou vytvořeny speciální knihovny pro DSP funkce, které velmi usnadňují a urychlují programování.

Při DSP- Digitálním signálovém řízení je analogový signál převáděn do digitální formy pomocí ADC- analogově digitálního převodníku. Z výstupu tohoto ADC je získána binární reprezentace analogového signálu a ta se aritmeticky zpracovává digitálním signálovým procesorem. Na výstupu digitálního signálového procesoru je zpracovaný digitální signál, a ten je pomocí DAC digitálně analogového převodníku převeden zpět do analogové formy.

Důležitým parametrem pro správnou a bezchybnou funkci DSP je maximální frekvence měřeného vstupního signálu, která je závislá na vzorkovací frekvenci všech částí systému. Obvykle nejmenší vzorkovací frekvenci má ADC převodník. Je tedy nutné před tento převodník předřadit dolnoproústný filtr, který odstraní vyšší frekvenční pásmo ze signálu a tím nedojde k antialiasingovému rušení. Maximální frekvence se shoduje s Shannonovým vzorkovacím teorémem, kde vzorkovací frekvence musí být dvakrát vyšší než maximální frekvence harmonické (Nyquistova frekvence) a je dána vztahem:

$$f_{\max} = \frac{f_{\text{vz}}}{2} \quad (1)$$

Na našem pracovišti používáme tyto DSP vývojové kity: ADSP 21535 BLACKFIN, ADSP 21065L SHARC vyrobené firmou Analog Devices a MOTOROLA DSP56F803EVM, DSP56F805EVM.

Tabulka 1. Parametry dvou vybraných vývojových kitů DSP.

Board	Frekvence	Paměť	Periférie	Software	Jádro
ADSP 21535 BLACKFIN EZLITE	maximum core 300MHz	SRAM 4M x 32bit	A/D 48kHz JTAG SPORT0 Flash LINK	Visual DSP++ C compiler	2 x 16bit MAC 2 x 40bit ALU
	interface 120MHz	FLASH 272K x 16bit	GPIO,LEDS BUTTONS, USB,...	Assembler	2 x 40bit Accum.
MOTOROLA DSP 56F803EVM	maximum core 80MHz 8MHz	FSRAM 64K x 16bit 64K x 16bit	A/D, PWM JTAG,SPI, CAN,RS232 UNI3,GPIO, LED, BUT...	Code Warrior C compiler Assembler	16 bit

3 Projekty s digitálním signálovým procesorem DSP

3.1 Diagnostika a plánování údržby pomocí DSP

Jedním z projektů kde je použit digitální signálový procesor jako řídicí jednotka je vyvinutí systému pro diagnostiku vibrací a plánování údržby technických zařízení. Diagnostika vibrací je důležitá pro bezpečný provoz strojů, přístrojů a systémů, ve kterých vibrace mohou vzniknout. Správně navržený diagnostický systém zvyšuje spolehlivost a bezpečnost provozu daného zařízení a zpravidla zahrnuje i systém údržby daného zařízení. Správné plánování údržby zaručuje dobrou stabilitu a ekonomiku příslušného provozu. Při diagnostice vibrací se zpravidla kromě vibrací měří také rychlost otáček a hluk[3].

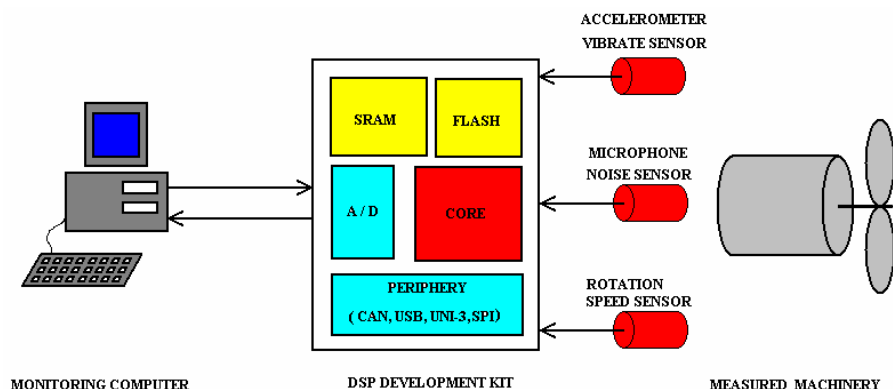
Diagnostický systém můžeme rozdělit:

- **detekci poruchy**
 - identifikace poruchy v systému
 - ohlášení poruchového nebo bezporuchového stavu
- **lokalizaci poruchy** – určení místa poruchy v systému

Mezi častý způsob detekce chyb patří analýza signálu, který se získává z příslušného senzoru. Analýzu můžeme provést dvěma způsoby :

Časová analýza signálu. V tomto případě analýza signálu závisí na celém časovém intervalu vibrací. To znamená, že vibrace se sledují v celém frekvenčním spektru. Jsou stanoveny kritické hodnoty, které nesmí být překročeny.

Frekvenční analýza signálu. Tento způsob analýzy signálu je přesnější a má i další výhody. Lze lokalizovat chybu a zjistit proč nastala. Lze získat amplitudové a fázové spektrum signálu. Fázové spektrum je důležité pro indikaci typu nevyváženosti. V případě, že signál je periodický, lze použít rychlé Fourierovy transformace (FFT) pro převedení signálu z časové do frekvenční domény [4].



Obr. 1. Schéma vestavěného systému s DSP pro diagnostiku.

Při diagnostickém měření se provádí převod mechanické amplitudy na elektrický signál a dále se vyhodnocují charakteristiky následujících veličin, které se využívají pro určení vibrací :

- **Výchylka.** Sensory snímají změny pozice a vzdálenosti objektu od nějakého referenčního bodu. Pro vibrační diagnostiku se používají indukční, kapacitní a magnetické senzory. 0 –10 kHz.
- **Rychlost.** Sensory snímají rychlost výchylky změn signálu. Levné akcelerometry - hodnota rychlosti je získána integrací zrychlení. Elektrodynamické snímače, max. 3 kHz, ovlivnitelné parazitním magnetickým polem.
- **Zrychlení.** Sensory snímají zrychlení výchylky signálu. Sensory pro měření zrychlení jsou integrační tenzometry nebo kapacitní akcelerometry, elektrodynamické senzory rychlosti s derivační jednotkou nebo piezoelektrické akcelerometry. 0,01Hz-20 kHz.

Pro měření hluku v diagnostice se používají speciální mikrofony. Naměřený hluk může obsahovat informaci o technickém stavu systému. Diagnostika měření hluku lze provádět ve frekvenčním rozsahu od 20 Hz do 20 kHz, což je dostatečné pro analýzu stavu systému. Hlavní problém diagnostiky je umístění senzorů, neboť často je více zdrojů hluku, dále musíme do analýzy zahrnout i hlukové interference a odrazy.

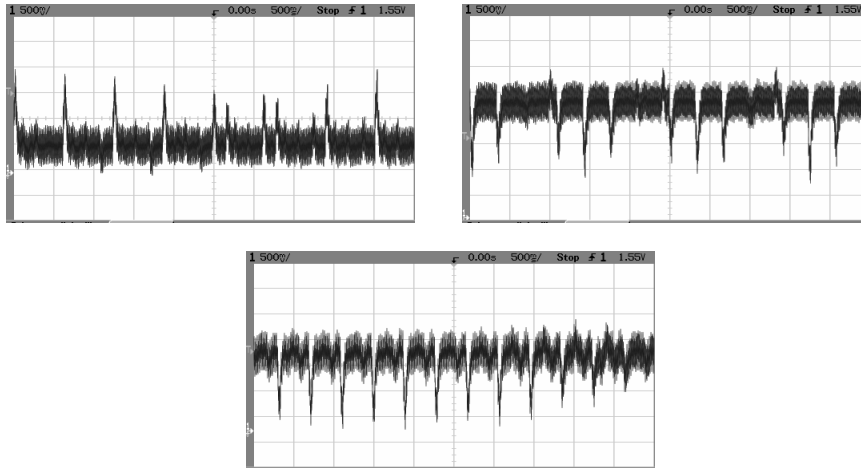
3.2 Simulace EKG signálu pomocí DSP

Další vytvořený projekt, kde řídicí jednotkou je digitální signálový procesor je Simulátor EKG signálu. Tento přístroj nahrazuje a simuluje signál ze srdce pacienta. Je tedy zřejmé, že DSP je možné využít také v lékařské praxi, kde se uplatňuje při digitálním zpracování biologických signálů.

Technické parametry EKG přístrojů musí zaručit digitalizaci EKG signálů se vzorkovacím kmitočtem 1 – 4 kHz. Vzorkovací frekvence těchto přístrojů závisí na mnoha okolnostech. EKG monitory pracují buď podle manuálního nastavení obsluhou, nebo podle předem definovaných programů. Aby tyto přístroje byly schopné spolehlivě plnit svoji funkci, je nutné je průběžně kalibrovat, což se také provádí pomocí simulátoru EKG signálu [6].

Pro simulaci EKG signálu v tomto projektu je využit digitální signálový procesor, který řídí generování daného signálu a jeho vysílání na testované zařízení. Výhodou takto vytvořeného systému pomocí DSP je jeho mobilita a jednoduchost změny parametrů a nastavených signálů. K vývoji systému slouží development kit DSP DSP56F803EVM vyrobený firmou MOTOROLA. Výhodou takového vestavného systému je možnost jednoduché změny parametrů EKG signálu pomocí tlačítka. Jednotlivé EKG signály zahrnující charakteristické průběhy srdce jsou v systému uloženy a je možné si zvolit jeden z nich. Tento systém dovoluje v krátké chvíli otestovat dané měřicí zařízení EKG na několika simulovaných EKG signálech [2].

V aplikaci je použita plsní šířková modulace PWM pro vytvoření výstupního signálu doplněna jednoduchým analogovým dolnoproustným filtrem, který se skládá z rezistoru $R = 1,2 \text{ k}\Omega$ a kondenzátoru $C = 1 \mu\text{F}$.



Obr. 2. Generované EKG signály pomocí vyvinutého simulátoru EKG.

Pro snímání a zobrazování signálu z periférie digitálního signálového procesoru byl použit signální osciloskop firmy AGILENT 54622D schopný měřit do frekvencí 100MHz, tedy zcela vyhovující. Celkové provedení systému je prozatím vhodné jen pro studijní účely. Pro profesionální použití v lékařství je nutné vylepšit jednotlivé funkční bloky a použít kvalitnější a dražší elektronické komponenty.

4 Zhodnocení

Po podrobném prostudování problematiky zabývající se digitálními signálovými procesory, mohu říci, že tento procesor je již dnes v některých aplikacích a systémech použit a tato architektura a řešení procesorů bude jistě v budoucnu stále více využíváno. I proto bych se chtěl dále zabývat a zdokonalovat v oblasti týkající se hardwarového i softwarového návrhu a řešení RT-systémů s digitálními signálovými procesory. Tyto vestavěné systémy, ve srovnání s běžným řešením, jsou výhodné v kompaktnosti, manipulovatelnosti a jednoduché změně parametrů, či dokonce změny funkce systému díky softwarovému zásahu. Není tedy nutná, jak je dnes běžné u klasických elektronických obvodů a zařízení, složitá a drahá výměna hardwarových částí. Ze zkušeností je také možno říci, že je tento digitální signálový procesor také mnohem stabilnější, spolehlivější a rychlejší oproti běžným procesorům.

Potvrzení

Tyto dílčí projekty jsou řešeny na VŠB Technické Universitě Ostrava, Česká Republika v rámci finanční podpory projektu Ministerstva školství České Republiky LN00B029.

Reference

1. Macháček, Šín, Srovnal: *Speech identification in embedded system*. IFAC workshop on programable devices and systems PDS. Ostrava 2003. ISBN 0-08-044130-0.
2. Macháček, Šín, Srovnal: Simulátor EKG signálu s DSP MOTOROLA. Konference měřicí a řídicí technika v biomedicině BMI. Rožnov pod Radhoštěm. 2003.
3. Macháček, Kotzian, Srovnal: Digital Signal Processor in real-time applications for diagnostic. The Third International PhD Students' Workshop Control & Information Technology. Gliwice - Polsko. 2003.
4. Tůma, J. : *Zpracování signálu získaných z mechanického systému užitím FFT*. Praha, 1997. ISBN 80-901936-1-7.
5. Kester Walt . *Mixed signal and DSP design techniques*. Analog Devices, Inc. 2000. ISBN 0-916550-23-0.
6. J. Kovář – Návrh koncepce a systémového řešení simulátoru EKG s nastavitelnými parametry. VSB-TUO. 2001. 200108419.
7. Dokumentace vývojového kitu DSP 56F803 MOTOROLA z www stránek: <http://www.motorola.com>
8. Manuals and Datasheet from Analog Devices, Motorola.

Annotation.

Digital Signal Processors in diagnostic and control

The article discusses about my present research's results and theoretical knowledge from control and measure area in industry, by Digital Signal Processor (DSP). There are described reasons of use this processor, area of availing, advantages and disadvantages, and basic DSP parameters. Today in this technical word, more magnitudes, signals and values are scanned, measured and controlled from some technical equipments, environmental nature and organisms too. So, it is necessary to be interesting to perfect and the most accurate diagnostic and control. We can achieve it by suitable vote of measuring and handling methods, by quality measuring and controlling equipments, and by good setting and programming full controlling system. For this control and diagnostic system, which works with signals, which uses complicate and time-consuming calculations, is very profitable of using Digital Signal Processor. In modern DSP, there are implemented standard peripheries, which enable communication with other DSPs or industrial computers. We can use DSP like part or even like main control unit in embedded systems.