

# SIGNAL PROCESSING ALGORITHMS ON AVR32 PLATFORM

**Filip Záplata**

Master Degree Programme (2), FEEC BUT

E-mail: xzapla00@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Zbyněk Fedra

E-mail: fedraz@feec.vutbr.cz

**Abstract:** Digital audio signal processing demands the computational powerful hardware. In this paper there are reviewed abilities of selected processor and the development kit on which applications are debugged. There is also described an input/output audio interface and its control library. However, the main objective of this work are advanced sound effects.

**Keywords:** architecture Atmel AVR32, microarchitecture AVR32UC, microcontroller AT32UC3A0512, evaluation board EVK1100

## 1. ÚVOD

DSP aplikace jsou ve většině případů implementovány na specializované procesory (signálové procesory) kvůli velké náročnosti na výpočetní výkon. Architektura AVR32 není rodinou procesorů přímo předurčených pro takovéto aplikace, nicméně, jak tomu začíná být zvykem, je na tyto operace nemálo připraven. Vývojová deska ATEVK1100, která byla k dispozici, není samostatně schopna zpracovávat audio-signály, proto bylo nutné doplnit ji o rozšiřující rozhraní s ovládací knihovnou. Cílem celého projektu je vytvoření několika samostatných funkcí realizujících algoritmy pokročilých hudebních efektů. Základní funkce DSP byly již vytvořeny a jsou dodávány firmou ATMEL jako knihovna DSP-lib. Tato knihovna je spolu s jinými využívána jako nižší programová vrstva výsledné knihovny.

## 2. ROZBOR

### 2.1. VÝVOJOVÁ DESKA

Vývojový kit ATEVK1100 je osazen procesorem AT32UC3A0512 z rodiny AVR32. Jak z označení vyplývá, je to 32-bitový procesor s 512kB programové paměti flash a 64kB datové paměti SRAM. Pracovní kmitočet je řízen fázovým závěsem a může dosahovat až 66MHz, což umožňuje zpracovat až 91DMIPS. Množství zpracovaných instrukcí je vysoké díky 3-stupňovému pipeliningu. Instrukční sada disponuje mj. pro DSP důležitými instrukcemi MUL a MAC, jenž jsou zpracovávány vlastní hardwarovou jednotkou a díky tomu vykonávány i v jednom instrukčním cyklu.

V procesoru je implementováno množství periférií, z nichž některé zvyhodňují práci, nebo jsou dokonce nezbytné pro tyto aplikace. Jednotka ABDAC slouží jako 16-bitový DA převodník, je určena přímo pro zvukový stereofonní výstup. SSC jednotka je univerzální vysokorychlostní komunikační rozhraní, které je často využíváno pro datové přenosy mezi externími AD/DA převodníky. Pro vnitřní komunikaci je výhodná jednotka PDCA, která zprostředkovává DMA kanály mj. mezi uvedenými perifériemi a datovou pamětí bez obtěžování jádra procesoru.

Samotná vývojová deska slouží pouze jako prostředek pro zajištění běhu a naprogramování procesoru. Využity jsou pouze některé ovládací prvky, jako jsou tlačítka a indikační LED.

## 2.2. ROZŠÍŘUJÍCÍ ROZHRANÍ

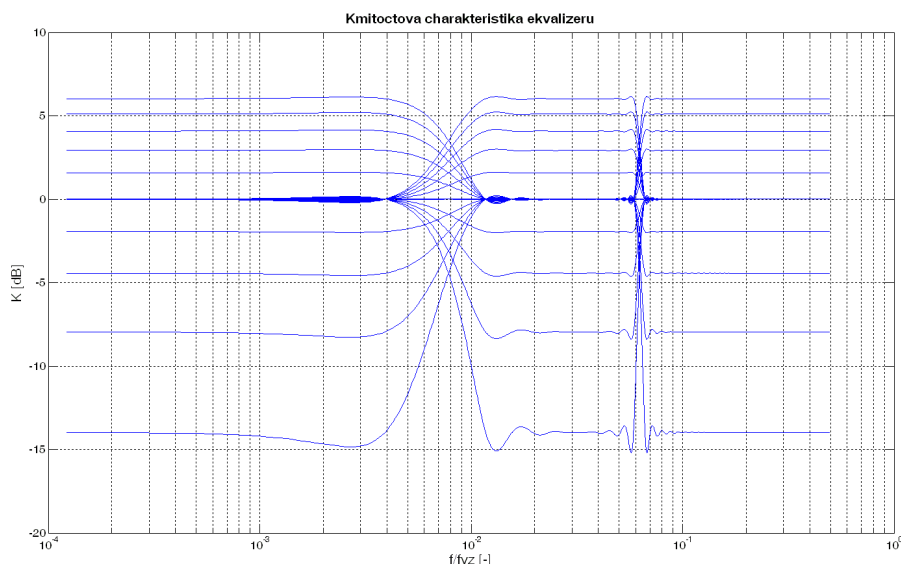
Datový vstup je zprostředkován AD převodníkem AD1870. Je to 16-bitový stereo sigma-delta převodník, zde s nastavením maximálního vzorkovacího kmitočtu 48kHz s 256-násobným převzorkováním. Jako vstupní antialiasingový filtr postačila tedy DP 1. řádu. Data jsou předávána procesoru přes jednotku SSC nastavenou na I2S komunikaci. Převodník je nastaven jako master a po naplnění daného bufferu je DMA kanálem vyvoláno přerušování. Veškerá nastavení a obsluhy přerušování jsou ovládnuty vytvořenou knihovnou, stačí pouze spustit inicializaci a založit datové zásobníky.

Datový výstup zajišťuje již zmíněná jednotka ABDAC. Je to 16-bitový sigma-delta DA převodník se 128-násobným převzorkováním pracující také do kmitočtu 48kHz. Výstup je externě nutné filtrovat dolní propustí 1. řádu a výkonově posílit, aby bylo možné přímé buzení sluchátek. Ovládací funkce pracují na stejném principu jako u AD převodníku, po vyprázdnění datového zásobníku je opět vyvoláno přerušování jako žádost o naplnění daty. Pro správnou funkci opět stačí spustit inicializaci a založit výstupní zásobníky.

Oba převodníky vyžadují externí časování, to je vytvářeno třetím obvodem, PLL syntezátorem s krystalovým oscilátorem. Tento obvod je řízen po sběrnici I2C a lze jej tak jemně přeladit v rozmezí od několika desítek kHz až po 230MHz. Jeden ze tří nezávislých výstupů je vyveden na BNC konektor a je možné ho využívat externě. Ovládací knihovna obsahuje množství funkcí, které vypočítají nutné parametry pro nastavení registrů PLL, děliček a multiplexerů a zašlou je do obvodu. Nastavení je tak mnohem pohodlnější a přesto neomezuje. Pro správnou inicializaci je ovšem nutné prostudovat základní blokové schéma obvodu, proto bylo vytvořeno několik často používaných módů, pro jejichž spuštění stačí jen jedna inicializační funkce.

## 2.3. 3-PÁSMOVÝ EKVALIZÉR

Jako první a spíše testovací aplikace realizující nějaký hudební efekt byl vytvořen jednoduchý 3-pásmový ekvalizér. Data obou kanálů jsou filtrována FIR filtrem o šířce 256 vzorků. Šířka filtru je značná a také významně prodlužuje výpočet, nicméně není nutné řešit stabilitu, což je velká výhoda. Šířka byla zvolena z důvodu dosažení logaritmického rozložení pásem v kmitočtové oblasti. Simulovaná kmitočtová charakteristika je na Obrázek 1:



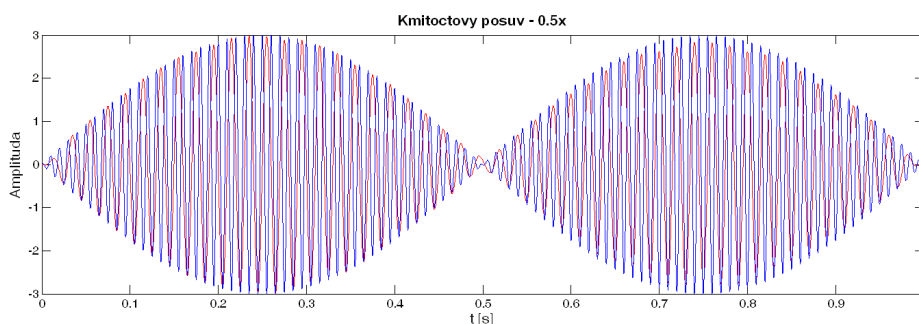
**Obrázek 1:** Kmitočtové charakteristiky ekvalizéru

Impulsní charakteristika filtru je počítána po zadání parametrů kýžené kmitočtové charakteristiky. Kmitočtová charakteristika je zpětnou FFT převedena do časové oblasti a koeficienty už jsou pouze přeskládány.

## 2.4. SPEKTRÁLNÍ POSUN

Složitějším efektem je spektrální posun, přesnější název je v angličtině „pitch scaling“. Jedná se o kmitočtový posun jednotlivých frekvenčních složek signálu při zachování jeho časového vývoje, tj. např. změna hloubky hlasu při zachování délky projevu. Pro realizaci tohoto efektu je známo několik způsobů, ať už v časové nebo kmitočtové oblasti zpracování. Výpočetní kapacita procesoru AT32UC3A0512 by však měla být dostatečná pro realizaci algoritmu v kmitočtové oblasti.

Analyzovaný algoritmus provádí nejprve spektrální analýzu krátkodobou FFT (STFT) s definovaným přesahem (nejlépe 75%) a váhovacím hannovým oknem. Po úpravě je provedena syntéza pomocí zpětné STFT a opět je blok váhován hannovým oknem s přesahem. Úprava spektra není tak úplně přímá, jak by se mohlo na první pohled zdát, největší problémy jsou způsobeny zajištěním návaznosti fáze. Je nutné zjistit přesné kmitočty jednotlivých složek, což lze vypočítat z fázového rozdílu mezi sousedními bloky STFT. K tomu je potřeba převodu z algebraického tvaru komplexního spektra na goniometrický a zpět. Je vidět, že výpočetní náročnost algoritmu narostla dosti vysoko. A opravdu, procesor není schopen tyto výpočty s dostupnou knihovnou DSP-lib a zapnutými optimalizacemi zvládnout v reálném čase. Značnou úsporou bude jistě aplikace CORDIC algoritmů. Výsledek simulace je na Obrázek 2:



**Obrázek 2:** Posun o oktávu dolů (červeně – výstup, modře – vstup)

## 3. ZÁVĚR

Vytvořené rozhraní spolu s ovládací knihovnou je plně funkční a umožňuje jednoduché přizpůsobení požadavkům. Doposud implementovaný ekvalizér vzhledem ke své jednoduchosti pracuje spolehlivě, pouze pro odstranění rušení při nastavování by bylo vhodné aplikaci více propracovat nebo funkce vložit do operačního systému. Algoritmus pro spektrální posun byl odsimulován s nečekaně dobrými výsledky. Jeho implementace na platformu AVR32 je zatím ve fázi vývoje, ale už nyní je jasné, že vzhledem k nutným kompromisům budou celkové výsledky o něco horší. Mimo implementaci „pitch scale“ algoritmu je v plánu ještě implementace reverbátoru a uzavření těchto funkcí do samostatné knihovny. Dále pak jako ukázková úloha aplikace těchto funkcí pod dostupným RTOS.

## PODĚKOVÁNÍ

Tento příspěvek vznikl za podpory grantu FEKT-S-10-6 Softwarová řešení pro bezdrátové komunikační systémy.

## REFERENCE

- [1] KAHRS, Mark; BRANDENBURG, Karlheinz. *Applications of digital signal processing to audio and acoustics*. United states of America : Kluwer Academic Publishers, 2002. 545 s. ISBN 0-3064-7042-X
- [2] AT32UC3A [online]. ATMEL 32-bit microcontroller datasheet [2010-03-01]. Dostupný z [www: <http://www.atmel.com/dyn/resources/prod\\_documents/doc32058.pdf>](http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc32058.pdf)