

ELECTRONIC DRUM CONTROL MODULE

Karel Doležal

Master Degree Programme (2), FIT BUT

E-mail: xdolez44@stud.fit.vutbr.cz

Supervised by: Václav Šimek

E-mail: simekv@fit.vutbr.cz

Abstract: This paper deals with the design of an electronic drum kit control module. First, a prototype with limited functionality is presented as a proof of concept. Then, new device design is described with emphasis on its memory, audio and computational components in order to achieve sufficient performance for practical use. At the end, printed circuit board and current development state is mentioned.

Keywords: embedded systems, musical instrument, drums, microcontroller, audio codec, MIDI

1 ÚVOD

Řídicí jednotka elektronické bicí soupravy primárně slouží k produkci zvuku na základě hráčových úderů do bubnů a v nich obsažených snímačů. Detekce úderu funguje na principu převodu vibrací dopadové plochy bubnu na průběh elektrického napětí pomocí piezoměničů. Výchylka produkovaného el. signálu je závislá na intenzitě vibrací a poskytuje tak nástroji schopnost implementovat tlakovou odezvu. Každému úderu ve výsledku odpovídá přehrání jednoho správně zesíleného zvuku z paměti zařízení, výstup celé soupravy je pak získán smícháním všech současně znějících zvuků.

Následující kapitola popisuje koncept zařízení a sestrojený prototyp. Další část se pak věnuje návrhu nového zařízení, především pamětem, analogovým vstupům a zvukovému kodeku.

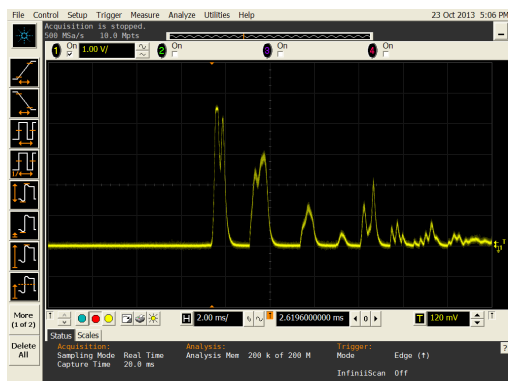
2 ZÁKLADNÍ KONCEPT

Vstupní signály jsou nejprve zesíleny v analogové části přístroje a následně vzorkovány A/D převodníkem mikroprocesoru. Signál je ignorován až do překročení nastaveného prahu, kdy je rozpoznán úder a započne krátká integrace pro určení jeho síly. Zjištěná hodnota je dále upravena podle požadované citlivosti kanálu. Podle typu nástroje je pak vybrána barva zvuku. Tyto parametry jsou odeslány po MIDI sběrnici [1] do externího zvukového generátoru, nebo v případě nově navrhovaného zařízení jsou rovnou použity pro produkci zvuku.

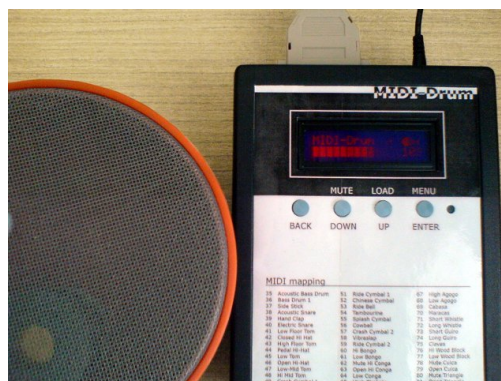
2.1 PROTOTYP

Během raných fází vývoje bylo postaveno zařízení zaměřené pouze na snímání bicí soupravy, jen s MIDI výstupem. Vstupní část každého kanálu sestává z trimmeru, páru ochranných diod a operačního zesilovače, který zaručuje měřitelnost signálu. Typický výstup analogové části zachycuje obrázek 1. Zpracování výše popsaného algoritmu obstarává 8 bitový mikroprocesor PIC16F877.

Dosahovaná vzorkovací frekvence kanálu je přibližně 2800Hz , latence mezi úderem a slyšitelným zvukem se pohybuje okolo 15 ms. To je podle článku [2] již na hranici rozpoznatelnosti lidským uchem. Sestrojený prototyp ilustrovaný na obrázku 2 je prakticky použitelný, kvalitativně však naráží na výkon obsažených komponent, zejména počet kanálů, rychlost A/D převodníku a výkonnost MCU. Hlavním nedostatkem je také závislost nástroje na externím zvukovém generátoru.



Obrázek 1: Průběh vstupního signálu.



Obrázek 2: Prototyp zařízení.

3 NÁVRH

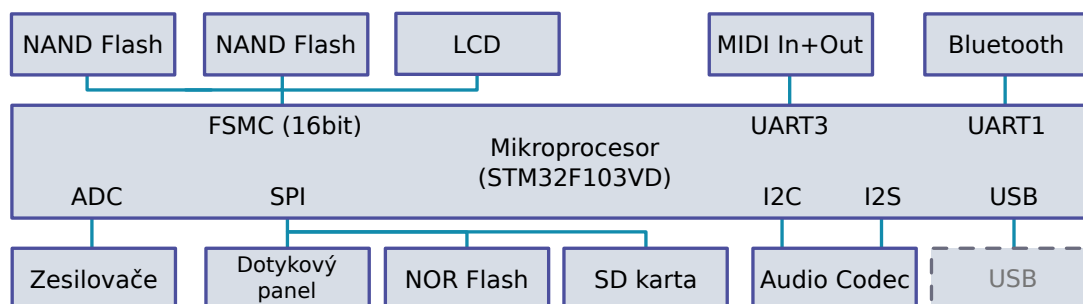
Jedním z hlavních parametrů nástroje je zvukový generátor a jeho maximální počet současně znějících tónů, který se dnes běžně pohybuje kolem 64. Pokud mají být mixované vzorky v CD kvalitě, je zapotřebí datového toku $16 \cdot 2 \cdot 44100 \text{ Hz} = 1.4 \text{ MBit/s}$ pro každý kanál. To klade vysoké nároky na paměťovou architekturu nástroje. Dalším cílem je dosáhnout latence zvuku v řádu jednotek *ms*.

3.1 PAMĚŤ VZORKŮ

Celkový objem vzorků vylučuje možnost použití externí statické RAM. Složitost řízení dynamické RAM a přílišná šířka adresové a datové sběrnice paralelních pamětí pak dále zužuje možný výběr na sériové NOR Flash a 8 bitové paralelní NAND Flash paměti. První zmíněný typ naráží na nepřilíh rychlé SPI rozhraní v cenově dostupných MCU, avšak vyniká svou krátkou přístupovou dobou. Druhý typ poskytuje vyšší výkon i kapacitu, avšak vybavovací doba jednoho bloku paměti je až $25 \mu\text{s}$.

Na základě těchto informací byl zvolen mikroprocesor disponující řadičem paralelní sběrnice, uzpůsobený k připojení NAND Flash paměti. Zvolený paměťový čip S34ML01G s kapacitou 1 GBit postačuje na 760 s záznamu. Teoreticky dosažitelná průměrná rychlost čtení je 113 MBit/s .

Za účelem využití celé šířky sběrnice MCU, a tak dalšího navýšení propustnosti jsou použity paměti dvě. Každý čip je připojen k polovině datové sběrnice a ukládá polovinu datového slova. Příkazy a adresy musí být odesílány na obou polovinách sběrnice zároveň, hardwarové řídicí signály jsou společné. Jako alternativní řešení je připojena taktéž jedna sériová NOR Flash na sběrnici SPI. Podrobnější schéma zařízení je na obrázku 3.



Obrázek 3: Blokové schéma navrhovaného zařízení.

3.2 VSTUPY

Zapojení zesilovačů v analogové části přístroje je použito v neupravené podobě, pouze se zvětšením počtu kanálů na dvojnásobek. Zvolený mikroprocesor také obsahuje přesnější 12 bitový A/D převodník. Ten je schopný vzorkovat všechny kanály cyklicky a výsledky přenášet do paměti pomocí DMA bez nutnosti zásahu procesoru. Vzorkovací frekvence každého kanálu může dosahovat až 50kHz , což by mělo přispět ke zlepšení citlivosti snímačů.

3.3 ZVUKOVÝ VÝSTUP

Zvuk je produkován audio kodekem WM8731 s jedním linkovým a sluchátkovým výstupem. Data jsou přenášena rozhraním I²S na frekvenci $f_s = 44100\text{Hz}$ s rozlišením 24 bitů. Použitý mikroprocesor je sice schopen generovat řídicí frekvenci kodeku sám, avšak s chybou větší než 6%. To by podle vzorce 1 způsobilo výškový posuv zvuku asi o 105 centů, tedy více než o půltón.

Kodek proto není taktován frekvencí 256 fs generovanou v I²S periférii MCU, nýbrž časovačem v režimu Output Compare produkujícím 12 MHz signál. Kodek totiž podle manuálové stránky [3] umožňuje práci v tzv. USB režimu s taktem 272 fs, který zajišťuje vzorkovací frekvenci 44118 Hz. Výměna dat po sběrnici I²S je tedy časována pomocí kodeku v režimu Master, přičemž výšková odchylka je necelý 1 cent.

$$n = 1200 \cdot \log_2 \left(\frac{f_a}{f_b} \right) \quad (1)$$

Hlavní náplní MCU je kromě analýzy vstupních dat mixování zvukových kanálů. Pro tyto účely je vyhrazen blok paměti cyklicky čtený DMA řadičem. Volná místa jsou za běhu postupně doplňována. Mixování vzorků probíhá po blocích o shodné velikosti s Flash pamětí. Volná část paměti je vynulována, každý kanál vyzvedne z paměti aktuálně přehrávaný blok dat, správně ho zesílí a přičte do mezivýsledku v bufferu. Po smíchání všech kanálů je část paměti připravena k odeslání.

4 ZÁVĚR

Popsané zařízení je navrženo na základě již sestrojeného, reálně použitelného prototypu. Nový návrh přidává nástroji schopnost generovat zvuk s cílem dosáhnout vysoké polyfonie. Zvukové vzorky jsou čteny z dvojice Flash pamětí přes 16 bitovou sběrnici s teoretickou propustností přes 226MBit/s . V aktuální fázi vývoje byly vyrobeny a osazeny navržené desky plošných spojů, je také připraveno vývojové prostředí pro platformu STM32 a úspěšně otestována práce s perifériemi obdobného čipu, STM32L152RB.

PODĚKOVÁNÍ

Článek vznikl za podpory projektu VUT v Brně FIT-S-14-2297.

REFERENCE

- [1] FORRÓ, D. *Svět MIDI*. Praha: Grada publishing s. r. o., 1997, 384 s. ISBN 80-716-9412-6
- [2] Opening Pandora's Box?: The „L“ word - latency and digital audio systems. KELTS, Al. *Whirlwind* [online]. 2014 [cit. 2014-03-18]. Dostupné z: whirlwindusa.com/support/tech-articles/opening-pandoras-box
- [3] *WM8731 DS Datasheet*. Edinburgh, 2012 [cit. 2014-02-28]. Dostupné z: www.wolfsonmicro.com/documents/uploads/data_sheets/en/WM8731.pdf