Posudek vedoucího bakalářské práce

Student: Jan Novotný
Název: Vyčítání, řízení a zpracování signálů z diodového pole spektrofotometru

Předmět práce byl motivovaný společným zájmem vedoucího a studenta otestovat možnosti zpracování a vyhodnocení signálu spektrofotometrických detektorů, které k rozkladu světla využívají holografické mřížky a především řádkové světlocitlivé diodové pole pro vlastní měření intenzity záření. Student se již návrhem elektroniky pro tento účel zabýval v rámci své předchozí práce pro Ústav energetiky na Fakultě strojní ČVUT. Pro tento účel navrhl vlastní elektroniku na bázi osmibitového procesoru, která vykazuje pro tuto aplikaci vyhovující parametry.

Zadání bakalářské práce pak bylo vedeno zájmem otestovat hraniční šumové parametry diodového pole pro použití v studentem řešené aplikaci a i v dalších aplikacích s výrazně vyššími požadavky na přesnost. Pro účely tohoto experimentu byl studentovi v zápěstí po zadání práce poskytnutý vhodný procesorový systém doplněný o FPGA obvod s již připravenou základní kostrou aplikace a návrhu sběrnic. Výrazně výkonnější hardware měl umožnit velmi přesné časování senzoru a dražšího převodníku s vyšším rozlišením.

Student prokázal nadstandardní znalosti v oblasti analogové techniky již během svého vlastního návrhu původní elektroniky, která byla realizovaná v domácích podmínkách. Pro realizaci pokročilého řešení byl však návrh hardware svěřen spolupracovníkovi vedoucího práce s tím, že výběr použitých součástek bude proveden ve spolupráci se studentem. Profesionální výroba byla financovaná firmou PiKRON. Úkolem studenta pak bylo provést vlastní logický návrh řízení a zpracování signálů jak na straně FPGA, tak v software mikrokontroléru.

Student si velmi rychle osvojil potřebné nástroje a byl schopný samostatně hardware zprovoznit, avšak vzhledem k jeho dalším mimoškolním aktivitám se řešení vlastního projektu začal více věnovat až necelý měsíc před termínem odevzdání práce. I jeho zpětná vazba, potřebná pro návrh hardware, neprobíhala podle předpokladů. Proto byl hardware převodníku k dispozici relativně pozdě a ani v té době nebyl FPGA návrh pro jeho otestování studentem připravený.

Ve zbývajícím čase se i díky značnému nasazení mého kolegy, studentovi podařilo v extrémně krátkém čase provést základní návrh logiky a doplnit jednoduché rutiny pro otestování celého měřícího řetězce. Některá rozhodnutí při návrhu hardware a především výběr a zapojení AD převodníku se ukázaly jako nevhodné. Na nový návrh však čas nezbýval. Po úpravách se podařilo změřit na stávajícím hardware většinu důležitých parametrů potřebných pro další iteraci návrhu. Parametry vyžadované pro použití v předpokládaných aplikacích jsou i po úpravách zcela nevyhovující. Jedná se však o chybu v návrhu hardware, za který student nebyl přímo zodpovědný.

Vlastní text práce vznikal také ve značném spěchu. Je obdivuhodné, že i za těchto podmínek student zvládl značně rozsáhlý projekt zdokumentovat a provedl potřebná měření a vyhodnocení na velmi dobré úrovni.

Student splnil všechny body zadání a text práce vykazuje vysokou úroveň logické provázanosti. Student prokázal v oblasti elektroniky a procesorové techniky již nyní znalosti, které nemá většina absolventů magisterského studia. Práci doporučuji k obhajobě. Jak text, tak především průběh a výsledek práce byl však negativně ovlivněn studentovým selháním v plánování času a proto navrhuji práci hodnotit stupněm dobře (C).

V Praze, dne 7.6.2015

Ing. Pavel Píša, Ph.D.
Katedra řídicí techniky
Fakulta elektrotechnická
České vysoké učení technické

Oponentský posudek bakalářské práce

Vyčítání, řízení a zpracování signálů z diodového pole spektrofotometru

vypracované studentem Janem Novotným, FEL ČVUT, 2015

Zadání práce bylo splněno. Student prokázal velmi dobrou orientaci a schopnost použít elektronické součástky analogové i digitální, rovněž pak uspokojivou schopnost tvořit syntetický hardware v hradlovém poli. Většina práce je velmi pěkně zpracovanou dokumentací tématu, úroveň detailů a obsažnost technického popisu je příkladná. Formální stránku kazí jen místy vliv spěchu (chybějící mezery), věcné stránce pak chybí pečlivější prezentace měřených dat. Z celkového hlediska mi přístup k řešení i jeho popis připadá dobrý, následují připomínky k několika konkrétním bodům.

V odd. 3.2.1. je řečeno, že výstup temných pixelů je výrobcem poskytnut proto, aby bylo možno odečíst napěťové špičky, osobně jsem spíše toho názoru, že jde o kompenzaci temného proudu. V odd. 4.1. je uvedeno, že šum lze snížit průměrováním úměrně $\propto 1/\sqrt{N}$ za předpokladu normality šumu; to není postačující podmínka, důležité je, aby šum byl nekorelovaný.

V odd. 4.1. mi citelně chybí, a pro obě zmiňované aplikace přístroje to může být podstatné, rozbor samotného Poissonovského (jinak též výstřelového, fotonového či kvantového) šumu, tvořeného statistikou vlastního měřeného signálu (dále viz doplňující otázku č. 2). Počítejme nejprve, že úroveň signálu se bude blížit mezi saturace pixelu; 1 pixel pojme $Q = 19 \times 10^{-12}$ C, tedy $N = Q/q \approx 1.3 \times 10^8$ elektronů. Poměr signál/šum (SNR) u Poissonovského signálu je roven $\sqrt{N}$ a z toho hrubým přiblížením $\log_2 \mathrm{SNR} \approx 13.5$ bit. Při téměř plných pixelech je tedy úroveň bytostně přítomného šumu světla samotného taková, že nemá smyslu A/D převodník o více než 14 bitech. Při málo zaplněných pixelech je SNR ještě horší: měl by stačit týž A/D převodník se sníženým rozsahem. Diskutabilní situací, kdy by vícebitový převod našel uplatnění, by bylo střídání saturovaných a velmi prázdných pixelů. Obecně mám za to (přinejmenším v chromatografické aplikaci to platí), že je třeba se snažit o dostatečně velikou expozici pixelů. V opačném případě je totiž výhodnější užít snímač typu APS (CMOS) s integrovaným A/D převodníkem.

V odd. 7.1., obr. 17a se mi nedaří spatřit odkazovaných 50Hz. Odd. 7.4. se jmenuje "ověření rozlišení", ale rolišení nikterak neověřuje, pouze hodnotí absolutní ofset několika vlnových délek a to ještě s pomocí zdroje, jehož vlastní rozptyl je o 1..2 řády horší, než ověřovaná vlastnost (dále viz doplňující otázku č. 3). V odd. 7.5. řečené "hodnoty regrese", tedy patrně koeficienty přímky, nemohou nikterak posloužit pro posouzení linearity, jak je chybně uvedeno; pro posouzení linearity by bylo třeba ukázat poměr reziduí vůči rozsahu či typické úrovni signálu.

Pokud jde o zdrojové kódy přiložené k práci, poněkud mě zamrzelo, že student při syntéze hardwaru v hradlovém poli patrně příliš nepřemýšlí o tom, jaký obvod z psaných konstrukcí vzniká a počíná si spíše jako při psaní softwaru, nadto nepříliš efektivního (viz doplňující otázku č. 1). Jelikož student dle práce působí dojmem člověka, který danými prostředky dokáže plnit skutečná zadání ve výzkumu a průmyslu, rád bych mu doporučil, ať si před další tvorbou v FPGA nastuduje digitální návrh a ať se pokaždé poučí ze schemat FPGA maker (netlistu), jak syntéza subsystémů dopadla.

Doplňující otázky:

1. V kódu `lx_adc_if.vhd` jste použil konstrukci (a) `if rst_i='1' then ... received <= (others => '0')` a dále (b) `received(active_bit_r) <= SDI`; vysvětlete, proč je (a) zbytečné, dále, jaká obvodová struktura vznikne použitím (b) a nakonec, jak by bylo lepší vyčítání SDI řešit, tj. jaký obvod má správně vzniknout a jak to v HDL napsat.

2. Vysvětlete, proč SNR Poissonovského signálu je rovno $\sqrt{N}$; popište na příkladu, jak se projeví v praxi výstřelový šum: př.: na jednu dlaždici nasněžilo odpoledne v průměru 23.4 vloček sněhu, jaké budou konkrétní počty vloček na více dlaždicích a jejich rozptyl? Je tento model věrohodný pro světlo z laseru, žárovky, Slunce?

3. Kalibraci ofsetu a rozlišení spektrometru pomocí LED zdrojů provést úspěšně nelze; uveďte jiný zdroj světla, dostupný v spotřebitelské obchodní síti v řádu stovek až tisíc Kč, který by poskytl dostatečně přesné a úzkopásmové signály pro danou úlohu.

I přes uvedené výhrady hodnotím kladně celkový výsledek práce a prokázanou schopnost studenta řešit skutečné úlohy netriviální instrumentace, proto práci hodnotím stupněm C, 75bodů.

V Táboře dne 17. června 2015

Marek Peca