Posudek vedoucího bakalářské práce

Student: Radek Mečiar
Název: Řízení motorů s deskou Raspberry Pi a Linuxem

Úkolem práce bylo otestovat a demonstrovat použitelnost levné procesorové desky Raspberry Pi pro aplikace řízení v reálném čase. Pro otestování byla vybraná aplikace zpětnovazebního polohového a rychlostního řízení stejnosměrného motoru, která je na rychlost odezvy středně náročná. Pro vlastní regulátor takového systému je dostačující řídicí smyčka běžící na frekvenci 1 kHz. Vybraný systém ovšem neobsahuje potřebnou hardwarovou periferii pro snímání zpětné vazby – inkrementálního čidla. Jeho přímé zpracování v software vyžaduje zpracování všech událostí na frekvencích až do jednotek MHz (podle rozlišení inkrementálního čidla). Aplikace je tím zajímavá pro prověření schopnosti hardware a operačního systému reagovat na události s velmi malou odezvou. Úloha je podobná výukové laboratorní úloze, kterou již na jiném výkonnějším HW studenti v rámci jednoho předmětu na Katedře řídicí techniky řeší a v případě prověření použitelnosti testované sestavy by ji bylo možné použít jak ve výuce v laboratořích, tak pro demonstraci schopností OS Linux.

Student se úkolu zhostil samostatně, přitom s ochotou zapracovával připomínky a návrhy které vzešly z konzultací. Úkoly řešil s předstihem a na práci pracoval průběžně. Po seznámení se s platformou provedl sestavení jádra OS Linux doplněného o podporu real-time plánování a úpravy pro minimalizaci latencí. Sestavil potřebný adaptér pro připojení výukového kitu se stejnosměrným motorem a vyřešil řízení napětí na motoru z uživatelské aplikace. Pro klíčovou komponentu snímání polohy realizoval jaderný modul. Zde pro maximální otáčky motorku narazil na výkonnostní limity hardware a jádra OS. Tento problém se mu podařilo vyřešit návrhem upraveného zpracování signálů a konfigurací priorit obslužných vláken přerušení a jednotlivých částí aplikace, která nyní obsahuje monitor pro vzdálenou vizualizaci a řízení i jednoduchý vestavěný monitoring přes integrovaný webový server.

Praktická část ověřila výkonnostní možnosti procesorové desky Raspberry Pi a dokázala, že je možné systém při vhodném návrhu aplikace použít pro spolehlivé řízení do frekvence jednotek kHz i z aplikace v uživatelském prostoru. Zpracování rychlých vstupů vyžadovalo jaderný modul a při správné konfiguraci bylo možné zpracovat signály do frekvence 25 kHz, která byla vyžadovaná pro daný motor a rozlišení čidla. Pro čidlo s vyšším rozlišením by již bylo nutné systém doplnit samostatnou periferií stejně, jako by to bylo nutné pro průmyslové nasazení s požadavky na spolehlivost. Přesto jsou možnosti malého systému překvapivé a řešení může být využito v mnoha zájmových projektech a pro výukové účely.

Práci rozhodně doporučuji využít pro přípravu článků, které bude publikované na některém z portálů určeném pro zájemce o OS Linux i stavbu vlastních vestavných aplikací. Vzhledem k zjištěné použitelnosti a rozšířen Raspberry Pi má význam připravit i plošný spoj přímo určený pro tuto aplikaci případně i zvážit přípravu komplexnější periferie, která by umožnila řídit více motorů a odměřovat polohu hardwarově.

Student splnil všechny body zadání a text práce veškeré kroky a nastavení dokumentuje ve vhodně zvolené míře detailu. Práci doporučuji k obhajobě a hodnotím stupněm **výborně (A)**.

V Praze, dne 16.6.2014

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

Hodnocení bakalářské práce oponentem

Student: *Radek Mečiar*
Vedoucí: *Ing. Zdeněk Hurák, Ph.D.*
Datum: *17.06.2014*

Cílem bakalářské práce Radka Mečiara bylo prakticky ověřit, zda je ona dnes tolik populární (protože levná a tudíž velmi rozšířená) prototypovací hardwarová platforma *Raspberry Pi* reálně použitelná pro řízení (levných) stejnosměrných motorů. Jelikož na Raspberry Pi vždy běží některá z distribucí a verzí operačního systému Linux, bylo studentovi konkrétně zadáno, aby ve své práci použil RT-Preempt rozšíření jádra operačního systému Linux; takto upravený systém je totiž lépe připraven na časově kritické úlohy. Samotnou desku Raspberry Pi měl student za úkol propojit s dodaným laboratorním modulem pro výuku řízení malých stejnosměrných motorů a s výsledným zapojením provést experimenty a tyto následně analyzovat.

Konstatuji, že toto zadání bylo studentem Radkem Mečiarem splněno na dobré úrovni. Náročnost i objem odvedené práce odpovídají požadavkům na solidní bakalářskou práci. Práci hodnotím stupněm **C-dobře**.

Důvodem, proč práci neshledávám *výbornou* či *velmi dobrou* je ten, že u takto vysoce hodnocené práce bych vyžadoval i špičkové provedení samotné závěrečné textové zprávy. Já však musím mít k odevzdanému textu několik výhrad:

1. Zejména se mi nelíbí **struktura textu**. Domnívám se, že v současné podobě tato neodráží dobře to, v čem leží těžiště příspěvku autora. Téměř celá první polovina práce je totiž věnována triviálnímu popisu platformy Raspberry Pi a hlavně pak instalačním instrukcím Linuxu a jeho rozšíření na platformu. Obojí má v práci jistě své místo a zejména další praktické rady s instalací jistě nový zájemce o Raspberry Pi ocení, ale já sám bych tento typ informací spíše očekával v příloze. Tím spíše že autor jde až do takových detailů (či trivialit) jako jsou postupy na zavedení či naopak vyjmutí modulu z jádra. Já to těžiště požadované a provedené práce shledávám někde ve druhé polovině textu. Očekával bych tedy spíše, že samotná práce poté, co čtenáři nabídne datasheet pro Raspberry Pi a instalační instrukce pro RT-Preempt ve formě přílohy, se hned vrhne právě do toho popisu požadavků úlohy zpětnovazebního řízení DC motoru. Jistě by nejdříve většina čtenářů ocenila blokové schéma, které by přehledně ukázalo, co je měřená a co regulovaná veličina, zda dané zapojení obsahuje i nějaký filtr ve zpětné větvi atd. Dále by se mohla objevit právě ona diskuze maximální předpokládané četnosti pulzů z inkrementálního snímače polohy a z ní plynoucí odhad tolerovatelné latence u procesoru. Teprve po této diskuzi by bylo jasné, k čemu se vlastně snažíme propracovat.
2. Velmi důležitým aspektem je i **jednoznačnost a čistota technického vyjadřování**. A tento aspekt je, domnívám se, velmi slabým místem předložené práce. Několikrát se v práci objevují různé nepřesné výrazy jako například popisek os u obrázku 6.1 a 6.2, které student nazývá „výkon" a coby jednotky uvádí procenta. Přitom evidentně jde o střídu či činitel plnění u pulzně-šířkové modulace. Lehkovážné používání pojmu výkon v branži řízení motoru má, domnívám se, velký potenciál způsobit nedorozumění. Podobně se děje ale i v sekci 6.2, kde student píše „...pokud na hřídel působí delší dobu síla, kterou akční zásah nezvládne vyregulovat, potom při uvolnění této síly se regulátor bude snažit prodlevu dohnat a to *100% silou*, až dokud nevyrovná průměrnou rychlost...". Tak tuto větu shledávám mimořádně matoucí a vlastně jí dosud nerozumím. Pominu-li, že na hřídel spíše působí kroutící moment než síla, pak je zarážející, jak by mohl regulátor nastavovat sílu (či

moment), když dosud nebyla v textu řeč, že je realizován i proudový (či ekvivalentně momentový) regulátor? A nebo chtěl student spíše napsat, že regulátor nastaví maximální hodnotu napětí? Taková nejednoznačnost by se v textu neměla objevovat.

3. Podobný typ výhrad mám k příliš **časté vágnosti některých výroků**: „Systém je vcelku schopný vrátit polohu..." nebo „Měření již pravděpodobně nepodléhalo procentuální chybě..." nebo „O regulaci se dá konstatovat, že se jeví jako stabilnější... ale nebyla ověřena externími měřicími přístroji".
4. Textová zpráva působí dojmem, že byla **psána na poslední chvíli**. Obsahuje řadu překlepy, které jistě bylo možno odhalit buď pečlivým pročtením nebo použitím „spell-checkeru". Častá je zejména chybějící nebo naopak přebývající interpunkce (například „...není pro samotné Rpi vhodná úloha, při potřebě vyšší rychlosti a přesnosti.") či překlepy (například „obrázeky" či „v mém řešení je potřeba zjisti pouze aktuální stav..." či „nerovnoměrnost vynutí (cívky)") či gramaticky nesprávné/nespisovné výrazy (jako například „Provede se registrace čtyřech funkcí..."). Tyto nejsou pouze estetické, skutečně negativně ovlivňují čitelnost zprávy. Z „estetických" prohřešků musím zmínit výraz „S řádově polovičními otáčkami...". Snad to není projevem neporozumění termínu „řádově"...
5. Z konstruktivních doporučení bych asi navrhoval veškeré změřené průběhy vykreslovat jednotně jako běžný „čistý" graf (třebas v Matlabu). To prokázání, že k dispozici je i GUI, bych spíše opět nechal na jednom záznamu v příloze. Ta tlačítka „Změnit" a „Nastav" v grafech v sekcích 6 a 7 spíše rozptylují. Taky bych asi příště vynechal zobrazování takových trivialit, jako je fotografie konektoru Canon 25, a nebo by stačilo jednou a ne hned dvakrát v práci...

Rád bych pana Mečiara požádal, aby v rámci své obhajoby detailněji diskutoval problematiku přepínání mezi regulátory, jehož nutnost vysvětluje v sekci 7.3, a kterému jsem vůbec neporozuměl. (Stejně jako obrázku 7.3, který, zdá se, ve skutečnosti ukazuje nestabilitu řídicí smyčky). Mimo jiné se totiž odkazuje na autorův/studentův vlastní pojem „umělý vektor polohy", který stejně nečitelným způsobem definuje v sekci 5.3.1. Tam mimo jiné student píše, že „Prvních 32 bitů obsahuje měřitelnou a současně požadovanou hodnotu polohy", čemuž opět vůbec nerozumím. Přece pokud jsou měřitelná (či měřená) veličina a její požadovaná hodnota uloženy v jediné proměnné, jak je pak definovaná regulační odchylka?

.....

Ing. Zdeněk Hurák, Ph.D.