

I. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE

Název práce:	Konstrukce a řízení robotického ramena
Jméno autora:	Bc. Jiří Kasal
Typ práce:	diplomová
Fakulta/ústav:	Fakulta strojní (FS)
Katedra/ústav:	Ústav přístrojové a řídicí techniky
Oponent práce:	Ing. Jaroslav Bušek, Ph.D.
Pracoviště oponenta práce:	Ústav přístrojové a řídicí techniky

II. HODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH KRITÉRIÍ

Zadání	náročnější
<i>Hodnocení náročnosti zadání závěrečné práce.</i>	
Zadání hodnotím jako náročnější vzhledem k jeho komplexnosti. Úspěšné vyřešení zadaných úkolů vyžaduje aplikaci znalostí nejen návrhu mechanických systémů, ale také programování mikrokontrolerů a práci s ekosystémem robotického SW.	

Splnění zadání	splněno
<i>Posuďte, zda předložená závěrečná práce splňuje zadání. V komentáři případně uveďte body zadání, které nebyly zcela splněny, nebo zda je práce oproti zadání rozšířena. Nebylo-li zadání zcela splněno, pokuste se posoudit závažnost, dopady a případně i příčiny jednotlivých nedostatků.</i>	
Předložená závěrečná práce splňuje všechny body zadání. Dílčí úkoly byly splněny a popsány v rozumném rozsahu. Pouze ke kapitole o SW bych měl připomínku. Namísto obecného popisu jako je popis IDE, programování, ekosystému atp. bych doporučoval se zaměřit více na vlastní řešení. Tyto obecné informace ponechat v textu pouze formou reference na vhodný zdroj nebo jen ve formě krátké zmínky.	

Zvolený postup řešení	správný
<i>Posuďte, zda student zvolil správný postup nebo metody řešení.</i>	
Zvolený postup řešení je správný. Práce je koncipována spíše jako popis výsledného řešení. Komplexnější rozvaha nad výběrem některých komponent chybí nebo je jen povrchní. Velmi podrobně je popsán návrh mechanické konstrukce, ale i ten utrpěl v důsledku nešťastných rozhodnutí. 3D tisk je jistě zajímavý způsob snadného prototypování i v domácích podmínkách s nízkými náklady, ale v mnohých případech nedokáže nahradit konvenční přístupy. Použití 3D tištěných ložisek v tomto případě nedává smysl už od počátku návrhu. Jistě by se pak předešlo problémům popsaným v kapitole 3.3, což podtrhuje hned následující kapitola, kde se autor stejně vrací k ocelovým ložiskům. V návrhových parametrech jsou zvoleny pouze velikost operačního prostoru a únosnost. Vzhledem k parametrům uvedených v předchozí kapitole porovnání podobných řešení by bylo vhodné alespoň rámcově specifikovat požadovanou opakovatelnost pozice. Návrh napájecího zdroje je proveden nedostatečně. Zváženo je pouze potřebné napájecí napětí, ale už není řešen požadovaný proud/výkon zdroje vzhledem ke zvoleným pohonům. Arduino Nano je jedním z nejmenších Arduin vůbec. Dalo se očekávat, že výkonové postačovat nebude. Při výběru mikrokontroleru nebylo na začátku specifikováno, jaké parametry jsou požadovány. V závěru se nesprávně píše, že: „Cílem této práce bylo navrhnout a vyrobit robotické rameno, které bude vyrobeno převážně pomocí technologie 3D tisku.“, což není pravda. Zadání práce nic o 3D tisku nespécifikuje. Toto lze chápat jako jakýsi alibismus vůči vhodnosti zvolené technologie výroby.	

Odborná úroveň	B - velmi dobře
<i>Posuďte úroveň odbornosti závěrečné práce, využití znalostí získaných studiem a z odborné literatury, využití podkladů a dat získaných z praxe.</i>	
Autor práce si nastudoval široké spektrum znalostí potřebných pro úspěšné dokončení závěrečné práce, což dokládá komplexnost řešeného úkolu. Mnoho z informací bylo nutné nastudovat nad rámec základního studia. Odbornost použitých zdrojů je na dobré úrovni, stejně tak formulace a závěry autora práce. K odbornosti mám několik konkrétních připomínek. V kapitole 2.3 je uvedeno srovnání robotických ramen různých výrobců. Výčet porovnávaných vlastností zabírá s obrázky přes dvě stránky. Bylo by vhodnější nejen pro ušetření místa, ale hlavně pro možnost přímého porovnání uvést parametry do tabulky, kde by byly vedle sebe snadno porovnatelné. Popis ROS implementace je celkem strohý. Větší část textu zabírá	

samotný popis ROS ekosystému. Odborný výstup práce autora, který je stěžejní pro závěrečnou práci, je v tomto případě relativně povrchní. Slovní spojení „roboty s velkým stupněm volnosti“ v kapitole 5.3.3 nedává smysl. Popis programovacího prostředí STM32CubeIDE je nadbytečný. V zadání toto není požadováno.

Formální a jazyková úroveň, rozsah práce

B - velmi dobře

Posudte správnost používání formálních zápisů obsažených v práci. Posudte typografickou a jazykovou stránku.

Po formální stránce je text na velmi dobré úrovni. Typograficky je konzistentní. Je psán stylisticky velmi dobře. Pro popis činností je použito množné číslo první osoby, jako by na magisterské práci pracovalo více lidí. Není to chyba, ale vhodnější je použít první osobu jednotného čísla, je-li autorem jeden člověk. Text obsahuje občasně překlepy (např. „raspbbery“ v kapitole 2.4, „požitá tiskárna“ v kapitole 3.2.8, „zvednout závaží“ v kapitole 3.3 atp.). Použité zkratky nejsou vysvětleny na místě prvního výskytu (např. BLDC) nebo nejsou vysvětleny vůbec. Seznam zkratk není přiložen. Kapitoly 3.5 a 3.6 s příslušnými podkapitolami mají zmatečné názvy. V návrhu převodovky se testuje rameno a v testování prototypů se testuje převodovka. Obrázek 3.12 zobrazuje tabulku, jak je referováno i v textu. Označení je pak nekonzistentní. Zobrazování zdrojového kódu jako obrázku je nevhodné. Stejně tak uvádění čísel řádků v částech kódu, které na sebe navenazují je značně zmatečné. Obrázky 5.11 a 5.12 jsou v tištěné podobě velmi obtížně čitelné. Jednotlivé verze převodovek by bylo vhodné nějak výrazně odlišit, aby bylo jasné, které komponenty doznaly změn.

Výběr zdrojů, korektnost citací

A - výborně

Vyjádřete se k aktivitě studenta při získávání a využívání studijních materiálů k řešení závěrečné práce. Charakterizujte výběr pramenů. Posudte, zda student využil všechny relevantní zdroje. Ověřte, zda jsou všechny převzaté prvky řádně odlišeny od vlastních výsledků a úvah, zda nedošlo k porušení citační etiky a zda jsou bibliografické citace úplné a v souladu s citačními zvyklostmi a normami.

Množství a kvalita vybraných zdrojů informací je na výborné úrovni. Bohužel, odkazy na zdroje jsou alibisticky uvedeny na konci odstavce. Pokud se jedná o jeden odkaz na literaturu, lze to ještě považovat za možnost, avšak uvádění více odkazů na konci odstavce je matoucí. Není pak jasné, která informace byla čerpána z jakého zdroje. Reference na obrázek 2.3 je v kapitole 2.1 nesprávně uvedena jako 2.2, což je úplně jiný robot než systém Da Vinci. URL v literatuře [9] není úplná (chybí písmeno „f“ na konci) a nefunguje. V kapitole 2.2.2 je při popisu s využitím kinematických dvojic použit odkaz na kapitolu 2.2.2, což nedává smysl. Autor se odkazuje na informaci, kterou čtenář teprve bude číst v následujících odstavcích. U obrázku 3.6 nejsou uvedeny zdroje, ze kterých byly obrázky převzaty. Text se neodkazuje na všechny číslované položky. Některé číslované rovnice nejsou v textu odkazovány.

Další komentáře a hodnocení

Vyjádřete se k úrovni dosažených hlavních výsledků závěrečné práce, např. k úrovni teoretických výsledků, nebo k úrovni a funkčnosti technického nebo programového vytvořeného řešení, publikačním výstupům, experimentální zručnosti apod.

K praktické realizaci mám následující komentáře a doporučení. Využití DMA pro sériovou komunikaci je rozumné řešení předcházející budoucím problémům s pomalou odezvou při složitějších výpočtech na straně mikrokontroleru. Polling koncových snímačů není nejvhodnějším řešením. Lepší by bylo využít přerušeni, které zajistí včasné zaznamenání dosažení krajní polohy a nebude ovlivněno celkovou komplexností hlavního kódu. Obecně je vhodnější zapojovat koncové spínače v režimu rozpínacího kontaktu, jelikož ten zaručí, že při nechtěném přerušeni senzoru dojde k zastavení pohybu ramene. Ve spínacím režimu není tato porucha detekovatelná. Pro řízení krokových motorů není „vhodnější“ využít některý z dostupných driverů, jak se píše v kapitole 4.2, ale jedná se o nutnost. Není možné krokové motory přímo ovládat z pinů mikrokontroleru kvůli vysokým nárokům na proud.

III. CELKOVÉ HODNOCENÍ, OTÁZKY K OBHAJOBĚ, NÁVRH KLASIFIKACE

Shrňte aspekty závěrečné práce, které nejvíce ovlivnily Vaše celkové hodnocení. Uveďte případné otázky, které by měl student zodpovědět při obhajobě závěrečné práce před komisí.

Předloženou závěrečnou práci hodnotím klasifikačním stupněm **B - velmi dobře**.

Předložená závěrečná práce popisuje návrh a realizaci robotického ramene od mechanické konstrukce po ovládací elektroniku a SW. Pro výrobu konstrukční části byla zvolena dostupná technologie 3D tisku. V podobném duchu byly zvoleny pohony kloubů

tak, aby byly cenově přijatelné a snadno dostupné. To vedlo k nutnosti najít vhodnou převodovku, která by kompenzovala nedostatečný moment pohonů. Nad tou se autor práce zamýšlí asi nejvíce. Vytvořil a popsal několik prototypů. Pro ovládání robotického ramene byl zvolen mikrokontroler STM, který nabízí dostatečný výkon pro případné rozšíření. Jako SW byl zvolen, resp. zadán ekosystém ROS. Prezentované zařízení je zdařilým komplexním zařízením, které je možné vytvořit v domácích podmínkách. Text se asi nejvíce věnuje samotnému popisu konečného provedení (až na proces návrhu převodovky). V kontrastu tomu, proces návrhu s dimenzováním a výpočty je ve většině kapitol popsán spíše povrchně. Zde by si práce zasloužila větší důslednost.

Otázky:

- 1) V textu práce není jasně uvedeno u jednotlivých prototypů, z jakého materiálu jsou části převodovek. Tvarově složitě hřídele byly také tištěny na 3D tiskárně? Pokud ano, jak bylo zajištěno správné uložení ložisek, které je celkem striktně tolerováno?
- 2) Jak byla měřena účinnost uvedená například v kapitole 3.5.1 při vyhodnocení testování nového prototypu ramene?
- 3) Jak bylo ověřeno, že zvolený PC zdroj bude postačovat pro napájení všech pohonů robotického ramene?

Datum: 29.8.2023

Podpis: