

I. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE

| | |
|-----------------------------|---|
| Název práce: | Automatické řízení bezpilotní helikoptéry v systému ROS |
| Jméno autora: | Jan Machálek |
| Typ práce: | bakalářská |
| Fakulta/ústav: | Fakulta elektrotechnická (FEL) |
| Katedra/ústav: | Katedra řídicí techniky |
| Vedoucí práce: | Ing. Tomáš Báča |
| Pracoviště vedoucího práce: | Katedra kybernetiky |

II. HODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH KRITÉRIÍ

| | |
|--|------------|
| Zadání | náročnější |
| <i>Hodnocení náročnosti zadání závěrečné práce.</i> | |
| <p>Předložená bakalářská práce se zaměřuje na vývoj zpětnovazebního řízení pro bezpilotní, vícerotorovou helikoptéru. Práce vyžadovala nastudování příslušné techniky automatického řízení a implementaci regulátoru do stávající platformy bezpilotních prostředků ve skupině MRS (katedra kybernetiky, FEL). Výsledkem práce má být funkční řídicí systém, který v budoucnu nahradí stávající stavovou zpětnou vazbu („black box“) a navíc umožní modulární přístup k propojení regulátoru s generátory referencí. Právě z důvodu nutné implementace do již existující software a hardware platformy a verifikaci nejen v simulacích ale i reálnými experimenty, hodnotím toto téma za náročnější.</p> | |

| | |
|--|---------|
| Splnění zadání | splněno |
| <i>Posudte, 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> | |
| <p>Student splnil zadání práce ve všech bodech. Výstupem je použitelný řídicí systém, který nahradí dosavadní „black-box“ řešení používané v naší laboratoři.</p> | |

| | |
|--|-------------|
| Aktivita a samostatnost při zpracování práce | A - výborně |
| <i>Posudte, zda byl student během řešení aktivní, zda dodržoval dohodnuté termíny, jestli své řešení průběžně konzultoval a zda byl na konzultace dostatečně připraven. Posudte schopnost studenta samostatně tvůrčí práce.</i> | |
| <p>Student se dostavoval na dohodnuté konzultace a k práci přistupoval samostatně. Pouze realizace regulátoru na platformě helikoptéry si vyžadovala spíše častější konzultace a připomínky z mé strany. Student však promptně reagoval na mé připomínky, což jistě přispělo k úspěšným experimentům v závěru práce.</p> | |

| | |
|--|-----------------|
| Odborná úroveň | B - velmi dobře |
| <i>Posudte úroveň odbornosti závěrečné práce, využití znalostí získaných studiem a z odborné literatury, využití podkladů a dat získaných z praxe.</i> | |
| <p>Student prokázal dobrou znalost základních principů zpětnovazebního řízení. Svůj návrh PID regulátoru úspěšně otestoval na simulacích a poté přenesl na skutečný letoun helikoptéry. Byť může použití PID regulátoru a jeho popis v textu působit dojem spíše slabší práce, těžiště práce leželo více ve vývoji a integraci zpětné vazby do již existující řídicí kaskády v platformě ROS (Robot Operating System) na palubu helikoptéry. Tuto implementační část hodnotím jako značně náročnou, zvláště pro vyžadovanou opatrnost a pečlivost při samotném vývoji a testování. Tento aspekt z mého hlediska převažuje jinak slabší odbornou úroveň, které je z textu možná patrná.</p> | |

| | |
|--|-----------|
| Formální a jazyková úroveň, rozsah práce | C - dobře |
| <i>Posudte správnost používání formálních zápisů obsažených v práci. Posudte typografickou a jazykovou stránku.</i> | |
| <p>Text práce, který je psaný anglicky, jsem měl možnost opakovaně připomínkovat, tuto skutečnost hodnotím pozitivně, taktéž i</p> | |

volbu studenta psát práci v anglickém jazyce. Kvalitu výsledného textu hodnotím dobře. Místy je hůře srozumitelný a dle mého soudu je velmi stručný. Anglický projev je spíše slabší.

Výběr zdrojů, korektnost citací

A - výborně

Vyjádřete se k aktivitě studenta při získávání a využívání studijních materiálů k řešení závěrečné práce. Charakterizujte výběr pramenů. Posuďte, 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.

Student provedl přiměřenou rešerši a veškeré zdroje adekvátně cituje.

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.

Student se taktéž pokusil o implementaci *backstepping* regulátoru, pokročilejší metody řízení, která byla původně součástí „black box“ řešení v platformě MRS. Byť se toto řízení nedostalo do finální implementace a testování na helikoptéře, student zprovoznil regulátor alespoň v systému Matlab. Implementací se budeme zabývat v budoucnu, právě s využitím modulárního řešení, které bylo navrženo v této práci.

Student se účastnil týdenního výjezdu naší laboratoře, kde v polních podmínkách probíhaly experimenty našich studentů. Během pobytu úspěšně provedl potřebné modifikace svého systému pro přenos ze simulace na reálnou platformu. Experimenty s reálnou platformou proběhly úspěšně.

III. CELKOVÉ HODNOCENÍ A NÁVRH KLASIFIKACE

Shrňte aspekty závěrečné práce, které nejvíce ovlivnily Vaše celkové hodnocení.

Odvedenou činnost hodnotím „výborně“, kvalitu odevzdaného textu spíše „dobře“. Celkově jsem s předloženou prací spokojen, tedy ji doporučuji k obhajobě a hodnotím klasifikačním stupněm

B - velmi dobře.

Datum: 13/06/2018

Podpis:

Posudek oponenta bakalářské práce

Jméno studenta: **Jan Machálek**
Název práce: Automatic Control of an Unmanned Aerial Vehicle in Robot Operating System
Vedoucí práce: Ing. Tomáš Báča
Oponent: **Ing. Jan Chudoba, ČVUT v Praze, CIIRC**

Úkolem studenta bylo navrhnout a implementovat regulátor pro řízení robotické helikoptéry, který nahradí closed-source regulátor aktuálně používaný na pracovišti vedoucího práce. Student navrhl a implementoval 2 typy regulátorů (backstepping a PID regulátor), které integroval do systému ROS podle požadavků zadání. Funkce regulátorů byla prokazatelně otestována v simulačním prostředí Gazebo i na reálné helikoptěře.

Text práce je psaný v anglickém jazyce. Úroveň jazyka hodnotím jako velmi špatnou, jak z hlediska stylu psaní tak z hlediska chyb typu chybějících slov, což je v práci častý jev. Celý text je tak špatně čitelný a na mnoha místech nesrozumitelný. Drobné chyby jsou i v sazbě textu. Číslování kapitol postrádající číslo části (Part) je velmi nepříjemné pro odkazování se na kapitoly textu.

V práci je i řada chyb a nedostatků z odborného hlediska. Některé uvedené rovnice, kde jsou pouze dosazeny dříve uvedené vzorce jsou nadbytečné a zbytečně čtenáře zatěžují informací která je zřejmá (např. rovnice č. 6). V sekci 2/3.2 je provedena identifikace, není však jasné jakým způsobem. Graf na obrázku 7 zobrazuje rozdíl v chování identifikovaného systému, ovšem není jasné zda je identifikace provedena správně, vzhledem k evidentní odchylce časové konstanty modelu od referenčního systému. Z obrázku 8 si lze udělat jen omezenou představu o chování modelu, neboť referenční veličina se mění pouze lineárně. Zcela nedostatečný je popis výsledného modelu v sekci 2/3.3. V rovnici 16 je definována veličina $H(s)$, která není nikde dál blíže popsána ani (pod tímto označením) použita. Soustava rovnic 17 zřejmě popisuje nějaký stavový model – co však jednotlivé stavy x_i znamenají, jsem se bohužel nedozvěděl. Vzhledem k tomu že se na tyto stavy následující text práce hojně odkazuje, je absence této informace kritická.

Část 3 popisuje návrh regulátorů. V podkapitolách 1.2 a 1.3 není jasný význam písmenka a ve vzorcích. Podkapitola 1.4 je celkově nejasná. V podkapitole 2.2 je zcela zbytečně uvedeno odvození regulátoru pro klopení, jehož výsledek je shodný s výsledkem pro klonění stroje. V sekci 2.3.1 není jasné, odkud se vzaly parametry k_1 a k_2 . V grafu na obrázku 14 pak není jasné, jak vznikla červená křivka „output“ a jaký je důvod jejího výrazného rozdílu oproti zbývajícím.

V části 4 je popsána simulace chování regulátorů v prostředí Matlab. Tabulka 6 uvádí parametry PID regulátoru, není však vůbec jasné jak byly získány. Proto si není možné ani udělat obrázek o tom, proč chování regulátoru vykazuje významný překmit, jak je vidět v obrázku 15 a vyvolává to otázku, zda je regulátor naladěn správně.

V závěru práce jsou dokumentovány experimenty v simulátoru Gazebo a na reálné helikoptěře, ze kterých je patrné, že implementované regulátory vykazují (zpravidla) horší chování než původní regulátor, ale pro zamýšlený účel dostačující. U popisu těchto experimentů bych kromě uvedených grafů ocenil i číselné vyjádření kvality regulace, resp. regulační odchylky.

Konstatuji, že všechny body zadání práce byly splněny. Práci proto doporučuji k obhajobě a vzhledem ke zmíněným nedostatkům v textu práce ji doporučuji hodnotit stupněm

C – dobře.

V Praze dne 1.6.2018

Jan Chudoba