

## I. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE

Název práce:	Bezkolizní řízení pro robotickou helikoptéru
Jméno autora:	Michal Bahník
Typ práce:	bakalářská
Fakulta/ústav:	Fakulta elektrotechnická (FEL)
Katedra/ústav:	Katedra kybernetiky
Oponent práce:	Ing. Tomáš Báča
Pracoviště oponenta práce:	Katedra kybernetiky

## II. HODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH KRITÉRIÍ

Zadání	průměrně náročné
<i>Hodnocení náročnosti zadání závěrečné práce.</i>	
<p>Cíl práce, tedy návrh systému pro bezkolizní navigaci malé bezpilotní helikoptéry v prostředí s překážkami, je bez pochyb komplexní téma. V případě předložené bakalářské práce se jedná o návrh navigační metody pro bezpečný let do zadané cílové pozice s využitím palubních sensorů pro detekci okolních překážek. Bepilotní helikoptéra je pro potřeby navigace zjednodušena na holonomní robot létající v rovině s již integrovaným řídicím systémem pro let požadovanou rychlostí. Takové zjednodušení je validní. V případě reálných letů lze díky již dostupným platformám usnadnit případné nasazení na hardware. Vzhledem k simulační povaze předložené práce a zjednodušujícím předpokladům je irelevantní, jedná-li se o létající helikoptéru, či pozemní robot. Body v zadání tedy reflektují typické téma bezkolizní navigace v mobilní robotice, které je hojně řešeným problémem.</p>	

Splnění zadání	nesplněno
<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>Zadání je složené ze 4 bodů:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. rešerše dostupných zdrojů v oblasti bezkolizní navigace helikoptér v prostředí s překážkami,</li> <li>2. návrh metody mapování překážek s cílem bezkolizní navigace do zadaného cílového bodu. Bod v sobě zahrnuje možnost relaxace problému vzhledem k jeho obtížnosti v obecném případě,</li> <li>3. vytvoření modelového prostředí v simulačním nástroji pro ověření navržené metody,</li> <li>4. implementace navržené navigační metody a ověření na modelu v simulačním prostředí.</li> </ol> <p>Bod 1 byl splněn, student provedl rešerši, ve které lze nalézt jak řešení na bázi „komplexních“ sensorů (stereokamer, skenujících dálkoměrů, ...) tak i na bázi jednodušších ultrazvukových, či infračervených dálkoměrů. Dále je zmíněna technika SLAM pro současné mapování a lokalizaci.</p> <p>Bod 2 <b>nebyl splněn</b>. Autor prezentuje regulátor pro „odtlačování“ letounu od okolních překážek. Žádná metoda mapování a ani navigace, tedy letu na zadané souřadnice, však není součástí řešení. Forma prezentace navrženého řešení v textu práce dle mého názoru neodpovídá výstupům absolventa technické vysoké školy. Popis nevyužívá matematické notace a je omezen pouze na slovní rozbor implementace. Byť zadání umožňuje, cituji: „... zvolit vhodné omezující podmínky tohoto složitějšího problému s ohledem na řešitelnost úlohy.“, jsem názoru, že vypuštěním jak <i>metody pro mapování překážek</i> (mapování: tvorba mapy), tak i <i>navigace</i> (let na zadané souřadnice) by byl tento bod zadání efektivně odstraněn. Metoda mapování však zřejmě zcela vypuštěna nebyla, autor se o ni stručně zmiňuje a nakonec dodává že „... v <i>současném stavu není funkční</i>...“ a „... <i>návrh je připraven pro budoucí začlenění</i> ...“.</p> <p>Bod 3 byl splněn. Autor zprovoznil simulační prostředí Morse s modelem bezpilotní helikoptery, kterou osadil virtuálními dálkoměry.</p>	

Bod 4 **nebyl splněn**. Student prezentuje 4 simulované scénáře: let přímo do překážky, let do rohu sevřeného mezi dvěma stěnami, objevení překážky v kritické vzdálenosti od letounu a let mezi rovnoběžnými stěnami. Vzhledem ke snadné opakovatelnosti experimentů v použitém simulátoru (simulátorem jsem spolu se studentovým řešením vyzkoušel) hodnotím tyto experimenty jako nedostatečné. Prezentované scénáře pokrývají jen omezenou diskrétní množinu ručně vybraných situací, navíc pouze s jednou počáteční podmínkou a referencí rychlosti. Situace s autonomí navigací, či ručně řízeným letounem (pro které jsem v řešení našel ukázkový program) uvažované nebyly. Od práce verifikované pouze simulacemi, kde dynamicky systém je již stabilní, očekávám statistické zpracování výsledků ze simulací.

**Zvolený postup řešení**

částečně vhodný

*Posudte, zda student zvolil správný postup nebo metody řešení.*

Byť autor problém mapování okolních překážek prakticky neřešil, zmiňuje se o použití metody SLAM. Osobně bych nejdříve řešil přímé mapování (s použitím známe pozice helikoptéry). Pro vývoj a testování navigační metody však bylo možné začít s použitím známé mapy a známé pozice helikoptéry.

Navržená metoda „odtlačování“ letounu od překážek by mohla sloužit jako komponenta nějaké finální navigační metody. Bez větších modifikací by mohla sloužit např. jako „síla“ v metodě potenciálového pole. Sama o sobě však neplní úkol ze zadání. Z popisu soudím, že aktuální podoba metody by byla použitelná jako asistence operátorovi, tato možnost však z neznámých důvodů nebyla v textu uvažována a implementace neumožňuje ruční zadávání referencí helikoptěře.

Postup při zprovoznění simulátoru hodnotím jako správný. Pozitivně hodnotím volbu autora rozšířit simulované dálkoměry o poruchy a šумы v měření. Na druhou stranu filtrace měřených hodnot není v práci použita, pouze je nastíněné možné rozšíření práce v budoucnu a také, že o filtraci by se v budoucnu starala metoda SLAM.

**Odborná úroveň**

E - dostatečně

*Posudte úroveň odbornosti závěrečné práce, využití znalostí získaných studiem a z odborné literatury, využití podkladů a dat získaných z praxe.*

Po stránce implementační je práce na dobré úrovni. Text práce se však z většiny stává právě z popisu implementace. Autor zvládl zprovoznit robotických simulátor Morse spolu s modelem bezpilotní helikoptéry, kterou osadil virtuálními sensory. Hlavní bod zadání (po kterém práce nese svůj název) však splněn nebyl. Autor nepředstavil navigační metodu, pouze její dílčí součást.

Experimentální verifikace navržené metody je nevyhovující. Zvolené simulované scénáře zdaleka nepokrývají běžné pracovní podmínky bezpilotní helikoptéry. Od práce, u které značnou část tvoří příprava simulace pro verifikaci navržené metody, bych čekal statistické zhodnocení chování metody v generovaných scénářích s různými počátečními podmínkami a cíly. Výsledky z prezentovaných simulací by si jistě zasloužili 2D či 3D vizualizaci situace, na místo separátních grafů pro každou osu. Z textu samotného není zřejmé, zdali testování skutečně probíhalo v popsané simulaci, text neobsahuje ani jeden obrázek helikoptéry v simulátoru, byť ten funguje, sám jsem ho zkoušel. Tyto skutečnosti vyvolávají dojem uspěchané a nedokončené práce.

Ve vztahu (4.2), pro třetí koeficient, který je spolu se vztahem (4.1) pro výpočet odporu vzduchu jediným matematickým vztahem v celém textu, jsou použité konstanty u kterých nejsou uvedené jednotky a navíc není zřejmé odkud konkrétní hodnoty pocházejí.

Popis testu č. 4 - letu mezi rovnoběžnými stěnami - neodpovídá zmíněnému grafu 6.5. V textu se píše: „*Jakmile jedna ze stěn zmizí, rychlost vpřed se nemění, avšak helikoptéra zvýší vzdálenost od stěny na kritickou vzdálenost.*“, avšak zvýšení vzdálenosti není z grafu patrné.

Popisek časové osy u grafů, ve kterém se píše „čas 100 [ms]“ mi není zřejmý. V obrázku 6.4 jsou prohozené popisky u os.

**Formální a jazyková úroveň, rozsah práce**

E - dostatečně

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

Práce je psaná v české jazyce. Rozsah od úvodu po závěr odpovídá přibližně 19 stranám čistého textu. Úvodní kapitola a úvod do problematiky jsou psané srozumitelnou a čtivou formou. Kapitola 3 (Návrh řídicího systému) dle mého názoru neodpovídá úrovni absolventa technické vysoké školy. Popis navrženého řešení postrádá formální matematický zápis a pouze se omezuje na slovní popis algoritmu bezkolizního řízení. Např. Formulace: „Regulační koeficient  $k_c$  je dán exponenciální funkcí s časovou konstantou  $T_c$  a roste se zmenšující se vzdáleností k překážce. Otočením tohoto vektoru pak získáme vektor pohybu, který směřuje od překážky a jehož velikost je úměrná vzdálenosti k překážce. Posčítáním vektorů ze všech sektorů dostáváme výsledný řídicí povel.“ by si jistě zasloužila podpořit matematickou notací. Pseudokód algoritmu je těžko čitelný, s minimem vysvětlujících a spíše vágních komentářů.

Čitelnost práce je dobrá, pouze občas snižená počestělými výrazy, např., opakovaně použitý a chybně zapsaný výraz „scannerr“ (str. 5), který by šel v kontextu snadno nahradit za český „dálkoměr“, či časté použití výrazu „angulární rychlost“.

**Výběr zdrojů, korektnost citací**

D - uspokojivě

*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.*

Rozsah kapitoly s rešerší je adekvátní. Autor možná zbytečně prováděl rešerši v oboru autonomních aut. Vzhledem k zvolenému zjednodušení (holonomní letoun v horizontální rovině řízený na rychlost) bych očekával rešerši spíše v oblasti bezkolizní navigace malých, pozemních, mobilních robotů.

**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.*

Pozitivně hodnotím odevzdané zdrojové kódy a skripty po spuštění simulátoru. Obojí šlo s drobným úsilím spustit a otestovat.

Regulátor PID, tak jak je prezentován v textu, je zapsán chybně. Derivační složka v sobě diference integruje.

### III. CELKOVÉ HODNOCENÍ, OTÁZKY K OBHAJOBĚ, NÁVRH KLASIFIKACE

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

*Práce není dle mého názoru dokončená, zadání není zcela splněné a odevzdaný text (experimentální část) se zdá být uspěchaný. Odborná část textu (popis metody) dle mého názoru neodpovídá svou formou výstupu absolventa technické univerzity. Je možné, že došlo k nedorozumění při formulaci zadání práce, protože se zdá, že těžiště práce leží ve zprovoznění simulátoru, spíše než v návrhu bezkolizního řízení. Tuto skutečnost a její důsledky nechť posoudí komise.*

*V případě neúspěšné obhajoby doporučuji následující kroky k dokončení původního zadání:*

- *Implementaci či jen využití metody SLAM bych se zdržel. S použitými sensory (12 dálkoměrů) se domnívám že zprovoznění SLAMu bude velmi obtížné. Alternativně bych uvažoval o přímém stavění mapy s použitím známé pozice letounu (ground truth), která je v simulátoru dostupná. Toto jistě bude vyhovovat bodu 2 v zadání, který mluví pouze o mapování, nikoliv současné lokalizaci v mapě.*
- *Zaměřil bych se na zjednodušenou situaci problému navigace, konkrétně s částečně známou mapou, ve které může být předvedeno řízení podél naplánované trasy do cílového bodu. Prezentovaná metoda zde může sloužit pro předcházení kolizím s překážkami, které v mapě zanesené nebyly.*
- *Experimentální ověření by mělo ukazovat že systém je schopný opakovaného letu na různé zadané souřadnice z různých počátečních podmínek tak, aby byl otestován v co možná nejvíce unikátních situacích.*

Předloženou závěrečnou práci hodnotím klasifikačním stupněm .

Datum: 1.6.2018

Podpis: