

I. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE

Název práce:	Let formací družic: optimální a kooperativní metody řízení
Jméno autora:	Bc. Daniel Brandtner
Typ práce:	diplomová
Fakulta/ústav:	Fakulta elektrotechnická (FEL)
Katedra/ústav:	Katedra řídicí techniky
Oponent práce:	Ing. Tomáš Báča
Pracoviště oponenta práce:	Katedra kybernetiky

II. HODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH KRITÉRIÍ

Zadání	náročnější
<i>Hodnocení náročnosti zadání závěrečné práce.</i>	
Předložená diplomová práce vyžaduje hluboké znalosti teoretické fyziky a teorie řízení. Z tohoto hlediska ji hodnotím jako náročnější.	

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>	
Student splnil všechny body zadání.	

Zvolený postup řešení	částečně vhodný
<i>Posuďte, zda student zvolil správný postup nebo metody řešení.</i>	
Studentův přístup k řízení jednoho satelitu v rámci problému tří těles hodnotím jako částečně vhodný. Student formuloval problém optimálního řízení s kritériem pro minimalizaci spotřeby paliva za podmínek dynamických rovnic pro pohyb částice gravitačním působením dvou hmotných těles. Samotné řešení navržené optimalizace pomocí Lagangeových multiplikátorů a metody gradientního sestupu je však diskutabilní. Student se neurčitě a vágně vyjadřuje o optimalitě nalezeného řešení a v jednom případě si i protiřečí:	
„... converge to handful of locally optimal solutions...“, „Gradient descent algorithm to find an optimal set of initial costates“.	
Varianty dosažených řešení jsou dle autora charakterizovány jako „... differing in general in the number of times the particle revolves around the body before reaching its target state...“ což dle mého názoru zdaleka neindikuje optimalitu nalezeného řešení a dle mého soudu může být i nežádoucí v případě skutečných orbitálních letů. Důsledky tohoto jevu však nejsou diskutovány. Využití jiných či vhodnějších metod spojitě optimalizace, či jen forma ladění velikosti kroku gradientního sestupu nejsou diskutovány.	
Postup zvolený pro řízení formace satelitů hodnotím také jako částečně vhodný, zvláště jeho experimentální verifikaci. Teoretická část řízení formace je psaná v duchu řízení velkých formací, autor se mimo jiné zmiňuje, cituji: „... every satellite is generally assigned only a handful of neighbours...“. Avšak experimentální verifikace se omezuje pouze na situace s max. 3 satelity. Popis experimentů s formacemi a výsledky dosažené při řízení jsou relativně krátké, zvláště v kontextu toho, že autor věnoval 55 stran přípravě a simulacím dynamiky jednoho, neřízeného satelitu.	

Odborná úroveň	A - výborně
<i>Posuďte úroveň odbornosti závěrečné práce, využití znalostí získaných studiem a z odborné literatury, využití podkladů a dat získaných z praxe.</i>	
Student dojistě prokázal znalosti fyziky, dynamických systémů a řízení, které jsou nad rámec absolventa oboru kybernetiky	

a v části fyzikální se dotýkají úrovně doktorské. Po této stránce je práce na velmi dobré odborné úrovni. Z textu je zřejmé, že autor porozuměl problematice Newtonovské orbitální mechaniky, je schopen pracovat s produkty fyzikálních modelů a na ně aplikovat principy teorie řízení. Zpracování a prezentace simulovaných experimentů, které prakticky ve všech částech práce podporují dosažené mezivýsledky, je na velmi dobré úrovni.

Formální a jazyková úroveň, rozsah práce

E - dostatečně

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

Předložená práce je psaná v anglickém jazyce, čitelnou a srozumitelnou formou, pouze s občasnými překlepy či hrubkami.

Práce je svým obsahem velmi nevyvážená, zvláště uvážíme-li rozsah 120 stran (40 stran nad doporučeným rozsahem). Mé připomínky v tomto bodu mají společný jmenovatel s připomínkami k výběru zdrojů a jejich citování. Autor provedl nedostatečnou rešerši jak z oblasti tématu práce, tedy řízení formací satelitů, tak i v případě předpokladů, jakými je fyzikální podstata orbitální mechaniky. Od strany 13 (3. strana samotného obsahu) do strany 37 se autor zabývá odvozováním dynamických rovnic pro pohyb částice v okolí dvou hmotných těles. Odborná literatura se typicky omezuje pouze na převzetí rovnic z dostupných zdrojů. Samotné odvození, které autor prezentuje, je diskutabilní. Autor nejdříve odvozuje Lagrangeovskou mechaniku, což je samo o sobě nadbytečné. Odvození Lagrangeových rovnic je však neúplné, spíše se podobá zkráceným zápiskům z lekce fyziky. Autor nezmiňuje důležité předpoklady u dílčích kroků, díky čemuž mohou být kroky neznalému čtenáři nejasné či nekorektní (např. zamplčená integrace per partes v (1.12), nebo předpoklad nezávislosti zobecněných souřadnic q pro krok k (1.14)). Čtenář znalý však postup vidí pouze jako výtah z úplného odvození a pokládá si otázku, zdali student skutečně umí provést kompletní odvození a pouze neuvedl celý postup vč. předpokladů, či zdali postup převzal, avšak necitoval, z učebnice či literatury. V podobném duchu je veden celý teoretický úvod a také většina práce.

Práce obsahuje velké množství nepodložených a neobhájených tvrzení zvláště v oblasti kosmonautiky, orbitální mechaniky a principů satelitní navigace. Taktéž části s odvozením modelů často postrádají kompletní argumentaci. Mnoho těchto tvrzení nepovažuji za „všeobecně známé“. Např.:

„Formation installation manoeuvres, where the bodies are put on the formation orbits from the launch site, or large reconfigurations are costly and usually require only the end state to form a coordinated configuration.“, či

„Most applications for the Hill's system involve either the Earth-Moon or Sun-Earth systems. In those cases the eccentricity of the bodies orbit is low, and dynamics derived in the circular Hill's system are usually a sufficient approximation. When dealing with bodies orbiting on more pronouncedly elliptic orbits a more general formulation of the equations of motion is required.“

Po formální stránce nejsem spokojen se sazbou matematických výrazů. Umístění výrazů v rámci vět a odstavců je velmi nekonzistentní a zmatené v celém rozsahu práce. Výrazy jsou často zcela umístěné mimo větu. V případě umístění ve větě autor opomíjí použití interpunkce jak pro ukončení věty, tak pro oddělení další podvěty uvozených např. slovem „where“. Práce dále obsahuje velké množství jednořádkových odstavců, zvláště v sekcích s větším množstvím matematických výrazů.

Výběr zdrojů, korektnost citací

F - nedostatečně

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.

Autor neprovedl rešerši dosavadních přístupů k řešení zadaných problémů, neuvádí svou práci do kontextu dosavadních výsledků v oboru. Práce obsahuje pouze 13 referencí, z nichž polovinu tvoří monografie. Autorův zvolený postup není žádným způsobem uveden do kontextu dosavadního vědění a výsledků v oboru, čtenář tedy neví zdali autor pouze kopíruje dosavadní známé techniky, zdali je rozšiřuje, či zdali přichází s něčím novým. Po rychlém hledání jsem našel velké množství relevantních vědeckých publikací na téma jak optimálního řízení a plánování pohybu pro satelity tak i pro formace satelitů, tedy hodnotím autorův výběr zdrojů a vymezení se vůči nim jako nedostatečné.

Vzhledem k povaze úvodních kapitol ve kterých se nachází, dle mého soudu převzaté, ale necitované odvození dynamických rovnic satelitu, jsem na pochybách, které z pozdějších částí jsou vlastní práce autora, které jsou inspirované literaturou a

které jsou převzaté.

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.

Navzdory mým připomínkám k referencím a originalitě textu se domnívám, že autor má hluboké porozumění problematiky a že práci skutečně napsal. Text jeví známky jednotného celku a je strukturován korektně.

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.

Domnívám se že autor je schopný pracovat s pokročilými matematickými modely a nástroji pro řešení komplexních problémů, jakými je plánování a řízení formací satelitů. S textem práce však nejsem spokojeným, vysoce přesahuje doporučený limit stran, nekorektně pracuje s dostupnými zdroji a není zřejmé, které části jsou převzaté a které jsou vlastní prací autora. Výsledek práce není srovnán s hojně publikovaným výsledky v oboru, tedy bez vlastní rešerše nemohu říci, zdali je přínos nový, inkrementální či žádný. Nevím kolik a jakou zpětnou vazbu k textu dostal student od vedoucího práce, ale domnívám se, že tomuto mohlo být předejito již v začátku jeho tvorby.

Na autora mám následující otázky:

- Na straně 56 a 57, ve formulaci úlohy optimálního řízení, není použit vektor referenční trajektorie x^* . Jak se reference v úloze projeví?
- Jaký byste odhadl počet lokálních minim ve Vaší úloze optimálního řízení?
- V textu naznačujete formaci o velkém počtu jednotek. Proč jste neprováděl simulace s více než 3 satelity?

Předloženou závěrečnou práci hodnotím klasifikačním stupněm

Datum: 15/06/2018

Podpis: