

## I. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE

|                                   |   |
|-----------------------------------|---|
| <b>Název práce:</b>               | <b>Detekce smyku pro model auta F1/10</b> |
| <b>Jméno autora:</b>              | <b>Jan Dusil</b>                          |
| <b>Typ práce:</b>                 | bakalářská                                |
| <b>Fakulta/ústav:</b>             | Fakulta elektrotechnická (FEL)            |
| <b>Katedra/ústav:</b>             | Katedra řídicí techniky                   |
| <b>Oponent práce:</b>             | Doc. Ing. Zdeněk Hurák, Ph.D.             |
| <b>Pracoviště oponenta práce:</b> | Katedra řídicí techniky FEL ČVUT          |

## II. HODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH KRITÉRIÍ

| <b>Zadání</b>  | <b>náročnější</b> |
|--|-------------------|
| <i>Hodnocení náročnosti zadání závěrečné práce.</i>  |                   |
| <p>Prvním zadaným úkolem pro Jana Dusila bylo postavit novou verzi autonomního auta/autíčka, se kterým se tým jeho vedoucího pravidelně účastní soutěže F1/10. Tento úkol obsahoval výběr vhodných součástí a modulů nejen s ohledem na jeho parametry ale i dostupnost, návrh a osazení desky plošných spojů pro napěťový zdroj, návrh a výrobu podvozku autíčka s ohledem na umístění jednotlivých subsystémů a nakonec i konfiguraci operačního systému ROS. Druhým zadaným úkolem bylo navržení systému pro detekci smyku. Jeho součástí byla volba a konfigurace jednotky pro inerciální měření (IMU) a volba a použití algoritmu/ů pro odhadování úhlu příčného skluzu. Vzhledem k nutnosti kombinovat kompetence z velmi široké oblasti (elektronika, mechanika, software, modelování, senzory, odhadování a filtrace) hodnotím zadání pro bakalářskou práci jako poměrně náročné. Navíc zejména v poslední zmíněné matematicky intenzivní oblasti odhadování a filtrace student dosud nebyl v rámci studia seznámen ani se základními koncepty a musel si tyto nastudovat sám.</p> |                   |

| <b>Splnění zadání</b>  | <b>splněno</b> |
|--|----------------|
| <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>   |                |
| <p>Zadání považuji za splněné, třebaže experimentálně prokázaná kvalita algoritmických detektorů smyku je zjevně neuspokojivá. Uvědomuji si ale, že uspokojivé řešení této otázky by vyžadovalo mnohem více práce (a před ní i studia), než kolik mohl student bakalářské práci věnovat. Tím spíše, že předtím, než se mohl věnovat samotné algoritmické otázce detekce smyku, musel odvést i dost práce v oblasti návrhu a výroby elektroniky i mechaniky a konfiguraci systémového software.</p> |                |

| <b>Zvolení postup řešení</b>   | <b>správný</b> |
|--|----------------|
| <i>Posuďte, zda student zvolil správný postup nebo metody řešení.</i>  |                |
| <p>V první – sestavovací – části není snad co vytknout. V té druhé bych snad býval s ohledem na obrovskou šíři záběru spíše doporučil vybrat si jen jednu jedinou metodu pro odhadování, a tuto se pokusit zvládnout opravdu stoprocentně. Obecně totiž závěry o (ne)použitelnosti či (ne)vhodnosti metod učiněné na základě ne úplně poučeně/zkušeně použitých metod mohou být zavádějící. Je možné (třebaže ne zaručené), že při větším soustředění se na jednu jedinou metodu by se z dané (a v podstatě libovolné) metody dalo získat více.</p> <p>Za rozhodnutí, které však ovlivnilo dosažitelnou kvalitu odhadů, považuji rozhodnutí nestavět pozorovatele/estimátory na modelu dynamiky. Třebaže nemám vlastní zkušenost se stejným problémem, odhaduji na základě jiných zkušeností i znalostí literatury, že bez modelování dynamiky vozidla nebude možné dosáhnout použitelných odhadů.</p> |                |

| <b>Odborná úroveň</b>   | <b>B - velmi dobře</b> |
|---|------------------------|
| <i>Posuďte úroveň odbornosti závěrečné práce, využití znalostí získaných studiem a z odborné literatury, využití podkladů a dat získaných z praxe.</i>  |                        |
| <p>Vzhledem k již zmíněné náročnosti zadání (zejména v té druhé části věnované odhadování a filtraci) považuji odbornou úroveň bakalářské práce, která je pro studenta velmi pravděpodobně prvním takto komplexním projektem a prvním</p> |                        |

seznámením se souvisejícími pokročilými metodami z oblasti odhadování a filtrace, za velmi solidní. I přestože tímto studenta chválím, nechtěl bych, aby v pochvale zaniklo strohé konstatování, že dosažená kvalita odhadů není vůbec valná a spíše je stávající řešení prakticky nepoužitelné. Studentově eufemismu v závěru, kde konstatuje, že jedna z metod (NL) se ukázala jako slibná, vůbec nerozumím. Níže ještě i pár konkrétních výhrad:

- Aproximace derivace prostou diferencí ve vztahu (4.16) - a je to skutečně jen aproximace a nikoliv rovnost, jak vztah použitou notací naznačuje – je v reálném případě zašuměného signálu prakticky naprosto nepoužitelná. Systematickým postupem pro získání derivace je právě onen pozorovatel/observer/estimátor založený na modelu.
- Student v práci uplatňuje několik zjednodušujících předpokladů. Objevují se na několika místech v práci, zejména ale na začátku 4.4 na straně 19. Velmi často u nich ale chybí inženýrské zdůvodnění, diskuze, zda je v dané situaci takové zjednodušení ospravedlnitelné.
- Ať už si student vybral pracovat s kinematickým či dynamickým modelem, ani jeden není v textu popsán. Pro kinematický model student uvádí náčrtek, ale explicitně rovnice v daném odstavci neuvádí.
- Student v textu pojmenovává veličinu  $\omega_z$  (měřenou gyroskopem) coby rychlost zatáčení (anglicky yaw rate). Není však z textu zřejmé, že si student uvědomuje, že jde ve skutečnosti o dvě odlišné veličiny, které se shodují pouze v onom speciálním případě, kdy vertikální osa vozidla zachovává svou orientaci. Obecně je však vztah mezi složkami vektoru omega inerciální úhlové rychlosti a derivacemi jednotlivých polohových úhlů netriviální (nelineární). Je dost možné, že nesplnění uvedeného předpokladu je i při agresivním průjezdu zatáčkou zanedbatelné (tedy že zanedbatelné jsou rotace vozu okolo jeho podélné i příčné osy – roll rate a pitch rate – , pak je vše v pořádku, avšak chtěl jsem tuto často nepochopenou skutečnost pro jistotu zdůraznit.

**Formální a jazyková úroveň, rozsah práce**

**B - velmi dobře**

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

Text práce má 36 stran (bez příloh), což lze považovat za adekvátní rozsah. Tím spíše, že těžiště práce nespočívalo v psaní textu nýbrž v tvorbě a experimentování s reálným systémem. Práce je psaná velmi solidní angličtinou. Vysázení textu v systému (La)TeX s použitím fakultní šablony dává práci profesionální vzhled. Přesto však k formě práce mám několik výhrad. Půjde o výhrady dílčí a technické, tedy pro účely obhajoby není nutné (ani vhodné) je číst. Přesto však snad mohou posloužit studentovi při psaní budoucí textů. Výhrady nebudou seřazeny podle důležitosti:

1. Přestože jsem angličtinu vychválil, zjevně není rodným jazykem studenta, a přes květnatost některých vět je to na přesnosti/jednoznačnosti textu znát. Je to mimo jiné i tato práce, které mě samotného vede k názoru, že alespoň tu bakalářskou práci by studenti měli psát ve svém rodném jazyce, aby byla možné posoudit, zda různé nepřesnosti jsou pouze důsledkem používání cizího jazyka.
2. Velmi charakteristickým rysem předloženého textu je jistá roztříštěnost či přímo roztěkanost. Poté, co v kapitole 3 student představí hardware (mechaniku i elektroniku) autíčka, se v kapitole 4 student věnuje problematice detekce prokluzu. Tuto kapitolu začíná diskuzí samotné problematiky odhadování/detekce (příčného) skluzu, aby vzápětí odskočil do problematiky modelování kinematiky a dynamiky vozidel, aby se vzápětí zase vrátil a věnoval se popisu několika zvolených matematických metod/algorithmů pro inerciální odhadování, načež se uprostřed textu objeví fotografie hardwaru (osazené desky plošných spojů) pro inerciální měření spolu s instrukcemi, že "nejdříve je potřeba flashnout firmware do mikroprocesoru"... Nebylo vhodnější veškerou instrumentaci popsat v jedné kapitole včetně oněch praktických instrukcí o „flashování“, následující kapitolu věnovat třebaš tomu modelování, samostatnou kapitolu věnovat algoritům pro obecné inerciální odhadování, a pro finální diskuzi metod/algorithmů pro detekci skluzu včetně experimentálního ověření mít vyhrazenou samostatnou kapitolu? Není to jen otázka jakési "estetiky" textu ale spíše i strukturu samotného myšlení. Nutno přiznat, že s tímto zápasí snad většina českých studentů technických oborů, nejspíše z důvodu "nevypsání" (oproti kupříkladu studentům z holandských či skandinávských univerzit). Tím spíše je dobré o této slabině vědět a pracovat na ní.
3. Na straně 8 se objeví akronym VESC bez toho, že by byl předtím jakkoliv zaveden. Zaveden je až později v textu.
4. Na straně 9 je sekce 2.3.2 obsahující popis sensorů nadepsána jako Perception. I přestože vím, že je tento pojem v robotice využíván, navrhuji, zda v tomto konkrétním případě spíše nepoužívat něco jako Sensors či Sensoric system.
5. V souvislosti s předchozím si dovoluji upozornit, že čtvrtá položka v seznamu Perception - regulátor VESC - rozhodně do tohoto seznamu nepatří. Vždy to nesouvisí s měřením (či percepcí) nýbrž s akčním členem (motorem)!

6. Za velmi zajímavý formální problém považuji rozhodnutí autora (a nejspíše i jeho vedoucího) označovat ten samotný objekt zájmu – ono autíčko – coby model, přesněji (a anglicky) car model. V situaci, kdy v části práce diskutuje matematické modelování daného systému to vede k zajímavým vyjádřením, jako například na straně 20: "the car model odometry model is briefly explained". Můj návrh je používat slovo model pouze v souvislosti s matematickým modelováním a označovat vlastní fyzický objekt zájmu třeba jako subscale vehicle či car (a česky třeba autíčko).
7. Matematické vzorce, ať už v řádku nebo samostatně zobrazené, jsou součástí věty, a tedy je nutno i na ně aplikovat interpunkci. Tedy například jednotlivé rovnice v (4.10) by měly být odděleny čárkami a poslední zakončena tečkou.
8. Při používání dolních či spodních indexů v matematických výrazech je velmi užitečnou (třebaže často nedodržívanou) praxí nepoužívat pro tyto kurzívu, pokud mají význam nějakého textu. Například horní index v (4.23) zní "off", a pokud je takto vysázen kurzívou, bylo by možné ho chápat jako "o krát f krát f".
9. Podobná výhrada se dá uvést i pro názvy funkcí jako je sinus použitý ve (4.24). Co mi zabrání číst vztah jako "g krát s krát i krát n"?
10. Asi bych složky vektoru rychlosti i zrychlení neoznačoval kapitálkami, tedy  $V$  a  $A$ , a zvolil bych daleko běžnější  $v$  a  $a$ . Tím spíše, že ještě v (4.1) to tak i student sám dělá. Kromě zvyku se to v tomto případě může velmi hodit k předejití zmatku, když se pak ve dvou rovnicích hned pod sebou (4.4) a (4.5) objeví  $Ax$  coby složka vektoru zrychlení a  $Ak$  coby matice dynamiky. Ano, každý autor má svobodu ve své volbě notace, ale je současně pravda, že konvence používat kapitálky spíše pro matice, je v branži systémů, signálů a řízení docela rozšířená.
11. Při uvádění fyzikálních jednotek student tyto ze zvláštního důvodu uvádí v hranatých závorkách. Jako například v odstavci 4.6.1: "lateral accelration shows -0.05 [m/s<sup>2</sup>] offset", ale i jinde v textu. K tomuto i předchozím bodům viz například Claudio Beccari. Typesetting mathematics for science and technology according to ISO 31/X, TUGboat, Volume18, No.1, 1997.

#### **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 se v práci odkazuje na celkem 26 dalších prací. Velká část z nich jsou různé webové stránky a další online materiály, ale několik z nich jsou i odborné články v časopisech. Po formální stránce bych snad vytknul neúplnost některých záznamů, například [30] nemá kromě názvu a autora uvedeno vůbec nic jiného, podobně [25].

Hlavní moje výhrada však nebude formální ale věcná. Ve stejné době jako student-autor předložené práce, pracovali na velice blízké ba přímo identické problematice v rámci diplomových a bakalářských projektů jiní studenti té stejné katedry – Karim Al Reyahiho (práce nazvaná Vehicle state estimation) a Jan Kučera (práce nazvaná Vehicle slip ratio control systém). Není to vlastně ani tak výtka směřující na studenta, nicméně ta do očí bijící absence interakce mezi dotýcnými dvěma skupinami je při stejném odborném zaměření na řízení dvoustopých vozidel pro mě nepochopitelná.

#### **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.*

-

### **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 bakalářskou práci především s ohledem na širší záběr hodnotím jako velmi solidní. Velký počet mých připomínek je spíše dán mou snahou posloužit studentovi zpětnou vazbou a nikoliv mou nespokojeností.

Otázky:

1. V závěru práce uvádíte, že lepší odhad podélné složky rychlosti (longitudinal velocity) vozidla by bylo možné získat při využití LIDARu či ultrazvukových senzorů. Jak? Berte při odpovědi v úvahu typickou vzorkovací periodu a tím i maximální možnou očekávatelnou šířku pásma takového měření.
2. V závěru práce tvrdíte, že použitá inerciální měřicí jednotka (IMU) se ukázala jako velmi nepřesná. Přesnější by údajně představovala klíčové zlepšení Vašich algoritmů. Bohužel ale pro Vámi zvolenou IMU neuvádíte hodnoty žádných relevantních parametrů (přesnost je určitě jen jedním z nich), tak je celé toto tvrzení velmi vágní. Uveďte tedy, které jsou to ty relevantní parametry IMU či spíše jednotlivých senzorů, jaké hodnoty má Vámi použitá IMU, a jaké hodnoty a proč jsou žádoucí pro zlepšení funkčnosti odhadu.

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

Datum: 11.6.2019

Podpis: