

Posudek vedoucího bakalářské práce

Student: Martin Lád

Téma: Návrh a implementace řídicího systému pro autodráhové vozidlo

Práce se zabývá vývojem autodráhového vozidla pro projekt Slotcar platooning. Cílem práce bylo zprovoznit autíčko s novou elektronikou, navrhnout způsob měření a filtrace rychlosti a implementovat navržený řídicí algoritmus v jazyce C v procesoru autíčka.

Student se zapojil do projektu již v rámci individuálního projektu v předchozím semestru, při kterém byla provedena identifikace a částečně realizováno měření rychlosti autíčka. Nová požadovaná elektronika, se kterou se student teprve musel seznamovat, byla od vývojáře HW dodána až dva týdny po začátku letního semestru.

Student pracoval intenzivně a své výsledky pravidelně konzultoval se mnou jako vedoucím. Za velký klad považuji, že pracoval samostatně. Byl si schopen nejen nastudovat problematiku *Rozšířeného Kalmanova filtru* a jeho implementace v procesoru, ale také rozvíjet myšlenku online přeladování jeho váhových matic. Implementovaný řídicí algoritmus funguje velmi dobře, a to dokonce i pro malé rychlosti (100 mm/s), kde pomalá frekvence IRC senzoru a především nelinearity v tření autíčka způsobují značné problémy. Za zajímavý vedlejší výsledek práce považuji schopnost odhadovat výslednou třecí sílu autíčka, což může být v budoucnu použito např. pro návrh nelineárního regulátoru pro malé rychlosti.

V rámci bakalářské práce Martin Lád úzce spolupracoval s dalším studentem Janem Moravcem, který v rámci své BP úspěšně zprovoznil kolonu takovýchto vozidel. To mimo jiné obnášelo vytvořit vzdálenostní regulátor nad rychlostní smyčkou implementovanou Martinem Ládem. I to je důkaz, že spolupráce v týmu fungovala dobře a že implementovaná rychlostní smyčka funguje spolehlivě.

Student při své práci prokázal schopnost vyřešit komplexní inženýrský úkol (od mechanického sestavení autíčka přes programování procesoru až po návrh regulátoru) a beze zbytku splnil všechny body zadání, proto doporučuji práci k obhajobě a navrhuji udělit známku **A – výborně**.

V Praze dne 12. 6. 2014



Ing. Dan Martinec, Katedra řídicí techniky (13135)



10.6.2014

Posudek oponenta bakalářské práce Martina Láda

Úvod

Bakalářská práce „Návrh a implementace řídicího systému pro autodráhové vozidlo“ je uvedena rozborem matematického modelu autodráhového auta, dále jsou představeny dvě metody měření rychlosti a fúze stochastických měřených dat pro optimální odhad rychlosti. V poslední části se práce zabývá návrhem zpětnovazebního regulátoru rychlosti.

Řešení problematiky

Práce je z technického hlediska na vysoké úrovni, obsahuje však i několik nedostatků. Konkrétně:

- Konstanta elektromagnetického napětí je rovna momentové konstantě pouze za předpokladu, že nedochází k elektromagnetickým ztrátám.
- V modelu je zanedbána účinnost mechanického převodu. Hnací moment je o tuto účinnost nižší.
- V kapitole 2.1.1 píšete, že: „do určité rychlosti třecí síla klesá a poté začne stoupat“, nicméně na obr. 5, uvážíme-li nepřesnost odhadu, není z naměřených dat tento jev patrný.
- Obr. 11 a 12 postrádá vyobrazení vstupního signálu. Není přímočaré průběhy z těchto obrázků interpretovat.
- V rovnicích 45, 46 je zmateně popsána dynamika systému. Není jasné, zdali jsou rychlost a tření funkcí diskrétního nebo spojitého času.
- Celá kapitola 3.3.2 trpí nedostatkem přehlednosti a přesnosti popisu. Například matici rozptylů R jistě nastavujete na základě předchozí odhadnuté rychlosti v_{k-1} a ne pomocí právě odhadované rychlosti v_k .
- Porovnávání kvality odhadu různých kalmanových filtrů je třeba provádět na jednotný vstupní signál, ne ve zpětnovazebním zapojení.
- V kapitole 4. používáte ve schématu i textu diskrétní regulátor. Přenos uzavřené smyčky ale uvádíte spojitý. Systém se Zero-order Hold regulátorem se nebude chovat stejně jako systém se spojitým regulátorem.
- Obr. 25 postrádá referenci a v popisu slibovaný simulovaný průběh.
- V grafech v kapitole 4. uvádíte vždy k simulaci také měřená data, není však specifikováno o jaká měřená data se jedná. Zdali se jedná o měření z IRC, back emf, jiného externího rychloměru nebo se jedná o odhadnutou hodnotu skutečné rychlosti?



Klady práce

Způsoby měření rychlosti jsou kvalitně popsány. Implementace kalmanova filtru je zdařilá. Student zde nestandardně využívá proměnné matice rozptylů šumů, kterou upravuje v závislosti na hodnotě rychlosti odhadnuté v předchozím kroce. Tím sice zavádí do filtru zpětnou vazbu, která může způsobit nepředvídatelné chování, ale z naměřených dat je možné usuzovat, že takto navržený filtr na řešeném problému velmi dobře funguje. Výsledné řízení rychlosti auta je podle obr. 21 velmi dobré.

Jazyk a formální zpracování

Práce je dobře strukturovaná a přehledná, po vizuální stránce nemá závažných nedostatků. Překlepy a drobné gramatické chyby jsou přítomny, práce je však prosta hrubých gramatických chyb.

Otázky k bakalářské práci

1. Lze účinnost převodového soukolí z naměřených dat určit? Jaká je hodnota účinnosti použité převodovky? Čím si vysvětlujete, že jste musel hmotnost auta třikrát zvětšit oproti skutečné hmotnosti, aby model odpovídal naměřeným průběhům?
2. Jak se projeví odpojení napájecího napětí při měření back emf na momentu motoru?
3. Jak byl měřen rozptyl šumu? Jak měření a jak byla měřena skutečná rychlost auta?
4. V úvodu i závěru píšete, že tření je lineární funkcí rychlosti. Při odhadování pomocí kalmanova filtru však tento fakt zanedbáváte a definujete tření jako statické na rychlosti nezávislé. Nešlo by závislosti na rychlosti v odhadu využít, např. pomocí rozšířeného kalmanova filtru?

Závěrečné zhodnocení

Bakalářská práce Martina Láda je na vysoké technické úrovni. Student prokázal schopnost pracovat s pokročilými metodami odhadování a řízení rychlosti autodráhového auta se mu podařilo kvalitně realizovat. Kladně bohužel nemohu hodnotit v závěru práce často popletenou měřenou, odhadnutou a skutečnou rychlost auta. Formální nedostatky v práci nepovažuji za závažné, ale práci by prospělo ještě alespoň jedno kritické přečtení. Praktický výsledek práce je však vynikající, proto bakalářskou práci **doporučuji k obhajobě** a hodnotím známkou **B-velmi dobře**.

Ing. Jiří Dostál