ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

POSUDEK VEDOUCÍHO ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

I. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE

Název práce:	**Využití bezdrátové komunikace při distribuovaném řízení kolon autodráhových autíček**
Jméno autora:	**Šimon Wernisch**
Typ práce:	bakalářská
Fakulta/ústav:	Fakulta elektrotechnická (FEL)
Katedra/ústav:	Katedra řídicí techniky
Vedoucí práce:	Doc. Ing. Zdeněk Hurák, Ph.D.
Pracoviště vedoucího práce:	Katedra řídicí techniky

II. HODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH KRITÉRIÍ

Zadání — **náročnější**

Hodnocení náročnosti zadání závěrečné práce.

Ve své plnosti bylo zadání spíše náročnější, neboť se (ve druhé části) dotýkalo stále ještě otevřených problémů v teorii automatického řízení. Obsahovalo však (v první části) i experimentální položky s poměrně přímočarým třebaže pracným řešením, a tedy bylo vhodné i pro bakalářský projekt.

Splnění zadání — **splněno**

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.

Zadání hodnotím jako splněné, třebaže těžiště vlastní práce se nakonec vyvinulo v té první části zaznamenávání a vyhodnocení zpoždění či ztráty paketů.

Aktivita a samostatnost při zpracování práce — **A - výborně**

Posuďte, zda byl student během řešení aktivní, zda dodržoval dohodnuté termíny, jestli své řešení průběžně konzultoval a zda byl na konzultace dostatečně připraven. Posuďte schopnost studenta samostatné tvůrčí práce.

Při řešení byl student velmi aktivní a iniciativní. Své řešení konzultoval na pravidelných schůzkách.

Odborná úroveň — **A - výborně**

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

Odborná úroveň odvedené práce je vysoká. V první části práce prokazuje student samostatnost a kreativitu při zaznamenávání a analýze zpoždění v bezdrátové komunikaci, ve druhé pak schopnost práce s aktuální výzkumnou literaturou z oblasti teorie řízení. Přitom v této druhé části jde spíše o problematiku vhodnou pro zkoumání v rámci diplomové či dokonce dizertační práce.

Formální a jazyková úroveň, rozsah práce — **C - dobře**

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

Práce je psaná česky a vysázena v systému Latex s využitím fakultní šablony. Výsledkem je velice solidně působící text. Snad jen mohly být některé sekce zejména ve druhé části práce trochu detailnější. Samotné analýze vlivu zpoždění a jeho kompenzaci jsou v textu věnovány pouhé čtyři strany textu. Jakkoliv jsem studenta sám odrazoval od vytváření přespříliš dlouhého textu, zde je odevzdaný text stručný až příliš. Jakoby se nalezením relevantního výzkumného článku (a odkazováním na něj) zmenšila motivace tu problematiku analyzovat popsat i ve vlastní práci.

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.

Na rozdíl od některých jiných bakalářských projektů vyžadovala bakalářská práce Šimona Wernische intenzivní studium odborných článků publikovaných v zahraničních odborných časopisech. S tím však přišla do projektu i nutnost správného odkazování se na tyto zdroje a tato byla v odevzdaném textu naplněna.

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.

Jakkoliv nebylo experimentální ověření navržených kompenzátorů součástí oficiálního zadání, stejně mě mrzí, že student nevyužil možnosti takové experimentální ověření uskutečnit, i přestože jsem jej k němu v průběhu práce vybízel. A to zejména poté, co bylo kompletní řešení druhé části zadání nalezeno v odborné literatuře. I přestože i jen jeho nastudování jistě zabralo dost času, část kapacity se takto nepochybně uvolnila. K experimentálnímu ověření bylo možno využít nejen dostupné platformy postavené na autodráhových autíčkách vybavených palubními počítači i rozhraním pro bezdrátovou komunikaci, ale jistě i pomoci dalších studentů, kteří na vývoji této platformy ve stejný čas pracovali. Inženýrská analýza postavená pouze na simulacích je jistě méně působivá než ta zahrnující i experimenty.

III. CELKOVÉ HODNOCENÍ A NÁVRH KLASIFIKACE

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

Práce odvedená Šimonem Wernischem v rámci bakalářského projektu obsahovala jak relativně rutinní inženýrské kroky (měření a analýzu zpoždění v bezdrátových komunikačních sítích) tak i úkoly spíše výzkumné úrovně (analýzu vlivu zpoždění na kvalitu řízení i kompenzace tohoto vlivu úpravami algoritmů řízení). S vědomím vysoké náročnosti té výzkumné části celé práce hodnotím tuto jako velmi povedenou.

Předloženou závěrečnou práci hodnotím klasifikačním stupněm **A - výborně.**

Datum: 19.6.2017 Podpis:

POSUDEK BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Název: Využití bezdrátové komunikace při distribuovaném řízení kolon autodráhových autíček

Autor: Šimon Wernisch

Práce se věnuje problematice distribuovaného řízení kolon aut, respektive jejich autodráhových modelů, které byly vytvořeny v rámci projektu *Slotcar platooning* skupiny AA4CC katedry řídicí techniky. Po úvodu do dané problematiky jsou uvedeny a krátce analyzovány nástroje pro zaznamenávání parametrů a metrik bezdrátové komunikace. Zejména je diskutován vznik komunikačního zpoždění, který je správně přiřazen k jevům komunikace po síti, souvisejícím s odesláním paketů a čekání na uvolnění sdíleného komunikačního média. Vzhledem k vlastnostem používaných komunikačních protokolů (TCP a UDP), je zpoždění proměnného charakteru. Lze ale u něj zpravidla vypozorovat určité rozložení pravděpodobnosti. Jednotlivé jevy zodpovědné za vznik komunikačních zpoždění jsou nejprve analyzovány s ohledem na dostupnou literaturu. Posléze je navržen a implementován experiment s cílem získat charakteristiky zpoždění. Přínosem této části práce je především návrh a implementace metodiky synchronizace hodin počítačových modulů v autíčkách, která je důležitá pro určení aktuální hodnoty komunikačního zpoždění. Dále byla analyzována problematika ztráty paketů a byla podrobně diskutována problematika volby komunikačního protokolu pro minimalizaci komunikačního zpoždění a řešení krizových stavů při ztrátě komunikace.

Druhá část práce se věnuje problematice vlivu zpoždění na kvalitu a zejména stabilitu kolony aut (autíček) s uvažováním přístupu CACC – Cooperative Adaptive Cruise Control. Daný problém je krátce uveden, a to včetně modelu a algoritmů řízení jednotlivých aut v koloně. Stěžejní částí je analýza vlivu komunikačního zpoždění na tzv. řetězcovou stabilitu systému. Jak je demonstrováno, komunikační zpoždění má na daný typ stability destruktivní vliv. Následně, s uvažováním Padé aproximace odhadovaného zpoždění, je navržen jednoduchý heuristický algoritmus pro nastavení bezpečné vzdálenosti mezi auty, při kterém nedojde ke vzniku nestability při dané hodnotě komunikačního zpoždění. Dalším deklarovaným přínosem je návrh algoritmu, který ze sdílených informací mezi autíčky a znalosti zpoždění odhaduje chování autíček v koloně. Daný 'estimátor' je popsán velmi stručně, jeho funkčnost je demonstrována na simulačním experimentu. Dosažené výsledky jsou posléze shrnuty v závěrečná kapitole.

Bakalářská práce má standardní (dobrou) úroveň. Struktura je vhodně zvolena, cíle práce jsou jasně stanoveny, prezentace dosažených výsledků je (většinou) srozumitelná. Zdařilou částí práce je rozbor problematiky vzniku komunikačních zpoždění, včetně provedené experimentální analýzy. Práci lze vytknout přílišnou stručnost klíčových částí v Kapitole 3 prezentujících vliv zpoždění na řetězcovou stabilitu systému, zejména pak formu prezentace dvou navržených algoritmů, které jsou uvedeny v příloze A. Zejména účel (a funkčnost) Algoritmu 2 není vhodně vysvětlen. Algoritmus navíc pracuje s diskrétním modelem předchozího auta, který v práci není uveden. Práci lze též vytknout nedostatečný průzkum literatury v oblasti vlivu komunikačního zpoždění na dynamiku řízených kolon a to včetně jeho vlivu na řetězcovou stabilitu (problematice se dlouhodobě věnuje například prof. Gábor Orosz, University of Michigan). Daná problematika též spadá do oblasti vlivu komunikačních zpoždění na řízení multiagentních systémů, která je významným tématem teorie systémů se zpožděním a věnuje se jí celá řada autorů.

Vzhledem ke zmiňované standardní kvalitě práce, poměrně zdařilé experimentální části, s uvažováním dílčích nedostatků v části týkající se vlivu zpoždění na řetězcovou stabilitu, práci jako celek **doporučuji k obhajobě a navrhuji známku C – dobře.**

Otázky k obhajobě

1. Vzhledem k rostoucímu využívání bezdrátové komunikace v průmyslových a jiných aplikacích (včetně uvažované problematiky řízení kolon) roste význam analýzy a zohlednění komunikačních zpoždění v systémech řízení. Jelikož je nutné počítat i s úplným výpadkem komunikace, při kterém zpoždění prakticky roste nade všechny meze, je ideálním stavem systémy řízení navrhovat tak, aby byly stabilní nezávisle na velikosti interních zpoždění. Daný případ je částečně řešen v části 3.2.1 věnované degradovanému CACC systému, který v dané situaci využívá prediktor zrychlení předchozího auta. Do jaké míry je daný přístup bezpečný? Nebylo by vhodnější v tomto nežádoucím případě kolonu řízeně zrušit, případně rozdělit na sub-kolony s funkční komunikací?
2. Z jakého důvodu je použita Padé aproximace zpoždění v části 3.2.1? V uvažované frekvenční oblasti by exponenciální charakter přenosů zpoždění neměl být překážkou.
3. Navržené Algoritmy 1 a 2 nejsou v práci dostatečně popsány a analyzovány. Bylo by vhodné jim věnovat zvýšenou pozornost v prezentaci při obhajobě práce.

V Praze, 5. červen, 2017

prof. Ing. Tomáš Vyhlídal, Ph.D.

Ústav přístrojové a řídicí techniky, Fakulta strojní,
a Český institut informatiky, robotiky a kybernetiky,
ČVUT v Praze