Oponentní posudek disertační práce

Autor práce: **Ing. Tomáš Haniš**
Název práce: **Active control for high capacity flexible aircraft**
Školitel: Ing. Martin Hromčík, Ph.D.
Recenzent: Prof. Ing. Miloš Schlegel, CSc., ZČU v Plzni, Fakulta aplikovaných věd

Téma:
Práce se zabývá velmi zajímavým problémem aktivního řízení vysokokapacitního pružného letounu s křídly integrovanými s tělem letounu (Blended Wing Body - BWB). Všechny tři v práci řešené dílčí problémy – optimální rozmístění senzorů vibrací, robustní zpětnovazební řízení letounu s pružnou konstrukcí i dopředné řízení potlačující rychlé změny zatížení způsobené poryvy větru – jsou velmi obtížné úlohy. Podle mého soudu dokonce až tak obtížné, že poněkud překvapuje, že se disertační práce snaží pojednat o všech těchto problémech. Domnívám se, že by bylo vhodnější, kdyby se autor plně zaměřil pouze na jednu z těchto úloh.

Stanovené cíle.
Konkrétní cíle disertační práce stanovené autorem jsou následující:

1. Vyvinout metodologii pro optimální rozmístění senzorů na pružné konstrukci na základě jejího modelu.
2. Přinést metodologii pro návrh robustního zpětnovazebního řízení letounu s pružnou konstrukcí na základě současných optimalizačních nástrojů.
3. Navrhnout dopředné řízení zmírňující účinky náhlých poryvů větru na letoun.

Zvolený postup řešení.
Úvod (kap.1) obsahuje velmi stručné uvedení do současného stavu řízení BWB letounu. Autor se nesnaží podat přístupný úvod pro nespecialisty. Místo toho uvádí pouze citace relevantních prací se stručným komentářem. Čtivost práce je tímto podstatným způsobem snížena. Kapitola 2 obsahuje cíle disertační práce.
Problém optimálního přiřazení senzorů je řešen v kapitole 3. Jde o velmi důležitý problém, který musí být řešen vždy, chceme-li aktivně zpětnovazebním řízením potlačit vibrace pružné soustavy. Pro návrh zpětnovazebního řízení totiž musíme mít model redukovaného řádu se soustředěnými parametry, který popisuje pouze několik nízkofrekvenčních módů systému. Navržený regulátor konečného řádu je však potom aplikován na reálný systém s nekonečně mnoha módy. Čím více regulátor potlačuje vibrace modelovaných módů, tím více je náchylný zesilovat vibrace nemodelovaných módů (Bodeho integrální věta) a případně je až destabilizovat. Tento jev je známý pod názvem „spillover". Existuje celá řada metod pro jeho potlačení, například užití nízkofrekvenčního filtru. U pružných konstrukcí však vlastní frekvence velmi často tvoří shluky a to vyžaduje použití filtrů vysokého řadu pro ostré oddělení propustného a nepropustného pásma. Autor v práci rozvíjí známou alternativní metodu spočívající ve vhodném výběru umístění senzorů na základě maximalizace stopy Fisherovy informační matice. Bohužel původní metoda není v práci dostatečně objasněna (viz například vztah (3.4)) a čtenář musí nalézt detailní informace v původních článcích (Kammer, 1991), (Kammer, 1994). Ani srovnání s dalšími existujícími metodami není v práci uvedeno. Dále není jasné, proč se autor omezil pouze na senzory odchylek a ne na senzory rychlosti a zrychlení. Hlavní nedostatek této části práce je však skutečnost, že ani nová autorem navržená modifikace této metody není porovnána s výsledky alternativních metod na netriviálním příkladu vzhledem k potlačení jevu „spillover". Aplikace nové metody na BWB letoun je zajímavá a určitě by si zasloužila více detailních informací.
Zpětnovazebnímu řízení letounu (lateral/longitudinal CAS) je věnována kapitola 4. Zde autor aplikuje současné standardní návrhové nástroje (H2/H∞). Uvádí dva přístupy k řešení. V prvém je nejprve navržen regulátor letové dynamiky (H2 optimalizací) a poté regulátor aktivního tlumení pružných módů konstrukce letounu (H∞ optimalizace). Výsledný regulátor tlumení je 20 řádu a domnívám se, že o jeho praktické užitečnosti lze pochybovat. Bohužel detailní informace o specifikaci problému,

výběru návrhových požadavků a jejich vyjádření pomocí váhových matic a váhových filtrů, dále o případných problémech s numerickým řešením nejsou v práci uvedeny. Jako výsledek návrhu jsou prezentovány čtyři grafy (jeden ve frekvenční a tři v časové oblasti). Dále je uvedena výsledná bezpečnost v zesílení a fázi pro nejhorší případy jednotlivých smyček. Uvedené hodnoty nepotvrzují příliš velkou robustnost navrženého zpětnovazebního řízení. Domnívám se, že přinejmenším chybí podrobná diskuse o vlivu váhových matic a váhových funkcí na výslednou vnitřní a vnější regulační smyčku. Podstatné je, že bez dalších dodatečných informací je obtížné hodnotit úspěšnost takového návrhu. V druhém přístupu je navrhován regulátor pevného řádu s omezenou strukturou s využitím relativně nového nástroje HiFOO pro parametrickou optimalizaci. Tento nástroj umožňuje v nejnovější verzi navrhovat multi-kriteriálně optimalizované (minmax optimalizace) regulátory s omezenou strukturou pro kritéria ve tvaru normy H∞, komplexního spektrálního poloměru a hodnoty maximální reálné části spektra matice dynamiky systému (abscissa). Jde o užitečný, avšak doplňkový, nástroj pro návrh robustního zpětnovazebního řízení reálných systémů, neboť s jeho pomocí je možné nalézt pouze lokálně optimální řešení daného problému. Volba vhodné struktury regulátoru, jeho počátečních parametrů pro start optimalizace a specifikace kriteriálních funkcí je tedy velmi důležitá a tvoří podstatu návrhu. Popis právě takových informací však v práci z velké části postrádám. Ačkoliv je zřejmé, že se autor musel takovým otázkám detailně věnovat, před čtenářem jsou ke škodě věci příslušné detaily skryty a uvedeny jsou pouze konečné výsledky návrhu.
Kapitola 5 je věnována návrhu dopředné vazby zmírňující účinky náhlých poryvů větru na letoun. Návrhový problém je převeden na návrh FIR filtru metodou lineárního programování.

Splnění plánovaných cílů.
Autor vyvinul novou modifikaci dříve známé metody pro optimální rozmístění senzorů určenou pro potlačení jevu „spillover". Autor zvládl standardní metody současné lineární teorie a nejnovější programové nástroje pro návrh robustních regulátorů s omezenou strukturou a dokázal je aplikovat na řízení vysokokapacitního pružného letounu BWB. Domnívám se, že stanovené cíle disertační práce byly v podstatě splněny, přestože dosažené výsledky nemají zdaleka definitivní podobu.

Výsledky disertační práce a původní přínos.
Modifikaci metody EFI pro optimální výběr poloh senzorů lze považovat za původní příspěvek autora. Dalším přínosem je metodologie využití současných návrhových nástrojů (HiFOO) v návrhu řídicího systému letounu BWB. Jiné nové teoretické výsledky jsem v práci nenašel.

Formální a faktická úroveň prezentace.
Podle mého soudu práce příliš kopíruje původní články autora. Disertační práce by měla mít jiný styl - více prostoru pro podrobný výklad, motivaci a diskusi. V práci zcela chybí popis hledání vhodné specifikace návrhových požadavků a popis problémů s využitím nástroje HiFOO.

Publikace disertanta.
Seznam publikací autora naznačuje, že se danou problematikou dlouhodobě a systematicky zabývá.

Připomínky a náměty pro odbornou diskusi při obhajobě.

1. Proč není podrobně objasněn vztah (3.4)? Jaký přesný význam mají prvky E_D?

2. Co značí symbol I_{33x33} ve vztahu (3.13) ?

3. Proč nejsou uvedeny matematické modely (alespoň ty nižšího řádu) a návrhové specifikace (váhové matice a váhové funkce) řešených návrhových úloh (H2,H∞)? Kdo modely sestavil?

4. Můžete naznačit, jakým způsobem budou generovány váhové funkce genetickými algoritmy v plánovaném rozšíření nástroje HiFOO?

5. Plánuje se využití vašich výsledků na nějakém prototypu letounu?

Závěr.
Celkově konstatuji, že disertační práce Ing. Tomáše Haniše splňuje nároky na udělení akademického titulu „doktor“ v oboru „Control Engineering and Robotics“ a **doporučuji** ji k obhajobě.

V Plzni, dne 12.3.2012

Miloš Schlegel
ZČU v Plzni, Fakulta aplikovaných věd