

Posudek disertační práce

Doktorand: Ing. Martin Vágner
Název práce: Návrh a identifikace rozšířeného modelu MEMS gyroskopu
Školitel: doc. Ing. Petr Beneš, Ph.D.
Studijní obor: Kybernetika, automatizace a měření
Pracoviště: Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií VUT v Brně, Ústav automatizace a měřicí techniky
Rozsah práce: 111 stran základního textu včetně 73 odkazů na použitou literaturu, mezi přílohy oddíl A patří 20 stran naměřených dat, oddíl B 1 strana o konverzi jednotek, oddíl C 4 stránky o průzkumu trhu a oddíl D 12 stran výkresů.

Předložená práce se týká kalibrace gyroskopů typu MEMS, tj. snímačů úhlové rychlosti, které se používají v inerciálních jednotkách. Rozbor stávajícího stavu je na 30 stánkách a všímá si všech detailů od integrovaných navigačních systémů přes výrobní technologii MEMS gyroskopů, zvláště s vibrující hmotou, až ke stávajícím metodám měření jejich parametrů. Zvláště pečlivý je výčet problémů spojených se zjištěním všech vlivů na výstupní signál gyroskopů. Podle zadání se disertační práce má všímat především gyroskopu jako snímače úhlové rychlosti stáčení pohyblivého objektu. Správně se uvádí nemožnost integrace úhlové rychlosti na úhel, protože nízkofrekvenční drift nebo sebemenší chyba způsobí naintegrovaní výstupu až k mezím rozsahu výstupu. MEMS gyroskop poskytuje užitečný signál úhlu natočení až od jisté frekvence. Pro statický úhel vychýlení jsou vhodné MEMS akcelerometry a magnetometr.

Cíle jsou specifikovány na stránce 39.

Text od stránky 40 až do 105 rozepisuje jednotlivé cíle, které jsou zaměřeny na zlepšení postupu kalibrace, dále na vyhodnocení měření a v závěru na návrh modelu pro kompenzaci všech rušivých vlivů. Práce se zabývá přípravky pro měření, metodikou měření a zdroji nejistot, jmenovitě vlivem rotačního stolu, rotace země, uchycení gyroskopu, převodníků, teploty a stochastických vlastností gyroskopu. Metodika měření se týká převodní charakteristiky, frekvenční charakteristiky, teplotní charakteristiky, napájecího napětí a stochastických vlastností.

Aktuálnost zvoleného tématu

Téma práce je velmi aktuální, protože řeší kalibrace MEMS gyroskopů, které nacházejí stále širší uplatnění v inerciální navigaci a například v systémech ESP vozidel jako nástroje cílených zásahů do řízení vozidla, který pomáhá zvládnout některé kritické situace, které mohou při jízdě nastat.

Splnění stanovených cílů

Předpokládám, že cíle disertační práce jsou vytýčeny na stránce 39. Ve srovnání s teoretickým úvodem jsou tyto cíle omezeny a zabývají se

- Identifikace a posouzení hlavních zdrojů nejistot měření při stanovení parametrů MEMS gyroskopů.
- Upřesnění metodiky měření parametrů MEMS gyroskopů (potlačení nejistot, nároky na vybavení).
- Proměření vstupně-výstupních charakteristik různých typů levných MEMS gyroskopů s cílem identifikovat reálné vlastnosti a parazitní vlivy, závislost nelinearity a stochastických jevů na teplotě, závislost parametrů na napájecím napětí, dynamické vlastnosti a charakteristika interního teplotního snímače.

- Na základě naměřených dat určit vhodný popis a sestavit model, který reflektuje tyto vlastnosti, s ohledem na nejistoty měření.

Na základě textu v kapitolách 5 a 6 lze konstatovat, že tyto cíle byly splněny.

Zvolené metody zpracování

Disertační práce je zaměřena na experiment a zpracování naměřených dat novými postupy, zejména je široce diskutováno použití Allanovy metody. Práce bere v úvahu všechny charakteristiky, které jsou pro hodnocení funkce gyroskopů používány.

Výsledky disertace, zejména nové metody, které přinesla

Hlavním výsledkem disertace je nejen zdokonalení metodiky kalibrace MEMS gyroskopů, ale hlavně osvojení Allanovy metody pro zpracování naměřených dat, což lze označit jako hlavní disertovatelný výsledek práce. Není to zcela originální výstup, ale je srovnatelný se současnými špičkovými pracemi v zahraničí. Allanova metoda byla doporučena jako standard pro některé typy gyroskopů, avšak její použití pro obor levných MEMS gyroskopů pro komplexnost různých zdrojů poruch je originální.

Otázky a úkoly k obhajobě

Zaujalo mne originální použití Allanovy metody k hodnocení naměřených dat. Allanova metoda byla vyvinuta k hodnocení stability oscilátorů. Definiční vzorec stanovuje rozptyl diferencí dvou sousedních zprůměrovaných záznamů dat na době průměrování. V prvním kroku se nahradí úseky (segmenty) signálu střední hodnotou vzorků z tohoto segmentu. Počet vzorků se zredukuje a z původního signálu jsou odstraněny periodické složky s periodou kratší, než je časová délka segmentu. S prodlužováním segmentů se zmenšuje frekvenční rozsah redukovaného signálu. Z posloupnosti středních hodnot se vypočte polovina střední hodnoty kvadrátu diferencí prvního řádu této posloupnosti, tj. rozptyl. Výpočet rozptylu se opakuje pro různé délky segmentů, zřejmě pro stanovený počet hodnot v rámci jedné dekády hodnot délek segmentů. Získá se graf závislosti rozptylu odchylky na délce segmentu. Odsud odvozuji své otázky:

1. Výhody použití Allanovy metody pro hodnocení stability frekvence oscilátorů jsou zřejmé. Jak by verbálně doktorand vychválil použití této metody pro gyroskopy?
2. V jakém režimu se měří? Je to v klidovém stavu nebo za rovnoměrného otáčení stolu anebo v neustálených stavech?
3. Jaké jsou požadavky na průběh grafu nebo jak se tento průběh hodnotí? Samozřejmě rozptyl je žádoucí co nejmenší, avšak preferují se co nejmenší hodnoty rozptylu odchylek pro krátké nebo dlouhé segmenty?
4. Má zvláštní význam minimum na tomto grafu a má informace o délce odpovídajícího segmentu význam pro zpracování dat?

V textu je zmiňován flicker (třepetavý) šum, jehož výkonová spektrální hustota klesá s mocninou frekvence. Tato mocnina frekvence ve jmenovateli je v disertační práci uváděna buď rovna jednotce nebo dvojce.

5. Jsou možné také další hodnoty z intervalu od nuly do dvojky?

Allanova metoda je použita také k hodnocení šumu na výstupu převodníků A/D různých typů. Chválím tento pokus.

6. Jak souvisí rozptyl odchylky s kvantovacím šumem převodníku?

tu

Tato otázka přímo nesouvisí se zaměřením disertační práce, doktorand však otevřel zajímavý problém, pokud má souvislosti promyšleny, může odpovědět.

Význam tohoto hodnocení spočívá v tom, že bylo provedeno pro spolehlivá data z profesionálního kalibračního zařízení

Je možné, že odpovědi na výše položené otázky jsou skryty v textu disertační práce. Doporučuji, aby na ně bylo odpovězeno v prezentaci při obhajobě.

Význam pro praxi

Hlavní část disertační práce se přímo zabývá praktickým problémem kalibrace gyroskopů, které se používají například k zabezpečení směrové stability osobních automobilů, ale i v mnoha dalších oborech, jako například létajících objektech – koptérách, tj. letadlech s rotujícími nosnými plochami.

Formální úroveň práce

Disertační práce je obsahuje zbytečně velké množství detailních popisů jednotlivých problémů spojených s kalibrací. Věty jsou nabitý mnoha informacemi. Jestliže bude disertační práce publikována, doporučuji zjednodušení textu s úzkou návazností na obrázky. Všiml jsem si označení „akustický hluk“.

V grafu 5.28 je opomenuto označení vodorovné osy. Není to chyba, protože význam plyne z kontextu. Do obrázku by mělo být doplněna souvislost délky segmentu s frekvencí harmonického signálu.

Odpovídá námět práce oboru disertace a je aktuální z hlediska současného stavu techniky?

Podle mého názoru je třeba odpovědět ANO.

Vyazuje práce původní přínosné části?

Disertační práce řeší spoustu dílčích inženýrských problémů, přičemž analýza záznamů metodou Allanových odchylek tvoří vědecké jádro s původními přínosy. Tuto metodu použil jednak k hodnocení signálů na výstupu gyroskopu, ale také k hodnocení šumu A/D převodníků. K výpočtu Allanovy odchylky byl rovněž vyvinut originální software.

Bylo jádro práce na potřebné úrovni publikováno?

Rozhodující části jeho disertační práce byly zveřejněny v několika publikacích.

Vyplývá ze seznamu vědecké činnosti uchazeče, že se jedná o pracovníka s vědeckou erudicí?

Domnívám se, že Ing. Martin Vágner má předpoklady pro vědeckou práci, protože zvládl jak nové metody zpracování signálů, tak pečlivé provádění experimentálních měření. Pravidelně publikuje v kolektivu autorů, u 7 publikací z 10 je prvním autorem.

Závěr

Doktorand prokázal schopnost samostatně vědecky pracovat a přispěl významně k rozvoji oboru kalibrace MEMS gyroskopů, zvláště použitím Allanovy metody. Jeho disertační práce odpovídá obecně uznávaným požadavkům k udělení akademického titulu Ph.D. Doporučuji tuto práci bez výhrad k obhajobě.

V Ostravě 15. 1. 2016



Prof. Ing. Jiří Tůma, CSc.

VŠB-TU Ostrava, Fakulta strojní