

Oponentní posudek disertační práce

Optimalizace a řízení lehkých poddajných mechanismů s přídavnými aktuátory a senzory

Disertant: **Ing. Jiří Volech** (ČVUT v Praze, Fakulta strojní)
Doktorský studijní program: Strojní inženýrství
Studijní obor: Mechanika tuhých a poddajných těles a prostředí
Školitel: prof. Ing. Zbyněk Šika, Ph.D.

Disertant Ing. Jiří Volech předložil k posouzení disertační práci o 98 stranách, která je věnována aktuální problematice řízení poddajných mechanismů s důrazem na vylepšení jejich vlastností pomocí dodatečného odměřování nebo přidané aktivní struktury. Zvolil si téma, které může při úspěšném zvládnutí přinést nové poznatky základního výzkumu, a současně je přínosné pro průmyslovou praxi. Řešení této problematiky vyžaduje kombinaci různých výpočtových postupů, nasazení vhodných přístupů k řízení, návrh experimentálních demonstrátorů a provedení vlastních měření.

Práce nejprve obsahuje podrobné a pečlivě zpracované shrnutí současného stavu problematiky, ve kterém autor kriticky probral jednotlivá podtémata a představil známé koncepty. Na základě tohoto shrnutí poté vytyčil čtyři cíle své práce, přičemž první dva cíle souvisí s výzkumem sériových kinematických struktur a druhé dva cíle jsou zaměřeny na paralelní kinematické struktury. Těmto dvěma okruhům je poté přizpůsobena obsahová struktura předložené dizertační práce, jejíž jádro tvoří kapitoly 4 a 5.

Kapitola 4 je věnována mechanismům se sériovou kinematickou strukturou. Snahou disertanta bylo navrhnout metodiku odměřování pohybu s uvážením poddajnosti jednotlivých členů a na základě toho implementovat řízení pohonů pro kompenzaci nežádoucích deformací. Postupně jsou probrány a zhodnoceny různé koncepty redundantního odměřování. Zvolené originální řešení je založeno na optickém měření deformace jednotlivých členů s vhodně navrženými senzory. Pro řízení byla poté zkombinována metoda výpočtu momentů (computed torques) a H^∞ regulátor. Vhodnost zvoleného řešení je zdokumentována výsledky numerických simulací s modelem sériového manipulátoru se čtyřmi stupni volnosti. Závěry ze simulací jsou ověřeny experimentem.

Kapitola 5 dizertační práce obsahuje popis problematiky návrhu a řízení mechanismů s paralelní kinematickou strukturou a možné zlepšení jejich vlastností pomocí přidané aktivní struktury. Je představen koncept víceúrovňového řízení, který je aplikován na mechanismus QuadroSphere, což je paralelní kinematická struktura řízená pomocí vláken ovládaných redundantními pohony. Právě poddajnost vláken může způsobovat nepřesný pohyb koncového bodu mechanismu, a proto je navržena přidaná aktivní struktura, která má za cíl kompenzovat nepřesnosti způsobené deformací vláken. V práci je uveden detailní návrh přídavné aktivní struktury včetně studie různých konceptů a tvarů. Významným přínosem je návrh vlastního víceúrovňového řízení, které bylo realizováno jak výpočtově v systému MATLAB/SIMULINK, tak experimentálně

včetně vhodně zvolených aktuátorů a řídicích desek. Využitelnost a efektivnost navržené metodiky řízení je poté ověřena pomocí simulací i pomocí experimentu na demonstrátoru.

Použité metody řešení byly vhodně zvoleny a u sériových i paralelních kinematických struktur vedly k návrhu řízených mechanismů s vylepšenými vlastnostmi. Po prostudování práce lze konstatovat, že všechny čtyři vytyčené cíle byly splněny. Hlavní teoretický i praktický přínos disertační práce spatřuji v návrhu a ověření způsobu redundantního odměřování u sériových kinematických mechanismů a v návrhu a ověření konceptu víceúrovňového řízení u vláknových paralelních mechanismů. Disertační práce je sepsána přehledně a systematicky. Formálně a graficky je práce na odpovídající úrovni, prakticky bez překlepů a s minimem nevhodných formulací. V některých částech práce (například při popisu experimentálních demonstrátorů či při prezentaci simulačních výsledků) mohl být autor méně stručný a doplnit více informací.

Na disertanta mám následující otázky do diskuze:

- 1) Uveďte, prosím, detailnější odvození vztahu (14), který je základním krokem při aplikaci metody computed torques.
- 2) Dokážete odhadnout, jak by byla ovlivněna kvalita navrženého řízení u studovaného sériového robota při zahrnutí jiného počtu vlastních tvarů jednotlivých poddajných členů?
- 3) Jak byla výpočtově modelována poddajná vlákna v modelu paralelního vláknového mechanismu?
- 4) Můžete formulovat další směry výzkumu u vámi studovaných sériových a paralelních struktur, které by navazovaly na Vaše výsledky?

Závěr

Předložená disertační práce splňuje všechna kritéria kladená na tento typ prací. Autor prokázal, že má odpovídající znalosti v oboru a dovede vyvíjet a aplikovat moderní simulační a experimentální metody pro komplexní návrh řízení poddajných mechanismů. S ohledem na výše uvedené hodnocení doporučuji disertační práci Ing. Jiřího Volecha k obhajobě.

V Plzni dne 9. 9. 2021

doc. Ing. Michal Hajžman, Ph.D.