

V Brně 29.06. 2020

Oponentský posudek doktorské disertační práce

**Řešení inverzního problému odhadu permitivity
materiálu ve volném prostoru**

**Estimation of Material Permittivity in Free Space
by Means of Inverse Problem Techniques**

Autor DDP : **Ing. Pavel Tomášek**, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Autor oponentského posudku. **prof. RNDr. František Cvachovec, CSc.**, Fakulta vojenských
technologií, Univerzita obrany v Brně

Autor DDP se zaměřil na určení významné materiálové charakteristiky, komplexní elektrické permitivity různých konstrukčních materiálů ve tvaru jednoduché nebo vícenásobné vrstvy umístěné ve volném prostoru.

Pro návrh metodologie použil neotřelého postupu kombinace evolučního algoritmu a přímého matematického modelu. Na základě matematického modelu určil S- parametry, koeficienty odrazu a prostupu, které tvořily vstup do systému určujícího žádanou veličinu, komplexní permitivitu daného materiálu. Rozptylové parametry byly určovány v závislosti na frekvencích. Správnost zvoleného postupu ověřoval autor experimenty. Výsledky řešení charakterizoval mírami kvality, tj. nejistotami, provedl také citlivostní analýzu. Konkrétní cíle své práce uvádí autor v kap. 2. Zvolený přístup k nalezení komplexní permitivity různých materiálů v jedné vrstvě nebo v kombinaci vrstev rozdílných materiálů je bezpochyby zajímavý a aktuální, jeho výsledky, tj. hodnoty komplexní permitivity potřebné a použitá metodologie je zcela jistě aplikovatelná i pro určování dalších veličin.

Práce je výrazně mezioborová. Kromě důkladných znalostí matematiky, fyziky, chemie, experimentálních dovedností autor využívá poznatků z oblasti umělé inteligence, dovedně je kombinuje, což svědčí o jeho široké invenci a schopnosti samostatně vědecky pracovat. Jsem přesvědčen, že svojí DDP autor přispívá k rozvoji oboru inženýrské informatiky.

DDP je zdařile zpracována také po stránce grafické, estetické a typografické.

Dále uvádím několik poznámek, resp. podnětů do diskuse během obhajoby DDP:

- Jaký byl autorův motiv, že se svojí DPP zaměřil právě na určení komplexní permitivity ?

- Budou výsledky autorovy DPP prakticky využity ?
- Byl by autorův postup aplikovatelný i v případě nehomogenního, resp. neizotropního materiálu ?
- Je uskutečnitelná aplikace autorovy metodologie pro určení permitivity biologické tkáně ? Pokud je mi známo, je otázka zajímavá pro některé typy medicínských léčebných postupů.

DPP je strukturovaná do osmi kapitol, ve kterých se najdou všechny znaky objevené vědecké práce, Autor tak dokazuje, že je schopen rozvíjet zajímavá a potřebná témata odborné praxe. Kladné hodnocení DPP je podepřeno i širokými publikačními aktivitami.

Závěr: DPP autora Ing. Pavla Tomáška splňuje cíle formulované v kap. 2 a naplňuje požadavky kladené na DDP ve studijním oboru Inženýrská informatika. Proto doporučuji komisi pro obhajobu přijmout DPP k obhajobě a po úspěšné obhajobě navrhnout udělení titulu Ph.D..

František Cvachovec

Prof. RNDr. František Cvachovec, CSc.

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně	
	
utbzes7735a297	
Doručeno dne:	3.7.2020
ČJ:	UTB/20/011132
Počet listů:	1
	lis./sv. příloh:
Druh příloh:	

OPONENTNÍ POSUDEK

k dizertační práci Ing. Pavla Tomáška

Estimation of Material Permittivity in Free Space by Means of Inverse Problem Techniques

Řešení inverzního problému odhadu permitivity materiálu ve volném prostoru

Úvod

Předložená práce shrnuje aktivity a dosažené výsledky Ing. Pavla Tomáška během jeho postgraduálního studia na Fakultě aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, kde si zvolil téma řešení inverzního problému odhadu permitivity materiálu ve volném prostoru. Toto téma je velmi aktuální, jak z hlediska metrologie, tak i z hlediska zkušebnictví obecně. Konstrukteři dnes mají skutečně na výběr z nepřeberného množství materiálů, zároveň jsou však omezovali i stále větším množstvím požadavků nejen na funkci, ale i ochranu zdraví, životního prostředí atd. Usnadnění a zrychlení dostatečně přesného určování permitivity dielektrik je samozřejmě velmi žádoucí. Zároveň roste i poptávka po maximálním využití moderních výpočetních metod při analýze výsledků měření.

Věcná stránka práce a její přínos

Doktorand zvolil správné členění a věcnou náplň jednotlivých kapitol práce. Při své práci postupoval metodicky správně. Zahájil ji ucelenou rešerší problematiky, i když je jí v práci věnován snad příliš malý prostor. Autor upřel svou pozornost na evoluční algoritmy, které jsou popsány v následující kapitole, a mezi nimi vybral techniku optimalizace hejnem částic. Cíl práce oponent považuje za dizertabilní a zvolený přístup za vhodný a aktuální, i když obsahuje úskalí možných falešně pozitivních výsledků, čehož si je ovšem autor vědom a problém diskutuje. V další kapitole se již zaměřuje na popis konkrétního postupu a stavby programu (se záměrným a dočasným předpokladem permitivity nezávislé na frekvenci). Největší část práce pak tvoří kapitola zabývající se testováním vytvořeného programu na simulovaných i skutečných experimentálních datech na jednoduchých i sendvičových strukturách z pěti základních a v literatuře dobře popsaných materiálů. V případě užití skutečných dat jsou výsledky celkově uspokojivé. Autor zde ale také narazil na předvídané problémy konvergence k nepravděpodobným hodnotám, diskutuje je, ale některé otázky, jež se nabízí, nezmiňuje, viz dotazy k obhajobě uvedené níže. V následující kapitole je řešena otázka dosažitelných nejistot, a to především s ohledem na vliv šumu. Bohužel, autor se zde musel omezit jen na simulovaná data. I když lze chápat obtíže, které přinášela nemožnost provést praktické experimenty na domovském pracovišti, chybí zde obsáhlejší diskuze dalších možných vlivů, především však otázky, zda měření přes rozsah frekvencí (při předpokladu konstantní permitivity) opravdu mohou nahradit měření opakovaná. Přes ojedinělé výtky zmíněné výše se oponent může ztotožnit s doktorandovou argumentací v závěru ohledně originálního přístupu, praktického přínosu i zahrnutí nového frekvenčního pásma, kde tato měření doposud chyběla.

Formální stránka práce

Po formální stránce je předkládaná práce velmi kvalitně zpracována a logicky uspořádána. Občasné (vzhledem ke značnému rozsahu práce marginální) nedostatky ale odhalit lze. Jsou to zejména následující systematické jevy:

- ignorování interpunkce rovnic (hned od rov. (3.1), pak se ale náhle objeví u rov. (6.2)),
- nedodržování stylu (stojeté vs. kurzíva), hlavně u goniometrických funkcí (např. rov. (3.5) nebo rov. (3.10) versus rov. (3.11)) a jednotek (např. str. 16 před rov. (3.8)), ale i vzorců chemických sloučenin (str. 39).

Ale i jednotlivosti:

- Na str. 62 má být „ μs “ namísto „ μsec “.
- Na str. 49 v komentáři k rov. (6.2) a (6.3) má být zřejmě γ namísto γ .
- V definici Eulerova čísla na str. 16 je třeba uvést přibližnou rovnost.

I když nechybí poměrně podrobný seznam zkratk, tak není vysvětleno třeba „S2P“ ze str. 35, „opd“ ze str. 58, „TRM/LRM“ ze str. 62 a ani pouhé rozepsání vtípné rekurzivní zkratky „GNU“ nezasvěcenému čtenáři moc nepomůže. Požívání termínu „experiment“ pro reálná i simulovaná měření čtenáři poněkud komplikuje rychlou orientaci. Přesto však z předkládané práce zůstává z formálního hlediska velmi příznivý dojem.

Otázky k obhajobě

- Výsledky v Tab. 6.5 ukazují dvě velmi odlehlé hodnoty. Autor zmiňuje možnost, že v tomto případě nebyla permitivita dostatečně konstantní přes celý užitý obor frekvencí. Zkusil autor použít např. jen část měření přes užší frekvenční rozsah, a jaké byly výsledky?
- U asymetrické struktury v experimentu č. 7 není zmíněno, zda měření proběhla jen v jednom směru nebo z obou stran?
- Má skutečně smysl použít aritmetického průměru tam, kde se objevují i zjevně falešné výsledky (Tab. 6.7)? Jaké metody autor navrhuje pro snazší či automatizované vyhledávání takovýchto výsledků?

Závěr

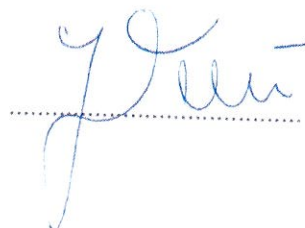
Autor doložil jak úplně a úspěšné splnění zadání, tak i schopnost samostatné vědecké práce. Vyzdvihnout je třeba i jeho aktivní publikační činnost. V seznamu na konci posuzované práce uvádí 22 položek, z toho 3 jsou v impaktovaných časopisech, kde je zároveň jediným autorem. V databázi Scopus je pak pod jeho jménem 19 záznamů při indexu $h = 3$. Konstatuji, že předložená práce splňuje požadavky kladené na dizertační práci a představuje praktický přínos pro metrologickou komunitu.

S ohledem na výše uvedené doporučuji komisi přijmout jeho práci k obhajobě a po jejím úspěšném dokončení udělit titul „Philosophiae doctor (PhD.)“.

Posudek vypracoval:

doc. RNDr. Jiří Tesař, PhD.

V Praze dne 2. 7. 2020



Oponentní posudek disertační práce Ing. Pavla Tomáška „*Estimation of Material Permittivity in Free Space by Means of Inverse Problem Techniques*“

Ing. Pavel Tomášek se ve své disertační práci zabývá problémem odhadu permitivity vícevrstevných struktur neznámých materiálů. Tato veličina vyjadřuje míru odporu materiálu vůči elektrickému poli. Její význam je v mikrovlnné technice, vedle technických aplikací má však využití i v lékařství, kde se zkoumá permitivita biologické tkáně a její znalost pak slouží v mikrovlnné termoterapii a při léčbě onkologických onemocnění.

U vnějšího elektrického pole s harmonickým průběhem však permitivita není skalární hodnotou, ale má vyjádření v komplexním oboru a je pak třeba zkoumat závislost složek komplexní permitivity na úhlové frekvenci vnějšího elektrického pole.

Zatímco hodnoty *relativní permitivity*, kterou Faraday definoval jako poměr kapacity kondenzátoru vyplněného dielektrikem a kapacity stejného kondenzátoru vakuového, pro řadu materiálů najdeme ve fyzikálních tabulkách, určení komplexní permitivity neznámých materiálů, navíc vícevrstevných, s různými tloušťkami vrstev a s nehomogenní strukturou, je netriviální úlohou a její zvládnutí představuje disertabilní jádro práce.

Autor po výkladu fyzikálních vlastností materiálů a zavedení nezbytných pojmů v odstavcích 3.1. a 3.2. stručně představuje třídu evolučních algoritmů, které jsou vhodným nástrojem k určení aproximace globálního optima úloh, neřešitelných v „rozumném“ čase deterministickými metodami. Z nich pak pro vlastní implementaci vybírá algoritmus PSO (Particle Swarm Optimisation). Vzhledem k platnosti známého No Free Lunch Theorem, který zjednodušeně řečeno říká, že žádná ze stochastických heuristických metod (kam patří i evoluční algoritmy) není „obecně lepší“ než jiná, je tato volba nezpochybnitelná. Autor svou volbu zdůvodňuje i vlastnostmi PSO, a sice rychlou konvergencí ke globálnímu optimu a „malou“ citlivostí na nastavení parametrů.

Program Ing. Tomáška je implementován v C++ a využívá nástroje volně dostupného toolboxu POPOT (Population based Optimization Toolbox). V odstavci 5.4. pak vysvětluje spouštění programu z příkazového řádku se specifikací parametrů (např. počtu a tlouštěk vrstev).

Stěžejní částí disertace jsou experimenty a vyhodnocení získaných výsledků, popsáné v 6. kapitole. Ty částečně vycházejí i z práce autora při výzkumných pobytech na zahraničních pracovištích a dokládají tím i význam zaměření práce. V experimentech jsou použity jednovrstvé a vícevrstvé struktury materiálů a je zohledněno i působení šumu. Vedle tabulkových a grafických výstupů měření a jejich diskuse se autor vyjadřuje i k časovým nárokům výpočtů implementovaným programem, jsou zanedbatelné v řádu sekund.

Kapitola 7 je věnována nejistotám měření. Jde o obecný problém, zde navíc ovlivněný i stochastickou povahou PSO. Výsledky autor pro materiály s různým počtem vrstev opět shrnuje v tabulkách a dokumentuje výstižnými grafy a jejich kritickým zhodnocením.

Po formální, jazykové i grafické stránce je práce na výborné úrovni. Jen výjimečně lze najít diskutabilní obrat.

Str. 14-15: „permittivity of a material indicates how much increases the capacity“ – jde o nepřímou otázku, to znamená, že by spojení mělo mít slovosled oznamovací věty: „...how much the capacity increases“

Str. 25: „prefect“ – perfect (přehozené znaky)

Formální připomínky (a doplnění):

Typografie: názvy funkcí se mají psát normálním stylem a ne kurzívou, jako je tomu u funkcí tangens na str. 15, 16 a 18, sinus na str. 18, cosinus na str. 26, exponenciální funkce na str. 69. Stejně tak se kurzívou nepíše fyzikální jednotky (např. rad/s, str. 16).

Ve schématu genetického algoritmu na str. 21 (i slovním popisu) chybí operace, která po aplikaci operací křížení a mutace v rodičovské populaci vygenerovanými potomky nahradí (podle zvolené strategie) vybrané chromozomy, protože zvolená počáteční velikost populace (počet jedinců) se v průběhu výpočtu nemění.

Seznam reprezentantů evolučních algoritmů na str. 21-22 je obsáhlý, ale ne uzavřený, protože se stále objevují nové verze, které autoři zřejmě i ze snahy získat pozornost, jako se to podařilo Marcu Dorigovi s mravenčím algoritmem (ACO – Ant Colony Optimization) a dalším s „částicovými/hejnovými/rojovými“ algoritmy (PSO - Particle Swarm Optimization), vysvětlují inspiraci v chování živočichů, např. Firefly Algorithm, Grasshopper Algorithm, Bison Algorithm.

Str. 26: „The benchmarks ... test robustness and speed of convergence ... whether the technique is able to converge and find the global optimum“. Tento výklad pro benchmarky obecně neplatí, u funkcí, které se pro testování evolučních algoritmu využívají (např. Rastriginova a Schwefelova), lze snadno ověřit nalezení globálního optima, protože známe graf funkce, ale v případě úloh kombinatorické optimalizace (rozhovování výrobních procesů, obchodní cestující, problém pokrytí a desítky dalších) globální optimum pro „velké“ instance neznáme, protože jej v reálném čase nelze zjistit. Existuje však databáze benchmarků i pro tyto úlohy - OR-Library (OR=Operations Research) na Imperial College v Londýně - a výzkumníci se při svých výpočtech mohou poměřovat s dosud nejlepšími známými řešeními (lze je chápat jako aproximace globálního optima) a prokázat, že jimi navržený algoritmus, případně z literatury známý algoritmus se specifickou implementací jeho parametrů (např. křížení a mutace u genetického algoritmu), je „umí“ najít, případně i překonat (pokud v knihovně benchmarků zaznamenané řešení nebylo optimální).

Dotazy na doktoranda:

1. V popisu experimentů s algoritmem PSO zmiňujete jen nastavení počtu částic (resp. počtu jedinců v hejnu/roji) na 60 (str. 44). Jak ale byly nastaveny další parametry? To znamená, jak se určovala rychlost pohybu částic a směr pomocí učících faktorů, počet iterací, ...?
2. Při zohlednění šumu předpokládáte, že má normální rozdělení. Odpovídá tento předpoklad reálným podmínkám?
3. Výsledky výpočtů permitivity jsou hodnoty v oboru komplexních čísel. Jak se určí diference dvou komplexních čísel? Jako euklidovská vzdálenost bodů v komplexní rovině?

Závěr:

Disertační práce Ing. Pavla Tomáška prokázala přehled autora v oblasti měření komplexní permitivity neznámých, vícevrstvých a nehomogenních materiálů, jeho schopnost navrhnout originální postupy a implementovat je ve vyspělém programovém prostředí, které uživatelům umožní získat kvalitní výsledky v nejvýše několikasekundovém čase výpočtu. Jeho tvůrčí dílo

má ve spolupráci se zahraničními pracovišti mezinárodní rozměr, autor své výsledky publikoval ve 22 člancích v časopisech, konferenčních sbornících a v kapitolách knih, zařazených do prestižních vědeckých databází Web of Science a SCOPUS. Práce splňuje nároky, které jsou na disertace kladeny, a na dosavadních výsledcích se dá stavět v dalším výzkumu ve směrech, které disertant v odstavci 8.3 sám naznačuje. Práce má velký význam pro technickou praxi a důležité jsou i aplikace ve zdravotnictví.

Disertační práci Ing. Pavla Tomáška proto

doporučuji k obhajobě

před komisí doktorského studijního oboru Inženýrská informatika

V Brně dne 13. července 2020



Prof. RNDr. Ing. Miloš Šeda, Ph.D.
Ústav automatizace a informatiky
Fakulta strojního inženýrství VUT v Brně