

Posudek disertační práce

Autor: **Ing. Michal Mračko**

Název: **Finite element method based computational time reversal in elastodynamics**

Aktuálnost tématu:

Předložená disertační práce je věnována řešení problému identifikace zdroje šíření elastických vln v homogenním omezeném prostředí s přítomností lokalizovaných nehomogenit, jimiž mohou být například trhliny nebo jiné ohraničené překážky. Je úzce zaměřena na metodu tzv. časové reverzace, jež je jednou z používaných metod pro řešení inverzních úloh. Téma identifikace akustických zdrojů nebo nehomogenit prostředí má velký význam v mnoha vědních oborech a oblastech inženýrství, v neposlední řadě má přímé použití ve vojenství, což v kontextu současné situace podtrhuje aktuálnost zvoleného tématu. Přestože mu byla věnována celosvětově značná pozornost, jedná se o matematicky obtížný dosud ne zcela uspokojivě vyřešený problém.

Splnění cílů:

Cílem práce bylo vyvinout a implementovat numerickou metodu časové reverzace a dále ji testovat na nejrůznějších úlohách. Tyto cíle byly naplněny, provedené numerické studie ukazují, že metoda časové reverzace dává uspokojivé výsledky, jestliže jsou splněny některé poměrně dosti omezující předpoklady použití a jsou-li vhodně nastaveny některé parametry metody související s časoprostorovou diskretizací vlnové rovnice.

Metody a postupy řešení:

Práce je rozčleněna do 6 kapitol, přičemž vlastní výsledky zahrnující popis samotného řešiče, tedy implementace metody časové reverzace, a numerických výsledků jsou uvedeny v kapitole 4 čítající 60 stran. Kapitola 2 tvoří teoretický úvod a kromě formulace řešené úlohy zahrnuje některé dílčí matematické aspekty, které je nutné respektovat, či svým způsobem technické problémy, které je nutné řešit v kontextu numerické implementace metody.

Ačkoliv práce postrádá detailnější popis některých matematických formulací a popis algoritmu, použité postupy lze považovat za relevantní. Pro integraci vlnové rovnice elastodynamiky je použita explicitní dvoukroková metoda prediktor-korektor s kontrolou délky časového kroku. Pro její zefektivnění je použito diagonalizované matice hmotnosti umožňující efektivní odhad vlastních čísel, tím tedy stanovení délky kroku explicitní integrace. Numerické řešení s prostorovou diskretizací metodou konečných prvků je porovnáno s řešením získaným pro diskretizaci pomocí konečných objemů, přičemž první uvedený způsob se jeví jako přesnější při porovnání s analytickým řešením.

Výsledky disertace - konkrétní přínosy disertanta:

Konkrétním přínosem disertanta je návrh a implementace numerických schémat pro řešení přímé a zpětné úlohy šíření vln. Dále vylepšil způsob zadání okrajových podmínek pro řešení zpětné úlohy a navrhl několik numerických studií a příkladů, jejichž řešení ukazuje některé pozoruhodné vlastnosti dané metody z hlediska úspěšnosti rekonstrukce signálu. Po stránce teoretického přínosu je však práce spíš průměrná a málo invenční.

Význam pro praxi a pro rozvoj vědního oboru:

Práce přináší nové výsledky použitelné v praxi, ačkoliv samotný programový kód zřejmě není obecně dostupný. Její závěry jsou cenné pro ty, kteří budou chtít danou metodu sami implementovat. V tomto ohledu lze vytknout absenci podrobnějšího popisu algoritmů a rozvedení dalších detailů. Samotné postupy testování metody jsou inspirativní pro pokračovatele zabývající se příbuznou problematikou. Přímé použití metody časové reverzace přispěje k výzkumu v oblasti diagnostických metod (materiálový výzkum, technologie, geologie, medicína a další).

Formální úprava disertační práce a její jazyková úroveň:

Disertační práce čítající 90 stran je psána v Angličtině. Grafická úprava je velmi zdařilá, i po jazykové stránce práce vyhovuje (až na místy nevhodné používání předložek ``in" a ``at"). Obsahuje seznam tabulek, obrázků i stručný seznam zkratk a seznam některých matematických symbolů.

Vyjádření k dodržení citační etiky:

Relevantní publikace vztahující se k obsahu disertace jsou náležitě citovány. Seznam použité literatury zahrnuje 92 položek publikací cizích autorů a dále 20 položek článků a konferenčních příspěvků, na nichž se disertant podílel, z čehož 3 práce byly publikovány v recenzovaných časopisech.

Připomínky:

1) Chybí porovnání s alternativním přístupem identifikace - ``FWI-adjoint" (full waveform inversion), s adjungovanou metodou (optimalizační přístup). Část ``Discussion" je pojata spíše jako závěr práce. Jistě by bylo možné diskusi rozvést ve smyslu hlubší analýzy předností a naopak nedostatků metody, k čemuž by logicky bylo vhodné zmínit jiné přístupy ve stejném kontextu.

2) I když je práce zaměřena na elastodynamiku, poměrně překvapivě není v práci zmínka o problému tlumení, či disipace, ačkoliv tyto jevy jsou přítomny v mnoha praktických aplikacích.

3) Popis zadání některých příkladů a studií není zcela srozumitelný. Některé slovní formulace by bylo vhodnější zapsat jasně matematickými výrazy. Ačkoliv snahou autora mohlo být přiblížit text čtenáři četnými komentáři a popisným způsobem vysvětlit použití metody a její vlastnosti, větší rigoróznost popisu veskrze matematického problému a přesnost vyjadřování by byla ku prospěchu.

4) Jelikož hlavním výsledkem je implementace metody časové reverzace, je poněkud překvapivé, že v práci není uveden úplný algoritmus zapsaný matematicky (ten na straně 53 je hodně abstraktní), ani nejsou detailněji popsány aspoň zásadní části kódu, či jinak podané informace o konkrétní implementaci.

5) Formulace kritérií ``optimalizace" v podobě účelových funkcí (cost function) není jasně zapsána (jak se vyčíslí v kontextu numerického schématu?), označení v části 4.3.2 není jasně zavedeno. Je zmíněn ``vektor" L , jenž se násobí skalárně s ``časovým oknem" W_2 , viz vztah (4.9). Není jasné, jaký význam používání symbolu $*$ v kapitole 4.3.1 (není nadbytečné?), viz např. (4.5). Dalším

příkladem nejasného označení je použití symbolů A a B v části 4.3.3, kde není jasně uvedený vztah se ``spojitou formulací'' v oblasti Omega. Není jasně (matematicky správně) zavedeno rozdělení oblasti Omega na její podčásti.

6) Nezabýval se autor možností optimalizace parametrů metody časové reverzace s ohledem na přesnost ve vztahu výpočetní náročnosti? Bylo by vhodné mít představu například o vlivu tvaru detekovaného objektu, či jiné nehomogenity na přesnost identifikace.

Závěrečné zhodnocení disertace:

Práce je věnována jednomu z významných témat v oblasti modelování elastických vln. Jejím hlavním cílem byla implementace metody časové reverzace pro identifikaci zdroje vlnění. Tento cíl byl splněn a příslušná implementace byla verifikována řešením mnoha testovacích úloh. Přes všechny výtky shora uvedené, lze konstatovat, že Ing. Michal Mračko předložil disertační práci, která splňuje nároky kladené na tento typ kvalifikačních prací. Prokázal své zapojení do odborné komunity, i schopnost nabyté vědomosti dále rozvíjet a aktivně je samostatně používat k získání nových výsledků. Tuto disertační práci doporučuji k obhajobě a na základě její úspěšnosti Ing. Michalu Mračkovi udělit titul ``doktor''.

V Plzni dne 10.11.2023

Prof. Dr. Ing. Eduard Rohan, DSc.
Fakulta aplikovaných věd,
Západočeská univerzita