

Oponentní posudek na dizertační práci

Ing. Michala Merty

Parallel Boundary Element Methods in Space and Time

1. Charakteristika práce a splnění cílů

Předložená práce se zaměřuje na řešení problémů spojených s paralelní implementací metod hraničních prvků (Boundary Element Methods – BEM) pro řešení inženýrských úloh popsanych parciálními diferenciálními rovnicemi, zejména na úlohy lineární pružnosti a na řešení časově závislé vlnové rovnice.

Metoda hraničních prvků je sice v současnosti používána méně často než populárnější (a obecnější) metoda konečných prvků, zejména pro využívání velmi náročného matematického aparátu, má však řadu výhod, které podle názoru oponenta nabývají na významnosti s rychlým rozvojem paralelní výpočetní techniky. Platí to zejména pro poměrně nedávno rozpracovanou prostoročasovou Galerkinovu metodu hraničních integrálních rovnic, která otevírá možnost paralelizace nejen v prostoru, ale i v čase, a má tak unikátní potenciál pro využití možnosti masivní paralelizace poskytované současnými a budoucími superpočítači. Pro časově paralelní implementaci je důležité, že BEM používá prostorovou diskretizaci jen na hranici oblastí, takže pracuje s mnohem menším počtem prostorových neznámých. Téma je tak zajímavé jak z hlediska matematického, neboť metoda je založena na hluboké matematické teorii, jejíž praktické využití je zdrojem zajímavých matematických problémů, tak z hlediska praktického, neboť otevírá nové možnosti řešení rozsáhlých inženýrských úloh.

Práce má formu souboru publikací s komentářem, který je doplněn úvodem do hraničních integrálních rovnic, metod jejich řešení a paralelizace.

Úvodní část je členěna do tří částí, z nichž první je věnována matematickému aparátu a hraniční formulaci prostorové Laplaceovy úlohy a vlnové rovnice. Druhá část je věnována diskretizaci hraničních integrálních rovnic pomocí hraničních elementů. Cennou částí úvodu je popis „in house“ software BEM4I pro implementaci algoritmů numerického řešení hraničních integrálních rovnic, na němž se autor zásadním způsobem podílel a které bylo využito pro provedení numerických experimentů.

Hlavní výsledky práce, efektivní implementace vybraných kroků BEMu, které jsou podstatné pro jejich efektivitu, jsou součástí tří publikací, které jsou komentovány ve třetí kapitole a reprodukovány ve čtvrté kapitole. Jelikož se jedná o společné publikace více autorů, autor detailně specifikuje svůj podíl na těchto publikacích a dokládá svoji charakteristiku vyjádřením spoluautorů.

Podle názoru oponenta byly cíle práce stoprocentně splněny, výsledky byly publikovány v kvalitních časopisech s vysokým IF a ověřeny působivými numerickými experimenty.

2. Hlavní výsledky

Práce obsahuje výsledky, které mají značný význam pro efektivní paralelní implementaci TFETI. Patří mezi ně:

- návrh a implementace částí „in house software“ BEM4I pro paralelní řešení inženýrských úloh metodou hraničních prvků,
- vektorizace pomocí SIMD (Simple Instructions Multiple Data) instrukčních sad v rámci jednoho jádra,
- nový přístup k rozložení matic vznikajících při použití metody ACA (Adaptive Cross Approximation) nebo FMM (Fast Multipole Method) na N výpočetních uzlech – numerické experimenty ukázaly, že čas výpočtu klesá nepřímo úměrně N pro stovky výpočetních uzlů;
- paralelní prostoročasová Galerkinova metoda hraničních prvků pro řešení prostorové časově závislé vlnové rovnice s využitím hladkých časových bázových funkcí,
- implementace efektivního předpodmiňovače pro řešení soustav vznikajících při použití výše uvedené verze Galerkinovy metody,
- působivé numerické experimenty na superpočítači Anselm, zahrnující šíření vln v okolí reálných objektů.

3. Význam pro praxi a rozvoj vědního oboru

Práce je významným přínosem pro další rozvoj oboru, neboť přináší nový pohled na masívně paralelní implementaci metody hraničních prvků, nabízí příjemné prostředí pro další výzkum a otevírá nové možnosti řešení praktických úloh.

4. Formální a jazyková úroveň

Práce je napsaná pečlivě, velmi dobrou a jasně srozumitelnou angličtinou. Autor se velmi dobře vyrovnal s náročností tématu. Je jasně strukturovaná, obsahuje extrémně náročné numerické experimenty a významné publikace.

5. Publikační činnost

Autor uvádí, kromě tří článků v časopisech, další článek v časopise s IF (celkem dva z Q1, dva z Q2), jeden článek v redakci Mathematics and Computers in Simulation, 7 článků ve sbornících z mezinárodních konferencí, a 19 přednášek na konferencích a workshopech, včetně mezinárodních konferencí PARENG (Dubrovnik), EASC (Edinburk), a MAFELAP (Londýn), kde měl přednášku v minisymposiu prof. Langerera. Výsledky práce jsou součástí software BEM4I, který vytvořil společně s J. Zapletalem.

6. Závěrečné hodnocení

Předložená práce je významným přínosem pro rozvoj a implementaci masivně paralelních algoritmů pro numerické řešení rozsáhlých inženýrských úloh metodou hraničních prvků. Na Google Scholar jsem našel 22 citací prací jichž je Ing. Merta spoluautorem, včetně citací významných autorů jako Badia v článcích uveřejněných ve špičkových časopisech jako SIAM J. Sci. Comp. nebo SIAM J. Parallel Comp. Za své vynikající výsledky, které jsou součástí zde předložené práce, získal M. Merta prestižní Cenu J. Fouriera za rok 2014. Oponent proto předloženou práci

DOPORUČUJE

bez jakýchkoliv pochybností k obhajobě.



Prof. RNDr. Zdeněk Dostál, DSc.

V Ostravě, 12.8.2016