

Posudek práce

předložené na Matematicko-fyzikální fakultě
Univerzity Karlovy

- posudek vedoucího posudek oponenta
 bakalářské práce diplomové práce

Autor: Bc. Jan Premus

Název práce: Vývoj efektivního kódu pro dynamické simulace zemětřesení

Studijní program a obor: Geofyzika

Rok odevzdání: 2019

Jméno a tituly oponenta: prof. RNDr. Jiří Zahradník, DrSc.

Pracoviště: katedra geofyziky MFF UK

Kontaktní e-mail: jz@karel.troja.mff.cuni.cz

Odborná úroveň práce:

- vynikající velmi dobrá průměrná podprůměrná nevyhovující

Věcné chyby:

- téměř žádné vzhledem k rozsahu přiměřený počet méně podstatné četné závažné

Výsledky:

- originální původní i převzaté netriviální kompilace citované z literatury opsané

Rozsah práce:

- veliký standardní dostatečný nedostatečný
(standardní počtem stran, ale věcně veliký)

Grafická, jazyková a formální úroveň:

- vynikající velmi dobrá průměrná podprůměrná nevyhovující

Tiskové chyby:

- téměř žádné vzhledem k rozsahu a tématu přiměřený počet četné

Celková úroveň práce:

- vynikající velmi dobrá průměrná podprůměrná nevyhovující

Slovní vyjádření, komentáře a připomínky oponenta:

Předložená práce vznikla jako součást nového seismologického zaměření katedry geofyziky, vedeného doc. Gallovičem, v němž se od dosavadních kinematických modelů zlomového procesu zemětřesení přechází k modelům dynamickým. Zlom je v dynamickém modelu popsán napěťovou okrajovou podmínkou, popisující tření, závislé na skluzu a dalších parametrech. Předmětem výpočtu je časoprostorový vývoj trhliny na zlomu (skluz) řešením elastodynamické rovnice, jde tedy o nelineární úlohu. V seismologické literatuře existuje mnoho matematických popisů tření, z nichž dva jsou nejvíce oblíbené („slip weakening“ a „rate and state“). I nejjednodušší rovinný zlom vede na prostorově 3D (trojrozměrný) problém, který je nutno řešit numericky. Rychlost výpočtu má zásadní význam, protože následným cílem výzkumu je mnohonásobně opakované řešení v tzv. obrácených úlohách, kde se trhlina studuje pomocí měření vyzářených vln. Autor tedy zvolil metodu konečných diferencí, protože je počítačově méně náročná než obecnější metoda konečných prvků. Dalším aspektem je přesnost. Autor začal s dnes již „klasickou“ metodou FD3D a ukázal, že vyžaduje zpřesnění numerické aproximace zlomu. Z literatury převzal k tomuto účelu metodu „traction at split node“, TSN, celou ji znova odvodil, popsal a naprogramoval. Výpočty probíhají v oblasti omezené shora volným povrchem a z ostatních stran mají umělé okrajové podmínky, které mají zamezit zpětným odrazům do výpočetní oblasti. Obě jsou v literatuře intenzivně mnoho let diskutovány. Autor zvolil patrně nejlepší metodu „perfectly matched layers“, PML, opět ji odvodil, popsal a naprogramoval. Pro tření stejně detailním způsobem použil „slip weakening“ a „fast velocity weakening“ (což je varianta „rate and state“). Tak autor vytvořil a odladil nový výpočetní program FD3D_TSN.

Aby diplomant dokázal kvalitu nového produktu, využil mezinárodního testovacího databáze USGS-SCEC, kde jsou k dispozici příklady úloh a srovnání numerických řešení jednotlivých uživatelů. V současné době jsou již řešení natolik podobná, že v situaci, kdy úloha nemá analytické řešení, jde o optimální možnost ověření programu. Testoval oba zmíněné modely tření a srovnával s jednou z metod konečných prvků. Výsledkem je série výpočtů, velmi přesvědčivě dokazující dobrou přesnost FD3D_TSN z hlediska prostorového rozložení času příchodu trhliny a rychlosti skluzu při diskretizaci pečlivě zvolené s ohledem na kohezní zónu (oblast rychlé změny na čele trhliny). Celá autorova diskuse kohezní zóny je užitečná a zajímavá. Testování proběhlo na modelu svislého zlomu typu „strike-slip“, dosahujícího k volnému povrchu a zahrnovalo tedy interakci trhliny s tímto povrchem. Tato interakce je dosud málo prozkoumaná.

Program FD3D_TSN má tedy otevřenou cestu k aplikacím v obrácené úloze (studium dynamiky zlomu ze seismických měření), přesně podle dlouhodobého záměru vedoucího práce. Třebaže modelové podmínky (vertikální zlom a mechanismus „strike-slip“) jsou specifické, mnoho silných zemětřesení světa je splňuje. Mnoho zemětřesení je také jiných (jiný mechanismus, případně segmentovaný zlom) a autor správně konstatuje, že budou vyžadovat zásadní, nikoli jen formální, metodické modifikace, např. nerovnoměrné sítě. V obou případech by to bylo pro autora nosné téma pro doktorandské studium.

Za zmínku stojí také velmi vyspělý (profesionální) způsob sepsání. Nejprve je v každé kapitole uvedena motivace, pak obsah následujících odstavců, nakonec podrobnosti. Formulace jsou zcela přesné, současně poměrně stručné. Složitě indexování v komplikovaných rovnicích konečných diferencí je vyřešeno nápaditým způsobem. Počet překlepů je minimální. Jejich uvedení zde by z hlediska vysoké úrovně práce bylo doslova nedůstojné (autorovi jsem příslušná místa ukázal). Pokud mohu posoudit, je práce napsána dobrou angličtinou.

Několik drobnějších věcí mi nebylo jasných:

- Str. 3: „...small fixes in the free surface implementation were done“ jaké? A dále obecně postrádám vymezení, které části vzorců jsou originální autorovou modifikací.
- Str. 18: Obsahuje naprogramovaná TSN metoda také umělou viskózní sílu (2.35), jsou naprogramovány jak diference 4. řádu nebo i 2. řádu?
- Str. 34: Metoda PML, jak konkrétně autor doporučuje volit d_0 v (3.23)?
- Str. 35: „artificial damping or application of a filter on the simulated time series“ – autor používá? Také nejasnost na str. 47. O jaké umělé tlumení jde? Přešel jsem ho v práci?

- Str. 42: „Normalized RMS“.... Definice jak normováno?
- Str. 57: Rozdíly v implementaci nukleace? Je to zásadní věc? Kde popsáno (např. citace)?

Dále mě zajímá toto:

1. Setkal se autor ještě s nějakým jiným nepříjemným numerickým chováním programu, o jakém není nutné psát v diplomové práci (občasné nestability) a co si o nich myslí?
2. Obsahují testovací příklady USGS-SCEC také zlom ve vrstevnatém prostředí, nutném při praktickém použití? Zkoušel autor nějaké výpočty toho typu a vidí nějaké problémy?
3. Zná autor v programu místa, která by umožňovala použití nějaké fyzikální nebo numerické aproximace? Mohla by po náležitém testování výpočty urychlit nebo omezit jejich paměťové nároky?
4. Str. 37: Fig. 4.2. škoda že není použit bod P2, který by byl na stejném místě jako bod P8 ve Fig. 4.1. a tak by bylo možné vidět rozdíl trhliny při použití obou modelů tření ve stejném bodě.
5. Str. 49 a 51: Porovnání výpočtu pro dvě diskretizace. Krok 50 m dává celkově lepší výsledky než krok 100 m, nicméně rozdíl v maximálních amplitudách mezi autorovým výpočtem a srovnávacím výpočtem přetrvává v některých bodech. Někaké vysvětlení? Nutnost zlepšit nebo ne?

Závěr: Autor precizním způsobem vykonal mnoho práce v oblasti fyzikálního a numerického modelování vzniku a šíření trhliny v seismických podmínkách. Práce byla velmi náročná z hlediska složitosti studovaného procesu i jeho numerické simulace. Produktem je nový, skvěle testovaný výpočetní program, který bude bezpochyby široce používán na MFF i v zahraničí. Protože výzkum zlomových procesů je v současné seismologii zcela klíčový, související s výzkumem predikce účinků zemětřesení, má provedená práce značný mezinárodní dosah. Nejen že práci hodnotím velmi vysoce, ale navrhuji, aby byla školitelem podána do soutěže o nejlepší diplomovou práci.

Případné otázky při obhajobě a náměty do diskuse:

Prosím o vyjádření k bodům 1 - 5, uvedeným výše.

Práci

doporučuji

nedoporučuji

uznat jako diplomovou/bakalářskou.

Navrhuji hodnocení stupněm:

výborně velmi dobře dobře neprospěl/a

Místo, datum a podpis oponenta:

Praha, 29. 8. 2019 Jiří Zahradník