

Charles University in Prague
Faculty of Mathematics and Physics

MASTER THESIS



Petr Grinac

Seismic source modelling

Institute of Theoretical Physics

Supervisor: Doc. RNDr. Ctirad Matyska, DrSc.,
Department of Geophysics

Studying program: Mathematical and computer modelling in
physics

2007

I would like to thank all people who supported me during my work on the thesis. I am especially indebted to my wise supervisor Ctirad Matyska, who had been very supportive. I'm grateful for geophysical consultations to Jan Burjánek and František Gallovič. At last I would like to thank my family and my beloved girlfriend Hanka for their patience and providing a tranquil surroundings during my work.

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci napsal samostatně a výhradně s použitím citovaných pramenů. Souhlasím se zapůjčováním práce.

V Praze dne

Petr Grinac

Contents

1	Introduction	6
2	Formulation of the problem	8
2.1	Governing equations	8
3	Weak formulation of the problem	12
3.1	Motivation for definition of weak formulation	12
3.2	Definition of weak solution	15
3.3	Sketch of proof of existence and uniqueness	16
4	Numerical approximation	17
4.1	Finite elements - P^1 approximation	17
4.2	Discretization of the time domain	18
4.2.1	Modal decomposition	18
4.2.2	Central difference, Crank-Nicolson like scheme	20
4.2.3	Bossak-Newmark scheme	23
4.3	Energy balance	26
4.3.1	Energy balance in the approximate solution	27
4.4	Implementation	28
4.4.1	Building matrices	29
4.4.2	Representation of the source function \mathbf{u}_Γ in discrete form	31
5	Results	33
5.1	The static circular-crack model	33
5.2	Cosine static slip	36
5.3	Time dependent cosine slip	37
5.4	Effects of mesh coarsening on spectra	41
5.5	Piecewise planar fault surface	45
6	Summary	50

Název práce: Modelování seismického zdroje

Autor: Petr Grinac

Katedra (ústav): Ústav teoretické fyziky

Vedoucí diplomové práce: Doc. RNDr. Ctirad Matyska, DrSc.

e-mail vedoucího: cm@karel.mff.cuni.cz

Abstrakt: Práce se zabývá kinematickým popisem seismického zdroje v 3-D elastickém isotropním materiálu. K popisu používáme přiblížení malých deformací. Důraz je kladen na numerické metody, které vedou k získání přibližného řešení elastodynamických rovnic, tj. získat pole posunutí a napětí generovaná zdrojem. 3-D konečné prvky jsou základem prostorové diskretizace. Pozornost je soustředena na efekty, které přináší změny geometrie zdroje. Pro statický případ je řešení porovnáno s analytickým řešením. Pro časově závislé případy je řešení srovnáno s výsledky metody diskrétních vlnových čísel. Je studována závislost spekter oscilogramů na jemnosti prostorové diskretizace. Prezentovány jsou výsledky popisující závislost vlnového pole na geometrii pro po částech rovinný zlom.

Klíčová slova: kinematický seismický zdroj, konečné prvky, elastodynamika

Title: Seismic source modelling

Author: Petr Grinac

Department: Institute of Theoretical Physics

Supervisor: Doc. RNDr. Ctirad Matyska, DrSc.

Supervisor's e-mail address: cm@karel.mff.cuni.cz

Abstract: The work deals with a kinematic description of a seismic source in 3-D isotropic elastic medium. We use the concept of small deformations. Emphasis is on numerical approaches to obtain a solution of elastodynamic equations i.e. to obtain displacement and stress changes generated by the source. Spatial domain is discretized by the finite element method. Attention is focused on the effects due to changes of the source geometry. In the static case method is benchmarked against an analytic solution. Time dependent case is compared to results from the discrete wavenumber method. Spectra of seismograms are studied to investigate dependence of artificial oscillations on mesh coarseness. Dependence of results on source geometry is presented for piecewise planar fault surface.

Keywords: kinematic seismic source, finite elements, elastodynamics, structural dynamics