



Receiver function modellering

Thomas R. N.
Jansson

Introduktion

Receiver
functions

Data

Inverst problem

Algoritmer

Uniform search

Metropolis

Neighborhood

Levenberg

Marquardt

Resultater

Syntetiske data

Station Nord

Diskussion

Konklusion

Litteratur

Eventuelt

Receiver function modellering

Moddelering af laggrænser i undergrunden ved brug af fire forskellige algoritmer.

Thomas R. N. Jansson

Niels Bohr Institutet
Københavns Universitet

Vejledere: Klaus Mosegaard, Trine D. Jensen

email: tjansson@tjansson.dk

www.tjansson.dk

15 Januar 2009



Seismiske bølger

Receiver
function
modelling

Thomas R. N.
Jansson

Introduktion

Receiver
functions

Data

Inverst problem

Algoritmer

Uniform search
Metropolis
Neighborhood
Levenberg
Marquardt

Resultater

Syntetiske data
Station Nord

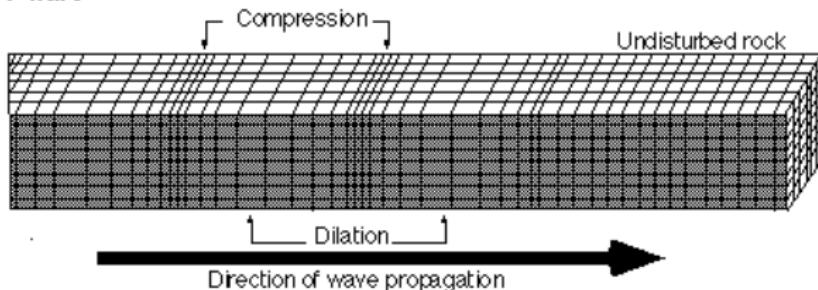
Diskussion

Konklusion

Litteratur

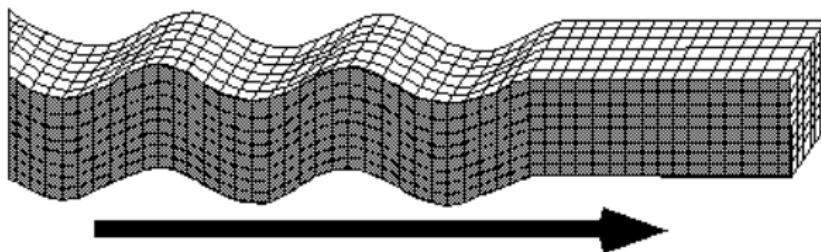
Eventuelt

P wave



(Modified from Bruce A. Bolt, *Earthquakes: A Primer*: W.H. Freeman & Company, 1978.)

S wave



(Modified from Bruce A. Bolt, *Earthquakes: A Primer*: W.H. Freeman & Company, 1978.)



Jordens opbygning

Receiver
function
modellering

Thomas R. N.
Jansson

Introduktion

Receiver
functions

Data

Inverst problem

Algoritmer

Uniform search
Metropolis
Neighborhood
Levenberg
Marquardt

Resultater
Syntetiske data
Station Nord

Diskussion

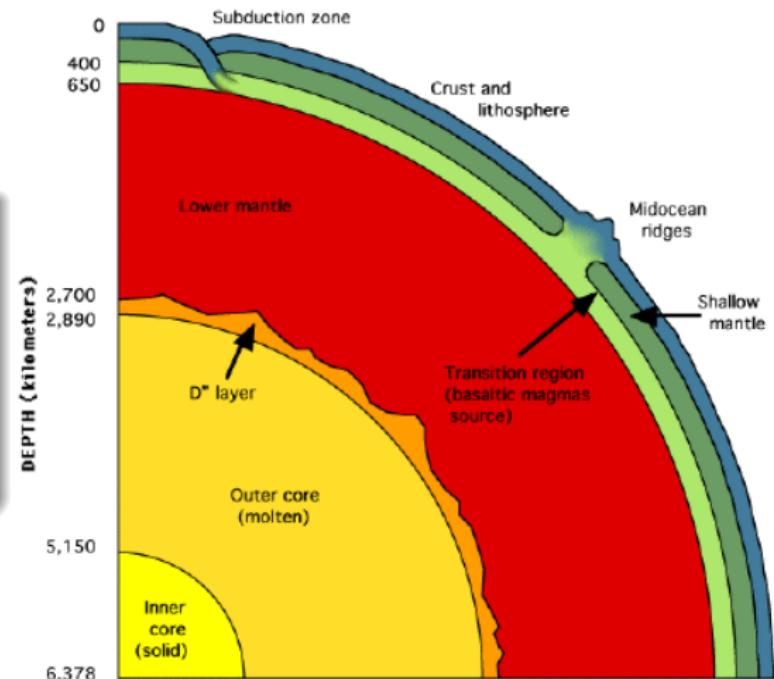
Konklusion

Litteratur

Eventuelt

Telesismiske jordskælv

Et telesismisk
jordskælv har et
epicenter som er
længere end 1000
km væk.





Et typisk seismogram

Receiver
function
modelling

Thomas R. N.
Jansson

Introduktion

Receiver
functions

Data

Inverst problem

Algoritmer

Uniform search
Metropolis
Neighborhood
Levenberg
Marquardt

Resultater

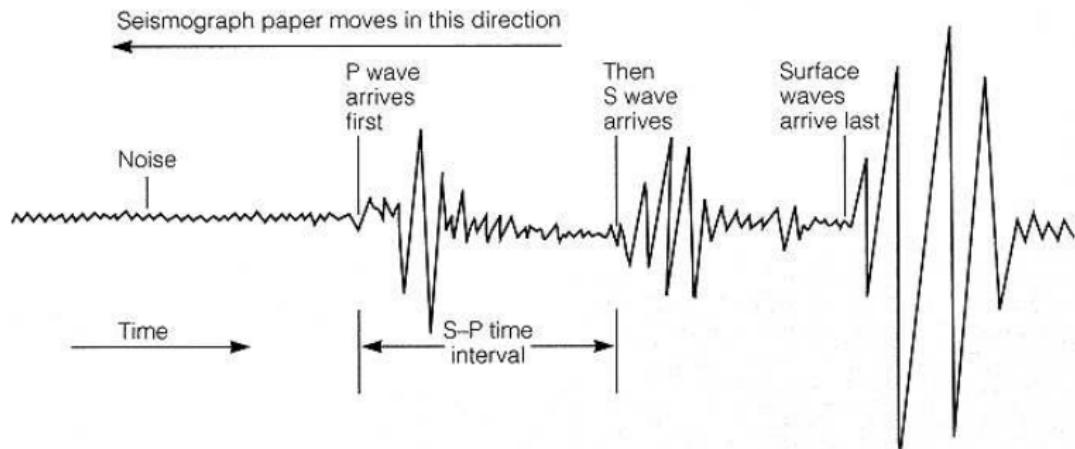
Syntetiske data
Station Nord

Diskussion

Konklusion

Litteratur

Eventuelt



3 komponent data

Rystelserne i jorden måles i 3 retninger: vertikal (Z), Øst-Vest (E), Nord-Syd (N).



En bølge ved et grænselag

Receiver
function
modelling

Thomas R. N.
Jansson

Introduktion

Receiver
functions

Data

Inverst problem

Algoritmer

Uniform search
Metropolis
Neighborhood
Levenberg
Marquardt

Resultater

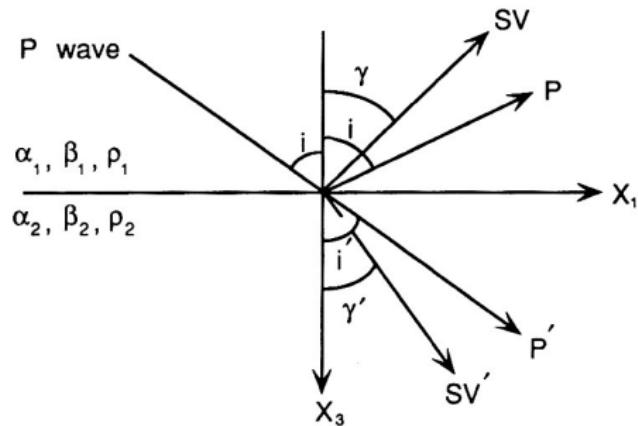
Syntetiske data
Station Nord

Diskussion

Konklusion

Litteratur

Eventuelt



En P-bølge ved et grænselag

Når en P-bølge rammer lag i jorden med en ændring i densitet eller elasticitet bliver noget af energien i P-bølgens reflekteret og refrakteret i laggrænsen. Læg mærke til at der dannes S-bølger.



Foldning

Receiver
function
modelling

Thomas R. N.
Jansson

Introduktion

Receiver
functions

Data

Inverst problem

Algoritmer

Uniform search
Metropolis
Neighborhood
Levenberg
Marquardt

Resultater

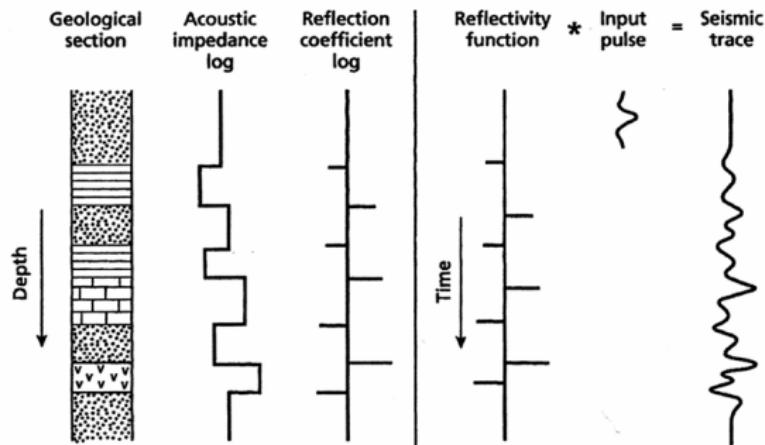
Syntetiske data
Station Nord

Diskussion

Konklusion

Litteratur

Eventuelt



Foldning

Det antages at seismiske data kan beskrives med foldning

$$s(t) = r(t) * w(t) \equiv \int_{-\infty}^{\infty} r(\tau)w(t - \tau)d\tau$$



Hvad er en Receiver function?

Receiver
function
modellering

Thomas R. N.
Jansson

Introduktion

Receiver
functions

Data

Inverst problem

Algoritmer

Uniform search

Metropolis

Neighborhood

Levenberg

Marquardt

Resultater

Syntetiske data

Station Nord

Diskussion

Konklusion

Litteratur

Eventuelt

Den ankommende bølgeform indeholder

- Kilde effekter
- Effekter fra rejsen gennem jorden
- Modtager effekter
- Instrument effekter

Målet er at isolere signalet fra de lokale strukturer.

Principiel affoldning (Deconvolution)

De roterede målte komponenter Fourier transformeres ind i frekvensdomænet, hvor affoldning er simpel division.

$$H(\omega) = \frac{S(\omega)T(\omega)R(\omega)I(\omega)}{S(\omega)T(\omega)Z(\omega)I(\omega)} = \frac{R(\omega)}{Z(\omega)}$$

$H(\omega)$ kaldes den Fourier transformerede receiver function.

Hvordan kommer man fra 3 komponent data til en Receiver function

Receiver
function
modellering

Thomas R. N.
Jansson

Introduktion

Receiver
functions

Data

Inverst problem

Algoritmer

Uniform search
Metropolis
Neighborhood
Levenberg
Marquardt

Resultater

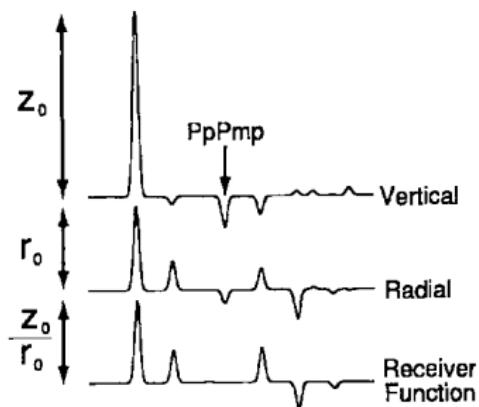
Syntetiske data
Station Nord

Diskussion

Konklusion

Litteratur

Eventuelt



Forklaring

De individuelle toppe i receiver funktionen korresponderer til individuelle ankomster i den radielle komponent. Receiver funktionen kan siges at være den radielle komponent uden P multipler. For telesismiske bølger er den konverterede S-bølge meget kraftigere i den horisontale end i den vertikale.

Hvad er en Receiver function?

Receiver
function
modellering

Thomas R. N.
Jansson

Introduktion

Receiver
functions

Data

Inverst problem

Algoritmer

Uniform search
Metropolis
Neighborhood
Levenberg
Marquardt

Resultater

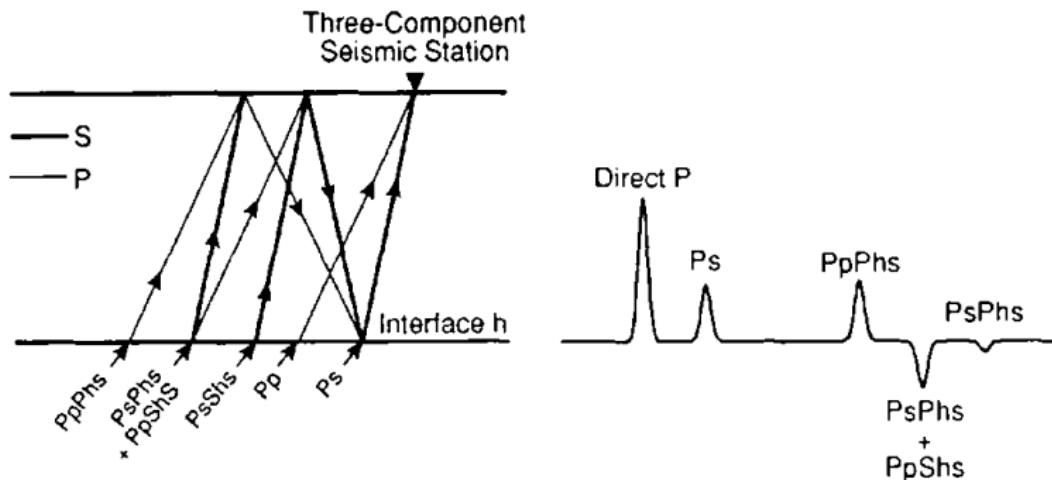
Syntetiske data
Station Nord

Diskussion

Konklusion

Litteratur

Eventuelt



Forklaring

Venstre: Simplificeret tegning af et telesismisk jordskælv der ankommer ved en seismisk station.

Højre: Tilsvarende simplificeret receiver function.

Data - syntetiske og virkelige

Receiver
function
modelling

Thomas R. N.
Jansson

Introduktion

Receiver
functions

Data

Inverst problem

Algoritmer

Uniform search
Metropolis
Neighborhood
Levenberg
Marquardt

Resultater
Syntetiske data
Station Nord

Diskussion

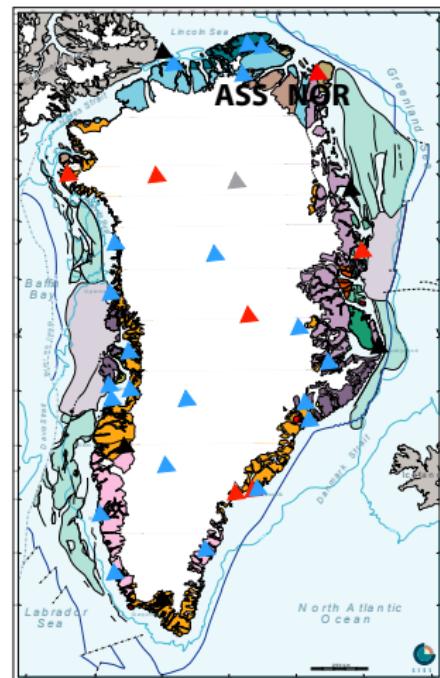
Konklusion

Litteratur

Eventuelt

2 slags data

- Syntetiske data baseret på 1D jordmodellen IASPEI91.
- Data indsamlet på station Nord (NOR), Grønland.





Grønlandske data - stacking

Receiver
function
modelling

Thomas R. N.
Jansson

Introduktion

Receiver
functions

Data

Inverst problem

Algoritmer

Uniform search

Metropolis

Neighborhood

Levenberg

Marquardt

Resultater

Syntetiske data

Station Nord

Diskussion

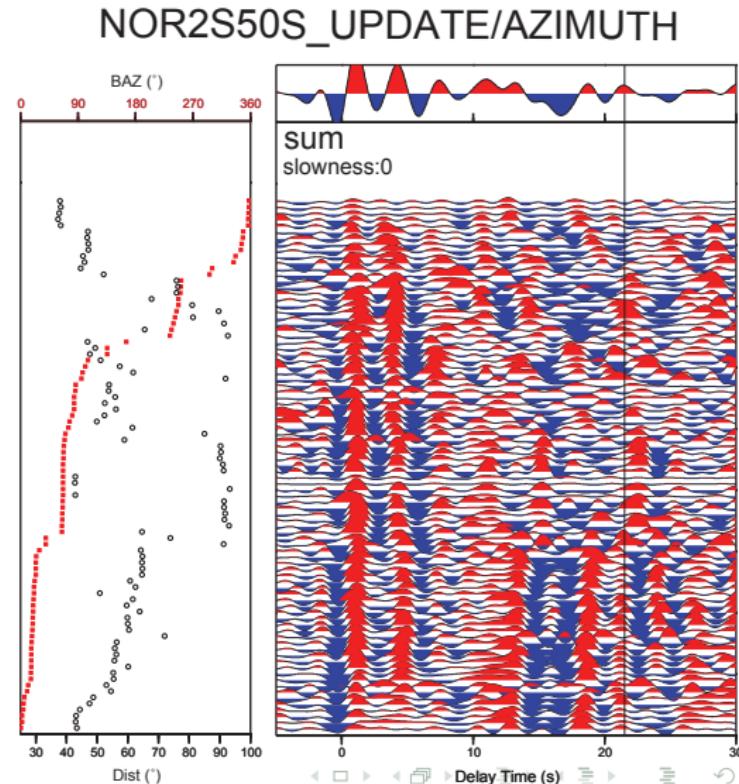
Konklusion

Litteratur

Eventuelt

Stacking

Forbedre
signal-to-noise ratio.
Effekter bliver
forstærket gennem
konstruktiv
interferens og støj
forsvinder ved
destruktiv
interferens.



Forward model

Receiver
function
modelling

Thomas R. N.
Jansson

Introduktion

Receiver
functions

Data

Inverst problem

Algoritmer

Uniform search
Metropolis
Neighborhood
Levenberg
Marquardt

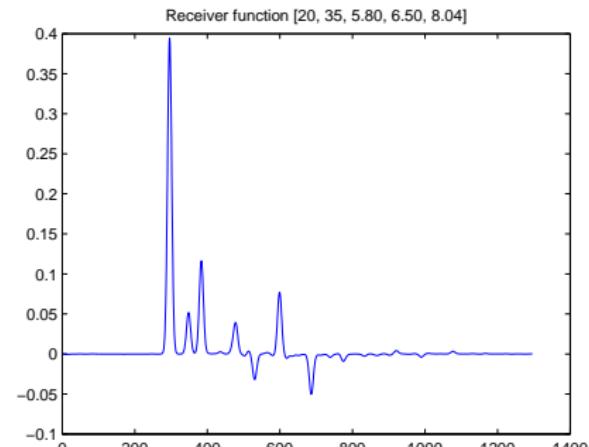
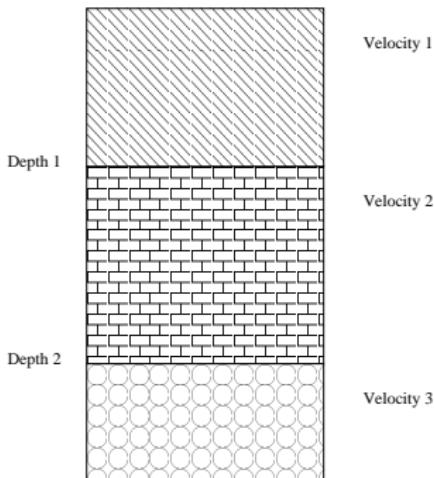
Resultater
Syntetiske data
Station Nord

Diskussion

Konklusion

Litteratur

Eventuelt



Forward problem

Med en kendt hastighedsprofil og en række antagelser om undergrunden med hensyn til densitet, forholdet mellem P og S-hastigheder m.fl. kan man generere syntetiske receiver functions.

$$\mathbf{d}_{cal} = g(\mathbf{m})$$

Det inverse problem

Receiver
function
modelling

Thomas R. N.
Jansson

Introduktion

Receiver
functions

Data

Inverst problem

Algoritmer

Uniform search

Metropolis

Neighborhood

Levenberg

Marquardt

Resultater

Syntetiske data

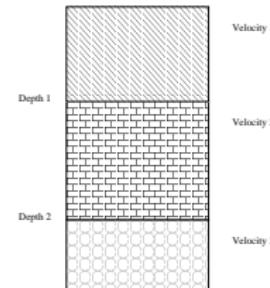
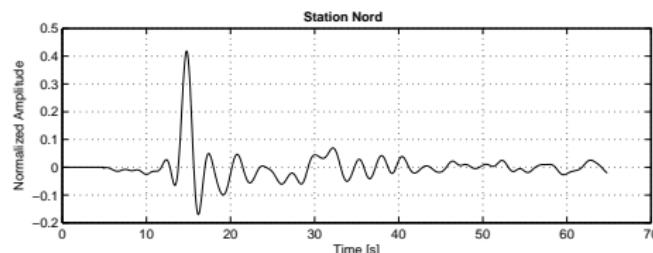
Station Nord

Diskussion

Konklusion

Litteratur

Eventuelt



Inverst problem

Problemstillingen er at man kun observerer receiver functions og skal finde tilbage til de model parametre der passer til data. En "sand" modelvektor findes kun for syntetiske data. For nogle simple problemer kan en inverse løsning opskrives

$$\mathbf{m} = g^{-1}(\mathbf{d}_{cal})$$

Inverst problem - statistisk beskrivelse

Receiver
function
modelling

Thomas R. N.
Jansson

Introduktion

Receiver
functions

Data

Inverst problem

Algoritmer

Uniform search
Metropolis
Neighborhood
Levenberg
Marquardt

Resultater
Syntetiske data
Station Nord

Diskussion

Konklusion

Litteratur

Eventuelt

Posteriori sandsynligheds funktion

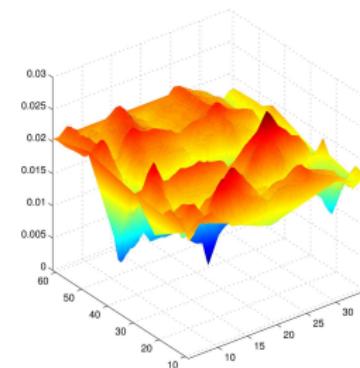
$$\sigma(\mathbf{m}) = k\rho(\mathbf{m})L(\mathbf{m})$$

Likelihood funktionen

$$L(\mathbf{m}) = k_l \exp\left(-\frac{S(\mathbf{m})}{\sigma^2}\right)$$

Misfittet

$$S(\mathbf{m}) = \sum_{i=1}^N (d_{cal}^i(\mathbf{m}) - d_{obs}^i)^2$$



Ikke linær

Overfladen er proportional med posterori og er ikke Gaussisk.

Punktvis evaluering

$\sigma(\mathbf{m}), L(\mathbf{m}), \rho(\mathbf{m})$ kan kun evalueres punktvis.

Algoritmer

Receiver
function
modelling

Thomas R. N.
Jansson

Introduktion

Receiver
functions

Data

Inverst problem

Algoritmer

Uniform search

Metropolis

Neighborhood

Levenberg

Marquardt

Resultater

Syntetiske data

Station Nord

Diskussion

Konklusion

Litteratur

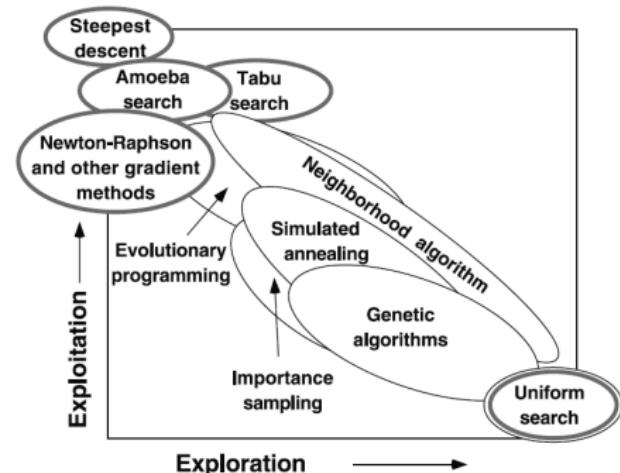
Eventuelt

Medlemmer af Monte Carlo familien

- Uniform search
- Metropolis
- Neighborhood search

Gradient baserede metoder

- Levenberg-Marquardt





Uniform search (grid search, exhaustive search)

Receiver
function
modellering

Thomas R. N.
Jansson

Introduktion

Receiver
functions

Data

Inverst problem

Algoritmer

Uniform search

Metropolis

Neighborhood

Levenberg

Marquardt

Resultater

Syntetiske data

Station Nord

Diskussion

Konklusion

Litteratur

Eventuelt

Afsøgning af et modelrum

Der er flere måder at implementere Uniform search på.

- Generer et gitter og evaluer i hvert gitterpunkt.
- Generer et bestemt antal tilfældige punkter.

Mange dimensioner

Problematisk ved høje dimensioner og data med frekvens på k , da kræves mindst

$$T_{uniform, total} = T_{forward} \cdot (2k)^{N_{dim}}$$

Mest anvendeligt ved små problemer. Kommer nemt til at bruge tiden på at undersøge uinteressante områder af modelrummet.



Metropolis

Receiver
function
modelling

Thomas R. N.
Jansson

Introduktion

Receiver
functions

Data

Inverst problem

Algoritmer

Uniform search

Metropolis

Neighborhood

Levenberg

Marquardt

Resultater

Syntetiske data

Station Nord

Diskussion

Konklusion

Litteratur

Eventuelt

- ① Vælg et tilfældigt startpunkt i modelrummet, \mathbf{m}_{cur} , hvor misfittet er forskelligt fra nul.
- ② Generer et nyt punkt \mathbf{m}_{new} i modelrummet ved at perturbere en dimension i modellen.
- ③ Udregn sandsynligheden for at springet bliver accepteret

$$P_{accept} = \begin{cases} 1 & \text{if } S(\mathbf{m}_{new}) \leq S(\mathbf{m}_{cur}) \\ \exp\left(-\frac{\Delta S}{\sigma^2}\right) & \text{if } S(\mathbf{m}_{new}) > S(\mathbf{m}_{cur}) \end{cases}$$

Brændt ind, acceptrate

- ① Algoritmen siges at være brændt inde når løsninger har stabiliseret sig.
- ② Acceptrate på 30-50%. Små skridt → høj acceptrate, langsom bevægelse. Store skridt → lav acceptrate, hurtig bevægelse.

Neighborhood algoritmen

Receiver
function
modellering

Thomas R. N.
Jansson

Introduktion

Receiver
functions

Data

Inverst problem

Algoritmer
Uniform search
Metropolis
Neighborhood
Levenberg
Marquardt

Resultater
Syntetiske data
Station Nord

Diskussion

Konklusion

Litteratur

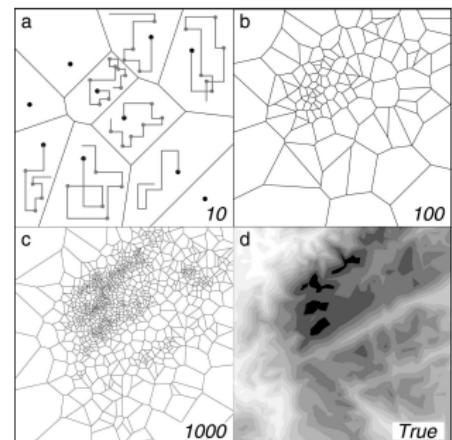
Eventuelt

Voronoi celler

Givet et diskret set af punkter P i rummet \mathcal{M} så kan Voronoi cellen tilhørende punktet $p \in P$ skrives som:

$$Vor(p) = \{\mathbf{x} \in \mathcal{M} | dist(\mathbf{p}, \mathbf{x}) \leq dist(\mathbf{q}, \mathbf{x}), \forall \mathbf{q} \in P, \mathbf{q} \neq \mathbf{p}\}.$$

- ① Vælg n_s samples i parameterrummet
- ② Beregn misfitet for hvert punkt og find de n_r bedste modeller.
- ③ Generer n_s nye modeller inde i Voronoicellerne af de n_r bedste modeller.
- ④ Gå tilbage til punkt 2.



Neighborhood algoritmen

Receiver
function
modelling

Thomas R. N.
Jansson

Introduktion

Receiver
functions

Data

Inverst problem

Algoritmer

Uniform search

Metropolis

Neighborhood

Levenberg

Marquardt

Resultater

Syntetiske data

Station Nord

Diskussion

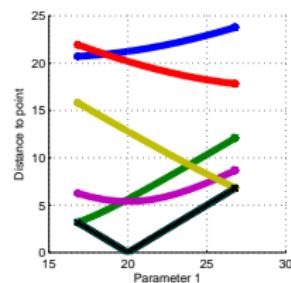
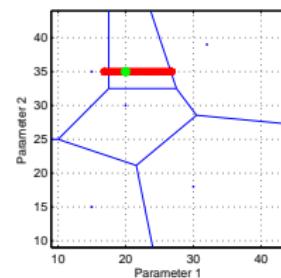
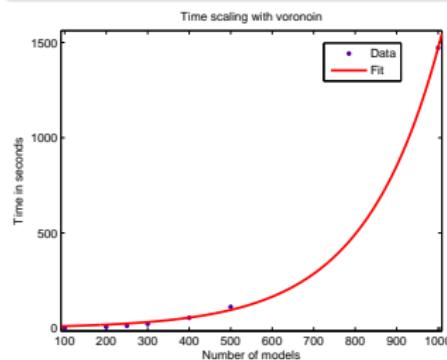
Konklusion

Litteratur

Eventuelt

Sambridge, 1999, p. 484

The filosofy behind the algorithm is that the misfit of each of the previous models is representative of the region in space in its neighborhood.



Udforskning af cellerne

Det største problem er at sample de enkelte Voronoi celler. Mange metoder: *Qhull, diskrete akser, eksakte skæringer.*



Levenberg-Marquardt

Receiver
function
modelling

Thomas R. N.
Jansson

Introduktion

Receiver
functions

Data

Inverst problem

Algoritmer

Uniform search

Metropolis

Neighborhood

Levenberg
Marquardt

Resultater

Syntetiske data

Station Nord

Diskussion

Konklusion

Litteratur

Eventuelt

Levenberg-Marquardts algoritmen

$$\mathbf{m}_{n+1} = \mathbf{m}_n - (\hat{\mathbf{H}} + \lambda \text{diag}\hat{\mathbf{H}})^{-1} \mathbf{J}^T (\mathbf{d}_{obs} - g(\mathbf{m}_n))$$

Ved at ændre på kontrol parameteren kan man få algoritmen til at opfører sig som en steepest descent algoritmen eller Gauss-Newton metode:

$\lambda \ll 1$ Algoritmen opfører sig som Gauss-Newton.

$\lambda \gg 1$ Algoritmen opfører sig som steepest descent.

Approximeret Hessian, $\hat{\mathbf{H}}$

$\hat{\mathbf{H}} = \mathbf{J}^T \mathbf{J}$. Fordelen er at denne kun indeholder første ordens afledte og derfor er beregningsmæssigt billig.



Levenberg-Marquardt

Receiver
function
modellering

Thomas R. N.
Jansson

Introduktion

Receiver
functions

Data

Inverst problem

Algoritmer

Uniform search

Metropolis

Neighborhood

Levenberg
Marquardt

Resultater

Syntetiske data

Station Nord

Diskussion

Konklusion

Litteratur

Eventuelt

Forklaring af Levenberg-Marquardt

- 1 Lav en ny model med formlen

$$\mathbf{m}_{n+1} = \mathbf{m}_n - (\hat{\mathbf{H}} + \lambda \text{diag}(\hat{\mathbf{H}}))^{-1} \mathbf{J}^T (\mathbf{d}_{obs} - g(\mathbf{m}_n))$$

- 2 Evaluer misfitet for den nye model m_{n+1}

- Hvis misfitet er blevet større, så forkastes den nye model \mathbf{m}_{n+1} og λ øges med en faktor 10.
- Hvis misfitet er blevet mindre, så gemmes den nye model \mathbf{m}_{n+1} og λ formindskes med en faktor 10.

Mixing parameteren λ

Ved at bruge mixing parameteren som beskrevet ovenfor vil algoritmen opfører sig som steepest descent i flade områder. Når modellerne bliver bedre vil algoritmen lade sig dominere af Gauss-Newton tæt på min minima.

Matrix inversion er beregningsmæssigt dyrt for store matricer.

Syntetiske data - Uniform

Receiver
function
modelling

Thomas R. N.
Jansson

Introduktion

Receiver
functions

Data

Inverst problem

Algoritmer
Uniform search
Metropolis
Neighborhood
Levenberg
Marquardt

Resultater
Syntetiske data

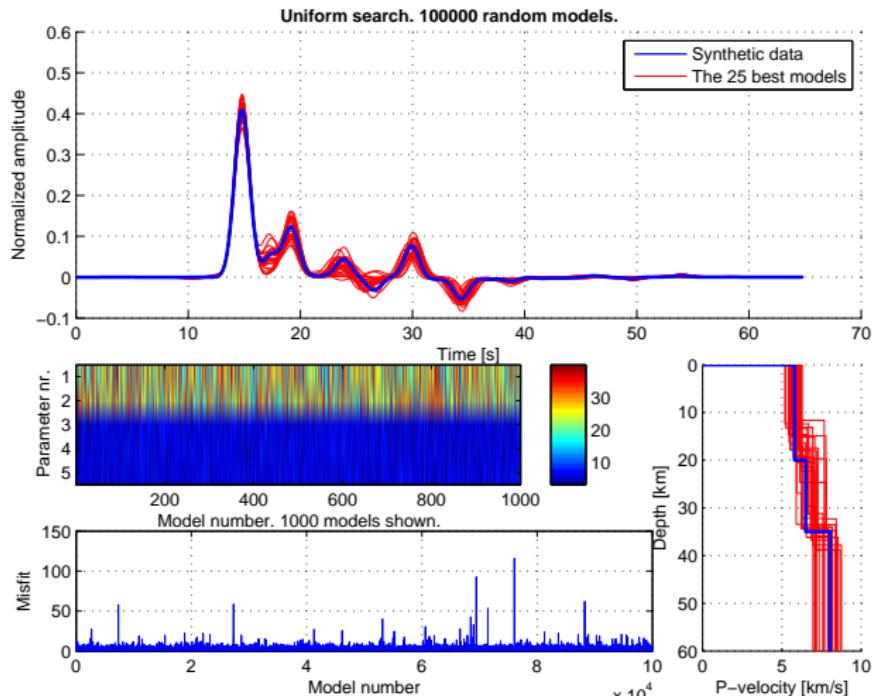
Station Nord

Diskussion

Konklusion

Litteratur

Eventuelt





Syntetiske data - Metropolis

Receiver
function
modelling

Thomas R. N.
Jansson

Introduktion

Receiver
functions

Data

Inverst problem

Algoritmer

Uniform search
Metropolis
Neighborhood
Levenberg
Marquardt

Resultater

Syntetiske data

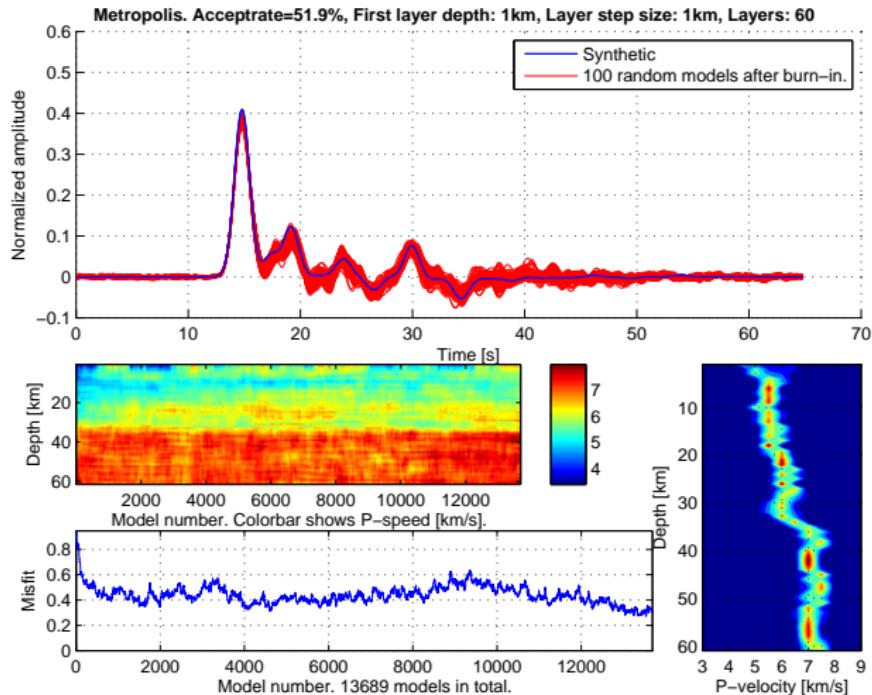
Station Nord

Diskussion

Konklusion

Litteratur

Eventuelt





Syntetiske data - Neighborhood

Receiver
function
modelling

Thomas R. N.
Jansson

Introduktion

Receiver
functions

Data

Inverst problem

Algoritmer
Uniform search
Metropolis
Neighborhood
Levenberg
Marquardt

Resultater

Syntetiske data

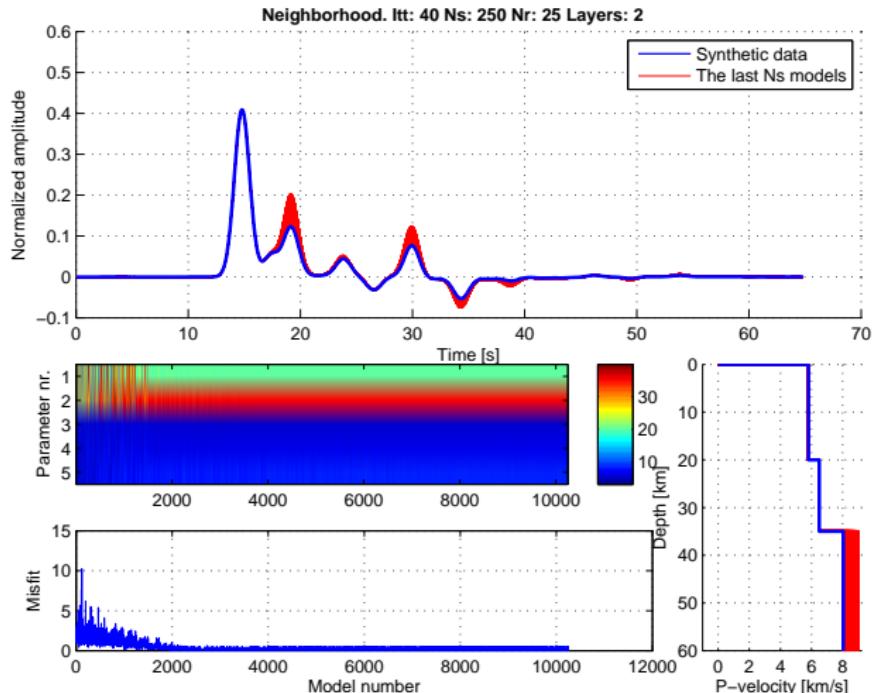
Station Nord

Diskussion

Konklusion

Litteratur

Eventuelt





Syntetiske data - Levenberg-Marquardt

Receiver
function
modelling

Thomas R. N.
Jansson

Introduktion

Receiver
functions

Data

Inverst problem

Algoritmer

Uniform search
Metropolis
Neighborhood
Levenberg
Marquardt

Resultater

Syntetiske data

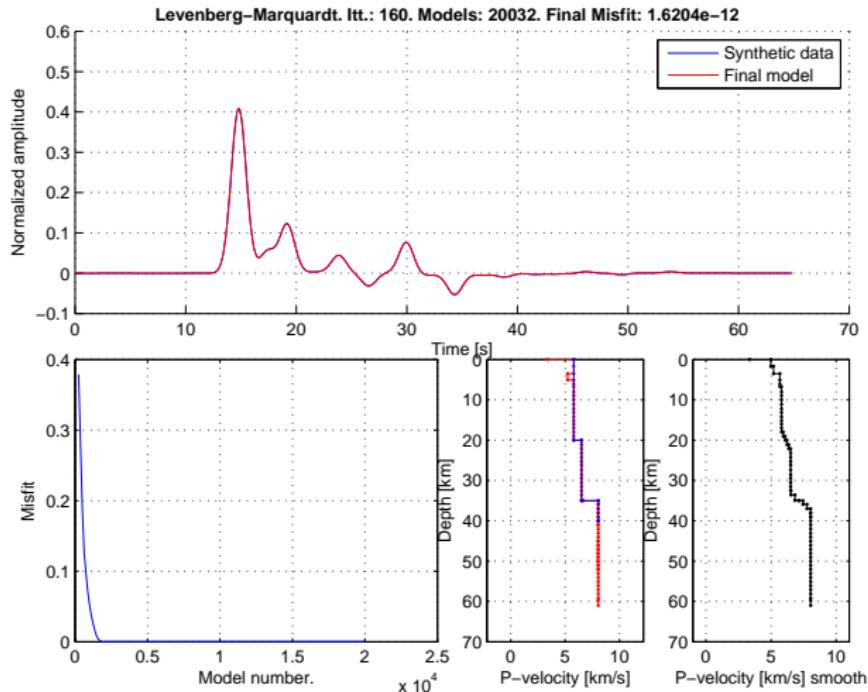
Station Nord

Diskussion

Konklusion

Litteratur

Eventuelt





Station Nord - Uniform

Receiver
function
modelling

Thomas R. N.
Jansson

Introduktion

Receiver
functions

Data

Inverst problem

Algoritmer

Uniform search
Metropolis
Neighborhood
Levenberg
Marquardt

Resultater

Syntetiske data

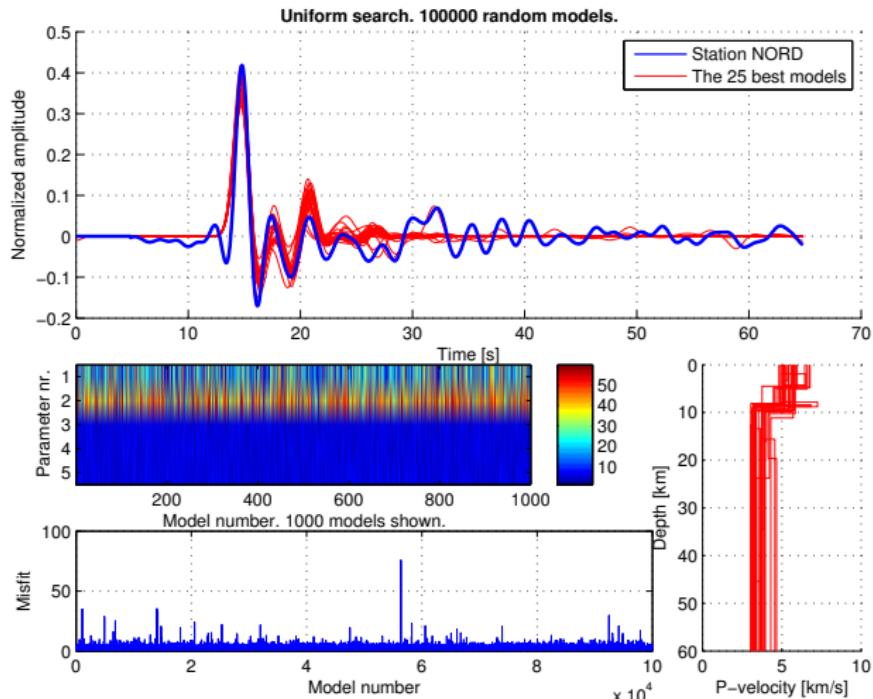
Station Nord

Diskussion

Konklusion

Litteratur

Eventuelt





Station Nord - Metropolis

Receiver
function
modelling

Thomas R. N.
Jansson

Introduktion

Receiver
functions

Data

Inverst problem

Algoritmer

Uniform search
Metropolis
Neighborhood
Levenberg
Marquardt

Resultater

Syntetiske data

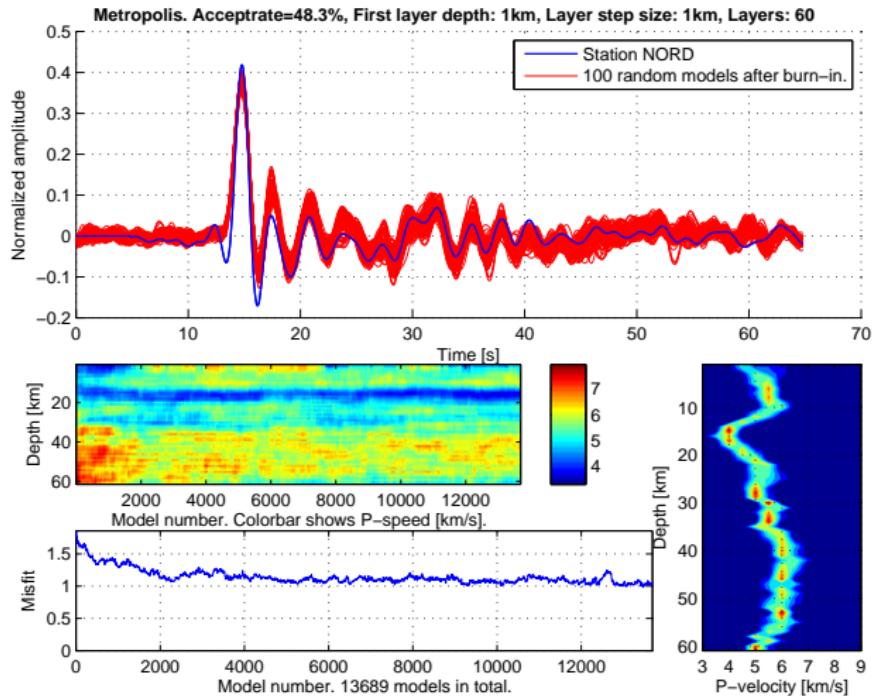
Station Nord

Diskussion

Konklusion

Litteratur

Eventuelt





Station Nord- Neighborhood

Receiver
function
modelling

Thomas R. N.
Jansson

Introduktion

Receiver
functions

Data

Inverst problem

Algoritmer

Uniform search
Metropolis
Neighborhood
Levenberg
Marquardt

Resultater

Syntetiske data

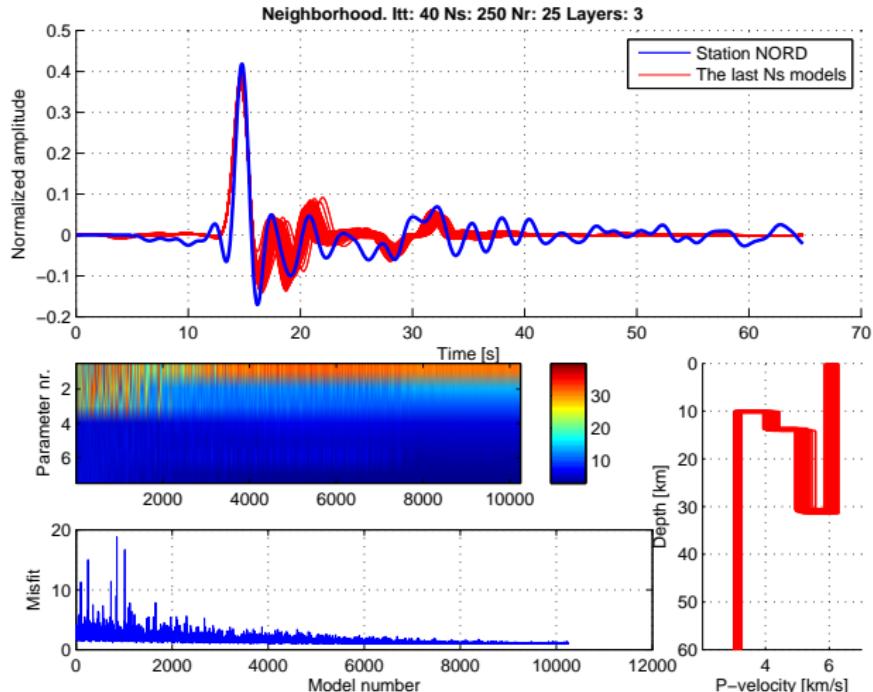
Station Nord

Diskussion

Konklusion

Litteratur

Eventuelt





Station Nord - Levenberg-Marquardt

Receiver
function
modelling

Thomas R. N.
Jansson

Introduktion

Receiver
functions

Data

Inverst problem

Algoritmer

Uniform search
Metropolis
Neighborhood
Levenberg
Marquardt

Resultater

Syntetiske data

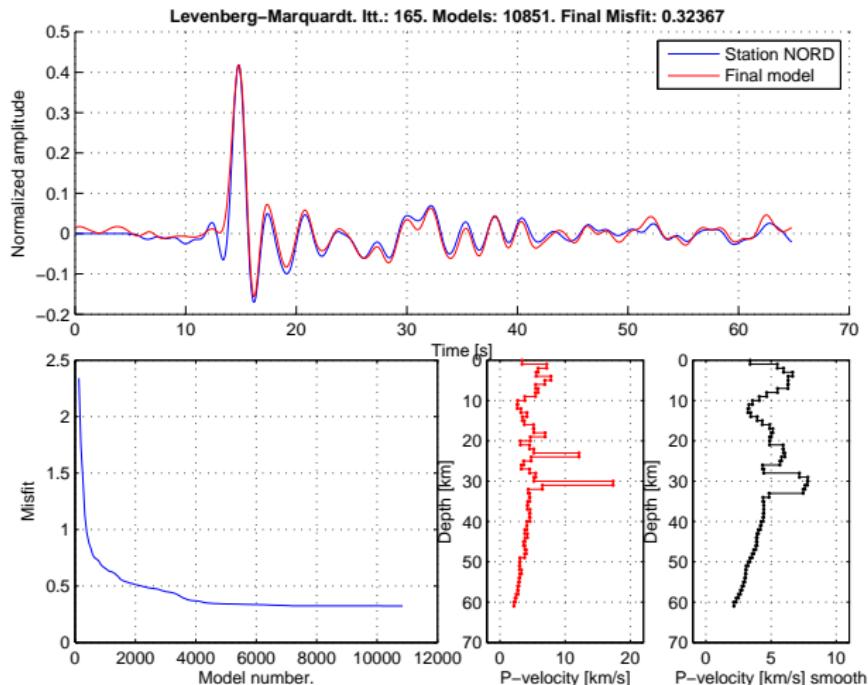
Station Nord

Diskussion

Konklusion

Litteratur

Eventuelt



Diskussion - Voronoi celler

Receiver
function
modellering

Thomas R. N.
Jansson

Introduktion

Receiver
functions

Data

Inverst problem

Algoritmer

Uniform search
Metropolis
Neighborhood
Levenberg
Marquardt

Resultater

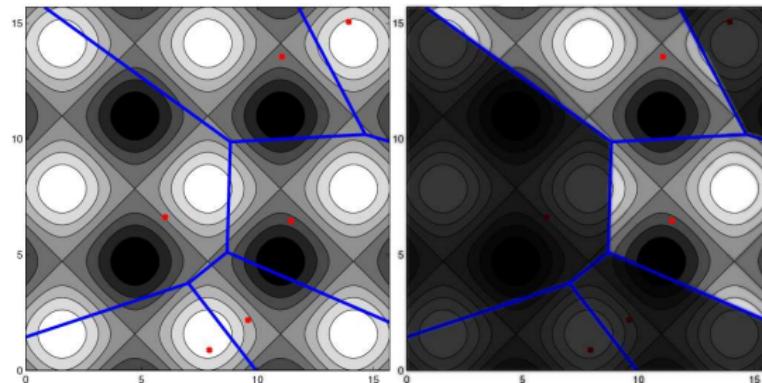
Syntetiske data
Station Nord

Diskussion

Konklusion

Litteratur

Eventuelt



Elimination af områder

Neighborhood algoritmen eliminerer områder i model rummet.

Diskussion - parametrisering

Receiver
function
modelling

Thomas R. N.
Jansson

Introduktion

Receiver
functions

Data

Inverst problem

Algoritmer
Uniform search
Metropolis
Neighborhood
Levenberg
Marquardt

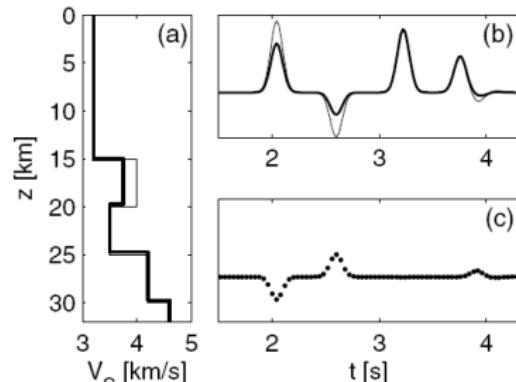
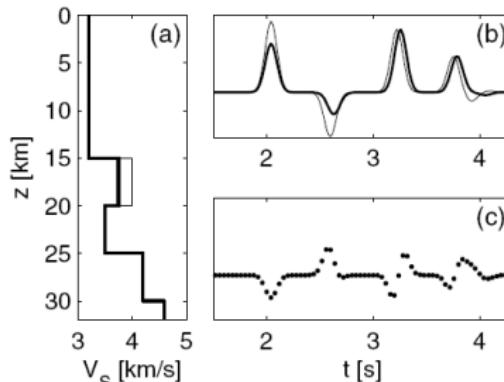
Resultater
Syntetiske data
Station Nord

Diskussion

Konklusion

Litteratur

Eventuelt



Forklaring

Venstre: Jordmodel hvor laghastighed i et lag er sat ned.

Højre: Jordmodel hvor laghastighed og lagtykkelse er ændret sammen sådan at rejsetiden er bevaret.

Levenberg-Marquardt kan ændre flere parametre samtidigt

Diskussion - wavelet problem

Receiver
function
modelling

Thomas R. N.
Jansson

Introduktion

Receiver
functions

Data

Inverst problem

Algoritmer

Uniform search

Metropolis

Neighborhood

Levenberg

Marquardt

Resultater

Syntetiske data

Station Nord

Diskussion

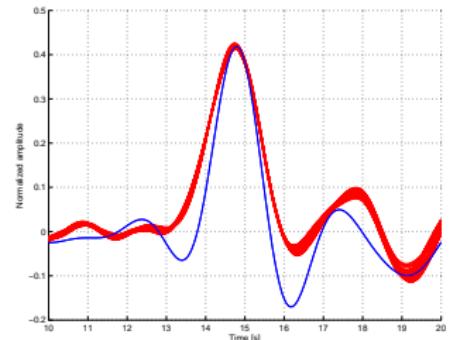
Konklusion

Litteratur

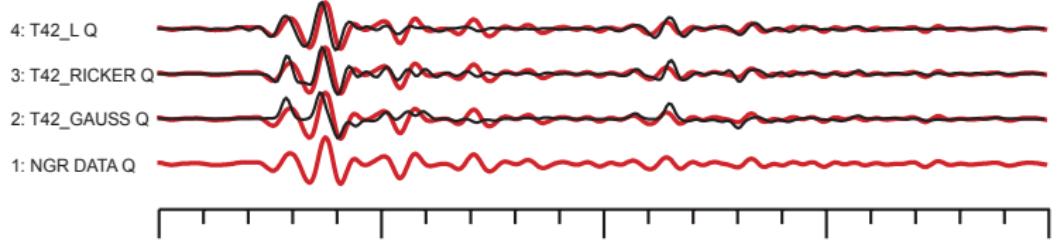
Eventuelt

Wavelet

En del af fitting problemet kan tilskrives brugen af en forkert wavelet.



NGR models with different wavelets



Diskussion - wavelet problem

Receiver
function
modelling

Thomas R. N.
Jansson

Introduktion

Receiver
functions

Data

Inverst problem

Algoritmer

Uniform search
Metropolis
Neighborhood
Levenberg
Marquardt

Resultater

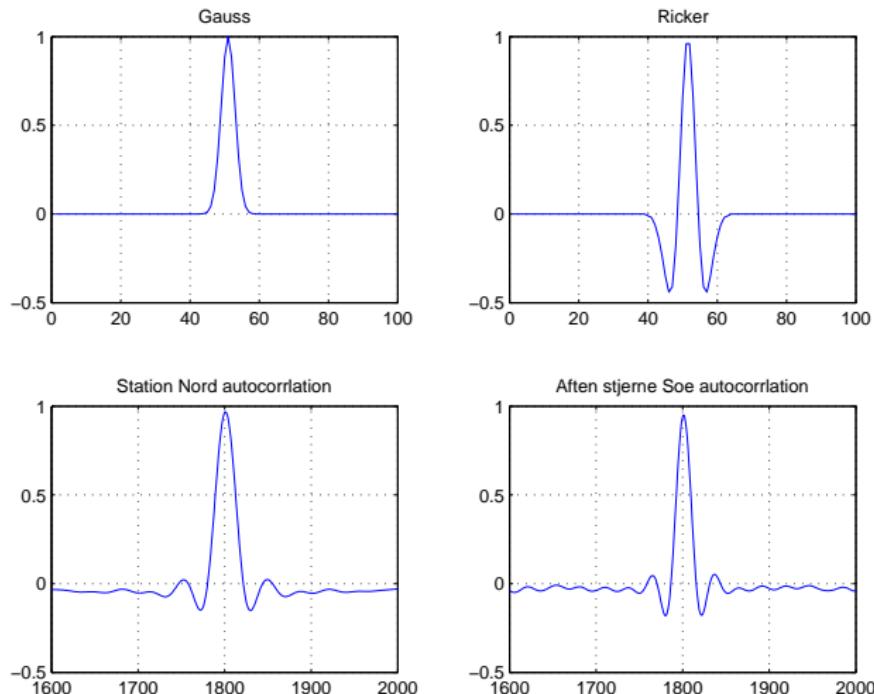
Syntetiske data
Station Nord

Diskussion

Konklusion

Litteratur

Eventuelt



Diskussion - $V_p/V_s = \sqrt{3}$ antagelsen

Receiver
function
modellering

Thomas R. N.
Jansson

Introduktion

Receiver
functions

Data

Inverst problem

Algoritmer
Uniform search
Metropolis
Neighborhood
Levenberg
Marquardt

Resultater
Syntetiske data
Station Nord

Diskussion

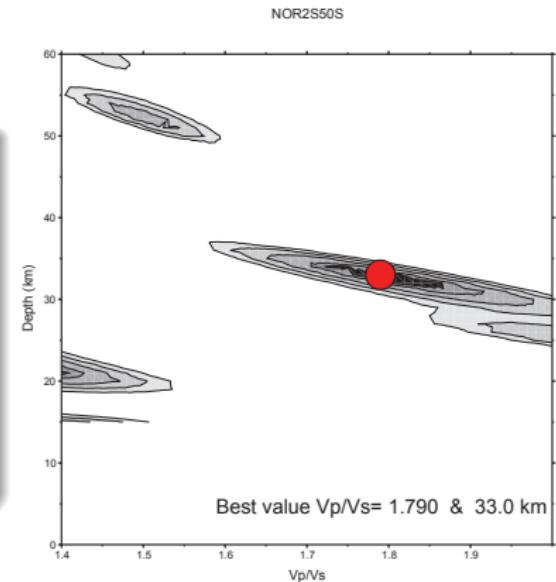
Konklusion

Litteratur

Eventuelt

Possion medie?

Antager at $V_p/V_s = \sqrt{3} \sim 1.732$
Tykkelsen af lagene afhænger af
rejsetiden de P til S konverterede
bølger og her er V_p/V_s vigtig. I et
eksempel fra (Zhu and Kanamori,
2000) medfører en ændring V_p/V_s
på 0.1 en ændring i dybde på 4km.





Konklusion

Receiver
function
modellering

Thomas R. N.
Jansson

Introduktion

Receiver
functions

Data

Inverst problem

Algoritmer

Uniform search

Metropolis

Neighborhood

Levenberg

Marquardt

Resultater

Syntetiske data

Station Nord

Diskussion

Konklusion

Litteratur

Eventuelt

Uniform Forventeligt dårligt resultat med Uniform search i højdimensionale rum. Bruger kun tid på forward beregninger.

Metropolis Giver adgang til se på middelværdi og standard deviation af modellerne. Bruger næsten kun tid på forward beregning.

Neighborhood For beregningsmæssigt dyrt at navigere rundt i Voronoi celler. Elimination af områder kræver store værdier af N_s . Bruger mindre og mindre tid på forward beregninger når antallet af dimensioner stiger.

Levenberg-Marquardt Overaskende gode fit af bølgeform, men urealistiske modeller. Bruger næsten kun tid på forward beregninger.

Tak fordi i ville lytte

Foredraget og specialet kan findes på www.tjansson.dk.



Udvalgt litteratur I

Receiver
function
modelling

Thomas R. N.
Jansson

Introduktion

Receiver
functions

Data

Inverst problem

Algoritmer

Uniform search

Metropolis

Neighborhood

Levenberg

Marquardt

Resultater

Syntetiske data

Station Nord

Diskussion

Konklusion

Litteratur

Eventuelt



Charles J. Ammon.

The isolation of receiver effects from teleseismic P waveforms.

Bulletin of the Seismological Society of America, 81(6):2504–2510, 1991.



Charles J. Ammon, George E. Randall, and George Zandt.

On the nonuniqueness of receiver function inversions.

Journal of Geophysical Research, 95(B10):15303–15318, 1990.



T. Dahl-Jensen, T.B. Larsen, I. Woelbern, T. Bach, W. Hanka, R. Kind, S. Gregersen, K. Mosegaard, P. Voss, and O. Gudmundsson.

Depth to Moho in Greenland: receiver-function analysis suggests two Proterozoic blocks in Greenland.

Earth and Planetary Science Letters, 205(3-4):379–393, 2003.



ZOR Ekrem.

The shear wave velocity structure of the eastern Marmara region by using receiver function analysis.

PhD thesis, Department of Geophysics, Istanbul Technical University, 2002.



N. A. Haskell.

Crustal reflection of plane P and SV waves.

J. Geophys. Res., 67(12):4751–4767, 1962.



Bo Holm Jacobsen and Lasse Svennengsen.

Enhanced Uniqueness and Linearity of Receiver Function Inversion.

Bulletin of the Seismological Society of America, 98(4):1756, 2008.



Thorn Lay and Terry C. Wallace.

Modern Global Seismology, volume 58 of *International geophysics series*.

Academic Press, 1995.



Udvalgt litteratur II

Receiver function modellering

Thomas R. N. Jansson

Introduktion

Receiver functions

Data

Inverst problem

Algoritmer

Uniform search

Metropolis

Neighborhood

Levenberg

Marquardt

Resultater

Syntetiske data

Station Nord

Diskussion

Konklusion

Litteratur

Eventuelt



K. Levenberg.

A method for the solution of certain nonlinear problems in least squares.

Q. Appl. Math., 2(2):164–168, 1944.



D. Marquardt.

An algorithm for least-squares estimation of nonlinear parameters.

SIAM J. Appl. Math., 11(2):431–441, 1963.



N. Metropolis, A.W. Rosenbluth, M.N. Rosenbluth, A.H. Teller, and E. Teller.

Equation of State Calculations by Fast Computing Machines.

The Journal of Chemical Physics, 21(6):1087, 1953.



Klaus Mosegaard and Albert Tarantola.

Monte carlo sampling of solutions to inverse problems.

Journal of Geophysical Research, 100(B7):12431–12447, 1995.



Malcolm Sambridge.

Geophysical inversion with a neighborhood algorithm – I. search a parameter space.

Geophysical Journal International, 138:479–494, 1999.



Malcolm Sambridge and Klaus Mosegaard.

Monte Carlo methods in geophysical inverse problems.

Rev. Geophys., 40(3):1009, 2002.



L. Zhu and H. Kanamori.

Moho depth variation in southern California from teleseismic receiver functions.

Journal of Geophysical Research, 105(B2), 2000.



Rotation af data

Receiver
function
modellering

Thomas R. N.
Jansson

Introduktion

Receiver
functions

Data

Inverst problem

Algoritmer

Uniform search
Metropolis
Neighborhood
Levenberg
Marquardt

Resultater

Syntetiske data
Station Nord

Diskussion

Konklusion

Litteratur

Eventuelt

Rystelserne i jorden måles i
3 retninger: vertikal (Z),
Øst-Vest (E), Nord-Syd
(N).

To forskellige rotationer

- ZNE → ZRT: 2D
rotation.
- ZNE → LQT: 3D
rotation.

