

MINEOS

Software na výpočet vlastních kmitů a syntetických záznamů sféricky symetrických nerotujících elastických selfgravitujících těles.

Původní algoritmus založen na přímé numerické integraci základních diferenciálních rovnic (pohybová a Poissonova rovnice + reologie): EOS - J. F. Gilbert 1966

Dnešní verze veřejná od roku 2006: Guy Master

<http://geodynamics.org/cig/software/mineos>

Metoda

Řešení pohybové a Poissonovy rovnice.

$$\begin{aligned}\nabla \cdot \boldsymbol{\tau} - \rho_0 \nabla \varphi + \nabla \cdot (\rho_0 \mathbf{u}) \nabla \varphi_0 - \nabla (\rho_0 \nabla \varphi_0 \cdot \mathbf{u}) &= \rho_0 \frac{\partial^2 \mathbf{u}}{\partial t^2} \\ \nabla \cdot (\nabla \varphi + 4\pi G \rho_0 \mathbf{u}) &= 0 \\ \lambda \nabla \cdot \mathbf{u} \mathbf{I} + \mu [\nabla \mathbf{u} + (\nabla \mathbf{u})^T] &= \boldsymbol{\tau}\end{aligned}$$

Posunutí dané sféroidální a torodální částí

$$\mathbf{u}(\mathbf{r}) = \sum_{nm} [U_{nm}(r) \mathbf{S}_{nm}^{(-1)} + V_{nm}(r) \mathbf{S}_{nm}^{(1)} + W_{nm}(r) \mathbf{S}_{nm}^{(0)}]$$

Sféroidální kmitý

$$(\nabla \times \mathbf{u}) \cdot \mathbf{e}_r = 0$$

Torodální kmitý

$$\nabla \cdot \mathbf{u} = 0, \quad \mathbf{u} \cdot \mathbf{e}_r = 0$$

Diferenciální rovnice prvního řádu se integrují od středu Země přes jednotlivá rozhraní, jako počáteční hodnota se bere analytické řešení ve středu homogenní koule, snaha o splnění hraničních podmínek na povrchu.

$$\begin{aligned}\dot{U} &= -2(\kappa + \frac{4}{3}\mu)^{-1}(\kappa - \frac{2}{3}\mu)r^{-1}U \\ &\quad + k(\kappa + \frac{4}{3}\mu)^{-1}(\kappa - \frac{2}{3}\mu)r^{-1}V + (\kappa + \frac{4}{3}\mu)^{-1}R,\end{aligned}$$

$$\dot{V} = -kr^{-1}U + r^{-1}V + \mu^{-1}S,$$

$$\dot{P} = -4\pi G \rho U - (l+1)r^{-1}P + B,$$

$$\begin{aligned}\dot{R} &= [-\omega^2 \rho - 4\rho g r^{-1} + 12\kappa\mu(\kappa + \frac{4}{3}\mu)^{-1}r^{-2}]U \\ &\quad + [k\rho g r^{-1} - 6k\kappa\mu(\kappa + \frac{4}{3}\mu)^{-1}r^{-2}]V \\ &\quad - 4\mu(\kappa + \frac{4}{3}\mu)^{-1}r^{-1}R + kr^{-1}S \\ &\quad - (l+1)\rho r^{-1}P + \rho B,\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\dot{S} &= [k\rho g r^{-1} - 6k\kappa\mu(\kappa + \frac{4}{3}\mu)^{-1}r^{-2}]U \\ &\quad - [\omega^2 \rho + 2\mu r^{-2} - 4k^2\mu(\kappa + \frac{1}{3}\mu)(\kappa + \frac{4}{3}\mu)^{-1}r^{-2}]V \\ &\quad - k(\kappa - \frac{2}{3}\mu)(\kappa + \frac{4}{3}\mu)^{-1}r^{-1}R - 3r^{-1}S + k\rho r^{-1}P,\end{aligned}$$

$$\dot{B} = -4\pi G(l+1)\rho r^{-1}U + 4\pi G k \rho r^{-1}V + (l-1)r^{-1}B.$$

$$\dot{W} = r^{-1}W + \mu^{-1}T,$$

$$\dot{T} = [-\omega^2 \rho + (k^2 - 2)\mu r^{-2}]W - 3r^{-1}T.$$

Pohyb půdy pro nerotující anelastický problém

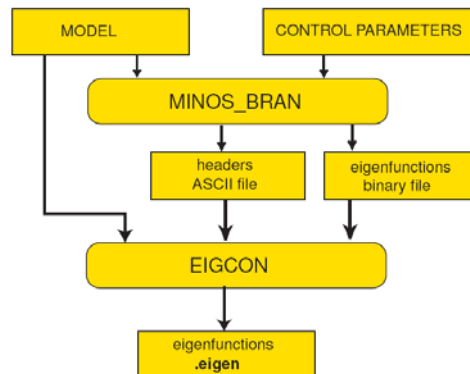
$$\mathbf{u}(\mathbf{x}, t) = \text{Re} \sum_k \nu_k^{-2} \mathbf{M} : \boldsymbol{\varepsilon}_k(\mathbf{x}_s) \mathbf{u}_k(\mathbf{x}) [1 - \exp(i\nu_k t)]$$

Amplituda posunutí je daná momentovým tenzorem (strike, dip, rake a skalární seismický moment), pozicí zdroje a přijímače (epicentrální vzdálenost, azimut) a vlastními funkcemi ve zdroji a na povrchu

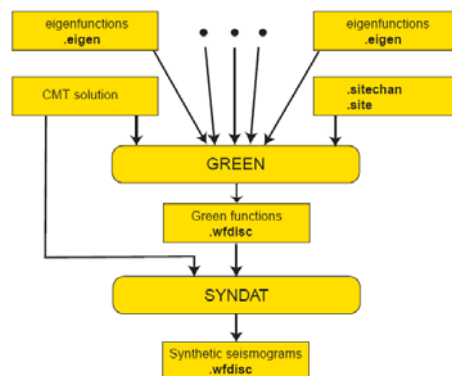
$$\mathbf{a}(\mathbf{x}, t) = \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{l=0}^{\infty} n \mathbf{A}_l(\mathbf{x}) \cos(n\omega_l t) \exp(-n\gamma_l t)$$

4 základní programy: minos_bran, eigcon, green a syndat

Výpočet vlastních čísel a vlastních funkcí (minos_bran, eigcon)



Výpočet Greenových funkcí a syntetických seismogramů (green, syndat)



.eigen: modální číslo, úhlové číslo, typ kmitu, pořadí módu, perioda, fázová r., grupová rychlost, útlum, parametry umístění vlastní funkce

.site: zkratka stanice, ..., šířka, délka, výška, popis stanice

.sitechan: zkratka stanice, kanál, ..., hloubka, orientace senzoru

Mineos počítá v kartézském referenčním systému: x na východ, y na sever, z nahoru

CMT konvence: x na jih, y na východ, z nahoru

.wfdisc: zkratka stanice, kanál, čas prvního vzorku, pořadí módu, poslední vzorek, počet vzorků, vzorkování,...

Limity programu:

Dobrá pro počty na nízkých frekvencích ale ne na frekvencích kolem 1Hz. Nepočítá to úplně dobře kmity vnitřního jádra.

Není zahrnuto štěpení, které se začíná projevovat ve spektru záznamu delšího než 1—2 dny.

MINOS_BRAN

Vstupy:

- 1-D model prostředí (hustota, seismické rychlosti, objemový a smykový faktor kvality)
`prem_noocean.txt`, `prem_ocean.txt`, `NRussia.txt`, `CPacific.txt`
- Kontrolní parametry („S, T, R“, rozsah frekvencí, počet úhlových čísel a overtónů, přesnost výpočtu)

Výstupy:

- ASCII soubor se vstupním modelem prostředí a parametry vlastních módů (frekvence, faktor kvality, fázová a grupová rychlost)
- Binární soubor s vlastními normovanými (na jednotkovou kinetickou energii) funkcemi

V manuálu nabízí nastavení

(f_{min} , f_{max}) = (0, 125.0 mHz), (n_{min} , n_{max}) = (1, 30), (l_{min} , l_{max}) = (1, 1631)

všechny toroidální(28k) a většinu sféroidálních(28k) do 8 s.

Všechny módy do 6s: 150k sféroidálních, 100k toroidálních

EIGCON

- Načte binární soubor s vlastními funkcemi,
- přenormuje je a
- zahodí je pod hloubkou 1000km, tím se redukuje velikost souborů a výpočetní čas pro Greenovy funkce.

GREEN

(výpočet Greenových funkcí – odezva modelu na seismický zdroj)

Vstupy:

- vlastní funkce (*.eigen*), může být několik souborů
- souřadnice stanic (*.site*)
- vybrané stanice a kanály (*.sitechan*)
- souřadnice zdroje a jeho hloubku (neformátovaný jednořádkový soubor *cmt_event*)

Výstup:

- soubor *.wfdisc*

SYNDAT

(konvoluje Greenovy funkce s momentovým tenzorem)

Vstupy:

- Greenovy funkce jednotlivých stanic (*.wfdisc*)
- momentový tenzor (*cmt_event*)

Výstup:

- syntetický seismogram (*.wfdisc*)

Verze pro Windows – součásti

- **minos_bran.exe**
input model file:
prem_noocean.txt
output file:
prem_noocean_S
eigenfunction file (output):
eprem_noocean_S
enter eps and wgrav
1e-10 10
enter jcom (1=rad;2=tor;3=sph;4=ictor)
3
enter lmin,lmax,wmin,wmax,nmin,nmax
1 6000 0.0 166.0 0 0
- **eigcon.exe**
spheroidals(3) or toroidals(2) or radial(1) or inner core toroidals (4)
modes
3
enter name of model file
prem_noocean.txt
enter max depth [km] :
1000
enter name of minos_bran output text file
prem_noocean_S
minos_bran output binary unformatted file name
eprem_noocean_S
enter pathdbase_name or dbase_name to store eigenfunctions:
test_S
- **green.exe**
enter path to db with sta & stachan:
Syndat
enter name of file within list of nmodes db:
db_list
enter input CMT file name:
china_cmt_event
min and max frequencies to be considered (mHz) :
0 166.
enter # pts in greens fns .le. 30000 :
8000
enter Green functions output db file name:
green
- **syndat.exe**
enter input CMT file name:
china_cmt_event
enter tensor type: 0 - moment, 1 - nodal plane 1, 2 - nodal plane 2
0
enter input dbname
green
enter output dbname
Syndat
enter output datatype: 0 -accn, 1 -vel, 2 -displ
0

Table 6.1: Relation: **eigen**. Description: Eigenfunction and eigenvalue file header.

attribute name	field no.	storage type	external format	character position	attribute description
norder	1	i4	i8	1-8	radial order no. n
lorder	2	i4	i8	10-17	angular order no. l
typeo	3	i4	a1	19-19	type of modes
eigid	4	i4	i8	21-28	eigen id
per	5	f4	f16.5	30-45	eigenvalue, period
phvel	6	f4	f16.5	47-62	phase velocity
grvel	7	f4	f16.5	64-79	group velocity
attn	8	f4	f16.5	81-96	attenuation
nrow	9	i4	i8	98-105	no. of rows
ncol	10	i4	i4	107-110	no. of columns
npar	11	i4	i4	112-115	no. of parameters
datatype	12	c2	a2	117-118	numeric storage
foff	13	i4	i10	120-129	byte offset
dir	14	c64	a64	131-194	directory
dfile	15	c32	a32	196-227	file name
commid	16	i4	i8	229-236	comment id
lddate	17	date	a17	238-254	load date

Table 6.3: Relation: **site**. Description: Station location information.

attribute name	field no.	storage type	external format	character position	attribute description
sta	1	c6	a6	1-6	station identifier
ondate	2	i4	i8	8-15	Julian start date
offdate	3	i4	i8	17-24	Julian off date
lat	4	f4	f9.4	26-34	latitude
lon	5	f4	f9.4	36-44	longitude
elev	6	f4	f9.4	46-54	elevation
staname	7	c50	a50	56-105	station description
statype	8	c4	a4	107-110	station type: single station, array, etc.
refsta	9	c6	a6	112-117	reference station for array members
dnorth	10	f4	f9.4	119-127	offset from array reference (km)
deast	11	f4	f9.4	129-137	offset from array reference (km)
lddate	12	date	a17	139-155	load date

Table 6.4: Relation: **sitechan**. Description: Station-channel information.

attribute name	field no.	storage type	external format	character position	attribute description
sta	1	c6	a6	1-6	station identifier
chan	2	c8	a8	8-15	channel identifier
ondate	3	i4	i8	17-24	Julian start date
chanid	4	i4	i8	26-33	channel id
offdate	5	i4	i8	35-42	Julian off date
ctype	6	c4	a4	44-47	channel type
cdepth	7	f4	f9.4	49-57	emplacement depth
hang	8	f4	f6.1	59-64	horizontal angle
vang	9	f4	f6.1	66-71	vertical angle
descrip	10	c50	a50	73-122	channel description
lddate	11	date	a17	124-140	load date

Table 6.5: Relation: **wfdisc**. Description: Waveform file header and descriptive information.

attribute name	field no.	storage type	external format	character position	attribute description
sta	1	c6	a6	1-6	station identifier
chan	2	c8	a8	8-15	channel identifier
time	3	f8	f17.5	17-33	epoch time of the first sample in file
wfid	4	i4	i8	35-42	waveform id
chanid	5	i4	i8	44-51	channel operation id
jdate	6	i4	i8	53-60	Julian date
endtime	7	f8	if17.5	62-78	time*(nsamp-1)/samprate
nsamp	8	i4	i8	80-87	no. of samples
samprate	9	f4	f11.5	89-99	sampling rate in samples/sec
calib	1	f4	f16.6	101-116	nominal calibration
calper	11	f4	f16.6	118-133	nominal calibration period
instype	12	c6	a6	135-140	instrument code
segtype	13	c1	a1	142-142	indexing method
datatype	14	c2	a2	144-145	numerical storage
clip	15	c1	a1	147-147	clipped flag
dir	16	c64	ia64	149-212	directory
dfile	17	c32	a32	214-245	data file
foff	18	i4	i10	247-256	byte offset
commid	19	i4	i8	258-265	comment id
lddate	20	date	a17	267-283	load date