

Aplikace spektrální metody

Dominika Hájková, Matyáš Fuksa, Ondřej Kureš

Stormtrooperz

2021

Spektrální metoda - Co to je?

Popis spektrální metody byl převzat z práce Polynomial approximation and spectral methods (autoři: Vít Průša a Karel Tůma). Zde je popis stručně převyprávěn.

Spektrální metoda - Co to je?

Popis spektrální metody byl převzat z práce Polynomial approximation and spectral methods (autoři: Vít Průša a Karel Tůma). Zde je popis stručně převyprávěn.

Byla nám dána obyčejná diferenciální rovnice

Spektrální metoda - Co to je?

Popis spektrální metody byl převzat z práce Polynomial approximation and spectral methods (autoři: Vít Průša a Karel Tůma). Zde je popis stručně převyprávěn.

Byla nám dána obyčejná diferenciální rovnice

$$\frac{1}{5} \frac{d^2 u}{dx^2} + \frac{du}{dx} + u = f(x),$$

Spektrální metoda - Co to je?

Popis spektrální metody byl převzat z práce Polynomial approximation and spectral methods (autoři: Vít Průša a Karel Tůma). Zde je popis stručně převyprávěn.

Byla nám dána obyčejná diferenciální rovnice

$$\frac{1}{5} \frac{d^2 u}{dx^2} + \frac{du}{dx} + u = f(x),$$

a musíme najít řešení $u(x)$ na intervalu $(-1, 1)$ s okrajovými podmínkami

$$\begin{aligned} u|_{x=-1} &= \alpha, \\ u'|_{x=1} &= \beta. \end{aligned}$$

Spektrální metoda - Co to je?

Popis spektrální metody byl převzat z práce Polynomial approximation and spectral methods (autoři: Vít Průša a Karel Tůma). Zde je popis stručně převyprávěn.

Byla nám dána obyčejná diferenciální rovnice

$$\frac{1}{5} \frac{d^2 u}{dx^2} + \frac{du}{dx} + u = f(x),$$

a musíme najít řešení $u(x)$ na intervalu $(-1, 1)$ s okrajovými podmínkami

$$\begin{aligned} u|_{x=-1} &= \alpha, \\ u'|_{x=1} &= \beta. \end{aligned}$$

Spektrální metodu použijeme takto: Místo, abychom řešili rovnici pro všechna $x \in (-1, 1)$, budeme ji jen řešit pro určité interpolační body $\{x_j\}_{j=1}^{N+2}$. Tyto interpolační body budou Čebyševovy body.

Spektrální metoda - Co to je? - pokračování

Diferenciální rovnici z minulé strany pak přepíšeme na diskrétní verzi

$$\left(\frac{1}{5} \mathbb{D}_{(N+2) \times (N+2)}^2 + \mathbb{D}_{(N+2) \times (N+2)} + \mathbb{I}_{(N+2) \times (N+2)} \right) \vec{u}_{N+2} = \vec{f}_{N+2},$$

Spektrální metoda - Co to je? - pokračování

Diferenciální rovnici z minulé strany pak přepíšeme na diskrétní verzi

$$\left(\frac{1}{5} \mathbb{D}_{(N+2) \times (N+2)}^2 + \mathbb{D}_{(N+2) \times (N+2)} + \mathbb{I}_{(N+2) \times (N+2)} \right) \vec{u}_{N+2} = \vec{f}_{N+2},$$

kde

$$\vec{u}_{N+2} =_{\text{def}} \begin{bmatrix} u(x_1) \\ u(x_2) \\ u(x_3) \\ \vdots \\ u(x_{N+1}) \\ u(x_{N+2}) \end{bmatrix}, \quad \vec{f}_{N+2} =_{\text{def}} \begin{bmatrix} f(x_1) \\ f(x_2) \\ f(x_3) \\ \vdots \\ f(x_{N+1}) \\ f(x_{N+2}) \end{bmatrix}.$$

$\mathbb{I}_{(N+2) \times (N+2)}$ je jednotková matice a $\mathbb{D}_{(N+2) \times (N+2)}$ je spektrální diferenční matice.

Spektrální metoda - Co to je? - pokračování

Nově vzniklou diskrétní rovnici upravíme pomocí matice $\mathbb{P}_{N \times (N+2)}^{N+2,-2}$.
Tím naši rovnici převzorkujeme na N Čebyševových interpolačních bodů.

Spektrální metoda - Co to je? - pokračování

Nově vzniklou diskrétní rovnici upravíme pomocí matice $\mathbb{P}_{N \times (N+2)}^{N+2,-2}$.
Tím naši rovnici převzorkujeme na N Čebyševových interpolačních bodů. Pak přidáme dvě rovnice, které odpovídají okrajovým podmínkám: $u(x_N) = \alpha$ a $u(x_1) = \beta$.

Spektrální metoda - Co to je? - pokračování

Nově vzniklou diskrétní rovnici upravíme pomocí matice $\mathbb{P}_{N \times (N+2)}^{N+2, -2}$. Tím naši rovnici převzorkujeme na N Čebyševových interpolačních bodů. Pak přidáme dvě rovnice, které odpovídají okrajovým podmínkám: $u(x_N) = \alpha$ a $u(x_1) = \beta$. Takto jsme získali soustavu $N + 2$ rovnic s $N + 2$ neznámými, což je pro nás "snadno" řešitelný problém.

Hej, to je - struktura spektrální diferenční matice

$$\frac{2(N-1)^2+1}{6}$$

$$j = k = 1$$

$$D_{kj} = \frac{c_k}{c_j} \frac{(-1)^{j+k}}{x_k - x_j}, j \neq k$$

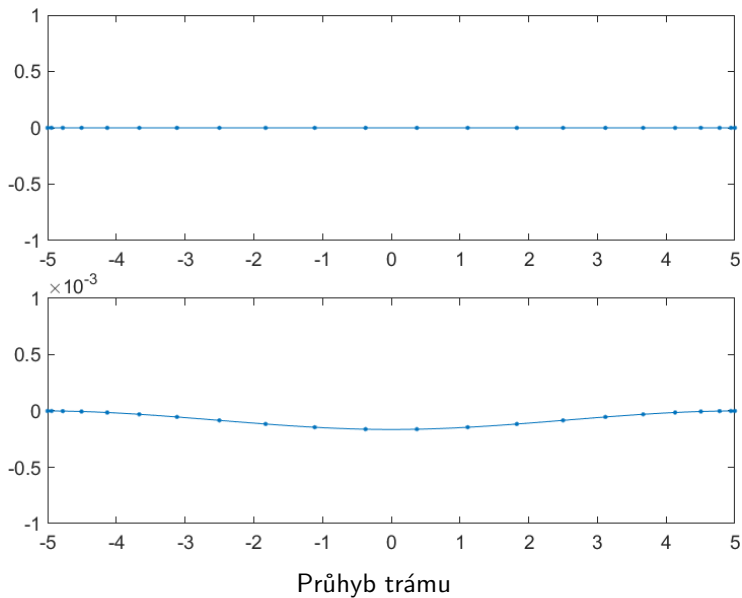
$$D_{kj} = -\frac{1}{2} \frac{c_k}{1-x_j}, j = k \neq 1, N$$

$$D_{kj} = \frac{c_k}{c_j} \frac{(-1)^{j+k}}{x_k - x_j}, j \neq k$$

$$-\frac{2(N-1)^2+1}{6}$$

$$j = k = N$$

Trám na jiný způsob - Obrázky



Kmitání membrán - Analytický rozbor

Kmitání membrán - Analytický rozbor

Máme rovnici $\Delta u = -\lambda u$. Jelikož pracujeme na oblasti obdelníka, můžeme $u(x, y)$ přepsat do nového tvaru: $u(x, y) = X(x)Y(y)$.

Kmitání membrán - Analytický rozbor

Máme rovnici $\Delta u = -\lambda u$. Jelikož pracujeme na oblasti obdelníka, můžeme $u(x, y)$ přepsat do nového tvaru: $u(x, y) = X(x)Y(y)$. Dostáváme novou rovnici:

$$\frac{\partial^2 X}{\partial x^2} Y + X \frac{\partial^2 Y}{\partial y^2} = -\lambda XY \quad (1)$$

Kmitání membrán - Analytický rozbor

Máme rovnici $\Delta u = -\lambda u$. Jelikož pracujeme na oblasti obdelníka, můžeme $u(x, y)$ přepsat do nového tvaru: $u(x, y) = X(x)Y(y)$. Dostáváme novou rovnici:

$$\frac{\partial^2 X}{\partial x^2} Y + X \frac{\partial^2 Y}{\partial y^2} = -\lambda XY \quad (1)$$

Provedeme sérii úprav, které nás dovedou na systém dvou rovnic. Vyřešením soustavy dostaneme obecné řešení pro $X(x)$ a $Y(y)$.

Kmitání membrán - Analytický rozbor

Máme rovnici $\Delta u = -\lambda u$. Jelikož pracujeme na oblasti obdelníka, můžeme $u(x, y)$ přepsat do nového tvaru: $u(x, y) = X(x)Y(y)$. Dostáváme novou rovnici:

$$\frac{\partial^2 X}{\partial x^2} Y + X \frac{\partial^2 Y}{\partial y^2} = -\lambda XY \quad (1)$$

Provedeme sérii úprav, které nás dovedou na systém dvou rovnic. Vyřešením soustavy dostaneme obecné řešení pro $X(x)$ a $Y(y)$.

$$X(x) = A_1 \sin(\sqrt{\lambda - \alpha}x) + B_1 \cos(\sqrt{\lambda - \alpha}x) \quad (2a)$$

$$Y(y) = A_2 \sin(\sqrt{\alpha}y) + B_2 \cos(\sqrt{\alpha}y) \quad (2b)$$

Kmitání membrán - Analytický rozbor - pokračování

Použitím Dirichletových okrajových podmínek ($X(0) = X(a) = 0$ a $Y(0) = Y(b) = 0$, kde a je šířka a b je výška obdélníku), získáme vlastní číslo

$$\lambda_{m,n} = \frac{m^2\pi^2}{a^2} + \frac{n^2\pi^2}{b^2} \quad (3)$$

Kmitání membrán - Analytický rozbor - pokračování

Použitím Dirichletových okrajových podmínek ($X(0) = X(a) = 0$ a $Y(0) = Y(b) = 0$, kde a je šířka a b je výška obdélníku), získáme vlastní číslo

$$\lambda_{m,n} = \frac{m^2\pi^2}{a^2} + \frac{n^2\pi^2}{b^2} \quad (3)$$

a vlastní vektor

$$u(x, y)_{m,n} = A \sin\left(\frac{m\pi}{a}x\right) \sin\left(\frac{n\pi}{b}y\right), \quad (4)$$

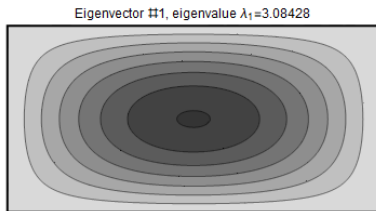
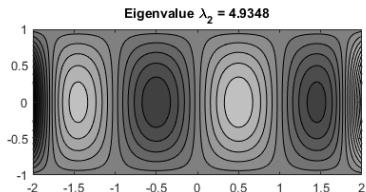
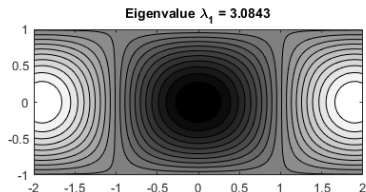
kde m, n jsou přirozená čísla.

Kmitání membrán - Porovnání

Všechny výsledky jsou pro obdelník s šířkou $a = 4$ a výškou $b = 2$

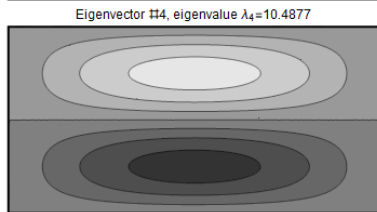
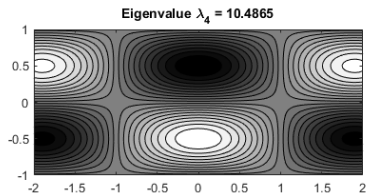
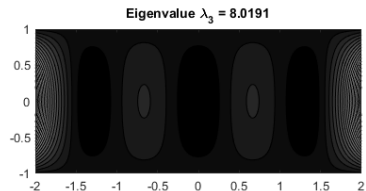
| Vlastní čísla | λ_1 | λ_2 | λ_3 | λ_4 | λ_5 |
|---------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Analyticky | 3.08425 | 4.9348 | 8.01905 | 10.4865 | 12.337 |
| Matlab | 3.0843 | 4.9348 | 8.0191 | 10.4865 | 12.337 |
| Mathematica | 3.08426 | 4.93482 | 8.01915 | 10.4869 | 12.3374 |

Kmitání membrán - Výsledky 1. část



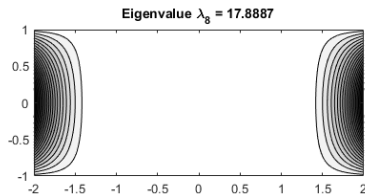
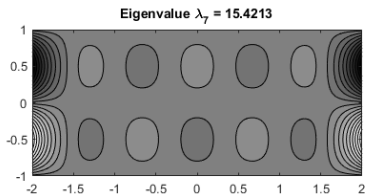
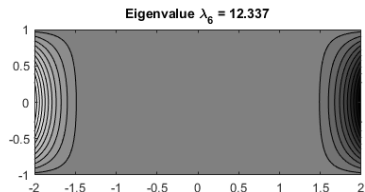
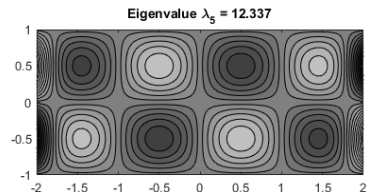
Nalevo - Matlab; Napravo - Mathematica

Kmitání membrán - Výsledky 2. část



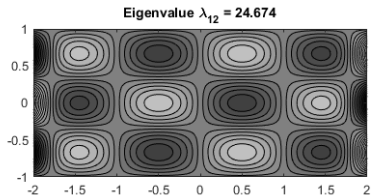
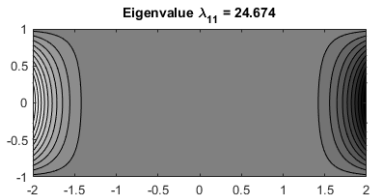
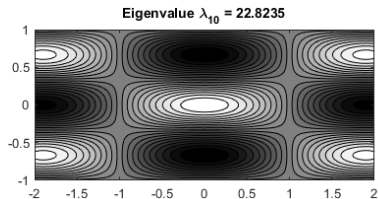
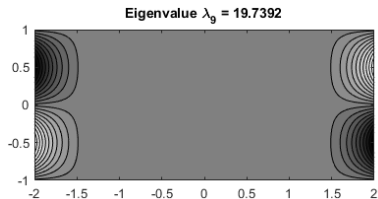
Nalevo - Matlab; Napravo - Mathematica

Kmitání membrán - Výsledky 3. část



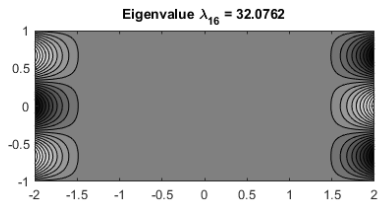
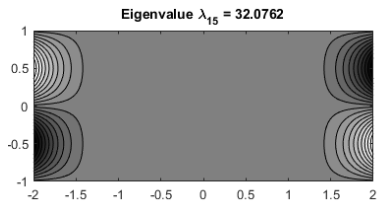
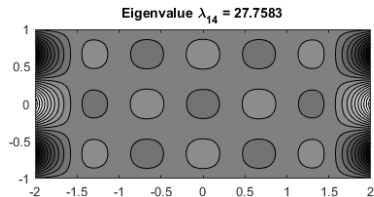
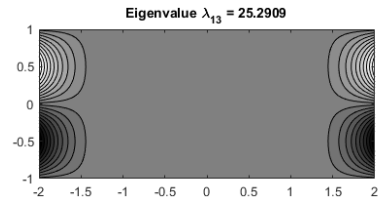
Získáno v Matlabu

Kmitání membrán - Výsledky 4. část



Získáno v Matlabu

Kmitání membrán - Výsledky 5. část



Získáno v Matlabu

Děkujeme za pozornost

