



Universidade de Aveiro
Departamento de Física

Física Computacional 2019/2020

Trabalho Prático 5

Problemas de valor fronteira — Valores próprios

Introdução aos Problemas 5.1 e 5.2.

Uma corda com densidade linear μ está sujeita a uma tensão T e encontra-se fixa nas duas extremidades, $x = 0$ e $x = L$. Sabemos que a corda vibra com modos normais que são soluções da equação

$$\frac{T}{\mu} \frac{d^2 y(x)}{dx^2} + \omega^2 y(x) = 0.$$

Resolvendo analiticamente a equação diferencial, conclui-se que os valores possíveis das frequências angulares dos modos normais de vibração são dados por

$$\omega_n = \frac{n\pi}{L} \sqrt{\frac{T}{\mu}}, \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

Estas frequências são os valores próprios deste problema. Use $\mu = 10^{-3}$ kg/m, $L = 1$ m e $T = 10^3$ N.

Problema 5.1: Método de shooting — determinação da frequência do primeiro modo normal de vibração

O método de shooting integra o problema desde $x = 0$ a $x = L$ usando um dos métodos adequados a problemas de valor inicial. A equação diferencial é ordinária, de segunda ordem. Há uma ligeira diferença em relação àquelas com que temos trabalhado: a variável independente não é o tempo, mas sim a coordenada x . Seguindo o procedimento habitual, podemos transformá-la em duas equações diferenciais de primeira ordem acopladas:

$$\begin{cases} \frac{dy'(x)}{dx} = -\frac{\omega^2 \mu}{T} y(x), \\ \frac{dy(x)}{dx} = y'(x). \end{cases}$$

Use o método de Runge–Rutta de 4ª ordem que estudou anteriormente. Para isso precisará de $y(0)$ e $y'(0)$. Embora nada seja dito sobre $y'(0)$, neste problema o valor da derivada de y em $x = 0$ é irrelevante. Se usar o dobro do valor escolhido pelo seu colega do lado, todos os seus valores y_k vão ser o dobro.

Embora conheçamos o valor analítico da frequência do primeiro modo, vamos tomá-la como desconhecida. Integre o problema duas vezes para dois valores iniciais de ω , diferentes do valor analítico. Melhore o valor de ω usando o método da secante (consulte os slides 24 a 27 da Apresentação 5). Repita a integração e o método da secante até que o valor de $y(L)$ esteja tão perto de zero quanto o exigido por uma tolerância definida no programa.

Problema 5.2: Método das diferenças finitas — determinação da frequência de vários modos normais de vibração

Defina um conjunto de valores discretos igualmente espaçados da variável independente:

$$[x_1, x_2, \dots, x_k, \dots, x_N] = [0, h, \dots, (k-1) \cdot h, \dots, L].$$

Substituindo a segunda derivada da equação diferencial pela sua aproximação por diferenças finitas, obtêm-se $N - 2$ equações que podem ser expressas em notação matricial na forma:

$$\begin{bmatrix} -2 & 1 & & & \\ 1 & -2 & 1 & & \\ & \ddots & \ddots & \ddots & \\ & & 1 & -2 & 1 \\ & & & 1 & -2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_2 \\ y_3 \\ \vdots \\ y_{N-2} \\ y_{N-1} \end{bmatrix} = -\frac{\omega^2 \mu}{T} h^2 \begin{bmatrix} y_2 \\ y_3 \\ \vdots \\ y_{N-2} \\ y_{N-1} \end{bmatrix}.$$

Esta é uma equação aos valores e vetores próprios da matriz \mathbf{A} ,

$$\mathbf{A}\mathbf{y} = \lambda\mathbf{y}.$$

Pode calcular os valores próprios da matriz aplicando a função do matlab

`eigs(A,3,'sm')`

que terá como saída os três menores valores próprios da matriz \mathbf{A} . Determine também os vetores próprios numéricos $y(x)$, usando `[vec,val]=eigs(A,3,'sm')`.

Problema 5.3: Método de diferenças finitas — perfil de temperaturas numa resistência elétrica cilíndrica

A equação seguinte modela a distribuição de temperatura $T(r)$ numa resistência elétrica cilíndrica de raio $R = 1\text{mm}$ quando a temperatura da superfície externa, $T(R)$, é igual à temperatura ambiente 20°C . A outra condição fronteira é $T'(0) = 0$.

$$\frac{d^2T}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dT}{dr} + \frac{Q}{\lambda} = 0.$$

Considere que o calor produzido por unidade de tempo por unidade de volume é $Q = 2.1\text{ MW/m}^3$ e a condutividade térmica é $\lambda = 0.1\text{ WK}^{-1}\text{m}^{-1}$.

- Escreva a expressão geral das $N - 2$ equações algébricas que aproximam a equação nos pontos interiores. Use diferenças finitas centradas para as derivadas.
- Escreva as equações para as duas condições fronteira.
- Coloque o problema na forma de uma matriz N por N .
- Resolva o problema usando a rotina do Matlab `linsolve` e verifique qual é, e para que valor de r ocorre, a temperatura máxima.

Nota: Para resolver este exercício, consulte os slides 15 a 23 da Apresentação 5. Recomenda-se o uso da forma matricial do slide 23.

09/04/2020