

## Übungsblatt 6

Besprechung 26.11.2014.

### Aufgabe 1 (FEM für die Platten-Gleichung, Matlab)

**(35 Punkte)**

Sei  $H_0^2(0, 1) := \{u \in H^2(0, 1) : u(0) = u'(0) = u(1) = u'(1) = 0\}$ . Wir betrachten die schwache Formulierung der Platten-Gleichung:

Suche  $u \in H_0^2(0, 1)$ , sodass

$$\int_0^1 u''(x) v''(x) dx = \int_0^1 f(x) v(x) dx \quad \forall v \in H_0^2(0, 1). \quad (1)$$

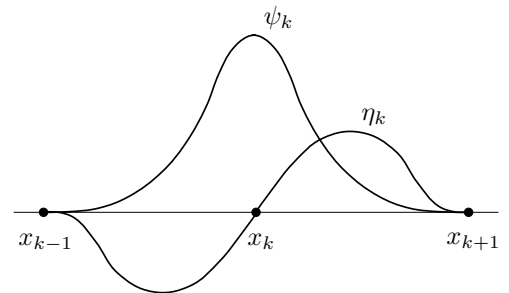
Für  $h := \frac{1}{N+1} > 0$  und  $x_k = kh$  ( $k = 0, \dots, N+1$ ) sei der Finite-Element-Raum  $V_h$  gegeben durch

$$V_h := \{v \in C^1(0, 1) : v|_{[x_k, x_{k+1}]} \in \mathcal{P}^3([x_k, x_{k+1}])\} \subset H^2(0, 1).$$

Als Basis von  $V_h$  wählen wir  $\{\psi_i, i = 0, \dots, N+1\} \cup \{\eta_i, i = 0, \dots, N+1\}$ , wobei wir

$$\psi_i(x_k) = \delta_{i,k}, \quad \psi_i'(x_k) = 0, \quad \eta_i(x_k) = 0 \quad \text{und} \quad \eta_i'(x_k) = \delta_{i,k}$$

voraussetzen.



Zeigen Sie:

(i) Die Basis-Funktionen  $\psi_k, \eta_k$  sind eindeutig gegeben durch:

$$\eta_k(x) = \begin{cases} \frac{1}{h^2}(x - x_k)(x - x_{k-1})^2, & x \in [x_{k-1}, x_k], \\ \frac{1}{h^2}(x - x_k)(x - x_{k+1})^2, & x \in [x_k, x_{k+1}], \\ 0, & \text{sonst,} \end{cases}$$

$$\psi_k(x) = \begin{cases} \varphi_k(x) - \frac{1}{h}(\eta_{k-1}(x) + \eta_k(x)), & x \in [x_{k-1}, x_k], \\ \varphi_k(x) + \frac{1}{h}(\eta_k(x) + \eta_{k+1}(x)), & x \in [x_k, x_{k+1}], \\ 0, & \text{sonst,} \end{cases}$$

wobei  $\varphi_k$  die Hutfunktionen bzgl.  $x_k$  bezeichnet.

(ii)  $\sum_{i=0}^{N+1} \psi_i(x) = 1$  für alle  $x \in (0, 1)$ .

Mit  $(u, v) := \int_0^1 u(x) v(x) dx$  ist die System-Matrix  $A$  als Blockmatrix und die rechte Seite  $b$  gegeben durch

$$A = \left( \begin{array}{ccc|ccc} (\psi_1'', \psi_1'') & \cdots & (\psi_1'', \psi_N'') & (\psi_1'', \eta_1'') & \cdots & (\psi_1'', \eta_N'') \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ (\psi_N'', \psi_1'') & \cdots & (\psi_N'', \psi_N'') & (\psi_N'', \eta_1'') & \cdots & (\psi_N'', \eta_N'') \\ \hline (\eta_1'', \psi_1'') & \cdots & (\eta_1'', \psi_N'') & (\eta_1'', \eta_1'') & \cdots & (\eta_1'', \eta_N'') \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ (\eta_N'', \psi_1'') & \cdots & (\eta_N'', \psi_N'') & (\eta_N'', \eta_1'') & \cdots & (\eta_N'', \eta_N'') \end{array} \right) \quad b = \begin{pmatrix} (f, \psi_1) \\ \vdots \\ (f, \psi_N) \\ (f, \eta_1) \\ \vdots \\ (f, \eta_N) \end{pmatrix}$$

- (iii) Geben Sie die Einträge der System-Matrix  $A$  explizit in Abhängigkeit von  $h$  an (Maple!).
- (iv) Zur Berechnung der rechten Seite verwenden wir eine Gauss-Quadratur, wobei gilt

$$\begin{aligned}
 (f, \psi_k) &= \int_{x_{k-1}}^{x_k} f(x) \psi_k^{(l)}(x) dx + \int_{x_k}^{x_{k+1}} f(x) \psi_k^{(r)}(x) dx \\
 &= \frac{h}{2} \left[ \int_{-1}^1 f\left(\frac{h}{2}(t+1) + x_{k-1}\right) \psi_k^{(l)}\left(\frac{h}{2}(t+1) + x_{k-1}\right) dt \right. \\
 &\quad \left. + \int_{-1}^1 f\left(\frac{h}{2}(t+1) + x_k\right) \psi_k^{(r)}\left(\frac{h}{2}(t+1) + x_k\right) dt \right].
 \end{aligned}$$

Dabei bezeichnen wir mit  $\psi_k^{(l)}$  die Restriktion  $\psi_k|_{[x_{k-1}, x_k]}$  und mit  $\psi_k^{(r)}$  die Restriktion  $\psi_k|_{[x_k, x_{k+1}]}$ . Vervollständigen Sie die Routine `buildRHS`, die für gegebenes  $f$ ,  $h$  und  $N$  den Vektor für die rechte Seite aufstellt. (Eine Vorlage können sie von der Homepage laden.)

- (v) Schreiben sie ein Skript `femPlatte`, das für  $h = 1/2^{(1:8)}$  das LGS aufstellt und löst. Stellen Sie am Ende die Lösung graphisch dar. Schreiben sie dazu eine Funktion

```
val = eval_uh(x, sx, h, N),
```

welche für gegebenen Koeffizientenvektor  $x$ ,  $h$  und  $N$  die Lösung  $u_h$  an den Punkten  $s_x$  auswertet.

- (vi) Erweitern Sie Ihr Skript, sodass für jede Schrittweite der Fehler in der Maximumsnorm berechnet wird. Plotten Sie den Fehler in doppelt-logarithmischer Skala.
- (vii) Testen Sie Ihre Implementierung am Beispiel  $u(x) = \sin^2(\pi x)$  (Berechnen Sie die passende rechte Seite  $f$ ).

## Aufgabe 2 (Der Raum $H(\text{div}, \Omega)$ )

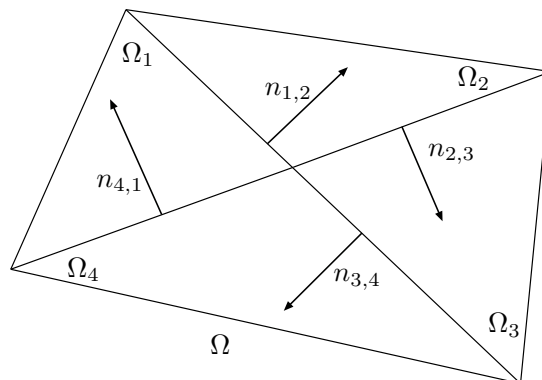
(5 Punkte)

Sei  $n \in \mathbb{N}$  und  $\Omega \subset \mathbb{R}^n$  ein polygonales Gebiet, das in Teilgebiete (z.B. Dreiecke)  $\Omega_i \subset \mathbb{R}^n$ ,  $i = 1, \dots, m$  geteilt ist mit

$$\bar{\Omega} = \bigcup_{i=1}^m \bar{\Omega}_i \quad \text{und} \quad \Omega_i \cap \Omega_j = \emptyset \quad (i \neq j).$$

Darüber hinaus seien  $\Omega_i$ ,  $i = 1, \dots, m$  reguläre Gebiete, in denen der Gauß'sche Integralsatz gilt.

Sei  $z : \bar{\Omega} \rightarrow \mathbb{R}^n$  eine vektorwertige Funktion, die mit  $z_j := z|_{\Omega_j}$  der Bedingung  $z_j \in (C^1(\Omega_j))^n$  genügt.



Zeigen Sie: Falls für jede innere Kante  $\Gamma_{j,k} := \bar{\Omega}_j \cap \bar{\Omega}_k$  mit der zugehörigen Normalen  $n_{j,k}$  (zeigt von  $\Omega_j$  nach  $\Omega_k$ ) gilt

$$z_j n_{j,k} = z_k n_{j,k} \quad \forall j, k = 1, \dots, m,$$

dann ist  $z \in H(\text{div}; \Omega) := \{w \in (L^2(\Omega))^n : \text{div } w \in L^2(\Omega)\}$ .