

# TMA4215 Numerisk matematikk

Høst 2010

## Løsningsforslag øving 3

### Oppgave 1

- a) Vi setter først opp kardinalpolynomene basert på henholdsvis 2, 3 og 4 punkt, der vi har valgt punktene  $x_0$  og  $x_1$  for førstegradspolynomene,  $x_0$ ,  $x_1$  og  $x_2$  for andregradspolynomene, osv. Her er det selvsagt mulig å velge andre punkt. Vi får

$$\ell_0^1(x) = \frac{x - 0.9}{-0.9} = \frac{0.9 - x}{0.9}$$

$$\ell_1^1(x) = \frac{x}{0.9}$$

$$\ell_0^2(x) = \frac{(x - 0.9)(x - 0.6)}{-0.9(-0.6)} = 1.852(x - 0.9)(x - 0.6)$$

$$\ell_1^2(x) = \frac{x(x - 0.6)}{0.9(0.9 - 0.6)} = 3.704x(x - 0.6)$$

$$\ell_2^2(x) = \frac{x(x - 0.9)}{0.6(0.6 - 0.9)} = -5.556x(x - 0.9)$$

$$\ell_0^3(x) = \frac{(x - 0.9)(x - 0.6)(x - 0.4)}{-0.9(-0.6)(-0.4)} = -4.630(x - 0.9)(x - 0.6)(x - 0.4)$$

$$\ell_1^3(x) = \frac{x(x - 0.6)(x - 0.4)}{0.9(0.9 - 0.6)(0.9 - 0.4)} = 7.407x(x - 0.6)(x - 0.4)$$

$$\ell_2^3(x) = \frac{x(x - 0.9)(x - 0.4)}{0.6(0.6 - 0.9)(0.6 - 0.4)} = -27.78x(x - 0.9)(x - 0.4)$$

$$\ell_3^3(x) = \frac{x(x - 0.9)(x - 0.6)}{0.4(0.4 - 0.9)(0.4 - 0.6)} = 25.00x(x - 0.9)(x - 0.6).$$

Vi finner da interpolasjonspolynomene som

$$p_1(x) = f(x_0)\ell_0^1(x) + f(x_1)\ell_1^1(x) = 0.420x + 1$$

$$p_2(x) = f(x_0)\ell_0^2(x) + f(x_1)\ell_1^2(x) + f(x_2)\ell_2^2(x) = -0.070x^2 + 0.484x + 1.00$$

$$\begin{aligned} p_3(x) &= f(x_0)\ell_0^3(x) + f(x_1)\ell_1^3(x) + f(x_2)\ell_2^3(x) + f(x_3)\ell_3^3(x) \\ &= 0.0210x^3 - 0.102x^2 + 0.495x + 1.00. \end{aligned}$$

Dette gir til slutt

$$|p_1(0.45) - f(0.45)| = 0.0150$$

$$|p_2(0.45) - f(0.45)| = 0.000639$$

$$|p_3(0.45) - f(0.45)| = 0.0000450.$$

- b) Bruk teorem 2, sek. 6.1. Siden interpolasjonspunktene og punktet 0.45 alle ligger mellom 0 og 0.9 har vi

$$|f(x) - p_n(x)| \leq \frac{\max_{\xi \in (0,0.9)} |f^{(n+1)}(\xi)|}{(n+1)!} \prod_{k=1}^n |x - x_k|$$

Dessuten er

$$f' = \frac{1}{2\sqrt{1+x}}, \quad f'' = -\frac{1}{4(\sqrt{x+1})^3}, \quad f''' = \frac{3}{8(\sqrt{1+x})^5}, \quad f^{(4)} = -\frac{15}{16(\sqrt{1+x})^7}$$

så  $\max_{\xi \in (0,0.9)} |f^{(n+1)}(\xi)| = |f^{(n+1)}(0)|$ . Vi ender med skrankene

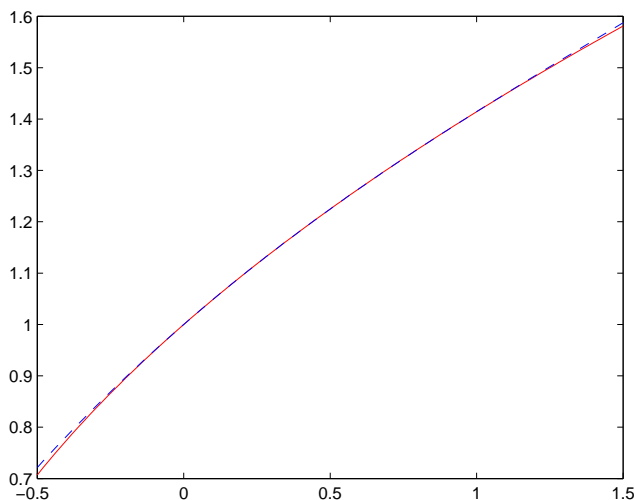
$$|f(0.45) - p_1(0.45)| \leq \frac{1/4}{2!} \cdot 0.45|0.45 - 0.9| = 2.53 \cdot 10^{-2}$$

$$|f(0.45) - p_2(0.45)| \leq \frac{3/8}{3!} \cdot 0.45|0.45 - 0.9||0.45 - 0.6| = 1.90 \cdot 10^{-3}$$

$$|f(0.45) - p_3(0.45)| \leq \frac{15/16}{4!} \cdot 0.45|0.45 - 0.9||0.45 - 0.6||0.45 - 0.4| = 5.93 \cdot 10^{-5}.$$

Vi ser at alle feilskrankene er ganske konservative i forhold til den eksakte feilen vi har beregnet i evalueringspunktet.

- c) I figur 1 ser vi at når vi utvider intervallet fra  $[0, 0.9]$  til  $[-0.5, 1.5]$  ser vi at jo lenger unna det opprinnelige intervallet vi kommer, jo større blir feilen.



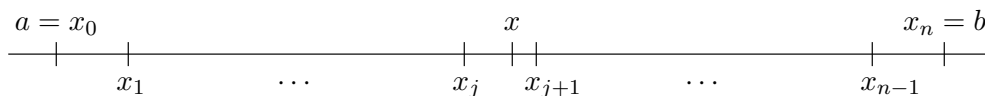
Figur 1: Heltrukken:  $f(x)$ , stiplet:  $p_3(x)$ .

## Oppgave 2

Ved å evaluere polynomene  $p$  og  $q$  i punktene gitt i tabellen ser vi at de gir samme resultat som tabellverdiene til  $f(x)$ .

Dette motsier ikke unikhetssteoremet (teorem 1, sek. 6.1) fordi det krever at graden på interpolasjonspolynomene maksimalt kan være lik antall datapunkter minus én. Vi ser at graden til  $q$  er for høy til å være dekket av teoremet.

## Oppgave 3



Figur 2: Illustrasjon av situasjonen i oppgave 3.

Vi deler opp produktet i tre deler og ser på hver av disse separat, som anbefalt i oppgaven. Først ser vi på tilfellene  $k < j$  og  $k > j + 1$ :

$$\begin{aligned} k < j &\Rightarrow |x - x_k| < x_{j+1} - x_k = (j + 1 - k)h, \\ k > j + 1 &\Rightarrow |x - x_k| < x_k - x_j = (k - j)h. \end{aligned}$$

La så  $0 \leq \alpha \leq 1$  være slik at  $\alpha h = x - x_j$ . Dette gir at  $|x - x_j||x - x_{j+1}| = \alpha(1 - \alpha)h^2$ . Siden  $\max_{0 \leq \alpha \leq 1} \alpha(1 - \alpha) = 1/4$ , så blir det tredje tilfellet

$$|x - x_j||x - x_{j+1}| \leq \frac{1}{4}h^2.$$

Dermed får vi

$$\begin{aligned} \prod_{k=0}^n |x - x_k| &\leq \frac{1}{4}h^2 \prod_{k=0}^{j-1} (j + 1 - k)h \cdot \prod_{k=j+2}^n (k - j)h \\ &= \frac{1}{4}h^{n+1} (j + 1)!(n - j)!. \end{aligned}$$

Denne har sin største verdi for  $j = 0$  eller  $j = n - 1$ , og vi får

$$\prod_{k=0}^n |x - x_k| = \left| \prod_{k=0}^n (x - x_k) \right| \leq \frac{1}{4}h^{n+1}n!.$$

Sammen med teorem 2, sek. 6.1 i K&C gir dette feilskranke (1) i oppgaveteksten (med  $M = \max_{x \in [a, b]} |f^{(n+1)}(x)|$ ).

#### Oppgave 4

- a) Vi bruker induksjon. Utsagnet er sant for  $m = 0$ . La oss anta det er sant for en  $m \geq 0$ . Da har vi

$$\begin{aligned} f^{(m+1)}(x) &= \frac{d}{dx} f^{(m)}(x) = \frac{d}{dx} 2^{\frac{m}{2}} e^x \sin\left(x + m\frac{\pi}{4}\right) \\ &= 2^{\frac{m}{2}} \left( e^x \left( \sin\left(x + m\frac{\pi}{4}\right) + \cos\left(x + m\frac{\pi}{4}\right) \right) \right) \end{aligned} \quad (1)$$

og ønsker å vise at

$$f^{(m+1)}(x) = 2^{\frac{m+1}{2}} \left( e^x \left( \sin\left(x + (m+1)\frac{\pi}{4}\right) \right) \right). \quad (2)$$

Vi omformer (2) til (1):

$$\begin{aligned} f^{(m+1)}(x) &= 2^{\frac{m+1}{2}} \left( e^x \left( \sin\left(x + m\frac{\pi}{4}\right) \cos\left(\frac{\pi}{4}\right) + \cos\left(x + m\frac{\pi}{4}\right) \sin\left(\frac{\pi}{4}\right) \right) \right) \\ &= 2^{\frac{m+1}{2}} \frac{1}{2} \sqrt{2} e^x \left( \sin\left(x + m\frac{\pi}{4}\right) + \cos\left(x + m\frac{\pi}{4}\right) \right). \end{aligned}$$

- b) Feilskranke (1) i oppgaveteksten gir oss

$$M = \max_{x \in [-3, 1]} \left| 2^{\frac{n+1}{2}} e^x \sin\left(x + \frac{(n+1)\pi}{4}\right) \right| \leq 2^{\frac{n+1}{2}} e.$$

Dette gir

$$|f(x) - p_n(x)| \leq \frac{1}{4(n+1)} 2^{\frac{n+1}{2}} e \left(\frac{4}{n}\right)^{n+1} = \frac{2^{\frac{5n+1}{2}} e}{(n+1)n^{n+1}} = s_n$$

og

$n$	8	9	10	11
$s_n$	$3.33 \cdot 10^{-3}$	$6.54 \cdot 10^{-4}$	$1.17 \cdot 10^{-4}$	$1.94 \cdot 10^{-5}$

så  $n = 11$  er nok.

#### Oppgave 5

Ved å bruke MATLAB finner vi estimatet  $93.705 \cdot 10^6 \text{ Sm}^3$  for 1990. Videre finner vi ved interpolasjonspolynommet at vi kan forvente  $71.671 \cdot 10^6 \text{ Sm}^3$  i 2009 og  $-1.272 \cdot 10^6 \text{ Sm}^3$  i 2010.