

Matematiska Institutionen  
KTH

**Lösningar till några övningar på inre produktrum inför lappskrivning nummer 4 linjär algebra, Sf1604, ht 07.**

1. Låt  $\bar{e}_1 = (2, 1, -1, -2)$  och  $\bar{e}_2 = (1, 1, 1, 1)$ . Då gäller att  $\bar{e}_1 \perp \bar{e}_2$ . Sätt  $\bar{f}_3 = (1, 1, 2, 1)$  och låt

$$\bar{e}_3 = \bar{f}_3 - \text{proj}_{\text{span}\{\bar{e}_1, \bar{e}_2\}}(\bar{f}_3).$$

Då

$$\begin{aligned} \text{proj}_{\text{span}\{\bar{e}_1, \bar{e}_2\}}(\bar{f}_3) &= \frac{\langle \bar{f}_3 | \bar{e}_1 \rangle}{\|\bar{e}_1\|^2} \bar{e}_1 + \frac{\langle \bar{f}_3 | \bar{e}_2 \rangle}{\|\bar{e}_2\|^2} \bar{e}_2 = \frac{-1}{10}(2, 1, -1, -2) + \frac{5}{4}(1, 1, 1, 1) = \\ &= \frac{1}{20}(21, 23, 27, 29), \end{aligned}$$

så får vi att

$$\bar{e}_3 = (1, 1, 2, 1) - \frac{1}{20}(21, 23, 27, 29) = \frac{1}{20}(-1, -3, 13, -9).$$

Vi hyfsar den sista vektorn genom att förlänga den med 20.

**Delsvar:** En ortogonal bas för  $L$  ges av vektorerna  $\bar{e}_1 = (2, 1, -1, -2)$ ,  $\bar{e}_2 = (1, 1, 1, 1)$  och  $\bar{e}_3 = (-1, -3, 13, -9)$ .

Vi projicerar nu vektorn  $\bar{u} = (1, 2, 1, 1)$  på  $L$  och använder därvid projektionslemmat.

$$\begin{aligned} \text{proj}_L(\bar{u}) &= \frac{\langle \bar{u} | \bar{e}_1 \rangle}{\|\bar{e}_1\|^2} \bar{e}_1 + \frac{\langle \bar{u} | \bar{e}_2 \rangle}{\|\bar{e}_2\|^2} \bar{e}_2 + \frac{\langle \bar{u} | \bar{e}_3 \rangle}{\|\bar{e}_3\|^2} \bar{e}_3 = \\ &= \frac{1}{10}(2, 1, -1, -2) + \frac{5}{4}(1, 1, 1, 1) + \frac{-3}{260}(-1, -3, 13, -9) = \\ &= \frac{26}{260}(2, 1, -1, -2) + \frac{325}{260}(1, 1, 1, 1) + \frac{-3}{260}(-1, -3, 13, -9) = \\ &= \frac{1}{260}(380, 360, 260, 300) = \frac{1}{13}(19, 18, 13, 15). \end{aligned}$$

För att komplettera med en fjärde vektor till en ortogonalbas för  $R^4$  väljer vi

$$\bar{e}_4 = \bar{u} - \text{proj}_L(\bar{u}) = (1, 2, 1, 1) - \frac{1}{13}(19, 18, 13, 15) = \frac{1}{13}(-6, 8, 0, -2).$$

Vi hyfsar denna vektor genom att multiplicera med 13.

**Svar:** En ortogonal bas för  $R^4$  med givna egenskaper ges av vektorerna  $\bar{e}_1 = (2, 1, -1, -2)$ ,  $\bar{e}_2 = (1, 1, 1, 1)$ ,  $\bar{e}_3 = (-1, -3, 13, -9)$  och  $\bar{e}_4 = (-6, 8, 0, -2)$ .

2. Vi fann att  $\langle (1, -1, 0) | (1, -1, 0) \rangle = 0$  vilket strider mot att  $\langle \bar{u} | \bar{u} \rangle \geq 0$  för alla vektorer  $\bar{u}$  och med likhet precis då  $\bar{u} = \bar{0}$ .
3. Med

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 2 & 1 \\ 1 & 2 \\ 2 & 2 \end{pmatrix}$$

ges minstakvadratlösningen av

$$\begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} = (A^T A)^{-1} A^T \begin{pmatrix} 1 \\ 2 \\ 2 \\ 3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 10 & 9 \\ 9 & 10 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} 1 & 2 & 1 & 2 \\ 1 & 1 & 2 & 2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ 2 \\ 2 \\ 3 \end{pmatrix} = \\ \frac{1}{19} \begin{pmatrix} 10 & -9 \\ -9 & 10 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 13 \\ 13 \end{pmatrix} = \frac{1}{19} \begin{pmatrix} 13 \\ 13 \end{pmatrix}.$$

4. Låt  $A$  vara som ovan. Den ortogonala projektionen ges då av

$$A(A^T A)^{-1} A^T \begin{pmatrix} 1 \\ 2 \\ 2 \\ 3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 2 & 1 \\ 1 & 2 \\ 2 & 2 \end{pmatrix} \frac{1}{19} \begin{pmatrix} 13 \\ 13 \end{pmatrix} = \frac{1}{19} \begin{pmatrix} 26 \\ 39 \\ 39 \\ 52 \end{pmatrix}$$

**Svar:**  $\frac{1}{19}(26, 39, 39, 52)$ .

**Kontroll:** Vektorn  $(1, 2, 2, 3) - \frac{1}{19}(26, 39, 39, 52) = \frac{1}{19}(-7, -1, -1, 5)$  skall vara vinkelrät mot  $(1, 2, 1, 2)$  och  $(1, 1, 2, 2)$ , vilket den ju är.

5. Låt

$$Q^T = \begin{pmatrix} 1/\sqrt{3} & a & a \\ 3/\sqrt{14} & -1/\sqrt{14} & b \\ -1/\sqrt{42} & c & -4/\sqrt{42} \end{pmatrix}$$

Raderna respektive kolonnerna bildar ON-baser för  $R^3$ . Vi använder först att raderna har längd 1. Detta ger

$$1 = \|\text{rad 1}\|^2 = \frac{1}{3} + a^2 + a^2.$$

$$1 = \|\text{rad 2}\|^2 = \frac{9}{14} + \frac{1}{14} + b^2.$$

$$1 = \|\text{rad 3}\|^2 = \frac{1}{42} + c^2 + \frac{16}{42}.$$

Dessa ekvationer ger att  $a$  antingen är  $1/\sqrt{3}$  eller  $-1/\sqrt{3}$ ,  $b$  antingen  $2/\sqrt{14}$  eller  $-2/\sqrt{14}$  samt  $c$  antingen  $5/\sqrt{42}$  eller  $-5/\sqrt{42}$ .

Vi prövar oss nu fram:

*Fall 1:*  $a = -1/\sqrt{3}$ . Då ger villkoret att rad 1 är ortogonal mot rad 2 att

$$0 = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{3}{\sqrt{14}} + \frac{-1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{-1}{\sqrt{14}} + \frac{-1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{b'}{\sqrt{14}}.$$

Detta ger  $b' = 4$  vilket ju strider mot att  $b$  antingen är  $2/\sqrt{14}$  eller  $-2/\sqrt{14}$ . Detta fall är således uteslutet.

*Fall 2:*  $a = 1/\sqrt{3}$ . Då rad 1 ortogonal mot både rad 2 och rad 3 måste

$$0 = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{3}{\sqrt{14}} + \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{-1}{\sqrt{14}} + \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{b'}{\sqrt{14}},$$

$$0 = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{-1}{\sqrt{42}} + \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{c'}{\sqrt{42}} + \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{-4}{\sqrt{42}},$$

som ger  $b' = -2$  och  $c' = 5$ .

Med  $a = 1/\sqrt{3}$ ,  $b = -2/\sqrt{14}$  och  $c = 5/\sqrt{42}$  kommer raderna i matrisen ha längd 1 och rad 1 vara ortogonal mot rad 2 och rad 3. Man ser också att med dessa värden på  $b$  och  $c$  så blir även rad 3 och rad 2 ortogonala. Raderna bildar alltså en ON-bas. Matrisen är en ortogonal matris  $Q^T$  eftersom det då gäller att  $Q^T Q = I$ .

6. Låt  ${}_f\mathbf{T}_e$  beteckna transitionsmatrisen för byte från standardbassystemet till bassystemet  $f$ . Då gäller att

$${}_f\mathbf{T}_e \begin{pmatrix} 1 \\ 2 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}, \quad {}_f\mathbf{T}_e \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}, \quad {}_f\mathbf{T}_e \begin{pmatrix} 2 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}$$

som vi kan sammanfatta i matrislikheten

$${}_f\mathbf{T}_e \begin{pmatrix} 1 & 1 & 2 \\ 2 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}.$$

De sökta basvektorerna är kolonner i matrisen  ${}_e\mathbf{T}_f$ . Då  ${}_e\mathbf{T}_f = {}_f\mathbf{T}_e^{-1}$  får vi

$${}_e\mathbf{T}_f = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 2 \\ 2 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}^{-1} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 2 \\ 2 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 1 & -1 \\ 0 & -1 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 2 \\ 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

**Svar:**  $\bar{f}_1 = (-1, 1, 1)$ ,  $\bar{f}_2 = (0, 1, 0)$  och  $\bar{f}_3 = (2, 0, 0)$ .

7. Lösningsrummet består av de  $(x_1, x_2, x_3, x_4)$  sådana att

$$(x_1, x_2, x_3, x_4) \perp (1, 1, -1, 1) \quad \text{och} \quad (x_1, x_2, x_3, x_4) \perp (1, 2, 1, -7).$$

Vektorerna  $(1, 1, -1, 1)$  och  $(1, 2, 1, -7)$  är då ortogonala mot alla vektorer i Lösningsrummet. Dessa vektorer spänner alltså upp ortogonala komplementet till Lösningsrummet.

**Svar:**  $\text{span}\{(1, 1, -1, 1), (1, 2, 1, -7)\}$ .

8. Låt  $P_2$  vara rummet av polynom av grad högst två och med den inre produkten

$$\langle p(t), q(t) \rangle = \int_0^1 p(t)q(t)dt.$$

Bestäm en ortogonal bas i  $P_2$ .

Låt  $p_1(t) = 1$  och sök ett polynom av grad 1 som är ortogonalt mot  $p_1(t)$ . Ansats  $p_2(t) = t - a$  och vi skall bestämma  $a$  så att

$$0 = \langle 1, t - a \rangle = \int_0^1 1 \cdot (t - a)dt = \left[ \frac{t^2}{2} - at \right]_0^1 = \frac{1}{2} - a.$$

Så vi låter

$$a = \frac{1}{2}.$$

Ett tredje polynom till ortogonalbasen får vi om vi låter

$$p_3(t) = t^2 - \text{Proj}_{\text{span}\{1, t - \frac{1}{2}\}}(t^2) = t^2 - \frac{\langle 1, t^2 \rangle}{\langle 1, 1 \rangle} 1 - \frac{\langle t - \frac{1}{2}, t^2 \rangle}{\langle t - \frac{1}{2}, t - \frac{1}{2} \rangle} (t - \frac{1}{2}).$$

Fyra inre produkter att beräkna:

$$\langle 1, 1 \rangle = \int_0^1 1 \cdot 1 dt = 1.$$

$$\langle 1, t^2 \rangle = \int_0^1 1 \cdot t^2 dt = \frac{1}{3}.$$

$$\begin{aligned}\langle t - \frac{1}{2}, t - \frac{1}{2} \rangle &= \int_0^1 (t - \frac{1}{2}) \cdot (t - \frac{1}{2}) dt = \left[ \frac{(t - \frac{1}{2})^3}{3} \right]_0^1 = \frac{1}{12}. \\ \langle t - \frac{1}{2}, t^2 \rangle &= \int_0^1 (t - \frac{1}{2}) \cdot t^2 dt = \int_0^1 t^3 - \frac{t^2}{2} dt = \left[ \frac{t^4}{4} - \frac{t^3}{6} \right]_0^1 = \frac{1}{12}\end{aligned}$$

Insättning i uttrycket för  $p_3(t)$  ger nu polynomet

$$p_3(t) = t^2 - \frac{1}{3} - (t - \frac{1}{2}) = t^2 - t + \frac{1}{6}.$$

**Svar:** Till exempel  $p_1(t) = 1$ ,  $p_2(t) = t - \frac{1}{2}$  och  $p_3(t) = t^2 - t + \frac{1}{6}$ .