DesignMat Uge 12
Basis, koordinater

Preben Alsholm

Forår 2010

Basis, Koordinater mht. basis

- $a_1, a_2, \ldots, a_n$ er en *basis* for V hvis det er lineært uafhængigt og $V = span\,(a_1, a_2, \ldots, a_n)$.

Basis, Koordinater mht. basis

- $a_1, a_2, \ldots, a_n$ er en *basis* for V hvis det er lineært uafhængigt og $V = span\,(a_1, a_2, \ldots, a_n)$.
- Hvis $a_1, a_2, \ldots, a_n$ er en basis for V, så kan ethvert $v \in V$ skrives *entydigt* som en linearkombination $v = x_1 a_1 + x_2 a_2 + \ldots + x_n a_n$.

Basis, Koordinater mht. basis

- $a_1, a_2, \ldots, a_n$ er en *basis* for V hvis det er lineært uafhængigt og $V = span\,(a_1, a_2, \ldots, a_n)$.
- Hvis $a_1, a_2, \ldots, a_n$ er en basis for V, så kan ethvert $v \in V$ skrives *entydigt* som en linearkombination $v = x_1 a_1 + x_2 a_2 + \ldots + x_n a_n$.
- Bevis for entydighed: Hvis $v = x_1 a_1 + x_2 a_2 + \ldots + x_n a_n$ og $v = y_1 a_1 + y_2 a_2 + \ldots + y_n a_n$ så har vi

$$(x_1 - y_1)\,a_1 + (x_2 - y_2)\,a_2 + \cdots + (x_n - y_n)\,a_n = v - v = 0$$

Basis, Koordinater mht. basis

- $a_1, a_2, \ldots, a_n$ er en *basis* for V hvis det er lineært uafhængigt og $V = span\,(a_1, a_2, \ldots, a_n)$.
- Hvis $a_1, a_2, \ldots, a_n$ er en basis for V, så kan ethvert $v \in V$ skrives *entydigt* som en linearkombination $v = x_1 a_1 + x_2 a_2 + \ldots + x_n a_n$.
- Bevis for entydighed: Hvis $v = x_1 a_1 + x_2 a_2 + \ldots + x_n a_n$ og $v = y_1 a_1 + y_2 a_2 + \ldots + y_n a_n$ så har vi

$$(x_1 - y_1)\,a_1 + (x_2 - y_2)\,a_2 + \cdots + (x_n - y_n)\,a_n = v - v = 0$$

- Men da $a_1, a_2, \ldots, a_n$ er lineært uafhængige, gælder $x_1 - y_1 = x_2 - y_2 = \cdots = x_n - y_n = 0$.

Basis, Koordinater mht. basis

- $a_1, a_2, \ldots, a_n$ er en *basis* for V hvis det er lineært uafhængigt og $V = span\,(a_1, a_2, \ldots, a_n)$.
- Hvis $a_1, a_2, \ldots, a_n$ er en basis for V, så kan ethvert $v \in V$ skrives *entydigt* som en linearkombination $v = x_1 a_1 + x_2 a_2 + \ldots + x_n a_n$.
- Bevis for entydighed: Hvis $v = x_1 a_1 + x_2 a_2 + \ldots + x_n a_n$ og $v = y_1 a_1 + y_2 a_2 + \ldots + y_n a_n$ så har vi

$$(x_1 - y_1)\,a_1 + (x_2 - y_2)\,a_2 + \cdots + (x_n - y_n)\,a_n = v - v = 0$$

- Men da $a_1, a_2, \ldots, a_n$ er lineært uafhængige, gælder $x_1 - y_1 = x_2 - y_2 = \cdots = x_n - y_n = 0$.
- Talsættet $(x_1, x_2, \ldots, x_n)$ kaldes *koordinaterne* for v mht. basen $a_1, a_2, \ldots, a_n$.

Koordinatfunktionen

- Vi vil bruge betegnelsen $K_a(v)$ for koordinaterne af vektoren v mht. basen med navn a. Oftest skrives $K_a(v)$ som en søjlevektor:

$$K_a(v) = \begin{bmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix}$$

I Jens Eisings bog bruges dobbeltunderstregning.

Koordinatfunktionen

- Vi vil bruge betegnelsen $K_a(v)$ for koordinaterne af vektoren v mht. basen med navn a. Oftest skrives $K_a(v)$ som en søjlevektor:

$$K_a(v) = \begin{bmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix}$$

  I Jens Eisings bog bruges dobbeltunderstregning.
- Koordinatfunktionen K_a, der til en vektor v knytter dennes koordinater mht. basis a, er *lineær*, dvs. for alle $u, v \in V$ og alle tal s gælder

$$\begin{aligned} K_a(u+v) &= K_a(u) + K_a(v) \\ K_a(sv) &= sK_a(v) \end{aligned}$$

Basis og Dimension I

- Hvis V har en basis bestående af n vektorer og $v_1, v_2, \ldots, v_m$ er m vektorer, hvor $m > n$, så er $v_1, v_2, \ldots, v_m$ lineært afhængige.

Basis og Dimension I

- Hvis V har en basis bestående af n vektorer og $v_1, v_2, \ldots, v_m$ er m vektorer, hvor $m > n$, så er $v_1, v_2, \ldots, v_m$ lineært afhængige.
- Bevis. Lad $a_1, a_2, \ldots, a_n$ være en basis for V. Så kan $v_1, v_2, \ldots, v_m$ hver især udtrykkes ved $a_1, a_2, \ldots, a_n$.

Basis og Dimension I

- Hvis V har en basis bestående af n vektorer og $v_1, v_2, \ldots, v_m$ er m vektorer, hvor $m > n$, så er $v_1, v_2, \ldots, v_m$ lineært afhængige.
- Bevis. Lad $a_1, a_2, \ldots, a_n$ være en basis for V. Så kan $v_1, v_2, \ldots, v_m$ hver især udtrykkes ved $a_1, a_2, \ldots, a_n$.
- Vi har altså tal v_{ij} så for ethvert $i = 1, 2, \ldots, m$ gælder $v_i = \sum_{j=1}^{n} v_{ij} a_j$.

Basis og Dimension I

- Hvis V har en basis bestående af n vektorer og $v_1, v_2, \ldots, v_m$ er m vektorer, hvor $m > n$, så er $v_1, v_2, \ldots, v_m$ lineært afhængige.
- Bevis. Lad $a_1, a_2, \ldots, a_n$ være en basis for V. Så kan $v_1, v_2, \ldots, v_m$ hver især udtrykkes ved $a_1, a_2, \ldots, a_n$.
- Vi har altså tal v_{ij} så for ethvert $i = 1, 2, \ldots, m$ gælder $v_i = \sum_{j=1}^{n} v_{ij} a_j$.
- Antag, at $\sum_{i=1}^{m} c_i v_i = 0$. Så fås $\sum_{i=1}^{m} c_i \left(\sum_{j=1}^{n} v_{ij} a_j \right) = 0$.

Basis og Dimension I

- Hvis V har en basis bestående af n vektorer og $v_1, v_2, \ldots, v_m$ er m vektorer, hvor $m > n$, så er $v_1, v_2, \ldots, v_m$ lineært afhængige.
- Bevis. Lad $a_1, a_2, \ldots, a_n$ være en basis for V. Så kan $v_1, v_2, \ldots, v_m$ hver især udtrykkes ved $a_1, a_2, \ldots, a_n$.
- Vi har altså tal v_{ij} så for ethvert $i = 1, 2, \ldots, m$ gælder $v_i = \sum_{j=1}^{n} v_{ij} a_j$.
- Antag, at $\sum_{i=1}^{m} c_i v_i = 0$. Så fås $\sum_{i=1}^{m} c_i \left(\sum_{j=1}^{n} v_{ij} a_j\right) = 0$.
- Omordning giver $\sum_{j=1}^{n} \left(\sum_{i=1}^{m} c_i v_{ij}\right) a_j = 0$.

Basis og Dimension I

- Hvis V har en basis bestående af n vektorer og $v_1, v_2, \dots, v_m$ er m vektorer, hvor $m > n$, så er $v_1, v_2, \dots, v_m$ lineært afhængige.
- Bevis. Lad $a_1, a_2, \dots, a_n$ være en basis for V. Så kan $v_1, v_2, \dots, v_m$ hver især udtrykkes ved $a_1, a_2, \dots, a_n$.
- Vi har altså tal v_{ij} så for ethvert $i = 1, 2, \dots, m$ gælder $v_i = \sum_{j=1}^{n} v_{ij} a_j$.
- Antag, at $\sum_{i=1}^{m} c_i v_i = 0$. Så fås $\sum_{i=1}^{m} c_i \left(\sum_{j=1}^{n} v_{ij} a_j \right) = 0$.
- Omordning giver $\sum_{j=1}^{n} \left(\sum_{i=1}^{m} c_i v_{ij} \right) a_j = 0$.
- Men $a_1, a_2, \dots, a_n$ er lineært uafhængige, så $\sum_{i=1}^{m} c_i v_{ij} = 0$ for alle $j = 1, 2, \dots, n$.

Basis og Dimension I

- Hvis V har en basis bestående af n vektorer og $v_1, v_2, \ldots, v_m$ er m vektorer, hvor $m > n$, så er $v_1, v_2, \ldots, v_m$ lineært afhængige.
- Bevis. Lad $a_1, a_2, \ldots, a_n$ være en basis for V. Så kan $v_1, v_2, \ldots, v_m$ hver især udtrykkes ved $a_1, a_2, \ldots, a_n$.
- Vi har altså tal v_{ij} så for ethvert $i = 1, 2, \ldots, m$ gælder $v_i = \sum_{j=1}^n v_{ij} a_j$.
- Antag, at $\sum_{i=1}^m c_i v_i = 0$. Så fås $\sum_{i=1}^m c_i \left(\sum_{j=1}^n v_{ij} a_j \right) = 0$.
- Omordning giver $\sum_{j=1}^n \left(\sum_{i=1}^m c_i v_{ij} \right) a_j = 0$.
- Men $a_1, a_2, \ldots, a_n$ er lineært uafhængige, så $\sum_{i=1}^m c_i v_{ij} = 0$ for alle $j = 1, 2, \ldots, n$.
- Dette system af homogene ligninger har flere ubekendte end ligninger. Der er derfor ikke-trivielle løsninger, så $v_1, v_2, \ldots, v_m$ er lineært afhængige.

Basis og Dimension II

- Alle baser for V har altså samme antal vektorer. Dette tal kaldes *dimensionen* af V og betegnes med $\dim V$.

Basis og Dimension II

- Alle baser for V har altså samme antal vektorer. Dette tal kaldes *dimensionen* af V og betegnes med $\dim V$.
- Den *kanoniske* basis for $\mathbb{R}^n$: $e_1 = (1, 0, 0, \ldots, 0)$, $e_2 = (0, 1, 0, \ldots, 0)$, $\ldots$, $e_n = (0, 0, 0, \ldots, 1)$. $\dim \mathbb{R}^n = n$.

Basis og Dimension II

- Alle baser for V har altså samme antal vektorer. Dette tal kaldes *dimensionen* af V og betegnes med $\dim V$.
- Den *kanoniske* basis for $\mathbb{R}^n$: $e_1 = (1, 0, 0, \ldots, 0)$, $e_2 = (0, 1, 0, \ldots, 0)$, $\ldots$, $e_n = (0, 0, 0, \ldots, 1)$. $\dim \mathbb{R}^n = n$.
- *Monomiebasen* for $P_n(\mathbb{R})$: Polynomierne $1, x, x^2, \ldots, x^n$. $\dim P_n(\mathbb{R}) = n + 1$.

Basis og Dimension II

- Alle baser for V har altså samme antal vektorer. Dette tal kaldes *dimensionen* af V og betegnes med $\dim V$.
- Den *kanoniske* basis for $\mathbb{R}^n$: $e_1 = (1, 0, 0, \dots, 0)$, $e_2 = (0, 1, 0, \dots, 0)$, $\dots$, $e_n = (0, 0, 0, \dots, 1)$. $\dim \mathbb{R}^n = n$.
- *Monomiebasen* for $P_n(\mathbb{R})$: Polynomierne $1, x, x^2, \dots, x^n$. $\dim P_n(\mathbb{R}) = n + 1$.
- Supplering. Ethvert lineært uafhængigt system af vektorer kan udvides til en basis for V.

Basis og Dimension II

- Alle baser for V har altså samme antal vektorer. Dette tal kaldes *dimensionen* af V og betegnes med $\dim V$.
- Den *kanoniske* basis for $\mathbb{R}^n$: $e_1 = (1, 0, 0, \ldots, 0)$, $e_2 = (0, 1, 0, \ldots, 0)$, $\ldots$, $e_n = (0, 0, 0, \ldots, 1)$. $\dim \mathbb{R}^n = n$.
- *Monomiebasen* for $P_n(\mathbb{R})$: Polynomierne $1, x, x^2, \ldots, x^n$. $\dim P_n(\mathbb{R}) = n + 1$.
- Supplering. Ethvert lineært uafhængigt system af vektorer kan udvides til en basis for V.
- Udtynding. Lad $\mathit{span}(a_1, a_2, \ldots, a_p) = V$. Så kan der blandt $a_1, a_2, \ldots, a_p$ udtages en basis for V.

Regning med koordinater

- Lad $a_1, a_2, \ldots, a_n$ være en basis for V. Lad $v_1, v_2, \ldots, v_p$ være vektorer i V.

Regning med koordinater

- Lad $a_1, a_2, \ldots, a_n$ være en basis for V. Lad $v_1, v_2, \ldots, v_p$ være vektorer i V.
- Så gælder: $b \in span\left(v_1, v_2, \ldots, v_p\right) \iff K_a\left(b\right) \in span\left(K_a\left(v_1\right), K_a\left(v_2\right), \ldots, K_a\left(v_p\right)\right)$.

Regning med koordinater

- Lad $a_1, a_2, \ldots, a_n$ være en basis for V. Lad $v_1, v_2, \ldots, v_p$ være vektorer i V.
- Så gælder: $b \in span\left(v_1, v_2, \ldots, v_p\right) \Longleftrightarrow K_a\left(b\right) \in span\left(K_a\left(v_1\right), K_a\left(v_2\right), \ldots, K_a\left(v_p\right)\right)$.
- Bevis: $b \in span\left(v_1, v_2, \ldots, v_p\right)$ netop hvis der findes tal $x_1, x_2, \ldots, x_p$ så $b = x_1 v_1 + \ldots + x_p v_p$.

Regning med koordinater

- Lad $a_1, a_2, \ldots, a_n$ være en basis for V. Lad $v_1, v_2, \ldots, v_p$ være vektorer i V.
- Så gælder: $b \in span\left(v_1, v_2, \ldots, v_p\right) \iff K_a\left(b\right) \in span\left(K_a\left(v_1\right), K_a\left(v_2\right), \ldots, K_a\left(v_p\right)\right)$.
- Bevis: $b \in span\left(v_1, v_2, \ldots, v_p\right)$ netop hvis der findes tal $x_1, x_2, \ldots, x_p$ så $b = x_1 v_1 + \ldots + x_p v_p$.
- Dette er ensbetydende med $K_a\left(b\right) = K_a\left(x_1 v_1 + \ldots + x_p v_p\right) = x_1 K_a\left(v_1\right) + \ldots + x_p K_a\left(v_p\right) \in span\left(K_a\left(v_1\right), K_a\left(v_2\right), \ldots, K_a\left(v_p\right)\right)$.

Regning med koordinater

- Lad $a_1, a_2, \ldots, a_n$ være en basis for V. Lad $v_1, v_2, \ldots, v_p$ være vektorer i V.
- Så gælder: $b \in span\left(v_1, v_2, \ldots, v_p\right) \iff K_a\left(b\right) \in span\left(K_a\left(v_1\right), K_a\left(v_2\right), \ldots, K_a\left(v_p\right)\right)$.
- Bevis: $b \in span\left(v_1, v_2, \ldots, v_p\right)$ netop hvis der findes tal $x_1, x_2, \ldots, x_p$ så $b = x_1 v_1 + \ldots + x_p v_p$.
- Dette er ensbetydende med $K_a\left(b\right) = K_a\left(x_1 v_1 + \ldots + x_p v_p\right) = x_1 K_a\left(v_1\right) + \ldots + x_p K_a\left(v_p\right) \in span\left(K_a\left(v_1\right), K_a\left(v_2\right), \ldots, K_a\left(v_p\right)\right)$.
- $v_1, v_2, \ldots, v_p$ lineært uafhængige $\iff K_a\left(v_1\right), K_a\left(v_2\right), \ldots, K_a\left(v_p\right)$ lineært uafhængige.

Regning med koordinater

- Lad $a_1, a_2, \ldots, a_n$ være en basis for V. Lad $v_1, v_2, \ldots, v_p$ være vektorer i V.
- Så gælder: $b \in span\left(v_1, v_2, \ldots, v_p\right) \iff K_a\left(b\right) \in span\left(K_a\left(v_1\right), K_a\left(v_2\right), \ldots, K_a\left(v_p\right)\right)$.
- Bevis: $b \in span\left(v_1, v_2, \ldots, v_p\right)$ netop hvis der findes tal $x_1, x_2, \ldots, x_p$ så $b = x_1 v_1 + \ldots + x_p v_p$.
- Dette er ensbetydende med $K_a\left(b\right) = K_a\left(x_1 v_1 + \ldots + x_p v_p\right) = x_1 K_a\left(v_1\right) + \ldots + x_p K_a\left(v_p\right) \in span\left(K_a\left(v_1\right), K_a\left(v_2\right), \ldots, K_a\left(v_p\right)\right)$.
- $v_1, v_2, \ldots, v_p$ lineært uafhængige $\iff K_a\left(v_1\right), K_a\left(v_2\right), \ldots, K_a\left(v_p\right)$ lineært uafhængige.
- Bevis: $x_1 v_1 + \ldots + x_p v_p = 0 \Leftrightarrow K_a\left(x_1 v_1 + \ldots + x_p v_p\right) = x_1 K_a\left(v_1\right) + \ldots + x_p K_a\left(v_p\right) = 0$.

Koordinatmatrix

- Lad $a_1, a_2, \ldots, a_n$ være en basis for V. Lad $v_1, v_2, \ldots, v_p$ være vektorer i V.

Koordinatmatrix

- Lad $a_1, a_2, \ldots, a_n$ være en basis for V. Lad $v_1, v_2, \ldots, v_p$ være vektorer i V.
- Matricen ${}_aV = \begin{bmatrix} K_a(v_1) & K_a(v_2) & \ldots & K_a(v_p) \end{bmatrix}$, kaldes koordinatmatricen for $v_1, v_2, \ldots, v_p$ mht. basis a.

Koordinatmatrix

- Lad $a_1, a_2, \ldots, a_n$ være en basis for V. Lad $v_1, v_2, \ldots, v_p$ være vektorer i V.
- Matricen ${}_aV = \begin{bmatrix} K_a(v_1) & K_a(v_2) & \ldots & K_a(v_p) \end{bmatrix}$, kaldes koordinatmatricen for $v_1, v_2, \ldots, v_p$ mht. basis a.
- $b \in span(v_1, v_2, \ldots, v_p)$ hvis og kun hvis ligningssystemet ${}_aVx = K_a(b)$ har en løsning.

Koordinatmatrix

- Lad $a_1, a_2, \ldots, a_n$ være en basis for V. Lad $v_1, v_2, \ldots, v_p$ være vektorer i V.
- Matricen ${}_aV = [K_a(v_1) \quad K_a(v_2) \quad \ldots \quad K_a(v_p)]$, kaldes koordinatmatricen for $v_1, v_2, \ldots, v_p$ mht. basis a.
- $b \in span(v_1, v_2, \ldots, v_p)$ hvis og kun hvis ligningssystemet ${}_aVx = K_a(b)$ har en løsning.
- $v_1, v_2, \ldots, v_p$ er lineært uafhængige netop hvis ${}_aVx = 0$ kun har nulløsningen.

Koordinatmatrix

- Lad $a_1, a_2, \ldots, a_n$ være en basis for V. Lad $v_1, v_2, \ldots, v_p$ være vektorer i V.
- Matricen ${}_aV = \begin{bmatrix} K_a(v_1) & K_a(v_2) & \ldots & K_a(v_p) \end{bmatrix}$, kaldes koordinatmatricen for $v_1, v_2, \ldots, v_p$ mht. basis a.
- $b \in span(v_1, v_2, \ldots, v_p)$ hvis og kun hvis ligningssystemet ${}_aVx = K_a(b)$ har en løsning.
- $v_1, v_2, \ldots, v_p$ er lineært uafhængige netop hvis ${}_aVx = 0$ kun har nulløsningen.
- Lad $\dim V = n$. Vektorerne $b_1, b_2, \ldots, b_n$ udgør en basis for V netop hvis koordinatmatricen ${}_aB = \begin{bmatrix} K_a(b_1) & \ldots & K_a(b_n) \end{bmatrix}$ er regulær.

Koordinatmatrix

- Lad $a_1, a_2, \ldots, a_n$ være en basis for V. Lad $v_1, v_2, \ldots, v_p$ være vektorer i V.
- Matricen ${}_aV = \left[K_a(v_1) \quad K_a(v_2) \quad \ldots \quad K_a(v_p)\right]$, kaldes koordinatmatricen for $v_1, v_2, \ldots, v_p$ mht. basis a.
- $b \in span(v_1, v_2, \ldots, v_p)$ hvis og kun hvis ligningssystemet ${}_aVx = K_a(b)$ har en løsning.
- $v_1, v_2, \ldots, v_p$ er lineært uafhængige netop hvis ${}_aVx = 0$ kun har nulløsningen.
- Lad $\dim V = n$. Vektorerne $b_1, b_2, \ldots, b_n$ udgør en basis for V netop hvis koordinatmatricen ${}_aB = \left[K_a(b_1) \quad \ldots \quad K_a(b_n)\right]$ er regulær.
- $\dim span(v_1, v_2, \ldots, v_p) = \rho({}_aV)$.

Dimension af række- og søjlerum

- Efter en rækkeoperation på en matrix har det nye søjlerum samme *dimension* som det gamle.

Dimension af række- og søjlerum

- Efter en rækkeoperation på en matrix har det nye søjlerum samme *dimension* som det gamle.
- Efter en rækkeoperation er selve rækkerummet uændret, ikke kun dimensionen.

Dimension af række- og søjlerum

- Efter en rækkeoperation på en matrix har det nye søjlerum samme *dimension* som det gamle.
- Efter en rækkeoperation er selve rækkerummet uændret, ikke kun dimensionen.
- Ved rækkereduktion til echelonform ses derfor, at rækkerum og søjlerum har samme dimension, nemlig rangen af matricen.

Dimension af række- og søjlerum

- Efter en rækkeoperation på en matrix har det nye søjlerum samme *dimension* som det gamle.
- Efter en rækkeoperation er selve rækkerummet uændret, ikke kun dimensionen.
- Ved rækkereduktion til echelonform ses derfor, at rækkerum og søjlerum har samme dimension, nemlig rangen af matricen.
- Heraf følger, at $\rho\left(A^T\right) = \rho\left(A\right)$ (som ellers bevises vha. LU-faktorisering i bogen).