Diskrete Mathematik | DMI

Zusammenfassung

INHALTSVERZEICHNIS

1. AUSSAGENLOGIK

1.1. GLOSSAR

Begriff	*Bedeutung*
Aussage	– Feststellender Satz, dem eindeutig «wahr» oder «falsch» zugeordnet werden kann – Symbole wie $A, B, C...$ werden dafür verwendet
Aussagenlogische Form	– Kombination von Aussagen, verknüpft durch Junktoren
Aussageform	– Aussagen verknüpft mit Variablen
Normalform	– Standartisierte Aussagenlogische Formen (Formeln)
Negationsnormalform	– ¬ steht ausschliesslich direkt vor Aussagen oder Konstanten
Verallgemeinerte Disjunktion	– Einzelne Aussage oder Negation – wahr oder falsch – Disjunktion $A \vee B$, falls A und B selbst verallgemeinerte Disjunktionen sind
Verallgemeinerte Konjunktion	– Einzelne Aussage oder Negation – wahr oder falsch – Konjunktion $A \wedge B$, falls A und B selbst verallgemeinerte Konjunktionen sind
Disjunktive Normalform	– Disjunktion von (oder eine einzelne) verallgemeinerten Konjunktionen
Konjunktive Normalform	– Konjunktion von (oder eine einzelne) verallgemeinerten Disjunktionen
Kontradiktion	– Immer falsch
Tautologie	– Immer wahr
Junktoren (/Konnektoren)	– ¬ Negation – ∧ Konjunktion – ∨ Disjunktion (einschliessliches oder!) – ⇒ Implikation – ⇔ Äquivalenz
Abtrennungsregel	– $(A \wedge (A \Rightarrow B)) \Rightarrow B$
Bindungsstärke	– ¬ vor ∧, ∨ vor ⇒, ⇔

1.2. FORMELN

$(A \Rightarrow B) \Leftrightarrow (\neg B \Rightarrow \neg A)$
$(A \Rightarrow B) \Leftrightarrow (\neg A \vee B)$
$(A \Leftrightarrow B) \Leftrightarrow (A \wedge B) \vee (\neg A \wedge \neg B)$
$\neg(A \Rightarrow B) \Leftrightarrow A \wedge \neg B$
$A \vee (\neg A \wedge B) \Leftrightarrow A \vee B$
Abtrennungsregel: $A \wedge (A \Rightarrow B) \Rightarrow B$

1.3. RECHENREGELN

Begriff	*Bedeutung*
Kommutativität	– $(A \wedge B) \Leftrightarrow (B \wedge A)$ – $(A \vee B) \Leftrightarrow (B \vee A)$
Assoziativität	– $A \wedge (B \wedge C) \Leftrightarrow (A \wedge B) \wedge C$ – $A \vee (B \vee C) \Leftrightarrow (A \vee B) \vee C$
Distributivität	– $A \wedge (B \vee C) \Leftrightarrow (A \wedge B) \vee (A \wedge C)$ – $A \vee (B \wedge C) \Leftrightarrow (A \vee B) \wedge (A \vee C)$
Absorption	– $A \vee (A \wedge B) \Leftrightarrow A$ – $A \wedge (A \vee B) \Leftrightarrow A$
Idempotenz	– $A \vee A = A$ – $A \wedge A = A$
Doppelte Negation	– $\neg(\neg A) \Leftrightarrow \neg\neg A \Leftrightarrow A$
Konstanten	– W=wahr – F=falsch
???	– $(A \Rightarrow B \Rightarrow C) \Leftrightarrow (A \Rightarrow B) \wedge (B \Rightarrow C)$
de Morgan	– $\neg(A \wedge B) \Leftrightarrow \neg A \vee \neg B$ – $\neg(A \vee B) \Leftrightarrow \neg A \wedge \neg B$

2. PRÄDIKATENLOGIK

2.1. GLOSSAR

Begriff	*Bedeutung*
Subjekt	– «Konkretes Ding» / Stellvertreter einer Variable
Prädikat	– «Eigenschaft», zB «ist eine Primzahl» – Prädikate werden oft wie Funktionen geschrieben. Ist P ein Prädikat, dann bedeutet $P(x)$, dass x das Prädikat erfüllt. $P(x)$ ist eine Aussageform.
Quantor	– $\forall$ Allquantor (Für alle) – $\exists$ Existenzquantor (Es existiert)

3. BEWEISEN

TODO: MEHR BEWEISE

3.1. INDUKTION

$A(1) \wedge (A(n) \Rightarrow A(n+1)) \Rightarrow A(m), m \in \mathbb{N}$

Beispiel: $2 | (6^n)$

1) Verankerung: $n = 0$
   – $2 | (6^0)$
2) Induktionsschritt $n \to n+1$
   – $2 | (6^{n+1})$

   a) Induktionsannahme: $2 | (6^n)$
   b) Behauptung: $2 | (6^{n+1})$

c) Beweis: Verwendung der Annahme, um Richtigkeit der Behauptung zu zeigen

3.1.1. Techniken

1) Direkter Beweis $f(n) = f_1(n) = f_2(n) = \ldots = f_m(n) = g(n)$
2) Dfferenz gleich Null $f(n) - g(n) = 0 \Rightarrow f(n) = g(n)$
3) Äquivalenzumformung
4) Dritte Grösse (vereinfachen) $g(n) = h(n) = f(n)$

4. DIREKTE, ITERATIVE UND REKURSIVE BERECHNUNGEN

4.1. GLOSSAR

Begriff	*Bedeutung*
Folge	– Nummerierte Liste von Objekten (Folgegliedern)
Reihe	– Summe von Folgegliedern einer Zahlenfolge

5. MENGEN

5.1. GLOSSAR

Begriff	*Bedeutung*
Aufzählend	– $\{1, 2, 3\}$
Beschreibend	– $\{x \in \mathbb{N}^+ \mid x < 4\}$
Mächtigkeit	– Anzahl Elemente einer Menge – $\lvert M \rvert$
Potenzmenge	– Menge aller Teilmengen einer Menge – $P(M)$ – $\lvert P(M) \rvert = 2^{\lvert M \rvert}$
Kartesisches Produkt	– $A \times B = \{(a, b) \mid a \in A, b \in B\}$

5.2. RECHENREGELN

Für die Mengen A und B in der Obermenge M gelten die folgenden Aussagen:

$\overline{\overline{A}} = A$
$A \cap \overline{A} = \varnothing$
$A \cup \overline{A} = M$
$\overline{A \cap B} = \overline{A} \cup \overline{B}$
$\overline{A \cup A} = \overline{A} \cap \overline{B}$

6. FORMELN, ABBILDUNGEN, RELATIONEN

6.1. GLOSSAR

Begriff	*Bedeutung*
Funktion/Abbildung	– Zuordnung, die jedem Elemend der Definitionsmenge D genau ein Element einer Zielmenge Z zuordnet. – Injektive Relation – $f : D \to Z$ – Abbildungen mit mehreren Argumenten: $f : A \times B \to Z$, $f(a,b) = y$
Graph	– Menge von Paaren $(x, f(x))$ – $G \in D \times Z$
Relation	– Teilmenge des Kartesischen Produktes mehrerer Mengen – $A = \prod_{i=1}^{n} A_i, \lvert A_i \rvert = n_i \Rightarrow \lvert A \rvert = \prod_{i=1}^{n} n_i$ – Kleiner-Relation: $R_< = \{(a,b) \mid a \in A, b \in B, a < b\}$ – Gleich-Relation: $R_= = \{(a,b) \mid a \in A, b \in B, a = b\}$ – Kleiner-Gleich-Relation: $R_\leq = R_= \cup R_< = \{(a,b) \mid a \in A, b \in B, a \leq b\}$
Surjektiv	– Alle Elemente der Definitions- und Zielmenge sind «verknüpft» / jedes Element der Bildmenge kommt als Bild vor
Injektiv	– Alle Inputs haben eindeutige Outputs – $a_1 \neq a_2 \Rightarrow f(a_1) \neq f(a_2)$
Bijektiv	– Surjektiv und Injektiv
Reflexiv	– Alle Elemente von A stehen zu sich selbst in Beziehung – $a \in A \Rightarrow (a,a) \in R$ – $A \Leftrightarrow A$
Symmetrisch	– $(a,b) \in R \land (b,a) \in R$ – $(A \Leftrightarrow B) \Leftrightarrow (B \Leftrightarrow A)$
Transitiv	– $(a,b) \in R \land (b,c) \in R \Rightarrow (a,c) \in R$ – $(A \Leftrightarrow B) \land (B \Leftrightarrow C) \Rightarrow (A \Leftrightarrow C)$
Äquivalenzrelation	– reflexiv, symmetrisch und transitiv – $\Leftrightarrow, =$
Irreflexiv	– $a \in A \Rightarrow \neg(a,a) \in R$
Asymmetrisch	– $(a,b) \in R \Rightarrow \neg(b,a) \in R$
Antisymmetrisch	– $((a,b) \in R) \land ((b,a) \in R) \Rightarrow a = b$
Ordnungsrelation	– reflexiv, antisymmetrisch und transitiv – $\leq$
Symmetrische Differenz	– $A \Delta B = \{x \in G \mid (x \in A \cup B) \land \neg(x \in A \cap B)\}$ – $A \Delta B = (A \cup B) \setminus (A \cap B)$ – $(A \Delta B) \Delta C = A \Delta (B \Delta C)$

7. MODULO-RECHNEN

Die Modulo-Relation ist eine *Äquivalenzrelation* auf $\mathbb{Z}$.

7.1. GLOSSAR

Begriff	*Bedeutung*
Teiler-Relation	– Für $a, b \in \mathbb{Z}$ ist die Teiler-Relation $b \mid a \Leftrightarrow T(b,a) \Leftrightarrow \exists q \in \mathbb{Z} : bq = a$ – $b \mid a \Leftrightarrow -b \mid a$ – $b \mid a \Leftrightarrow b \mid -a$ – Ordnungsrelation auf $\mathbb{N}$
Modulo-Relation	– Für $a, q, r \in \mathbb{Z}$ ist die Modulo-Relation $R_q(a,r) \Leftrightarrow q \mid a - r \Leftrightarrow a \equiv r \bmod q$
~	– «relates to» – $a \sim b \Leftrightarrow (a,b) \in R$
Quotient, Rest	Zu jeder Zahl $a \in \mathbb{Z}$ und jeder Zahl $b \in \mathbb{Z}$ gibt es eindeutig bestimmte Zahlen $q, r \in \mathbb{Z}$ mit $a = q \cdot b + r, 0 \leq r < b$ Bsp: $7 = 2 \cdot 3 + 1$ q heisst *Quotient* r heisst *Rest*
Restklassen	– $[b]_q = \{a \in \mathbb{Z} \mid a \equiv b \bmod q\}, q > 0$ – $\mathbb{Z}_q = \{[0]_q, [1]_q, [2]_q, \ldots, [q-1]_q\} = \underbrace{\{0,1,2,3,\ldots,q-1\}}_{\text{Vereinfachung}}$
Multiplikatives Inverses	– Für $a \in \mathbb{Z}_q$ ist $b \in \mathbb{Z}_q$ das *multiplikative inverse* von a, wenn $a \cdot b \equiv 1 \bmod q$
Nullteiler	– Wenn für $a, b \in \mathbb{Z}_q : ab \equiv 0 \bmod q$ und $a \not\equiv 0 \bmod q \wedge b \not\equiv 0 \bmod q$, heissen a, b *Nullteiler*

7.2. RECHENREGELN

1) $(a + b) \bmod n = ((a \bmod n) + (b \bmod n)) \bmod n$
2) $(a - b) \bmod n = ((a \bmod n) - (b \bmod n)) \bmod n$
3) $(a \cdot b) \bmod n = ((a \bmod n) \cdot b \bmod n)) \bmod n$
4) $a^d \bmod n = \left(a^{d-x} \cdot a^x\right) \bmod n = \left(\left(a^{d-x} \bmod n\right) \cdot (a^x \bmod n)\right) \bmod n$

7.3. PRIMFAKTORENZERLEGUNG

Begriff	*Bedeutung*
$\mathrm{ggT}(a,b)$	$\max\{d \in \mathbb{N} \mid d \mid a \wedge d \mid b\}$
$\mathrm{kgV}(a,b)$	– $\min\{m \in \mathbb{N} \mid a \mid m \wedge b \mid m\}$ – $\frac{ab}{\mathrm{ggT}(a,b)}$
Teilerfremd	– Zwei Zahlen $a, b \in \mathbb{N}$ heissen *Teilerfremd*, wenn $\mathrm{ggT}(a,b) = 1$ – Sei $p \in \mathbb{N}$ eine Primzahl und $q \in \mathbb{N}, q < p, q \neq 0$ dann ist $\mathrm{ggT}(p,q) = 1$

7.4. EUKLIDSCHER ALGORITHMUS

Seien $a, b \in \mathbb{N}, a \neq b, a \neq 0, b \neq 0$
Initialisierung: Setze $x \coloneqq a, y \coloneqq b$ und $q \coloneqq x, r \coloneqq x - q \cdot y$ (d.h. bestimme q und r so, dass $x = q \cdot y + r$ ist)
Wiederhole bis $r = 0$ ist
Ergebnis: $y = \mathrm{ggT}(a,b)$

7.4.1. Beispiel

$\mathrm{ggT}(122,72), a = 122, b = 72$
– Init: $x_0 = a = 122, y_0 = b = 72$
– Iteration:

	$x_i = y_{i-1}$	$y_i = r_{i-1}$	$q_i = x_i \text{ div } y_i$	$r_i = x_i \bmod y_i = x_i - q_i \cdot y_i$
$i = 0$	122	72	1	50
$i = 1$	72	50	1	22 Muster: $r_{i+1} < r_i$
$i = 2$	50	22	2	6
$i = 3$	22	6	3	4
$i = 4$	6	4	1	2
$i = 5$	4	2 =ggT(122,72)	2	0 (immer 0 am Schluss)

7.5. ERWEITETER EUKLIDSCHER ALGORITHMUS

Seien $a, b \in \mathbb{N}, a \neq b, a \neq 0, b \neq 0$
Initialisierung: Setze $x \coloneqq a, y \coloneqq b, q \coloneqq x \div y, r \coloneqq x - q \cdot y, (u, s, v, t) = (1, 0, 0, 1)$ (d.h. bestimme q und r so, dass $x = q \cdot y + r$ ist)
Wiederhole bis $r = 0$ ist
Ergebnis: $y = \text{ggT}(a, b) = s \cdot a + t \cdot b$
Wenn $\text{ggT}(a, b) = 1$ ist, dann folgt: $t \cdot v \equiv 1 \bmod a$

7.5.1. Beispiel

ggT(99,79)

i	$x = y_{-1}$	$y = r_{-1}$	$q = x \div y$	$r = x_i - q_i \cdot y_i$	$u = s_{-1}$	$s = u_{-1} - q_{-1} \cdot s_{-1}$	$v = t_{-1}$	$t = v_{-1} - q_{-1} \cdot t_{-1}$
$i = 0$	99	79	1	20	1	0	0	1
$i = 1$	79	20	3	19	0	1	1	−1
$i = 2$	20	19	1	1	1	−3	−1	4
$i = 3$	19	1	19	0	−3	4	4	−5

Daraus folgend:
– $\text{ggT}(99, 79) + 1 + 4 \cdot 99 + (-5) \cdot 79 \Leftrightarrow 396 - 395 = 1$
– -5 ist mult. Inv. von 79 in $\mathbb{Z}_{99}$
– 4 ist mult. Inv. von 99 in $\mathbb{Z}_{79}$

7.6. KLEINER FERMAT

Sei $p \in \mathbb{N}$ eine Primzahl und $x \in \mathbb{Z} \setminus \{0\}$ mit $\text{ggT}(x, p) = 1$
Dann ist: $x^{p-1} \equiv 1 \bmod p$
Daraus folgend:

$$
\begin{aligned}
& x^{p-1} \equiv 1 \bmod p && \mid ()^n \\
\Leftrightarrow\ & x^{n(p-1)} \equiv 1 \bmod p && \mid \cdot x \\
\Leftrightarrow\ & x^{1+n(p-1)} \equiv x \bmod p \\
\Leftrightarrow\ & x^{1 \bmod (p-1)} \equiv x \bmod p
\end{aligned}
$$

7.7. SATZ VON EULER

Sei $n \in \mathbb{N} \setminus \{0\}$ und $z \in \mathbb{Z}$ mit $\text{ggT}(z, n) = 1$. Dann ist $z^{\varphi(n)} \equiv 1 \bmod n$.

7.7.1. Euler'sche φ-Funktion (Totient)

Sei $n \in \mathbb{N} \setminus \{0\}$ und $\mathbb{Z}_n^* = \{x \in \mathbb{Z}_n \mid x \text{ hat ein multiplikatives Inverses in } \mathbb{Z}_n\}$. Dann heisst $\varphi(n)$:

$$\begin{aligned}\varphi(n) &= \text{Anz. Elemente in } \mathbb{Z}_n \text{ mit mult. Inversen}\\ &= \text{Anz. Zahlen } 1 \le q \le n \text{ mit } \operatorname{ggt}(q,n) = 1\\ &= \left|\mathbb{Z}_n^*\right|\end{aligned}$$

Falls p Primzahl ist, dann ist $\varphi(p) = p - 1$

7.7.1.1. Rechenregeln

1) Sei $n \in \mathbb{N}$ eine Primzahl, dann $\varphi(n) = n - 1$
2) Sei $n \in \mathbb{N}$ eine Primzahl und $p \in \mathbb{N} \setminus \{0\}$, dann $\varphi(n^p) = n^{p-1} \cdot n - 1)$
3) Seien $m, n \in \mathbb{N} \setminus \{0\}$ und $\operatorname{ggT}(m,n) = 1$, dann $\varphi(n \cdot m) = \varphi(n) \cdot \varphi(m)$

7.8. RSA VERSCHLÜSSELUNG

1) Wähle 2 Primzahlen p, q
2) Berechne $n = p \cdot q$
3) Berechne $\varphi(n) = (p-1)(q-1)$
4) Wähle a, b so, dass $a \cdot b \equiv 1 \bmod \varphi(n)$
5) Vergesse $p, q, \varphi(p \cdot q)$. Brauchen wir nicht und riskieren nur, dass uns jemand hackt

Public key ist nun n, b, Private key ist n, a
Sidenote: Fürs Alphabet muss n grösser sein als **26**

8. LINEARE ALGEBRA

8.1. GLOSSAR

Begriff	*Bedeutung*
Lineares Gleichungssystem (LGS)	
Koeffizientenmatrix	
Ergebnisvektor	
Lösungsvektor	
Transponieren	
Skalarprodukt	

8.2. PIVOT-GLEICHUNG

$$\begin{aligned}
&\text{(I)} && 1x_1 + 1x_2 + 1x_3 = -6\\
&\text{(II)} && x_1 + 2x_2 + 3x_3 = -10\\
&\text{(III)} && 2x_1 + 3x_2 + 6x_3 = -18\\
&\Rightarrow\\
&\text{(I')} && 1x_1 + 1x_2 + 1x_3 = -6\\
&\text{(II')} = \text{(II)} - \text{(I)} && 1x_2 + 2x_3 = -4\\
&\text{(III')} = \text{(III)} - 2\text{(I)} && 1x_2 + 4x_3 = -6\\
&\Rightarrow\\
&\text{(I'')} && 1x_1 + 1x_2 + 1x_3 = -6 \Rightarrow x_1 = -6 - x_2 - x_3 = -6 + 2 + 1 = -3\\
&\text{(II'')} = \text{(II)} && 1x_2 + 2x_3 = -4 \underbrace{\Rightarrow x_2 = -4 - 2x_3 = -4 + 2 = -2}_{\text{Rückwärtssubstitution}}\\
&\text{(III'')} = \text{(III')} - \text{(II')} && 2x_3 = -2 \Rightarrow x_3 = -1
\end{aligned}$$

$$\begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -3 \\ -2 \\ -1 \end{pmatrix}$$

8.2.1. Glossar

Begriff	*Bedeutung*
Pivot-Variable	

8.3. GAUSS-TABLEAU

	x_1	x_2	x_3	1	
I	1	1	1	−6	
II	1	2	3	−10	**−(I)**
III	2	3	6	−18	**−2(II)**
			⇒		
I'	1	1	1	−6	
II'	0	1	2	−4	
III'	0	1	4	−6	**−(II')**
			⇒		
I''	1	1	1	−6	
II''	0	1	2	−4	
III''	0	0	2	−2	$* \frac{1}{2}$
			⇒		
I'''	1	1	1	−6	**−(III''')**
II'''	0	1	2	−4	**−2(III''')**
III'''	0	0	1	−1	
			⇒		

Koeffizientenmatrix $\boldsymbol{A} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 2 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$

	x_1	x_2	x_3	1	
I''''	1	1	0	−5	**−(II'''')**
II''''	0	1	0	−2	
III''''	0	0	1	−1	
			⇒		
	1	0	0	−3	
	0	1	0	−2	
	0	0	1	−1	

Ergebnisvektor $\vec{b} = \begin{pmatrix} -6 \\ -4 \\ -1 \end{pmatrix}$ Lösungsvektor $\vec{x} = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix}$ Lineares Gleichungssystem $\boldsymbol{A} \cdot \vec{x} = \vec{b}$

p = Anzahl Pivot-Variablen.
Wenn $b_{p+1} = \ldots = b_m = 0$ dann ist das LGS lösbar (homogenes Gleichungssystem), sonst unlösbar.

Wenn $p = n$ dann hat LGS genau eine Lösung.
Wenn $p < n$ dann hat LGS unendlich viele Lösungen.

8.4. VEKTOREN

8.4.1. Glossar

Begriff	Bedeutung
Vektor	Liste von Zahlen
Nullvektor	$\vec{0} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$
Linearkombination	Linearkombination der Variabeln x_1, x_2, x_3 (Bsp. $3 \cdot x_1 - 2 \cdot x_2 + 4 \cdot x_3 = -6$). Vektoren werden jeweils mit einer Zahl mutlipliziert und miteinander summiert
Lineare Unabhängigkeit	$\vec{v}_1, \vec{v}_2, ..., \vec{v}_n$ heissen linear Unabhängig, wenn die Gleichung $\lambda_1 \cdot \vec{v}_1, \lambda_2 \cdot \vec{v}_2, ..., \lambda_n \cdot \vec{v}_n = \vec{0}$ genau eine Lösung hat, nämlich $\lambda_1 = \lambda_2 = ... = \lambda_n = 0$ $\begin{pmatrix} \uparrow & ... & \uparrow \\ \vec{v}_1 & ... & \vec{v}_n \\ \downarrow & ... & \downarrow \end{pmatrix} \cdot \vec{\lambda} = \vec{0}$ eindeutig lösbar = $\vec{v}_1, ..., \vec{v}_n$ sind linear unabhängig
Orthogonale Projektion	

8.4.2. Vektorenrechnen

Addition:

$$\vec{v} + \vec{w} = \begin{pmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 5 \\ -9 \\ 4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1+5 \\ 2+(-9) \\ 3+4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 6 \\ -7 \\ 7 \end{pmatrix}$$

Multiplikation mit reellen Zahlen (=Skalare):

$$3 \cdot \vec{v} = 3 \cdot \begin{pmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 3 \cdot 1 \\ 3 \cdot 2 \\ 3 \cdot 3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 3 \\ 6 \\ 9 \end{pmatrix}$$

8.4.3. Rechenregeln

$$\lambda\vec{0} = \vec{0}$$
$$\vec{v} + \vec{0} = \vec{v}$$
$$-\vec{v} = -1 \cdot \vec{v}$$
$$-\vec{v} + \vec{v} = \vec{0}$$
$$(\lambda\mu)\vec{v} = \lambda(\mu\vec{v}) = \lambda\mu\vec{v}$$
$$\lambda(\vec{v} + \vec{w}) = \lambda\vec{v} + \lambda\vec{w}$$
$$\vec{v} + (\vec{u} + \vec{w}) = (\vec{v} + \vec{u}) + \vec{w} = \vec{v} + \vec{u} + \vec{w}$$

8.5. MATRIZEN

8.5.1. Glossar

Begriff	Bedeutung
Spaltenvektoren	Spalten der Matrix als Vektoren
Zeilenvektoren	Zeilen der Matrix als Vektoren

Begriff	*Bedeutung*
Rang	Wieviele Spaltenvektoren einer Matrix linear unabhängig sind
Nullmatrix	$\mathbf{0} = \begin{pmatrix} 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & \dots & 0 \end{pmatrix}$
Quadratische Matrix	$M \in \mathbb{R}^{n \times n}$ Gleichviele Zeichen und Spalten
Diagonalmatrix	(immer quadratisch und symmetrisch): $D = \begin{pmatrix} x_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & x_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & x_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & x_4 \end{pmatrix}, d_{ij} = 0 \text{ für } i \neq j$
Einheitsmatrix	(immer diagonal): $E = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$
Symmetrische Matrix	(immer quadratisch): $A = A^T, a_{ij} = a_{ij}, \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 2 & 4 & 4 \\ 3 & 4 & 1 \end{pmatrix}$
Obere Dreiecksmatrix	$O = \begin{pmatrix} x_1 & x_2 & x_3 \\ 0 & x_4 & x_5 \\ 0 & 0 & x_6 \end{pmatrix}, o_{ij} = 0 \text{ für } i > j$
Kovarianzmatrix	immer symmetrisch
Reguläre Matrix	Quadratische Matrix mit höchstem Rang (Rang = Anzahl Spalten/Reihen)
Singuläre Matrix	Quadratische Matrix mit kleinerem Rang (Rang < Anzahl Spalten/Reihen)
Invertierbare Matrix	Für $A \in \mathbb{R}^{n \times n}$ heisst A invertierbar, wenn es eine Matrix A^{-1} gibt, so dass $A \cdot A^{-1} = A^{-1} \cdot A = \text{Einheitsmatrix (E)}$. Dies ist der Fall, wenn A Regulär ist.

8.5.2. Definition

Matrix mit 2 Zeilen und 3 Spalten

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 4 & 5 \\ 2 & 3 & 7 \end{pmatrix} \in \mathbb{R}^{2 \times 3}$$

Komponenten von A: a_{ij}
i: Zeilenindex, j: Spaltenindex. Bsp: $a_{23} = 7$

8.5.3. Matrizen als Vektoren interpretieren

→ A ist ein 6-Dimensionaler VR (Vektorraum)

$$\textbf{Variante 1:} \begin{pmatrix} a_{11} \\ a_{12} \\ a_{13} \\ a_{14} \\ a_{15} \\ a_{16} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 4 \\ 5 \\ 2 \\ 3 \\ 7 \end{pmatrix}$$

$$\textbf{Variante 2:} \begin{pmatrix} a_{11} \\ a_{12} \\ a_{13} \\ a_{14} \\ a_{15} \\ a_{16} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 2 \\ 4 \\ 3 \\ 5 \\ 7 \end{pmatrix}$$

$$\mathbb{R}^n \text{ interpretiere als } \begin{cases} \mathbb{R}^{n\times 1} \to \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_n \end{pmatrix} \text{ Spaltenvektor} \\ \mathbb{R}^{1\times n} \to \begin{pmatrix} a_1 & a_2 & \dots & a_n \end{pmatrix} \text{ Zeilenvektor} \end{cases}$$

Zu A gehörige Zeilenvektore $\vec{a}_1 = \begin{pmatrix} 1 & 4 & 5 \end{pmatrix}, \vec{a}_2 = \begin{pmatrix} 2 & 3 & 7 \end{pmatrix}$

$$A = \begin{pmatrix} \leftarrow \vec{a}_1 \rightarrow \\ \leftarrow \vec{a}_2 \rightarrow \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 4 & 5 \\ 2 & 3 & 7 \end{pmatrix}$$

Zu A gehörige Spaltenvektore $\vec{a}_1 = \begin{pmatrix} 1 \\ 2 \end{pmatrix}, \vec{a}_2 = \begin{pmatrix} 4 \\ 3 \end{pmatrix}, \vec{a}_3 = \begin{pmatrix} 5 \\ 7 \end{pmatrix}$

$$A = \begin{pmatrix} \uparrow & \uparrow & \uparrow \\ \vec{a}_1 & \vec{a}_2 & \vec{a}_3 \\ \downarrow & \downarrow & \downarrow \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 4 & 5 \\ 2 & 3 & 7 \end{pmatrix}$$

8.5.4. Matrizen transponieren

Transponierte Matrix $A \in \mathbb{R}^{m\times n}$ wäre: $A^T \in \mathbb{R}^{n\times m}$
$A = \left(a_{ij}\right), A^T = \left(a_{ji}\right)$
Rolle von Zeile und Spalte vertauscht: $a_{ij} \to a_{ji}$
Bsp:

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 2 \\ 3 & 1 \end{pmatrix} \in \mathbb{R}^{3\times 2}$$

$$A^T = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 3 \\ 0 & 2 & 1 \end{pmatrix} \in \mathbb{R}^{2\times 3}$$

$$\begin{pmatrix} 1 \\ 4 \\ 5 \end{pmatrix}^T = \begin{pmatrix} 1 & 4 & 5 \end{pmatrix}$$

8.5.5. Matrixmultiplikation

Meistens nicht kommutativ ($A \cdot B \neq B \cdot A$)
B muss genau gleich viele Zeilen haben wie A Spalten

$$A \in \mathbb{R}^{m\times l}, B \in \mathbb{R}^{l\times n}, C = A \cdot B \in \mathbb{R}^{m\times n}$$

$$c_{ij} = \sum_{k=1}^{l} a_{ik} b_{kj}$$

$$\begin{pmatrix} 2 & 3 & 1 \\ 4 & -1 & 7 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 6 & 4 \\ 1 & 0 \\ 8 & 9 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2\cdot 6+3\cdot 1+1\cdot 8 & 2\cdot 4+3\cdot 0+1\cdot 9 \\ 4\cdot 6+-1\cdot 1+7\cdot 8 & 4\cdot 4+-1\cdot 0+7\cdot 9 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 23 & 17 \\ 79 & 79 \end{pmatrix}$$

8.5.6. Rechenregeln

$$(A \cdot B) \cdot C = A \cdot (B \cdot C) = A \cdot B \cdot C$$

$$(A + B) \cdot C = A \cdot C + B \cdot C$$

$$C \cdot (A + B) = C \cdot A + C \cdot B$$

$$E \cdot A = A \cdot E = A \text{ für } A \in \mathbb{R}^{n \times n}$$

$$\left(A^T\right)^T = A$$

$$(A + B)^T = A^T + B^T$$

$$(\lambda A)^T = \lambda A^T$$

$$(A \cdot B)^T = B^T \cdot A^T$$