

Chapter 1

Talrummene \mathbb{R}^n og \mathbb{C}^n

Denne eNote handler om talrummene \mathbb{R}^n og \mathbb{C}^n , der er afgørende byggesten i Lineær Algebra.

Version 09.08.15.

1.1 Talrum

|||| Bemærkning 1.1 Fællesbetegnelsen \mathbb{L}

Definitioner og regler i denne eNote gælder både for de reelle tal \mathbb{R} og de komplekse tal \mathbb{C} . Mængden af reelle tal og mængden af komplekse tal er eksempler på *tallegemer*. Tallegemer har fælles regneregler, hvad angår de elementære regneoperationer. Når vi i det følgende benytter symbolet \mathbb{L} , betyder det, at det, der beskrives, gælder for mængden af både komplekse såvel som reelle tal.

\mathbb{R}^n er symbol for mængden af alle ordnede talsæt, som indeholder n reelle elementer. Fx er

$$(1, 4, 5) \text{ og } (1, 5, 4)$$

to forskellige talsæt, som tilhører \mathbb{R}^3 . Tilsvarende er \mathbb{C}^n symbol for mængden af alle ordnede talsæt, som indeholder n komplekse elementer. Komplekse tal behandles i eNote 29. Fx er

$$(1 + 2i, 0, 3i, 1, 1) \text{ og } (1, 2, 3, 4, 5)$$

to forskellige talsæt, som tilhører \mathbb{C}^5 . Mere formelt kan vi opskrive \mathbb{L}^n på mængdeform således:

$$\mathbb{L}^n = \{(a_1, a_2, \dots, a_n) \mid a_i \in \mathbb{L}\}. \quad (1-1)$$

Vi indfører addition af elementer i \mathbb{L}^n og multiplikation af et element i \mathbb{L}^n med et element i \mathbb{L} (en skalar) ved følgende definition:

|||| Definition 1.2

Lad (a_1, a_2, \dots, a_n) og (b_1, b_2, \dots, b_n) være elementer i \mathbb{L}^n , og lad k være et tal i \mathbb{L} (en skalar). *Summen* af talsættene defineres ved

$$(a_1, a_2, \dots, a_n) + (b_1, b_2, \dots, b_n) = (a_1 + b_1, a_2 + b_2, \dots, a_n + b_n), \quad (1-2)$$

og *produktet* af (a_1, a_2, \dots, a_n) med k defineres ved

$$k \cdot (a_1, a_2, \dots, a_n) = (a_1, a_2, \dots, a_n) \cdot k = (k \cdot a_1, k \cdot a_2, \dots, k \cdot a_n). \quad (1-3)$$

\mathbb{R}^n udstyret med regneoperationerne (1.1.2) og (1.1.3) kaldes det n -dimensionale *reelle talrum*. Tilsvarende kaldes \mathbb{C}^n udstyret med regneoperationerne (1.1.2) og (1.1.3) det n -dimensionale *komplekse talrum*.

|||| Eksempel 1.3 addition

Et eksempel på addition af to talsæt i \mathbb{R}^4 er

$$(1, 2, 3, 4) + (2, 1, -2, -5) = (3, 3, 1, -1).$$

|||| Eksempel 1.4 multiplikation

Et eksempel på multiplikation af et talsæt i \mathbb{R}^3 med en skalar er

$$5 \cdot (2, 4, 5) = (10, 20, 25).$$

Et eksempel på multiplikation af et talsæt i \mathbb{C}^2 med en skalar er

$$i \cdot (2 + i, 4) = (-1 + 2i, 4i).$$

Som kort notation for talsæt vil vi bruge små **fede** bogstaver. Vi kan for eksempel skrive

$$\mathbf{a} = (3, 2, 1) \text{ eller } \mathbf{b} = (b_1, b_2, \dots, b_n).$$

For talsættet $(0, 0, \dots, 0)$, som kaldes *nulelementet* i \mathbb{L}^n , benyttes skrivemåden

$$\mathbf{0} = (0, 0, \dots, 0).$$

Når man skal foretage mere sammensatte regneopgaver i talrummene, får man brug for de følgende regneregler.

||| Sætning 1.5 Regneregler i \mathbb{L}^n

Med de i definition 1.2 indførte regneoperationer opfylder talrummene \mathbb{L}^n for enhver værdi af n de følgende otte regneregler:

1. $\mathbf{a} + \mathbf{b} = \mathbf{b} + \mathbf{a}$ (additionen er kommutativ)
2. $(\mathbf{a} + \mathbf{b}) + \mathbf{c} = \mathbf{a} + (\mathbf{b} + \mathbf{c})$ (additionen er associativ)
3. For ethvert \mathbf{a} gælder, at $\mathbf{a} + \mathbf{0} = \mathbf{a}$ (dvs. $\mathbf{0}$ er neutralt mht. addition)
4. Til ethvert \mathbf{a} findes et *modsat element* $-\mathbf{a}$ således, at $\mathbf{a} + (-\mathbf{a}) = \mathbf{0}$
5. $k_1(k_2\mathbf{a}) = (k_1k_2)\mathbf{a}$ (produkt med skalarer er associativt)
6. $(k_1 + k_2)\mathbf{a} = k_1\mathbf{a} + k_2\mathbf{a}$ (distributiv regel)
7. $k_1(\mathbf{a} + \mathbf{b}) = k_1\mathbf{a} + k_1\mathbf{b}$ (distributiv regel)
8. $1\mathbf{a} = \mathbf{a}$ (tallet 1 er neutralt mht. multiplikation)

||| Bevis

Vedrørende regel 4: Givet to vektorer $\mathbf{a} = (a_1, \dots, a_n)$ og $\mathbf{b} = (b_1, \dots, b_n)$. Der gælder da

$$\mathbf{a} + \mathbf{b} = (a_1 + b_1, \dots, a_n + b_n) = \mathbf{0} \Leftrightarrow b_1 = -a_1, \dots, b_n = -a_n.$$

Heraf ses, at \mathbf{a} har en modsat vektor $-\mathbf{a}$ givet ved $-\mathbf{a} = (-a_1, \dots, -a_n)$. Det fremgår endda, at \mathbf{a} *kun* har denne modsatte vektor.

De øvrige regneregler bevises ved simpel udregning af venstreside og højreside og efterfølgende sammenligning.



Af beviset for regel 4 i sætning 1.5 fremgår, at der for et vilkårligt talsæt \mathbf{a} gælder, at $-\mathbf{a} = (-1)\mathbf{a}$.

||| Opgave 1.6

Gennemfør et formelt bevis for regel 2 og regel 5 i sætning 1.5.

||| Definition 1.7 Subtraktion

Givet $\mathbf{a} \in \mathbb{L}^n$ og $\mathbf{b} \in \mathbb{L}^n$. Differensen $\mathbf{a} - \mathbf{b}$ indføres ved

$$\mathbf{a} - \mathbf{b} = \mathbf{a} + (-\mathbf{b}). \quad (1-4)$$

||| Eksempel 1.8 Subtraktion

$$(1 + 2i, 1) - (i, 2) = (1 + 2i, 1) + (-(i, 2)) = (1 + 2i, 1) + (-i, -2) = (1 + i, -1).$$

||| Opgave 1.9 Nulreglen

Vis, at den følgende variant af *nulreglen* gælder:

$$k\mathbf{a} = \mathbf{0} \Leftrightarrow k = 0 \text{ eller } \mathbf{a} = \mathbf{0}. \quad (1-5)$$

|||| Bemærkning 1.10 Talsæt som vektorer

Ofte skriver man et talsæt som en *søjlevektor*. Vi har dermed to ækvivalente skrivemåder, her vist med et eksempel fra \mathbb{R}^4 :

$$\mathbf{v} = (1, 2, 3, 4) \text{ og } \mathbf{v} = \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \end{bmatrix}.$$

Hvis man i en bestemt sammenhæng har brug for at opfatte talsættet som en rækkevektor, udfører man en såkaldt *transponering*, som ændrer en søjlevektor til en rækkevektor (og omvendt). Transponering har symbolet $^{\top}$:

$$\mathbf{v}^{\top} = [1 \ 2 \ 3 \ 4].$$