

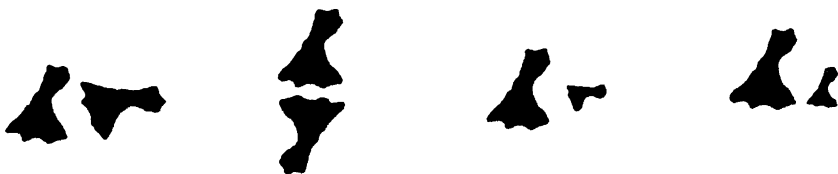
OM VISUEL GENKENDELSE AF FORM

Axel Larsen

Vor evne til at afgøre, om to visuelt foreliggende figurer har samme form, selv om de har forskellig størrelse eller orientering, er i de senere år blevet belyst gennem talrige reaktionstidsstudier. De generelle fund er, at hvis to figurer kun afviger fra hinanden med hensyn til størrelse eller orientering, så stiger tiden, man er om at afgøre, om de er ensformede, som en lineær funktion af størrelsesforholdet henholdsvis orienteringsforskellen mellem de to figurer. Ifølge transformationssynspunktet kan man forklare disse fund ved at antage, at formgenkendelse normalt finder sted ved, at en af figurerne indkopieres som et visuelt forestillingsbillede, der herefter drejes eller størrelsestransformeres mentalt, indtil det er kongruent med indtrykket af den anden figur. Mentale størrelsestransformationer og mentale drejninger synes at være grundlæggende visuelle rutiner, der kan sættes sammen til programmer, der tillader os at identificere figurer, der både har forskellig størrelse og forskellig orientering i rummet. Transformationssynspunktet sættes i historisk perspektiv via en selektiv gennemgang af klassiske bidrag til vor forståelse af formgenkendelse.

Vor evne til at identificere visuelle objekter (mennesker, huse, redskaber, ord, tal, bogstaver m.v.), stort set ligegyldigt i hvilken størrelse eller orientering de foreligger for os, er helt fundamental. I litteraturen taler man også om størrelses- og drejningsinvarians, undertiden om stimulusækvivalens eller generalisering.

Hovedsigtet med denne artikel er at præsentere en empirisk baseret psykologisk analyse - transformationsteorien - af den særlig simple opgave, der blot går ud på at afgøre, hvorvidt to visuelle mønstre har samme form, men eventuelt divergerer med hensyn til størrelse, orientering eller begge dele. Opgavens karakter er illustreret i Figur 1.



Figur 1. Figureerne har samme form, men er vist i forskellig størrelse eller orientering (illustration fra Mach, 1911).

Transformationsteorien siger, at vi kan se, at mønstrene i Figur 1 har parvis samme form, ved at indkopiere et af mønstrene som et *visuelt forestillingsbillede*, ved dernæst at transformere forestillingsbilledet gradvist, indtil den repræsenterede størrelse og orientering passer med eller kan sammenlignes med indtrykket af det andet mønster.

Det ses, at mentale transformationer kan være nyttige til mange andre formål, f.eks. til at finde rundt i en by efter et kort, til at udfærdige et emne efter et diagram, til at løse puslespil etc. Mentale transformationer skulle også spille en central rolle i videnskabelig og kunstnerisk skaben (jvf. Shepard, 1984).

Optakten til præsentationen af transformationssynspunktet er historisk og sigter dels mod at give en mere fyldig baggrund for teorien og dels mod - bl.a. for de historisk interesserede - at fremdrage relevante danske bidrag til vor forståelse af formperception.

Høffding trinnet

I slutningen af forrige århundrede udgav Alfred Lehmann (1888) en afhandling om genkendelse, hvori han argumenterer for berøringsassociationens forrang i forhold til lighedsassociationen, der af mange - efter Lehmanns opfattelse også Høffding (1905/1885) - blev anset for primær.

Lehmanns arbejde, der blev oversat til tysk og udgivet i Wundts *Philosophische Studien* (1890), var til dels vendt mod Høffding, der bl.a. havde følgende kommentar:

»Min Indsigelse gælder ikke selve Dr. Lehmann's Experimenter. De have deres positive Værdi afset fra hans uheldige teoretiske Fortolkning af dem. De oplyse forskellige interessante Punkter med Hensyn til Genkendelsens Sikkerhed og Nøjagtighed under visse Omstændigheder, men hvad de lære om Genkendelsens psykologiske Natur er saare lidet, og i hvert Tilfælde ikke det, Dr. Lehmann selv mener. Jo mere Betydning man tillægger den experimentale Psykologi, jo mere man glæder sig over, at vor Viden om Sjælenslivet ad denne Vej kan vinde i Klarhed og Nøjagtighed, des betænkeligere maa man ogsaa være ved at se den experimentale Forsken sammenblandet med forhastet Teoretiseringen. Psykologien har ikke frigiort sig fra Metafysikkens Herredømme for at blive behersket af en kortsynet Betragtningssmaade, der overser de sjælelige Fænomeners Mangfoldighed og Forskellighed.

Afhandlinger, som ere forsynede med Tavler og Tabeller, imponere let ukritiske Læsere.« Høffding (1889, p.29).

Høffdings overvejelser over umiddelbar genkendelse blev også oversat til tysk og udløste en replik fra Lehmann (1892), der følte, at hans arbejde ikke blev rimeligt bedømt.

»Hele denne undersøgelse har Høffding i den ovenfor citerede afhandling

rettet et skarpt angreb imod. Jeg har ikke blot taget fejl paa enkelte punkter efter Høffdings opfattelse, min afhandling er en stor vildfarelse, og Høffding kommer til slut frem til resultater, der er helt modsat mine. « Lehmann (1892, p.172-173).

Hvad drejede kontroversen sig om? For det første om associationslovenes status. Er lighedsassociationen underordnet (i værste fald videnskabeligt ufrugtbar) berøringsassociationen (Lehmann), eller kan man ligefrem omvendt gøre gældende, at berøringsloven forudsætter lighedsloven (Høffding)?

For det andet, men ikke uden forbindelse til associationslovenes status, om genkendelse, som interessen samler sig om her. Af teoretiske grunde følte Lehmann sig tvunget til at hævde (1888, p.17), at genkendelse af simple sansefølelser kun foretages, hvis det *A*, der fornemmes, kan sammenlignes og vurderes som kongruent med det *bevidste forestillingsbillede a* af *A*. Foreligger *a* i et øjeblik ikke bevidst, hvad det typisk ikke vil gøre, men er det repræsenteret som hukommelsesbillede i vor hukommelse, vil eventuel genkendelse være indirekte og medieret af en berøringsassociation fra *B* (der hyppigt har foreligget på nogenlunde samme tid som *A*) til *a*. Indtrykket af *B* vil producere det bevidste forestillingsbillede *a*, der herefter ved sammenligning med (følelsen eller indtrykket af) *A* fører til genkendelse. Lehmanns hypotese (genkendelse ved bestemmelse eller verifikationsteorien) virker noget bagvendt og må, som Høffding noterer, »allerede på forhånd vække nogen forundring«, selv om det utvivlsomt er rigtigt, at genkendelsesprocessen undertiden kan forløbe ved, at forventningen om det ene eller det andet melder sig og efterhånden indfries.

Lehmanns synspunkt indebærer, at vi faktisk ikke kan genkende noget uventet. »Genkendelse af simple sansefølelser er strengt taget umulig.« Lehmann (1888, p.17), hvilket som antydet blev Høffding noget for broget.

Høffdings kritik af Lehmann og af verifikationsteorien for genkendelse gik ud på, at hvis *A* og *B* har foreligget (omtrent) samtidig, så er det nok rigtigt, at tilstedeværelsen af *B* kan frembringe erindringsbilledet *a* i bevidstheden. Med et af Høffdings egne eksempler, vi ser et æble og kommer til at tænke på Eva i paradiset have. Høffding trinnet (»the Høffding step«, jvf. Neisser, 1966) er blot den antagelse, at *B* ikke kan udløse *a*, medmindre *B* genkendes, d.v.s. at følelsen af *B* og erindringsbilledet *b* skal smelte sammen i bevidstheden - med Høffdings egne ord, at *B* skal perciperes, før den associative forbindelse til *a* kan aktiveres. Bemærkningerne angående sammensmeltningens nærmere karakter er ret upræcise - der kan være tale om noget, der minder om en lighedsassociation.

Høffdings afvisning af forventningsteorien og hans ret foreløbige teoretiske spekulationer over umiddelbar genkendelse vandt bred tilslutning (jvf. Koffka, 1935), men gled efterhånden ud af den videnskabelige diskussion, der mere og mere blev domineret af behavioristiske synspunkter.

Størrelses- og drejningsinvariant genkendelse

I forordet til *Synsoplevede figurer. Studier i psykologisk analyse, første del*, skriver Edgar Rubin:

»Under et toaarigt Studieophold i Göttingen fik jeg i Begyndelsen af 1912 af Prof. G.E.Müller den Opgave at undersøge Genkendelse af indprægede Figurer ved Variation af Figurernes Synsvinkel og af deres absolutte Størrelse. Ud af denne Undersøgelse er de foreliggende Studier voksede. Det viste sig, at der bortset fra det specielle Tema laa et righoldigt Stof at bearbejde ikke alene angaaende Genkendelsen, men ogsaa angaaende det, der oplevedes ved selve Indprægningen af de Figurer, hvis Forhold ved Genkendelsen skulde undersøges.« (1915, p.IV)

Senere i forordet anfører Rubin, hvordan han også vil undersøge perception af roterede figurer og den rolle, mere løse associationer og selve erindringsbilledet af figuren spiller ved genkendelsen. Studierne over genkendelse af figurer efter variation af størrelse eller orientering var det hensigten at henlægge til en senere publikation. Som bekendt udkom anden del af *Synsoplevede Figurer* aldrig, så det er ikke til at vide, hvor langt Rubin kom med disse studier. Han omtaler dog (1915, p.18), at den figurale eftervirkning - at det motiv, der ses som figur ved tvetydige figur-grund motiver, ved gentagen præsentation af motiverne som oftest ses som figur - kan gøre sig gældende ved skift i motivernes størrelse fra første til anden stimuluspræsentation.

Det er nærliggende at gætte på, at Müller (og Rubin) har været inspireret af Mach (1911) der, så vidt vides, var den første, der indså, at vor erkendelse af, at to figurer er ens (har samme form), selv om de har forskellig farve, størrelse eller orientering, kræver en særlig forklaring.

Vor erkendelse af form kan ifølge Mach både være intellektuel (eller videnskabelig) og umiddelbart sanseligt.

Kvadratet og diamanten i Figur 2 B fremtræder forskelligt, men kan efter en intellektuel indsats indses at have samme form. I Figur 2 A vises to figurer, der derimod umiddelbart sanseligt anskueligt skulle registreres som ensformede (kvadrater).



Figur 2. Ifølge Mach ser kvadratet og diamanten i panel 2B forskellige ud, omend de ved en intellektuel proces kan erkendes som ensformede. Kvadraterne i panel 2A skulle derimod ifølge Mach umiddelbart sanseligt anskueligt fremtræde som ensformede (jvf. Mach, 1911).

Som foreløbig hypotese udkastede Mach den idé, at formidentitet fremtræder visuelt og umiddelbart (optisk), hvis korresponderende (eller homologe) liniestykkers retning er ens. Vi skal senere se, at Mach efter alt at dømme tog fejl. Hans fortjeneste ligger da også i at have formuleret invariansproblemet. Vor evne til visuelt at afgøre, om to mønstre har samme form, men forskellig størrelse, bygger nemlig efter alt at dømme på en intellektuel (rettere mental) proces, der er beslægtet med den mentale proces, vi bruger for at finde ud af, om to mønstre har samme form, men forskellig orientering i rummet.

Beregning af størrelses- og drejningsinvarians

Machs pionerarbejde blev fulgt op af Lashley (1938) i en omfattende forsøgsserie over stimulusækivalens hos dyr (rotter) og i humanpsykologien af Goldmeier (1937), der nærmest havde en fænomenologisk/gestaltpsykologisk indfaldsvinkel. I forhold til Machs eget ret foreløbige teoretiske bidrag var der imidlertid ikke meget nyt at hente. Gestaltpsykologerne (Koffka, 1935) bidrog heller ikke til nogen videre afklaring. De byggede i høj grad på Høffding, der vel nærmest ville have betragtet størrelses- og orienteringsinvariant genkendelse som eksempler på lighedsassociation (eller assimilation).

Den første moderne formulering af problemet vedrørende genkendelse af form findes hos Pitts og McCulloch: »We seek general methods for designing nervous nets which recognize figures in such a way as to produce the same output for every input belonging to the figure. We endeavour particularly to find those which fit the histology and physiology of the actual structure« (1947, p.47).

Pitts og McCulloch (1947) anviste en formel matematisk model til løsning af stimulusækvalensproblemet og viste, hvorledes man i overensstemmelse med datidens neurofysiologiske viden kunne implementere den i centralnervesystemet som et effektivt program for perception af invarianser i auditivt og visuelt input. Modellen er urealistisk, men den har haft stor værdi i kraft af, at den introducerede en beregningsmæssig eller algoritmisk synsmåde, der siden har vist sig meget frugtbar.

Pitts og McCullochs (1947) arbejde førte til opstilling af en sværm af netværksmodeller (se f.eks. Deutsch, 1955; Dodwel, 1970), der med større eller mindre held søgte at forklare forskellige sider af stimulusækvalens hos dyr. Neurale netværk kan summere signaler, realisere logiske betingelser (*and* og *or* porte eller »gates«) for signaltransmission m.v., men det forekommer tvivlsomt, om man kan komme til en forståelse af stimulusækvalens via netværksmodeller af den foreslåede type.

Det har vist sig (se f.eks. Hubel og Wiesel, 1962, 1968), at vort synssystem ret hurtigt begynder at ekstrahere specifikke momenter i det visuelle input.

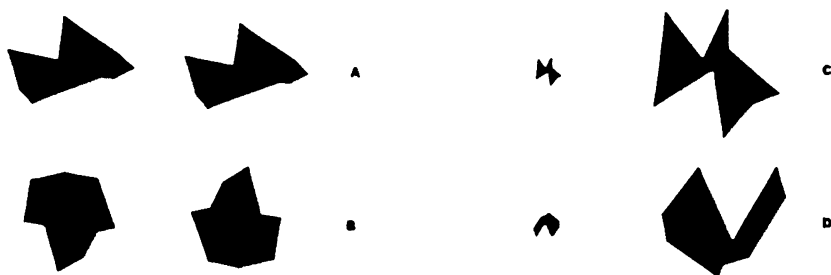
Ved elektrofysiologiske afledninger fra celler på forskellige trin i den visuelle informationsbehandling i hjernen kan man konstatere, at der ekstraheres information om kanter (i bestemte positioner og orienteringer) i nethindebilledet, om bevægelse over nethinden i bestemte retninger etc. En særlig interessant type af celler fyrer kraftigt, hvis retina påvirkes i et punktformet område, men inhiberes, hvis retina stimuleres i et cirkulært område udenom centret - cellerne siges at have et simpelt receptivt felt på retina.

Man kan ret let vise, hvorledes celler med et simpelt receptivt felt kan kombineres i netværk, der fyrer, hvis der foreligger visuelt input på retina, der indeholder bestemte træk, parallelle kanter, buede kanter, kanter der står vinkelret på hinanden etc. (se f.eks. Lindsay og Norman, 1973; Marr, 1982). I de såkaldte træk-teorier (jvf. f.eks. Corcoran, 1971; Neisser, 1966; Uhr, 1973) løses størrelses- og drejningsinvariansproblemet derfor ved at sammenligne lister af størrelses- og drejningsinvariante træk, f.eks. forekomst af parallelle linier, spidse vinkler, forekomst af lukkede og åbne kurver etc.

Trækteoriene virker neuropsykologisk plausible, de kan præciseres i en grad, der tillader datamatisk implementering af mønstergenkendelse, og de kan, i modsætning til mange andre teorier, »uden videre« løse problemerne vedrørende invarians.

Mental transformation af størrelse

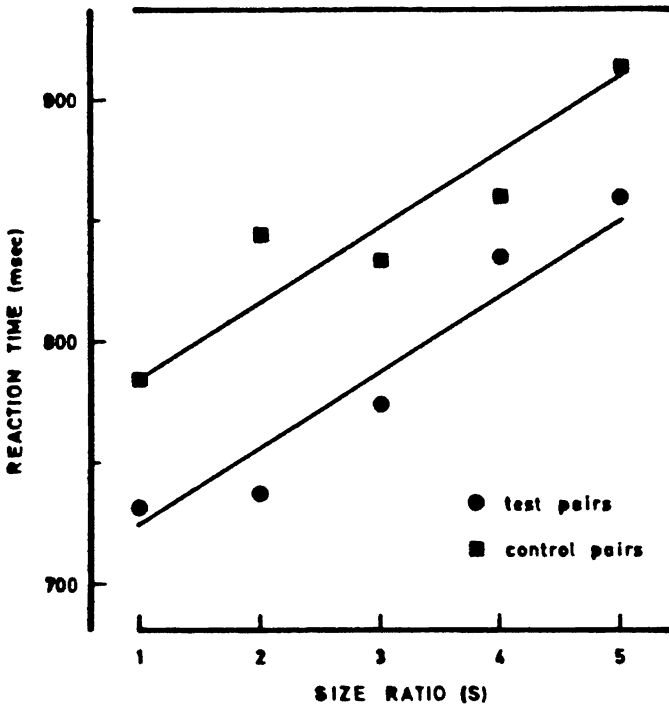
I 1975 undersøgte vi (Bundesen og Larsen, 1975) størrelsesinvariant genkendelse af form ved hjælp af et reaktionstidsparadigme. Stimulismønstrene blev vist parvis på et filmlærred (se Figur 3), og instruktionen var »så hurtigt som muligt« at tage stilling til, om mønstrene var ensformede



Figur 3. Eksempler på stimulusmateriale fra et eksperiment over mental størrelsestransformation. Størrelsesforholdet er 1 (panel A og B) og 5 (panel C og D). Panel A og C viser positive stimuluspar og B og D negative stimuluspar (fra Bundesen og Larsen, 1975).

(positivt svar), eller om et af mønstrene var drejet 180° i planen (negativt svar). Forsøgspersonerne afgav deres svar ved tryk på en knap, og hele forsøget - fremføring af stimuli og opsamling af svartid og svartype (positiv/negativ) - blev styret af en mikrodatamat.

Hovedresultaterne er illustreret i Figur 4, der klart viser,



Figur 4. Gennemsnitsreaktionstid som funktion af størrelsesforholdet (S) for positive (test) og negative (control) par. Datapunkterne er fittet med parallelle rette linier (fra Bundesen og Larsen, 1975).

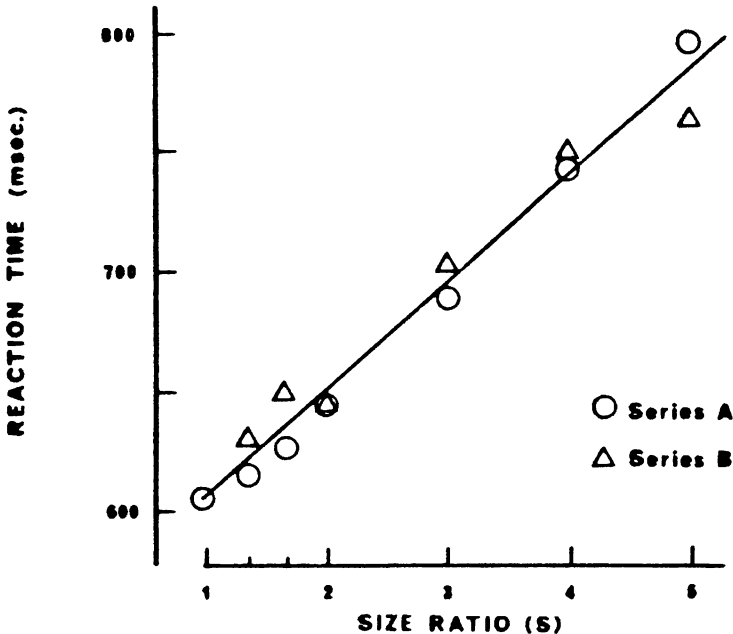
at reaktionstiden stiger omtrent lineært som funktion af størrelsesforholdet mellem de viste figurer. Bemærk, at reaktionstidsfunktionerne for positive og negative svar er parallelle, således at den negative reaktionstidskurve blot er forskudt lidt opad i forhold til den positive.

Resultaterne er svære at forene med en trakteoretisk forklaring, der typisk ikke vil forudsige en reaktionstidsstigning med størrelsesforholdet, men de harmonerer fint med en transformationsforklaring. På baggrund af reaktionstidsfundene - og brudstykker af introspektive rapporter - udkastede vi den hypotese, at identifikationen kommer i stand ved 1) at indkopiere et af de foreviste mønstre som forestillingsbillede, 2) gradvist at transformere forestillingsbilledet, til den repræsenterede størrelse stemmer overens

med størrelsen af det andet mønster, og 3) til slut at foretage en sammenligning mellem synsindtryk og forestillingsbillede.

Den gradvise omformning af forestillingsbilledet kommer til udtryk i de stigende reaktionstidsfunktioner, mens skæringen for $S = 1$ udtrykker tiden, der medgår til indkopiering af et af mønstrene som forestillingsbillede samt de forudgående visuelle beregninger af den mentale størrelsestransformations retning og længde samt efterfølgende motoriske processer. Forskellen mellem positive og negative svartider beror antagelig blot på, at forsøgspersonerne på forhånd gør sig klar til et positivt svar og må bruge en vis ekstra tid til klargøring af et negativt motorisk respons, når de ser, at mønstrene ikke er ens.

Der er i og for sig ingen grund til at regne med, at netop størrelsesforholdet mellem to mønstre snarere end f.eks. forskellen i omkreds skulle være den afgørende variabel. Ved at konstruere to parallelle serier af stimuluspar med systematisk variation af størrelsesforholdet mellem mønstrene i hvert stimuluspar og til slut blot skalere alle parrene i en af serierne op med en passende faktor, kan vi få svar på, om størrelsesforholdet eller størrelsesforskellen er den afgørende faktor. Det svar, vi fik efter at have udført et eksperiment efter den skitserede logik (Bundesen og Larsen, 1975, Eksperiment 3), kan aflæses i Figur 5.



Figur 5. Gennemsnitsreaktionstid som funktion af størrelsesforholdet i serie A og B. Mønstrene i serie B var i gennemsnit dobbelt så store som mønstrene i serie A. Resultaterne fra de to serier kan fittes med samme rette linie (fra Bundesen og Larsen, 1975).

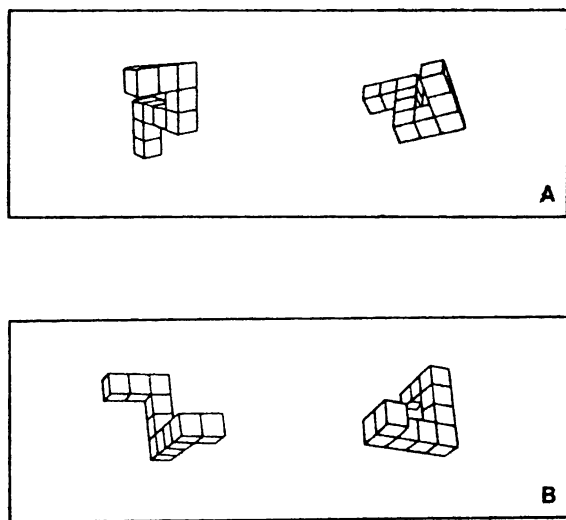
I serie B er begge mønstre i et stimuluspar i gennemsnit dobbelt så store som tilsvarende stimuluspar med samme størrelsesforhold i serie A. De empiriske data passer fint til samme lineært stigende reaktionstidsfunktion, og vi kan derfor slutte, at mønstrenes absolutte størrelse (eller hermed korrelerede mål for størrelse) tilsyneladende er helt irrelevant. Det er alene størrelsesforholdet, der tæller.

Det basale fund, at reaktionstiden stiger omtrent lineært som funktion af størrelsesforholdet mellem de præsenterede mønstre, er siden bekræftet gennem talrige studier (Besner, 1983; Besner og Coltheart, 1976; Howard og Kerst, 1978; Larsen, 1985; Larsen og Bundesen, 1978, m.fl.).

Mental rotation

Nogle år før vi startede på vore studier over mental størrelsestransformation, havde Shepard og Metzler (1971) gennemført et reaktionstidsstudie over visuel identifikation af drejede figurer. Shepard og Metzler var bl.a. inspirerede af Posner og Mitchel (1967), der også havde været en inspirationskilde for os.

Forsøgspersonerne i Shepard og Metzlers (1971) forsøg blev i en forsøgsrække præsenteret for mønstre af den type, der er vist i Figur 6 A (80° drejning i billedplanen), og i en anden række



Figur 6. Stimulusmateriale fra forsøg over mental rotation. Panel A 80 grader drejning i billedplanen, panel B 80 grader drejning i dybden (fra Shepard og Metzler, 1971).

skulle de afgøre, om mønstre, der var roteret i »dybden« (jvf. Figur 6 B, der viser 80° drejning i dybden), havde samme form. Negative billedpar viste blot mønstre, der tillige (efter drejningen) blev spejlet.

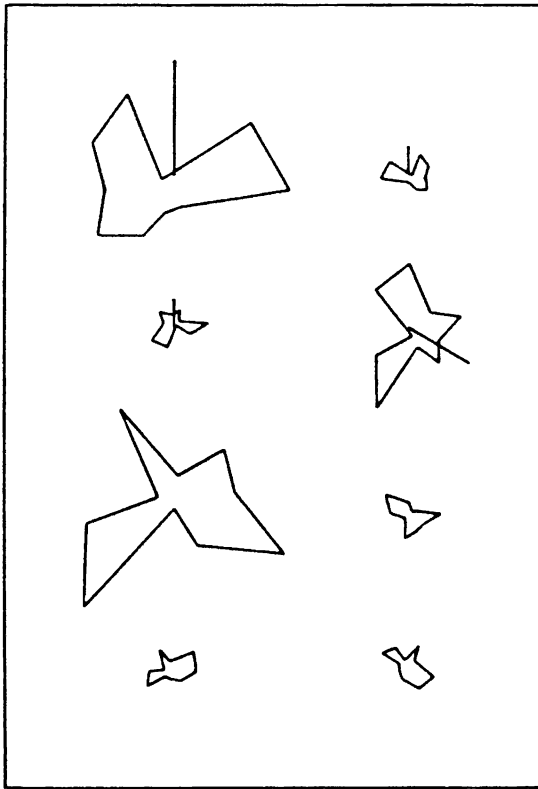
Shepard og Metzler (1971) fandt, at reaktionstiden steg tilnærmelsesvis lineært som funktion af drejningsvinklen, både for drejning i billedplanen og for drejning i dybden.

Forsøgspersonerne angav, at de indkopierede et af mønstrene som et visuelt forestillingsbillede, som de så prøvede at dreje i hovedet, indtil det stemte overens med orienteringen af det andet mønster. Shepard og Metzlers (1971) oprindelige eksperiment er siden blevet bekræftet i en mængde undersøgelser af Shepard og hans elever (jvf. f.eks. resuméet i Shepard og Cooper, 1982) og mange andre (f.eks. Kosslyn, 1980).

Den introspektive fornemmelse af at dreje et forestillingsbillede i hovedet er langt mere slående end indtrykket af mental størrelsestransformation, hvilket antageligt har været medvirkende til, at Mach (1911), som vi har set, foreslog, at rotationsinvarians blev indset på basis af intellektuelle processer, mens størrelsesinvarians direkte skulle kunne sanses. Ud fra reaktionstidsforsøgene kan vi sige, at de to typer af invarians tværtimod (ofte) beror på beslægtede processer, nemlig mental størrelsestransformation og mental rotation. De to processer kan opfattes som billedmanipulationsrutiner, der kan indgå som selvstændige komponenter i andre kognitive opgaver. Det har derfor særlig interesse at studere, om eller hvorledes mental rotation og mental størrelsestransformation kan kædes sammen til et visuelt program for perception af form, uafhængigt af både størrelse og orientering.

Kombinerede mentale transformationer af størrelse og orientering

Hovedformålet ved vore eksperimenter, der fulgte det sædvanlige reaktionstidsparadigme, var at belyse, hvorledes vi normaliserer stimulusmønstre, der afviger fra hinanden både med hensyn til størrelse og orientering (jvf. Bundesen, Larsen og Farrell, 1981; Larsen, 1985). Vi havde naturligvis forhåbninger om, at forsøgspersonerne, svarende til de sammensatte transformationer af størrelse og orientering, vi underkastede stimulusmønstrene, ville benytte sig af en visuel rutine, der på en eller anden måde var sammensat af mentale transformationer af størrelse og orientering.

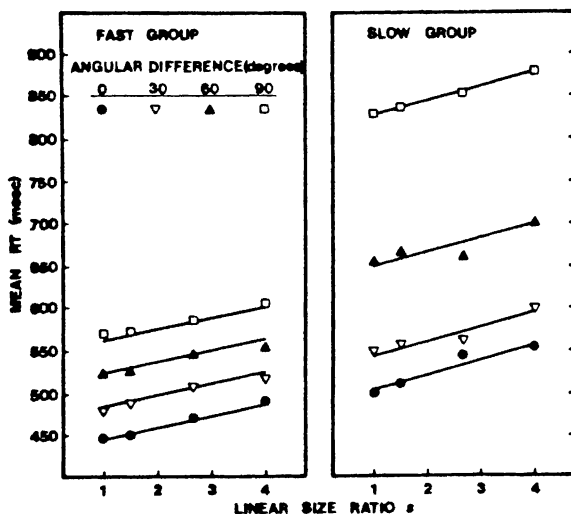


Figur 7. Eksempler på stimulusmateriale fra forsøg over kombinerede transformationer af størrelse og orientering (fra Larsen, 1985).

Hvis mental størrelsestransformation og mental rotation er virksomme på samme tid, men forløber uafhængigt af hinanden eller parallelt, er det let at se, at den samlede forarbejdnings tid bestemmes af den af de to transformationer, der afslutter sidst. Hvis de to mentale transformationer derimod er serielle, så vil reaktionstidsstigningen for en given kombination af størrelsesforhold og drejningsvinkel mellem stimuli være lig summen af effekterne af størrelsesforhold og drejningsvinkel (jvf. Posner, 1978; Sternberg, 1969).

Mentale processer kan naturligvis være sat sammen på andre måder, men den serielle henholdsvis parallelle ordning er ret basal og så simpel, man næsten kan tænke sig. Fremfor alt er den også empirisk identificerbar (jvfr. dog Anderson, 1978; Townsend, 1972).

Resultaterne fra Bundesen, Larsen og Farrell (1981), der først viste et indprægningsmønster, der efter kort tid blev erstattet af et testmønster, der afveg fra det første med hensyn til størrelse, orientering eller begge dele, er vist i Figur 8.



Figur 8. Gennemsnitlige reaktionstider (over positive og negative svar) som funktion af størrelsesforholdet (S) og med vinkeldifferensen (v) som parameter. Det lidt afvigende resultatmønster for den langsomme gruppe (slow group) diskuteres ikke her (fra Bundesen, Larsen og Farrell, 1981).

Resultaterne bekræftede tidligere fund. Reaktionstiden steg omtrent lineært som funktion af størrelsesforholdet mellem mønstrene og ligeledes omtrent lineært med drejningsvinklen.

For de rene tilfælde af størrelsestransformation og drejning har vi således støtte for transformationsforklaringen: Det først viste stimulusmønster indkopies som forestillingsbillede, der herefter underkastes en mental transformation korresponderende til den eksterne stimulustransformation, indtil det repræsenterede mønster er kongruent med testmønsteret. Forsøgspersonerne kunne kun give en ret fragmentarisk skildring af deres fremgangsmåde, men det billede, der tegnede sig, stemmer dog godt med vor fortolkning.

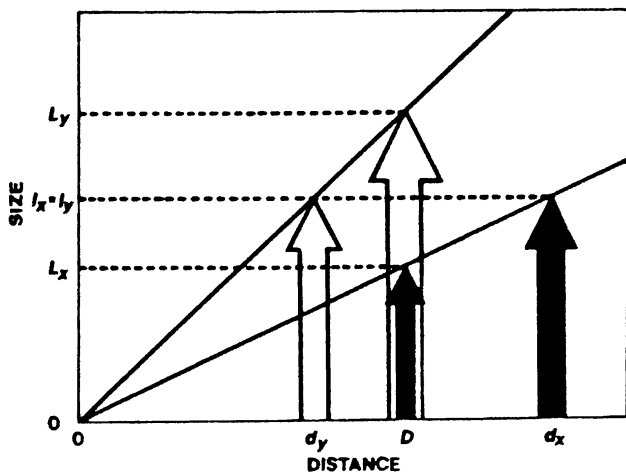
Hovedresultatet, der senere er blevet uddybet og generaliseret (Larsen, 1985) var, at effekterne af størrelsesforholdet og vinkeldifferensen mellem de præsenterede stimuli var additiv. Effekten af størrelsesforholdet var således den samme uanset størrelsen af drejningsvinklen, og omvendt, og den kombinerede effekt af drejningsvinkel og størrelsesforhold var til en fin tilnærmelse lig den additive kombination (eller blot summen) af de rene effekter af drejningsvinkel og størrelsesforhold. Resultatmønsteret tyder på, at mental rotation og størrelsestransformation er uafhængige processer, der er virksomme på skift, men vi tror ikke meget på, at mental drejning og mental størrelsestransformation er ordnet i en simpel seriel tottrins organisation.

Grunden hertil er dels resultater fra parallelle studier over oplevet bevægelse ved skiftevis præsentation af stimuli i forskellig størrelse og oriente-

ring, hvor der mellem de to stimuluspositioner fremkaldes indtryk af en glat skruende bevægelse i dybden (Bundesen, Larsen og Farrell, 1983). Dels forsøgspersonernes introspektive rapporter, der tydede på, at opgaven blev løst ved, at forestillingsbilledet af det ene mønster blev størrelsestransformeret og drejet mere eller mindre på samme tid. De to mentale transformationer synes at følges ad, således at forestillingsbilledet blev bragt gennem intermediære positioner, der svarede til intermediære positioner i en ekstern transformation af størrelse og orientering, der kunne føre det første stimulusmønster over i det andet.

En mere rimelig fortolkning af vore data går derfor ud på, at den samlede transformationsproces brydes ned i kortvarige mentale drejninger, der afløses af kortvarige mentale størrelsestransformationer, der igen afløses af mentale drejninger etc. På et givet tidspunkt udføres der altid en ren mental transformation, og vi kan karakterisere modellen som en mikroseriel model eller, med et udtryk hentet fra datalogien, som en time-sharing model for manipulation af visuelle forestillingsbilleder.

Fortolkningen af eksperimenterne over kombineret transformation leder naturligt frem til, at mental rotation og mental størrelsestransformation i sig selv er sammensatte og kan dekomponeres til mindre mentale rotationer og mindre mentale størrelsestransformationer. Vi kan således opfatte en mental drejning over en vinkel på 10 grader som 10 på hinanden følgende inkre-



Figur 9. Forskelle i størrelse kan opløses som forskelle i dybde. Genstand x (den lille fede pil) og genstand y (den store åbne pil) har lineære størrelser på henholdsvis L_x og L_y . Genstandene vises i afstanden D fra forsøgspersonen. Ved at multiplicere (størrelsestransformere) omkring 0 (forsøgspersonens synspunkt) kan størrelsesforskellen mellem x og y opløses til en forskel i dybde mellem billederne af x (stor fed pil) og y (lille åben pil). Billedstørrelserne L_x og L_y er de samme, mens afstandene til billederne d_x og d_y er forskellige (fra Bundesen, Larsen og Farrell, 1981).

mentaldrejninger på 1 grad hver. Argumenterer vi på tilsvarende måde angående mental størrelsestransformation, går det imidlertid galt.

Det gælder ikke, at varigheden af en mental størrelsestransformation, der f. eks. normaliserer et størrelsesforhold på 6 mellem to mønstre, er lig summen af varighederne af mentale størrelsestransformationer, der normaliserer et størrelsesforhold på 3 henholdsvis 2 mellem to mønstre. Men det ville gælde, hvis funktionssammenhængen var logaritmisk.

På Figur 9 er det angivet, hvorledes den tilsyneladende modstrid kan løses. Idéen er simpel og går blot ud på, at forskelle i størrelse opløses visuelt som forskelle i dybde mellem det mindste mønster, der placeres længere væk fra iagttageren, og det største mønster, der placeres tættere på. Forskellen i dybde (d) kan afledes uden det store besvær og er lig afstanden til den største figur (dy) multipliceret med $S-1$, hvor S er størrelsesforholdet. Betragter vi mentale størrelsestransformationer som realiserede ved mentale flytninger i dybden (med konstant fart), kan disse også uden modsigelser dekomponeres i inkrementaltransformationer.

Fra menneske til maskine?

Alfred Lehmanns interesse for visuel genkendelse havde et interessant praktisk udgangspunkt. I slutningen af forrige århundrede lykkedes det at fremstille syntetisk »smør« (d.v.s. margarine), hvilket den daværende regering blev temmelig rystet over. Man frygtede, at smørksporten til England skulle gå i stå.

Indenrigsministeriet tilkaldte da unge Dr. Lehmann, der konstruerede en farveskala fra trist smågrumset bleggul til mættet varm solskinsfyldt (smør)gul. I lov af 5te april 1888 forkyndte man så, at margarine skulle holde sig til farvetoner i den nedre bleggule livløse ende af Lehmanns farveskala. Lehmann oplyser i en kort selvbiografisk note, at »Indenrigsminister Ingerslev lod mig kalde og udtalte, at jeg ikke blot havde gjort Regeringen men hele Landet en stor Tjeneste med mit Arbejde, og hvis jeg ikke havde været saa ung og siddet i saa underordnet en Stilling, vilde han have bedt Kongen om en Ridderkors til mig.« Lehmann (1918).

Vor interesse for at belyse vor evne til at se, at to visuelt foreliggende mønstre har samme form på trods af forskel i størrelse eller orientering, udspringer ikke på samme direkte måde af ønsket om at løse et praktisk problem. Det har dog været klart siden starten af 60'erne, at en klarlægning og en præcis beskrivelse af de visuelle algoritmer eller beregningsprocedurer, mennesker bruger, i princippet ville kunne overføres som et program i en maskine, der da ville kunne se (jvf. Ballard og Brown, 1982; Marr, 1982; Uhr, 1973), i betydningen fælde visuelle domme på basis af optisk information. At dette objekt er længere borte end hint, at dette er NN's håndskrift,

at der foreligger et billede, som kunne være en Jens Juel, men nok ikke er det, etc.

Det vil vare en rum tid, før vi kommer så vidt, men der er ikke noget i vejen for, at transformationsteorien kan præciseres og suppleres med passende antagelser, der vil muliggøre udformning af en transformationsalgoritme i en maskine, der får sine visuelle input fra et videokamera. En sådan maskine, der i en vis forstand er bestykket med en smule af vor sjæl, har antagelig ikke den store interesse i industrien. Men der er andre teorier om aspekter ved synet, der, hvis de kan udformes som programmer i en datamat, vil have meget stor interesse. Det gælder ikke mindst teorier om ord- og talgenkendelse (til automatisk brevsortering), teorier om teksturdiskrimination (texture: overfladestruktur) med henblik på kvalitetssortering af tekstiler, vasketøj, træ m. m.

Man må forudse, at kognitionspsykologien og dermed psykologien kan få betydelig indflydelse på udformningen af intelligente maskiner og på udformningen af samspillet mellem mennesker og maskiner.

REFERENCER

- ANDERSON, J.R. (1978). Arguments concerning representations for mental imagery. *Psychological Review*, 85, 249-277.
- BADDELEY, A. (1976). *The psychology of memory*. New York: Harper & Row.
- BALLARD, D. H., & BROWN, C. M. (1982). *Computer vision*. Englewood Cliffs. Prentice-Hall.
- BESNER, D. (1983). Visual pattern recognition: Size preprocessing reexamined. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 35 A, 209-216.
- BESNER, D., & COLTHEART, M. (1976). Mental size scaling examined. *Memory & Cognition*, 4, 525-531.
- BUNDESEN, C., & LARSEN, A. (1975). Visual transformation of size. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 1, 214-220.
- BUNDESEN, C., LARSEN, A., & FARRELL, J.E. (1981). Mental transformations of size and orientation. I J. Long & A. Baddeley (red.), *Attention and performance IX*. Hillsdale, N.J.: Erlbaum.
- CORCORAN, D.W.J. (1971). *Pattern recognition*. Middlesex: Penguin Books.
- DEUTSCH, J.A. (1955). A theory of shape recognition. *British Journal of Psychology*, 46, 30-37.
- DODWELL, P. (1970). *Visual pattern recognition*. New York: Holt.
- GOLDMEIER, E. (1972/1937). Similarity in visually perceived forms. *Psychological Issues*, 8, hele nummeret. Oprindeligt publiceret i: *Psychologische Forschung*, 1937, 21, 146-208.
- HOWARD, J. H., & KERST, S. M. (1978). Directional effects of size changes on the comparison of visual shapes. *American Journal of Psychology*, 91, 491-499.
- HUBEL, D. H., & WIESEL, T. N. (1962). Receptive fields, binocular interaction and functional architecture in the cat's visual cortex. *Journal of Physiology*, 160, 106-154.
- HUBEL, D. H., & WIESEL, T. N. (1968). Receptive fields and functional architecture of monkey striate cortex. *Journal of Physiology*, 195, 215-243.
- HØFFDING, H. (1889). Umiddelbar Genkendelse. *Videnskabeligt Selskabs Skrifter*, 6. Række, III.

- HÖFFDING, H. (1893). Zur Theorie des Wiedererkennens. *Philosophische Studien*, 8, 86-96.
- HÖFFDING, H. (1905/1885 2. Udg.). *Psykologi i Omrids*. 5. Udg., København: Gyldendalske Boghandel.
- KOFFKA, K. (1935). *Principles of Gestalt Psychology*. New York: Harcourt.
- KOSSLYN, S.M. (1980). *Image and mind*. Cambridge: Harvard University Press.
- LARSEN, A. (1985). Pattern matching: Effects of size ratio, angular difference in orientation, and familiarity. *Perception & Psychophysics*, 38, 63-68.
- LARSEN, A., & BUNDESEN, C. (1978). Size scaling in visual pattern recognition. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 4, 1-20.
- LEHMANN, A. (1888). Om Genkendelse. *Videnskabeligt Selskabs Skrifter*, 6. Række, II.
- LEHMANN, A. (1890). Ueber Wiedererkennen. *Philosophische Studien*, 5, 96-164.
- LEHMANN, A. (1892). Kritische und experimentelle Studien über das Wiedererkennen. *Philosophische Studien*, 7, 169-212.
- LINDSAY, P.H., & NORMAN, D.H. (1972). *Human information processing*. New York: Academic Press.
- MACH, E. (1911). *Analyse der Empfindungen*. Jena. Gustav Fischer:
- MARR, D. (1982). *Vision*. San Francisco: Freeman.
- NEISSER, U. (1966). *Cognitive psychology*. New York. Appleton-Century-Crofts.
- PITTS, W., & McCULLOCH, W. S. (1947). How we know universals. The perception of auditory and visual forms. *Bulletin of Mathematical Biophysics*, 9, 127-147.
- POSNER, M. I. (1978). *Chronometric explorations of mind*. Hillsdale, N.J.: Erlbaum.
- POSNER, M. I., & MITCHELL, R. F. (1967). Chronometric analysis of classification. *Psychological Review*, 74, 392-409.
- RUBIN, E. (1915). *Synsoplevede Figurer*. København: Gyldendalske Boghandel.
- SHEPHARD, R. N. (1984). Ecological constraints on internal representation. Resonant kinematics of perceiving, imagining, thinking, and dreaming. *Psychological Review*, 91, 417-447.
- SHEPARD, R. N., & COOPER, L. A. (1982). *Mental images and their transformations*. Cambridge, Mass.: MIT Press.
- SHEPARD, R. N., & METZLER, J. (1971). Mental rotation of three-dimensional objects. *Science*, 171, 701-703.
- STERNBERG, S. (1969). The discovery of processing stages: Extensions of Donders' method. *Acta Psychologica*, 30, 276-315.
- TOWNSEND, J. T. (1972). Some results on the identifiability of parallel and serial processes. *British Journal of Mathematical and Statistical Psychology*, 25, 168-199.
- UHR, L. (1973). *Pattern recognition, learning, and thought*. Englewood Cliffs: Prentice Hall.