

SYSTEEMBENADERING BIJ GEDRAGSBEPALING VAN LINEAIRE
DYNAMISCHE SYSTEMEN IN DE ECONOMIE *

Hugo J.J. Uyttenhove, Ph.D.

Technische Hogeschool Eindhoven
Afdeling der Bedrijfskunde

1. Inleiding

Gedurende de laatste tientallen jaren hebben zowel statistici als economen zich bezig gehouden met het voorspellen van economische toestanden aan de hand of met behulp van een verzameling economisch verwante variabelen (1)-(6). In deze studie werd nogal wat aandacht besteed aan het vinden van relaties tussen de variabelen, vooral daar waar het vertraagde waarnemingen van variabelen betrof. Meestal werden de gekozen variabelen, met of zonder vertraagde waarnemingen van die variabelen, bestudeerd door middel van regressie-analyses, factor en cluster analyses, standaard computer programma's (SPSS, SAS, BIOMED, etc.), alsook door in elkaar gezette theorieën en methoden welke allen de uiteindelijke naam van "model" meekregen.

Dit soort studies worden niet alleen in de economische wetenschap weergevonden, maar ook in andere disciplines zoals in de ecologie met Haffon (7), Nieman (8) en Duffy (9), sociale wetenschappen met Cavallo en Conklin (10), biologie met Patrick (11), enz. In de meeste gevallen heeft men data (b.v. een tijdreeks) en de oplossing van een zoekproces naar functies tussen de variabelen wordt nagestreefd met het doel deze functies te optimaliseren. Deze optimalisatie van functies kan bijvoorbeeld liggen in het zo exact mogelijk weergeven van de originele data, of in het zo goed mogelijk voorspellen van data welke nog moeten worden waargenomen. Economische modellen beogen meestal optimalisatie voor beide laatste mogelijkheden. Hoe goed zijn nu deze modellen? Uit het standpunt van de niet-econometrist blijkt nogal vlug uit de alledaagse wereld om ons heen dat al

* Uit een lezing gegeven aan de Erasmus Universiteit te Rotterdam,
16 maart 1979.

dat modelleren toch niet kan verhelpen dat het mooi mis zit met economische toestanden in verschillende landen. Al vlug gaat de blaam uit naar alles en iedereen die met economie te maken heeft. Simultaan rijst dan ook de vraag of het dan toch niet beter kan worden gedaan door het model zelf te optimaliseren naar een bepaalde toestand, om aan de hand van de verandering(en) te leren wat aan een economische toestand moet worden verbeterd.

Het hart van onze kritiek is niet alleen bedoeld voor economen maar ook voor de onderzoekers in andere disciplines die nogal vlug "functie" uit data afleiden, en deze functies bepalen als uitsluitend systeemkritische relaties van "oorzaak en gevolg", zonder rekening te houden met een vorm van gedragsbepaling. Het woord systeem komt nogal onnodig veel voor in de hedendaagse wetenschappelijke literatuur en als men spreekt van een "economisch systeem" dan spitsen de systeemleerdeskundigen de oren en stellen een reeks van vragen zoals: kan het probleem als een systeem worden gedefinieerd, en indien ja, zijn er systeemtheoretische aspecten bekeken, van wat voor soort systeem is hier sprake, enz. Zo is het een belangrijk punt dat in de systeemleer (en niet alleen daar) de stap van data naar functie wordt gedaan via het gedrag van het systeem. Dit gedrag kan op verscheidene manieren worden bepaald en vormt grotendeels de inhoud van het derde deel van dit betoog.

Nu is het wel zo dat het concept systeem, en de daarmee verbonden systeemleer, in vele disciplines al aanvaard is als een concept van niet te onderschatten betekenis en waarde. Deze waarde ligt vooral in het voortdurend beter begrijpen van een wetenschap en haar intrinsieke functies door middel van één of ander zoekproces gesuggereerd door een goed ontwikkelde methodologie. De betekenis van het concept is echter alleen interessant als die methodologie wordt toegepast (of aangewend) welke algemeen is, met andere woorden een methodologie welke voortkomt uit een algemene systeemleer. Als die methodologie echt algemeen genoeg is zonder een te hoge abstractie, bereikt men twee belangrijke punten: ten eerste een duidelijke positieve bijdrage tot de individuele wetenschap en ten tweede een verbinding van meerdere disciplines door middel van dezelfde systeem-methodologische begrippen. Dit laatste duidt op een vorm van communicatie welke wordt geschapen tussen de verschillende wetenschapsvakken. De taal welke hierbij wordt gebruikt is die van de algemene systeemleer.

Dit alles betekent niet dat de systeemleer nu eens en voor altijd de oplossingen van economische of andere systeemproblemen gaat behartigen. De systeemleer heeft geen deus-ex-machina techniek, wel een epistemologisch verantwoorde methodologie en indeling van systemen. Het systeemdenken is eigenlijk niet vreemd aan de economie want in de beschrijving van het economisch denken zou de systeemdenkende een boeiende gelijkenis en relatie tussen beide vinden; zie Gill (13), Heimann (14), Oser (15) en Spiegel (16). Ook de vraag naar het al of niet gewenste ingrijpen in economische processen toont in de beschrijving van die vraagstukken impliciet cybernetische of systeemleerverwante gedachtengangen aan; zie Krupp (17) en Mayr (18). Men zou dus bijna besluiten dat de systeemdenkende zich bijna moreel verplicht voelt zich aan te sluiten bij de economisch denkenden met de bedoeling nieuwe ideeën en methodologieën, die recent ontworpen zijn in de ivoeren torentjes van de systeemleer/cybernetica, kenbaar te maken.

Om dit laatste te verwezenlijken stellen we voor in grote lijnen de methodologie door Klir et al. te beschrijven om zodoende de taal van de systeemleer weer te geven. De methodologie berust op "wetenschap" in de zin van "kennis", waarmee bedoeld wordt dat op verschillende niveaus van kennis, meer en meer geleerd wordt van het systeem in kwestie. Het hoger opgaan van het ene niveau naar het andere wordt eigenlijk systeemsynthese genoemd zoals duidelijk blijkt uit de systeemindeling hieronder. Aan de hand van een veel besproken voorbeeld uit de economie, zullen we aantonen hoe methoden uit de systeemleer, of althans daar beschreven, toepasbaar zijn bij de oplossing van het gestelde probleem.

2. Een systeemleer methodologie

2.1. Enkele historische beschouwingen

Systeemleer is eigenlijk geen nieuw begrip, al was het bijna een halve eeuw geleden dat één en ander gezegd werd over een algemene systeemleer en er ook over werd geschreven door Von Bertalanffy (19) en Schlick (20). Eigenlijk is het impliciete systeemdenken al zo oud als de wetenschap zelf, als we aannemen dat het begrip "geheel" als systeemkenmerkend werd opgevat door Aristoteles (21). Het hedendaagse systeemdenken gebeurt langs twee verwante lijnen. Ten eerste is er het begrip van samenhang, betref-

fende de toenemende erkenning van het inzicht dat het opdelen van fenomenen met verlies van kennis gepaard kan gaan. Die fenomenen welke niet kunnen worden opgedeeld in elementen werden als "whole" beschouwd. Ten tweede is er de lijn van het eenheidsstreven in de wetenschap in welke de algemene systeemtheorie een poging doet tot herintegratie van de wetenschap.

Cybernetica heeft vooral aan dit laatste punt heel wat bijgedragen, nog vóór het als een zelfstandig vak werd beschouwd. Later werd dit nog duidelijker door de werken van Wiener (22) en Ashby (23)-(25). Algemeen systeemonderzoek nam een vaste en bredere vorm aan in de jaren zestig (naast Operations Research) en er kwamen verschillende methodologieën opdagen met o.a. Greniewsky (26), Svoboda (27), Mesarovic (28), Klir (29) en Wymore (30). Deze methodologieën waren allen gebaseerd op een eigen conceptueel "framework" en er bestaat nogal een grote gemeenschap tussen die verschillende benaderingen (31).

Systeemleer is een erkend vak in de Verenigde Staten, en soms lijkt het erop dat de systeemdenkenden hun eigen ivoren torentjes aan het bouwen zijn zonder noodzakelijk met toepassing van theorieën in andere disciplines rekening te houden (zie congressen van de European Meeting on Cybernetics and Systems Research en Meeting of the Society of General Systems Research). Dit zou dan opgevangen moeten worden door bijeenkomsten die de systeemleer terug op het "goede" spoor zetten door over toepassing te praten (NATO International Conference on Applied Systems Research, Binghamton, N.Y. (32)). Nochtans wordt in deze laatste bijdrage aan beide aspecten aandacht besteed, vooral aan de indeling van systemen en hun definities, m.a.w. verdere theoretische ontwikkeling. Algemeen wordt op deze en andere congressen de hoop uitgedrukt dat de systeemleer nodig moet worden toegepast. Dit artikel is dan ook bedoeld als een klein voorbeeld van toepassing, zij het met de vaststelling dat eerst nog formele aspecten van de methodologie moeten worden voorgedragen.

2.2. Hierarchische systeemindeling

Een onderzoeker, in het algemeen, kiest als onderwerp van zijn studie datgene waarmee hij in zekere mate familiair is. Worden daar nog hypothesen aan toegevoegd, alsook een manier van dat verzamelen en een goed bepaalde verwerkingsmethode, dan beschouwt hij zijn onderwerp als redelijk goed ge-

definiëerd. Met andere woorden, een onderwerp is een deel van onze wereld dat voor de onderzoeker betekenis heeft, dat hij als het ware als een entiteit beschouwt en dat hij voor een bepaalde tijd of op bepaalde plaatsen kan waarnemen. Zo kunnen een computer, een economisch stelsel, een stad, een sociale groep, een boek, een gebouw, een fabriek, een boerderij, enz. voorbeelden zijn van onderwerpen ter studie in een bepaalde discipline.

Zodra het onderwerp is bepaald moet de onderzoeker aandacht besteden aan de attributen (eigenschappen) die relevant zijn voor het probleemonderwerp. Zonder het detail van eigenschappen is het meestal onmogelijk om het geheel van het systeem te leren begrijpen in al zijn complexiteit. De selectie van de attributen is helemaal geen triviaal gebeuren want het zal in verband met dezen zijn dat de resultaten zullen kunnen worden verklaard. Uit de literatuur van de systeemtheorie kan men wellicht vaststellen dat weinig aandacht wordt besteed aan deze selectie. Veelal wordt een systeem gedefiniëerd op basis van wat gegeven is of gedacht gegeven te zijn en wordt het zomaar als analyse of synthese voorgeschoteld. Hoe men nu aan deze gegevens toekomt krijgt een vage beschrijving en wordt door vele systeemtheoretici beschouwd als een verantwoordelijkheid voor de onderzoeker uit een andere discipline.

Welke problemen schept dit nu? Eerst en vooral bestaat de kans dat de systeemoplossing een verkeerde uitleg geeft (bijvoorbeeld in de vorm van een model) aan het door de onderzoeker gestelde probleem, omdat bepaalde eigenschappen niet in acht genomen werden ofwel waardeloos blijken te zijn, en ten tweede bestaat er weinig of geen dialoog tussen de algemene systeemdenkende (= theorie en abstractie) en de onderzoeker (= praktijk), hetgeen bijdraagt tot verdere verwarring en misleidende interpretatie van resultaten.

In het kort toont dit dat er een nood bestaat aan dialoog en wetenschappelijk overleg tussen de onderzoeker enerzijds en de systeemdenkende anderzijds reeds bij het begin van de studie. Natuurlijk geldt dit voor die gevallen in welke de onderzoeker buiten zijn eigen traditionele methodologieën moet en de wereld van de systeemtheorie opzoekt. Een groots opgezette verwezenlijking van het nader tot elkaar brengen van beide zijden is uitvoerig geschreven door Wymore (33) en het idee van "interdisciplinary

teams" is zeker niet kansloos, alhoewel we betwijfelen dat het vormen van een team ook geen vooroordelen inhoudt om tot een concrete vaststelling te komen van welke attributen nu belangrijk zijn of niet.

Dat het bepalen en afbakenen van een onderwerp (systeem) een vaste vorm dient te hebben, berustende op niet-bevooroordeelde disciplinaire richtlijnen van de onderzoeker, alsmede op de kennis van de mogelijkheden van de systeemmethodologie welke zal worden aangewend, leidt geen twijfel. In de volgende delen zal nader worden uitgelegd welk supplement nodig is om tot het niveau van basissysteem te komen. Klir (34) definieert een hiërarchie van niveaus van epistemologische systemen, waar elk systeem de kennis van een systeem op een lager niveau inhoudt maar ook extra informatie bezit eigen aan dat bepaalde niveau. Het laagste niveau, het niveau 0, wordt het basissysteem genoemd. Op een volgend niveau 1 krijgt het systeem er data bij en wordt eenvoudigweg datasysteem genoemd. Op het volgend niveau wordt het systeem beschreven door een bepaalde invariante relatie (gedrag) die het mogelijk maakt de data opnieuw te genereren aan de hand van het verkregen gedrag; vandaar dan de term gedragssystemen. Structuursystemen volgen op niveau 3 en bevatten een groep van kleine relaties (invariante subsystemen) uit de algemene relatie en koppelingen tussen deze kleine relaties. Hogere niveaus worden beschreven als metasystemen of collecties van systemen op een lager niveau samen met procedures om de systemen van de lagere niveaus aan elkaar te koppelen. Systemen op dit niveau zijn niet invariant met betrekking tot referentie(support)variabelen. Structuur- en metasystemen worden in deze bijdrage niet verder besproken.

2.2.1. Het basissysteem

De definitie van een systeem op het niveau van bepaling van het onderwerp samen met de eigenschappen of attributen in de mogelijke manifestaties van deze eigenschappen worden door Klir het onderwerpsysteem genoemd (35). Met het oog op latere informatieverwerking wordt nu een abstract beeld van dit onderwerpsysteem gemaakt door de vervanging van attributen door variabelen en de manifestaties van de attributen door waarden van deze variabelen. Dit abstract systeem wordt het beeldsysteem genoemd. Het verband tussen de variabelen en de attributen moet worden behouden, alsook de resolutie aangewend om de manifestaties om te zetten in numerieke waarden voorzover ze zo nog niet werden gegeven. Dit helpt dan later de onder-

zoeker met het uitleggen van een oplossing in een terminologie van het onderwerpsysteem waar hij trouwens mee begonnen is. Het is dit beeldsysteem samen met het onderwerpsysteem dat het eerder vermelde basissysteem wordt genoemd.

Op dit niveau in de hiërarchie kan al een onderscheid worden gemaakt tussen basis en support variabelen. Basisvariabelen zijn deze welke door de onderzoeker worden gemeten volgens de aard van de support variabelen, zoals tijd of ruimte.

2.2.2. Het datasysteem

Als de onderzoeker wel weet wat de variabelen nu zijn, moeten ze ook nog worden waargenomen. Laat ons voortaan als voorbeeld veronderstellen dat deze waarnemingen gebeuren in verband met tijd als de support variabele. De opgenomen waarden van de variabelen vormen de data en voorlopig kan weinig worden gezegd over de verbanden die bestaan tussen waarden van de verschillende variabelen. Wel is het soms belangrijk te weten wat de beginstaat was van het systeem. Ook kan de onderzoeker, indien hij eigenlijk een systeemontwerper is, de waarden vastleggen, m.a.w. hij bepaalt de trajecten van de verschillende variabelen door toedoen van hun waarden die ze moeten hebben op een bepaald tijdstip. Dus, de data kunnen zowel worden verzameld, gemeten of gegeven zijn.

2.2.3. Het gedragssysteem

Zoals eerder gezegd, is een kenmerk van dit soort systemen één enkele invariante relatie. Deze relatie kan in velerlei vormen worden weergegeven en berust op het idee van een masker. Men kan zich voorstellen dat het datasysteem (b.v. met tijd als de support variabele) in matrixvorm wordt gepresenteerd waar de rijen de variabelen aanduiden, de kolommen de tijdstippen en een element dus de waarde van een bepaalde variabele op een bepaald tijdstip; zie figuur 1a. Nu kunnen we een selectie maken van een referentiekolom (aangeduid door t in figuur 1b) welke de tegenwoordige tijd weergeeft. Links en rechts van deze kolom kunnen we eveneens elementen kiezen welke het verleden of de toekomst van de variabelen beschrijven. Deze selectie is echter niet arbitrair en dit geldt hier slechts als voorbeeld. De geselecteerde elementen vormen nu het masker dat op de datamatrix wordt

Tijd

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
var. 1	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
var. 2	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
var. 3	1	1	1	1	2	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1

(a)

2	2
3	4
6	7

(b)

a	b
	c
	d

(c)

Figuur 1: (a) Een datasysteem voor 3 variabelen waar $V_1 = \{0,1\}$, $V_2 = \{0,1\}$ en $V_3 = \{1,2\}$.

(b) Voorbeeld van een masker met diepte 3 en (c) masker met diepte 2.

neergelegd. Door een verschuiven in tijd (van links naar rechts) kan men nagaan welke de relatie is tussen niet alleen de variabelen zelf, maar ook tussen de verleden, tegenwoordige en toekomstige waarden van de variabelen. Dit proces geeft letterlijk een bredere kijk op de data, en de onderzoeker kan nagaan hoe groot dat masker moet zijn om een goede relatie te vinden; goed in die zin bv. dat een deterministische relatie kan worden gevonden.

Een relatie is weergegeven als een verzameling van toestanden waarin een systeem zich kan bevinden. De grootte van die toestand wordt bepaald door de grootte van het masker. Dit wordt duidelijk aan de hand van het voorbeeld dat zal worden besproken.

3. Gedragsbepaling

3.1. Formulering van gedragsvormen

Reeds op het niveau van het basissysteem worden de variabelen aangeduid door de verzameling $\underline{v} = \{v_i | i = 1, n\}$ en de waarden van die variabelen door de groep van verzamelingen $\underline{V} (\underline{V} = \{V_i | i = 1, n\})$, bv.

$V_1 = \{1, 2, 3\}$). Laat t de tijdaangever zijn ¹⁾ en $\underline{T}$ de verzameling van alle tijden waarop waarnemingen gebeuren ($t \in \underline{T}$). Verondersteld wordt dat niet-negatieve gehele getallen gebruikt worden voor de individuele tijdstippen t . Ook zijn de elementen in $\underline{T}$ reëel op elkaar volgend, d.w.z. als $t_1 < t_2$ ($t_1, t_2 \in \underline{T}$) dan valt het tijdstip t_1 vóór het tijdstip t_2 .

Op het niveau van datasystemen kan de empirische data worden weergegeven als een matrix $[v_{i,t}]$ waar $v_{i,t}$ de toestand (waarde) aanduidt van variabele v_i op het tijdstip t onder de conditie dat $v_{i,t} \in V_i$. Een verzameling van variabelen s_k ($k = 1, 2, \dots, 9$) wordt 'sampling' variabelen genoemd, waar k overeenkomt met het paar (i,a) en de toestanden van $s_{k,t}$ van s_k gedefiniëerd zijn als

$$s_{k,t} = v_{i,t+a} \quad [1]$$

Een verzameling van paren (i,a) welke het subscript k van de sampling variabelen uniek bepalen, wordt het sampling masker genoemd. Wanneer dit masker op een datamatrix geplaatst wordt met als referentie kolom t , wordt een toestand c geïdentificeerd. Deze toestand c is dus een geaggregeerde toestand van de toestanden van de sampling variabelen volgens het masker. Een relatie R (of gedrag) van het systeem wordt nu bepaald door al de verschillende toestanden c die zich voordoen volgens masker en data. Daar bepaalde toestanden c zich meerdere malen kunnen voordoen, wordt in het algemeen de waarschijnlijkheid van c gecalculeerd en weergegeven als $p(c)$.

Aan de hand van het bovenstaande kan nu het basisgedrag van het gedragssysteem worden gegeven als:

$$B(bg) = \{(c, p(c)) \mid c \in R, 0 \leq p(c) \leq 1, \sum_c p(c) = 1\} \quad [2]$$

Dit basisgedrag kan nu worden aangepast zodat het een generatief karakter krijgt. Dit kunnen we hier doen omdat tijd een lineair geordende variabele is. De verzameling sampling variabelen kan nu worden gesplitst in twee groepen, namelijk de genererende variabelen en de gegenereerde variabelen. Het blijkt wel duidelijk dat de volgorde van deze variabelen in dit masker belangrijk is als tijd de support variabele is. Laten we c_g dat deel van de

¹⁾ Als support variabele werd hier de variabele tijd genomen om te kunnen vergelijken met het economisch systeem in deel 4. Vergelijking [1] is daarom vereenvoudigd weergegeven. Voor hun algemene vorm zie Uyttenhove (38).

toestand c voorstellen welke de geaggregeerde toestanden van de gegenereerde variabelen beschrijft; $\bar{c}_g$ wordt dan eenvoudig de rest van c . Een generatief gedrag kan dus worden gedefiniëerd als

$$B(gg) = \{((c_g, \bar{c}_g), p(c_g | \bar{c}_g)) | \{c_g, \bar{c}_g\} = c, c \in R, \\ 0 \leq p(c_g | \bar{c}_g) \leq 1, \sum_{c_g} (c_g | \bar{c}_g) = 1 \text{ voor elke } \bar{c}_g\} \quad [3]$$

Hieruit kan worden geconcludeerd dat dit gedrag een conditioneel karakter heeft. Zo wordt bv. gesteld dat als 'de sampling variabelen 1, 2 en 3 in toestand $\bar{c}_g$ verkeren, de sampling variabelen 4 en 5 in toestand c_g kunnen verkeren met een waarschijnlijkheid die tussen 0 en 1 inclusief ligt.

In systeemtheoretische termen wordt een gedragssysteem gedefiniëerd als

$$^2S = (^0S, M, B),$$

waar 0S een basissysteem aanduidt, M een masker en B één element uit de verzameling $\{B(bg), B(gg)\}$ ²⁾. Alhoewel het gedragssysteem niet expliciet data bevat, beschrijft het wel een relatie doorwelke men de data kan genereren.

Deze indeling van het gedragssysteem werd gemaakt voor neutrale systemen, d.w.z. systemen waar geen onderscheid wordt gemaakt tussen input/output variabelen. Dat dit gemakkelijk kan worden gedaan werd reeds eerder beschreven door Klir en Uyttenhove (36) maar is niet relevant aan de bedoeling van deze bijdrage.

3.2. Evaluatie van maskers

Het spreekt vanzelf dat verschillende maskers tot verschillende gedragingen van eenzelfde systeem gaan leiden. Ook wordt het aantal maskers vlug groot zoals theoretisch gegeven door $2^{n \times |a|}$ (n is het aantal variabelen en $|a|$ is het aantal tijdkolommen dat in acht wordt genomen). De maskerruimte wordt normaal gedefiniëerd als een blok, zoals in figuur 1b een blok van 9 maskerelementen. Binnen dit blok kunnen dus alle combinaties worden opgenomen, alhoewel er praktisch gezien enkele voorwaarden zijn. Men moet alleen die maskers aannemen, waarbij minstens één element per

²⁾ Er zijn ook nog andere gedragssnormen mogelijk, zoals die welke gebaseerd zijn op "state-transition". Voor meer detail daarover zie (34, 37, 38).

variabele aanwezig is. Verder moeten in het licht van de term generatie, die elementen tot de groep c_g behoren, welke meest rechts (meest gevorderde tijd) liggen en die elementen tot de groep $\bar{c}_g$ behoren welke links liggen (verleden tijd). De eigenlijke waarschijnlijkheden uit [3] worden in een gedragsmatrix weergegeven. De groep $\bar{c}_g$ maakt de rijen uit en de groep c_g de kolommen van de matrix. Uit [3] leiden we dan af dat elke rij tot 1 telt. Nu kunnen we heel eenvoudig berekenen wat de onzekerheid is wat betreft het genereren van een toestand c_g , gegeven een verleden toestand $\bar{c}_g$. Klir (37) stelde voor hiertoe Shannon's maat van entropie toe te passen welke leidt tot

$$H_{c_g} = - \sum_{c_g} p(c_g | \bar{c}_g) \cdot \log_2 p(c_g | \bar{c}_g) \quad [4]$$

De totale onzekerheid H_M voor een masker M is berekend als de som van deze onzekerheden vermenigvuldigt met de som van niet genormaliseerde waarschijnlijkheden ($p(\bar{c}_g)$), dus

$$H_M = - \sum_{c_g} p(\bar{c}_g) \sum_{\bar{c}_g} p(c_g | \bar{c}_g) \cdot \log_2 p(c_g | \bar{c}_g) \quad [5]$$

Voor elk masker kan nu een totale entropie berekend worden die meteen een basis vormt voor vergelijking van maskers. Men zou dus kunnen zeggen dat een beter masker datgene is waar de onzekerheid het kleinst is. Dit wordt eenvoudig de benadering van het masker (en het daarmee gepaard gaande gedrag) genoemd. Voor een gegeven datasysteem definiëren we een verzameling maskers en een orderrelatie $\leq_u$ zodat, als M_i en M_j twee maskers zijn binnen de te onderzoeken ruimte, $M_i \leq_u M_j$ betekent dat M_i niet een slechtere benadering is van de data dan masker M_j (38).

Het spreekt vanzelf dat hoe groter het masker wordt, hoe groter de kans bestaat dat de entropie nul wordt (een deterministisch systeem volgens het masker). Het is meestal wel wenselijk dat het masker zo klein mogelijk wordt gehouden, omdat anders de complexiteit van het gedrag groot wordt. Het is aanvaardbaar de complexiteit van een masker te definiëren als een functie van het aantal elementen in het masker en/of de diepte (teruggang naar het verleden) van het masker. Als M_i en M_j twee maskers zijn binnen de te onderzoeken ruimte, dan betekent $M_i \leq_c M_j$ dat masker M_i niet meer

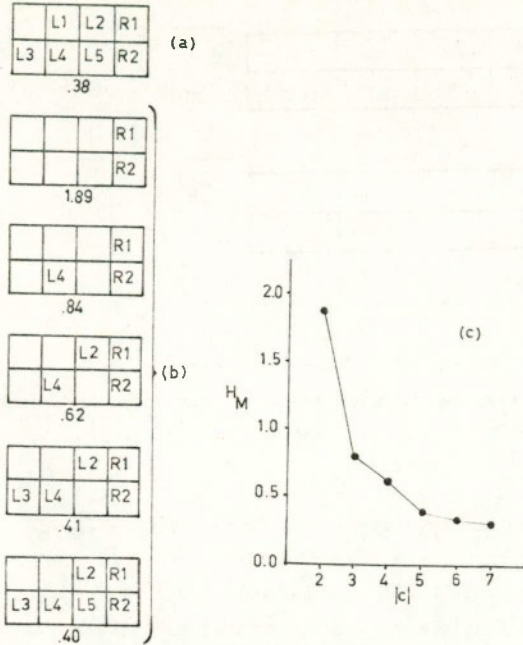
complex is dan masker M_j . Het produkt van de twee relaties geeft dan een afwegen weer tussen benadering en complexiteit en stelt bv. dat, als $\leq_u \leq_c$ wordt aangeduid door $\leq_*$ en $M_i \leq_* M_j$, M_i noch meer complex is noch een slechtere benadering is dan M_j .

De kwaliteit van het masker kan ook worden berekend op verschillende manieren zoals reeds gedaan door Klir (34), Cavallo (39) en Uyttenhove (38). Het eenvoudigst berekent men de kwaliteit als

$$Q_M = \left(1 - \frac{H_M}{H_T}\right) \times \frac{1}{|c| \times d} \quad [6]$$

waar H_T de maximum onzekerheid weergeeft, berekend als $\log_2 |V_i|$, $|c|$ de grootte van het masker aanduidt in aantal elementen en d de totale diepte van het masker weergeeft.

Alhoewel de berekening van de kwaliteit van een masker van belang kan zijn, stellen we voor eerder een grafische methode te gebruiken welke de benadering en complexiteit weergeeft. Figuur 2 geeft een voorbeeld van de resultaten van het algoritme gebruikt om één of meerdere optimale maskers te berekenen. Deel 2(a) geeft een volledig masker weer waar c_g zal worden bepaald door R_1 en R_2 , en $\bar{c}_g$ door L_1 tot L_5 . Het lege vakje duidt aan dat het element niet behoort tot de verzameling van sampling variabelen. Deel 2(b) toont de beste (kleinste H_M) maskers per niveau van complexiteit (c). De onzekerheid H_M is onderaan die maskers te vinden. In deel 2(c) zien we dat een masker met vijf sampling variabelen een veel betere benadering geeft dan één met vier. Daarentegen hebben grotere maskers een minder goede benadering en worden, aangezien ze een grotere complexiteit hebben, niet als oplossingen aanvaard.

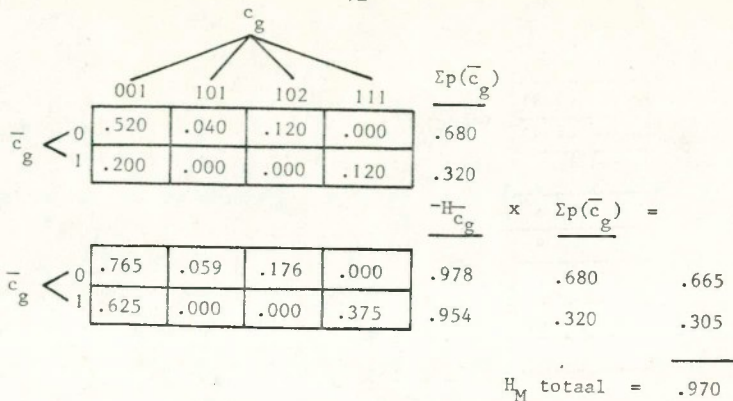


Figuur 2: (a) Totaal masker met genererende variabelen (L1-L5) en gegenereerde variabelen (R1,R2). (b) Beste maskers per niveau van complexiteit. (c) Grafische voorstelling van relatie tussen benadering en complexiteit.

3.3. Voorbeeld van evaluatie van één masker

Laten we als voorbeeld het masker nemen van figuur 1c. Het masker wordt ingedeeld zodat $c_g = \{b, c, d\}$ en $\bar{c}_g = \{a\}$. Vervolgens wordt het masker op de data gelegd met t op tijdstip 1. De waarden van a, b, c en d kunnen worden gelezen als 1,0,0 en 1 respectievelijk. Het masker wordt dan nog 24 maal verschoven tot een lezing gedaan is met t op 25. Via [3] wordt een gedragsmatrix berekend (alleen zijn de waarschijnlijkheden nog niet conditioneel). Dit geeft het resultaat zoals in figuur 3a, waar ook de sommen voor $\bar{c}_g$ zijn aangegeven.

Vervolgens wordt de matrix conditioneel weergegeven en de entropie berekend voor elke rij (volgens [4]) en dan voor de totale gedragsmatrix volgens [5]. De totale entropie is dus .97. De maximum onzekerheid is $\log_2((2) \times (2) \times (2)) = 3$; $|c|$ is hier 4, dus volgens [6] wordt de kwali-



Figuur 3. (a) Gedragmatrix met waargenomen waarschijnlijkheidsverdeling (volgens masker figuur 1c); (b) Gedragmatrix, conditioneel met berekening entropie.

teit .085. Om even te vergelijken stellen we dat $c_g = \{2,5,7\}$ en $\bar{c}_g = \{1,3,4,6\}$ in het masker van figuur 1b. De entropie is hier .62 en dus veel beter, maar met een kwaliteit van .036 is dit masker slechter. Ook in een grafische illustratie zou deze discriminatie blijven.

Deze manier van evalueren kan worden uitgevoerd voor alle maskers binnen het blok. Indien het blok te groot is, komt het meestal voor dat er bepaalde maskers zijn waarbij $H_M = 0$ bij grote complexiteit. De kwaliteit van deze maskers wijst vlug aan of het masker nog wel aanvaardbaar is.

4. Voorbeeld uit de economie

Het doel van dit deel is om (i) een uiteenzetting te geven van het probleem waar Coen, Gomme en Kendall (12), hierna aangeduidt als CGK, hun aandacht aan hebben besteed; (ii) een datasysteem te bepalen; (iii) een gedragssysteem te bepalen aan de hand van een optimaal masker; (iv) de sampling variabelen te gebruiken als latente variabelen in een regressie-analyse, alsook (v) de resultaten, op die manier bereikt, te vergelijken met die van CGK.

4.1. Het probleem

In 1969 hielden Coen, Gomme en Kendall een lezing voor de Royal Sta-

tistical Society in Engeland (12). Als statistici drongen ze hun eigen bevindingen en model nogal overtuigend op aan statistici en economen. Dit deden ze aan de hand van een studie over "Lagged Relationships in Economic Forecasting". Inhoudelijk komt het hierop neer dat men zich afvroeg of een beursindex, nl. de Financial Time Index (FT) een relatie heeft met de FT Commodity Index (FTC), met de autoproduktie in Engeland (CP), alsook met enkele andere variabelen. De data voor 20 jaren (per kwartaal) waren reeds gegeven. De bedoeling was zo'n klein mogelijk aantal variabelen te nemen, en te zien welke vertraagde waarneming van variabele FTC een hoge correlatie had met variabele FT. Hetzelfde werd gedaan met variabele CP. Zo kwam men bv. tot de conclusie dat CP op t-6 (dus 1½ jaar ervoor) en FTC op t-7, een goede voorspelling gaven voor FT op tijd t. Deze vertragingstijden werden los van elkaar bepaald aan de hand van correlaties op zicht.

Met de twee latente variabelen als onafhankelijke variabelen en de variabele FT als afhankelijke variabele, werd een regressie-analyse toegepast. De resultaten waren goed te noemen ($R^2 = .90$), maar om voorspellingen te doen liep de aldus verkregen vergelijking

$$FT(t) = 653.16 + .00047 CP(t-6) - 6.127 FTC(t-7) \quad [7]$$

helemaal fout. Om de voorspellingen beter te maken werd een interne variabele gebruikt (de Euphoria Index, of EI), welke de stijging en daling van de FT-index bevatte. De voorspelling kwam nu goed uit en ook was R^2 toegenomen tot .95.

Aangemoedigd door dit resultaat werd nu een variabele gekozen welke aan die EI variabele beantwoordde. Dit werd de variabele Bank Advances (BA). Het geheel werd opnieuw gedraaid en via de regressie-analyse kwam men nu tot een $R^2 = .61$. De verkregen vergelijking gaf wél een goede voorspelling, evenals een goede correlatie met de trend van de eigenlijke FT.

De kritiek op deze benadering, speciaal gericht op de selectie van de latente variabelen, was nogal fel bij zowel economen, statistici als zakenlieden (39, 40). Nochtans blijft deze methode gehandhaafd bij onderzoeken waar intuïtieve selecties de voorkeur genieten. Daarom is onze eigen kritiek positief in die zin dat we, hetgeen besproken werd in deel 3, deze kunnen aanwenden om op een onbevooroordeelde basis een selectie te maken van de latente variabelen.

4.2. De problemen bij de methode van CGK

Alhoewel Box en Newbold in het algemeen verklaren dat de methode van CGK niet zou mogen worden gebruikt omdat het een ingebouwde en verraderlijke mogelijkheid inhoudt om te misleiden (40), zouden we alsnog specifiek het volgende willen aanhalen:

- bij CGK geschiedde de selectie van de basisvariabelen op een losse manier, d.w.z. een variabele welke bijdraagt tot de R^2 of voorspellingen is goed genoeg. Natuurlijk is deze manier tegengesteld aan de definitie van het basissysteem waar de variabelenverzameling v wel goed gekend is. Wanneer deze verzameling wordt veranderd, heeft men te doen met een nieuw systeem;
- bij CGK werd de data aangepast met het wegnemen van de trends (detrend) en seizoenaanpassingen. In systeem-theoretische termen heeft er een overgang plaats gevonden op het niveau van het datasysteem. Alhoewel Box en Newbold hetzelfde toepassen, maken ze in een verwijzing naar vroeger werk van Box en Jenkins (41) de opmerking dat nu juist deze trend-analyse de cross-correlaties in de hand zou kunnen werken. In deel 4.3 geven we aan hoe deze overgang heeft plaats gevonden in de voorgestelde methodologie;
- in zekere zin hebben CGK, door hun statistische benadering, ook een masker gebruikt. Dat masker is nogal bescheiden en tegelijkertijd onnodig complex. De opmerkingen zijn:
 - (i) cross-correlaties waren ook merkbaar in de negatieve zin, zodat variabele CP ook als afhankelijke variabele zou kunnen worden gebruikt. Box en Newbold zeggen dat dit a priori ook zo zou kunnen zijn;
 - (ii) het masker bij CGK is geconstrueerd door paren (binaire relaties) alhoewel de drie variabelen (waarvan twee latent) bestudeerd worden aan de hand van één functie van drie of vier variabelen. Wij stellen voor dat het masker volgens de methode in deel 3 gekozen wordt aan de hand van een algemene relatie van grootte $|c|$.

- (iii) de restrictie op het masker waar geen vertraagde waarnemingen van de afhankelijke variabele zijn toegestaan, duiden op een veel toegestaan economisch standpunt. In normale omstandigheden zou het masker deze latente variabelen wel mogen bevatten. Het is zelfs zo dat Box en Newbold het geheel extreem opvatten en alleen vertraagde waarnemingen gebruiken van de afhankelijke variabelen!
- (iv) de selectie van slechts 2 latente variabelen corresponderend met de onafhankelijke variabelen is een grote beperking op het masker. In onze maskersselectie zal dit wel toegelaten zijn;
- de mogelijkheid om te voorspellen is bij CGK niet goed. Alhoewel we zelf niet veel meer kunnen doen daar we economische systemen meer als metasystemen beschouwen (zie deel 5), is het toch de bedoeling de juiste richting (trend) van de voorspelde variabele aan te geven.

4.3. Transitie op het datasysteem niveau

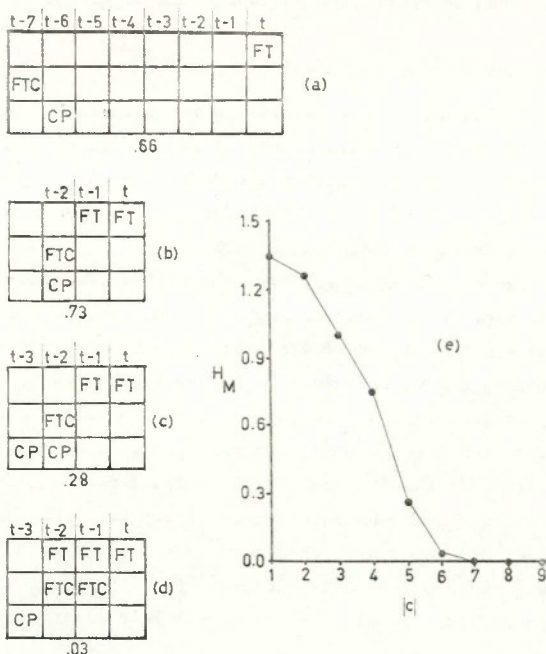
Om het mogelijk te maken onze resultaten met die van CGK te vergelijken, kozen we dus ook de 3 basisvariabelen FT, FTC en CP. Deze variabelen werden geobserveerd per op elkaar volgende kwartalen, hetgeen de variabele tijd de support variabele maakt. Aangezien het alleen in onze bedoeling ligt één of meerdere optimale maskers te vinden, is het voldoende om bv. te bestuderen hoe de data veranderd van het ene kwartaal naar het andere in de toekomst. Het is dus wel mogelijk vanaf het tweede kwartaal de data te veranderen in een code welke aangeeft wat de verandering in de waargenomen waarde is t.o.v. de waarde in het vorige kwartaal. Zo kan bv. code 1 aantonen dat er een sterke daling is tussen de waarden van twee opeenvolgende kwartalen. Code 1 staat dan voor een flinke stijging en code 0 voor een stabiele toestand ³⁾. Een masker, gebaseerd op de nieuwe (gecodeerde) data zal natuurlijk een systeem beschrijven waar de relatie tussen veranderingen van gegenereerde en genererende variabelen belangrijk is. Dit is echter geen probleem omdat hetgeen we echt willen vinden het masker is dat één optimale relatie tussen variabele en latente variabelen

³⁾ De definitie van daling, stabiliteit en stijging werd voor elke variabele bepaald door leden van de faculteit der Economische Wetenschappen van de Erasmus Universiteit te Rotterdam.

weergeeft met de bedoeling te kunnen voorspellen wat de toekomstige (gegeneerde) veranderingen zullen zijn. We passen dus geen detrend in de klassieke zin toe, alhoewel trends gedeeltelijk zijn weggenomen door deze procedure van differentiatie.

4.4. Maskersselectie

De eerste stap in de procedure is het bepalen van de grootte van het masker, nl. het aantal kolommen, of in dit geval, hoeveel kwartalen in het verleden. Gebaseerd op de gecodeerde data toont een totaal masker met 4 kolommen al een onzekerheid (H_M) gelijk aan nul. Grotere maskers zijn dus niet nodig. Per niveau van complexiteit hebben we het beste masker genomen. Uit figuur 4(e) zien we dat een masker met totaal 6 sampling variabelen een betere benadering geeft dan 5 sampling variabelen voor één extra graad



Figuur 4: (a) "Masker" gebruikt door CGK en (b) de beste maskers volgens gedragoptimalisatie; (c) benadering en complexiteit met als oplossing $|c| = 6$.

van complexiteit. Aangezien een groter aantal sampling variabelen een perfecte benadering geeft, gebeurt dat ten koste van nog een graad complexiteit en weinig (.03 op een totaal van 1.35) verbetering in benadering. Alhoewel dus het masker in figuur 4(d) werd geselecteerd, zullen we ook minder complexe maskers bespreken. Figuur 4(a) toont het masker van CGK. De entropiewaarde van elk masker is te vinden onderaan het masker.

4.5. Resultaten van regressie-analyse en vergelijking

Gebruik makend van de maskers in 4(b), 4(c) en 4(d) hebben we met de originale data voor elk een regressie-analyse uitgevoerd. De resultaten zijn samengevat in onderstaande tabel.

model	R^2	voorspelling FT voor 4 kwartalen 1967 # (waargenomen waarde)				fout ²
		#1(318)	#2(343)	#3(360)	#4(397)	
Coen, Gomme en Kendall	.90	318	340	320	302	2.674
MASKER figuur 4(b)	.96	300	301	306	314	2.980
MASKER figuur 4(c)	.96	304	310	311	318	2.493
MASKER figuur 4(d)	.96	302	310	312	318	2.494

Elk van de 3 masker-bepaalde modellen geven een hogere R^2 . Er moet worden opgemerkt dat de voorspelling van FT berust op meerdere latente variabelen. Nochtans is het zo dat die data toch voorhanden is, en dat men helemaal geen anderhalf jaar of meer terug moet gaan; 2 of 3 kwartalen zijn al voldoende. De voorspellingen aan de hand van de maskermodellen volgen de correcte trend. Dat de eigenlijk voorspelde waarden lager liggen is misschien te verklaren door de codering 0,1 en -1, waar bv. stijging ook kon worden uitgedrukt in 1 en 2. De totale voorspellingsfout (kwadraat) voor een jaar is alleen in het geval van het masker als in 3(b) hoger dan voor het CGK model. Tevens zijn voor dit masker slechts 2 kwar-

talen nodig voor predictie.

We hebben ook gevonden dat voor enkele maskers, welke bijna zo'n goede benadering hadden als de beste maar waar geen vertraagde waarneming van FT in acht genomen werd, de R^2 altijd kleiner is, evenals de totale voorspellingsfout. Dit is bv. het geval voor het masker $\{FT(t), FTC(t-1), CP(t-1), CP(t-2), CP(t-3)\}$ waar $R^2 = .84$ en de fout 1700.

5. Besluit

Het zal wel duidelijk geworden zijn dat verschillende maskermodellen mogelijk zijn. We hebben hier echter willen aantonen dat volgens een bestaande methodologie net zo goed een oplossing kon worden gevonden voor het type probleem dat CGK beschrijven. Het concept van het masker en de evaluatiemethode in een context-vrije systeemmethodologie is reeds vele malen aangetoond als gemakkelijk bruikbaar bij andere disciplines (38, 42).

Bij de gebruikte benadering zijn we uitgegaan van een tijd-invariant systeem en dit om te kunnen vergelijken met CGK. Nochtans is het zo dat er wel degelijk algoritmen zijn (binnen dezelfde systeemmethodologie van Klir) om te kunnen nagaan of het datasysteem wel beantwoordt aan die invariantie (38). In het voorbeeld hierin besproken zijn we ervan overtuigd dat het systeem niet kan worden weergegeven door één enkele tijdsafhankelijke relatie, maar wel degelijk door een opeenvolging van kleinere tijdsafhankelijke relaties. Dit brengt ons dan tot het concept van metasysteem. Initieel onderzoek op dit gebied heeft al uitgewezen dat er minimaal twee systemen zijn waar het tweede volgt op het eerste. Dit leidt dan tot de conclusie dat het eerste subsysteem niet kan worden gebruikt ter voorspelling van data na subsysteem twee, uitgezonderd wanneer men zeker zou weten dat het eerste subsysteem zich onmiddellijk na het tweede herhaalt. Het is trouwens ook mogelijk dat verder onderzoek uitwijst dat er meerdere systemen zijn. Dit zou dan bevestigen dat een economisch systeem zeer moeilijk te beschrijven is en dat bepaalde gedragsveranderingen van betekenis zijn. We beschouwen dit probleem dan ook als een nog niet opgelost probleem, waarover meer en meer kennis wordt verzameld. De vraag blijft of een com-

plex systeem zoals dat van de gedragsbepaling van een beursindex met een zekere graad van exactheid kan of moet worden voorspeld want, indien er echt een systeemstructuur functioneert, zou ook dit in de loop van de tijd worden achterhaald, daar het gedrag zou worden veranderd door andere manieren van investering en reacties van makelaars en de markt. We zullen deze vraag overlaten aan de economen in hun verdere studie op zoek naar betere modellen en probleemoplossingen in onze hedendaagse wereld.

Literatuur

- (1) Beale, E.M.L., Kendall, M.G. and Mann, D.W.: The Discarding of Variables in Multivariate Analysis, Biometrika, Vol. 54 (1967), pp. 357-366.
- (2) Moore, G.H. (ed.): Business Cycle Indicators, I, Published for the National Bureau of Economic Research by Princeton University Press (1961).
- (3) Griliches, Z.: Distributed Lags: a Survey, Econometrica, Vol. 35 (1967), pp. 16-49.
- (4) Jorgenson, D.W.: Rational Distributed Lag Functions, Econometrica, Vol. 34 (1966), pp. 135-149.
- (5) Nerlove, M.: A Tabular Survey of Macro-Economic Models, Int. Economic Review, Vol. 7 (1966), pp. 127-175.
- (6) Luchman, N.: Sociologische Aufklärung (Aufsätze zur Theorie Sozialer Systeme), Köln, Westdeutscher Verlag (1970).
- (7) Halfon, E.: A System Identification Procedure for Large-Scale Ecosystem Models, Doctoral Dissertation, University of Georgia, Athens (1975).
- (8) Niemann, R.E., Fisher, D.G. and Seborg, D.E.: A Review of Process Identification and Parameter Techniques, Int. Journal of Control, Vol. 13 (1975), pp. 209-264.
- (9) Duffy, J.: A Learning Identification Algorithm and Its Application to an Environmental System, IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, SMC-5, No. 2 (1975), pp. 226-240.

- (10) Cavallo, R.E. and Conklin, M.: Systems Methodology in Sociology, Int. Journal of Systems Science, Vol. 8, No. 1 (1977), pp. 65-80.
- (11) Patric, E.A.: Fundamentals of Pattern Recognition, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J. (1972).
- (12) Coen, P.J., Gomme, E.D. and Kendall, M.G.: Lagged Relationships in Economic Forecasting, Journal of the Royal Statistical Society, Part II, Vol. 132 (1969), pp. 133-152.
- (13) Gill, R.T.: Evolution of Modern Economics, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J. (1967).
- (14) Heimann, E.: Geschiedenis van de Ekonomische Leerstelsels, Leiden, De Cyclus, 1945.
- (15) Oser, J.: The Evolution of Economic Thought, Harcourt, Brace and World, New York, 1970.
- (16) Spiegel, H.: The Growth of Economic Thought, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J. (1971).
- (17) Krupp, H.: Der Systemcharakter der Wirtschaft und die Notwendigkeit der Methodenpluralismus, Technische Hochschule, Darmstadt, 1961.
- (18) Mayr, O.: Adam Smith and the Concept of the Feedback System, Technology and Culture, Vol. 12 (1971), pp. 1-22.
- (19) Von Bertalanffy, L.: A Quantitative Theory of Organic Growth, Human Biology, Vol. 10 (1938), pp. 181-213.
- (20) Schlick, M.: Über den Begriff der Ganzheit, in: Logik der Sozialwissenschaften, E. Topitsch (ed.), Kiepenheuer and Witsch, Berlin, 1970.
- (21) Von Bertalanffy, L.: The History and Status of General Systems Theory, in: Trends in General Systems Theory, G.J. Klir (ed.), Wiley-Interscience, New York, 1972.
- (22) Wiener N.: Cybernetics, M.I.T. Press, Cambridge, Mass., 1948.

- (23) Ashby, W.R.: Design for a Brain, J. Wiley, New York, 1952.
- (24) Ashby, W.R.: Introduction to Cybernetics, J. Wiley, New York, 1956.
- (25) Ashby, W.R.: Measuring the Internal Exchange in a System, Cybernetica, Vol. 1 (1965), pp. 1-22.
- (26) Greniewsky, H.: Cybernetics Without Mathematics, Pergamon Press, Oxford, 1960.
- (27) Svoboda, A.: Synthesis of Logical Systems of Given Activity, IEEE Transactions, Vol. EC-12, No. 6 (1963), pp. 904-910.
- (28) Mesarovic, M.D.: Views on General Systems Theory, J. Wiley, New York, 1964.
- (29) Klir, G.J.: An Approach to General Systems Theory, Van Nostrand Reinhold, New York, 1969.
- (30) Wymore, A.W.: A Mathematical Theory of Systems Engineering: The Elements, J. Wiley, New York, 1967.
- (31) Islam, S.: Toward Integration of Two System Theories by Mesarovic and Wymore, Int. Journal of General Systems, Vol. 1, no. 1 (1974), pp. 35-40.
- (32) Klir, G.J. (ed.): Applied General Systems Research, Plenum Press, New York, 1978.
- (33) Wymore, A.W.: System Engineering Methodology for Interdisciplinary Teams, J. Wiley, New York, 1976.
- (34) Klir, G.J.: Identification of Generative Structures in Empirical Data, Int. J. of General Systems, Vol. 3, no. 2 (1976), pp. 89-104.
- (35) Klir, G.J.: General Systems Theory Concepts, in: Cybernetics: A Source Book, R. Trappl (ed.), Hemisphere, Washington, D.C., 1978.
- (36) Klir, G.J. and Uyttenhove, H.J.: On the problem of computer-aided structure Identification, Int. Journal of Man and Machine Studies, Vol. 9 (1977), pp. 593-628.

- (37) Klir, G.J.: On the representation of Activity Arrays, Int. J. of General Systems, Vol. 2, no. 3 (1975), pp. 149-168.
- (38) Uyttenhove, H.J.: Computer-Aided Systems Modelling: An Assemblage of Methodological Tools for Systems Problem Solving, Doctoral Dissertation, S.U.N.Y. Binghamton, New York, 1978.
- (39) Durbin, J., Burman, J.P., Wallis, K.F., Rosenbaum, S., Barton, D.E., Bartlett, M.S. and Wetherill, G.B.: Discussion on the paper by Coen, Gomme and Kendall, Journal of the Royal Statistical Society, Part II, Vol. 132 (1969), pp. 152-159.
- (40) Box, G.E. and Newbold, P.: Some Comments on a Paper of Coen, Gomme and Kendall, Journal of the Royal Statistical Society, Series A, Vol. 134 (1971), pp. 229-240.
- (41) Box, G.E. and Jenkins, G.M.: Time Series Analysis Forecasting and Control, Holden-Day, San Francisco, 1970.
- (42) Cavallo, R.E.: The Role of Systems Methodology in Social Science Research, Doctoral Dissertation, S.U.N.Y. Binghamton, New York, 1977.