



# LUND UNIVERSITY

## National Bureau of Economic Research Workshop on Stochastic Control and Economic Systems, Princeton 1972.

Åström, Karl Johan

1972

*Document Version:*

Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link to publication](#)

*Citation for published version (APA):*

Åström, K. J. (1972). *National Bureau of Economic Research Workshop on Stochastic Control and Economic Systems, Princeton 1972*. (Travel Reports TFRT-8001). Department of Automatic Control, Lund Institute of Technology (LTH).

*Total number of authors:*

1

### General rights

Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

Read more about Creative commons licenses: <https://creativecommons.org/licenses/>

### Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

LUND UNIVERSITY

PO Box 117  
221 00 Lund  
+46 46-222 00 00

NATIONAL BUREAU OF ECONOMIC  
RESEARCH WORKSHOP ON  
STOCHASTIC CONTROL AND  
ECONOMIC SYSTEMS  
PRINCETON 1972

K. J. ÅSTRÖM

REPORT 7201(C) AUGUST 1972  
LUND INSTITUTE OF TECHNOLOGY  
DIVISION OF AUTOMATIC CONTROL

Styrelsen för Teknisk Utveckling  
STOCKHOLM

Styrelsens ärende nr 72-99/U63

Rapport över studieresa till USA.

Syftet med resan var att deltaga i konferensen STOCHASTIC CONTROL THEORY AND ECONOMIC PROBLEMS i Princeton och besök på CASE. Jag vill framföra mitt varma tack för resebidraget.

Lund den 20 juni 1972

A handwritten signature in dark ink, reading 'K y Åström'. The 'y' is a stylized lowercase letter, and 'Åström' is written in a cursive script.

Karl Johan Åström

NATIONAL BUREAU OF ECONOMIC RESEARCH WORKSHOP ON STOCHASTIC CONTROL  
AND ECONOMIC SYSTEMS PRINCETON 1972

Innehåll

1. INLEDNING

2. OPTIMAL POLICIES FOR ECONOMIC STABILIZATION, R. Pindyck

Modellen

Formulering av reglerproblemet

Diskussion

3. HOW MUCH COULD BE GAINED BY OPTIMAL STOCHASTIC CONTROL POLICIES?  
G.G. Chow

Modeller

4. STABILIZATION POLICY AND LAGS, J.P. Cooper and S. Fischer

Analys

Kommentar

5. STOCHASTIC OPTIMIZATION IN RECURSIVE EQUATION SYSTEMS WITH  
RANDOM PARAMETERS WITH AN APPLICATION TO CONTROL OF THE MONEY  
SUPPLY. H. Woods Bowman och A.M. Laporte

6. A MULTI PERIOD CONTROL PROBLEM UNDER UNCERTAINTY, E.C. Prescott

7. LINEAR DECISION WITH EXPERIMENTATION. E. Chase MacRae

8. THE STATUS OF STOCHASTIC CONTROL THEORY AND ALGORITHMIC IMPLE-  
MENTATION. M. Athans, MIT

9. INFORMATION STRUCTURE AND SEPARATION IN STOCHASTIC CONTROL.  
H.W. Witsenhausen, Bell Telephone Laboratories

Klassisk informationsstruktur

Andra informationsstrukturer (v. Neuman, Morgenstern)

10. TRENDS IN LARGE SCALE SYSTEMS THEORY. P.P. Varayia

11. SAMMANFATTNING AV DISKUSSIONER

Inledning

Teorin för "Fuzzy" system

Bidrag av David Kendrick

Professor Fair, Princeton

Normanmodellen

Tidshorisontens längd

Simulering

Kriteriefunktioner

12. ALLMÄNNA INTRYCK

Modeller

Vilka beslutsregler idag

Användning av reglerteori

Sammanfattning

## DELTAGANDE I NATIONAL BUREAU OF ECONOMIC RESEARCH

## WORKSHOP ON STOCHASTIC CONTROL AND ECONOMIC SYSTEMS

PRINCETON 5 - 6 MAJ 1972

## 1. INLEDNING

Avsikten med seminariet var att åstadkomma en konfrontation mellan ekonomer och reglertekniker för att utröna om teorin för stokastiska reglersystem (Stochastic Control Theory) eller beslutfattande under osäkerhet kan tillämpas på styrning av ekonomiska system. Vid seminariet deltog cirka 30 ekonomer och 30 reglertekniker. Bland ekonomerna märktes såväl medarbetare i Federal Reserve Bank såsom företagsekonomer och universitetsekonomer. Ett rikt spektrum av stokastiska reglertekniker var också representerade, både sådana som enbart sysslar med tillämpningar och sådana som sysslar med abstrakt teoriutveckling. En deltagarförteckning framgår av appendix A. Seminariet arrangerades runt ett antal förberedda inlägg, men det fanns mycket tid för diskussioner. En kopia av programmet framgår av appendix B. I denna rapport ges först en sammanställning av de föredrag som presenterades. Vidare görs ett försök att sammanfatta resultaten av symposiet och dessutom presenteras en översikt av de kontakter som jag knöt och några diskussioner som fördes i anslutning till dessa kontakter. De förberedda föredragen var fullständigt dokumenterade och presentationen av dessa är i det följande ganska komprimerad.

## 2. OPTIMAL POLICIES FOR ECONOMIC STABILIZATION

R. Pindyck

Föredraget behandlade kortsiktigt ekonomisk stabiliseringsteori. Tidshorisonten var 2 till 3 år. Problemet formulerades som ett optimeringsproblem. Pindyck föreskrev önskade beteenden hos de väsentliga ekonomiska variablerna och han dimensionerade en reglerstrategi som gjorde att hans modell av ekonomin följde de föreskrivna värdena så gott som möjligt enligt ett kvadratisk kriterium.

### Modellen

Pindyck utgick från en matematisk modell baserad på kvartalsdata. I modellen fanns 10 endogena variabler, nämligen

C	Real consumption
INR	Non-residential investment
IR	Residential investment
IIN	Inventory investment
R	Short term interest rate
RL	Long term interest rate
P	Price level
UR	Unemployment rate
W	Money wage rate
YD	Disposable income

Modellen hade vidare tre styrvariabler

G	Government spending
$T_o$	Tax surcharge
$\Delta M$	Money supply

Störningar är

YDP	Potential disposable income
-----	-----------------------------

samt de konstanta termer som ingår i modellekvationerna.

Modellen består av 10 stycken linjära ekvationer som relaterar de endogena variablernas värden vid en tidpunkt till de endogena variablernas, styrvariablernas och störningarnas värden vid ett antal föregående tidpunkter. Genom att införa ett lämpligt antal fördröjda värden av de endogena variablerna kan modellen skrivas på tillståndsform. Den har då 28 tillståndsvariabler. Koefficienterna i de linjära modellerna hade bestämts under perioden 1955-1967 genom att använda ett tvåstegs minsta kvadratförfarande tillsammans med en Hildret-les autoregressiv korrektion. En lista på modellekvationerna inklusive koefficienter liksom deras osäkerheter finns i Pindyck's rapport. Modellen har t-värden (förhållandet mellan medelvärde och uppskattad standardavvikelse

för koefficienterna) som i absoluta tal ligger mellan 1,1 och 12,8.

### Formulering av reglerproblemet

Pindyck hade formulerat sitt problem som ett linjärvadratiskt problem där kriteriet bestod i kvadratiska avvikelser från föreskrivna värden på styrvariablerna och tillståndsvariablerna. Kriteriet var således

$$J = 1/2 \sum_{i=1}^n (x_i - \hat{x}_i)^T Q (x_i - \hat{x}_i) + (u_i - \hat{u}_i)^T R (u_i - \hat{u}_i)$$

Det skall märkas att  $\hat{x}$ ,  $\hat{u}$  inte satisfierade modellen för det ekonomiska systemet. Pindyck beräknade en vanlig linjärvadratisk strategi för problemet. Han utnyttjar ej den reglerteori som utvecklats utan härleder istället själv sina formler. Detta ledde bl a till att han inte kunde tillåta sin matris R vara semidefinit. Pindyck simulerade modellen och visade hur de av honom föreslagna reglerstrategierna skulle fungera.

### Diskussion

I diskussionen om Pindyck's artikel framfördes kritik mot den linjära modellen. Vissa av hans lösningar indikerade stora avvikelser i variablerna och man frågade då om det verkligen var relevant att anta en linjär modell. Speciellt kunde det förväntas att folks reaktioner skulle vara annorlunda vid drastiska förändringar, vilket skulle återspelas i modellen. Flera andra synpunkter på den linjära approximationen väcktes också och många föreföll vara av den uppfattningen att det vore förnuftigt att inkludera ett fåtal väsentliga icke-linjära termer.

### 3. HOW MUCH COULD BE GAINED BY OPTIMAL STOCHASTIC CONTROL POLICIES?

Gregory C. Chow

Detta föredrag skiljde sig från Pindyck's i flera avseenden. De modeller som behandlades var mycket enklare. I gengäld hade man även tillagt stokastiska störningar i modellerna.



## Modeller

Chow arbetade med två typer av modeller, dels modeller baserade på absolutvärden och dels modeller baserade på förstadi differenser. I båda modellerna fanns fyra endogena variabler

$y_1 = C$	Total personal consumption expenditures
$y_2 = I_1$	Private domestic investment in producers' durable equipment plus change in business inventories
$y_3 = I_2$	New construction
$y_4 = R$	Yield of 20-years corporate bonds

Modellen hade vidare två styrvariabler (exogena variabler).

$x_1 = M$	Currency and demand deposits
$x_2 = G$	Government purchases of goods and services

Den modell som användes var således en mycket stark aggregerad multiplikator-accelerator-modell som Chow tidigare konstruerat baserad på data från åren 1931-40 och 1948-63. Modellkoefficienterna liksom en diskussion om noggrannheten finns i Chows rapport. Tekniken för att bestämma modellparametrarna har beskrivits i tidigare publikationer av Chow och som går under benämningen "Full Information Maximum Likelihood".

Genom att på vanligt sätt införa värdena på de endogena variablerna vid fördröjda tidpunkter, hade Chow konstruerat en tillståndsmodell. Denna hade sedan optimerats med hjälp av ett kvadratisk kriterium. Störningarna hade beskrivits som vitt brus där man tagit uppskattningar på varianser ur data. Förlustfunktion hade valts som matematisk förväntan av en kvadratisk funktion där olika vikter hade prövats. Chow jämförde bl a strategier baserade på en rent deterministisk modell där störningarna försummits och en stokastisk styrstrategi och han fann att det var väsentligt att ta hänsyn till de stokastiska störningarna. Vidare diskuterar han suboptimala strategier samt hur robusta hans optimala strategier är med hänsyn till förändringar i förlustfunktionen. Detta gjordes så att han tog en strategi som beräknats för en förlust-

funktion och provade den på en annan förlustfunktion. Resultaten visade att strategierna för hans enkla modell föreföll robusta. Hans resultat tycks också indikera att arbeten av den art som presenterades av Pindyck, där störningarna försummas, kan leda till felaktiga strategier.

#### 4. STABILIZATION POLICY AND LAGS

J. Philip Cooper and Stanley Fischer

Detta föredrag utgick från den tes som formulerades av Friedman, University of Chicago: "Det är meningslöst att försöka reglera ekonomin! På grund av de stora tidsfördröjningarna är systemet mycket svårt att reglera och det är då bättre att inte försöka reglera det alls utan att låta allting sköta sig själv!" Den analys som presenterades var baserad på mycket enkla modeller. Man hade således önskat att i allt väsentligt genomföra alla räkningar analytiskt. Den modell som användes var således

$$y_t = \beta y_{t-1} + \sum_{i=0}^{\infty} \alpha_i x_{t-i} + u_t$$

$y_t$  endogena variabel (tillstånd)

$x_t$  exogena variabel (styrvariabler)

$u_t$  störning, vitt brus

Koefficienten  $\alpha_i$  som återspeglar fördröjning i styrstrategin hade valts på ett mycket speciellt sätt. (Pascal familj)

$$\alpha_i = \alpha \binom{r+i-1}{i} (1-\lambda)^r \lambda^i, \quad 0 < \lambda < 1, \quad r=1,2,3,\dots$$

$$x_t = g_1 y_{t-1} + g_2 (y_{t-1} - y_{t-2})$$

Det kriterium som användes var matematisk förväntan av utsignalens varians.

#### Analys

Cooper och Fischer hade analyserat effekten av några olika typer av strategier. Dels minimalvariansstrategier och dels enkla strategier motsvarande PI-regulatorer, PID-regulatorer, t ex

$$\begin{aligned}
 x_t &= g_1 y_{t-1} + g_2 (y_{t-1} - y_{t-2}) & g_1 < 0, g_2 < 0 \\
 &= \gamma_1 y_{t-1} + \gamma_2 y_{t-2} & \gamma_1 < 0, \gamma_2 < 0 \\
 & & \gamma_1 = g_1 + g_2, \gamma_2 = -g_2
 \end{aligned}$$

För dessa olika strategier hade man räknat ut stabilitetsområden samt konturer för konstant varians, och man hade sedan undersökt känsligheten för variationer i koefficienterna  $\alpha_1$ . Man hade även gjort en ansats till att analysera vad som skulle hända om koefficienterna i  $\alpha_1$  varierar. Dock hade man hela tiden hållit sig till Pascal familjen, man hade inte gjort något försök med att sätta de första koefficienterna = 0.

#### Kommentar

Det är intressant att notera att man inte infört några rena tidsfördröjningar i processen. Det är också intressant att notera att man överhuvudtaget inte lagt märke till icke-minimum fasbegreppet, nämligen att man i situationer med modeller som här används kan få mycket stora känsligheter om systemet icke är minimumfas. Vid direkt förfrågan påstod man sig att modellerna kunde någorlunda relevant beskriva vissa ekonomiska situationer. Man lovade återkomma med data och specifika exempel. Därest problemet är relevant är det mycket intressant därför att den modell som föreslagits är ingenting annat än den standardmodell som används i den enklaste formen av stokastiska reglertekniken.

#### 5. STOCHASTIC OPTIMIZATION IN RECURSIVE EQUATION SYSTEMS WITH RANDOM PARAMETERS WITH AN APPLICATION TO CONTROL OF THE MONEY SUPPLY.

H. Woods Bowman och Anne Marie Laporte

Detta föredrag kan betecknas som en ren tillämpning av stokastisk reglerteori på ekonomiska system. I artikeln studeras flera olika modeller där den mest komplicerade har följande form

$$Y = YF + XB + U$$

Här är  $Y$  utsignalerna eller de endogena variablerna.  $X$  är styrvariablerna eller de exogena variablerna.  $U$  är en störning som antagits vara vitt brus. Matrisen  $\Gamma$  antas vara triangulär med diagonalen = 0. Den består av kända koefficienter. Matrisen  $B$  antas okänd men med en viss sannolikhetsfördelning. Det kriterium som används är kvadratisk, nämligen

$$\min EL = \min E(y-a)^T Q(y-a)$$

Här betecknar  $y$  raderna i matrisen  $Y$ . Problemet är att bestämma den styrstrategi som minimerar förlustfunktionen. Det är känt t ex i arbetet av Åström-Wittenmark JMMA, att i ett fall som detta så gäller ej separationssatsen. Man får en smärre modifikation beroende på osäkerheten i koefficienterna. I föredraget jämfördes den styrstrategi som erhålles med hjälp av separations-satsen med den strategi man får när man tar hänsyn till att koefficienterna är kända exakt. Det visas att man i vissa fall kan få stora skillnader. Vidare tillämpas detta resultat på ett enkelt ekonomiskt problem. Man utgår från en matematisk modell av en viss sektor av ekonomin som framtagits vid Federal Reserve Bank i St Louis. Modellen har utvecklats av Fisher och Zellner. Den modell som utvecklats har följande endogena variabler

$\Delta Y_t$	change in nominal spending
$D_t$	demand pressure
$\Delta P_t^{\$}$	dollar change in nominal spending due to change in price deflator
$\Delta P_t^A$	anticipated change in prices
$X_t$	real output
$G_t$	gap in real output
$U_t$	unemployment rate

Vidare har modellen följande styrvariabler eller exogena variabler

$\Delta M_t$	change in currency plus demand deposits
$\Delta E_t$	change in high employment government expenditures
$X_t^F$	full employment level of real output

Den modell som utvecklats består av tre ekvationer, utgiftsekvationen (Spending equation), priskekvationen (Price equation) och en arbetslöshetsekvation (Unemployment equation). Man har undersökt två varianter av arbetslöshetsekvationen. Modellen har anpassats med standardteknik till historiska data. Modellens koefficienter liksom dess uppskattade osäkerhet finns angivna i artikeln. Man har för den föreskrivna modellen räknat ut den bästa styrstrategin utgående från separationssatsen och även utgående från de strategier som modifierats med hänsyn till osäkerheten i parameteruppskattningen och man har vidare angivit resultaten såsom kvoten mellan förlusten för dessa två lösningar. Resultaten visade sig vara mycket känsliga för de olika ansatser som gjorts beträffande arbetslöshetsekvationen. För den ena varianten av arbetslöshetsekvationen fås en största skillnad med en faktor på flera tusen medan den andra varianten av arbetslöshetsekvationen ger en betydligt mindre skillnad för de olika strategierna. Största avvikelserna är en faktor 1,1.

I artikeln finns en diskussion av detta resultat. Artikeln kan tolkas som en ren tillämpning av stokastisk reglerteori. Det är intressant att notera att man på Federal Reserve Bank tror att resultaten av detta slag är signifikanta. Det är också intressant att notera att modellerna är ganska enkla. Den stora skillnaden i resultaten för de olika modellerna för arbetslöshetsekvationerna indikerar att modellen i detta hänseende förmodligen är olämplig för styrning. Det finns goda möjligheter att få data till ytterligare uppgifter därest vi skulle vilja undersöka vidare tillämpningar av dessa resultat. Det är också intressant att notera att man inte gjort något försök till att införa modeller med korrelerade störningar, vilket är helt möjligt och vilket också visat sig vara mycket relevant för tekniska system.

## 6. A MULTI PERIOD CONTROL PROBLEM UNDER UNCERTAINTY.

Edward C. Prescott

I denna artikel behandlas följande problem

$$y_t = \beta x_t + u_t$$

där  $y_t$  är utsignalen,  $x_t$  är styrvariablen,  $u_t$  är vitt brus.

Parametern  $\beta$  är en okänd konstant. Störningen  $u$  antas vara normalfördelad med medelvärde 0 och en gemensam känd varians som förutsätts = 1. Problemet är att minimera kriteriet

$$E \sum_{t=1}^T q_t(x_t)$$

Prescott presenterar först några allmänna resultat beträffande problemets struktur, sedan övergår han snabbt till att studera de fall när  $q$  är en kvadratisk funktion, och han härleder först separationssatsen (certainly equivalence) därefter studerar han  $s_k$  myopic decision rules (myopic = närsynt) vilket är vad regler-tekniker brukar kalla optimering med kort tidshorisont. I det enklaste fallet är kriteriet

$$E q_t(x_t)$$

Förutom detta kriterium använder Prescott också några andra kriterier där tidshorisonten är ett litet antal steg. De slutsatser som dras i artikeln utifrån analys av det enkla exemplet är

- Säkerhetsekvivalensprincipen ger rimliga resultat endast när det är liten osäkerhet i den okända parametern. Prescott anger således att kvoten mellan medelvärde och standardavvikelse bör vara större än 4 i absoluta tal för att säkerhetsekvivalensprincipen skall ge vettiga resultat.
- Den "närsynta" styrlagen är nästan optimal över ett större område. Men när kvoten mellan medelvärde och standardavvikelse i parametern är mindre än 2 i absoluta tal, så är det väsentligt att man har en styrlag som experimenterar.
- Det blir viktigare att styrstrategin gör styrningrepp för att få bättre parameteruppskattningar ju längre tidshorisonten är. För det enkla exemplet har man funnit att den lösning som svarar mot en tidshorisont på två steg är en utmärkt approximation till den optimala lösningen. Resultatet har visat sig vara förvånansvärt okänsligt för fel i specifikationen av de additiva störningarna.

## 7. LINEAR DECISION WITH EXPERIMENTATION

Elizabeth Chase MacRae

Den modell som behandlas i artikeln är följande

$$x_{k+1} = Ax_k + Bu_k + Cz_k + \epsilon_k, k=0, \dots, N-1$$

där  $x$  är en tillståndsvektor,  $u$  är en styrvariabel,  $z$  är en vektor av exogena variabler och  $\epsilon$  är vitt brus. Tillståndsvektorn inkluderar alla aktuella värden på de endogena variablerna tillsammans med fördröjda värden på endogena variablerna, fördröjda styringrepp och fördröjda exogena variabler. Störningarna antas vara normalt fördelade och oberoende. Matriserna  $A$ ,  $B$  och  $C$  är konstanta men okända. Det kriterium som väljs är kvadratisk

$$J = E \sum_{k=1}^N \frac{1}{2} x_k' Q_k x_k + \frac{1}{2} u_{k-1}' R_k u_{k-1} + x_k' s_k + u_{k-1}' t_k | x_0$$

Fyra olika styrstrategier diskuteras

- Strategier baserade på säkerhetsekvivalensprincipen (estimera först, reglera sedan)
- Baysianska strategier. Uppskatta medelvärden och kovarianser på parametrarna och ta hänsyn till osäkerhet vid bestämning av styrlagen.
- Passiv uppdatering
- Experimenterande styrstrategier (duala styrstrategier).

Den teknik som används i artikeln är dynamisk programmering. Man konstaterar omedelbart att det är mycket lätt att härleda styrstrategierna för de två första fallen, däremot blir problemen svårare för de övriga. Observera att det antas att  $x$  kan mätas utan fel. För de övriga fallen utvecklas därför en approximation. Det förutsättes att det förväntade värdet av förlustfunktionen som erhålles via dynamisk programmering kan uttryckas med hjälp av medelvärden och varianser. Parameteruppskattningen ges sedan av ekvationen som påminner om utvidgade Kalmanfilter. Den approximation som görs är att bidraget av

av innovationerna i Kalmanekvationen försummas men däremot så bibehålles variansekvationen. På detta sätt får man en approximation som går att hantera. Genom diskussion av de ekvationer som erhålles för den suboptimala lösningen visas att denna styrstrategi faktiskt är experimenterande, d v s att den innehåller vissa duala element.

I artikeln finns också en kompakt beteckning. Man inför helt enkelt en operator som arrangerar om en matris till en vektor. Det visar sig vara mycket användbart då analysen kan genomföras med vanlig vektor matris algebra istället för med Kronecker produkter.

#### 8. THE STATUS OF STOCHASTIC CONTROL THEORY AND ALGORITHMIC IMPLEMENTATION.

Michael Athans, MIT.

Professor Athans gav en översikt över de verktyg som utvecklats inom reglertekniken för lösning av styr- och reglerproblem. Han behandlade således

Variationskalkyl  
Pontryagins maximumprincip  
Dynamisk programmering  
Linjärkvadratisk teori

Vidare diskuterar han inverkan av störningar och han gav speciellt en redogörelse för Kalman-filtret och separationssatsen. Status beträffande algoritmer och tillgängliga numeriska metoder refererades kortfattat. Föredraget anslöt sig i väsentliga drag till den översiktartikel i IEEE, trans AC-16 (december 1971) som skrivits av Athans.

#### 9. INFORMATION STRUCTURE AND SEPARATION IN STOCHASTIC CONTROL

Hans W. Witsenhausen, Bell Telephone Laboratories.

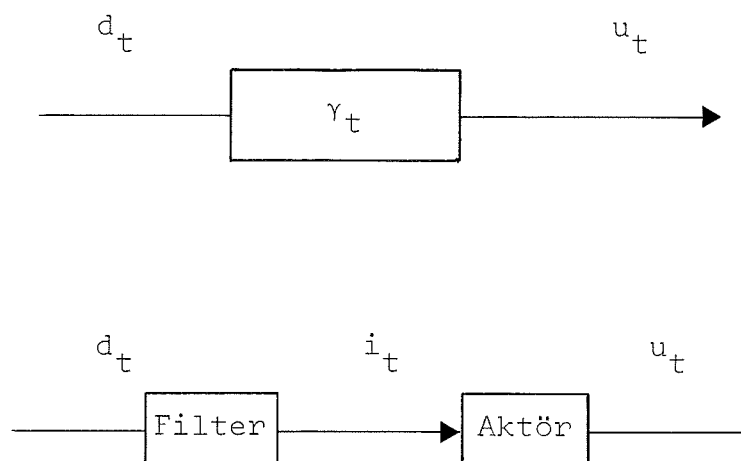
Dr Witsenhausen gav ett översiktsföredrag om principiella problem för stokastiska reglersystem. Speciellt behandlades informationsstrukturer och separationssatser. Föredraget anslöt sig i stor utsträckning till den artikel av Witsenhausen som var publicerad i novembernumret av PROC. OF THE IEEE. Witsenhausen betraktade således tidsdiskreta system med en insignal och en utsignal.



Modellen var sådan att man vid varje tidpunkt gjorde en observation av utsignalen och hade att fatta ett beslut om den insignal som skulle sändas in till processen.

### Klassisk Informationsstruktur.

Vid varje tidpunkt var informationsstruktur sådan att man hade fullständig information om hela förhistorien. Witsenhausen upprätthöll sig speciellt vid separationssatsen som han ville se på följande sätt, se figur.



Problemet vid reglering är således att finna en beslutsregel d v s en avbildning från rummet av alla tillgängliga data till rummet av alla tillgängliga styråtgärder. Beslutsregeln betecknas med  $\gamma$ , den förses med ett index  $t$  för att indikera att den kan ha olika form vid olika tidpunkter. Separationssatsen illustrerar då den situation som visas i den undre delen av figur 1. Den beslutsregeln kan delas upp i två delar, den första kallas ett filter och den andra kallas för en aktör (actor). De grundläggande frågor man kan ställa är då följande

	LG	LQ	LQG
1. Är filtret oberoende av tidigare styrlagar och av kriteriet?	ja	ja	ja
2. Är aktören oberoende av filtret?	nej	ja	ja
3. Är aktören lika med aktören utan störningar (certainty equivalence)?	nej	ja	ja
4. Är problemet att hitta filtret det samma som problemet att hitta aktören (dualitet)?	nej	nej	ja

	LG	LQ	LQG
5. Är filter linjärt?	ja	nej	ja
6. Är aktören linjär?	nej	ja	ja
7. Är regulatorn linjär?	nej	nej	ja

Reglerproblemet kan formuleras på många olika sätt. Det är vanligen tre beståndsdelar som är väsentliga, nämligen systemets egenskaper, störningarnas egenskaper och kriteriets egenskaper. I det allra enklaste fallet är systemet linjärt (L), störningen är gaussisk (G) och kriteriet är kvadratisk (Q). Svaret på de olika frågorna i de olika fallen framgår av ovanstående tabell.

#### Andra Informationsstrukturer (von Neuman, Morgenstern)

Witsenhausen behandlade också kortfattat andra informationsstrukturer, t ex de som förekommer i spelteorin, både vid nollsummespel och icke nollsummespel, d v s sådana situationer när man har flera insignaler och utsignaler och de olika reglerkretsarna kan ha tillgång till olika informationsmängder.

#### 10. TRENDS IN LARGE SCALE SYSTEMS THEORY

P.P. Varayia, University of California, Berkley.

Detta föredrag gav en översikt av teorin för stora system. Professor Varayia uppehöll sig vid fyra olika situationer

1. Mer än en aktör med en mängd av tillåtna beslut
2. Ett kriterium
3. Informationsstruktur
4. Beslutsregler

Han betraktade tre olika fall

- A. Team Theory, vilken utvecklats av matematiska ekonomer
- B. Situationer liknande konkurrensökonomier som utvecklats av matematiska ekonomer OR och matematiska programmerare.
- C. Hierarkiska strukturer, av den typ som utvecklats av Mesarovic.

I föredraget behandlades ett antal exempel som kunde beskrivas i ovanstående ram. Det första exemplet var perceptronen. Det andra exemplet var linjära tidsinvarianta system, och det tredje exemplet var flöden i ett nätverk, t ex av den typ man kan ha

vid trafikreglering. I det sista fallet tänkte man sig att flödet styrs vid varje individuell nätpunkt och man frågade sig om det fanns beslutsregler sådana att man endast hade information om trafikflödena i de närliggande grenarna och om sådana strategier kunde vara optimala. Det visade sig att svaret var nej. Däremot om man överförde viss information från ena knutpunkten till den andra kunde man uppnå optimala strategier. Föredraget finns väldokumenterat i en artikel där det också finns många referenser.

## 11. SAMMANFATTNING AV DISKUSSIONER

### Inledning

Seminariet var planerat så att det fanns mycket tid till diskussioner. Dels var det stora pauser mellan föredragen och dels var det speciella diskussioner på lördag eftermiddag. Vid diskussionerna upptogs flera intressanta ämnen. Nedan ges en sammanställning av några av de viktigaste synpunkterna.

### Teorin för "Fuzzy" system

I ett inlägg presenterade professor Zadeh utdragen till en teori för "Fuzzy" system. Detta utgjorde en vidareutveckling av de begrepp om "Fuzzy" sets som Zadeh tidigare framlagt i flera olika arbeten. Grundtanken var att överföra hela problemet till ett diskret system och Zadeh tänkte sig att sådana modeller kunde vara mycket relevanta för ekonomiska modeller. Han tänkte sig att system kunde delas upp på följande sätt

- o diskreta
- o stokastiska
- o ändliga
- o "Fuzzy"

Zadeh ville också betona att förlustfunktionen var ofta mycket komplicerad så att den ej kunde definieras analytiskt utan endast av hjälp av ett datamaskinprogram. Den ansats för "Fuzzy" system som Zadeh presenterade utgick från att systemen överföres till diskret form genom att kvantifiera kvalitativa utsagor i 5 nivåer av den typ som ofta används i samband med flervälsfrågor.

### Bidrag av David Kendrick

Professor Kendrick påpekade att det fanns några områden som inte tidigare berörts under konferensen där det fanns mycket goda modeller, t ex commodity markets. Han berättade om en modell om chokladmarknaden som han hade gjort. En svårighet var att det fanns mycket långa tidsfördröjningar i systemet. Man hade inte mindre än 52 tidsfördröjningar. (Som jämförelse kan man nämna att i den modell av ekonomin som man hade utvecklat vid Federal Reserve Bank i St Louis hade man 16 tidsfördröjningar). Vidare påpekade Kendrick att många förlustfunktioner inte alls är konvexa, vilket är en allvarlig nackdel då nästan alla satser om existens och entydighet förutsätter konvexitet.

### Professor Fair, Princeton

Professor Fair på Princeton presenterade en matematisk modell för USA:s ekonomi som han hade utvecklat. Modellen var baserad på kvartalsdata. Den var avsedd för att prediktera ekonomin. Den var avsevärt enklare än Brookingsmodellen och den modellen som framtagits vid Wharton School of Economics.

Fair hade följande variabler

**Table 2-1. List and Description of the Variables Considered in the Money GNP Sector.**

#### *Endogenous Variables*

$GNP_t$	= Gross National Product, NIA, SAAR.
$CD_t$	= Personal Consumption Expenditures for Durable Goods, NIA, SAAR.
$CN_t$	= Personal Consumption Expenditures for Nondurable Goods, NIA, SAAR.
$CS_t$	= Personal Consumption Expenditures for Services, NIA, SAAR.
$IP_t$	= Nonresidential Fixed Investment (Plant and Equipment Investment), NIA, SAAR.
$IH_t$	= Nonfarm Residential Fixed Investment (Housing Investment), NIA, SAAR.
$V_t - V_{t-1}$	= Change in Total Business Inventories (Inventory Investment), NIA, SAAR.
$IMP_t$	= Imports of Goods and Services, NIA, SAAR.

#### *Exogenous Variables Used in the Final Version of the Sector*

$G_t$	= Government Expenditures plus Farm Residential Fixed Investment, NIA, SAAR.
$EX_t$	= Exports of Goods and Services, NIA, SAAR.
$MOOD_t$	= Michigan Survey Research Center Index of Consumer Sentiment in Units of 100.
$PE1_t$	= One-Quarter-Ahead Expectation of Plant and Equipment Investment, OBE-SEC data, SAAR.
$PE2_t$	= Two-Quarter-Ahead Expectation of Plant and Equipment Investment, OBE-SEC data, SAAR.
$HSQ_t$	= Quarterly Nonfarm Housing Starts, Seasonally Adjusted at Quarterly Rates in Thousands of Units.

*Other Variables Considered in the Sector*

$ECAR_t$	= Bureau of the Census Index of Expected New Car Purchases, Seasonally Adjusted in Units of 100.
$DPI_t$	= Personal Consumption Expenditures plus Personal Saving, NIA, SAAR = Disposable Personal Income less Interest Paid and Transfer Payments to Foreigners.
$VE1_t$	= One-Quarter-Ahead Expectation of Manufacturing Inventory Investment, OBE data, SAAR.
$VE2_t$	= Two-Quarter-Ahead Expectation of Manufacturing Inventory Investment, OBE data, SAAR.
$VH_t$	= Percent of Manufacturing Firms Reporting Inventory Condition as High minus the Percent Reporting as Low, OBE data.

---

Notes: SAAR = Seasonally Adjusted at Annual Rates in Billions of Current Dollars.

NIA = National Income Accounts Data.

OBE = Office of Business Economics, Department of Commerce.

SEC = Securities and Exchange Commission.

Modellen var utvecklad på vanligt sätt genom att antaga en struktur och anpassa parametrar. Modellen består av 21 ekvationer. Den kunde förutsäga bruttonationalprodukten med ca 1 à 2 enheter på 1000 för enkvarstalsprediktioner och med ett fel av ca 5 à 6 enheter per 1000 på en femkvarstalsprediktion.

### Normanmodellen

En ytterligare makroekonomisk modell presenterades av Fred Norman. Han hade utvecklat en olinjär modell som dock var linjär i parametrarna vilket medförde att koefficienterna kunde uppskattas med enkla metoder. Han hade sedan applicerat optimal dynamisk regler-teori för att undersöka hur de optimala regleringgreppen i ekonomin skulle ta sig ut. Han hade också utnyttjat sina resultat för att undersöka om modellerna gav rimliga resultat, med andra ord om de styringgrepp man skulle göra var rimliga. Han hade kommit fram till det intressanta resultatet att flera av hans modeller ej gav rimliga beslut i flera situationer. Det gick också att ge förklaringar till dessa effekter. Norman hade råkat ut för en svårighet då modellen hade ett flertal implicita ekvationer vilka konsumerade lång tid vid den numeriska beräkningen.

### Tidshorisontens längd

Många diskussioner rörde sig om tidshorisontens längd. När man använder olika optimeringsteorier är det uppenbarligen ett mycket svårt problem att bestämma tidshorisonten. Problemet är mindre accentuerat om man använder sig av kraftiga räntesatser. Men även

i detta fall kan de strategier man erhåller se olika ut beroende på tidshorisontens längd. Flera av de närvarande menade att vid verkliga beslut användes mycket kort tidshorisont. Skälet var att man överhuvudtaget inte trodde att modellerna skulle vara giltiga på längre sikt och att många oväntade saker kunde inträffa. Synpunkterna var dock mycket divergerande och andra diskussionsdeltagare menade att man hade en mycket längre tidshorisont även om detta ej uttalades explicit. Det framfördes även att många av störningarna är så osäkra att effekten av dessa dränker allting annat och det inte är förnuftigt att betrakta modeller över längre tidsperioder än ca 2 à 3 år. Sammanfattningsvis är valet av tidshorisont mycket väsentligt. Det föreföll vara mycket oklart hur man skulle göra och vad man i dagens läge gör.

### Simulering

Möjligheten att utnyttja simulering framfördes av flera diskussionsdeltagare, bl av C. Holt, som varmt pläderade för simulering som ett hjälpmedel vid studiet av ekonomiska modeller.

### Kriteriefunktioner

Val av kriteriefunktioner diskuterades vid ett flertal tillfällen. Många var ense om att kvadratiske funktioner är olämpliga. Ofta har man asymmetrier. Det är ofta mycket farligare att överskjuta ett mål än att underskjuta det. Några deltagare ville ha förlustfunktioner som var praktiskt taget konstanta för måttliga förändringar och som sedan växte upp, t ex kvadratiskt. Flera deltagare i diskussionen påstod att många realistiska förlustfunktioner inte alls är konvexa, utan att de avtar långsammare än linjärt för stora avvikelser.

## 12. ALLMÄNNA INTRYCK

Det är svårt att ge några samlade enhetsintryck av konferensen. Följande är dock några av mina egna personliga reflektioner.

### Modeller

Det finns för närvarande många olika modeller för väsentliga sektorer av ekonomin. Dessa modeller har dels utvecklats från

mikroekonomiska betraktelser och man har sedan klumpat ihop (aggregerat) variablerna. En annan metod är att man direkt uppställt strukturen på aggregerade ekvationer. Parametrarna i dessa ekvationer har sedan uppskattats med någon statistisk teknik. Det finns såväl stora modeller av hela ekonomin med upp till ett par hundra ekvationer som enkla modeller av olika sektorer. Det förefaller som om de störningar som förekommer rimligen kan beskrivas med stokastiska processer. Modellerna är i regel i form av differens-ekvationer där tidsintervallet är ett kvartal.

Modellerna behandlar uteslutande rent ekonomiska förhållanden. Inga försök att beskriva andra synpunkter på samhället behandlades. Detta är säkert en stor brist.

Under diskussionen föreföll många vara intresserade av andra typer av modeller som gör det möjligt att även fatta beslut med kortare intervaller. Det föreföll även att vara ett stort problem att jämföra modeller som var baserade på olika tidsintervall. Vidare förefaller det som om modellbyggnadstekniken inte är helt tillfredsställande. Ofta uppskattar man parametrarna i varje ekvation för sig. Det finns dock några metoder där man uppskattar ekvationer tillsammans. Det är ej allmänt uppmärksammat att vad man i själva verket gör är att uppskatta koefficienter i slutna system. Detta kan leda till stora principiella svårigheter liksom förlust i noggrannhet. Vidare finns det få tekniker som utnyttjar att residualerna eventuellt kan vara korrelerade.

Flera diskussionsdeltagare, bl a de från Federal Reserve Bank ansåg också att man kunde ha stor nytta av förenklade modeller, t ex förstaordnings modeller av den typ som används av Cooper, liksom modeller av den typ som utvecklats vid Federal Reserve Bank i St Louis.

Önskemål om olinjära modeller framfördes även. Det är oklart vilka de väsentliga olinjäriteterna är och vilken representation av dessa som skall utnyttjas. Det var också viss tveksamhet huruvida modellerna var giltiga över stora områden, liksom även om modellerna var giltiga därest man gjorde större styringrepp. Framförallt framhölls viss tveksamhet då många faktorer beror av folks reaktioner och det ingalunda är säkert att människor reagerar på samma

sätt idag som för 10 år sedan. Detta är en allvarlig nackdel när modellerna är baserade på kvartals data och man i regel använder perioder om 16 à 20 år för att uppskatta koefficienterna.

### Vilka beslutsregler idag?

I vissa diskussioner framfördes även direkta frågor på hur man idag beslutar. Det förefaller som om man för närvarande utnyttjar lite teori och simulering endast i ringa omfattning. I allmänhet görs en lista på ett antal tänkbara alternativ vilka utvärderas subjektivt, ibland med utnyttjande av enkla modeller och simulering av resultaten av de olika beslutsalternativen. Vissa deltagare ansåg att man kunde uppnå betydande förbättringar genom att åtminstone ta hänsyn till de faktorer som är kända via modeller. Mitt allmänna intryck var dock att det förefaller vara ganska rimligt att få modeller som åtminstone för vissa sektorer är tillräckligt noggranna för att göra viss analys.

### Användning av reglerteori

De ekonomer som deltog i symposiet föreföll vara väl förtrogna med reglerteori, även om en hel del upprepningar av tidigare kända resultat gjordes så är detta förmodligen nödvändigt. Problemen ser något annorlunda ut och dessutom är det ju frågan om en inlärningsprocess. Det föreföll också av de presenterade tillämpningarna som om mycket arbete återstår att göra. Det visade sig att en typisk begränsning var att de inom reglertekniken kända numeriska metoderna för lösning av deterministiska och stokastiska optimeringsproblem ännu inte spritt sig till den ekonomiska sidan och det är min bedömning att reglertekniker säkert kan göra en god nytta med dessa problem. Arbetena bör förmodligen ej utföras isolerade utan den bästa arbetsformen är säkert någon form av samarbetsgrupp med såväl ekonomer, som känner till problemställningarna, som reglertekniker vilka är väl förtrogna med metodiken.

### Sammanfattning

Tillämpningar inom makroekonomin förefaller vara ett mycket attraktivt tillämpningsfält för de metoder som utvecklats inom reglertekniken. En reglertekniker bör kunna göra goda insatser vad beträffar modellbygge och identifiering, simulering, beräkning av



styrstrategier. Det finns redan ett stort antal modeller som kan utnyttjas för att initiera arbetet. Det finns flera problem, t ex identifiering av slutna system som ej är tillfredsställande lösta. Många ekonomer åtminstone i USA förefaller väl förtrogna med problemställningarna och mottagliga för metoder och idéer.

Albert Ando  
Department of Economics  
3718 Locust Walk  
University of Pennsylvania  
Philadelphia, Pa. 19104

Kenneth J. Arrow  
Harvard University  
1737 Cambridge St., Rm. 401  
Cambridge, Mass. 02138

Dr. James Blackman  
Program Director for Economics  
National Science Foundation  
Washington, D. C. 20550

H. Woods Bowman  
College of Business Administration  
University of Illinois  
Box 4348  
Chicago, Ill. 60680

D. L. Brito  
Social Systems Research Institute  
The University of Wisconsin  
Social Science Bldg.  
1180 Observatory Drive  
Madison, Wisc. 53706

J. Phillip Cooper  
National Bureau of Economic Research  
545 Technology Square  
Cambridge, Mass. 02139

John M. Culbertson  
Department of Economics  
Social Science Building  
The University of Wisconsin  
Madison, Wisc. 53706

Karl A. Fox  
Department of Economics  
Iowa State University  
Ames, Iowa 50010

Benjamin M. Friedman  
140 Broadway  
New York, N. Y. 10005

R. Graves  
Graduate School of Business  
University of Chicago  
5836 Greenwood Ave.  
Chicago, Ill. 60637

David L. Grove  
IBM Corporate Headquarters  
Armonk, N. Y.

E. Philip Howrey  
Department of Economics  
University of Pennsylvania  
3718 Locust Walk  
Philadelphia, Pa. 19104

Michael D. Intriligator  
Department of Economics  
University of California  
Los Angeles, California 90024

Harry H. Kelejian  
Department of Economics  
New York University  
802 Rufus D. Smith Hall  
Washington Square  
New York, N. Y. 10003

David Kendrick  
Department of Economics  
The University of Texas  
Austin, Texas 78712

A. Marie Laporte  
Federal Reserve Bank of Chicago  
230 S. LaSalle St.  
Chicago, Ill. 60690

Michael C. Lovell  
Department of Economics  
Wesleyan University  
Middletown, Conn. 06457

Elizabeth C. MacRae  
Department of Economics  
University of Maryland  
College Park, Md. 20742

Central Theory  
& Economics

Naderi?

see page 3  
change institution

John J. McCall  
Department of Economics  
University of California  
Los Angeles, California 90024

William D. Nordhaus  
Department of Economics  
Yale University  
New Haven, Conn. 06520

<sup>Fred</sup>  
Alfred L. Norman  
University of Minnesota  
314 Social Sciences Building  
Minneapolis, Minn. 55455

William Orchard-Hays  
National Bureau of Economic Research  
545 Technology Square  
Cambridge, Mass. 02139

Dov Pekelman  
Graduate School of Business  
University of Chicago  
5836 Greenwood Ave.  
Chicago, Ill. 60637

David W. Peterson  
International Institute of Management  
Griegstr. 5  
1 Berlin 33, GERMANY

Robert S. Pindyck  
M. I. T.  
Alfred P. Sloan School of Management  
50 Memorial Drive  
Cambridge, Mass. 02139

Edward C. Prescott  
Graduate School of Industrial Admin.  
Carnegie-Mellon University  
Schenley Park  
Pittsburgh, Pa. 15213

Stephen M. Roberts  
Board of Governors of the  
Federal Reserve System  
Washington, D. C. 20551

Jati Sengupta  
Department of Economics  
Iowa State University  
Ames, Iowa 50010

Franklin R. Shupp  
Department of Economics  
University of Illinois  
Box 37 Commerce West  
Urbana, Ill. 61801

Joseph E. Stiglitz  
Department of Economics  
Yale University  
New Haven, Conn. 06520

James J. Sullivan  
Department of Economics  
University of California  
Santa Barbara, Cal. 93106

John B. Taylor  
Institute for Mathematical Studies  
in the Social Sciences  
Stanford University  
Stanford, California 94305

Lance Taylor  
Department of Economics  
Harvard University  
Cambridge, Mass. 02139

Erik Thorbecke  
Department of Economics  
Iowa State University  
Ames, Iowa 50010

Neil Wallace  
Department of Economics  
University of Minnesota  
Minneapolis, Minn.

Richard M. Young  
Department of Research  
Federal Reserve Bank of Philadelphia  
Philadelphia, Pa. 19101

A. Rodney Dobell  
Quantitative Analysis Course  
University of Toronto  
2211 Riverside Drive  
Ottawa, Ontario, CANADA

P.J. Crabbé  
Department of Economics  
Faculty of Social Sciences  
University of Ottawa  
Ottawa, Ontario, K1N 6N5  
CANADA

Kelvin J. Lancaster  
Department of Economics  
Columbia University  
522 Fayerweather Hall  
New York, N. Y. 10027

Maurice Wilkinson  
Graduate School of Business  
Columbia University  
Uris Hall  
New York, N. Y. 10027

George G. Judge  
Department of Economics  
University of Illinois  
Urbana, Ill. 61801

Karl A. Fox  
c/o Dean Norman Boyan  
Graduate School of Education  
Phelps Hall  
University of California  
Santa Barbara, California

(?) Robert M. Solow  
Department of Economics  
M. I. T.  
Cambridge, Mass. 02139

Charles T. Holt  
Urban Institute  
2100 "M" St., N. W.  
Washington, D. C. 20037

~~?) Dr. Ralph Gomory  
IBM  
P. O. Box 218  
Yorktown Heights, N. Y. 10598~~

NBER Control Theory Workshop Participants (Control Theory)

1. Dr. A.J. Tether  
Systems Control Inc.  
260 Sheridan Avenue  
Palo Alto, California
2. Dr. R. Mehra  
Systems Control Inc.  
260 Sheridan Avenue  
Palo Alto, California
3. Dr. H.S. Witsenhausen (author)  
Bell Telephone Laboratories  
Murray Hill, New Jersey
4. Dr. David G. Luenberger  
Office of Science and Technology  
The White House  
Washington, D.C.
5. Dr. Harold Chestnut  
General Electric Company  
Building 37, Room 571  
1 River Road  
Schenectady, New York 12305
6. Prof. Harry Van Trees  
Room 26-249  
M.I.T.  
Cambridge, Mass. 02139
7. Mr. A.H. Sarris  
Room 35-203  
M.I.T.  
Cambridge, Mass.
8. Dr. Paul Frost  
Bell Telephone Labs  
Whippany Road  
Whippany, New Jersey 07981
9. Professor P.G. Lainiotis  
Dept. of Electrical Engineering  
The University of Texas  
Austin, Texas 78712
10. Prof. S.S.S. Chang  
Dept. of Electrical Engineering  
X S.U.N.Y.  
Stony Brook, New York 11790
11. Dr. L. Kramer  
M.I.T. Lincoln Lab.  
Lexington, Massachusetts 02173
12. Dr. A.H. Jazwinski  
Business and Technological Systems Inc.  
12904 Cheswood Lane  
Bowie, Maryland 20715
13. Prof. P.L. Falb  
Division of Applied Mathematics  
Brown University  
Providence, Rhode Island 02912
14. Prof. P.J. McLane  
Department of Electrical Engineering  
Queen's University  
Kingston, Ontario, CANADA

15. Prof. D. Bertsekas  
Division of Engineering Economic Systems  
Stanford University  
Stanford, California ( ? )
16. Prof. R. Howard  
Division of Engineering Economic Systems  
Stanford University  
Stanford, California ( ? )
17. Prof. M. Mesarovic ( ? )  
Systems Research Center  
Case Western Reserve University  
Cleveland, Ohio
18. Prof. L. Lasdon ( ? )  
System Research Center  
Case Western Reserve University  
Cleveland, Ohio
19. Prof. L.F. Kazda ( ? )  
Dept. of Electrical Engineering  
University of Michigan  
Ann Arbor, Michigan
20. Prof. Michael Athans (author)  
Room 35-206  
M.I.T.  
Cambridge, Mass. 02139
21. Prof. L.A. Zadeh  
Dept. of Electrical Engineering  
& Computer Sciences  
University of California  
Berkeley, California
22. Professor H.J. Kushner  
Center for Dynamical Systems  
Brown University  
Providence, Rhode Island
23. Professor J.C. Willems  
Room 35-210  
M.I.T.  
Cambridge, Mass.
24. Professor R.S. Bucy  
Dept. of Electrical Engineering  
University of Southern California  
Los Angeles, California
25. Professor T. Kailath  
Dept. of Electrical Engineering  
Stanford University  
Stanford, California
26. Professor Karl Åström  
Division of Automatic Control  
Lund Institute of Technology  
P.O. Box 725  
Lund, 7 SWEDEN
27. Professor A. Bensoussan  
European Institute for Advanced Studies  
in Management  
Place Stephanie 20B-1050  
Brussels, Belgium
28. Professor P.P. Varaiya (author)  
Dept. of Electrical Engineering  
& Computer Sciences  
University of California  
Berkeley, California
29. Professor S.K. Mitter  
Room 35-229  
M.I.T.  
Cambridge, Mass., 02139

30. Prof. A.E. Bryson, Jr., Chairman  
Dept. of Aeronautics and Astronautics  
Stanford University  
Stanford, California ( ? )
31. Professor H. Sorenson  
Dept. of Aerospace & Engineering Systems  
University of California at San Diego  
La Jolla, California
- ~~32. Prof. D. Jacobson  
Pierce Hall  
Harvard University  
Cambridge, Mass., 02138~~
33. Prof. I.B. Rhodes  
Dept. of Control Systems  
Washington University  
St. Louis, Missouri 63130
34. Professor A.P. Sage  
Dept. of Electrical Engineering  
Southern Methodist University  
Dallas, Texas
35. Professor <sup>ns</sup> M<sup>n</sup>an<sup>n</sup>ao Aoki ( ? )  
College of Engineering  
University of California at Los Angeles  
Los Angeles, California

← Put on distribution list

P R O G R A M  
for  
Workshop on Stochastic Control and Economic Systems

May 5th - 9:00-12:00      Economic Systems I  
Chairman: Michael Lovell, Wesleyan University

"Optimal Stabilization Policies via Deterministic Control,"  
Robert Pindyck, M. I. T.

"How Much Could be Gained by Optimal Stochastic Control  
Policies?" Gregory C. Chow, Princeton University

"Stabilization Policy and Lags," J. Phillip Cooper and Stanley  
Fischer, University of Chicago

May 5th - 2:00-5:00      Economic Systems II  
Chairman: George G. Judge, University of Illinois

"Stochastic Optimization in Recursive Equation Systems with Random  
Parameters - An Application to Control of the Money Supply,"  
H. Woods Bowman, University of Illinois and A. Marie Laporte,  
Federal Reserve Bank of Chicago

"The Multiperiod Control Problem Under Uncertainty," Edward C.  
Prescott, Carnegie-Mellon University

"Linear Decision with Experimentation," Elizabeth MacRae, University  
of Maryland

May 6th - 9:00-12:00      Control Theory

"The Status of Stochastic Control Theory and Algorithmic Implementa-  
tion," Michael Athans, M. I. T.

"Information Structure and Separation in Stochastic Control,"  
H. W. Witsenhausen, Bell Telephone Laboratories

"Trends in Large Scale Systems Theory," P. P. Varayia, University  
of California, Berkeley

May 6th - 2:00-5:00  
Open Session - Chairman: Michael Intriligator, University of California, L. A.  
Unscheduled and brief presentations by participants

Panel Discussion - Moderator: Edwin Kuh, M. I. T. - Panelists: M. Athans,  
M. I. T., Gregory C. Chow, Princeton, and David Kendrick, University  
of Texas

Summary and Evaluation