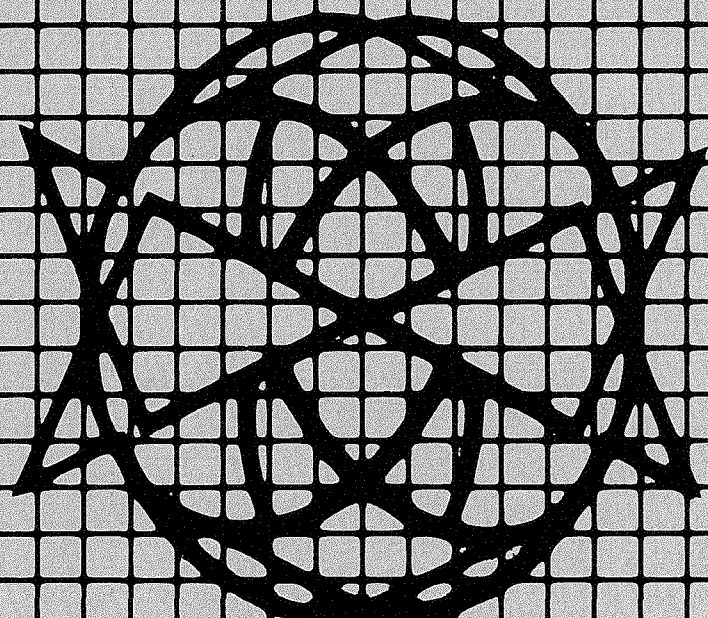
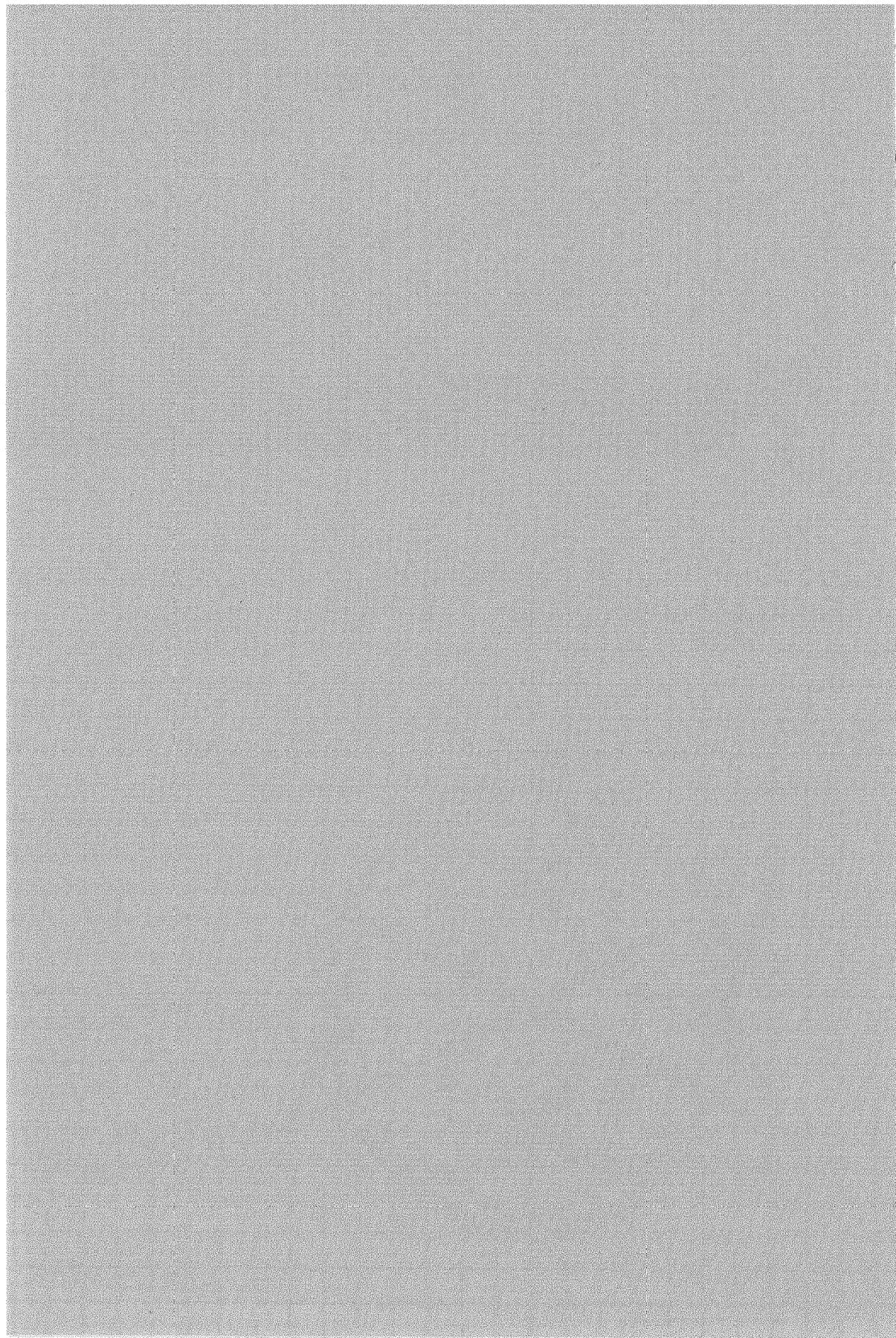


Systemtheorie



Centrum voor Wiskunde en Informatica
Centre for Mathematics and Computer Science





Systeemtheorie

Systeemtheorie heeft tot doel de wiskundige bestudering van dynamische verschijnselen en de oplossing van regel- en voorspellingsproblemen. In de systeemtheorie is voor deze problemen een axiomatische benadering ontwikkeld met behulp van het begrip dynamisch systeem. Systeemtheorie verschilt van de klassieke toegepaste wiskunde in de nadruk die wordt gelegd op het begrip dynamisch systeem, op de interactie van een dynamisch systeem met zijn omgeving, en op het aspect van de synthese, dat wil zeggen, het ontwerpen van regel- of voorspellingsalgoritmen.

Voorbeelden van regelproblemen waaraan de systeemtheorie heeft bijgedragen of kan bijdragen zijn, de besturing van robots, de regeling van windmolens, de standregeling van satellieten, en de regeling van supertankers en vliegtuigen. Voorbeelden van voorspellings- of schattingsproblemen waaraan de systeemtheorie heeft bijgedragen zijn de voorspelling van elektrische energieafname bij de Nederlandse Spoorwegen, de voorspelling van SO_2 -concentraties in het Rijnmondgebied, de voorspelling van waterhoogten in de mond van de Oosterschelde, het bewerken van seismische gegevens, en de informatie-extractie uit beelden.

Na abstrahering van de praktische problemen in de bovengenoemde voorbeelden blijkt het steeds te gaan om regelproblemen of voorspellingsproblemen, voorafgegaan door de constructie van wiskundige modellen. Systeem- en regeltheorie maakt studie van deze geabstraheerde problemen. In het algemeen dient de systeemtheorie als theoretische basis voor bepaalde problemen in de regeltechniek, de signaalverwerking, de elektri-

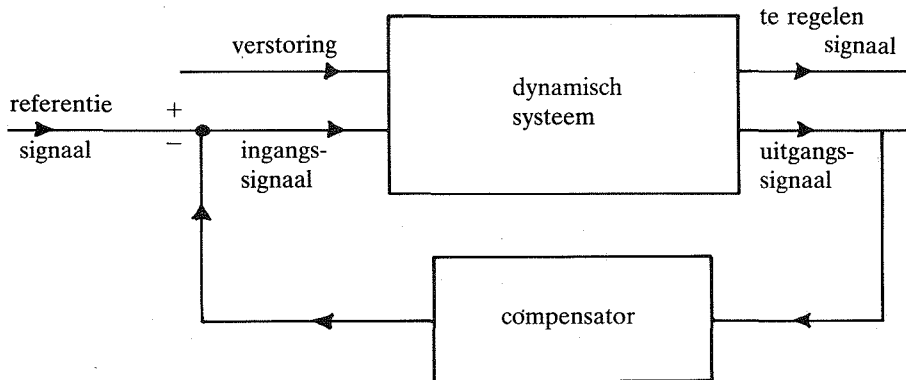
sche netwerktheorie, de tijdreeksanalyse, de econometrie, de natuurkunde en de informatica. Systeem- en regeltheorie speelt met name een rol in een aantal zich snel ontwikkelende technologieën die nauw betrokken zijn bij de informatica. Hierbij kan men denken aan digitale signaalverwerking, spraak- en beeldverwerking, robotica en VLSI ("Very Large Scale Integrated") circuits.

Aan de volgende drie klassen van problemen wordt in de systeemtheorie onderzoek verricht.

1. *Realisatie- en identificatieproblemen*: het bepalen of benaderen van een dynamische systeemrepresentatie, gegeven ingangs- en uitgangsgegevens. Enkele vragen in dit verband zijn of dit mogelijk is, of er een unieke representatie bestaat, of deze minimaal is, en hoe men een schattingsalgoritme bepaalt en evalueert.
2. *Regel- en besturingsproblemen*: het bepalen van een ingangsfunctie voor een dynamisch systeem zodanig dat de toestand zich op een gewenste wijze gedraagt. Enkele vragen in dit verband zijn of deze bepaling mogelijk is, hoe men tot de synthese van een regelalgoritme komt (eventueel onder minimalisering van een kostenfunctie), en of het geregelde systeem stabiel is, gevoelig voor verstoringen, en robuust. Een deelprobleem dat recentelijk in de belangstelling is komen te staan is het adaptieve regelprobleem waarbij de waarden van de parameters van het systeem onbekend zijn.
3. *Voorspellings- en filterproblemen*: het voorspellen of schatten van de toestand van een dynamisch systeem gegeven een uitgangsfunctie. Enkele vragen in dit verband zijn of deze schatting mogelijk is, wat de betrouwbaarheid van een voorspelling is, en hoe men tot de synthese van een voorspellingsalgoritme komt. Het adaptieve voorspellingsprobleem waarbij de parameterwaarden van het systeem onbekend zijn, is praktisch gezien zeer relevant.

Welke resultaten zijn bekend voor de bovengenoemde problemen? De meeste aandacht is tot nog toe besteed aan dynamische systemen op eindig-dimensionale vectorruimten en met lineaire functies. Voor deze klasse van systemen is een aantal van de bovenstaande problemen opgelost. Ongetwijfeld zijn de belangrijkste en meest elegante resultaten het Kalmanfilter en de LQG-algoritme (LQG: Lineair, Quadratisch, Gaussisch). Het Kalmanfilter is een voorspellingsalgoritme voor een dynamisch systeem. Deze algoritme bevat een model van het dynamisch systeem waarvan de toestand voorspelt dient te worden. De LQG-algoritme is een regelalgoritme voor stochastische systemen ontworpen op basis van een kwadratische kostenfunctie. In deze algoritme wordt gebruik gemaakt van toestandsterugkoppeling. Deze algoritmen worden bijzonder veel toegepast. Adaptieve voorspellingsalgoritmen komen recentelijk meer in de belangstelling te staan. Het onderzoek naar andere klassen van dynamische systemen is nog nauwelijks begonnen.

Als voorbeeld wordt in onderstaande figuur een stroomschema geschetst van een geregeld dynamisch systeem. De compensator bestaat in het algemeen uit een filter dat de toestand van het dynamische systeem schat, en een regelwet die hetingangssignaal produceert. De regelwet is gebaseerd op toestandsterugkoppeling.



Schema van een geregeld systeem.

Wat zijn de vooruitzichten voor de systeemtheorie in de komende vijf tot tien jaar? De motiverende praktische problemen zullen voornamelijk voortkomen uit de techniek, maar ook uit de econometrie en vooral uit de informatica. Voor systeemtheorie in het algemeen verwachten wij zowel de bepaling van algoritmen voor praktische problemen als een verdere abstrahering van de theorie. Per probleemgebied van de systeemtheorie zijn onze verwachtingen als volgt.

1. *Realisatie- en identificatieproblemen*: bijdragen aan het stochastische realisatieprobleem, met implicaties voor recursieve systeemidentificatie en het realisatieprobleem voor systemen op verzamelingen.
2. *Regel- en besturingsproblemen*: bijdragen aan het regelprobleem voor robots, voor niet-lineaire systemen, en aan het adaptieve regelprobleem, met toepassingen in de produktietechniek, procesindustrie, ruimtevaart en de informatica.
3. *Voorspellings- en filterproblemen*: classificatie van eindig-dimensionale filtersystemen, en bijdragen aan het adaptieve filterprobleem, met toepassingen in de signaalverwerking, communicatietheorie, regeltechniek en verkeersregeling.

Daarnaast verwacht men bij regelproblemen voor grootschalige systemen de ontwikkeling van een theorie voor dynamische systemen met verscheidene beslissers. Een speciaal geval van zo'n probleem is dat van gedecentraliseerde besturing. Deze ontwikkeling zal waarschijnlijk verlopen aan de hand van concrete voorbeelden zoals de besturing van elektrische netwerken, computernetwerken en economische eenheden. Wat de toepassingen van systeemtheorie betreft verwacht men een sterke uitstraling naar de econometrie en de informatica, met name naar kunstmatige intelligentie.

