

# INFORS

Suomen Operaatiotutkimusseuran jäsenlehti

1/2000

- Virkaanastujaisia -



**FORS**

Suomen Operaatiotutkimusseura ry

Finnish Operations Research Society

**Suomen  
Operaatiotutkimusseura ry:n  
jäsenlehti**

**N:o 1 - 2000**

Suomen Operaatiotutkimusseura ry  
PL 702, 00101 Helsinki  
<http://www.hkkk.fi/~fors>

**Vastaava päätoimittaja,  
seuran puheenjohtaja:**

Ahti Salo  
Teknillinen korkeakoulu  
Systeemianalyysin laboratorio  
PL 1100  
02015 TKK  
Puh. (09) 451 3055, 040 540 9916  
Fax (09) 451 3096  
E-mail: ahti.salo@hut.fi

**Toimituspäällikkö,  
seuran sihteeri:**

Laura Salmi  
Teknillinen korkeakoulu  
TAI Tutkimuslaitos  
PL 9500  
02015 TKK  
Puh. (050) 381 9781  
Fax (09) 451 3665  
E-mail: laura.salmi@hut.fi

**Jäsenmaksun suuruus:**

100 mk / vuosi  
perusopiskelijat 20 mk / vuosi

**Mainoshinnat:**

Sivu 500 mk  
Sivu / 2 eri numeroa 800 mk

**Pankkiyhteys:**

Leonia 800014-70360372

**Painopaikka:**

Picaset Oy

**SISÄLTÖ**

Puheenjohtajan palsta Ahti Salo	3
Sihteerin palsta Laura Salmi	3
Elektroninen kaupankäynti: päätöksentekoa verkossa Hannele Wallenius	4
Fine-tuning a Fuzzy Traffic Signal Controller Using Neural Networks Ella Bingham	8
Optimointi - mallintamista, matematiikkaa, geneettisiä algoritmeja Harri Ehtamo	15
Opinnäytetyöt	21
Tapahtumakalenteri	23

**PUHEENJOHTAJAN PALSTA***Ahti Salo***Sähköinen kaupankäynti**

Sähköinen kaupankäynti – tai ehkä täsmällisemmin internetin välityksellä tapahtuva liiketoiminta – on ollut viime aikoina vahvasti esillä. Monet viime syksyn ja tämän talven kuumista osakeanneista ovat liittyneet yrityksiin, jotka hakevat vahvaa kasvua internet-pohjaisesta liiketoiminnasta. Katujen varsille on pystytetty mainoksia, jotka kehottavat kuluttajia perehtymään internetissä tarjolla oleviin palveluihin. Useat näistä palveluista ovat tulleet monille tutuiksi: uskoisin, että suuri osa seuramme jäsenistä on tehnyt ostoksia verkossa, onhan esimerkiksi verkkokirjakaupoilla tarjota laajat valikoimat kilpailukykyiseen hintaan.

Toisaalta sähköinen kaupankäynti ei kuitenkaan ole kasvanut niin nopeasti kuin mitä optimistisimmat ennusteet parin vuoden takaa antoivat odottaa. Ripeän kasvun tiellä on monenlaisia esteitä, jotka liittyvät niin tietoteknisten järjestelmien turvallisuuteen, maksuliikenteen hallintaan ja kansainvälisten verotuskäytäntöjen muotoutumiseen. Kaikilla näillä rintamilla tehdään aktiivista työtä, jotta kaupankäynnin esteet ja hidasteet saadaan raivattua.

Näyttääkin ilmeiseltä, että sähköinen kaupankäynti tulee kasvamaan voimakkaasti lähivuosina. Samalla operaatiotutkimukselle tarjoutuu uudenlaisia mahdollisuuksia muun muassa asiakastiedon hyödyntämisen, liiketoimintaprosessien kehittämisen ja logistiikan optimoinnin puolella. Myös päätöksenteon tukimenetelmät saavat uusia käyttökohteita, koska tietoverkoissa toimivat päätösmallit voivat tukea esimerkiksi kuluttajan kannalta kiinnostavimpien vaihtoehtojen löytymistä ja vertailua. Osaltaan näistä mahdollisuuksista kertoo sekin, että viime marraskuun INFORMS-kokouksessa käytiin laajaa keskustelua uuden, nimenomaan sähköiseen kaupankäyntiin keskittyvän jaoston perustamiseksi.

Tätä taustaa vasten onkin paikallaan, että pyrimme FORSin tämän vuoden tilaisuuksissa luotaamaan sähköisen kaupankäynnin merkitystä operaatiotutkimuksen näkökulmasta. Parhaimmillaan tämä voi antaa hedelmällisiä virikkeitä alan tutkimukselle ja edistää uusien innovatiivisten sovellusten syntymistä.

Parhain terveisin,

Ahti

**SIHTEERIN PALSTA***Laura Salmi*

Keväiset terveiset kaikille FORSlaisille uudelta sihteeriltänne. Janican vetäytyessä viimeistelemään väitöskirjaansa olen aloittanut kauteni kasaamalla kokoon tämän vuoden ensimmäisen INFORS-lehden. Tällä kertaa saamme valaistusta elektroniseen kaupankäyntiin ja optimointiin professoreiden Hannele Wallenius ja Harri Ehtamo virkaanastujaisesitysten kautta.

Lisäksi DI Ella Bingham kertoo varsinkin kaupunkilaisia kiinnostavasta aiheesta eli liikennevalojen ohjauksesta. Toivotan innostavia lukukokemuksia!

Laura Salmi

# ELEKTRONINEN KAUPANKÄYNTI: PÄÄTÖKSENTEKOA VERKOSSA

*Hannele Wallenius*

Teknillinen korkeakoulu  
Tuotantotalouden osasto  
Yritysstrategian ja kansainvälisen liiketoiminnan laboratorio  
PL 9500, 02015 TKK

Esitys perustuu 7.3.2000 pitämäni virkaanastujaisesitelmään.

Pyrin valottamaan kysymystä, miten elektronisen kaupan eri osapuolien päätöksentekoa voidaan tukea informaatiota ja valintamahdollisuuksia tulvillaan olevassa Internetissä. Aluksi käsitelen elektronisen kaupan käsitettä ja sen potentiaalisia hyötyjä niin kuluttajalle kuin tuottajalle. Esimerkkinä verkkoon kehitetyistä päätöksenteon tukijärjestelmistä käsitelen verkkokauppaan kehitettyjä huutokauppa- ja markkinamekanismeja. Lopuksi pyrin lyhyesti kuvaamaan elektronisen liiketoiminnan tutkimuksellisia haasteita taloustieteilijän näkökulmasta?

Kahden viime vuosikymmenen aikana tapahtunut teknologinen kehitys on synnyttänyt apuvälineitä, jotka ovat muuttaneet ratkaisevasti tapaa, miten ihmiset voivat kommunikoida keskenään ja harjoittaa liiketoimintaa. Tuskin kukaan olisi osannut ennustaa, että Internetin kaltainen julkinen kommunikointiverkosto voisi vaikuttaa niin mullistavasti liike-elämään ja koko talouteen. Monet uskovat sen jo luoneen ns. *uuden talouden*, jossa voimakas tuottavuuden lisääntyminen on tehnyt mahdolliseksi nopean, pitkäaikaisen talouskasvun -- ja ainakin Yhdysvalloissa ennen näkemättömän matalan työttömyyden- inflaation kiihtymättä.

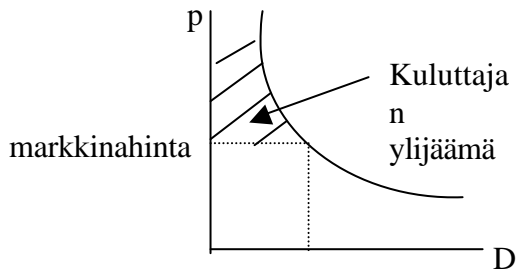
Elektronisella kaupalla ja verkkokaupalla tarkoitetaan lähinnä tuote- ja palveluinformaation levittämistä, tilauksien tekemistä sekä tuotteiden/palvelujen jakelua ja maksamista sähköisessä muodossa. Kauppaa käydään yritykseltä kuluttajalle (B2C), kuluttajien välillä (C2C) tai yritysten välillä (B2B). Kaupattavat tuotteet ovat joko fyysisiä tai digitaalisia.

## **Markkinat tehostuvat?**

Voimme helposti esittää argumentteja sen puolesta, että markkinoiden toiminta tehostuu verkkokaupan seurauksena. Sähköinen kaupankäynti supistaa dramaattisesti kaupankäynnin osapuolten välistä taloudellista etäisyyttä, markkinat globalisoituvat, maantieteellisen sijainnin merkitys vähenee, kaupankäynnin väliportaiden määrä supistuu. Tämä saattaa muuttaa kilpailutilannetta monilla markkinoilla lähemmäksi täydellistä kilpailua: transaktiokustannukset pienenevät, markkinoille tulon esteet madaltuvat, informaation saanti lisääntyy ja helpottuu.

Kaikki nämä tekijät puoltavat oletusta, että kilpailu kiristyy ja hinnat laskevat, johtaen markkinat lähemmäksi täydellistä kilpailua. Yllä esitetyt argumentit viittaisivat siihen, että kuluttajat hyötyisivät elektronisen kaupankäynnin lisääntymisestä.

Markkinoiden tehokkuutta mitataan talusteoriassa hyvinvointikäsitteellä *kuluttajan ylijäämä*. Kuluttajan ylijäämä on kuluttajien todellisen maksuhalukkuuden (varaushinnan) ja markkinahinnan välinen erotus. Sen voidaan osoittaa olevan suurimmillaan nimen omaan markkinoilla, joilla vallitsee täydellinen kilpailu.



Tuotteiden ja palveluiden tarkka räätälöinti eri kuluttajaryhmille helpottuu ja yleistyy, koska tuottajat voivat saada entistä yksityiskohtaisempia kuluttajaprofiileja erilaisten verkosta tehokkaasti kuluttajatietoa keräävien evästeiden, suodattimien ja rekisteritiedostojen perusteella. Kilpailusta voi siis itse asiassa tulla entistä epätäydellisempää. Tuotedifferentiointi tarkasti profiloituin tuottein on usein ehkä mahdollista saavuttaa varsin pienin lisäkustannuksin, mikä toisaalta mahdollistaa entistä suuremman hintadiskriminoinnin eri kuluttajaryhmien välillä. Tällaisessa tapauksessa osa kuluttajan ylijäämästä siirtyy tuottajille tai myyjille. On varsin ymmärrettävää, että yritykset pyrkisivät tällaiseen tilanteeseen. Yritykset ovat aina mainonnalla ja tuotedifferentiaatiolla pyrkineet oman markkina-asemansa vahvistamiseen ja luomaan jonkin asteisen “monopoliaseman” itselleen.

Todennäköisesti kuitenkin sekä kuluttajat että tuottajat hyötyvät verkkokaupasta ja markkinoiden tehostumisesta, sillä skaalatuotot ja suurtuotannon edut ovat ainakin digitaalisten tuotteiden kohdalla ilmeiset.

Vaikka median kiinnostus on lähinnä keskittynyt verkkokaupassa myytyihin kulutushyödykkeisiin ja kuluttajille myytyihin palveluihin, suurin osa elektronisesta kaupankäynnistä on yritysten välillä tapahtuvaa kauppaa.

Yritysten välisen (B2B) elektronisen kaupan uskotaan nousevan eräiden ennusteiden mukaan jo \$350 miljardiin vuonna 2002. Internet-pohjaisten huutokauppojen yleistyessä niiden on arvioitu säästävän 5-20% yrityksiensä hankintakuluista. Siksi Yhdysvalloissa ja Euroopassa useat yritykset ovatkin alkaneet käyttää WWW:tä tehostaakseen kaupankäyntiään alihankkijoidensa ja asiakkaidensa kanssa.

Esimerkiksi Ford ja General Motors ovat kumpikin ilmoittaneet siirtävänsä seuraavan viiden vuoden aikana 30 000 alihankkijoidensa kanssa tekemänsä kaupat verkkoon. Fordilla uskotaan informaatioaikakauden ja elektronisen kaupan tehostavan heidän liiketoimintaansa yhtä mullistavalla tavalla kuin aikoinaan teollinen vallankumous ja massatuotanto sen tekivät 1900-luvun alussa.

Kaikki merkit viittaavat siihen, että B2C verkkokaupan volyyymi on saavuttamassa kriittisen massan Yhdysvaltojen jalanjäljissä myös Euroopassa – kasvun räjähdys on vain ajan kysymys,

jos ja kun verkkokauppaan liittyvät eräät ongelmat ratkaistaan. Tällaisia parannuksia ovat mm. turvallisten maksujärjestelmien kehittyminen ja yhteysnopeuksien parantumien kaistanleveyksien kasvaessa. Myös WAP- teknologia yhdistäessään WWW:n ja matkapuhelimet voi ratkaisevasti lisätä ja helpottaa verkkokauppaa.

### **Päätöksenteon tukemisen tarve verkossa**

Tietokoneavusteisia päätöksenteon tukijärjestelmiä on kehitetty 1970-luvulta alkaen, jo paljon ennen Internet aikaa. Tietokoneiden käytön yleistymisen ja Internetin synty ovat luoneet uusia mahdollisuuksia päätöksenteon tukijärjestelmien kehittämiseksi ja niiden käytön leviämiseksi. Oma kiinnostukseni päätöksenteon tutkimukseen on myös peräisin tuolta aikakaudelta. Siihen aikaan tutkimuksemme tarkoituksena oli kuvata päätöksentekijöiden preferenssejä ja löytää optimaalisia ratkaisuja niin yksityisen kuin julkisen sektorin päätösongelmiin. Tietokoneiden käytön yleistymisen ja Internet ovat luoneet paljon uusia haasteita ja mahdollisuuksia päätöksenteon tukijärjestelmien kehittämiseksi ja niiden käytön leviämiseksi.

Internetin suunnaton informaatiotulva on synnyttänyt tarpeen kehittää erilaisia hakuagentteja (search engines, intermediaries, mediators) niin kuluttajien kuin yritysten päätöksenteon tueksi. Kuluttajat ja yritykset suorittavat monia osto- ja myyntipäätöksiä verkossa. Tätä helpottamaan on kehitteillä ostajan preferenssejä simuloivia oppivia ostoagentteja.

### **Sähköiset huutokaupat**

Internet on mahdollistanut myös erilaisten elektronisten kauppapaikkojen synnyn. Kun useat myyjät ja ostajat harjoittavat kauppaa, kyseessä on perinteiset markkinat. Yksi myyjä ja yksi ostaja muodostaa taas neuvottelun. Huutokaupassa on useita ostajia ja yksi myyjä, käänteinen huutokauppa (tarjouskilpailu) koostuu puolestaan yhdestä ostajasta ja useista myyjästä (ks. alla oleva kaavio).

		<i>Ostajat</i>	
		<i>yksi</i>	<i>useita</i>
<i>Myyjät</i>	<i>yksi</i>	<i>Neuvottelu</i>	<i>Huutokauppa</i>
	<i>useita</i>	<i>Käänteinen huutokauppa</i>	<i>Perinteiset markkinat</i>

Satoja elektronisia huutokauppoja ja pörssijä on syntynyt WWW:hen viime vuosina. Huutokauppa on hyvin tehokas resurssien allokaatiomekanismi. Toimiakseen huutokaupat tarvitsevat aina tarkat pelisäännöt. Onko kyseessä myynti vai osto, ovatko tarjoukset avoimet vai suljetut, käytetäänkö laskevia vai kohoavia hintoja jne.?

Elektronisissa huutokaupoissa ja pörssissä verkkoympäristö mahdollistaa ostajien ostovoiman aggregoinnin ja eri osapuolten helpomman intressien yhteensovittamisen (matching), siihen liittyvien neuvotteluprotokollien suunnittelun kuin mitä olisi mahdollista fyysisillä markkinoilla. Kehittyneimmissä huutokaupoissa ja pörssissä tuotteen hinta ei ole ainoa tarjouksen hyvyyden

kriteeri. Muita kriteerejä saattavat olla tuotteen laatu, takuu- ja toimitusehdot, määrä, rahoitusehdot jne.

Verkon tämän hetken käytetyimpiä intressien yhteensovittajia ja aggregoijia ovat sellaiset dot-comit kuin Bargainfinder, Bid4it, eBay, Letsbuyit, Priceline, Freemarkets ja uusimpana Perfect.

Itse olen viime vuosina kehittänyt yhdessä yhteistyökumppaneitteni kanssa WWW-pohjaista huutokauppamekanismia, johon on yhdistetty mahdollisuus neuvotteluun. NegotiAuction<sup>1</sup> nimisessä hybridisessä neuvottelu- ja huutokauppajärjestelmässä on kyseessä käänteinen huutokauppa ja niin sanottu laskevan hinnan tarjouskilpailu. Ostaja ilmoittaa reaaliajassa tarjoajalle hänen asemansa, eli olisiko hänen tarjouksensa voittajien joukossa, jos huutokauppa sulkeutuisi juuri tällä hetkellä. Kyseessä on osaksi suljettu, osaksi avoin huutokauppa: järjestelmä ehdottaa hintaa, jolla tarjous tulee ”aktiiviseksi”, mutta muut tarjouskilpailuun osallistujat eivät ole tietoisia toisten tekemistä tarjouksista. Tarjoukset muodostuvat hinnasta ja tarjotusta määrästä. Ostaja voi myös asettaa rajoituksia tarjouksille tai niiden kompositiolle. Huutokaupassa formuloidaan ja ratkaistaan kaksi matemaattista ongelmaa: mitkä tarjoukset ovat aktiivisia, epäaktiivisia tai semiaktiivisia rajoituksella, että haluttu määrä ja muut asetetut ehdot toteutuvat. Toisaalta mekanismi antaa hintaehdotuksen uudelle tarjoukselle, joka alussa on sama kuin ostajan varaushinta. Kysytyn määrän täytyessä uuden aktiiviseksi tekevän hinnan täytyy alentaa kustannuksia ja täyttää tarjouksille asetetut ehdot.

NegotiAuctionin muita erikoispiirteitä ovat "autobidding" eli mahdollisuus antaa järjestelmän suorittaa tarjoukset automaattisesti toimeksiantajan puolesta ennalta sovittujen ehtojen mukaisesti ja tarjouskilpailun lomassa suoritettavat kahdenkeskeiset neuvottelut järjestelmään kuuluvan viestintämekanismien välityksellä.

Uskon, että elektronisten markkinoiden kehittyminen yhdessä informaatio- ja ohjelmistoteknologian kehittymisen kanssa avaa uusia mahdollisuuksia päätöksenteon tukijärjestelmien hyväksikäytölle ja tarjoaa monia mielenkiintoisia poikkitieteellisiä tutkimushaasteita niin matemaatikoille, IT-ammattilaisille, taloustieteilijöille ja psykologeille.

Tutkimushaasteita taloustieteilijän näkökulmasta ovat muun muassa yritysstrategiat, verkottuminen, mainonnan strategiat verkossa, logistiset ratkaisut, markkinoiden tehokkuuden tutkiminen, verkkokaupasta syntyvät skaalatuotot ja suurtuotannon edut. Tutkijat tulevat myös työskentelemään entistä älykkäämpien hakuagenttien parissa ja kehittämään tehokkaampaa tukea verkkoneuvotteluille ja päätöksenteolle sekä parantamaan elektronisten huutokauppojen toimintamekanismeja.

Kukaan ei loppujen lopuksi osaa tarkalleen arvioida kuinka Internet tulee muuttamaan kaupankäyntiä ja liiketoimintaa. Uskon, että parhaiten ennustaa hän, jolla on vilkkain mielikuvitus. On ainakin varmaa, että Internetissä ei voi toimia tehokkaasti ilman päätöksenteon tukijärjestelmiä. Mutta inhimillinen päätöksenteko ja harkinta varmasti säilyvät keskeisinä. Kone on kuitenkin kone, vaikka kehittyikin alati älykkäämmäksi.

---

<sup>1</sup> Teich, J., Wallenius, H., Wallenius, J. ja Zaitsev, A.: An Internet-Based Procedure for Reverse Auctions Combining Aspects of Negotiations and Auctions, paper to be presented in DEXA Workshop on E-Negotiations, London, September 2000.



# FINE-TUNING A FUZZY TRAFFIC SIGNAL CONTROLLER USING NEURAL NETWORKS

*Ella Bingham*

Neural Networks Research Centre  
Helsinki University of Technology  
P.O. Box 5400, FIN-02015 HUT  
Tel. +358 9 451 5282  
Fax +358 9 451 3277  
Ella.Bingham@hut.fi

In this article I will briefly describe a project on which I worked one and a half years ago. The work was carried out in the Laboratory of Transportation Engineering in Helsinki University of Technology, and it was the subject for my M.Sc. thesis for the Systems Analysis and Operations Research chair in Helsinki University of Technology.

## 1. Introduction

A fuzzy traffic signal controller uses simple "if-then" rules in choosing the length of the green signal: for example, "if the approaching traffic volume in the green direction is small and the queuing traffic volume in the red direction is medium, then the green signal length is short". Here the linguistic concepts "small", "medium" and "short" are presented using fuzzy membership functions. An example of a membership function is seen in Figure 1. The locations  $p_1$ ,  $p_2$ ,  $p_3$  and  $p_4$  of the four corners of the trapezoid determine the shape and location of the membership functions. The membership function might also be triangular or bell-shaped, or have some other form.

Title:  
params-article.fig  
Creator:  
fig2dev Version 3.1 Patchlevel 2  
Preview:  
This EPS picture was not saved  
with a preview included in it.  
Comment:  
This EPS picture will print to a  
PostScript printer, but not to  
other types of printers.

**Figure 1.** Trapezoidal membership function. The parameters  $p_1$ ,  $p_2$ ,  $p_3$  and  $p_4$  determine the locations of the four corners.

Neural networks consist of simple processing elements interconnected as a structured network. In fuzzy traffic signal control, neural networks can be used to fine-tune the form and location of the fuzzy membership functions of the traffic signal controller. This results in a decrease in the vehicular delay.

The learning algorithm of the neural network used in this work is reinforcement learning. It is based on evaluating the performance of the control system and giving credit for successful behaviour; those actions that led to success tend to be chosen more often in the future. In our application, successful traffic control actions are those that lead to a small vehicular delay.

The objective of the traffic signal controller in our simulation experiments was vehicular delay minimization. This is only one of several objectives of real-life traffic signal controllers. Others include e.g. safety and environmental aspects, and optimizing one particular goal may lead further away from the optima of the remaining ones. Delay minimization was chosen as the goal in this work because it is fairly easy to measure, and because the interest was more in demonstrating the potential of neural networks in fuzzy traffic signal control than in studying the various aspects of traffic signal control.

The simulations were run on the HUTSIM traffic simulation system that is developed in the Laboratory of Transportation Engineering in Helsinki University of Technology.

In simulation experiments, the learning algorithm was found successful at constant traffic volumes: the new membership functions produced a smaller vehicular delay than the initial membership functions. More information about the project can be found in Bingham (1998).

## **2. Fuzzy traffic signal control**

In fuzzy traffic signal control, the controller receives measurements of incoming traffic in all the approaching directions and chooses the extension of the green signal accordingly. A clear advantage of fuzzy control systems over traditional ones is their ability to use expert knowledge as such, in the form of fuzzy rules.

Another advantage of fuzzy control is the small number of parameters needed: only the rule base and the parameters of the membership functions need to be selected, whereas in traditional traffic signal control the number of parameters is often very large. The parameters needed in fuzzy control are easy to comprehend, making the design process more suitable for human-like reasoning.

There is an important difference between fuzzy and traditional traffic signal controllers used today in Finland and in many other countries. A fuzzy controller uses the number of incoming vehicles in both the green and the red direction, whereas a traditional controller uses only the number of vehicles in the green direction when deciding the green time extension. A frequently occurring problem is that when vehicles approach the intersection separately but within a few seconds from each other, every vehicle is given a green light extension, and the total extension grows very large. Fuzzy control takes into account the length of the queue behind the red signal, too, and if the queue is too long compared to the amount of vehicles approaching from the green direction, no green extension is given anymore. In this way, a fuzzy traffic signal controller acts like a policeman who constantly weighs in his mind which of the directions deserves a green signal.

The Laboratory of Transportation Engineering in Helsinki University of Technology has compared fuzzy and traditional traffic signal controllers. It has been shown that fuzzy control performs better in that the vehicular delays are smaller than with traditional signal control. Fuzzy traffic signal control is currently used in an intersection in Oulunkylä, Helsinki, and the results are convincing. In our project, the existing fuzzy signal controller was further developed by including a neural learning algorithm.

The traffic simulation environment used in this work is an intersection of two-lane streets. In the simulations, pedestrians or turning vehicles are not treated separately in signal control. In each approaching lane of the intersection there are two traffic detectors, the first one e.g. 50 or 100 meters before the stop line and the other at the stop line. These detectors send input measurements of traffic to the fuzzy controller: APP, number of approaching vehicles in the green direction and QUE, number of queuing vehicles in the red direction. Depending on the traffic situation, the green phase can be extended with one or several seconds, and the output of the fuzzy controller is EXT, green time extension (in seconds). The linguistic values of APP are "zero", "a few", "medium" and "many"; the linguistic values of QUE are "a few", "medium" and "too long"; and the linguistic values of EXT are "zero", "short", "medium" and "long".

The rule base consists of five rule sets. The choice of the rule set depends on how many green extensions have already been given. The objective of the rules is to split the green time and find the right moment of green termination so that the delay of vehicles is minimized. The rule base is:

after minimum green (5 seconds):

- if APP is zero, then EXT is zero
- if APP is a few and if QUE is less than medium, then EXT is short
- if APP is more than a few, then EXT is medium
- if APP is medium, then EXT is long

after the first extension:

- if APP is zero, then EXT is zero
- if APP is a few and if QUE is less than medium, then EXT is short
- if APP is medium, then EXT is medium
- if APP is many, then EXT is long

after the second extension:

- if APP is zero, then EXT is zero
- if APP is a few and if QUE is less than medium, then EXT is short
- if APP is medium and if QUE is less than medium, then EXT is medium
- if APP is many and if QUE is less than medium, then EXT is long

after the third extension:

- if APP is zero, then EXT is zero
- if QUE is too long, then EXT is zero
- if APP is more than a few and if QUE is less than medium, then EXT is short
- if APP is medium and if QUE is less than medium, then EXT is medium
- if APP is many and if QUE is less than a few, then EXT is long

after the fourth extension:

- if APP is zero, then EXT is zero
- if QUE is too long, then EXT is zero
- if APP is more than a few and if QUE is a few, then EXT is short
- if APP is medium and if QUE is less than a few, then EXT is medium
- if APP is many and if QUE is less than a few, then EXT is long

### **3. Reinforcement learning**

The basic idea in reinforcement learning is that the fuzzy controller is presented as a neural

network, and another neural network is used to gather information about the process and fine-tune the parameters of the fuzzy controller network. Figure 2 shows the structure of the neurofuzzy traffic control system using reinforcement learning.

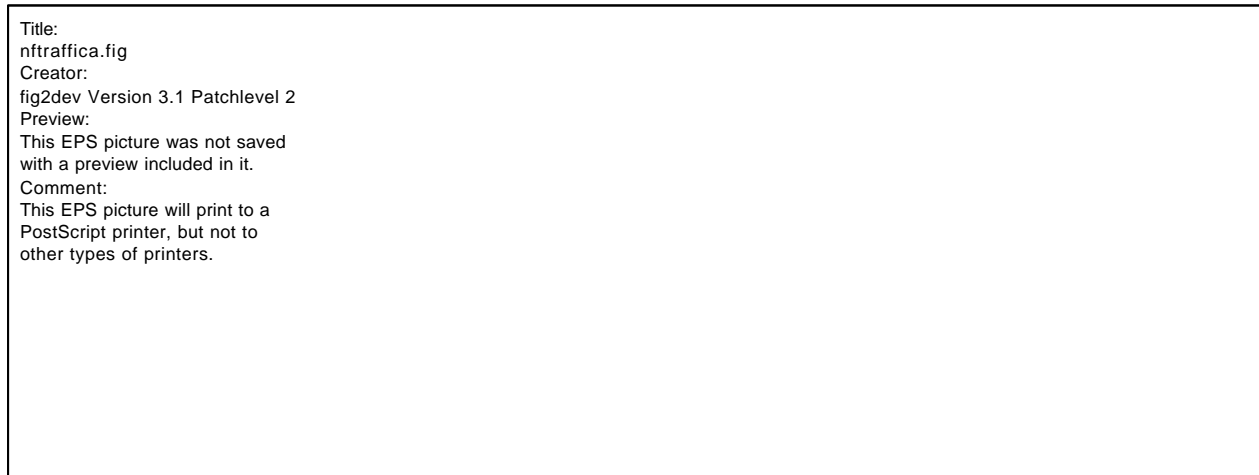


**Figure 2.** *The neurofuzzy traffic signal control system.*

An example of a fuzzy controller presented as a neural network is seen in Figure 3. The network in this figure corresponds to the first rule set in the rule base. The parameters of the network are the shape parameters  $p_1$ ,  $p_2$ ,  $p_3$  and  $p_4$  (see Figure 1) of the membership functions of the fuzzy controller. The activation functions in different layers of the network are different fuzzy set operations.

Why is reinforcement learning needed? In the most simple case, the parameters of the fuzzy controller could be updated using the backpropagation algorithm common in supervised learning

in neural networks. In the backpropagation algorithm, the output of the network at each input is compared with a desired output, which is known in advance. In fuzzy traffic signal control, the output of the signal controller is the extension of the green signal, but the "desired" extension is not known. The objective of the signal controller is to minimize the delay of vehicles and not to reach a "desired" length of extension. Thus the standard backpropagation algorithm cannot be used.



**Figure 3.** *Fuzzy traffic signal controller presented as a neural network. The first rule set of the rule base.*

In reinforcement learning, a neural network evaluates whether the previous control action was good or not. If the action had good consequences, the tendency to produce that action is strengthened, that is, reinforced. Barto et al. (1983) were among the first to discuss reinforcement learning in control problems. The algorithm used in this project follows mostly the GARIC algorithm by Berenji and Khedkar (1992).

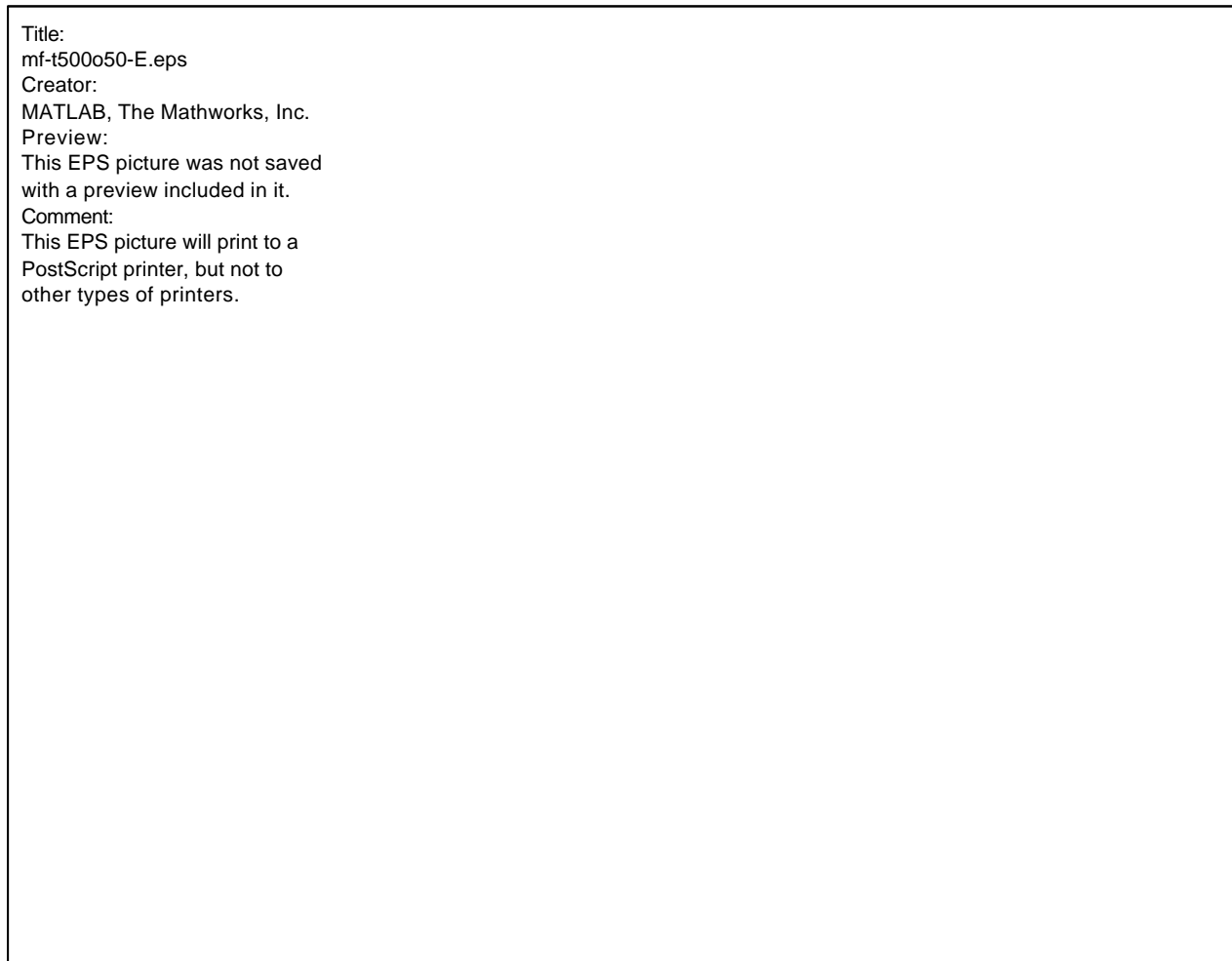
Due to lack of space, the learning algorithm is not described here in detail. Interested readers may consult Bingham (1998).

#### 4. Experimental results

The result of using the neural network and the reinforcement learning algorithm in the fine-tuning of the fuzzy membership functions was that the vehicular delay was decreased 3 to 6 per cent in simulation experiments, depending on the traffic volume and the location of the first traffic detector. These decreases in the delay were statistically significant, which was confirmed by T tests.

As an example on how the membership functions have changed, consider Figure 4. It shows how the membership functions "zero", "short", "medium" and "long" of EXT at a traffic volume of 500 vehicles per hour have changed during the learning, in the case where the first traffic detector was located 50 m from the stop line. The original membership functions are shown dotted and the membership functions after the adjustment are shown solid. In Figure 4, the gap between "short" and "medium" indicates that extensions of two seconds are seldom given. In addition, as the first traffic detector is located 50 meters before the stop line, the traffic signal controller cannot know if there are vehicles behind the 50 m point. With a speed of 40 km per hour a distance of 50 m takes 4.5 seconds, so it is wise to give an extension of at most 4 to 5 seconds so that the vehicles

between the detectors can pass the stop line. A longer extension is unnecessary. Both "short" and "medium" of EXT are now concentrated around 5 seconds, so the fuzzy controller obeys this principle. Exactly the same phenomenon is seen when the traffic volume is 1000 vehicles per hour.



**Figure 4.** Membership functions "zero", "short", "medium" and "long" of EXT before (dotted line) and after (solid line) the learning at a traffic volume of 500 vehicles per hour. The location of the first traffic detector is 50 m from the stop line. Horizontal axis: green signal extension in seconds. Vertical axis: value of membership function.

In Figure 4 it is also observed that the function "long" of EXT was not updated. This is quite natural because the traffic volume of 500 vehicles per hour is so low that "long" extensions are seldom needed, especially when the first traffic detector is located only 50 m from the stop line -- there are seldom very many vehicles between the detectors.

As another example of the modification of the membership functions, Figure 5 shows how the membership functions "zero", "a few", "medium" and "many" of APP at a traffic volume of 1000 vehicles per hour have changed during the learning. The first traffic detector was located 50 m from the stop line. The membership functions "zero", "a few" and "medium" all grew wider and moved rightward. This means that at large traffic volumes, typical values of "zero", "a few" and "medium" are larger, which is quite easy to comprehend. The growth of "zero" means that input measurements of 0, 1 or 2 approaching vehicles are all interpreted as a fuzzy "zero"-- this is intuitive, since at a traffic volume of 1000 vehicles per hour the queue behind the red signal is typically so long that one or two vehicles in the green direction cannot be paid attention to.

## 5. Discussion

We have shown how a neural network can be used in fine-tuning the membership functions of a fuzzy traffic signal controller. The neural learning algorithm used was reinforcement learning which gives credit for successful control actions and punishes for poor control actions.

Title:  
mf-t1000o50-A.eps  
Creator:  
MATLAB, The Mathworks, Inc.  
Preview:  
This EPS picture was not saved  
with a preview included in it.  
Comment:  
This EPS picture will print to a  
PostScript printer, but not to  
other types of printers.

**Figure 5.** Membership functions "zero", "a few", "medium" and "many" of APP before (dotted line) and after (solid line) the learning at a traffic volume of 1000 vehicles per hour. The location of the first traffic detector is 50 m from the stop line. Horizontal axis: number of approaching vehicles. Vertical axis: value of membership function.

Including a neural learning algorithm in fuzzy traffic signal control decreased the vehicular delay in simulation experiments. The simulations were run at several different traffic volumes and traffic detector locations. The new membership functions produced a 3 to 6 per cent decrease in the vehicular delay, and the decrease in the delay was statistically significant. Different membership functions were found optimal at different traffic situations. The fuzzy traffic signal controller must thus identify the traffic volume and choose the proper membership functions accordingly.

The changes in the membership functions are quite intuitive, and also often quite similar in traffic situations that share some common properties. These observations suggest that combining expert

knowledge and neural learning could yield even better results: the expert may not initially come across the best membership functions but the neural learning may bring out some helpful details on how the membership functions should be modified.

In addition to the membership functions, the rule base of the fuzzy controller is, of course, very important. Fine-tuning the membership functions may not always be enough to solve the problems of the rule base, but it can indicate where the rule base is not optimal. After some modifications in the rule base, neural learning may again be used to fine-tune the system.

## References

A.G. Barto, R.S. Sutton, C.W. Anderson, "Neuronlike Adaptive Elements That Can Solve Difficult Learning Control Problems", IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics 13(5) (1983) 834-846.

H.R. Berenji, P. Khedkar, "Learning and Tuning Fuzzy Logic Controllers Through Reinforcements", IEEE Transactions on Neural Networks 3(5) (1992) 724-740.

E. Bingham, "Neurofuzzy Traffic Signal Control", Master's Thesis, Department of Technical Physics and Mathematics, Helsinki University of Technology, Finland, 1998.  
[URL:http://www.hut.fi/~ella/dtyo.ps.zip/](http://www.hut.fi/~ella/dtyo.ps.zip) (a PostScript file in .zip format).

J. Niittymäki, "Isolated Traffic Signals -- Vehicle Dynamics and Fuzzy Control", Publication 94, Transportation Engineering, Helsinki University of Technology, Finland, 1998.

L.A. Zadeh, "Fuzzy sets", Information and Control 8(3) (1965) 338-353.

# OPTIMOINTI - MALLINTAMISTA, MATEMATIIKKA, GENEETTISIÄ ALGORITMEJA

*Harri Ehtamo*

Virkaanastujaisesitelmä 16.11.1999, TKK

## Historiaa

Princetonin yliopisto on tarunhohtainen paikka, ja erityisesti 40- ja 50-lukujen Princeton. J. Robert Oppenheimer toi mukanaan joukon nuoria fyysikoita Los Alamosista ja John von Neumann keräsi ympärilleen nuoria matemaatikkoja ja taloustieteilijöitä, jotka olivat sodan aikana palvelleet Yhdysvaltain ilmavoimissa ja laivastossa. Yhdessä he työskentelivät ajankohtaisten ongelmien kimpussa. Dick Feynman yleistä klassisen mekaniikan Hamiltonin periaatteen koskemaan myös kvanttimekaanisia prosesseja: Suurin vaikutus alkeishiukkasten välisessä vuorovaikutuksessa tulee klassisen minimin ympäröstä.

Vuosisadan loistavat voitot teoreettisessa fysiikassa olivat kuitenkin johtaneet mahdollisen tulevaisuuden ydinsodan dilemmaan. Kuin ratkaisuksi tähän pulmaan oltiin alettu kehittää myös



rationaalisten olentojen välisten vuorovaikutusten teoriaa. Von Neumann kuvasi tämän vuorovaikutuksen alkeistapauksia graafeilla samoin kuin Feynman kuvasi alkeishiukkasten välistä vuorovaikutusta. Syntyi peliteoria. Siinä, kun hiukkaset maksimoivat omaa, potentiaalienergian ja kineettisen energian välistä erotusta, rationaaliset pelaajat maksimoivat omaa, von Neumannin ja Morgensternin hyötyfunktioita, joka voidaan johtaa tekemällä muutamia uskottavia oletuksia pelaajien rationaalisesta käyttäytymisestä. Oscar Morgenstern oli John von Neumannin oppilas ja työtoveri. Yhdessä he kirjoittivat kirjan "Theory of Games and Economic Behavior", joka ilmestyi -44.

Samoihin aikoihin von Neumannin oppilas George B. Danzig loi lineaarisen optimointitehtävän, eli lineaarisen ohjelmoinnin tehtävän perusmallin. Tällaisia tehtäviä hän oli formuloinut jo Pentagonissa käsitellessään suuria tehtävien ajoitus-, resurssinjako- ja joukkojensiirto-ongelmia. Hän kirjoittaa: "Teimme pääasiallisen kehitystyön vuoden -46 lopussa ennen kuin tiesimme, että tietokone tulee toimimaan. Kun tietokone sitten toimi, siitä tuli jatkosuunnittelun, kehitystyön ja varsinaisen implementoinnin keskeinen suorittaja". Danzig oli kehittänyt tehtävän ratkaisemiseksi tietokonelaskentaan erityisen hyvin sopivan simplex-menetelmän, joka perustuu lineaarisen yhtälöryhmän eliminointimenettelyyn. Danzigin ryhmä menestyi niin hyvin, että se alkoi rahallisesti tukea tietokoneen kehitystä. 50-luvun alussa H.W. Kuhn ja A.W. Tucker kehittivät epälineaarisen optimoinnin peruskäsitteet tutkiessaan mikrotaloustieteen tasapainoteoriaa. Syntyi tieteen haara, jota kutsutaan operaatiotutkimukseksi, Operations Research.

Kuin ihmeen kaupalla tuohon tieteen pyhäkköön, Princetonin yliopistoon, saapasteli eräänä päivänä muuan mies "kaukaa maasta havumetsien". Suomen Pankin taloustieteellisessä tutkimuslaitoksessa pitkään toiminut talousmatematiikko Henri Vartiainen opiskeli lukuvuoden 58-59 Asla-stipendiaattina Princetonissa kuunnellen Oscar Morgensternin ja George B. Danzigin luentoja. Kotiin tultuaan hän kirjoitti kolleegoilleen kaksi artikkelia: "Kruunaa ja klaavaa tieteellisesti eli katsaus peliteoriaan" ja "Lineaarista ohjelmoinnista ja simplex-menetelmästä".

1960-luvun alussa sovelletun matematiikan professori Olli Lokki aloitti operaatiotutkimuksen, erityisesti tilastotieteen, lineaarisen ohjelmoinnin ja peliteorian opetuksen Teknillisessä korkeakoulussa. Suomessa ensimmäisen väitöskirjan peliteoriasta teki Lokin ohjauksella hänen seuraajansa Raimo P. Hämäläinen 1976 aiheesta "Optimal Controller Design by Nonlinear and Game Theoretic Methods", joka oikeastaan edusti jo laskennallista optimointia ja peliteoriaa. Lineaarinen ohjelmointi puolestaan tunnetaan suomalaisessa teollisuudessa sangen hyvin professori Sampo Ruuthin pitkäaikaisen työn ansiosta.

## **Optimointimallin laatiminen**

Minkälaisia ovat optimointimallit, kun puhutaan operaatiotutkimuksesta? Samalla valotan vähän operaatiotutkijan työnkuvaa. Tyypillinen esimerkki on tehtävä, jossa joukko resursseja on jaettava usealle eri aktiviteetille tai toimijalle. Resurssien käytöstä aiheutuva toiminta tuottaa tuloksen, jota halutaan maksimoida. Tämä on klassinen Danzigin ja kumppaneiden tutkima tehtävä, joka usein johtaa lineaariseen optimointimalliin.

Oletetaan, että kunkin aktiviteetin tuotto per sijoitettu resurssiyksikkö on satunnaismuuttuja. Tällöin maksimoimme tuloksen odotusarvoa. Voimme myös yrittää suojautua taloudelliselta riskiltä ja sijoittaa resurssit minimoimalla aktiviteettien tuoton heilahteluja. Tällöin saamme kvadraattisen mallin, jossa minimoitavana kohdefunktiona on tuoton varianssi. Usein kuitenkin vastaavassa tilanteessa emme halua pelkästään maksimoida voittoa tai minimoida riskiä vaan haluaisimme tehdä molempia. Miten tämä tehdään? Se tehdään maksimoimalla tuoton

odotusarvon ja tuoton negatiivisen varianssin painotettua summaa. Erilaiset painokertoimet tuottavat erilaisia tehokkaita eli ns. Pareto optimaalisia ratkaisuja.

Olen kuvannut Markowitzin klassisen portfolion optimointitehtävän. Tämän tehtävän ratkaisu tietyllä painokertoimella antaa meille minimivarianssikorin. Olettakaamme, että itse hallitsemme resurssia, vaikkapa omaa kukkaroa, ja haluamme sijoittaa tietyn rahamäärän tiettyihin aktiviteetteihin, jotka muodostuvat esimerkiksi kasasta erilaisia arvopapereita.

Minimivarianssikorista tulee mieleen marjakori, jonka ostamme torilta. Siinä olevat marjat ovat makeita tai happamia. Sen saamme maistamalla selville. Sen sijaan marjojen haitta-ainemäärästä emme paljon tiedä; marjat ovat siis apulanta- tai luomuviljeltyjä tai siltä väliltä. Sijoittaessamme marjoihin tietyn määrän rahaa saamme tietyn elämänilon, mutta otamme myös tietyn riskin haitta-aineiden muodossa.

Arvopapereiden tapauksessa operaatiotutkija on etukäteen laskenut meille eri painokertoimisten korien odotetun tuoton ja riskin. Minkä korin siis valitsemme? Operaatiotutkijamme auttaa meitä myös tässä tehtävässä. Hän auttaa meitä tunnistamaan meidän ikioman von Neumannin ja Morgensternin hyötyfunktioimme. Esittämillään yksinkertaisilla kysymyksillä hän saa siitä sen oleellisen tiedon, jolla hän pystyy neuvomaan, mikä tehokas kori miellyttäisi nimenomaan meitä. Hän saattaisi kysyä esimerkiksi seuraavan tyyppisiä kysymyksiä. Oletetaan, että sinulla on kaksi vaihtoehtoa. Vaihtoehto A, saat osallistua ilmaiseksi arvontaan, jossa voitat fifty-fifty todennäköisyydellä 100 mk, tai vaihtoehto B, saat ilmaiseksi 50 mk. Kumman vaihtoehdon valitset? Useimmat meistä valitsisivat vaihtoehdon B, joka kertoisi tutkijallemme, että olemme riskin karttaji, ja että hyötyfunktioimme tällä kohtaa on kupera. Kysymällä lisää tämänkaltaisia kysymyksiä tutkijamme saa selville hyötyfunktioimme kuperuuden riskin suhteen. Tekemällä muutamia järkeviä oletuksia, esimerkiksi satunnaismuuttujien luonteesta, voidaan osoittaa, että hyötyfunktion kuperuusparametrilla ja portfoliotehtävän painokertoimella on yksi-yhteen vastaavuus. Näin ollen operaatiotutkijamme suosittelee meille sellaista koria, jota vastaava painokerroin vastaa meidän riskiasennettamme, ja jota vastaava sisältö maksimoi meidän hyötymme.

Kuten tiedämme sellaisiakin henkilöitä on, jotka ovat käytännössä hyvin sisäistäneet tähän tehtävään sopivan hyötyfunktionsa. Kun tällainen henkilö näkee yksinkertaisen kuvaajan tehokkaista portfolioista, eli siis tehokkaista tuoton odotusarvo-varienssi -pareista, hän pystyy välittömästi sanomaan, minkä korin hän valitsee. Meille muille operaatiotutkijan täytyy laatia riittävän selkeä esitys hyötyfunktioista ja muista asiaan liittyvistä seikoista. Eikä tässä vielä kaikki. Tietenkin hän konsulttina on ensin miettinyt, mitä arvopapereita hän koriin pistää ja kuinka paljon. Kymmenen vai kymmenentuhatta. Tietenkin hän on valinnut sellaisia arvopapereita, joiden käyttäytymisestä hänellä on riittävästi historiatietoa ja joihin hän voi soveltaa Black-Scholes kaavaansa tai jotain sopivaa aikasarjaa laskeakseen niiden odotusarvot ja varianssit.

### **Tietoverkossa optimoiva konsultti**

Entä mikä muu kuin raha voisi olla meidän resurssimme? Jos toimimme esimerkiksi sähkömarkkinoilla resurssimme on sähköä, joka tuotetaan vesivoimalla jossain Euroopan kolkassa ja jostain Euroopan kolkasta tulevalle maakaasulla ja hiilellä. Osa tuotannosta voi olla tuulivoimasta peräisin. Ja koska korissa on pitkän aikavälin sähköoptioita, operaatiotutkijan on laadittava meille resurssimalli, josta käy selville käytettävissämme olevan resurssin määrä ko. suunnittelujaksolla. Lisäksi mallin parametreja tulee päivittää, että se olisi sopivasti ajan tasalla.

Jokainen optimointitehtävä voidaan tulkita resurssinjakotehtävänä. Kääntäen, jokaista oikeaa resurssinjakotehtävää voidaan yleensä luontevasti analysoida optimointimallilla, vaikkei sellaisen rakentaminen sinänsä helppoa ole puhumattakaan sen ratkaisemisesta. Malleissa saattaa olla useita tuhansia muuttujia ja saman verran yhtälö- ja epäyhtälörajoituksia, jotka määrittelevät ns. käyvät allokaatiot tai vaihtoehdot. Tällaisia, jo klassisia resurssinjakotehtäviä ovat erityyppiset verkko- ja logistiikkatehtävät. Näissä resurssina voi olla ylläpidettävä verkko tai reitistö, verkkoa käyttävät asiakkaat, jne.

Erityisen mielenkiinnon kohteena tällä hetkellä ovat optimointimallit, jotka kuvaavat tietoliikenneverkkojen optimaalista käyttöä. Mannertenvälisen ATM-moniliikenneverkon tekninen toteutus johtaa jo sinänsä hierarkkiseen eli monitasoiseen optimointitehtävään, jonka eräs keskeinen ratkaisukäsite on peliteoreettinen Stackelbergin tasapaino. Moniliikenneverkon optimointimallit ovat siten laskennallista peliteoriaa. Lähitulevaisuudessa optimointiteoreetikon täytyy myös pystyä kopioimaan itsensä virtuaalitodellisuuteen, tietoverkossa toimivaksi optimointikonsultiksi. Optimoivia agenteja ja kaupankäynnin mediaattoreita käytetään kohta sähköisessä kaupankäynnissä webissä. Tällaisia asioita tutkitaan tällä hetkellä muun muassa TKK:n Systeemianalyysin laboratoriossa.

Edellä kuvaamiani tehtäviä voidaan mallintaa optimoinnilla, olettaen että tehtävät osataan ratkaista. Jos tehtävä on lineaarinen optimointitehtävä, jossa on noin muutama sata, ehkä muutama tuhat muuttujaa, voimme melko turvallisesti mielin kääntyä simplex-menetelmän puoleen. Ratkaisu tulee luotettavasti ja nopeasti. Mutta entäs jos tehtävässä onkin epälineaarisia osia ja muuttujia onkin kymmeniä tuhansia? Ennen kuin ryntäämme sokeasti geneettisten optimointimenetelmien kimppuun kerron pienen tarinan, joka osoittaa, että matemaattisia malleja sovellettaessa on aina hyvä muistaa myös inhimillisen tekijän mukanaolo.

Suuressa toimistotalossa asiakkaat valittivat liian hitaita hissipalveluita. Rinnakkain toimivia hissejä oli useita, mutta odotushuoneet olivat aina täynnä. Niinpä operaatiotutkija suunnitteli uuden, optimointiin perustuvan hissien ajoitusjärjestelmän. Asiakkaitten valitukset vain pahenivat. Heitä hermostutti ja sekaannusta aiheutti sinne tänne liian nopeasti sinkoilevat hissit. Tämän jälkeen palattiin hitaaseen liikennöintiin, mutta talon vahtimestarin aloitteesta odotushuoneisiin asennettiin kokovartalopeilit. Ongelma poistui. Asiakkaat olivat tyytyväisiä ihaillessaan itseään peleistä ja vertaillen itseään toisiin asiakkaisiin.

## **Laskennan kompleksisuus**

Mitä voimme sanoa optimointimallin ratkaisemisesta? Mitä voimme sanoa laskennan kompleksisuudesta? Laskentahan on, aina kompleksista. Näin hiljattain artikkelin, jossa hissien optimaalinen ajoitus tapahtui huippunopeasti reaaliajassa geneettisillä algoritmeilla. Tehtävässä oli kymmeniätuhansia muuttujia. Ennen kuin otamme kantaa näihin kysymyksiin luokaamme jälleen katsaus historiaan.

Hollantilainen optimointiteoreetikko G. Zoutendijk ihmettelee väitöskirjassaan 1960 suurten ja nopeiden tietokoneiden laskentatehoa: "Ne näyttävät selviytyvän helposti epälineaarista optimointitehtävästä, jossa on parikymmentäkin muuttujaa". Samaan aikaan eräs toinen matemaatikko, M. Powell, kuvailee optimointikokousta ja ihailee uusia laskenta-algoritmeja: "W. Davidonin keksintö muuttuvan metriikan menetelmä on täysin mullistanut optimoinnin. Ennen sitä kymmenen muuttujan funktion optimointi oli työlästä. Nykyään 100:n muuttujan funktio voidaan minimoida muutamassa sekunnissa". Tästä Davidonin keksinnöstä käytetään nykyään

nimitystä sekanttimenetelmä tai kvasi-Newtonin menetelmä. Se on miltei kaikkien analyttisten algoritmien perusosa.

Vuonna -84 professori Luenberger Stanfordinista jakoi optimointitehtävät silloisen laskentakyvyn mukaan. Pienessä tehtävässä muuttujia ja rajoituksia on 1-5, keskisuudessa niitä on noin 5-100, ja suuressa 100-1000, jopa muutamia tuhansia. Tänä päivänä nuo luvut voidaan kertoa sadalla. Tietokoneiden teho on sellaista luokkaa, että 1960-luvulla kehitetyt loistavat analyttiset menetelmät pääsevät täysin oikeuksiinsa.

Näitä epälineaariseen optimointiin tarkoitettuja menetelmiä ovat erilaiset sakko- ja estefunktiomenetelmät, eli ns. ulko- ja sisäpistemenetelmät sekä erilaiset käypien suuntien menetelmät. Kaikissa näissä menetelmissä varsinainen iterointi tapahtuu jollain sekanttimenetelmällä. Nykyään jopa lineaarinen tehtävä muutetaan ensin epälineaariseksi, jolloin rajoitukset otetaan huomioon sopivalla estefunktiolla, ja tehtävä ratkotaan sitten sekanttimenetelmällä. Laskennan kompleksisuusanalyysi kertoo nyt, että hyvin suurilla tehtävillä sisäpistemenetelmä toimii nopeammin kuin simplex-menetelmä. Käytäntö on vahvistanut tämän havainnon.

Entä, kun laskentateho vielä kasvaa? Löytyykö menetelmiä, löytyykö tehtäviä? Suuren lentoyhtiön lentokoneiden reititysongelmassa voi olla miljoonia muuttujia. Tilastollisesti tämän tyyppisillä, monesti epälineaarilla jättitehtävillä on paljon "kyllin hyviä" paikallisia optimeja. Ratkaisuksi riittää, että löydämme niistä yhden. Samaan tehtäväluokkaan kuuluvat myös erityyppiset suuret, epälineaariset pienimmän neliösumman tehtävät, kuten neuroverkkojen opettamiseen liittyvät tehtävät. Näitä on suhteellisen helppo ratkoa ns. heuristisilla optimointimenetelmillä. Esimerkiksi luonnon evoluutiota matkiva geneettinen algoritmi tai tilastollisen fysiikan menetelmiä matkiva simuloitu jäähdytys sopivat erityisen hyvin. Jos aikaa on, esimerkiksi geneettinen algoritmi tuottaa siihen rakennetun mutaation ansiosta pikku hiljaa aina vähän parempia optimeja.

Tehtävien koon ja laskentamenetelmien suhteen loppua ei siis näy niin kauan kuin tietokoneet kehittyvät. Optimointimenetelmiä on helppo muokata rinnakkaislaskentaan sopiviksi, mutta pullonkaulaksi voi muodostua viestinvälitys eri laskentatehtävien välillä. Rajoja tulee vastaan myös hyvin yllättäviltä suunnilta. Uusin tutkimus on kiinnittänyt erityisesti huomiota ns. keskisuuriin tehtäviin. Näitä on kaikissa tehtäväluokissa ja niitä on erityisen vaikea ratkoa millään tietyllä menetelmällä. Usein näillä tehtävillä on paljon likimäärin yhtä hyviä paikallisia optimeja, mutta vain yksi selvästi toisia parempi globaali optimi. Sen löytäminen on hyvin työlästä; tarvitaan uutta analyttistä ajattelua. Tilanne on samantapainen kuin laskennallisessa fysiikassa. Muutaman kappaleen kvanttimekaniikka samoin kuin suurten systeemien tilastollinen fysiikka on laskennallisesti helppoa. Sen sijaan keskisuuret systeemit ovat haastavimpia - mutta myös sovellutusten kannalta hedelmällisimpiä.

## Optimoinnin opettaminen

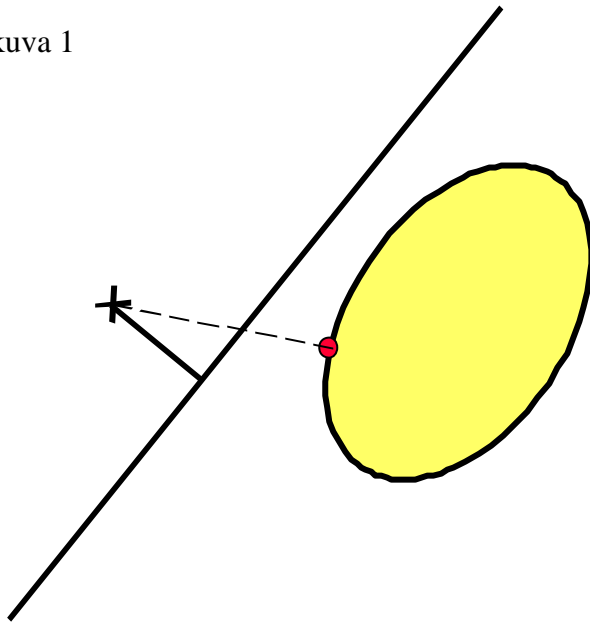
On yllättävää, että opiskelijat voi vihkiä optimoinnin saloihin parin kuvan avulla. Optimointiopin perustehtävä on määrätä pisteen etäisyys annetusta joukosta, ja karakterisoida tämä etäisyys näiden välistä kulkevan suoran avulla; kuva 1. Ratkaisussa siirretään suora joukon tangentiksi sellaiseen kohtaan, jossa pisteestä piirretty jana on kohtisuorassa tangenttia vastaan. Optimoinnissa tästä havainnosta seuraa mm. koko Lagrangen kertoimien teoria.

Duaalisuus optimoinnissa tarkoittaa seuraavaa; jälleen kuva 1: Tehtävä voidaan ratkaista myös

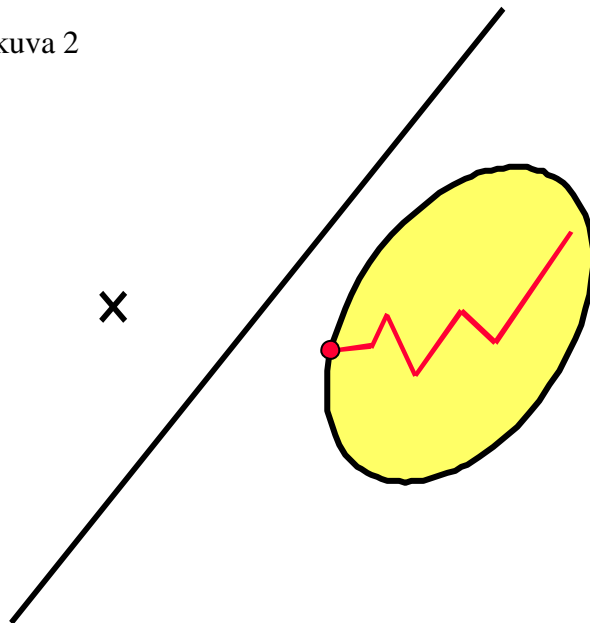
laskemalla kohtisuora etäisyys kaikkiin välistä kulkeviin suoriin ja ottamalla näistä maksimi. Laskennan kannalta kyseessä on ulkopistemenetelmä.

Sisäpistemenetelmässä ratkaisu haetaan joukon sisältä käsin esimerkiksi sekanttimenetelmää käyttäen; ks. kuva 2.

kuva 1



kuva 2



# OPINNÄYTETYÖT

## **Pienkuluttajien saama hyöty sähkömarkkinoiden vapautumisesta pieni**

Tekn. yo.      Mika Jääskeläinen  
Diplomityö:   Pienkuluttajat vapautuneilla sähkömarkkinoilla  
Työn ohjaaja: TkT Björn Wahlström

Teknillisen Korkeakoulun Systeemianalyysin laboratorioon tehdyn opinnäytetyön mukaan pienkuluttajien saama hyöty sähkömarkkinoiden vapautumisesta on jäänyt odotettua pienemmäksi.

Sähkömarkkinoiden vapautumisen alkuaikoina vallinnut intensiivinen kilpailu sähkönsuurkuluttajista ei ole levinnyt pienkuluttajien keskuuteen. Sähköntoimittajat eivät ole olleet kiinnostuneita kilpailemaan yksittäisten pienkuluttajien verrattain pienistä sähköntoimituksista. Opinnäytetyön mukaan yksittäisen pienkuluttajan saama säästö sähköyhtiöiden kilpailuttamisesta jää viiden prosentin tasolle kulutuksesta. Normaalille omakotitaloasukkaalle tämä tarkoittaisi maksimissaankin parin sadan markan säästöä vuosittain. Tämä ei ole vielä kannustanut suurinta osaa pienkuluttajista kilpailuttamaan sähköntoimitustaan. Osittain myös pienkuluttajien passiivisuus sähköntoimittajien kilpailuttamisessa on heikentänyt heidän markkinavaltaansa.

Pienkuluttajien olisi kuitenkin mahdollista kasvattaa markkinavaltaansa, ja saada siten suurempia säästöjä, muodostamalla yhteisiä sähkönhankintaryhmiä. Tällaisen sähkönhankintapoolin voisivat muodostaa esimerkiksi kerrostalo-yhtiön osakkaat. Vielä toistaiseksi vaaditaan kuitenkin tällaisen poolin sähkön kulkevan yhteisen etumittarin kautta, mikä vaikeuttaa esimerkiksi omakotitalojen yhteistä sähkönhankintaa.

Opinnäytetyössä tutkittiin lisäksi pienkuluttajien mahdollisuuksia hyötyä tuntikohtaisesti hinnoitellusta sähköstä. Työssä arvioitiin nelihenken perheen säästävän maksimissaankin alle viisi prosenttia kulutuksestaan käyttämällä tehokkaasti hyväkseen tuntikohtaisia hinnanvaihteluja. Lisäksi tuntikohtaisten hinnanvaihteluiden tehokkaan hyväksikäytön todettiin vaativan suhteellisen kalliin kotiautomaatiojärjestelmän käyttöä.

Kansantaloudellisesti tarkasteltuna viidenkin prosentin säästöistä sähkönkulutuksessa muodostuisi huomattava säästö koko yhteiskunnalle - valitettavasti vain säästö yksittäiselle pienkuluttajalle on usein liian pieni motivoitakseen toimintaan.

## Matkapuhelinverkkojen palvelun laadun hallinta yhä kompleksisempaa

Tekn. yo. Aku Pöysti

Diplomityö: Blocking Probabilities in 3<sup>rd</sup> Generation Radio Access Networks ATM Layer

Työn ohjaaja: DI Maunu Holma

Teknillisen Korkeakoulun Systeemianalyysilaboratorion alaisuudessa tehdyssä diplomityössä on sovellettu monipalvelu-menetysmallia erään kolmannen sukupolven matkapuhelinverkon palvelun laatukonseptin analysoimiseen. Monipalvelu-menetysmallissa eri matkapuhelinkäyttäjien eri intensiteeteillä tarjoamat erilaiset yhteyspyynnöt saavat yhteisestä siirtokaistasta osansa niin kauan kuin sitä riittää. Tämän jälkeen estyvien pyyntöjen osuudet ovat suhteessa intensiteetteihin ja eri yhteyksien vaatimiin kaistanleveyksiin.

Yhdeksänkymmentäluvun alkupuolella kun toisen sukupolven päätuotteen GSM:n konseptit alkoivat valmistua alettiin jo miettiä, mitä seuraavaksi. Huomattiin, että periaatteessa tulevaisuuden matkapuhelimen käyttäjät haluaisivat puhe- ja lyhytsanomapalveluiden lisäksi myös videoyhteys- ja internetpalveluita, mikäli sellaisia vain olisi tarjolla. Alettiin kehittää periaatteellisella tasolla konsepteja, joilla mahdollistettaisiin yhä suurempien matkapuhelinkäyttäjämäärien ja monipuolisempien palveluiden toteuttaminen kustannustehokkaasti.

Kolmannen sukupolven matkapuhelinverkkojen kehitystyö on verkkotoimittajilla jo loppusuoralla, mutta ratkaistavia yksityiskohtia riittää yhä. Erityisesti palvelun laatukysymykset ovat nousseet esille. Erilaisten matkapuhelinpalvelujen vaatimat resurssit matkapuhelinverkolta vaihtelevat suuresti, jolloin laadun takaaminen eri tilanteissa on vaikeampaa kuin vain puheyhteyksiä tarjoavassa verkossa. Videokonferenssi yhdistää osanottajat reaaliaikaisesti, mikä vaatii laajaa datakaistaa. Internet-surffaaja luo purskeista liikennettä, jolle ennakoiva resurssinvaraus on hyvin vaikeaa. Puheyhteyksien kaistaresurssin tarve on helpompaa arvioida, sillä se perustuu paljolti GSM:stä saatuun kokemukseen ja tiettyihin puheen koodausmenetelmiin.

Jo vuosisadan alusta on puhelinverkon palvelun laadun mittarina käytetty estotodennäköisyyttä. Vain yhdenlaisia yhteyksiä tarjoavan verkon todennäköisyyslaskenta perustuu tanskalaismatemaatikko Erlangin ns. B-kaavaan, joka päti vielä hyvin toisen sukupolven matkapuhelinverkoissa. Kolmannen sukupolven tarjoamien erilaisten yhteyksien estotodennäköisyyden laskeminen vaatii mallin yleistystä. Uutta mallia kutsutaan monipalvelu-menetysmalliksi.

# TAPAHTUMAKALENTERI

## *Konferenssit Kongressit Seminaarit Workshopit*

Ks. myös tapahtumakalenterit:  
<http://www.informs.org/Conf/Conf.html>  
<http://www.ifors.org>  
[http://www.ulb.ac.be/euro/euro\\_welcome.html](http://www.ulb.ac.be/euro/euro_welcome.html)

### *TOUKOKUU*

**23.-26.5 First International Workshop on Freight Transportation and Logistics (Odysseus 2000)**, Chania, Crete  
<http://www.or.rwth-aachen.de/odysseus/odysseus.html>

**24.-26.5. Seventh Viennese Workshop on Optimal Control, Dynamic Games and Nonlinear Dynamics: Theory and Applications in Economics and OR/MS**, Vienna, Austria  
<http://venus.bwl.univie.ac.at/bwl/prod/EVENTS/ws2000/>  
 e-mail: ws2000@pom.bwl.univie.ac.at

**28.5.-1.6. Second International Workshop on Scientific Computing and Applications**, Alberta, Canada  
<http://vega.math.ualberta.ca/~pminev/SciComp2000/>

### *KESÄKUU*

**18.-21.6. INFORMS/KORS**, Seoul, Korea  
 Information and Knowledge Management in the 21st century  
<http://informs.scu.edu/seoul/>

**7.-9.6. Fifth International Conference on High Performance Optimization Techniques**, Rotterdam, The Netherlands  
<http://www.win.tue.nl/~hpop>

### *HEINÄKUU*

**11.-14..7. 7<sup>th</sup> Conference of the International Federation of Classification Societies (IFCS-2000)**, Namur, Belgium  
<http://www.fundp.ac.be/~ifcs2000>

**12.-14..7. International Symposium on Combinatorial Optimisation**, London, UK  
 Combinatorial Optimisation: Entering a new Century  
[http://cms1.gre.ac.uk/co\\_2000/](http://cms1.gre.ac.uk/co_2000/)

**16.-19.7. EURO XVII, 17th European Conference on Operational Research**, Budapest, Hungary  
[http://www.ulb.ac.be/euro/euro\\_welcome.html](http://www.ulb.ac.be/euro/euro_welcome.html)

### *ELOKUU*

**3.-8.8. Conference and Workshop on Random Utility Theory and Probabilistic Measurement Theory**, Duke University, USA  
<http://www.fuqua.duke.edu/ru2000/>

**7.-11.8. 17th International Symposium of Mathematical Programming**, Atlanta, USA  
<http://www.isye.gatech.edu/ismp2000/>

### *SYYSKUU*

**12.-14.9. Annual conference, OR 42, of UK Operational Research Society (ORS)**, Swansea, UK  
 Tel. 0121 233 9300, Fax 0121 233 0321.  
[http://www.orsoc.org.uk/conf/index\\_f.html](http://www.orsoc.org.uk/conf/index_f.html)  
 e-mail: barrett@orsoc.org.uk

### *MARRASKUU*

**5.-8.11. INFORMS**  
 San Antonio, Texas, USA  
 Integrating Theory and Application  
<http://ie.tamu.edu/informs2000/>