



Aalto-yliopisto
Perustieteiden
korkeakoulu

Ambulanssien optimaalinen lähettäminen hälytystehtäville Markov-päätösprosessin avulla (valmiin työn esittely)

Veikka Niemi

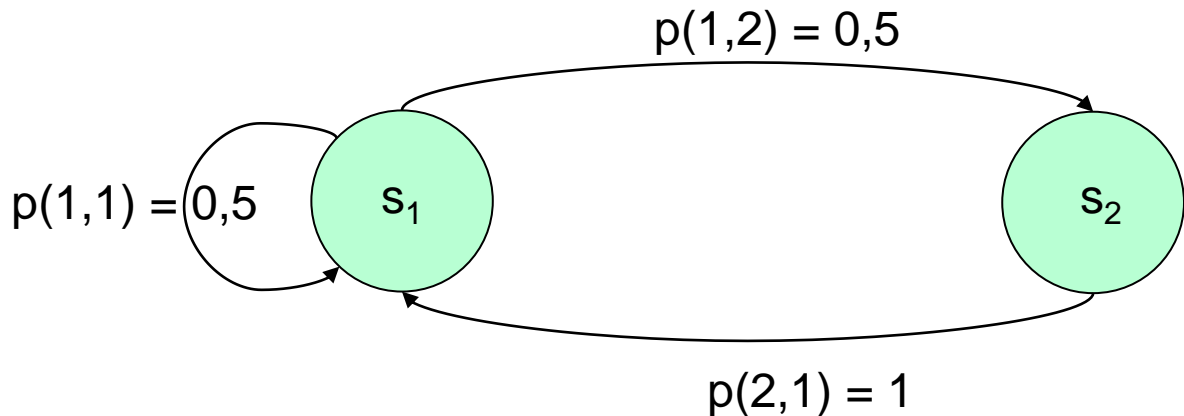
25.08.2023

Ohjaaja, valvoja: Prof. Kai Virtanen

Työn saa tallentaa ja julkistaa Aalto-yliopiston avoimilla verkkosivuilla. Muilta osin kaikki oikeudet pidätetään.

Taustaa - Markov-prosessi

- Mahdollisten tapahtumien ketju - nykyinen tila riippuu vain edellisestä tilasta (nk. Markov-ominaisuus)
- Mallissa
 - Tiloista s_i koostuva tilajoukko S
 - Tilasiirtymämatriisi $P = \{p(i,j) : i,j \in S\}$, sisältää tilojen välisten siirtymien todennäköisyydet $0 \leq p(i,j) \leq 1, i,j \in S$
- Ajanhetkellä t prosessi on aina jossakin tilassa s_i

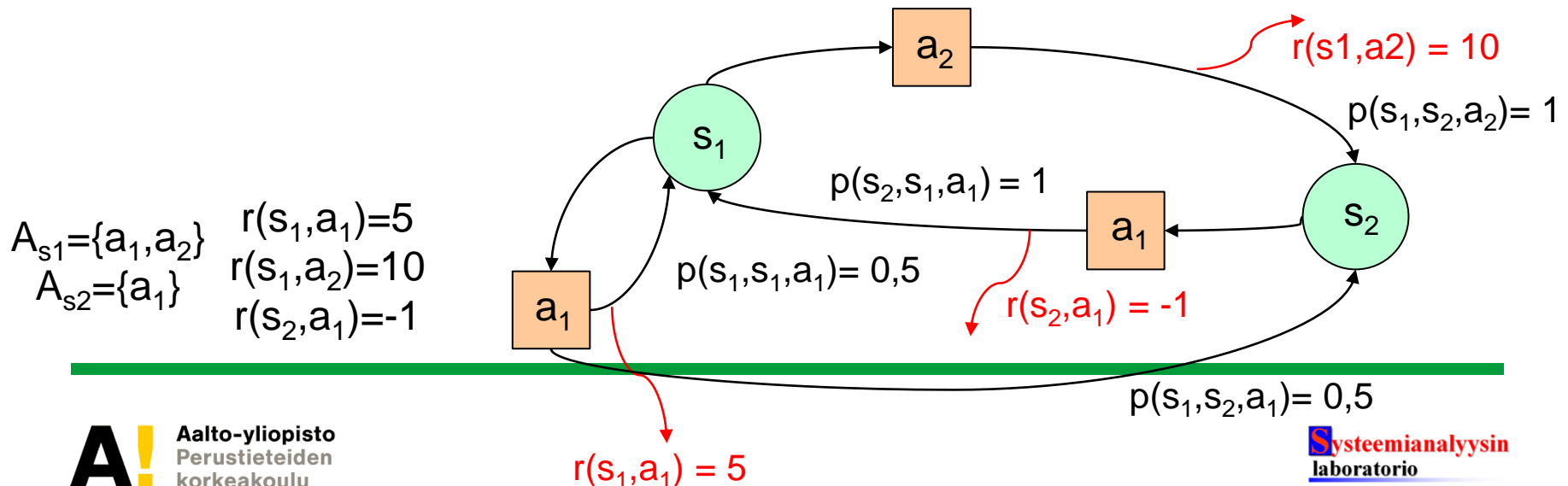


$$S = \{s_1, s_2\}$$

$$P = \begin{bmatrix} 0,5 & 0,5 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$$

Taustaa - Markov-päätösprosessi

- Huomioidaan päätöksentekijän vaikuttamiskyky
- Toimenpiteet $A = \bigcup_{s \in S} A_s$
 - tilassa s päätöksentekijä valitsee toimenpiteen a käytettävissä olevista toimenpiteistä A_s ($= a \in A_s$)
- Palkkiofunktio $r(s,a)$
 - Päätöksentekijä saa tilasta ja toimenpiteestä riippuvan palkkion $r(s,a)$
 - Voi olla positiivinen (tulo) tai negatiivinen (kulu)
- Tilasiirtymä tapahtuu tn:llä $p(s,s',a)$ toimenpiteen valinnan jälkeen



Markov-päätösprosessin ratkaiseminen

- Dynaaminen ohjelmointi: osaongelmiin jako, rekursio, arvofunktion käyttö
 - Arvofunktio kertoo nykyisen tilan ja kaikkien mahdollisten seuraavien tilojen yhteenlasketun palkkion
- Arvoiterointi
 - Yksi yleisimmistä ratkaisualgoritmeista
 - Lasketaan iteroiden ketjun jokaisen tilan arvofunktiota kunnes päästään riittävän lähelle optimia
- Ratkaisuksi saadaan funktio π^* , kertoo optimaalisen toimenpiteen $\pi(s)$ tilassa s
 - Optimaalinen: koko prosessin palkkioiden maksimointi
- Simulointi, kun siirtymätodennäköisyydet ei suljetussa muodossa

Ambulanssien allokointiongelma 1/2

- Mikä ambulanssi lähetetään tehtävälle?
- Carter et al. (1972): tehtäväpaikkaa lähin ambulanssi ei aina paras vaihtoehto
- Valintaan voi vaikuttaa
 - Muiden ambulanssien sijainti
 - Muiden ambulanssien uudelleensijoittelu
- Ongelma voidaan kuvata Markov-päätösprosessina
 - Toimenpiteinä tiettyjen ambulanssien lähettämiset
 - Palkkiofunktiona esim. potilaan selviytymistodennäköisyys
 - Päätösprosessin avulla voidaan luoda suositus tehtävään lähetettävistä ambulansseista

Ambulanssien allokointiongelma 2/2

Int. J. Operational Research, Vol. 15, No. 2, 2012

195

Optimal dispatching strategies for emergency vehicles to increase patient survivability

D. Bandara, M. E. Mayorga & L. A. McLay

- 2 toiminta-alueita, 2 ambulanssia, 2 toimintaprioriteettia
 - Prioriteetti 1 = hengenvaarallinen
 - Prioriteetti 2 = ei-hengenvaarallinen
- Mallin tuloksia verrataan yksinkertaiseen mutta yleisesti käytettyyn lähimmän ambulanssin lähettämisen toimintatapaan

Tavoitteet

- Tutustuttiin Markov-päätösprosessien sovelluskohteisiin
- Toteutettiin Bandara et al. (2012) artikkelissa esitetty ambulanssien allokointiongelman Markov-päätösprosessimalli Matlab-ohjelmalla
- Tarkasteltiin Markov-päätösprosessin käytön ja tulosten vahvuuksia ja heikkouksia ambulanssien allokoinnissa
 - Mallin käyttämisen vaikutus potilaiden selviytymistodennäköisyyksiin
 - Mallin vaatimat yleistyksset

Malli

- Tavoitteena maksimoida potilaiden selviytymistodennäköisyyksiä
 - Lisäksi päätöksentekoa helpottava lista, joka kertoo suositellun ambulanssien lähettämisyjärjestyksen
- Hälytystehtävien alueellista jakautumista toiminta-alueiden i välillä mallinnetaan parametrilla z_i , $\sum_{i=1}^2 z_i = 1$
- Eri prioriteettien k jakautumista toiminta-alueilla i mallinnetaan parametrilla p_i^k , $\sum_{k=1}^2 p_i^k = 1, \forall i$
 - Bandara et al. määrittää $p_i^k = 0.5$

Aineisto

Alue	Ambulanssi 1	Ambulanssi 2
1	Logn(9.07, 4.19)	Logn(14.03, 6.48)
2	Logn(14.03, 6.48)	Logn(10.92, 5.05)

Taulukko 1: Vasteaikajakaumat

Alue	Ambulanssi 1	Ambulanssi 2
1	Exp(60)	Exp(65)
2	Exp(75)	Exp(65)

Taulukko 2: Palveluaikajakaumat

Alue	Ambulanssi 1	Ambulanssi 2
1	0.15	0.05
2	0.05	0.10

Taulukko 3: Prioriteetin 1 palkkiot

Tulokset

- Lähin ambulanssi aina prioriteetin 1 tehtäville
- Prioriteetin 2 tehtävillä tulee noudattaa mallin luomaa suosituslistaa

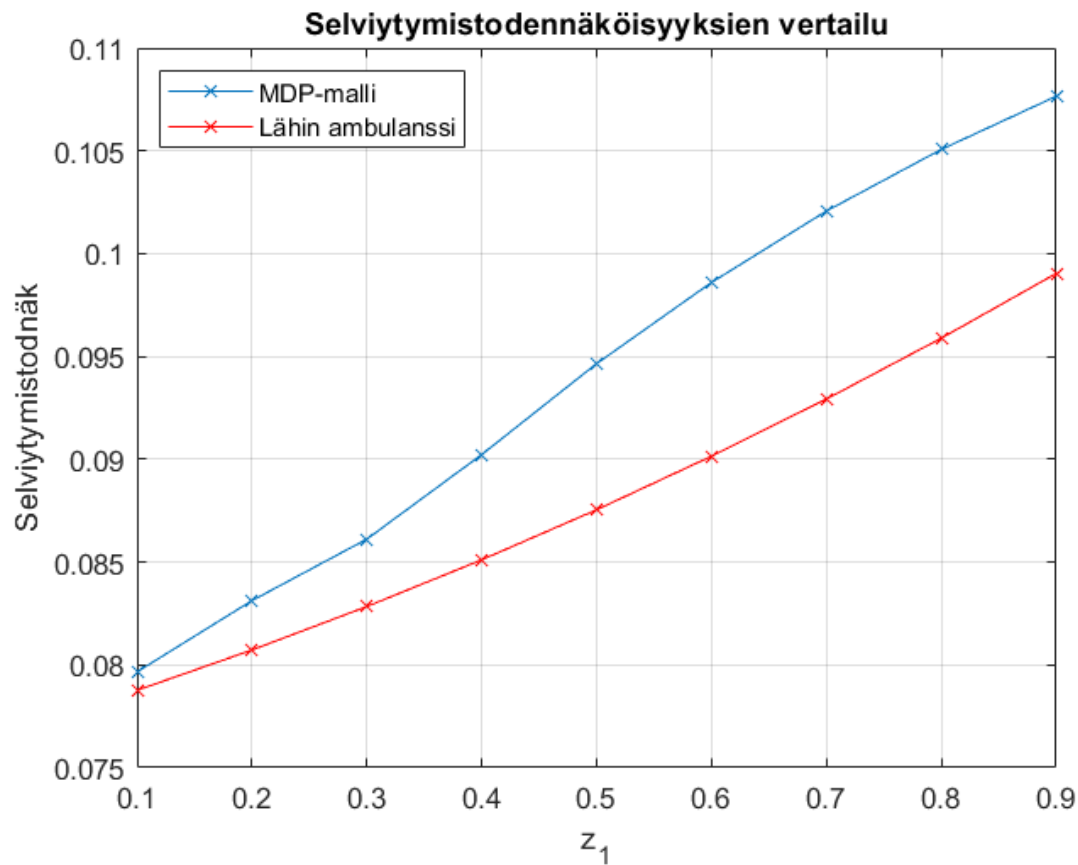
Tulokset

z_1 : saapuvien
häätäkeskus-
soittojen osa
alueelta 1
($z_1 + z_2 = 1$)

z_1	Paras vaihtoehto. toiminta-alue 1	Paras vaihtoehto. toiminta-alue 2
0.1	1	1
0.2	1	1
0.3	1	1
0.4	2	2
0.5	2	2
0.6	2	2
0.7	2	2
0.8	2	2
0.9	2	2

Taulukko 4: Prioriteetin 2 suosituslista Bandara et al. mukaisilla parametreilla

Tulokset



Kuva 1: Selviytymistodennäköisyydet Bandara et al. käyttämällä parametreilla

Tulokset

p_i^k : prioriteetti k
häätäkeskussoittojen osa
alueelta i

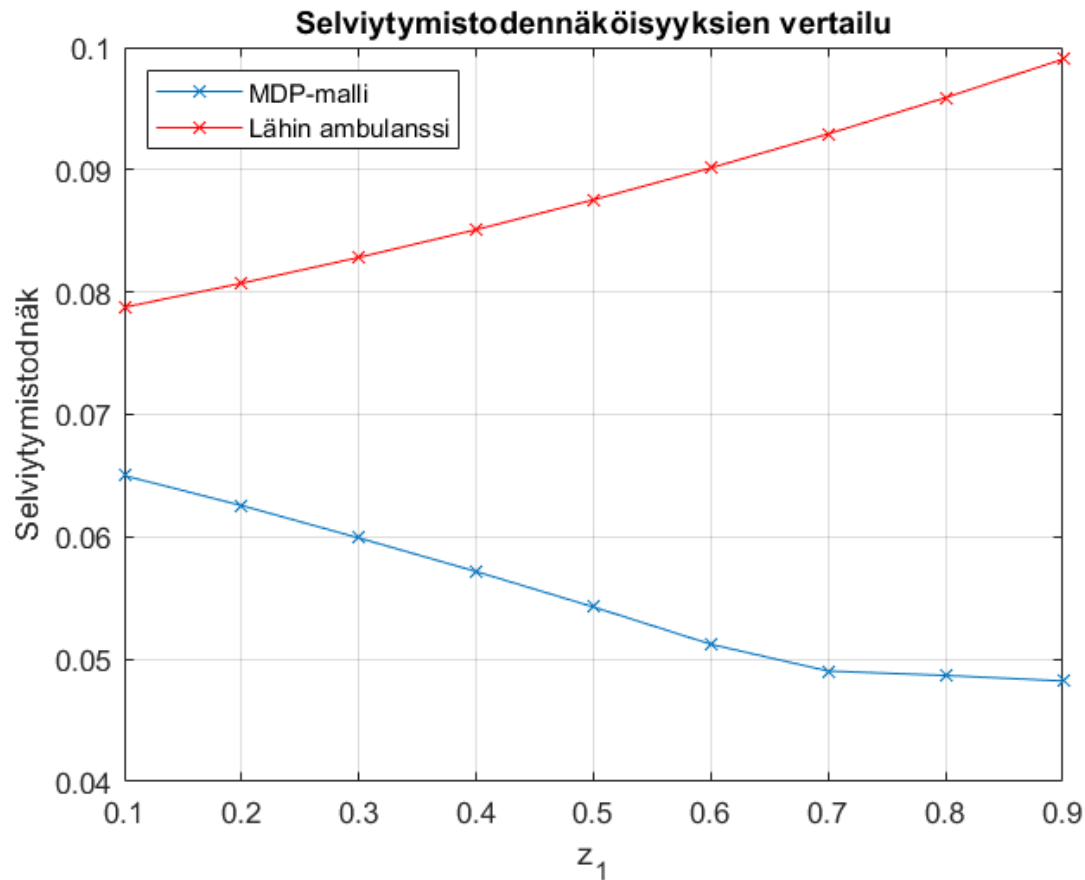
- Hoikka et al. (2017): Vain noin 5% käsitellyistä Pohjois-Suomen häätäkeskussoitoista luokiteltiin hengenvaarallisiksi pelastustehtäviksi
 - Bandara et al. määrittelemä $p_i^k = 0.5$ ei todenmukainen
 - Valitaan molemmilla toiminta-alueilla prioriteetin 1 (hengenvaarallinen) luokittelujen osaksi 20% ja prioriteetin 2 (ei-hengenvaarallinen) osaksi 80%

Tulokset

	z_1	Paras vaihtoehto. toiminta-alue 1	Paras vaihtoehto. toiminta-alue 2
z_1 : saapuvien häätäkeskus- soittojen osa alueelta 1 ($z_1 + z_2 = 1$)	0.1	1	1
	0.2	1	1
	0.3	1	1
	0.4	1	1
	0.5	1	1
	0.6	1	1
p_i^k : prioriteetti k häätäkeskus- soittojen osa alueelta i	0.7	2	2
	0.8	2	2
	0.9	2	2

Taulukko 5: Prioriteetin 2 suosituslista, kun $p_1^1 = p_2^1 = 0.2$

Tulokset



p_i^k : prioriteetti k
häätäkeskus-
soittojen osa
alueelta i

Kuva 2: Selviytymistodennäköisyydet, kun $p_1^1 = p_2^1 = 0.2$

Johtopäätöksiä

- Malli varaa oman alueen ambulanssin sen toiminta-alueen käyttöön, josta tulee enemmän prioriteetin 1 hätäkeskussoittoja
- Vaatii paljon oletuksia
 - Järjestelmä ei ruuhkaudu, ei käsitellä jonoteoriaa
 - Eksponentiaalisesti jakautuneet palveluajat
- Ideaalitulanteessa parantaa selviytymistodennäköisyyksiä
 - Ei kykene realistisesti korvaamaan yksinkertaisempaa toimintatapaa
 - Tarve jatkokehitykselle

Jatkotutkimus

- Simulointi
 - Eriolaisten skenaarioiden testaus ja vertailu
 - Todellisen datan hyödyntäminen
 - Mallin koko: enemmän toiminta-alueita ja ambulansseja
 - Oletusten keventäminen
- Uusia parametreja malliin
 - Kasvattaa todenmukaisuutta
 - Esim. Yavari et al. (2022) hyödyntämä sairaaloiden ruuhkautumisnäkökulma

Lähteet

- D. Bandara, M. E. Mayorga, and L. A. McLay. Optimal dispatching strategies for emergency vehicles to increase patient survivability. *International Journal of Operational Research*, 15(2):195–214, 2012.
- G. M. Carter, J. M. Chaiken, and E. Ignall. Response areas for two emergency units. *Operations Research*, 20(3):571–594, 1972.
- M. Hoikka, T. Silfvast, and T. I. Ala-Kokko. A high proportion of prehospital emergency patients are not transported by ambulance: a retrospective cohort study in northern finland. *Acta Anaesthesiologica Scandinavica*, 61(5):549–556, 2017.
- M. L. Puterman. *Markov Decision Processes: Discrete Stochastic Dynamic Programming*. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ, USA, 1994.
- M. Yavari, R. Maihami, and M. Esmaeili. Ambulance dispatching and relocation problem considering overcrowding of emergency departments. *IJSE Transactions on Healthcare Systems Engineering*, 12(4):263–274, 2022.