



**TURUN
YLIOPISTO**

HIUKASSUODIN- JA HIUKASSILOITINALGORITMIT SEKÄ NIIDEN
SOVELTAMINEN AOA-MENETELMÄÄN PERUSTUVASSA
BLUETOOTH-SISÄTILAPAUKANNUKSESSA

Lasse Rintakumpu

Pro gradu -tutkielma
Maaliskuu 2024

Tarkastajat:

Ohjaajan titteli (Prof./Dos./FT) ja nimi

Toisen tarkastajan titteli (Prof./Dos./FT) ja nimi

MATEMATIIKAN JA TILASTOTIETEEN LAITOS

Turun yliopiston laatujaarjestelmän mukaisesti tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck-järjestelmällä

TURUN YLIOPISTO
Matematiikan ja tilastotieteen laitos

LASSE RINTAKUMPU: Hiukassuodin- ja hiukassiloitinalgoritmit sekä niiden soveltaminen AoA-menetelmään perustuvassa Bluetooth-sisätilapaikannuksessa
Pro gradu -tutkielma, X s.
Tilastotiede
Maaliskuu 2024

Tutkielmassa esitetään hiukassuodin- ja hiukassiloitinalgoitmien teoria Bayesilaisessa tilastotieteellisessä viitekehyksessä. Lisäksi tutkielmassa käsitellään hiukassuodtimien varianssin estimointia.

Empiirisenä esimerkkinä tutkielmassa tarkastellaan hiukassuodin- ja hiukassiloitinalgoitmien käyttöä AoA-teknologiaan perustuvassa Bluetooth-sisätilapaikannusratkaisussa.

Asiasanat: SMC-menetelmät, Monte Carlo -menetelmät, sekventiaalinen Monte Carlo, suodinongelma, hiukassuodin, hiukassiloitin, SIR-algoritmi, sisätilapaikannus, BLE, AoA, triangulaatio, Bayesilainen päättely

Sisällys

Luku 1

Johdanto

SMC-menetelmät (sequential Monte Carlo -menetelmät) ovat joukko Monte Carlo -algoritmeja, joiden avulla voidaan ratkaista ns. suodinongelma, kun ongelma on epälineaarinen ja/tai ongelmaan liittyvä kohina ei noudata normaalijakaumaa. SMC-menetelmille on lukuisia sovellutuksia esimerkiksi Bayesilaisessa tilastotieteessä, fyysikassa ja robotiikassa.

Tämän tutkielman tavoitteena on esittää pääpiirteittäin SMC-menetelmien teoria sekä joitakin menetelmäperheeseen kuuluvia algoritmeja. Tutkielman ensimmäisessä alaluvussa kuvataan yleisellä tasolla sekä suodinongelma että sen ratkaisujen historiaa. Toisessa alaluvussa käsitellään joitakin Monte Carlo -menetelmiin liittyviä yleisiä tuloksia. Kolmannessa alaluvussa esitellään Bayesilainen viitekehys suodinongelmalle, jonka pohjalta neljännessä alaluvussa kuvataan SIR-algoritmina tunnettu SMC-menetelmä. Tutkielman lopussa tarkastellaan menetelmien käyttöä sisätilapainussovelluksissa.

Hiukassuodin- sekä hiukassiloitinalgoritmien osalta tutkielman esitykset seuraavat erityisesti Simo Särkän kirjaa *Bayesian Filtering and Smoothing* (2013), Fredrik Gustafssonin artikkelia “Particle Filter Theory and Practice with Positioning Applications” (2010) sekä Olivier Cappén, Simon J. Godsillin ja Eric Moulines’n artikkelia “An overview of existing methods and recent advances in sequential Monte Carlo” (2007). Hiukassuotimien varianssin estimointi seuraa artikkeleita TODO.

1.1 Suodinongelma

Stokastisten prosessien teoriassa suodinongelmaksi kutsutaan tilannetta, jossa halutaan muodostaa keskineliövirheen mielessä paras mahdollinen estimaatti jonkin järjestelmän tilan arvoille, kun ainoastaan osa tiloista voidaan havaita ja/tai havaintoihin liittyy kohinaa. Tavoitteena on toisin sanoen laskea jonkin prosessin posteriorijakauma kyseisten havaintojen perusteella. Ongelmaa havainnollistaa kaavio (??).