



**TURUN
YLIOPISTO**

SMC-MENETELMÄT SEKÄ NIIDEN SOVELTAMINEN
AOA-MENETELMÄÄN PERUSTUVASSA SISÄTILAPAIKANNUKSESSA

Lasse Rintakumpu

Pro gradu -tutkielma
Tammikuu 2023

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: SMC-menetelmät sekä niiden soveltaminen AoA-menetelmään perustuvassa sisätilapaikannuksessa
Pro gradu -tutkielma, X s.
Tilastotiede
Tammikuu 2023

Tutkielmassa esitetään sekventiaalisten Monte Carlo -menetelmien (SMC) teoria Bayesilaisessa tilastotieteellisessä viitekehyksessä. LISÄKSI

Empiirisenä esimerkkinä tutkielmassa tarkastellaan SMC-menetelmien käyttöä AoA-teknologiaan perustuvassa sisätilapaikannusratkaisussa.

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

Sisällys

1	Johdanto	3
1.1	Notaatioista	3
1.2	Suodin- ja siloitteluongelmat	3
1.3	Suodin- ja siloitteluongelmien historiaa	3
2	Monte Carlo -menetelmistä	5
2.1	Monte Carlo -menetelmien historiaa	5
2.2	Monte Carlo -approksimaatio	5
2.3	Tärkeytysotanta	5
2.4	Sekventiaalinen Monte Carlo	5
3	Bayesilainen suodin ja siloitin	7
3.1	Bayesilainen suodin	7
3.2	Bayesilainen siloitin	7
3.3	Kalman-suotimen ja hiukkassuotimen eroista	8
4	Hiukkassuotimet	11
4.1	Saapasremmisuodin	11
4.2	SIR-algoritmi	11
4.2.1	Interpolaatiosta	11
4.2.2	Parametrien valinta	11
4.2.3	Marginaalijakauma	11
4.2.4	Aikakompleksisuus	11
4.2.5	Konvergenssituloksia	11
5	Hiukkasiloittimet	13
5.1	Offline-algoritmit	13
5.1.1	SIR-siloitin	13
5.2	Online-algoritmit	13
6	AoA-menetelmistä	15
6.1	MUSIC-algoritmi	15
7	SMC-menetelmät sisätilapaikannuksessa	17
7.1	Teknologian kuvaus	17
7.2	Koeasetelma	17

7.3	Datan kuvaus	18
7.4	Ongelman kuvaus	18
7.4.1	Uskottavuusmalli	18
7.4.2	Dynaaminen malli	18
7.5	Algoritmien toteutuksesta	18
7.6	Parametrien valinnasta	18
7.7	Tulokset	18
8	Lopuksi	19
9	(APPENDIX) Other stuff {-}(followed by# A chapter‘)	21
9.1	(APPENDIX) Other stuff {-}(followed by# A chapter‘)	21

Luku 1

Johdanto

Lorem ipsum.

1.1 Notatioista

Lorem ipsum.

1.2 Suodin- ja siloitteluongelmat

Lorem ipsum.

1.3 Suodin- ja siloitteluongelmien historiaa

Lorem ipsum.

Luku 2

Monte Carlo -menetelmistä

2.1 Monte Carlo -menetelmien historiaa

2.2 Monte Carlo -approksimaatio

2.3 Tärkeytysotanta

2.4 Sekventiaalinen Monte Carlo

Luku 3

Bayesilainen suodin ja siloitin

Cross-references make it easier for your readers to find and link to elements in your book.

3.1 Bayesilainen suodin

There are two steps to cross-reference any heading:

1. Label the heading: `# Hello world {#nice-label}`.
 - Leave the label off if you like the automated heading generated based on your heading title: for example, `# Hello world = # Hello world {#hello-world}`.
 - To label an un-numbered heading, use: `# Hello world {-#nice-label}` or `{# Hello world .unnumbered}`.
2. Next, reference the labeled heading anywhere in the text using `\@ref(johdanto)`;
 - If you prefer text as the link instead of a numbered reference use: [any text you want can go here](#).

3.2 Bayesilainen siloitin

Figures and tables *with captions* can also be cross-referenced from elsewhere in your book using `\@ref(fig:chunk-label)` and `\@ref(tab:chunk-label)`, respectively.

See Figure [3.1](#).

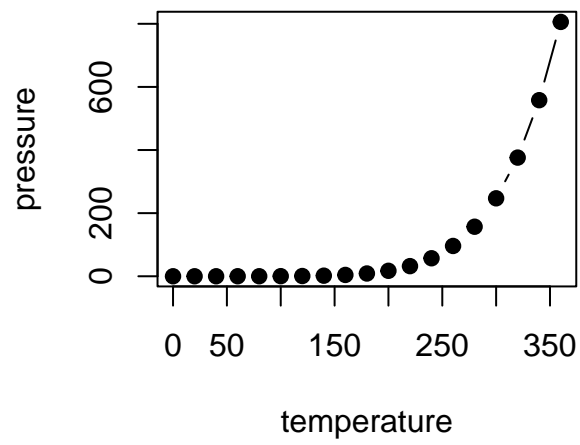
Don't miss Table ??.

Taulukko 3.1: Here is a nice table!

temperature	pressure
0	0.0002
20	0.0012
40	0.0060
60	0.0300
80	0.0900

temperature	pressure
100	0.2700
120	0.7500
140	1.8500
160	4.2000
180	8.8000

3.3 Kalman-suotimen ja hiukassuotimen eroista



Kuva 3.1: Here is a nice figure!

Luku 4

Hiukkassuotimet

Add an appendix as a special kind of un-numbered part: `# (APPENDIX) Other stuff {-}` (followed by `# A chapter`). Chapters in an appendix are prepended with letters instead of numbers.

4.1 Saapasremmisuodin

Lorem ipsum

4.2 SIR-algoritmi

Lorem ipsum

4.2.1 Interpolaatiosta

Lorem ipsum

4.2.2 Parametrien valinta

Lorem ipsum

4.2.3 Marginaalijakauma

Lorem ipsum

4.2.4 Aikakompleksisuus

Lorem ipsum

4.2.5 Konvergenssituloksia

Lorem ipsum

Luku 5

Hiukkasiloittimet

Add an appendix as a special kind of un-numbered part: `# (APPENDIX) Other stuff {-}` (followed by `# A chapter`). Chapters in an appendix are prepended with letters instead of numbers.

5.1 Offline-algoritmit

Lorem ipsum

5.1.1 SIR-siloitin

5.2 Online-algoritmit

Lorem ipsum

Luku 6

AoA-menetelmistä

6.1 MUSIC-algoritmi

Footnotes are put inside the square brackets after a caret `^[]`. Like this one ¹.

Citations. Reference items in your bibliography file(s) using `@key`.

For example, we are using the **bookdown** package [Xie, 2022] (check out the last code chunk in index.Rmd to see how this citation key was added) in this sample book, which was built on top of R Markdown and **knitr** [Xie, 2015] (this citation was added manually in an external file book.bib). Note that the `.bib` files need to be listed in the index.Rmd with the YAML `bibliography` key.

The RStudio Visual Markdown Editor can also make it easier to insert citations: <https://rstudio.github.io/visual-markdown-editing/#/citations>

¹This is a footnote.

Luku 7

SMC-menetelmät sisätilapaikannuksessa

7.1 Teknologian kuvaus

Here is an equation.

$$f(k) = \binom{n}{k} p^k (1-p)^{n-k} \quad (7.1)$$

You may refer to using `\@ref{eq:binom}`, like see Equation (7.1).

7.2 Koeasetelma

Labeled theorems can be referenced in text using `\@ref{thm:tri}`, for example, check out this smart theorem 7.1.

Theorem 7.1. *For a right triangle, if c denotes the length of the hypotenuse and a and b denote the lengths of the **other** two sides, we have*

$$a^2 + b^2 = c^2$$

Read more here <https://bookdown.org/yihui/bookdown/markdown-extensions-by-bookdown.html>.

7.3 Datan kuvaus

7.4 Ongelman kuvaus

7.4.1 Uskottavuusmalli

7.4.2 Dynaaminen malli

7.5 Algoritmien toteutuksesta

7.6 Parametrien valinnasta

7.7 Tulokset

Luku 8

Lopuksi

Lorem ipsum

Luku 9

(APPENDIX) Other stuff
{-}(followed by# A chapter‘)

9.1 (APPENDIX) Other stuff {-}(followed by#
A chapter‘)

Kirjallisuutta

Yihui Xie. *Dynamic Documents with R and knitr*. Chapman and Hall/CRC, Boca Raton, Florida, 2nd edition, 2015. URL <http://yihui.org/knitr/>. ISBN 978-1498716963.

Yihui Xie. *bookdown: Authoring Books and Technical Documents with R Markdown*, 2022. URL <https://CRAN.R-project.org/package=bookdown>. R package version 0.28.