



Aalto-yliopisto
Perustieteiden
korkeakoulu

Signaalien ilmaisu aaltomuotojen luokittelussa ohjelmistoradiojärjestelmällä

Katri Haapalinna

02.12.2020 (Valmiin työn esittely)

Ohjaaja: TkT Maarit Melvasalo, SPA/ELEC

Valvoja: Prof. Ahti Salo

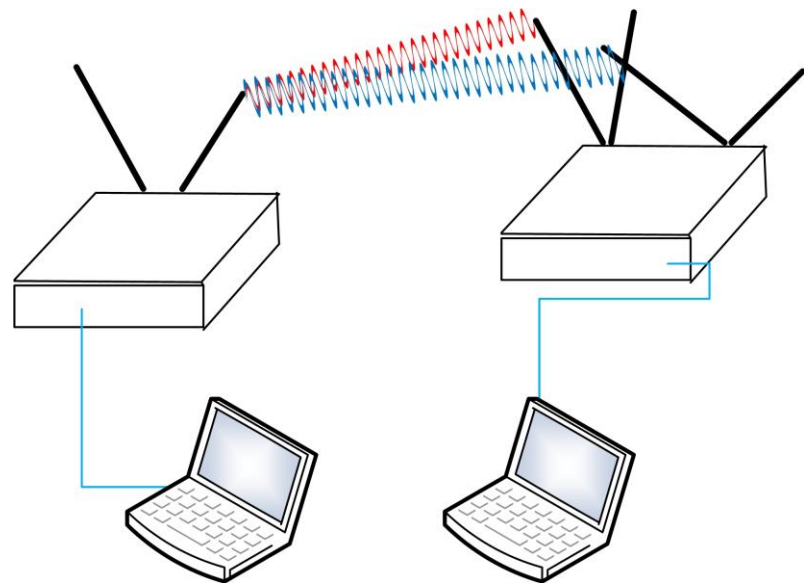
Työn saa tallentaa ja julkistaa Aalto-yliopiston avoimilla verkkosivuilla. Muilta osin kaikki oikeudet pidätetään.

Johdanto

- Signaalien luokittelu
 - Sovelluksia: joustava spektrin käyttö, signaalitiedustelu
 - Over-the-air-mitatuille, tietoliikenne- ja tutkajärjestelmien tuottamille kompleksiarvoisille radiosignaaleille
 - Toteutetaan kehittynein koneoppimisen menetelmin (konvolutiivinen neuroverkko –pohjainen luokitin kompleksiarvoiselle datalle)
- Tämä työ
 - Käsittelee signaalien ilmaisua kohinasta
 - Tehty Sähkötekniikan korkeakoulun signaalinkäsittelyn ja akustiikan laitoksella professori Koivusen tutkimusryhmässä
 - Osa Puolustusvoimien rahoittamaa projektia

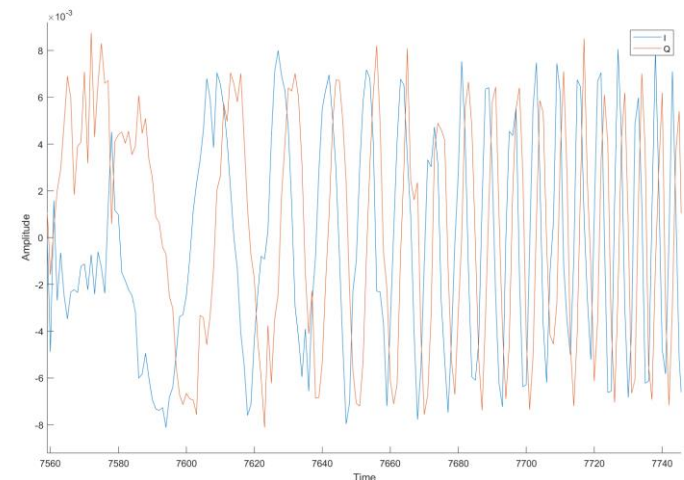
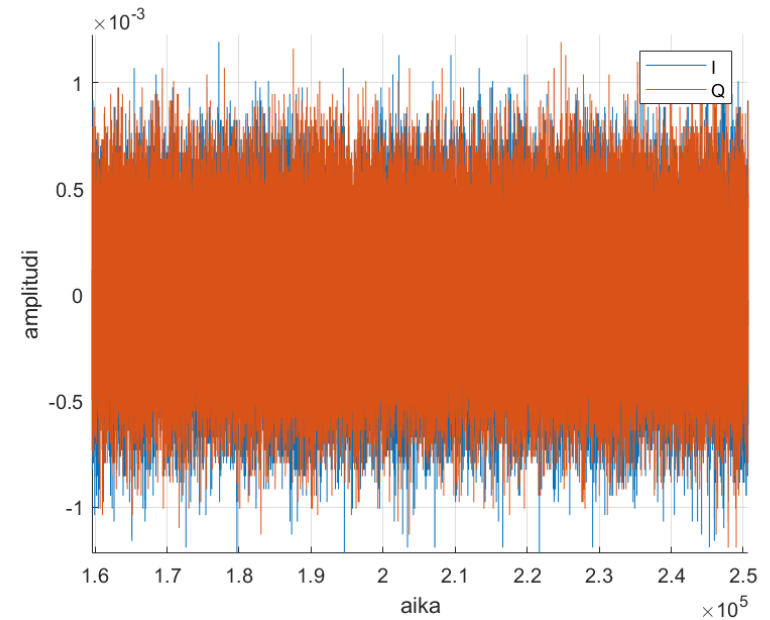
Tausta

- Ohjelmistoradiot (SDR)
 - Ohjelmallisesti konfiguroitavia radiolähettämiä ja vastaanottimia
 - Signaalinkäsittely
 - Vastaanotetut mittaustulokset diskreettiaikaisia ja kvantisoituja, tallennetaan digitaaliseen muotoon



Tausta

- Mittaustuloksissa
 - Aina kohinaa
 - Mahdollisesti sekoittuneina eri lähteistä lähetettyjä signaaleja
 - Signaali-kohinasuhde SNR
 - Kompleksiarvoinen esitysmuoto
 - I (In-phase)
 - Q (Quadrature)



Tutkimuskysymyksiä

- Halutaan selvittää tilastollista hypoteesitestausta käyttäen, onko vastaanotettu signaali pelkkää kohinaa vai sisältääkö se tuntematonta, luokiteltavaa lähetystä
- Käytetään signaalin ilmaisuun energiailmaisinta eli radiometriä
- Tutkitaan, miten lähettimen ja vastaanottimen toimintaparametrit vaikuttavat kohinatasoon
 - Antennivahvistus (gain)
 - Keskitäajuus
 - Näytteistystaajuus, taajuuskaista

Menetelmät ja työkalut

- Mittausjärjestelmä
 - Ettus Researchin USRP-ohjelmistoradiot
 - X310:t UBX- ja TwinRX-korteilla
 - Moniantennijärjestelmä (MIMO)
 - GNURadio Companion
- Käytetyt aaltomuodot
 - Jatkuvalähetyksiset (UMTS, LTE)
 - Purskeiset, moduloidut
- Energiailmaisain ja signaalin analysointi
 - Toteutettu Matlab-ympäristössä

Energiailmaisin

- Signaalin teho Y
- Kynnysarvo λ
- Testisuure Y
- H_0 : vastaanotto kohinaa
 - Tällöin Y χ^2 -jakautunut
- H_1 : vastaanotto signaalia
- $Y > \lambda \rightarrow$ hylätään H_0
 \rightarrow signaali tunnistettavaksi

$$Y = \int |y(t)|^2 dt$$

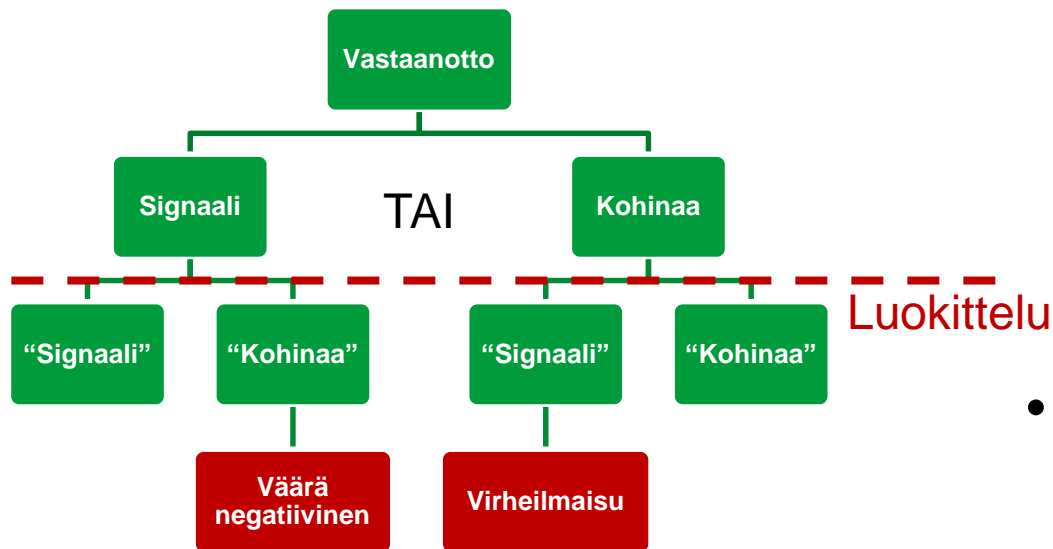
$$\lambda = \sigma_n^2 \left(1 + \frac{Q^{-1}(p_{fa})}{\sqrt{\frac{M}{2}}}\right)$$

$$Y = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} |y_i|^2$$

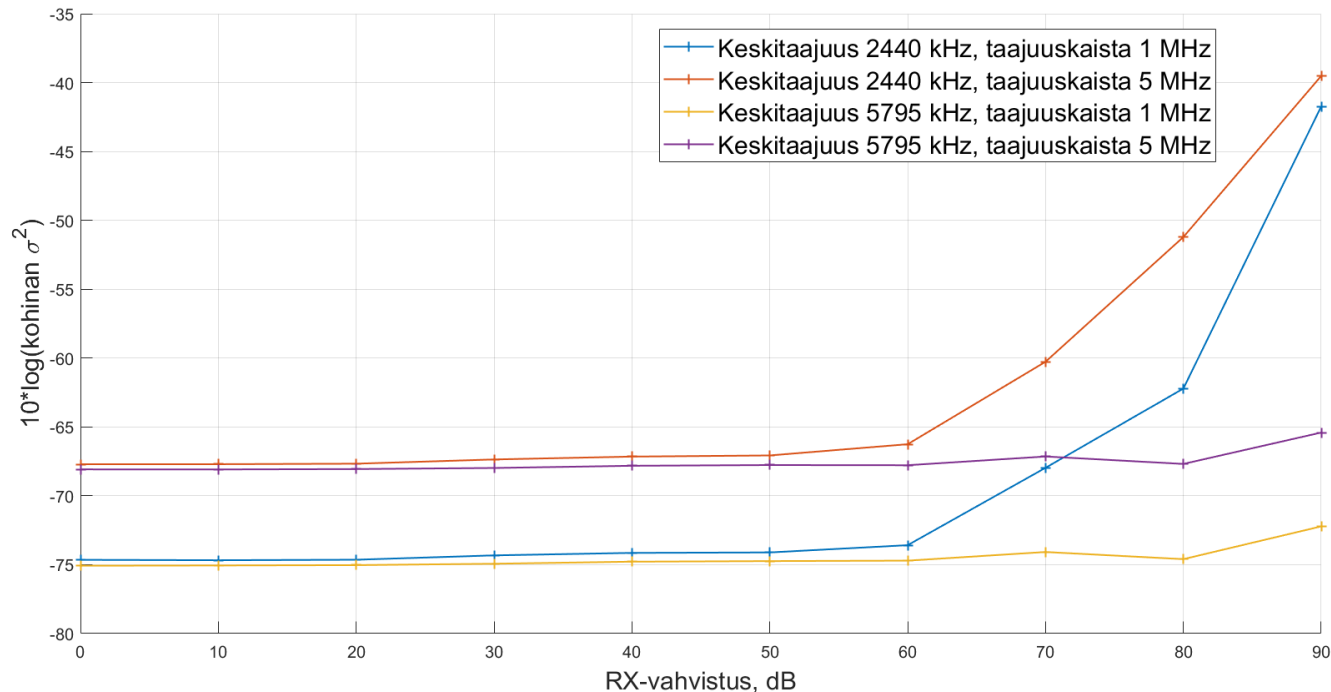
Biglieri ym. 2012
Memik ym. 2008

Virhetodennäköisyydet

- Tavoitellaan pieniä väärin negatiivisten (tyypin II virhe, *missed detections*) ja virheilmaisun (tyypin I virhe, *false alarm*) todennäköisyyksiä
- Neyman-Pearsonin ilmaisun
 - Rajoitus tyypin I virheelle, virheen II minimointi

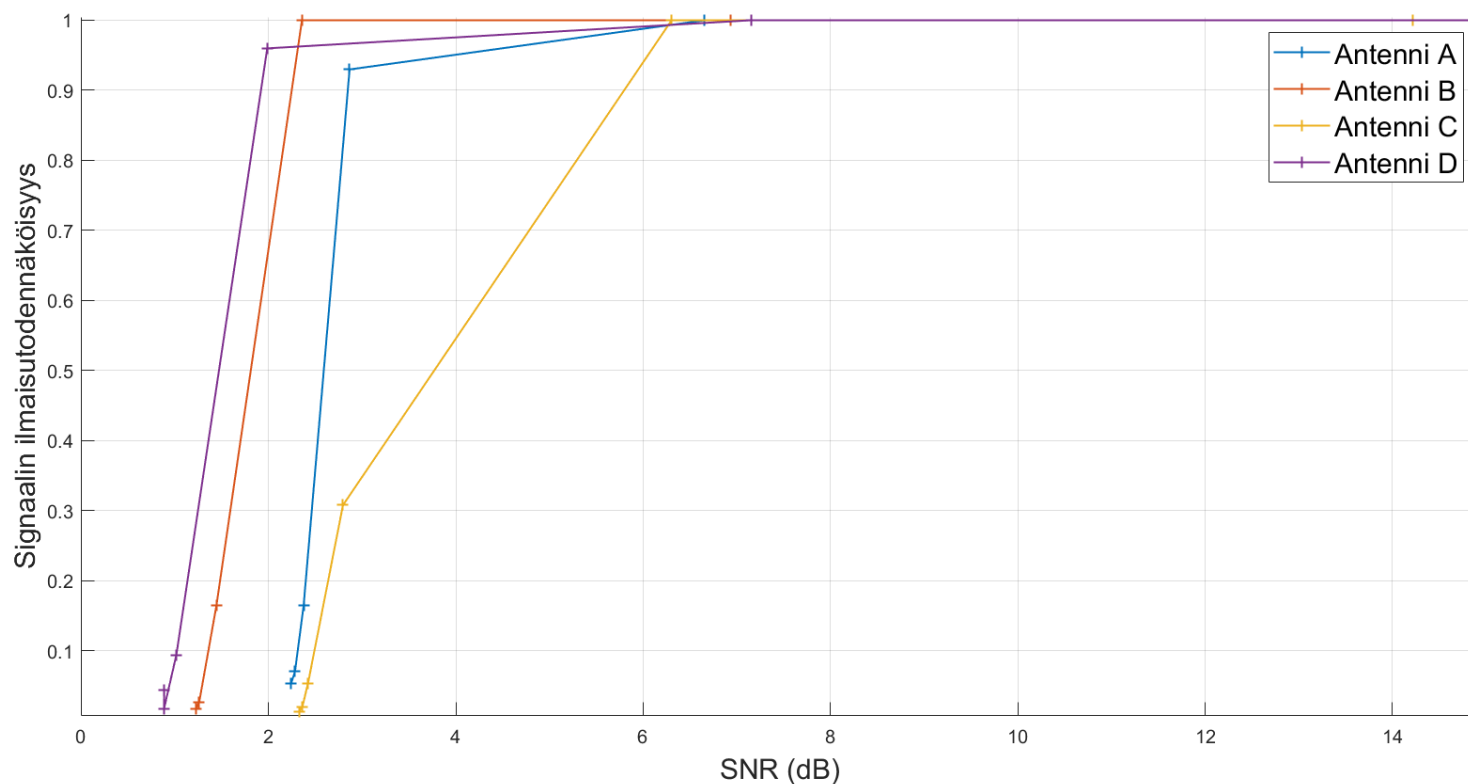


Tulokset – Kohinan varianssi



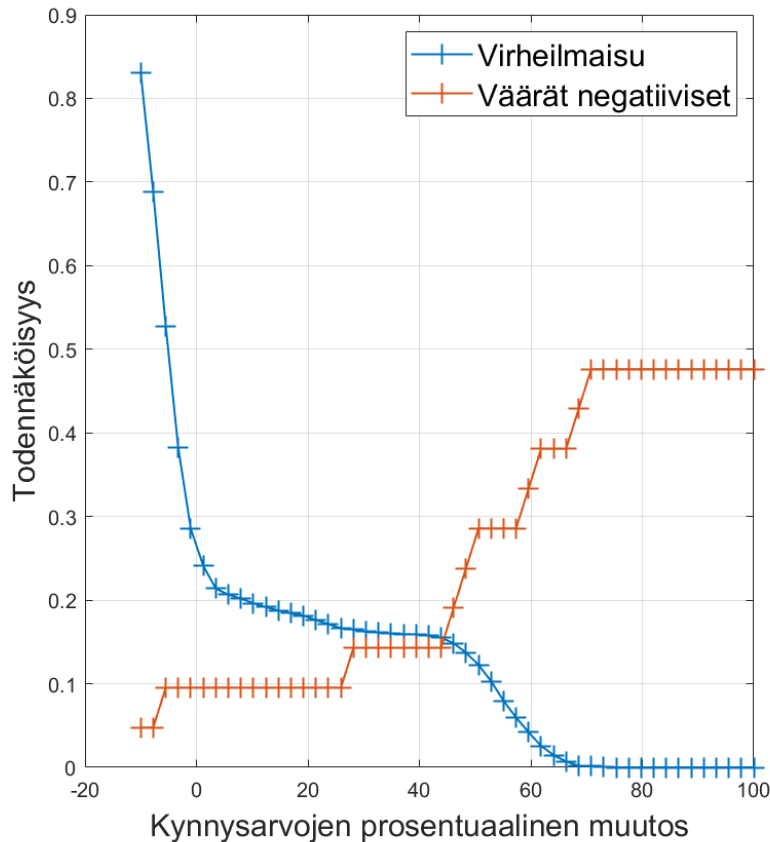
- Määritetyt kynnsarvot suoraan verrannollisia kohinatasoon
- Kohinan varianssi vaihtelee vastaanottoparametrien funktiona
 - Kannattaa määrittää erilliset kynnsarvot eri parametreille
 - Taajuuskaista, vahvistus, antenni, keskitäajuus suurilla vahvistuksilla

Tulokset – Jatkuva-aikainen signaali, $p_{fa}=10\%$



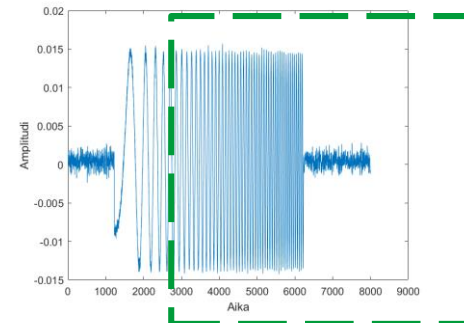
- Esimerkki ilmaisutodennäköisyydestä **jatkuvalähetyksiselle** UMTS-signaalille: tyypin II virhe pienenee signaali-kohinasuhteen kasvaessa
 - SNR estimoitu: $SNR \approx 10 \cdot \lg[\sigma^2(\text{signaali}) / \sigma^2(\text{kohina})]$

Tulokset – Purskeinen signaali



Purskeinen lähetys

- Kynnysarvot
 - Virhetodennäköisyyksien välillä tehtävä kompromissi
- Ikkunointi
 - Huomioitavia parametrejä ikkunan koko suhteessa purskeen pituuteen sekä ikkunoiden mahdollinen päällekkäisyys



Johtopäätöksiä

- Energiailmaisoin toimii parhaiten voimakkaille signaaleille
 - Heikoille signaaleille käytettävä pidempiä ikkunoita
- Jatkuva lähetys purskeita helpompi luokiteltava
 - Purskeisen signaalin aikaikkunassa mahdollisesti perätysten signaalia ja kohinaa
- Optimaaliset kynnsarvot riippuvat halutuista, sovelluskohtaisista tyyppin I ja II virhetodennäköisyyksistä sekä kohinan jakaumasta

Johtopäätöksiä

- Määritetyt kynnyksarvot eivät ole yleistettävissä – vaihtelua saman ohjelmistoradion eri vastaanottoantennien välillä
 - Kynnyksarvot riippuvat antennien välillä vaihtelevasta SNR-tasosta
 - Kohinajakauman parametrit antennikohtaisia
 - Määritetään kynnyksarvot eri antenneille erikseen
- Kohinan varianssi riippuu lisäksi useista muuttujista
 - Vahvistus ja keskitaajuus
 - Suuret antennivahvistukset nostavat kohinatasoa erityisesti matalammalla keskitaajuudella
 - Taajuuskaista
 - Leveämmällä kaistalla vastaanotetaan enemmän kohinaa

Tutkittavaa seuraavaksi

- Lisämittauksia varmistamaan tulosten yleisyyttä ja merkittävyyttä
- Purskeiden luokittelun tarkempi analysointi
- Luokiteltujen signaalinäytteiden jatkokäsittely ja tunnistus
- Heikkojen signaalien ilmaisu

Lähteitä

- E. Biglieri, A. Goldsmith, L. J. Greenstein, N. Mandayam, ja H. V. Poor. *Principles of Cognitive Radio*. Cambridge University Press, Cambridge, 2012.
- O. Klemola ja A. Lehto. *Tutkatekniikka*. Otatieto, Helsinki, 1998. Ensimmäinen painos.
- J. Kosola ja T. Solante. *Digitaalinen taistelukenttä. Informaatioajan sotakoneen tekniikka*. Maanpuolustuskorkeakoulu, Sotatekniikan Laitos, Helsinki, 2013. Kolmas painos.
- W. Lee ja I. F. Akyildiz. Optimal spectrum sensing framework for cognitive radio networks. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 7(10):3845–3857, 2008. Saatavissa: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/4657330>.
- G. Memik, Z. Ye ja J. Grosspietsch. Energy detection using estimated noise variance for spectrum sensing in cognitive radio networks. 2008 IEEE Wireless Communications and Networking Conference, pages 711–716, 2008. Saatavissa: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/4657330>.