Reaaliaikaisten tekoälymenetelmien käyttö spektrikuvantamisessa

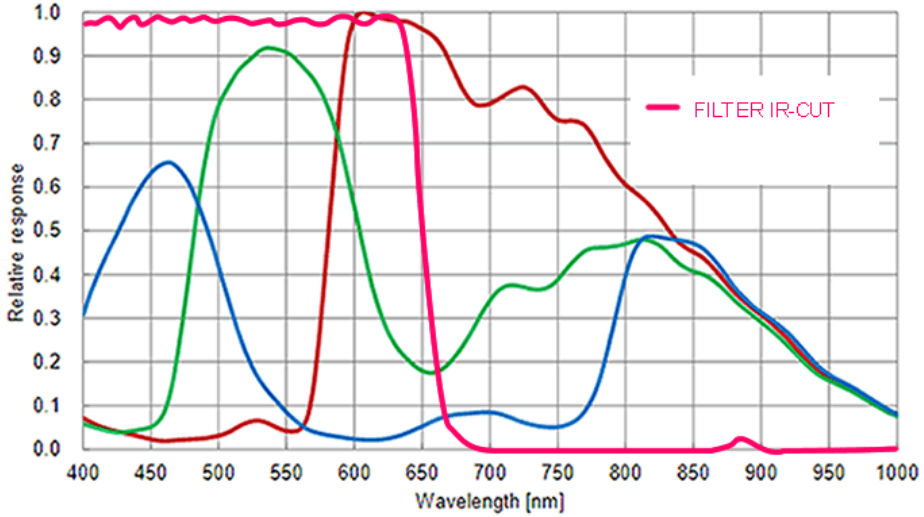
MATINEn tutkimusseminaari 2025

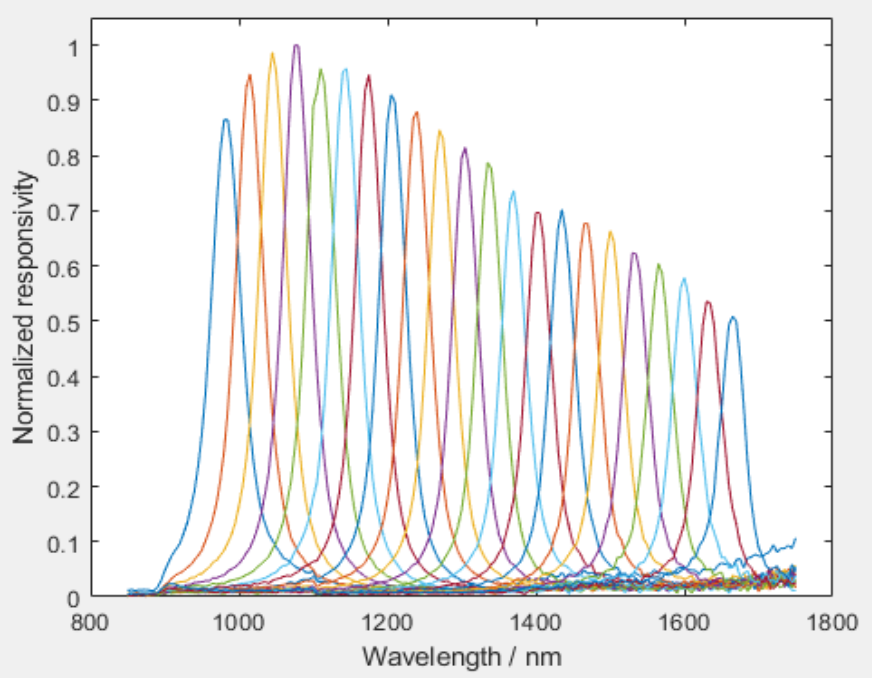
Antti Näsilä, Akseli Miranto, Jarkko Laine, Juhani Heinonen , Matti Okkonen, Vili Kellokumpu, Leevi Salonen, Jussi Kangasoja

Hankkeen kuvaus

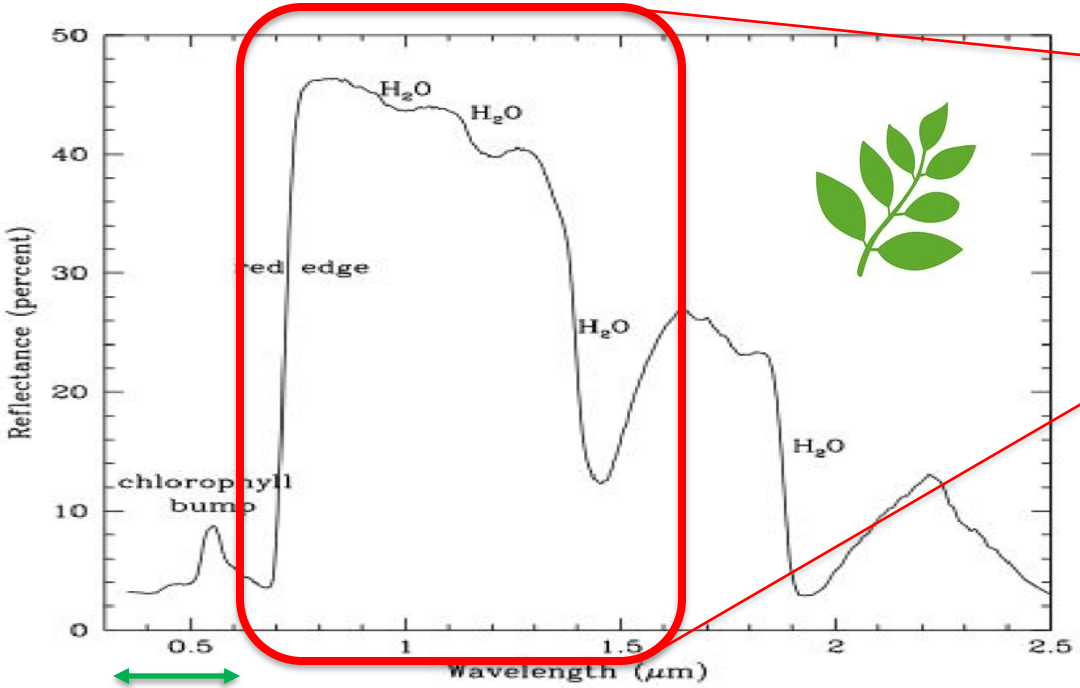
- Tutkimuksen tavoitteena on kehittää uusia menetelmiä hyperspektridatan automaattiseen ja reaaliaikaiseen analysointiin
- Osana tutkimusta pyritään myös löytämään keinoja joiden avulla voidaan hyödyntää olemassa olevia hahmontunnistusalgoritmeja hyperspektridatalle ilman massiivista uudelleenkoulutusta

Hyperspektrikuvaus

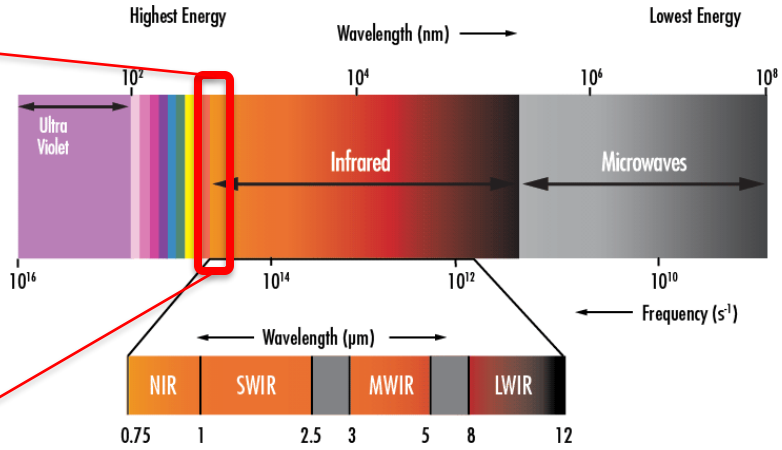




Heijastusspektri

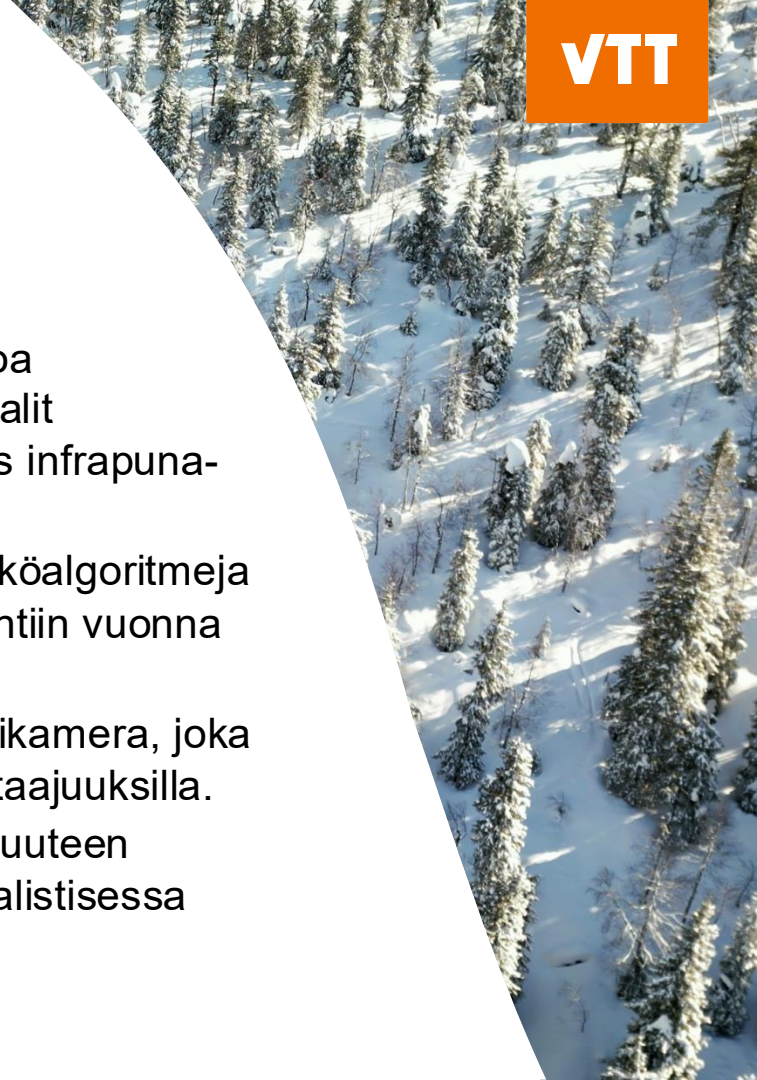


Ihmissilmä



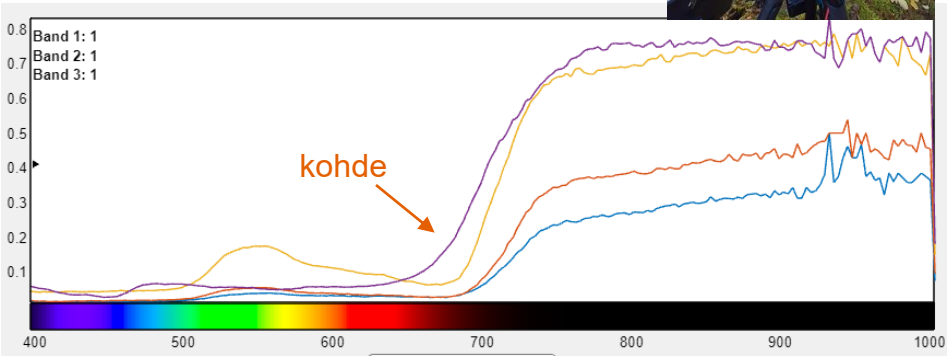
Tausta & historia

- Hyperspektrikuvantamisella tarkoitetaan kuvien ottoa useammalla aallonpituuskanavalla kuin mitä normaalit värikamerat kuvaavat ja kamerat voivat toimia myös infrapuna-alueella.
- VTT on kehittänyt hyperspektrikameroita ja konenäköalgoritmeja useita vuosia, ja ensimmäiset lennokkikokeet on tehtiin vuonna 2010.
- Vuonna 2022 valmistettiin ensimmäinen prototyyppikamera, joka kykeni tallentamaan kokonaisia datakuutioita videotaajuuksilla.
- Tämän hankkeen päätavoite on yhdistää algoritmit uuteen kameraprototyyppiin ja demonstroida sen käyttö realistisessa sovelluksessa.



Projektin toteutus

- Näiden tavoitteiden pohjalta projekti voidaan jakaa selkeisiin vaiheisiin
  1. Proton rakennus (1. vuosi)
  2. Datan keruu & algoritmien viritys (1. vuosi)
  3. **Proton päivitys (2. vuosi)**
  4. **Demonstrointi (2. vuosi)**



Hyperspektrikamera

Kaupallinen kameramoduli

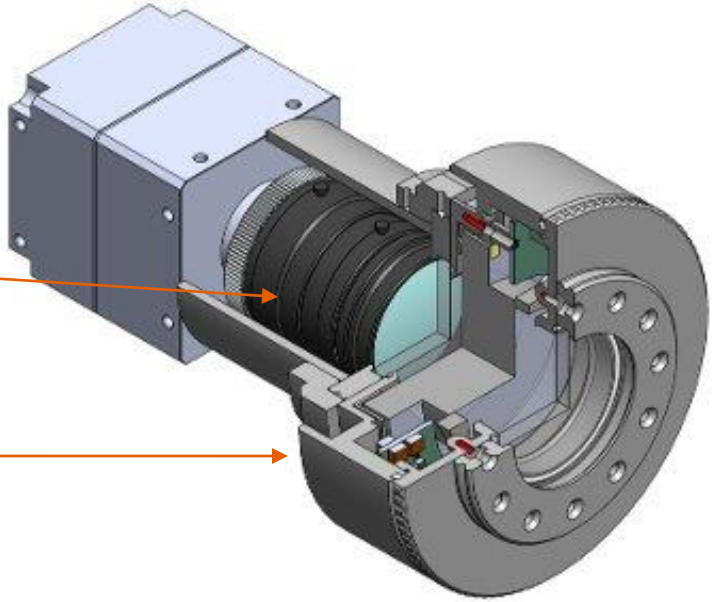
- Herkkyysalue VIS - SWIR (400 – 1700 nm)

Kaupallinen optiikka

- 50 mm, F1.8
- Toiminta-alue VIS - SWIR

VTT:n säädettävä aallonpituussuodatin

- Päästää läpi kerrallaan vain yhden n. 20 nm aallonpituuskaistan
- Päästökaista säädettävissä VIS – SWIR alueella
- Perustuu Fabry-Perot interferometriin
- Tyhjiöpaketoitu nopeuden maksimoimiseksi



1. vuoden tuloksia

Rakennettu hyperspektrikamera

- Projektin ensimmäisenä vuonna aallonpituussuodatin paketoitiin 3D-printattuun mekaniikkakoteloon

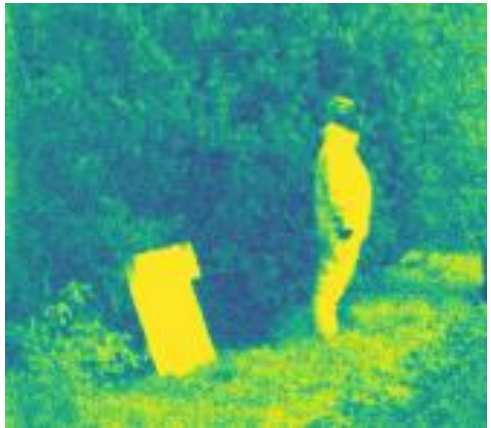
- Seuraava suodatin paketoidaan metalliseen tyhjiökoteloon, joka mahdollistaa suodattimen nopean säätämisen ja reaaliaikaisen kuvaamisen.

Alustavia tuloksia

- Datan tarkistuksessa huomattiin että data ei ole täydellistä
- Esikoulutetulla suurella verkolla saatiin kohtalaisia tuloksia
- 3/5 oikein ilman mitään uudelleenkoulutusta

Liikeartefakteja

Kohinaa



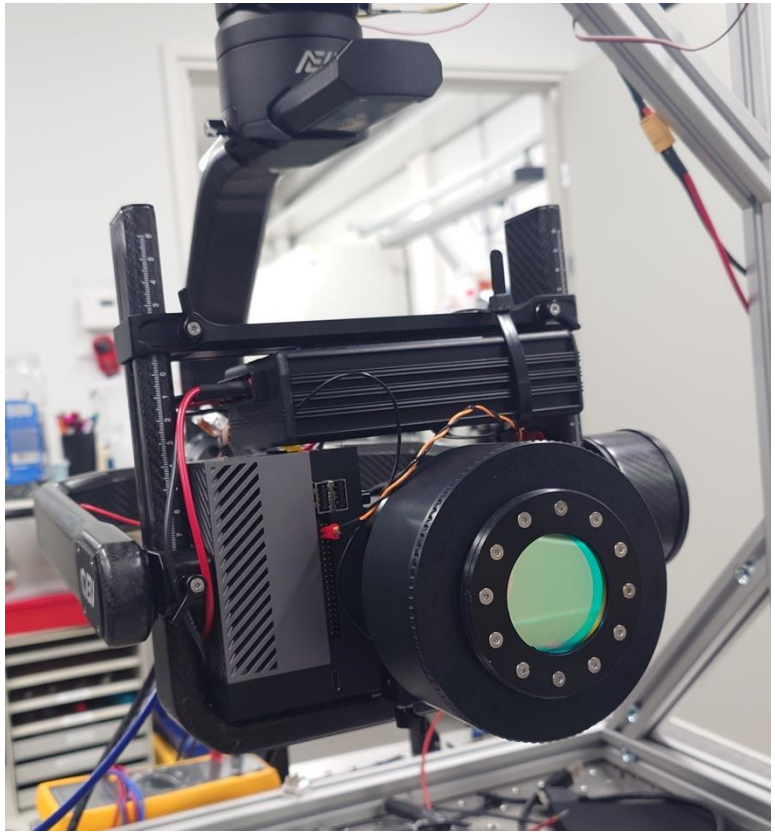
Tavoitteet 2. vuodelle

- Projektin tulokset vaikuttavat lupaavilta, mutta operatiiviseen käyttöön on vielä matkaa
- Seuraavaksi varsinainen kameraproto päivitetään lopulliseen muotoonsa, mikä kasvattaa kuvausnopeuden n. 100 kertaiseksi. Tämä helpottaa myös datankeruuta huomattavasti.
- Koulutusmateriaalin lisääntyessä data-analyysi myös paranee
- Analyysiin pyritään ottamaan mukaan myös kehittyneempiä tekoälymalleja. Tämän jälkeen testataan havaintotarkkuutta tavalliseen RGB kameraan verrattuna.

2. vuoden tulokset

Kamerakehitys

- Kameran päivitys lopulliseen mekaniikkaan
  - Tyhjiökoteloitu spektrifiltteri
- Dataprosessorin integrointi kameramekaniikkaan
- Kameragimbaaliin integrointi virtalähteineen
- Aallonpituusalue 660 – 1230 nm

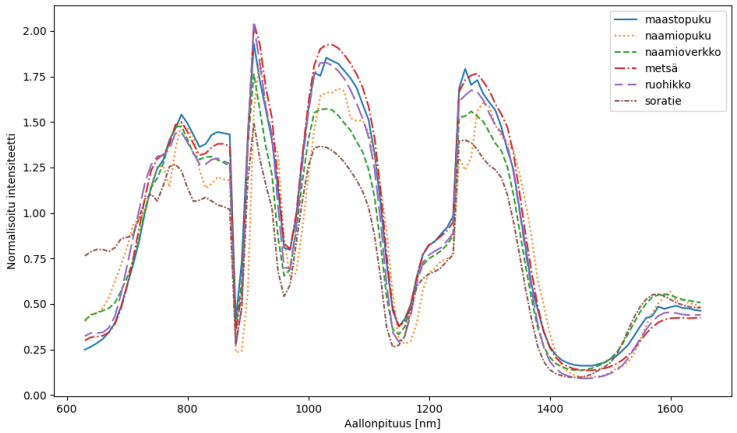


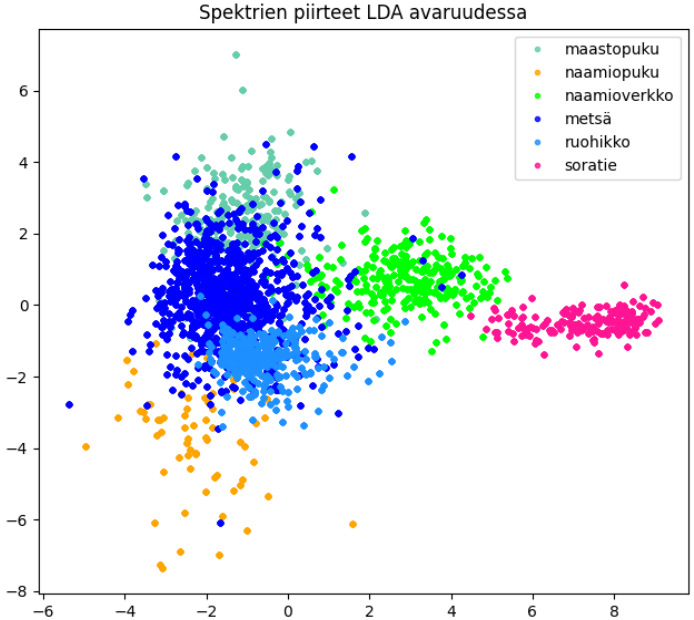
Drooni-integraatio

- Jatkokehitystä drooniin integroituna
- Kyydissä hyperspektrikamera ja prosessointiyksikkö
- Datalinkki maahan 4G / 5G

Data-analytiikka

- Testimittaukset koko aallonpituusalueella
- Pääkomponenttien määrittely (LDA)
  - 680, 790, 870, 980 ja 1190 nanometriä

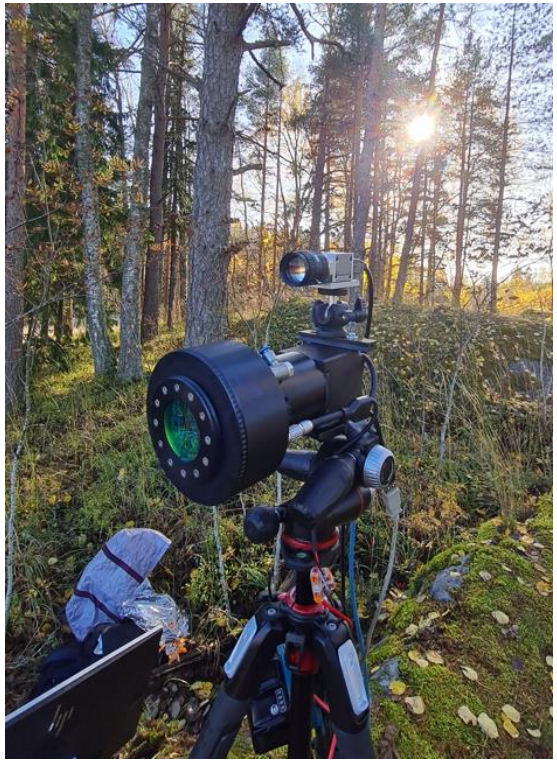


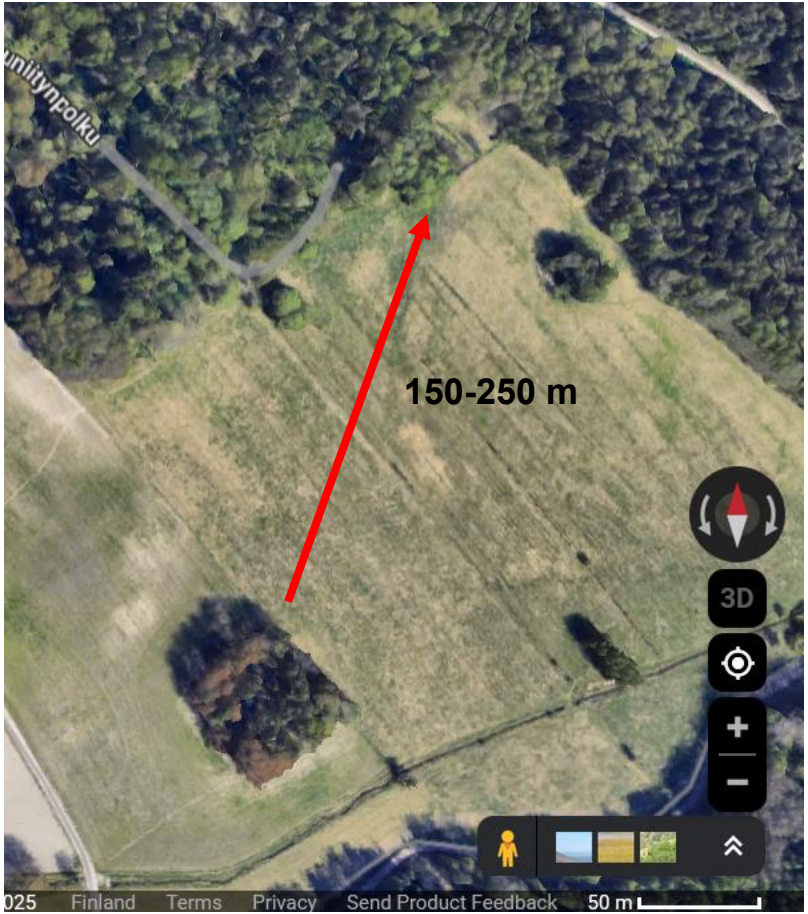


Demonstraatio

- Reaaliaikainen tunnistus HSI kameralla, Jetson tietokoneella ja YOLO algoritmilla
- Toimintanopeus n. 6 hyperkuutiota sekunnissa
- 5 aallonpituuskanavaa per hyperkuutio

Demonstraatio





Demonstraatio

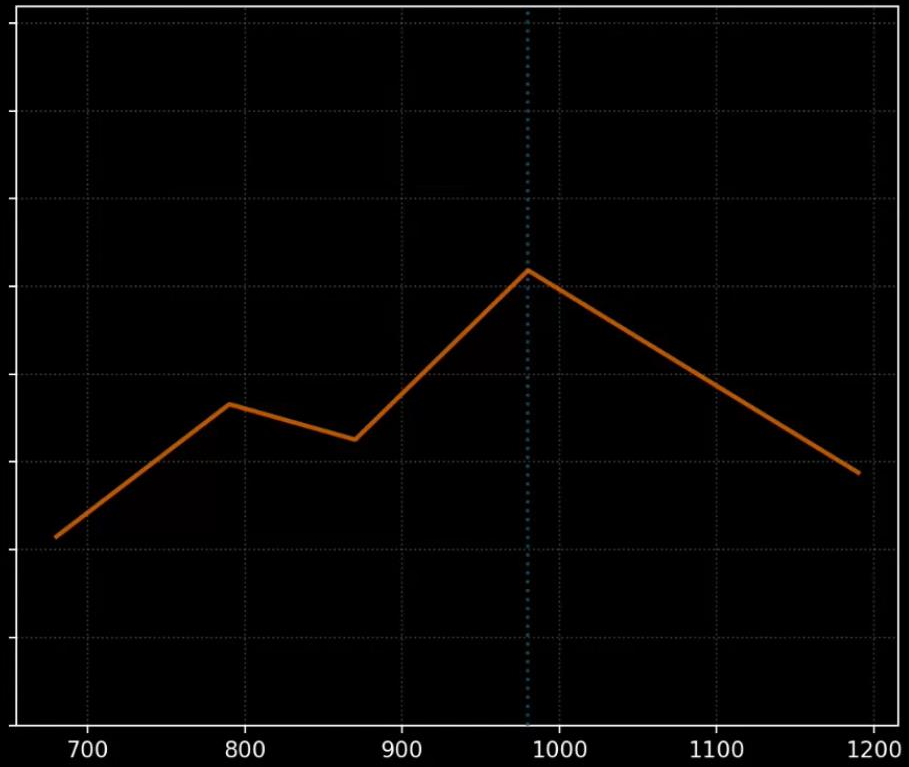
Vertailu RGB kameraan

- Reaaliaikainen tunnistus HSI kameralla ja RGB kamerallaja YOLO algoritmilla
- RGB kameralle kustomoimaton YOLO algoritmi, Hyperspektrikameralle uudelleenopetettu YOLO
- Toimintanopeus alle yksi hyperkuutio sekunnissa, koska datan tallennus on käytössä ja detektio tehdään kahdesta kamerasta.
- 5 aallonpituuskanavaa per hyperkuutio

CPS: 0.7 WL: 980 nm Exposure: 3 ms Gain: 10 dB Pressure: -0.3 mbar RT-Classify

YOLO v12 detektio

- Koostettu datasetti missä samanaikaisesti kuvattu kohteita myös RGB kameralla.
- Tunnistus spektrikuutioista koostetusta väärävärikuvasta toimii huomattavasti paremmin kuin saatavilla olevalla esiopetetulla verkolla tunnistus RGB kuvista
  - Hyperspektridatasta mAP50 = 0.927, mAP50-95 = 0.463
  - RGB-datasta mAP50 = 0.164, mAP50-95 = 0.098



CPS: 5.8 WL: 980 nm Exposure: 5 ms Gain: 10 dB RT-Classify

Kameran toimintanopeus

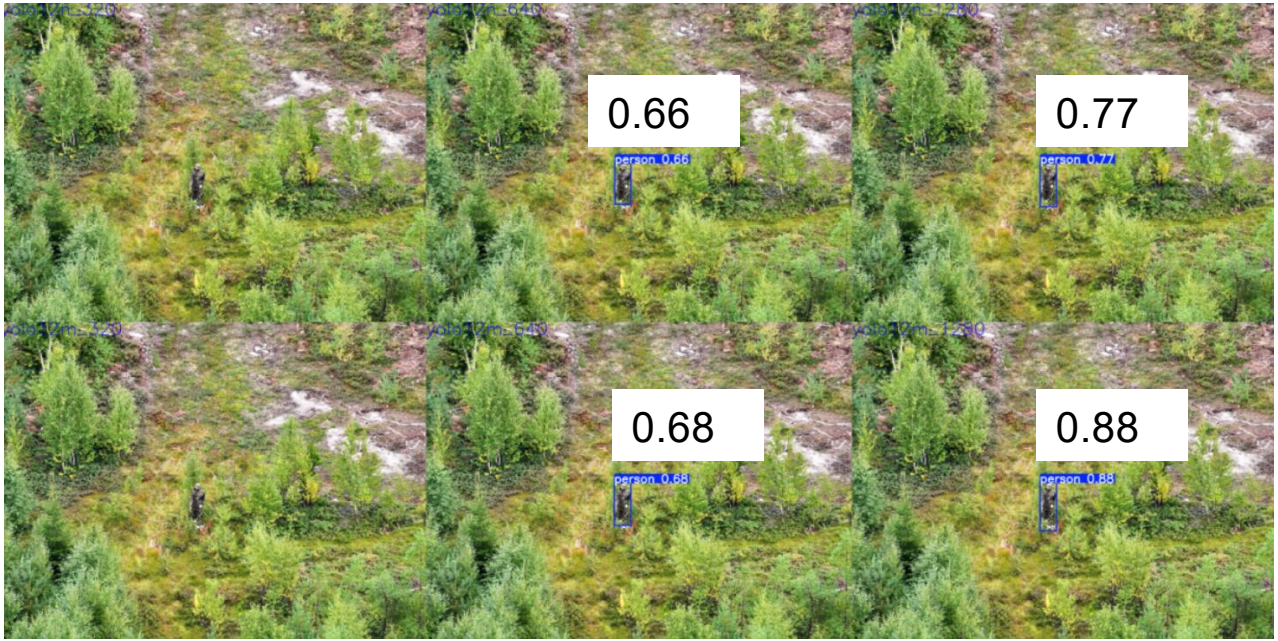
Ominaisuus	
Aallonpituusalue	660 – 1230 nm
Kuvausnopeus [Tint = 10 ms]	35 kanavaa / sekunti
Kuvausnopeus [Tint = 1 ms]	50 kanavaa / sekunti
Tunnistusnopeus	6 kuutiota / sekunti
Aallonpituuskanavia kuutiossa	5 (ohjelmoitavissa)

Tunnistuskyvyn vertailua eri resoluutiolla ja YOLO verkon koolla

VERKON KOKO

YOLO n

YOLO m



320

640

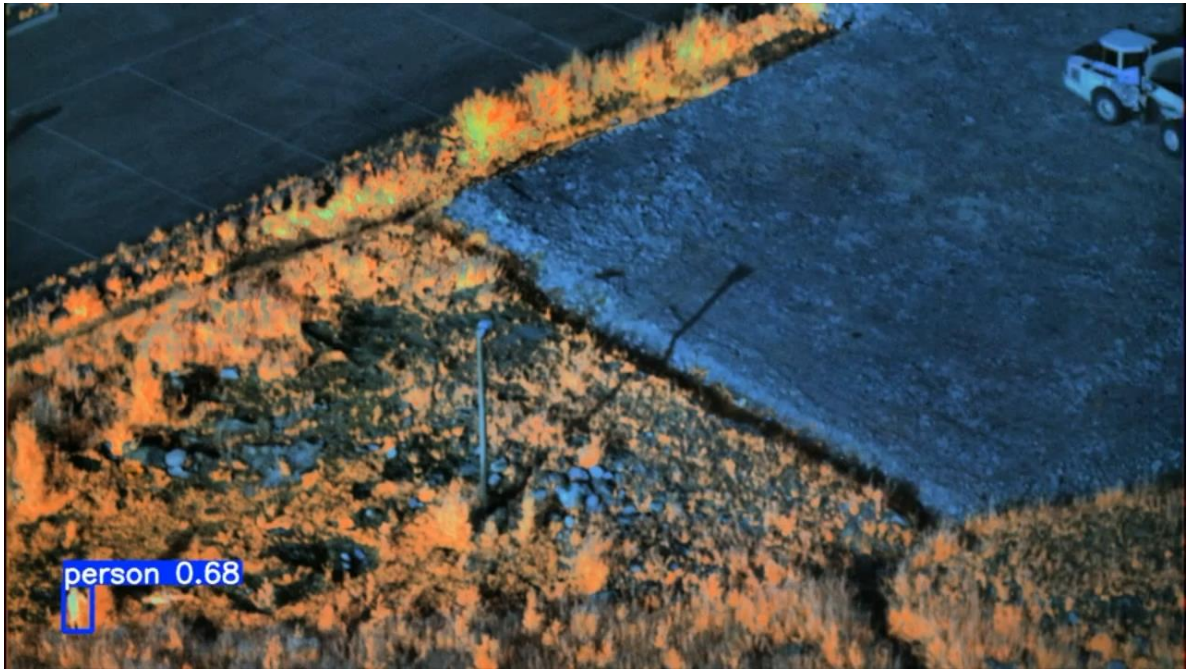
1280

KUVAN RESOLUUTIO

YOLO v12 detektio

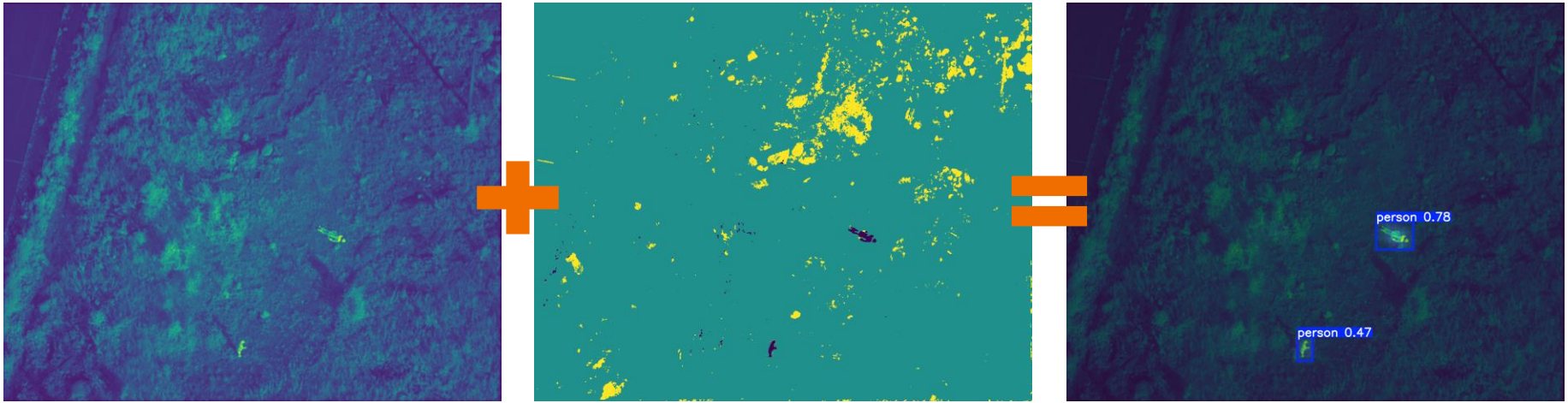
- Verkkona käytetty YOLOv12 nano reaaliaikaiseen tunnistukseen kameraan integroidulla laitteistolla
- Kuvanmuodostuksessa päädyttiin viiteen aallonpituuskanavaan koostetuista esimerkkispektreistä LDA:lla tehdyn analyysin perusteella.
  - 680, 790, 870, 980 ja 1190 nanometriä
- Kolmekanavaiset väärävärikuvat koostetaan käyttäen aritmeettisia operaatioita
  - Valaistus/sää/ympäristö vaikuttaa eri aallonpituuksiin eri tavalla
    → mahdollista edelleen optimoida kuvien koostamisessa
  - Esimerkkinä väärävärikuvien koostamisen kehittymisestä droonikuvantamisessa

Ensimmäiset lentotulokset



Testejä random forest menetelmällä

- Tunnistus YOLOlla pääosin spatiaalisten piirteiden perusteella
  - Aallonpituusalueet valittu spektritiedon perusteella
- Kokeiltu Random forest menetelmä luokitteluun täysin spektrien perusteella
  - Alla esimerkissä menetelmä esiopetettu kolmen luokan esimerkkispektreillä
  - Menetelmällä voidaan myös korostaa tiettyjen luokkien piirteitä kuvissa



Yhteenveto

- Kaikki projektin tavoitteet saavutettiin
  - Reaaliaikainen dataprosessointi
  - Riittävän kompakti koko
  - Kohteen luokittelu spektrin avulla
- Jatkokehityksen aiheita
  - Spektrianalyysin ja hahmontunnistuksen yhdistäminen paremmin
  - Kuvien keskinäinen asemointi

beyond
the obvious

Antti Näsilä
Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy