

# Sisätilojen ja avoimen ympäristön 3D-mallinnus maanpuolustuksessa

4/2024 – 12/2025

Jani Boutellier<sup>1</sup>, Juho Kannala<sup>2</sup>, Esa Rahtu<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Vaasan yliopisto

<sup>2</sup> Aalto-yliopisto

<sup>3</sup> Tampereen yliopisto

# Sisältö

- ▶ Johdatus aiheeseen ja hankkeen tavoitteet
- ▶ Lähtökohdat
- ▶ Alkuvaiheen tuloksia

# **Johdatus aiheeseen ja hankkeen tavoitteet**

# Johdatus aiheeseen (1/4)

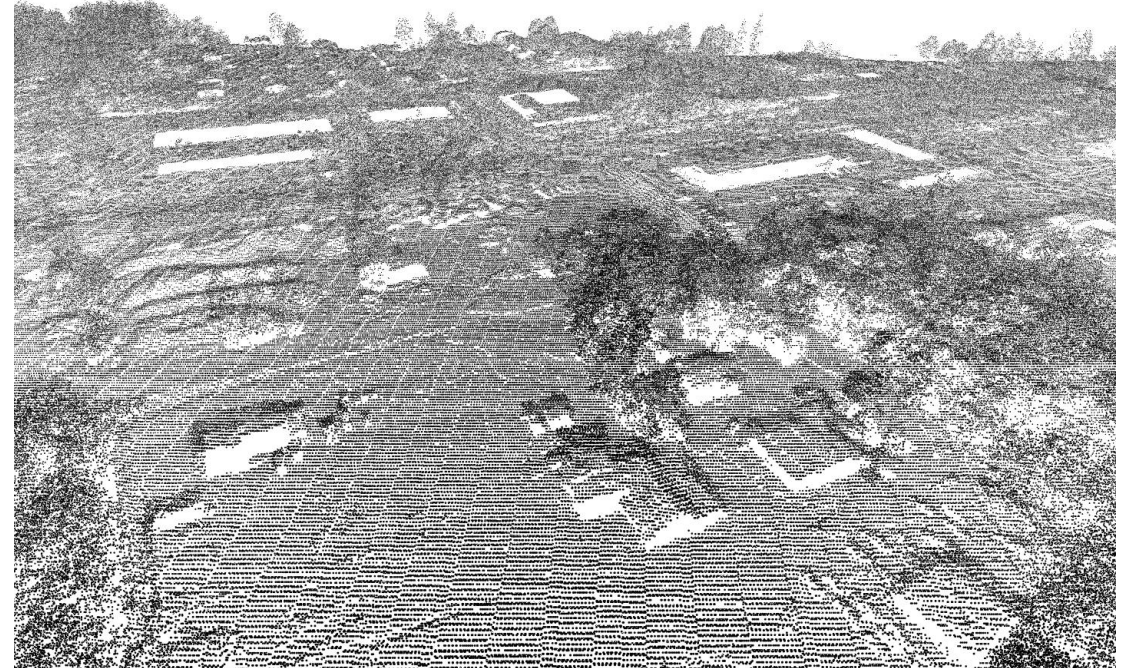
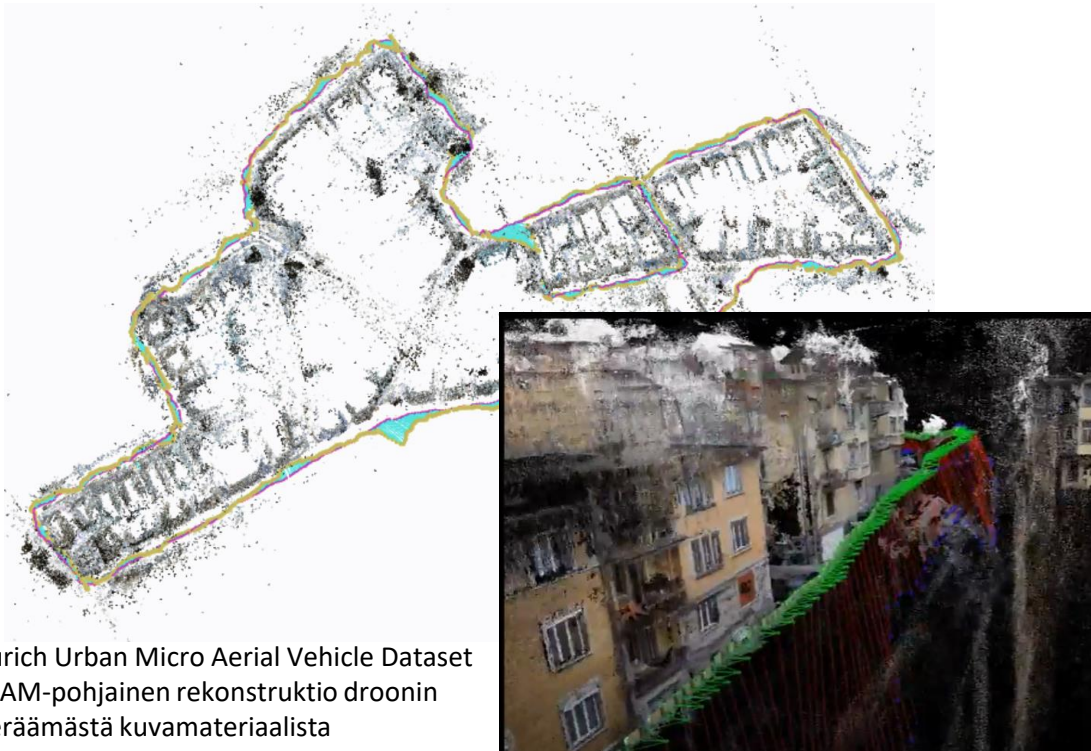
- ▶ Stereokamerat, syvyyskamerat ja LIDAR –laitteet kykenevät muodostamaan kuvaamastaan ympäristöstä syvyyskarttoja ja 3D-rekonstruktioita
- ▶ Kuluttajatasen laitteillakin (esimerkit alla) tulokset voivat olla kohtuullisia pienillä alueilla, missä kohteita päästään kuvaamaan läheltä ja eri kuvakulmista





# Johdatus aiheeseen (2/4)

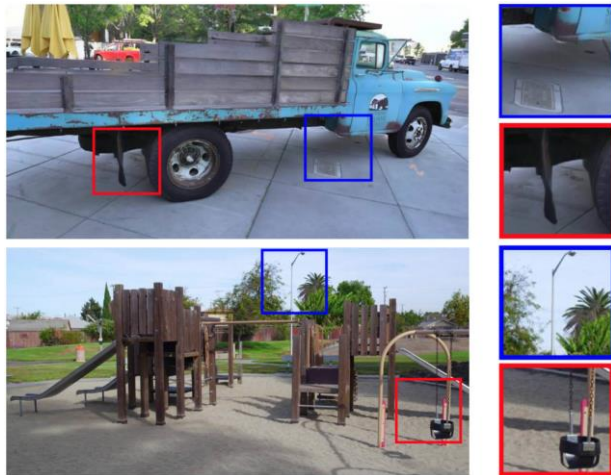
- ▶ Drooneilla ja lentokoneilla tehtävällä maastokartoituksella kuvattavat alueet ovat laajoja, mikä tuottaa monenlaisia haasteita
- ▶ 3D –rekonstruktioiden *pistepilvien* pistemäärävaihtelu vaikeuttaa tulkintaa



Maanmittauslaitoksen ALS 5p/m<sup>2</sup> pistepilvidataa Pieksämäeltä

# Johdatus aiheeseen (3/4)

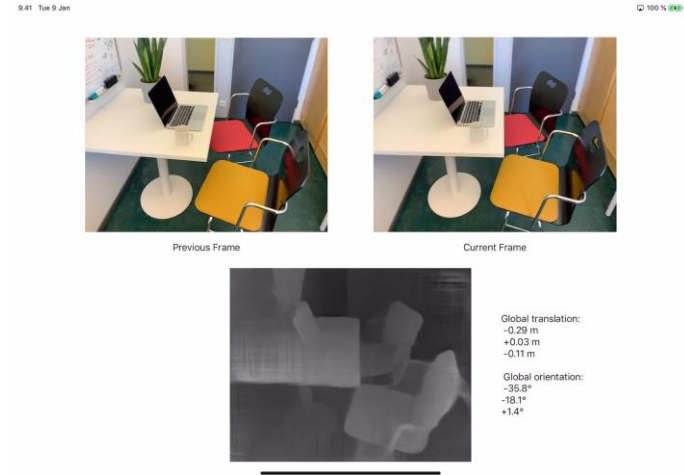
- ▶ Syväoppimiseen perustuvat menetelmät ovat avanneet uusia mahdollisuuksia kuvadatasta tehtävään 3D -rekonstruktioon



RGBDNet -menetelmämme



Yhdellä iPhone-kameralla  
tuotettu syvyyskartta

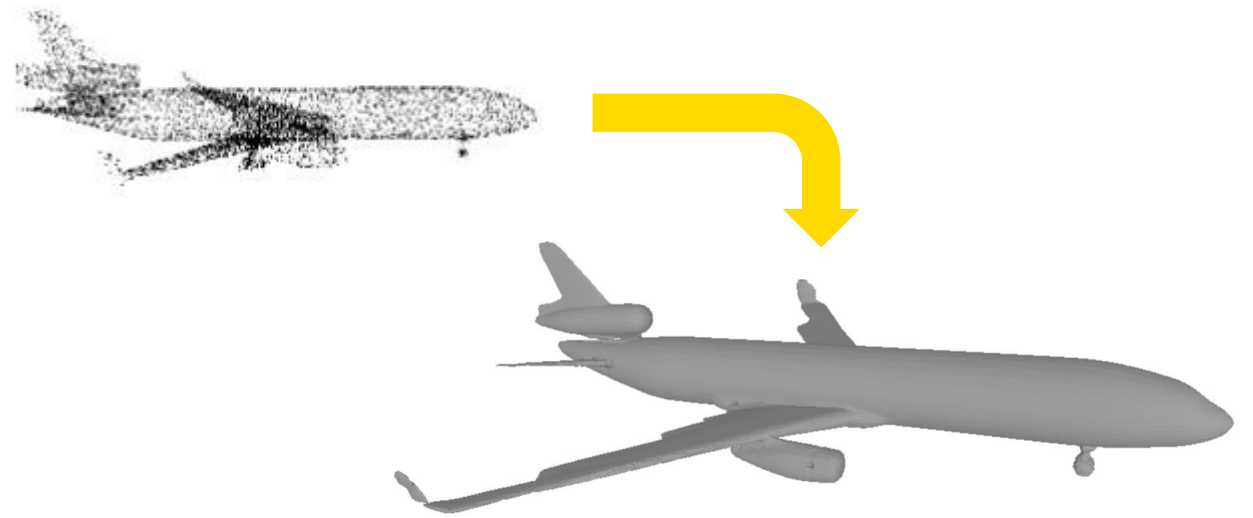
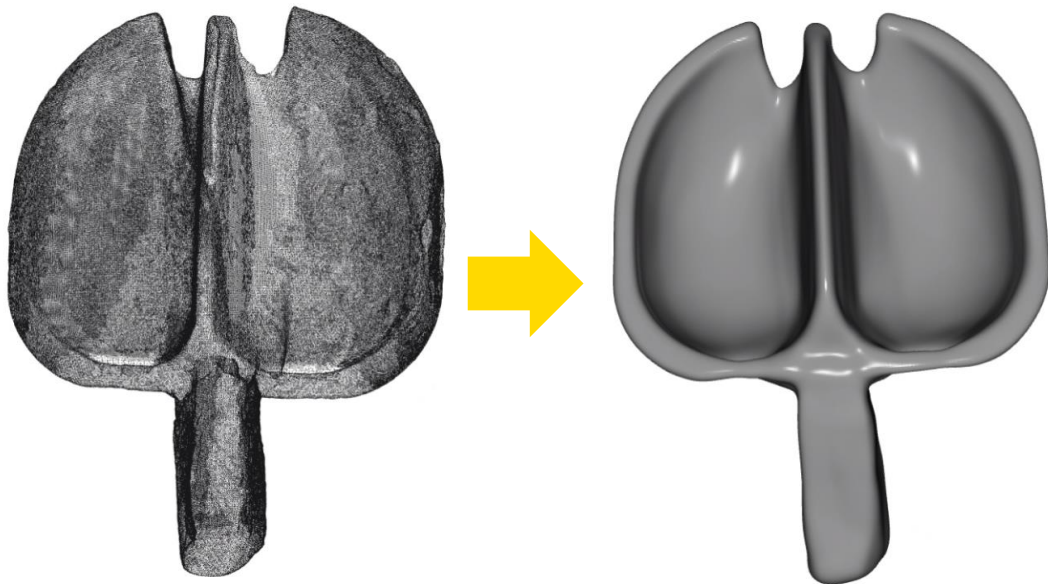


iPadilla toimiva  
menetelmämme



# Johdatus aiheeseen (4/4)

- ▶ Syväoppimispohjainen DC-DFFN –menetelmämme 3D-rekonstruktioon pystyy tihentämään pistepilviä tai muodostamaan pistepilvelle yhtenäisen pinnan



# Hankkeen tavoitteet

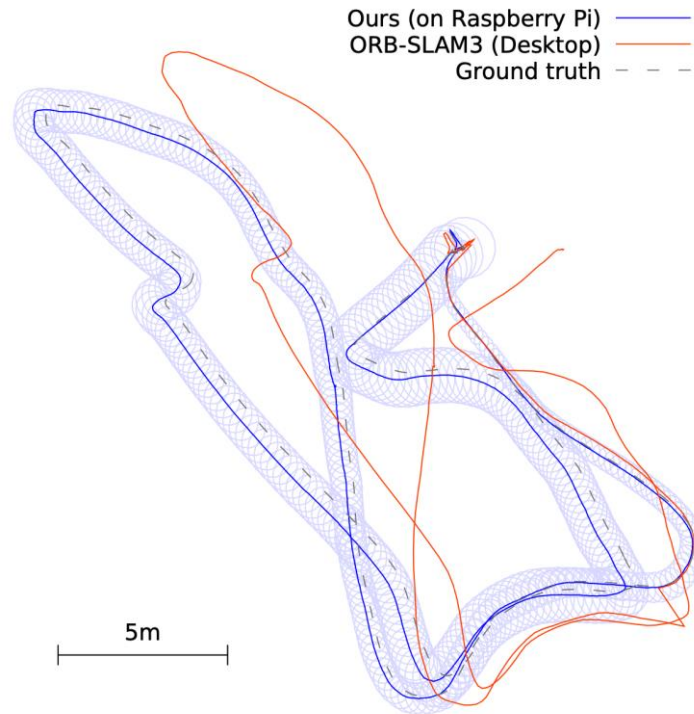
- ▶ Hankkeen tavoitteet (tutkimussuunnitelmasta)
  - 1) Edelleenkehittää aiempien töidemme pohjalta ulkopuolisesta infrastruktuurista riippumatonta visuaali-inertiaalidometriaa droonin kulkeman reitin ja sijainnin ylläpitämiseen, sekä SLAM-teknologiaa reaaliaikaiseen kolmiulotteisen pistepilven muodostamiseen ennalta tuntemattoman ympäristön piirteistä, ja
  - 2) Nopeaa ja geometrisesti tarkkaa SLAM-pistepilven muuntamista yhtenäiseksi ympäristön 3D-havainnemalliksi hyödyntäen syväoppimisen ja tietokonenäön uusimpia menetelmiä tukeutuen
  - 3) energiatehokkaaseen hajautettuun laskentaan.



# Tutkimuksen lähtökohdat

# Tutkimuksen lähtökohdat (1/4)

- ▶ Visual inertial odometry, SLAM ja visuaalinen paikannus



## HybVIO, WACV 2022

Rank	Method	Year & org.	online error (cm)
1	HybVIO	2022 (ours)	6.1
2	Basalt	2020, <a href="#">TUM</a>	7.2
3	VI DSO	2018, TUM	8.9
4	LARVIO	2020, <a href="#">BUAA</a>	11.6
5	Kimera	2020, <a href="#">MIT</a>	11.9
6	VINS Fusion	2019, <a href="#">HKUST</a>	13.8

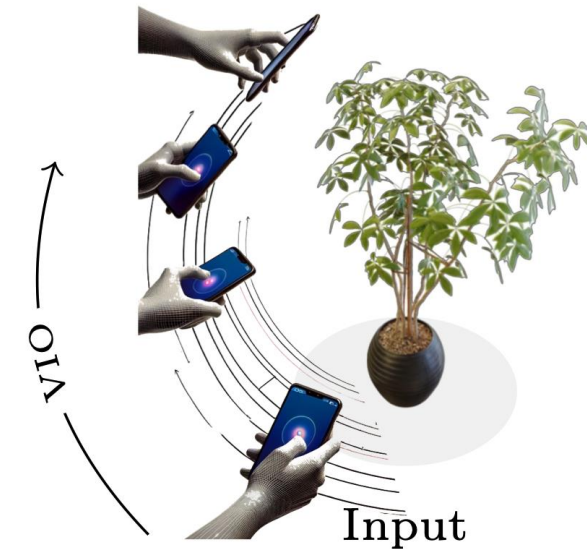
*Benchmark 1: EuRoC MAV -> best online accuracy*

# Tutkimuksen lähtökohdat (2/4)

- ▶ 3D datan uudet representaatiot (Gaussian Splatting, Neural Radiance Fields)



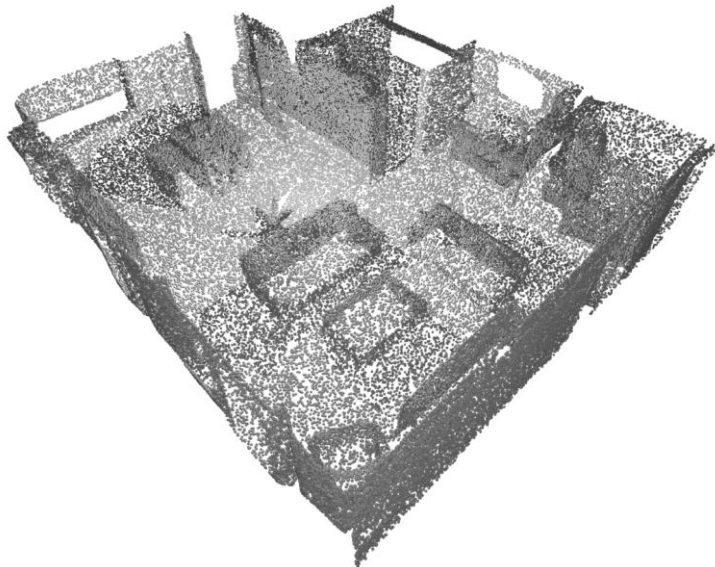
DN-splatter: <https://maturk.github.io/dn-splatter/>



Gaussian Splatting on the move:  
<https://spectacularai.github.io/3dgs-deblur/>

# Tutkimuksen lähtökohdat (3/4)

- ▶ Syviin neuroverkkoihin pohjautuvien menetelmien keskiössä on koulutusdata
- ▶ Avoimien ympäristöjen ja tilojen 3D –koulutusdatan merkittäviä datasettejä ovat ScanNet ja Matterport 3D

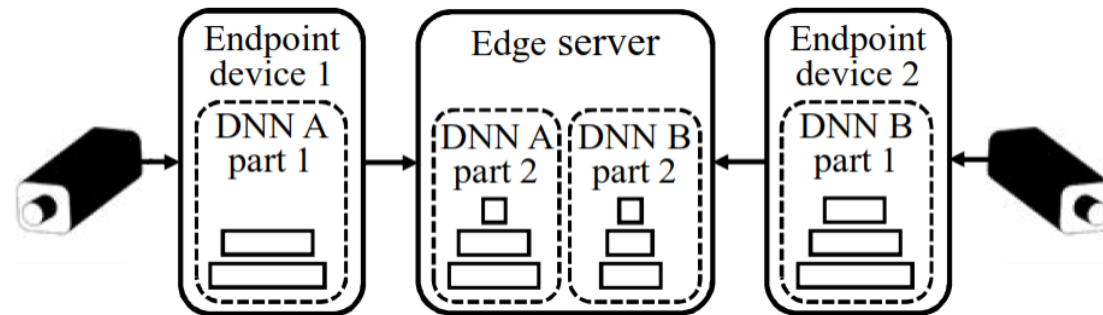


- ▶ Menetelmien käytännön testaamiseen tulemme käyttämään mm. myös itse keräämiämme datasettejä (mm. TBPos)



# Tutkimuksen lähtökohdat (4/4)

- ▶ Hajautetun laskennan osa-alueella lähtökohtana toimii kehittämämme Edge-PRUNE – laskennan hajautusmenetelmä
  - ▶ Edge-PRUNella syvä neuroverkko voidaan jakaa suoritettavaksi resurssirajoitteen päätelaitteen (esim. droni) ja palvelimen kesken



# Hankkeen alkuvaiheen tuloksia

# Hankkeen alkuvaiheen tuloksia

- ▶ Laajojen alueiden ja sisätilojen (kampus) tehokas 3D mallintaminen kalansilmäkameran tai 360-kameran avulla.
- ▶ Tavoitteena geometrisesti tarkka malli, josta voidaan tuottaa korkealaatuisia RGB kuvia valituista kuvakulmista.
- ▶ Vastaavaa demonstroitu pääasiassa esineiden mallinnuksessa ja pienissä tiloissa.
- ▶ Aiemmat lähestymistavat käyttävät perspektiivikameroita, joilla tallennus isoissa tiloissa on hidasta ja virhealtista.



# Hankkeen alkuvaiheen tuloksia

- ▶ Testilaitteena Insta360-kamera, jossa kaksi noin 200-asteen kalansilmälinssiä ja noin 6k resoluutio.
- ▶ Insta360 edustaa kuluttajatasen edullista laitetta, jonka hankintahinta on alle 1000€.



Figure Reference: <https://www.superkuva.fi/insta360-one-rs-1-inch-360>





# Hankkeen alkuvaiheen tuloksia

- ▶ Esimerkki 1: pienen alueen mallinnus

PSNR	SSIM	LPIPS
26.167	0.879	0.299



# Hankkeen alkuvaiheen tuloksia

- ▶ Esimerkki 2: laajemman alueen mallinnus



# Hankkeen alkuvaiheen tuloksia



SALD [1]



DC-DFFN [2]



ADR-SALD



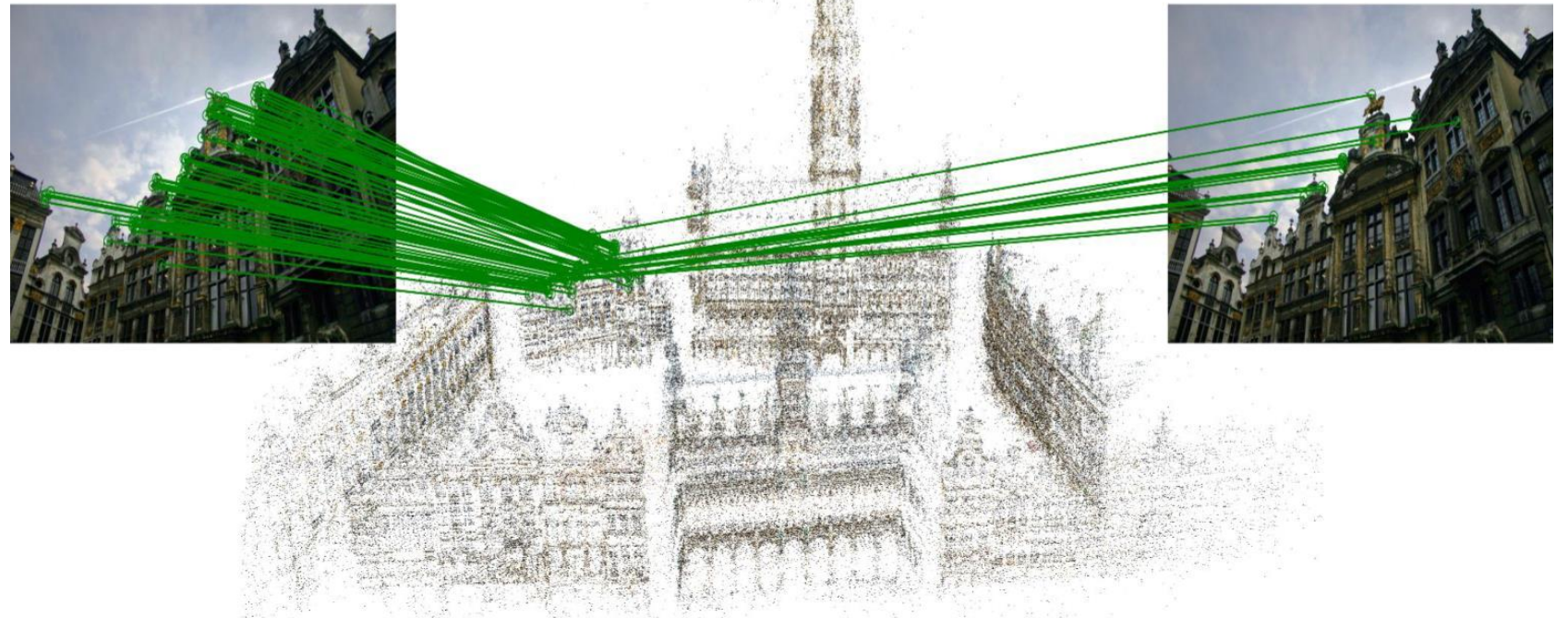
Ground Truth

- ▶ Syväoppimis pohjainen 3D-muotojen mallintamiseen ja havainnollistamiseen perustuva ADR-SALD –työ vertaisarvioinnissa
- ▶ Työ perustuu osittain aiempaan DC-DFFN –menetelmäämme, mutta päihittää sen ja muitten vastaavien menetelmien suorituskyvyn



# Kuvapohjainen paikannus ulkotiloissa

- ▶ DGC-GNN – menetelmämme
- ▶ Soveltuu esim. droonin oman sijainnin selvittämiseen pelkän droonin kameran kuvan perusteella
- ▶ Oletuksena ympäristön 3D pistepilvimalli

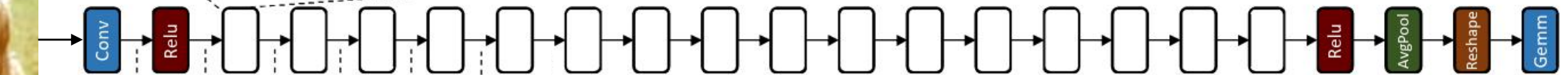
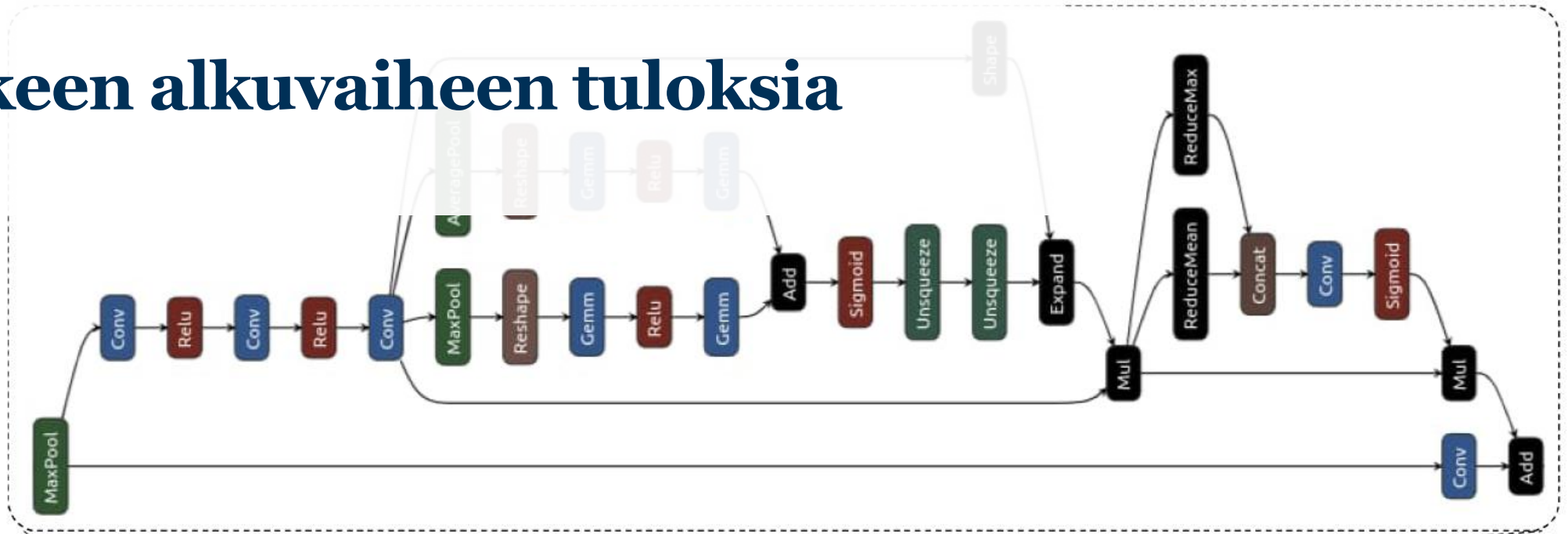




# Hankkeen alkuvaiheen tuloksia

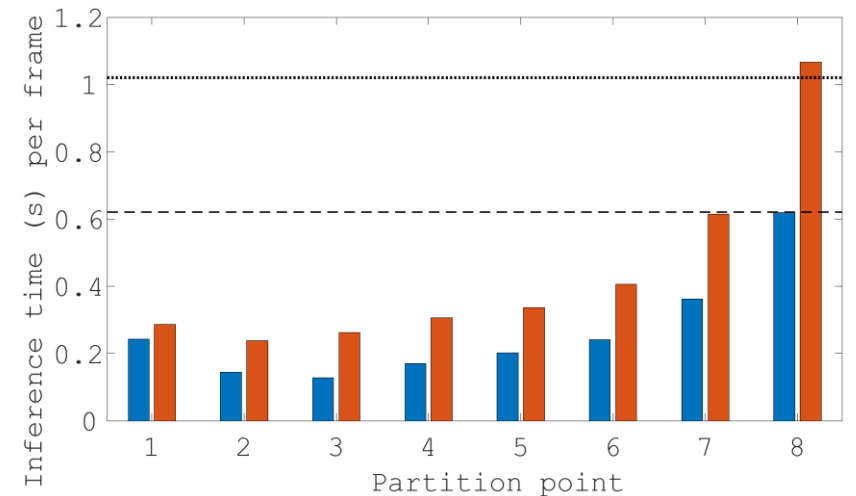
- ▶ Neuroverkkojen laskennan hajauttamisen menetelmämme Edge-PRUNE:n kehittämistyötä on jatkettu:
  - ▶ Menetelmä tukee nyt laitteisto- ja ohjelmistoriippumatonta avointa ONNX –rajapintaa, jonka avulla vallitsevista PyTorch- ja TensorFlow neuroverkko-ohjelmistoista saa tuotua neuroverkkokuvauksen Edge-PRUNEen
  - ▶ Edge-PRUNE mahdollistaa neuroverkon hajauttamisen useamman, laskentakapasiteetiltaan vaatimattoman laitteen (esim. drooni) ja suorituskykyisen palvelimen välillä
  - ▶ Muista vallitsevista hajauttamisen menetelmistä poiketen Edge-PRUNE sisältää häiriönsietoisuuteen liittyviä ratkaisuja
  - ▶ Hajauttamisella voidaan vähentää langattoman linkin yli siirrettävän tiedon määrää ja parantaa siirrettävän tiedon tietoturvaa

# Hankkeen alkuvaiheen tuloksia



# Hankkeen alkuvaiheen tuloksia

- ▶ Laitteistotestaus Edge-PRUNella suoritettiin käyttämällä
  - ▶ Raspberry Pi –tyylisiä kompakteja sulautettuja tietokoneita
  - ▶ Palvelimena käytettiin tehokasta kannettavaa tietokonetta
- ▶ Suorituskyvyn mittaukset näyttivät, että Edge-PRUNE päihittää Python-pohjaisen vastaavan menetelmän selkeällä marginaalilla
- ▶ Edge-PRUNE:a lehtiartikkelikäsitelmä vertaisarvioinnissa



Sininen: Edge-PRUNE

Punainen: ANS (Zhang et al, 2021)