

Sisätilojen ja avoimen ympäristön 3D-mallinnus maanpuolustuksessa

MATINE seminaari 20.11.2025

Jani Boutellier¹, Juho Kannala², Esa Rahtu³

¹ Vaasan yliopisto

² Aalto-yliopisto

³ Tampereen yliopisto

MATINE tuki hankkeelle yliopistoittain

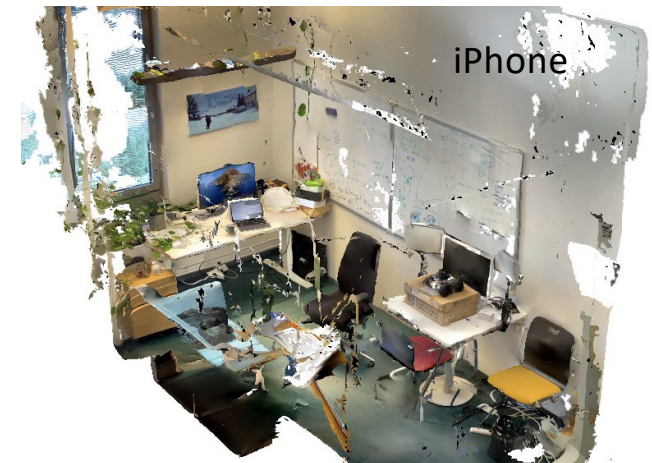
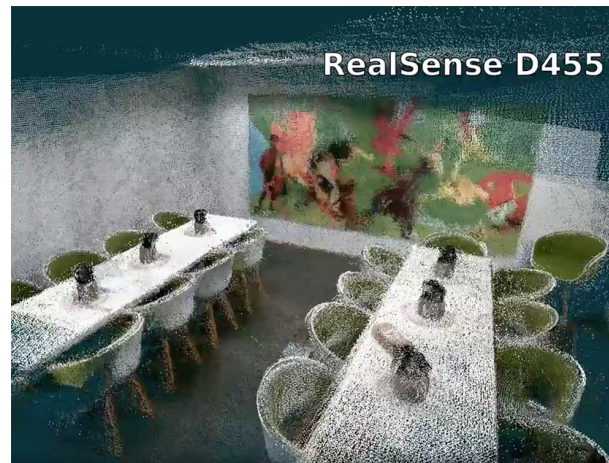
Vaasan yliopisto, 56272 €

Aalto yliopisto, 54801 €

Tampereen yliopisto, 56546 €

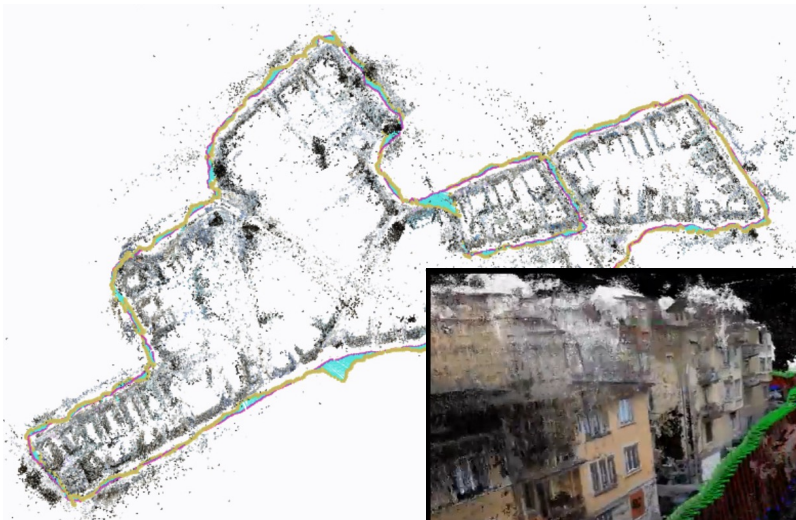
Johdatus aiheeseen

- ▶ 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

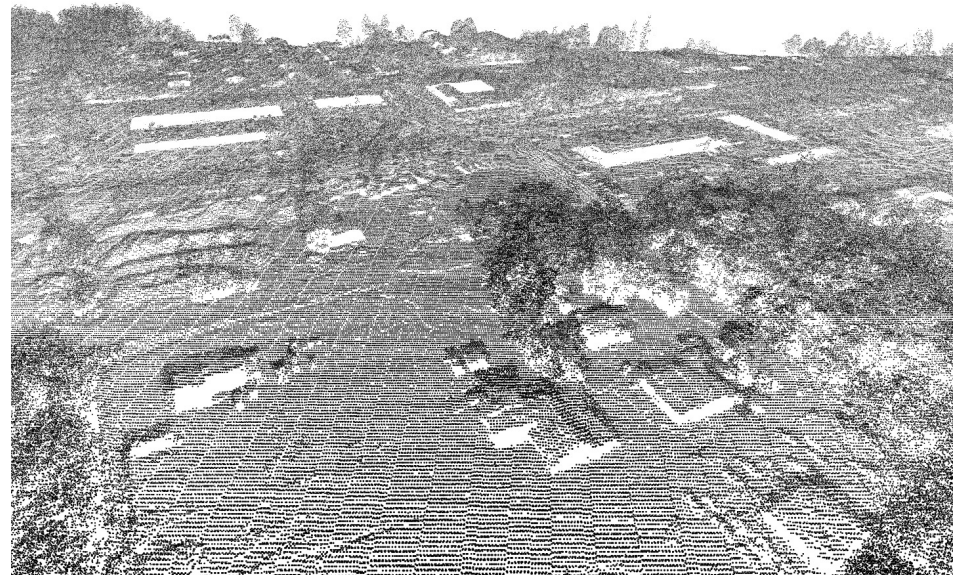
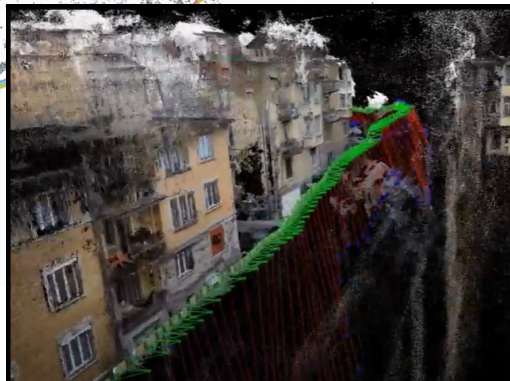


Johdatus aiheeseen

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



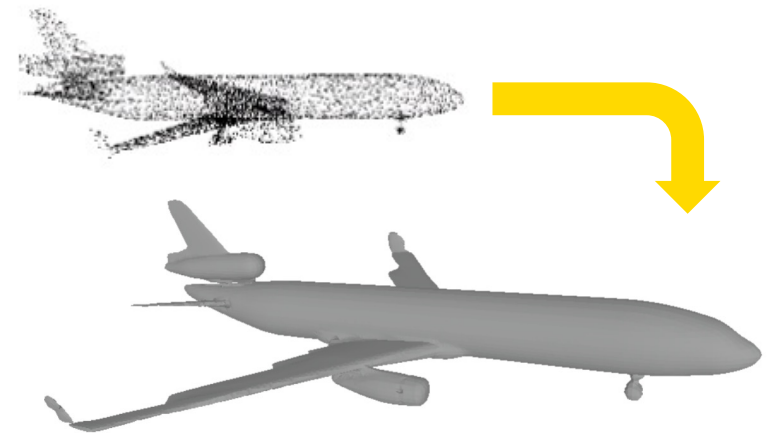
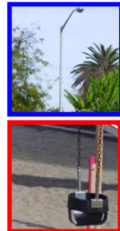
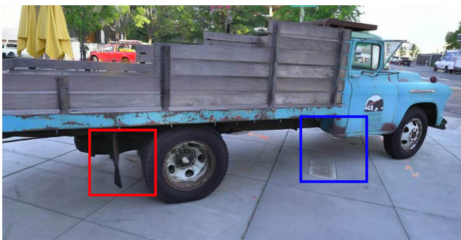
Zurich Urban Micro Aerial Vehicle Dataset
SLAM-pohjainen rekonstruktio droonin
keräämästä kuvamateriaalista



Maanmittauslaitoksen ALS 5p/m² pistepilvidataa Pieksämäeltä

Johdatus aiheeseen

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

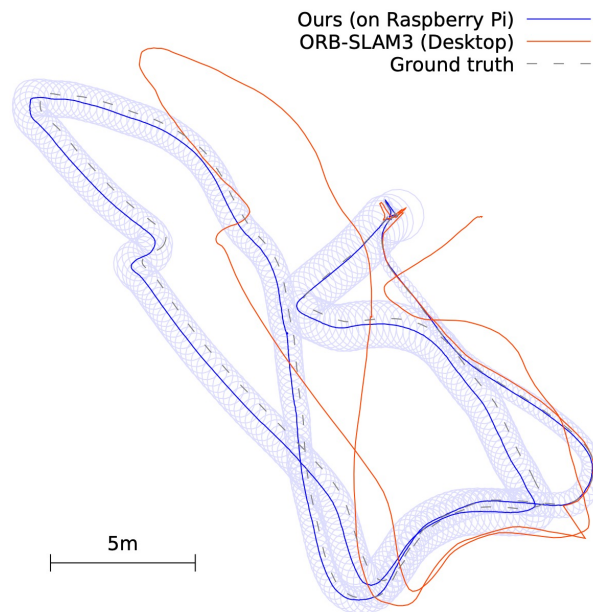


Hankkeen tavoitteet

- ▶ Hankkeen tavoitteet (tutkimussuunnitelmasta)
 - 1) Kehittää aiempien töiden pohjalta infrastuktuurista riippumatonta sijainnin ylläpitämistä, sekä teknologiaa reaaliaikaiseen 3D pistepilven muodostamista visuaalisen datan avulla.
 - 2) Geometrisesti tarkka pistepilven muuntaminen yhtenäiseksi 3D-malliksi syväoppimista ja tietokonenäön uusimpia menetelmiä ja hajautettua laskentaa käyttäen.

Tutkimuksen lähtökohdat

- Visual-inertial odometry, SLAM ja visuaalinen paikannus



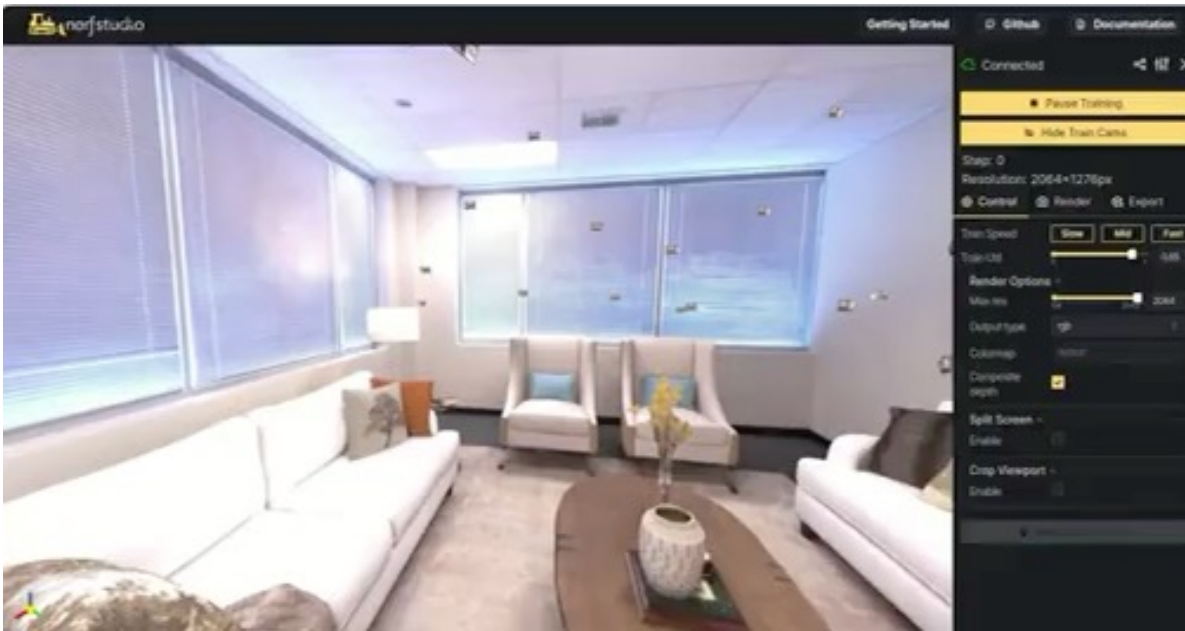
HybVIO, WACV 2022

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

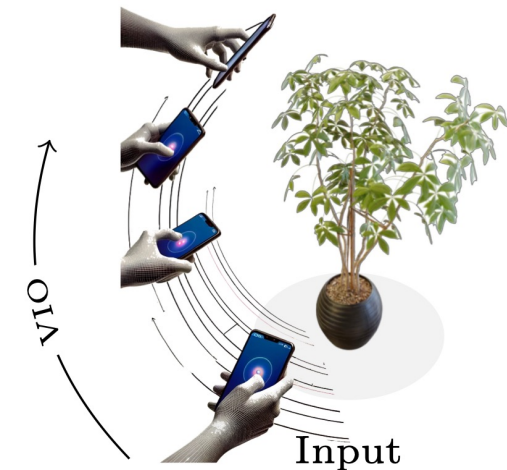
Benchmark 1: EuRoC MAV -> best online accuracy

Tutkimuksen lähtökohdat

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



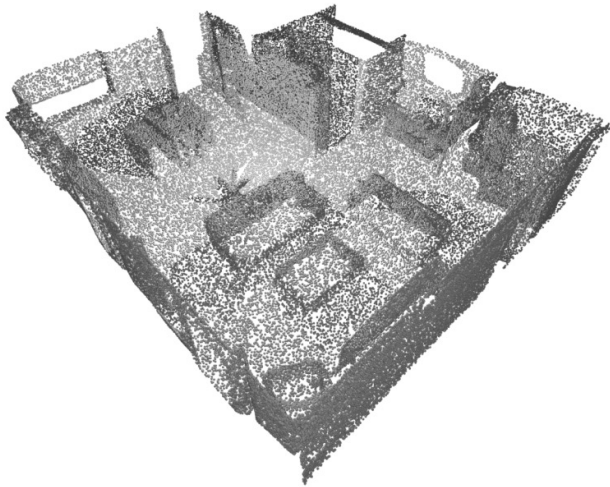
DN-splatter: <https://maturk.github.io/dn-splatter/>



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

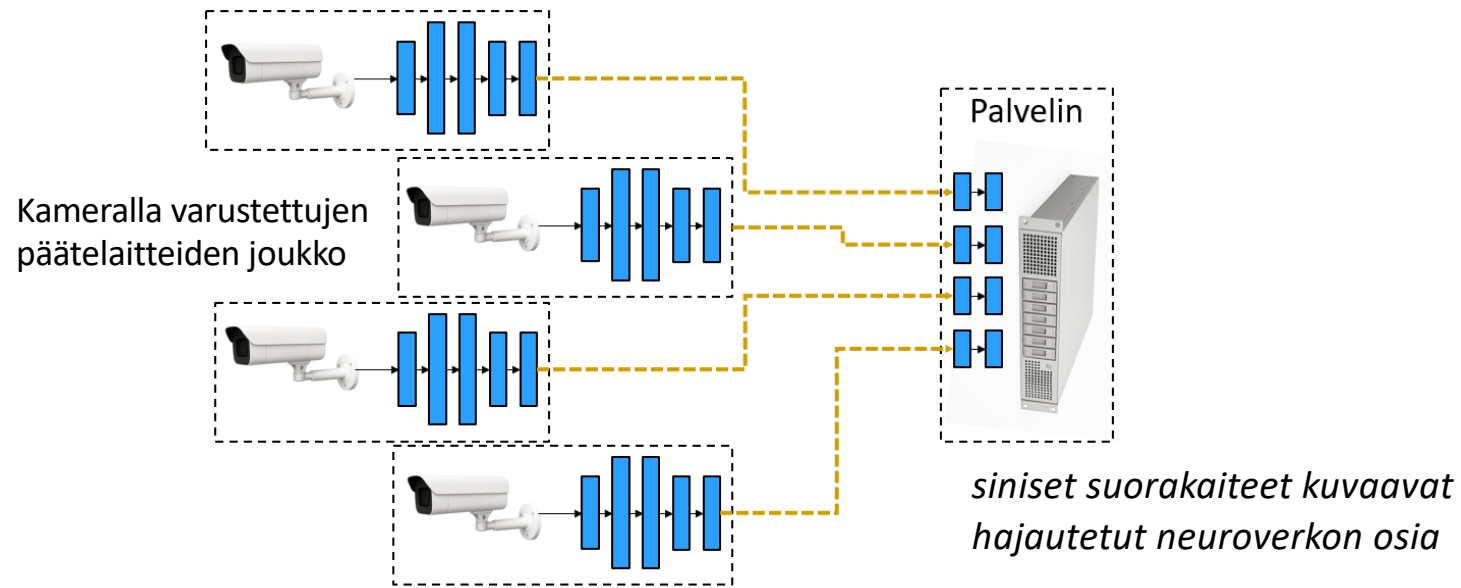
Tutkimuksen lähtökohdat

- ▶ Avoimien ympäristöjen ja tilojen 3D-opetusdata
 - ▶ ScanNet ja Matterport 3D, sekä omat datasetit kuten TBPos



Tutkimuksen lähtökohdat

- ▶ Edge-PRUNE –laskennan hajautusmenetelmä
 - ▶ Edge-PRUNella neuroverkko voidaan jakaa suoritettavaksi päätelaitteen ja palvelimen kesken



Hankkeen tuloksia – 3D rekonstruktio pistepilvestä

ADR-SALD : Attention-Based Deep Residual Sign Agnostic Learning With Derivatives for Implicit Surface Reconstruction, IEEE Access, vol. 13, pp. 44243-44259, 2025



SALD [1]



DC-DFFN [2]



ADR-SALD

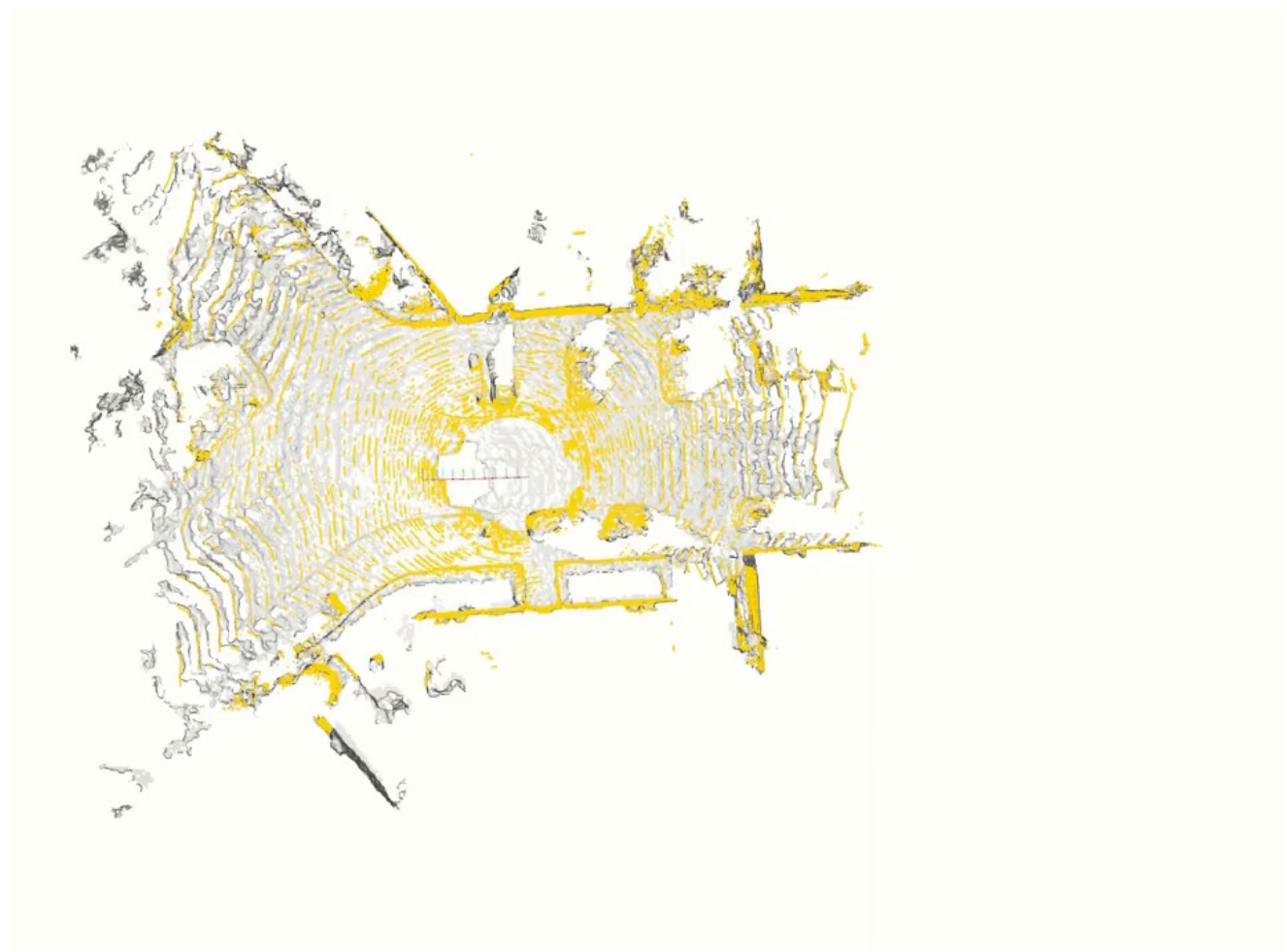


Ground Truth

- ▶ Syväoppimispohjainen 3D-muotojen mallintaminen ja havainnollistaminen
- ▶ Laajentaa aiempaa DC-DFFN-menetelmää, parantaen suorituskykyä

Pintamallin rakentaminen vaiheittain

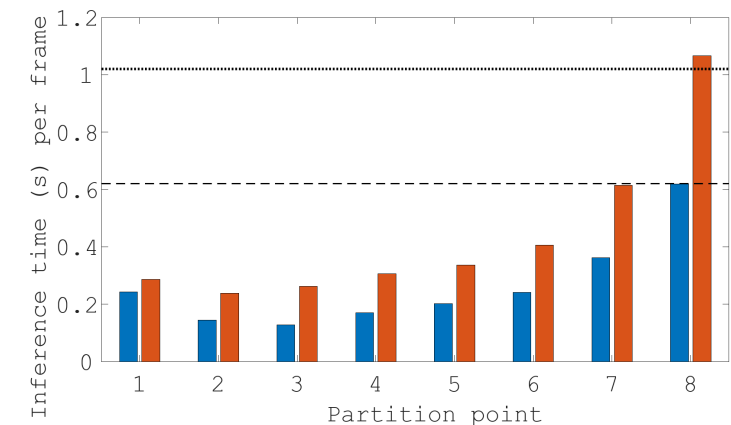
- ▶ Pintamallin rakentaminen liikkuvan ajoneuvon skannaamista pistepilvistä
- ▶ Malli tarkentuu ja laajenee ajoneuvon edetessä



Hankkeen tuloksia – laskennan hajautus

Edge-PRUNE: A Dataflow-based Framework for Distributed Signal Processing and Machine Learning, *EEE Transactions on Signal Processing*, 73, 3302-3315, 2025

- ▶ Laskennan hajautus päätelaitteen ja palvelimen välillä
- ▶ Laitteisto- ja ohjelmistoriippumaton ONNX-rajapinta
- ▶ Vähentää linkin yli siirrettävän datan määrää
 - ▶ Parantaa tiedonsiirron tietoturvaa
- ▶ Laitteistotestaus Edge-PRUNella suoritettiin käyttämällä
 - ▶ Raspberry Pi –tyylisiä kompakteja sulautettuja tietokoneita
 - ▶ Palvelimena käytettiin tehokasta kannettavaa tietokonetta

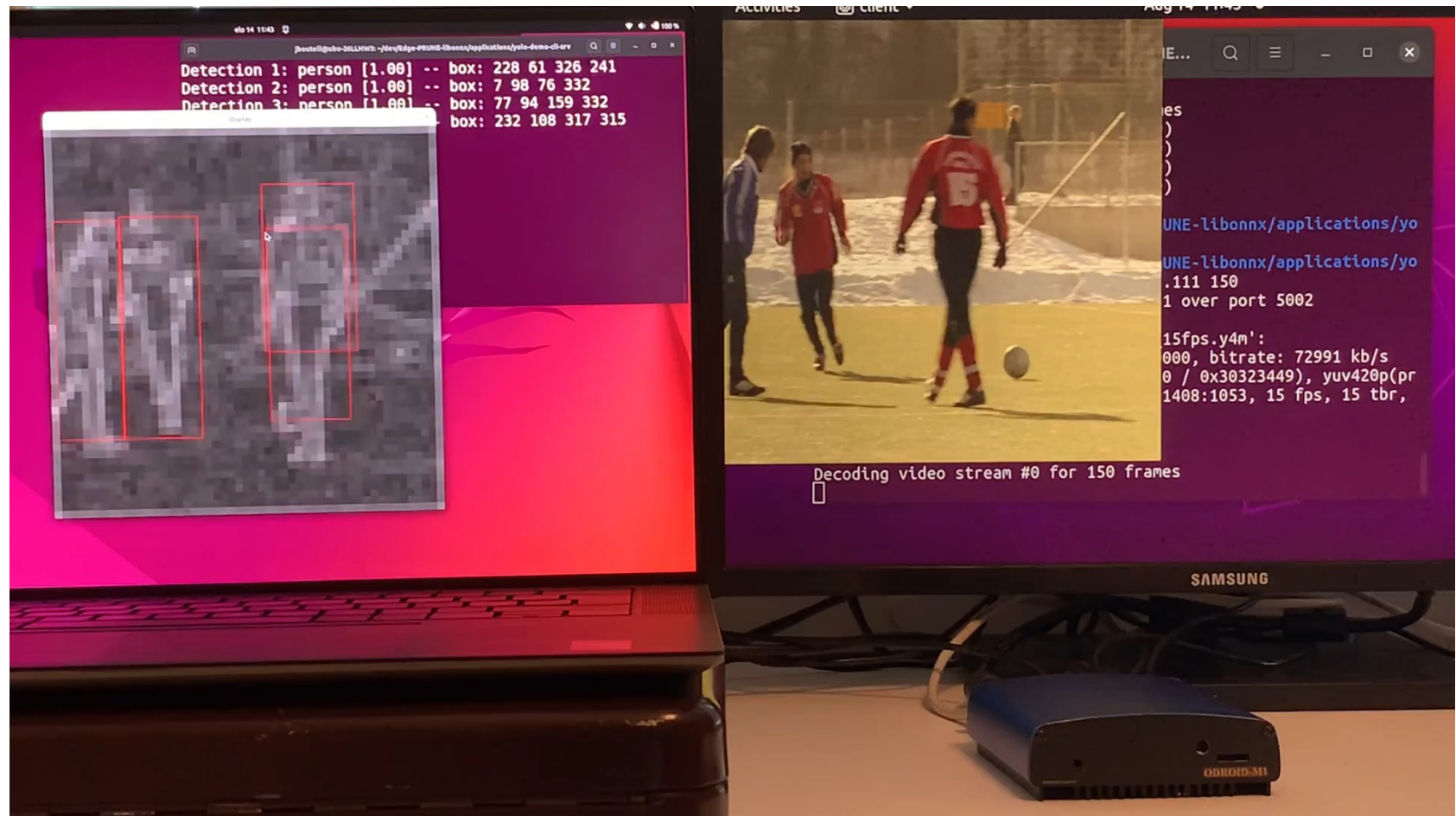


Sininen: Edge-PRUNE

Punainen: ANS (Zhang et al, 2021)

Laskennan hajautus - video

- ▶ Tieto siirtyy "salattuna"
- ▶ 67% vähemmän dataa siirrettäväksi päätelaitteelta serverille
- ▶ Päätelaitteen laskenta nopeutuu 4.8x
- ▶ Matala latenssi



Hankkeen tuloksia – DN-splatter & AGS-mesh

AGS-Mesh: Adaptive Gaussian Splatting and Meshing with Geometric Priors for Indoor Room Reconstruction Using Smartphones, International Conference on 3D Vision (3DV), 2025

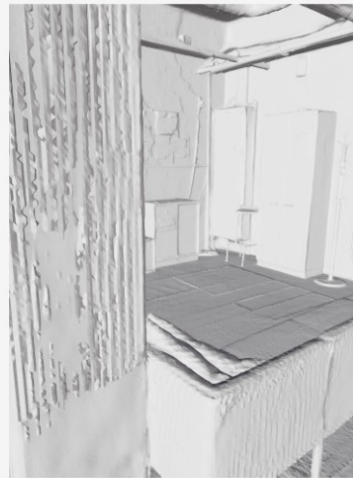
- ▶ Alhaisen resoluution syvyyskameran ja korkean resoluution värikameran informaation yhdistäminen 3D Gaussian splatting –mallien rakentamisessa



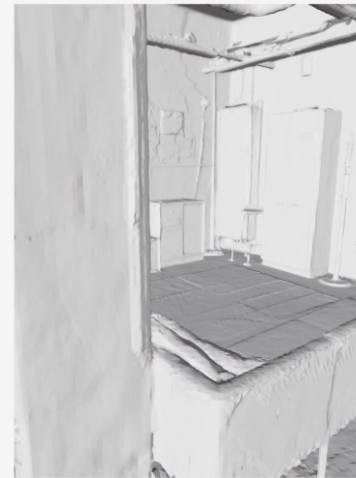
3DGS



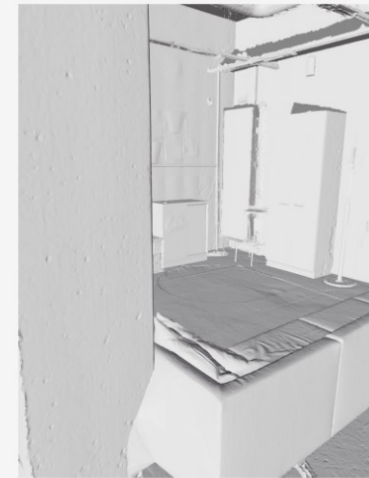
2DGS



DN-Splatter

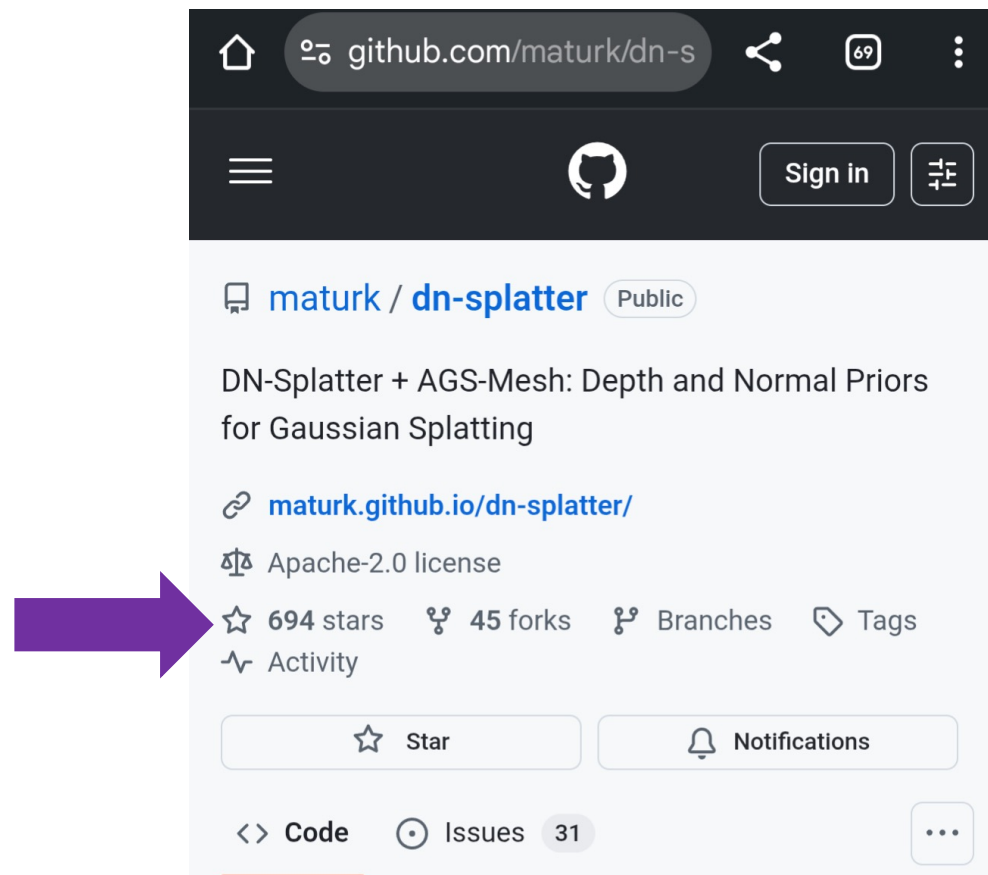


2DGS + Ours

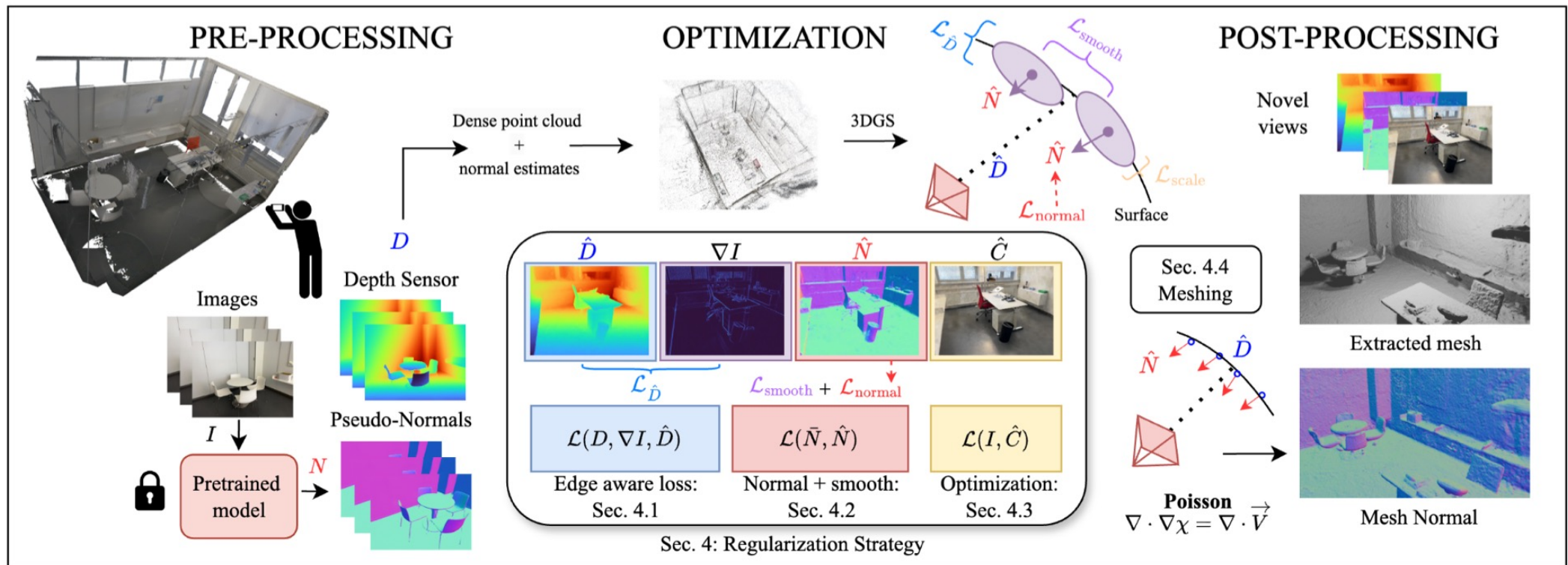


Reference mesh

Menetelmän avoin lähdekoodi on ollut suosittu



Menetelmän yleiskuva:



Overview: Depth and normal guided 3DGS results in more photorealistic novel-view synthesis as well as better geometric reconstructions.

Tuloksia havainnollistettuna

Mesh comparison:



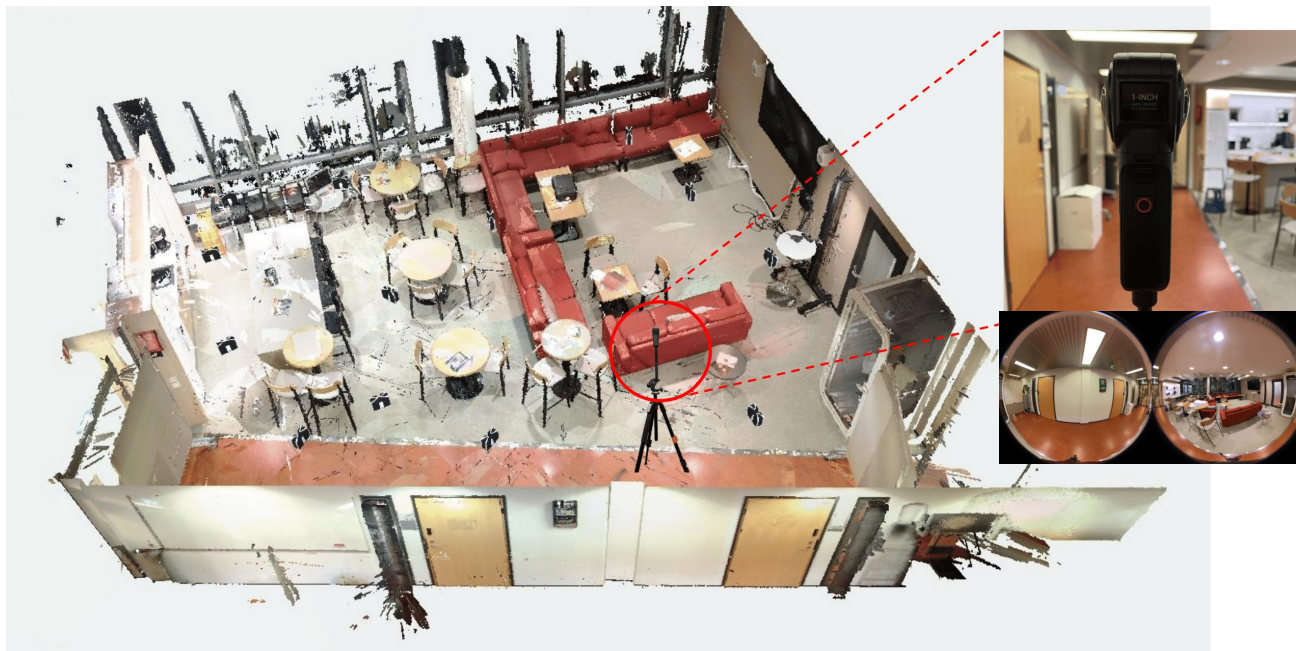
Ympäristöjen mallinnus 360-kameralla

- ▶ Laajojen alueiden tehokas 3D mallintaminen kalansilmäkameran tai 360-kameran avulla.
- ▶ Tavoitteena geometrisesti tarkka malli, josta voidaan tuottaa korkealaatuisia RGB kuvia valituista kuvakulmista.
- ▶ Testilaitteena Insta360-kamera, jossa kaksi noin 200-asteen kalansilmälinssiä ja noin 6k resoluutio



Hankkeen tuloksia – FIORD-datasetti ja testipenkki

FIORD: A Fisheye Indoor-Outdoor Dataset with LIDAR Ground Truth for 3D Scene Reconstruction and Benchmarking, Scandinavian Conferences on Image Analysis, 2025



Kiitos! Kysymyksiä?