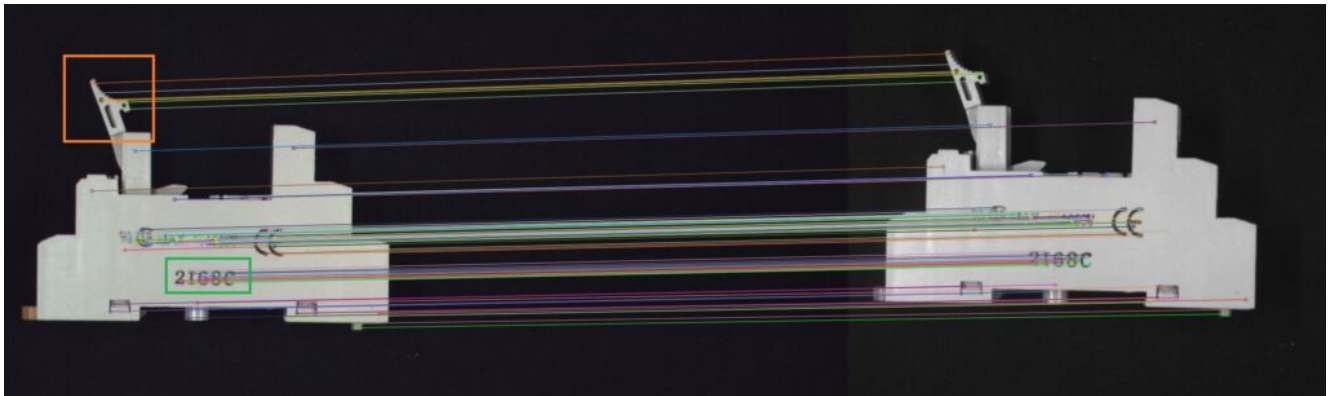
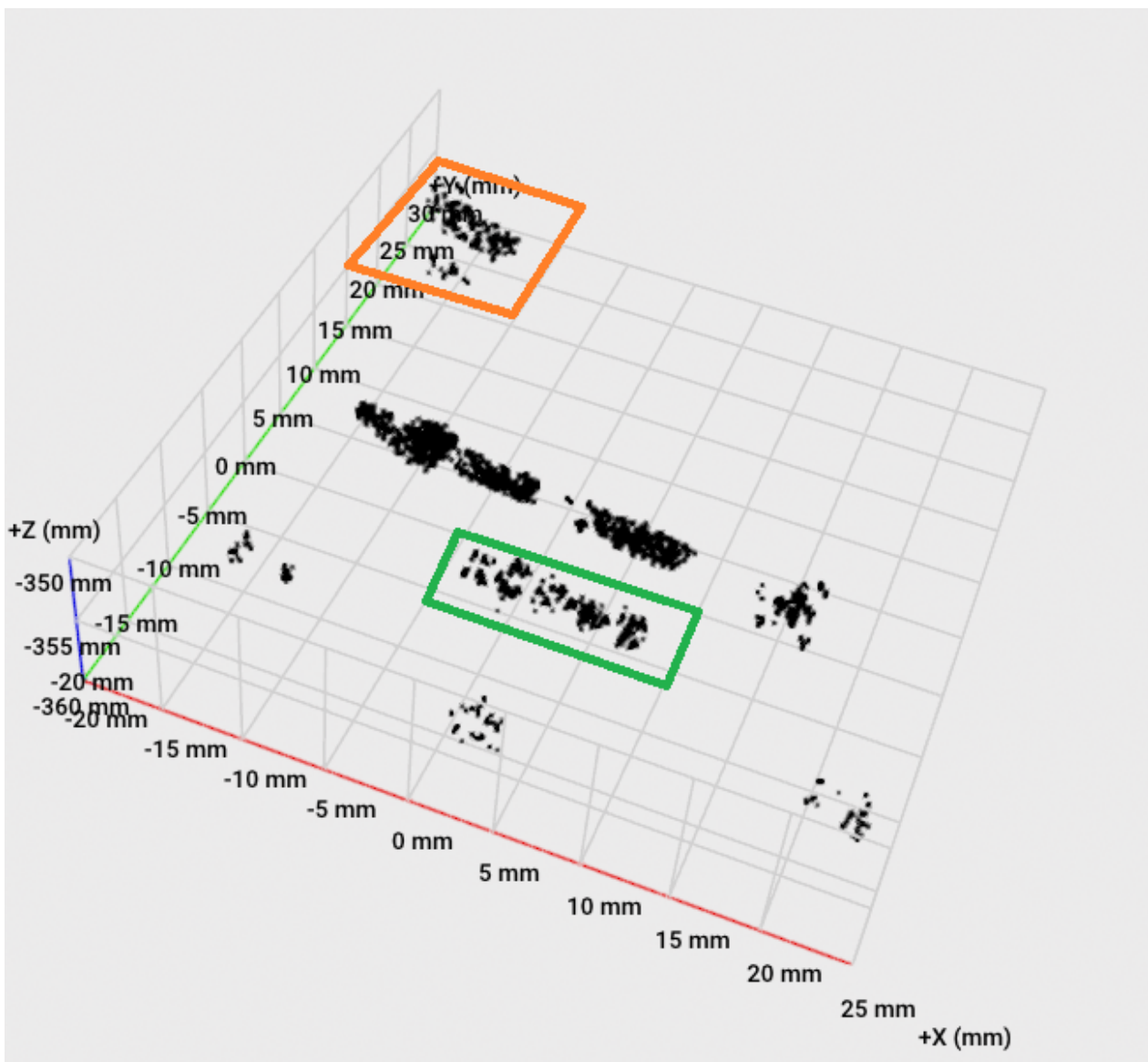




Valolla lisää tekstuuria 3D-mittausten avuksi



Kuva 1. Kahden kuvan väliset pistevastaavuudet yhdistettynä toisiinsa. Oranssi ja vihreä laatikko helpottavat vastaavien alueiden löytämistä seuraavan kuvan esittämästä pistepilvestä.



Kuva 2. Pistevastaavuuksien ja kameran parametrien avulla laskettu kohdetta esittävä pistepilvi.

Menetelmiä tekstuurin tuottamiseen

Tilanne voidaan ratkaista tuottamalla lisää tekstuuria kohteen pinnalle valon avulla. Tätä hyödynnetään rakenteellisen valon skannereissa, jotka ovat valmiita kaupallisia laitteita ja sisältävät tekstuuria tuottavan valaisimen, kamerat ja laskentayksikön algoritmeineen. Arkko (2025) vertailee kahta kaupallista skanneria tarkemmin kirjoituksessaan. Teksturoitu valo voidaan tuottaa kohteelle myös erillisellä laitteella, jolloin kuvaamisessa voidaan käyttää tavallisia kameroita ja 3D-pistepilven laskennassa itse rakennettuja algoritmeja. Tällöin tekstuuri voidaan tuottaa dataprojektorilla, laserprojektiolla diffraktiivisten optisten elementtien (DOE) kautta sekä lasertäpläprojektorilla (laser speckle) (Veitch-Michaelis ym., 2016). Myös fyysistä maskia kuten lavastuksista ja heijastettavista mainoksista tutuksi tullutta goboa käyttävää projektoria (Konolige, 2010) sekä lidaria eli valotutkaa (Veitch-Michaelis ym., 2016) on sovellettu tekstuurin tuottamisessa.

Ohjelmoitavissa dataprojektoreissa heijastettava kuvio voidaan suunnitella vapaasti ja vaihtaa ohjelmallisesti. Edullisissa kuluttajaluokan projektoreissa tilallista erottelukykä eli heijastetun kuvan yksityiskohtaisuutta ja projektio-optiikkaa ei kuitenkaan ole yleensä optimoitu lähietäisyydeltä tapahtuvaan konenäköön, vaikka niitäkin on tutkimuksessa 3D-kuvantamisessa sovellettu (esim. Ben-Hamadou ym., 2013). Teollisiin 3D-konenäkösovelluksiin on saatavilla myös korkean resoluution projektoreita, mutta ne ovat kuluttajaprojektoreita huomattavasti kalliimpia ja monimutkaisempia ratkaisuja. Fyysiseen maskiin perustuvissa projektoreissa kuvio voidaan puolestaan vaihtaa vaihtamalla itse maski, ja esimerkiksi kaupallisissa konenäköön tarkoitetuissa järjestelmissä myös projektio-optiikka voi olla vaihdettavissa. Tämä mahdollistaa projektioalueen ja kuvion ominaisuuksien sovittamisen eri kuvausolosuhteisiin, mutta kuvion vaihtaminen ei ole yhtä joustavaa kuin ohjelmoitavassa projektorissa. Diffraktiiviseen optiseen elementtiin perustuvissa laserprojektoreissa voidaan tuottaa suuri määrä pieniä ja tarkasti määriteltyjä pisteitä, mutta kuvio määräytyy käytettävän diffraktiivisen elementin perusteella. Lasertäpläprojektiossa satunnaistekstuuri voidaan muodostaa johtamalla koherenttia laservaloa esimerkiksi lasisen diffuuserin kautta, jolloin sironneiden valoaaltojen interferenssi muodostaa täpläkuvion (Etchepareborda, 2021). Tekniikkaa on käytetty 3D-rekonstruktioon tutkimuskirjallisuudessa (mt.), mutta kaupalliset 3D-kuvantamiseen tarkoitetut tekstuurin tuottavat laserprojektorit käyttävät pääosin ennalta suunniteltua diffraktiivista optista elementtiä. Molempien näiden laseriin perustuvien menetelmien syväterävyysalue on korkeampi kuin muissa esitellyissä projektorityypeissä (mt.). Seuraava taulukko (taulukko 1) esittelee tiivistelmän kaupallisesti saatavilla olevista projektorityypeistä ja tarjoaa esimerkit niistä.

Taulukko 1. Tiivistelmä kaupallisesti saatavilla olevista projektorityypeistä.

Projektorityyppi	Kuvion muodostuksen periaate	Kaupallinen esimerkki
Ohjelmoitava dataprojektori	Valon modulointi esim. DMD-mikropeilimatriisilla tai LCD-elementillä	Kuluttajaluokka: <u>Kodak Luma 450</u> , Teollisuusluokka: <u>Wintech U4710MV</u>

Fyysinen maski/gobo	Fyysinen maski, joka on osin läpinäkyvä, osin peittävä	<u>Opto Engineering</u> <u>LTPRHP3W</u>
DOE-laserprojektor	Diffraaktiivinen optinen elementti jakaa lasersäteen määräytyksi kuvioksi	<u>Osela RPP</u>

Töysän säästöpankkirahaston rahoittamassa 3DLaatu.AI-hankkeessa kehitetään kustannustehokasta, kamerapohjaista 3D-mittausmenetelmää teollisuuden laadunvalvontaan. Hankkeessa kokeillaan seuraavaksi DOE-laserprojektorin käyttöä tekstuurin tuottamiseen tasaisille alueille, sillä tehdyn selvityksen perusteella se vaikuttaa kustannustehokkaalta vaihtoehdolta, ja menetelmän tarjoama parempi syväterävyysalue mahdollistaa paremmin eri korkuisten näytteiden kuvaamisen.

Juha Hirvonen

Yliopettaja

SEAMK

Lähteet

Arkko, J. (2.6.2025). 3D-skannerit Artec Leo ja Crealiti Raptor vertailussa – kallis vs. halpa. @SEAMK-verkkolehti. <https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2025060257310>

Ben-Hamadou, A., Soussen, C., Daul, C., Blondel, W. & Wolf, D. (2013). Flexible calibration of structured-light systems projecting point patterns. *Computer vision and image understanding*, 117(10), 1468–1481. <https://doi.org/10.1016/j.cviu.2013.06.002>

Etchepareborda, P., Moulet, M.-H. & Melon, M. (2021). Random laser speckle pattern projection for non-contact vibration measurements using a single high-speed camera. *Mechanical systems and signal processing*, 158, 107719. <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2021.107719>

Konolige, K. (2010). Projected texture stereo. *2010 IEEE international conference on robotics and automation*, 148–155. <https://doi.org/10.1109/ROBOT.2010.5509796>

Lowe, D. G. (1999). Object recognition from local scale-invariant features. *Proceedings of the seventh IEEE international conference on computer vision*, 1150–1157 vol.2. <https://doi.org/10.1109/ICCV.1999.790410>

Veitch-Michaelis, J., Muller, J.-P., Walton, D., Storey, J., Foster, M. & Crutchley, B. (2016). Enhancement of Stereo Imagery by Artificial Texture Projection Generated Using a Lidar. *ISPRS – international archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences*, XLI-B5, 599–606. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XLI-B5-599-2016>