

Fotogrammetriaa laadunvalvonnassa

12.11.2025

3D-kuvantamisella luodaan kuvattavasta kohteesta kolmiulotteinen malli, joka antaa kohteesta enemmän informaatiota kuin pelkät 2D-kuvat. 3D-kuvantamisen käyttökohteita valmistavan teollisuuden laadunvalvonnassa sekä kaupallisia laitteistoja esiteltiin aiemmassa @Seamk-verkkolehtiartikkelissa (Hirvonen, 2025). Tässä kirjoituksessa pureudutaan tavallisten kameroiden käyttöön 3D-mittauksissa, ja menetelmän käytöstä valmistavan teollisuuden laadunvalvonnassa.

Fotogrammetria hyödyntää tavallisia kameroita

Pelkkiä tavallisia kameroita hyödyntävää 3D-kuvantamista kutsutaan fotogrammetriaksi. Menetelmässä useista eri kuvakulmista otettujen valokuvien avulla lasketaan kolmiulotteinen malli kuvattavasta kohteesta. Fotogrammetrian perusidea on, että kun sama piste näkyy vähintään kahdessa eri kuvakulmasta otetussa kuvassa ja kameroiden parametrit (kuten polttoväli, sijainti ja kiertymä) tunnetaan, voidaan kuvatun pisteen sijainti 3D-koordinaatistossa laskea kameroiden parametrien ja kuvapisteiden sijaintien perusteella (Hartley & Zisserman, 2004, s. 276–278). Kuvaamisessa tarvitaan siis joko useampia kameroita tai kohteen tai kameran liikettä. Kameroiden parametrit taas saadaan joko epäsuorasti arvioimalla suoraan kuvien vastinpisteiden perusteella tai suoraan hyödyntämällä erillistä kalibraatio-objektia (Hartley & Zisserman, 2004, s. 181–182, 277). Pelkkiä vastinpisteitä käytettäessä tarvitaan lisäksi muutama tunnettu 3D-piste, jotta mallin mittasuhteet saadaan oikeiksi (Hartley & Zisserman, 2004, s. 277).

Kun kappaleesta tunnistetaan useita vastinpisteitä eri kuvista, saadaan muodostettua kappaleen 3D-muotoa kuvaava pistepilvi. Mitä tiheämpi pistepilvi saadaan, sitä suurempi erottelukyky 3D-mallissa on. Vastinpisteitä

voidaan etsiä kuvista automaattisesti hyödyntämällä erityisiä piirteenetsimiä kuten SIFT-menetelmää (Nissen, Arrowsmith & Crosby, 2016).

Laajalle yleisölle termi fotogrammetria saattaa olla tuttu droonikuvauksen ja sen avulla esim. rakennuksista luotujen 3D-mallien kautta. Seinäjoen ammattikorkeakoulullakin on ollut runsaasti tähän liittyvää toimintaa (Hellman & Lahti, 2018; Frimodig, Hellman & Pollari, 2024). Droonien tapauksessa fotogrammetrinen mittaus toimii hyödyntämällä rakenne liikkeestä -menetelmää (Structure from Motion, SfM), jossa kohteesta otetaan kymmeniä suurelta osin päällekkäisiä kuvia ja vastinpistekandidaatteja etsitään kuvista automaattisesti käyttämällä mm. jo aiemmin mainittuja piirteenetsimiä (Nissen, Arrowsmith & Crosby, 2016). Lopuksi luotu 3D-malli saatetaan oikeisiin mittasuhteisiinsa käyttämällä yleensä droonin omaa GPS-paikannusta tai joskus mahdollisia tunnettuja maatukipisteitä (Nissen, Arrowsmith & Crosby, 2016).

Lähifotogrammetria teollisuuden laadunvalvonnassa

Kun kuvattavat kohteet ovat pienempiä ja kuvausetäisyys lyhyempi, puhutaan lähifotogrammetriasta (Luhmann ym., 2020, s. 4–6). Juuri lähifotogrammetria voisi olla tietyissä tapauksissa korvaava menetelmä teollisuudessa käytetyille laseria tai rakenteellista valoa hyödyntäville 3D-skannereille, ja menetelmän hyödyntämistä lukuisissa erilaisissa teollisuuden laadunvalvontasovelluksissa on viime vuosina kartoitettu paljon. Sen käyttöä on tutkittu hitsisaumojen (Oña ym., 2022), putken laippapintojen (Zhou, Luo & Zhang, 2024), komposiittiosien (Auzmendi Iriarte ym., 2024) ja lisäävällä valmistuksella valmistettujen osien (Catalucci ym., 2020; Pirlo ym., 2025) tarkastuksessa sekä varaosien tekemisessä lisäävän valmistuksen avulla (Bacciaglia, Ceruti, & Liverani, 2020). Lisäksi on kehitetty menetelmiä lähifotogrammetriamittausten tulosten arviointiin (di Filippo ym. 2024) ja itse kuvasjärjestelmien testaamiseen (Poroykov ym., 2023). Monissa näistä sovelluksista kuvantamisessa käytettiin suuriresoluutioisia järjestelmäkameroita (Bacciaglia, Ceruti, & Liverani, 2020; Catalucci ym., 2020; Oña ym., 2022; di Filippo ym. 2024; Pirlo ym., 2025), ja niillä otetut kymmenet kuvat siirrettiin sen jälkeen joko kaupalliseen (Bacciaglia, Ceruti, & Liverani, 2020; Catalucci ym.; di Filippo ym. 2024; Pirlo ym., 2025) tai itse tehtyyn (Oña ym., 2022) fotogrammetriaohjelmistoon 3D-mallin muodostusta varten. Ohjelmistoilla kesti tunteja mallin tekemisessä, ja kuvien siirtämiseenkin meni luonnollisesti aikaa. On siis selvää, etteivät tällaiset järjestelmät sovellu tuotantolinjalle laadunvalvontaan. Lisäksi osassa raportoiduista sovelluksista käytettiin kohteeseen kiinnitettäviä (Poroykov ym., 2023; Zhou, Luo & Zhang, 2024) tai valettuja (Auzmendi Iriarte ym., 2024) markkereita helpottamaan vastinpisteiden etsintää kuvien välillä. Markkereiden kiinnittäminen ei myöskään ole tuotantokäyttöön soveltuva tekniikka tuotantomäärien ollessa vähänkään suurempia, ja niiden valaminen onnistuu vain muoviosien valmistuksessa – ja vaatii silloinkin ylimääräisiä työvaiheita. Joissain sovelluksissa käytettiin myös kalliimpia erikoiskameroita (Auzmendi Iriarte ym., 2024; Zhou, Luo & Zhang, 2024).

Teollisuuden kameravalmistajilla kuten Baser (i.a.) ja Teledyne Vision Solutions (i.a.) on valikoimassaan fotogrammetriaan perustuvia stereokameroita, mutta näiden käyttötarkoitus on robottisovelluksissa kuten poiminnassa ja lavauksessa, eikä niitä siis ole suunnattu laadunvalvontaan. Stereokameroita käytetään myös yhtenä syvyysinformaation tuojana mobiiliroboteissa. On lisäksi fotogrammetriaan perustuvia isompia

laitteistoja, jotka on kehitetty laadunvalvontaan. Esim. Mapvision (i.a.) valmistaa pääasiassa autoteollisuudelle suuria konttimaisia kokonaisuuksia, joiden sisällä on kymmeniä kameroita. Nämä ovat hintavia, suurille osille ja suurille yrityksille tarkoitettuja ratkaisuita.

Hankkeella uutta tietoa ja sovelluskohteita lähifotogrammetriasta

Töysän Säästöpankkisäätiön rahoittamassa 3DLaatu.AI-hankkeessa tutkitaan tavallisten konenäkökameroiden käyttöä fotogrammetriaan perustuvaan 3D-mittaukseen teollisuuden laadunvalvonnassa. Tutkimuksella pyritään löytämään nimenomaan pk-teollisuudelle ja tuotantolinjaan sopivia menetelmäratkaisuita, jotka ovat riittävän nopeita ja riittävän tarkkoja. Hankkeen edistymisestä tiedotetaan verkkolehdessä säännöllisesti.

Juha Hirvonen
Yliopettaja
SEAMK

Lähteet

Auzmendi Iriarte, I., Saez de Egilaz, O., Gonzalez de Alaiza Martinez, P., & Herrera, I. (2024). Towards accurate photogrammetry using molded markers. *Sensors, 24*(24), 7962. https://doi.org/10.3390/s24247962

Bacciaglia, A., Ceruti, A., & Liverani, A. (2020). Photogrammetry and additive manufacturing based methodology for decentralized spare part production in automotive industry. Teoksessa T. Ahram, W. Karwowski, A. L. Vergnano, & W. Mugge (toim.), *Advances in Intelligent Systems and Computing* (Vol. 1131, s. 796–802). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-39512-4_121

Basler. (i.a.). Basler Stereo Cameras. https://www.baslerweb.com/en/cameras/basler-stereo-camera/

Catalucci, S., Senin, N., Sims-Waterhouse, D., Ziegermeier, Sl, Piano, S. & Leach, R. (2020). Measurement of complex freeform additively manufactured parts by structured light and photogrammetry. *Measurement, 164*, 108181. https://doi.org/10.1016/j.measurement.2020.108081

di Filippo, A., Antinozzi, S., Cappetti, N. & Villecco, F. (2024) Methodologies for assessing the quality of 3D models obtained using close-range photogrammetry. *International Journal of Interactive Desingn and Manufacturing,* 18, s. 5917–5924. https://doi.org/10.1007/s12008-023-01428-z

Frimodig, A., Hellman, T., & Pollari, S. (2024). Uudet 3D-visualisointimenetelmät. Teoksessa S. Päällysaho, P. Junell, M. Salminen-Tuomaala, S. Uusimäki, & M. Karvonen (toim.), Seinäjoen ammattikorkeakoulu – meidän ammattikorkeakoulu (s. 41–51). (Seinäjoen ammattikorkeakoulun julkaisusarja A. Tutkimuksia 42). Seinäjoen ammattikorkeakoulu. https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe20241210100893

Hartley, R., & Zisserman, A. (2004). *Multiple View Geometry in Computer Vision* (2. p.). Cambridge:

Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/CBO9780511811685

Hellman, T., & Lahti, M. (2018). Photogrammetric 3D modeling for virtual reality. Teoksessa P. Junell, K. Katajisto, P. Mäkelä, & S. Saarikoski (toim.), SeAMKin Tekniikan yksikkö edistämässä digitaalista muutosta teollisuudessa ja rakentamisessa (s. 160–175). Seinäjoen ammattikorkeakoulu. https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-7109-87-8

Hirvonen, J. (2025). 3DLaatu.AI-hankkeen tutkimuskohteena 3D-kuvantaminen laadunvarmistuksessa. @Seamk-verkkolehti. Seinäjoen ammattikorkeakoulu. https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe20251106105670

Luhmann, T., Robson, S., Kyle, S. & Boehm, J. (2020). *Close-Range Photogrammetry and 3D Imaging*. Berlin, Boston: De Gruyter. https://doi.org/10.1515/9783110607253

Mapvision. (i.a.) Dimensional measurement and presence checks. https://www.mapvision.fi/applications/dimensional-measurements-presence-checks

Nissen, E., Arrowsmith, J. R., & Crosby C. (2016). *Introduction to Structure from Motion*. San Diego Supercomputing Center. https://cloud.sdsc.edu/v1/AUTH_opentopography/www/shortcourses/18SGTF/2_nissen-GSA-sept-2016-SfM-lecture1-Intro-Motivations-FINAL.pdf

Oña, E. R. d, Rodríguez-Martin, M., Rodríguez-Gonzálvez, P., Mora, R., & González-Aguilera, D. (2022). WELDMAP: A photogrammetric suite applied to the inspection of welds. *Applied Sciences,* 12, 2553. https://doi.org/10.3390/app12052553

Pirlo, R., Guerra, M.G., Lavecchia, F. & Galantucci, L.M. (2025). Evaluation of a photogrammetry-based scanner for measuring small-sized features in an additive manufacturing repair process chain. *International Journal of Advancded Manufacturing Technology* 136, s. 5581–5598. https://doi.org/10.1007/s00170-025-15153-2

Poroykov, A., Pechinskaya, O., Shmatko, E., Eremin, D., & Sivov, N. (2023). An Error Estimation System for Close-Range Photogrammetric Systems and Algorithms. *Sensors*, *23*(24), 9715. https://doi.org/10.3390/s23249715

Teledyne Vision Solutions. (i.a.). Stereo Cameras. https://www.teledynevisionsolutions.com/categories/3d-vision/stereo-cameras/

Zhou, L., Luo, Y. & Zhang, L. (2024). Fast inspection of flange faces of welded tubes using photogrammetry and auxiliary measurement tools. *Measurement*, 237, 115256. https://doi.org/10.1016/j.measurement.2023.113313