



Osaamista  
ja oivallusta  
tulevaisuuden  
tekemiseen

Janne Lanu

# Kamerapohjainen applikaatio auto- maattitrukin esteentunnistukseen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Konetekniikka

Insinöörityö

17.5.2021

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Janne Lanu Kamerapohjainen applikaatio automaattitrukin esteentunnistukseen 20 sivua + 1 liite 17.5.2021
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Konetekniikka
Ammatillinen pääaine	Koneautomaatio
Ohjaajat	Lehtori Antti Liljaniemi Ratkaisuarkkitehti Matti Rintala
<p>Tässä opinnäytetyössä selvitettiin kamerapohjaista visuaalista tunnistusta automaattitrukkille Mitsubishi Logisnext Europe Oy:n toimesta.</p> <p>Työn tavoitteena on selvittää toimisiko kolmiulotteisesti ympäristöä tarkkaileva sensori tunnistamaan esteitä paremmin kuin kaksiulotteinen Lidar-laserverho. Testattavana alustana toimii Logisnextin valmistaman ATX-sarjan automaattitrukki.</p> <p>Teoriaosuudessa keskityttiin käytettävään tekniikan ja laitteiden vertailuun, sekä niiden perusteilla tehtyihin valintoihin. Käytännön osuudessa kameran liittämistä varten tehtiin trukkii sähköisiä, ohjelmallisia, sekä joitain mekaanisia muutoksia. Kokoonpanon jälkeen kameraa koeteltiin sille tehdyllä testiradalla, jossa selvitettiin haluttuja ominaisuuksia. Näiden jälkeen päädyttiin yhteiseen päätelmään eduista, haitoista, sekä tulevaisuudelle mahdollisista avoimista kysymyksistä.</p> <p>Kameraa käytettäessä esteentunnistukseen suurin haaste on vaativa tasapainottelu reaktionopeuden, havaittavan kappaleen koon, sekä virheellisten hälytysten eliminoinnissa. Vastaavasti yksinkertainen Lidarin laserkenttä, joka asetetaan vain osoittamaan tietylle etäisyydelle, kykenee helposti havaitsemaan siihen osuvat kohteet.</p>	
Avainsanat	AGV, 3D-kamera, Time of Flight, esteentunnistus

Author Title Number of Pages Date	Janne Lanu Camera Based Application for Object Detection Using an AGV Forklift 20 pages + 1 appendix 17 May 2021
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Mechanical Engineering
Professional Major	Machine Automation
Instructors	Antti Liljaniemi, Senior Lecturer Matti Rintala, Solution Architect
<p>The thesis was commissioned by Mitsubishi Logisnext Europe Co., Ltd. to examine using a camera-based application in object detection with an AGV.</p> <p>The focus of the thesis was to determine how well an optical 3D sensor could recognise environmental obstacles and compare the results against a 2D Lidar scanner that is used currently. The AGV platform used during this test is an ATX, part of MLE's fork over series AGVs.</p> <p>In the theoretical part of the thesis comparisons were made between different types of 3D machine vision techniques as well as several devices from different manufacturers. Next, a few of the chosen devices' software and UIs were compared, and a joint decision was made to choose one for a practical trial. In the practical part several changes were made to the electrical, software and mechanical parts of the AGV. After the assembly had been done the chosen sensor was tested on a specifically made layout, where the desired properties of the devices were tested. Then a conclusion was made about the advantages, disadvantages, and questions about the future uses.</p> <p>When using the sensor, the biggest challenge is balancing very delicately between the reaction speed, the size of the detectable obstacle and eliminating any false alarms. Respectively the simple detection field of a Lidar, in which the angle is simply adjusted to a required distance, can detect anything that that the laser field encounters.</p>	
Keywords	AGV, 3D-camera, Time of Flight, Object Detection

# Sisällys

## Lyhenteet

1	Johdanto	1
1.1	AGV	1
1.2	Työn kuvaus	1
1.3	Aiheen rajaus	2
2	3D konenäköteoria	3
3	Laitevalinnat	6
3.1	Vaihtoehtojen kartoitus	6
3.1.1	Visionary-T, SICK	6
3.1.2	IFM tuoteperhe	6
3.1.3	Helios, Lucid Vison Labs Inc	7
3.1.4	Swift-sarjan 3D-sensorit, Odos Imaging	7
3.1.5	Blaze 101, Basler	8
3.2	Valittujen laitteiden käyttöjärjestelmien testaaminen	8
3.2.1	Visionary-T DT	8
3.2.2	IFM O3M	9
4	Työn kokeellinen osuus	10
4.1	Laitteen liittäminen ja käyttöönotto	10
4.2	Havainnot	15
5	Yhteenveto	17
	Lähteet	19
	Liitteet	
	Liite 1. Liitteen nimi	

## Lyhenteet

AGV	Automated Guided Vehicle, eli vihivaunu on automatisoitu mobiilirobotti.
Lidar	Light detection and ranging, laserheijastuksiin perustuva etäisyysmittaus
ToF	Time of Flight, valon heijastusaikaan perustuva etäisyys mittaus
I/O	Input/Output, tulo- ja lähtösiirräntä
SDK	<i>Software Developer Kit</i> , ohjelmistokehityspaketti. Sisältää useita työkaluja laitteen hallintaan kuten kääntäjän, virheiden jäljittäjän ja mahdollisesti ohjelmistokehityksen.
CAN	Controller Area Network, CAN-väylä, CAN bus, on monenlaisessa teollisuuden liikkuvassa kalustossa käytetty automaatiöväylä
MLE	Mitsubishi Logisnext Europe. Suunnittelee, valmistaa ja toimittaa logistiikkaratkaisuja kuten trukkeja, automaatiojärjestelmiä ja niihin liittyviä ratkaisuja ja palveluita
CVC	Compact Vehicle Controller, ruotsalaisen Kollmorgenin valmistama AGV-vaunuihin tarkoitettu ohjainyksikkö

# 1 Johdanto

## 1.1 AGV

AGV on vain yksi monista automatisoiduista mobiiliroboteista. Niitä käytetään yleensä sisä- ja ulkotilojen logistisissa ratkaisuissa, jopa huvipuistoissa ennalta määritetyillä alueilla. Automaattitrukin toimintaa määrää yleensä erillinen järjestelmäohjain, joka hallinnoi useiden laitteiden toimintaa, sekä niiden liikkeitä. Automaattitrukit liikkuvat tyypillisesti ennalta määrättyjä reittejä ja käyttävät niissä navigointiin yksittäisiä keinoja tai niiden yhdistelmiä kuten: maahan asennettuja magneettinauhoja, visuaalisia merkintänauhoja, ympäristön radiolähettäjiä, gyroskooppeja, sekä lasernavigointia heijastimilla tai luonnollisilla heijastuksilla. Automaattitrukin kyky tunnistaa ulkoisia esteitä ja reagoida niihin perustuu usein erilasiin yhdistelmiin mekaanisia puskureita, lasertutkia, ultraääneen, sekä optisiin etäisyysmittareihin. Riippuen automaattitrukin autonomisuudesta laite voi, joko odottaa esteen poistumista, tai yhdessä sitä ohjaavan järjestelmän kanssa suunnitella kiertoreitin ohitse.

## 1.2 Työn kuvaus

Tämän insinööriyön tarkoitus on kartoittaa 3D-kameroiden ja sensoreiden käyttöä AGV automaattitrukin esteentunnistuksessa. Työ tehdään maailmanlaajuiseen Mitsubishi konserniin kuuluvan Mitsubishi Logisnext Europe Oy:n toimesta, joka toimi aikaisemmin Suomessa nimellä Rocla Oy. MLE on käyttänyt toistaiseksi 2D-Lidar anturia kulkuväylällä olevien esteiden havaitsemiseen. Kaksiulotteisen laserkentän vuoksi anturi ei havaitse kaikkia kohteita oikein, tai reagoi niihin vain hetkellisesti esteen poistuttua anturin havainnointialueelta. Laitteen pääasiallinen tehtävä on toimia törmäyksenestotunnistimena, mutta sitä ei ole valittu henkilöturvallaitteeksi ja toimii avustavana laitteena verraten muuhun turvalaite- ja tunnistusjärjestelmiin. Pääasiallinen tunnistettava objekti automaattitrukin työskentelyalueella on muiden automaattitrukkien ja trukkien tummat mattapintaiset haarukat, joiden oletetaan olevan turvaskannereiden, Lidar -sensoreiden, tunnistusalueen yläpuolella. Laitteelta toivotaan helppokäyttöisyyttä, toimintavarmuutta,

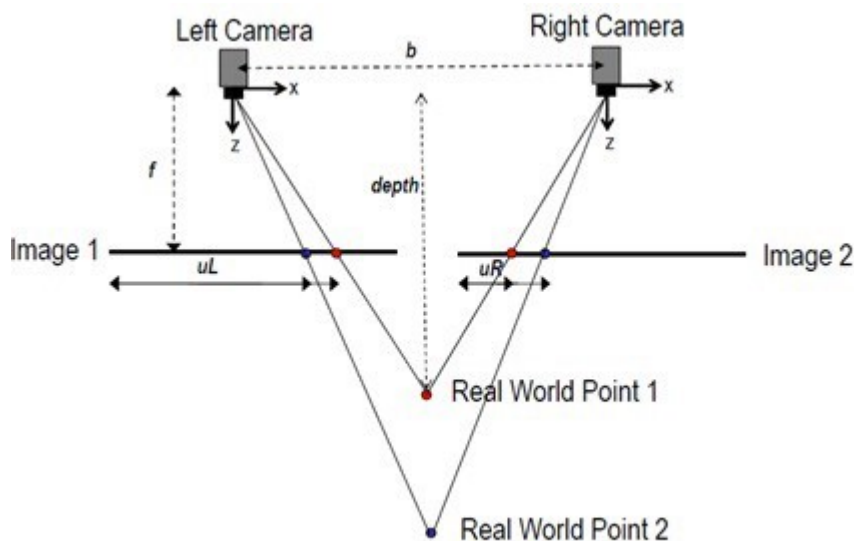
sekä vähintään automaattitrukin leveyden ja korkeuden kattavaa valvontakenttää. Laitetta käytettäisiin sisätiloissa automaattitrukissa, jonka käyttöjännite on 24 tai 48 Volttia.

### 1.3 Aiheen rajaus

Työ on rajattu käsittelemään kustannustehokkaita 3D-kameroita eikä siinä oteta kantaa esimerkiksi 3D-lasereiden käyttöön. Markkinoilta saatavat laitteet on tarkoitettu kartoittamaan ja vertailla. Eri vaihtoehdoista valitaan MLE:n kanssa käyttöön sopivimmat laitteet ja niitä kokeillaan ohjelmoinnin ja käytännön kannalta. Johtuen kolmiulotteisten konenäkölaitteiden laajuudesta, tarkempaan valintaan käytetystä tekniikasta päädyttiin tutkimuksen alkuvaiheessa. ToF-kameroiden todettiin olevan sopivimpia käyttötarkoitukseen verraten strukturoituun valoon tai stereonäköön perustuviin ratkaisuihin useampien tutkimusten pohjalta [1, s. 7–12,2]. Testikäytössä oleva AGV on suunniteltu sisälogistisiin tehtäviin ja kameran on tarkoitus auttaa vain esteen havaitsemisessa, ei navigoinnissa tai lastinkäsittelyssä. Laitte voi olla hyväksytty henkilöturvallisuuslaite, mutta sitä ei tulla erikseen käyttämään sellaisessa tehtävässä.

## 2 3D konenäköteoria

Kolmiulotteinen stereonäkö perustuu joko useamman anturin tai kameran yhdistelmään, jossa kohdetta havaitaan useasta eri kohdasta. Tämä stereonäkö vastaa usein perusmekaniikaltaan biologisten olentojen stereonäköä, ja sen tarkoituksena on hahmottaa antureiden yhteistyöllä kohteen sijainti, etäisyys ja kulma. Stereonäkö vaatii usein erittäin tarkan kalibroinnin niin kameroilta kuin kameroiden kiinnityspisteeltä, sekä toimintaetäisyys erittäin rajallinen ilman suurempia kustannuksia.

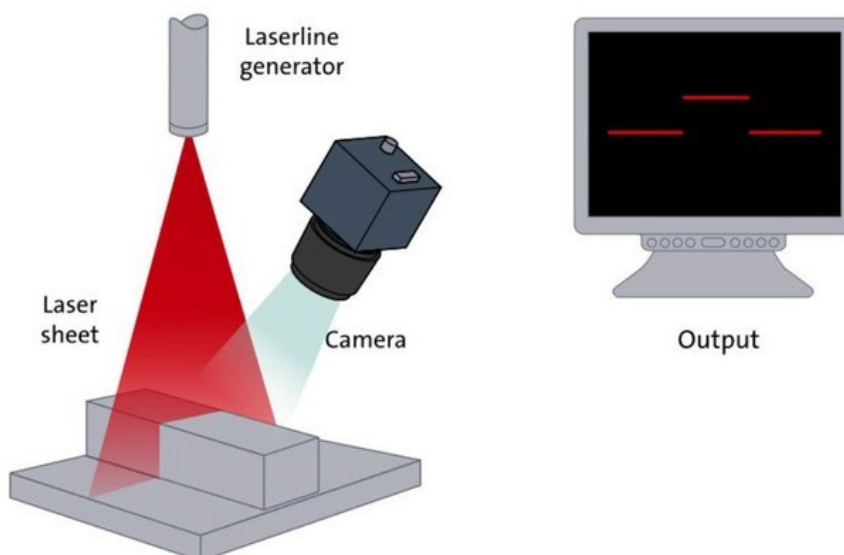


Kuva 1. Stereokonenäön toimintaperiaate [3].

Yleisesti etuna voidaan pitää tarkempaa kuvanlaatua, sekä korkeaa kuvataajuutta. Nämä ominaisuudet toimivat parhaimmillaan tarkkailussa, valvonnassa ja vastaavanlaisissa tehtävissä. Johtuen kameroiden antamasta kaksiulotteisesta kuvasyötteestä, stereonäkö sopii hyvin tukemaan ihmiskäyttäjän tekemää työtä. Stereonäköön perustuvia applikaatioita käytetään etenkin autoteollisuuden havainnointilaitteina, sillä ne eivät ole erityisen herkkiä auringonvalolle. Useimmat modernit autot, jotka hyödyntävät stereonäköä esimerkiksi kaistavahteina tai etäisyystunnistimina, eivät toimi täysin stereonäön varassa. Useasti mukana on operaattori tai kuljettaja ja stereonäkösensorit eivät välttämättä operoi ilman muiden sensoreiden avustusta (esimerkiksi Lidar ja ultraääni-sensori) tai tarkemmin havaittavia kaistamerkkejä. [4–5.]



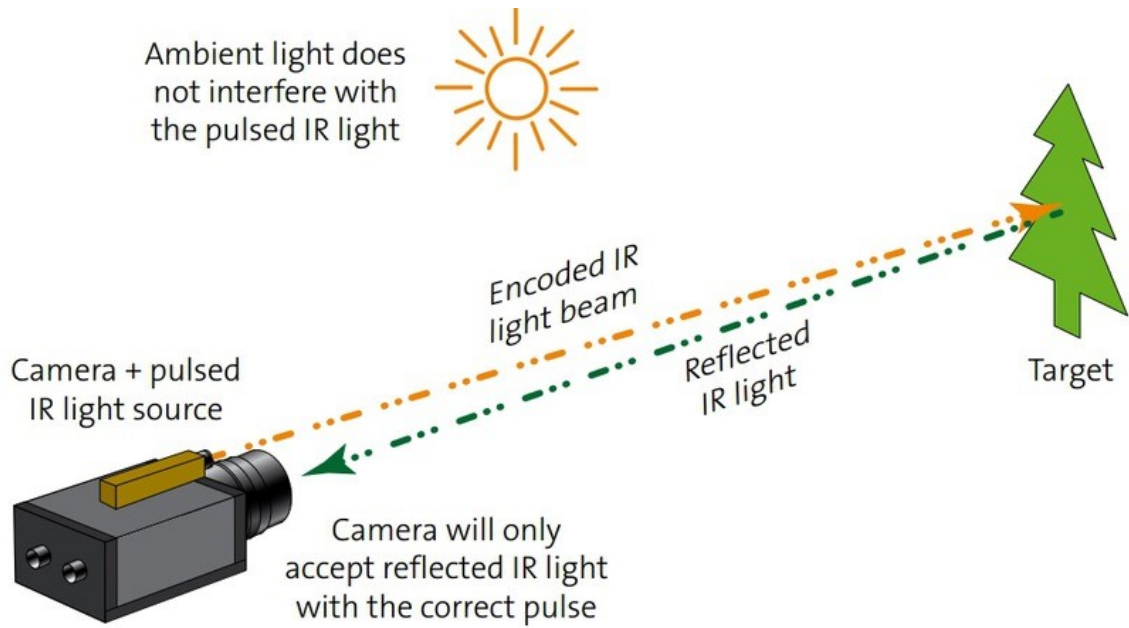
Strukturoituun valoon perustuva kolmiulotteinen konenäkö käyttää kahden tai useamman kameran näkökulmaa, joiden tarkkailupisteeseen laaditaan valokuviolla projektio. Strukturoitu valo vaatii myös tarkan kalibroinnin ja tarkat olosuhteet, sillä se on altis esimerkiksi auringonvalon tuottamalle häiriölle.



Kuva 2. Strukturoituun valoon perustuva kolmiulotteinen näkymä [4].

Etuna voidaan pitää erittäin hyvää kuvantarkkuutta ja kohtalaisen hyvää toimintaetäisyyttä. Strukturoitua valoa käytetään pinnanlaadun, kasvojentunnistuksen, sekä erilaisien rekonstruktioiden tekemisessä. Työn kannalta strukturoitu valo antaisi tarkkoja etäisyyksiä, mutta sen näkökentän koko ja liikekyky eivät vastaisi vaatimuksia ja siten se ei välttämättä toimisi juurikaan tehokkaammin, kuin perinteinen 2D-Lidar. [4–5.]

Time of Flight -konenäkö perustuu useimmiten yhteen erikoistuneeseen anturiin tai kameran, sekä lähettimen kokonaisuuteen. Lähetin lähettää tietyllä aallonpituudella olevaa valoa, jonka sensori havaitsee ja tekee etäisyysmittauksen perustuen heijastusaikaan. ToF-tekniikan tarkkuus on erittäin hyvä ja mittaus etäisyydet hyviä. Ja johtuen useimmiten valmiista pakettiratkaisusta ne soveltuvat hyvin mobiilikäyttöön [6, s. 8]. Heikkoutena voidaan pitää huonoa kuvantarkkuutta sekä vaihtelevaa kuvantaajuutta. [4–5.]



Kuva 3. ToF-tekniikan toimintaperiaate [4].

Edellä mainittujen lisäksi on olemassa muitakin erilaisia tekniikoita hyödyntäviä kamera-aplikaatioita, joilla tunnistaa kolmiulotteisesti kohteita. Tässä työssä niihin ei oteta kantaa johtuen harvinaisuudestaan, sopimattomuudesta käyttötarkoituksessa tai kustannuksista.

### 3 Laitevalinnat

Kartoituksessa päädyttiin etsimään lähinnä ToF-kameroita ja sensoreita useilta eri valmistajilta, ominaisuuksiensa puolesta liikkuvassa käytössä oleville laitteille sopivampana, ja pyyntönä oli myös käyttöönoton helppous tulevaisuudessa. Suurimpina ja asiakkaallekin tutuimpina valmistajina oli tiedossa SICK ja IFM, mutta niiden lisäksi markkinoilla on paljon eri valmistajien ja eri hintaluokkien laitteita. Viime aikoina markkinoille on tullut myös kuluttajalle suunniteltuja laitteita, kuten älypuhelimien tai autoihin liitettäviä 3D-kameroita. Näiden ominaisuudet eivät kuitenkaan usein vastaa aktiivisesti käytössä olevien teollisuuslaitteiden tarpeita ja suurinta osaa niistä ei voisi hyödyntää työssä.

#### 3.1 Vaihtoehtojen kartoitus

Johtuen insinööriyön rajallisesta koosta, sekä MLE:n tarpeista laitteelle, markkinoilla olevista laitteista käydään läpi vain muutamia Euroopassa helposti kaupallisesti saatavia sensoreita.

##### 3.1.1 Visionary-T, SICK

SICK:in tuoteperhe on tehty pääosin teollisuuden sisäkäyttöön erilaisille käyttökohteille ja soveltuvat hyvin mobiilikäyttöön. Helppoon mobiilikäyttöön suunniteltu malli DT käyttää SOPAS engineering tool -ohjelmaa, joka on myös MLE:lle entuudestaan tuttu. Näkökenttä on kaikista työssä esiintyvistä kameroista laajin, ennen kaikkea pystysuunnassa ( $69^\circ * 56^\circ$ ). [7.] Lisäksi SICKiltä on tulossa pienempi, sekä tehokkaampi malli Visionary-T Mini, jonka käyttöönotto on verrattavissa nykyisen kanssa [8].

##### 3.1.2 IFM tuoteperhe

IFM:n tarjonta 3D-kameroille on markkinoiden laajimpia, tyypillisten sisäkäyttöön suunniteltujen kameroita on toistakymmentä variaatiota. Lisäksi löytyy ulkona toimivaan liikkuvaan kalustoon erikoistuneita 3M -sarjan kameroita. Nämä toimivat usein työkoneita avustavina sensoreina ja havaitsevat monien kymmenien metrien päähän. MLE:n kannalta etuna olisi myös CAN-väylän käyttö 3M-kamerassa ja soveltuisi saatavilla olevista

laitteista parhaiten olemassa olevaan ohjelmalliseen ja sähköiseen rakenteeseen. [9.] Työn tarkoitusta varten sopivin laite olisi IFM:n mukaan tulossa pian saataville. Se perustuisi perinteiseen 3D-kamera valikoimaansa ja olisi sisäkäytön liikkuviin alustoihin kehitellyn kokonaisuus [10]. Mutta harkiten työn aikataulua, laitteen saatavuus testausvaiheeseen voisi venyttää työn kestoa.

### 3.1.3 Helios, Lucid Vison Labs Inc

Kanadalaisen Lucid Vision Labsin Helios ja Helios2 kamerat käyttävät Sony'n DepthSense IMX556 CMOS ToF sensoria ja digitaalisena rajapintana toimii yhdysvaltalainen GigE Vision standardi. GigE Vision on lisensoitu teollisuuskameroiden protokolla, joka käyttää Ethernetia tiedonsiirtoporttina. Standardin käyttöjärjestelmän pohja on nimeltään GenICam, jota valmistajat käyttävät SDK:in pohjana. Kameran ohjelmointiin käytetään valmistajan omaa Arena SDK, jolla myös oma rajapinta ja se toimii C, C#, C++ ja Python ohjelmointikielillä. [11.]

Helioksen näkökenttä on keskimääräistä laajempi (69° \* 51°) ja sen toimintalämpötila on -20° - 50° C verraten muiden sensoreiden yleiseen noin 0° - 45° C toimintalämpötilaan. Tämä mahdollistaisi tulevaisuudessa käytön kylmävarastoilla, tai muissa kylmälogistisissa kohteissa.

### 3.1.4 Swift-sarjan 3D-sensarit, Odos Imaging

Swift-sarjan kamerat ovat kuvantarkkuudeltaan ja päivitystaajuudeltaan huippua, ja ope-  
rintilämpötilaltaan kykenee samaa kuin Helios-sarjan kamerat. Swifteissä näkökenttä on kuitenkin kapein tarkistelluista kameroista ja hinta moninkertainen muihin verrattuna. Parhaiten ne soveltuvat pinnanlaatua tai tarkkaa etäisyyttä mittaaviin laitteisiin. Erona muihin järjestelmä käyttää 12 Voltin jännitettä 24 Voltin sijaan. Tämän jännitteen ottaminen automaattitrukista mahdollista, mutta vaatisi enemmän työtä/yhteensopivuuden kompromisseja. Konfigurointi tehdään valmistajan omalla SDK:lla joka pohjautuu GigE visioniin. Ohjelmointikielenä C++ .NET ympäristössä. [12.]

### 3.1.5 Blaze 101, Basler

Saksalaisen teollisuuskameravalmistajan Baslerin, Blaze sarjan ToF-kamerat käyvät hyvin niin teolliseen kuin akateemiseenkin testauskäyttöön. Baslerilla etuna VGA-resoluutio sekä luvattu toimivuus ulko-olosuhteissa. Työn kohteen kannalta nämä ominaisuudet jäävät kuitenkin pääosin huomioimatta, lisäksi haasteena työlle laitteesta löytyy vain yksi I/O pari. Blaze SDK pohjautuu myös GigE visioniin ja ohjelmointikielenä C/C++ .NET ympäristössä ja sensorina toimii Helioksesakin [11] käytössä oleva Sonyn Depthsense. [13.]

## 3.2 Valittujen laitteiden käyttöjärjestelmien testaaminen

Edellä listatuista laitteista päädyttiin yhteisellä päätöksellä selvittämään SICKin sekä IFM:n laitteiden konfigurointia ja ohjelmiston testaamista. Tarkoituksena oli selvittää helppokäyttöisyyttä ja muunneltavuutta mahdollistaen helpon käyttöönoton jokaisen yksittäisen automaattitrukin ja projektin kohdalla.

### 3.2.1 Visionary-T DT

SICKI:n SOPAS ET toimii perinteiseen tapaan ilman fyysistäkin laitetta ja emulaattoriakin varten on ladattavissa erillisiä laitteistoesimerkkejä. Laitteen parametointi tehdään visuaalisesti 2D/3D -näkyvän avulla. Tämä mahdollistaa käyttäjälle helpon ja selkeän asennuksen sekä tarvittavat säädöt. Ohjelmalla luodaan useita eri tarkkailutehtäviä (Job). Kukin tehtävä voidaan määrittää kattamaan oma tarkkailtava alueensa, sekä tarvittaessa myös parametrinsa. Suorituksessa oleva tarkkailutehtävä valitaan I/O:lla vastaamaan olosuhteita ja tarpeita. Yksittäisessä tarkkailutehtävässä pystytään luomaan tarkkailtu alue ja siihen kymmeneen eri alueryhmää, sekä jokaisen yksittäisen suorakulmisen kuboidin korkeus voidaan määrittää itse. Näitä kuboideja käytetään valittavissa ryhmissä, ja yksittäinen kuboidi voi kuulua useampaan eri ryhmään. [14.]

### 3.2.2 IFM O3M

IFM:n O3M-sarjan sensoreiden käyttö tapahtuu valmistajan omalla Vision Assistant -ohjelmalla, joka toimii lähes kaikissa 3D kameroissaan, sekä -antureissaan. Ohjelmaa ei kuitenkaan voi käyttää kytkemättä fyysistä laitetta, joten käyttökokemuksen testaaminen perustuu opetus- ja käyttömateriaaliin. O3M on kooltaan Visionaryä suurempi sekä minimihavaintoetäisyys on suurempi eli vähintään metri. Lisäksi pystysuunnassa kohteen oltava vähintään 50 cm korkea havainnon mahdollistamiseksi. Laitetta konfiguroidessa valitaan erikseen tehtävä (tässä tapauksessa object detection), tai tarvittaessa ”User defined task” käyttäen esimerkiksi pohjana edellisenä mainittua tehtävää. Laite voidaan ohjelmoida tunnistamaan tiettyjä esineitä tai vapaata tilaa, heijastuksia, sekä törmäysajan ennustetta. Käyttöparametointi eroaa SICKin ohjelmasta vähemmän visuaalisella muuttujien listalla, johon CAN-väylänkin asetukset kuuluvat.

## 4 Työn kokeellinen osuus

Kokeelliseen osuuteen valittiin SICKin Visionary-T DT -laite (kuva 4) helpon saatavuuden sekä tulevia laitemalleja suoraan vastaavan konfiguroinnin testaamiseksi. Valittu versio on kevyempi V3S130-2AABAAB -malli ilman erillistä jäähdytyslohkoa. Laitteen liittämistä varten tehtiin pieniä mekaanisia, sähköisiä, sekä ohjelmallisia muokkauksia testissä käytettävään automaattitrukkiin. Näitä muokkauksia käsitellään tässä työssä vain osittain.

### 4.1 Laitteen liittäminen ja käyttöönotto

Visionaryssä on käytössä kaksi liitännäntä kaapeleille, toisessa on yhdistettynä virta ja siirräntä, sekä toisessa kaapelissa on ethernet. Jälkimmäistä ei liitetty työssä vaunuun, vaan se oli käytössä toistuvaa konfigurointia ja tarkkailua varten.



Kuva 4. SICKin Visionary-T 3D sensori [7].

Visionary-T liitetään suoraan automaattitrukin CVC600 -ohjaimelle, josta digitaalilähdöt määrittävät käytettävä tarkkailutehtävän tilanteen mukaan käyttäen esimerkiksi ajopyörän nopeus- ja kulmatietoja. Visionarystä löytyy myös CAN-väylät, mutta niitä ei valitettavasti ole valmistajan puolesta käytössä. Kulmatietojen vertailu tehdään automaattitrukin omassa ohjelmassa, joka perustuu edeltävän 2D-Lidarin käyttämiin funktioihin. Signaali on lähetettävä digitaalilähtönä kameralle. Visionary lähettää hidastus- ja pysäytys-signaalin halutuilla etäisyyksillä havaittuihin esteisiin. I/O:ssa päädyttiin perinteiseen 4 bittiin (kuva 5), kuten vastaavassa käytössä olevassa 2D-Lidarissa. Näin voitaisiin hyödyntää olemassa olevan automaattitrukin ohjelmaa ajopyörän kulmaa, sekä ajosuuntaa tarkkailevista funktioista.

DIGITAL IO	API DATA CHANNELS			
0	1	0	0	Select jo... ▾
0	1	0	1	Select jo... ▾
0	1	1	0	Select jo... ▾
0	1	1	1	Select jo... ▾
1	0	0	0	Job Forw... ▾
1	0	0	1	Job Righ... ▾
1	0	1	0	Job Righ... ▾
1	0	1	1	Job Left ... ▾
1	1	0	0	Job Righ... ▾
1	1	0	1	Job Righ... ▾
1	1	1	0	Job Left ... ▾
1	1	1	1	Job Left ... ▾

Job Output ?

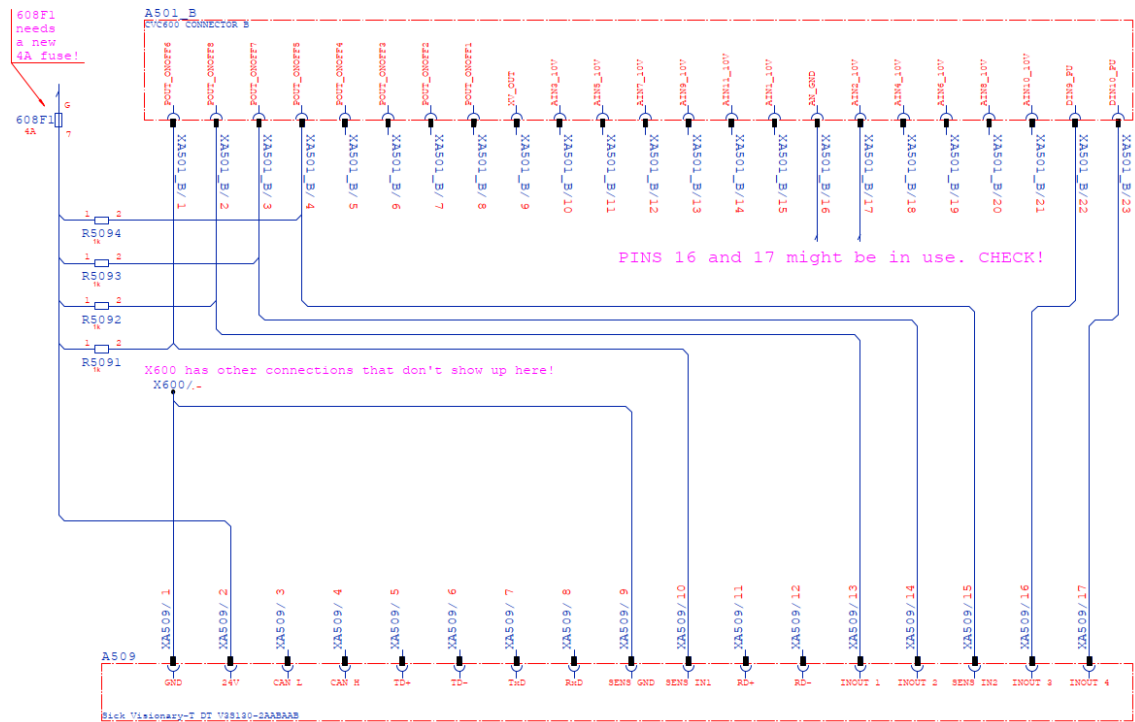
Mode: Direct assignment ▾

	Group	Status
INOUT3	Slow ▾	■
INOUT4	Stop ▾	■

Kuva 5. Sopaksella tehty I/O konfiguraatio, joka vastaa edeltävää laitetta.

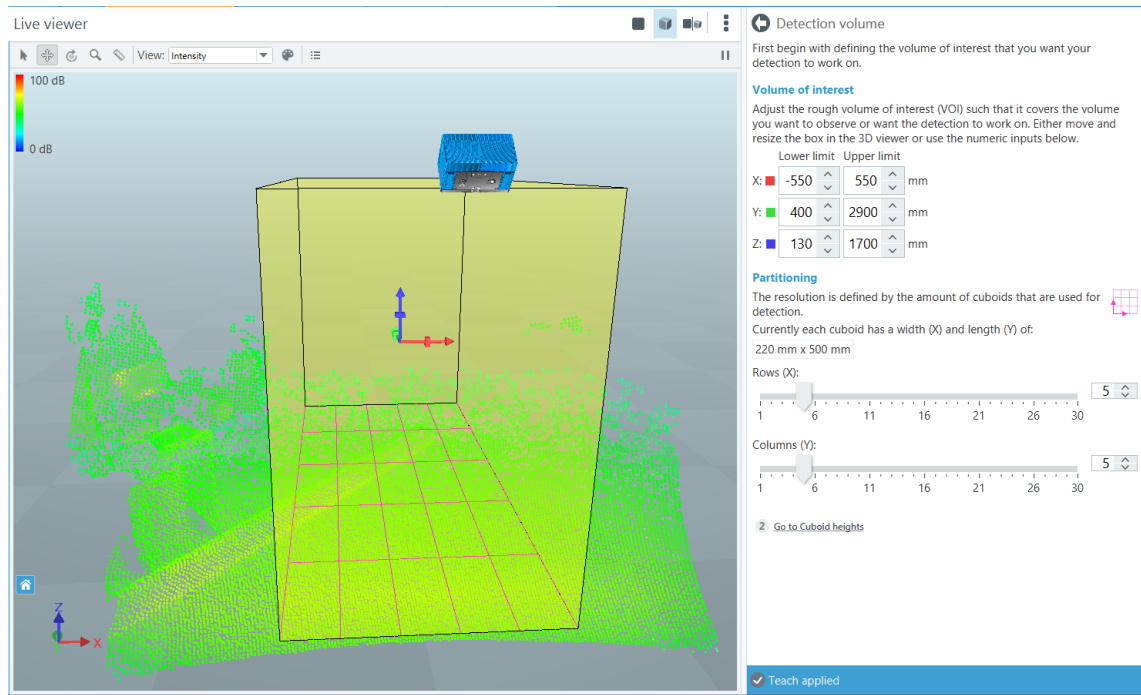
Vaihtoehtona olisi voinut käyttää kahden binääritulon, sekä perinteisten tulojen yhdistelmää mahdollistaen tarkkailutehtävien portaittain vaihtaminen, sekä perinteisten tulojen yhdistelmän käyttö. Mutta näissä valvonta-alueen kääntyminen tapahtuisi portaittain, aina tämä ei olisi välttämättä mahdollista ja ohjauksen ohjelmointi, sekä testaaminen vaatisi lisää aikaa. Tämän vaihtoehdon mahdollistava maadoitusliitäntä tehtiin kuitenkin tulevaisuuden varalta. Huomioitavaa liitännöissä oli automaattitrukin puolelta käytettävä tuloliitännöissä ”Pull-Up current sinking” johtuen kameran positiivisesta varauksesta lähtösignaaleissa ja signaalin oletusasennosta. Tämän lisäksi CVC:n lähtöihin suunniteltiin ylös vetovastukset vastaamaan tulojen signaalisuuntaan.





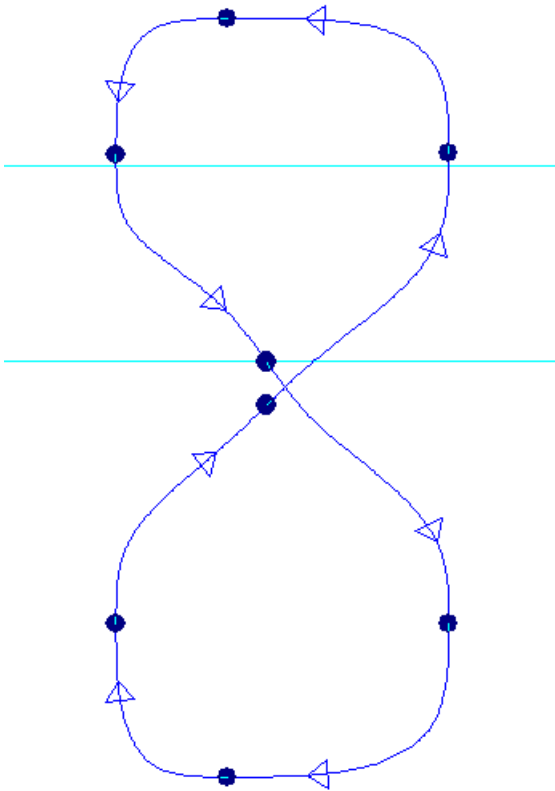
Kuva 6. Visionaryn kytkentäkaavio CVC600 ohjaimelle.

Valvonta-alueet pohjautuvat kääntyessä kolmeen eri asentoon, sekä suoraan osoittaviin eteenpäin ja pysäköinti kenttiin. Kenttien koot säädettiin reagoimaan vaaditulla pysähtymismatkalla tilanteesta riippuen. Reaktioaikaan vaikuttavat myös kameras parametointi, mutta valvonta-alue on ensisijainen tapa säätää reagoimaan käyttökohteen mukaan. Parametreissa perusarvona käytettiin SICK:in vastaavia, jotka löytyvät AGV-apohjan esimerkistä. SOPAKsessa valvonta-alue, ja sen sisältä valittavat kuboidit ovat neliskanttisia (kuva 7), jolloin käännöksiä valvovat kentät täytyy suunnitella reagoimaan ilman suurempia katvealueita.



Kuva 7. Valvottavan alueen sisälle määritetyt "Cuboidit".

Kuboidista luotiin jokaiseen Jobiin kaksi eri ryhmää: optiona kauempi, joka toimii hidastavana alueena, sekä edellä mainitun valvonta-alueen ja automaattitrukin välille jäävä sektori, josta välittyy pysäytysignaali. Testiratana toimii kahdeksikko muistuttava kuvio, sillä tämä mahdollistaisi eri käänöskulmien testaamisen molempiin suuntiin.



Kuva 8. Automaattitrukin testattava ajorata.

Valvottavan etäisyyden maksimi asetettiin noin seitsemään metriin häiriöiden vähentämiseksi ja pidemmälle havainnointietäisyydelle ei tässä tehtävässä ollut tarvetta. Kyseinen etäisyys rajoittuu myös ”HDR”-tiedonkeruun ominaisuuden toimesta. Tällä mahdollistetaan toiminta ympäristössä, jossa on vahvoja kontrasteja esimerkiksi tummia ja heijastavia kohteita. Oleellista on myös käyttää dynaamista havainnointia, joka vähentää satunnaisista kohteista johtuvia heijastuksia. Suodatuksen koon määrittäisi käyttönottaja kohteen tarpeiden mukaan. Myös päivitystaajuudesta otettavien kehysten tiheyttä pystyy säätämään, mutta johtuen reaktioajan kasvamisesta kohteen havaitsemisen osalta, se ei ole suurissa määrin suositeltavaa liikkuvassa käytössä. Oleellisempaa on käyttää moniasteista otantaa, tällöin jokaista kuvaa verrataan kuvanpäivitysten välillä mahdollisten virrehavaintojen eliminoimiseksi. Lisäksi integrointi-aika vaikuttaa, niin tummien kappaleiden tunnistamiseen, kuin kirkkaiden tai lähellä olevien kohteiden pikseleiden saturatiota.

## 4.2 Havainnot

Käytännön osuuden alku keskittyi käytössä olevan automaattitrukin päivittämiseen sekä liitäntöjen suunnitteluun, sekä toteutukseen. Sähköpiirustukset laadittiin yhdessä yrityksen sähkösuunnittelijoiden, sekä muun ammattihenkilökunnan neuvoin. Kameran mekaaninen kiinnitys tehtiin yksinkertaisella rautalevyllä, jonka sai kiinnitettyä automaattitrukin olemassa oleviin kiinnityspultteihin. Ohjelmallisesti työ vaati oikean valmiin pohjakonfiguraation valinnan automaattitrukille, sekä siihen tehtävät muokkaukset vastamaan kameran käyttämiä I/O:ita.

Merkittävimmät haasteet laitteen havainnointikyvyssä liittyvät virheellisiin heijastuksiin, sekä niiden korjaamiseksi tehtävien muutosten vaikutus reaktioaikaan. Alaviistoon asennettu Visionary pystyy helposti havaitsemaan törmäysriskit automaattitrukin etupuskurista neljän metrin päähän sekä tarvittaessa pidemmällekkin. Kameran linssin avauskulma riittää kattamaan koko automaattitrukin leveyden kamerasta alaspäin. Pystysuunnassa avauskulma riittää tarkkailemaan kyseisen automaattitrukkimallia noin 32° kulmassa viisostosi alaspäin kiinnityspisteen horisontaalista x-akselista. Tämä ratkaisu jättää alttiiksi tietenkin kohtisuoraan kameraan tuleville esteille, mutta niin tapahtuisi myös 2D-Lidarin kanssa.

Kameran reaktioaika ei odotetusti kykene samaan Lidarin kanssa. Sen säätäminen nopeammaksi vaikuttaisi selkeästi havaintojen tarkkuuteen ja luotettavuuteen, mutta reaktioaika riittää kuitenkin Lidarillekin asetetulle havainnointietäisyydelle. Valvonta alueen lähettämä signaali vaihtelee päälle sekä pois johtuen ”Pull Up” ylösvedosta tulopuolella. Lisäksi SOPAKSELTA siihen asetettava viive vaikuttaa vain nollan vaihtumisesta ykköseksi, mutta ei toisinpäin. Tämä signaalin toiminnallisuus mahdollista korjata automaattitrukin omassa softwaressa. joskin johtuen aikataulusta ja työn keskittymisestä kameran omaan toimintaan, ei muutosta tulla tekemään. Laitteen konfiguroiminen havaitsemaan niin kapeita pitkittäisiä kappaleita kuin tummia kappaleita vaatii huomattavaa herkkyyttä parametreilta. Tämä tuo lisäongelmia automaattitrukin toiminnallisesti oleellisesta navigointijärjestelmän toimintaperiaatteesta, heijastimista. Navigointilaser käyttää fyysisiä heijastimia navigointiinsa paikantaaksensa itsensä Layoutista. Nämä heijastimet matalalla ollessaan heijastavat epäsuorankin Visionaryn infrapunavalon suoraan kameranalle, ja luovat valeheijastuksia pysäyttäen automaattitrukin sensorin havainnon

perusteella. Ongelma korostuu huomattavasti heijastimien mahdollisesti matalan sijainnin, sekä Visionaryn asennuskulman perusteella.

Nämä valeheijastukset on mahdollista eliminoida parametrien avulla, mutta tämä taas vaikuttaa tummien, sekä pienempien kappaleiden havainnointiin. Tasapainon löytäminen kaikkien haluttujen ominaisuuksien väliltä tulisi olemaan mahdollisesti hyvinkin pitkä prosessi, joka vaatisi aina tapauskohtaiset säädöt jokaisen asiakkaan tilojen ja tarpeiden mukaan. Ajallisesti suhteutettuna kaksikulotteinen Lidar on huomattavasti luotettavampi ja nopeampi säätää toimimaan tilanteen mukaan.

## 5 Yhteenveto

Oleellinen jatkotyö olisi selvittää Visionaryn toimintaa ympäristössä, jossa heijastukset eivät altistaisi Visionaryä turhaan, tai vastaavat tarkat parametrit, joilla toimintavarmuus saataisiin halutulle tasolle halutuilla havainnointiominaisuuksilla. Joka tapauksessa heijastimia ei voi poistaa navigoinnin takia, ja edeltävä Lidar ei ole niin altis valheellisille heijastuksille, ennen kaikkea juuri kaksikulotteisen havainnointinsa takia. Vaikka molempien laitteiden fyysinen asentaminen ja suuntaaminen ovat toisiinsa verraten hyvinkin samalaisia, tarvitsee Visionary erittäin tarkasti säädetyn toimivan ohjelmallisen pohjan toimiakseen. Tätä pohjaa sovellettaisiin mallin, yksilön ja paikkakohtaisesti, joka toisi huomattavan lisätyön määrän jokaisen asennetun laitteen osalta. Pysyvimmat tekijät jokaisessa projektissa ohjelmalle olisivat:

- Nopeus ja kulmatiedot. Automaattitrukit säädetään liikkumaan yhtenevästi mallien kesken.
- Tummmimmat havaittavat kohteet. Yleisesti ottaen tummmimmat kohteet ovat joko automaattitrukkien omia osia, tai käyttökohteessaan lähes samalla lailla valoa absorboivia pintoja.

Sen sijaan jokaisessa projektissa olisi suhteellisen paljon muita muuttujia, jotka tekisivät laitteen käyttöönottojen välisistä eroista huomattavia. Automaattitrukkien keskinäiset fyysiset ja mekaaniset eroavaisuudet vaikuttavat Visionaryn asennettavaan kulmaan ja linsin koko aukeamiskulman hyödyntäminen vaatisi muitakin mekaanisia muokkauksia kuin pelkän asennukseen liittyvät tarpeet. 2D-Lidarillakin tämä tuo oman haasteensa, mutta johtuen kaksikulotteisesta kentästä, laite on mahdollista asentaa lähes automaattitrukin rungon taakse ja vain pienellä näköyhteydellä mahdollistaen silti tarkkailun vaunun eteen. Pienimmät pysäytyshavaintoa vaativat kohteet vaihtelevat keskenään trukkien, muun liikenteen, sekä kiinteästi asennettujen kohteiden välillä. Lisäksi käyttöönottokohteen yleinen valaistus ja auringonvalo, luonnollisesti heijastavat pinnat, sekä navigointiheijastimien vaadittu asennuskorkeus vaihtelevat keskenään huomattavasti. 2D-Lidar ei ole näille häiriöille erityisen altis, auringonvaloa lukuun ottamatta. Kylmävarastojen tapauksissa Visionaryn käyttäminen voisi olla mahdotonta johtuen toimintalämpötilan rajoista.

Laitteen kytkentään liittyen jatkotyötä voi tehdä niin signaalin toiminnan, kuin koneturvallisuuden takaamiseksi. Tällä hetkellä nolla signaali pysäyttää automaattitrukin, mutta

ylösvetorele tulon puolella nostaa arvon takaisin ykköseen. Tämä aiheuttaa automaattitrukin pysähtyessä nykimistä signaalien vaihtuessa keskenään laitteen havaitessa kohteen. Myös erillisen hidastavan singalin valvonta-alueen käyttöönotto jäi kokeilematta niin ohjelmallisesti, kuin laitteen liikkeiden kannalta. Lisäksi signaalin mahdollisesti katketessa tämä liitäntä tai ohjelmatarikaisu ei pysäyttäisi automaattitrukkia, mikä ei vastaisi vaadittavia turvallisuusmääräyksiä. Lisäksi liitäntään mahdollisena jatkokehityksen aiheena voitaisiin hyödyntää Ethernetia signaalilähdöissä kameranalta. Tämä toisi vaihtoehdoksi esimerkiksi useamman eri tunnistusalueen hyödyntämisen ja lisätiedon välittämisen CVC:lle, sekä näin voitaisiin selvittää mahdollinen Visionaryn etäkäyttö.

Jos laitteen saa onnistuneesti havaitsemaan edessäpäin olevat esteet, voitaisiin samaa soveltaa automaattitrukin peruutus ja jopa sivutunnistimina. Visionary mahdollistaa neljän erillisen kameran valvonta-alueiden päällekkäisenkin käytön. Tämä 360° valvonnan mahdollistaminen onnistuisi teoriassa hyvin. Visionary riittäisi samaan tapaan etukameran tavoin alaviistoon tarkkailemaan sivuja, mutta takakameran asentaminen vaatisi enemmän mekaanista ja ohjelmallista soveltamista ottaen huomioon erilaisten lastinkäsittelylaitteiden koon ja liikeradat.

## Lähteet

- 1 Ghobadi, Seyed Eghbal. 2010. Real Time Object Recognition and Tracking Using 2D/3D Images. Väitöskirja. <<https://core.ac.uk/download/pdf/56725747.pdf>> Luettu 09.09.2020
- 2 Revopoint sensorivalmistajan vertailu 3D kuvannusteknologioista. <<https://www.revopoint3d.com/comparing-three-prevalent-3d-imaging-technologies-tof-structured-light-and-binocular-stereo-vision/>> Luettu 20.09.2020
- 3 Tan, Alan. 2019. Is stereoscopic 3D vision what Deep Learning needs to generalize modeling of the reality. Artikkel Data Driven investorissa, tietotekniikkaan ja teknologiaan keskittyvä sivustolla. <<https://medium.datadriveninvestor.com/is-stereoscopic-3d-vision-what-deep-learning-needs-to-generalize-modeling-of-the-reality-1871f579e2ef>> Viitattu 17.05.2021
- 4 Stemmer Imaging, Skandinavian Swift -sarjan maahantuoja, tietokirjasto konenäköön. <<https://www.stemmer-imaging.com/en-se/knowledge-base/>> Viitattu 17.05.2021
- 5 Vision Systems Design, konenäköön erikoistuva sivusto, lehti ja e-julkaisija. <<https://www.vision-systems.com/>> Luettu 29.10.2020
- 6 Bostleman, Roger; Hong, Tsai; Madhavan, Radhamadhavan. 2005. Towards AGV safety and navigation advancement obstacle detection using a TOF range camera. PDF-dokumentti. <[https://www.researchgate.net/publication/4173955\\_Towards\\_AGV\\_safety\\_and\\_navigation\\_advancement\\_obstacle\\_detection\\_using\\_a\\_TOF\\_range\\_camera](https://www.researchgate.net/publication/4173955_Towards_AGV_safety_and_navigation_advancement_obstacle_detection_using_a_TOF_range_camera)> Luettu 12.09.2020
- 7 SICK Visionary-T tuoteperheen yleiskatsaus. <[https://www.sick.com/media/docs/3/33/433/Product\\_information\\_Visionary\\_T\\_en\\_IM0062433.PDF](https://www.sick.com/media/docs/3/33/433/Product_information_Visionary_T_en_IM0062433.PDF)> Viitattu 17.05.2021
- 8 SICKin mainosvideo Visionary-T minille. <<https://www.youtube.com/watch?v=y7I2dXHXo2o>> Viitattu 17.5.2021
- 9 IFM:n verkkokatalogi 3D antureille liikkuvaan käyttöön. <[https://www.ifm.com/fi/fi/category/020/020\\_030/020\\_030\\_020#!S/BD/DM/1/D/0/F/0/T/24](https://www.ifm.com/fi/fi/category/020/020_030/020_030_020#!S/BD/DM/1/D/0/F/0/T/24)> Viitattu 17.05.2021
- 10 IFM:n uutinen koskien tulevaa AGV 3D sensoria. <<https://www.ifm.com/de/en/shared/product-news/2020/sps/collision-protection-for-automated-guided-vehicle-systems>> Viitattu 17.05.2021



- 11 Lucid Vision Labsin Helios2 3D kamera. <<https://thinklucid.com/product/helios2-time-of-flight-imx556/>> Viitattu 17.05.2021
- 12 Swift -sarjan konenäköanturit. <<https://www.odos-imaging.com/>> Viitattu 17.05.2021
- 13 Blaze 101 3D-kamera. <[https://www.oem.fi/ui/product-resources/oem/\\_-162323.pdf?att=False&hash=A8495B3C4418D0F6B181FEFC1FAAA723](https://www.oem.fi/ui/product-resources/oem/_-162323.pdf?att=False&hash=A8495B3C4418D0F6B181FEFC1FAAA723)> Viitattu 17.05.2021
- 14 SICK V3S130-2AABAAB Visionary-T:n verkkokirjasto. <[https://www.sick.com/fi/fi/teollinen-kuvankaesittely/3d-konenaekoe/visionary-t/v3s130-2aab/p/p560844?ff\\_data=JmZmX2lkPXA1NjA4NDQmZmZfbWFzZdGVySWQ9cDU2MDg0NCZmZl90aXRsZT1WM1MxMzAtMkFBQkFBQkZmZl9xdWVyeT0mZmZfcG9zPTMmZmZfb3JpZ1Bvcz0zJmZmX3BhZ2U9MSZmZl9wYWdlU2l6ZT0yNCZmZl9vcmlnUGFnZVZVNmU9MjQmZmZfc2ltaT05Mi4w](https://www.sick.com/fi/fi/teollinen-kuvankaesittely/3d-konenaekoe/visionary-t/v3s130-2aab/p/p560844?ff_data=JmZmX2lkPXA1NjA4NDQmZmZfbWFzZdGVySWQ9cDU2MDg0NCZmZl90aXRsZT1WM1MxMzAtMkFBQkFBQkZmZl9xdWVyeT0mZmZfcG9zPTMmZmZfb3JpZ1Bvcz0zJmZmX3BhZ2U9MSZmZl9wYWdlU2l6ZT0yNCZmZl9vcmlnUGFnZVZVNmU9MjQmZmZfc2ltaT05Mi4w)> Luettu 5.5.2021

	SICK	IFM	Lucid	Odos ImaGing	Basler
Malli	(useita)	(useita)	Helios 1&2	Swift-E/GCamera	Blaze 101
Tyyppi	Tof	Tof	Tof	Tof	ToF
Max Etäisyys	7-8m (60 m 100% heijastuksella)	8 - 10 m (30 m 100% heijastuksella)	6 - 8,3 m (6 eri etäisyys modea)	6 m	10 m
Min Etäisyys	0,5 m	0,3 m	0,3 m	0,5 m	0 m
Näkökenttä	69° * 56°	40° * 30° - 70° * 51°	69° * 51°	43°*33°	67°*51°
Parametointi/Käyttö	SICK AppManager	Vision Assistant (SDK)	Arena (SDK, maksuton)	Valmistajan oma SDK	
	SICK AppStudio	API (C, C++ ja Halcon)	mm. ROS yhteensopiva	NET (Windows), C++	mm. ROS yhteensopiva
	API (Java)				
	SOPAS ET		C++, C, C#, Python		.Net, C/C++, Python
	Telegram interface		GiGevision	GiGevision	GiGevision
			GenlCam	GenlCam	GenlCam
Käyttöjännite	24 V DC	20,4...28,8 Vdc	802.3at PoE+ /GPIO 18-24Vdc	12 VDC	24 ±10% VDC
I/O	Input 2	Input 1 (triggaus 24 V PNP/NPN)	1 input 2,5 - 24V (suodatettu), 1 output	Ethernet	1
I/O	Output 4	2 kpl	2 kpl		1
Snapshot/Stream	Suodatettavissa	Suodatettavissa	Live SDK näkymä	SDK stream	
Liitäntä	M12	M12	M12	M12 (optio)	M12 8-pin
Liitäntä	M12 17 (24V GPIO)	M12	M8(GPIO)		M12 8-pin
Toiminnallinen lämpötila	0° - 50° C 0° - 45° C	-10° - 50°C	-20° - 50°C	-20° - 50°C	0° - 50° C
Hintaluokka	noin 3500 €	noin 600-2500 €	noin 1330-1500 €	noin. 9500 € yksittäin	1 450 €

Kuva 9. Kameroiden vertailusta tehty yhteenveto.