



TEKNILLINEN TIEDEKUNTA

Konenäön hyödyntäminen robotin ohjauksessa

Johannes Jyrkkä

KONETEKNIIKAN TUTKINTO-OHJELMA

Kandidaatintyö 2018

TIIVISTELMÄ

Konenäön hyödyntäminen robotin ohjauksessa

Johannes Jyrkkä

Oulun yliopisto, Konetekniikan tutkinto-ohjelma

Kandidaatintyö 2018, 29 s.

Työn ohjaaja yliopistolla: Yrjö Louhisalmi

Työssä on tavoitteena tehdä kirjallisuuskatsaus konenäön hyödyntämisestä robotin ohjauksessa. Työssä selitetään aluksi konenäköä ja siihen liittyvää teoriaa. Lopuksi kerrotaan, kuinka konenäköä voi hyödyntää robotin ohjauksessa. Yhteenvedossa pohditaan, kuinka konenäkö on muuttanut robotin ohjausta tähän mennessä, ja miten se tulee luultavasti muuttamaan sitä tulevaisuudessa. Työn tuloksena lukija saa peruskäsityksen konenäöstä, ja kuinka sitä voi hyödyntää robotin ohjauksessa.

Asiasanat: konenäkö, robotiikka, teollisuusautomaatio

ABSTRACT

Machine vision in robot control

Johannes Jyrkkä

University of Oulu, Degree Programme of Mechanical Engineering

Bachelor's thesis 2018, 29 p.

Supervisor at the university: Yrjö Louhisalmi

The aim of this bachelor's thesis is to make a literature review of the utilization of the machine vision in robot control. The work will first explain the machine vision and the related theory. Finally, it is told how the machine vision can be utilized in robot control. The summary looks at how machine vision has changed robot control so far and how it will probably change it in the future. As a result of the work, the reader gets a basic idea of the machine vision and how it can be utilized in robot control.

Keywords: machine vision, robotics, industrial automation

ALKUSANAT

Työn tarkoituksena on perehdyttää lukija konenäköön ja selvittää, miten siitä on hyötyä robotin ohjauksessa. Kandityö alkoi aiheen valinnasta marraskuussa 2017 ja päättyi valmiin työn palautukseen toukokuussa 2018. Aihe ei ollut itselleni tuttu ennestään, joten sain itsekin oppia paljon uutta. Tahdon kiittää kandityön ohjaajaani Yrjö Louhisalmea hyvästä ohjeistuksesta, sekä auttamisesta aiheen valinnassa.

Oulu, 12.5.2018

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Jyrkkä', written in a cursive style.

Työn tekijä

SISÄLLYSLUETTELO

1 JOHDANTO	7
1.1 Konenäkö	7
1.2 Konenäkö ja tietokonenäkö	8
2 KONENÄKÖJÄRJESTELMÄT	10
2.1 Konenäköjärjestelmän tyypit	10
2.2 Konenäköjärjestelmän rakenne	11
2.3 Kuvan muodostus	12
2.3.1 Kamerateat	12
2.3.2 Objektiivit	13
2.3.3 Valaistus	14
2.4 Kuvankaappaus	15
2.5 Kuvankäsittely	17
2.5.1 Esikäsittely	17
2.5.2 Segmentointi	17
2.5.3 Etiketointi	19
2.6 Ohjausjärjestelmä	20
2.6.1 Piirteiden irrotus	20
2.6.2 Luokittelu	20
2.6.3 Järjestelmän ohjaus	21
2.7 Älykamerateat	21
2.8 Sulautetut konenäköjärjestelmät	22
3 KONENÄKÖ ROBOTIN OHJAUKSESSA	23
3.1 Robotin ohjaustavat	23
3.2 Robotin ohjauksen sovelluskohteet	24
4 YHTEENVETO	26
5 LÄHDELUETTELO	27

1 JOHDANTO

Työn aiheena on perehtyä, kuinka konenäöstä on hyötyä robotin ohjauksessa. Aihe valittiin kirjottajan mielenkiinnon mukaan valmiista vaihtoehdoista, joita Oulun yliopiston Mekatroniikan ja konediagnostiikan tutkimusryhmällä oli tarjottavana. Työssä käydään ensin läpi, mitä konenäkö on, miten se toimii ja lopuksi, miten sitä voidaan hyödyntää robotin ohjauksessa. Oletuksena on, että lukija ei ole perehtynyt konenäköön, mutta saattaa olla esimerkiksi kiinnostunut sen mahdollisuuksista. Työssä kerrotaan muun muassa ajoittain, mitä lukijan tulisi ottaa huomioon suunnitellessaan konenäön käyttöön ottamista. Työ on rajattu käsittelemään pitkälti teollisuudessa konenäköä käyttäviä robotteja. Lisäksi, konenäön teoria on rajattu selittämään sen toiminta vain pääpiirteittäin. Siinä ei esimerkiksi käydä syvällisesti kuvan muodostumisen teoriaa, eikä algoritmeja, joilla tehdään kuvista päätöksiä.

1.1 Konenäkö

Näkö on ollut tärkein aisti ihmiselle kautta historian. Se on antaa meille enemmän informaatiota kuin mikään muu aisti. Sen avulla pystymme tekemään nopeitakin päätöksiä joka päivä. Kuitenkin teknologian kehittyessä ihmisen silmä on jäänyt monissa asioissa toissijaiseksi. On tullut tarvetta tarkastella asioita nopeammin, tarkemmin ja väsymättä. Konenäkö vastaa näihin tarpeisiin. Konenäkö on siis toiminnaltaan samankaltainen kuin ihmissilmä, mutta monissa osa-alueissa tehokkaampi.

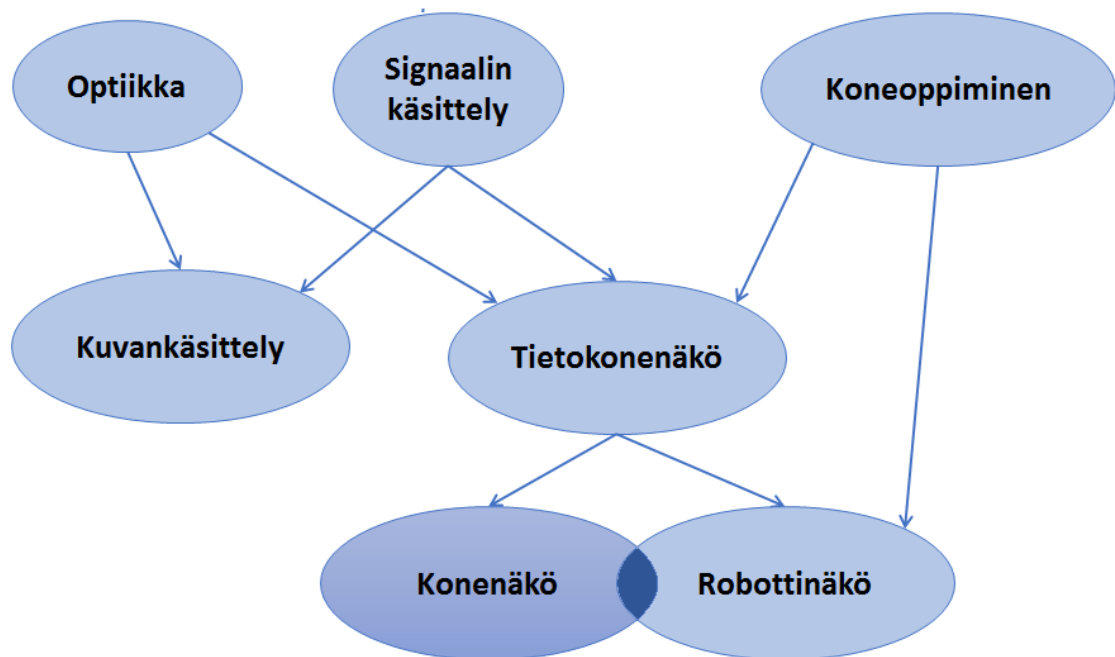
Käsitteenä konenäköä on käytetty ensimmäisen kerran jo 1930-luvulla (Zeuch, 2000, s. 7). Vain 50 vuotta myöhemmin konenäköä oli jo alettu tutkia useissa yliopistoissa ja Cognex-niminen yritys valmisti ensimmäisiä älykaineroita (Zeuch, 2000, s. 13-14). Tietokoneiden laskentatehon kehittyessä on voitu valmistaa monimutkaisempia algoritmeja ja tehokkaampi konenäköjärjestelmiä. 1980-luvulta lähtien on syntynyt satoja uusia yrityksiä, jotka ovat tuoneet markkinoille sekä mukautuvia, että tiettyyn tarkoitukseen tehtyjä konenäkölaitteita. (Zeuch, 2000, s. 16)

1.2 Konenäkö ja tietokonenäkö

Konenäön määritelmä on usein veteen piirretty viiva. Tämä johtunee enimmäkseen siitä, että konenäkösovellutuksien kehittyessä, niitä on valjastettu teollisuuden lisäksi myös muille elinkeinoelämän alueille. Konenäköä käytetään esimerkiksi lääketieteessä ja kodin- sekä viihde-elektroniikan ratkaisuisissa (Teknologiademot on the road, Konenäkö, 2016).

Varsinkin puhekielessä termit saattavat mennä sekaisin. Kun puhutaan esimerkiksi konenäöstä, saatetaan epähuomiossa tarkoittaa tietokone- tai jopa robottinäköä. Kaikki edellä mainitut termit kuitenkin tarkoittavat eri asioita.

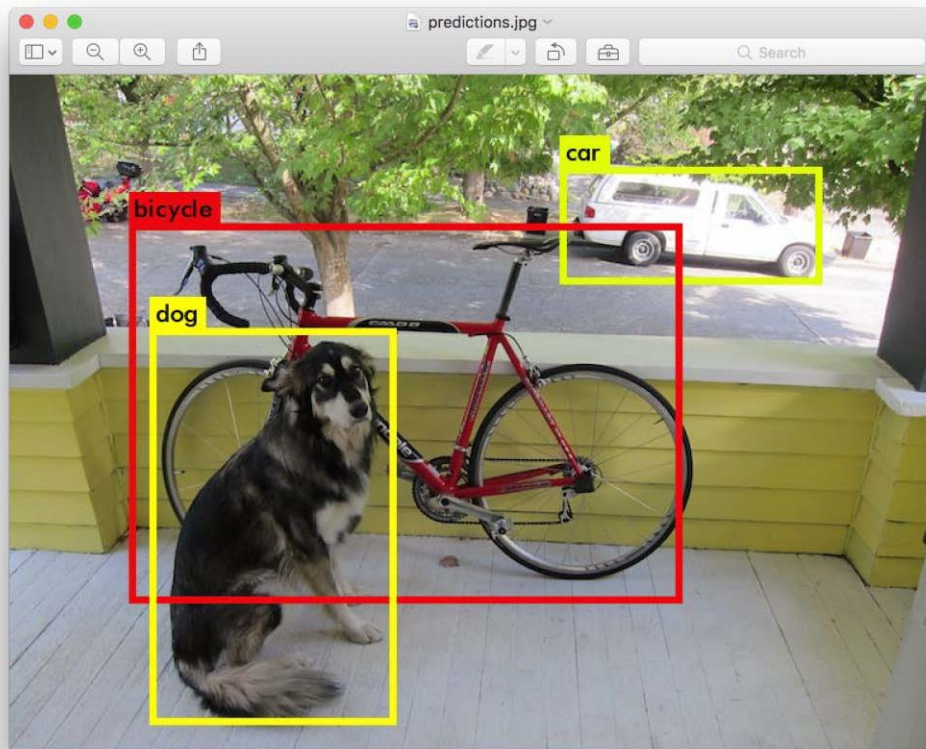
Kuva 1 havainnollistaa konenäön yhteyksiä sen synonyymien kanssa.



Kuva 1. Konenäön sukulaissanat

(Mukailleen, Robot Vision vs Computer Vision: What's the Difference?).

Kone- ja robottinäkö ovat hyvin läheisiä termeinä. Ne molemmat myös liittyvät vahvasti tietokonenäköön. Tietokonenäön tavoitteena on tehdä hyödyllisiä päätöksiä todellisista fyysisistä esineistä ja tapahtumista havaittujen kuvien perusteella (Shapiro & Stockman, 2001, s. 1). Kuvassa 2 on esimerkki tietokonenäön sovellutuksesta.



Kuva 2. Tietokonenäköä hyödyntävä ohjelma tunnistaa reaali maailman asioita (Darknet Yolo 2018).

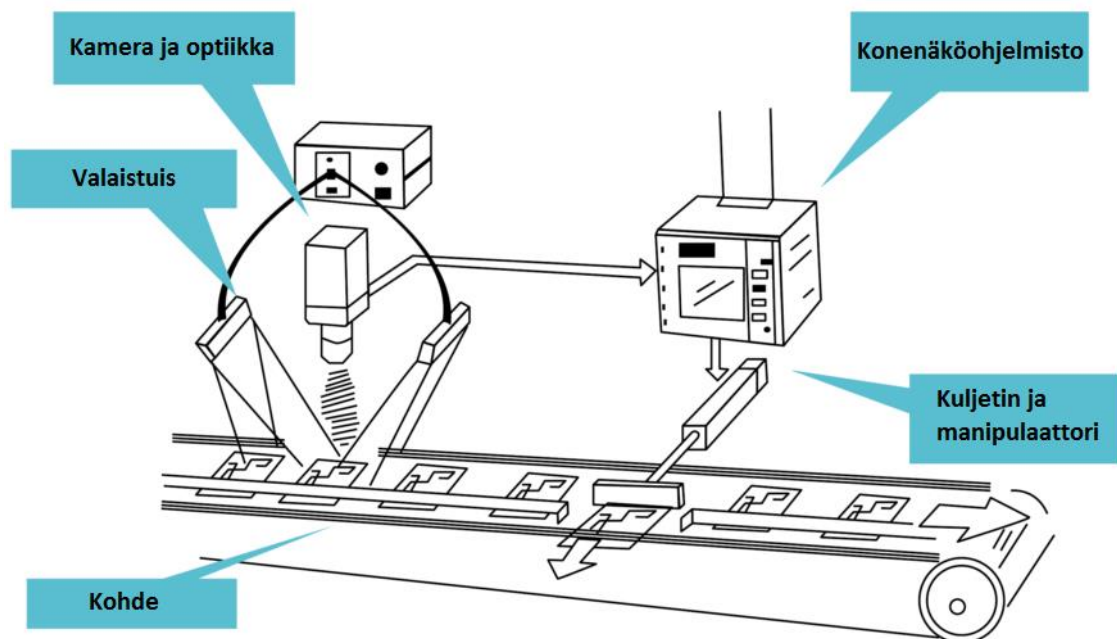
Konenäön määritelmä on lähestulkoon sama, kuitenkin pienillä eroilla. Konenäkö viittaa tietokonenäön hyödyntämiseen teollisuudessa, automaatiotarkastuksissa ja esimerkiksi prosessien- ja robottien hallinnassa. Tästä herää kysymys, että eikö robottinäkö ole sitten täysin sama asia kuin konenäkö? Näin ei kuitenkaan ole, vaikka näitä kahta termiä voidaan useissa tilanteissa käyttää synonyymeinä. Robottinäön määritelmä viittaa aina robotin ohjaukseen. Esimerkiksi osien tarkastaminen tuotantolinjalla hyödyntäen kameraa on konenäköä, mutta sillä ei ole mitään tekemistä robotiikan kanssa. Sen lisäksi robottinäkö ei kuulu pelkästään tekniikan alalle. Se on tiedettä, jossa on sille erityiset tutkimusalueet (Robot Vision vs Computer Vision: What's the Difference, 2016).

2 KONENÄKÖJÄRJESTELMÄT

2.1 Konenäköjärjestelmän tyypit

Kaikki konenäköä käyttävät laitteet koostuvat jonkinlaisesta konenäköjärjestelmästä. Konenäköjärjestelmät rakennetaan aina toteuttamaan jokin tarkoitus. Joissakin tapauksissa on mahdollista vielä myöhemmin muokata järjestelmää, mutta yleensä se pystyy vain tekemään sille alussa määriteltyä tehtävää. Siksi konenäköjärjestelmissä suunnitteluvaiheeseen panostaminen on erittäin tärkeää. Siinä kannattaa selvittää sovelluksen vaatimukset, ja perehtyä erilaisiin järjestelmätyyppeihin. Sen jälkeen on helpompi selvittää, millä järjestelmällä saa parhaiten toteutettua haluttu tehtävän.

Konenäköön perustuvat laitteet voidaan jakaa kolmeen järjestelmätyyppiin: tietokonepohjaisiin -, älykameroihin ja sulautettuihin konenäköjärjestelmiin. Kuvassa 3 on perinteinen eli tietokonepohjainen konenäköjärjestelmä.



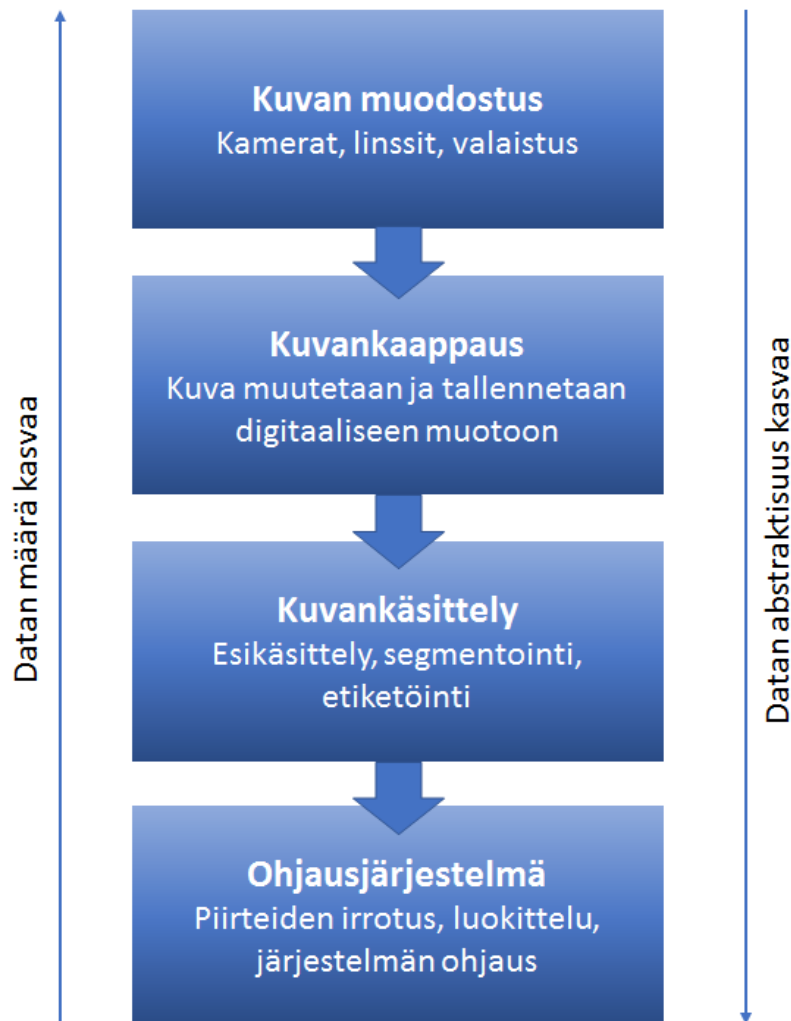
Kuva 3. Esimerkki perinteisestä konenäköjärjestelmästä (Mukaiillen, Innomiles 2018).

Tietokonepohjainen konenäköjärjestelmä oli ensimmäisenä kehitetty järjestelmätyyppi. Se on kokoonpano, johon kuuluu monia yksittäisiä osia. Myöhemmin on kehitetty älykamerat ja sulautetut konenäköjärjestelmät, joissa monimutkainen järjestelmä

tehdään yhteen laitekokonaisuuteen. Nämä kompaktit vaihtoehdot ovat perinteiseen konenäköjärjestelmään verrattuna muun muassa helpompia ja nopeampia ottaa käyttöön.

2.2 Konenäköjärjestelmän rakenne

Kuvassa 4 on konenäköjärjestelmän osa-alueet ja ylhäältä alaspäin tapahtuva konenäköprosessi. Se alkaa kuvan muodostuksesta. Sen jälkeen tapahtuu kuvankaappaus, jossa otettu kuva muutetaan digitaalseksi. Sitten digitaalisessa muodossa oleva kuva käsitellään ja lopulta kuvasta saadut tiedot muutetaan järjestelmän ohjaukseksi. Prosessin tarkoituksena on saada reaali maailman kuvasta mahdollisimman tarkasti tietoa. Tämä onnistuu muokkaamalla kuvaa erilaisilla keinoilla. Siksi kuvan abstraktisuus kasvaa alaspäin mennessä. Lisäksi nämä toimenpiteet vähentävät kuvassa olevan datan määrää, joten kuvassa on eniten dataa silloin, kun se on otettu kameralla.



Kuva 4. Konenäköjärjestelmän osa-alueet

2.3 Kuvan muodostus

Kaikissa konenäköjärjestelmissä toiminta alkaa kuvan muodostuksella. Kuvan muodostamiseen tarvitaan kameraa, siinä kiinni olevia linsskejä sekä valaistusta. Kuvan lopputulokseen voidaan vaikuttaa monella tavalla käyttämällä oikeanlaista valaistusta. Myös erilaisilla linseillä saadaan aikaan erilaisia kuvia. Koko konenäköprosessin onnistuminen riippuu muodostettavan kuvan tallentuvasta informaatiosta. Siksi konenäköjärjestelmää suunniteltaessa on tärkeää valita tarkasti edellä mainitut tekijät.

2.3.1 Kamerat

Konenäössä ei tyypillisesti käytetä perinteisiä järjestelmäkameroita, jotka on tehty ihmisilmille miellyttäväksi. Ihmisen silmä näkee rajallisesti. Siksi hyvältä näyttävä

kuva ei välttämättä anna tarpeeksi tietoa konenäkösovellutuksen kannalta. Sen sijaan konenäkösovelluksissa käytetään siihen suunniteltuja kameroita. Lisäksi erikoisemmissä tapauksissa voidaan käyttää esimerkiksi röntgen-, stereo- tai infrapunakameroita (Shapiro & Stockman, s.46 ; Teknologiademot on the road, Konenäkö 2016). Tällaisilla kameroilla saavutetaan kuvalle ominaisuuksia, jotka helpottavat tai jopa tekevät mahdolliseksi tietynlaisia konenäkösovellutuksia.

Kameran tyypistä riippumatta kuva muodostuu aina valoherkälle kennolle. Nämä kennot voidaan jakaa kahteen ryhmään niissä käytettävien teknologioiden perusteella, CCD ja CMOS. CMOS on uudempaa teknologiaa ja se on halvempi valmistaa yksinkertaisemman valmistusprosessin vuoksi. Kun taas esimerkiksi CCD -kennon valonherkkyys on parempi kuin CMOS -kennon. Kennon tyypin valinnan lisäksi kameran valintaan vaikuttavia tekijöitä ovat muun muassa ruudunpäivitysnopeus (engl. frame rate) ja resoluutio (Teknologiademot on the road, Konenäkö 2016).

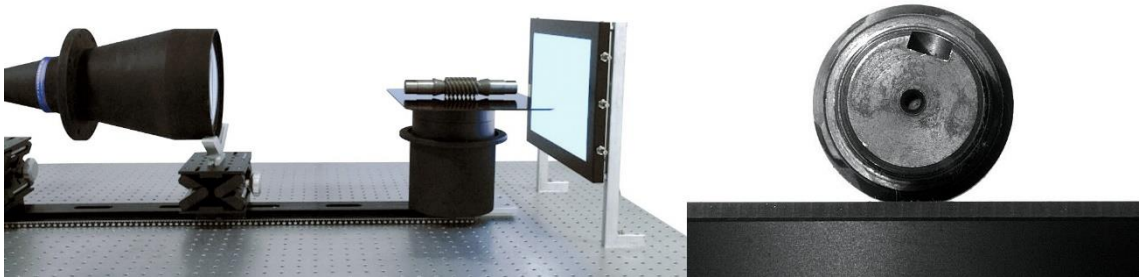
2.3.2 Objektiivi

Erilaisilla kameran objektiivin valinnoilla voidaan vaikuttaa merkittävästi muodostettavaan kuvaan. Vaikuttavia tekijöitä ovat objektiivin muodostavien linssien valinta, niiden etäisyyksien vaihtelu ja erityisobjektiivien käyttö (Teknologiademot on the road, Konenäkö 2016).

Objektiivissa on kaksi huomion arvoista ominaisuutta, polttoväli ja valotusaukko. Polttoväli vaikuttaa siihen, kuinka tarkkaa kuvaa saadaan muodostettua tietylle etäisyydelle. Jos esimerkiksi konenäköjärjestelmän tarkasteltavat tuotteet ovat lähellä kameraa, polttoväli määritetään linssien etäisyyden avulla niin, että lähellä olevat kohteet muodostuvat tarkasti. Valotusaukko taas vaikuttaa siihen, kuinka paljon valoa objektiivi kykenee keräämään. Sen merkitys kasvaa tilanteissa, joissa kuvattavassa kohteessa ei ole paljon valoa (Konenäkö robotin ohjauksessa 2016, s.8-9). Konenäön kanssa voi myös käyttää seuraavia erikoisobjektiiveja:

Telesentrinen objektiivi poistaa kuvasta perspektiivin, kuten kuvassa 5 nähdään. Tämä saa eri etäisyyksillä olevat kappaleet näyttämään yhtä korkeilta. Tästä on hyötyä muun muassa konenäkösovelluksissa, joissa halutaan tarkistaa useiden kohteiden pituuksia eikä niiden asettelu samalle tasolle ole mahdollista. Telesentrinen objektiivi

mahdollistaa myös paksujen kappaleiden tarkastelun suuremmalla tarkkuudella kuin tavallisella objektiivilla (Opto engineering, 2018).



Kuva 5. Esimerkki telesentrisen objektiivin käytöstä, paksua kappaletta voidaan tarkastella sen koko syvyydeltä. Tavallisella linssillä saman kuvan resoluutio olisi paljon huonompi (Opto engineering, 2018).

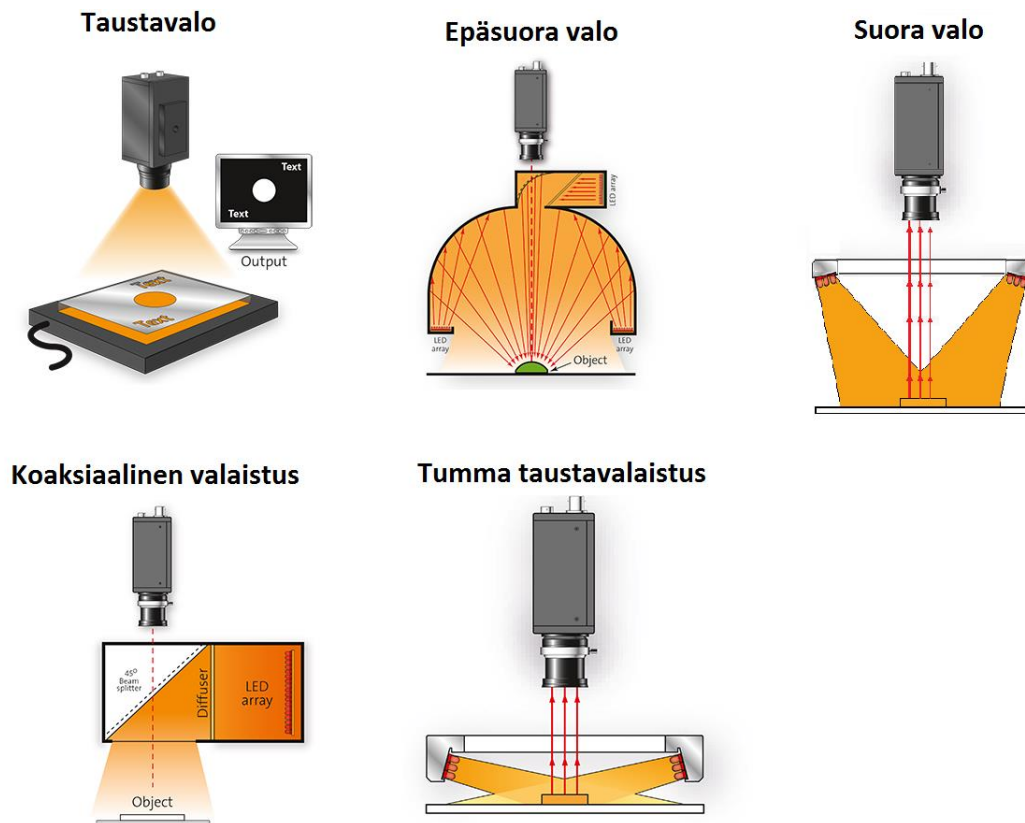
Kalansilmäobjekti on laajakulmalinssi, jossa tynnyrivääristymää ei yritetä vähentää, eikä poistaa (Wikipedia, Kalansilmä, 2017). Sillä pystytään parhaimmillaan saavuttamaan 180 asteen kuvakulma. Kalansilmäobjektia voidaan hyödyntää konenäön sovellutuksissa esimerkiksi putkien tai muiden vastaavien ympyrälieriökappaleiden tarkastelussa. Laajan kuvakulman ansiosta kameraa ei tällöin tarvitse pyörittää.

2.3.3 Valaistuis

Valaistus on keskeisin tekijä kuvan muodostumisessa. Hyvä valaistus on edellytys onnistuneelle kuvalle. Riittämätön valaistus tekee tarkasteltavaan kuvaan virheitä, joita ei välttämättä pystytä enää poistamaan digitaalisella kuvankäsittelyllä. Onnistuneen kuvan edellytyksen lisäksi erilaisilla valaistusmenetelmillä voidaan tuoda esille tärkeitä piirteitä konenäkösovellutukselle. Tällaisia menetelmiä ovat muun muassa seuraavat:

Taustavalo heijastetaan kameraan niin, että kuvattu kappale on kameran ja valon välissä. Tällä tavalla saadaan hyvin esille kappaleen reunat. Suora valo suunnataan kappaleeseen lähestulkoon suoralla kulmalla. Tällä tavalla kappaleelle saadaan aikaan terävät reunat. Epäsuora valo heijastetaan toisen pinnan kautta kohdepinnalle. Kohdepinnalle saadaan näin tasainen valaistuis ja vähän varjoja (Konenäkö robotin ohjauksessa, 2016, s.7). Koaksiaalinen valaistus on ideaalinen keino heijastaville pinnoille. Siinä valo heijastetaan kohteeseen 45 asteen kulmassa puoliläpäisevällä peilillä. Tumma taustavalaistus tapahtuu valaisemalla kappaletta matalalta kulmalta. Sillä saadaan korostettua kohteen pintaa, jonka ansiosta voidaan esimerkiksi tunnistaa

paremmin naarmuja tai kaiverruksia (Stemmer Imaging 2018). Kuvassa 6 nähdään esimerkiksi kaikista yllämainituista valaistuismenetelmistä.



Kuva 6. Erilaisia valaistusmenetelmiä (Mukailten, Stemmer Imaging 2014).

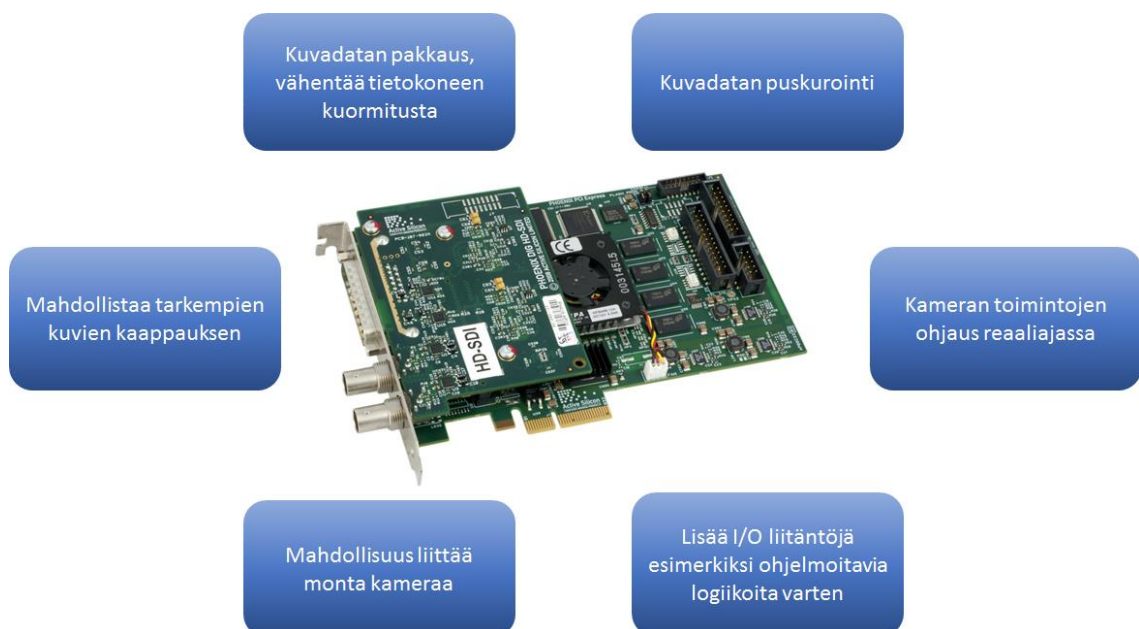
2.4 Kuvankaappaus

Konenäkösovellutuksissa kuvankaappaus tapahtuu kuvankaappauslaitteella (= eng. Frame grabber), joka voi olla joko integroitu elektroninen kortti tai erillinen laite (Konenäkö robotin ohjauksessa 2016, s.12). Kuvankaappauslaite on konenäköjärjestelmissä komponentti, joka kaappaa kameran analogisesta tai digitaalisesta videosta digitaalisia kuvia. (Phase1vision, 2018). Kuvankaappaus tarkoittaa siis konenäköjärjestelmissä kahta asiaa:

Analogisen kameran videolle kuvankaappaus tarkoittaa yksinkertaisuudessaan A/D muunnosta. Kun taas digitaalisen kameran kuvalla tilanne on monimutkaisempi, sillä

siinä kuva on jo digitaalisessa muodossa. Siinä kuvankaappaus sisältää kolme tärkeää tehtävää. Ensimmäisenä on digitaalisen kuvan rekonstruointi, eli videosta muodostetaan yksittäisiä kuvia. Tämän jälkeen kuvia puskuroidaan siihen asti, että prosessori on valmis ottamaan ne vastaan. Viimeisenä tehtävänä kuvankaappauslaite voi reaaliajassa ohjata kamera toimintoja, kuten esimerkiksi valoituksen säätöä ja kameran sulkimen aktivointia. (Quality magazine, 2018)

Kuvankaappaus on välttämätön toimenpide konenäössä, sillä siitä saadut digitaaliset kuvat voidaan tallentaa muistiin. Lisäksi digitaalista kuvaa on mahdollista muokata myöhemmin kuvankäsittelyssä. Kaikissa konenäköjärjestelmissä ei kuitenkaan tarvita erillistä kuvankaappauslaitetta. Esimerkiksi älykameroissa on liitännät, jotka mahdollistavat sen, että ne eivät tarvitse erillistä laitetta kuvankaappaukseen. Erillinen kuvankaappauslaite on kuitenkin välttämätön useissa konenäkösovellutuksissa. Se mahdollistaa kuvien kaappaamisessa korkeamman resoluution, joka tarkoittaa tarkempia kuvia. Näin ollen älykameroita ei pystytä käyttämään kaikissa sovellutuksissa. Kuvassa 7 on esimerkkikuva erillisestä kuvankaappauslaitteesta, sekä lista muista ominaisuuksista, joita sillä voidaan saavuttaa. (Konenäkö robotin ohjauksessa, 2016, s.12-14 ; Phase1vision, 2018)



Kuva 7. Erillisen kuvankaappauslaitteen päätarkoitus on mahdollistaa tarkempien kuvien kaappaus, verrattuna tilanteeseen ilman sitä. Lisäksi se voi muun muassa vähentää tietokoneen kuormitusta pakkaamalla, ja puskuroimalla kamerasta saatavaa kuvadataa (Mukaillen, Phase1vision, 2018, Phoenix-D20HDSDI x4).

2.5 Kuvankäsittely

Kuvankäsittelyn tavoitteena on muokata muodostettua kuvaa niin, että siitä saadaan mahdollisimman tarkasti tietoa konenäönsovellutukseen. Siinä käytetään avuksi erilaisia lasku- ja skannaustoimenpiteitä. Kuvankäsittelyssä ja kuvantunnistuksessa onkin olemassa lukuisia erilaisia algoritmeja. Niihin syvällisesti perehtyminen on itsessään erittäin suuri osa-alue. Siksi niihin keskitytään tässä työssä vain pääpiirteittäin. Kuvankäsittely voidaan karkeasti jakaa 3 osavaiheeseen, kuvan esikäsittelyyn, segmentointiin ja etiketointiin.

2.5.1 Esikäsittely

Kun kuva on muodostettu ja muutettu digitaaliseen muotoon, sitä on jo käytännössä ehditty käsitellä. Kuvaa on muokattu haluttuun suuntaan valitsemalla tietynlaiset linssit ja käyttämällä sopivaa valaistusta. A/D muunnoksen jälkeen kuvaa voidaan edelleen jalostaa.

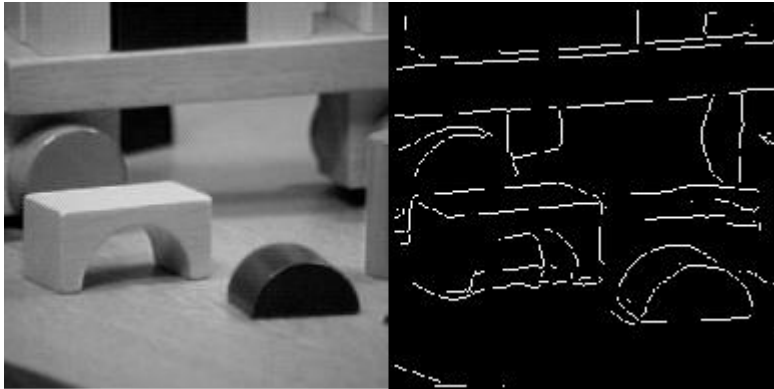
Esikäsittelyssä on tarkoituksena tehdä kuvasta selkeämpi niin, että siitä on helpompi erottaa tärkeät piirteet. Esimerkki toimenpiteitä ovat häiriötaajuuksien poistaminen suodattamalla, kuvan kääntäminen tai kuvan erottelu pienempiin osa-alueisiin niin, että raskaampien laskenta-analyysimenetelmien taakka on pienempi. (Konenäkö robotin ohjauksessa, 2016, s.14)

2.5.2 Segmentointi

Kuvan esikäsittelyn jälkeen kuvalle tehdään segmentointi. Sillä on tavoitteena tehdä kaksi asiaa: Ensimmäisenä on kuvan hajottaminen osiin lisäanalyysiä varten. Tämä voi tapahtua esimerkiksi erottelemalla osat väripikselien perusteella. Yksinkertaisissa tapauksissa erottelu on erittäin luotettavaa. Toisaalta taas monimutkaisissa kuvissa erottelu on erittäin haastavaa ja vaati paljon laskentaa käytettävältä sovellukselta. (Shapiro & Stockman, 2001, s. 279)

Toisena tavoitteena on muuttaa kuvan esitystä niin, että konenäönsovelluksen kannalta mielenkiintoiset piirteet on helpompi erottaa myöhemmissä vaiheissa (Shapiro & Stockman, 2001, s. 279). Tämä tapahtuu esimerkiksi korostamalla kiinnostavien piirteiden ääriviivoja.

Nämä kaksi tekijää yhdistettynä segmentoinnilla saadaan kuvasta eroteltua osia, jotka sisältävät dataa. Kuvassa 8 on esimerkki segmentoidusta kuvasta. Myöhemmissä vaiheissa datasta tullaan päättämään erilaisilla algoritmeilla, että sisältääkö kuva mielenkiintoisia piirteitä. Erottelun seurauksena segmentointi vähentää merkittävästi kuvassa olevan datan määrää. Taustaksi luokiteltuja pikseleitä ei tarvitse lähettää eteenpäin arvioitavaksi. Lisäksi segmentoinnissa voidaan muuttaa kuva mustavalkoiseksi, jolloin kuva pakkautuu vielä entisestään. (Thörnberg, B., 2013)



Kuva 8. Segmentoitu kuva (Mukaillen, Shapiro & Stockman, 2001).

Segmentoinnissa voidaan erotella pikseleitä värien lisäksi esimerkiksi intensiteetin ja rakenteen perusteella. Segmentoinnissa usein käytetään yhtä aikaa monia menetelmiä samanaikaisesti paremman laadun saavuttamiseksi (Yuheng S; Hao Y). Seuraavat neljä menetelmää ovat tyypillisimpiä:

Kynnystäminen on yksinkertaisin ja siksi eniten käytetty segmentointimenetelmä. Siinä osiin jakaminen tapahtuu kuvan harmaasävyn erojen perusteella. Se on erittäin nopea ja tehokas menetelmä, mutta se on altis kuvan kohinalle. Lisäksi, se ei toimi, jos kuvassa ei ole harmaansävyeroja. Siksi sitä käytetään usein muiden menetelmien kanssa. (Yuheng S; Hao Y)

Alueellinen kasvu käyttää hyväkseen kuvan harmaasävyn eroja, samalla tavalla kuten kynnystäminen. Siinä segmentointi alkaa yhdestä pikselistä, josta se lähtee liittämään samankaltaisia pikseleitä itseensä. Liittäminen jatkuu niin kauan, kun ympärillä on samankaltaisia pikseleitä. Kuvassa 9 on esitetty yksinkertaistettuna alueellinen kasvu. Siinä ensimmäisessä matriisin ylänurkissa on aloituspikselit. Ideana on, että jos harmaasävyn ero aloitus pikselin ja viereisen pikselin välillä on pienempi kuin

määritetty kynnystämisen arvo T , niin viereinen pikseli kuuluu alueeseen. Toisessa matriisissa $T = 3$ ja kolmannessa $T = 6$. (Yuheng S; Hao Y)

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 4 & 7 & 5 \\ 1 & 0 & 5 & 7 & 7 \\ 0 & 1 & 5 & 5 & 5 \\ 2 & 0 & 5 & 6 & 5 \\ 2 & 2 & 5 & 6 & 4 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} 1 & 1 & 5 & 5 & 5 \\ 1 & 1 & 5 & 5 & 5 \\ 1 & 1 & 5 & 5 & 5 \\ 1 & 1 & 5 & 5 & 5 \\ 1 & 1 & 5 & 5 & 5 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

Kuva 9. T :n arvon valinta vaikuttaa muodostuviin alueisiin

Reunan tunnistus tarkoittaa kuvan epäjatkovien muotojen etsimistä ja korostamista. Epäjatkovat muodot eli reunat voidaan havaita esimerkiksi kirkkauden, harmaasävyjen ja pikselien koostumuksen perusteella. (Yuheng S; Hao Y)

Ryhmittyminen on segmentointikeino, jossa kuvasta etsitään samankaltaisia vektoreita, jotka yhdistellään muodostaen ryhmittymiä. Näiden vektoreiden osia voivat olla muun muassa pikselien kirkkaus, väriarvo, koostumus tai jokin muu algoritmisesti laskettu ominaisuus. (Shapiro & Stockman, 2001, s. 281)

2.5.3 Etiketöinti

Etiketöinti on laskennallinen toimenpide, joka on usein välittömästi yhteydessä kuvan segmentoinnin kanssa. Etiketöinti tehdään skannaamalla kuvaa useita kertoja. Ensimmäisellä skannauksella etsitään haluttua piirrettä ja merkitään se koodiin. Merkittyjä pikseleitä ei enää skannata uudelleen. Seuraavalla skannauksella etsitään kaikki toisen piirteen omaavat pikselit. Tätä toistetaan, kunnes kaikki pikselit ovat skannattu ja merkitty (Machine Vision: Theory, Algorithms, Practicalities, s. 161). Tällä tavalla voidaan merkitä kaikki segmentoidut osat ja ne voidaan visualisoida käyttäjälle esimerkiksi erilaisilla väreillä. Kuvassa 10 on tieliikennettä kuvaavasta kamerasta tehty segmentoitu kuva, jossa on etiköity ja merkitty erilaisilla väreillä kuvan osa-alueet.



Kuva 10. Kuva on segmentoitu ja sen jälkeen etiketöity erilaisilla väreillä (Mukaillen TUM Wiki 2017).

2.6 Ohjausjärjestelmä

2.6.1 Piirteiden irrotus

Järjestelmän ohjaus alkaa piirteiden irrotuksella. Tähän mennessä kuvasta on etsitty ja merkitty mielenkiintoiset piirteet. Piirteiden irrotusvaiheessa niistä yhdistellään laskennallisilla menetelmillä kompakteja kokonaisuuksia, jotka viedään ohjelmassa eteenpäin myöhemmin arvioitavaksi. Yhdistelyyn on monta erilaista keinoa. Käytettävä keino riippuu täysin sovelluksesta, johon konenäköä on tarkoitus hyödyntää. (Thörnberg, B., 2013)

2.6.2 Luokittelu

Luokittelu on määrittelevä laskennallinen toimenpide, missä irrotettujen piirteiden kokonaisuudet jaotellaan eri kategorioihin (Thörnberg, B., 2013). Luokittelu tapahtuu todennäköisyyksien perusteella. Piirteiden irrotuksesta saatuja kokonaisuuksia arvioidaan, ja jos ne täyttävät tarpeeksi suurella todennäköisyydellä jonkin ominaisuuden, niille tehdään luokittelu. Esimerkiksi tekstintunnistussovelluksessa on saatu piirre, jossa saattaa olla kirjain. Luokittelu vaiheessa piirrettä tulkitaan, ja tehdään päätös, että kyseinen kirjain on joko O tai C. Tämän jälkeen tarkastellaan, kumpi kirjain

on todennäköisemmin. Jos todennäköisempi vaihtoehto täyttää ennalta määritellyt vähimmäisrajat, tieto siirretään järjestelmän ohjaukseen.

2.6.3 Järjestelmän ohjaus

Järjestelmän ohjaus on viimeinen konenäköjärjestelmän vaihe, jossa kuvien tiedosta tehdään toimintoja. Nämä toimenpiteet ovat yleensä ainoa asia, mikä erottaa konenäköjärjestelmän esimerkiksi tietokone- tai robottinäöstä. Teollisuudessa järjestelmän ohjaus tarkoittaa esimerkiksi viiallisen tuotteen poistamista tuotantolinjalta.

2.7 Älykamerat

Älykamera on kompakti konenäköjärjestelmä, jossa itsessään on kamera valmiina (Hornberg, 2017, kappale 7.2). Lisäksi siihen kuuluu integroitu prosessori ja muisti, joten älykamera ei tarvitse erillistä tietokonetta kuvien prosessointiin, vaan se tekee tarvittavat toimenpiteet itse. Älykamera siis säästää paljon tilaa ja yksinkertaistaa konenäköprosessia, joten se on edullinen verrattuna moniosaiseen konenäköjärjestelmään. Konenäkö kehittyy nopeasti ja samalla sen kysyntä muuttuu entistä laaja-alaisemmaksi. Älykamera on oiva vastaus sellaisissa tapauksissa, joissa ei tarvita monimutkaista konenäköä ja hinnalla on suuri merkitys. Älykameroita voidaan käyttää esimerkiksi erilaisissa viivakoodinlukijoissa tai tekstintunnistussovellutuksissa. Kuvassa 11 on esimerkkejä älykameroista.



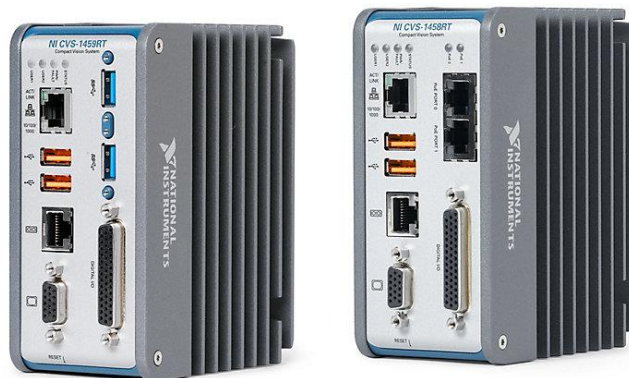
Kuva 11. Vasemmalla oleva kamera on Cognex-nimisen yrityksen valmistama, kun taas oikealla olevat mallit ovat National Instruments:n (Cognex 2018; National Instruments 2018).

Älykameran suurimmat hyödyt ovat samalla sen heikkoja puolia. Kompaktiin ei järjestelmään ei mahdu paljon tavaraa, joten älykamerassa on rajallinen määrä muistia ja laskentatehoa. Joitain sovellutuksia ei siis pystytä suorittamaan älykameralla, koska ne

ovat liian monimutkaisia sille. Niissä tilanteissa, joissa halutaan hyödyntää älykameraa, mutta tarvitaan enemmän tehoa, käytetään sulautettuja konenäköjärjestelmiä.

2.8 Sulautetut konenäköjärjestelmät

Sulautettu konenäköjärjestelmä on kokoonpano, jossa kamera kytketään erikoistuneeseen pientietokoneeseen, eikä siis tavalliseen pöytätietokoneeseen (Hornberg, 2017, kappale 7.2). Sulautetulla konenäköjärjestelmällä on monia samoja piirteitä kuin älykameralla. Etuja älykameraan verrattuna on muun muassa se, että siihen voidaan liittää useita kameroita. Lisäksi siinä voidaan käyttää ja uudelleen ohjelmoida monimutkaisempia ohjelmia verrattuna älykameraan. Sulautetussa konenäköjärjestelmässä siis yhdistyvät älykameran kätevyys ja tietokoneen laskentateho. Määritelmien selkein ero on siinä, että sulautetuissa konenäköjärjestelmissä konenäköprosessi tapahtuu kameran kotelon ulkopuolella. Kuvassa 12 on esimerkki sulautetusta konenäköjärjestelmästä.



Kuva 12. National Instruments:n sulautettu konenäköjärjestelmä. Sen etuihin kuuluu se, että siihen voi liittää monia kameroita ja käyttää erilaisia liitäntöjä (National Instruments 2018).

3 KONENÄKÖ ROBOTIN OHJAUKSESSA

Tietokoneiden laskentatehon kasvamisen ansiosta, samalla tavalla kuin konenäkö, myös robottien ohjaus on kehittynyt nopeasti. Robotit pystyvät tunnistamaan ja siirtämään entistä erimuotoisempia kappaleita moninaisemmista paikoista. Konenäön lisäksi se on mahdollista käsittely-, tarttumis- ja mittarointiteknologioiden ansiosta (Osto&logistiikka, 2017, Työkaveri nimeltä robotti). Konenäkö on siis ollut yhtenä tekijänä avaamassa uusia mahdollisuuksia robottien ohjauksessa.

Robottien liikkeiden ohjauksessa yritetään tehdä liike pisteestä A pisteeseen B ilman törmäyksiä. Robotille määritellään toiminta-alue, jonka sisällä se pystyy toimimaan. Lisäksi tällä alueella on yleensä kappaleita, joihin robotti voi törmätä. Alue voi olla joko kaksi- tai kolmiulotteinen (Wikipedia, 2018, Motion planning). Seuraavaksi tutustutaan erilaisiin robottien ohjaustapoihin, kuinka konenäkö on vaikuttanut osaan niistä ja lopuksi tarkastellaan erilaisia robotin ohjauksen sovelluskohteita, joissa käytetään konenäköä.

3.1 Robotin ohjaustavat

Robottien ohjaus tapahtuu ohjelmoimalla sille erilaisia positioita eli asemia. Asemien ja niiden välisen liikkumisen opettaminen voidaan tehdä seuraavilla tavoilla:

Koordinaattien antaminen tapahtuu antamalla tietokoneelle asemia suoraan X-Y-Z koordinaattien avulla. Käytettävä koordinaatisto voidaan määrittää muun muassa robotin sijainnin, työkalun, kohteen tai jonkin muun määritellyn pisteen mukaan. Koordinaattien käyttämisen etuna on, että sillä voidaan määrätä tarkkoja etäisyyksien muutoksia. Toisaalta sen heikkoutena monissa sovellutuksissa on tarkkojen koordinaattien määrittäminen. Siksi käytetään paljon opettamista, jossa robotille näytetään manuaalisesti asemat, jotka sitten tallennetaan. Opettaminen voidaan tehdä esimerkiksi vapauttamalla robotin ohjaus veltoksi ja sijoittamalla käsin robotti oikeaan asemaan. Robottia voidaan myös siirtää muun muassa ohjaussauvalla. Kummassakin tapauksessa siis määritellään asemat ja liikeradat, joita pitkin robotti myöhemmin suorittaa tarvittavia toimenpiteitä. Yleensä opettamisen tarvitsee siis tehdä vain yhden kerran ennen käyttöönottoa. Opettämisen etuna on, että sillä saadaan helposti määritettyä asemat. Se kuitenkin vie paljon aikaa varsinkin, jos opetettavia asemia ja

erilaisia liikeratoja on paljon. Tällaisissa tilanteissa on hyödyllistä käyttää Offline- eli etäohjelmointia. Ensin tietokoneella mallinnetaan robotti ja sen koko ympäristö. Sen jälkeen robotille opetetaan asemat ja liikeradat simuloinnilla. Etäohjelmointi siis säästää aikaa käyttöönottovaiheessa (Wikipedia, 2018, Industrial robot).

Konenäkö on sekä parantanut, että kehittänyt erityisesti koordinaattien antamista. Sen avulla pystytään esimerkiksi mittamaan kohteiden etäisyyksiä ja muotoja. Etäisyyksistä saadaan valmiita koordinaatteja, kun taas 3D muodoista saadaan muun muassa määriteltyä koordinaatisto kohteen mukaan. Tästä on hyötyä sellaisissa sovellutuksissa, joissa kohteen paikka ja suunta vaihtelevat.

3.2 Robotin ohjauksen sovelluskohteet

Alla on lueteltu esimerkkejä sovelluskohteista, joissa robotin ohjauksessa käytetään hyödyksi konenäköä:

Materiaalin kokoonpano ja käsittely. Kaikissa kokoonpanoissa ei tarvita konenäköä. Esimerkiksi piirilevyn komponenttien kokoonpanossa kaikilla komponenteilla on jo ennalta määritellyt asemat, joiden mukaan robotti osaa tehdä kokoonpanon. Sen sijaan konenäköä hyödynnetään sellaisissa kokoonpanoissa, joissa kappaleiden asennot ja järjestys eivät ole ennalta määrättyjä. Konenäköjärjestelmä osaa tunnistaa kappaleet ja tehdä ohjaustoimenpiteitä pelkästään kappaleiden muotojen perusteella. Tällaiset kokoonpanot voivat esimerkiksi kuulua osana tuotantoon, jossa kokoonpanon jälkeen siirrytään seuraavaan vaiheeseen. (Savon Automaatio, 2017, Konenäkö)

Ohjaustehtävät ja radan seuranta. Tuotantolinjalla toimivaa manipulaattori voidaan ohjata konenäköä hyödyntäen. Linjalla liikkuvia kappaleita tarkastellaan, ja jos konenäkö järjestelmä luokittelee jonkin kappaleen vialliseksi, niin manipulaattori poistaa sen liukuhihnalta. Konenäköä hyödyntämällä voidaan tunnistaa kappaleen reunoja ja tuotantolinjalla voidaan esimerkiksi ohjata robotin hitsauspuikko sitä pitkin. Samalla tavalla kuin kokoonpanossa, näissä tehtävissä tarvitaan konenäköä siinä tapauksessa, että kappaleen asento ei ole ennalta määrätty. (Savon Automaatio, 2017, Konenäkö)

Yksilöinti ja tarkastustehtävät. Konenäköä voidaan hyödyntää myös erilaisissa kappaleiden erottelutehtävissä. Kappaleita voidaan merkitä muun muassa viivakoodeilla ja konenäön avulla näitä kappaleita voidaan myöhemmin yksilöidä. Tuotantolinjalla tämä voisivat olla esimerkiksi robotin avulla kappaleiden lajittelua erillisiin säilytyspaikkoihin. Samalla robotti voi suorittaa laskentaa, jonka avulla pystytään lähettämään tietoa tuotannon määrästä eteenpäin tuotannonohjausjärjestelmälle. (Savon Automaatio, 2017, Konenäkö)

4 YHTEENVETO

Kaikki konenäköä käyttävät koneet ja laitteet koostuvat jonkinlaisesta konenäköjärjestelmästä. Konenäköjärjestelmään kuuluu neljä osa-aluetta, kuvan muodostus, kuvankaappaus, kuvan käsittely ja järjestelmän ohjaus. Niiden kaikkien sisällä on otettava huomioon monia erilaisia vaikuttavia tekijöitä, jotka vaikuttavat siihen, kuinka onnistuneesti kuvasta saadaan muodostettua järjestelmän ohjausta. Robotin ohjauksessa tämä tarkoittaa robotin liikuttamista halutulla tavalla.

Konenäkö on kehittänyt robottien ohjaustapoja. Se on mahdollistanut etäisyyksien ja kappaleiden sijaintien määrittelyn kameran avulla. Lisäksi se on luonut sovellutuksia, joita olisi erittäin vaikeaa tai käytännössä jopa mahdotonta tehdä ilman konenäköä. Konenäöstä on erityisesti hyötyä sellaisissa sovellutuksissa, joissa kohteen paikka ja suunta vaihtelevat.

Sekä konenäön, että robottien ohjauksen nopea kehittyminen jo vuosikymmenien ajan on osoittanut, että niiden mahdollisuudet ovat rajattomat. Kehitystä edistävät muun muassa uudet kehittyvät tunnistusalgoritmit sekä konenäön kasvava kysyntä. Tällä hetkellä tietokoneilla pystytään tunnistamaan ja luokittelemaan reaaliajassa kuvista ja videoista arkipäiväisiä asioita, kuten ajoneuvoja, liikennemerkkejä tai elämiä. Kun tulevaisuudessa sellainen teknologia kehittyy, ja muuttuu tarpeeksi tehokkaaksi, sitä voidaan alkaa käyttämään myös teollisuusrobottien kanssa. Käytännössä se voisi tarkoittaa esimerkiksi robottien liikkumista, sekä työskentelyä yhteisillä toiminta-alueilla ihmisten kanssa.

5 LÄHDELUETTELO

Aalto yliopisto, Automaatio- ja systeemitekniiikan laboratoriotyöt, Konenäkö robotin ohjauksessa 2016. [Verkkodokumentti] Saatavissa:

<https://mycourses.aalto.fi/course/view.php?id=5074§ion=1> [viitattu 2.4.2018]

Cognex, 2018, In-Sight 5000 series vision systems. Saatavissa:

<https://www.cognex.com/products/machine-vision/2d-machine-vision-systems/in-sight-5000-series> [viitattu 2.4.2018]

Davies, E. R., (2004). Machine Vision: Theory, Algorithms, Practicalities – Signal Processing and its Applications. ISBN 0080473245, 9780080473246

Saatavissa: <https://books.google.fi/books?hl=fi&lr=&id=uY-Z3vORugwC&oi=fnd&pg=PP1&dq>

Encyclopedia 2018, "image capture." A Dictionary of Computing. [Verkkodokumentti]

Saatavissa: <http://www.encyclopedia.com/computing/dictionaries-thesauruses-pictures-and-press-releases/image-capture> [viitattu 2.4.2018]

Innomiles 2018, Artificial Intelligence by Machine Vision from Innomiles Solutions,

[Verkkodokumentti] Saatavissa: <https://www.innomiles.com/artificial-intelligence-by-machine-vision/> [viitattu 2.4.2018]

National Instruments, 2018, Compact Vision System. Saatavissa: <http://www.ni.com/fi-fi/shop/select/compact-vision-system> [viitattu 2.4.2018]

National Instruments, 2018, Smart camera. Saatavissa: <http://www.ni.com/fi-fi/shop/select/smart-camera> [viitattu 2.4.2018]

Opto engineering, 2018, Telecentric lenses tutorial - Basic information and working principles. Saatavissa: <https://www.opto-engineering.com/index.php?/resources/telecentric-lenses-tutorial> [viitattu 4.4.2018]

Owen-Hill, A, 2016. Robot Vision vs Computer Vision: What's the Difference?
<https://blog.robotiq.com/robot-vision-vs-computer-vision-whats-the-difference>
[viitattu 2.4.2018]

Phase1 vision, 2018, Phoenix-D20HDSDI x4
Saatavissa: <https://www.phase1vision.com/frame-grabbers/active-silicon-frame-grabbers/hd-sdi-frame-grabbers/as-phx-d20hdsdi-pe4h> [viitattu 3.4.2018]

Phase1 vision, 2018, What is a Frame Grabber and What's It Used For?
Saatavissa: <https://www.phase1vision.com/blog/what-is-a-frame-grabber-and-what-s-it-used-for> [viitattu 2.4.2018]

Quality magazine, 2018, Vision & Sensors – 101 Who Needs Frame Grabbers, Anyway? Saatavissa: <https://www.qualitymag.com/articles/91008-who-needs-frame-grabbers-anyway> [viitattu 2.4.2018]

Redmon, J., Farhadi, A., Darknet Yolo 2018,
[Verkkodokumentti] Saatavissa: <https://pjreddie.com/darknet/yolo/> [viitattu 2.4.2018]

Satuli H, 2017, Osto&logiikka, Työkaveri nimeltä robotti. [Verkkolehti] Saatavissa:
<https://www.ostologistiikka.fi/kategoriat/teknologia/tyokaveri-nimelta-robotti> [viitattu 12.5.2018]

Savon automaatio, 2017, Konenäkö, Saatavissa:
<https://www.savonautomaatio.fi/palvelut/konenako/> [viitattu 24.4.2018]

Seinäjoen ammattikorkeakoulu Oy:n Tekniikan yksikkö,
Konenäkö, Teknologiademot on the road 2016, [Verkkodokumentti] Saatavissa:
<https://storage.googleapis.com/seamk-production/2017/06/konenako.pdf> [viitattu 2.4.2018]

Shapiro, L. G. & Stockman, G. C. 2001. Computer vision. Upper Saddle River (N.J.): Prentice Hall.

Stemmer Imaging 2014, Illumination basics for imaging and machine vision [verkkodokumentti] Youtube. Katsottavissa: <https://www.youtube.com/watch?v=swg1eb2B3cs&t=> [viitattu 26.4.2018]

Thörnberg, B., 2013. Introductory lecture in Machine vision [Verkkodokumentti] Youtube. Katsottavissa: <https://www.youtube.com/watch?v=GrG9nGAQ6Jw&t> [viitattu 6.4.2018]

TUM Wiki, 2018 Image semantic segmentation. Saatavissa: <https://wiki.tum.de/display/lfdv/Image+Semantic+Segmentation> [viitattu 6.4.2018]

Zeuch, N. (2000). Understanding and applying machine vision, second edition, revised and expanded (2nd ed.). London: CRC Press. Saatavissa: <http://www.crcnetbase.com/isbn/9781482293401>

Wikipedia 2017, "Kalansilmä" [verkkodokumentti] Saatavissa: <https://fi.wikipedia.org/wiki/Kalansilmä> [viitattu 4.4.2018]

Wikipedia 2018, "Motion planning" [verkkodokumentti] Saatavissa: https://en.wikipedia.org/wiki/Motion_planning [viitattu 5.5.2018]

Yuheng S; Hao Y, 2017, Image Segmentation Algorithms Overview [Verkkodokumentti] Saatavissa: <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1707/1707.02051.pdf> [viitattu 6.4.2018]

