

Matti Pietikäinen ja Olli Silven
Oulun yliopisto
Sähkötekniikan osasto

KONENÄKÖ

1. Johdanto

Aistintiedon käyttö on keskeisessä asemassa pyrittäessä kehittämään koneita, joilla on samankaltaisia älykkäitä ominaisuuksia kuin ihmisellä. Näköaisti on muihin aisteihin verrattuna erityisen tärkeä: ihminen saa valtaosan ympäristöään koskevasta tiedosta näköaistin avulla.

Näkemiseen vaikuttaa monimutkainen mekanismi, joka koostuu kolmesta pääkomponentista: tarkkailtava ympäristö (tai kohde), valaistus ja havaitsija. Näköaistia tutkii kolme eri tieteen koulukuntaa. Neurofysiologit pyrkivät ymmärtämään biologisten järjestelmien aistin- ja hermomekanismien toimintaa. Havaintopsykologit tutkivat aistimiseen liittyviä psykologisia tekijöitä. Konenäön tutkijat selvittävät kuvan muodostamiseen, käsittelyyn ja automaattiseen tulkintaan liittyviä laskennallisia, algoritmisia ja teknisiä ongelmia.

Konenäön yleisenä tavoitteena on saada kone ymmärtämään mitä kameran tai muun sensorin kuvaama näkymä sisältää ja käyttää tätä tietoa hyväksi erilaisissa sovelluksissa. Koneen on pystyttävä tunnistamaan kohteita ja määrittämään niiden sijainnit ja asennot, ilmaisemaan kohteissa tapahtuneita muutoksia ja tutkitsemaan eri havaintojen merkitys.

Yleensä kuvan automaattinen tulkinta on hyvin vaativa tehtävä. Jokaisella sovellutusalueella on omia erityisvaatimuksiaan, eikä yleispäteviä menetelmiä ole onnistuttu kehittämään. Valaistuksen muutokset ja muut vaihtelut toimintaympäristössä aiheuttavat yleensä suuria vaikeuksia kuvan näkymän tulkinnalle. Yksinkertaisessa tapauksessa analysoidut kuvat ovat kaksiulotteisia, jolloin niiden tulkinnassa ei tarvita syvyyttietoa. Kolmiulotteisten näkymien analyysi on huomattavasti kaksiulotteisia vaikeampaa, sillä kohteet näyttävät erilaisilta eri tarkastelupisteistä. Ne voivat myös osittain peittää toisiaan. Lisäksi kohteet tai kamera tai molemmat voivat olla liikkeessä toisiinsa nähden, mikä toisaalta aiheuttaa lisäongelmia, mutta toisaalta myös helpottaa näkymän sisällön ymmärtämistä.

Tieteenalueena konenäkö on hyvin haastava, mielenkiintoinen ja monialainen. Konenäön ongelmien parissa työskentelee tietokonealan eksperttejä, matemaatikkoja, fyysikkoja, elektroniikka- ja järjestelmäinsinöörejä, ihmisen näkemisen psykologian tutkijoita yms.

Tiedeyhteisössä konenäöstä käytetään yleisesti englanninkielistä termiä [computer vision]. Keskeisessä asemassa ovat tällöin matemaattinen teoria, algoritmit ja usein myös yhteydet ihmisen näköaistiin. Puhuttaessa sovellutuksiin tähtäävästä konenäöstä käytetään usein englanninkielistä termiä [machine vision]. Tälle on tärkeässä asemassa järjestelmätekniinen lähestymistapa, jossa otetaan huomioon sovellusten asettamat vaatimukset ja rajoitukset, kuvanmuodostus, algoritmit, järjestelmäarkkitehtuurit, laitteistot ja ohjelmistot, käyttöliittymät yms. Muita yleisesti käytettyjä konenäköön liittyviä termejä ovat kuvaanalyysi [image analysis], näkymäanalyysi [scene analysis] ja kuvan ymmärtäminen [image understanding].

Konenäköön liittyviä asioita tutkitaan myös monilla muilla aloilla. Läheisimpiin tieteenaloihin kuuluvat digitaalinen kuvankäsittely [digital image processing] ja hahmontunnistus [pattern recognition].

Kokonaisuutena konenäkö on niin laaja alue, että tässä artikkelissa on mahdollista antaa vain pintapuolinen kuva eräistä alan peruskäsitteistä. Esityksessä tarkastellaan konenäön sovelluksia ja menetelmiä sekä eräitä ajankohtaisia tutkimusongelmia. Lisäksi esitetään lyhyt katsaus alan viimeaikaiseen kirjallisuuteen, konferensseihin ja internet-sivuihin.

2. Konenäön sovelluksia

Konenäöllä on paljon potentiaalisia sovelluskohteita mitä erilaisimmilla aloilla. Seuraavassa tarkastellaan muutamia tärkeimpiä (esimerkkikuvat on otettu Oulun yliopiston tutkimuskohteista, <http://www.ee.oulu.fi/mvis/>).

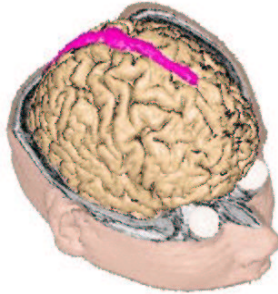
Teollisuus- ja koneautomaatio kuuluvat tämän hetken merkittävimpiin sovellusaloihin. Visuaalinen laadunvalvonta ja lajittelu ovat tärkeässä asemassa esimerkiksi elektroniikka-, metalli-, puunjalostus- ja elintarviketeollisuuden sovellutuksissa. Automaattisella tarkastuksella on mahdollista päästä parempaan tuotteen laatuun ja pienempiin tuotantokustannuksiin. Puupintojen tarkastus ja laatuokittelu teollisuudessa sekä pullojen palautusautomaatit kauppoissa ovat esimerkkejä keskeisistä suomalaisista sovelluskohteista. Robotiikassa konenäköä voidaan soveltaa erilaisiin materiaalienkäsittely-, lajittelu- ja kokoonpanotehtäviin. Näköaisti tekee roboteista sopeutuvampia, joustavampia ja itsenäisempiä. Konenäön käyttöä liikkuvien koneiden ja robottien navigoinnissa on myös tutkittu paljon (kuva 1). Potentiaalisia sovelluskohteita ovat esim. kaivos- ja metsäkoneet sekä yleensä ihmiselle vaarallisissa tai epämiellyttävissä olosuhteissa (maan pinnalla, veden alla tai avaruudessa) työskentelevät koneet. Myöskin tulevaisuuden autoissa tullaan käyttämään konenäköä ohjaajaa avustavissa tehtävissä.



Kuva 1. Liikkuva robotti tarvitsee konenäköä.

Lääketieteessä kuva-analyysillä on paljon potentiaalisia sovelluksia. Automaatiota pyritään käyttämään sellaisissa rutiinitehtävissä, joita sairaalaympäristössä joudutaan tekemään runsaasti päivittäin. Tällaisia ovat esim. mikroskopian käyttöön perustuvat soluanalyysit, sekä erilaisten röntgen- ja ultraäänikuvien tulkinta. Olemassa olevia sovelluskohteita ovat mm. automaattinen verisolujen laskenta, erityyppisten kromosomien luokittelu, kuvien vähentämiseen perustuvat angiografialaitteistot (esim. verisuonitutkimukset), sekä röntgenkuvien korostaminen ihmisen tekemää tulkintaa varten. Eri suunnista otettujen

projektiokuvien käsittelyyn perustuvien CT- ja MRI-kuvien [computed tomography, magnetic resonance imaging] analysointi on ollut aktiivisen kehittämisen kohteena. Yhtenä tavoitteena on rekonstruoida mahdollisimman todenmukainen kolmiulotteinen vaikutelma tarkasteltavasta kohteesta. Kuva 2 liittyy hankkeeseen, jossa kehitettiin tekniikkaa instrumentin paikantamiseen MRI-kuvasekvenssistä.



Kuva 2. Instrumentin paikantaminen konenäöllä.

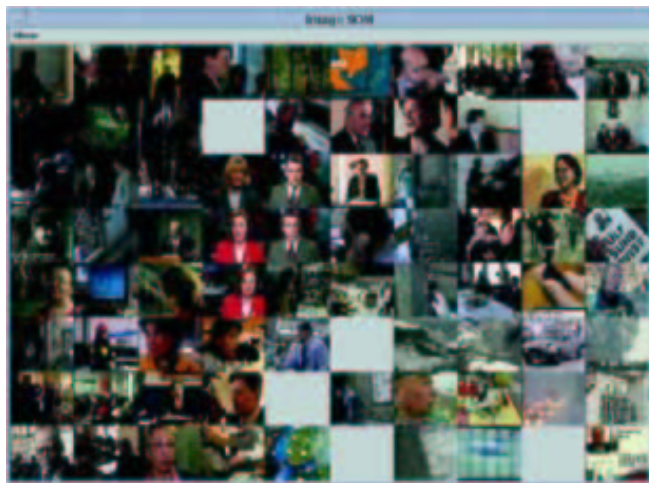
Tärkeä sovellutusalue, jossa myös joudutaan käsittelemään massoittain kuvainformaatiota, on automaattinen lentokoneesta tai satelliitista otettujen kuvien tulkinta. Sovelluksina ovat esimerkiksi metsien, viljasatojen, tai muiden luonnonvarojen kartoitus, maankäytön suunnittelu, sääennustukset, karttojen tekeminen ja erilaiset sotilaalliset valvonta- ja kohteidentunnistustehtävät. Kuvanmuodostukseen näissä ns. kaukokartoituksen [remote sensing] sovellutuksissa käytetään tyypillisesti suuriresoluutioista kameraa, monella aallonpituudella toimivaa pyhkäisintä tai tutkaa.

Keskeisiä sovellutusaloja on myös erilaisten dokumenttien analysointi. Ensimmäiset toteutetut sovellukset liittyivät koneella kirjoitettujen merkkien tunnistamiseen. Tänä päivänä on jo olemassa sivunlukijoita, jotka pystyvät lukemaan monentyyppisiä merkkejä sisältävää tekstiä hyvin suurella tarkkuudella, mikäli painetuttujen merkkien laatu on riittävän hyvä. Käsikirjoitettujen merkkien tunnistaminen on luonnollisesti huomattavasti vaativampi tehtävä, mistä syystä käytännön sovellutuksia on toistaiseksi vähän. Viime aikoina on kiinnitetty kasvavaa mielenkiintoa monimutkaisten tekstiä, grafiikkaa ja sävykuvia sisältävien dokumenttien analyysiin. Potentiaalisia sovellutuskohteita ovat mm. digitaaliset kirjastot, paperipohjaisten insinöörien piirrosten lukeminen CAD-järjestelmään ja karttajärjestelmät.

Turvallisuussovellusten merkitys on voimakkaassa kasvussa. Koneäköä käytetään mm. sormenjälkien, kasvojen, silmän iiriksen ja käsialan perustella tehdävään biometriseen henkilöllisyyden tunnistukseen. Koneäköä tullaan käyttämään laajassa mitassa myös erilaisissa videovalvontajärjestelmissä ilmaisemaan ja seuraamaan kuvassa tapahtuvia muutoksia.

Koneäköllä on tärkeä rooli myös älykkäiden ihminen-kone-liityntöjen suunnittelussa. Koneen kanssa kommunikointi halutaan yhtä luonnolliseksi kuin kahden ihmisen välinen keskustelu. Tällöin koneen pitää pystyä esimerkiksi seuraamaan puhuvan ihmisen huulten ja käsien liikkeitä ja muita eleitä sekä yhdistämään tämä tieto esimerkiksi puheentunnistimelta saatavaan tietoon. Tällöin puhutaan ns. multimodaalisista käyttöliittymistä.

Sisältöpohjaista kuvien ja videokuvasekvenssien hakua tietokannoista [content-based retrieval] tutkitaan myös paljon. Kuvassa 3 on esimerkki videokuvasekvenssin sisältöpohjaisesta ryhmittelystä. Perinteisesti tiedonhaut tehdään avainsanojen perusteella, kuten esimerkiksi internetin hakukoneissa. Sisältöpohjaisessa haussa tekstuaalisen informaation ohella voidaan antaa haettavan kuvan sisältöön liittyviä ehtoja, esimerkiksi “hae kuvat, jotka muistuttavat eniten käyttäjän antamaa mallikuvaa”, “hae kuvat, joissa on ihmisiä”, tai vielä pitemmälle vietyinä “hae kuvasekvenssi, jossa tietty henkilö puhuu”.



Kuva 3. Sisältöpohjainen videokuvasekvenssin ryhmittely.

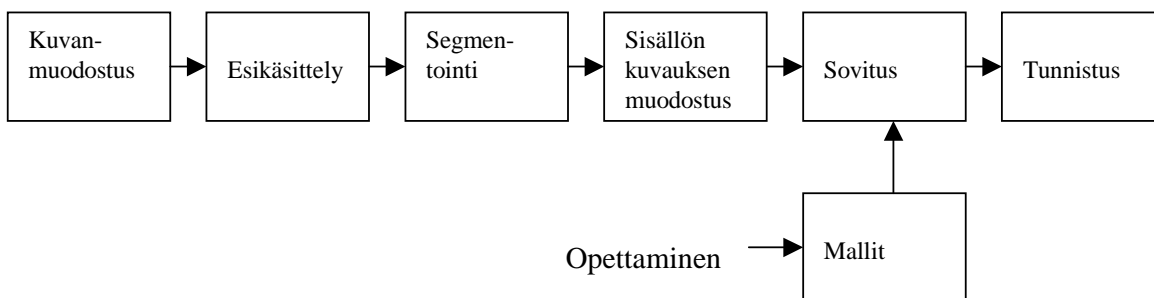
Konenäöllä on myös tärkeä rooli esimerkiksi 3D-mallien luonnissa keinotodellisuuden [virtual reality] sovelluksiin tai kohteiden paikantamisessa lisätyn todellisuuden [augmented reality] sovelluksissa. “Reverse engineering” on myös mielenkiintoinen sovellusalue, esimerkkinä vaikkapa patsaiden kolmiulotteisten tietokonemallien muodostaminen eri suunnista otetuista kuvista. Tämän tyyppisissä sovelluksissa käytetään kuvan muodostukseen yleensä aktiiviseen optiseen mittaukseen perustuvaa kameraa. Tällä tavalla muodotettuja syvyystietoa sisältäviä kuvia kutsutaan etäisyyskuviksi [range image].

3. Konenäön menetelmiä

Konenäkömenetelmien kirjo on hyvin laaja. Tässä kappaleessa esitellään yksinkertaistetun kuva-analyysiprosessin vaiheita sekä luetellaan eräitä keskeisiä menetelmätutkimuksen alueita.

3.1 Yksinkertaistetun kuva-analyysiprosessin vaiheet

Seuraavassa esitellään tyypillisen, yksinkertaisimmissa konenäkösovelluksissa käytettävän kuva-analyysiprosessin eri vaiheita.. Tässä yhteydessä oletetaan, että analysoitava näkymä on kaksikulotteinen, jolloin kuvassa olevien kohteiden tulkinnessa ei tarvita syvyystietoa. Kuvassa 4 on esitetty analyysin päävaiheet lohkokaaavana.



Kuva 4. Yksinkertaistetun kuva-alalyysiprosessin vaiheet

Ensimmäisenä vaiheena on kuvan muodostaminen [image acquisition] kuvalähteellä, esimerkiksi televisiokameralla. Kuvan analysointia voidaan monissa sovellutuksissa ratkaisevasti helpottaa, jos valaistus ja muut kuvausjärjestelyt suunnitellaan huolella.

Digitoidussa kuvassa voi olla sovellutuksesta riippuen suuresti vaihteleva määrä kuvapisteitä. Tyypillisesti pisteitä on 512 x 512 kappaletta. Useimmiten käsitellään harmaasävykuvia, joiden sävyasteikko kvantisoidaan esimerkiksi 256 tasoon. Vastaavasti taas värikuvassa käytetään yleensä pisteen värin määrittämiseen 3 x 256 kvantisointitasoa eli 256 tasoa kutakin värikomponenttia kohti.

Seuraavana vaiheena on kuvan esikäsittely, jossa kuva muokataan digitaalisen kuvankäsittelyn menetelmillä analyysin kannalta edullisempaan muotoon. Kuvaa voidaan esimerkiksi normalisoida siten, että valaistuksessa ja muissa ympäristötekijöissä tapahtuneet vaihtelut eivät vaikuta liikaa lopputulokseen. Monesti kuvasta pyritään suodattamaan pois kohinaa tai muita analyysiä häiritseviä sävyvaihteluja sekä korostamaan mielenkiinnon kohteina olevia piirteitä.

Seuraavaksi kuva segmentoidaan: tavoitteena on erottaa kohteet ja kohteiden osat toisistaan ja taustastaan. Segmentointiin käytetään yleisesti kahta vaihtoehtoista periaatetta: aluepohjaisilla menetelmillä kuva jaetaan harmaasävyiltään, väriltään tms. ominaisuudeltaan homogeenisiin alueisiin ja reunanilmaisussa [edge detection] kuvasta ilmaistaan jyrkkiä sävynmuutoskohtia eli alueiden reunoja.

Kuvassa 5 on esimerkki merkkien segmentoinnista harmaansävykynnyksen käyttöön perustuvalla menetelmällä.



Kuva 5. Merkkien segmentointi adaptiivisella kynnystysmenetelmällä.

Yleensä segmentointi on kuva-analyysin kriittisimpiä vaiheita ja segmentointimenetelmät vaihtelevat sovellutuksesta riippuen. Huono segmentointi vaikeuttaa analyysiä ja saattaa jopa tehdä sen mahdottomaksi.

Tämän jälkeen lasketaan segmentoitujen alueiden, reunojen tms. ominaisuuksia kuvaavia piirteitä, joiden perusteella erilaisia kohteita voidaan erottaa toisistaan. Tällaisia ominaisuuksia ovat mm. muoto, väri ja alueiden pintarakennetta kuvaava tekstuuri. Monesti tunnistettava kohde muodostuu useasta segmentoidusta alueesta tai reunasegmentistä. Tällöin kohteen rakenteen kuvauksessa tarvitaan alueiden (reunojen) ominaisuuksien ohella myös tietoa alueiden (reunojen) keskinäisistä relaatioista. Rakenteen kuvaukseen käytetään usein semanttisia verkkoja, joiden solmut kuvaavat alueita (reunoja) ja linkit niiden keskinäisiä riippuvuuksia.

Muodostettuja kuvauksia verrataan systeemille etukäteen opettujen prototyypikohteiden malleihin ja pyritään näin tunnistamaan kuvassa esiintyviä kohteita tai ilmaisemaan poikkeamia malleista. Yksinkertaisimmassa tapauksessa kohteet voidaan riittävän tarkasti kuvata globaaleilla yksittäisten segmentoitujen alueiden muotoa tms. ominaisuutta kuvaavilla piirteillä, jolloin eri kohteet voidaan tunnistaa tilastollisen hahmontunnistuksen menetelmillä. Yleensä kohteet koostuvat kuitenkin useasta alueesta tai reunasegmentistä, jolloin usein käytetään rakenteellista hahmontunnistusta, esimerkiksi semanttisten verkkojen sovitusta.

3.2 Eräitä ajankohtaisia tutkimusalueita

Monista toteutetuista sovellutuksista huolimatta ala on vielä voimakkaasti tutkimuspainotteinen. Sovelluksissa käytettävät ratkaisut ovat olleet pitkälti räätälöityjä. Yleiskäyttöisiä menetelmiä ja ratkaisumalleja on toistaiseksi vain vähän. Visuaalisen informaation matemaattinen mallintaminen reaali maailman ongelmissa on usein ylivoimaisen vaikeata. Erityisen vaikeaa on kehittää menetelmiä, jotka toimivat muuttuvissa olosuhteissa, esimerkiksi valaistuksen vaihdellessa. Sovellusten asettamat suuret nopeusvaatimukset asettavat usein myös erityisvaatimuksia kehitettäville menetelmille.

Seuraavassa on lueteltu eräitä ajankohtaisia menetelmätutkimuksen alueita:

- kuvan segmentointi, piirteiden ilmaiseminen [image segmentation, feature extraction]
- alueiden ja käyrien esittäminen [region and contour representation]
- väri- ja tekstuurianalyysi [color and texture analysis]
- kolmiulotteisen tiedon hankkiminen kuvan muotovihjeiden perusteella [shape from contours, shading or texture]
- stereonäkö [stereo vision]
- etäisyyskuvien analysointi [range image analysis]
- kohteden muodon mallintaminen ja esittäminen [shape modeling and representation]
- liikkeen analysointi, liike rakenteen ilmaisussa [motion analysis, structure from motion]
- visuaalinen seuranta [visual tracking]
- kameran kalibrointi [camera calibration]
- kohteen ilmaisu [object detection]
- kohteden tunnistaminen [object recognition]
- aktiivinen näkeminen [active vision]

4. Esimerkkejä ajankohtaisista tutkimusongelmista

Konenäköön liittyvän problematiikan havainnollistamiseksi tarkastellaan seuraavassa eräitä Oulun yliopiston konenäköryhmässä tutkimuksen kohteena olevia ongelmia.

Väri- ja tekstuurianalyysi

Ihmisen tai koneen aistima väri riippuu mm. tarkasteltavan pinnan valon heijastusominaisuuksista, valaistuksesta, kuvattavan kohteen muodosta ja silmän tai koneaistimen ominaisuuksista. Esimerkiksi kun ostamme vaatteita, niin ne näyttävät kaupassa erilaiselta kuin ulkoilmassa. Tämä johtuu erilaisesta valaistuksesta. Ihminen pystyy kuitenkin tunnistamaan värejä varsin hyvin, vaikka valaistus muuttuu. Koneelle tämä on taas erittäin vaikea tehtävä. Näin ollen on valaistuksen muutoksia sietävä värikonenäkö tärkeä tutkimuskohde. Tähän aihepiiriin liittyen on Oulun yliopistossa kehitetty uusi menetelmä, jolla ihmisen iho voidaan ilmaista kuvasta erittäin luotettavasti muuttuvissa valaistusolosuhteissa (kuva 6). Tätä tekniikkaa on sovellettu kasvojen ilmaisuun yksittäistä kuvista ja kasvojen seurantaan liikkuvasta kuvasta. Tuloksilla voi olla merkittäviä sovelluksia esim. ihminen-kone-liitynnöissä, videokuvan koodauksessa ja visuaalisessa valvonnassa.

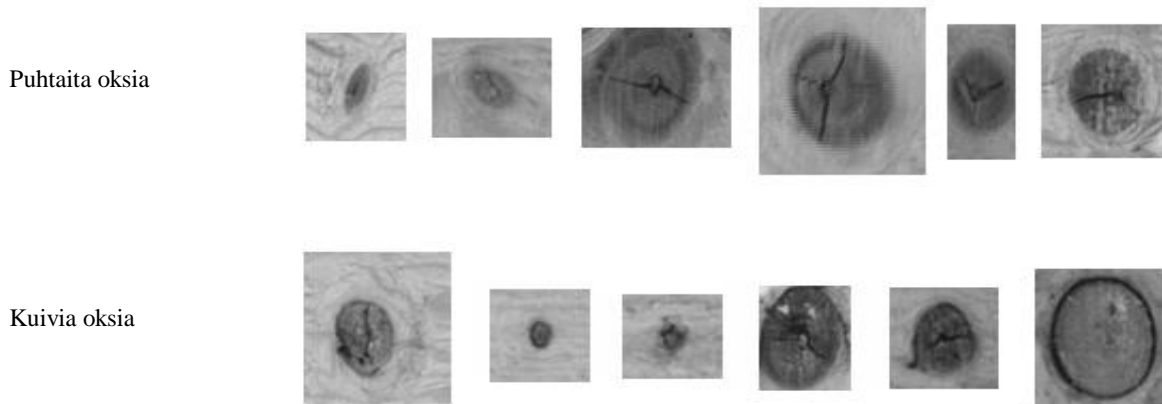


Kuva 6. Valaistuksen vaihtelut aiheuttavat suuria ongelmia konenäkölle.

Tekstuuri eli kuviointi on värin ohella toinen tärkeä kohteiden pintoja kuvaava ominaisuus. Tekstuuria esiintyy lähes kaikkialla, kunhan tarkastelu tehdään sopivalta etäisyydeltä. Ihmisen näköjärjestelmä pystyy erottamaan tekstureja helposti. Konenäössä tekstuurien erottelua on tutkittu paljon, mutta tekstuurin hyödyntäminen sovelluksissa on ollut yllättävän vähäistä. Oulun yliopistossa on kehitetty viime vuosina uutta metodiikkaa, joka suorituskykynsä ja yksinkertaisuutensa takia luo uusia edellytyksiä tekstuurin soveltamiselle.

Sahatavaran laadutus on merkittävä konenäön sovellus, jossa väri- ja teksturi-informaation käyttö nostavat selvästi tarkkuutta ja tuotteen arvoa. Tyypilliset haettavat viat ovat oksia,

mutta materiaalissa voi olla pelkästään värieron perusteella erottuvaa sinistymää ja pihkaisuutta, sekä täysin puunvärisiä oksia, jotka erottuvat vain syykuvioinnillaan taustasta. Kuvan 7 esimerkki osoittaa, miten samoihin luokkiin kuuluvat viat saattavat vaihdella ulkonäöltään hyvin paljon. Väri- ja tekstuuripiirteillä ja uudella ohjaamattomaan luokitteluun perustuvalla menetelmällä on pystytty pudottamaan havaitsematta jäävien vikojen ja väärin hälytysten suhteelliset osuudet alle 5%:iin, mikä on alle puolet totutusta teollisesta tasosta. Kehitettyä menetelmätekniikkaa on sovellettu myös muihin laaduntarkastussovellutuksiin, mm. kahvinpapujen lajitteluun.



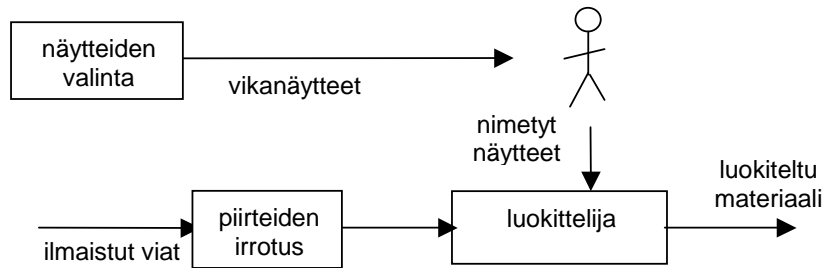
Kuva 7. Esimerkkejä kahden erityyppisen oksan vaihteluista.

Pinnantarkastuksen opettaminen

Pintojen laaduntarkastuksissa on kaksi perusongelmaa: on erotettava toisistaan viat ja virheettömät alueet ja sen jälkeen havaitut viat on luokiteltava laadun määrittämistä varten. Esimerkiksi teräspinnan viat on pystyttävä luokittelemaan vähintäänkin 2- ja 3-ulotteisiin, ja sahatavaran tarkastuksessa on kyettävä luokittelemaan oksat eri kategorioihin. Monissa laaduntarkastustehtävissä vikaluokkia on jopa kymmeniä ja niiden erottaminen toisistaan vaatii ihmiseltäkin harjaantuneisuutta. Monesti pinnassa on paljon poikkeamia ideaalisesta laadusta, mutta vioiksi halutaan tulkittavan vain annettuja kriteerejä rikkovat tapaukset.

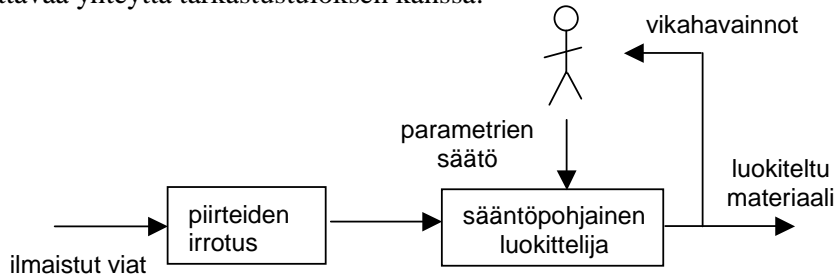
Tarkastuslaitteiden vianilmaisu- sekä kuvanmuodostusratkaisut suunnitellaan yleensä kunkin sovellutuksen tyypillisten vikojen piirteiden mukaisesti. Tältä pohjalta järjestelmä pystytään opettamaan sekä vikojen ilmaisuun että tunnistukseen. Esimerkiksi sahatun puun ulkonäkö riippuu kasvupaikasta ja laaduntarkastuslaitteet on sopeutettava tähän luonnolliseen vaihteluun.

Perinteisesti hahmontunnistusjärjestelmiä opetetaan ihmisen valitsemilla näytteillä virheistä ja virheettömästä materiaalista kuvan 8 mukaisesti. Ihmisen tekemä valinta on kuitenkin sekin virheettöistä, joten monet näytteistä nimetään väärin. Lisäksi näytteillä opettaminen on työlästä ja opetusta joudutaan toistamaan materiaalin ulkonäön vaihdella. Käytännössä tämä menettely onkin harvinainen teollisissa järjestelmissä.



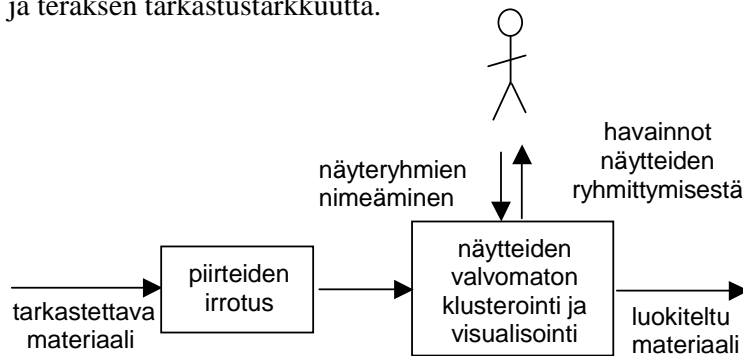
Kuva 8. Luokittelijan opettaminen ihmisen luokittelemilla näytteillä.

Tyypillisesti teollisia laaduntarkastusjärjestelmiä ei varsinaisesti opeteta, vaan niiden käyttämiä luokitteluparametreja säädetään tarkastustuloksen perusteella. Kuva 9 esittää tätä periaatetta, jossa puututaan sääntöpohjaisen luokittimen toimintaan. Ongelmana on, että säätöjen tekijän on tunnettava luokittelijan ratkaisut, sillä parametreilla ei aina ole helposti ymmärrettävää yhteyttä tarkastustuloksen kanssa.



Kuva 9. Sääntöpohjaisen luokittelijan viritys parametreja säätämällä.

Kolmas vaihtoehto on valvomattoman opetuksen käyttö, jolloin yksittäisten näytteiden nimeämisiä ei tarvita. Ideana on klusteroida opetusmateriaalista erotettuja näytteitä ja visualisoida saadut ryhmät tarkastusjärjestelmän operaattorille luokkarajojen määrittämiseksi, kuten kuvan 10 periaatekaaviossa esitetään. Visualisointiin voidaan käyttää esimerkiksi itseorganisoivaa karttaa. Uudelleen opettaminen on varsin vaivatonta samoin kuin luokkarajojen muuttaminen. Tämän ratkaisumallin on todettu olennaisesti parantavan sahavaran ja teräksen tarkastustarkkuutta.

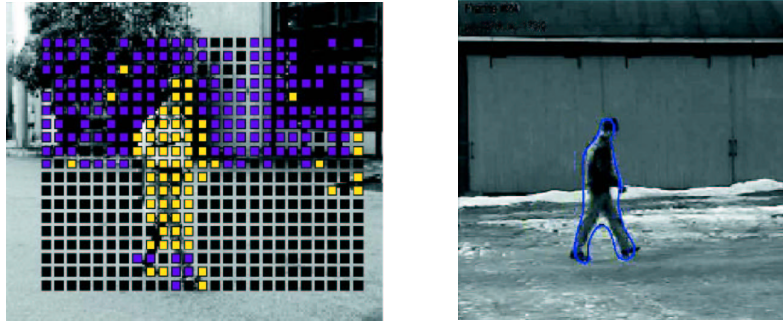


Kuva 10. Valvomattomaan klusterointiin ja visualisointiin perustuva opetus.

Käytettyjen piirteiden skaalaaminen on keskeinen tutkittava ongelma, sillä skaalat vaikuttavat näytteiden klusterointiin. Tähän mennessä skaalausmenettelyt on valittu käsin, mutta tavoitteena on skaalariippumattomien menetelmien käyttö.

Visuaalinen seuranta, 3D-mallinnus ja kalibrointi

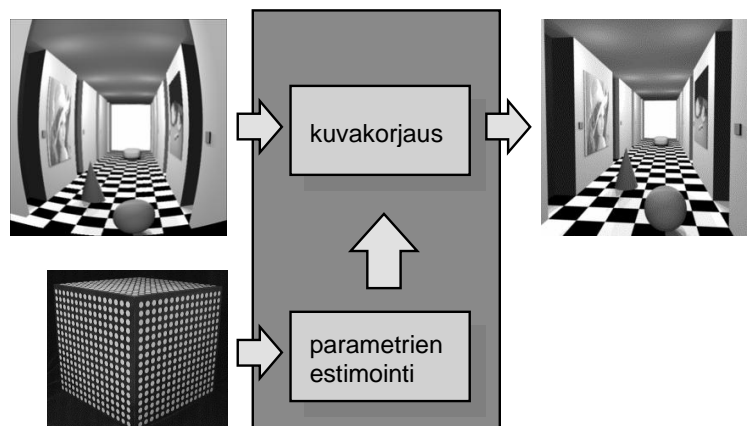
Väri-informaatiota hyödynnetään myös visuaalisen valvonnan menetelmäteknikoiden kehityksessä. Yleisenä tavoitteena on kyetä seuraamaan ihmisiä liikkuvan kameran tuottamasta kuvasekvenssistä muuttuvissa olosuhteissa, kuten puolipilvisellä säällä. Luotettavaan suorituskyykyyn pääsemisen edellytyksenä on erityyppisen informaation hyödyntäminen. Kuvassa 11 on esimerkkejä ongelmista, joissa on käytetty liikkeeseen ja kohteen muotoon perustuvia menetelmiä liikkeessä olevan ihmisen seurannassa.



Kuva 11. Liikkeeseen ja muotoon perustuvat menetelmät kohteiden seurannassa.

Kamera liike paljastaa ympäristön kolmiulotteisen rakenteen ja mahdollistaa siten myös syvyystiedon hankkimisen kuvasta. Esimerkiksi liikkuva robotti pystyy pelkästään videokameralta saamastaan kuvainformaatiosta määrittämään sijaintinsa ympäristöön nähden. Ryhmässämme kehitetyt menetelmät soveltuvat monimutkaisten näkymien karkeaan 3-D mallinnukseen sekä yksittäisten kohteiden tarkkaan 3-D mittaukseen.

Luotettavan syvyystiedon hankinta edellyttää tarkkaa geometrista kamerakalibrointiä, joka poistaa kuvassa esiintyvät linssivääristymät ja antaa geometrisen vastaavuuden ympäristön ja kuvan välille (kuva 12). Olemme kehittäneet tähän tarkoitukseen erittäin tarkan kamerakalibrointimenetelmän ja toteuttaneet työkalun, joka on vapaasti saatavilla internetistä.



Kuva 12. Geometrisen kameran kalibrointi.

5. Johdatus kirjallisuuteen

Konenäön alalta on tehty suuri määrä kirjoja, joista 1990 luvun alun jälkeen valmistuneista tunnetuimpia on annettu viitteinä. Konenäön yleisteoksiksi luettavia kirjoja ovat (Haralick ja Shapiro 1992/93), (Jain et al. 1995), (Trucco ja Verri 1998), Klette et al. (1998), (Shapiro ja Stockman 2001). Digitaalisen kuvankäsittelyn ja kuva-analyysin perusteoksiin kuuluvat (Gonzalez ja Woods 1992), Jähne (1997). Konenäön ja kuvankäsittelyn keskeisiä algoritmeja ja niiden toteutuksia käsittelevät (Parker 1996), (Klette ja Zamperoni 1996), (Seoul et al. 2000). Kolmiulotteisen konenäön erityisongelmia käsittelevät (Mundy ja Zisserman 1992), (Faugeras 1993), (Hartley ja Zisserman 2000). Konenäön sovellutuksia käsitellään mm. kirjoissa (Sanz 1996), (Pietikäinen ja Pau 1996), (Jain et al. 1998). Tilastollisen hahmontunnistuksen perusteoksia ovat (Duda et al. 2000) ja (Theodoridis ja Koutroumbas 1999). Ihmisen ja konenäön välistä yhteyttä tarkastelee (Wandell 1995) ja värinäköä (Fairchild 1998). Professori Azriel Rosenfeldin perustavaa laatua olevia kontribuutioita alan kehitykseen käsittelee (Davis 2001). Hahmontunnistuksen ja konenäön ensyklopedia on (Chen et al. 1999), kun taas kuvan- ja videonkäsittelyn käsikirja on (Bovik 2000). Suomenkielinen ensyklopedia-artikkeli konenäöstä on (Pietikäinen 1993). CVonline on tietoverkosta löytyvä jatkuvasti päivitettävä konenäön käsikirja (<http://www.dai.ed.ac.uk/CVonline/>).

Konenäköön erikoistuneita tai aihepiiriä laajasti käsitteleviä aikakauslehtiä ilmestyy useita. Tärkeimpiä näistä ovat IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence (IEEE), Computer Vision and Image Understanding (Academic Press), International Journal of Computer Vision (Kluwer), Pattern Recognition (Pergamon Press), Pattern Recognition Letters (North-Holland), Pattern Analysis and Applications (Springer) IEEE Transactions on Image Processing (IEEE), Image and Vision Computing (Elsevier), IEE Proceedings: Vision, Image and Signal Processing (IEE), MachineVision and Applications (Springer International), Journal of the Optical Society of America A (OSA), Journal of Electronic Imaging (SPIE ja IS&T) sekä muutamat tiettyihin sovellusaloihin keskittyvät lehdet.

Tärkeimpiä konenäköalan konferensseja ovat International Conference on Computer Vision (IEEE Computer Society), International Conference on Pattern Recognition (IAPR - International Association for Pattern Recognition), Computer Vision and Pattern Recognition (IEEE Computer Society), European Conference on Computer Vision, International Conference on Image Processing (IEEE Signal Processing Society) sekä eräät SPIE:n (The International Society for Optical Engineering), IEEE:n ja IAPR:n järjestämät konferenssit tai työkokoukset. Merkittäviin kansainvälisiin konferensseihin kuuluu myös IAPR:n pohjoismaisten jäsenseurojen joka toinen vuosi järjestämä Scandinavian Conference on Image Analysis. Suomesta ko. konferenssin järjestelyihin osallistuu Suomen Hahmontunnistustutkimuksen Seura ry (<http://www.cis.hut.fi/hatutus/>). Teollisen konenäön edistämistä edustava järjestö Suomessa on Vision Club of Finland (<http://www.automaatioseura.fi/jaostot/mvn/>).

Tärkeitä www-linkkejä konenäköön, alan konferensseihin ja julkaisuihin ovat: <http://www.cs.cmu.edu/~cil/vision.html>, <http://iris.usc.edu/Information/Iris-Conferences.html> ja <http://iris.usc.edu/Vision-Notes/bibliography/contents.html>.

KIRJALLISUUS

- A. Bovik (toim.), *Handbook of Image and Video Processing*. Academic Press, San Diego, 2000.
- C.H. Chen, L.F. Pau, ja P.S.P. Wang (toim.), *Handbook of Pattern Recognition and Computer Vision, 2nd Edition*. World Scientific, Singapore, 1999.
- L.S. Davis (toim.), *Foundations of Image Understanding*. Kluwer, Boston, 2001.
- R.O. Duda, P. Hart, ja D. Stork, *Pattern Classification*. John Wiley & Sons, 2000.
- M.D. Fairchild, *Color Appearance Models*. Addison-Wesley, 1998, 417 s.
- O.D. Faugeras, *Three-Dimensional Computer Vision: A Geometric Viewpoint*. MIT Press, 1993.
- R.C. Gonzalez ja R.E. Woods, *Digital Image Processing*. Addison-Wesley, Reading, 1992.
- R.M. Haralick ja L. Shapiro, *Computer and Robot Vision, Volumes I and II*. Addison-Wesley, Reading, 1992/93.
- R. Hartley ja A. Zisserman, *Multiple View Geometry in Computer Vision*. Cambridge University Press, 2000.
- A. Jain, R. Bolle, ja S. Pankanti (toim.), *Biometrics – Personal Identification in Networked Society*. Kluwer, Boston, 1998.
- R. Jain, R. Kasturi, ja B. Schunk, *Machine Vision*. McGraw-Hill, 1995.
- B. Jähne, *Digital Image Processing – Concepts, Algorithms, and Scientific Applications, 4th ed.* Springer-Verlag, Berlin, 1997.
- R. Klette, K. Schluns, ja A. Koschan, *Computer Vision: Three-Dimensional Data from Images*. Springer-Verlag, 1998.
- R. Klette ja P. Zamperoni, *Handbook of Image Processing Operators*. John Wiley & Sons, 1996.
- J.L. Mundy ja A. Zisserman (toim.), *Geometric Invariance in Computer Vision*. MIT Press, 1992.
- J.R. Parker, *Algorithms for Image Processing and Computer Vision*. John Wiley & Sons, 1996.
- M. Pietikäinen, Konenäkö. Teoksessa: E. Hyvönen, I. Karanta, ja M. Syrjänen (toim.), *Tekoälyn ensyklopedia*, Gaudeamus, 1993, s. 104-114.
- M. Pietikäinen ja L.F. Pau (toim.) *Machine Vision for Advanced Production*. World Scientific, Singapore, 2000.
- J.L.C. Sanz (toim.), *Image Technology – Advances in Image Processing, Multimedia and Machine Vision*. Springer-Verlag, Berlin, 1996.
- M. Seoul, L. O’Gorman, ja M.J. Sammon, *Practical Algorithms for Image Analysis – Description, Examples, and Code*. Cambridge University Press, 2000.
- L.G. Shapiro ja G.C. Stockman, *Computer Vision*. Prentice Hall, Upper Saddle River, 2001.
- S. Theodoridis ja K. Koutroumbas, *Pattern Recognition*. Academic Press, San Diego, 1999.
- E. Trucco ja A. Verri, *Introductory Techniques for 3-D Computer Vision*. Prentice Hall, Upper Saddle River, 1998.
- B.A. Wandell, *Foundations of Vision*. Sinauer Associates, Sunderland, 1995.