

# Masjienvisie in die landbou

J. Gouws

Departement Elektriese en Elektroniese Ingenieurswese, Randse Afrikaanse Universiteit, Posbus 524, Aucklandpark, 2006

*Ontvang 4 Maart 1996; aanvaar 12 September 1996*

## UITTREKSEL

*Hierdie artikel bied 'n oorsig oor die gebruik van masjienvisie in die landbou. Landbou word in 'n meer natuurlike omgewing as die meeste industriële take bedryf, wat meebring dat landbou-outomatisasie grootliks steun op robotstelsels met goed ontwikkelde waarnemingsvermoëns. Vir sulke stelsels is masjienvisie 'n onontbeerlike komponent. In hierdie artikel word daar met voorbeelde aangetoon dat die toepassings van masjienvisie in die landbou reeds wydverspreid is, en dat daar nog vele potensiese toepassings is. Daar word ook aangetoon dat masjienvisie in die landbou nie net potensiese finansiële voordele inhou nie, maar dat dit ook kan bydra tot verbeterde lewensgehalte vir landbouwerkers, en selfs ook vir plaasdiere.*

## ABSTRACT

### *Machine vision in agriculture*

*This paper provides an overview of the use of machine vision in agriculture. Agriculture is practised in a more natural environment than most industrial undertakings, implying that agricultural automation requires robotic systems with well developed sensory abilities. For such systems, machine vision is an essential component. In this paper examples are used to show that the use of machine vision is already widespread in agriculture, and that there are many more potential applications for this technology. It is also indicated that machine vision in agriculture does not only hold potential financial advantages, but that it can also contribute to improved quality of life for agricultural workers, and even for farm animals.*

## INLEIDING

In die menslike waarnemingstelsel kom sowat twee derdes van die brein se ongeveer drie miljoen inligtingdraende vesels vanaf die oë.<sup>1,2</sup> Met twee oë (of een bewegende oog), is driedimensionele beeldvorming en voorwerplokalisering moontlik, en is deteksie van die teenwoordigheid van voorwerpe, herkenning van voorwerpe, en inspeksie (tipies deur middel van voorwerpvorm en tekstuur), eenvoudige take vir 'n mens. Weens die veelsydigheid daarvan is visie die belangrikste menslike sintuig. Verskeie pogings word deur navorsers aangewend om dit in die vorm van *masjienvisie* na te boots vir toepassing in moderne outomatisasiestelsels. Die ontwikkeling van masjienvisie

was een van die belangrikste faktore wat bygedra het tot die oorgang van *tweedegerasie-robotte* (vir gebruik in goed gestruktureerde omgewings) na *derdegenerasie-robotte* (vir gebruik in meer natuurlike omgewings), en wat steeds bydra tot verdere ontwikkelings op die gebied van sogenaamde *intelligente robotstelsels*.

Daar is 'n hele aantal landboutake wat reeds baie suksesvol gebruik maak van masjienvisie-gebaseerde robottegnologie en outomatisasie, terwyl etlike ander landboutake ook met groot vrug daarvan gebruik kan maak. Vir die ingenieur wat op die gebied van landbou-outomatisasie werk, is die moontlikhede (en ook die uitdagings) wat deur masjienvisie-tegnologie gebied word, baie groot. Die doel van hierdie artikel is om 'n oorsig te

gee van die belangrikste huidige en potensieële toepassings van masjienvisie in die landbou.

## AGTERGROND OOR MASJIENVISIE

Masjienvisie kan breedweg gedefinieer word as *die proses waardeur 'n rekenaar inligting omtrent 'n ruimtelike toneel aflei, op grond van seine vanaf een of meer videokameras*. Masjienvisie is 'n subversameling van *sensortegnologie*; en dit kan in twee hoëvlakprosesse verdeel word:

- **Beeldvorming**, wat 'n omskakeling behels vanaf fisiese eienskappe in 'n toneel (bv. ligintensiteit) na elektriese seine; en
- **seinverwerking**, wat datareduksie en -analise behels, en dan 'n rekenaarmatige beskrywing van die oorspronklike toneel gee.

Implementering van masjienvisie vir enige toepassing behels die korrekte keuse van sensors, seinverwerkingstegnieke, en tegnieke om die verwerkte seine te interpreteer. Die spesifieke toepassing waarvoor masjienvisie nodig is, bepaal of daar van tweedimensionele of driedimensionele masjienvisie gebruik gemaak moet word en of die verwerking intyds moet plaasvind, of op voorafopgeneemde beelde moet berus.

Met driedimensionele masjienvisie kan die driedimensionele koördinate van spesifieke punte op voorwerpe in 'n toneel deur die rekenaarstelsel bepaal word. Met tweedimensionele masjienvisie, daarenteen, word een dimensie ingeboet, en kan daar byvoorbeeld slegs bepaal word wat 'n voorwerp se horisontale en vertikale koördinate is, sonder om die diepte van die voorwerp in die toneel te bepaal. Driedimensionele masjienvisie benader normale menslike visie, en is daarom veelsydiger as tweedimensionele masjienvisie. Eersgenoemde is egter heelwat meer kompleks, en daarom is dit stadiger en duurder as 'n tweedimensionele masjienvisiesistelsel. Intydse masjienvisie vereis 'n rekenaar met 'n hoë verwerkingstempo - wat tans relatief duur is; terwyl nie-intydse beeldverwerking 'n baie goed bestuurde datastelsel verg.

## BELANG VAN MASJIENVISIE IN DIE LANDBOU

Masjienvisie-gebaseerde outomatisasie het 'n groot rol te speel in die landbou, en dit is kundiges op die gebiede van die landbou, outomatisasie, en masjienvisie wat as fasiliteerders moet optree om die volle potensiaal daarvan vir die landbou te ontsluit. Hierdie kundiges moet egter ook sorg dat hierdie tegnologie verantwoordelik en korrek aangewend word. As dit nie omsigtig toegepas word nie, kan sulke outomatisasie aanvanklik lei tot werkloosheid van landbouwerkers. (Hierdie probleem kan egter deur middel van goeie bestuur, verhoed word.<sup>3</sup>) Aan die positiewe kant kan masjienvisie egter gebruik word om die vermoëns van werkers aan te vul; dit kan bydra tot verhoogde landbou-produktiwiteit; dit kan bydra tot die verbetering van werks- en lewensomstandighede van werkers; en dit kan bydra tot die verbetering van dieregesondheid. Hierdie positiewe aspekte word nou van nader beskou.

### Aanvulling van arbeid

Landbou is een van die twee primêre bedrywe van die ekonomie. In die loop van ekonomiese ontwikkeling vind 'n migrasie van arbeid plaas vanaf die primêre bedrywe van die ekonomie (landbou en mynbou) na die ander (*hoër*) sektore van die ekonomie,<sup>4</sup> en die arbeidsintensiewe aktiwiteite word noodwen-

dig eerste deur hierdie arbeidsmigrasie beïnvloed. Ten einde oor 'n lang termyn genoegsame voedsel- en veselproduksie vir die wêreldbevolking te handhaaf, is dit belangrik dat tegnologiese hulpmiddels op 'n korrekte wyse in die landbou ingespan word om arbeidstekorte aan te vul. (Dit is belangrik dat daar vir die doel van hierdie artikel na landbou op wêreldvlak gekyk word. Die graad van arbeidsmigrasie, en die vlak van landbou-tegnologie verskil aanmerklik van die eerste- na die derde-wêreldlande, en daarom kan die beginsels wat hier ter sprake is nie sonder meer geïsoleerd in enige land toegepas word nie.)

Ten einde arbeidstekorte in enige bedryf aan te vul, word daar van **meganisasie** en van **outomatisasie** gebruik gemaak. Meganisasie kan gedefinieer word as die aanvulling (of soms vervanging) van spierkrag deur middel van masjiene, en outomatisasie as die aanvulling (of vervanging) van spierkrag, breinkrag en sensoriese vermoëns, deur middel van aanpasbare rekenaargebaseerde stelsels. Benewens rekenaargebaseerde besluitnemingsvermoëns is rekenaargebaseerde waarnemingsvermoëns die ander belangrike been waarop outomatisasie staan. Die waarnemingsvermoëns wat nodig is om landbou-outomatisasie suksesvol te implementeer, is dikwels meer gesofistikeerd as dit wat benodig word in ander nywerhede. Die belangrikste redes hiervoor is:

- 'n Landbou-omgewing is oor die algemeen minder gestruktureerd as byvoorbeeld 'n industriële omgewing.
- Landbou behels unieke interaksies tussen mense, masjiene, diere, plante, en ander natuurelemente.
- Standaardvorme en -groottes kom nie algemeen in die landbou voor nie.
- Die omgewing is dikwels *onvriendelik*, weens stof, water, vibrasies, diere-afval, ensovoorts.

Weens die moontlikhede wat masjienvisie bied om 'n groot hoeveelheid menslike waarnemingsvermoëns na te boots, kan dit 'n belangrike rol speel in outomatisasiesistelsels vir die aanvulling van arbeid. Hierdie aspek is veral belangrik in die landbou waar komplekse omgewingsvereistes die gebruik van gesofistikeerde sensor- en waarnemingsstelsels noodsaaklik maak wanneer outomatisasie geïmplementeer word. (Dit is baie belangrik om daarop te let dat *arbeidsaanvulling*, en nie blindelinge *arbeidsvervanging* nie, in hierdie afdeling ter sprake is.)

### Verbetering van landbou-produktiwiteit

Produktiwiteit is die verhouding van opbrengs tot insetkoste; en moet nie verwar word met verhoogde produksievlakke nie. Die klem val dus hier nie op vergrote landbouproduksie nie (wat in baie lande, waar oorproduksie van landbouprodukte reeds 'n probleem is, vermy moet word), maar op meer koste-effektiewe produksie. Produktiwiteit word dikwels slegs met die vermoëns, houdings en kennis van werkers geassosieer. Alhoewel werkers 'n sentrale rol hierin speel, moet al die produksiefaktore (natuurlike hulpbronne, arbeid, kapitaal, ondernemerskap en **tegnologie**) reg ingespan word ten einde produktiwiteit te optimeer. Navorsing deur Falkena<sup>5</sup> het aangedui dat die korrekte gebruik van tegnologiese hulpmiddels een van die belangrikste faktore is wat hoë vlakke van landbouproduktiwiteit moontlik maak.

Prosesherhaalbaarheid, uitskakeling van menslike oordeelsfoute, en kontinue produksinsameling en verwerking is maar enkele faktore wat landbouproduktiwiteit kan verhoog. Masjienvisie-gebaseerde outomatisasiesistelsels kan al hierdie faktore aanhelp. Voorbeelde hiervan is:

Melkproduksieverhogings van tot 20%, wanneer koeie vier of meer keer per dag gemelk word.<sup>6</sup> Dit is egter alleen moontlik wanneer daar van melkoutomate - wat as masjienvisie-gebaseerde stelsels geïmplementeer kan word<sup>3</sup> - gebruik gemaak word. (Dieselfde produksievolumes kan dus gehandhaaf word, met minder koeie - wat direk vertaal na verhoogde produktiwiteit.)

Een van die norme wat dikwels deur verbruikers gebruik word om *produkkwaliteit* te bepaal (en om dus die prys wat behaal kan word, vas te stel), is produkeenvormigheid - wat by landbouprodukte veral die gevolg is van herhaalbaarheid tydens sortering en verpakking van die produk. Enkele voorbeelde waar groot prosesherhaalbaarheid moontlik is by die hantering van landbouprodukte, is wanneer daar gebruik gemaak word van 'n masjienvisie-gebaseerde eiersorteerder,<sup>7</sup> of 'n masjienvisie-gebaseerde sorteerder vir snyblomme. In albei hierdie gevalle kan dit lei tot verbeterde produkkwaliteit (in die oë van die verbruiker), en dus hoër winsgewendheid vir die produsent.

### **Verbetering van van werks- en lewensomstandighede van werkers**

Benewens die aanvulling van arbeidsvermoëns, en die verhoging van produktiwiteit, kan masjienvisie-gebaseerde landbou-automatisasie ook bydra tot die verbetering van werks- en lewensomstandighede van landbouwerkers. Dit vind plaas op die volgende maniere:

- Werkers kan verlig word van stremmende take (soos byvoorbeeld wanneer groot hoeveelhede produkte geïnspekteer, gesorteer en verpak moet word).
- Verligting van deurlopend vermoeiende take (bv. om koeie twee maal per dag, sewe dae per week te melk).
- Verligting van gevaarlike take (bv. hantering van kwaai diere).

### **Verbetering van dieregesondheid**

Stres by plaasdiere is dikwels die direkte gevolg van hul interaksie met mense, en dit lei weer dikwels tot dieresiektes.<sup>8</sup> Studies het getoon dat minder direkte interaksie tussen werkers en diere lei tot laer stresvlakke by die diere,<sup>9</sup> en dus tot verbeterde dieregesondheid, asook tot verhoogde produksie. Menslike interaksie met die diere kan alleenlik beduidend verminder word wanneer daar van masjienvisie-gebaseerde automatisasie gebruik gemaak word om die voortdurende nodigheid vir 'n menslike waarnemer in die nabyheid van die diere uit te skakel.

### **ALGEMENE TOEPASSINGS VAN MASJIENVISIE IN LANDBOU**

As gevolg van die belangrike rol wat masjienvisie in die landbou kan vervul (soos in die voorafgaande afdeling bespreek), word hierdie tegnologie toenemend meer in die landbou gebruik. In hierdie afdeling word 'n oorsig gebied van enkele van die belangrikste landboutake waarvoor masjienvisie reeds aangewend word, asook van enkele take wat in die nabye toekoms sal kan baat by die gebruik van masjienvisie.

#### **Oes van vrugte, groente en blomme**

Automatisasie van die proses om vrugte, groente en blomme te oes, kan gebruik word om nie net die hoë werkklas wat hierdie take meebring te verlig nie, maar ook om selektief te oes - met

ander woorde slegs dié produkte wat gereed is om geoes te word, word gepluk, terwyl die res gelaat word om verder te groei. 'n Vroeë voorbeeld van so 'n stelsel is 'n appelplukker wat kleurbeelde van appelbome gebruik ten einde die rypheid en die tweedimensionele posisie van die vrugte aan die boom te bepaal.<sup>10</sup> Sodra 'n ryp appel geïdentifiseer en gelokaliseer is, beweeg 'n robotarm na die vrug toe, totdat 'n gevoelsensor aandui dat die appel bereik is; dan word dit gepluk. Soortgelyke stelsels word ook vir ander tipes vrugte, asook vir groente en blomme gebruik.<sup>11</sup> Latere generasies, meer gesofistikeerde stelsels, maak van verskillende kombinasies van kleur, grootte, vorm en tekstuur, wat alles met behulp van masjienvisie gemeet word, gebruik as aanduiders van produkrypheid of gereedheid om gepluk te word.<sup>12,13,14,15</sup>

#### **Inspeksie, sortering en verpakking van produkte**

Soos reeds voorheen in hierdie artikel vermeld, is die pryse wat vir landbouprodukte behaal word grootliks afhanklik van die *kwaliteit* van die produkte. Kwaliteit van landbouprodukte word dikwels nie gebaseer op smaak of op voedingswaarde nie, maar op eksterne voorkoms. Daarom is dit baie belangrik dat produkte goed geïnspekteer word, en ook in eenvormige klasse gesorteer word voor verpakking. Nie net is hoë betroubaarheid en groot herhaalbaarheid moontlik met die inspeksie, sortering en verpakking van landbouprodukte deur middel van masjienvisie-gebaseerde robotstelsels nie, maar dit kan ook verligting vir werkers bring van 'n normaalweg baie vermoeiende taak. Enkele voorbeelde van masjienvisie-gebaseerde inspeksie, sortering en verpakking is:

- 'n eierverpaker wat eers die eiers inspekteer vir krake, en dit dan volgens grootte sorteer en verpak;<sup>7</sup>
- inspeksie van houers waarin produkte verpak is (bottels, kartonne, ens.) ten einde te verseker dat die houers vol is ('n baie belangrike kwaliteitsaanwyser);<sup>16</sup>
- verwydering van onkruidsaad uit graan, in gevalle waar die onkruidsaad dieselfde grootte as die graankorrels is en dus nie uitgesif kan word nie;<sup>17,18,19</sup>
- inspeksie van geslagte dierekarkasse, ter verbetering van higiëne en vergemakliking van klassering;<sup>20,21,22</sup> en
- inspeksie en sortering van aartappels, tamaties, perskes, dadels en ander vrugte.<sup>23,24,25,26,27</sup>

#### **Snoei van bome**

Een van die vele arbeidsintensiewe take van 'n vrugte- of wingerdboer is snoeiwerk. Om hierdie taak te vergemaklik, is daar reeds in die sewentigerjare in Frankryk begin met die ontwikkeling van outomatiese snoeistelsels.<sup>28</sup> Die nuwer generasies van sulke stelsels maak nou gebruik van masjienvisie. Benewens die arbeidsverligting wat dit meebring, kan bome baie eenvormig gesnoei word - wat die moontlikhede vir masjienvisie-gebaseerde outomatiese plukkers baie verbeter.

#### **Seleksie, hantering en verplanting van saailinge**

'n Groot verskeidenheid plante word eers in ontkiemingsbakke gesaai en later uitgeplant. Alhoewel die proses van uitplanting lankal reeds gemeganiseer is,<sup>29</sup> kan dit effektiewer geoutomatiseer word. Met die gemeganiseerde stelsel word 'n geprogrammeerde robot gebruik, tesame met ontkiemingsbakke, wat uit selle met presiese dimensies bestaan. Die robot plant dan die inhoud van elke sel uit, sonder dat daar eers vasgestel word of daar wel 'n saailing is om uit te plant. Benewens die mors van

tyd om leë selle uit te plant, word daar ook groeispasie vermors indien leë selle *uitgeplant* word. Masjiensensie, as 'n terugvoersensor, oorkom hierdie probleem baie effektief.<sup>30,31</sup> 'n Verdere ontwikkeling op hierdie gebied is om saailinge voor uitplanting met behulp van masjiensensie te inspekteer, om te verhoed dat gebrekkige saailinge uitgeplant word.<sup>32,33,34</sup>

### Selektiewe toediening van onkruidodders

Masjiensensie word aangewend vir analise van blaarvorm en/of -grootte om plantodders op uitgesoekte plante in 'n gewasry aan te wend, of slegs op plekke waar onkruid groei.<sup>35,36,37</sup> Benewens kostebesparing het dit ook positiewe gevolge vir die omgewing, deurdat minder plaagdoders gebruik word.<sup>38</sup>

### Evaluasie van druppelgroottes by besproeiing en bespuiting

Druppelgroottes van sommige chemikalieë wat as plaagdoders op plante gespuit word, speel 'n belangrike rol om die effektiwiteit van die bespuiting te bepaal. Druppelgrootte is ook van belang by besproeiing, omdat te groot druppels kan bydra tot grondkompaktering. Tweedimensionele masjiensensie word reeds met welslae aangewend vir outomatiese bepaling van druppelgroottes tydens besproeiing en bespuiting.<sup>38,39,40</sup> Sodoende kan die druppelgroottes beheer word.

### Beheer van fermentasie

Suksesvolle fermentasie tydens biologiese prosesse, soos byvoorbeeld die maak van kaas, of wyn, of kompos, behels onder andere dat selkarakteristieke (bv. selgroeitempo's, seltellings, en selgroottes) baie gereeld met 'n mikroskoop gemonitor moet word. Kombinasies van mikroskope, videokameras, en beeldverwerkers word reeds baie suksesvol ingespan om hierdie moniteringsaksie te outomatiseer, en dus op 'n deurlopende basis uit te voer.<sup>41,42</sup> Dit dra baie by tot eenvormige produkkwaliteit.

### Navigasie

Outonome mobiele robotte is 'n onderwerp wat tans baie navorsingsaandag kry. Ten einde die veelsydigheid van so 'n robot te verhoog, is masjiensensie 'n noodsaaklike aanboord-sensor. In landbutoepassings kan mobiele robotte gebruik word vir hantering van gewasse in kweekhuise,<sup>11</sup> vir die onderwatersameling van vis of perlemoen, en vir die outomatiese sturing van voer- en grassnyers, stropers en ander implemente wat op 'n vasgestelde afstand relatief tot gewasse moet bly.<sup>40,43,44,45,46</sup>

### Vee- en melkboerdery

Die toepassings wat tot dusver genoem is, het hoofsaaklik op akkerbou gefokus. Vir veeboerdery kan masjiensensie ook baie handig te pas kom, deurdat dit gebruik kan word om ongewenste besoekers aan 'n veekraal outomaties waar te neem. (Veral in gebiede waar veediefstal hoogty vier.) Dit kan gedoen word deur gereelde beelde wat in die veekraal geneem word, outomaties te verwerk, en 'n alarm te aktiveer indien daar onbekende voorwerpe (soos veediewe) in die beeld waargeneem word. 'n Ander moontlike toepassing is die gereelde verwerking van videobeelde van spesifieke diere, ten einde hul groeitempo's te meet. Vir die melkboer bied masjiensensie ook groot moontlikhede. Die ontwikkeling van melkoutomate - waardeur die outomatisasie van die proses om koeie te melk, volledig gemaak kan word - het in die jongste tyd baie navorsingsaandag gekry. Dit is reeds meer uitgebreid bespreek in 'n vorige artikel.<sup>47</sup>

### Administrasie en sekuriteit

'n Groot deel van 'n boer se tyd word in beslag geneem deur administrasie. *Kantooroutomatisasie* is vir die hedendaagse boer, wat effektief wil werk, net so belangrik as vir enige ander sakeman. In hierdie opsig kan masjiensensie-gebaseerde stelsels ingespan word vir administratiewe take soos sortering van inkomende pos (indien elektroniese pos nie gebruik word nie), asook vir toegangsbeheer tot verskillende gebiede op die plaas.

### GEVOLGTREKKINGS

Masjiensensie is nog 'n relatief nuwe tegnologiese veld, maar dit is een van die hulpmiddels wat die oorgang vanaf *tweede-generasie-robotte* (goed gestruktureerde omgewings) na *derdegenerasie-robotte* (vir gebruik in meer natuurlike omgewings) moontlik gemaak het; en wat steeds bydra tot navorsers se verdere ontwikkelings op die gebied van sogenaamde *intelligente robotstelsels*. Die landbousektor baat ook by hierdie ontwikkelinge, deurdat gevorderde landbou-outomatisasie-stelsels ontwikkel word. Landbou word bedryf in 'n meer "natuurlike omgewing" as die meeste industriële take; en dit bring mee dat landbou-outomatisasie grootliks steun op robotstelsels met goed ontwikkelde waarnemingsvermoëns. Daarvoor is masjiensensie 'n onontbeerlike komponent.

In hierdie artikel is daar deur middel van voorbeelde aangetoon dat die toepassings van masjiensensie in die landbou reeds baie wydverspreid is; en dat daar nog vele potensiële toepassings is wat verdere ontwikkelingsuitdagings bied. Daar is ook aangetoon dat masjiensensie in die landbou nie net potensiële finansiële voordele inhou nie, maar dat dit ook kan bydra tot verbeterde lewensgehalte vir landbouwerkers, en selfs ook tot verbeterde dieregesondheid.

Daar kan met redelike sekerheid voorspel word dat die eerstewêreldse landbou van die toekoms toenemend meer van masjiensensie-gebaseerde tegnologie gebruik sal maak. Vir die navorsings- en ontwikkelingspersoneel wat op hierdie gebied werk, lê die uitdagings nie net daarin om tegniese behoeftes te identifiseer en te bevredig nie, maar ook om die sosio-ekonomiese implikasies daarvan volledig in ag te neem - sodanig dat masjiensensie as hulpmiddel sal dien, en nie as bedreiging nie.

## SUMMARY

### INTRODUCTION

About two-thirds of the human brain's almost three million incoming information-carrying fibres, come from the eyes. With two eyes (or one moving eye), three dimensional imaging and object localisation, as well as detection, recognition, and inspection, are simple tasks for a human. Because of the versatility of vision, numerous attempts are made by researchers to emulate it in the form of *machine vision* for application in modern automation systems. The development of machine vision was one of the most important factors contributing to the evolution of *third generation robots* (suitable for use in more "natural environments"); and it is still contributing to further developments towards so-called *intelligent robot systems*.

A wide variety of agricultural tasks are already making use of machine-vision based robot technology; while many more such tasks can benefit from it. For the engineer working in the field of agricultural automation, machine vision technology offers many possibilities (and challenges). The purpose of this

paper is to provide an overview of the most important existing and potential applications of machine vision in agriculture.

## BACKGROUND ON MACHINE VISION

Machine vision can broadly be defined as *the process whereby a computer derives information about a scene, based on signals from one or more video cameras*. Machine vision is a subset of sensor technology; and it consists of two main processes:

- **Feature transformation**, involving conversion of physical features in a scene (e.g. light intensity) to electrical signals; and
- **signal processing**, involving data reduction and analysis, and creating a computerised description of the original scene.

Implementation of machine vision for a specific application requires the correct choice of sensors, of signal processing techniques, and of data interpretation techniques. Machine vision can be two- or three dimensional; and it can be done in real-time or based on recorded images.

## IMPORTANCE OF MACHINE VISION IN AGRICULTURAL ENGINEERING

Machine-vision based automation has an important role to play in agricultural automation, but if this technology is not applied with care, it can lead to unemployment. However, it can also be used advantageously in order to enhance the abilities of agricultural workers, and to contribute to improved agricultural productivity, to improved quality of life for workers, and to improved animal health.

### Enhancement of workers' abilities

Agriculture is one of the two major activities in the primary sector of the economy. In any developing economy, there is a migration of labour towards the higher sectors of the economy; and the labour-intensive tasks are the first to be influenced by this migration of labour. In order to maintain adequate food and fibre production over the long term, it is essential that suitable technology must be applied in agriculture, to overcome labour shortages. In this regard, **mechanisation** (enhancement of muscle power, by means of machines) and **automation** (enhancement of muscle, sensory and brain power by means of adaptable computer-based machines) are the two main technology streams used. Automation relies heavily on the sensory abilities of computer-based systems; and because of machine vision's ability to emulate a large portion of a human's sensory abilities, this technology has a very important role to play in automation. This aspect is especially important for agriculture, where standard shapes and sizes are uncommon; and where the environment in which an automated system must operate, is often *unfriendly*, because of dirt, water, and vibrations.

### Improved agricultural productivity

Productivity is the ratio of yield to input costs; and should not be confused with pure increased yields which are undesirable in some cases, due to over-production. In order to increase agricultural productivity, all production factors - including technology - need to be utilised optimally. Process repeatability, elimination of human error, and continuous product collection and processing are some of the factors which can lead to increased agricultural productivity. Machine-vision based automation can contribute in all these areas.

### Improved working conditions for workers

Besides enhancement of labourers' abilities and increased productivity, machine-vision based automation in agriculture can also contribute to improved working and living conditions for farmers and farm workers, by offering relief from repetitive tasks, from continuous hard work, and from dangerous work.

### Improved animal health

Stress in farm animals is often induced through interaction with humans. Studies have shown that less direct interaction between farm workers and animals decreases animal stress levels, and increases their health and production. Human interaction with farm animals can only be reduced significantly if machine-vision based automation is implemented, in order to take over some of the human monitoring actions required for effective animal husbandry.

## GENERAL APPLICATIONS OF MACHINE VISION IN AGRICULTURE

In this section, an overview is presented of some important agricultural tasks for which machine vision is already used; as well as some tasks which could in the near future benefit from this technology.

### Fruit, flower, and vegetable harvesting

Machine-vision based automated harvesting of fruit has been in use for a number of years. Such harvesters typically make use of two-dimensional images; and a robot arm which moves until it touches the fruit, after which it picks the fruit. More advanced systems are now emerging, which harvest selectively, based on colour, size, and shape of the product.

### Inspection, sorting and packing of produce

Prices obtained for agricultural produce largely depend on its *quality*. Quality is often determined, not by the taste or nutritional value, but by external appearance. For this reason, products should be well inspected and sorted into uniform classes. Machine vision is already used widely for this purpose - e.g. for sorting of fruit, vegetables, and flowers, based on size, shape, colour, and external quality; for egg candling, sorting and packing; for level checking of bottled products and for inspection of slaughtered animals.

### Pruning of trees

Automated pruning of trees is already done by means of machine-vision based robots. The branches are followed from the stem, and cut off at pre-defined lengths; or trees are pruned into pre-defined shapes. This technique renders high repeatability (in terms of tree shapes and sizes) - which improves the possibilities of robotic fruit harvesting.

### Selection, handling, and transplanting of seedlings

Many types of plants are first grown in small trays, and then transplanted later. This process has been *mechanized*, by means of programmed robots, that transplant the cells from the tray, whether it contains a seedling or not. By this method "blanks" are also transplanted - wasting time and valuable crop space. Machine vision as a feedback sensor is now used in the more

modern systems to prevent this problem; as well as to inspect seedlings before transplanting, in order to prevent poor quality seedlings from being transplanted.

### Selective application of weed killers

Machine-vision based analysis of leaf shape and/or size can be used in systems for applying weed killers to specific plants in a crop row, or only to those parts where weed are growing. Besides cost savings, this method can also have a positive impact on the environment, since fewer pesticides are required.

### Control of drop sizes for irrigation or sprayed application of chemicals

For some chemicals applied to crop plants, the drop sizes are important; while drop sizes of irrigation water influence soil compaction. Machine vision (mainly two-dimensional) is already used for feedback control in these cases.

### Control of fermentation

Successful fermentation during biological processes, such as making cheese, or wine, or compost, depends on cellular characteristics such as growth rate, cell counts, cell sizes, etc. Machine vision is very suitable for automating the measurement of these characteristics on a continuous basis; and it is already used in systems comprising microscopes, video cameras and image processors.

### Navigation

Autonomous mobile robots are currently receiving a lot of research attention. Machine vision is important to improve the versatility of such robots; and in agriculture they can find application in greenhouses; under water, for harvesting of fish in breeding dams; for control of implement position relative to a crop row; and for automated steering of harvesters (and even lawnmowers).

### Animal husbandry and dairy farming

The applications mentioned thus far have mainly focused on agronomy. For animal husbandry, machine vision can also be very beneficial, since it can be used for detecting intruders in animal holding pens (especially in areas where stock theft is rampant); for monitoring of animal growth rate through processing of images on a regular basis; and for implementation of robotic milking machines.

### Administration and security

Often a great deal of a farmer's time is consumed by *administration*. *Office automation* is as important to the modern farmer, as to any other business person. Machine vision can be applied to administrative tasks such as mail sorting, and access control in different areas of the farm.

## CONCLUSIONS

Machine vision is still a relatively new technological field, but it was one of the main items that enabled the evolution of third generation robotics (for use in *natural environments*); and which still contributes to the development of so-called *intelligent robot systems*. The agricultural sector benefits from these developments, because they contribute to the development of ad-

vanced agricultural automation.

In this paper, it was shown by means of selected examples, that the use of machine vision-based systems are already widespread in agriculture; and that there are still many more applications which offer development challenges. It was also shown that machine vision in agriculture does not only hold potential financial advantages, but that it can also contribute to improved quality of life for both farm workers and farm animals.

It can be predicted with reasonable certainty that the first world agriculture of the future will continuously make more use of machine-vision technology. For the research and development personnel involved in this area, the challenges are not only to identify and satisfy the technical requirements, but also to fully consider the socio-economic implications thereof.

## LITERATUURVERWYSINGS

1. Wooldridge, D.E. (1963). *The Machinery of the Brain* (McGraw-Hill, Kogakusha).
2. Young, J.F. (1973). *Robotics* (Butterworths, London).
3. Gouws, J. (1993). *The Systematic Development of a Machine Vision Based Milking Robot* (Ph.D. proefskrif, Landbouwuiversiteit Wageningen, Nederland).
4. Singelmann, J. (1978). *From Agriculture to Services, The Transformation of Industrial Employment* (Sage Publications, Beverly Hills).
5. Falkena, H.B. (1979). *Die Makro-ekonomiese Verband tussen die Openbare en Privaatsektor in Suid Afrika* (Doktorale Proefskrif in Ekonomie, Rijksuniversiteit te Groningen, Nederland).
6. Grimm, H. & Rabold, K. (1987). Studies on Automation of Machine Milking, *Proc. Third IMAG Symposium Automation in Dairy- ing* (Wageningen, Nederland) pp. 277-282.
7. Bourley, A.J., Hsia, T.C. & Upadhyaya, S.K. (1986). Investigation of a robotic egg candling system, *Proc. Agri-Mation 2 Conference and Exposition* (Chicago, Illinois) pp. 53-62.
8. Giesecke, W.H. (1983). Bovine Mastitis. Science Bulletin No. 401; Mastitis Research Laboratory (Veterinary Research Institute, Onderstepoort).
9. Seabrook, M.F. (1972). A study of the influence of cowman's personality and job satisfaction on yield of dairy cows, *Journal of Agricultural Labour Science*, 1(2), 79-93.
10. Grand d'Esnon, A. (1983). Robotic Harvesting of Apples, *Robotics and Intelligent Machines in Agriculture: Proc. First International Conference on Robotics and Intelligent Machines in Agriculture* (ASAE, Michigan) pp.112-113.
11. Balerin, S., Bourelly, A. & Sévila, F. (1991). Mobile robotics applied to fruit harvesting: The case of greenhouse tomatoes, *Automated Agriculture for the 21<sup>st</sup> Century* (ASAE, Michigan) pp. 236-244.
12. Coppock, G.E. (1983). Robotic Principles in the Selective Harvest of Valencia Oranges, *Robotics and Intelligent Machines in Agriculture: Proc. First International Conference on Robotics and Intelligent Machines in Agriculture* (ASAE, Michigan) pp.138-141.
13. Humphries, S. & Simonton, W. (1993). Identification of Plant Parts Using Color and Geometric Image Data, *Trans. ASAE*, 36(5), 1493-1500.
14. Shatadal, P., Jayas, D.S. & Bulley, N.R. (1991). Fourier and Spatial Domain Analysis of Image Texture, *Automated Agriculture for the 21<sup>st</sup> Century* (ASAE, Michigan) pp. 36-41.
15. Tuttle, E.G. (1983). Image controlled robotics in agricultural environments, *Robotics and Intelligent Machines in Agriculture: Proc. First International Conference on Robotics and Intelligent Machines in Agriculture* (ASAE, Michigan) pp. 84-95.
16. Sayeed, M.S., Whittaker, A.D. & Kehtarnavaz, N.D. (1995). Snack Quality Evaluation Method Based on Image Features and Neural Network Prediction, *Trans. ASAE*, 38(4), 1239-1245.
17. Churchill, D.B., Bilsland, D.M. & Cooper, T.M. (1993). Separation of Mixed Lots of Tall Fescue and Ryegrass Seed Using Machine Vision, *Trans. ASAE*, 36(5), 1383-1386.
18. Shatadal, P., Jayas, D.S. & Bulley, N.R. (1995). Digital Image Analy-

- sis for Software Separation and Classification of Touching Grains: I. Disconnect Algorithm, *Trans. ASAE*, 38(2), 635-643.
19. Shatadal, P., Jayas, D.S. & Bulley, N.R. (1995). Digital Image Analysis for Software Separation and Classification of Touching Grains: II. Classification, *Trans. ASAE*, 38(2), 645-649.
  20. D'Agostino, S.A. (1991). A generic machine vision system for food inspection, *Automated Agriculture for the 21<sup>st</sup> Century* (ASAE, Michigan) pp. 3-7.
  21. Park, B. & Chen, Y.-R. (1994). Intensified Multispectral Imaging System for Poultry Carcass Inspection, *Trans. ASAE*, 37(6), 1983-1988.
  22. Soulakis, C., Daley, W.E., Wyvill, J.C., Thompson, C. & Deal, P. (1986). Computerized Inspection Monitoring System, *Proc. Agri-Mation 2 Conference and Exposition* (Chicago, Illinois) pp. 33-44.
  23. Choi, K., Lee, G., Han, Y.J. & Bunn, J.M. (1995). Tomato Maturity Evaluation Using Color Image Analysis, *Trans. ASAE*, 38(1), 171-176.
  24. Singh, N. & Delwiche, M.J. (1994). Machine Vision for Defect Sorting of Stonefruit, *Trans. ASAE*, 37(6), 1989-1998.
  25. Tao, Y., Morrow, C.T., Heinemann, P.H. & Sommer III, H.J. (1995). Fourier-based Separation Technique for Shape Grading of Potatoes using Machine Vision, *Trans. ASAE*, 38(3), 949-958.
  26. Tao, Y., Heinemann, P.H., Varghese, Z., Morrow, C.T. & Sommer III, H.J. (1995). Machine Vision for Color Inspection of Potatoes and Apples, *Trans. ASAE*, 38(5), 1555-1561.
  27. Wulfsohn, D., Sarig, Y. & Algazi, R.V. (1993). Defect sorting of dry dates by image analysis, *Canadian Agricultural Engineering*, 35(2), 133-139.
  28. Sevila, F. (1985). A Robot to Prune the Grapevine, *Proc. Agri-Mation 1 Conference and Exposition* (Chicago, Illinois) pp.190-199.
  29. Kutz, L.J., Miles, G.E. & Hammer, P.A. (1986). Robotic Transplanting of Bedding Plants, *Proc. Agri-Mation 2 Conference and Exposition* (Chicago, Illinois) pp. 78-90.
  30. DeVoe, D.R., Kain, J.E. & Kranzler, G.A. (1991). Pine Seedling Identification with a Fourier Transform Based Algorithm, *Automated Agriculture for the 21<sup>st</sup> Century* (ASAE, Michigan) pp. 28-35.
  31. Simonton, W. (1991). Robotic plant handling and processing for agricultural systems, *Automated Agriculture for the 21<sup>st</sup> Century* (ASAE, Michigan) pp. 226-235.
  32. Howarth, M.S. & Stanwood, P.C. (1993). Measurement of Seedling Growth Rate by Machine Vision, *Trans. ASAE*, 36(3), 959-963.
  33. Kurata, K., Komine, M.M., Liyanage, H. & Ibaraki, Y. (1993). A Thinning-based Algorithm for Evaluating Somatic Embryos, *Trans. ASAE*, 36(5), 1485-1489.
  34. Shimizu, H. & Heins, R.D. (1995). Computer-vision-based System for Plant Growth Analysis, *Trans. ASAE*, 38(3), 959-964.
  35. Franz, E., Gebhardt, M.R. & Unklesbay, K.B. (1995). Algorithms for Extracting Leaf Boundary Information from Digital Images of Plant Foliage, *Trans. ASAE*, 38(2), 625-633.
  36. Woebbecke, D.M., Meyer, G.E., Von Bargaen, K. & Mortensen, D.A. (1995). Color Indices for Weed Identification Under Various Soil, Residue, and Lighting Conditions, *Trans. ASAE*, 38(1), 259-269.
  37. Zhang, N. & Chaisattapagon, C. (1995). Effective Criteria for Weed Identification in Wheat Fields Using Machine Vision, *Trans. ASAE*, 38(3), 965-974.
  38. Derksen, R.C. & Jiang, C. (1995). Automated Detection of Fluorescent Spray Deposits with a Computer Vision System, *Trans. ASAE*, 38(6), 1647-1653.
  39. Jiang, C. & Derksen, R.C. (1995). Morphological Image Processing for Spray Deposit Analysis, *Trans. ASAE*, 38(5), 1581-1591.
  40. Von Qualen, K.E., Hummel, J.W. & Reid, J.F. (1991). Machine vision system for field sprayer guidance, *Automated Agriculture for the 21<sup>st</sup> Century* (ASAE, Michigan) pp. 192-200.
  41. Ren, J., Reid, J.F. & Litchfield, J.B. (1991). Computer control of fermentation with a vision-based sensing system, *Automated Agriculture for the 21<sup>st</sup> Century* (ASAE, Michigan) pp. 8-17.
  42. Richburg, B.A., Reid, J.F., Litchfield, J.B. & Chang, S. (1991). Classification of *Bacillus Thuringiensis* using machine vision microscopy, *Automated Agriculture for the 21<sup>st</sup> Century* (ASAE, Michigan) pp. 42-50.
  43. Erbach, D.C., Choi, C.H. & Noh, K.-M. (1991). Automated Guidance for Agricultural Tractors, *Automated Agriculture for the 21<sup>st</sup> Century* (ASAE, Michigan) pp. 182-191.
  44. Krutz, G.W. & Mailander, M.P. (1983). Automatic Combine, *Robotics and Intelligent Machines in Agriculture: Proc. First International Conference on Robotics and Intelligent Machines in Agriculture* (ASAE, Michigan) pp. 128-137.
  45. Richey, J.H. & Richey, J.H. (1986). Tractorbot Restructures Farming, *Proc. Agri-Mation 2 Conference and Exposition* (Chicago, Illinois) pp. 111-118.
  46. Schueller, J.K. (1985). The Current Status of Automation on Self-Propelled Grain Combines Manufactured in North America, *Proc. Agri-Mation 1 Conference and Exposition* (Chicago, Illinois) pp. 306-311.
  47. Gouws, J. (1994). Tegnologie vir ten volle geoutomatiseerde melking van koeie, *S.Afr. Tydskr. Natuurwet. en Tegn.*, 13(4), 120-124.