

**Proceedings of the First
Electrotechnical and Computer Science
Conference ERK'92**

28–30 September 1992

Portorož, Slovenia

Volume B

Computer and Information Science
Artificial Intelligence
Pattern Recognition
Biomedical Engineering

Edited by

Franc Solina and Baldomir Zajc

Slovenia Section IEEE

Ljubljana • Slovenia

Pomen računalniškega vida za tehnološki razvoj *

Franc Solina, Aleš Leonardis, Jasna Maver, Aleš Jaklič
Laboratorij za računalniški vid,
Fakulteta za elektrotehniko in računalništvo,
Univerza v Ljubljani,
Tržaška 25, 61001 Ljubljana, Slovenija
Tel. +38 (61) 265 161, Fax +38 (61) 264 990
E-mail franc@ninurta.fer.yu

The Role of Computer Vision in Technological Development

The article outlines the role of computer vision in different fields of application such as robotics, quality control and surveillance. We point out the advantages of introducing computer vision systems from a technological and economical point of view. Some difficulties of introducing computer vision systems will be discussed and drawbacks of commercial vision systems will be outlined. An outlook on the future of research and development of computer vision in Slovenia is given at the end.

1. Uvod

Področje računalniškega vida se je začelo razvijati konec 60-tih let. Računalniški strokovnjaki so namreč že zgodaj v razvoju računalništva hoteli opremiti računalnike s čutili, da bi lahko neposredno zaznali in se odzivali na svojo okolico. Vid igra pri tem osredno vlogo, saj omogoča najširše zaznavanje okolice in to brez neposrednega stika. Računalniški vid je danes široko razvejano raziskovalno področje, na stičišču mnogih drugih disciplin, kot so robotika, umetna inteligenca, razpoznavanje vzorcev, nevronske mreže in kognitivna znanost. Da bi roboti lahko delovali v manj strogo strukturiranem okolju (kjer ni lega vseh predmetov vnaprej točno določena) morajo pač videti [1]. Za umetno inteligenco je računalniški vid eno od najbolj zanimivih eksperimentalnih področij, saj vid omogoča računalniku interpretirati in se odzivati na okolico brez človekovega posredovanja. Nevronske mreže so na drugi strani zanimivo orodje, ki je za določene naloge v računalniškem vidu še posebej

primerno. Za kognitivno znanost, ki skuša razložiti delovanje človeškega intelekta, pa je računalniški vid zanimiv zaradi modeliranja določenih vidikov človeškega vidnega zaznavanja.

V Sloveniji se je raziskovanje računalniške vida začelo s širitvijo oziroma dopolnitvijo razpoznavanja vzorcev, ki je dotedaj največ uspehov doseglo z interpretacijo prstnih odtisov, elektrokardiograma in govora [10]. V tem članku bomo bolj podrobno osvetlili vlogo računalniškega vida z vidika njegovega pomena za tehnološki razvoj gospodarstva in z vidika razvoja programske opreme v Sloveniji.

2. Računalniški vid na različnih aplikativnih področjih

Metode računalniškega vida je možno uporabiti povsod tam, kjer gre za interpretacijo oziroma razumevanje slik oziroma slikovnih podatkov. Na nekaterih področjih je možno računalniško interpretacijo slikovnih informacij vpeljati dokaj enostavno in relativno ceneno. V glavnem je to možno povsod tam, kje gre za *off-line* obdelavo informacij, torej tam, kjer interpretacija slik ni v povratni zanki, ki mora sproti uravnnavati potek ali delovanje nekega procesa. Taka tipična področja so interpretacija medicinskih slik (npr. CAT slike), analiza satelitskih slik ali celo arheologija, kjer gre za 3-D rekonstrukcijo predmetov na osnovi najdenih delov.

V industrijskih aplikacijah je sistem računalniškega vida običajno v neki kontrolni zanki, tako da na osnovi intepretacije slike lahko krmilimo bodisi robote, nadzorujemo kvaliteto in izločamo izdelke, ki odstopajo od predpisane oblike ali vodimo nek tehnološki proces (npr. kontroliramo temperaturo stekleninske mase na osnovi njene barve). Take industrijske aplikacije so veliko bolj zahtevne, saj moramo sistem računalniškega vida tesno povezati

* Avtorji se za podporo pri raziskovanju na področju računalniškega vida zahvaljujejo Ministrstvu za znanost in tehnologijo Republike Slovenije (Projekt P2-1122)

z drugimi deli sistema. Da bi računalniški vid res uspešno deloval, mora postati računalniški vid integralni del celotnega proizvodnega procesa že od samega začetka, to je že pri njegovem načrtovanju. Računalniški vid namreč le težko direktno nadomesti človeškega opazovalca na način, da namesto človeka, ki vizualno nadzoruje nek proces postavimo računalniški sistem. Ker računalniški vid še zdaleč ni tako sposoben in univerzalen kot človeški vid, moramo računalniškemu vidu naloge poenostaviti tako, da čimbolj natančno določimo njegovo delovno okolje (osvetlitev, število predmetov, določiti obliko predmetov, določiti njihov položaj in orientacijo). Ker so v proizvodni proces običajno že vključeni računalniki (npr. za računalniško načrtovanje izdelkov in njihovih delov—CAD in izdelavo—CAM) se v takih integriranih sistemih zastavlja vprašanje povezovanja takih sistemov [3]. Če smo za nek predmet že naredili načrt na računalniku, bi si želeli ta njegov načrt ali model tudi uporabiti za kontrolo med njegovim izdelovanjem. Take integrirane proizvodne sisteme imenujemo z angleško kratek CIM (Computer Integrated Manufacturing). Izdelava in razvoj takih integriranih sistemov je zelo zahtevno in drago.

Področje uporabe, kjer je računalniški vid vključen v neko kontrolno zanko in mora hitro reagirati, ne zahteva pa zapletenega povezovanja z drugimi deli sistema, so razni varnostni in nadzorni sistemi. Zahtevnost takih sistemov lahko sega od preprostega branja avtomobilskih registrskih tablic pri vstopu v garažo do avtomatskega nadzora oskrbovanja letal na letališčih [11].

Metode računalniškega vida pa so v zadnjem času postale zanimive tudi za telekomunikacije. Moderne telekomunikacije vse več prenašajo tudi slikovne informacije, naj gre za slikovni telefon, telekonference ali multimedijske sisteme. Prenašanje žive slike v televizijski ali celo boljši kvaliteti zahteva izredno zmogljive prenosne kapacitete. Slike se zato običajno komprimira. Namesto "slepega" komprimiranja, to je ko metode slik ne "razumejo" in vsem delom slik posvetijo enako pozornost, postajajo zanimive metode, ki sliko interpretirajo in prenesejo le tisto informacijo, ki je za razumevanje slike najbolj pomembno. V principu je možno zgraditi model scene, poslati po telekomunikacijskem kanalu le parametre modelov in nato na osnovi modelov sceno zopet rekonstruirati.

Oglejmo si sedaj bolj podrobno problematiko uporabe računalniškega vida v robotiki, za kontrolo kvalitete in za nadzorovanje.

2.1 Računalniški vid in robotika

Prva generacija robotov, ki so se ali se še uporabljajo v industrijski proizvodnji so bili "slepi". Nji-

hove naloge so morale biti natančno sprogramirane, saj so morali vnaprej poznati točen položaj vseh predmetov v svojem delovnem okolju. Vse spremembe v delovnem okolju sploh pa spremenjen delovni postopek zahtevajo preprogramiranja robotov. To pa je drago in zamudno opravilo, zato se bodo v prihodnosti lahko uveljavili le fleksibilni roboti opremljeni s senzorji, ki se bodo avtonomno in hitro prilagodili spremenjenemu okolju. Za sisteme, ki manipulirajo s predmeti, ki nimajo uniformne in vnaprej določene oblike, kot je to naprimer pri razvrščanju poštnih paketov, pa je taka fleksibilnost predpogoj za uspešno delovanje [9].

Poglavje zase so mobilni roboti, saj ti že po definiciji zahtevajo zaznavanje svoje okolice [12,6], pa naj gre za strežne vozičke v industrijskem okolju, skladiščih ali pa za mobilna vozila v nevarnih ali težko dostopnih okoljih (jedrske centrale, pod vodo, v vesolju [7,11]). Sistemi računalniškega vida se v takih primerih lahko kombinirajo tudi s teleoperatorskimi sistemi, da se doseže vsaj delna avtonomnost mobilnih robotov.

2.2 Računalniški vid in kontrola kvalitete

S pomočjo računalniškega vida je možno izboljšati kvaliteto končnih izdelkov oziroma povečati njihovo vrednost in zmanjšati stroške proizvodnje [2]. Kadar se sistem računalniškega vida uporablja za vodenje robotov v proizvodnji, se lahko hkrati uporablja tudi za nadzorovanje kvalitete (npr. pri vstavljanju elementov v tiskana vezja). Vsak končni izdelek je običajno sestavljen iz večih delov. Če posamezni sestavni deli niso dovolj kvalitetni, tudi končni izdelek ne more biti dober. S pomočjo računalniškega vida lahko kontroliramo kvaliteto posameznih sestavnih delov (naprimer odlitkov) še preden se vgradijo v večji sklop. Na ta način zmanjšamo stroške, saj lahko izločimo določen del, še preden ga vgradimo oziroma obdelujemo naprej. V končni fazi pa to pomeni večjo produktivnost in poenoteno kvaliteto izdelkov. Za tak nadzor je stroj pač veliko primernejši zaradi znanih prednosti, saj se ne utruji ali naveliča. Pri dobro definiranih nalogah je stroj tudi veliko hitrejši od človeka. Zato lahko stroj "gleda" tudi v takih fazah proizvodnje, kjer človek tega ne more zaradi hitrosti procesa ali zaradi nedostopnega mesta. Taka računalniška kontrola kvalitete pa ni primerna le za klasično industrijsko proizvodnjo, ampak je možno z metodami računalniškega vida kontrolirati naprimer tudi kvaliteto sadja, lesa in drugih naravnih produktov oziroma izdelkov iz naravnih materialov. Znani so naprimer sistemi za razvrščanje parketnih ploščic v več razredov kvalitete na osnovi napak in strukture lesa. Proizvajalec tako lahko doseže večjo ceno na trgu, saj lahko jamči, da so parketne

ploščice v nekem določenem razredu res ustrezajo zahtevam. S pomočjo računalniškega vida je možno tudi načrtovati razrez usnjenih kož glede na kvaliteto usnja, saj je znano, da so v koži posamezne živali poškodbe in razlike v kvaliteti [5].

Pri kontroli kvalitete ne gre torej le za nadomeščanje človeka, kar je koristno zaradi utrudljivega in enoličnega opravila, ampak je možna kontrola tudi na mestih, kjer to dosedaj ni bilo možno. Na področju kontrole kvalitete lahko v prihodnosti pričakujemo najhitrejša naraščanja števila aplikacij računalniškega vida, saj se vlaganje v to tudi najhitreje poplačajo.

2.3 Računalniški vid in avtomatski nadzor

Računalniški vid je še posebno primeren za avtomatski nadzor, še posebej tam, kjer so že nameščene kamere in gre le za nadomeščanje ali dopolnjevanje človekovega nadzora [8]. To so lahko precej preprosti sistemi, ki znajo detektirati gibanje in sprožiti alarm ali pa so to kompleksni sistemi, ki morajo predmete prepoznati, razumeti situacijo, posamezne objekte spremljati in poročati, kot je to na primer spremljanje dogajanja na letališču [11,4]. Take sisteme je možno vpeljati tudi postopno, saj je možno avtonomnost sistema povečevati po korakih.

3. Uvajanje računalniškega vida

Pri uvajanju računalniškega vida v neko konkretno okolje smo soočeni z dilemo ali naj sistem razvijemo sami ali naj kupimo nek že razvit sistem, ki je dosegljiv na trgu programske in strojne opreme. Žal na to vprašanje ni enostavnega in lahkega odgovora. Da bi se lahko pametno odločili, moramo najprej dobro poznati razmere v katere hočemo sistem računalniškega vida vpeljati in cilje, ki jih želimo doseči. Vedeti moramo predvsem:

- kašne vrste objektov bomo opazovali in kako jih lahko modeliramo,
- ali zadošča binarna slika ali pa je potrebna slika s sivimi nivoji,
- ali se predmeti gibljejo ali pa je scena statična,
- koliko predmetov opazujemo hkrati,
- ali so opazovani predmeti vedno v enakem položaju in orientaciji ali so lahko premaknjeni,
- kakšna je razsvetljava,
- kako hitro se mora sistem odzvati,
- ali je del večjega sistema.

To so le nekatera vprašanja katerih odgovore moramo natančno poznati, saj nam ti narekujejo izbiro metod že od samega začetka. Značilno za sisteme računalniškega vida je namreč, da jih je težko kasneje nadgrajevati ali dopolnjevati. Še težje je dopolnjevati ali spreminjati nek kupljen sistem, katerega strukturo velikokrat niti ne poznamo, ker je poslovna skrivnost, ali ga ne moremo, ker je zaprt. Zato je smiselno kupiti sistem le takrat, če točno odgovarja našim zahtevam. Kljub temu je potrebno tudi kupljene sisteme prilagoditi konkretni aplikaciji v okviru parametrov, ki jih sistem pušča odprte. To pa lahko storijo le zato usposobljeni strokovnjaki, ki dobro poznajo problematiko računalniškega vida. Za bolj zahtevne aplikacije ali pri izdelavi integriranih sistemov, kjer je računalniški vid le del neke večje celote, je bolj smiselno razviti lasten sistem na osnovi znanih in preizkušenih metod in algoritmov in s pomočjo standardnih strojnih gradnikov.

V naših slovenskih razmerah je poleg pomanjkanja ustreznih strokovnjakov največja ovira zastarela proizvodna oprema, ki jo je le zelo težko ustrezno nadgraditi ali povezati.

4. Možnosti razvoja komercialnih aplikacij v Sloveniji

Že iz prejšnjega odstavka je razvidno, da na tržišču danes še ni nekih univerzalnih in fleksibilnih sistemov računalniškega vida. Metode in algoritmi, ki jih danes uporabljamo v računalniškem vidu so še premalo splošni in močni, tako da jih moramo posebej izbrati in prilagoditi obravnavani aplikaciji. Programska in strojna oprema za računalniški vid (razen posameznih arhitekturnih elementov, kot so kamere, plošče za vzorčenje slik, procesorji za osnovne operacije na sliki-konvolucija itd.) je maloserijska ali celo unikatna. Zato se tudi v svetu z njo ukvarjajo predvsem majhna podjetja ali manjše enote večjih podjetij, ki so zadosti fleksibilna za tako maloserijsko delo. Cena posameznih sistemov pa je sorazmerno velika.

Za določena področja uporabe (*off-line*) je dovolj razviti samo ustrezno programsko opremo, ki teče na standardni arhitekturi in pod standardnimi operacijskimi sistemi.

Zaključimo lahko, da je zaradi maloserijske narave in pri neintegriranih sistemih tudi zaradi relativno nizkih stroškov za vlaganje v opremo razvoj sistemov računalniškega vida primeren za slovenske razmere.

5. Zaključek

V članku smo omenili, zakaj se računalniški vid uveljavlja na posameznih področjih uporabe. Kon-

trola kvalitete s pomočjo računalniškega vida bo v prihodnje eno od najbolj zanimivih področij razvoja aplikacij. V literaturi smo omenili le nekaj značilnih primerov uporabe. Seznam literature še zdaleč ni popoln ali dovolj reprezentativen. Opozorili smo na dilemo ali naj sistem računalniškega vida za določeno aplikacijo razvijemo sami ali naj kupimo kakega od ponujenih izdelkov na tržišču. Zato ker so sistemi računalniškega vida maloserijski ali celo unikatni izdelki so še posebej primerni za porajajočo slovensko proizvodnjo programske opreme. Možnosti uporabe računalniškega vida pa se morajo zavedati tudi slovenski proizvajalci strojne opreme, saj je postaja vgradnja sistemov za računalniški vid v integrirane proizvodne sisteme zaradi nadzora kvalitete če ne že nujnost, pa vsaj važna konkurenčna prednost.

Literatura

- [1] R. Bajcsy. Active Perception, IEEE Proceedings, 76(8):996-1005, 1988.
- [2] B. G. Batchelor, D. A. Hill, D. C. Hodgson, *Automated Visual Inspection*, North-Holland, Amsterdam, 1985.
- [3] B. Bhanu. CAD-Based Robot Vision, *Computer*, 20(8):13-16, 1987.
- [4] ESPRIT Day, Delovno poročilo o projektih na področju računalniškega vida, Commission of the European Communities-DGXIII/A, ECCV'92, Santa Margherita Ligure, Italy, 1992.
- [5] A. Lerch, D. Chetverikov. Correction of Line Drawings for Image Segmentation in Leather Industry, Proceedings 11th IAPR International Conference on Pattern Recognition, Hague, Netherlands, Volume I, pp. 45-48, 1992.
- [6] T. Lozano-Peres. *Forward in "Autonomous robot vehicles"*, Springer-Verlag, UK, 1990.
- [7] W. Pölzleitner, G. Paar. Elevation Modeling and Motion Tracking Using a Binocular Camera System with Seven Degrees of Freedom, Proceedings 11th IAPR International Conference on Pattern Recognition, Hague, Netherlands, Volume I, pp. 17-20, 1992.
- [8] U. Rezar, P. Ilija, V. Guštin, A. Likar, A. Dobnikar. Digital Image Processing for the Computer Aided Security Functions, Zbornik prve elektrotehniške in računalniške konference ERK'92, Portorož, Slovenija, Zvezek B, str.193-196, 1992.
- [9] F. Solina, R. Bajcsy. Recovery of mail piece shape from range images using 3-D deformable models. *International Journal of Research & Engineering, Postal Applications*, Inaugural Issue:125-131, 1989.
- [10] F. Solina. Pattern recognition and computer vision in slovenia—an overview. In Peter Mandl, editor, *Modelling and New Methods in Image Processing and in Geographical Information Systems, Proceedings of 15. ÖAGM Work Meeting in Klagenfurt 24.-26. April 1991*, Schriftenreihe der ÖCG, Band 61, pages 27-35, R. Oldenburg, Wien, München, 1992.
- [11] V. J. Stanger. The VIEWS Project: Its Relationship to Spaceborne Applications. In *Proceedings First ESA Workshop on Computer Vision and Image Processing for Spaceborne Applications*, WPP-029, ESTEC, Noordwijk, The Netherlands, June 1991. European Space Agency.
- [12] C. E. Thorpe. *Vision and navigation - The Carnegie Mellon Navigation laboratory*, Kluwer Academic Publishers, USA, 1990.