

# Možnost uporabe postopkov računalniškega vida kot alternativni postopek pri določitvi podatkov odometrije na poljskem robotu

Jurij Rakun  
Faculty of Agriculture and Life Sciences, University of Maribor  
Pivola 10, 2311 Hoče  
jurij.rakun@um.si

## *The possibility of using computer vision as an alternative means to evaluate odometry data of a field robot*

In this work we investigate the possibility of using computer vision to evaluate how much a field robot has moved inside an apple orchard or vineyard. A small field robot with a mounted digital camera (The Imaging Source DBK31UA03) and LIDAR sensor (SICK TIM310), with no wheel encoders or IMU sensor, was used in this experiment to test the approach. In order to evaluate how much the robot has moved, the two sequential images from the captured video stream were registered. The movement of the robot was then calculated by taking into account the translations of sequential images from one image to the next. The image pairs were registered using a phase correlation method that separates the search for translational and rotation parameters in two separate problems. Based on the pixel difference on one side of the robot the transformation from pixel to metric space was made. The whole approach was tested on 3 different test runs of the same scene with 10 m in length that produces an overall cumulative error of  $0.4 \text{ m} \pm 0.3 \text{ m}$ , caused by minute roundup errors in registration of every image pair.

## *Kratek pregled prispevka*

V tem delu preučujemo možnost uporabe računalniškega vida pri ocenitvi premikov mobilnega robota znotraj sadovnjaka ali vinograda. V ta namen je bil uporabljen manjši poljedelski robot, opremljen z digitalno kamero (The Imaging Source DBK31UA03) in LIDAR tipalom (SICK TIM310), brez dodatnih ekonderjev ali IMU enote. Kot vhodni podatek, ki je potreben za ocenitev premika, vzame dva zaporedna posnetka, ki ju napravi digitalna kamera. Premik robota se na posnetkih kaže kot razlika v translaciji, zato je potrebno posnetka poravnati, kjer se zanašamo na metodo fazne korelacije, ki loči koraka iskanja parametrov translacije in rotacije v ločena koraka. Posamezno razliko slikovnih elementov je na koncu potrebno še pretvoriti iz slikovnega v metrični prostor. Rezultati, ki so bili napravljeni na treh različnih posnetkih iste scene v dolžini 10 m kažejo, da postopek dosega kumulativno napako  $0,4 \pm 0,3 \text{ m}$ , ki je posledica manjšim zaokrožitvenim napakam, ki jih napravimo z vsako poravnavo slik.

## 1 Uvod

V današnjih časih avtomatizacija kmetijskih opravil s pomočjo mobilnih-robotiziranih konstrukcij počasi, a vstrajno postaja realnost. Na izgradnji takšnih naprav delajo številne raziskovalne skupine širom sveta, saj te rešitve obljublajo večjo natančnost, višjo hitrost in dolgoročno nižje stroške. Ampak preden te rešitve postanejo komercialno dostopne, je nujno premagati nekatere ovire, kot so sposobnost samodejne navigacije po polju in sposobnost zanesljive, robustne zaznave iskanih predmetov za potrebe preciznega in selektivnega nanosa fito-farmaceutskih sredstev.

Tudi na Fakulteti za kmetijstvo in biosistemske vede, Univerze v Mariboru smo si v okviru študentskega projekta zadali takšen cilj [1]; izgradnjo manjšega nizko cenovnega poljedelskega robota, ki bo sposoben avtonomno nadzorovati smer vožnje med vrstami koruznega polja. Osnovo za naš poljedelski robot predstavlja štirikolesna mobilna platforma, ki jo poganja vgrajen elektromotor. Za pravilno delovanje robota pa skrbi algoritem [2], ki je sposoben samodejne zaznave prisotnosti rastlin in temelji na kombinaciji zaznavanja velikosti, oblike ter barve iskanih predmetov.

Pregled področja je razkril nekaj sorodnih rešitev [3, 4, 5]. V vseh primerih gre za robotizirane konstrukcije. Ključne slabosti sedanjih robotov za delo na polju pa so njihova velikost in teža [3], ki omejujeta mobilnost oziroma prenosljivost naprave in stroške njihovega razvoja [3].

Na univerzi v Teheranu so razvili mobilno platformo [3], ki se orientira s pomočjo računalniškega vida. Na platformi sta nameščeni dve kameri; ena na sprednji in ena na zadnji strani ohišja. Kameri sta preko USB vodila priklopljeni na prenosni računalnik. Nadzorni program robota so razvili s pomočjo programskega paketa MATLAB in deluje na osnovi sledenja poznanih barvnih odtenkov rastlin in omogoča vožnjo med vrstami koruze. Glede na rezultate analize posameznih posnetkov, nadzorni program sprejme odločitev o kontroli krmilnega mehanizma, ki ga nadzira

preko LPT vrat prenosnega računalnika. Avtorji dela so ugotovili, da njihov nadzorni program, realiziran s pomočjo programskega paketa MATLAB, v realnih razmerah deluje dokaj počasi, kar pa je posledica obdelave velike količine podatkov. Programski paket je enostaven za uporabo in primeren v fazi razvoja programa za avtonomno navigacijo platforme.

Na Univerzi za uporabne znanosti v Venlo-ju na Nizozemskem, so razvili mobilno platformo [4], ki omogoča vožnjo skozi vrste koruze. Mobilna platforma uporablja kamero, ki ima 360° kot zaznavanja v okolici mobilne platforme in je na računalnik priklopljena s pomočjo firewire vodila. Smer gibanja mobilne platforme določajo s pomočjo algoritma, ki usmerja platformo glede na zaznane vsebine. Uporabili so algoritem za zaznavo poudarjene zelene barve iz slike, ki jo posname kamera. Sliko zelenih odtenkov segmentirajo, nato pa na binariziranem posnetku uporabijo morfološke operatorje, s pomočjo katerih izločijo manjše, neprobne objekte. Dobljeno očiščeno binarno sliko nato uporabijo, da na njej poiščejo okrogle oblike. Programsko opremo so razvili s pomočjo programskega paketa LabView in teče na prenosnem računalniku.

Na Univerzi Aalto, Fakulteta za znanstvene vede in tehnologijo so naredili mobilno platformo [5], ki se med vrstami koruze premika s pomočjo slik posnetih s pomočjo Logitech QuickCam 5000 kamere. Program za navigacijo so na vgrajenem računalniku Toradex Colibri razvili v programskem jeziku C++ in nanj naložili operacijski sistem Windows Embedded CE 6.0. Kamera zajema slike iz okolice z ločljivostjo  $320 \times 240$  slikovnih elementov, kjer se algoritem navigacije zanaša na iskane barvne odtenke. Za odkrivanje rastlin koruze, so uporabili EGRBI transformacijo, ki sliko iz RGB prostora pretvori v prostor barvnih odtenkov: prekomerna zelena (EG) - rdeča-modra (RB) in intenziteta barvnih odtenkov. Cilj je odkriti zeleno barvo, kjer poudarjena zelena izključuje intenziteto spremembe tako, da je lažje ugotoviti mejne vrednosti, kot v osnovni barvni ravnini G. Rdeče-modri kanal se uporabi zato, da se ugotovi, ali je opazovani predmet bolj rdečkaste

ali modrikaste barve. Problem standardne EGRBI transformacije je ta, da se osredotoča samo na zeleno-zelene barvne odtenke. V primeru rastline, ki barvno ni zeleno-zelena, ampak bolj rumene barve (rdeče-zelena), kot zeleno-zelena ali zeleno-modra, ta postopek ni primeren.

Pomemben del vsake hitre in natančne robotizirane konstrukcije predstavlja povratna zanka krmiljenja. Takšno povratno zanko srečamo tudi v primeru robotov, ki se premikajo, povratno informacijo o premikih pa dobimo s pomočjo odometrije ali IMU enote [1]. Ampak, kaj če ti nista na voljo? Takšen primer srečamo predvsem na manjših, preprostejših robotih. Tudi v primeru če ti so na voljo, ni nujno, da so njihovi podatki natančni. V primeru odometrije, se z napako lahko hitro srečamo v primeru razmočenega terena, ki povzroči zdrse. Meritve IMU enote pa so lahko napačne zaradi šuma, dodatnih magnetnih virov, ipd.

V delu tako preučujemo možnost uporabe alternativnih načinov kako izmeriti premike robota, kjer se v delu zanašamo na video toka, ki ga posname digitalna kamera. Robota in temeljne algoritme opisujemo v 2. poglavju, analizo rezultatov pa v 3. poglavju.

## 2 Materiali in metode

Podatki v tem poskusu so bili zajeti s pomočjo poljedelskega robota Cornstar, ki obenem predstavlja tudi ciljno platform za postopek. Robot Cornstar je rezultat študentskega projekta. Iz praktičnih razlogov gre za razvoj manjše platforme, katere postopki bi brez večji over lahko bili del večjega poljedelskega robota. Robota sestavljajo naslednje ključne komponente:

- podvozje, sestavljeno iz prednje in zadnje preme,
- šasije na kateri so pritrjeni; menjalnik z dvema pogonskima gredema, zobniški par, servomotorji za krmiljenje koles v levo in desno smer, krmilnik pogonskega motorja in pogonski brezkrtačni motor,
- elektronske komponente; kjer ima ključno vlogo vgrajen računalnik z nameščenim

robotskim operacijskim sistemom (ROS), ki skrbi za procesiranje podatkov in generiranje novih krmilnih ukazov,

- tipal; kamera visoke ločljivosti (The Imaging Source DKB31AU03) in LIDAR senzor (SICK TIM310),
- sistem za nanos fito-farmaceutskih sredstev (FFS); ki zajema zalogovnik s kapaciteto 0,5 litra, kjer za pritisk FFS poskrbijo prednapolnjene bombice stisnjenega zraka s pritiskom 10 barov. Samo proženje škropiva pa opravljata dva ločena elektro-magnetna ventila.

Predstavljeni robot ob podpori razvitih navigacijskih algoritmov omogoča popolnoma avtonomno delovanje. Zna se orientirati med vrstami predelka in samodejno prilagajati svojo vožnjo, vse to glede na analizo meritev laserskega tipala. Na podlagi ugotovljenih značilk se na polju lokalizira in usmeri vožno na izpostavljene dele polja. Tam pa omogoča izvedbo različnih nalog, kot je npr. selektiven nanos fitofarmaceutskih sredstev, ki se proži ob podpori računalniškega vida.



Slika 1: Robot Cornstar.

### 2.1 Postopki poravnave slik

Postopek poravnave slik je postopek, ki dva para slik poravnava enega glede na drugega, na isti koordinatni sistem. Za poravnavo obstajajo različni postopki, ki jih lahko delimo na več kategorij. Eni slike poravnava izključno glede na izbrane točke oz. značilke [6], druge pa par

slik poravnajo glede na intziteti vzorcev [7], npr. ob podpori korelacijskih metod.

Korak ugotavljanja parametrov poravnave v tem delu temeljna uporabi fazne korelacije [6, 8]. Ta kot vhod sprejme dva 2D signala (sliki), prvo kot referenco in drugo kot šablono. Ker sta sliki vsebinsko enaki ali vsaj zelo podobni, imata podobno porazdelitev gostote energije. To pa pomeni, da korelacija the dveh vhodnih slik doseže maksimalno vrednost, ko sta obe poravnani. Ker pa poravnavo računamo v frekvenčnem prostoru, je ta za razliko od slikovnega prostora neodvisna in ločena na fazni spekter za translacijo in amplitudni spekter za rotacijo. Korelacijo lahko zapišemo, kot to prikazuje enačba (1):

$$I_1(x, y) \circ I_2(x, y) = \frac{1}{MN} \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} I_1^*(m, n) I_2^*(x + m, y + n) \quad (1)$$

kjer  $I_1(x, y)$  in  $I_2(x, y)$  predstavljata 2D signala oz. sliki dimenzij  $M \times N$  slikovnih elementov in  $I_1^*$  kompleksno konjugiranko signal  $I_1$ . Če uporabimo konvolucijski teorem, lahko enačbo (1) zapišemo kot:

$$I_1(x, y) \circ I_2(x, y) \Leftrightarrow S_1^*(u, v) S_2(u, v) \quad (2)$$

kjer  $S_1^*$  in  $S_2$  ustrezata frekvenčnim transponirankam signalov  $I_1$  in  $I_2$ . Izračun korelacije v frekvenčnem prostoru je torej preprosto izračunan kot zmnožek kompleksne konjugiranke frekvenčne transponiranke prvega signal s frekvenčno transponiranko drugega signal. Rezultat izračuna, pretvorjen iz frekvenčnega v izvorni prostor, predstavlja 2D signal z maksimalno vrednostjo, ki ustreza razliku premikov po  $x$  in  $y$  osi, ko sta oba vhodna signala poravnana.

Poravnava vsakega zaporednega para slik tako vrne par parametrov  $dx$  in  $dy$ , ki eno sliko preslikajo na drugo, tj. v skupni koordinanti sistem. Parametra predstavljata premik enega posnetka na drugega v slikovnih elementih, zato je nujen še podatek o preslikavi iz slikovnega v metričen prostor.

Preslikavo iz slikovnega v metričen prostor lahko določimo, če poznamo oddaljenost robota od predmeta, ki ga opazujemo, njegovo velikost

v slikovni ravnini in njegovo metrično velikost. Oddaljenost pa lahko dobimo iz velikosti predmeta na sliki in kotu, ki ga zajame objektiv kamere.

### 3 Rezultati

Možnost uporabe postopka poravnave slike na posnetkih videotoka je bila preizkušena na treh zaporednih meritvah iste scene. Izbran je bil 10 m dolg pas v manjšem vinogradu, s tremi ponovitvami vožnje robota, kot ga prikazuje slika 2. Kamera na robotu je bila obrnjena na desno, tako da videotok zajema predmete mimo katerih se je robot peljal.



Slika 2: Primer posnetka testnega poligona.

V času potovanja je bila oddaljenost med kamero in vinogradom okoli 0,65 m. Z empiričnim testiranjem sta bila izmerjena horizontalni in vertikalni kot objektiv, ki merita  $60,8^\circ$  in  $68^\circ$ . Ločljivost videotoka pa je bila nastavljena na  $540 \times 960$  slikovnih elementov.

V vseh treh primerih je bilo ugotovljeno število slikovnih elementov po  $x$  in  $y$  osi, ki ustrezajo premikom robota in se na posnetkih scen kažejo kot translacija motivov. Ker je robot potoval naravnost, je mogoče za preslikavo iz slikovnega v metrični prostor uporabiti podatek o ločljivosti kamere in oddaljenosti od predmetov uporabili. Tabela 1 prikazuje vse tri ponovitve, skupaj z izračunano in prepotovano dolžino.

Tabela 1: Izmerjena in dejanska pot za tri ponovitve.

Ponovitev	Izračunana pot [m]	Dejanska pot [m]	Abs. razlika [m]
1	10,7	10	0,7
2	9,97	10	0,03
3	9,5	10	0,5
Povprečje:			$0,4 \pm 0,3$

Meritve iz Tabele 1 dokazujejo, da je natančnost premikov, ki jih je mogoče doseči na opisan način v rangu  $0,4 \text{ m} \pm 0,3 \text{ m}$  in, da je opisan postopek primeren za ugotavljanje translacijskih premikov robota.

Ker se napaka z razdaljo akumulira, podobno kot v primeru odometrije, nas je zato zanimala še napaka posamezne iteracije. Za vse tri primere smo postopek poravnave izvedli 344, kar pomeni, da smo v eni poravnavi v povprečju napravili napako v velikosti 0,001 m.

#### 4 Zaključek

V delu je prikazan način kako je mogoče na podlagi podatkov videotoka iz zaporednih posnetkov scene določiti podatke o premiku robota, kot bi jih lahko npr. dobili iz odometrije. Ker ta ni vedno prisotna, lahko s pridom izkoristimo meritve drugih senzorjev, ki so prisotni na robotu. Eden takšnih je kamera. Dodatno, meritve dobljene na ta način so lahko v nekaterih primerih celo boljše, saj nanje ne vplivajo dejavniki kot je zdrs koles robota na razmočeni površini.

Predstavljeno delo prikazuje prvi korak pri določitvi premikov robota. Zaenkrat so bile uporabljene meritve ene kamere, kjer lahko sklepamo samo na zaznavo translacijskih premikov vzdolž smeri gibanja. V kolikor bi želeli ugotoviti še premike po drugih oseh, bi morali razviti še bolj napreden sistem, ki bi temeljil na:

- uporabi dveh kamer ali
- uporabi predmeta referenčne velikosti.

V prvem primeru bi o delnem zasuku robota lahko sklepali na podlagi različnih parametrov premika iz posnetkov obeh kamer. V drugem primeru pa bi na posnetku imeli ves čas predmet poznanih metričnih podatkov, npr. kontrolni trak, ki bi služil ugotavljanju kako oddaljen je robot. Seveda bi najboljšo natančnost uporabili v kombinaciji različnih senzorjev in različnih algoritmov, npr. odometrije, IMU enote in analize video toka.

#### 5 Literatura

- [1] M. Lakota, P. Berk, J. Kraner, J. Rakun (2015), *Cornstar robot*, Proceedings of the 13th Field Robot event 2015, str. 12 - 21, spletna publikacija: <http://fre2015.um.si/images/Downloads/Proceedings-FRE2015.pdf>.
- [2] J. Rakun, D. Stajniko, D. Zazula (2011), *Detecting fruits in natural scenes by using spatial-frequency based texture analysis and multiview geometry*. Computers and electronics in agriculture, letn. 76, št. 1, str. 80-88.
- [3] H. H. Harms, T. Lang, J. Schattenberg (2011), *Proceedings of the 8th Field Robot Event, Institute for Agricultural Machinery and Fluid Power*, Braunschweig.
- [4] J. M. W. H. Gennip (2012), *Field Robot Event Booklet*, spletna publikacija: <http://www.fieldrobot.nl/downloads/program%20booklet%20FRE2012%20V6.pdf>, Venlo.
- [5] T. Kemppainen, T. Koski, J. Hirvelä, J. Lillhannus, T. Turunen, J. Lehto, V. Koivisto, M. Niskanen, T. Oksanen, J. Kostamo, P. Tamminen (2009), *Robot Brothers EasyWheels and ReD in Field Robot Event*, Proceedings 7th Field Robot Event, Wageningen.
- [6] R.C. Gonzales, R.E. Woods (2001), *Digital image processing*, 2. issue, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.
- [7] J. Rakun, D. Zazula (2007), *Pospešitev iskanja tiskarskih napak z uporabo poravnave v frekvenčnem prostoru*, ROSUS 2007, FERI Maribor, str. 88-95.
- [8] H. S. Stone (2001), *A Fast Direct Fourier-Based Algorithm for Subpixel Registration of Images*, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, letn. 39, št. 10, str. 2235-2242.