

Biblid: 0350-2953 (2007) 33: 3-4, p. 187-195
UDK: 631.3: 629.056.84

Pregledni rad
Review paper

AUTOMATSKO VOĐENJE MAŠINA PRI MEĐUREDNOJ OBRADI RATARSKIH KULTURA

AUTOMATIC GUIDANCE OF MACHINE AT INTER ROW CULTIVATION OF THE PLANTS

Karadžić B, Malinović N, Meši M, Mehandžić R, Turan J, Anđelković S.*

REZIME

U radu je prikazan prototip kultivatora za istovremenu međurednu i unutarrednu mehaničku obradu zemljišta elektropneumatskim uređajem za samonavođenje.

Dat je pregled sistema vođenja poljoprivrednih vozila ili priključnih mašina, zasnovanih na mašinskom vidu i globalnom navigacionom satelitskom sistemu.

Ključne reči: poljoprivredne mašine, automatsko vođenje, mašinski vid, globalni pozicioni sistem

SUMMARY

This article presented a prototype of cultivator for simultaneous inter-row and intra-row mechanical cultivation of the soil with electropneumatic guidance system.

There are provided an overview of guidance systems for agricultural vehicles or implements based of computer vision and global navigation satellite systems.

Key words: agricultural machines, automatic guidance, computer vision, global position system

UVOD

Poljoprivredne mašine - samohodne ili kao agregat traktor - priključna mašina, visoko su specijalizovana sredstva za proizvodnju. Upravo zato glavni zadatak operatora na poljoprivrednoj mašini jeste da nadgleda proces proizvodnje. Upravljanje, iako ne glavni zadatak, zahteva veliki deo operatorove pažnje i samim tim znatno utiče na kvalitet proizvodnje. Ideja oslobađanja operatora od upravljanja inspirisala je mnoge inženjere širom sveta u dužem vremenskom periodu ali njihova komercijalizacija nije uspeła, uglavnom zbog visoke cene tih sistema. Brzi napredak u elektronici, računarstvu i računarskim tehnologijama inspirisao je ponovni interes u razvoju sistema vođenja vozila. Sadašnji predlozi uglavnom su bazirani na mašinskom vidu i satelitskom pozicioniranju.

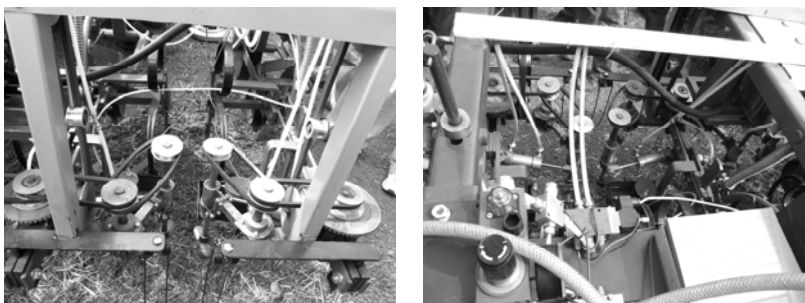
* Mr Branislav Karadžić, asistent, dr Nedeljko Malinović, redovni profesor, dr Mihal Meši, vanredni profesor, dr Radojica Mehandžić, docent, dr Jan Turan, docent, mr Stojan Anđelković, asistent, Departman za poljoprivrednu tehniku, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 8.

U okviru projekta “Razvoj inteligentnih mašina za setvu i okopavanje širokorednih poljoprivrednih kultura” (Malinović et al, 2006), realizovane su, prema patentnoj dokumentaciji (Matić, 2005), dve mašine: sejalice kojom se ostvaruje precizan pravougaoni ili trouglasti raspored semena na parceli, i kultivator s uređajem za samonavođenje, za istovremenu međurednu i unutarrednu mahaničku obradu zemljišta (sl.1-2).



Sl. 1. Automatska kopačica u radu na polju

Fig. 1 Automatic cultivator working in the field



Sl. 2 Detalji realizovane kopačice

Fig. 2 Details of realised cultivator

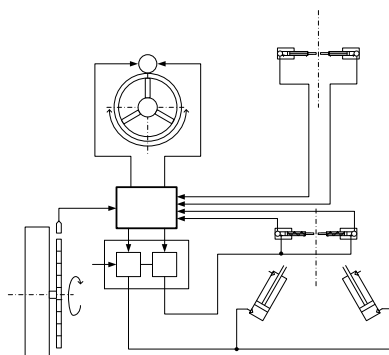
Radi daljeg razvoja koncepta automatskog vođenja kultivatora, analizirani su sistemi vođenja poljoprivrednih vozila i priključnih mašina zasnovanih na mašinskom vidu i globalnom navigacionom satelitskom sistemu.

REZULTATI ISTRAŽIVANJA I DISKUSIJA

Automatska rotaciona elektropneumatska kopačica

Principijelna skica sistema navođenja agregata i upravljanja radnim organima (alatom) za unutarrednu obradu (Matić, 2005), prikazana je na slici 3. Mehanički tasteri T_1 detektuju odstupanje kursa kretanja agregata od pravca reda biljaka. Na osnovu signala s induktivnih davača, programibilni logički kontroler (PLC) upravlja elektromotorom (M) koji pokreće upravljač traktora, radi korekcije pravca kretanja agregata. Kontroler je marke "Omron", serije ZEN sa relejnim izlazima. Pneumatski cilindri C_2 , upravljani ventilom V_2 , postavljaju mehaničke tastere (T_2) u radni položaj za prepoznavanje biljaka.

Kada tasteri dotaknu biljku, zakretanjem pobuđuju induktivne davače. Programibilni logički kontroler (PLC) registruje taj događaj i na osnovu podataka o pređenom putu, brojanjem impulsa s induktivnog davača na točku (T), aktiviranjem ventila V_1 , počinje ciklus uvlačenja klipnjača cilindra C_2 sa tasterima i aktiviranja cilindra C_1 , koji postavljaju rotacione radne organe u položaj za unutarrednu obradu za sva četiri reda istovremeno. Posle pređenog, prethodno definisanog puta koji odgovara rastojanju između biljaka u redu, rotacioni radni organi vraćaju se u položaj između redova biljaka, izvlače klipnjače cilindra C_2 i mehanički tasteri postavljaju u položaj za prepoznavanje biljke. Posle toga, ceo proces se ponavlja.

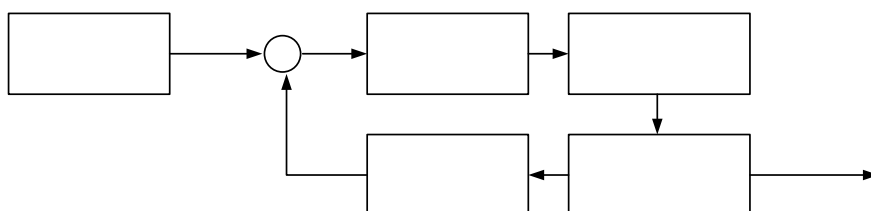


Sl. 3 Principijelna skica sistema za vođenje agregata i upravljanje radnim organima za unutarrednu kultivaciju

Fig. 3 Shema vehicle guidance system and control of working tools for intrarow cultivation

Mogućnosti za unapređenje automatskog vođenja poljoprivrednih mašina

Blok dijagram koncepta sistema vođenja poljoprivrednih mašina prikazan je na slici 4 (Junyusen, 2005). Kontroler vođenja, na osnovu položaja vozila u odnosu na željeni položaj, generiše odgovarajuće upravljačke komande. Upravljački sistem vozila je kombinacija hidrauličkih i/ili elektronskih komponenti, koji postavlja upravljačke točkove u odgovarajući položaj. Sistem vođenja određuje aktuelni položaj vozila, poredi ga sa željenim položajem i izvršava odgovarajuće upravljanje da bi se vozilo postavilo u željeni položaj.



Sl. 4 Blok dijagram automatskog vođenja vozila

Fig. 4 Signal flow diagram for automatic vehicle guidance

Sistemi vođenja poljoprivrednih mašina mogu da se svrstaju u tri grupe: a) pomoć pri vođenju, b) automatsko vođenje i c) autonomni sistem vođenja. Sistem pomoći pri vođenju,

vođenju je sistem koji rukovaocu obezbeđuje samo informacije o vođenju. Automatski i autonomni sistemi vođenja projektuju se tako da se podešavanje mehanizma upravljanja odvija bez vozača.

Praćenje putanje za poljoprivredne priključne mašine mnogo je teže nego kod vozila, pa sistemi navođenja poljoprivrednih priključaka imaju poseban značaj.

Upravljački sistemi za vozila ili priključne mašine obično sadrže najmanje sledeća tri sklopa:

- senzor koji snabdeva sistem informacijom o promeni položaja vozila ili priključne mašine;
- kontroler koji snabdeva sistem posebnim korekcionim signalom;
- aktuator koji, kombinovan s upravljačkim mehanizmom, menja položaj vozila ili priključne mašine.

Sistemi razvijeni za automatsko upravljanje poljoprivrednim mašinama ranije su bili ograničeni samo za posebne aplikacije, pošto nije bio obezbeđen nijedan univerzalni senzorski sistem. Nedavno se ovo promenilo zahvaljujući napretku elektronike i opadanju cene elektronike. Mašinski vid, isto kao i globalni pozicioni sistem (GPS), raspoloživi su za primenu na poljoprivrednim mašinama. Za izračunavanje položaja mašine, za tačnost potrebnu u primeni kod međuredne obrade, pogodan je Real Time Kinematic (RTK) DGPS.

Upravljančki sistem za poljoprivredne mašine koristi digitalnu mapu koja sadrži sve koordinate potrebne da opišu određenu stazu za mašinu u polju, senzor da odmeri stvarni položaj mašine, komparator da izračuna grešku položaja, kontroler da proizvede korekциони signal i aktuator postavljen između traktora i mašine da vrati mašinu na željeni pravac kretanja. Sistem upravljanja treba da se izvede kao otvoreni modularni sistem.

U daljem razvoju automatske kopačice, prihvaćen je metod grupisanja senzora. Princip grupisanja senzora je da kombinuje informacije različitih izvora senzora, jer ni jedna individualna tehnologija senzora nije idealna za automatizaciju vozila, pri svim uslovima korišćenja.

Mašinski vid (computer vision, kompjuterska vizija) je nova tehnologija u poljoprivrednoj tehnici. Brzi porast performansi i smanjenje cene, kao i njena univerzalnost, učinilo je ovu tehnologiju pogodnom za automatsko upravljanje u poljoprivredi. Sistemi vođenja vozila, zasnovani na mašinskom vidu, koji nalaze informacije za vođenje od postojećih redova useva su ključni za tačno upravljanje vozilom. Brojne tehnike obrade slika istraživane su za nalaženje kursa vođenja iz slika redova useva. Glavni cilj razvoja takvih sistema jeste razvoj procedure obrade slika koja bi bila primenljiva za vođenje traktora na osnovu mašinskog vida u realnom vremenu sa odgovarajućom tačnošću.

Tehnologija mašinskog vida može da se iskoristi za automatsko vođenje vozila kada je struktura redova useva jasno prepoznatljiva u polju. Veliki broj useva gaji se širokoredno, tako da su znatni naponi učinjeni prema razvoju sistema za prepoznavanje reda, koji omogućuju tačno praćenje reda biljaka. Postoji više robustnih algoritama za obradu slika i otkrivanje položaja reda biljke. Za otkrivanje reda biljaka obično se koriste kamere s infracrvenim filterom. Dobijena digitalna slika obrađuje se tako da red biljaka može približno da se predstavi kao linija, a korovi kao šum (poremećaj). Tipične aplikacije uključuju vođenje traktora kod međuredne kultivacije ili vođenje kombajna kod ubiranja. Senzor vođenja, tj. kamera, je lokalni senzor zato što može biti određen samo relativni

položaj vozila u odnosu na red useva. Vođenje mašinskim vidom ima prednosti kod korišćenja lokalnih karakteristika za fino podešavanje navigacionog kursa vozila.

Veliki broj istraživanja odnosi se na primenu različitih tipova kamera, pri čemu se dobijene slike obrađuju, filtriraju i modifikuju kako bi se sačuvale samo neophodne informacije. Koristi se nekoliko algoritama za obradu informacija sa slika baziranih na intenzitetu boja, teksturama ili morfologiji.

Biljke koje se okopavaju, seju se u redovima, pa se problem uništavanja korova svodi na uništavanje korova između redova i uništavanje korova u redu. Uništavanje korova između redova zahteva samo prepoznavanje redova biljaka, dok uništavanje korova u redu zahteva prepoznavanje pojedinih biljaka među korovom, što je mnogo komplikovaniji zadatak.

Kod automatske kopačice (Matić, 2005) predviđena je unutarredna obrada s istovremenim uništavanjem korova. U ovom rešenju ne prepoznaje se korov, već biljka. Rotacioni radni organi obrađuju ceo unutarredni prostor.

Gobor (2006) daje pregled trenutnih dostignuća u oblasti unutarredne kultivacije mehaničkim metodama. Prikazana su idejna rešenja i prototipovi uređaja za unutarrednu eliminaciju korova kod okopavanja. Opisan je problem unutarredne kultivacije sa najvažnijim detaljima i ograničenjima. Prikazane su i najznačajnije metode i istraživanja u oblasti detekcije jedinki useva i korova u realnom vremenu, neophodne za uspešno obavljanje unutarredne kultivacije. Pregled komercijalno raspoloživih sistema navođenja pri međurednoj kultivaciji, uz pomoć kamere, dao je Martinov (2006).

Åstrand i Baerveldt (2002) razvili su robustni algoritam obrade slike za detekciju položaja redova biljaka. Sistem sadrži traktor koji vozi duž redova sa kultivatorom montiranom na zadnjem delu traktora. Mehanizam upravljanja koristi se za upravljanje položajem kultivatora. Primenjen je proporcionalno-integralno-diferencijalni (PID) kontroler, koji na osnovu signala položaja, dobijenog od sistema prepoznavanja redova, formira upravljački signal za upravljački mehanizam.

Søgaard i Olsen (2003) razvili su metod zasnovan na mašinskom vidu za detekciju i lokalizaciju redova biljaka. Metod je namenjen za korišćenje u sistemima za automatsko vođenje poljoprivrednih priključnih mašina u selektivnom tretmanu redova i/ili prostora unutar redova. Sistem mašinskog vida sadrži kolor video-kameru, koja je fokusirana na površinu polja obuhvatajući pet redova istovremeno, kao i računar, koji obrađuje slike i računa potrebno lateralno bočno kretanje priključne mašine.

Postoje i mobilni roboti, namenjeni za primenu u poljoprivredi. Jeean primer je potpuno autonomni uređaj razvijen za unutarrednu kultivaciju šećerne repe (Åstrand, 2005). Sistem za detekciju položaja i prepoznavanje biljaka sastoji se od dva podsistema: crno-bele kamere s infracrvenim filterom postavljene na prednjem delu robota, koji služi za prepoznavanje i navođenje po redovima i kamere u boji za identifikaciju biljnih jedinki. Za detekciju redova koristi se specifičan algoritam koji robota navodi sa tačnošću od ± 20 mm.

Bak i Jakobsen (2004) prikazali su robotizovanu platformu za mapiranje korova u polju. Prikazan je inteligentni koncept autonomnog poljoprivrednog vozila. Bjorn i Baerveldt (2002) prikazuju mobilni robot s upravljanjem na bazi mašinskog vida, koji je namenjen mehaničkom uništavanju korova između biljaka. Robot sadrži dva sistema mašinskog vida, jedan koji prepoznaje red biljaka i vodi robot u željenom pravcu. Drugi

sistem mašinskog vida, koji se zasniva na analizi slika u boji, prepoznaje pojedine biljke i upravlja sistemom za eliminaciju korova.

Globalni satelitski navigacioni sistemi (GNSS – *Global Navigation Satellite Systems*) omogućavaju krajnjim korisnicima informacije o poziciji i vremenu. Jedan od prvih ovakvih sistema je globalni sistem za pozicioniranje (GPS – *Global Positioning System*).

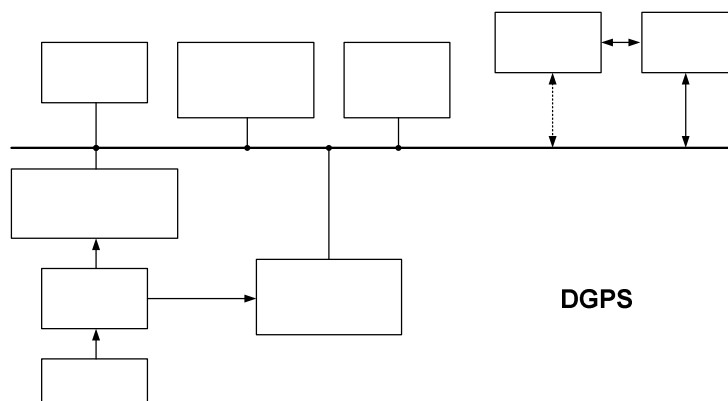
Primena GPS svodi se na akviziciju prostornih i vremenskih podataka pri čemu se, za određene klase aplikacija, zahteva centimetarska tačnost u određivanju pozicije. Za efikasno upravljanje u ovoj oblasti potrebno je prikupiti i različite druge vrste podataka, što zahteva kompleksnu tehnološku i organizacionu infrastrukturu. Da bi se postigla neophodna preciznost za upravljanje, potrebno je unaprediti sistem. Danas uz pomoć Real Time Kinematics Differential GPS (RTK DGPS) moguća je preciznost dovoljna za sve poljoprivredne radove. Kada se koristi mreža permanentnih GPS stanica, dobijaju se rezultati koji od tačne pozicije odstupaju 1 – 2 cm.

Tehnologija vođenja zasnovana na GPS-u može da se koristi u mnogim operacijama kao što su obrada, zaštita, kultiviranje i ubiranje. Tom tehnikom se može obezbediti potpuna autonomna navigacija. Ipak, visoki troškovi preciznih GPS prijemnika glavna su prepreka za njihovu širu primenu u navigaciji poljoprivrednih vozila. Komercijalne uređaje za vođenje poljoprivrednih mašina, zasnovane na GPS, proizvodi firma "Trimble". Primenom RTK DGPS postiže se tačnost vođenja unutar 2,5 cm. Kod sistema automatskog vođenja, mašina prati prethodno planirani kurs pomoću sistema upravljanja koji sadrži senzor položaja, kompjuterski upravljački algoritam, elektrohidraulički ili elektromehanički sistem vođenja i senzore povratne sprege. Rukovalac preuzima ručno vođenje mašine kod okretanja ili neplaniranih manevara, dok se operacije praćenja redova, koje se ponavljaju, obavljaju automatski.

Van Zuydam (1999) razvio je sistem vođenja poljoprivrednih mašina, zasnovan na elektronskoj mapi i RTK DGPS. Koordinatni sistem uveden je za opisivanje željene putanje mašine po polju. Takođe, koordinatni sistem koristi se kao referenca za poređenje aktuelnog položaja mašine sa željenom putanjom i računanje lateralne greške položaja mašine. RTK DGPS se koristi za merenje aktuelnog položaja priključka. Kontroler služi za generisanje korekcionog signala. Testovi su pokazali srednju grešku od 2 cm, pri prosečnoj brzini od 5,2 km/h.

Pod pretpostavkom da je satelitski pozicioni sistem precizan i dovoljno jeftin, to je još uvek neodređen apsolutni pozicioni sistem, zato što je to "slepi" sistem, da bi bilo odgovarajuće sredstvo za vođenje poljoprivrednih vozila. Biljke posađene ili posejane na nekoj lokaciji ne rastu uvek tačno gde su originalno posađene.

Apsolutni pozicioni sistem je slepi sistem, koji ne može da detektuje biljku. Sledeći razlog jeste brzina ažuriranja satelitskog pozicionog sistema, koja je otprilike nekoliko stotina milisekundi. Kao posledica toga pozicioni signal je raspoloživ na nekom rastojanju od aktuelnog položaja. Glavni signal, važan za vođenje, teško se ekstrahuje iz GNSS pozicionog signala. Zato je povoljno koristiti relativno i apsolutno pozicioniranje. Sistem zasnovan na mašinskom vidu može da vidi unapred. Sledeća prednost relativnog pozicionog sistema, zasnovanog na mašinskom vidu, je ta što se orijentiše prema aktuelnoj situaciji. Pošto taj sistem nije slep, prepreke će biti detektovane. Mogu da se dobiju glavne informacije i eliminiše relativno kretanje kamere, izazvano kretanjem vozila ili priključne mašine, pomoću analize sekvenci slika, bez dodatnog merenja.



Sl. 5 Modularna struktura za sistem autonomnog vođenja poljoprivrednih vozila

Fig. 5 Modular structure for a system to guide agricultural vehicle autonomously

Kamera može biti postavljena na odgovarajućim mestima na vozilu, u priključku da bi se obezbedila bolja vidljivost. Praćenje je zasnovano na istovremenoj primeni GPS i mašinskog vida za autonomno vođenje poljoprivrednih mašina. GPS služi kao pomoćni sistem za apsolutno pozicioniranje, a mašinski vid služi za relativno pozicioniranje. Jahns (1999) predložio je za autonomno upravljanje poljoprivrednim mašinama sistem otvorene i modularne arhitekture (slika 5).

Primenom standarda za prenos podataka, kao što je DIN 9684 i ISO 11783, moguće je, uz pretpostavku da će budući sistemi za upravljanje biti zasnovani na relativnom pozicioniranju preko mašinskog vida i apsolutnom pozicioniranju pomoću GNSS, obezbediti da se oba sistema koriste da obezbede informacije za druge svrhe, kao što su precizna poljoprivreda i otkrivanje osobina zemljišta i biljaka. Interfejs čovek/mašina i veza do stacionarnog kompjutera, takođe, je obezbeđena.

Primenom standarda za prenos podataka DIN 9684 i ISO 11783 moguće je obezbediti informacije o položaju za svaku tačku na vozilu, priključno mašini ili čak za virtualne tačke izvan vozila.

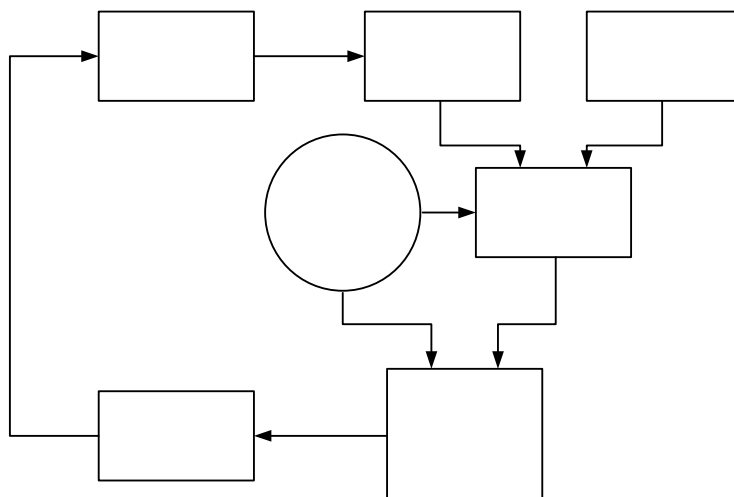
Han (2004) i Kise (2005.), opisuju primere vođenja poljoprivrednih mašina kod širokorednih kultura na osnovu mašinskog vida. U oba slučaja kombinuje se mašinski vid i satelitska navigacija.

Ključni delovi automatskog upravljanja su: navigacioni senzori, model kretanja vozila, navigacioni planer i kontroler upravljačkog sistema vozila. Sistem vođenja zasnovan na mašinskom vidu uključuje sensor vida (CCD kamera), procesor slike, DGPS prijemnik, navigacioni planer, kontroler upravljačkog mehanizma i aktuator upravljačkog mehanizma (slika 6).

Vodeći pravac, zajedno sa DGPS informacijama o položaju i ostalim stanjima traktora, koristi se u navigacionom planeru za određivanje navigacionih komandi, tj. komandovanje uglom zakretanja točkova. Na osnovu razlike između komandovanog i merenog ugla zakretanja točkova, kontroler upravljačkog mehanizma računa upravljački signal i šalje ga do aktuatora upravljačkog mehanizma. Aktuator je elektrohidraulički upravljački sistem, koji kontroliše stepen skretanja točkova vozila. Posle kretanja vozila

na kratkoj distanci, startuje sledeći ciklus prepoznavanja, kada senzor vida prihvata novu sliku.

Strategija upravljanja u zatvorenom kolu se koristi za kontroler upravljačkog mehanizma vozila, sa merenjem ugla točka, kao povratnom informacijom. Upravljanje u tom kolu obavlja se većom brzinom (50 Hz), nego kolo obrade slike (6-10 Hz), obezbeđujući bolje upravljanje vozilom. Nekoliko kontrolera upravljačkog mehanizma, uključujući PID kontroler, PID kontroler sa predupravljanjem (feed-forward PID kontroler – FPID) i fazi kontroler (fuzzy-logic – FL), razvijeni su i primenjeni u sistemima vođenja Qiu (1999), Wu (1999) i Zhang (1999).



Sl. 6 Komponente sistema vođenja na osnovu mašinskog vida

Fig. 6 Components of the vision-based guidance system

Procesor slike, koji određuje pravac vođenja, kritičan je za uspeh sistema vođenja zasnovanog na mašinskom vidu (viziji). Kao veza između procesora i kontrolera upravljačkog uređaja vozila, ključnu ulogu u sistemu vođenja ima navigacioni planer putanje, koji koristi digitalnu mapu. Korisnik treba jedino da odredi vrstu radne operacije, širina oruđa, prihvatljivo preklapanje, kao i druga kritična stanja.

ZAKLJUČAK

U radu su, polazeći od ostvarenog koncepta automatske elektropneumatske kopačice, prikazane mogućnosti za unapređenje sistema navođenja agregata i upravljanja rotacionim radnim organima za unutarrednu obradu.

Napredak u razvoju elektrohidrauličkih i elektromehaničkih sistema upravljanja i tehnologija senzora i njihovo kombinovanje sa GPS infrastrukturom, omogućava rešenje problema automatskog navođenja poljoprivrednih mašina.

Pošto cena RTK DGPS brzo opada, a performanse obrade slike rastu, kombinovanje mašinskog vida (vizije) i RTK DGPS s upravljačkim sistemom traktorskog agregata,

**Senzor vida
(kamera)**
Vision Sensor
(Camera)

**Merenje ugla
zaokretanja
upravljačkih
točkova**
Measured Steeri
Wheel Angle

**Aktuelna
putanja**
Actual
Path

**Upravljački
aktuator**
Steering Actuator

**Upravljačke
komande**
Steering
Command

izvedenog kao sistem otvorene modularne arhitekture, predstavlja pogodno rešenje za automatsko vođenje poljoprivrednih mašina.

LITERATURA:

1. Åstrand B, Baerveldt A. 2002. An Agricultural Mobile Robot with Vision-Based Perception for Mechanical Weed Control, *Autonomous Robots*, 13, 21-35.
2. Bak T, Jakobsen H. 2004. Agricultural Robotic Platform with Four Wheel Steering for Weed Detection, *Biosystems Engineering*, 87(2), 125–136.
3. Gobor Z. 2006. Mehanička eliminacija korova u zoni između biljaka u redu kod okopavina primenom robotskih sistema, *Savremena poljoprivredna tehnika*, 32(1-2): 63-70.
4. Han S. et al. 2004. A guidance directrix approach to vision-based vehicle guidance systems, *Computers and Electronics in Agriculture*, 43, 179-195.
5. Jahns G. 1999. Automatic Guidance in Agriculture: A Review. *ASAE paper NCR*, 83-404.
6. Junyusen P. 2005. Development of Guidance System of an Agricultural Trailer for Approaching to Target Position, Ph.D. diss, University of Tsukuba, 112.
7. Kise M, Zhang Q, Rovira M. F. 2005. A Stereovision-based Crop Row Detection Method for Tractor-automated Guidance, *Biosystems Engineering*, 90(4): 357–367.
8. Malinović N. et al. 2006. Razvoj inteligentnih mašina za setvu i okopavanje širokorednih poljoprivrednih kultura, *Revija Agronomska saznanja*, 16(3): 12-13.
9. Martinov M. 2006. Navođenje pri međurednoj kultivaciji uz pomoć kamere, *Revija Agronomska saznanja*, 16(4): 34-35.
10. Matić R. 2005. Patenti: PCT-WO 2005/099429 A1, WO 2005/099433 A1.
11. Noguchi N. et al. 1998. Vehicle automation system based on multi-sensor integration, *ASAE Paper* 983111.
12. SØgaard H. T, Olsen H. J. 2003. Determination of crop rows by image analysis without segmentation. *Computers and Electronics in Agriculture*, 38(2): 141–158.
13. Van Zuydam R.P. 1999. A driver's steering aid for an agricultural implement, based on an electronic map and Real Time Kinematic DGPS, *Computers and Electronics in Agriculture*, 24, 53–163.

Rad predstavlja rezultate istraživanja na projektu "Razvoj inteligentnih mašina za setvu i okopavanje širokorednih poljoprivrednih kultura" koje finansira Ministarstvo nauke i zaštite životne sredine, broj IP06-8007B.

Primljeno: 30.12.2006.

Prihvaćeno: 12.01.2007.