

Automatski vođena vozila u poljoprivredi

Ćosić, Arian

Master's thesis / Diplomski rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:

Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:151:458529>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-12-20**



Sveučilište Josipa Jurja
Strossmayera u Osijeku

**Fakultet
agrobiotehničkih
znanosti Osijek**

Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Agrobiotechnical
Sciences Osijek - Repository of the Faculty of
Agrobiotechnical Sciences Osijek](#)



SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK

Arian Ćosić

Diplomski sveučilišni studij Mehanizacija

AUTOMATSKI VOĐENA VOZILA U POLJOPRIVREDI

Diplomski rad

Osijek, 2021.

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK

Arian Ćosić

Diplomski sveučilišni studij Mehanizacija

AUTOMATSKI VOĐENA VOZILA U POLJOPRIVREDI

Diplomski rad

Povjerenstvo za ocjenu i obranu diplomskog rada:

1. prof. dr. sc. Luka Šumanovac, predsjednik povjerenstva
2. doc. dr. sc. Domagoj Zimmer, mentor
3. prof. dr. sc. Tomislav Jurić, član

Osijek, 2021.

Sadržaj

Stranica

1. UVOD	1
2. TRANSPORTNI SUSTAVI U ZATVORENOM PROSTORU	2
2.1. Tipovi automatski vođenih robota u unutarnjem transportu	3
2.3. Sustavi za navigaciju i vođenje robota	7
2.3.1. Senzori	11
2.2.2. Senzori u poljoprivredi	19
2.2.3. Mehanizmi za kretanje	21
2.2.4 . Motori za pogon robota	22
2.2.5. Robotski manipulatori u poljoprivrednoj proizvodnji	25
3. AUTOMATSKI NAVOĐENJE VOZILA NA OTVORENOM	31
3.1. Navigacijski senzori	33
3.1.1. Mehanička osjetila	33
3.1.2. Strojni vid	34
3.1.3. Vidljivi spektar	38
3.1.4. Percepcija i sigurnost autonomnih sustava	38
3.2. Lasersko navođenje vozila	39
3.3. Globalni pozicijski sustav	41
3.3.1. Princip rada GPSa	47
3.4. Primjena GPS sustava u vođenju poljoprivrednih strojeva	49
3.4.1. Pomoć pri izvođenju operacija na uvratinama	54
3.5. Potpuno autonomni sustavi u poljoprivredi	55
3.5.1. Implementacija autonomnih sustava u konvencionalna vozila	61
3.5.3. Flote robota	68
3.5.4. Internet tehnologije za budućnost poljoprivrede	68
5. ZAKLJUČAK	70

6. POPIS LITERATURE	71
7. SAŽETAK	81
8. SUMMARY	82
POPIS TABLICA.....	85

1. UVOD

Robotika je uzbudljivo područje inženjerstva i prirodnih znanosti već desetljećima. Pojava robota u svakodnevnoj uporabi je postigla zadivljujuć rast. Tako su roboti pronašli svoje mjesto u različitim područjima od proizvodnje, spašavanja, sigurnosnim misijama i kirurgiji pa do vojnih aktivnosti (Bidaud i sur., 2011.). To sve ne bi bilo moguće bez značajnog rasta i napretka u tehnologiji koja je dala nove i učinkovite segmente u izgradnji robota. Napredovanje uključuje snažne mikročipove, GPS, lasere, senzore, obradu videozapisa i mnogo drugih sustava (Holland, J, 2004). Imati ljude koji obavljaju teške i repetitivne poslove u teškim uvjetima je nezahvalno. Roboti su stvoreni da odole tim izazovima i da zamjene ljude ili da im pomognu u tim poslovima.

Robotika je prekretnica u znanstvenom i tehnološkom smislu. Razvojem umjetne inteligencije, sensorike, računalstva, elektronike i drugih tehnologija, roboti od industrijskih strojeva postaju pametni “suradnici” na poslu, obavljajući sada poslove u medicini, uslužnim djelatnostima, u kući za koje se nikada nije mislilo da će ih moći obavljati strojevi. Oni sve više postaju sastavni dio našeg života i više nego li smo danas svjesni. Već nam je postalo normalno da zrakoplovi imaju auto-pilote što su zapravo u neku ruku robotizirani sustavi koji zamjenjuju pilote, razumljivo nam je da postoje automatizirana svemirska vozila, ali sada već kreće i prva serijska proizvodnja automobila bez vozača, ili onih koji se sami parkiraju (B. Jerbić, 2013.).

Automatski vođena vozila (eng. *Automatic Guided Vehicle*, AGV) su definirana kao vozila s vlastitim pogonom, vlastitim izvorom energije te uređajima za prekrcaj, namijenjena transportu materijala. Mogu se definirati i kao podna transportna vozila bez vozača, računalno upravljana, najčešće na električni pogon s baterijama. AGV vozila su se pojavila prije 60-ak godina i može se reći da predstavljaju jedan od najznačajnijih pomaka u automatizaciji transportnih operacija u industriji, na montažnim linijama, u skladištima te robno-transportnim centrima i terminalima.(Snježana Prgomet, 2017.).

Isti autor navodi da u području unutarnjeg transporta i skladištenja se koriste već dugi niz godina za obavljanje funkcija uskladištenja i otpreme. Osim za procese uskladištenja i otpreme automatski vođena vozila se koriste i za povezivanje skladišnih zona, kao i za komisioniranje. Jedna od novijih funkcija uporabe automatski vođenih vozila u skladištu je

utovar i istovar sredstava vanjskog transporta što je značajno pridonijelo kvaliteti rada u skladištu.

Početak primjene automatski vođenih vozila povezuje se s postignućem američke firme „*Barrett Vehicle Systems*“ koja je 1954. godine po prvi puta uspjela automatizirati jedno vučno vozilo s mehaničkim vođenjem i to tako da je žica bila smještena iznad vozila. Nakon toga se razvoj i daljnja automatizacija premješta u Njemačku te su od 1963. godine prve tvrtke bile „*Jungheinrich*“ i „*Wagner*“. Automatski vođena vozila (AGV) od 1970. godine ulaze u procese tokova materijala i u bolnice (Orlović, Natalija, 2016.).

2. TRANSPORTNI SUSTAVI U ZATVORENOM PROSTORU

Upravljanje skladištem je sastavni dio ukupnog logističkog sustava i jedan je od bitnih čimbenika uspješnog upravljanja poslovnim politikom i strategijom poslovanja proizvodnih i trgovačkih poduzeća (Andrijanić i Grgurević, 2011.).

Osnovu distribucijskih centara čine specijalizirana i univerzalna skladišta u kojima se obavljaju prethodno navedene manipulacije u vezi s uskladištenom robom. U suvremenim, u pravilu visoko regalnim skladištima sve su manipulacije robom automatizirane, a obavljaju ih informatički operatori. Moraju raspolagati funkcionalnim objektima, suvremenom mehanizacijom za horizontalno, vertikalno i koso manipuliranje svim vrstama roba koje se distribuiraju različitim vrstama transportnih sredstava, mnogobrojnom opremom, hardverima, softverima (Zelenika, 2005.).

Napretkom tehnologije i pojavom novih izazova u poslovanju, skladišno poslovanje, kao i cijela logistika, su evoluirali. To je područje primjene najnovijih tehnologija kao što su automatizacija i robotika.

2.1. Tipovi automatski vođenih robota u unutarnjem transportu

Automatski vođene platforme

AGV platforme ovise o funkciji kojoj će biti namijenjene i o okruženju u kojem će djelovati. Te platforme mogu varirati ovisno o zahtjevima strukturne cjelovitosti i o okruženju u kojem će djelovati. AGV platforme se koriste u širokom rasponu industrija. Međutim, najčešće platforme su vojni nosači i transporteri, te industrijski (Slika 1.) i bolnički sustavi (Chikosi, Gerald, 2014.).



Slika 1. Industrijska transportna platforma

(Izvor: <https://italcarrelli.eu/agv>)

Viličari

Ovi AGV-ovi se upotrebljavaju u skladištenju i pri rukovanju materijalima (Slika.2) uglavnom zbog svoje svestranosti. Sposobni su utovarati i istovarati jedan teret ili više komada tereta istovremeno, na različita mjesta i na različitim visinama, što ih čini daleko najčešćim tipom automatski vođenih vozila (Chikosi, Gerald, 2014.).

S obzirom na cijenu, opravdanost uporabe ovakvih vozila nalaze se u sustavima kada je potrebna potpuna automatizacija i veća fleksibilnost u povezivanju s ostalim podsustavima. Njihova primjena nije ograničena samo na paletizirane materijale, oni se mogu koristiti i za transport nepaletiziranih materijala ukoliko to njihove vilice omogućavaju. Princip rada im je automatizirani utovar i istovar robe u/iz skladišta, te omogućavaju i pretovar u vozila vanjskog transporta (Snježana Prgomet, 2017.).



Slika 2. Automatski navođen viličar

(Izvor: <https://www.peaklogix.com/material-handling-with-automated-guided-vehicles/>)

AGV teretne palube

Ovi roboti su prijenosni i autonomni sustavi sposobni za dostavu tereta unutar skladišnog sustava ili postrojenja koji izvode različite AGV navigacijske tehnologije (lasersko navođenje, navođenje pomoću ugrađene žice, magnetne trake i slično). Najčešće se koriste za industrijski transport robe i teških materijal unutar skladišta. Drugi naziv za „Unit Load AGVs“ je „jedinične teretne palube“ što datira iz najranijih verzija AGVa. Neki tipovi ovog robota robu vuku ili nose na sebi. Izrađeni su da nose jedan ili više komada robe istovremeno od i do raznih transporterata, stalaka, uređaja na kraju linije (paletizatori, uređaji za pakiranje) te automatiziranih sustava pohrane i dostave (Link 1.).

Teretne palube (Slika 3.) mogu biti opremljene različitim uređajima za prijenos i rukovanje teretom. Opremljeni su ugrađenim transporterima koji mogu pomicati palete s materijalom sa „palube“ ili na „palubu“, te mogu imati „palubu“ koja može podizati teret.

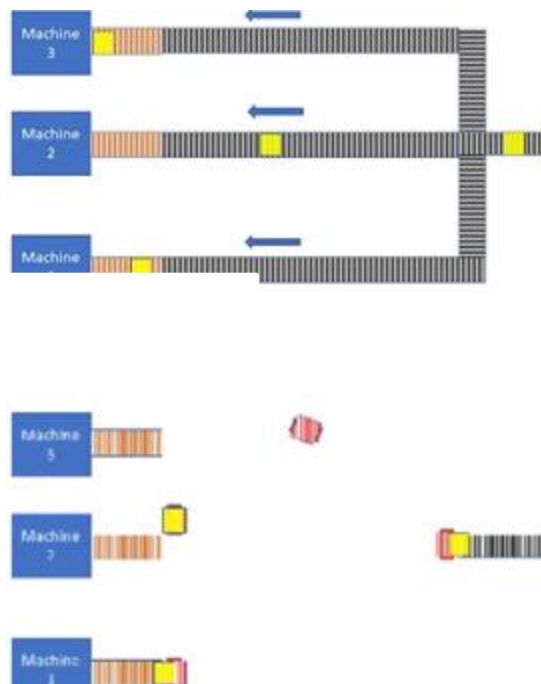
Vrste AGV teretnih „paluba“:

- Valjkasti transporteri
- Lančasti transporteri
- Podizne platforme
- Trakasti transporteri
- Prijevozni sustavi



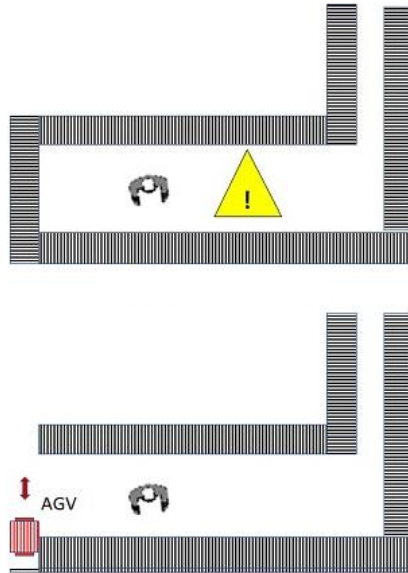
Slika 3. AGV teretna paluba opremljena valjcima
(Izvor: <https://www.agvnetwork.com/unit-load-agv-automated-vehicle>)

AGV s ugrađenim transporterima izuzetan je za proširenje funkcionalnosti tradicionalnih transportnih sustava. Zapravo, AGV-ovi su nefiksni transportni produžetak koji može preuzeti i isporučiti do nekoliko transporterera (Slika 4.). Glavna prednost toga je fleksibilnost.



Slika 4. Tradicionalni lanac transporterera u usporedbi s AGV transporterima
(Izvor: <https://www.agvnetwork.com/unit-load-agv-automated-vehicle>)

Zbog toga što AGV transporteri nisu fiksni, radno područje ostaje otvoreno i slobodno za ljude i viličare. To je vrlo važno, ne samo zbog prometne održivosti, već i zbog sigurnosnih razloga, jer fiksni transporteri predstavljaju fizičku prepreku koja blokira i ograničava sigurnosne prolaze (Link 1.) (Slika 5).



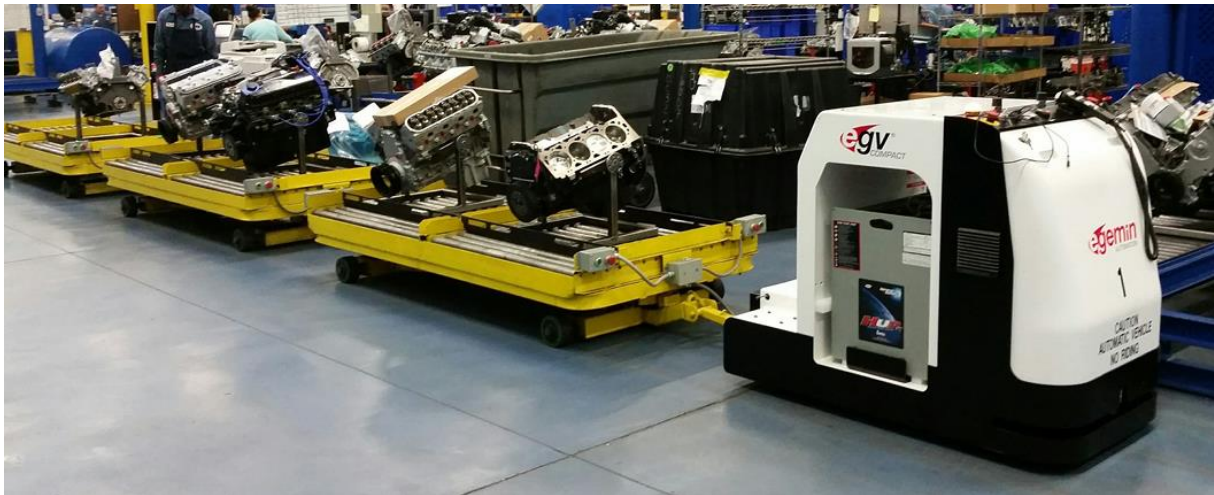
Slika 5. Sigurnija radna okolina uz AGV transportere

(Izvor: : <https://www.agvnetwork.com/unit-load-agv-automated-vehicle>)

AGV tegljači

AGV tegljači su posebni mali roboti koji mogu vući ostala nepogonjena vozila. Posjeduju automatski ili ručni sustav za prikapčanje kako bi se spojili i povukli nekakav teret. Zbog sposobnosti da vuku veći broj prikolica, mogu prenositi veću količinu robe od bilo kojeg drugog tipa AGV stroja (Transbotics, 2012).

Teret mogu vući na policama ili prikolicama (Slika 6.) ili bilo što drugo što je na kotačima ili što se može staviti na kotače, bilo samo ili u konvoju. Manji tegljači mogu vući teret do nekoliko tona, dok veći mogu nositi teret čak i do 20 tona. Tegljači se u glavnom kreću brzinom do 4 km/h.



Slika 6. AGV tegljač sa prikolicama

(Izvor: <https://www.ellis-systems.com/ellis-systems-pages/industrial-solutions/automated-guided-vehicles/agv-tuggers/>)

Koristeći lasersku navigaciju unutar objekta, AGV tegljač je opremljen laserskim mjerilima i odometrijskim pomagalicama kako bi održao smjer kretanja i položaj u objektu. Odometrija mobilnog robota u sprezi sa percepcijskim sensorima, omogućava određivanje položaja mobilnog robota u prostoru (D., Čakija, 2003.). Kada se AGV kreće zadanim putem, navigacijski sustav kontinuirano provjerava svoj položaj 30 do 40 puta u sekundi kako bi osigurao da AGV tegljač bude unutar dopuštene tolerancije i koordinata.

Postoje i neki nedostaci kod AGV tegljača. Neki mogu zahtijevati od operatera ručno prikapčanje ili otkapčanje prikolice. Ako se iz nekog razloga tegljač mora kretati unatrag, kao na primjer prikapčanje prikolice, on to radi na slijepo, jer su svi sigurnosni senzori na tegljaču smješteni na njegovoj prednjoj strani. Iako postoje razni branici i sigurnosni mehanizmi na tegljaču, ali i dalje ovisno o prostoru i potrebi taj nedostatak može biti razlog za brigu (Link 2.)

2.3. Sustavi za navigaciju i vođenje robota

Različite metode koje AGV-ovi koriste za navigaciju radnim prostorom pripadaju u nekoliko kategorija. Prvi su AGV-ovi koji slijede strogo utvrđenu trasu ili oznake unutar objekta; i nazivaju se „vođena“ vozila, a to mogu biti:

Žičani AGV-ovi - Oni su najučestalija navigacijska tehnologija, žičane smjernice još uvijek imaju svoje mjesto u proizvodnji i skladištenju. U tom sustavu kanal se urezuje u pod u kojeg se

polaze žica prema unaprijed predviđenoj stazi (Slika 7.). Žica prenosi radio signal koji AGV detektira i prati (Link 2.).



Slika 7. Žični sustav navođenja

(Izvor: <https://www.goetting-agv.com/components/inductive/introduction>)

Vodeća magnetna traka - Ovaj sustav je sličan sustavu sa žicom, ali se po potrebi lakše mijenjaju zacrtane staze. Umjesto kanala koji se urezuje u pod, magnetska ili obojena traka jednostavno se lijepi za pod (Slika 8.). AGV-ovi detektiraju traku te ju slijede. Ovaj sustav je jeftiniji od uvođenja žice, ali zahtjeva zamjenu trake ako je oštećena ili odstranjena (Link 2.).



Slika 8. Magnetna traka za navođenje

(Izvor: <https://www.turck.us/en/rfid-in-an-automated-guided-vehicle-6870.php>)

Laseri – Laserom navođeni AGV-ovi na sebi nose odašiljač i prijemnik, koji odašilja i detektira laser. Lasersko navođenje zahtjeva postavljanje reflektirajuće trake na zidove, strojeve i

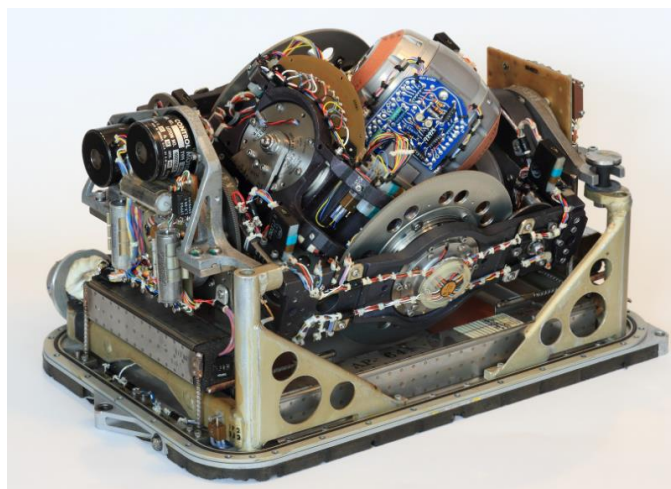
instalacije (Slika 9.). Kada lasersko svjetlo reflektira s takve trake, AGV može izračunati svoje mjesto prema karti spremljenoj u memoriji (Link 2.).



Slika 9. Lasersko određivanje pozicije u prostoru

(Izvor: <https://bluebotics.com/agv-navigation-methods-virtual-path-following/>)

Inercijska navigacija – Inercijsko vođenje je oblik slijepog bilježenja. U ovom sustavu AGV svoju trenutnu lokaciju određuje na temelju prethodnog znanja o položaju stroja i njegovoj brzini. Za to je AGV opremljen nizom senzora, uključujući akcelerometre, žiroskope i magnetometre (Slika 10.). AGV-ovi koji koriste inercijalnu navigaciju nisu potpuno autonomni, već komuniciraju sa sustavom transpondera najčešće ugrađenih u pod (Link 2.).



Slika 10. Kontrolni modul uređaja sa inercijskim navođenjem

(Izvor: <https://www.vectornav.com/resources/inertial-navigation-articles/what-is-an-ins>)

Druga kategorija autonomnih vozila i dalje slijedi određenu rutu, ali za to ne zahtjeva nikakve dodatke u radnom prostoru. Napredniji AGV-ovi (poznati kao AMR – autonomni mobilni roboti) opremljeni su sofisticiranim sensorima, koriste teoriju vjerojatnosti (Teorija vjerojatnosti se bavi analizom slučajnih pojava i glavni objekt teorije su slučajne varijable i stohastički procesi) za planiranje svojih ruta i bolje se mogu kretati oko prepreka ili promjena u okolini.

Prirodno ciljanje – AGV-ovi koji koriste tip navigacije prirodnog ciljanja ili prirodnih značajki čine to bez ikakve promjene u svojoj okolini, bez transpondera, reflektirajućih traka ili radio difuzijskih žica. Umjesto toga AGV koristi niz složenih algoritama kao i inercijsku navigaciju i neki vid vizualnog usmjeravanja, lasere ili kamere za planiranje najkraćeg dopuštenog puta do svojeg cilja.

Vidom vođeni AGV-ovi vođeni su kamerama koje vide u optičkom rasponu. Značajke duž trase se bilježe, a zatim se poklapaju s onim što AGV „vidi“ kako bi isplanirao svoj trenutni put (Slika 11.). Složeni probablistički algoritmi omogućuju tim robotima da odrede mogućnost zauzimanja bilo koje lokacije duž odabrane trase. Što znači da mogu reagirati na promjene u svom okruženju u stvarnom vremenu, ali i dalje slijede unaprijed određene puteve.



Slika 11. Lasersko detektiranje prostora

(Izvor: <https://bluebotics.com/agv-navigation-methods-virtual-path-following/>)

Geonavodnje – Prvi korak u instaliranju zemljopisno voženih AGV-ova je stvaranje točne karte prostora u kojem će se nalaziti AGV-ovi. To se radi „hodaњem“ AGV-a na vođenoj trasi, tijekom koje kamere AGV-a kreiraju kartu prostora. Ova karta je kasnije očišćena tako da u

memoriji AGV-a ostanu samo trajne instalacije. Zemljopisni AGV-ovi tolerantniji su na promjene u okolini nego AGV-ovi koji koriste prirodno ciljanje.

2.3.1. Senzori

Sposobnost stjecanja znanja o okolini važan je aspekt mobilne mreže robotske aplikacije. To se postiže pomoću senzora pomoću kojih se dobivaju važne informacije.

Senzor je dakle, uređaj koji pretvara mjerenu fizikalnu veličinu uglavnom u električni signal, odlikuje se malim dimenzijama, izuzetnim tehničkim karakteristikama i sposobnošću obrade signala. Navedena definicija unosi pomak u terminološko značenje pojma senzor, koji prema klasičnom tumačenju predstavlja samo primarni osjetni element u nizu pretvaranja mjerene fizikalne veličine u mjereni signal. Moderno shvaćanje senzora do punog izražaja dolazi upravo u robotici.

Klasifikacija senzora u robotici može se ostvariti prema različitim kriterijima. Podjela na kontaktne i beskontaktne senzore jedna je od najstarijih. Najpotpunija podjela temelji se na kompleksnosti senzorske informacije, na osnovu čega se razlikuje tri grupe senzora (Popović, 1996.).

Senzori pravca

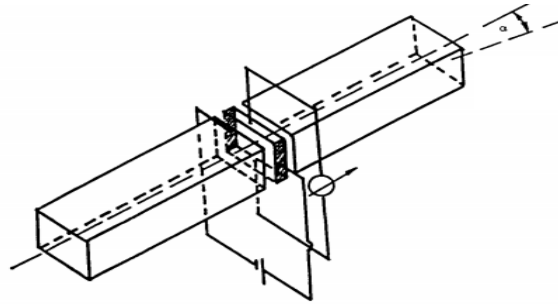
Senzori pravca se koriste za određivanje pravca i nagiba. Ovi senzori mogu biti u obliku žiroskopa, visinomjera ili comapasi.

Žiroskop radi tako da zadržava svoj smjer u odnosu na fiksirano kućište, čime se osigurava apsolutno mjerenje smjera. Žiroskopi dolaze u dvije varijante, i to kao mehanički i optički.

Kompasi postoje također u dva glavna oblika „Hallovog efekta“ i „*fluxgate* kompas“. Kompas koji radi na principu hallovog efekta ima problem zbog loše razlučivosti uslijed internih izvora pogrešaka (Siegwart, 2004).

Klasični magnetski kompas za određivanje smjera prema sjeveru ne može se upotrebljavati u automobilima, koji se kreću i stalno potresaju. Zato su se u automobile počeli ugrađivati elektronički kompasi, koji se još nazivaju digitalni kompasi. Naime, iz njih se mogu odmah dobiti podaci u digitalnom obliku, koji su potrebni za daljnju obradu. To se može ostvariti s pomoću magnetskog otpora ili s pomoću Hallova efekta (Solarić i sur., 2009.).

Hallov kompas je u principu vrlo jednostavan uređaj. Između dva štapa od visoko permeabilnog materijala nalazi se uzorak poluvodiča sa strujnim i naponskim kontaktima na istom mjestu (Slika 12.). Ako uzorkom teče struja pojaviti će se Hallov napon koji se mjeri galvanometrom. Visina tog napona ovisi o položaju uzorka prema magnetskom meridijanu. Napon je najviši kad je uzorak okomit na meridijan (Link 5.).

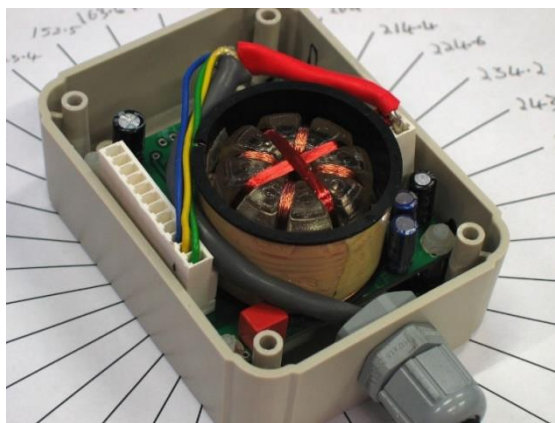


Slika 12. Kompas na principu Hallovog senzora
(Izvor: <http://etehnicari.blogspot.com/2014/11/hallov-efekt.html>)

Fluxgate ili magnetomjerni kompas je mnogo učinkovitiji, ali mu je mana veličina i visoka cijena. Upotreba kompasa za određivanje smjera ima problem što ostali magnetni uređaji ometaju očitavanje zemljinog magnetnog polja. Najbolja varijanta bi bila korištenje GPS sustava.

Magnetomjerni kompas vrsta je kompasa koji određuje smjer i iznos magnetskog polja. Za rad je potrebno napajanje. Magnetomjerni kompas nema pokretnih dijelova, a elementi kompasa su često prostorno razdvojeni. Osnovni elementi su feromagnetske jezgre, napajanje i sklop za elektroničku obradu (Slika 13.). Rad magnetomjernog kompasa temelji se na posebnom odzivu feromagnetskih materijala u vanjskim magnetskim poljima (Stepanić, 2015.).

Magnetski i magnetomjerni kompas osjetljivi su na iznos komponente magnetskog polja Zemlje u određenom smjeru. Najizraženija razlika između ta dva kompasa je upravo ta da magnetomjerni kompas, uz smjer, mjeri i iznos magnetskog polja. Konstrukcija magnetomjernog kompasa znatno je složenija od one kod magnetskog kompasa, pa je i održavanje složenije. Magnetomjerni kompas može imati više elementarnih osjetnika, koji su sastavljeni od feromagnetskih jezgri i zavojnica. Ostali elementi magnetomjernog kompasa mogu biti prostorno razdvojeni. Magnetomjerni kompas prirodno generira naponski izlazni impuls kojeg je relativno lako prenositi na udaljene lokacije i ne treba ga prije prijenosa (Zrinjski, 2016.).



Slika 13. Osnovni elementi magnetomjernog kompasa

(Izvor:

https://en.wikipedia.org/wiki/Fluxgate_compass#/media/File:Floating_core_fluxgate_inclino_meter_compass_autonnic.jpg)

Jedan od glavnih problema magnetomjernog kompasa je kompenzacija različitih magnetskih efekata. Ako je magnetomjerni kompas integriran s drugim referentnim orijentacijskim sustavom kao što je globalni satelitski navigacijski sustav (GPS, GLONASS ili GALILEO), referentni sustav može identificirati i eliminirati magnetsku devijaciju zbog utjecaja iz okoline. To nije uvijek moguće rješenje, pogotovo u sustavima u kojima je važna ekonomičnost, pa je eliminacija magnetske devijacije još uvijek izazov (Li i Wang, 2014.).

Senzori brzine

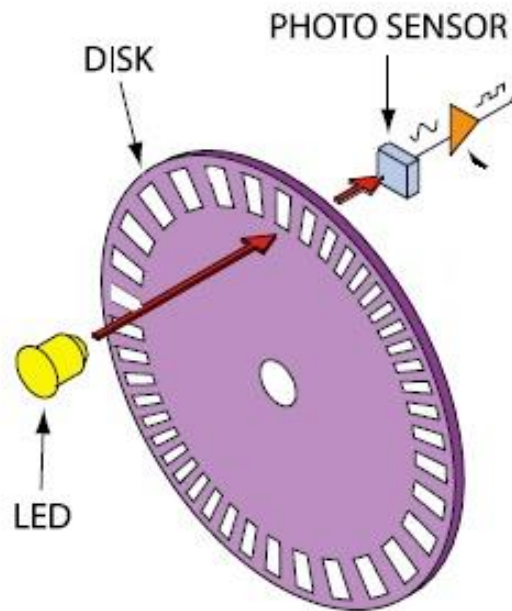
Kako bi se znalo kreće li se robot željenom ili određenom brzinom, mora postojati mogućnost mjerenja brzine. To je bitno jer ako se ne može mjeriti brzina, ne može se ni kontrolirati. Na tržištu postoji velik broj različitih senzora namijenjeni za te zadatke (Chikosi G., 2014.).

Senzori za mjerenje kutne brzine

Ovi senzori se koriste za mjerenje kutne brzine kotača ili motora koja se pretvara u linearnu brzinu. Postoji više načina na koji se to postiže, kao i više vrsta senzora kojima se vrši mjerenje. Iako se metode i sredstva mogu razlikovati, princip je i dalje isti. Senzori brzine se često nazivaju koderima vratila, jer generiraju kodirano očitavanje mjerenja. Postoje četiri tehnike da dobivanje signala: optička metoda (foto senzor), metoda kliznih kontakata (električno vođenje), metoda magnetskog zasićenja, metoda senzora blizine (De Silva, 2007.).

Optička metoda koristi neprozirni disk s perforacijama (Slika 14.) koji je postavljen na rotirajuću osovinu. Izvor svjetlosti koristi se za obasjavanje perforacija na rotirajućem disku.

Svjetlosni senzor služi za detekciju svjetlosnih zraka. To daje niz impulsa koji se mogu dekodirati i koristiti za izračunavanje odgovarajuće brzine ili kutnog položaja (De Silva, 2007,).



Slika 14. Svjetlosni senzor za mjerenje kutne brzine

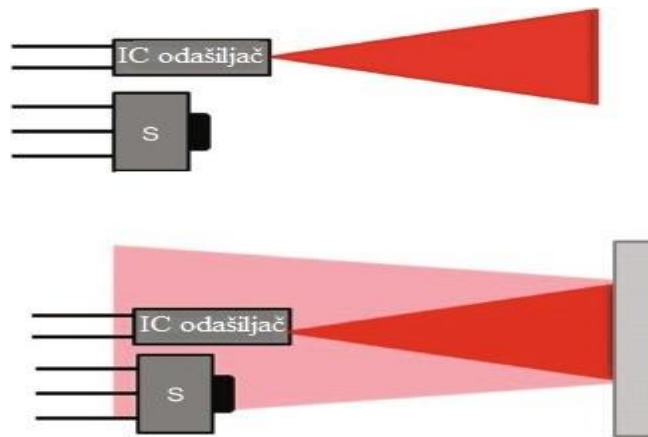
(Izvor: <https://www.analogictips.com/rotary-encoders-part-1-optical-encoders/>)

Metoda kliznih kontakata koristi izolacijski disk s ugrađenim tračnicama s uzorcima provodnih područja. Klizni kontakt dodiruje tragove dok se disk okreće proizvodeći impulsne naponske signale (Chikosi G., 2014.).

Infracrveni senzori

Infracrveni senzori mogu se koristiti za otkrivanje blizine prepreka. Oni rade pomoću specifičnih svjetlosnih senzora za otkrivanje odabrane valne duljine svjetlosti u infracrvenom spektru. LED dioda koja odašilje svjetlost koristi se za stvaranje svjetlosti koja se, kad je objekt zapriječi odbije natrag (Slika 15.). Mjerenjem razlike u intenzitetu reflektirane svjetlosti koja ulazi u detektor može se izračunati udaljenost između predmeta i senzora (Chikosi G., 2014.).

Isti autor navodi da neki senzori poput *Sharp IR* senzora koriste nešto drukčiji princip rada. Sadrže detektor i LED IR diodu koji su međusobno na fiksnoj udaljenosti. Stoga se mjeri kut pod kojim reflektirana svjetlost ulazi u detektor i izračunava udaljenost objekta.

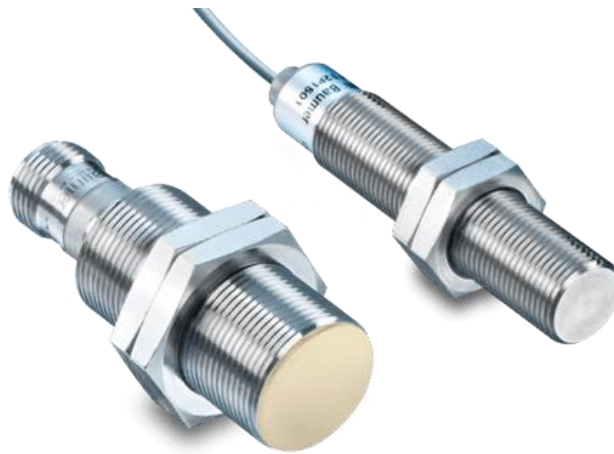


Slika 15. Princip rada infracrvenog senzora
(Izvor: Lamkin i Popović, 2019.)

Senzori blizine

Induktivni senzori

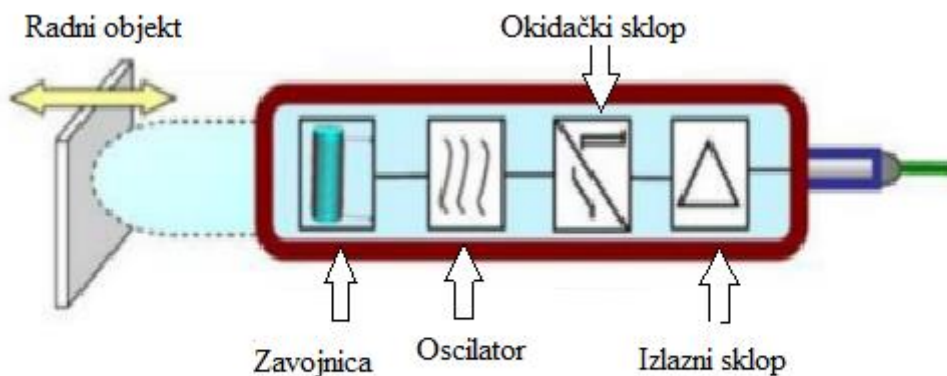
Induktivni senzori (Slika 16.) najčešće se temelje na načelima magnetskih krugova. Po klasifikaciji mogu biti samostalni i pasivni. Tipovi koji koriste samostalno koriste načelo električnog generatora (relativno gibanje između vodiča i magnetskog polja, a u vodiču je induciran napon). Najčešće su korišteni senzori u kojoj se promjena magnetskog otpora ostvaruje se promjenom veličine zračnog rasporeda ili promjene magnetske permeabilnosti μ . Prednosti korištenja induktivnog senzora su: neosjetljivost na vodu, ulje, prljavštinu, boju predmeta ili hrapavost površine predmeta koji se detektira, a otpornost na udarce i vibracije (Plantosar, 2017).



Slika 16. Induktivni senzori

(Izvor: <https://proelektronika.hr/proizvodi/senzori/senzori-induktivni-senzori/induktivni-senzori/>)

Induktivni senzor ima četiri komponente: zavojnicu, oscilator, detekcijski krug i izlazni krug (Slika 17.). Izmjenična struja napaja zavojnicu koja stvara magnetsko polje. Kada se metalni predmet približi zavojnici, promjeni se induktivitet zavojnice. To se konstantno prati dijelom koji pokreće prekidač kada se pojavi unaprijed postavljena veličina promjene indukcije.



Slika 17. Osnovni elementi induktivnog senzora

(Izvor: <https://dokumen.tips/reader/f/induktivni-senzori-567ba52449098>)

Reed senzori

Reed kontakt je senzor blizine kojeg aktivira magnetizam. Sastoji se od dva kontakta smještena u staklenu cijev ispunjenu inertnim plinom (Slika 18.). Magnetsko polje uzrokuje

uključenje reed senzora. Kontaktna pera se zatvaraju kada dovedemo permanentni magnet ispod reed senzora, te se time omogućava tijek struje u strujnom krugu (Link 6.).



Slika 18. Reed senzor

(Izvor: <https://hr.puntomariner.com/reed-sensors-principle-of-operation/>)

Kapacitivni senzori

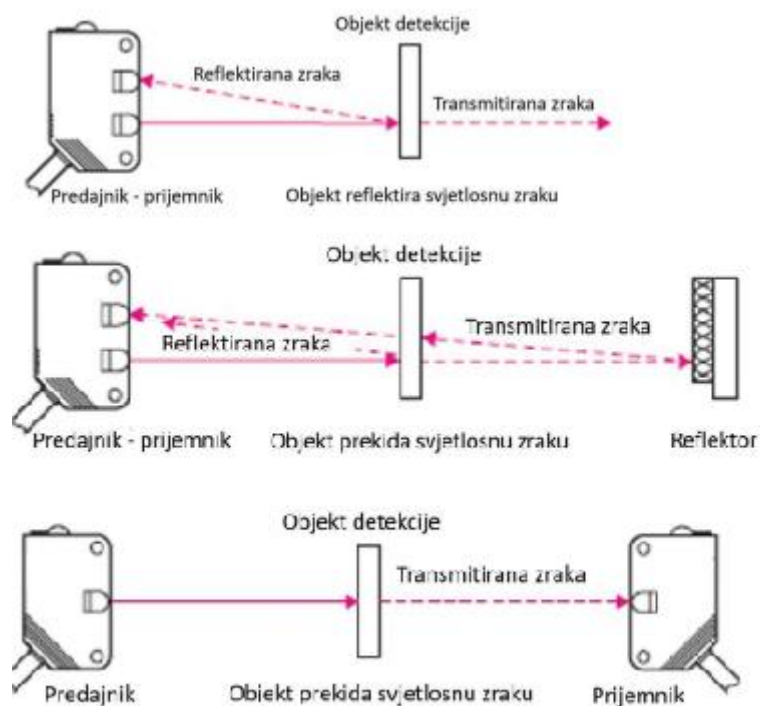
Kapacitivni senzori su bezkontaktni uređaji koji imaju veliku rezoluciju signala. Imaju sposobnost mjerenja položaja, ili promjene položaja bilo kojeg predmeta koji ima kapacitivnost. Kapacitivni senzori sastoje se od elektronskog modula i sonde koja je povezana žičanim putem na elektronski modul (Miran, 2016.).

Isti autor navodi da kapacitivni senzori koriste osobinu kapacitivnosti za utvrđivanje promjenjivih vrijednosti. Kapacitivnost je osobina (pojava) koja postoji između bilo koje dvije površine na bliskoj udaljenosti, koje imaju provodnost. Promjena razmaka između površina utječe na promjenu kapacitivnosti. Ovu promjenu kapacitivni senzori koriste za identifikaciju promjene položaja predmeta. Senzori velike osjetljivosti imaju male površine, tako da ih je potrebno postaviti na maloj udaljenosti u odnosu na predmet kojeg je nužno detektirati.

Kapacitivni senzori blizine sastoje se od kondenzatora, kao primarnog osjetilnog elementa koji se priključuje na oscilator ili pojačivač. U oba slučaja kapacitivnost kondenzatora mijenja se zbog ulaska objekta i promjene dielektrične konstante između elektroda, ili zbog promjene razmaka između elektroda, od kojih je jedna na aktivnoj površini senzora, a druga na objektu (Popović, 1996.).

Optički senzori

Optičke se senzore prema vrsti izvora svjetlosti može podijeliti na LED (eng. Light Emitting Diode) i laserske. LED optički senzori imaju manju preciznost i domet u odnosu na laserske, no znatno su jeftiniji i pogodni su u situacijama kada preciznost detektiranja nije od iznimne važnosti. Primjerice, za detektiranje prolaza kartonskih kutija na transportnoj traci dovoljna je uporaba LED optičkih senzora jer je objekt detektiranja glomazan i domet optičke zrake mora biti širine transportne trake. Laserski optički senzori koriste se u slučajevima kada je potrebna preciznost detekcije. Često se koristi za provjeru položaja sitnih segmenata na određenom objektu. Također, laserski su senzori generalno robusniji i pouzdaniji u odnosu na LED senzore. Osim prema izvoru svjetlosti, optički se senzori prisutnosti razlikuju i prema načinu rada. Optički senzori mogu biti difuzni, retroreflektivni i predajnik-prijemnik (Slika 19.). Difuzni senzor ima na sebi ugrađen predajnik i prijemnik svjetlosne zrake. Kada se ispred senzora postavi objekt zraka se reflektira natrag u prijemnik difuznog senzora i time se registrira prisutnost objekta (Baćac, 2019.).



Slika 19. Princip rada difuznog, retrorefleksivnog i predajnik – prijemnik senzora

(Izvor: https://www.omron-ap.com/service_support/technical_guide/photoelectric_sensor/index.asp)

2.2.2. Senzori u poljoprivredi

Senzor ili mjerno osjetilo je element je mjernog sustava koji je u izravnom kontaktu s mjernom veličinom te daje izlazni signal ovisan o njezinu iznosu. Zbog dominantne primjene električnih i elektroničkih sustava, većina mjernih osjetila pretvara mjerenu veličinu u električki mjerljiv signal. Gruba podjela senzora je na aktivne i pasivne. Aktivna mjerna osjetila pod utjecajem mjerne veličine generiraju električni signal dok u pasivnom mjerena veličina kvantitativno mijenja neko njegovo električno svojstvo. Mjerna osjetila možemo razlikovati: prema mjerenoj veličini, načinu pretvorbe, području primjene, materijalu, tehnologiji izrade. Senzor na slici 20 prikazuje je jedan od najnovijih senzora u poljoprivredi. Suvremeni poljoprivredni senzori mogu mjeriti: vremenske uvjete, količinu osvjetljenja, količinu radijacije, količinu gnojiva, razlike u rastu usjeva. Većinom noviji poljoprivredni senzori mjere više stvari odjednom te imaju dugotrajne baterije i mogućnosti stalnih napajanja (Biočić, 2020.).



Slika 20. Senzor za kontrolu usjeva

(Izvor: Biočić, 2020.)

Primjene daljinskih istraživanja pomoću senzora (slika 21.) u preciznom vinogradarstvu fokusirane su uglavnom na reflektivnu spektroskopiju, optičku tehniku koja se temelji na mjerenju refleksije slučajnog elektromagnetskog zračenja različitih valnih duljina, posebno u vidljivoj regiji (400 – 700 nm), u blizini infracrvenog (700 – 1,300 nm) i termalnoj infracrvenoj (7.500 – 15.000 nm). Odnos između intenziteta reflektiranog i padajućeg zračnog toka specifičan je za svaku vrstu površine. Spektralna refleksija tijela, poput vinograda ili tla, naziva se "spektralnim potpisom" i predstavljena je na X-Y grafu, sa vrijednosti odbojnosti na

ordinati i valnom dužinom spektra na apscisi. Najčešća klasa senzora sposobna je otkriti promjenu transpiracije ili fotosintetsku aktivnost na površini lista. Termalni senzori koriste se za daljinsko mjerenje temperature listova, koja se povećava kada se pojave uvjeti vodnog stresa, a slijedi zatvaranje stoma, koje smanjuje gubitak vode i istovremeno prekida efekt hlađenja isparavanjem. Promjene u fotosintetskoj aktivnosti povezane su sa statusom ishrane, zdravljem i energijom biljaka te se mogu otkriti multispektralnim i hiperspektralnim sensorima. Na odbojnost listova utječu različiti faktori u specifičnim područjima spektra: u vidljivim fotosintetskim pigmentima, poput klorofila a, klorofila b, i karotenoida; u bliskoj infracrvenoj strukturi lišća (veličina i raspodjela zraka i vode unutar lisne mase vinove loze); i u infracrvenom prisustvu vode i biokemijskih supstanci poput lignina, celuloze, škroba, proteina i dušika. (Matese i sur., 2015.)



Slika 21. Različite vrste senzora
(Matese i sur.,2015.)

- A. Tropopojasni multispektralni fotoaparati Tetracam ADC-Lite,
- B. Šesteropojasni multispektralni fotoaparati Tetracam Mini-MCA,
- C. Hiperpektralna kamera Micro-Hyperspec VNIR,
- D. Spektrometar Ocean Optics USB4000,
- E. FLIR TAU II senzor,
- F. YellowScan LiDAR.

2.2.3. Mehanizmi za kretanje

Mehanizmi za kretanje omogućuju robotu da se kreće unutar svog okruženja s minimalnim ograničenjima. Ti mehanizmi su stvoreni po uzoru na kretanja u prirodi kao što su hodanje, trčanje, kotrljanje, klizanje, skakanje, valjanje (Chikosi G., 2014.).

Općenito se roboti kreću pomoću dva osnovna mehanizma, na kotačima (Slika 22.) i zglobnim nogama. Mehanizam na kotačima je najjednostavniji, za razliku od nogu koja zahtijevaju veće stupnjeve slobode uz visoku razinu složenosti (Siegwart, 2004).

Mehanizmi s nogama (Slika 23.) prikladniji su za grube terene gdje nepravilnosti onemogućuju upotrebu kotača jer im je potrebna veća površina kontakta. Potrošnja energije nožnih mehanizama puno je veća u usporedbi s mehanizmima s kotačima na tvrdim i ravnim površinama. Međutim, kako površina postaje mekša, otpor kotrljanja se povećava, povećavajući tako potrošnju energije mehanizama na kotačima. Budući da nožni mehanizmi imaju točkaste kontakte s površinom, oni su učinkovitiji na mekim terenima, ali nude složeni problem stabilnosti. Unatoč nekim nedostacima na nekim terenima, mehanizam s kotačima i dalje ostaje najjednostavniji i najčešće korišten mehanizam za kretanje (Siegwart, 2004).



Slika 22. Transportna platforma sa kotačima

(Izvor: <https://cn.made-in-china.com/gongying/pft1617-XKvJyNMHIDcE.html>)



Slika 23. Složeni mehanizam kretanja za savladavanje teških terena

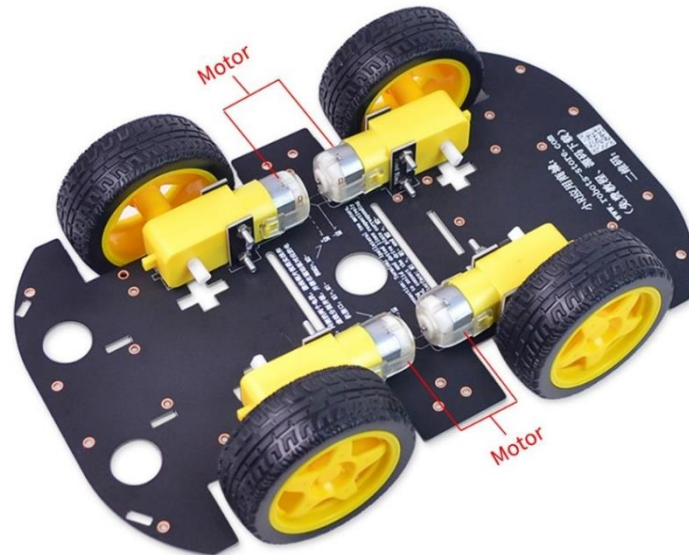
(Izvor: https://www.researchgate.net/figure/Hexapod-robot-Weaver-with-its-stereo-camera-system-on-rough-terrain_fig1_305827246)

2.2.4 . Motori za pogon robota

Električni motori su, s obzirom koju vrstu struje koriste podijeljeni u dvije kategorije: DC(eng. *Direct Current*)-istosmjerna struja, te AC(eng. *Alternating Current*)- izmjenična struja. Unutar ovih kategorija postoje mnogobrojne vrste motora, svaka nudeći jedinstvenu sposobnost koja pristaje za pojedinačnu primjenu (Ćurković, 2016.).

Istosmjerni motori (DC motori)

Istosmjerni motori (slika 24.) su vrlo jednostavni za upravljanje. Njihove mogućnosti visokog okretnog momenta čine ih vrlo atraktivnim za primjenu na strojevima. Izlazna brzina istosmjernog motora izravno je proporcionalna dovedenom naponu, dok je izlazni moment izravno proporcionalan dovedenoj struji. Smjer vrtnje može se promijeniti okretanjem polova motora. Motor radi na sljedeći način: kada struja teče kroz rotor ili armaturu, a to je rotirajuća osovina i pripadajući dijelovi, prisiljen je okretati se zbog magnetskog polja oko sebe. Ovo polje stvara stator koji može biti trajni magnet ili elektromagnet (Hughes, 2006).



Slika 24. Pogon robota sa jednostavnim istosmjernim motorima
(Izvor: <https://www.navestar.com/p/ds-4wd-robot-chassis-with-4-tt-motor/>)

Steper motori

U osnovi su koračni motori istosmjerni motori koji se okreću u koracima. Ti koraci mogu varirati od 0,5 stupnjeva do 45 stupnjeva. Brzina kojom se pokreću određuje se frekvencijom impulsa, dok broj impulsa određuje broj koraka kroz koje se motor okreće. Stoga, praćenje broja impulsa u motoru daje točno kutno mjesto rotora. To eliminira potrebu za sustavom upravljanja zatvorene petlje. Koračni motori pokazuju istaknutu osobinu, a to je sposobnost zadržavanja položaja između koraka bez upotrebe kočnica ili spojke. Ova vrsta motora pronašla je veliku primjenu u primjenama gdje je potreban precizan kutni položaj. Zahvaljujući koračnom kretanju, koračnim motorima često je teško upravljati jer im je potreban ispravan redoslijed uključivanja zavojnica da bi se postiglo okretanje (Petruzella, 2010).

Takvi uređaji se najčešće koriste u CNC strojevima, robotici, uređajima za pohranu podataka i čitanju (Babić, 2020.). Koračnim motorima uz pogon sitnih vozila i robota najčešće je pokretanje robotskih ruku (Slika 25.), za čiji je pogon potrebno više takvih motorića.



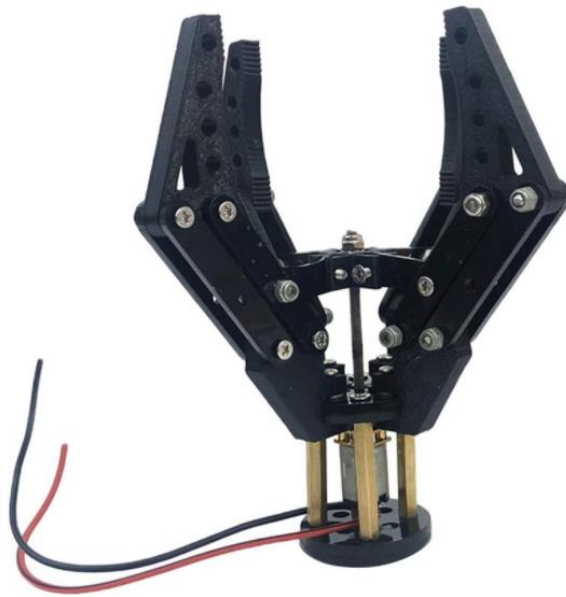
Slika 25. Robotska ruka pogonjena sa koračnim motorima

(Izvor: <https://ustepper.com/store/robotics/34-ustepper-robot-arm-rev-4-full-kit.html>)

Servo motori

Servo motori su istosmjerni motori s namjenskim upravljačkim krugom koji omogućuje preciznu kontrolu kutnog položaja, brzine i ubrzanja. Ti se motori uglavnom okreću za 90 stupnjeva u bilo kojem smjeru. Servo motori imaju ugrađeni krug povratne sprege koji sadrži potencijometar za kontrolu položaja. Kako se motor okreće, otpor potencijometra se mijenja, regulirajući time koliki je pomak i u kojem smjeru. Željeni položaj motora kontrolira se trajanjem impulsa koji mu je poslan. Taj se položaj uspoređuje s trenutnim položajem (povratna veza kroz potencijometar) i poduzimaju se odgovarajuće mjere ako postoji razlika. Brzina servo motora je određena razlikom između željenog i trenutnog položaja, dakle što je razlika veća, brže je okretanje. Servo motori su najprikladniji za primjenu u upravljanju zbog brzog i preciznog odziva (Siegwart, 2004).

Servo motore najčešće koristimo kod prihvatnica na završecima robotske ruke. Prihvatnica (*Griper*) (Slika 26.) služi za hvatanje predmeta koje želimo podići. Ona na sebi ima servo motor te ugrađena dva zupčanika koji služe da hvataljke jednomjerno uhvate željeni predmet te da ga prilikom toga ne ispuste. Upravlja se potencijometrom koji je montiran na samo postolje edukacijske ruke (Babić, 2020.).



Slika 26. Izvršni element robotske ruke pogonjen servo motorom
(Izvor: <https://www.dhgate.com/product/robotic-arm-kit-for-arduino-robot-arm-grab/551706137.html>)

2.2.5. Robotski manipulatori u poljoprivrednoj proizvodnji

Manipulator je elektromehanički uređaj koji se sastoji od nekoliko tijela povezanih spojevima koji tvore otvoreni (serijski) lanac. Jedan kraj lanca, baza je pričvršćena na konstrukciju (tlo, mobilna platforma.), dok se drugi kraj (krajnji efektor ili alat) može postaviti i orijentirati u radnom volumenu kontrolirajući položaj svakog spoja. Kao krajnji efektore, mogu se koristiti hvataljke, uređaje (raspršivače) ili senzore (vlažnost, temperatura, dušik). Industrijski manipulatori u industriji su primijenjeni oko 1961. godine, a samo nekoliko godina kasnije (1968.), prvi robotski manipulator za poljoprivredu predložen je za rješavanje problema žetve (Schertz i sur., 1968.).

Ruke i krajnji efektori

Obično se u poljoprivredi manipulatorske ruke koriste za pomicanje krajnjeg efektoru u položaj na datu točku s potrebnom orijentacijom za interakciju s objektom. Do ove interakcije može doći kontaktno (npr. branje voća (Slika 27.) i mehaničko uklanjanje korova) ili nekontaktno (npr. prskanje).



Slika 27. Robotska ruka kao izvršni element pri pranju rajčice

(Izvor: https://www.farminguk.com/news/ethical-problems-may-arise-with-farm-robotics-study-says_57100.html)

Vrsta krajnjih efekatora ovisi o vrsti interakcije: hvataljke za branje voća, rotirajuće motike za mehaničko uklanjanje korova, prskalice za primjenu herbicida (Slika 28.), kamere, detektori za mjerenje dušika.



Slika 28. Primjena pesticida u plasteniku robotskom rukom

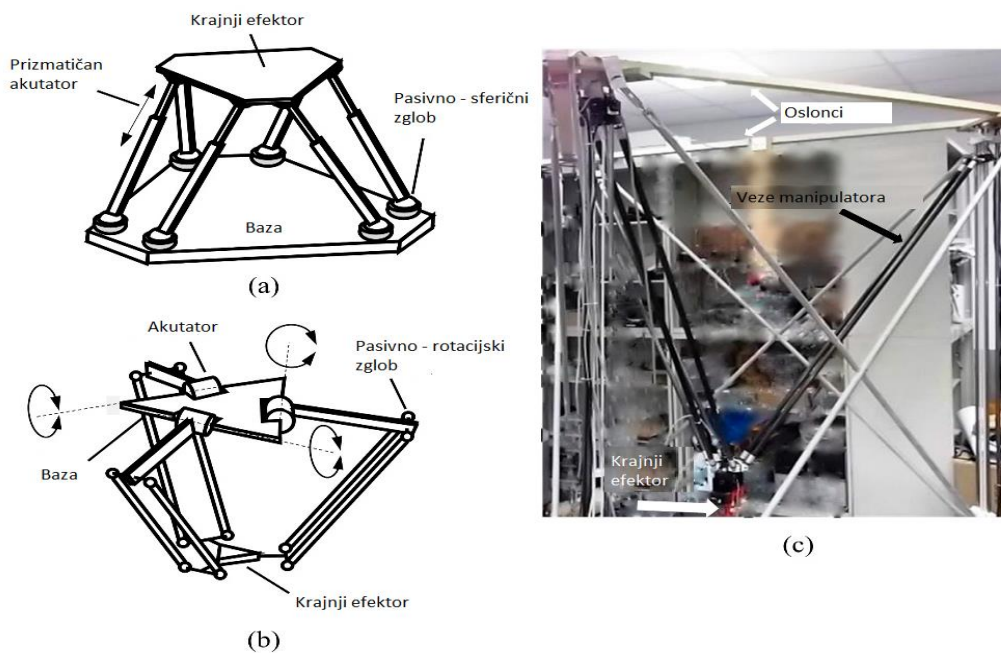
(Izvor: <https://www.dreamstime.com/smart-robotic-agriculture-futuristic-concept-robot-farmers-automation-must-be-programmed-to-work-to-spray-chemical-fertilizer-image108638497>)

Mobilni roboti i manipulatori robotske ruke izuzetno su praktični kao roboti za branje voća. Međutim, za biranje tijekom razdoblja berbe, robotske ruke su savršen odabir jer imaju izvršni element koji se može prilagoditi za odabir ili dohvaćanje bilo kojeg predmeta (Oktarina, 2020.).

Manipulatori se uglavnom karakteriziraju prema broju neovisnih pokreta (stupnjevi slobode - "*degrees of freedom*" (DOF)), vrsti spojeva (rotacijski, prizmatični) i mehanička struktura, definirana kombinacija spojeva koji se koriste te njihov relativni položaj i usmjerenja, npr. zglobovi, kartezijski, polarni, cilindrični i portalni. Manipulator se može prilagoditi za nekoliko poljoprivrednih zadataka jednostavnim upotrebom odgovarajućeg krajnjeg efektora. Ponekad su to komercijalni industrijski manipulatori prilagođeni poljoprivrednim potrebama, za mnoge primjene potreban je poseban dizajn manipulatora. Konvencionalne strukture manipulatora prilagođene poljoprivredi nemaju dovoljnu brzinu, osobito u operaciji žetve te sposobnosti interakcije s okolinom, tj. pri posezanju za komadom voća, ruka se može sudariti u grane ili druge komade voća. Problem brzine se može izbjeći korištenjem nekonvencionalne robotske strukture poput paralelno - delta struktura, dok se problem interakcije s okolinom može riješiti pomoću suvišnih struktura ili mekih mehanizama (Schertz i sur., 1968.).

Paralelni manipulatori

Za razliku od serijskog manipulatora, paralelni robot ima nekoliko krajnjih efektora spojenih na svoju bazu s nekoliko (obično tri do šest) neovisnih veza koje rade paralelno. Izraz "paralelno" odnosi se na topologiju, a ne geometriju i ne znači da su veze paralelne jedna s drugom (Merlet, 2000.). Slika 29. a), b) ilustrira dvije osnovne sheme za ovu strukturu.



Slika 29. a) paralelna struktura manipulatora; b) struktura delta manipulatora; c) delta manipulator
(Lin i sur., 2015.)

Paralelni manipulator A6 - DOF može kontrolirati položaj i orijentaciju krajnjeg efektor. Veze paralelnog manipulatora 6 DOF temelje se na prizmatičnim vezama, struktura je poznata kao *Stewart* platforma. Manji broj DOF -a ograničava orijentaciju krajnjeg efektor, a za 3 - DOF, krajnji efektor se može samo postaviti. Posebna paralelna struktura, poznata kao delta manipulator, temelji se na zglobnim vezama koje koriste paralelograme za ograničavanje kretanja krajnjeg efektor u čisti prijenos (Lin i sur., 2015.).

Meki manipulatori

Jedno od rješenja za rukovanje deformabilnim proizvodima je upotreba mekih krajnjih efektor. Neko voće i povrće se može brati usisavanjem, npr. jabuke i patlidžani, ali i drugi proizvodi zahtijevaju nježno rukovanje, npr. grožđe i zelena salata, te zahtijevaju neku vrstu emulatore ljudskih ruku, ne samo za pružanje mehaničkih sposobnosti već i za otkrivanje dodira i davanje odgovarajućeg tlaka. Meku hvataljku koju nosi kruti manipulator i pruža točnost i silu može se koristiti i u žetvi. Za berbu voća i povrća potrebne su meke hvataljke i meki manipulatori koji također moraju osigurati točnost, robusnost i silu. Ti atributi mogu biti

postignuti serijskim elastičnim aktuatorima koji sadrže elastične strukture slične onima kod ljudi (Pratt i Williamson, 1995.).

Mekani manipulatori se koriste za eksperimentalni rad na selektivnoj berbi gljiva, slatkih paprika, rajčica, malina i jagoda (Slika 30.). Druge primjene kao što su berba brokula mogu se obavljati alatima za rezanje, ali će također zahtijevati nježno rukovanje i skladištenje selektivnog usjeva (Duckett 2018.).



Slika 30. Meki manipulator za branje malina

(Izvor: <https://www.vidi.hr/Pop-Tech/VIDEO-Robot-za-branje-malina>)

Redundantni manipulatori

Interakcija manipulatora s usjevima i granama može se izbjeći korištenjem redundantnih manipulatora. Obični industrijski manipulator ima dovoljno DOF - a da postigne bilo koji željeni položaj i orijentaciju (poza) u svom radnom prostoru sa krajnjim efektorom, koji je ograničen zbog unutarnjih mehaničkih ograničenja (duljina spojeva i kutovi spojeva) ili vanjskih prepreka koje se nailazi u radnom prostoru. Redundantni manipulator (Slika 31.) ima više DOF - a nego što je potrebno za pristup cijelom radnom prostoru. Ovaj atribut omogućuje suvišnim manipulatorima da dosegnu određenu točku u svojim radnim prostorima, izbjegavajući njihove zajedničke granice i okolne prepreke u radnim prostorima. Ova je struktura robusnija s obzirom na mehaničku i elektroničku manu spoja. Većina redundantnih

manipulatora u industriji se temelji na 7 - DOF strukturi. Za veći broj DOF - ova, ova vrsta manipulatora se smatra hiperredundantnim manipulatorom (Iossifidis i. Steinhage, 2001.).



Slika 31. Redundantna robotska ruka sa raspršivačem
(Izvor: Bontsema i sur., 2014.)

Manipulatori s dvije ruke

Ideja o korištenju dva manipulatora sa zajedničkim radnim prostorom prvi je put razvijena u industriji za montažu dijelova i komponenti. Trenutno je ta ideja obnovljena i takav uređaj naziva se manipulator s dvije ruke. Prednosti korištenja manipulatora s dvije ruke: bimanualno hvatanje, hvatanje jednom rukom i rezanje drugom rukom, rukovanje deformabilnim proizvodima, odmicanje lišća i grana jednom rukom te hvatanje plodova drugom rukom. (slika 32.) (Bechar i Vigneault, 2016.).



Slika 32. Ubranje patlidžana pomoću manipulatora s dvije ruke
(Bechar i Vigneault, 2016.)

3. AUTOMATSKI NAVOĐENJE VOZILA NA OTVORENOM

Potaknuto ponovnim oživljavanjem alternativnih metoda uništavanja korova i smanjenjem uporabe konvencijalnih kemijskih sredstava, dolazi do sve veće potražnje za inteligentnim i preciznim tehnikama održavanja usjeva. I smanjenje uporabe herbicida i povratak na alternativne metode uništavanja korova tako zahtijevaju razvoj novih tehničkih rješenja. Automatski vođeni sustavi za kultiviranje moraju razlikovati redove kultiviranog bilja od tla, korova i organskih tvari kako bi odlučio o prostoru koji se kultivira. Kontrolni sustav prilikom apliciranja pesticida ne samo da mora prepoznavati kultiviranu biljku, već mora i razlikovati vrstu korova, kako bi aplicirao određeni pesticid (R. Keicher i sur, 2000.).

Isti autori navode da se na primjer sjetva ili kultiviranje mogu uz dovoljnu točnost GNSSa ili laserskih sustava izvoditi i bez prisutnosti vozača. U buduću automatski vođeni sustavi poljoprivrednih vozila bez vozača će ujedinjavati sljedeće različite značajke: GNSS ili laserski sustav za pronalaženje polja, održavanje vozila unutar redova, izbjegavanje stalnih prepreka, te sustav vida za zadatke orijentirane prema biljkama, kao što su kultiviranje, aplikacija pesticida ili prihranjivanje.

Ovakvi sustavi za upravljanje vozilima najčešće sadrže sljedeća tri dijela: senzore koji sustavu osiguravaju očitavanje odstupanja položaja vozila, regulator koji generira korekcijski signal specifičan za sustav, te aktuator koji u kombinaciji s kretanjem vozila prema naprijed mijenja položaj vozila.

Dakle, pri integriranju određenih vozila i priključnih strojeva, mnoštvo senzora i/ili aktuatora je postavlja duplo, te se centralno, vanjsko računalo koristi za određivanje koordinata vozila i priključnog stroja. Minimiziranje hardvera sustava ključno je za komercijalizaciju pouzdanih, učinkovitih i cjenovno konkurentnih poljoprivrednih strojeva (F. Rovira-Mas, 2010.).

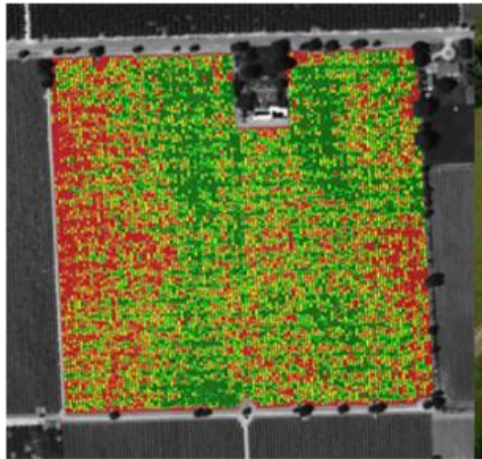
U tu svrhu, postoji koncept zamjene suvišnih uređaja za upravljanje različitim, heterogenim sustavima sa centralnim vanjskim računalom (Luis i sur., 2014.).

Razvoj u području osjetilnih sustava za percepciju poljoprivrednih vozila bio je usmjeren na automatizaciju, pozicioniranje, svjesnost o situaciji i praćenje procesa. Senzori za automatizirane sustave uključuju GPS, infracrvene senzore, strojni vid, detekciju i rangiranje svijetlosti (LIDAR) i ultrazvučne senzore (Bechar i Vigneault, 2017.).

LIDAR i strojni vid također se mogu koristiti kao smjernice za omogućavanje pozicioniranja vozila u odnosu na usjev (npr. žetva). Za neke usjeve koriste se mehanički senzori za otkrivanje položaja usjeva u odnosu na kombajn. Sustavi zasnovani na viziji razvijeni su za

poboljšanje situacijske svijesti operatera strojem radi poboljšanja sigurnosti (Gerrish i sur., 1997.)

LIDAR je tehnologija za aktivno mjerenje koja emitira lasere kratkih valnih duljina za mjerenje udaljenosti od senzora do cilja prema laserskoj brzini i vremenu leta koje bilježi mjerac vremena. Udaljenost zatim prenosi u 3D informacije o strukturi na temelju kuta emitiranja lasera koji je prikupio mjerac kuta. LIDAR ima nekoliko prednosti, uključujući visoku prostornu rezoluciju, visoki protok, visoku ponovljivost i ne ovisnost od osvjetljenja, zbog čega je tehnologija pogodna za terenska okruženja. Što je još važnije kratkovalne laserske zrake mogu prodrijeti u vegetaciju kako bi karakteriziralo strukturu vegetacije (Slika 34.) (Shichao i sur., 2021.).



Slika 33. LIDAR snimka polja, karta prinosa

(Izvor: <https://www.agrotechnomarket.com/2019/01/lidar-usage-for-agriculture.html>)

Dostupni sustavi koji koriste kamere pružaju vidljivost mrtvog kuta (Slika 34.) operaterima vozila, otkrivaju čovjeka na putu traktora te ga u tom slučaju sprječavaju u kretanju prema naprijed, putem kontrole prijenosa (Ehlers i Field, 2017.)



Slika 34. Produljeni vid slijepog kuta vozača na traktoru *Deutz Fahr*

(Izvor: Thomasson i sur., 2019.)

3.1. Navigacijski senzori

Istraživanje navigacijskih senzora usmjereno je na senzore za određivanje položaja i smjera kretanja vozila, ali i na senzore koji otkrivaju trenutno stanje vozila (brzina, položaj kotača i slično). Neki senzori za navigaciju pružaju informacije za apsolutno pozicioniranje, dok drugi nude samo za relativno pozicioniranje, kao što su mehanička osjetila i „vid“ stroja (J.F. Reid i sur.,2000).

3.1.1. Mehanička osjetila

Mehanička osjetila su relativni pozicijski senzori koji osiguravaju vezu između željenog puta i vozila. Dostupno je nekoliko komercijalnih proizvoda koji koriste mehanički dodir za praćenje grebena, brazde ili usjeva. Takvi sustavi su razvijeni u dva primarna oblika. Jedan je sustav mehaničkih osjetila montiran na traktor ili kombajn, koji daje upravljački signal elektrohidrauličnim ventilima, paralelno sa sustavom za upravljanjem vozila. Drugi tip se temelji na održavanju preciznog bočnog upravljanja radnim strojem, pri tome zanemarujući odstupanje traktora unutar određenih granica. U sustavima ugrađenim u vozilo, proizvodi se obično izrađuju da se dodaju na većinu traktora i kombajna. Adaptacija uključuje mehaničko osjetilo za osjet usjeva, senzor kuta kotača, upravljački aktuator elektrohidrauličnog ventila i upravljački modul. Upravljački aktuator ugrađen je s ručnom crpkom za upravljanje kako bi se omogućio normalan rad u automatsko upravljanje. Kontrolni modul operateru omogućava pokretanje i isključivanje sustava uz promjenu osjetljivosti regulatora. Osmišljeni su razni

osjetilni uređaji za podešavanje položaja vozila u različitim načinima rada, uključujući usjeve i brazde (J.F. Reid i sur.,2000).

Isti autori navode kako je problem kod ove vrste osjetila taj da na sučelju sustava nedostaje kontrolni signal. Zbog toga je u uporabi kod malog broja poljoprivrednika. Terenska istraživanja pokazuju da je sustav učinkovit samo na brzinama do 10 km/h u kukuruzu pod uvjetom da je obavljanje radnje ograničeno samo u ravnim redovima (Qiu i sur, 1999.).

Također razni proizvođači nude automatske bočne sustave za vođenje priključnih strojeva (Slika 35.).



Slika 35. Mehaničko osjetilo za praćenje redova *John Deerovog* sustava *RowSense*
(Izvor: <https://www.evergladesfarmequipment.com/john-deere/agriculture-equipment/precision-agriculture/autotractor%E2%84%A2-rowsense%E2%84%A2/>)

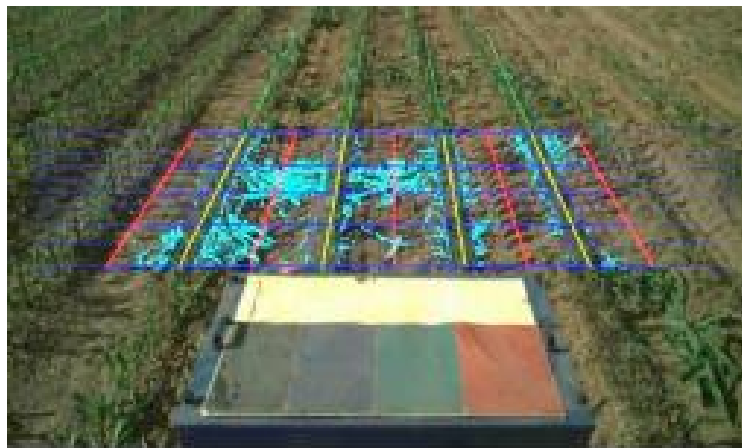
Ovi senzori upravljaju hidrauličkim ventilima, koji kompenziraju odstupanja uzrokovana pogreškom vozača bočnim pomicanjem stroja. Takvi sustavi pomažu u izbjegavanju zelenih gomolja u uzgoju krumpira optimiziranjem njihovog položaja na grebenu tijekom sadnje ili upravljanjem položaja kopača za vrijeme žetve. Stoga je njihova uporaba ograničena na za uporabu u kulturama kao što su krumpir ili šparoge i nisu prikladni za beskontaktno navođenja. Ostali karakteristični problemi su da je ispravak pogreške vozača ograničen na oko 10 cm, a automatsko upravljanje na nagnutom terenu je do 6 % (R. Keicher i sur, 2000.)

3.1.2. Strojni vid

Uključivanje strojnog vida u poljoprivredi postaje sve češća pojava i prolazi kroz razdoblje kontinuiranog procvata i rasta, posebna u poljoprivrednim vozilima (autonomnim i neautonomnim), ali ne ograničavajući se samo na to. Ti sustavi mogu se koristiti za razne

poljoprivredne zadatke, uključujući otkrivanje redova (Slika 36.), identifikaciju korova (Slika 37.) za specijalno tretiranje, identifikacija i praćenje krošnji. S napretkom, strojni vid postaje imperativ u autonomnim vozilima, te pokazuje se kao vrlo koristan pri pomoći vozaču u ne autonomnim vozilima (Pajares i sur., 2016.).

Isti autori navode da su senzori slike korišteni za razne zadake, uključujući navođenje, detekciju korova ili analizu fenotipizacije. Detekiranje redova usjeva i identificiranje korova je najčešći zadatak precizne poljoprivrede kada se koriste tehnike obrade slike radi specijalnog tretiranja biljaka, navođenja temeljenog na praćenju redova, detekcije prepreka ili mapiranja okoline. Novija tehnološka dostignuća omogućuju povezivanje sustava vida sa bespilotnim letjelicama, koje se također smatraju poljoprivrednim vozilima.



Slika 36. Detekcija redova strojnim vidom
(Izvor: Pajares i sur., 2016.)



Slika 37. Raspoznavanje korova od kulturne biljke
(Izvor: <https://omdena.com/projects/ai-weed/>)

Pozicioniranje senzora na vozilu zahtjeva razumijevanje geometrijskog odnosa između senzora, vozila i vidnog polja koje senzor koristi za informacije o vođenju.

Proizvode povezane sa osjetom okoline i stvaranjem percepcije razvili su veliki proizvođači opreme za automatizaciju aspekata uobičajenih operacija. Na primjer, *John Deereov AutoTrac Vision* koristi strojni vid za poravnanje vozila s redovima usjeva, općenito za smanjenje oštećenja usjeva uslijed prolazaka kotača vozila tijekom izvršavanja određenih operacija (Slika 38.) (A, Thomasson i sur., 2019.).



Slika 38. Položaja kamera u sustavu *John Deere AutoTrac Vision*

(Izvor: <https://www.deere.co.uk/en/agricultural-management-solutions/guidance-automation/autotracs-vision/>)

John Deereova Active Fill Control koristi stereo kamere za 3D nadzor i kontrolu punjenja transportnih vozila tijekom žetve (Slika 39.). *Case IH AFS* sustav navođenja može se koristiti sa laserskim sustavom za navođenje usjeva *Cruise Cut*. PLM (*Precision Land Management*) *New Holland* sustav za navođenje može se koristiti sa *SmartSteerom* za lasersko navođenje usjeva. *New Holland* nudi infracrveni sustav kamere za vrijeme vožnje za 3D nadzor i kontrolu punjenja bunkera na silo kombajanima (Vazquez-Arellano i sur., 2016.).



Slika 39. Aktivno praćenje punjenja prikolice

(Izvor: <https://www.deere.com.au/en/technology-products/precision-ag-technology/guidance/active-fill-control/>)

CAM PILOT (Slika 40.) je *Claasov* 3D sustav kamera sa stereo vidom, koji se obično koristi za berbu stočne hrane, a *LASER PILOT* je pridruženi laserski senzor za usmjeravanje po želji. *AUTO – FILL* je *Claasova* verzija 3D stereo kamera za automatizirano punjenje kamiona pri berbi stočne hrane. Sustav može locirati kamion, pratiti mlaz pri punjenju te izračunati razinu napunjenosti (Vázquez-Arellano i sur., 2016.).



Slika 40. *CAM PILOT* *Claas* 3D sustav kamera

(Izvor: <https://docplayer.org/53262082-Vorsaeetze-jaguar-vorsatzgeraete-pick-up-direct-disc-orbis-ru-conspeed.html>)

3.1.3. Vidljivi spektar

Većina poljoprivrednih operacija koje koriste sustav strojnog vida zahtjeva tehniku obrade slika s ciljem identificiranja specifičnih spektralnih potpisa. Indeks vegetacije omogućuje ekstrakciju spektra značajke kombinirajući dviju ili više spektralnih opsega, na temelju svojstva refleksije koje proizvodi vegetacija. Neki od njih koriste samo tri vidljiva spektralna pojasa, crveni (R), zeleni (G) i plavi (B), gdje je cilj pojačati specifičnu vezu, naglašavajući spektralne potpise (boje). U tom slučaju, ako je zelenilo u interesu, vrijednost spektra G treba poboljšati, kada je riječ o segmentaciji tla, R dio spektra je potrebno pojačati, višak zelene i višak crvene boje dva su dobro poznata indeksa za takve svrhe. Prva (zeleno) se primjenjuje za otkrivanje zelene biljke, uključujući usjeve i redove usjeva, mrlje korova, lišće i druge vegetativne dijelove. Drugi se koristi u druge svrhe kao što je analiza tla (organski sastav, vlaga.). „CCD (sklop s prijenosom naboja) ili CMOS (komplementarni poluvodički metal) su dvije uobičajene tehnologije koje koriste u senzorima slike. Obje se temelje na fotoelektričnom efektu za stvaranje digitalnih vrijednosti intenziteta od svjetlosti preko određenih elemenata slike (piksela), koji su najmanje jedinice, prikladno raspoređene u matrice s određenim vodoravnim (H) i vertikalnim (V) veličinama ili linearno kao niz piksela. Što je veći intenzitet svjetlosti, to je veće stvaranje elektrona. Svjetlost se sastoji od fotona, ali izvor svjetlosti proizvodi fotone nasumice tijekom vremena. To uzrokuje buku u percipiranom intenzitetu svjetlosti i ta je veličina ekvivalentan kvadratnom korijenu broja fotona generiranih izvorom svjetlosti mjerenim u elektronima. U idealnom slučaju, svaki foton bi se pretvorio u elektron, tako da je ova konverzija regulirana fizikalnim zakonima. Ipak, postoje čimbenici koji mijenjaju idealnu pretvorbu, a koji utječu na stvaranje šuma, poput šuma očitavanja uslijed rada elektronike, šuma obrade kamere, te to sve dovodi do razlike između idealne i stvarne izvedbe (Pajares i sur., 2016.).

3.1.4. Percepcija i sigurnost autonomnih sustava

Autonomni sustavi moraju opažati svoju okolinu kako bi uspješno izvršavali svoje zadatke. Primarni cilj sustava strojne percepcije je osiguravati siguran rad vozila. Detekcija, prepoznavanje i izbjegavanje prepreka je karakterističan primjer održavanja sigurnosti vozila. Postoje mnoge vrste senzora za primjenu u ovakvim sustavima. Većina njih radi na principu elektromagnetskog spektra, jednostruke ili dvostruke slike, lasera, radara, ultrazvučnih senzora i sve češće aktivnih 3D kamera (Rovira – Mas F., 2007).

Zbog toga što su izvođenja poljoprivrednih operacija izložena vrlo zahtjevnim uvjetima (prašina, kiša, ekstremni svjetlosni uvjeti) za senzore, niti jedna vrsta senzora u radu nije pokazala jasnu prednost ili manu u odnosu na sve druge vrste. Pri odabiru vrste senzora koja će se koristiti moraju se uzeti u obzir uvjeti kao što su domet, otpornost na svjetlost, otpornost na prašinu, prostorna razlučivost, održavanje i cijena. U tablici 1. su prikazane karakteristike senzora i njihovi odnosi s okolinom (Han S. i sur., 2015).

Sustavi strojnog vida su najprikladnija tehnologija za sustave koji prikupljaju podatke za autonomna vozila u poljoprivredi jer mogu prikupiti najviše podataka za relativno malu cijenu (Han S. i sur., 2015).

Tablica 1. Ocjena svojstava pojedinih osjetilnih uređaja na autonomnim vozilima

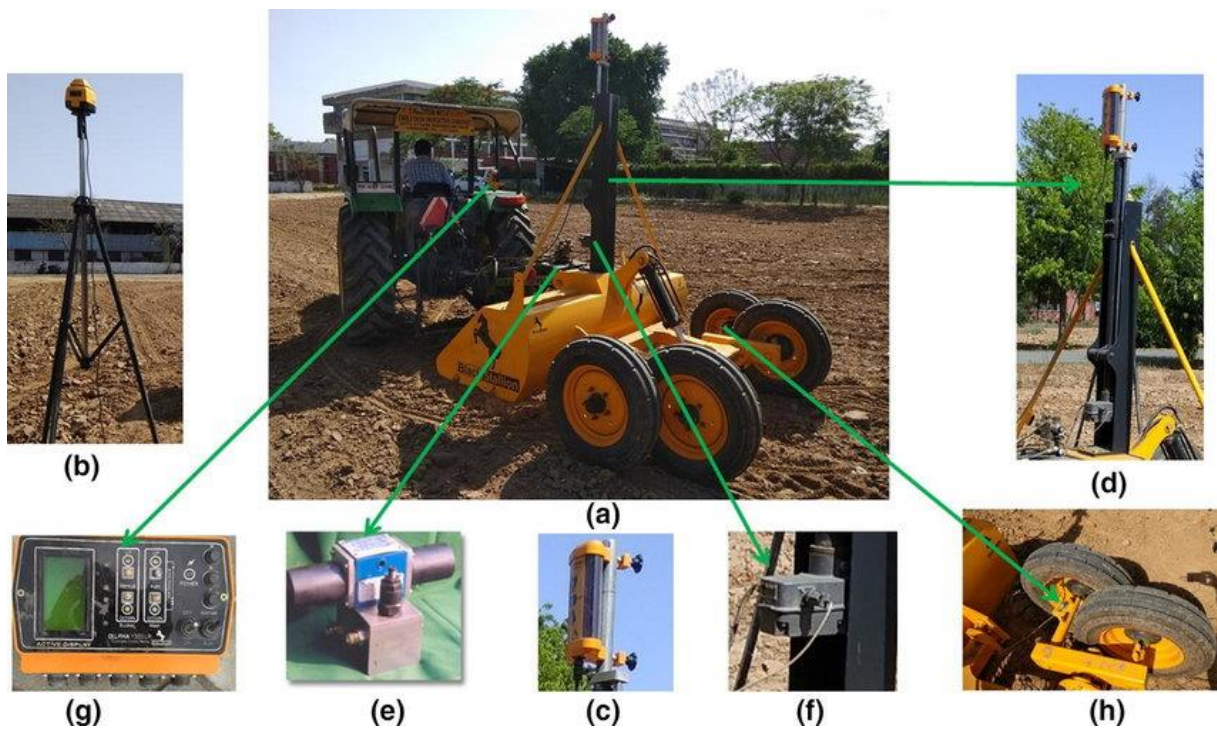
	Jednostruka kamera	Stereo kamera	Laser	Radar	Ultrazvučni senzor	3D kamera
SVOJSTVO						
Domet	Prosjek +	Prosjek -	Dobar	Dobar	Loš	Prosjek-
Otpornost na svjetlo	Prosjek -	Prosjek +	Dobar	Dobar	Dobar	Dobar
Otpornost na laku prašinu	Dobar	Dobar	Prosjek	Dobar	Prosjek+	Prosjek+
Otpornost na tešku prašinu	Loš	Loš	Loš	Dobar	Loš	Loš
Prostorna razlučivost	Dobar	Prosjek	Prosjek +	Loš	Loš	Prosjek -
Održavanje	Dobar	Loš	Loš	Dobar	Dobar	Prosjek
Cijena	Dobar	Prosjek	Loš	Prosjek	Dobar	Loš

Izvor: Han, Shufeng i sur., 2018.

3.2. Lasersko navođenje vozila

Prilikom vožnje po uzgojnim površinama nailazi se na brojne nepredviđene uvijete kao što su kamenje, humci, kanali ili rupe nastale pojavom glodavaca. Traktorima je nemoguće voziti kroz sve te uvijete bez da se skreće sa planiranog puta, ali zato je moguće postići da se traktorski priključci kreću pravilnom putanjom. Da bi se to postiglo, na traktorske priključke se ugrađuju fizički odbojnici i to tako da se okvir priključka spoji na odbojnik, kako bi se priključak kretao zajedno s odbojnikom, neovisno o traktoru i uvijek ostao na planiranoj putanji. Za vođenje odbojnika najčešće se koristi sustav strojnog vida, jer su kamere u tom slučaju najjeftiniji uređaji. Uz to se također koriste i laserski pokazivači koji služe kao stabilne reference. Laserski pokazivač je smješten na kraju redova i okrenut je prema stražnjoj strani traktora kako bi pružao smjernice tako da odbojnik može vršiti odgovarajuću

kompensaciju odstupanja promatrajući lasersku zraku. Cijeli sustav se sastoji od laserskog odašiljača, prijemnika, kontrolnog sustava u traktoru (Slika 41.) i aktuatora (odbojnika). Uz to, moguće je ugraditi dvije LED diode s lijeve i desne strane traktora, koje bi signalizirale vozača da okreće kolo upravljača kako bi se vozilo suprotstavljalo odstupanju (Xiangnan, G., 2017.).



Slika 41. Dijelovi sustava laserskog navođenja

(Izvor: https://www.researchgate.net/figure/Figure-showing-laser-land-leveller-a-laser-transmitter-b-laser-receiver-c-power_fig2_333174743)

- a) Laserski navođen priključni grejder
- b) Laserski odašiljač
- c) Laserski prijemnik
- d) Energetski jarbol
- e) Dvoradni magnetni prekidač
- f) Istosmjerni motor
- g) Senzor blizine smješten na h) kotačima

3.3. Globalni pozicijski sustav

GPS je mreža satelita koja kontinuirano odašilje kodirane informacije, s pomoću kojih je omogućeno precizno određivanje položaja na Zemlji. Dizajneri su prvenstveno imali na umu vojnu primjenu. Između ostalih primjena, GPS-prijemnici pomažu navigaciji, rasporedu trupa i artiljerijskoj vatri. Na sreću, izvršna odluka iz 1980. dozvolila je upotrebu GPS-a i civilima (Jurišić, Plaščak, 2009).

Prvi pravi geodetski satelit bio je ANNA1 B lansiran 1962. godine od strane Ministarstva obrane. Prethodnik današnjeg globalnog sustava za pozicioniranje je mornarički navigacijski satelitski sustav NNSS (*Navy Navigation Satellite System*), zvan i TRANSIT sustav. Glavni nedostatak TRANSIT sustava bila je nemogućnost dobrog pokrivanja zbog malog broja satelita, kao i mala točnost za precizno pozicioniranje. Globalni Pozicijski Sustav (GPS) razvijen je kao zamjena TRANSIT sustava zbog njegovih utvrđenih nedostataka. (Markovinović D., 2001.)

Prema Woodenovoj definiciji: NAVSTAR GPS je satelitski sustav razvijen od strane Ministarstva obrane SAD-a sa osnovnim ciljem da u bilo kojim vremenskim uvjetima omogućuje vojnim snagama točno određivanje pozicije, brzine i točnog vremena u nekom zajedničkom koordinatnom sustavu i to bilo gdje na površini Zemlje ili u blizini Zemlje (Hofmann-Wellenhof i sur., 1997.)

GPS omogućuje da se zabilježe položaji točaka na Zemlji i pomogne navigacija do tih točaka i od njih. GPS se može upotrebljavati svugdje osim na mjestima gdje je nemoguće primiti signal, a to su mjesta unutar zgrada, u tunelima, spiljama, garažama i drugim podzemnim lokacijama te ispod vode. (Jurišić, Plaščak, 2009).

Isti autori navode da je osnovna zadaća GPS-a je precizno određivanje položaja točke na kopnu, na moru, u zraku, u svemirskom prostoru bliskom zemlji, te određivanje trenutne pozicije i brzine (navigacija) pokretnog objekte. Primjenom tehničkih rješenja koja su razvijana paralelno s ovim sustavom, GPS je postao mjerno sredstvo u geodeziji.

Tehnike opažanja dijele se na: - Apsolutne- autonomno koriste samo jedan GPS prijemnik;

- Relativne – koriste minimalno 2 prijemnik, gdje se položaj nepoznate točke (GPS prijamnik) određuje relativno u odnosu na poznatu, na kojoj se nalazi drugi GPS prijamnik (Jurišić, Plaščak, 2009).

Segmenti GPS-a

NAVSTAR (*Navigation Satellite Timing and Ranging*, službeno ime Ministarstvo obrane SAD-a za GPS) sastoji se iz triju osnovnih segmenata:

- Svemirskog- koji tvore sateliti koji odašilju signale,
- Kontrolnog- koji upravlja cijelim sustavom- zemaljske stanice
- Korisničkog- koji uključuje različite tipove prijamnika

Svemirski segment

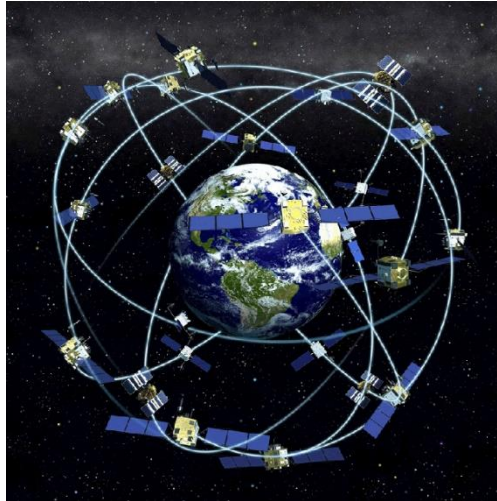
Vizualni primjer gibanja konstelacije GPS-a ujednačen je sa Zemljinom rotacijom. Uočava se kako se broj satelita u pogledu s dane točke na Zemljinoj površini, u ovom primjeru na 45° N, mijenja tijekom vremena. Svemirski segment (SS) sastoji se od orbitirajućih GPS satelita ili svemirskih vozila (SV, engl. *Space Vehicles*) u žargonu GPS-a. Dizajn GPS-a originalno je bio namijenjen za 24 SV-a od kojih je po osam trebalo nalaziti u tri kružne orbitalne ravnine, no to je modificirano u šest ravnina s po 4 satelita (Slika 42.). Orbitalne ravnine centrirane su u Zemlji te ne rotiraju u odnosu na udaljene zvijezde. Šest ravnina imaju inklinaciju (nagib prema Zemljinu ekvatoru) od približno 55° te su odvojene rektascenzijom od po 60° ascendirajućeg čvora (kut duž ekvatora od referentne točke do orbitalnog presjeka). Orbite su raspoređene tako da je najmanje šest satelita uvijek u liniji vidljivosti s gotovo svake točke na Zemljinoj površini. Orbitirajući na visini od približno 20.200 kilometara (oko 12.550 milja ili 10.900 nautičkih milja; orbitalni radijus od približno 26.600 km (oko 16.500 mi ili 14.400 NM)), svaki SV obiđe dvije pune orbite svakog sideričnog dana, ponavljajući istu prizemnu putanju svakog dana (Šitin, 2018.).

Jedan GPS satelit teži otprilike 1000 kg, a širok je oko 6 metara s rastegnutim solarnim panelima. Nalaze se na udaljenosti od 20 183 km i kruže oko Zemlje brzinom od oko 11 000 km na sat. Sateliti pri toj brzini obiđu Zemlju svakih 11h i 58 min. Imaju ugrađen mali raketni pogon kako bi mogli prilagoditi svoj put po potrebi i ostati na putanji (Kos i sur., 2004).

Osnovni zadatak GPS satelita je odašiljanje radiosignala pomoću kojih se može mjeriti udaljenost između satelita i prjemnika (pseudoudaljenost). Napajaju se solarnom energijom i traju oko 10 godina. Ako solarna energija zakaže (pomrčine.), postoje rezervne baterije koje ih održavaju u pogonu. Također imaju mali raketni pogon koji ih održava na pravoj putanji. Svaki satelit odašilje radiosignal širokog spektra koji je manje podložan ometanju.

Karakteristike odaslanih signala precizno su kontrolirane atomskim satovima, koji se nalaze u svakom satelitu (Jurišić, Plaščak, 2009).

GPS sateliti pružaju platformu za radio primopredajnike, atomske satove, računala i različitu dodatnu opremu koja se koristi za vođenje sustava. Kod potpune konstelacije satelita prostorni segment pri elevacijskoj masi od 10 stupnjeva omogućuje globalno pokrivanje sa 4-12 satelita koji se simultano opažaju (Markovinović D., 2001.).



Slika 42. Formacija GPS satelita oko zemlje

(Izvor: <https://www.space.com/19794-navstar.html>)

Kontrolni segment

Kontrolni segment uključuje operacijski kontrolni sustav (*Operational Control System*) koji se sastoji od glavne kontrolne stanice, promatračkih stanica rasprostranjenih po svijetu i zemaljskih kontrolnih stanica (Slika 43.) (Markovinović D., 2001.).

Isti autor navodi da su glavne zadaće ovog segmenta:

- praćenje satelita u svrhu određivanja njihovih orbita,
- korekcija sata (tzv. predikacijsko modeliranje),
- sinkronizacija vremena,
- te konačno slanje poruka prema satelitima.

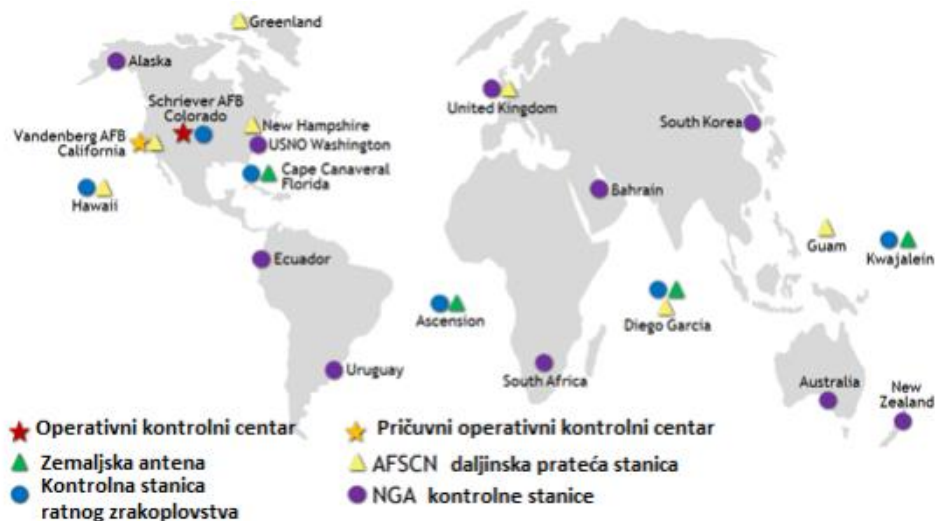
Kontrolni segment sastoji se od:

1. Glavne kontrolne stanice (MCS, engl. *Master Control Station*)
2. Alternativne glavne kontrolne stanice (engl. *Alternate Master Control Station*)

3. Četiriju dodijeljenih zemaljskih antena

4. Šest dodijeljenih monitornih stanica.

MCS također može pristupiti zemaljskim antenama Satelitske kontrolne mreže Ratnog zrakoplovstva SAD-a (AFSCN, engl.U.S. *Air Force Satellite Control Network*) za dodatne mogućnosti zapovijedanja i kontrole te monitornim stanicama NGA-e (*National GeospatialIntelligence Agency*, Nacionalna geoprostorna obavještajna agencija). Putanje satelita prate nadzorne postaje Ratnog zrakoplovstva SAD-a na Havajima, Kwajaleima, Ascensionu, Diegu Garciji, Colorado Springsu u Coloradu i Cape Canaveralu, skupa sa zajedničkim monitornim postajama NGA-e koje djeluju u Engleskoj, Argentini, Ekvadoru, Britaniji, Australiji i u Washington DC-u. Satelitski manevri nisu precizni po standardima GPS-a. Za promjenu orbite satelita potrebno je prvo satelit označiti „nezdravim,“ tako da ga prijammnici ne koriste u svojim izračunima. Tek se nakon toga može izvesti manevar, a rezultirajuća orbita pratiti sa Zemlje. Zatim se šalju podaci o novoj efemeridi, a satelit se ponovo označava zdravim (Dukovac. 2021.).



Slika 43. Raspored zemaljskih kontrolnih stanica
(Izvor: <https://www.gps.gov/systems/gps/control/>)

Korisnički segment

Korisnički segment se sastoji se od svih koji upotrebljavaju GPS i njihovih prijammnika. To znači, da se korisnički segment sastoji od pomoraca, pilota, planinara, lovaca, vojnika i bilo

koga drugog tko želi znati gdje se nalazi, gdje je bio ili kuda ide, a upotrebljava GPS prijamnik (Dukovac. 2021.).

Vojni korisnici

Prvobitni korisnik GPS-a je Ministarstvo obrane SAD-a, kojem je ovaj sustav bio dopuna programu nacionalne sigurnosti. Ministarstvo obrane SAD-a nastojalo je opremiti GPS prijamnicima (Slika 44.) gotovo svaku vojnu jedinicu, bila ona na kopnu, moru ili zraku. Stvarna i realna primjena došla je do punog izražaja tijekom Zaljevskog rata kada su vojnici SAD-a bili opremljeni i sa ovim uređajima koji su im omogućili nesmetanu koordinaciju i poboljšanje vojnih aktivnosti. To se posebno odnosi na ručne prijamnike koji su se koristili za navigaciju u pustinji. Današnja vojska SAD-a je opremljena GPS prijamnicima gotovo na svi~ razinama. I ostale države daju velike novčane iznose svojih vojnih budžeta za razvoj i primjenu GPS-a, bez kojeg je danas jednostavno nezamislivo voditi ratna djelovanja (Markovinović D., 2001.).



Slika 44. Prijamnici korišteni za vojne svrhe

(Izvor: <https://sgttt.wordpress.com/2015/08/23/defense-advanced-gps-receiver-dagr/>)

Civilni korisnici

GPS prijamnici se danas koriste za različite geodetske zadaće, te za navigaciju. Geodetski stručnjaci koriste GPS (Slika 45.) za postavljanje mreža viših i nižih redova, za izmjernu homogenih polja gradova, za izvođenje različitih detaljnih terenskih premjera). Svoju veliku primjenu GPS prijamnici pogotovo nalaze kod korisnika kojima točnost određivanja pozicije od nekoliko decimetara, odnosno metara, ne znači prepreku u primjeni ovog sustava. Danas

imamo opremljene službe hitne pomoći, gdje centralni dispečer u svakom trenutku zna gdje mu se nalazi vozilo. Primjena GPS-a u hitnoj službi se pokazala izuzetno efikasnom, te je poboljšala koordinaciju i efikasnost ovih službi. Auto industrija se zadnjih nekoliko godina javlja kao veliki korisnik. Pored ugradnje GPS-a u automobile (Slika 46.), gdje ovaj sustav služi za lakšu, i u kombinaciji sa RDS-sustavom, bržu navigaciju, GPS sustav nalazi primjenu u pronalaženju ukradenih automobila (Markovinović D., 2001.).



Slika 45. GPS uređaj za geodetsku primjenu

(Izvor: <http://www.geobiro.si/wp-content/uploads/2012/11/s9iii.pdf>)



Slika 46. GPS uređaj u automobilu

(Izvor: <https://www.thedrive.com/reviews/27415/best-gps-navigation-for-cars>)

GPS se nalazi kao standardna oprema u preoceanskim brodovima, jahtama i jedrilicama. Avioindustrija rutinski koristi GPS za navigaciju, gdje uporabom ovakvog načina navođenja između ostalog rješava problem slijetanja aviona (tijekom loših vremenskih prilika magla i sl.). Graditeljstvo, poljoprivreda, zaštita okoliša, šumarstvo, navigacija i pozicioniranje (na moru, komunalni informacijski sustavi, geografski informacijski sustavi samo su neke od grana gdje se koristi GPS (Markovinović D., 2001.).

Metode mjerenja

Sama GPS mjerenja se izvode jednom ili kombinacijom više metoda opažanja. Koju metodu opažanja izabrali najviše ovisi o vrsti terena i područja koje se opaža, odnosno o zahtijevanoj točnosti. Postoje dvije osnovne metode, apsolutno i relativno pozicioniranje.

Pod apsolutnim pozicioniranjem podrazumijeva se određivanje koordinata točke uporabom jednog prijamnika na temelju kodnih mjerenja, dok pod relativnim pozicioniranjem podrazumijeva se korištenje minimalno dva prijamnika koji istovremeno primaju iste satelite. Bilo da su apsolutne ili relativne, razlikujemo sljedeće metode: DGPS (diferencijalni GPS), statičko (statika i brza statika) i kinematička relativno pozicioniranje (klasična kinematika i stop&go metoda).

Diferencijalni GPS (DGPS) ispravlja pogreške GPS-a (najvećim dijelom one koje nastaju zbog utjecaja atmosfere na širenje elektromagnetskih valova). Referentna postaja na zemlji (diferencijalna postaja) opremljena je specijalnim GPS prijamnikom koji uspoređuje vlastitu (točnu) poziciju s izmjerenom pozicijom i tako utvrđuje pogrešku vlastite GPS pozicije. To je pogreška pseudoudaljenosti prema svakom satelitu vidljivom na tom području. Te će pogreške biti slične i na ostalim lokacijama u blizini, a važna je pretpostavka da prijamnici vide iste GPS satelite. Pogreška tako izmjerene pozicije (pogreška pseudoudaljenosti) dostavlja se DGPS prijamnicima da bi je oni mogli otkloniti. Razlikujemo sustave za lokalno područje pokrivanja (u radijusu do nekoliko stotina km) – LADGPS (*Local Area DGPS*), od onih za široko područje pokrivanja – WADGPS (*Wide Area DGPS*), kao što su sustavi za pokrivanje čitavih kontinenata (Lušić i sur., 2008.).

3.3.1. Princip rada GPSa

GPS prijamnik od satelita prikuplja dva tipa kodiranih informacija. Jedan tip informacija sadrži približni položaj satelita. Ti se podaci kontinuirano prenose i spremaju u memoriju prijamnika, tako da on zna orbite satelita i gdje bi koji satelit trebao biti. Zbog gibanja satelita

podatci iz almanah se moraju periodički ažurirati novim informacijama. Kada GPS prijammnik nije dulje vrijeme uključen, podatci almanaha su zastarjeli, te će mu trebati malo više vremena da pronade satelite. Izračun pozicije temelji se na određivanju pseudoudaljenosti. Udaljenost između satelita i prijammnika može biti izračunata mjerenjem proteklog vremena između odaslanog satelitskog i prijammnikom primljenom signala. Vremensko kašnjenje multiplicira se brzinom svjetlosti da bi se odredila udaljenost satelit – prijammnik. Svaki satelit može putovati malo izvan orbite, pa zemaljska stanica za praćenje prati orbite satelita, njihovu visinu, položaj i brzinu. Zemaljska stanica za praćenje šalje orbitalne informacije glavnoj kontrolnoj stanici, koja šalje satelitima ispravljene informacije. Ti ispravljeni i egzaktni podatci o položajima nazivaju se „efemeride“, vrijede do šest sati i šalju se GPS prijammnicima u obliku kodiranih informacija. Kada GPS prijammnik zna precizan položaj satelita u prostoru, još treba znati koliko su oni daleko, kako bi mogao odrediti svoj položaj na zemlji. Postoji jednostavna formula koja kaže prijammniku koji je pojedini satelit daleko: udaljenost od satelita jednaka je brzini emitiranog signala pomnožena s vremenom koje treba da signal dođe do prijammnika ($\text{brzina} \times \text{vrijeme putovanja} = \text{udaljenost}$). Koristeći osnovnu formulu za određivanje udaljenosti, prijammnik već zna brzinu. To je brzina radio valova – oko 300.000 km/s (brzina svjetlosti) s malim kašnjenjem zbog prolaska signala kroz Zemljinu atmosferu. Sada kada postoji spoznaja o položaju satelita i udaljenosti, prijammnik može odrediti svoj položaj. Potrebno je pretpostaviti da je 19.000 km udaljenost od nekog satelita. Položaj prijammnika biti će negdje na zemljišnoj sferi kojoj je satelit u središtu i polumjer 19.000 km. Pretpostavka je, nadalje, da je prijammnik 20.000 km od drugog satelita. Druga sfera siječe prvu u zajedničkoj kružnici. Ako se doda treći satelit, na udaljenosti na 21.000 km, postojat će dvije zajedničke točke u kojima se sijeku sve tri sfere. Iako su moguća dva položaja, oni se znatno razlikuju po koordinatama. Za odluku o tome koja od dvaju zajedničkih točaka daje stvarni položaj, trebat će unijeti približnu visinu u GPS prijammnik. To će omogućiti prijammniku da izračuna dvodimenzionalni položaj. Uz pomoć četvrtog satelita prijammnik može odrediti i trodimenzionalni položaj. Pretpostavlja se da je udaljenost od četvrtog satelita 18.000 km. Sad postoji situacija da četvrta sfera siječe prve tri u jednoj zajedničkoj točki. Većina modernih GPS prijammnika je paralelnog višekanalnog dizajna. Stariji jednokanalni prijammnici bili su popularni, ali u najtežim uvjetima (kao što je gusta šuma) nisu stalno mogli primati signal. Paralelni višekanalni prijammnici imaju obično između 5 – 12 prijammnih krugova, svaki pridružen jednom satelitskom signalu, tako da se može održavati dobra veza sa svakim satelitom. Višekanalni prijammnici brzo se povezuju sa satelitima kada se prvi put uključe i njihove su mogućnosti velike pri primanju signala čak i u teškim uvjetima.

3.4. Primjena GPS sustava u vođenju poljoprivrednih strojeva

Tehnologije povezane s GPS-om brzo se razvijaju i nude brojne potencijalne prednosti u automatizaciji rada na otvorenom. Vrhunski sustavi visoke preciznosti obično koštaju više od onih s nižom točnošću, ali postoji stalni trend smanjenja troškova širokom primjenom ovakvih sustava. Diferencijalni GPS (DGPS) sustavi koriste ispravljačke signale koji dolaze iz različitih izvora, kao što su zemaljske stanice ili sateliti, kako bi nadoknadili smetnje uzrokovane raznim faktorima. Trošak sustava je relativno nizak te se trošak lako nadoknađuje kada se sustav koristi za poljoprivredne operacije, poput promjenjivih količina hraniva ili pametnog apliciranja pesticida, te za automatsko navođenje (Abidine i sur., 2002.). Verzije sa višom preciznošću sa do oko 1 cm pri kretanju su dostupne u sustavima koji se nazivaju RTK (real time kinetic) GPS. Takav sustav zahtjeva zemaljsku ili baznu stanicu u blizini rovera (Slika 47.) i radio podatkovnu vezu kako bi se osigurala što veća preciznost, što sve dodatno povećava troškove. Općenito se radi o dvofrekventnim sustavima. Sustavi za automatsko vođenje traktora, zasnovani na RTK – GPS-u, razvijeni su i distribuiraju ih određene komercijalne tvrtke (Gan-Morand i Clark, 2001.).

Tvrtke i poljoprivrednici potvrđuju da uz uporabu RTK – GPS tehnologija postižu veću preciznost u radu u odnosu na ručno upravljanim strojevima. Tipično povećanje kapaciteta polja uz korištenje takvih sustava iznosi oko 15%. Nedostatci sustava očituju se pri uvjetima smanjene vidljivosti. Povećanja brzine traktora i kapaciteta polja za čak 15% mogu opravdati visoke troškove RTK-GPS-a, pod uvjetom da korisnici uzimaju u obzir produženo razdoblje povrata ulaganja. Sadašnjom preciznošću u operacijama unutar redova može se poboljšati uporaba kemikalija ili omogućiti precizniju kultivaciju uz samu biljku (Abidine i sur., 2002).



Slika 47. Statička RTK bazna stanica

(Izvor: <https://www.deere.hr/hr/rjesenja-za-upravljanje-u-poljoprivredi/prijemnici-zasloni/rtk-rjesenja/>)

Mobilni RTK ispravljački signal prenosi se putem mobilne tehnologije (Slika 48). To omogućuje ponovljivu preciznost, čak i na raspršenim poljima i na brdovitom terenu. Mobilni RTK modem 4G LTE je potpuno integriran i može ga se pričvrstiti za StarFire prijemnik. S dvije antene visokih performansi i položaj ugradnje na krov kabine imate uistinu optimalnu stabilnost prijema i signala. Ne samo da podržava najnoviji 4G LTE standard za mobilnu komunikaciju, već 3G kao i 2G kao rezervno rješenje. Pored funkcionalnosti *Mobile* RTK, modem se može paralelno koristiti i kao WLAN žarišna točka za povezivanje s vašim mobilnim uređajima (Link 3.).



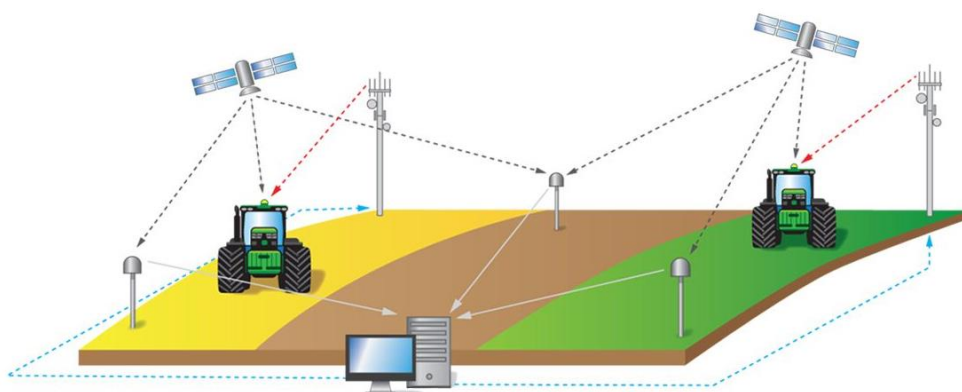
Slika 48. Mobilna RTK stanica

(Izvor: <https://www.automatika.rs/vesti/razno/prvi-koraci-u-primeni-navodjenja-masina-a-b-c.html>)

Mnoge tvrtke već su serijski opremile svoje traktore i strojeve pomagalicama z prijem i obradu signala odgovarajućim softverima kako bi iskoristile brojne prednosti preciznog navođenja po polju. Iako dobri traktoristi vjerojatno postižu visok stupanj točnosti kada je u pitanju izbjegavanje preklapanja redova prilikom dopunske obrade tla, kod vožnje sijačice nije moguće postići najveći stupanj preciznosti te optimizacije procesa sjetve. Prije svega, automatizirani sustavi navođenja štede radno vrijeme, a zahvaljujući sofisticiranim sustavima upravljanja vozač može obraditi znatno veće površine po satu. Pored toga radom se može započeti prije izlaska sunca i produžiti do večeri (Stajanko, D. 2018.).

Isti autor navodi kako automatizirani upravljački sustavi također oslobađaju vozača psihičkih napora i time se izbjegavaju pogreške budući da se traktorom upravlja potpuno automatski prema optimalnom tragu vožnje.

U odnosu na svakodnevno korištenje i razumijevanje GPS navođenja, za potrebe precizne poljoprivrede potrebna je preciznost na razini nekoliko centimetara koja se može postići jedino referentnom odnosno baznom stanicom na zemlji. Budući da su koordinate referentne stanice precizno određene, prijemnik ugrađen, primjerice, u traktoru može u svakom trenutku utvrditi korekcije promatranja od promatranja i poznatih satelitskih pozicija. Kroz komunikacijske kanale referentna stanica u obliku standardiziranog zapisa u svakom trenutku šalje takve podatke, prijemnik, zajedno s podacima o promatranju ili korekcijama referentnog prijemnika, određuje njegov precizan položaj u stvarnom vremenu (Slika 49.) (Stajanko, D. 2018.).



Slika 49. Slanje signala i informacija unutar RTK sustava

(Izvor: <https://www.deere.hr/hr/rjesenja-za-upravljanje-u-poljoprivredi/prijemnici-zasloni/rtk-rjesenja/>)

Sustav pomoći pri vođenju je sustav koji rukovatelju pokazuje samo informacije o vođenju. Automatizirani i autonomni sustavi vođenja projektiraju se tako da se mehanizam upravljanja podešava upravljanju bez vozača. Praćenje putanje za poljoprivredne priključne strojeve puno je teži nego kod cestovnih vozila, pa sustavi autonomnog sustava navođenja poljoprivrednih priključaka imaju poseban značaj (Stajanko, D. 2018.).

Primarna prednost automatskog upravljanja je smanjenje preklapanja redova tijekom sjetve, prskanja, aplikacije gnojiva te žetve, što smanjuje cijenu rada i povećava učinkovitost obavljenog posla (Antille i sur., 2018.).

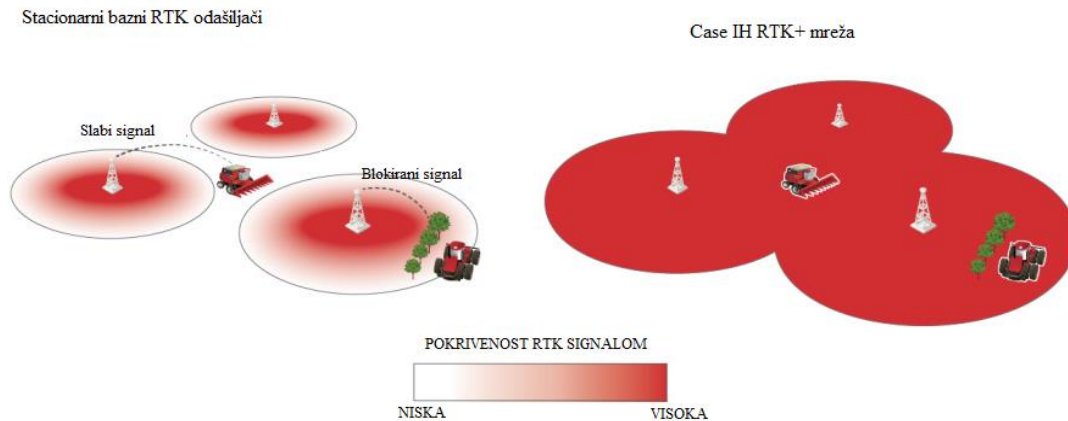
Sustavi automatskog navođenja razlikuju se u točnosti pozicioniranja ovisno tehnologiji pozicioniranja koja se koristi. Oni se također razlikuju po razini kontrole, koja je u rasponu od navođenja svjetlosnom trakom za pomoć rukovatelja do priključaka na upravljaču za automatsko upravljanje ili čak potpuno inteligentnog upravljanja (Han i sur., 2004.).

Svi veliki proizvođači poljoprivrednih vozila danas nude neku razinu automatskog vođenja svojih vozila, a sustavi su dostupni i od tvrtki koje su specijalizirane za vođenje vozila. Komercijalno dostupni sustavi vođenja i dalje zahtijevaju neku razinu ljudske intervencije (A. Thomasson i sur., 2019.).

John Deere tako nudi sustav za navigaciju i upravljanje koji se zove *AutoTrac* koji koristi *StarFire* GNSS sustav navođenja. *StarFire* sustav nudi niz točnosti koje se mogu odabrati na temelju aplikacije i kompatibilan je sa satelitskim emitiranjem korekcijskog signala ili sa lokalnim RTK sustavom, što omogućuje točnost pozicioniranja od 2.5 cm. Novi sustav *StarFire 6000* omogućuje točnost od 3 cm pomoću SF3 satelitskog korekcijskog signala. *John Deere* upravljački sustavi također su opremljeni sa sustavom kompenzacije terena (*Terrain Compensation Modul*) koji koristi senzore za kompenzaciju zakretanja vozila, nagiba i zakretanje kako bi se osiguralo točno pozicioniranje u razini sa zemljom.

Case IH napredni poljoprivredni sustav (*Advanced Farming System*) i *New Hollandova* PLM (*Precision Land Management*) rješenja za navođenje koriste razne GNSS prijavnike i diferencijalne korekcije uključujući *Omnistar* i *Trimble*. *Case IH* koristi mrežu RTK baznih stanica koja je omogućena od proizvođača, a korekcija tog sustava se vrši pomoću mobilne mreže (Slika 50.). Sustavi navođenja također pružaju kompenzaciju terena što omogućava korekciju zakretanja traktora, visinu terena i skretanje s pravca. Sustav auto pilota omogućava

izravnu integraciju elektrohidrauličkih sustava sa sustavom za upravljanje (A. Thomasson i sur., 2019.).



Slika 50. Case IH RTK sustav pokrivenosti
(Izvor: Thomasson i sur., 2019.)

Sustav automatskog upravljanja *Claas* GPS Pilot S3 koristi integrirano upravljanje upravljačem dok je *Claas* GPS Pilot FLEX koristi elektronički dodatak za upravljač. Oba sustava uključuju navigacijski kontroler koji koristi senzore za kompenzaciju terena, korekcija zakretanja, nagiba i bočnog kretanja. Nekoliko GPS korekcijskih signala dostupni su za sustave *Claas*, uključujući satelitsko emitiranje signala (*Egnos*, *Omnistar*), koji koristi mobilnu referentnu stanicu, RTK mrežu, uključujući u RTK NET koji mogu pružati korekciju putem mobilne mreže (A. Thomasson i sur., 2019.).

Za automatsko vođenje određena su dva glavna prisuta pri vođenju. Prvi je sustav detekcije i kontrole vozila gdje se koriste visoko precizni navigacijski sustavi kao što su RTK GNSS koji vode vozilo prema u naprijed zadanim smjernicama. Većina trenutno dostupnih sustava koristi ovakav pristup. Nedostatak je što takvi sustavi ne mogu automatski reagirati na neočekivane promjene u polju. U drugom sustavu detekcijski i kontrolni sustav na vozilu detektira redove kao referencu pri vođenju. Jedan od dostupnih komercijalnih sustava proizveden od *Headsight Harvesting Solutions* i koristi mehanički osjetilni štap koji detektira redove u kukuruzu. Drugi sličan sustav *360 Guide* proizveden uglavnom za automatske samohodne prskalice proizveden od strane *360 Yield Center* (A. Thomasson i sur., 2019.).

Američki patent tvrtke *Deere & Company* predstavlja pristup zasnovan na strukturalnoj svjetlosti za generiranje plana puta za više mobilnih robota koji rade u kontroliranom

prostoru. Projekcija navođenja generira se trodimenzionalnom kartom, a zatim se projicira na zadano područje. Jedan ili više robota detektiraju projekciju navođenja, identificiraju put, te zatim slijede putanju. Jedan od glavnih ciljeva pri planiranju puta je optimalno usmjerenje, koje zahtjeva izbjegavanje sudara sa statičnim i pokretnim objektima., smanjenje puta i smanjenje utjecaja okoline (Spekken i sur., 2016.).

Pojedine tehnologije su razvijene i koriste se kao glavni element za potpuno autonomno vođenje po redovima usjeva (Bechar i Vigneault, 2017.). Na primjer, za određivanje položaja i orijentacije koriste se žiroskopski senzori sa optičkim vlaknima, GNSS i mjerači brzine. Rotacijski koderi su korišteni za ostvarivanje kuta upravljača, te senzori brzine se koriste za određivanje položaja papučice spojke i kočnice. Geometrijske strukture podataka korištene su za izračunavanje puta između ishodišta i odredišta. Digitalni kontroleri koji reguliraju aktuatora koriste se za kontrolu orijentacije i brzine (Almeida B. i sur., 2015.).

Drugi ključan izazov u planiranju puta je izbjegavanje prepreka. Sustavi dizajnirani za tu svrhu mogu se koristiti kao pomoć operaterima vozila ili na potpuno autonomnim vozilima (De Simone i sur., 2018.).

Jedna vrsta sustava za izbjegavanje prepreka koristi lokalne podatke o okolini vozila za upravljanje vozilom kako bi izbjegavalo prepreke. Međutim ova vrsta sustava sporo reagira kad se njeni algoritmi približe granici prostora podataka, diskontinuiteti ili lokalni maksimumi ili minimumi, te vozilo sa pogrešnim algoritmom otkrivanja vjerojatnije je da će se sudariti s preprekom na svom putu. Zbog toga tvrtka *Deere & Company* ima za cilj poboljšati brzinu traženja prikladnog puta za izbjegavanje prepreka kako bi se izbjegao sudar. Zahtjevi uključuju senzor koji određuje relativni položaj između prepreke i vozila te programske module koji detektiraju translacijske i rotacijske brzine vozila, mapiraju okolinu vozila te izračunavaju i filtriraju moguće putanje. Ovi moduli za odabir puta identificiraju dopuštene zakrivljene staze na kojima se vozilo može zaustaviti prije nego što dosegne prepreku (A. Thomasson i sur., 2019.).

3.4.1. Pomoć pri izvođenju operacija na uvratinama

Razvoj u automatizaciji rada strojeva uključuje izvršavanje niza zadataka priključaka i traktora u svrhu povećanja učinkovitosti i smanjenja umora rukovatelja (Alshaer i sur., 2013). Na primjer tijekom sadnje, okretanje traktora na uvratinama može zahtijevati okretanje za

180° sa slijedom od nekoliko radnji: usporavanje vozila, podizanje i spuštanje priključka, pokretanje i gašenje priključnog vratila (prijenosa snage), uključivanje i isključivanje blokade diferencijala i pogona na sva četiri kotača, te upravljanje unutar uvratine radi ispravnog poravnanja za ulaz u sljedeći red. I ovakav slijed zadataka se obavlja puno puta unutar radnog dana, što doprinosi umoru vozača (Kviz i Kroulik, 2017.).

Sustavi za upravljanje rada na uvratinama mogu se programirati za izvođenje takvog slijeda zadataka kako bi se automatizirali najteži i dosadni aspekti rada vozila. Iako su ove tehnologije razvijene za pomoć vozačima, one služe kao ključni elementi eventualne potpune autonomije (A. Thomasson i sur., 2019.).

3.5. Potpuno autonomni sustavi u poljoprivredi

Kada je riječ o potpuno autonomnom sustavu pri obavljanju poljoprivrednih zadataka, tada govorimo o dva odvojena autonomna pod sustava koja su uparena da rade zajedno, a to su autonomno vozilo i autonomni priključak. Takav rad zahtjeva komunikaciju između ta dva sustava u obliku glavnog kontrolera, koji je odgovoran da ponašanje svakog odvojenog sustava formira u jedno i tretira ih kao jedan cjelokupni autonomni poljoprivredni sustav (Emmi i sur, 2014.).

Isti autori navode kako se takav cijeli sustav može raščlaniti na tri dijela; vozilo, priključak i upravljačka jedinica.

Vozilo

Vozilo je modul koji je zadužen za kretanje i orijentaciju agregata u prostoru, te se zbog toga mora prilagođavati vrsti usjeva po kojem se kreće i znati koja operacija se obavlja na usjevu. Vozilo vuče ili nosi određeni priključak pa je tako opremljeno sa standardnim poljoprivrednim sustavima kao što su spojnica u tri točke, električni priključci te hidraulički priključci i crpke. Ovi specifični sustavi su naravno podržani kod svih komercijalnih traktora, te je zbog toga lakše i efikasnije standardni traktor adaptirati za autonomne sustave, već proizvoditi poljoprivredne robote u cjelini. To također omogućuje razvojnim inženjerima da testiraju i integriraju sustave bez dugotrajnih postupaka kao što su oblikovanje šasije, ručne montaže, ispitivanja i homologacije vozila. Takve modifikacije drastično povećavaju

pouzdanost vozila koristeći dugotrajno ispitane dijelove (motor, kočioni sustavi, upravljački i mjenjački sustavi i slično). Sigurnost, robusnost i efikasnost sustava mora se uzeti u obzir pri strukturiranju cijelog sustava (Emmi i sur, 2014.).

Koordinirani rad više strojeva zajedno je jedan od bitnih sustava u automatskom vođenju u poljoprivredi. Dobar primjer toga je sustav žetve sa kombajnom i pratećom prikolicom. Traktor koji vuče prikolicu mora se postaviti uz kombajn kako bi kombajn mogao konstantno prazniti bunker. I brzina i pozicija traktora točno su određeni i prilagođeni brzini i poziciji kombajna. Sljedeći primjer koordinacije više strojeva istovremeno je sustav „vođa – pratitelj“. Sustav se sastoji od grupe traktora koji rade na istom polju u sigurnoj formaciji, gdje je jedan traktor „vođa“, a drugi „sljedbenici“. Formacija traktora se može mijenjati na osnovu lokacije vodećeg traktora (Zhang i Noguchi, 2016.).

Isti autori navode kako je osim automatske kontrole upravljanja u navođenju strojeva ključna misija planiranja i bežična komunikacija. Sustav planiranja puta za sustave sa više vozila ima zadatak navođenja puta za svako vozilo unutar flote, tako da se smanje konačni troškovi i da se mogućnost pogreške i sudara svede na minimum.

Bežična komunikacijska tehnologija za upravljanje sa više vozila na polju je dovoljno razvijena i pouzdana. Na primjer *John Deerea*, proizvedena je mreža koja djeluje na polju i može u sebi sadržavati do 10 strojeva (kombajni i traktori sa prikolicama) koji rade zajedno (Link 4.).

Priključak

Priključci dizajnirani za aplikaciju herbicida (Slika 51.) ili termičko uništavanje korova na sebi imaju integrirane mlaznice ili plamenike koji su u mogućnosti djelovati neovisno i svoje aktiviranje temelje na načelima precizne poljoprivrede. Neki od takvih priključaka imaju uređaje za pozicioniranje za poboljšanje tretmana. Najčešće za upravljanje i koordinaciju tih neovisnih dijelova koriste se PLC – ovi i mikro računala. Protok herbicida kroz mlaznice, kao i uređaj za sklapanje/rasklapanje krila kontrolira glavni upravljač vozila (Emmi i sur, 2014.).



Slika 51. Priključna prskalica sa PLC – om upravljanim mlaznicama

(Izvor: Emmi i sur, 2014.)

Mehaničko-termički priključak (Slika 52.) služi za suzbijanje korova u usjevima otpornim na plamen, poput kukuruza, luka i češnjaka. Ovaj sustav sastoji se od četiri para plamenika pričvršćenih na glavni okvir koji zahvaća četiri uzastopna reda. Stroj vuče vozilo, koje je također odgovorno za kontrolu relativnog bočnog položaja priključka u odnosu na položaj vozila. Intenzitet plamena svakog plamenika ovisi o količini korova koju detektira sustav za otkrivanje korova na temelju strojnog vida. Ta se količina izražava kao postotak površine prekrivene korovom u svakoj jedinici površine - tipično $0,25\text{ m} \times 0,25\text{ m}$. Kontroler vozila također je zadužen za sklapanje i rasklapanje stroja (Emmi i sur, 2014.).



Slika 52. Priključak za termičko suzbijanje korova upravljjan PLC – om

(Izvor: Emmi i sur, 2014.)

Također postoji širok raspon poljoprivrednih uređaja koji koriste automatsku kontrolu, kao što su kultivatori, sijačice, sadilice i drugi. Kontrola poljoprivrednog priključka uključuje kontrolu puta priključka i kontrolu operacije koju obavlja. Kontrola puta priključka se često naziva i vođenjem priključka. Cilj vođenja priključka je održavati ga na zadanom putu. Zbog zanošenja priključka uzrokovanog različitim vrstama tala, gravitacije pri nagnutim tlima, smjer puta priključka može se razlikovati od smjera puta traktora. Stoga postoje dvije vrste upravljanja priključkom. Prvi je aktivni upravljački sustav, koji automatski ispravlja priključak prema liniji kretanja uz pomoć povratnih informacija od upravljačkih mehanizama. Aktivni sustav upravljanja zahtjeva senzor za detektiranje lokacije na priključku (GPS ili senzori vida) i zahtjeva da je priključak upravljiv. Drugi tip upravljanja priključkom je pasivni sustav. Pasivni sustav ne zahtjeva upravljačke mehanizme na priključku, a korekcija zanošenja priključka podešava se prilagođavanjem puta traktora. Stoga pasivno upravljanje zahtjeva dobar model odnosa traktor – priključak, a može i ne mora imati na sebi senzor za detekciju lokacije na priključku. Oba sustava su danas komercijalno dostupni (Link 7.).

Sustavi navođenja priključka kontroliraju upravljanje i položaj traktora, a ponekad i kontroliraju upravljanje samog priključka, a ne i traktora (Oksanen i Backman, 2016.). Aktivno vođenje priključka, kojim se upravlja neovisno o traktoru, može biti osobito korisno u autonomnom sustavu, dopuštajući da navođenje stroja djeluje donekle neovisno o sustavu navođenja vozila. *John Deere* sustav *iGuide* (Slika 53.) pruža pasivno usmjeravanje stroja kako bi se osiguralo da je stroj pravilno postavljen. GNSS prijemnik postavljen na priključak komunicira sa sustavom *AutoTrac* traktora, koji prilagođava navođenje traktora radi održavanja ispravnog položaja priključka. Sustav *iSteer* pruža aktivno navođenje priključka u kojem se hidraulika ugrađena na stroju koristi za fino podešavanje položaja. Sustavi za navođenje priključaka *Case IH* i *New Holland AFS TrueGuide* i *TrueTracker*, koje je razvio *Trimble*, pružaju navođenje priključkom kroz integraciju sa sustavom navođenja traktora. *TrueGuide* (Slika 54.) podešava položaj traktora za pravilno postavljanje stroja. Dok se *TrueGuide* smatra pasivnim navođenjem priključka, *TrueTracker* se smatra aktivnim navođenjem priključka jer koristi hidrauliku montiranu na stroju za kompenzaciju terena za pružanje neovisnosti priključka. Nekoliko tvrtki specijalizirano je za navođenje priključka koji se mogu prilagoditi različitim tipovima traktora. Na primjer, *MBW Products* čini *ProTrakker* (Slika 55.) sustav za navođenje priključaka, *LaForge Systems* čini sustav *Dynatrac* (Slika 56.), a *Sunco Farm Equipment* čini sustav *Acura Trak* (Slika 57.) (A. Thomasson i sur., 2019.).



Slika 53. Poravnavanje pravca kretanja traktora i priključka pomoću sustava *iGuide* i *iSteer*
(Izvor: <https://www.landtechnikmagazin.de/sonstige-Landtechnik-XLBild-Arbeiten-ohne-iGuide-fuer-John-Deere-Lenksystem-AutoTrac-am-Seitenhang-9303-1031.php>)



Slika 54. *TrueGuide* pasivno reduciranje zanošenja priključka, proizvođač *Case*
(Izvor: <https://www.caseih.com/northamerica/en-us/products/advanced-farming-systems/auto-guidance/additional-steering-solutions>)



Slika 55. *ProTrakker* priključak priključna poteznica za upravljanje priključkom
(Izvor: <http://www.protrakker.com/400DB-system/default.aspx>)



Slika 56. *Dynatrac* poteznica sa kamerom za reduciranje zanošenja priključka
(Izvor: <https://www.laforgegroup.com/en/dynatrac-2/>)



Slika 57. *Acura Trak* priključni sustav za upravljanje priključkom
(Izvor: <https://www.bigiron.com/Lots/SuncoAcuraTrak3NE3-PtGuidanceSystem-2>)

Upravljačka jedinica

Glavni kontroler ili upravljačka jedinica je zadužena za precizno upravljanje vozilom, koordiniranje radnji vozilom i održavanje komunikacije s operaterom (vozačem). Osim toga kontroler integrira velik broj pod sustava, kao što su hidraulički sustavi, električni sustavi i slično. Integracija različitih sustava temeljene na različitim komunikacijskim tehnologijama, operativnim sustavima i programskim jezicima dovodi do pitanja organizacije hardverske i softverske arhitekture, koja može biti centralizirana ili distribuirana, komercijalna ili otvorenog pristupa. Ovakve opcije imaju svoje prednosti i nedostatke koji se mogu naći u svim tehničkim materijalima (Emmi i sur, 2014.).

Primjer upravljačkog sustava koji se može naknadno ugraditi u vozilo je potpuno integriran sustav, *AutoTrac* upravljački sklop koji donosi navođenje visoke preciznosti u mješovite vozne parkove (Link 7.).

3.5.1. Implementacija autonomnih sustava u konvencionalna vozila

Prvi pristup sastoji se od naknadne ugradnje komercijalnih poljoprivrednih traktora s:

- 1) pokretačima za upravljanje gasom i upravljanjem vozila,
- 2) senzori za dobivanje informacija o okruženju i samo poziciji vozila,

- 3) računala za upravljanje podacima dobivenim od senzora (uključujući samo - lokalizaciju), generiranu putanju (planiranje) i slijed putanje do upravljanja pokretačima (upravljanja).

Ove komponente omogućuju vozilima autonomnu navigaciju. Računalo također upravlja komunikaciju s rukovateljima i vanjskim poslužiteljima te kontrolira različite elemente poljoprivrednih oruđa koje vozilo nosi ili vuče. Tablica 2 sadrži autonomna vozila izgrađena slijedeći ovaj pristup (G. Pablo i sur., 2020.).

Tablica 2. Poljoprivredni autonomni roboti temeljeni na naknadnoj ugradnji konvencionalnih vozila

Institucija i godina	Karakteristike i aplikacija
Sveučilište Stanford (Sjedinjene Američke Države), 1996.	Sustav automatskog upravljanja razvijen je i testiran na velikoj farmi traktor pomoću četiri GPS antene
Sveučilište Illinois (Sjedinjene Američke Države), 1998.	Sustav navođenja stvoren integriranjem senzora temeljenog na stroju vida, kinematički GPS u stvarnom vremenu (RTK-GPS) i geometrijski smjer senzora. Metoda fuzijske integracije temeljila se na proširenom Kalmanovom filteru i statičkoj metodi dvodimenzionalne funkcije vjerojatnosti.
Sveučilište Carnegie - Mellon (Sjedinjene Američke Države) - Projekt Demeter, 1999.	Samohodni kombajn za sijeno za poljoprivredne operacije. Podaci o položaju spojeni su sa DGPS - om (GPS), kao i koder kotača (mrtva računica) i senzori žiroskopskog sustava.
Sveučilište Carnegie - Mellon (Sjedinjene Američke Države) - Autonomni projekt prskanja u poljoprivredi, 2002.	Cilj je bio automatizirati terenska vozila za prskanje pesticida radi postizanja sustava koji je znatno jeftiniji, sigurniji, i prijateljski prema okolišu. Udaljeni rukovatelj može nadzirati noćni rad do četiri vozila za prskanje.
LASMEA - CEMAGREF (Francuska), 2001.	Ova je studija istraživala mogućnost postizanja vođenja vozila pomoću DGPS -a kao nosioca faze

	jedinog senzora.
Sveučilište Florida (Sjedinjene Američke Države), 2006.	Autonomni sustav navođenja za upotrebu u agrumu razvijen na temelju strojnog vida (prosječna pogreška navođenja od približno 0,028m) i laserskog radara (prosječna pogreška navođenja od približno 0,025m). Sustav je testiran na zakrivljenoj putanji sa brzinom od približno 3,1 m/s ⁻¹
Sveučilište u Aarhusu i Sveučilište u Kopenhagenu (Danska), 2008.	Automatski sustav za suzbijanje korova unutar reda spojen je na traktor bez rukovatelja i povezan preko hidrauličkog okvira sa bočnim pomicanjem pričvršćen na stražnju spojnicu vozila u tri točke
RHEA (Robotske flote za efektivno upravljanje poljoprivredom i šumarstvom), 2014.	Automatizacija i senzorska integracija flote (tri jedinice) traktora koji suzbijaju korove fizički / kemijski i apliciranje pesticida po stablima.
Sveučilište Carnegie - Mellon (Sjedinjene Američke Države), 2015.	Samoupravljujuća vozila u voćnjacima; obrezivanje stabljika, prorjeđivanje cvjetova i plodova, berba plodova, košnja, prskanje.
Sveučilište u Leuvenu (Belgija), 2015.	Vođenje traktora primjenom modela za predviđanje dinamike skretanja

(Izvor: G. Pablo i sur., 2020.).

3.5.2. Primjena potpuno autonomnih vozila u poljoprivredi

Robot obično podrazumijeva elektromehanički stroj koji se može kretati, izvoditi operacije pomoću članka udova, osjećati vanjske podražaje i fizički utjecati na svoju okolinu (Zutven i sur., 2009.).

Na slici 58. prikazana je shema upravljanja: Nezavisno upravljanje kotači u 1-DOF nogama (noge kotača).

Primjene: Opći poljoprivredni zadaci



Slika 58. BoniRob robot vrši pregled usjeva

(Izvor: <https://www.semanticscholar.org/paper/Navigation-System-of-the-Autonomous-Agricultural-%E2%80%9C-Biber-Weiss/e85b58686704f355f1d755bb4757a3e1909e4e78/figure/0>)

Na slici 59. prikazana je shema upravljanja: Dva prednja klizna upravljača i dva stražnja kotača.

Primjene: Zadaci gnojenja u velikim hortikulturnim usjevima; suzbijanje korova: otkriva, razvrstava i uništava korove kemijski ili mehanički



Slika 59. AgBot II robot pregledava i suzbija korov

(Izvor: <https://syncedreview.com/2017/05/16/mixtures-of-lightweight-deep-convolutional-neural-networks-application-in-agricultural-robotics>)

Na slici 60. prikazana je shema upravljanja: Nezavisni upravljači.

Primjene: Procjena usjeva pomoću hiperspektralnih kamera, toplinskih i infracrveni sustava za otkrivanje te panoramske i stereovizijske kamere, LIDAR i GPS)



Slika 60. Ladybird robot pregledava zdravlje usjeva

(Izvor: <https://www.stockjournal.com.au/story/4061108/world-first-trial-of-ladybird-robot-in-sa-crop/>)

Na slici 61. prikazana je shema upravljanja: Nezavisno upravljanje/vučni kotači.

Primjene: Redovito ponavljani poslovi u poljoprivredi i hortikulturi



Slika 61. Greenbot, košnja livada, voćnjaka i vinograda

(Izvor: <https://precisionmakers.com/en/greenbot>)

Na slici 62. prikazana je shema upravljanja: Nezavisno upravljanje/vučni kotači.

Primjene: Samostalna uporaba u zatvorenim nasadima voća i vinogradima. Suzbijanje štetočina u tlu, gnojidba, žetva i transport



Slika 62. Cäsar, robot koji obavlja opće poslove u voćnjaku i vinogradu
(Izvor: <https://www.raussendorf.de/en/fruit-robot.html>)

Na slici 63. prikazana je shema upravljanja: Nezavisno upravljanje/vučni kotači.

Primjene: Industrija uzgoja povrća; točkasto prskanje korova pomoću usmjerene tekućine (mikrodoza)



Slika 63. Rippa robot, kemijsko suzbijanje korova
(Izvor: <https://robot.cfp.co.ir/en/newsdetail/335>)

Na slici 64. prikazana je shema upravljanja: Klizni upravljači.

Primjene: Precizna sjetva i mehaničko čišćenje međurednih usjeva



Slika 64. Vibro Crop Robotti, robot za mehaničko suzbijanje korova

(Izvor:

https://www.sdu.dk/en/om_sdu/fakulteterne/teknik/nyt_fra_det_tekniske_fakultet/radrenserro_bottillandbruget)

Na slici 65. prikazana je shema upravljanja: Nezavisno upravljanje/vučni kotači.

Primjene: Košnja, prorjeđivanje lišća, podrezivanje, u vinogradima



Slika 65. Naïo robot, prorjeđivanje lišća u vinogradu

(Izvor: <https://agfundernews.com/vive-la-agrobolution-naio-tech-raises-e14m-series-a-to-build-more-agri-robots.html>)

3.5.3. Flote robota

Flote robota mogu pružiti brojne prednosti. Korištenje grupa robota koji međusobno surađuju da bi ostvarili određeni zadatak je sve veći i nužniji koncept pri uvođenju autonomnih sustava u svakodnevne poljoprivredne zadatke. Uvođenje kompleksnih i skupih sustava postaje atraktivno na velikim proizvodnim površinama na kojima pametni strojevi mogu zamijeniti skupi i ponavljajući rad. Međutim, za primjenu poljoprivrednih robota, potrebno je obraditi značajnu količinu podataka, te je potrebno kontrolirati velik broj aktivirajućih signala što može dovesti do velikog broja tehničkih poteškoća. Zbog toga je bitno ograničiti da povećanje broja uređaja (senzori, aktuatori i računala ili kontroleri) bude u korelaciji s brojem robota u floti, a time se smanjuje vrijeme kvarova, jer zatajenje jedne komponente uzrokuje stajanje cijele flote.

3.5.4. Internet tehnologije za budućnost poljoprivrede

Trenutno ne postoji široko prihvaćena definicija umjetne inteligencije (UI), ali sposobnost stroja (obično računala) da može oponašati inteligentno ljudsko ponašanje daje uvid u značenje pojma. UI koristi se intenzivno u robotici, posebno u navigaciji mobilnih robota, ali također ima potencijala u tvornicama: provjera kvalitete, predviđanje kvarova, predviđanje održavanja, digitalni blizanci, analiza utjecaja na okoliš, uporaba podataka, što se može u preciznoj poljoprivredi (Nirmala i sur., 2017.).

IoT (*Internet of Things*) je računalni koncept koji još nije precizno definiran kako bi opisao koliko se fizički objekti mogu povezati s internetom i identificirati sa drugim uređajima. Ova komunikacija se ostvaruje putem senzorskih i bežičnih tehnologija, kao i RFID - om (identifikacija radiofrekvencije) i QR -om kodovima (brzi odgovor). U CPS (*Cyber - Physical Systems* - "Cyber" - fizički sustav) - ima su fizički uređaji povezani putem IoT -a, dok su virtualni uređaji povezani putem Interneta. (Ochoa i sur., 2017.).

"Cyber" - fizički sustav je integracija računanja u fizičke procese. Računanje se sastoji ugrađenog hardvera i komunikacijskih mreža koje prate i kontroliraju fizičke procese u zatvorenoj petlji. Stoga se CPS sastoji od samog procesa, hardvera i softvera. Ugrađen hardver čini fizički uređaj, a softver se smatra virtualnim uređajem. Fizičke uređaje formiraju senzori, kontroleri, računala, uređaji za prikupljanje podataka, komunikacijska mreža.

Virtualni uređaj sastoji se od matematičkih modela koji predstavljaju ponašanje fizičkog uređaja i odgovarajuće algoritme upravljanja (Lee, 2008.).

Upravljanje velikim skupovima podataka zahtijeva posebne računalne i skladišne alate, tehnike u računalnom oblaku pružaju, brze, ekonomične i sigurne mehanizme za to. Računalni oblak je definiran od strane Nacionalnog instituta za standarde i tehnologiju kao „model za omogućavanje prikladnog pristupa mreži na zahtjev zajedničkom bazenu konfiguriranih računalnih resursa - npr. mreže, poslužitelji, aplikacije i usluge za pohranu - koji se mogu brzo osigurati i biti objavljeni uz minimalnu upravu ili interakciju s pružateljem usluga ” (Mell i sur., 2009.).

Rješenja u računalnom oblaku mogu se implementirati kao (Jadeja i sur., 2012.):

- 1) javni oblak u kojem je omogućen pristup putem sučelja u postupku plaćanja po upotrebi,
- 2) privatni oblak,
- 3) hibridni oblak, koji kombinira javne i privatne značajke oblaka.

Davatelji usluga oblaka upravljaju računalnom infrastrukturom hardvera i softvera za pružanje usluga prema zahtjevnima korisnika putem interneta koji nude tri vrste usluga (Jadeja i sur., 2012.): softver kao uslugu (SaaS), platformu kao uslugu, PaaSinfrastrukturu kao uslugu (IaaS).

5. ZAKLJUČAK

Kao posljedica razvoja elektronike, robotike, satelitskih i navigacijskih sustava, ukazala se prilika i za razvojem naprednih sustava i tehnologija u poljoprivredi. Intenzivniji razvoj novih poljoprivrednih sustava idealno se dogodio u vrijeme kada se pojavila potreba za smanjenjem konvencionalnog pristupa pri obavljanju operacija na poljima od priprema tla pa sve do žetve. Uvođenjem novih trendova u poljoprivredu ne samo da se povećava iskoristivost polja i sama zarada nakon obavljenog posla, već se produljuje i eksploatacijski vijek proizvodnih područja. Jedna od najvažnijih prednosti pri razvoju „pametnih“ strojeva i vozila je povećanje kvalitete rada i života poljoprivrednika, vozača i operatera strojevima.

Automatski vođena vozila su napredak u sigurnosti pri obavljanju zadanih operacija, te povećavaju preciznost i kvalitete rada. Takva vozila su osmišljena kako bi bila samo pomoć vozačima i drugim djelatnicima, da bi s vremenom prerasla u autonomne strojeve u kojima je vozač u ulozi svojevrsnog kontrolora ili operatera koji ne upravlja ručno strojem, već samo zadaje naredbe. Ovakvo navođeni strojevi su pri mnogim operacijama precizniji od ručno upravljanih strojeva i zbog svih svojih senzora i računalnih sustava „vide“ i ono što čovjek ne vidi. Raspoznavanje bujnosti vegetacije i količine hraniva u tlu samo su neki od parametara koje raspoznaju dobro opremljeni sustavi, te pomoću njih moguće je kvalitetnije pristupiti tlu, vegetaciji, korovima i štetnicima. Ovakvi sustavi su u svojim začetcima bili većini gospodarstvenika ne isplativi i ne realni, no kako vrijeme odmiče sve je više poljoprivrednika koji uviđaju važnost u ovakvim sustavima. Tako da se ovakvim sustavima okreće sve veći dio poljoprivrednika koji su svjesni da bez konstantnog obrazovanja, novih sustava i modernih metoda u rješavanju svakodnevnih problema nema ozbiljnog i konkurentnog poljoprivrednika.

6. POPIS LITERATURE

Radovi u časopisu

- Almeida Bessa, J., Almeida Barroso, D., Rego Da Rocha Neto, A., Ripardo De Alexandria, A. (2015.): Global location of mobile robots using Artificial Neural Networks in omnidirectional images. *IEEE Latin American Transactions*. 13(10), 3405 – 3414
- Baćac, Nikola (2019.): Mehatronički sustav za provjeru kvalitete ispisa 2d datamatrix oznake. *Polytechnic and design*, 7(1), 18 – 24.
- Bechar, A.; Vigneault, C. (2016.): Agricultural robots for field operations: Concepts and components. *Biosystems Engineering*, 149, 94 – 111.
- Bechar, A., Vigneault, C. (2017.): Agricultural robots for field operations. Part 2: Operations and systems. *Biosystems Engineering*, 153, 110 – 128.
- Bergerman, M.; Maeta, S.M.; Zhang, J.; Freitas, G.M.; Hamner, B.; Singh, S.; Kantor, G. (2015.): Robot Farmers: Autonomous Orchard Vehicles Help Tree Fruit Production. *IEEE Robotics & Automation Magazine*, 22(1), 54 – 63.
- Chirikjian, G.S.; Burdick, J.W. A Hyper (1994.): A model approach to hyper – redundant manipulator kinematics. *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, 10(3), 343 – 354.
- David, Reiser; El-Sayed, Sehsah; Oliver, Bumann; Jörg, Morhard, Hans W., Griepentrog (2019.): Development of an Autonomous Electric Robot Implement for Intra-Row Weeding in Vineyards. *Agriculture*, 9(1), 18.
- De Simone, M. C., Rivera, Z. B., Guida, D. (2018.): Obstacle avoidance system for unmanned ground vehicles by using ultrasonic sensors. *Machines*, 6(2), 18.
- Duckett, Tom, Pearson, Simon, Blackmore, Simon, Grieve, Bruce (2018.): Agricultural Robotics: The Future of Robotic Agriculture. ArXiv preprint arXiv: 1806.06762
- Ehlers, S. G., Field, W. E. (2017.): Determining the effectiveness of mirrors and camera systems in monitoring the rearward visibility of self-propelled agricultural machinery. *Journal of agricultural safety and health*, 23(3), 183 – 201.
- Emmi, Luis; Gonzalez - de – Soto, Mariano; Pajares, Gonzalo; Gonzales – de – Santos, Pablo (2014.): New trends in robotics for Agriculture: Integration and Assessments of a real fleet of robots. *The Scientific World Journal*.
- Fehr, B. W., Gerrish, J. B. (1995.): Vision-guided row-crop follower. *Applied Engineering in Agriculture*, 11(4), 613 – 620.

Gerrish, J. B., Fehr, B. W., Van Ee, G. R., Welch, D. P. (1997.): Selfsteering tractor guided by computer-vision. *Applied Engineering in Agriculture*, 13(5), 559-563.

Gan-Mor, S.; Upchurch, B.L.; Clark, R.L.; Hardage, D. (2002.): Implement guidance error as affected by field conditions using automatic DGPS tractor guidance (No. 021153). ASAE Paper.

Gonzalo, Pajares, Iván, García-Santillán, Yerania, Campos, Martín, Montalvo, José, Miguel Guerrero, Luis; Emmi, Juan, Romeo, María, Guijarro, Pablo, Gonzalez-de-Santos (2016.): Machine-Vision Systems Selection for Agricultural Vehicles: A Guide. *Journal of Imaging*, 2(4), 34.

Gonzalez-De-Santos, P.; Ribeiro, A.; Fernandez-Quintanilla, C.; Lopez-Granados, F.; Brandstoetter, M.; Tomic, S.; Pedrazzi, S.; Peruzzi, A.; Pajares, G.; Kaplanis, G. (2016.): Fleets of robots for environmentally-safe pest control in agriculture. *Precision Agriculture*, 18(4), 574 – 614.

Han, S., Zhang, Q., Noh, H., Shin, B. (2004.): A dynamic performance evaluation method for DGPS receivers under linear parallel-tracking applications. *Transactions of the ASAE*, 47(1), 321.

Jerbić, Bojan (2013.): A gdje smo mi u tome. *Časopis Open InfoTrend*, 6-11.

Kayacan, E., Kayacan, E., Ramon, H., Saeys, W. (2015.): Towards agrobots: Identification of the yaw dynamics and trajectory tracking of an autonomous tractor. *Computers and Electronics in Agriculture*, 115, 78 – 87.

Kos, T., Grgić, M., Krile, S.(2004): Hiperbolni i satelitski sustavi za navigaciju. *Naše more: znanstveni časopis za more i pomorstvo*, 51(5 – 6), 189 – 199.

Kviz, Z., Kroulik, M. (2017.): Automatic guidance systems in agricultural machinery as a tool for drivers' mental strain and workload relief. *Research in Agricultural Engineering*, 63(Special Issue), S66 – S72

Li, W.; Wang, J.(2014.): Magnetic Sensors for Navigation Applications. *The Journal of Navigation*, 67(2), 263 – 275.

Lin, J.; Luo, C.-H.; Lin, K.-H. (2015.): Design and Implementation of a New DELTA Parallel Robot in Robotics Competitions. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 12(10), 153.

Lušić, Zvonimir; Kos, Serđo; Krile, Srećko (2008.): Strukturna analiza metoda pozicioniranja na moru. *Naše more*, 55(1/2), 3.

Matese A, Di Gennaro S.,F. (2015.): Technology in precision viticulture: a state of the art review. *International journal of wine research* 7. 69 – 81.

Mell, P.; Grance, T. (2011.): The NIST Definition of Cloud Computing. National Institute of Standards and Technology. Information Technology Laboratory.

Nirmala, G.; Geetha, S.; Selvakumar, S. (2016.): Mobile Robot Localization and Navigation in Artificial Intelligence: Survey. *Computational Methods in Social Science*, 4(2), 12.

Nørremark, M.; Griepentrog, H.; Nielsen, J.; Søgaard, H. (2008.): The development and assessment of the accuracy of an autonomous GPS-based system for intra-row mechanical weed control in row crops. *Biosystems engineering*, 101(4), 396 – 410.

Ochoa, S.F.; Fortino, G.; Di Fatta, G. (2017.): Cyber-physical systems, internet of things and big data. *Future Generation Computer Systems*, 75, 82 – 84.

Pablo, Gonzalez-de-Santos, Roemi, Fernández, Delia, Sepúlveda, Eduardo, Navas, Luis, Emmi, Manuel, Armada (2020.): Field Robots for Intelligent Farms—Inhering Features from Industry. *Agronomy*, 10(11), 1638.

Patel, P.N.; Patel, M.A.; Faldu, R.M.; Dave, Y.R. (2013.): Quadcopter for Agricultural Surveillance. *Advance in Electronic and Electric Engineering*, 3(4), 427-432.

Pilarski, T.; Happold, M.; Pangels, H.; Ollis, M.; Fitzpatrick, K.; Stentz, A. (2002.): The Demeter System for Automated Harvesting. *Autonomous Robots*. 13(1), 9 – 20.

Reid, J. F., Zhang, Q., Noguchi, N., & Dickson, M. (2000.): Agricultural automatic guidance research in North America. *Computers and electronics in agriculture*, 25(1 - 2), 155 - 167.

Keicher, R., Seufert, H. (2000.): Automatic guidance for agricultural vehicles in Europe. *Computers and electronics in agriculture*, 25(1 - 2), 169 - 194.

Samuel, Gan-Mor, Rex, L., Clark, Bruce, L., Upchurch (2007.): Implement lateral position accuracy under RTK-GPS tractor guidance. *Computers and Electronics in Agriculture*, 59(1 – 2), 31 – 38.

Schertz, C.; Brown, G. (1968.): Basic Considerations in Mechanizing Citrus Harvest. *Transaction of the ASAE*, 11(3), 343 – 346.

Shichao, Jin; Xiliang, Sun; Fangfang, Wu; Yanjun, Su (2021.): Lidar sheds new light on plant phenomics for plant breeding and management: Recent advances and future prospects. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 171, 202 – 223.

Solarić, Miljenko; Solarić, Nikola (2009.): Povijesni pregled uporabe magnetskoga kompasa, osnovni princip rada elektroničkoga kompasa i autonavigacije. *Geodetski list*, 63(2), 89 – 776.

Subramanian, V.; Burks, T.F.; Arroyo A. A. (2006.): Development of machine vision and laser radar based autonomous vehicle guidance systems for citrus grove navigation. *Computers and electronics in agriculture*, 53(2), 130 – 143.

Spekken, M., de Bruin, S., Molin, J. P., Sparovek, G. (2016.): Planning machine paths and row crop patterns on steep surfaces to minimize soil erosion. *Computers and electronics in Agriculture*, 124, 194 – 210.

Stajanko, Denis (2018.): Mogućnost povećanja učinkovitosti pripreme tla i sjetve ozimih žita pomoću tehnologije precizne poljoprivrede. *Glasnik Zaštite Bilja*, 41(5), 20 – 27.

Stentz, A.; Dima, C.; Wellington, C.; Herman, H.; Stager, D. (2002.): A System for Semi-Autonomous Tractor Operations. *Autonomous Robots*, 13(1), 87 – 104.

Tang, L.; Wang, J.; Zheng, Y.; Gu, G.; Zhu, L.; Zhu, X. (2017.): Design of a cable-driven hyper-redundant robot with experimental validation. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 14(5),

Tillett, N. (2006.): Video camera based precision guidance: Development and applications to field crops. *Journal of The Royal Agricultural Society of England* 167.

Vazquez-Arellano, M., Griepentrog, H. W., Reiser, D., Paraforos, D. S. (2016.): 3-D imaging systems for agricultural applications – a review. *Sensors*, 16(5), 618.

Wei, J., Rovira – Mas F., Reid, J. F. (2005.): Obstacle detection using stereo vision to enhance safety of autonomous machines. *Transaction of the ASAE*, 48(6), 2389 – 2397.

Yurni, Oktarina, Tresna, Dewi, Pola, Risma Muhammad, Nawawi (2020.): Tomato Harvesting Arm Robot Manipulator. A pilot project. In *journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1500, No. 1, p. 012003). IOP Publishing

Zhang, C., Noguchi, N. (2016.): Cooperation of two robot tractors to improve work efficiency. *Advances in Robotics and Automation*, 5(11).

Zelenika, R. (2005.): *Logistički sustavi*. Ekonomski fakultet u Rijeci, Rijeka

Zutven, P., Kostic, D., Nijmeijer, H. (2009.): Modeling, identification and stability of humanoid robots. *Univ. Technologica Eindhoven*, 90.

Radovi u zborniku

Abidine, A.Z., Heidman, B.C., Upadhyaya, S.K., Hills, D. J. (2002.): Application of RTK GPS based auto-guidance system in agricultural production. *Zbornik radova*. American Society of Agricultural and Biological Engineers St. Joseph, MI.

Alex Thomasson, J., Craig P. Baillie, Diogenes L. Antille, Craig R. Lobsey, Cheryl L. McCarthy (2019.): *Autonomous Technologies in Agricultural Equipment: A Review of the State of the Art*. *Zbornik radova*. Agricultural Equipment Technology Conference. Luisville.

Bidaud, P.; Tokhi, M. O.; Virk, G. S. (2011.): *Field robotics*. World scientific. London.

Freitas, G., Hamner, B., Bergerman, M., Singh, S. (2012.): A practical obstacle detection system for autonomous orchard vehicles. IEEE/RSJ international conference on intelligent robots and systems, 3391 - 3398

Gan-Mor, S.; Clark, R.L. (2001.): DGPS-based automatic guidance implementation and economical analysis. ASAE Annual Meeting (p. 1). American Society of Agricultural and Biological Engineers.

Jan, Bontsema, Jochen, Hemming, Erik, Pekkerie (2014.): CROPS: high tech agricultural robots. International Conference of Agricultural Engineering, Zurich.

Iossifidis, I.; Steinhage, A. (2001.): Controlling an 8 DOF Manipulator by Means of Neural Fields. International Conference on Field and Service Robotics. Helsinki, Finland.

Jadeja Y., K. Modi (2012.): Cloud computing - concepts, architecture and challenges. International Conference on Computing, Electronics and Electrical Technologies (ICCEET). 877-880.

Lee, E.A. (2008): Cyber Physical Systems: Design Challenges. International Symposium on Object and Component-Oriented Real-Time Distributed Computing (ISORC). Orlando, FL, USA, 363–369.

Merlet, J.-P. (2000.): Parallel Robots. Open problems. In robotics research. London, 27 – 32.

Noguchi, N., Reid, J.F., Will, J., Benson, E.R., Stombaugh, T.S. (1998.): Vehicle automation system based on multi-sensor integration. Annual International Meeting (ASAE). Orlando, FL, USA, paper, 983111.

O'Connor, M.; Bell, T.; Elkaim, G.; Parkinson, B. (1996.): Automatic Steering of Farm Vehicles Using GPS. Third International Conference on Precision Agriculture, Madison, WI, 767 – 777.

Pratt, G.A.; Williamson, M.M. (1995.): Series elastic actuators IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. Human Robot Interaction and Cooperative Robots. Pittsburgh, PA, 1, 399 – 406.

Reid, J.F., Searcy, S.W. (1987.): Vision-based guidance of an agricultural tractor. American Control Conference, 931 – 937. IEEE

Rovira – Mas F., Wahg, Q., Zhang, Q. (2007.): Design of stereo perception systems of automation of off – road vehicles. ASAE Annual Meeting (p. 1). American Society of Agricultural and Biological Engineers.

Thuilot, B.; Cariou, C.; Cordesses, L.; Martinet, P. (2001.): Automatic guidance of a farm tractor along curved paths, using a unique CP-DGPS. IEEE/RSJ International Conference on

Intelligent Robots and Systems. Expanding the Societal Role of Robotics in the the Next Millennium (Cat. No.01CH37180), Maui, HI, USA, (Vol. 2, pp. 674 – 679).

Qin, Zhang; John, Franklin, Reid; Noboru, Noguchi (1999.): Agricultural Vehicle Navigation Using Multiple Guidance Sensors. International conference on field and service robotics (293 – 298).

Qiu, H.C.; Zhang, Q.; Reid, J.F. (1999.): Evaluation of Tri-R Robotic Driver for tractor guidance on corn fields. Agricultural Equipment Technology Conference (pp. 7 – 10).

Knjige

Andrijanić, I., Grgurović, D. (2011.): Poslovna logistika, Visoka škola za ekonomiju, poduzetništvo i upravljanje „Nikola Šubić Zrinski“, Zagreb.

Babić, Luka: (2020.) Robotska ruka upravljana servo motorima i potencimetrima (Završni rad). Veleučilište u Karlovcu. Preuzeto s <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:128:893074>

Biočić P. (2020.) Mogućnosti primjene IoT tehnologija u poljoprivredi, Završni rad. Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike i računarstva

Chang Hyun Choi (1988.): Automatic guidance system for farm tractor. (Doctoral dissertation) Iowa State University

Chikosi, Gerald (2014.): Autonomous guided vehicle for agricultural application. (Doctoral dissertation) Nelson Mandela Metropolitan University.

Čakija, Dino (2003.): Izgradnja lokalne vjerojatnosne karte zauzeća prostora na temelju ultrazvučnih senzora. (Diplomski rad) Sveučilište u Zagrebu, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb.

Ćurković, Andrea (2016): DC motori u mobilnoj robotici (Doktorska disertacija). Sveučilište u Rijeci.

De Silva, C. W. (2007): Sensors and Actuators: Control System Instrumentation. CRC Press.

Dukovac, Ž. (2015): Globalni pozicijski sustav (GPS) (Završni rad). Preuzeto s <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:107:797274>

Han, S., Steward., B., L., Tang, L. (2015.): Intelligent Agricultural Machinery and Field Robots, in Precision Agriculture Technology for Crop Farming. CRC Press, Boca Raton, 133 – 146.

Holland, J. M. (2004.): Designing Autonomous Mobile Robots. Inside the Mind of an Intelligent Machine. Oxford: Newnes Elsevier.

Hughes, A., *Electric Motors and Drives: fundamentals, types and applications*. Burlington: Elsevier Ltd.

Jurišić, Mladen; Plaščak, Ivan (2009): *Geoinformacijske tehnologije GIS u poljoprivredi i zaštiti okoliša*. Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek, Osijek.

Lamkin – Kennard, K. A., Popović, M.B. (2019.): *Sensors: Natural and Synthetic Sensors*. U *Biomechatronics*, 81 – 107.

Natalija, Orlović (2016.): *Viličari u unutarnjem transportu i skladištenju*. (Završni rad). Preuzeto s <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:143:654356>

Parkinson, B., W.; J., J., Spilker Jr. (1996.): *Global Positioning System: Theory and Applications (Volume I)*. American Institute of Aeronautics and Astronautics

Plantosar, M. (2017). *Primjena senzora u električnim strojevima* (Završni rad). Preuzeto s <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:200:559555>

Popović, Mladen (1996.): *Senzori u robotici*. Beograd, Srbija.

Reid, J.F. (1987.): *The development of computer vision algorithms for agricultural vehicle guidance* (Doctoral dissertation, Texas A&T University).

Siegwart, R; Illah. R. N. (2011.): *Introduction to Autonomous Mobile Robots*. Massachusetts: The MIT Press.

Snježana, Prgomet (2017.): *Automatski vođena vozila u unutarnjem transportu i skladištenju* (Završni rad). Preuzeto s <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:143:483354>

Stepanić, J. (2015.): *Zrakoplovni instrumenti za navigaciju*. Zagreb.

Šitin, Marino (2018.): *Upotreba GPS – a u navigaciji* (Završni rad). Preuzeto s <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:164:570642>

Xiangnan, Gong (2017.): *Automatic guided vehicle application: Precision agriculture* (Doctoral dissertation) Faculty of Purdue University.

Poglavlje u knjizi

Alshaer, B. J., Darabseh, T. T., Alhanouti, M. A. (2013.): *Path planning, modeling and simulation of an autonomous articulated heavy construction machine performing a loading cycle*. U: *Applied Mathematical Modelling*. Jordan University of Science and Technology, Jordan, 37(7), 5315 – 5325

Antille, D. L., Chamen, T., Tullberg, J. N., Isbister, B., Jensen, T. A., Chen, G., Baillie, C. P., Schueller, J. K. (2018.): *Precision Agriculture for Sustainability*. Dodds Series in Agricultural Science. Cambridge, U.K

Internet jedinice

MHI Automated Guided Vehicles, <http://www.mhi.org/fundamentals/automatic-guided-vehicles> (15.2.2022.)

Transbotics, <http://www.transbotics.com/products/automatic-guided-vehicles> 1.7.2021.

Induktivni senzori, <https://dokumen.tips/reader/f/induktivni-senzori-567ba52449098> (15.2.2022.)

Link 1. <https://www.agvnetwork.com/unit-load-agv-automated-vehicle> (15.2.2022.)

Link 2. <https://www.peaklogix.com/material-handling-with-automated-guided-vehicles/> (15.2.2022.)

Link 3. <https://www.deere.hr/hr/rjesenja-za-upravljanje-u-poljoprivredi/prijemnici-zaslona/rtk-rjesenja/> (15.2.2022.)

Link4. http://www.deere.com/en_US/products/equipment/ag_management_solutions/guidance/machine_sync/machine_sync.page. (15.2.2022.)

Link 5. <http://etehnicari.blogspot.com/2014/11/hallov-efekt.html> (15.2.2022.)

Link 6. <https://peytonbarbara.wixsite.com/otr-senzori/senzori-blizine> (15.2.2022.)

Link 7. <https://orthman.com/agriculture/implement-guidance/> (15.2.2022.)

<https://italcarrelli.eu/agv> (15.2.2022.)

<https://www.peaklogix.com/material-handling-with-automated-guided-vehicles/> (15.2.2022.)

<https://www.agvnetwork.com/unit-load-agv-automated-vehicle> (15.2.2022.)

<https://www.ellis-systems.com/ellis-systems-pages/industrial-solutions/automated-guided-vehicles/agv-tuggers/> (15.2.2022.)

<https://www.goetting-agv.com/components/inductive/introduction> (15.2.2022.)

<https://www.turck.us/en/rfid-in-an-automated-guided-vehicle-6870.php> (15.2.2022.)

<https://bluebotics.com/agv-navigation-methods-virtual-path-following/> (15.2.2022.)

<https://www.vectornav.com/resources/inertial-navigation-articles/what-is-an-ins> (15.2.2022.)

<https://bluebotics.com/agv-navigation-methods-virtual-path-following/> (15.2.2022.)

<http://etehnicari.blogspot.com/2014/11/hallov-efekt.html> (15.2.2022.)

https://en.wikipedia.org/wiki/Fluxgate_compass#/media/File:Floating_core_fluxgate_inclino_meter_compass_autonnic.jpg (15.2.2022.)

<https://www.analogictips.com/rotary-encoders-part-1-optical-encoders/> (15.2.2022.)

<https://proelektronika.hr/proizvodi/senzori/senzori-induktivni-senzori/induktivni-senzori/> (15.2.2022.)

<https://dokumen.tips/reader/f/induktivni-senzori-567ba52449098> (15.2.2022.)

<https://hr.puntomariner.com/reed-sensors-principle-of-operation/> (15.2.2022.)

https://www.omron-ap.com/service_support/technical_guide/photoelectric_sensor/index.asp (15.2.2022.)

<https://cn.made-in-china.com/gongying/pft1617-XKvJyNMHIDcE.html> (15.2.2022.)

https://www.researchgate.net/figure/Hexapod-robot-Weaver-with-its-stereo-camera-system-on-rough-terrain_fig1_305827246 (15.2.2022.)

<https://www.navestar.com/p/ds-4wd-robot-chassis-with-4-tt-motor/> (15.2.2022.)

<https://ustepper.com/store/robotics/34-ustepper-robot-arm-rev-4-full-kit.html> (15.2.2022.)

<https://www.dhgate.com/product/robotic-arm-kit-for-arduino-robot-arm-grab/551706137.html> (15.2.2022.)

https://www.farminguk.com/news/ethical-problems-may-arise-with-farm-robotics-study-says_57100.html (15.2.2022.)

<https://www.dreamstime.com/smart-robotic-agriculture-futuristic-concept-robot-farmers-automation-must-be-programmed-to-work-to-spray-chemical-fertilizer-image108638497> (15.2.2022.)

<https://www.vidi.hr/Pop-Tech/VIDEO-Robot-za-branje-malina> (15.2.2022.)

<https://www.agrotechnomarket.com/2019/01/lidar-usage-for-agriculture.html> (15.2.2022.)

<https://www.evergladesfarmequipment.com/john-deere/agriculture-equipment/precision-agriculture/autotracs%E2%84%A2-rowsense%E2%84%A2/> (15.2.2022.)

<https://omdena.com/projects/ai-weed/> (15.2.2022.)

<https://www.deere.co.uk/en/agricultural-management-solutions/guidance-automation/autotracs-vision/> (15.2.2022.)

<https://www.deere.com.au/en/technology-products/precision-ag-technology/guidance/active-fill-control/> (15.2.2022.)

<https://docplayer.org/53262082-Vorsaeetze-jaguar-vorsatzgeraete-pick-up-direct-disc-orbis-ru-conspeed.html> (15.2.2022.)

https://www.researchgate.net/figure/Figure-showing-laser-land-leveller-a-laser-transmitter-b-laser-receiver-c-power_fig2_333174743 (15.2.2022.)

<https://www.space.com/19794-navstar.html> (15.2.2022.)

<https://www.gps.gov/systems/gps/control/> (15.2.2022.)

<https://sgttt.wordpress.com/2015/08/23/defense-advanced-gps-receiver-dagr/> (15.2.2022.)

<http://www.geobiro.si/wp-content/uploads/2012/11/s9iii.pdf> (15.2.2022.)

<https://www.thedrive.com/reviews/27415/best-gps-navigation-for-cars> (15.2.2022.)

<https://www.automatika.rs/vesti/razno/prvi-koraci-u-primeni-navodjenja-masina-a-b-c.html> (15.2.2022.)

<https://www.deere.hr/hr/rjesenja-za-upravljanje-u-poljoprivredi/prijemnici-zasloni/rtk-rjesenja/> (15.2.2022.)

<https://www.landtechnikmagazin.de/sonstige-Landtechnik-XLBild-Arbeiten-ohne-iGuide-fuer-John-Deere-Lenksystem-AutoTrac-am-Seitenhang-9303-1031.php> (15.2.2022.)

<https://www.caseih.com/northamerica/en-us/products/advanced-farming-systems/auto-guidance/additional-steering-solutions> (15.2.2022.)

<http://www.protrakker.com/400DB-system/default.aspx> (15.2.2022.)

<https://www.laforgegroup.com/en/dynatrac-2/> (15.2.2022.)

<https://www.bigiron.com/Lots/SuncoAcuraTrak3NE3-PtGuidanceSystem-2> (15.2.2022.)

<https://www.semanticscholar.org/paper/Navigation-System-of-the-Autonomous-Agricultural-%E2%80%9C-Biber-Weiss/e85b58686704f355f1d755bb4757a3e1909e4e78/figure/0> (15.2.2022.)

<https://syncedreview.com/2017/05/16/mixtures-of-lightweight-deep-convolutional-neural-networks-application-in-agricultural-robotics> (15.2.2022.)

<https://www.stockjournal.com.au/story/4061108/world-first-trial-of-ladybird-robot-in-sa-crop/> (15.2.2022.)

<https://precisionmakers.com/en/greenbot> (15.2.2022.)

<https://www.raussendorf.de/en/fruit-robot.html> (15.2.2022.)

<https://robot.cfp.co.ir/en/newsdetail/335> (15.2.2022.)

https://www.sdu.dk/en/om_sdu/fakulteterne/teknik/nyt_fra_det_tekniske_fakultet/radrenserro bottillandbruget (15.2.2022.)

<https://agfundernews.com/vive-la-agrobolution-naio-tech-raises-e14m-series-a-to-build-more-agri-robots.html> (15.2.2022.)

7. SAŽETAK

U radu su analizirani i uspoređeni autonomni sustavi u poljoprivredi. U radu se obrađuju različiti autonomni sustavi u poljoprivredi, stupnjevi autonomije takvih sustava. Obradena su automatska transportna sredstva unutarnjeg transporta i sustavi autonomnih vozila u poljoprivredi na otvorenom. Opisan je pogon takvih vozila, njihovi sustavi za orijentaciju u prostoru, te primjena u pojedinim dijelovima poljoprivrede i skladištenju. Najveća pozornost pridodana je autonomnim sustavima na otvorenom, njihovim navigacijskim sustavima te primjeni u poljoprivredi. Tako su obrađeni glavni sustavi za navigaciju, kao što su GPS sustavi, sustavi kamera za navođenje vozila, sustavi strojnog vida, svjetlosne i laserske tehnologije, te njihove kombinacije pri vođenju vozila. Također u radu se obuhvaćaju i moderne, potpuno autonomne robotske tehnologije, koje će u skoroj budućnosti imati veliku važnost u poljoprivredi.

8. SUMMARY

In the paper is the analysis and comparison of autonomous systems in agriculture. The paper deals with different autonomous systems in agriculture, and different degrees of autonomy of such systems. Automatic means of transport of internal transport and systems of autonomous vehicles in outdoor agriculture are covered. The operation of such vehicles, their spatial orientation systems, and their application in certain parts of agriculture and storage are described. The greatest attention is on the autonomous outdoor systems, their navigation systems and their application in agriculture. The main navigation systems, such as GPS systems, vehicle guidance camera systems, machine learning systems, light and laser technologies, and their combinations in driving a vehicle, are covered. The paper also covers modern, fully autonomous robotic technologies, which will be of great importance in agriculture in close future.

POPIS SLIKA

	Stranica
Slika 1. Industrijska transportna platforma	3
Slika 2. Automatski navođen viličar	4
Slika 3. AGV teretna paluba opremljena valjcima	5
Slika 4. Tradicionalni lanac transporterera u usporedbi s AGV transporterima	5
Slika 5. Sigurnija radna okolina uz AGV transportere	6
Slika 6. AGV tegljač sa prikolicama	7
Slika 7. Žični sustav navođenja	8
Slika 8. Magnetna traka za navođenje	8
Slika 9. Lasersko određivanje pozicije u prostoru	9
Slika 10. Kontrolni modul uređaja sa inercijskim navođenjem	..9
Slika 11. Lasersko detektiranje prostora	10
Slika 12. Kompas na principu Hallovog senzora	12
Slika 13. Osnovni elementi magnetomjernog kompasa	13
Slika 14. Svjetlosni senzor za mjerenje kutne brzine	14
Slika 15. princip rada infracrvenog senzora	15
Slika 16. Induktivni senzori	16
Slika 17. Osnovni elementi induktivnog senzora	16
Slika 18. Reed senzor	17
Slika 19. Princip rada difuznog, retrorefleksivnog i predajnik – prijemnik senzora	18
Slika 20. Senzor za kontrolu usjeva	19
Slika 21. Različite vrste senzora	20
Slika 22. Transportna platforma sa kotačima	21
Slika 23. Složeni mehanizam kretanja za savladavanje teških terena	22
Slika 24. Pogon robota sa jednostavnim istosmjernim motorima	23
Slika 25. Robotska ruka pogonjena sa koračnim motorima	24
Slika 26. Izvršni element robotske ruke pogonjen servo motorom	25
Slika 27. Robotska ruka kao izvršni element pri pranju rajčice	26
Slika 28. Primjena pesticida u plasteniku robotskom rukom	26
Slika 29. a) paralelna struktura manipulatora; b) struktura delta manipulatora; c) delta manipulator	28
Slika 30. Meki manipulator za branje malina	29

Slika 31. Redundantna robotska ruka sa raspršivačem	30
Slika 32. Ubiranje patlidžana pomoću manipulatora s dvije ruke	30
Slika 33. LIDAR snimka polja, karta prinosa	32
Slika 34. Produljeni vid slijepog kuta vozača na traktoru <i>Deutz Fahr</i>	33
Slika 35. Mehaničko osjetilo za praćenje redova <i>John Deere</i> ovog sustava RowSense	34
Slika 36. Detekcija redova strojnim vidom	35
Slika 37. Raspoznavanje korova od kulturne biljke	35
Slika 38. Položaja kamera u sustavu <i>John Deere</i> AutoTrac Vision	36
Slika 39. Aktivno praćenje punjenja prikolice	37
Slika 40. CAM PILOT <i>Claas</i> 3D sustav kamera	37
Slika 41. Dijelovi sustava laserskog navođenja	40
Slika 42. Mreža satelita u orbiti	43
Slika 43. Raspored zemaljskih kontrolnih stanica	44
Slika 44. prijemnici korišteni za vojne svrhe	45
Slika 45. GPS uređaj za geodetsku primjenu	46
Slika 46. GPS uređaj u automobilu	46
Slika 47. Statička RTK bazna stanica	50
Slika 48. Mobilna RTK stanica	50
Slika 49. Slanje signala i informacija unutar RTK sustava	51
Slika 50. <i>Case</i> IH RTK sustav pokrivenosti	53
Slika 51. Priključna prskalica sa PLC – om upravljanim mlaznicama	57
Slika 52. Priključak za termičko suzbijanje korova upravljani PLC – om	57
Slika 53. poravnavanje pravca kretanja traktora i priključka pomoću sustava iGuide i iSteer	59
Slika 54. TrueGuide pasivno reduciranje zanošenja priključka, proizvođač <i>Case</i>	59
Slika 55. ProTrakker priključak priključna poteznica za upravljanje priključkom	60
Slika 56. Dynatrac poteznica sa kamerom za reduciranje zanošenja priključka	60
Slika 57. Acura Trak priključni sustav za upravljanje priključkom	61
Slika 58. BoniRob robot vrši pregled usjeva	64
Slika 59. AgBot II robot pregledava i suzbija korov	64
Slika 60. Ladybird robot pregledava zdravlje usjeva	65
Slika 61. Greenbot, košnja livada, voćnjaka i vinograda	65
Slika 62. Časar, robot koji obavlja opće poslove u voćnjaku i vinogradu	66
Slika 63. Rippa robot, kemijsko suzbijanje korova	66

Slika 64. Vibro Crop Robotti, robot za mehaničko suzbijanje korova	67
Slika 65. Naïo robot, prorjeđivanje lišća u vinogradu	67

POPIS TABLICA

	Stranica
Tablica 1. Ocjena svojstava pojedinih osjetilnih uređaja na autonomnim vozilima	39
Tablica 2. Poljoprivredni autonomni roboti temeljeni na naknadnoj ugradnji konvencionalnih vozila	62

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku

Diplomski rad

Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek

Sveučilišni diplomski studij, smjer Mehanizacija

Automatski vođena vozila u poljoprivredi

Arian Ćosić

Sažetak:

U radu su analizirani i uspoređeni autonomni sustavi u poljoprivredi. U radu se obrađuju različiti autonomni sustavi u poljoprivredi, stupnjevi autonomije takvih sustava. Obrađena su automatska transportna sredstva unutarnjeg transporta i sustavi autonomnih vozila u poljoprivredi na otvorenom. Opisan je pogon takvih vozila, njihovi sustavi za orijentaciju u prostoru, te primjena u pojedinim dijelovima poljoprivrede i skladištenju. Najveća pozornost pridodana je autonomnim sustavima na otvorenom, njihovim navigacijskim sustavima te primjeni u poljoprivredi. Tako su obrađeni glavni sustavi za navigaciju, kao što su GPS sustavi, sustavi kamera za navođenje vozila, sustavi strojnog vida, svjetlosne i laserske tehnologije, te njihove kombinacije pri vođenju vozila. Također u radu se obuhvaćaju i moderne, potpuno autonomne robotske tehnologije, koje će u skoroj budućnosti imati veliku važnost u poljoprivredi.

Rad je izrađen pri: Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek

Mentor: doc. dr. sc. Domagoj Zimmer

Broj stranica: 87

Broj slika: 65

Broj tablica: 2

Broj literaturnih navoda: 98

Broj priloga: -

Jezik izvornika: Hrvatski

Ključne riječi: Autonomna vozila, automatsko upravljanje, roboti, senzori, transport u poljoprivredi

Datum obrane:

Stručno povjerenstvo za obranu:

1. doc. dr. sc. Domagoj Zimmer, mentor
2. prof. dr. sc. Luka Šumanovac, predsjednik povjerenstva
3. prof. dr. sc. Tomislav Jurić, član

Rad je pohranjen u: Knjižnica Fakulteta agrobiotehničkih znanosti Osijek, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Vladimira Preloga 1.

BASIC DOCUMENTATION CARD

Josip Juraj Strossmayer University of Osijek

Master thesis

Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek

University Graduate Studies, Mechanization

Autonomous guided vehicles in agriculture

Arian Ćosić

Abstract: In the paper is the analysis and comparison of autonomous systems in agriculture. The paper deals with different autonomous systems in agriculture, and different degrees of autonomy of such systems. Automatic means of transport of internal transport and systems of autonomous vehicles in outdoor agriculture are covered. The operation of such vehicles, their spatial orientation systems, and their application in certain parts of agriculture and storage are described. The greatest attention is on the autonomous outdoor systems, their navigation systems and their application in agriculture. The main navigation systems, such as GPS systems, vehicle guidance camera systems, machine learning systems, light and laser technologies, and their combinations in driving a vehicle, are covered. The paper also covers modern, fully autonomous robotic technologies, which will be of great importance in agriculture in the close future.

Thesis performed at: Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek

Mentor: Assistant Professor, Domagoj Zimmer

Number of pages: 87

Number of figures: 65

Number of tables: 2

Number of references: 98

Number of appendices: -

Original in: Croatian

Key words: Autonomous vehicle, autonomous guidance, robots, sensors, transport in agriculture

Thesis defended on date:

Reviewers:

1. Assistant Professor, Domagoj Zimmer
2. Full professor, Luka Šumanovac
3. Full professor. Tomislav Jurić

Thesis deposited at: Library, Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek, Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Vladimira Preloga 1.