

Primjena robota u berbi jagoda

Šimeg, Dominik

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Agriculture / Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:204:350822>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-14**



Repository / Repozitorij:

[Repository Faculty of Agriculture University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
AGRONOMSKI FAKULTET

PRIMJENA ROBOTA U BERBI JAGODA

ZAVRŠNI RAD

Dominik Šimeg

Zagreb, srpanj 2023.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
AGRONOMSKI FAKULTET

Preddiplomski studij:
Poljoprivredna tehnika

PRIMJENA ROBOTA U BERBI JAGODA

ZAVRŠNI RAD

Dominik Šimeg

Mentor: izv. prof. dr. sc. Stjepan Sito

Zagreb, srpanj 2023.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU AGRONOMSKI FAKULTET

IZJAVA STUDENTA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Ja, **Dominik Šimeg**, JMBAG 0178126005, izjavljujem da sam samostalno izradio završni rad pod naslovom:

PRIMJENA ROBOTA U BERBI JAGODA

Svojim potpisom jamčim:

- da sam jedini autor ovoga završnog rada;
- da su svi korišteni izvori literature, kako objavljeni tako i neobjavljeni, adekvatno citirani ili parafrazirani, te popisani u literaturi na kraju rada;
- da ovaj završni rad ne sadrži dijelove radova predanih na Agronomskom fakultetu ili drugim ustanovama visokog obrazovanja radi završetka sveučilišnog ili stručnog studija;
- da je elektronička verzija ovoga završnog rada identična tiskanoj koju je odobrio mentor;
- da sam upoznat s odredbama Etičkog kodeksa Sveučilišta u Zagrebu (Čl. 19).

U Zagrebu, _____

Potpis studenta

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
AGRONOMSKI FAKULTET**

**IZVJEŠĆE
O OCJENI I OBRANI ZAVRŠNOG RADA**

Završni rad studenta **Dominika Šimega**, JMBAG 0178126005, naslova

PRIMJENA ROBOTA U BERBI JAGODA

mentor je ocijenio ocjenom _____.

Završni rad obranjen je dana _____ pred povjerenstvom koje je prezentaciju ocijenilo ocjenom _____, te je student postigao ukupnu ocjenu¹

_____.

Povjerenstvo:

potpisi:

- | | | | |
|----|------------------------------|--------|-------|
| 1. | Izv.prof.dr.sc. Stjepan Sito | mentor | _____ |
| 2. | Izv.prof.dr.sc. Igor Kovačev | član | _____ |
| 3. | Izv.prof.dr.sc. Ante Galić | član | _____ |

¹ Ocjenu završnog rada čine ocjena rada koju daje mentor (2/3 ocjene) i prosječna ocjena prezentacije koju daju članovi povjerenstva (1/3 ocjene).

Sadržaj

1. Uvod	1
2. Robotika	3
3. Mehatronika	4
4. Robotika u poljoprivredi	5
5. Kategorizacija robota.....	6
6. Materijali i metode	7
6.1. Radno okruženje robota.....	7
6.2. Dijelovi robota	7
7. Mehanički i elektronički sustavi.....	9
7.1. Pokretna platforma i navigacija.....	9
7.2. Stacionarni robotski sustav.....	10
7.3. Kombinirani sustav stacionarnog robota i pokretne klupe.....	10
7.4. Mobilni sustav robota.....	10
7.5. Kombinacija sustava pokretne klupe i mobilnog robota.....	10
7.6. Robotska ruka ili manipulator	11
7.7. Krajnji izvršni element	11
7.8. Sustav za upravljanje	13
7.9. Košara za ubrane plodove.....	13
7.10. Sustav kamera	13
7.11. Senzori	16
7.12. Prekidači ograničenja kretanja.....	17
7.13. Ultrazvučni senzori	17
7.14. Optički vlaknasti i fotoelektrični senzori.....	18
7.15. Senzori pritiska	18
7.16. GPS	18
7.17. Računalo, komunikacija i nadzor	18
8. Prednosti i nedostaci robota za berbu jagoda	20
8.1. Povećanje produktivnosti rada.....	20
8.2. Manji troškovi.....	20
8.3. Robot može raditi bez odmora	20
8.4. Precizno i brzo sakupljanje plodova	21
8.5. Poboljšanje radnih uvjeta za radnike	21
8.6. Uvjeti uzgoja ili proizvodnje.....	21
8.7. Nedovoljni algoritmi samoupravljanja	21
8.8. Selektivnost prilikom berbe.....	22
8.9. Potisna sila	22
8.10. Cijena koštanja.....	22

9. Izazovi za industriju	23
10. Budućnost robota u berbi jagoda	24
11. Zaključak	25
12. Popis literature	26
13. Životopis	28

Sažetak

Završnog rada studenta **Dominika Šimega**, naslova

PRIMJENA ROBOTA U BERBI JAGODA

Ovaj rad istražuje primjenu robotskih sustava u berbi jagoda i analizira ekonomsku isplativost u odnosu na ručnu berbu. Iako je tehnologija robotske berbe još u razvoju, očekuje se da će se u budućnosti sve više koristiti zbog prednosti kao što su smanjenje troškova radne snage i povećanje učinkovitosti berbe. Analiza pokazuje da trenutno ručna berba ostaje profitabilnija, ali ako se postignu ciljevi brzine i učinkovitosti berbe, usvajanje robotskih sustava postat će financijski isplativo za velike proizvođače jagoda ili kao usluga prilagođene berbe. Međutim, čak i s usvajanjem tehnologije robotske berbe, ljudski rad će i dalje biti ključan u berbi svježih jagoda na tržištu u Sjedinjenim Državama. Iako postoje tehnički izazovi vezani uz selektivnu berbu osjetljivih zrelih jagoda, vodeći ljudi u industriji optimistični su da će se ručni rad za jagode na kraju nadopuniti robotskim sustavima za berbu na neki način.

Ključne riječi: jagoda, berba, mehatronika, senzor, kamera

Abstract

Of the final work - student **Dominik Šimeg**, entitled

APPLICATION OF ROBOTS IN STRAWBERRY HARVESTING

This paper explores the application of robotic systems in strawberry harvesting and analyzes the economic feasibility compared to manual harvesting. Although robotic harvesting technology is still in development, it is expected to be increasingly utilized in the future due to advantages such as reduced labor costs and increased harvesting efficiency. The analysis shows that currently, manual harvesting remains more profitable, but if the goals of speed and harvesting efficiency are achieved, the adoption of robotic systems will become financially feasible for large strawberry producers or as a customized harvesting service. However, even with the adoption of robotic harvesting technology, human labor will still be crucial in harvesting fresh strawberries in the United States market. Although there are technical challenges related to selective harvesting of sensitive ripe strawberries, industry leaders are optimistic that manual labor for strawberries will eventually be complemented by robotic harvesting systems in some way.

Keywords: strawberry, harvest, mechatronics, sensor, camera

1. Uvod

Rad u poljoprivredi prije je bio ručni, ujedno uz to dosta zahtjevan i mukotrpan. Zato se upravo ovim novim tehnološkim dostignućima omogućilo pojednostavljenje poljoprivredne proizvodnje. Upravo ta primjena robota je poljoprivrednicima omogućila brže i jednostavnije obavljanje poslova, bez prevelike muke.

Primjera primjene robota, odnosno digitalizacije u poljoprivredi ima mnogo, kao što su korištenje robota za mužnju krava, što se danas na veliko primjenjuje. Robot za mužnju krava se koristi na velikim farmama, ali ima i onih manjih koji se upotrebljavaju na manjim gospodarstvima. Ta primjena tehnike omogućuje farmerima jednostavnu, kvalitetnu i brzu mužnju većeg broja krava. Jedni od tih sustava koji se primjenjuju u mužnji krava su tandem izmuzišta, izmuzišta riblja kost i rotacijska izmuzišta (rotolaktor). Isto tako postoje izmuzišta ili roboti koji se primjenjuju u izmuzivanju koza i ovaca. U prostorima gdje obitavaju stoka i ostale domaće životinje, upotrebljavaju se traktori s lopatama ili daskama koji služe za izgnojavanje, te odnose gnoj izvan staje na mjesto gdje se odlaže. Postoje sustavi kao što su oscilirajuća motka, krilni i otklopni čistači koji su ugrađeni u prostorima gdje životinje obitavaju, te služe za odnošenje stajnjaka ili gnojovke. Pogon dobivaju preko elektromotora, odnosno čelično uže koje je spojeno na taj uređaj, gura gnoj do mjesta gdje se odlaže, zatim ga vraća natrag u početni položaj kada završi s radom. Zatim imamo robote koji služe za ubiranje voća i povrća. U primjeni već postoje roboti za berbu jabuka, grožđa, jagoda i drugo. Amerika je jedna od tih koja na veliko koristi robot za berbu jagoda.

Ti roboti su još uvijek u eksperimentalnom korištenju i testiranju. U području povrćarstva također imamo robote, jedna primjena od njih je berba paprike, koja je isto u eksperimentalnom istraživanju i testiranju. Mnoge razvijeniije zemlje koriste bespilotne letjelice (engl. *drone*) koji se koriste u svrhu zaštite usjeva, pojavu štetnika, kontrolu klimatskih uvjeta. Također postoje roboti i bespilotne letjelice koji se koriste za ispitivanje teksture i strukture tla, ujedno i pojavu korova u tlu.

Robotika se sve više upotrebljava danas, prvenstveno u IT sektoru, ali s druge strane već se dosta primjenjuje i u samoj poljoprivredi. Zapravo robotika je područje koje se bavi projektiranjem, upravljanjem i konstruiranjem robota.

Danas se najčešće upotrebljavaju industrijski roboti i to su najviše zastupljeni u automobilskoj industriji. Čija je glavna svrha tih robota sastavljanje vozila ili dijelova vozila, bojanje, odnosno lakiranje, zatim zavarivanje određenih dijelova karoserije, pranje i čišćenje i slični zadatci.

Hrvatska će se također suočiti sa automatizacijom, odnosno primjenom robota u berbi jagoda ako mislimo zadržati jednake cijene voća i povrća u ovom slučaju jagoda. Hrvatska se suočava u smanjenom broju radnika, koje će zamijeniti upravo ti roboti.

U ovom slučaju, korištenje robota u berbi jagoda postaje sve popularniji pristup koji poljoprivrednicima i radnicima omogućuje brže i učinkovitije obavljanje tog napornog rada.

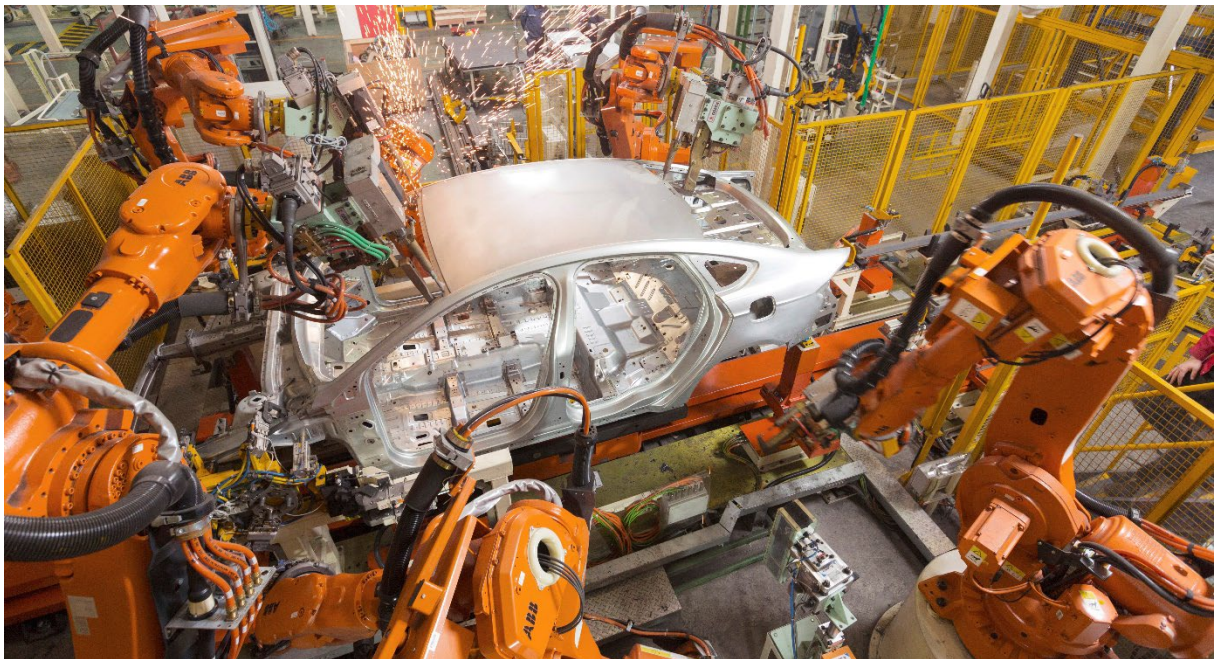
U ovom završnom radu istražit će se primjena robota u berbi jagoda, njihove glavne karakteristike, prednosti i nedostatke. Analizirat će se primjer primjene robota u praksi i pokušati procijeniti njihov utjecaj na proizvodnju i ekonomiju. Također će se istražiti potencijalni izazovi koji se mogu pojaviti prilikom primjene robota u berbi jagoda i razmotriti mogućnosti za daljnji razvoj ove tehnologije.

2. Robotika

Pojam robotika temelji se na projektiranju, konstruiranju, upravljanjem i primjenom robota.

Zasnovana je na mehatronici koje zasnivaju područje strojarstva, elektronike, elektrotehnike, računarstva, automatike i ono što je danas najviše zastupljeno i raste iz dana u dan je umjetna inteligencija (engl. *AI – Artificial Intelligence*).

Roboti su automatizirani strojevi koji se sastoje od konstrukcije s pripadajućim pogonskim uređajima, senzora i upravljačkog uređaja.



Slika 1. Primjer robotike u automobilske industriji. Izvor: Jutarnji list (FCA group)
<https://www.jutarnji.hr/autoklub/aktualno/stize-novi-val-robotizacije-roboti-na-traci-s-ljudima-ne-trebaju-pauzu-ni-godisnji-6122829>

3. Mehatronika

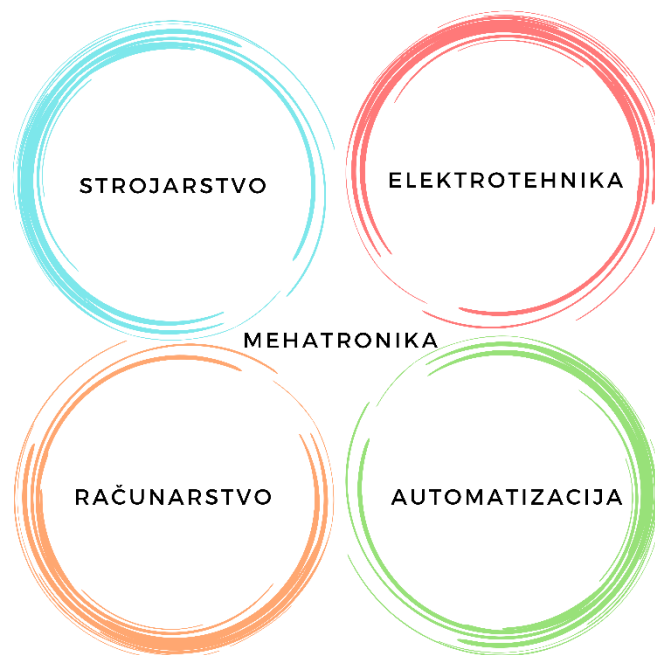
Mehatronika je interdisciplinarno područje inženjerstva kojeg čine elektrotehnika, informatika, strojarstvo i druge grane tehnike. Predstavlja cjeloviti pristup u inženjerskom projektiranju, održavanju, proizvodnji i vođenju strojeva, naprava, uređaja te raznovrsnih alata.

Svaki automatizirani stroj što od kućanskih aparata, fotokopirnih uređaja, automata za kavu i hranu, bankomata, automobila, fotoaparata, raznovrsnih uređaja elektronike, pa sve do visoko tehnoloških i unaprijeđenih robota, čine četiri osnovna elementa.

Ta četiri osnovna elementa su:

- Senzori (osjetnici)
- Procesori
- Aktuatori (izvršni elementi)
- Kamere

Ta četiri elementa čine jedinstveni sustav tako da jedan bez drugoga ne mogu, odnosno ako jedan od tih elemenata zakaže, nije ugrađen ili neispravno radi, ako nije ispravno podešen ili ako nije dobro projektiran sa strane inženjera, stručnjaka i projektanta koji proizvode ili se bave takvim stvarima. Stoga je vrlo važno oni koji se bave mehatronikom, a to su u ovom slučaju stručnjaci, projektanti i inženjeri moraju posjedovati ili objediniti znanja iz područja mehanike, uz to poznavajući hidrauliku i pneumatiku, a da ne spomenemo i elektroniku, sensoriku, upravljanje, vođenje i programiranje.



4. Robotika u poljoprivredi

Brzim tehnološkim napretkom industrije i tehnologije, promijenili su se načini funkcioniranja stvari u raznim djelatnostima, tako i u poljoprivredi.

Glavna odlika primjene robota su, kvaliteta svježeg proizvoda, manji troškovi proizvodnje i manja potreba za ljudima.

Primjena robotike u poljoprivredi već je dosta zastupljena kod izmužišta i sustava za izgnojavanje.

Kod izmužišta postoje razni oblici i načini izmuzivanja koji su već spomenuti u uvodu ovoga rada. To su izmužište riblja kost, tandem izmužišta, rotacijska izmužišta, zatim manji vučeni roboti za manja gospodarstva i drugo.

Zatim imamo robote koji se koriste u povrćarstvu (slika 2) u operacijama berbe paprike, salate i rajčice.

Ne smijemo zaboraviti primjenu robota i u voćarstvu kao što su berba jabuka, grožđa i u ovom slučaju jagoda o čemu je i pisan ovaj rad.

Svi ovi roboti koji se primjenjuju u voćarstvu i povrćarstvu, osim robota koji služe za izmuzivanje i sustava za izgnojavanje su u eksperimentalnom istraživanju i testiranju.

Predviđa se da će za 5 do 10 godina mali roboti u poljoprivredi preuzeti veliki dio tržišta tradicionalnim poljoprivrednim strojevima. Ti će roboti preuzeti ulogu prikupljanja podataka o stanju na gospodarstvu.



Slika 2. Primjer robotike u poljoprivredi pri ubiranju salate. Izvor: Cyber-Weld (2022.)

<https://www.cyberweld.co.uk/robots-in-agriculture-and-farming>

5. Kategorizacija robota

Roboti za berbu jagoda mogu se kategorizirati na različite funkcije operacija, koji direktno ulaze u kontakt kao što su jagode, peteljke, lišće i korovi. Glavni cilj robota je, da zahvati jagodu bez da je ošteti.

Robote također možemo kategorizirati prema njihovom radnom okruženju. Većina njih koji se upotrebljavaju za pakiranje i berbu se koriste u staklenicima, ovi ostali mogu se upotrebljavati u polju kao što je Tektu T-100 robot za berbu jagoda.



Slika 3. Primjer Tektu T-100 robota za berbu jagoda. Izvor: <https://www.agriculture-xprt.com/products/agrobot-model-e-series-robotic-strawberry-harvesters-315719>

6. Materijali i metode

6.1. Radno okruženje robota

Postoje različita okruženja u kojima bi robot mogao raditi. Jedna od tih su na otvorenom, u polju, gdje su jagode uzgajane na tlu i u zatvorenom prostoru kao što je staklenik, gdje se jagode mogu uzgajati u razini stola, pri dnu i na povišenom kao što su police na kojima stoje.

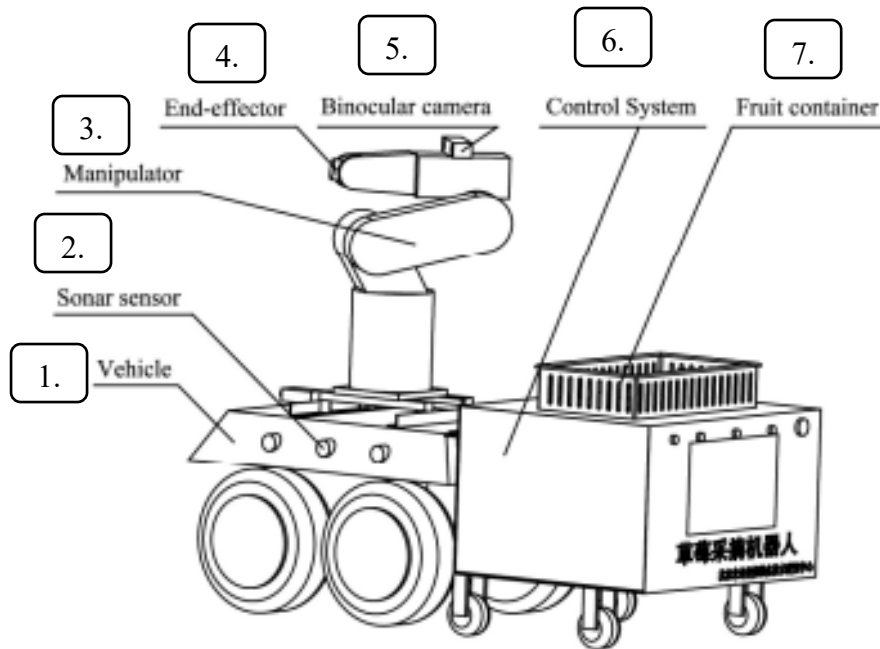
Ako se jagode nalaze na povišenom, police moraju biti 0,5 m visine, dok plodovi jagode raspoređeni u prostoru moraju biti 0,85-1,07 m iznad tla i 0-0,2 m udaljeni između redova tako da robotu omogućuje bolje ubiranje.

6.2. Dijelovi robota

Dijelovi su jako bitni, jer omogućuju robotu kako da raspozna što i na koji način da ubere plod, kako i gdje da se kreće. Također kamere i senzori su jedni od dijelova koji su potrebni kako bi se moglo pratiti stanje kako robot radi. Naravno, robotu kamere i senzori pomažu da prepozna plod, dodir sa plodom itd.

Dijelovi koji čine robota su:

- Pokretna platforma
- Manipulator (robotska ruka)
- Krajnji izvršni element
- Dalekozorna kamera
- Sonarni senzor
- Sustav za upravljanje
- Košara za ubiranje



Slika 4. Primjer osnovnih dijelova robota. Izvor: Feng Qingchun i sur. (2012.)

<https://ijabe.org/index.php/ijabe/article/view/495/446>

Dijelovi: 1. (vozilo/robot), 2. (sonarni senzor), 3. (robotska ruka), 4. (krajnji izvršni element), 5. (dalekozorna kamera), 6. (sustav za upravljanje), 7. (košara za voće)

Slanje uputa ovom robotu mogu se slati putem daljinskog upravljača pod vodstvom glasa, što ujedno omogućava jednostavnost i sigurnost postupka upravljanja vlasnika ili farmera.

7. Mehanički i elektronički sustavi

7.1. Pokretna platforma i navigacija

Robot se kreće pomoću četiri kotača, što mu omogućuje kretanje u bilo kojem smjeru i okretanje na licu mjesta, čime se znatno povećava njegova sposobnost kretanja u uskim prostorima.

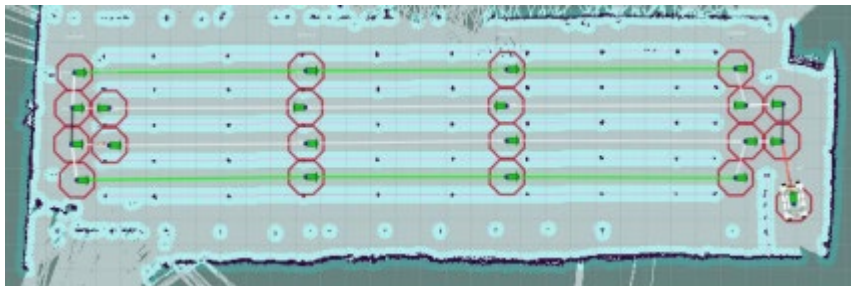
Navigacijski sustav koji se koristi u platenicima u ovom radu temelji se na dobro uspostavljenim tehnikama probabilističke lokalizacije, kao i upotreba topoloških karata.

Mobilni robot u ovom radu je sastavljen od modula razvijenog modularnog sustava Thorvald II. Robot se sastoji od četiri pogonska kotača i četiri upravljiva kotača, što mu omogućuje kretanje u bilo kojem smjeru, uključujući rotaciju na mjestu, čime se značajno povećava njegova sposobnost navigacije u uskim prostorima. Sustav je opremljen 2D LIDAR senzorom Hokuyo UTM-30LX-EW i IMU senzorom Xsens MTi-30.

Kako bi se olakšao zadatak navigacije u složenim okruženjima, korišten je topološki navigacijski sustav koji koristi metričku mapu i graf. Čvorovi u grafu predstavljaju ciljeve ili ulaze pronađene u poljoprivrednom plateniku, dok bridovi predstavljaju prolazne staze između dva čvora. Robot se može kretati samo između povezanih čvorova. Kada se zadaje cilj, robot pronalazi povezani skup čvorova do ciljnog čvora i kretat će se kroz ove čvorove da bi dosegao svoj cilj.

Različite radnje za kretanje mobilnog robota mogu se definirati za različite bridove. Na primjer, ako robot treba pristati na stanice za punjenje, može biti potrebna posebna radnja za precizno pristajanje. Osim toga, različita ponašanja se mogu primijeniti za kretanje robota u otvorenom prostoru u usporedbi s vožnjom unutar reda tunela, gdje je kretanje znatno ograničeno.

Robot koristi mapu, LIDAR podatke i odometriju temeljenu na enkoderu (kutnom digitalnom pretvorniku pomaka) za lokaliziranje u tunelu. Kopija karte se mijenja da bi se označila područja kroz koja robotu nije dopušteno voziti, a globalna karta troškova robota generira se iz ove zabranjene mape. To sprječava robota da planira putove kroz određena područja, poput područja ispod stolova između redova.



Slika 5. Primjer topološke karte po kojoj se robot kreće. Izvor: Ya Xiong i sur. (2018.)

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/rob.21889>

Odometrija je proces mjerenja kretanja i orijentacije robota na temelju informacija o brzini i smjeru kretanja pogonskih kotača. Ovaj proces koristi matematičke jednadžbe kako bi se

izračunala pozicija i orijentacija robota na temelju podataka o brzini i smjeru kretanja kotača. Odometrija je važna tehnika za navigaciju robota u nepoznatom okruženju jer omogućuje robotu da zna svoj položaj u prostoru i da se kreće prema željenom cilju. Međutim, odometrijski podaci mogu biti neprecizni zbog raznih faktora, poput klizanja kotača ili neravnog terena, pa se često kombinira s drugim sensorima, poput LIDAR-a ili kamere, kako bi se poboljšala preciznost navigacije robota.

7.2. Stacionarni robotski sustav

Nema potrebe za mobilnošću robota kod pakiranja i/ili sortiranja jagoda jer se ubrane jagode prenose trakastim transporterima dok robot ostaje nepomičan.

Transportne trake dovode plodove ispred radne stanice sortirajućeg ili pakirajućeg robota, tako da mobilnost robota nije potrebna za operacije sortiranja i pakiranja.

7.3. Kombinirani sustav stacionarnog robota i pokretne klupe

U razvijenom sustavu kretanja u stakleniku, jedan od dva robota za berbu je nepomičan dok se klupa pomiče na sustavu tračnica. Klupe imaju kružni pokret ograničen tračničkim sustavom u stakleniku i dolaze ispred nepomičnog robota za berbu za operaciju berbe.

7.4. Mobilni sustav robota

U novije vrijeme, u uzgoju jagoda u staklenicima sve češće se koriste mobilni roboti s četiri kotača. Ovi roboti obično su opremljeni manipulatorima, uređajima za hvatanje plodova, vizualnim sustavima i sustavima za pohranu. Prema Feng i sur. (2012.) proučavali su mobilnog robota koji se kretao između redova jagoda na stolovima u staklenicima radi ubiranja plodova. Prema Arima i sur. (2003.) proučavali su robota za berbu jagoda koji je radio ispod klupa uzgojnih stolova. Ovakav način postavljanja olakšao je operacije robota, budući da je lokacija i orijentacija robota pojednostavila otkrivanje i doseganje ciljanih jagoda s unutarnje strane reda, umjesto s bočne strane prolaza. U drugim studijama s biljkama uzgojenim na stolovima, roboti za berbu kretali su se između fiksnih redova biljaka na klupama pomoću sustava tračnica (kako navode Kondo, 2005. i Rajendra, 2009.).

7.5. Kombinacija sustava pokretne klupe i mobilnog robota

U nekim robotskim dizajnima za uzgoj jagoda, i roboti i klupe se kreću kako bi se poboljšala učinkovitost. Primjerice, Nagasaki navodi (2013.), jagode su bile u pokretnim visećim krevetima, dok se robot za berbu kretao po tračničkom sustavu unutar staklenika. Prema Hayashiu i sur. (2013.) dizajnirali su sustav pokretnih klupa koji se automatski prilagođavao kako bi omogućio robotu da se kreće kroz redove biljaka.

Prema Hayashiu i sur. (2010., 2012.) konstruirali su X-Y stol na tračničkom sustavu za kretanje robota za berbu u stakleniku, u kojem su postojale tri fiksne i tri pokretne klupe za jagode. Razmak između pokretnih klupa za jagode bio je podesiv kako bi se uključio pokret robota.

U mehaničkom dizajnu robotskih sustava za jagode, preferirana metoda mobilnosti ovisi o potrebnoj funkcionalnosti robota i radnom okruženju. U uvjetima polja, uglavnom se žele i koriste roboti s kotačima, dok se putujuće platforme, bilo roboti ili klupice za biljke, najčešće koriste u staklenicima kako bi se dobila pokretljivost pomoću tračničke strukture. S funkcionalne perspektive, roboti za kontrolu korova, otkrivanje bolesti i transport najčešće su

pokretni; s druge strane, za operacije sortiranja/pakiranja i ponekad berbe, roboti često ne moraju biti pokretni.

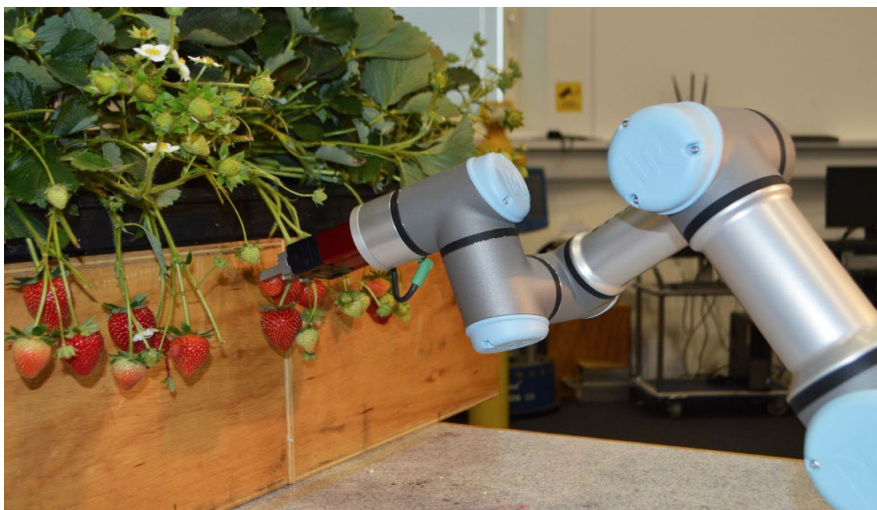
7.6. Robotska ruka ili manipulator

Manipulator je pričvršćen na vozilu 0,5 m iznad tla i koristi se kao ruka za pozicioniranje krajnjeg izvršnog elementa tijekom berbe. Donji zglob se može rotirati u rasponu kuta od 0-345°, a radni prostor izgleda poput polutke s promjerom od 0,65 m, što je prikladno za rukovanje plodovima s obje strane robota. Osim toga, struktura rotacijskog zgloba dobro zadovoljava zahtjeve za rad u ograničenom prostoru između usjeva i robota. Radnik komunicira s upravljačkim sustavom robota putem RS232 autobusa kako bi primio podatke o položaju ploda.

Manipulatori u robotici za berbu jagoda odgovorni su za upravljanje krajnjim izvršnim elementom kako bi dosegli jagode, lišće, tlo ili korov. Broj stupnjeva pokretljivosti (engl. DOF) manipulatora ovisi o potrebi kretanja te se mogu klasificirati prema vrstama zglobova kao rotacijski, translacijski i translacijsko-rotacijski.

U dizajnu ruke manipulatora, obično se postiže četiri do sedam stupnjeva pokretljivosti putem rotacijskih zglobova, pri čemu svaki od njih ima jedan rotacijski stupanj pokretljivosti duž jedne osi.

Robot zahvaća jagodu odozdo sa rukom do analizirane jagode i okreće ju za 90° kako bi se plod odvojio od stabljike. I tako ju onda eksploatira u za to predviđeni spremnik, košaru, kontejner koji moraju biti obloženi gumenim valjcima ili najčešće na pokretnu traku. Može ubrati jednu jagodu u 4 sekunde.



Slika 6. Primjer robotske ruke ili manipulatora. Izvor: I.S. (2018.) <https://www.vidi.hr/Pop-Tech/Robot-za-branje-jagoda>

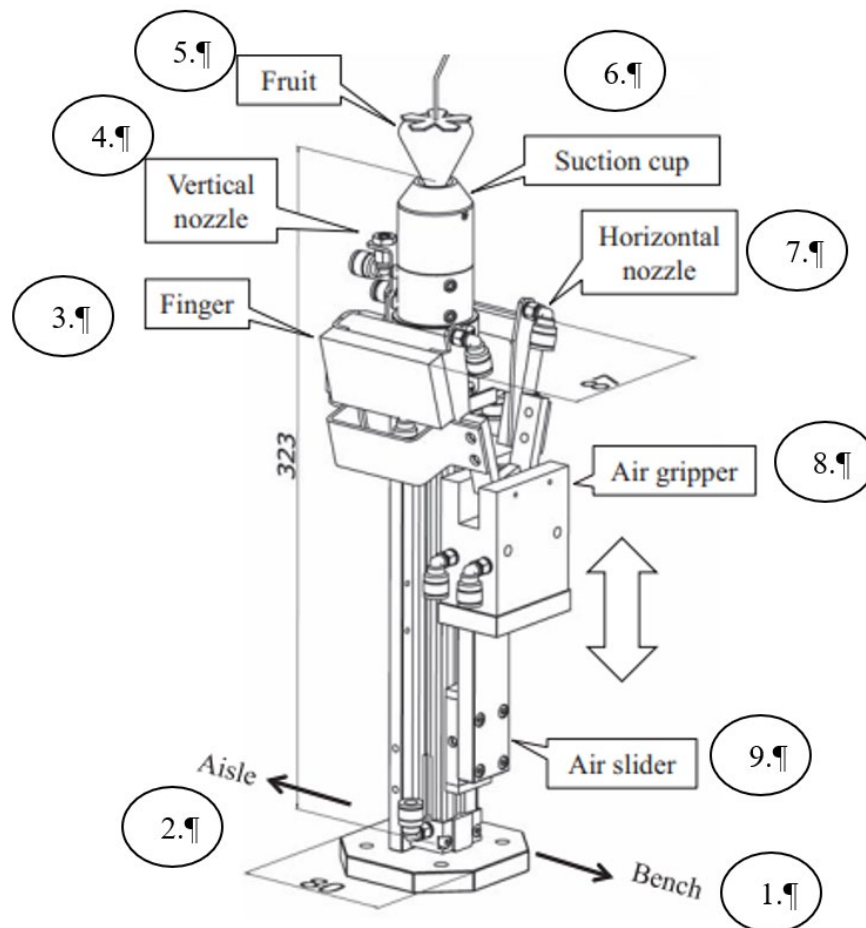
7.7. Krajnji izvršni element

Jagode imaju mekanu površinu, stoga se je vrlo moguće da se pojavi mehaničko oštećenje. Zato je važan krajnji izvršni element za automatsku berbu. Sadrži dva prsta koji tvore pneumatski hvatač za hvatanje peteljki, usisnu čašicu za držanje ploda i električni nož za rezanje peteljki.

Kada krajnji izvršni element pristupi ciljanom plodu, usisna čašica u obliku zvona će biti izbačena 0,1 m kako bi držala plod pod vakuumom, a zatim povuče plod unatrag kako bi peteljka ostala između dva prsta.

S obzirom na činjenicu da više od polovice plodova u stakleniku ima susjedne plodove, bilo je potrebno da krajnji završni element pokupi ciljani plod bez utjecaja na ostale. Slika 7 prikazuje završni uređaj koji se sastoji od usisne čaše, dva prsta, tri mlaznice, pneumatske hvataljke i pneumatskog klizača. Senzor tlaka zraka mora biti povezan s usisnom cijevi kako bi se provjerila prisutnost ploda na usisnoj čaši, dok su usisna čaša i prsti trebaju biti obloženi materijalom za ublažavanje kako bi se izbjegla oštećenja ploda.

Završni alat najprije prilazi ciljanom plodu odozdo. Kako bi se spriječio dodir susjednih plodova tijekom prilaska, usisna čaša je postavljena na vrhu, a prsti su postavljeni na nižoj poziciji zajedno s pneumatskim klizačem. Ako se ciljani plod usisa usisnom čašom i senzor tlaka to detektira, manipulator s pričvršćenim završnim alatom zaustavlja uspon te zatim produžuje prste prema fiksiranim plodovima putem pneumatskog klizača.



Slika 7. Primjer shematskog prikaza krajnjeg izvršnog elementa. Izvor: Satoshi Yamamoto i sur. (2014.) https://www.jstage.jst.go.jp/article/jarq/48/3/48_261/pdf-char/en

- Dijelovi: 1. (postolje), 2. (staza/prolaz), 3. (prst ili prsti), 4. (vertikalna mlaznica),
 5. (plod/jagoda), 6. (vakuumna čašica), 7. (horizontalna mlaznica).
 8. (pneumatska hvataljka), 9. (pneumatski klizač)

7.8. Sustav za upravljanje

Sustav za upravljanje izvršava procese navigacije, prepoznavanja ciljeva, kretanja manipulatora i kontrolu krajnjeg izvršnog elementa koji čine raspored procesa robotske berbe. Raspored je važan za postizanje visoke učinkovitosti i suradnje u automatskim operacijama.

7.9. Košara za ubrane plodove

Košara ili spremnik za ubrane plodove služi robotu kada ubere jagodu da ju položi u nju. Rubovi te košare moraju biti obloženi gumom iz razloga kako ne bi pri odlaganju jagode došlo do oštećenja.

Kada se košara napuni jagodama robot ju ostavlja na zato predviđenom mjestu gdje ju vlasnik kupi ili postavlja košaru zajedno s jagodama na transportnu traku koja transportira košaru do mjesta gdje ju vlasnik preuzima.

Na robotu može biti ugrađena transportna traka, odnosno kada robot ubere jagodu i položi je na traku, ona se dalje transportira do mjesta za pakiranje ili daljnje operacije što zavisi za što se koristi.

7.10. Sustav kamera

Dalekozorna kamera služi za lociranje i prepoznavanje zrelih plodova jagode. Kamera je montirana na manipulator između trećeg i četvrtog zgloba te bilježi sliku ploda s obje strane na odgovarajućoj visini. Razlučivost kamere iznosi $1024 * 768$ piksela.

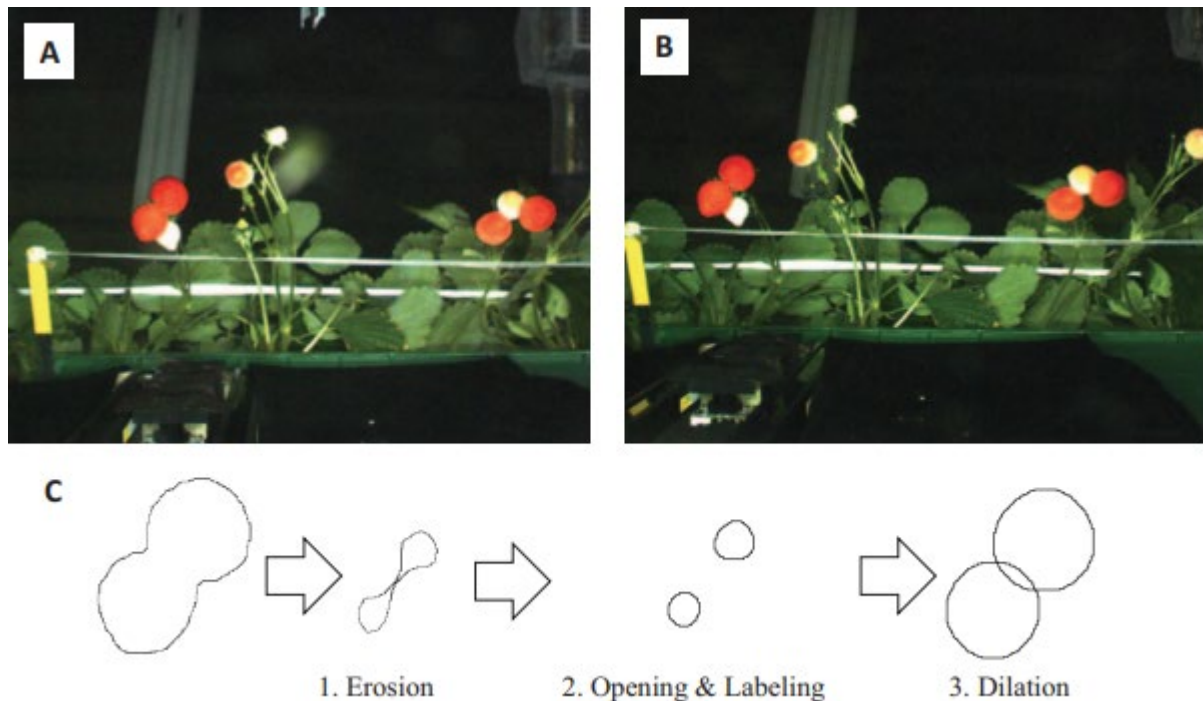
Jagode su detektirane pomoću tri RGB kamere. Detekcija se vrši na način tako da detektira boju slike. Te tri kamere su postavljene na određenim mjestima na robotu. To omogućuje određivanje položaja jagoda i maksimiziranje stope detekcije. Složeni aspekt koji je potrebno riješiti je da se jagode mogu pojaviti u grozdovima, a pojedinačne jagode iz grozda treba identificirati. Stoga se koriste određene tehnike obrade slike.

Kako bi bilo moguće locirati točku ubiranja plodova jagode, cijelo područje je podijeljeno na nekoliko manjih dijelova, pri čemu svaki dio ima visinu 10 piksela.

Svaka jedinica ima polarizacijski filter koji izravno smanjuje odbijenu svjetlost. Jedinica za mjerenje položaja postavljena je s donje strane. Naknado tome, boja koja identificira zrelost ploda, teško mjeri s donje strane jer gornji dio jagode obično pocrveni prije za razliku od donjeg. Zato se svodi na tu razinu da kamera snima plod sa bočne strane police ili stola na koju je postavljena.

S obzirom na to da je više od polovice plodova bilo spojeno s drugim plodovima, bilo je potrebno točno detektirati pojedinačne plodove, posebno za stereoprikazivanje. Ako se neki plod nalazio u grozdu i nije ga bilo moguće pojedinačno prepoznati, izračunati podatci o položaju bi uključivali neke pogreške. Stoga se primijenila opća metoda detekcije čestica i označavanja u području obrade slika u algoritmu za mjerenje položaja. Upotrebom ove metode, područja plodova se erodiraju, odvajaju i označavaju, te na kraju dilatiraju, kao što je prikazano na slici 8. Parametar erozije ima velik utjecaj na performanse označavanja plodova: ako je prevelik, mali plodovi se brišu tijekom postupka erozije i ne mogu se otkriti, dok ako je premalen, područja relativno velikih plodova se ne mogu odvojiti i performanse označavanja opadaju. Kako bi se detektirali skupljeni plodovi različitih veličina, parametar erozije se

postavlja na malu vrijednost tijekom početne faze označavanja, a zatim se postupno povećava dok se rekurzivno procjenjuje kružnost područja plodova. Nakon što su plodovi detektirani, označeni i izračunati njihovi položaji, cijeli postupak traje oko 0,05 sekundi uz procesor od 2,4 GHz. U slučaju kada u rasponu ima malo plodova, ciljni plod odabire se kao onaj najbliži klupskoj strani, jer bi trebao biti izložen jedinici za mjerenje boje.



Slika 8. Primjer metoda detekcije i označavanja čestica s jedinicom za mjerenje položaja.

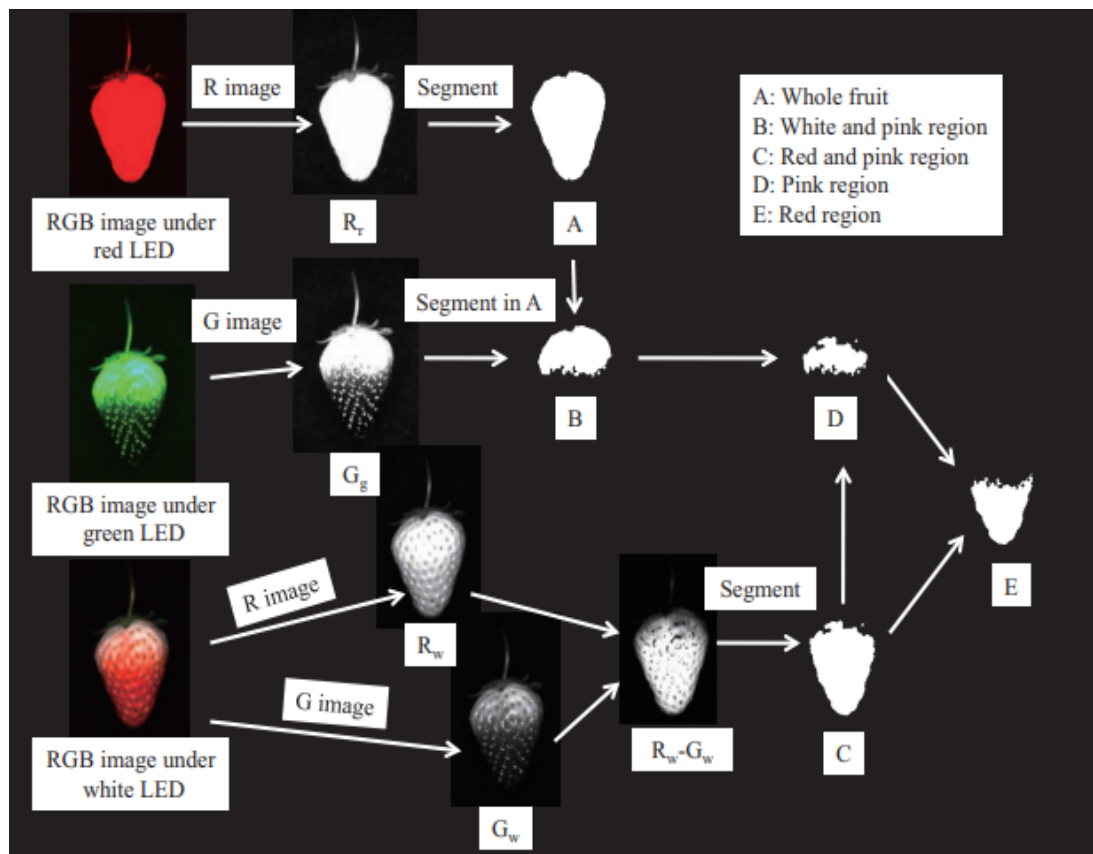
Izvor: Satoshi Yamamoto i sur. (2014.)

https://www.jstage.jst.go.jp/article/jarq/48/3/48_261/pdf-char/en

- a) Prikazuje sliku sa lijeve strane kamere, b) Prikazuje sliku sa desne strane kamere, c) Metoda označavanja za povezivanje voća (1. erozija, 2. otvaranje i označavanje i 3. dilatacija)

Kada se procjenjuje zrelost voća, teško je odrediti pravi prag za mjerenje boje ako postoji ružičasta boja na površini voćke koja je osvijetljena bijelim svjetlom. Kako bi se poboljšala točnost mjerenja boje i naglasili obojeni i neobojeni dijelovi, potrebno je primijeniti ne samo bijelu svjetleću diodu (LED), već i crvene i zelene LED-ove, razmatrajući spektralnu refleksiju jagode. Slika 9 prikazuje metodu obrade slika koja se koristi za segmentaciju obojenog dijela i izračunavanje udjela boje. Za ovu metodu su potrebne tri slike snimljene pod crvenim, zelenim i bijelim LED-ovima. Prvo, slika boje snimljena pod crvenim LED-om je razbijena na slike R_r, G_r i B_r. Cijelo voće bez lišća (područje A) je segmentirano iz slike R_r primjenom diskriminantne analize, nakon čega je iz slike zelene LED-a (G_g slika) izdvojen zeleni dio. Slično tome, bijeli i ružičasti dio su segmentirani. Ponekad se zna dogoditi da dio lista bude uključen u područje B. Prema tome, obrađeni segment iz G_g slike je logičkim proizvodom spojen sa segmentom A, te je izračunat neobojeni dio bez lišća (područje B). R_w i G_w slike su

dobivene iz slike bijelog LED-a, a crveno i ružičasto područje (C) je segmentirano iz slike koja predstavlja razliku između R_w i G_w slika. Preklapajuće područje područja B i C je obojeno u ružičasto (područje D), dok je crveno područje (E) segmentirano iz područja dobivenog oduzimanjem ružičastog dijela od crvenog i ružičastog dijela. Konačno, udio boje se izračunava koristeći broj piksela u pojedinim područjima. Kako bi se procijenile performanse strojnog vida, uspoređuje se razina zrelosti procijenjena ljudskim promatranjem i razina procijenjena mjerenjem boje za 118 plodova sorte Beni hoppe. Prosječna pogreška mjerenja boje iznosi 5,4%, a standardna devijacija pogreške iznosi 10,8%.



Slika 9. Primjer segmentiranog područja za mjerenje boje ploda (A: cijeli plod, B: bijela i roza regija, C: crvena i roza regija, D: roza regija i E: crvena regija). Izvor: Satoshi Yamamoto i sur. (2014.) https://www.jstage.jst.go.jp/article/jarq/48/3/48_261/pdf/-char/en

Kada su ova dva uređaja kombinirana, usklađivanje pozicije je korišteno za detekciju voća, a mjerenje boje voća je bilo izazovno zbog potrebe za preciznim označavanjem područja za mjerenje boje, kao što je već spomenuto. Kako bi se riješio taj problem, korišten je postupak maskiranja kako bi se sakrilo susjedno voće na slikama za mjerenje boje. Područje koje je trebalo maskirati izračunato je na temelju položaja i promjera ciljanog voća, koji su procijenjeni korištenjem jedinice za mjerenje položaja.

U programskom jeziku Python 3.7.2 razvijen je algoritam za prepoznavanje bobica ili voća, njihovih koordinata, stupnja zrelosti i udaljenosti od kamere. Algoritam koristi kameru računalnog vida koja snima videozapise koji se prenose putem USB 3.0. Snimljeni videozapisi se obrađuju i pohranjuju u RAM računala. Za svaku prepoznatu jagodu ili voće s košticom, algoritam izračunava koordinate po X, Y i Z osi koje se unose u cjelobrojno polje za daljnju obradu.

Za prepoznavanje stupnja zrelosti jagoda koristi se faktor veličine koji omogućuje promjenu rezolucije dobivene s kamere. Ovaj faktor omogućuje podešavanje detalja slike i povećanje brzine implementiranog algoritma računalnog vida.

Za kalibriranje boja u HSV paleti (Hue, Saturation, Value - nijansa, zasićenost, vrijednost), algoritam koristi funkciju za prikazivanje boje u koordinatama. Crvena boja u HSV paleti nalazi se na granicama dvaju tonova boje $H = 5/6$ i $H = 1/6$. Za određivanje stupnja zrelosti divljih jagoda prema tonu boje, određeni su rasponi boja zrelih i nezrelih bobica.

Nakon određivanja raspona boja, stvara se maska koja se preklapa na sliku. Visoka gustoća piksela i ISO osjetljivost mogu uzrokovati šum na slikama. Kako bi se izjednačila slika, koriste se morfološke transformacije otvorenog i zatvorenog tipa iz OpenCV. Otvoreni filter uklanja šum slike, a zatvoreni filter uklanja rupe u prepoznatim objektima. Nakon stvaranja filtera, maske se preklapaju na glavnu sliku i uklanjaju nepotrebne boje, ostavljajući samo uspostavljene raspone tonova boje koji odgovaraju zrelim jagodama. Za glađenje kontura primjenjuje se funkcija konturnog zamučanja. Iz svih pronađenih kontura stvara se niz koji sadrži samu konturu i njene koordinate. U petlji za svaku konturu određuju se njezine koordinate X, Y i Z, nakon čega algoritam nastavlja na sljedeću pronađenu bobicu. Ciklus se ponavlja sve dok se sve zrele bobice ne sakupljaju.

7.11. Senzori

Skup Pepperl+Fuchs uređaja kontrolira robotske ruke i samog robota. Svaka ruka je opremljena sa dva induktivna senzora koji služe za zaustavljanje. Ne posjeduju mogućnost mehaničkog trošenja što je jedna od pozitivnih strana. Sustav za kontrolu sudara mora savladati promjene temperature, prašinu, prljavštinu, vibracije i udare. Stoga robusni ultrazvučni senzor serije UB400-12GM sprječava dodir robotske ruke s tlom.

Drugi dodatni ultrazvučni senzori su također izloženi različitim vanjskim utjecajima, dok s druge strane pomažu pri automatskom upravljanju tokom ubiranja jagoda. Svaki kotač je opremljen ultrazvučnim sensorom koji ujedno detektira udaljenost između kotača robota i reda polja s jagodama, pritom održavajući robot u ravnini tako da se izbjegne oštećenje jagoda.

Senzori šalju signale u sustav automatskog upravljanja kako bi kontinuirano i precizno regulirali položaj upravljanja kotača. Položaj osovine upravljača kontrolira se induktivnim kutnim mjernim sustavom serije PMI360DV-F130. To omogućuje robotu savršene manevre na kraju reda, bilo da je vožnja neravna ili ravna.



Slika 10. Primjer senzora. Izvor: Pepperl+Fuchs <https://www.pepperl-fuchs.com/global/en/27566.htm>

Jagode se uzgajaju u različitim uvjetima i različitim sortama, što znači da roboti moraju biti fleksibilni i prilagodljivi. Također, senzori trebaju biti dovoljno precizni da razlikuju zrele jagode od nezrelih, a algoritmi upravljanja trebaju biti dovoljno sofisticirani da omogućе robotima da se kreću u gustim poljima jagoda bez oštećenja plodova ili biljaka.

7.12. Prekidači ograničenja kretanja

Prekidači ograničenja kretanja su važni elementi u mnogim sustavima za uzgoj jagoda u staklenicima, osobito u robotima za njihovo ubiranje. Ovi roboti se obično kreću po tračnicama, što ograničava njihovo translacijsko kretanje, pa nema potrebe za upravljanjem smjerom kretanja, osim unatrag i naprijed.

U sustavima pokretnih klupa koje se kružno kreću, potrebno je osigurati longitudinalno i lateralno kretanje za kretanje biljnih klupa u stakleniku, pa je lateralni prijenosni sustav opremljen s dva prekidača ograničenja kretanja kako bi se spriječilo odstupanje u sustavu prijenosa (Hayashi i sur., 2011.).

U sustavu za razvrstavanje jagoda, manipulator ima samo jedan stupanj slobode translacijskog kretanja duž klizne šipke na vrhu trake za prijenos, a na krajevima klizne šipke nalaze se prekidači ograničenja kretanja (Xu i Zhao, 2010). Kada manipulator dodirne prekidač ograničenja kretanja na jednom kraju klizne šipke, promijeni smjer prema drugoj strani klizne osi (Xu i Zhao, 2010).

7.13. Ultrazvučni senzori

Ultrazvučni senzori koriste zvučne valove za određivanje udaljenosti između robota i prepreka. Prema Fengu i sur. (2012.) korištena su tri senzora smještena sa obje strane vozila kako bi se izmjerila udaljenost između reda biljnih klupa i vozila te spriječilo odstupanje s rute. Za robota za otkrivanje bolesti korišteno je ukupno osam ultrazvučnih senzora smještenih unutar i izvan vozila kako bi se izbjegle kolizije sa stolovima jagoda, spriječila oštećenja biljaka

te otkrile prepreke na ruti kretanja vozila (Xu i sur., 2014.). Točnost korištenih senzora iznosila je 3 mm, a raspon im je bio od 2 do 400 cm (Xu i sur., 2014.).

7.14. Optički vlaknasti i fotoelektrični senzori

Ovi senzori se mogu koristiti za potvrdu ubranih jagoda ili za otkrivanje prisutnosti peteljki, nakon čega upravljački sustav robota upravlja odgovarajućim podsustavima, poput transportnih traka u slučaju pakirajućih robota (Hayashiu i sur., 2014.) ili manipulatora u slučaju robota za berbu (Hayashiu i sur., 2010.). Ovi senzori koriste svjetlosne zrake za identifikaciju prisutnosti objekata i za određivanje udaljenosti.

Kod robota za berbu jagoda, fotoelektrični senzor obično se montira blizu krajnjeg izvršitelja kako bi se provjerila prisutnost ubranih plodova. Postoje tri vrste fotoelektričnih senzora: prijenos, refleksija i difuzija. Hayashi i sur., (2012.) koristili su fotoelektrični senzor vrste prijenosa u svom trećem prototipu robota za berbu, a zamijenili su ga senzorom refleksije u njihovoj četvrtoj verziji. U drugom istraživanju robota, optički senzor vlakana bio je montiran na krajnjem izvršitelju kako bi se detektirale peteljke jagoda tijekom berbe.

Kod robota za sortiranje jagoda, dva fotoelektrična senzora su pričvršćena na vrhu transportne trake, a kada se detektira prisutnost jagoda, sustav vizije počinje snimati slike za postupak sortiranja.

7.15. Senzori pritiska

Pored optičkih senzora, za detekciju plodova koriste se i senzori pritiska. U jednom istraživanju berbe jagoda, manipulator robota približavao se ciljnom plodu s donje strane, a krajnji izvršitelj nosio je senzor pritiska (Yamamoto i sur., 2009.). Kada bi plod dodirnuo senzor, robot bi dobio informaciju o prisutnosti ploda prije branja.

Razvoj tehnologija senzora ubrzao se u području robotske tehnologije jagoda. Poboljšanja u vidu i optičkih senzora poput kamera i optičkih senzora vlakana pružaju precizne i točne rezultate u strojnom vidu robotskih sustava. Za navigaciju robota za jagode, neizbježni su hardverski dijelovi poput GPS-a, ultrazvučnih senzora, senzora ubrzanja i kamera, posebno u poljoprivrednim operacijama. U primjenama u staklenicima, navigacija robota općenito je ograničena željezničkim sustavom i konstantnim koracima kretanja naprijed i natrag, pa su prekidači granica adekvatni i pružaju jednostavnost u kontrolnim algoritmima navigacije.

7.16. GPS

Do sada se GPS nije široko koristio, uglavnom zbog činjenice da je većina robota za jagode izgrađena za primjene u staklenicima. U radu Xu i sur., (2014.), robotska vozila za detekciju bolesti jagoda kretala su se po poljima, a GPS se koristio za određivanje trenutne pozicije, brzine i ubrzanja. Također se spominje u radu (Rieder i sur., 2014.) da će se uskoro GPS koristiti u robotskim vozilima na tlu ili u zraku.

7.17. Računalo, komunikacija i nadzor

U istraživanjima robotskih sustava za jagode, računala i komunikacija su ključni za mnoge autonomne zadatke, poput obrade slike, te upravljanja robotskim manipulatorom, spremnicima ili putujućim jedinicama.

U kontrolnom sustavu robotskih sustava za jagode, uporaba računala ili PLC-a usko je povezana s podsustavom tih robota koji se kontrolira. Primjerice, u podsustavu strojnog vidnog branja, sortiranja, pakiranja, detekcije bolesti i kontrolu korova, računalo se koristi za izvođenje algoritama obrade slike zbog veličine potrebne memorije. Navigacija i vođenje robota kontrolira se računalom u poljskim operacijama te PLC-om ili računalom u primjenama u staklenicima. Podsustav za manipulaciju može se kontrolirati računalom ili PLC-om, ovisno o dizajnu kontrolnog sustava.

8. Prednosti i nedostaci robota za berbu jagoda

U aspektima same proizvodnje robota za berbu jagoda i njegove primjene, vrlo važne faktore treba podrobno protumačiti, promatrati, testirati i kontrolirati. S jedne strane su to prednosti koje robot nudi, odnosno omogućuje.

Kod prednosti treba obratiti osobitu pažnju iz razloga na način kako će se taj robot primjenjivati tijekom rada, jesu li svi njegovi parametri točni i precizni, učinkovitost produktivnosti rada samog robota i koliki su troškovi same proizvodnje. Robot mora biti adaptivan u različitim okruženjima u kojima se primjenjuje i ujedno uz to mora biti otporan na različite uvjete rada pod opterećenjima, raznim silama i drugo. Samim time i otpornost na različite klimatske promjene koji će utjecati na tog robota, radi li na otvorenom ili u zatvorenom prostoru.

Neke od prednosti ovog robota su:

- Povećanje produktivnosti rada
- Manji troškovi
- Roboti mogu raditi 24/7 bez odmora, umora i potrebe za pauzama
- Precizno i brzo sakupljanje plodova
- Poboljšanje radnih uvjeta za radnike

8.1. Povećanje produktivnosti rada

Jedna od najvećih prednosti korištenja robota u berbi jagoda je povećanje produktivnosti i smanjenje troškova.

Robot može precizno i učinkovito izvršavati zadatke ili operacije koje su mu zadane u usporedbi s čovjekom kojemu je potrebna pauza i odmor.

8.2. Manji troškovi

Roboti su u mogućnosti zamijeniti ljudsku radnu snagu u procesima koji zahtijevaju fizički napor i ponavljajuće zadatke, što dovodi do smanjenja troškova rada i povećanja učinkovitosti proizvodnje.

Smanjenje troškova rada je jedan od ključnih faktora koji dovode do primjene robota u proizvodnim procesima. Roboti su u stanju da rade neprestano bez potrebe za odmorom ili pauzom, što povećava ukupan output u odnosu na ljudsku radnu snagu. Osim toga, robota je lakše programirati nego obučiti ljudsku radnu snagu, što dodatno doprinosi smanjenju troškova rada.

8.3. Robot može raditi bez odmora

Roboti mogu raditi 24 sata dnevno, bez umora i potrebe za pauzama, što znači da se vremenski okvir za berbu jagoda može smanjiti. Također, roboti mogu biti programirani za brzo i precizno sakupljanje jagoda, što dovodi do smanjenja oštećenja plodova i poboljšanja kvalitete proizvoda.

Roboti nemaju osjećaje umora u usporedbi s ljudskom radnom snagom, što znači da su manje podložni oštećenjima i kvarovima. To zauzvrat dovodi do smanjenja troškova održavanja i produženja vijeka trajanja opreme.

8.4. Precizno i brzo sakupljanje plodova

Robot može biti programiran i usklađen da brzo i jednostavno izvršava zadatke koji su mu zadani. Zato na sebi sadrži kamere i senzore koji mu služe za lakše i jednostavnije operacije ubiranja jagoda i način kako da prepozna zrelu jagodu koja je spremna za berbu.

8.5. Poboljšanje radnih uvjeta za radnike

Radnicima ili farmerima su omogućeni bolji radni uvjeti pri izvršavanju radova. Ne trebaju izvršavati tako teške i naporene poslove kao prije. Jedini zadatak radnika ili farmera je nadziranje i praćenje robota koji vrši operaciju berbe i po mogućnosti zamjena ili popravak određenog dijela na robotu.

S druge strane robot ima i određene mane, odnosno nedostatke koje treba usavršiti ili poboljšati.

Kod nedostataka može najčešće doći do kvarova robota ili zastajkivanja u radu, što naravno utječe na oduzimanje vremena koje je bilo određeno koje robot treba izvršiti u određenom vremenskom periodu.

Neki od nedostataka su:

- Uvjeti uzgoja ili proizvodnje
- Nedovoljna tehnološka ispravnost i dostignuća
- Nedovoljni algoritmi samoupravljanja
- Selektivnost prilikom berbe
- Potisna sila
- Cijena koštanja

8.6. Uvjeti uzgoja ili proizvodnje

Prostor u kojem se uzgajaju jagode može znatno varirati što od cijene koštanja sustava i opreme pa do same proizvodnje.

Robotu su potrebni drugačiji uvjeti uzgoja za razliku od ljudskog rada. Primjer, robotu je potrebno više mjesta kako bi se kretao i manevrirao u određenom prostoru. Isto tako i sustavi koji se primjenjuju kao što su navodnjavanje, umjetno sunce, pristupačnost vlage u zraku i drugo.

8.7. Nedovoljni algoritmi samoupravljanja

Tokom samoupravljanja robota mogu se javiti problemi pri kretanju da robot zastajkuje tijekom rada. Zatim pogrešna ili neispravna navigacija može izbaciti robota sa putanje kojom se kretao i dovesti do sudara ili kolizije sa susjednim predmetima ili stvarima koji se nalaze u plateniku ili u nekom drugom prostoru.

Pogreška tijekom programiranja može uzrokovati probleme robota ili varijabla koja može biti krivo upisana u sustavu robota.

8.8. Selektivnost prilikom berbe

Robot za berbu jagoda može savršeno obavljati posao u kontroliranim uvjetima. No stvarni svijet nije tako jednostavan u kojem živimo kako se čini. Čovjek koji bere jagodu zna da su neke od njih negdje zametnute i da ih je teško pronaći, dok robot koji je usavršio neke od tih operacija, mogu se pojaviti određene poteškoće u odabiru jagoda koje su teško dostupne. Može doći do toga da robotska ruka zaglavi prilikom ubiranja plodova ili u drugom slučaju do trganja i čupanja biljke.

Zatim neispravno podešena kamera može dovesti do toga da robot ne raspozna zrelu jagodu pa ju ne ubere.

Također se može dogoditi da trula jagoda završi u kontejneru sa ostalim jagodama.

8.9. Potisna sila

U berbi ili zahvaćanju jagode može se javiti problem koji može prouzročiti nedovoljan stisak robotske ruke, čiji uzrok može biti pogreška u programiranju ili da prsti robotske ruke nemaju dobar hvat. Suprotno tomu može biti preveliki ili prejaki stisak robotske ruke koji dovodi do gnječenja, odnosno mehaničkog oštećenja jagode, što naravno ima negativan utjecaj za tržište. Pa se obično takva jagoda mora odstraniti.

8.10. Cijena koštanja

Konačno, jedan od najviše postojanih čimbenika je trošak, odnosno cijena robota i njegovog sustava. Nova i napredna tehnologija će rijetko biti jeftina.

Sama cijena koštanja takvog sustava nije jeftina, stoga u obzir treba gledati i na to je li isplativo imati takav sustav korištenja i primjene.

Unatoč svim tim izazovima, primjena robota za berbu jagoda predstavlja obećavajuću tehnologiju koja može donijeti velike prednosti u proizvodnji jagoda i poljoprivredi u cjelini.

To su faktori na koje treba s osobitom pažnjom promatrati, tražiti nova rješenja i dostignuća.

Potrebno je analizirati sve tehnološke procese i funkcije da se omogući i unaprijedi što jeftiniji i profitabilniji rad u poljoprivredi i sami uvjeti rada kako bi se isplatilo ono za čime težimo.

9. Izazovi za industriju

Rezultati istraživanja ukazuju na to da je trenutno, uzimajući u obzir tržišna plaćanja i trenutnu učinkovitost berbe vodećih tehnologija za robotsku berbu, ručna berba profitabilnija od robotske. Naravno, nije iznenađujuće s obzirom na činjenicu da još nema robotskih sustava za berbu koji su u širokoj komercijalnoj uporabi u Sjedinjenim Državama. Međutim, rezultati pokazuju da bi se usvajanje robotskih sustava za berbu moglo pokazati ekonomski isplativim za velike proizvođače jagoda ili kao usluga prilagođene berbe ako robotski sustavi postignu učinkovitost iznad 70% ili 80% učinkovitosti ručne berbe te ako se očekuje povećanje plaćanja u idućim godinama.

Drugi izvor neizvjesnosti odnosi se na čistoću polja i zdravlje biljaka. U prvom scenariju robotske berbe koji se razmatra, ne očekuje se ručna berba nakon robotske. Razlog za ovu pretpostavku je da će visoki troškovi dopunske berbe nadmašiti dodatne prihode od sekundarne berbe te da će gubici prinosa zbog mogućeg pritiska bolesti uzrokovanog truljenjem plodova na posteljici biti minimalni. Buduća istraživanja će trebati utvrditi u kojoj mjeri niže stope berbe uzrokuju probleme za opće zdravlje biljaka i smanjuju prinose jagoda tijekom sezone. Također nije jasno kako će usvajanje robotskih sustava za berbu od strane nekih proizvođača utjecati na tržište rada onih koji vrše ručnu berbu jagoda, koje će ostati jedini izbor u industriji jagoda. Ako veliki proizvođači mogu prvi investirati u sustave robotske berbe i time smanjiti potražnju za radnicima, proizvođači koji ne ulažu u robotske sustave mogu vidjeti ublažavanje izazova vezanih uz radnu snagu s kojima se trenutno suočavaju. To bi na kraju smanjilo poticaj za ove proizvođače da usvoje automatizaciju i moglo bi smanjiti stopu usvajanja. Ova analiza ne uključuje modeliranje ili procjene dinamike usvajanja u industriji, osim što nagađa da će veći proizvođači vjerojatno prvi uključiti ovu tehnologiju.

Konačno, značajna potencijalna korist sustava robotske berbe koja se ne razmatra u ovoj analizi odnosi se na vrijednost podataka koji bi se generirali kontinuiranim praćenjem razine biljaka uz pomoć računalnog sustava. Podaci visoke razlučivosti o vitalnosti biljaka, bolestima i štetnicima insekata mogli bi se prikupljati i primjenjivati na načine koji se danas teško mogu predvidjeti. Izvan dosega ovog rada je procijeniti korist koju bi ta tehnologija konačno mogla pružiti, no podaci visoke razlučivosti pokazali su veliki potencijal za profitabilno usavršavanje upravljanja drugim usjevima (Bauer i sur., 2019., Trilles i sur., 2018.), pa bi uzgajivači jagoda možda mogli učiniti isto.

Unatoč tehničkim izazovima koji se javljaju u vezi sa selektivnom robotskom berbom osjetljivih i zrelih jagoda, vodeći stručnjaci u industriji su optimistični da će robotski sustavi za berbu jagoda na kraju nadopuniti ručni rad. Ova analiza pokazuje da, iako brzine i učinkovitosti robotske berbe još uvijek nisu dosegle razinu na kojoj su ovi sustavi konkurentni s ljudskom rukom, postavljeni ciljevi brzine od 4 sekunde po bobici i učinkovitosti berbe od 70% do 80% nisu nerealni i mogu učiniti usvajanje robotske berbe financijski privlačnim na neki način. Nadalje, čak i uz komercijalno usvajanje tehnologije robotske berbe, ljudski rad će i dalje biti ključan za berbu svježih jagoda na tržištu.

10. Budućnost robota u berbi jagoda

Teško da će ovi sustavi biti rijetko jeftini u budućnosti, jer s novim dostignućima i tehnološkim poboljšanjima čine robota i njegov sustav još skupljim.

Senzori i kamere će se još više usavršiti daljnjim razvojem, te će postati još učinkovitiji u prepoznavanju i ubiranju jagoda.

Sami program koji se nalazi u sustavu koji koristi robot će se usavršiti i poboljšati. Isto tako će i navigacija biti sustavno bolje programirana kako bi robotu omogućila lakše i učinkovitije kretanje prostorom pri tome da se izbjegnu kolizije sa stranim predmetima i drugim stvarima.

Budućnost će sa sobom donijeti mnogo tehnoloških napredaka i različita poboljšanja u skladu da berba bude što učinkovitija i bolja, uz što manje gubitaka. Sljedeća izvedba robota će biti sa više ruku, koji će moći na više mjesta i u kraćem vremenu brati plodove jagode.

Spomenuti problemi vjerojatno će se također riješiti dodatnim tehnološkim inovacijama ili poboljšanjima.

11. Zaključak

U zaključku ovog završnog rada možemo reći da primjena robota u berbi jagoda predstavlja značajan tehnološki napredak koji bi mogao imati pozitivan utjecaj na poljoprivrednu industriju. Iako se tehnologija robotske berbe jagoda još uvijek razvija, postoji sve veći interes i investicije u ovu oblast. Međutim, postoje određeni tehnički izazovi koje treba riješiti kako bi se postigla konkurentnost s ručnom berbom. Iako su vodeći ljudi u industriji optimistični i vjeruju da će se robotski sustavi za berbu jagoda nadopuniti radnicima na kraju, čini se da će ljudski rad i dalje biti ključan za berbu svježih jagoda na tržištu Sjedinjenih Država. Ipak, ako se postigne brzina i učinkovitost robotske berbe na razini konkurentnosti s ljudskom radnom snagom, usvajanje ovakve tehnologije moglo bi postati financijski privlačno za velike proizvođače jagoda ili kao usluga prilagođene berbe. Uz to, treba napomenuti da primjena robota u berbi jagoda ima potencijal da smanji troškove i rizik od ozljeda za radnike te da bi mogla pomoći u povećanju ukupne proizvodnje jagoda. U konačnici, tehnologija robotske berbe jagoda ima obećavajuću budućnost u poljoprivrednoj industriji, ali zahtijeva daljnji razvoj i ulaganja kako bi postala konkurentna i prihvatljiva za proizvođače i tržište.

12. Literatura

- Ćosić A. (2022.) – Automatski vođena vozila u poljoprivredi. <https://repozitorij.fazos.hr/islandora/object/pfos%3A2736/datastream/PDF/view> (pristupljeno 1. ožujka 2023.)
- Defterli S. G., Shi Y., Xu Y. (2015.) - REVIEW OF ROBOTIC TECHNOLOGY FOR STRAWBERRY PRODUCTION. <https://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1579&context=biosysengfacpub> (pristupljeno 16. travnja 2023.)
- Delbridge T. (2021.) - Robotic strawberry harvest is promising but will need improved technology and higher wages to be economically viable. https://escholarship.org/content/qt62z096ff/qt62z096ff_noSplash_57f3f3945806cbaf5f4dd35d190b0af0.pdf?t=qxo9gk (pristupljeno 20. travnja 2023.)
- Ge Y., Xiong Y., Tenorio G. L., From P. L. (2019.) - Fruit Localization and Environment Perception for Strawberry Harvesting Robots. https://nmbu.brage.unit.no/nmbu-xmlui/bitstream/handle/11250/2670533/Final_corrections_ACCESS_YuanyueGe.pdf?sequence=2 (pristupljeno 25. ožujka 2023.)
- Glavač K. (2019.) - Roboti će brati naše voće i povrće - brži su i jeftiniji. <https://express.24sata.hr/tehn/roboti-ce-brati-nase-voce-i-povrce-brzi-su-i-jeftiniji-20527> (pristupljeno 5. ožujka 2023.)
- Hayashi S., Yamamoto S., Saito S., Ochiai Y., Kamata J., Kurita M., Yamamoto K. (2014.) - Field Operation of a Movable Strawberry-harvesting Robot using a Travel Platform. https://www.jstage.jst.go.jp/article/jarq/48/3/48_307/_pdf (pristupljeno 5. travnja 2023.)
- Hrvatska enciklopedija – Robotika. <https://enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=53102> (pristupljeno 1. ožujka 2023.)
- Huang Z., Wane S., Parsons S. (2017.) - Towards Automated Strawberry Harvesting: Identifying the Picking Point. In Towards Autonomous Robotic Systems. <https://nms.kcl.ac.uk/simon.parsons/publications/conferences/taros17a.pdf> (pristupljeno 25. travnja 2023.)
- Khort D. O., Kuttyrev A. I., Filippov R. A., Vershinin R. V. (2020.) - Device for robotic picking of strawberries. https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2020/53/e3sconf_icmtmte2020_01045.pdf (pristupljeno 12. travnja 2023.)
- Klaoudatos D. S., Moulianitis V. C., Aspragathos N. A. (2019.) - Development of an Experimental Strawberry Harvesting Robotic System. <https://www.scitepress.org/Papers/2019/79340/79340.pdf> (pristupljeno 8. travnja 2023.)
- Kovačević B. (2021.) - Ne žele za 318 kuna na sat brati jagode? Ima tko hoće i za manje - roboti! <https://www.agroklub.com/poljoprivredne-vijesti/ne-zele-za-318-kuna-na-sat-brati-jagode-ima-tko-hoce-i-za-manje-roboti/42725/> (pristupljeno 5. ožujka 2023.)
- Nikolić G. (2015.) – Mehatronika. <https://tehnika.lzmk.hr/mehatronika/> (pristupljeno 2. ožujka 2023.)

Novaković B. (2016.) – Robotika. <https://tehnika.lzmk.hr/robotika/> (pristupljeno 1. ožujka 2023.)

Qingchun F., Xiu W., Wengang Z., Quan Q., Kai J. (2012.) - A new strawberry harvesting robot for elevated-trough culture. <https://www.proquest.com/openview/a6e45cd310ee30e4621958490fed207a/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2028921> (pristupljeno 21. ožujka 2023.)

Ostojić T. (2023.) - Roboti беру jagode. <https://www.vesti-online.com/roboti-beru-jagode/#> (pristupljeno 10. ožujka 2023.)

Pepperl+Fuchs - Berry Picking at Its Best with Sensor Technology. <https://www.pepperl-fuchs.com/global/en/27566.htm> (pristupljeno 15. ožujka 2023.)

De Preter A., Anthonis J., De Baerdemaeker J. (2018.) - Development of a Robot for Harvesting Strawberries. <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S2405896318311704?token=0A76BBBD9058B8C1447AD634F0150C58DD1F3B3C42E7C4AF59FA94F3FD095C270DA9D7A6212C3AD0C36514EF621FA2FA&originRegion=eu-west-1&originCreation=20230507111103> (pristupljeno 28. ožujka 2023.)

Tajti F., Szayer G., Kovács B., Barna P., Korondi P.(2016.) - Optical flow based odometry for mobile robots supported by multiple sensors and sensor fusion. <https://hrcak.srce.hr/file/244241> (pristupljeno 18. ožujka 2023.)

Wikipedia – Odometrija. <https://en.wikipedia.org/wiki/Odometry> (pristupljeno 18. ožujka 2023.)

Xiong Y., Ge Y., Grimstad L. From P. J. (2018.) - An autonomous strawberry-harvesting robot: Design, development, integration, and field evaluation. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/rob.21889> (pristupljeno 23. ožujka 2023.)

Yamamoto S., Hayashi S., Yoshida H., KobayashiK. (2014.) - Development of a Stationary Robotic Strawberry Harvester with a Picking Mechanism that Approaches the Target Fruit from Below. https://www.jstage.jst.go.jp/article/jarq/48/3/48_261/_pdf/-char/en (pristupljeno 3. travnja 2023.)

13. Životopis

OSOBNI PODACI

- Ime i prezime: Dominik Šimeg
- Državljanstvo: Hrvatsko
- Spol: Muški
- Datum rođenja: 25.10.2000.
- Adresa stanovanja: XI. Podbrežje, 8, Novi Zagreb, Kajzerica
- Poštanski broj: 10020
- Broj telefona/mobitela: 099 595 0989
- E-mail: dominik.simeg50@gmail.com

OBRAZOVANJE I OSPOSOBLJAVANJE

Pohađao

- Srednja škola:
 - Elektrotehnička škola Zagreb, Konavoska 2 (2016. - 2017.)
 - Agronomska škola Zagreb, Gjüre Prejca 2 (2017. - 2020.)

Trenutno pohađam

- Fakultet:
 - Agronomski fakultet Zagreb, Svetošimunska cesta 25

Stručna praksa

- Mesis d.o.o., Zagreb, Froudeova ulica 7

OSOBNNE VJEŠTINE I KOMPETENCIJE

Osobne vještine

- Volim igrati nogomet
- Brz
- Spretan
- Odlučan

Materinski jezik

- Hrvatski

Drugi jezik(ci)

- Engleski – A1 (govor i pismo)

Računalne vještine i kompetencije

- MS Office
- Instalacija Windows paketa
- Rad u 3D programu Blenderu
- Rastavljanje i sastavljanje računalne periferije

Vozačka dozvola

- B kategorija