

OPTIMIZAREA ECHIPAMENTULUI TEHNOLOGIC ROBOTIZAT DESTINAT LUCRĂRILOR ÎN SERE ȘI SOLARII

Teză de doctorat – Rezumat

pentru obținerea titlului științific de doctor la

Universitatea Politehnica Timișoara

în domeniul de doctorat Inginerie Industrială

autor ing. Mariș Ștefan-Alfred

conducător științific Prof.univ.dr.ing. & ec. Dumitru Țucu

luna august anul 2022

1. IMPORTANȚA ȘI NECESITATEA TEMEI. OBIECTIVELE ȘI STRUCTURA TEZEI

1.1. Importanța și necesitatea temei

Un robot este un dispozitiv care poate fi programat pentru realizarea anumitor munci repetitive, inclusiv pentru manipularea diverselor obiecte.

Din punct de vedere al aplicațiilor se disting 4 tipuri de roboți industriali [22]: roboți non-servo (utilizați cu precădere pentru a muta și deplasa obiecte), roboți servo (care pot realiza mai multe sarcini, datorită manipulatorilor și efectorilor integrați), roboți programabili (care pot stoca un număr de comenzi într-o bază de date și pot efectua diverse sarcini de mai multe ori), roboți programabili de pe computer (care sunt, în esență, roboți servo dar care pot fi controlați de la distanță, printr-un computer).

O dată cu introducerea roboților în agricultură, productivitatea agricolă a început să crească. Roboții agricoli (agroroboții) înlocuiesc munca fizică a fermierilor, realizând sarcini încete, repetitive și, deseori, greoaie [17],[2]. Printre activitățile realizate cu ajutorul agroroboților se numără [1]: recoltarea și culesul fructelor, întreținerea culturilor, cosirea autonomă, tăierea / toaletarea, însămânțarea, plantarea, stropirea, rărirea / copilirea culturilor, fenotiparea, sortarea și ambalarea recoltei, realizarea de platforme utilitare.

Utilizarea roboților în agricultură presupune abordarea unor probleme [7] care țin de:

- navigarea autonomă (cu planificarea geometriei câmpului, planificarea traseului robotului, planificarea mișcării, navigarea asistată din satelit / GPS, navigarea în funcție de poziția plantelor sau a pomilor)
- identificarea fructelor, a gradului lor de maturitate și a mediului lor de creștere
- interacțiunea cu fructele și cu mediul lor de creștere

Pentru a fi eficient, un robot culegător de fructe trebuie în primul rând să identifice corect un fruct copt, iar în al doilea rând să nu deterioreze fructul atunci când îl culege. Dacă identificarea fructului copt se face în principal folosind sisteme optice ([4], [7], [21]), interacțiunea robotului cu fructele presupune optimizarea constructivă a elementelor de prehensiune ([18], [12], [24]).

1.2 Obiectivele tezei

Obiectivul principal al tezei este optimizarea constructivă și funcțională a elementelor componente ale sistemelor robotizate folosite în sere, în scopul creșterii

performanței calitative și cantitative a procesului de recoltare a legumelor (tomatelor), și integrarea acestor elemente într-un prototip de sistem robotizat pentru asistarea procesului de recoltare în sere.

Pentru atingerea acestui obiectiv, s-a considerat necesară îndeplinirea următoarelor obiective secundare subsumate:

- OS1: Analiza cerințelor pieței privind posibilitățile de utilizare a sistemelor robotizate în serele din zona de Vest a României (județele Timiș și Arad)
- OS2: Analiza cerințelor pieței privind particularitățile elementelor structurale și funcționale ale sistemelor de prehensiune utilizate în sere
- OS3: Analiza critică a principalelor sisteme de prehensiune utilizate în agricultură
- OS4: Determinarea unor soluții optime privind sistemele de identificare a fructelor coapte
- OS5: Determinarea unor soluții optime privind interacțiunea dintre sistemul de prehensiune și fructele coapte
- OS6: Integrarea și optimizarea componentelor de prehensiune și optice într-o structură robotică destinată lucrărilor din sere

1.3 Structura tezei

Lucrarea este structurată pe 7 capitole, concluzii și anexe.

Primul capitol prezintă importanța și necesitatea temei alese și poziția României raportat la situația suprafețelor cultivate în sere și al numărului de exploatații agricole de tip seră la nivelul Uniunii Europene. De asemenea, este prezentat obiectivul principal al tezei și obiectivele secundare subsumate acestuia, precum și structura tezei. **În al doilea capitol** se prezintă o analiză a posibilităților de utilizare a sistemelor robotizate în sere. **În capitolul 3** este prezentată o analiză critică privind stadiul actual al principalelor sisteme de prehensiune utilizate în agricultură. **Capitolul 4** conține cercetări teoretice și experimentale privind particularitățile elementelor structurale și funcționale ale sistemelor de prehensiune folosite la lucrările din sere. **În capitolul 5** sunt incluse cercetări experimentale privind optimizarea sistemelor de identificare a fructelor coapte. **Al șaselea capitol** prezintă cercetările experimentale privind interacțiunea între sistemul de prehensiune și roșiile coapte. **Capitolul 7** conține cercetări privind integrarea și optimizarea componentelor într-o structură robotică destinată lucrărilor în sere și solarii. Sunt prezentate condițiile impuse de teren, o schemă de principiu a unui echipament tehnologic robotizat (ETR) pentru culesul roșiilor și sistemul de mobilitate specific în sere. În fine, sunt prezentate **concluziile**, contribuțiile personale și materialele anexe folosite pentru realizarea prezentei cercetări.

2. ANALIZA POSIBILITĂȚILOR DE UTILIZARE A SISTEMELOR ROBOTIZATE ÎN SERE

2.1 Condiții preliminare

Deși în regiunea de Vest a României suprafața cultivată cu legume în solarii și sere a depășit 110 ha (valoarea minimă a fost 116 ha în 2010), în județul Timiș această suprafață nu a depășit 35 ha (valoarea maximă a fost 31 ha în 2011) [1]. Conform [1] ponderea, la nivel național, a exploatațiilor agricole individuale este din ce în ce mai mare în ce privește cultivarea legumelor în solarii și sere inclusiv, la nivelul regiunii Vest (de la 76,72% în 2010 la 98,76% în 2020). La nivelul județului Timiș legumele au fost cultivate în solarii și sere exclusiv în cadrul unor exploatații agricole individuale.

Pornind de la aceste aserțiuni, în cadrul cercetării doctorale s-a urmărit, într-o primă parte, analiza opiniei proprietarilor de sere din zona de Vest a României.

2.2. Descrierea metodologiei cercetării

Analiza se bazează pe un chestionar care a fost distribuit către 30 persoane, producători horticoli în zona de Vest a României.

Chestionarul cuprinde 16 întrebări. Publicul țintă a fost 30 persoane, producători proprietari de sere și solarii. Distribuirea chestionarului a avut loc în zona rurală a județelor Timiș și Arad, în anul 2016.

Din cele 16 întrebări, 3 analizează *relația plantă cultivată – agrotehnică – condiții de cultivare*, 5 analizează *managementul și marketingul exploatației*, 4 analizează *posibilitatea / apetența / interesul producătorilor pentru introducerea robotizării* și 4 analizează *nivelul de calificare și alte caracteristici individuale și de mediu social*.

2.3. Rezultate și discuții

În cele ce urmează, sunt prezentate principalele rezultate obținute în urma aplicării chestionarului.

Astfel, majoritatea respondenților (73%, 22 din 30) folosesc metode de cultură pe sol, direct pe un nivel, 27% folosesc metode de cultură pe sol suprapuse (27%, 8 din 30), în timp ce în 2016 în zona rurală a județului Timiș nici unul dintre respondenți nu folosea metode de cultură acvaponice.

Din răspunsurile primite, a reieșit că toți producătorii care folosesc un sol nisipos (21 din 30) sau nămolos (2 din 30) îl întrețin la condițiile optime de nutrienți necesare producției, iar toți producătorii care folosesc un sol lutos (5 din 30) sau argilos (2 din 30) nu consideră că acesta este întreținut astfel încât să ofere condiții optime de nutrienți.

Referitor la tipul de cultură (întrebarea 5), toți producătorii chestionați au culturi de roșii, ardei, castraveți, vinete, salată, ceapă verde. Jumătate dintre aceștia produc și alte legume – în speță fasole verde și mazăre.

Nici un producător dintre cei care au răspuns la chestionar nu folosește roboți la lucrări (întrebarea 3). Cu toate acestea, nivelul de cunoaștere al producătorilor cu privire la utilizarea roboților în sere variază: 13,33% dintre respondenți nu cunosc deloc domeniul, 46,67% au puține cunoștințe în domeniu, 33,33% cunosc ceva mai mult din domeniu și doar 6,67% dintre respondenți cunosc domeniul și au văzut și aplicații. Nici un respondent nu este expert în domeniul utilizării roboților în sere.

Din analiza răspunsurilor oferite, este evident că majoritatea respondenților (40%) preferă să utilizeze mijloace robotizate pentru recoltat, urmând apoi, în ordinea preferințelor, întreținerea culturilor și sortarea și ambalarea produselor. Ultimele opțiuni în ordinea preferințelor respondenților este cea de utilizare a roboților pentru monitorizarea culturilor și semănat.

Cu privire la recoltat, majoritatea respondenților și-au manifestat preferința pentru utilizarea de mijloace robotizate. Cu privire la monitorizarea culturii, majoritatea respondenților consideră că este indiferent dacă folosesc sau nu mijloace robotizate. Raportat la întreținerea culturilor, majoritatea respondenților consideră că nu este important să folosească mijloace robotizate. Majoritatea respondenților spun că nu îi interesează să folosească mijloace robotizate la semănat. Sortarea și ambalarea produselor este un domeniu în care majoritatea respondenților consideră că este indiferent dacă folosesc sau nu mijloace robotizate.

Atunci când este vorba de criteriile de decizie pentru folosirea de soluții robotizate în sere, majoritatea respondenților (30%) consideră ca fiabilitatea ridicată a soluției (adică siguranța în exploatare a dispozitivului, capacitatea acestuia de a funcționa fără defecțiuni) este

foarte importantă. În ordine descrescătoare a importanței, respondenții consideră că sunt foarte importante ușurința manevrării, flexibilitatea și faptul că soluția reprezintă o investiție mică. La polul opus, 40% dintre respondenți consideră că flexibilitatea unei soluții tehnice pentru sere nu este deloc importantă, dar nici valoarea mică a investiției și nici posibilitatea de manevrare ușoară nu sunt importante.

În ceea ce privește posibilitatea de asociere în vederea utilizării unei soluții robotizate în sere, majoritatea respondenților (44%, 13 din 30) consideră că aceasta este puțin probabilă, 23% consideră că aceasta este probabilă, 23% consideră că aceasta este posibilă, iar 10% consideră că este imposibil ca producătorii să se poată asocia în vederea folosirii de mijloace robotizate în sere. Acest răspuns reflectă starea de fapt evidențiată în statisticile INSSE [1].

2.4. Concluzii parțiale

Din analiza realizată anterior, reiese maxima importanță a cercetării vizând identificarea unor soluții aplicative pretabile condițiilor naționale specifice pentru robotizarea lucrărilor în sere.

Totodată, cele mai importante aspecte legate de folosirea roboților în agricultură pot fi grupate în 4 mari categorii [8]:

1. **Îndeplinirea unor funcții agricole adecvate** (funcții principale de utilitate), în ordinea descrescătoare a importanței lor: recoltare și ambalare, protecția plantelor și controlul buruienilor, transplant și însămânțare, monitorizare și gestionare a mediului, udare și fertilizare, posibilitatea de a realiza o mare varietate de sarcini, manipularea diverselor unelte
2. **Îndeplinirea unor sarcini de sprijin** (funcționalități sau funcții de utilitate auxiliară) – care sunt, în ordinea descrescătoare a importanței lor: ghidare și navigare, selectarea și apucarea fructelor, cartografiere și localizare, evitarea obstacolelor, expedierea vehiculelor pentru transport
3. **Costul minim al echipamentelor** – se compune din următoarele grupe, în ordinea descrescătoare a importanței lor: costuri de întreținere, costuri totale de investiții, disponibilitate, flexibilitate, reconfigurabilitate, transfer de cunoștințe).
4. **Caracteristici tehnice și structurale necesare**, care trebuie să rezulte din structura robotului și care sunt, în ordinea descrescătoare a importanței lor: sistem de direcție cu 4 roți, senzori cu ultrasunete, 2 controlere (Arduino și/sau Raspberry Pi), viziune stereo binoculară, sistem de alimentare cu energie, sistem de recoltare – gripper cu 5 grade de libertate, sisteme laser pentru scanarea liniară, 2/4 motoare, drivere, computer industrial / de bord, cameră foto, receptor GNSS, efector final

Alte aspecte care trebuie luate în considerare la proiectarea unui „ajutor” de seră robotizat iau în considerare forma dispozitivului de prindere, algoritmi optimizați pentru software, utilizarea instrumentelor specifice de inteligență artificială pentru o clasificare optimizată în timp real a recoltei.

Toate aceste nevoi pot fi abordate utilizând soluții automatizate în sere, cum ar fi roboții de recoltare. În cele ce urmează, vom prezenta un concept funcțional de robot de recoltare cu efect de seră, folosit pentru recoltarea roșiilor coapte.

3. ANALIZĂ CRITICĂ PRIVIND STADIUL ACTUAL AL PRINCIPALELOR SISTEME DE PREHENSIUNE UTILIZATE ÎN AGRICULTURĂ

3.1. Stadiul actual al cunoașterii în domeniul soluțiilor de prehensiune aplicabile la sistemele de recoltat legume

1. **Din punct de vedere al originii**, se disting două tipuri de sisteme de prehensiune: sisteme naturale de prehensiune (dintre care, cel mai evoluat este mâna umană) și sisteme artificiale de prehensiune (prehensori)[19]

2. **Din punct de vedere al aplicațiilor specifice**, sistemele de prehensiune se clasifică în [20]:

- 2a) Sisteme de prehensiune industriale
- 2b) Sisteme de prehensiune pentru aplicații medicale
- 2c) Micro și nano sisteme de prehensiune
- 2d) Sisteme de prehensiune pentru materiale ușoare
- 2e) Sisteme de prehensiune pentru obiecte fragile, etc.

3. **După principiul de funcționare**, preheensorii se pot clasifica în: mecanici, ingresivi, electromagnetici, electrostatici, de tip ventuză, cu jet de aer sau criogenici [5].

4. **După ordinul de mărime al obiectelor manipulate**, preheensorii pot acționa la scară macro (peste 100 μm), micro (de la 100 μm la 100 nm) sau nano (sub 100 nm).

3.2. Posibilități pentru integrarea soluțiilor de prehensiune în sistemele robotice de recoltat

În domeniul agricol, sistemele de prehensiune sunt folosite în special la recoltarea fructelor și legumelor. Nevoia de a nu deteriora produsele recoltate și variabilitatea dimensiunilor acestora impune, de regulă, ca preheensorii folosiți pentru recoltat să fie mecanici și să poată acționa la nivel macroscopic. Așadar, conform clasificării realizate în [5], preheensorii care ar putea fi folosiți în agricultură sunt: preheensori cu fricțiune, preheensori cu gheare, preheensori cu sucțiune.

Mediul agricol este un mediu parțial necunoscut. Chiar dacă se cunoaște poziția exactă a unei plante (tulpini) pe care se află fructele de cules, nu este cunoscută poziția exactă a unui fruct copt pe plantă.

Prin urmare, chiar dacă sistemul de mobilitate al unui robot de recoltat poate fi conceput și programat relativ ușor, sistemul de detecție și culegere a fructelor coapte fără a le deteriora este mai dificil de conceput și programat.

În 2015, Feng et al. [6] au propus un sistem robotic de recoltat tomate din sere. Un astfel de sistem robotic constă dintr-o platformă care se deplasează pe un sistem de șine într-o seră. Pentru detectarea fructelor coapte se folosește o combinație dintre o cameră de luat vederi și un sistem laser. Structura de comandă a unui asemenea robot ocupă spațiu, iar în plus, o seră în care acest dispozitiv ar putea să fie folosit trebuie să fie echipată cu șine pe care să se deplaseze robotul.

În 2016, Biquing et al.[2] au realizat conceptul unui robot care să culeagă roșii cherry, pe care l-au testat pe un stand experimental. Testarea a presupus 3 etape: 1 – testarea modului de identificare a roșiei, 2 – testarea răspunsului automatizat, 3 – testarea eficienței sistemului de control paralel. Performanța sistemului a fost măsurată prin rata de eșec (procentul de roșii deteriorate la culegere). Pentru sistemul propus, rata de eșec este între 1,21% și 1,35%, semnificativ îmbunătățită față de rata de eșec în cazul clasic (care este peste 7%).

În 2017, Lili et al. [13] au prezentat conceptul unui sistem robotizat autonom pentru culesul roșiilor. Acesta consta dintr-o platformă cu 4 roți care se pot mișca independent, care susținea un braț robotic cu 5 grade de libertate, un sistem de navigație în seră și un sistem video stereo pentru detectarea fructelor coapte. Sistemul de navigație a identificat corect drumul în seră cu o eroare de 80 mm. Brațul robotic putea ridica până la 1,5 kg. Rata de succes a sistemului video de recunoaștere a roșiilor coapte a fost de 93%. La distanțe mai mici de 600 mm, eroarea de poziționare a fost mai mică de 10 mm, iar timpul de recunoaștere a roșiei a fost de aproximativ 15 s / roșie, cu o rată de succes de aproximativ 86%.

Ideea de a calcula distanțe reale în funcție de distanțele în pixeli dintr-o imagine a mai fost descrisă și în [11]. Această lucrare descrie modul în care, folosind două camere, se pot determina coordonatele fructului de cules și se poate calcula mișcarea brațului robotic până la fruct.

3.3. Realizarea unui echipament tehnologic robotizat în concepție proprie pentru culegerea roșiilor în sere

Având în vedere rezultatele prezentate în [6], [2] sau [13], lucrarea și-a propus să realizeze și să testeze un echipament tehnologic robotizat care să se deplaseze într-o seră și să culegă roșii. Sistemul va consta dintr-o platformă cu 4 roți cu tracțiune autonomă care va susține unitatea centrală de comandă, brațul robotic și sistemul de detectare al fructelor.

Spre deosebire de cercetările efectuate anterior, sistemul de navigație nu presupune existența unor șine în seră (ca în [2]). Sistemul de navigație care se propune presupune existența unor rânduri de roșii, iar robotul se deplasează în linie dreaptă până când ajunge la capătul unui rând. În acest mod, sistemul de navigație va fi orientat mai degrabă spre detectarea unei noi plante într-un rând decât spre detectarea drumului în seră.

Sistemul de detectare a fructelor coapte propus în prezenta lucrare nu folosește două camere (ca sistemele propuse de [13] sau [11]) pentru a detecta un fruct copt și distanța până la acesta, ci folosește o singură cameră, dar căreia i se asigură condiții de iluminare suplimentare, pentru a realiza imagini cât mai fidele realității. În loc de două camere care să realizeze simultan două imagini, soluția care s-a propus folosește o singură cameră așezată pe prehensor, care, pentru a determina poziția relativă a roșiei față de prehensor, culege două imagini la o distanță în spațiu cunoscută.

4. CERCETĂRI TEORETICE ȘI EXPERIMENTALE PRIVIND PARTICULARITĂȚILE ELEMENTELOR STRUCTURALE ȘI FUNCȚIONALE ALE SISTEMELOR DE PREHENSIUNE FOLOSITE LA LUCRĂRILE DIN SERE

4.1. Obiectivele cercetării

- Analiza procesului de lucru al unui prehensor
- Conceperea unui prehensor folosit la sistemele robotizate în sere
- Integrarea și optimizarea funcțională a prehensorului propus

4.2. Descrierea metodologiei cercetării

Cercetările s-au efectuat după o metodologie a cărei schemă operațională este prezentată în Figura 1.

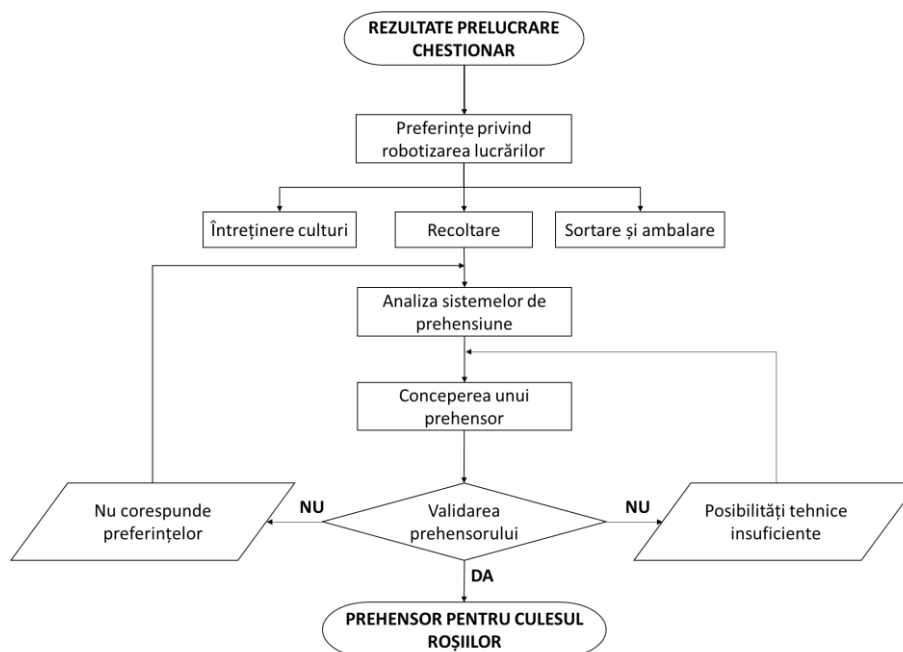


Figura 1. Metodologia cercetărilor – schemă

4.3. Investigarea procesului de lucru al unui prehensur

În 2014, Bolboe, Starețu și Alexandru [3] au realizat un prehensur antropomorf cu două degete, inspirat de mâna umană. Standul experimental consta în 5 subsisteme: actuator / motor, sistem de transmitere a mișcării, sistem senzorial, sistemul de comandă și control, prehensurul propriu-zis.

Obiectul prinderii se centrează singur, în funcție de forța aplicată, iar procesul de prindere continuă până când ambii senzori înregistrează o valoare maxim admisă.

4.4. Conceperea, integrarea și optimizarea funcțională a unui prehensur folosit la sistemele robotizate în sere

Un robot care să culeagă roșii, denumit în continuare RADAR 00 (Robot Automat De Adunat Roșii, nivelul model experimental), este alcătuit din următoarele componente: I – platforma mobilă, II – unitatea de comandă și sistemul de alimentare, III – brațul robotic propriu-zis.

Conceperea prehensurului a presupus:

- Identificarea unui sistem mecanic adecvat aflat în stare comercială pentru recoltarea roșiilor
- Adaptarea sistemului identificat la condițiile cerute de recoltarea roșiilor în sere

Sistemul de prehensiune este alcătuit din servomotorul MG995 acționat prin comenzi primite de la placa Arduino și prehensurul propriu-zis, care, într-o seră, poate fi un sistem cu două brațe (degete).

Similar cu cele descrise în [5], sistemul de prehensiune pentru roșii coapte trebuie să realizeze următoarele:

- Identificarea unei roșii coapte pe plantă
- Apropierea prehensurului de cu roșia coaptă
- Realizarea contactului și prinderea roșiei fără a o deteriora

- Desprinderea roșiei de plantă
- Mutarea roșiei desprinse până la un recipient colector
- Eliberarea roșiei

4.5. Concluzii parțiale

Pornind de la nevoile identificate la producătorii din zonă, a fost identificată opțiunea cea mai frecventă în preferințele acestora pentru folosirea unui eventual sistem robotic care să asiste procesele din sere. Această opțiune este cea de a folosi roboți pentru recoltare.

Recoltarea presupune existența unui braț robotic dotat cu un prehensur, iar de particularitățile prehensurului și de modul în care acesta acționează depinde procentul de fructe / legume culese fără a fi deteriorate.

Având în vedere specificul recoltei care este analizată în prezenta cercetare (culegerea de roșii coapte în sere), am optat pentru folosirea unui prehensur cu două degete, montat pe un braț robotic acționat de 5 servomotoare și deplasat printre rândurile de roșii dintr-o seră cu ajutorul unei platforme mobile.

În cele ce urmează, se vor descrie elemente esențiale ale sistemului robotic propus: procedeul de identificare al fructelor coapte, calibrarea prehensurului pentru a culege roșii fără a le deteriora și integrarea acestor subansambluri pe un sistem autonom care se deplasează în seră.

5. CERCETĂRI PRIVIND OPTIMIZAREA SISTEMELOR DE IDENTIFICARE A FRUCTELOR COAPTE

5.1. Obiectivele cercetării

- Identificarea caracteristicilor fructelor coapte pentru soiul San Marzano
- Scrierea unui algoritm pentru recunoașterea culorii unui fruct copt
- Scrierea unui algoritm pentru recunoașterea conturului unui fruct
- Optimizarea algoritmilor propuși și testarea lor în condiții reale
- Propunerea de soluții constructive pentru optimizarea sistemului de identificare a fructelor coapte

5.2. Materiale și metode utilizate pentru optimizarea sistemelor de identificare a fructelor coapte

Testarea algoritmilor de identificare a fructelor coapte s-a făcut folosind tomate din soiul San Marzano, cultivate în sera proprie, la Lugoj, ale cărei coordonate GPS, conform Google Maps sunt 45,686333; 21,908737 (latitudine 45°41'10"N, longitudine 21°54'31"E).

Pentru prezenta cercetare s-au utilizat etapele de maturitate ale tomatelor conform clasificării din [23] care, de la stânga la dreapta, presupun: verde crud, verde copt, gogonea, în pârgă, început de copt, aproape copt, copt. De obicei roșiile sunt recoltate atunci când încep să se coacă.

Culegerea unei imagini digitale se realizează cu un senzor foto (cameră foto). În realizarea robotului, s-a folosit un modul cameră cu unghi de vizibilitate larg, posibilitatea de focalizare reglabilă, adaptat pentru Raspberry Pi.

În condițiile de iluminat asigurate de RADAR 00 - structura robotică propusă în prezenta cercetare (2 lămpi laterale), setările pentru modulul de cameră trebuie să mai țină cont de timpul de încălzire al senzorului și de corectarea unei eventuale rotații a camerei datorată modulului de construcție.

Detectarea unui fruct, urmată de analiza stadiului de vegetație al acestuia se face printr-un algoritm de lucru asistat de un controler practic, realizat în concepție proprie prin utilizarea unei plăci cu microcontroler de tip Raspberry Pi.

Programul de prelucrare a imaginilor pentru detectarea fructelor coapte a fost realizat folosind limbajul de programare Python un limbaj de programare de nivel înalt de uz general. Acest limbaj construiește și abordează orientat pe obiect cu scopul de a ajuta programatorii să scrie clar coduri logice pentru proiecte la scală mică și mare. Programul conceput pentru detectarea fructelor coapte funcționează atât integrat în sistemul RADAR 00, cât și de sine stătător, pe orice sistem pe care este instalat, permițând, la fel ca și programul dezvoltat în [10], utilizarea sa facilă și independentă de sistemul de operare ales.

Rutina de prelucrare a imaginii presupune culegerea unei imagini, apoi prelucrarea atributelor acesteia în scopul extragerii de informații. Culegerea imaginii se realizează cu ajutorul unei funcții de sine stătătoare, pe care am conceput-o special. Această funcție va fi folosită de mai multe ori în cursul programului de detectare a poziției unui fruct. Prelucrarea imaginii, cu un filtru de roșu realizat în concepție proprie, este programată cu o altă funcție specială.

5.3. Rezultate și discuții referitoare la sistemul de identificare al fructelor coapte

Într-o primă fază, programul pentru detectarea culorii a fost testat pe spectrul culorilor, așa cum apare el în aplicațiile Microsoft Windows (Figura 2 și Figura 3).

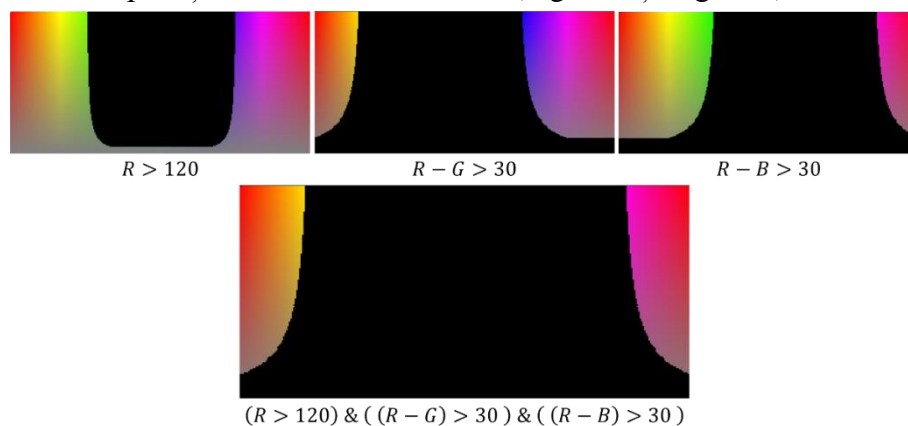


Figura 2. Culori admisibile pentru o roșie coaptă, raportat la spectrul culorilor și cele 3 componente ale filtrului pentru culoarea roșie



Figura 3. Cantitatea de roșu aferentă fiecărei etape de coacere a roșiilor

5.4. Concluzii parțiale

În acest capitol au fost identificate principalele caracteristici tehnologice pentru roșiile din soiul San Marzano. Acestea au influențat arhitectura conceptului de echipament tehnologic robotizat pentru recoltarea de roșii: a fost folosit un prehensur de dimensiuni compatibile cu dimensiunile roșiei, au fost folosite motoare de putere suficientă pentru a culege roșia, au fost calibrați algoritmi de recunoaștere a fructului copt în funcție de dimensiunile standard ale unei roșii coapte.

Tot în acest capitol au fost construiți algoritmi de detectat culoarea roșie, respectiv poziția unei roșii. Optimizarea procesului de identificare a fructelor coapte presupune atât optimizarea algoritmilor de recunoaștere, cât și optimizarea constructivă a sistemului robotic.

Conceptul optimizat de sistem robotic și algoritmi de detecție a roșiilor coapte și a poziției acestora față de prehensur au fost testate în condiții reale, în sera proprie de la Lugoj.

În capitolele următoare se va studia sistemul de prehensiune a fructelor coapte și, în final, se va prezenta în ansamblu conceptul de echipament tehnologic robotizat pentru recoltarea roșiilor în seră.

6. CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND INTERACȚIUNEA ÎNTRE SISTEMUL DE PREHENSIUNE ȘI ROȘIILE COAPTE

6.1. Obiectivele cercetării

- Testarea sistemului de prehensiune al sistemului robotizat propus pentru recoltarea roșiilor din sere
- Stabilirea structurii și a parametrilor tehnico-funcționali optimali ai sistemului robotizat pentru recoltarea roșiilor din sere
- Optimizarea funcțională a unui prehensur dedicat culegerii de roșii

6.2. Materiale și metode utilizate în studiul interacțiunii dintre sistemul de prehensiune și roșiile coapte

Pentru realizarea obiectivelor enunțate anterior, a fost realizat, în concepție și execuție proprie, un stand experimental, cu ajutorul căruia au fost analizate date referitoare la prehensur obținute pentru 10 probe de roșii.

Standul experimental integrează prototipul concepție proprie ETR (RADAR 00) pentru cules roșii cu un suport cu baza dintr-un material elastic (suprafață flexibilă) pe care este așezată roșia și două comparatoare care măsoară deformarea roșiei. Pe prehensorul RADAR 00 au fost montați senzori de forță, luminile fiind utilizate și în acest caz. Detaliile sunt prezentate în Figura 4 și Figura 5.

În Figura 4 și Figura 5 s-au folosit următoarele notații pentru detalii: 1 – suportul pentru roșie; 2 – roșia (proba); 3 – comparator mecanic; 4 – comparator electronic; 5 – modulul cameră de luat vederi; 6 – sursele de lumină; 7 – brațul robotic; 8 – platforma mobilă; 9 – sistemul de comunicare cu robotul; 10 – detaliu al standului experimental, prezentat din alt unghi în Figura 5; 11 – deget prehensor; 12 – deget prehensor; 13 – servomotor MG995; 14 – senzor de forță; 15 – senzor de forță.

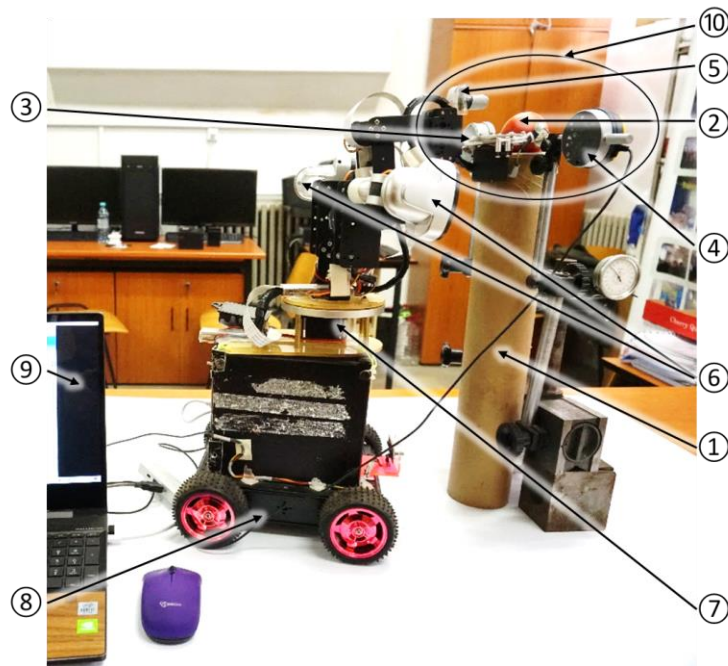


Figura 4. Stand experimental în laborator pentru cercetarea interacțiunii dintre prehensor și roșie în vedere principală (arhiva personală)



Figura 5. Stand experimental (detaliu vedere de sus)

Roșiile pentru care au fost efectuate experimentele sunt roșii clasice rotunde care provin de la Serele Super din Biled [16] și au calibrul 50 mm. Cele 10 probe de roșii au fost prelevate aleator dintr-un eșantion de 100 bucăți.

După prelevare, fiecare roșie a fost marcată permanent cu un număr de la 1 la 10 (codul probei), apoi i s-au măsurat dimensiunile și masa.

Pentru fiecare roșie au fost măsurate două diametre longitudinale după direcții perpendiculare pe axul roșiei și două diametre transversale după direcții perpendiculare pe planele determinate de axul roșiei și diametrele longitudinale. Diametrul longitudinal al roșiei este media aritmetică a diametrelor longitudinale măsurate, iar înălțimea roșiei este media aritmetică a diametrelor transversale măsurate.

Masa fiecărei roșii a fost determinată în grame, folosind o balanță analitică OHAUS Discovery cu o precizie de 10^{-5} grame.

Pentru realizarea experimentului, s-au înregistrat următoarele date:

- Masa m_i a fiecăreia din cele 10 roșii analizate ($i = \overline{1,10}$)
- Diametrul transversal mediu $D_{med,i}$ pentru fiecare din cele 10 roșii analizate ($i = \overline{1,10}$)
- Înălțimea $H_{med,i}$ a fiecăreia din cele 10 roșii analizate ($i = \overline{1,10}$)
- Unghiul U corespunzător brațului servomotorului
- Deformația ΔD_m citită de comparatorul mecanic
- Deformația ΔD_e citită de comparatorul electronic
- Valoarea forței specifice citită pe senzorul de forță din dreapta, $F_{spec,1}$, corespunzătoare fiecărui unghi U și fiecărei roșii i ($i = \overline{1,10}$)
- Valoarea forței specifice citită de senzorul de forță din stânga, $F_{spec,2}$, corespunzătoare fiecărui unghi U și fiecărei roșii i ($i = \overline{1,10}$)

Din punct de vedere al abordării și utilizării în procesul real, datele colectate se împart în:

- date controlabile (care țin de înregistrările senzorilor)
- date parțial controlabile (care țin de interacțiunea dintre sistemul de prehensiune și roșie)
- date necontrolabile (care țin de roșie și nu pot fi măsurate precis decât după ce roșia a fost culeasă)

Datele obținute experimental au fost analizate din punct de vedere al deformației relative, al unghiului făcut de brațul servomotorului cu axul acestuia și al forței aplicate pe roșii, rezultând următoarele analize:

- Variația deformației relative, ΔD_{rel} în funcție de unghiul servomotorului, U

$$\Delta D_{rel} = f(U) \quad (1)$$

- Variația forței medii de apăsare, F_{spec} , în funcție de unghiul servomotorului, U

$$F_{spec} = f(U) \quad (2)$$

- Variația deformației relative, ΔD_{rel} în funcție de variația forței medii de apăsare, F_{spec}

$$\Delta D_{rel} = f(F_{spec,i}) \quad (3)$$

6.3. Rezultate și discuții

Pentru cele 407 seturi de date complete considerate, a fost efectuată o analiză a corelațiilor, în urma căreia au fost alese pentru studiu deformația medie, variația forței de apăsare și unghiul servomotorului.

Relația care descrie cel mai bine dependența dintre deformația relativă a roșiilor, ΔD_{rel} și unghiul servomotorului, U , este una de tip multiplicativ, pentru care coeficientul de corelație este 0,9995, iar coeficientul de determinare este 99,89% (deci modelul explică 99,89% din variația lui ΔD_{rel}):

$$\Delta D_{rel} = e^{0,787229 \cdot \ln U} = U^{0,787229} \quad (4)$$

Abaterea medie pătratică pentru acest model este de 0,0598143, iar eroarea standard a estimării de 0,11428, la un nivel de încredere de 95%.

În cazul dependenței forței de apăsare de unghiul servomotorului, datele sunt explicate cel mai bine de un model multiplicativ, pentru care coeficientul de corelație este 0,9998, iar coeficientul de determinare este de 99,96%. Ecuația care descrie acest model este:

$$F = e^{1,50249 \cdot \ln U} = U^{1,50249} \quad (5)$$

Abaterea medie pătratică pentru acest model este de 0,110589, iar eroarea standard a estimării de 0,136569, la un nivel de încredere de 95%.

Ecuația de regresie care descrie cel mai bine dependența dintre deformația relativă și variația forței de apăsare este

$$\Delta D_{rel} = (0,2024 \cdot \sqrt{F})^2 = 0,04096 \cdot F \quad (6)$$

Cu un coeficient de corelație între variabile de 1, această ecuație explică 99,99% din variația lui ΔD_{rel} în funcție de F . Abaterea medie pătratică pentru acest model este de 0,0366949, iar eroarea standard a estimării de 0,0447245, la un nivel de încredere de 95%.

6.4. Analiza fezabilității soluțiilor obținute pentru transpunerea la alte soiuri de roșii

Analizând setul de date colectat în urma experimentului, am obținut o primă relație între aceste variabile:

$$F = 4,2272 \cdot m + 0,0158618 \cdot U + 24,3837 \cdot 100 \cdot \Delta D_{rel} - 10,826 \cdot H_{med} + 5,52186 \cdot D_{med} \quad (7)$$

Ecuația explică 99,9942% din variabilitatea forței medii aplicate, F . Eliminând variabila U , care nu este semnificativă la un nivel de încredere de 95%, se obține următorul model pentru forța medie:

$$F = 4,23208 \cdot m + 24,4192 \cdot 100 \cdot \Delta D_{rel} - 10,8636 \cdot H_{med} + 5,55715 \cdot D_{med} \quad (8)$$

Și această ecuație explică 99,9942% din variabilitatea forței medii, F , dar în acest caz valorile P asociate fiecărei variabile de intrare sunt nule. În consecință, nu este necesar ca modelul să fie simplificat.

Această ecuație poate fi folosită pentru calculul forței medii de apăsare a prehensorului în cazul în care se dorește culegerea unei roșii pentru care masa, înălțimea medie, diametrul mediu sunt cunoscute, pentru o deformare relativă maximă stabilită inițial.

În practică, dacă diametrul mediu și înălțimea medie a unei roșii mature dintr-un anumit soi pot fi considerate cunoscute, masa roșiilor nu poate fi determinată eficient înainte de a le culege. În concluzie, o ecuație mai realistă pentru determinarea forței medii de apăsare ar trebui să nu țină cont de masa roșiei.

O astfel de ecuație, care să determine forța medie de apucare a roșiei în funcție de date cunoscute, măsurabile apriori, este:

$$F = 24,1464 \cdot 100 \cdot \Delta D_{rel} - 8,77955 \cdot H_{med} + 8,9836 \cdot D_{med} \quad (9)$$

Această ecuație explică 99,9844% din variabilitatea lui F , iar valorile P asociate fiecărui factor al ecuației sunt nule – așadar toți factorii sunt semnificativi la un nivel de încredere de 95%.

Am aplicat formula pentru forța de apucare medie la 15 soiuri și hibrizi de roșii produși la SCDL Buzău între 1957 și 2015, pentru care se cunosc înălțimea medie și diametrul mediu ale fructelor.

În cazul roșiilor din soiul San Marzano, ale căror caracteristici au fost prezentate pe larg

în Capitolul 5, subcapitolul 5.1 ($H_{med} = 90 \text{ mm}$, $D_{med} = 40 \text{ mm}$), aplicarea formulei (9) conduce la următoarele concluzii:

- Unei forțe de apăsare maxime de 950 U.M. (limita impusă pentru citirile senzorilor de presiune în condiții de laborator) îi corespunde o deformare relativă pentru roșiile de 0,57%.
- În condiții de teren, s-a folosit valoarea maximă pentru valoarea forței de apăsare de 700 U.M., ceea ce, înlocuit în ecuația (9), arată că deformarea maximă pe care o poate suferi o roșie San Marzano atunci când este culeasă folosind sistemul robotic propus este de 0,47%.

6.5. Concluzii parțiale

O etapă logică în validarea unui ETR folosit pentru recoltare presupune testarea sistemului de prehensiune și stabilirea parametrilor tehnico-funcționali optimali ai acestuia atunci când sunt recoltate fructele.

Sistemul a fost testat în condiții de laborator și au fost identificate relații de dependență între unghiul servomotorului, U , variația forței de apăsare asupra roșiilor, F și deformația relativă a acestora, ΔD_{rel} .

Dependențele $\Delta D_{rel} = f(U)$ și $F = f(U)$ folosesc ca variabilă independentă unghiul servomotorului, dar depind în mare măsură de dimensiunile roșiei, dimensiuni care, cu o anumită marjă de eroare, sunt specifice soiului de roșii cules. O dependență mai realist formulată este $\Delta D_{rel} = f(F)$, care se poate aplica în orice împrejurare, pentru orice roșie dintr-un anumit soi.

Pe baza datelor experimentale, au fost determinate formule pentru deformația relativă ΔD_{rel} în funcție de forța de apăsare F , diametrul mediu al roșiei D_{med} și înălțimea medie a roșiei H_{med} . Aceste formule au permis stabilirea de limite superioare pentru forța de apăsare înregistrată de senzori astfel încât deformarea relativă a roșiei să nu depășească o anumită valoare.

Tot pe baza acestor formule, a fost validată și limita superioară impusă pentru valoarea citită de către senzorul de forță atunci când ETR a fost folosit în condiții reale, în seră.

În cele ce urmează, rutina de identificare a fructelor coapte și cea de culegere a fructelor fără a le deteriora se vor integra într-un prototip de ETR pentru culegerea de roșii într-o seră.

7. CERCETĂRI PRIVIND PROIECTAREA, INTEGRAREA ȘI OPTIMIZAREA COMPONENTELOR ÎNTR-UN ECHIPAMENT TEHNOLOGIC ROBOTIZAT DESTINAT LUCRĂRILOR ÎN SERE ȘI SOLARII

7.1. Obiectivele cercetării

- Realizarea unui prototip de echipament tehnologic robotizat (ETR) pentru culesul roșiilor
- Integrarea elementelor de identificare a fructelor coapte și a procedurii de prindere a unei roșii fără a o deteriora în ETR construit
- Implementarea unui sistem de mobilitate specific condițiilor de seră
- Optimizarea deplasării la recoltat
- Testarea sistemului pentru culegerea efectivă a roșiilor

7.2. Condiții impuse de teren

Experimentele pe teren au fost efectuate în sera proprie, aflată în Lugoj.

În această seră au fost cultivate roșii San Marzano, în 4 rânduri a câte 15 plante. Distanța dintre plante a fost de 35 cm, iar distanța dintre rânduri de 60 cm.

7.3. Schema de principiu a unui ETR pentru culesul roșiilor

RADAR 00 s-a conceput ca o structură alcătuită dintr-un braț robotizat montat pe o platformă cu 4 roți cu tracțiune independentă, care să realizeze mișcarea autonomă prin seră, între rândurile de roșii. La detectarea unei plante, platforma autonomă se oprește și caută roșiile coapte folosind algoritmi de procesare a imaginilor. Atunci când este identificată o roșie coaptă, un alt algoritm calculează coordonatele țintei cu privire la prindere și planifică mișcarea robotică a brațului până când roșia coaptă este prinsă și detașată de plantă.

Astfel, pe o platformă P dotată cu 4 motoare (MP1, MP2, MP3, MP4) este montat un braț robotic constând din: baza B, segmentele S1, S2, S3 și prehensorul (cleștele) C. Articulațiile sistemului constau din următoarele motoare:

- MB1, care leagă baza brațului robotic de platformă și care efectuează rotație în plan orizontal
- MB2 și MB3, care leagă segmentele S1 și S2 și care efectuează rotație în plan vertical. Cele două motoare sunt legate în paralele pentru a crește momentul forței.
- MB4, care leagă segmentele S2 și S3 și care efectuează o rotație în plan vertical.
- MB5, care leagă segmentul S3 de prehensorul C și care efectuează o mișcare de rotație într-un plan perpendicular pe axa segmentului S3.
- MC, care acționează cleștele prehensor și care efectuează o rotație în planul celor două degete ale cleștelui C.

Pe aceeași bază conceptuală se prezintă schema funcțională bloc a sistemului robotic. Sistemul de comandă folosește o placă tip Arduino care comunică cu un microcomputer Raspberry Pi. Datele de intrare sunt citite de următoarele tipuri de senzori:

- Sensor de proximitate lateral, ale cărui citiri sunt folosite de placa Arduino și care permite detectarea unei plante
- Sensor de proximitate față, ale cărui citiri sunt folosite de placa Arduino și care permite detectarea unui fruct
- Sensor de presiune, ale cărui citiri sunt folosite de placa Arduino și care permite aplicarea unei forțe pentru culegerea fructului
- Camera de luat vederi, ale cărui citiri sunt folosite de microcomputerul Raspberry Pi și care permite detectarea unui fruct copt

Sistemul RADAR 00 conține:

7.3.1. Platforma mobilă – un șasiu robotic din metal, care conține:

- A. 4 motoare pentru a permite o deplasare liberă în seră
- B. placă de dezvoltare pentru controlul motoarelor
- C. 4 roți
- D. senzori ultrasonici pentru a permite identificarea plantelor în seră

7.3.2. Unitate de comandă și sistem de alimentare, care conține:

- A. Arduino Mega pentru controlul motoarelor șasiului
- B. Raspberry Pi 3 pentru prelucrarea datelor de la senzori și analiza imaginilor
- C. Baterie 12 V 5 Ah pentru alimentarea motoarelor care pun în mișcare roțile platformei mobile
- D. Baterie externă pentru alimentarea Raspberry și Arduino
- E. Modul reglare tensiune pentru a proteja componentele de eventuale supratensiuni
- F. Buton pornire / reset

7.3.3. Braț robotic, care conține:

- A. Braț robotic cu 5 grade de libertate
- B. 5 servomotoare, care să pună în mișcare diversele segmente ale brațului robotic
- C. Prehensor (gripper)
- D. Modul cameră de luat vederi care să culeagă imagini din seră
- E. Senzor presiune care să furnizeze date despre procesul de prehensiune
- F. Lămpi ajutătoare care să asigure condiții de iluminat optime

7.4. Sistemul de mobilitate specific în sere

Algoritmul de mișcare al robotului RADAR 00 poate fi descris ca o succesiune de pași procesuali care să includă următoarele cerințe funcționale independente succesive:

- Găsește o plantă
- Găsește o roșie coaptă pe plantă
- Prinde roșia
- Rotește roșia pentru a o desprinde de pe plantă
- Pune roșia într-un coș alăturat
- Revine la plantă și începe de la capăt
- Dacă nu mai sunt găsite roșii coapte, găsește următoarea plantă pe rând și începe un nou ciclu

7.5. Calculul optimizării deplasării la recoltat

Comanda deplasării brațului robotic la recoltat este realizată printr-un program scris în Python care rulează pe Raspberry Pi.

Pentru a determina deplasarea brațului robotic, este nevoie de prelucrarea a două imagini. Se realizează prima imagine, se prelucrează și se ajustează, apoi robotul se deplasează o distanță δ (în cazul nostru, $\delta = 0,05 \text{ m}$), se realizează a doua imagine care se prelucrează și se ajustează. Pe baza acestor calcule se determină distanța până la roșie, adică coordonatele spațiale (x,y,z) la care trebuie să ajungă prehensorul. De asemenea, se transmit coordonatele mișcării prehensurului.

7.6. Culegerea efectivă a roșiei

Pentru culegerea efectivă a roșiei, este necesar ca distanțele calculate în programul de identificare a roșiei să fie transformate în unghiuri după care se mișcă motoarele. Aceasta se realizează folosind un algoritm în concepție proprie (Figura 7).



Figura 6. Procesul de prindere a roșiei

7.7. Concluzii parțiale

Elementele de identificare a fructelor coapte și procedeul de culegere a lor fără a le deteriora au fost integrate într-un ETR specializat pentru culesul roșiilor în condiții de seră.

În capitolul de față au fost prezentate componentele folosite pentru realizarea unui astfel de ETR și justificarea alegerii acestora din punct de vedere funcțional.

În plus, a fost prezentat sistemul de mobilitate specific condițiilor în seră, rutina de optimizare a distanței la recoltat și de culegere efectivă a roșiilor în seră. Pentru toate acestea am prezentat algoritmi și elemente de cod, realizate în concepție proprie, pentru a integra toate aceste aspecte în prototipul RADAR 00.

Fiind vorba de un prototip, au fost dezvoltate acele funcții considerate importante pentru a recolta roșii: identificarea fructelor, calculul distanței până la fructul copt și prinderea fructelor fără a le deteriora.

ETR funcționează într-o seră, în care se cunoaște dispunerea geometrică a plantelor (numărul de rânduri, numărul de plante de pe un rând, distanța aproximativă între rânduri și între plante) și, de asemenea, se presupune că în deplasarea sa ETR nu întâmpină obstacole (ca de exemplu pietre, bulgări de pământ sau gropi). Din această cauză, este suficient ca distanța dintre șasiu și sol să fie de 13 mm.

În această variantă, ETR culege roșia și o transportă într-un recipient (coș). Se are în vedere folosirea de motoare mai puternice pentru platformă, astfel încât să fie posibilă tractarea unui coș în care să se depoziteze fructele culese.

O variantă îmbunătățită a prototipului propus va ține cont și de posibilitatea existenței obstacolelor în seră, prin creșterea distanței dintre șasiu și sol.

De asemenea, se va avea în vedere o variantă în care ETR poate culege fructe aflate la distanță mai mare – prin prelungirea segmentelor brațului robotic și adaptarea servomotoarelor în consecință.

8. CONCLUZII ȘI CONTRIBUȚII PERSONALE. PERSPECTIVE VIITOARE

8.1. Concluzii generale

Nevoile locale de hrană ale populației au o rezolvare strâns legată de dinamica pieței muncii în domeniul agricol. Nevoia de muncitori care să presteze activități în domeniul agricol poate fi soluționată folosind ETR care să îndeplinească o parte din aceste munci agricole.

Pornind de la această nevoie, obiectivul prezentei cercetări a fost de a optimiza, din punct de vedere constructiv și funcțional, un ETR care să recolteze tomate în sere.

Cercetările s-au axat pe identificarea nevoilor producătorilor și pe optimizarea unui ETR folosit la recoltat din punct de vedere al identificării fructelor coapte și al culegerii acestora.

În cadrul cercetărilor, am descoperit că proprietarii de sere nu cunosc avantajele asocierii și a utilizării de roboți agricoli, chiar dacă aplicarea acestor tehnologii este oportună. Aceasta a sugerat ideea realizării unor show-room-uri în care aceste echipamente să fie prezentate.

De asemenea, au fost identificate preferințele producătorilor privind utilizarea roboților la muncile agricole – ceea ce a fundamentat cercetarea prezentă, de a realiza un ETR pentru culegerea fructelor coapte.

Un aspect important este identificarea corectă a fructelor – care a fost studiat și pentru care au fost propuse soluții originale. De asemenea, este importantă culegerea fructelor fără a le deteriora. Interacțiunea dintre prehensor și fructe și fezabilitatea acestora pentru diverse soiuri de roșii au fost studiate.

În final, s-au prezentat aspecte constructive ale ETR, integrarea și optimizarea elementelor de prehensiune și optice într-o structură funcțională.

Din punct de vedere al maturității tehnologice, principiile de bază (TRL 1) au fost observate în [15] și [14]. Pe baza acestora a fost formulat conceptul tehnologic de RADAR 00 (TRL 2). Lucrarea de față prezintă demonstrarea conceptului la nivel experimental (TRL 3) și validarea componentelor în condiții de laborator (TRL 4). De asemenea, ansamblul RADAR 00 a fost validat în condiții relevante de funcționare în sera proprie, atingând astfel nivelul de maturitate tehnologică TRL 5.

8.2. Contribuții personale

Activitatea de cercetare teoretică și experimentală desfășurată în cadrul prezentei pregătiri doctorale a condus la realizarea mai multor contribuții personale dintre care se menționează, în continuare, câteva structurate în contribuții teoretice, contribuții experimentale și contribuții aplicabile industrial.

Contribuții teoretice

- Conceperea, aplicarea și interpretarea unui chestionar pentru analiza cerințelor pieței privind posibilitățile de utilizare a sistemelor robotizate în sere. Prin aceasta s-au atins obiectivele secundare OS1 și OS2.
- Analiza critică a principalelor sisteme de prehensiune utilizate în agricultură. Prin aceasta s-a atins obiectivul secundar OS3.
- Elaborarea unui model conceptual integrat de ETR. Prin aceasta s-a atins obiectivele secundare OS4, OS5, OS6.

Contribuții experimentale

- Analiza cerințelor pieței privind posibilitățile de utilizare a sistemelor robotizate în serele din zona de Vest a României
- Analiza cerințelor pieței privind particularitățile elementelor de prehensiune utilizate în sere
- Conceperea și optimizarea funcțională a unui ETR care să culeagă roșii
- Determinarea unei soluții originale de identificare corectă a roșiilor coapte. Aceasta contribuie la realizarea obiectivului OS4.
- Determinarea unei soluții optime privind interacțiunea dintre prehensor și fructele coapte. Aceasta contribuie la realizarea obiectivului OS5.
- Realizarea în concepție originală a brațului robotic, care contribuie la realizarea obiectivului OS6.
- Studiul dependențelor între forța medie aplicată, F și unghiul de strângere, U , deformarea relativă ΔD_{rel} , înălțimea medie H_{med} și diametrul mediu D_{med} al roșiilor (formulele (7), (8), (9)).
- Determinarea de limite superioare pentru forța medie de apăsare în cazul a 15 soiuri și hibrizi de roșii produse de SCDL Buzău, în cazul în care deformarea relativă a fructelor în urma interacțiunii cu prehensorul nu depășește o anumită valoare prag (0,1%, 0,2% sau 0,3%).

- Determinarea de limite superioare pentru forța medie de apăsare în cazul roșiilor San Marzano atunci când deformarea relativă a fructelor coapte la cules se încadrează între 0,2% și 0,6%.

Contribuții aplicabile industrial

- Soluția practică de identificare a fructelor coapte, aplicabilă în ETR
- Soluția de deplasare a brațului robotic pentru a culege un fruct copt
- Soluții privind integrarea și optimizarea sistemelor de identificare a fructelor coapte și de interacțiune dintre prehensor și fruct într-o structură funcțională
- Stabilirea toleranțelor utilizate în proiectarea, controlul și comanda sistemelor de prehensiune
- Echipamentul tehnologic robotizat pentru culegerea de roșii

8.3. Perspective de dezvoltare ulterioară a cercetării

Prototipul de ETR realizat pentru recoltarea roșiilor – RADAR 00 – este un prototip relativ ieftin și ușor de întreținut din punct de vedere al programării. Acesta funcționează în sere în care mediul este parțial controlat, fiind potrivit pentru demonstrații la scară mică.

Din punct de vedere al maturității tehnologice, conceptul RADAR 00 se află la nivelul TRL 5. Urmează în mod procedural desfășurarea unor activități pentru demonstrarea modelului în condiții relevante de funcționare în mediul agricol (TRL 6), demonstrarea prototipului în condiții relevante de funcționare (TRL 7), apoi finalizarea acestuia (TRL 8 și TRL 9).

Un aspect care poate fi dezvoltat ulterior este extinderea prehensorului pentru a culege și alte tipuri de fructe și legume (de exemplu roșii galbene, ardei galbeni, castraveți care să fie identificați corect, etc).

Un alt aspect care va fi îmbunătățit pe viitor este șasiul și distanța dintre acesta și sol (creșterea „gărzii la sol”). Astfel, prototipul va putea fi folosit în condiții mai largi în sere. Prin folosirea de motoare mai puternice pe șasiu, devine posibilă atașarea unei mini-remorci (coș) în care fructele culese să fie depozitate imediat. Astfel, timpul de culegere al fructelor se diminuează semnificativ.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Association for Advancing Automation. (2022). *Different types of agricultural robots*. Preluat pe 05 12, 2022, de pe <https://www.automate.org/blogs/robotics-in-agriculture-types-and-applications>
- [2] Biqing, L., Yongfa, L., Hongyan, Z., & Shiyong, Z. (2016). The design and realization of cherry tomato harvesting robot based on IOT. *International Journal of Online and Biomedical Engineering (iJOE)*, 12(12), 23-26.
- [3] Bolboe, M., Staretu, I., & Alexandru, P. (2014). Experimental Results Regarding an Anthropomorphic Original Gripper with Two-Finger Tests during Grasping Objects with Varied Shapes. *Journal of Mechanics Engineering and Automation*, 33(4), 234-241.
- [4] Chen, J., Wu, J., Wang, Z., Qiang, H., Cai, G., Tan, C., & Zhao, C. (2021). Detecting ripe fruits under natural occlusion and illumination conditions. *Computers and Electronics in Agriculture*, 190, 106450.
- [5] Fantoni, G., Santochi, M., Dini, G., et al. (2014). Grasping devices and methods in automated production processes. *CIRP Annals*, 63(2), 679-701.

- [6] Feng, Q., Wang, X., Wang, G., & Li, Z. (2015). Design and test of tomatoes harvesting robot. *2015 IEEE International Conference on Information and Automation* (pg. 949-952). IEEE.
- [7] Gan, H., Lee, W. S., Alchanatis, V., Ehsani, R., & Schueller, J. K. (2018). Immature green citrus fruit detection using color and thermal images. *Computers and Electronics in Agriculture*, *152*, 117-125.
- [8] Ghergan, O., Țucu, D., Iusco, A., Drăghicescu, D., & Merce, R. (2019). Small greenhouse robotized solutions: state of the art and future perspectives. În F. o. University of Zagreb (Ed.), *Proceedings of the 47th International Symposium, Actual Tasks on Agricultural Engineering*, (pg. 267-276). Opatija, Croatia.
- [9] INSSE. (2021, 06 10). *AGR108A - Suprafata cultivata cu principalele culturi, pe forme de proprietate, macroregiuni, regiuni de dezvoltare si judete*. Preluat pe 03 25, 2022, de pe <http://statistici.insse.ro:8077/tempo-online/#/pages/tables/insse-table>
- [10] Ionica, D. A., Maris, S. A., Dicu, R., & Maris, S. (2019). Linear Programming Tool for the Optimization of Mixed Biomass Fuel Recipes. *BRAIN. Broad Research in Artificial Intelligence and Neuroscience*, *10*(3), 139-149.
- [11] Jin, Y. (2020). Recognition technology of agricultural picking robot based on image detection technology. *INMATEH-Agricultural Engineering*, *62*(3).
- [12] Levin, M., & Degani, A. (2016). Design of a Task-Based Modular Re-Configurable Agricultural Robot. *IFAC-PapersOnLine*, *49*(16), 184-189.
- [13] Lili, W., Bo, Z., Jinwei, F., et al. (2017). Development of a tomato harvesting robot used in greenhouse. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, *10*(4), 140-149.
- [14] Maris, S.A., Ghergan, O., Maris, S., Draghicescu, D., & Popescu, E. (2021). The use of robots for environment protection in greenhouses. *Scientific Conference "Integrated Solutions regarding Environment Protection by Preventing and Reducing agro-industrial pollution"*. Zrenjanin, Online, 31.05-01.06.2021.
- [15] Maris, S., Tucu, D., Banabatsas, T., Nagy, V., Maris, S., & Nenu, P. (2017). Possibilities of using the robots in greenhouses. *Proceedings of the 45th International Symposium on Agricultural Engineering, Actual Tasks on Agricultural Engineering* (pg. 531-537). Opatija, Croatia: University of Zagreb, Faculty of Agriculture.
- [16] Modern Buyer. (2021). *Silvia Răileanu, Serele SuperR: Producem opt luni din an și acesta este un atu în colaborarea cu marii retaileri*. Preluat pe 11 15, 2021, de pe <https://modernbuyer.ro/silvia-raileanu-serele-super-producem-opt-luni-din-an-si-acesta-este-un-atuu-in-colaborarea-cu-marii-retaileri/>
- [17] Pinduoduo. (2020). *Agricultural Robots: Robots in Agriculture and Farming*. (Pinduoduo) Preluat pe 05 12, 2022, de pe <https://stories.pinduoduo-global.com/agritech-hub/robots-in-agriculture-and-farming>
- [18] Rodríguez, F., Moreno, J. C., Sánchez, J. A., & Berenguel, M. (2013). Grasping in agriculture: State-of-the-art and main characteristics. În *Grasping in robotics* (pg. 358-409). London: Springer.
- [19] Starețu, I. (2010). *Sisteme de prehensiune, Ediția a II-a revăzută și adăugită*. Brașov: Editura Lux Libris.
- [20] Tai, K., El-Sayed, A. R., Shahriari, M., Biglarbegan, M., & Mahmud, S. (2016). State of the art robotic grippers and applications. *Robotics*, *5*(2), 11.
- [21] Tao, Y., & Zhou, J. (2017). Automatic apple recognition based on the fusion of color and 3D feature for robotic fruit picking. *Computers and electronics in agriculture*, *142*, 388-396.

- [22] Thomas Publishing Company. (2020). *All About Industrial Robots*. (Thomas Publishing Company) Preluat pe 04 11, 2022, de pe <https://www.thomasnet.com/articles/automation-electronics/all-about-industrial-robots/>
- [23] Umbel Organics. (2020). *When to harvest heirloom tomatoes*. (Umbel Organics) Preluat pe 12 8, 2021, de pe <https://umbelorganics.com/harvest-heirloom-tomatoes/>
- [24] Zhang, B., Xie, Y., Zhou, J., Wang, K., & Zhang, Z. (2020). State-of-the-art robotic grippers, grasping and control strategies, as well as their applications in agricultural robots: A review. *Computers and Electronics in Agriculture*, 177(105694).