

PROIECTAREA ȘI IMPLEMENTAREA UNUI SISTEM INFORMATIC GEOGRAFIC PENTRU AGRICULTURA INTELIGENTĂ

Student-doctorand: **Alexandru-Lucian VÎLCEA**

Conducător de doctorat: **prof. univ. dr. Marian DÂRDALĂ**

CUPRINS

1. INTRODUCERE.....	1
1.1. Obiectivele cercetării	3
1.2. Metodologia cercetării	5
1.3. Structura tezei de doctorat.....	7
2. ROMÂNIA ÎN CONTEXTUL AGRICULTURII INTELIGENTE	9
2.1. Producția agricolă a României	9
2.2. Motivația alegerii temei de cercetare	12
2.3. Platforme web de monitorizare agricolă.....	13
3. ELEMENTE DEFINITORII ALE AGRICULTURII INTELIGENTE	16
3.1. Agricultură de precizie: element esențial în eficientizarea producției agricole	16
3.2. Analiza recoltelor folosind indici de vegetație	23
3.3. Rețelele neuronale artificiale în detectarea anomaliilor în dezvoltarea plantelor	32
4. CONCEPTE ARHITECTURALE ȘI TEHNOLOGII UTILIZATE	35
4.1. Abordări arhitecturale în implementarea platformei web	36
4.2. Tehnologii utilizate în dezvoltarea componentelor client-server	38
4.3. Tehnologii de prelucrare și reprezentare a datelor cu caracter spațial.....	43
4.4. Tehnologii de prelucrare și clasificare automată a imaginilor.....	44
5. PROIECTAREA ȘI IMPLEMENTAREA SISTEMULUI INFORMATIC	47

5.1.	Definirea fluxului de lucru al utilizatorului.....	48
5.2.	Arhitectura sistemului	51
5.2.1.	Diagramele de context	51
5.2.2.	Diagramele de container.....	53
5.2.3.	Diagramele de componente și implementarea modulelor platformei	54
5.2.3.1.	Modulul de gestionare a loturilor agricole, plantelor și bolilor	55
5.2.3.2.	Modulul de planificare a misiunilor aeriene.....	70
5.2.3.3.	Modulul de generare a ortofotoplanurilor	81
5.2.3.4.	Modulul de calcul al indicilor de vegetație și procesare a imaginilor	85
5.2.3.5.	Modulul de estimare a randamentului prin cuantificarea plantelor	88
5.2.3.6.	Modulul de detecție a anomaliilor plantelor	92
5.2.4.	Diagramele de cod.....	95
6.	SCENARIILE DE UTILIZARE A PLATFORMEI WEB	96
6.1.	Proceduri de achiziție a datelor spațiale și cuantificarea plantelor	96
6.2.	Procesarea imaginilor aeriene pentru monitorizarea culturilor prin determinarea indicilor de vegetație	106
6.3.	Antrenarea și evaluarea modelului de machine learning în detectarea anomaliilor la nivelul plantelor	115
7.	CONCLUZII	118
7.1.	Concluzii și direcții viitoare de cercetare	118
7.2.	Contribuții asupra temei de cercetare	119
7.3.	Limitări în desfășurarea cercetării.....	120
7.4.	Diseminarea rezultatelor cercetării	121
	BIBLIOGRAFIE.....	123
	ANEXE.....	134
	Anexa 1 – Valori de producție agricolă - legume, leguminoase, rădăcinoase	134
	Anexa 2 – Valori de producție agricolă - cereale și oleaginoase	136
	Anexa 3 – Configurarea unui API REST folosind ASP.NET WebAPI Core, .NET 8 și C#.....	138
	Anexa 4 – Fișierul de migrare al schemei bazei de date aferente modulului de gestionare a loturilor agricole, plantelor și bolilor	139
	Anexa 5 – Metodă de extensie pentru configurarea Swagger	144

Anexa 6 – Secțiuni de cod ale algoritmului de antrenare și testare a rețelei neuronale convoluționale pentru detectarea anomaliilor la nivelul frunzei.....	145
LISTA FIGURILOR.....	146
LISTA ECUAȚIILOR	148
LISTA TABELELOR.....	149

Cuvinte cheie: *sistem informatic geografic, agricultură de precizie, vehicule aeriene fără pilot, fotogrammetrie, indici de vegetație, inteligență artificială*

În ultimii ani, agricultura a beneficiat de numeroase îmbunătățiri, datorate avansului tehnologic important în această ramură a economiei. Astfel, agricultura de precizie a propus modalități prin care producția agricolă să fie îmbunătățită, reducând totodată și costurile. Acest lucru a fost făcut posibil prin utilizarea tehnologiei și a datelor pentru gestionarea culturilor agricole la un nivel de detaliu superior. Prin colectarea, analizarea și interpretarea datelor, pot fi făcute alegeri informate în privința practicilor agricole, eficientizând utilizarea resurselor și reducând efectele activităților agricole asupra mediului, fără a compromite randamentul culturilor. Roboții industriali, atât fizici, cât și software, sunt din ce în ce mai prezenți în procesele tehnologice, în principal datorită capacităților lor din ce în ce mai diverse, cât și a prețurilor într-o continuă scădere. Aceste sisteme au capacitatea de a executa o varietate de activități cu o precizie și o rată de succes mult superioare forței de muncă umane. În plus, caracterul repetitiv al unor anumite tipuri de activități, precum și nivelul de efort depus de o persoană pentru îndeplinirea acestora conduc, în timp, la un nivel scăzut de productivitate. Prin evoluția tehnologiei, aceste tipuri de activități pot fi executate de roboți specializați, lăsând disponibilă forța de muncă umană pentru sarcini ce implică un nivel ridicat de competențe și abilități pe care un sistem robotizat nu le poate dezvolta (sau, cel puțin, nu cu ușurință sau ieftin).

Deși în general activitățile agricole nu sunt de o complexitate ridicată, forța de muncă umană domină această importantă ramură economică. De exemplu, un lucrător agricol poate fi responsabil cu supravegherea culturilor împotriva dăunătorilor, măsurarea parametrilor solului, irigarea manuală, acționarea unor sisteme de irigații etc. Aceste activități, prin natura lor repetitivă, pot fi executate cu ușurință și cu o mult mai mare precizie de către un sistem robotizat.

Scopul acestei lucrări este crearea unei soluții complete și integrate pentru monitorizarea suprafețelor agricole care să utilizeze tehnologii performante de prelucrare a datelor geospațiale, vehicule aeriene fără pilot și inteligență artificială. Aceasta a avut mai multe obiective bine

definite, structurate în etape importante. Astfel, a fost necesară studierea și aprofundarea conceptelor cheie în ceea ce privește tehnicile moderne aplicate în agricultura de precizie. Analiza stadiului cunoașterii a făcut posibilă identificarea zonelor care necesită îmbunătățiri în ceea ce privește monitorizarea agricolă. Ulterior, au fost definite fluxuri de lucru prin care utilizatorii unei platforme informatice cu caracter geografic pot beneficia de capacități de monitorizare crescute. Acestea au permis proiectarea și implementarea unei platforme web, constituită din șase module, reunite într-o interfață web comună. De asemenea, pentru a beneficia de tehnologia existentă în acest domeniu, s-au efectuat integrări cu sisteme software existente care pun la dispoziție capacități de prelucrare a imaginilor, în special în aria fotogrammetriei, precum și sisteme de comandă și control a vehiculelor aeriene fără pilot.

Primul modul al platformei este reprezentat de cel care permite definirea limitelor geografice ale loturilor agricole, precum și plantele de cultură sau dăunători. Acest pas implică identificarea coordonatelor geografice ale terenurilor agricole, încărcarea acestora în platformă sub formă de fișier CSV și stocarea în sistem a poligonului rezultat. Pe baza acestor informații, modulul de planificare a misiunilor aeriene oferă utilizatorilor posibilitatea de a configura parametrii de zbor și zonele în care se dorește a fi efectuată monitorizarea culturii. Acest modul se integrează cu platforma specializată în comanda și controlul dronelor UgCS, prin folosirea unui SDK scris peste platforma .NET. Cu ajutorul acesteia, este oferită posibilitatea de a genera automat rute de zbor pentru operațiunile de monitorizare, care iau în considerare atât limitele fizice ale terenului, cât și particularitățile fiecărei culturi în parte. Ulterior efectuării zborurilor definite, utilizatorii au posibilitatea de a executa operațiuni de corecție geometrică și radiometrică a imaginilor brute, bazate pe tehnici avansate de fotogrammetrie, rezultând în imagini georeferențiate la rezoluții mari, numite ortofotoplanuri. Acestea pot fi utilizate în analize complexe, atât prin modele matematice sofisticate bazate pe reflectanța luminii de pe diferite suprafețe, cât și pe inteligența artificială și rețele neuronale artificiale. Utilizarea indicilor de vegetație, atât a celor bazați pe reflectanța luminii în spectrul vizibil, cât și a celor bazați pe spectrul infraroșu apropiat, permite utilizatorilor platformei să identifice rapid zonele în care diferite forme de stres pot afecta plantele, prin capacitatea acestora de a interpreta răspunsul spectral al suprafețelor în diferite condiții. Pe baza acestor informații, aceștia au posibilitatea de a se deplasa pe teren și a fotografia plantele afectate, platforma punând la dispoziție tehnici de analiză și detecție a anomaliilor prezente la nivelul frunzelor. Totodată, tehnicile de învățare automată utilizate în cadrul platformei permit

utilizatorilor să estimeze cu o precizie ridicată potențialul agricol al culturilor lor, prin implementarea unei rețele neuronale convoluționale capabile să segmenteze și cuantifice obiecte de interes din cadrul culturii studiate. Toate aceste funcționalități sunt expuse într-o interfață web prietenoasă și intuitivă, pentru a permite utilizatorilor gestionarea unificată a acestor operațiuni.

Pentru testarea și validarea platformei, au fost întreprinse trei studii de caz. În primul scenariu, au fost testate funcționalitățile a patru module într-un flux integrat. Astfel, s-a identificat un lot agricol în județul Vaslui, cultivat cu varză aflată în stadiu avansat de vegetație. În pasul inițial, au fost calculate și introduse în sistem limitele geografice ale lotului agricol, acesta fiind stocat cu succes la nivelul platformei. În continuare, a fost planificată o misiune aeriană folosind o dronă echipată cu o cameră convențională, capabilă să preia imagini de rezoluție înaltă a terenului studiat. În urma executării misiunii aeriene, a rezultat un set de 116 imagini care au fost salvate în containerul cloud dedicat. Ulterior, aceste imagini au fost folosite în generarea unui ortofotoplan georeferențiat, care a fost folosit ulterior pentru estimarea producției agricole. Acest proces a implicat etichetarea unui număr satisfăcător de verze, de mărimi și forme diferite, pentru a putea oferi rețelei neuronale artificiale posibilitatea de a extrapola în timpul execuției caracteristicile identificate în setul de date etichetat. Preprocesarea datelor a presupus împărțirea ortofotoplanului în segmente și generarea de măști binare aferente obiectelor din acestea, pe baza etichetelor definite anterior. Ulterior antrenării și evaluării rețelei neuronale artificiale, procesul a identificat un număr total de 2145 de verze, cu o acuratețe de 93.2%.

Al doilea studiu de caz a avut la bază aceeași abordare ca și primul în ceea ce privește generarea ortofotoplanului, singura diferență notabilă fiind faptul că, în locul unei drone echipate cu o cameră convențională, a fost folosit un aparat de zbor ce a beneficiat de un senzor multispectral. Astfel, ortofotoplanul generat a avut un nivel de detaliu superior, deoarece datele referitoare la valorile reflectanței multi-bandă au fost stocate individual în cadrul fișierului rezultat. Acest lucru a permis calcularea și reprezentarea grafică a 13 indici de vegetație, 5 fiind bazați pe date cu caracter multispectral, 8 folosind reflectanța în spectrul vizibil.

În al treilea scenariu, platforma a fost testată pentru a identifica anomalii la nivel foliar. Astfel, după analiza rezultatelor relevate de indicii de vegetație, utilizatorii pot identifica zone în care vegetația prezintă anomalii din punct de vedere al dezvoltării și se poate deplasa la fața locului. Cu ajutorul imaginilor prelevate de la fața locului ce pot reprezenta frunze afectate, acestea

pot fi încărcate în platformă, unde modulul de detecție a anomaliilor poate identifica cu o rată mare de acuratețe dacă frunza prezintă anomalii. Pentru a valida acest aspect, rețeaua a fost antrenată pe un număr de 2152 de poze reprezentând frunze de cartofi afectate de diverși agenți patogeni. Pentru a valida atât performanța rețelei, cât și a putea compara cum aceasta se comportă în scenarii de utilizare diferite, aceleași imagini au fost folosite în antrenarea separată a încă două modele, aplicând operații de transformare a imaginilor în variante grayscale sau în care fundalul a fost eliminat. În urma evaluării performanței rețelei, s-a obținut o rată de acuratețe de 93.48% pentru setul de date grayscale, 97.2% pentru imaginile inițiale, respectiv 97.67% pentru imaginile cu fundalul îndepărtat. Rezultatele au demonstrat că platforma poate detecta aceste anomalii la început, ceea ce permite fermierilor să remedieze problemele în timp util.

Prin intermediul acestor studii de caz, s-a demonstrat că utilizarea dronelor, tehnologiilor geospațiale și inteligenței artificiale în agricultură îmbunătățește eficiența, reducând, de asemenea, costurile. Această lucrare prezintă o platformă care oferă fermierilor un instrument puternic pentru gestionarea resurselor și maximizarea producției, ceea ce permite o monitorizare continuă și amănunțită a terenurilor agricole.