

Színfelismerés alkalmazásának lehetőségei szántóföldi növénytermesztésben (Application opportunities of colour detection in crop production)

Teschner Gergely – Gombkötő Nóra,
(Széchenyi István Egyetem, Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi Kar)

Összefoglaló

A kutatás során pilóta nélküli légi jármű (ún. drón) és IP kamera¹ felhasználásával egy – az Aforge keretrendszeren alapuló – elemző szoftvert alakítottunk ki, amely a látható fénytartományon belül készített légi felvételek real-time elemzésére alkalmas. A szoftver egy adott terület mérését több színszűrési eljárás felhasználásával végzi el.

Az elkészült alkalmazás a növénytermesztés során előállt technológiai károk, egyes vadkárok, továbbá természeti károk területének mérésére alkalmazható.

A használat során a mérések pontosságát számos tényező csökkentette, így a gyakorlatban 93%-os pontosságot sikerült elérni. Ennek egyik oka, hogy a kísérletben kisteljesítményű (14,5 W, 28.500 RPM) drónt és alacsony felbontású kamerát (HD, 720p) használtunk. Másik probléma volt, hogy a felvétel készítését vibráció jelenléte zavarta. Ezenkívül a pontosság csökkenéséhez különböző külső természeti körülmények (szél, fényviszonyok) is hozzájárultak. Véleményünk szerint az eljárás pontosabb mérések elvégzésére is alkalmas lehet, elérve ezáltal a mezőgazdaságban általában elfogadott 95%-os követelményt (Szűcs, 2004).

A módszer jelentősége abban áll, hogy elsősorban a kisebb területű munkáknál alkalmazható, ahol költséghatékonyabb az – általunk – elkészített szoftver használata, mint hagyományos módon repülést végezni.

Kulcsszavak: mezőgazdasági területmérés, drón, fuzzy logika, színszűrés

Abstract

During the research, using an unmanned aerial vehicle (so-called drone) and IP camera, we developed an analysis software based on the Aforge framework, which is capable of analysing on-line aerial photographs within the visible light range. The software measures a specific area by using multiple colour filtering procedures.

The application is used to measure the technological damage caused by plant cultivation, some wild damages and natural damage.

However, in use, the accuracy of the measurements was reduced by a number of factors, so in practice 93% accuracy was achieved. One reason for this is that we used a low power (14,5W, 28,500 RPM) drone and a low-resolution camera (HD, 720p) in the experiment. Another problem was that the recording was disturbed by the presence of vibration. In addition, various external natural conditions (wind, light conditions) have contributed to the reduction of precision. In our opinion, the process can be used to carry out more accurate measurements, thus achieving the required 95% requirement in agriculture (Szűcs, 2004).

The significance of this method is that it can be used primarily in smaller works, where it is more cost-effective to use the software made by us than to do a conventional flight.

Keywords: agricultural land measurement, drone, fuzzy logic, colour filtering

¹ <https://hu.wikipedia.org/wiki/IP-kamera?>

Bevezetés

A precíziós gazdálkodás szemszögéből vizsgált különböző technológiai megoldások fejlődésével együtt bővül azon szolgáltatások köre, amelyek eddig sebességük, bonyolultságuk vagy áruk miatt nem voltak elérhetőek. A jövőben a katonai célokra tervezett és fejlesztett rendszerek (pl. repülőgépes felderítés, adatgyűjtés, stb.) a polgári és ipari felhasználók számára egyre szélesebb körben lesznek elérhetőek, többletértéket biztosítva ezzel többek között a mezőgazdaság számára is. Precíziós növénytermesztés esetén többek között a termőterület nagysága, a termesztés intenzitása és hatékonysága befolyásolja a termelési költségeket és a gazdasági hatékonyságot. A technikai eszközök tömeggyártásának elterjedésével a mérőeszközök, műszerek, illetve gépek árának csökkenése is vélelmezhetően elvárható, ami hozzájárul a minőséget és környezetállapotot is szem előtt tartó gazdálkodási mód elterjedéséhez.

A pilóta nélküli járművek (Unmanned aerial vehicles - UAVs) megjelenésének következtében a téradatgyűjtés módjai elterjedtek. Jelenleg ez a módszer a hagyományos repülőkkal szemben sem repülési magasságban, sem a levegőben töltött időben, sem a felmérhető területek nagyságában nem versenyképes. Ennek ellenére több olyan feladat megoldására kínál lehetőséget például vadkár, technológiai kár gyorsbecslés, amit eddig hagyományosan nem fotogrammetriai úton, hanem földi felméréssel végeztek el.

Az UAV eszközök nem számítanak újdonságnak, azonban a polgári használatban 2010-el jelentek meg. Ezek segítségével az adatgyűjtés gyorsabban és nagyobb mennyiségben végezhető el, ezért ez a felmérési mód vélelmezhetően termelékenyebb és gazdaságosabb lehet. Pilóta nélküli járművekből jelenleg a piacon már „széles” választék áll a rendelkezésre, az előre elkészített inkább hobbi, játék célokat szolgáló eszközöktől a fejleszhető kategórián keresztül a professzionális szintig. Ezek ára is legalább ilyen „széles” skálán mozog.

UAV eszközök esetén nemcsak repülőkről van szó, hanem a lebegésre képes több rotorral ellátott kopterek is ebbe a kategóriába tartoznak, melyek inkább a költségesebb, hagyományos helikoptereket váltják ki. Ilyen eszközökkel hazai viszonylatban nyilvános beszédek, fesztiválok, sportesemények közvetítésénél már találkozhatunk.

A pilóta nélküli légi járművek a mezőgazdasági terület feletti repülés során számos adatot képesek gyűjteni. Az összegyűjtött adatok típusa nagymértékben függ az UAV eszközre szerelt műszerektől, érzékelőktől, kameráktól. Jellemzően RGB, multispektrális vagy hiperspektrális kamerák használata szokásos. Az elmúlt 10 év során „számtalan” eszköz képezte mind a tudományos kísérletek, mind a gyakorlatba bevezetett és használt technológiák alapját: a hétköznapi fényképezőgépektől egészen a hő, illetve infravörös kamerákig.

Az adatgyűjtés és -kiértékelés után a gazdálkodó vagy a tanácsadó számára döntést támogató információ áll rendelkezésre, a megfelelő beavatkozás és problémamegoldás érdekében.

A kutatás során olyan eszköz elkészítését tűztük ki célul, amely mind az informatika, mind pedig a mezőgazdaság szakemberei számára hasznosítható és továbbgondolható, fejleszhető.

Az általunk fejlesztett, kialakított rendszer újdonsága, hogy kis befektetéssel tud a gazdálkodó számára információt nyújtani. Természetesen nem lehet versenytársa egy hiperspektrális kamerával felszerelt drónnak.

Itt kellene még röviden meghatározni azokat a benchmark-megoldásokat és azokat a szempontokat, melyeket a tanulmány meghaladni kíván, ill. a meghaladás realizált/tervezett mértékét – vagyis pl. itt kellene/illene utalni a cikk újdonságtartalmára, ami akár a kivonatban is helyet kaphat még.

Szakirodalmi áttekintés

A pilóta nélküli járművek, más néven drónok olyan repülőgépek, amelyek egy földről “pilóták” által vezérelt vagy ritkábban önállóan, előre programozott módon képesek repülni. A drónoknak számos típusa létezik, de két kategóriába sorolhatóak; a felderítési, megfigyelési célokra használatosak, valamint a rakétákkal, bombákkal felfegyverzett változatok.

A pilóta nélküli járművek a berepült területről, erdőkről, mezőkről nagyszámú adatot tudnak gyűjteni. A gyűjtött adatok típusa a drónra szerelt érzékelőktől, kameráktól függ. Például a gyakorlatban a növények vegetációs index értékének (NDVI) meghatározásához gyakran speciális, egy kamera csatlakoztatásával nagy felbontású képek és videók rögzítését, valamint adatgyűjtését alkalmazzák.

A drónok mezőgazdasági hasznosítása egyre elterjedtebb. A rendszerek segítik a gazdálkodókat olyan szituációk és problémák felismerésében, valamint kezelésében, amelyeket korábban nem, vagy nem ilyen sebességgel lehetett megoldani (*Drone Wars UK*). A történelemben a napjainkban használt drónok számos őse megtalálható.

A pilóta nélküli repülőgépek a jövő távérzékelő eszközei, amelyek nagy térbeli lefedettség mellett kiváló minőségű adatot tudnak szolgáltatni. Az UAV-k képesek a látható tartományban, multi spektrális és hő tartományban képeket rögzíteni a precíziós mezőgazdaság számára. A hagyományos adatgyűjtési rendszerek a növényi vegetáció során bekövetkező csekély, de fontos változások megfigyelésére nem alkalmasak.

A drónok fejlesztése során hatalmas felbontású képek készítésére, légi térképkészítésre, valamint felületi domborzat térképészetre nyílt lehetőség. Ezenkívül infravörös kamerák segítségével talajnedvesség vizsgálatok és öntözési hatékonyság mérések is elérhetővé váltak. Az UAV-k számos hasznos lehetőséget biztosítanak, mint például a látható kép feldolgozása, illetve segítségével digitális felszín modell (DSMs) készíthető.

A hagyományos rendszerekkel (műhold, repülőgépes berepülés) 20 és 100 cm / pixeles felbontású képek készíthetőek. A drónok lényegesen alacsonyabb magasságban, sokkal nagyobb felbontású képeket készítenek, elérhető akár az 1 cm/ pixeles felbontás is. Ezenkívül a műholdak használatát a gyorsan fejlődő növényzet is akadályozza. A műholdakkal szemben a drónok alkalmazása mellett szól az a tény is, hogy a vegetációs időszak kritikus szakaszaiban a növényi változásokra rendkívül gyorsan lehet reagálni, és a vizsgált területről átlagosan 2-5 cm / pixel felbontású adatok gyűjthetők.

A precíziós mezőgazdaság alkalmazásával, térinformatikai módszerek és érzékelők (pl. földrajzi információs rendszerek, távérzékelés, GPS) segítségével alternatív stratégiák alakultak ki, mivel a műholdképek használata költséges megoldás. Több tanulmányban is bizonyítást nyert, hogy a gazdálkodó a pilóta nélküli rendszerek alacsony magasságban történő repülésével, alacsony üzemeltetési költségek mellett megbízható adatokhoz juthat, és ezen eszközök használata a tervezés és megfigyelés folyamatait is segíti (*Kovacs & Zhang 2012*).

Az UAV rendszerek jelentősen hozzájárulnak a növényvédelmi technológia forradalmához a mezőgazdaságban. Mikrokontrollerekkel, érzékelőkkel, NIR és multi spektrális kamerával, GPS-szel felszerelt eszközök támogatják a gazdálkodót a hatékony növényvédőszer felhasználásban, védve az vadállományt és figyelembe véve a talaj és növény tulajdonságait, típusait. UAV eszközökkel a függőleges mozgásnak köszönhetően a nehezen megközelíthető helyszíneket is be tudják repülni (*Anderson, 2012*).

A mezőgazdasági hasznosítás legkorábbi közleményei szerint a kísérletek Tomlins, Lee és Manore nevéhez fűződnek. Kezdetben hobbi minőségű modelleket használtak, később, az 1980-as években egyedi tervezésű és kivitelezésű drónokkal kísérleteztek. *Tomlins & Manore (1983)* Úttörő kutatásaik által Tomlins több mint 46 környezetvédelmi alkalmazási területet azonosított, ahol a kisebb drónok hasznosak lehetnek (*Hardin & Hardin 2010*).

Az előzményeket figyelve elmondható, hogy a kutatások nagy része csak az elmúlt bő egy évtizedben kezdődött, ahol a drónok környezetvédelmi és környezeti alkalmazhatóságát vizsgálják (*Hardin & Jensen 2011*). A szakirodalom áttekintése során több kutatás megtalálható, melyek a biodiverzitás monitorozás, élőhely monitorozás, talaj tulajdonság vizsgálat területén alkalmazott módszerekről írnak (*Rodríguez, Negro, Mulero, Rodriguez, Hernández-Pliego & Bustamante 2012, Ries & Marzolf 2003*).

Bár a távérzékelési technológiák fejlesztése folyamatos publikációk keretén belül ismertté vált, az erdészeti megoldások és használat a mezőgazdasági precíziós megoldásokkal szemben jelentősen elmaradt (*Treuhaft, Law & Asner 2004, Rango, Laliberte, Herrick, Winters, Havstad, Steele & Browning 2009*).

Anyag és módszer

Kutatásunk során a Parrot AR Drone 2.0 Power Edition drónt használtuk, amely egy hobbi célra kialakított UAV eszköz, és amelyhez fejlesztők számára készült fejlesztőkészlet (SDK) áll rendelkezésre. A drón technikai paraméterei az alábbiak: tömeg: 380 gramm, 4 db kefe nélküli motor (14,5 W; 28.500 RPM), Wifi (b,g,n) kapcsolat, Kamera (HD kamera, 720 p, 30 FPS, Látószög: 92 fok, Kódolás: H264), Vezérlés (1 GHz-es 32 bites ARM Cortex A8 processor, Linux 2.6.32, 1 GB DDR2 RAM 200 MHz, USB 2.0, 3 tengelyes giroszkóp 2000 fok /mp pontosság, 3 tengelyes gyorsulásérzékelő +/- 50 mg érzékenység, 3 tengelyes magnetométer 6 fokos pontosság, nyomásérzékelő +/-10 Pa érzékenység, ultrahang szenzorok, földi magasságmérő, 60 FPS függőleges QVGA kamera, haladási sebesség mérése (*Parrot Drones, Piskorski & Brulez 2011*).

Wifi hálózatot a Vodafone R206 Z típusú MIFI biztosította, IP kameraként egy Android telefont használtunk, amely 5 MP-es felbontású kamerával rendelkezik. Felhasználtuk az Android telefonon Pavel Khlebovich által fejlesztett IP Webcam alkalmazást, amely fix ip címen és porton (8080) keresztül streameli a videó jelet MPEG 4 kódolással.

A True Color 24 bites tárolása, melyet a grafikus programok RGB névvel jelölnek. A látható tartomány nagy része a három alapszínnel előállítható.

Az RGB skálán egy színt az határoz meg, hogy milyen intenzitású a három komponense. Ezen koncepció szerint rajzolható egy háromdimenziós modell, ahol a 3 tengely sorra a 3 alapszínt adja meg, 0 és valamilyen maximális érték (általánosságban 1 vagy a 255) között. A Ezen határokon belül értelmezhető a színtér összes eleme. Ha mindhárom 0, akkor az eredő szín fekete lesz, ha 1 (vagy a maximum), akkor fehér. Az összes köztes érték eredményezi a különböző árnyalatokat, mint például a piros és zöld legfeljebb sárgát eredményez, a kék és zöld legfeljebb türkiz színű lesz, a piros 0,5 (vagy a maximum fele), kék legfeljebb pedig lila. A Vörös-Zöld-Kék triót elsődleges színeknek nevezzük. Páronkénti keverésük adja a másodlagos színeket (CMYK) (*Bakó, 2006*).

A program alkalmazása során a C# nyelvet használtuk, amely az új .NET keretrendszer bázisnyelve. Tipikusan ehhez a keretrendszerhez tervezték, szabványosítási azonosítójuk is csak egy számmal tér el egymástól. A nyelv teljesen komponens orientált. A fejlesztők számára ebben az eszközben a C++ hatékonyságát, és a Visual Basic fejlesztés gyorsaságát, egyszerűségét ötvözték.

Az AForge.NET egy nyílt forráskódú C # keretrendszer, amely a fejlesztők és a kutatók munkáját a gépi látás és mesterséges intelligencia, képfeldolgozás, neurális hálózatok, genetikus algoritmusok, fuzzy logika, a gépi tanulás, a robotika, stb. területeken segíti. A keretrendszer több könyvtárból (képfeldolgozó és rutin szűrők, számítógépes látás könyvtár, mozgóképfeldolgozás, neurális hálózatok könyvtár, evolúció programozási könyvtár, fuzzy

számítások könyvtár, robotika készletek, gépi tanulás könyvtár) épül fel (*Aforge.net Framework*). Ahhoz, hogy az alkalmazás a videó-jelet fogadni, értelmezni és elemezni tudja, a projekthez a felhasználandó AForge (2.2.5) könyvtár szükséges referenciáit kellett hozzáadni. Felhasznált referenciák: AForge.dll, AForge.Imaging.dll, AForge.Video.DirectShow.dll, AForge.Video.dll. Ezek a képfeldolgozó rutinokat, szűrési eljárásokat illetve a mozgókép feldolgozáshoz szükséges megoldásokat tartalmazzák.

A szoftverfejlesztés folyamata a vízesés modell fázisai szerint haladt. Ennek első lépése a követelmények elemzése és meghatározása, azaz az alkalmazás, a szoftver szolgáltatásainak, céljainak a megállapítása és dokumentálása. Ezt követően kidolgozásra kerülnek az egyes tételek, ami a szoftver specifikációját képezi. Második lépésként a rendszertervezés és szoftvertervezés történik. A rendszer tervezési folyamat során kialakul egy általános rendszerarchitektúra. A szoftver tervezése magában foglalja az egyes funkciókat és azok kapcsolódási pontjait. Ezt követi az implementáció és az egységek tesztelése, amikor létrejönnek az egyes programegységek halmazai. Ebben a fázisban az egyes egységek tesztelése történik, valamint annak megállapítása, hogy teljesíti-e a specifikációban megkövetelt szintet. A szoftverfejlesztés folyamata az egyes különálló programegységek integrálásával és a teljes rendszer tesztelésével zárul. Ezt követően a kész teljes rendszer a felhasználóhoz kerülhet (*Sziray 2009*).

Az implementáció elkészítése a Microsoft Visual Studio 2010 fejlesztőrendszeren történt Microsoft Visual C# programozási nyelven. A használt keretrendszer a .Net Framework 3.5. A képek feldolgozására a System.Drawing, valamint a System.Drawing.Imaging névterek állnak rendelkezésre. A felhasznált képfeldolgozási eszközök, szűrők, videó stream megoldásokat az AForge.Net 2.2-es verziójú nyílt forráskódú C# keretrendszer biztosította.

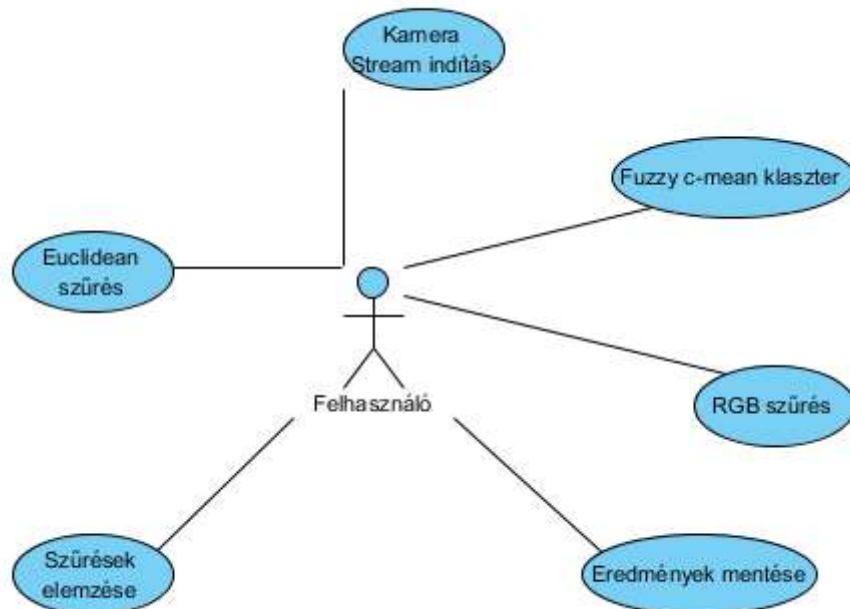
A tesztelés folyamatosan, minden kiemelt lépés után megtörtént. A késői tesztelés nem célravezető, mivel sok veszélyt hordoz magában. Az implementált szűrési eljárásokat előre elkészített és deklarált RGB kódú képekkel ellenőriztük, a bementi adatok helyességének, valamint a szűrési eljárás pontosságának vizsgálata céljából. A szükséges változtatások, visszacsatolások formájában módosításra kerültek. A teszteléshez, valamint a kamerával korábban rögzített képek elemzéséhez a felhasználó felületen egy gombot helyeztünk el, mellyel a Windows file megnyitás dialógusa nyílik meg, ahonnan kiválasztható a program által támogatott formátumoknak megfelelő kép file. A megnyitást követően a kiválasztott kép betöltődik a felület meghatározott ImageBox-jába, majd ezt követően végezhető a tesztelés, illetve elemzés. A Wireless Extender használatakor szükség volt továbbá autó akkumulátorra illetve inverterre a működéshez. Ennek használatától azonban a későbbiekben eltekintettünk, mivel alkalmazásakor a felhasznált vezeték nélküli hálózatok között zavar lépett fel és a drón indításával megegyező pillanatban a videójel megszakadt.

A kutatás végső célja egy olyan alkalmazás elkészítése, amely a kiskereskedelmi forgalomban elérhető eszközökkel képes adaptálni a közlekedés, ipar, orvostudomány gyakorlatában vagy kutatásban használt képszűrési eljárásokat a mezőgazdaságban, ezen belül a kárfelmérésben és elemzésben.

Eredmények

A szoftverspecifikáció során, a követelménytervezés fázisában fő célunk az volt, hogy az adott rendszer működését részletesen megértsük és definiáljuk. Ebben a fázisban fogalmaztuk meg a rendszerrel szemben támasztott követelményeket, azaz, hogy milyen szolgáltatásokat várunk el a rendszertől (pl. pontosság, fejleszthetőség, bővíthetőség, bizalmasság, stb.). A rendszer működtetésének és fejlesztésének korlátait szintén ebben a munkafázisban azonosítottuk. Ezt követően a rendszertervezés és szoftvertervezés szakaszában a megvalósítandó objektumorientált rendszer megjelenítésére UML-diagramokat használtunk. Ezek statikus (osztálydiagram, csomagdiagram, telepítési diagram, komponens diagram) és dinamikus (Use Case diagram, aktivitási diagram, interakciós diagram, állapotdiagram) képeket adhatnak.

A főbb funkciókat Use Case diagramok segítségével terveztük meg. A követelményekben megfogalmazottak szerint törekedtünk arra, hogy az egyes szolgáltatások elkülönülten, de mégis logikailag egymást követve épüljenek be a rendszerbe. Ebből következik, hogy a Use Case diagramon megtervezett használati esetek a felhasználói felületen egy-egy „fül”-nek felelnek meg. Így az elkészült diagram a megtervezett rendszertől elvárt funkciókat már vizuálisan, könnyen áttekinthető módon mutatja meg (1. ábra).



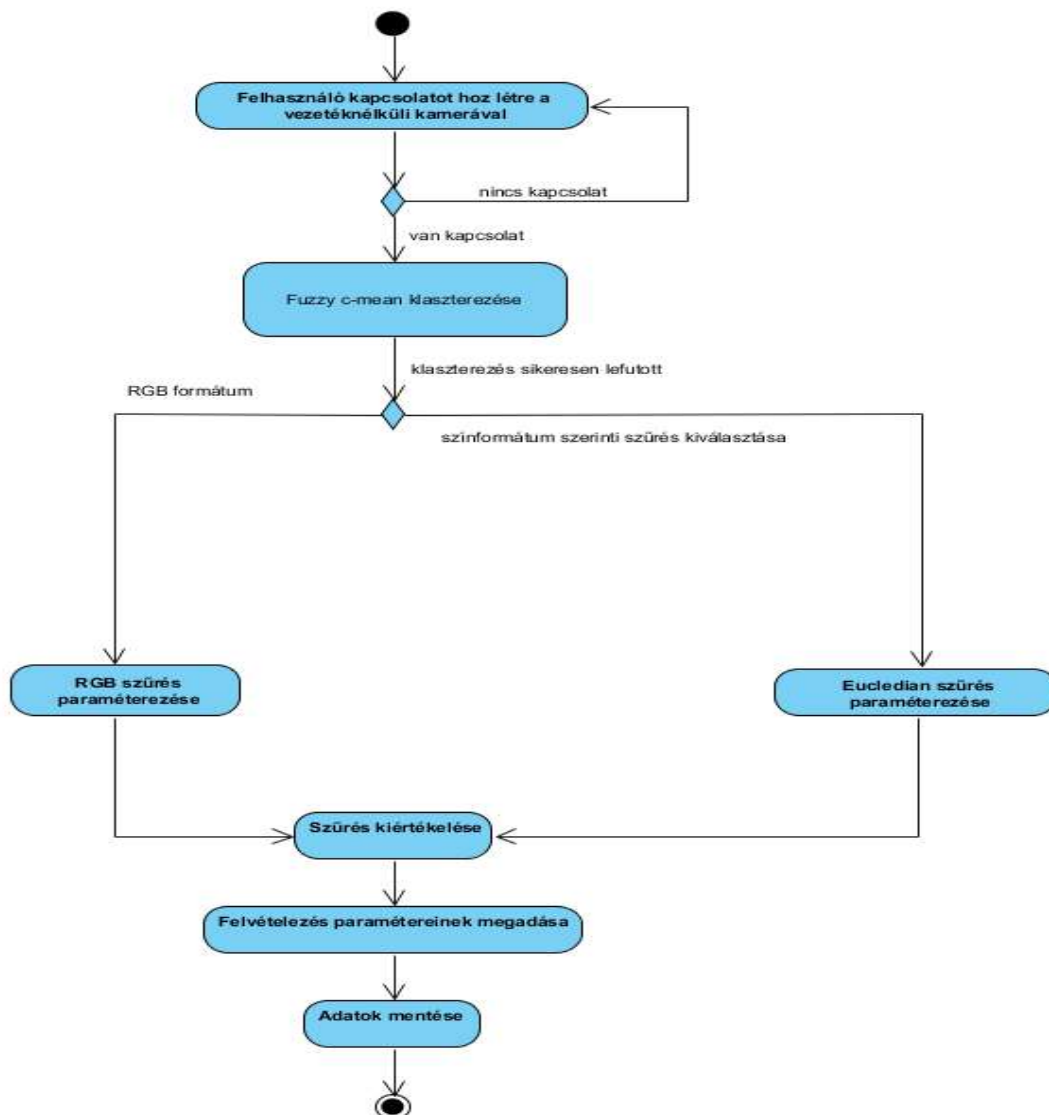
1. ábra: Felhasználói funkciók Use Case diagramja

Forrás: saját szerkesztés

A Use Case diagram az alkalmazás dinamikáját, időben lezajló változását aktív oldalról, a végrehajtandó tevékenységek sorrendiségének meghatározásával ábrázolja, eszközeinek segítségével a különböző folyamatok vezérlései kiválóan modellezhetőek.

Minden esetben, amikor valamilyen folyamatot szeretnénk modellezni, aktivitás-diagramot használunk. Az aktivitás a modellezett folyamat egy olyan lépését, állapotát jelenti, amikor valamilyen tevékenységet végre kell hajtani. A tevékenység a diagram részletezettségi szintjétől függően további altevékenységekre bontható, amelyeket adott esetben egy újabb aktivitás-diagramon modellezhetünk. Az aktivitás – diagramon az aktivitásokat úgynevezett átmenetekkel kapcsoljuk össze. Az átmenet azt fejezi ki, hogy egy aktivitás végrehajtása

befejeződött és kezdődhet a következő tevékenység végrehajtása, tehát az aktivitások között egy időbeli sorrendet határozunk meg (Sike & Varga) (2. ábra).



2. Ábra: Szoftver aktivitás diagramja

Forrás: Saját szerkesztés

Az aktivitás diagram segítségével szolgál az implementáció előtt, mivel a fejlesztő számára az egyes elágazási pontokat, az osztályok struktúráját és működését, a szükséges változókat is előrevetítik. Továbbá elkészítése során a fejlesztő át tudja gondolni a rendszer működését.

Következőekben az osztály diagramot készítettük el, melynek alapja az osztály. Az osztály az objektum orientált programozás alapja, a valós világ fogalmainak magas szintű absztrakciója, amely lehetővé teszi az adatmodell és a funkcionális modell együttes kezelését. Az absztrakció során felmerülő adatokat attribútumokkal, a különböző viselkedéseket pedig metódusokkal modellezzük (Störrle 2007).

A rendszertervezés és szoftvertervezés fázisát az implementálás és az egységek tesztelése követi. Az itt keletkező képfolyam a felhasználó részére az Aforge keretrendszer VideoSourcePlayer kontrollján keresztül érhető el, melyről - a Drón megfelelő pozicionálása után - pillanatképet készíthet, ami átkerül egy ImageBox-ba további feldolgozásra. A kontroll továbbá információt szolgáltat a felhasználó felé a képfrissítés gyakoriságáról (FPS).

A természetben a növényvel borított és borítatlan felületek határa nem különíthető el élesen. Az átmenet a két fő típus között kisebb nagyobb átfedéseket mutat. Az egyes vadkár, vízkár pontosabb megállapítása érdekében a feldolgozandó képet klaszterezni kell. A klaszterezési eljárás lényege, hogy egymástól elválasztható részhalmazokat hoz létre, amely részhalmazokon belül az ott tartózkodó elemek bizonyos mértékben hasonlítanak egymáshoz. Mindez egy adathalmaz kisebb részhalmazokra történő felosztását, particionálását jelenti. Korábban, a fuzzy logika megjelenése előtt minden egyes elem csak egy részhalmazban helyezkedhetett el. A fuzzy logika alkalmazása során elérhetővé vált, hogy egy elem nem csak egy, hanem – valamilyen mértékben – több osztályhoz, részhalmazhoz is tartozhat. Vizsgálatunkhoz a fuzzy rendszereknél használt c-mean klaszterezési módszert választottuk. Az FCM egy iteráló eljárás, melynek során egy költségfüggvény minimumát keressük. Megállítása akkor történik, amikor a költségfüggvény változása egy iteráció során egy meghatározott érték alá csökken. Az FCM költségfüggvénye (forrás: <https://www.codeproject.com/Articles/91675/Computer-Vision-Applications-with-C-Fuzzy-C-means>):

$$J = \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^c (\mu_{i,k})^m |p_i - v_k|^2$$

ahol:

J: a célfüggvény

n: a pixelek száma

c: a klaszterek száma

μ : a fuzzy tagsági érték, partíciós mátrix

m: fuzzyság mértéke, a fuzziifikáló paraméter FCM esetében mindig nagyobb, mint 1, $m \in [1, \infty]$

p_i : a kép i-edik képpontja

v_k : a prototípusokat tartalmazó vektor

$|p_i - v_k|$: az Euklideszi távolság az i-dik képpont és a k-dik klaszter, részhalmaz középpontja között.

$$|p_i - v_k| = \sqrt{\sum_{i=1}^n (p_i - v_k)^2}$$

Az új prototípusokat a bemeneti adatok súlyozott átlagaként kapjuk meg, ahol az alkalmazott súly az adott bemeneti adatnak az adott osztályhoz tartozási valószínűségének az m-dik hatványa.

$$v_k = \frac{\sum_{i=1}^n \mu_{ik}^m p_i}{\sum_{i=1}^n \mu_{ik}^m}$$

A fuzzy tagsági táblázat, partíciós mátrix kiszámítása.

$$\mu_{i,k} = \frac{1}{\sum_{l=1}^c \left(\frac{|p_i - v_k|}{|p_i - v_l|} \right)^{\frac{2}{m-1}}}$$

Az algoritmust bővíteni szükséges, a feldolgozandó képek RGB színterű, színes képek. Az euklideszi távolság számítását a következő, az RGB színek beépítése után a következőképpen néz ki.

$$|p_i - v_k| = \sqrt{\sum_{i=1}^n (p_{iR} - v_{kR})^2 + (p_{iG} - v_{kG})^2 + (p_{iB} - v_{kB})^2}$$

Az algoritmus a következő lépésekből áll (vö. 3. ábra):



3. ábra: Fuzzy c-mean algoritmus

Forrás: Computer Vision Applications with C# - Fuzzy C-means Clustering n.d.

A költségfüggvény minimumát egy iteratív algoritmus szerint határozzuk meg, melynek lépéseit a költségfüggvény parciális deriváltjainak zérus átmeneteiből kapjuk meg.

Az elemek klaszter középpontoktól való távolsága fejezi ki a hasonlóságot, illetve a különbözőséget az elem és az egyes klaszter középpontok között. Minél távolabb van a térben (jelen esetben a képen egy szín) egy elem a klaszter középponttól, annál kevésbé hasonlít rá.

Az FCM klaszterezés egy optimalizációs iterációja két fázisból tevődik össze. Az első fázisban minden egyes képpontnak az egyes klaszterhez mért hozzátartozottsága, a második fázisban a klaszterek új prototípusai kerülnek kiszámolásra. Ezek után elmondható az is, hogy a kezdetben meghatározott színek is igazodni fognak a képen található többi színhez. Elmondható, hogy egy adott, előre meghatározott szín, minta igazodik a hozzátartozó mintákhoz, azaz maga a klaszter középpontja változik ilyenkor. Így amikor egy újabb iteráció jön, a hozzátartozási mátrixban az értékek is az adott klaszternek megfelelően fognak változni. Az FCM algoritmus alkalmazásakor a legtöbb bemeneti adat minden osztályra nézve nullánál nagyobb fuzzy tagsági függvény értéket kap. Ennek eredményeképpen minden osztály prototípusát némileg befolyásolják az oda kevésbé tartozó adatok is [40]. Az alkalmazott klaszterező eljárásnak van korlátja. Akkor működik helyesen, ha a kapott osztályok mérete és alakja hozzávetőlegesen hasonló.

A 4. ábra baloldali képén látható felvétel vízkárt, míg a jobb oldali a klaszterezés utáni állapotot mutatja be. A példában két darab klaszter középpont került alkalmazásra.



4. ábra: Fuzzy C-means klaszterezési eljárás bemutatása
(Forrás: saját szerkesztés)

A kapott kép további problémákat vet fel. Látható, hogy a vízkárral érintett terület és a vetési sorközök hasonló színekkel rendelkeznek. Ennek a problémának a kiküszöbölését a későbbiekben tárgyaljuk.

Ezt a fázist az egyes szűrési eljárások programozása követte, amely RGBColorFiltering, EuclideanColorFiltering metódusok felhasználásával történt.

A szűrő egy RGB színek által meghatározott szín és az ezt körülvevő - beállított - tartományban lévő színtől eltérő színeket egy meghatározott színre cserél. [30]

A képfeldolgozó szűrő egy RGB színek külső és belső határait fogadja, működése ettől a három szín tartománytól eltérő színeket egy meghatározott színre cserél. A későbbiekben a value1..value4 értékek beállítása és ezek átadása a felhasználói felületen történt kialakításra.

Az 5. ábrán az RGB szűrés látható egy teszt fotó szűrése közben.



5. ábra. RGB szűrés tesztelése
Forrás: Saját felvétel

Az 5. ábrán jól megfigyelhető az EuclideanColor Filter működése, vagyis a tartományon kívül eső színek feketére, (0,0,0) RGB kódra való cseréje. Ez az adottság tette lehetővé a későbbiekben a terület mérését a pixelek megszámlálása révén.

A szűrő algoritmusok tesztelését a felhasználói felületen keresztül is elvégeztük. Ehhez megadott tulajdonságú képeket készítettünk, melyek a kép meghatározott pozíciójában,

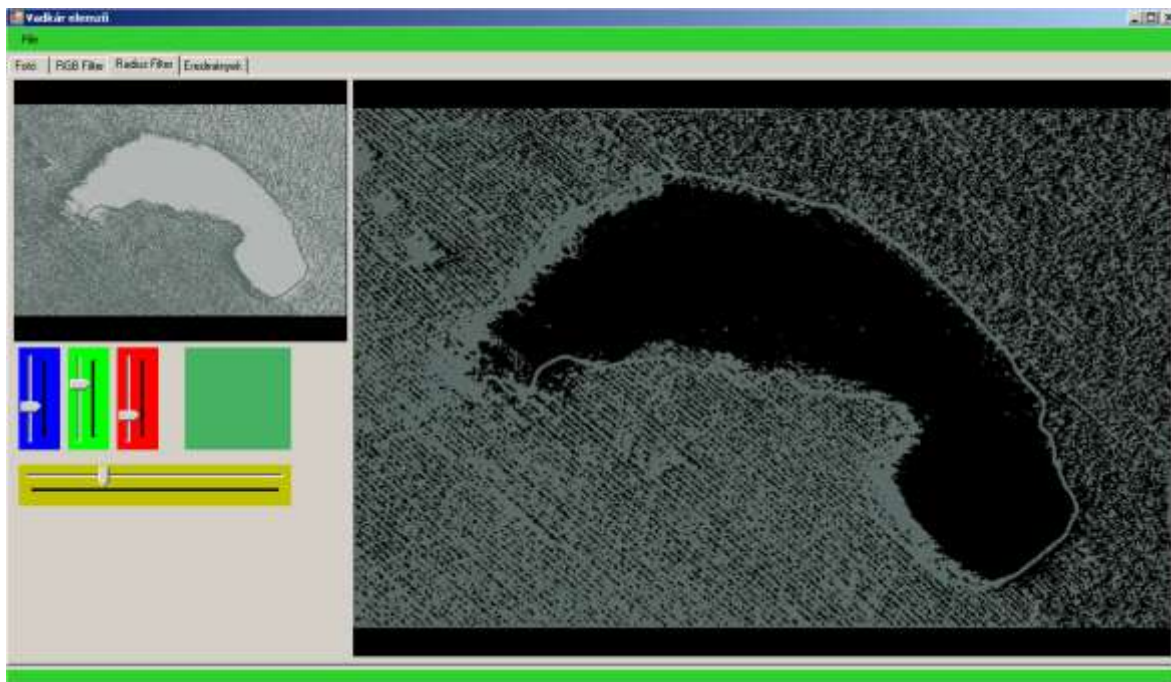
deklarált nagyságban eltérő színű területeket tartalmazott. Ezen eltérő színű területek szűrését végeztük. Az általunk szerkesztett kép kezdetben a fekete és fehér színek kombinációját, későbbiekben piros, kék, zöld, sárga, fekete és fehér színeket tartalmazott. Az implementált szűrési eljárások teszteléséhez egységesen 700 x 525 pixeles képeket használtunk. Az egyes tesztképeket a szoftver mintakép gombjával be tudtuk tölteni, és a vizsgálatot le tudtuk futtatni. Minden esetet sorszámoztunk (T101, T102, stb) (6. ábra).

T101	T102	T103	T104	T105
T106	T107	T108	T109	T110

6. ábra: Tesztképek UI teszthez 700x525px

Forrás: Saját szerkesztés

A programban a fekete színnel rendelkező pixelek számolását futtattuk le.

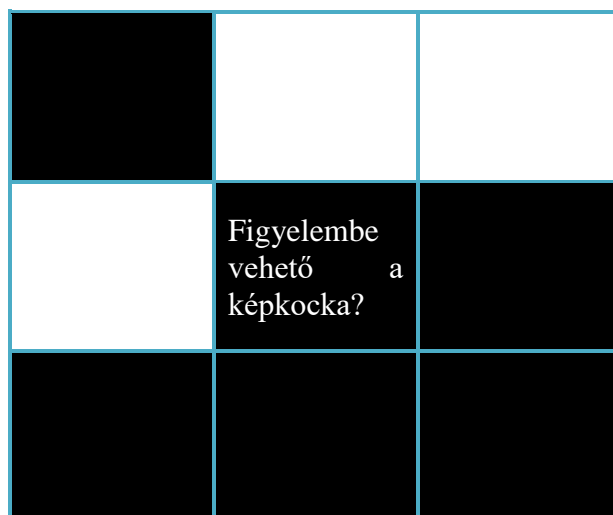


7. ábra: Klaszterezés és a EuclideanColorFiltering eljárás utáni állapot

(Forrás: saját szerkesztés)

A 7. ábrán látható állapot problémája, hogy a fekete színkóddal rendelkező pixelek megszámlálása és területre való konvertálása az egész képen vagy a felhasználó által kijelölt téglalapon belül lefut.

A problémát az algoritmus módosításával oldottuk meg, egy egyszerű szűrési algoritmus beiktatásával, ami számolás során nem minden fekete pixelt vesz számításba, csupán azt, ami bizonyos feltételnek megfelel (vö. 7a. ábra).



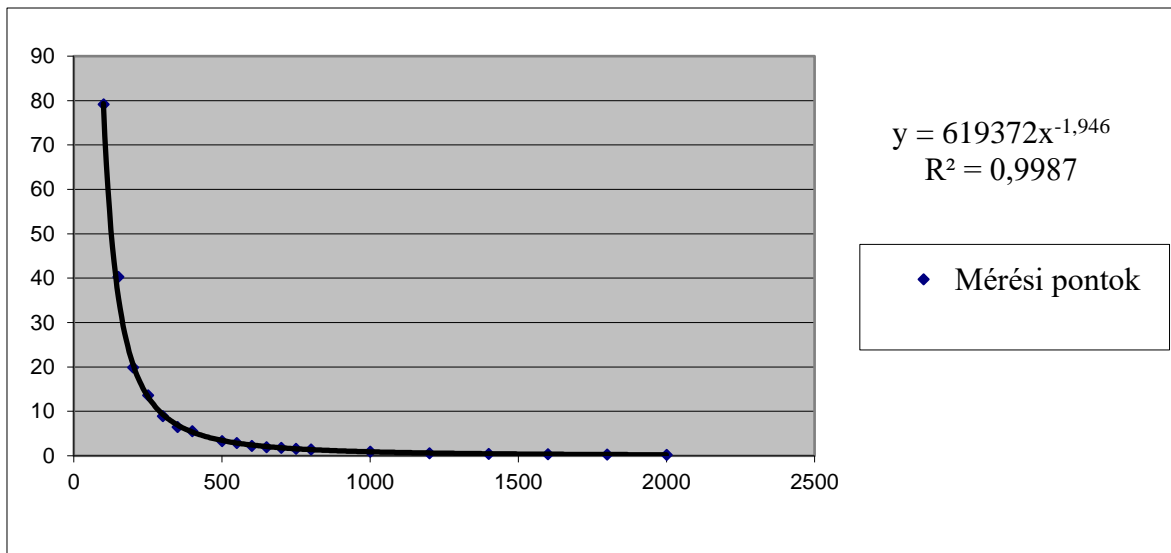
7a. ábra: Algoritmus a szomszédos cellák alapján

(Forrás: saját szerkesztés)

Ha egy adott, vizsgált képkocka fekete, és az ezt körülvevő pixelek közül további öt darab szintén fekete, akkor feketének tekinti a vizsgált képkockát. Az alkalmazott eljárásnál a használt 5-ös küszöbértéket tesztelesek tapasztalatai alapján állítottuk be.

A fejlesztés utolsó fázisa az integrálás, valamint a rendszertesztelés. A teszteléshez használt kamera segítségével eltérő távolságokból méréseket végeztünk, 40x40 cm-es, illetve 75,8x35 cm-es egyszínű felület segítségével. Ezt követően megmértük az említett nagyságú alakzatok által pixelben mért lefedett terület nagyságát. A méréseket 0,5 métertől 20 méterig, 0,5 méterenként végeztük. A hagyományos (kézi) adatgyűjtésre azért volt szükség, hogy az adatok a későbbiekben – elemzéshez – alkalmazott program kalibrálásához rendelkezésre álljanak. A mintavételezést kezdetben egy 3,5 Mpx-es kamerával is elvégeztük 0,2 és 10 méter között, 20 centiméterenként. Az eredmény hasonló volt, ugyancsak hatvány trendfüggvény illeszkedett a legjobb mértékben, 0,98-as R^2 értékkel. A 10 métert meghaladó távolságnál azonban a pontosság nagymértékben csökkent. Rendelkezésre állt egy 5 Mpx-es kamera, mellyel 20 méterig megfelelő eredményt kaptunk, a fejlesztés későbbi szakaszában már ezt a kamerát alkalmaztuk. A kézi mintavételezés adatait Excel táblában értékeltük ki, eltérő trendfüggvényeket illesztettünk a mérési pontokra, figyelve a függvények illeszkedését.

A trendfüggvény pontos meghatározása fontos volt az alkalmazás szempontjából, mivel egy adott szintartománynak megfelelő terület méretét ez alapján képes kiszámolni, és a döntéshozó számára releváns és pontos információt nyújtani. A kézi mintavételezés során nyert nyers adatok a 8. ábrán láthatók.



8. ábra: Kézi mintavételezés eredménye

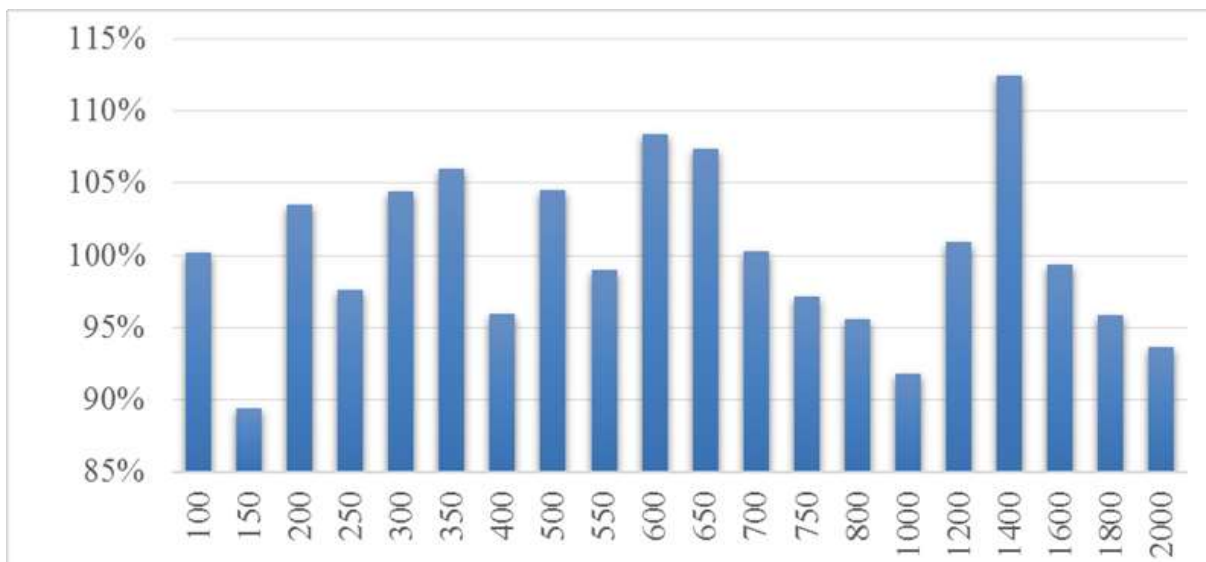
Forrás: Saját szerkesztés

A kapott értékekre legjobban a hatvány trend illeszkedett, melynek R^2 értéke 0,9987 volt. Az így kapott trendfüggvény a következő: $y = 619372x^{-1.9463}$.

Az y érték azt jelöli, hogy a valóságban mennyi db pixel fed le 1 cm^2 -t. Az x bemeneti érték pedig a cm-ben megadott távolságot, magasságot jelöli. Az így kapott eredmény alapjául szolgál a működési logika programozásának, és a későbbiekben a tesztelésének.

A trendfüggvény alkalmazhatóságát teszteltük, amely során az előzetesen elvárt eredményeket kaptuk.

A forráskódban a működési, számítási paramétereket ezek alapján tudtuk programozni. Az alkalmazott trendfüggvény nem vezet 100%-os pontossághoz, de ahhoz közelít. Az ezzel kapcsolatos mérések a 9. ábrán láthatók.



9. ábra. Eltérések kimutatása az eredeti mérettől %-ban.

Forrás: Saját szerkesztés

A szoftver által mért terület a valóságtól átlagosan 0,17 %-al tért el, 0,058 szórással. A fenti tények figyelembevételével a függvényt alkalmasnak ítéltük meg a használathoz.

Miután az alkalmazás a bejövő adatokat már képes volt értelmezni, és ebből a felhasználó számára értelmezhető információt közölni, az egyes kivételeket is kezelni kellett. Ezen kivételek nagy részben a program nem rendeltetésszerű használatából adódnak.

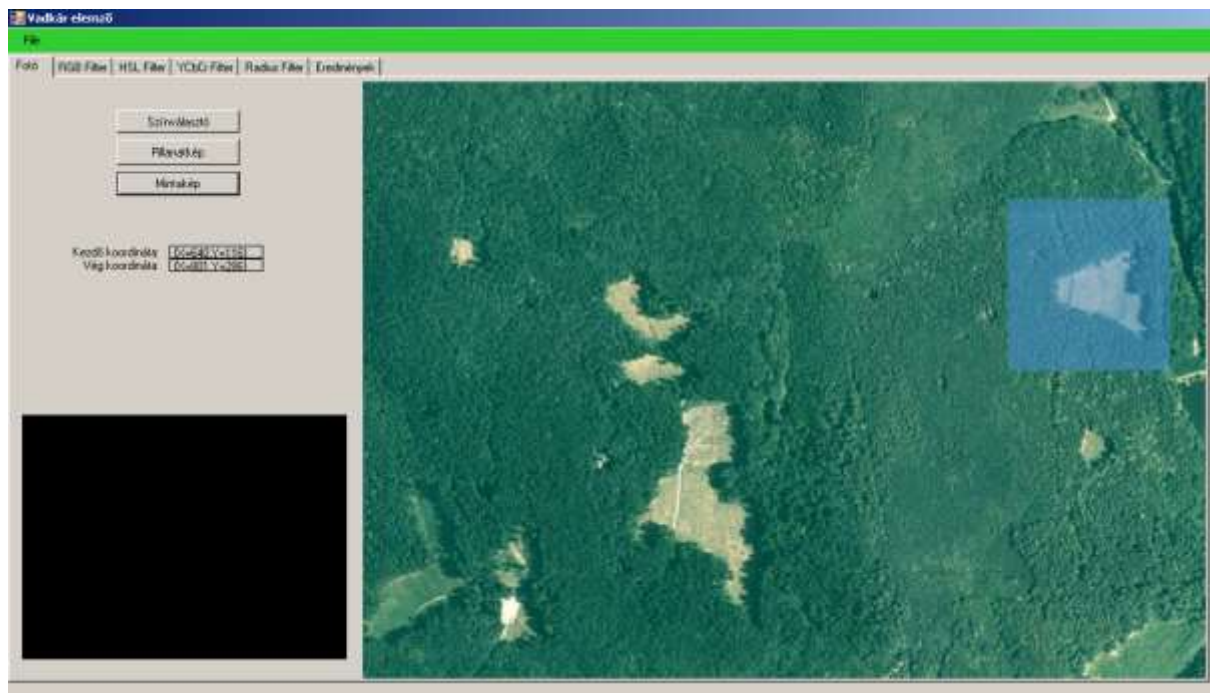
A hibakezelés minden felhasználói fülre, gombra, csúszkára elkészült. Ezután a helyes működés megvalósítását tesztelésen keresztül ellenőriztük. Mindemellett a felhasználó információt kap arról, ha a videó stream hibába futott.

Az alkalmazás funkcionális tesztelése arra helyezi a hangsúlyt, hogy a szoftver az előzetesen meghatározott specifikációnak, tervdokumentumnak, használhatóságnak és követelményeknek megfeleljen. Black box típusú tesztelés, azaz a program forráskódját és annak működését a tesztelőnek nem kell ismernie – ellentétben a white box típusú teszteléssel.

Pozitív és negatív teszteseteket is tartalmaz, ily módon fokozva a defektek felderítésének hatékonyságát (például magasság gyanánt adjunk meg betűt vagy szöveget, ebben az esetben a számolásra elvárás lesz a hiba, vagy hibaüzenet).

A funkcionális tesztelést egy teszt terv (test plan) elkészítése előzte meg, amely a tesztelőt az egyes lépéseken végig vezeti. A funkcionális teszt összesen 34 teszt esetet tartalmaz. Az eredményeket táblázatkezelőben összegeztük. Kezdetben a funkcionális teszten a hibák száma 18 darab volt, melyek javítását elvégeztük. A funkcionális tesztet mindaddig újra indítottuk, amíg a hibák kizárásra kerültek.

A kezdeti tesztek és repülések kimutatták, hogy a 20-25 méter magasságban készített felvételek szűrése és elemzése - a referenciamérések eredményeit alapul véve - nem vezetett korrekt, használható eredményre. Ennek az oka az volt, hogy a bekötő vagy művelőutak több esetben is a kép részét alkották, és az eredményeket torzították. Ezért a felhasználónak meg kellett adni, hogy a vizsgálat az általa kiválasztott területen belül készüljön.



10. ábra: Mező kijelölése

Forrás: Saját felvétel

A 10. ábrán a kijelölés tesztelése látszódik egy erdőről készült légifelvételen. Így az elemzés és terület meghatározása külön a kijelölt területre is kiértékelődik.



11. ábra: Szűrés és színcsere

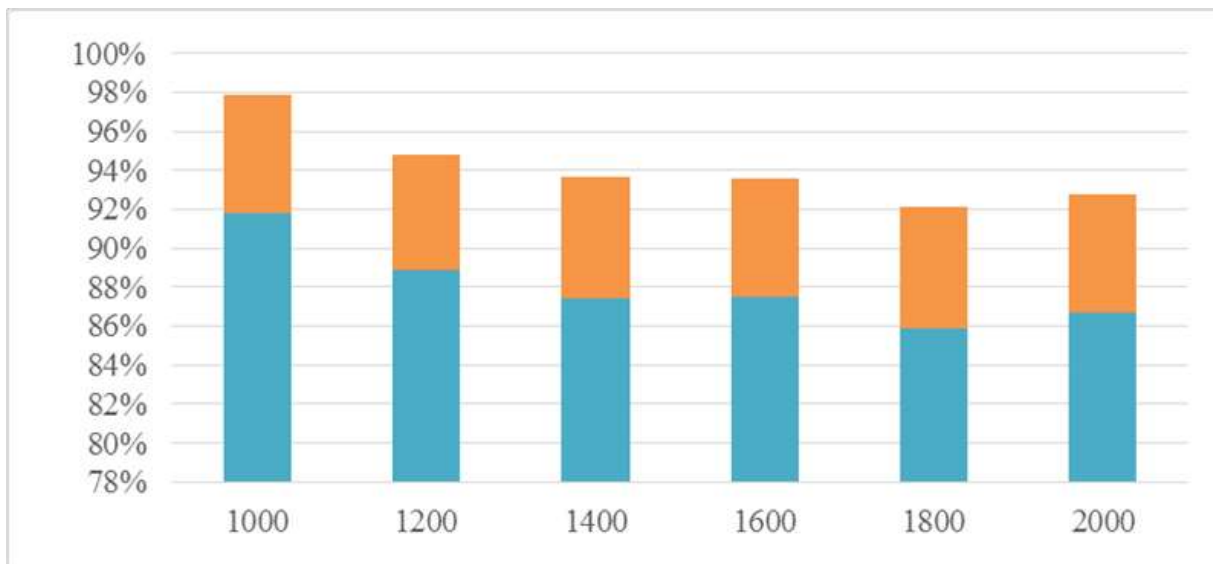
Forrás: Saját felvétel

A 11. ábrán látható funkciót két metódus látja el, mellyel a felhasználó egy tetszőleges nagyságú téglalap alakú területet tud kijelölni, majd a vizsgálat az ezeken belül eső pixeltartományban végzi a számítást.

A használat során az alkalmazással szemben megfogalmazott további követelmény, hogy az eredmények tárolása a számítógépen történjen. A tárolandó információk a felvétel készítésének időpontja, parcella azonosító, amely felett a repülés történt, a felvétel készítésének magasságadata, az eljárásonkénti szűrési adatok, valamint megjegyzés.

A fenti adatok tárolására az XML-ben való tárolást választottuk, mivel a követelményekben foglaltaknak eleget tesz.

A valós környezetben a használat során több probléma került felszínre. A hatótávolság a felhasznált eszközökkel 23-25 méter repülési magasság volt, amely a drón alacsony teljesítményéből adódott. Kamera nélkül 30 méter feletti magasságot sikerült elérni. Ezenkívül nagyjából 20 km/h feletti szél esetében túl nagy volt a vibráció, amely a pillanatfelvétel készítését megnehezítette, az elkészült kép nem volt éles.



12. ábra: Eredeti mérettől való eltérése 10 és 20 méter között

Forrás: Saját szerkesztés

A fuzzy klaszterezés nélkül átlagosan 89%-os pontosságot sikerült elérni. Ezt a 12. ábrán a kézzel jelölt terület jelzi. A zöld sáv a klaszterezés által javított értékeket jelöli, így a rendszer a tesztek során átlagosan 94%-os pontossággal mért. 20 méteres magasságban is 93%-os pontosságot sikerült elérni.

Az elkészült szoftverrel – a drón repülési idejétől függően – a felhasználó képes egy nagyobb területet berepülni és a problémás területről azonnal dönten, és részletesebb vizsgálatot végezni. A tesztelés során azonban azt tapasztaltuk, hogy a felszerelt kamera súlya közel 35-40%-al csökkentette a repülési időt, amely a gyakorlatban nagyjából 7-8 percet jelentett. Tehát az előzőekben taglalt eljárás napjainkban mégis elterjedtebb, mivel egy programozott repüléssel nagy terület felett képes felvételeket készíteni. A terület alakjától függően egy gyakorlott pilóta számára 5-7 hektár berepülése elérhető. Figyelembe véve ezt a tényt és a részcélként megfogalmazott követelményt, a továbbiakban a fejlesztést valós idejű elemzés irányába végezzük.

Következtetések

A kutatás során arra a következtetésre jutottunk, hogy a felhasznált eszközökkel és az elkészített szoftverrel a növénytermesztés során előállt technológiai károk, egyes vadkárok, illetve a természeti károk területének mérésére gyorsbecslések készíthetők a szakma általános elvárásai értelmében.

A rendszer előnye, hogy a felhasznált drón és kamera beszerzési költségei alacsonyak, nagyjából 30%-a konkurens termékekhez képest, valamint a szoftver használata 30-60 perc alatt elsajátítható. A várható érték a tesztelések során 94%, amely ideális időjárási körülmények között érvényes, ahol a sokaság tényleges értéke 100%.

A rendszer hátránya a kommunikációban tapasztalt instabilitás (használati idő negyedét érintette), amely az alacsony költségvetésű eszközök esetében előfordulhat. További hátrányként kell megemlíteni a drón kis súlya (380 gramm) miatt, szél megléte esetén fellépő vibrációt, amely az éles felvétel készítését korlátozta, ezáltal pontatlan eredmény született.

Véleményünk szerint a szoftverben implementált Aforge keret adta szűrési eljárások és a Fuzzy c-means klaszterezés alkalmasak lehetnek gyors becslés végzésére, akár a jelen eszközök felhasználásával is. További kutatás és nagyobb teljesítményű eszközök rendelkezésre állása

esetén az eddigi tapasztalatok alapot szolgáltathatnak egy precíz mérés megvalósításához. A szoftver további optimalizálásával elérhetővé válik a kevesebb mint 1 másodperc válaszidő, továbbá egy nagyobb teljesítményű drón (100 W) használatával a hatótávolság 15 hektár/óra, vibráció mértéke is javulhat, azaz a jelenleg használt eszközökhöz képest eredményesebb és a jelenlegi használatot meghaladó eredmény érhető el.

Irodalomjegyzék

1. Drone Wars UK n.d., *Information and comment on use of Drones. What are drones?* Available from: <https://dronewars.net/aboutdrone/>. [22.10.2015].
2. Kovacs, MJ & Zhang, C 2012, The application of small unmanned aerial systems for precision agriculture. *Review Precision Agriculture*, vol. 13, no. 6, pp. 613-712.
3. Anderson, C 2012, Here Come the Drones. *Wired Magazine*, London, UK, August 2012; pp. 102-111.
4. Tomlins, G. & Manore, M 1983, Remotely Piloted Aircraft for Small Format Aerial Photography. *The Canadian symposium on Remote Sensing and Association: proceedings of a conference*, Quebecoise de Teledetection, Congress, 4th, Montreal, QC, Canada, 3-6 May 1983; pp. 127-136.
5. Hardin, PJ & Hardin, TJ 2010, Small-Scale Remotely Piloted Vehicles in Environmental Research. *Geography Compass*, vol. 4, no. 9, pp. 1297-1311.
6. Hardin, P & Jensen, R 2011, Small-Scale Unmanned Aerial Vehicles in Environmental Remote Sensing: Challenges and Opportunities. *GIScience & Remote Sensing*, vol. 48, no. 1, pp. 50-111.
7. Treuhaft, RN, Law, BE & Asner, GP 2004, Forest Attributes from Radar Interferometric Structure and Its Fusion with Optical Remote sensing. *BioScience*, vol. 54, no. 6, pp. 561-571.
8. Rango, A, Laliberte, A, Herrick, JE, Winters, C, Havstad, K, Steele, C & Browning, D 2009, Unmanned Aerial Vehicle-Based Remote Sensing for Rangeland Assessment, Monitoring, and Management. *Journal of Applied Remote Sensing*, vol. 3, 033542, pp. 2-10.
9. Rodrigez, A, Negro, JJ, Mulero, M, Rodriguez, C, Hernández-Pliego, J & Bustamante, J 2012, The Eye in the Sky: Combined Use of Unmanned Aerial Systems and GPS Data Loggers for Ecological Research and Conservation of Small Birds. *PLOS ONE*, vol. 7, no. 12, pp. 2-8.
10. Ries, JB & Marzloff, I 2003, Monitoring of Gully Erosion in the Central Ebro Basin by Large Scale Aerial Photography Taken from a Remotely Controlled Blimp. *CATENA*, vol. 50, no. 2-4, pp. 309-328.
11. Parrot Drones, *Parrot AR Drone 2.0. elite edition*, Available from:
12. <https://www.parrot.com/global/drones/parrot-ar-drone-20-elite-edition#parrot-ar-drone-20-elite-edition>. [04.11.2015]
13. Piskorski, S & Brulez, N 2011, *AR.Drone Developer Guide*, Available from: https://homes.cs.washington.edu/~shwetak/classes/ee472/notes/ARDrone_SDK_1_6_DevelopDe_Guide.pdf. [04.11.2015]
14. Bakó, A 2006, Multimédia alapjai, elektronikus egyetemi jegyzet, pp. 127-128. pp. 5-93.
15. Mackey, A: A NET 4.0 és a Visual Studio 2010, Szak Kiadó Kft., 2010, 42-152.pp.
16. AForge.net framework n.d., Available from: <http://www.aforgenet.com/framework/>. [10.11.2015]

17. AForge.net framework n.d., *EuclideanColor Filtering Class*. Available from: <http://www.aforgenet.com/framework/docs/html/67fa83b5-dede-8d3a-8d3b-b7a6b9859538.htm>. [10.11.2015]
18. AForge.net framework n.d., *RGB Color Filtering Class*. Available from: <http://www.aforgenet.com/framework/docs/html/35bd90e3-4e35-8f5f-e255-26c5d8d4b927.htm>. [10.11.2015]
19. Sziray, J 2009, *Bevezetés a Szoftver-technológiába*, NOVADAT Bt., Győr
20. Szűcs, I 2004: *Alkalmazott statisztika*, Agroinform, Budapest
21. Sike, S & Varga, L 2003, *Szoftvertechnológia és UML*, ELTE Eötvös Kiadó, Budapest
22. Störrle, H 2007, *UML2 - Unified Modeling Language*, Panem Kiadó, Budapest
23. *Computer Vision Applications with C# - Fuzzy C-means Clustering n.d.*, Available from: <https://www.codeproject.com/Articles/91675/Computer-Vision-Applications-with-C-Fuzzy-C-means> [22.02.2017]