



ÓBUDAI EGYETEM
OBUDA UNIVERSITY

PhD értekezés tézislevele

Nagy mennyiségű multidimenzionális adatok feldolgozása feladatorientált speciális módszerekkel

Domozi Zsolt

Témavezető: Prof. Dr. Molnár András

Alkalmazott Informatikai és Alkalmazott Matematikai Doktori Iskola
Óbudai Egyetem

Budapest, 2025.

1. fejezet

A kutatás előzményei

A képfeldolgozás, mint információszerzési módszer, több évtizedes múltra tekint vissza, ugyanis már a második világháború idején is légi fotókat elemeztek a szembenálló felek. Az elemzés, kiértékelés emberi munkával és szakértelemmel, tapasztalattal volt lehetséges, mely sok tévedést is magában hordozott. A pilóták által kezelt fényképezőgépek helyett a hidegháború idején pontosabb, részletesebb képeket eredményező eszközöket fejlesztettek, melyek lehetővé tették a több információt eredményező felderítések véghezvitelét. A fejlődés töretlen volt és az ismert kémrepülők, későbbi műholdak után a légi fotózás egyre hétköznapiabbá, egyre elérhetőbbé vált tőkeerős vállalatok, nagy szervezetek számára is: könnyű repülőgépeket lehetett ellátni több olyan berendezéssel, mely a hely pontos légi fotózást tette lehetővé. A következő (és eddig az utolsó nagyobb ugrásnak tekinthető) lépcső a dróntechnológia fejlődése volt, mellyel a távirányított repülés és alacsony repülési magasságú légi fotózás szinte mindenki számára elérhetővé vált. Ezzel a technológiai ugrással azonban újabb megoldandó problémák is jelentkeztek. Az egyre könnyebben és egyre nagyobb mennyiségben előálló képeket a továbbiakban nem lehetett eredményesen manuális módszerekkel feldolgozni, a vizsgálati szempontnak megfelelő képrészleteket kiemelni. Az 1990-es évektől kezdődően nagy teret nyert a képek algoritmikus feldolgozása, hiszen a számítógépek központi egységének műveleti teljesítménye drasztikusan növekedett. Az egyes vizsgálati vagy további feldolgozási szempontoknak megfelelő algoritmusok nem feltétlenül voltak minden esetben általánosan elérhetőek. Az adott céllal feldolgozásra bocsátott fotókat jellemzően az adott vizsgálati szempontoknak megfelelő egyedi algorit-

musok elemezték, értékelték. Ezen algoritmusok a számítógép hardveres jellemzőit kevésbé figyelték, a nyers számítási teljesítményt figyelembe véve az adott célra voltak optimalizálva. A 2000-es évek végén a hardverek fejlődésének lassulása gátat szabott a képfeldolgozó algoritmusok fejlődésének. A párhuzamos adatfeldolgozási alapelvek ugyan megjelentek és beépültek az elemző szoftverekbe, azonban teljesítményük korlátos volt. A képek számítógépes feldolgozására továbbra is növekvő igény volt. A fotók tartalmi elemeinek azonosítása általánosan kutatott területté vált. Ezen terület nem csak a korábban említett légifotók elemzésénél vált fontossá, de egyre hétköznapiabb problémák megoldásánál is: forgalomszámlálásnál mozgó objektumok váltak azonosíthatóvá, autók, teherautók lettek megkülönböztethetők kamerakép alapján, orvosi diagnosztikai területeken a CT felvételek elemzésénél vagy mikrobiológiai keneteknél automatizálták a felismerést, feldolgozást. Talán emlékszünk, hogy 2010 környékén sokak víziója kezdett kibontakozni, mely az autók vagy bármely más járművek önvezetési képességeiről szóltak. Az önvezetési funkciók megvalósításának is lehet egy része a kameraképek folyamatos figyelése és elemzése.

Látható, hogy a számítási teljesítmény igénye folyamatosan nőtt a számítógépes képfeldolgozási területnek, de ezzel a központi feldolgozó egységek (CPU) párhuzamosítása nem tudott lépést tartani. A megoldást az szolgáltatta, hogy az adatok kötegelt és párhuzamos feldolgozására sokkal alkalmasabb hardver a grafikus feldolgozó egység (GPU), melyhez elsőként az NVidia adott fejlesztői hozzáférést a CUDA programozási interfészek segítségével. Az így elérhető többlet számítási teljesítmény segítségével az 1990-es évektől kezdve kutatott gépi tanulási módszerek (Machine Learning) néhány éven belül új lendületet kaptak. A 2010-es évek közepére elért eredményeik alapján a klasszikus feldolgozó és elemző algoritmusok használata visszaszorult, a legtöbb kutatás az ML területtel foglalkozott. A „korlátlan” gépi erő és megannyi kutató munkájának eredménye kétségtelenül impozáns, hiszen az automatizáció, a széles körben, az élet több területén használhatóság és az adatkezelési és feldolgozási párhuzamosság jelentős előrelépést jelentenek. Azonban a gépi tanulási módszereknek is vannak hibáik, korlátaik: több területen is magas hibaarányal üzemelnek, a megfelelő gépi tanulási algoritmus kiválasztása továbbra is szakértői feladat, illetve a CPU-GPU közötti kommunikáció egyes esetekben (jellemzően nagy adatmennyiségen

végzett műveletek esetében) lehet CPU korlátos, ezzel pedig a ML algoritmusok teljesítménye drasztikusan visszaeshet. Ennek oka, hogy a képek adatstruktúrájukat tekintve mátrixoknak tekinthetők, ahogyan bizonyos mérések eredményadatai is 2, 3 vagy akár 5 dimenziós adathalmazokat hozhatnak létre. A disszertáció drónnal szerzett mérési adatok hatékony vizualizációjára és képi adatok elemzésére mutat be megoldásokat.

2. fejezet

Célkitűzések

Kutatásom szerteágazó, több társterületet és több valós problémát jár körül. Elsődleges szempont a nagy mennyiségű adattal leírható valóságot reprezentáló tér, valóssal megegyező objektumok vizsgálata és újszerű módszerekkel, esetleg újszerű hybrid módszerekkel való elemzése.

Első témám az objektumok keresése légi fotók vagy műholdképek segítségével. Számos helyzet van, amikor a klasszikus információszerzés kevésnek bizonyul egy terület vizsgálatához. Ilyen lehet, amikor a lakosságot bevonva kérdőívek, önbevallás alapján próbálunk adott területet felmérni, az adott területen fellelhető objektumokról, természeti erőforrásokról információt szerezni. Több forrás bizonyítja, hogy az így nyert adatok és a rájuk épülő elemzések, következtetések meglehetősen pontatlanok. Gondoskodni érdemes arról, hogy az adat beszerzése ne más személyeken, különböző rendszereken múljon, így az adat feldolgozása során az előálló információ is pontosabb.

Célom, hogy az adat beszerzését követően a feldolgozás során többféle megközelítést alkalmazzak, az egyes eredményeket értékelve, adat fúziót követően az egyes megközelítések gyenge eredményeit kiszűrjem és együttesen egy jobb eredményt adjanak.

Második témám hőkamera képének feldolgozásával kapcsolatos. Jelenleg a piacon elérhető hőkamerák két nagy csoportba sorolhatók. Az egyik csoportban azok a professzionális, nagy felbontású kamerák találhatók, amelyek néhány évvel ezelőtti színes (RGB) kamera felbontásával vetekszenek, azonban áruk miatt magáncélra, közületi célokra nem elérhetőek. Másik csoportja a hőkameráknak azok, melyek felbontása rendkívül alacsony, alapvetően

csak hőeltérések nagyvonalú vizualizálására alkalmasak, cserébe árukat tekintve már magánszemélyeknek is elérhetőek. Céлом az, hogy az olcsó, bárki számára elérhető hőkamera képéből olyan 3D objektumot állítsak elő, mely megfelelően reprezentálja, felismerhetően jeleníti meg az eredeti objektum arányait, határoló vonalait és egyben hőinformációkkal is rendelkezik.

Harmadik témám a mindennapi életünkhöz kapcsolódik. A légszennyezés különösen fontos kérdés napjainkban, több kutatás bizonyította már, hogy a várható életkor sok más tényező mellett a levegő minőségétől is függhet. Több olyan levegő összetevő van, amelyek értékének eltolódása valamilyen szennyezés, emberi felelőtlen tevékenység eredménye. Céлом, hogy alacsony költségek mellett, 3D pozíciókban 5D légszennyezettség adatokat gyűjtsek, valamint ezen adatokat feldolgozva vizuálisan megjelenítsem az egyes mért értékeket. Az értékek megjelenítése alapján következtetni lehet a szennyezési forrás helyére.

Negyedik témám a természetes mértékű sugárzástól eltérő értékű, adott esetben radioaktív szennyezés eredményeként fellépő sugárzási értékek mérésével és lokalizációjával kapcsolatos. Az elmúlt évtizedben több kontrollált maghasadással kapcsolatos baleset is bekövetkezett, melyek mindegyikénél azonnali kérdés volt, hogy miként lehet lokalizálni, miként lehet megszüntetni a fennálló szennyező állapotot. Embereket küldeni a szennyezett területre felderítési munkálatokat folytatni nem etikus. A rendelkezésre álló modern eszközök jelentős része nem képes hosszú ideig működni sugárterhelt környezetben.

Céлом, hogy megalkossak egy olyan eljárást, mely képes a sugárforrás detektálására, helymeghatározására úgy, hogy a felmérést végző eszköz működését még nem befolyásolja a sugárzás mértéke.

3. fejezet

Vizsgálati módszerek

Kutatásaim során mindig tudományos módszerekkel elemeztem azokat az eljárásokat, amik az adott problémára már próbáltak megoldást adni. Sokszor logikus következményként érdemes volt egy korábbi módszert kizárni a további kutatásból vagy akár tovább gondolni, finomítani az új megoldás kidolgozása során. Szakfolyóiratok, tudományos konferenciákon megjelent cikkek elemzését követően a saját eljárásaimat szintén ezen publikációs formákban tettem közzé. Az itt kapott visszajelzéseket, egyes esetekben külön megkereséseket igyekeztem értékelni és beépíteni a megoldásaimba.

3.1. Objektumok keresése adatfúziós módszerekkel

Számtalan képfeldolgozási eljárás ismert, melyek működésüket tekintve nagyon különbözőek. Minden algoritmusnak van előnye és hátránya is, vannak ismert gyengeségeik, egyes jól definiált célokra más-más algoritmus választása megfelelőbb. A kidolgozott komplex módszer alkalmaz machine-learning alapú képelemzési technikát, Fuzzy-logikát és klasszikus képelemzési algoritmust is. Ezen technikák eredményeit fuzionálva hatékonyabb, biztosabb objektum-azonosítás érhető el, mint amit az egyes módszerek önmagukban lehetővé tennének.

3.2. Hő- és színes kamera adatainak fúziója

Az alacsony felbontású hőkamera önmagában korlátozottan használható részletes vizsgálatokra. Azonos időben készült színhelyes fotókkal kombinálva megfelelő eredmény állítható elő. Ehhez a színhelyes fotókon olyan módosításokat kell végezni az utófeldolgozás során, mely lehetővé teszi a hőértékek hamis színes reprezentálását is.

3.3. 3D pozíciókban mért 5D légszennyezettségi adatok feldolgozása

Az adatok beszerzéséhez egyedi eszköz építésére van szükség. Az itt felhasznált módszerek jelentős része alapvetően ismert eljárás. A megszerzett adatok feldolgozása, vizualizálása már különböző adatfeldolgozási eljárásokkal végezhető hatékonyan, melyekre a megoldásokat a disszertációban bemutatom. Adatfúziós módszerem segítségével pontosabb információ nyerhető, mint a mért adatok egymástól független elemzése során.

3.4. Kültéri gamma-dóziseloszlás mérése multikopterrel

A sugárzási adatok mérésére egyedi szenzort fejlesztettem. A szenzor felépítése, érzékenysége lehetővé teszi a gyors, mégis pontos méréseket, mindezt alacsony súly mellett, tehát egy multikopterrel jól repíthető formában. A megszerzett adatok feldolgozása, elemzése során használt módszereket a disszertációban bemutatom.

4. fejezet

Új tudományos eredmények

Nagy mennyiségű adatok feldolgozásánál a klasszikus módszerek hátránya, hogy kizárólag a számítógépek központi feldolgozó egységét használják, elenyésző esetben kerül át a számítási feladat valamilyen célhardverre. További hátrányuk, hogy a feldolgozás során a vizualizáció elmarad és csak az eredmények láthatóak a feldolgozás végén. Az eredményhalmaz sokszor false-positive értékeket is tartalmaz és a klasszikus módszerek ezen értékek kiszűrésére csak saját módszereikkel keresik a megoldást, más megközelítést jellemzően nem alkalmaznak.

1. Tézis

Kidolgoztam és kísérleti eredményekkel igazoltam egy olyan komplex algoritmust, mellyel kisméretű robotrepülőgépek által készített légi felvételekből előálló nagy mennyiségű, több dimenziós adatot az előre, szabadon definiálható tartalmi feltételek mentén elemeztem. Az algoritmus több, egymástól függetlenül is értelmezhető eljárást tartalmaz, melyek mindegyike értékelhető eredményt ad, azonban az egyes vizsgált adatpontokra jobb eredményt értem el az eljárások fuzionálásával. Az általam kidolgozott és megvalósított megoldás a következő jellemzőkkel rendelkezik:

- a komplex eljárás minden eleme önálló és egyenértékű, melyek között nincs előre definiált hierarchikus sorrend,
- az eljárás egésze nagy mennyiségű adat elemzését teszi lehetővé,

- alkalmas objektumok azonosítására úgy, hogy az egyes részmegoldások hamis-pozitív és hamis-negatív eredményeit eliminálja a végleges eredményből,
- jobb eredményt szolgáltat, mint amit a felhasznált eljárások önállóan adnak.

Tézishez kapcsolódó tudományos közlemények: [T1][T2]

2. Tézis

Megalkottam egy eljárást, mely segítségével költséghatékonyan és nagy felbontással lehet valós objektumok hőmodelljét létrehozni. Az eljárás bemenetét alacsony felbontású, 7.5-13.5 μm tartományban készült, rossz minőségű hőképek alkotják, melyekből képes voltam a szenzor eredeti felbontását magasan meghaladó felbontású, 3D-ben értelmezhető kimenetet prezentálni. A fúziós algoritmus a bemeneti 160x120 pixel felbontású képnél kb. 10-szer nagyobb felbontású kimeneti képet állított elő úgy, hogy az infravörös tartományban dolgozó alacsony felbontású kép egyes elemi részeit megfeleltette egy nagyfelbontású, színes, RGB csatornákkal rendelkező kép bizonyos tartományainak. Az így létrejött kimeneti képekből már létrehozható a valós objektumot/tárgyat a virtuális térben reprezentáló megfelelője. Az általam kidolgozott és megvalósított eljárás a következő jellemzőkkel rendelkezik:

1. a fúziós algoritmus működéséhez szükség van a nagy felbontású színes képre és az alacsony felbontású hőképre, melyek páronként azonos nézőpontból készültek,
2. a kimenetként előálló képek alkalmasak 3D objektum építésére,
3. a- a módszer lehetővé teszi, hogy alacsony költségvetéssel nagy felbontású hőképek vagy térmodellek készüljenek.

Tézishez kapcsolódó tudományos közlemények: [T3][T4][T5]

3. Tézis

Megalkottam egy olyan eljárást, melynek segítségével lokális légszennyezettség mérése lehetséges alacsony tömegű, nagy érzékenységgű, UAV-ra szerelhető szenzorok segítségével.

A felmérni kívánt területet lefedő útvonal valós időben adaptívan tervezhető. Az eljárás eredményeként a 3D pozíciókhoz nagy mennyiségű 5D adat rendelhető. Az általam kidolgozott és megvalósított eljárás a következő jellemzőkkel rendelkezik:

1. az eljárás képes a szennyezés forrásának detektálására,
2. a rendelkezésre álló 3D pozíció adatok segítségével a felmért terület légi jellemzőinek vizualizációja lehetséges,
3. többszöri felmérést követően a szennyezés szóródása, terjedése kimutatható az idő függvényében.

Tézishez kapcsolódó tudományos közlemények: [T6]

4. Tézis

Megalkottam két, egymástól független eljárást, melyekkel sugárzó anyag pozícióját lehet meghatározni. Az eljárás részeként alacsony tömegű, nagy érzékenységű, UAV-re szerelhető szenzorokat használtam. A felmérni kívánt terület helyben vagy előre tervezhető, a felmérés gyorsan végezhető, ezzel a felmérésben résztvevő személyek és eszközök sugárdózisa jelentősen csökken a hagyományos lokalizációs módszerekhez képest. Az általam kidolgozott eljárások képesek:

1. az eljárások képesek a szennyezés forrásának detektálására,
2. a rendelkezésre álló 3D pozíció adatok segítségével a felmért terület sugárzási jellemzőinek vizualizációja lehetséges.

Tézishez kapcsolódó tudományos közlemények: [T7][T8][T9]

5. fejezet

Az eredmények hasznosítási lehetőségei

Az általam megalkotott rendszerek a kidolgozott eljárásaimmal alkalmasak a kitűzött célok elérésére. Az egyes megoldások számos alkalommal bizonyították helyességüket az elmúlt években végzett kutatási munkáim során. A megalkotott eljárásaim alkalmazhatóak a társ tudományterületek megszokott eljárásai mellett, illetve nem csak civil, de katonai, üzleti, oktatási céllal is felhasználhatóak.

Irodalomjegyzék

Tézisekhez kapcsolódó tudományos közlemények

- [T1] Z. Domozi and A. Molnar, "Surveying private pools in suburban areas with neural network based on drone photos," IEEE EUROCON 2019 -18th International Conference on Smart Technologies, Novi Sad, Serbia, 2019, pp. 1-6, doi: 10.1109/EUROCON.2019.8861770.
- [T2] Z. Domozi, M. Takacs and A. Molnar, "Pool Detection with Concurrent Algorithms," 2019 IEEE 19th International Symposium on Computational Intelligence and Informatics and 7th IEEE International Conference on Recent Achievements in Mechatronics, Automation, Computer Sciences and Robotics (CINTI-MACRo), Szeged, Hungary, 2019, pp. 000223-000230, doi: 10.1109/CINTI- MACRo49179.2019.9105208.
- [T3] D. Stojcsics, I. Lovas, Z. Domozi and A. Molnar, "High Resolution 3D Thermal Imaging Using FLIR DUO R Sensor," 2018 IEEE 22nd International Conference on Intelligent Engineering Systems (INES), Las Palmas de Gran Canaria, Spain, 2018, pp. 000311-000316, doi: 10.1109/INES.2018.8523914.
- [T4] A., Molnár ; I., Lovas ; Z., Domozi „Photogrammetry on low resolution thermal pictures” In: P., Iványi; B. H., V. Topping (szerk.) Proceedings of the Sixth International Conference on Parallel, Distributed, GPU and Cloud Computing for Engineering, Pécs, Magyarország : Civil-Comp Press (2019) pp. 1-11. , 11 p.
- [T5] András, Molnár; István, Lovas; Zsolt, Domozi „Practical Application Possibilities for 3D Models Using Low-resolution Thermal Images” ACTA POLYTECHNICA

HUNGARICA 18 : 4 pp. 199-212. , 14 p. (2021)

- [T6] D. Stojcsics, Z. Domozi and A. Molnar, "Air Pollution Localisation Based on UAV Survey," 2018 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC), Miyazaki, Japan, 2018, pp. 2546-2551, doi: 10.1109/SMC.2018.00436.
- [T7] A. Molnar, I. Lovas and Z. Domozi, "Measurement of outdoor gamma dose distribution with a multicopter," 2020 IEEE 24th International Conference on Intelligent Engineering Systems (INES), Reykjavík, Iceland, 2020, pp. 103-108, doi: 10.1109/INES49302.2020.9147190.
- [T8] Molnar A, Domozi Z, Lovas I. Drone-Based Gamma Radiation Dose Distribution Survey with a Discrete Measurement Point Procedure. *Sensors*. 2021; 21(14):4930. <https://doi.org/10.3390/s21144930>
- [T9] Molnár A, Kiss D, Domozi Z. Radiation Source Localization Using a Model-Based Approach. *Sensors*. 2023; 23(13):5983. <https://doi.org/10.3390/s23135983>

További tudományos közlemények

- [K1] Z. Domozi, D. Stojcsics, A. Benhamida, M. Kozlovsky, and A. Molnar, “Real time object detection for aerial search and rescue missions for missing persons,” in 2020 IEEE 15th International Conference of System of Systems Engineering (SoSE 2020), 2020, pp. 000519–000524.
- [K2] M. András, S. Daniel, D. Zsolt, and L. István, “Gamma radiation distribution map creation using a small-sized drone,” in IEEE 18th International Symposium on Computational Intelligence and Informatics (CINTI 2018), 2018, pp. 161–166.
- [K3] M. András and D. Zsolt, “Some Practical Problems of Photogrammetry Based Volume Control of Open-pit Mines,” in 2018 IEEE 16th World Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics (SAMI), 2018, pp. 217–224.
- [K4] S. Daniel, D. Zsolt, and M. Andras, “Iterative Closest Point Based Volume Analysis on UAV Made Timeseries Large-scale Point Clouds,” in 2018 IEEE 16th International Symposium on Intelligent Systems and Informatics (SISY), 2018, pp. 69–74.
- [K5] S. Daniel, D. Zsolt, and M. Andras, “Advances in Automated Volume Analysis based on Large Scale Pointclouds,” *INTERNATIONAL JOURNAL OF SIMULATION SYSTEMS SCIENCE AND TECHNOLOGY*, vol. 19, no. 2, 2018.
- [K6] S. Daniel, D. Zsolt, and M. Andras, “Large-Scale Point Cloud Based Volume Analysis Acceleration Based on UAV Images,” in IEEE 12th International Symposium on Applied Computational Intelligence and Informatics (SACI 2018), 2018, pp. 51–56.
- [K7] S. Daniel, D. Zsolt, and M. Andras, “Automated Volume Analysis of Open Pit Mining Productions Based on Time Series Aerial Survey,” in 2018 UKSim-AMSS 20th International Conference on Computer Modelling and Simulation (UKSim), 2018, pp. 84–89.
- [K8] S. Dániel, D. Zsolt, and M. András, “Automated evaluation of agricultural damage using UAV survey,” *ACTA UNIVERSITATIS SAPIENTIAE AGRICULTURE AND*

ENVIRONMENT, vol. 2018, no. 10, pp. 20–30, 2018.

- [K9] T. Máté, S. Dániel, D. Zsolt, and L. István, “Fuzzy Based Indoor Navigation for Mobile Robots,” in 2018 IEEE 16th International Symposium on Intelligent Systems and Informatics (SISY), 2018, pp. 333–338.
- [K10] T. Máté, S. Dániel, D. Zsolt, and L. István, “Stereo Odometry based Realtime 3D Reconstruction,” in 2018 IEEE 16th International Symposium on Intelligent Systems and Informatics (SISY), 2018, pp. 321–326.
- [K11] M. Andras and D. Zsolt, “Tracking Production Volumes of Open-Pit Mines with Photogrammetry,” in 2017 European Modelling Symposium (EMS), 2017, pp. 100–106.
- [K12] M. Andras and D. Zsolt, “Volume Analysis of Open-Pit Mines on the Basis of Photogrammetry Principles,” WSEAS TRANSACTIONS ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT, vol. 13, no. 31, pp. 304–312, 2017.
- [K13] A. Molnár and Z. Domozi, “Volume analysis of surface formations on the basis of aerial photographs taken by drones,” International Journal of Signal Processing, Image Processing and Pattern Recognition, vol. 1, pp. 152–159, 2016.
- [K14] L. Kutor, Z. Domozi, G. Nagy, C. Peller, and T. Véső, “Object Identification and Local Information Services Using Near Field Communication,” in Regional Conference on Embedded and Ambient Systems RCEAS 2007, 2007, p. 10.