

Térképkészítés drón segítségével

Efficient real-time drone mapping

Prof. Dr. VÁSÁRHELYI József, ROSTUM Hussam,

Miskolci Egyetem, Atomizálási és Infokommunikációs Intézet, 3515 Miskolc, Magyarország
{josef.vasarhelyi; hussam.rostum}@uni-miskolc.hu

Abstract

This paper aims to develop an efficient real-time mapping workflow using a drone employing Visual Simultaneous Localization and Mapping (V-SLAM) technology, implemented using Python Programming. The control module is enhanced to guide the drone in exploring an unknown environment, enabling it to perform functionality similar to a LiDAR sensor but relying solely on its onboard camera to detect walls and features, and dynamically construct a map of the surrounding environment.

Keywords: Drone Mapping; Python Programming; Computer Vision; Indoor Navigation; Visual SLAM.

Kivonat

A cikk bemutat egy valós idejű térképezési munkafolyamatot, amely egy drón segítségével valósul meg. amely A módszer a vizuális egyidejű helymeghatározás és térképezés (V-SLAM) technológiáját alkalmazza. A megvalósítás Python programozás segítségével történik. A Python program egy Tello drónt segítségével képes az ismeretlen beltéri környezetek felfedezésére. A magvalósítás kizárólag a drón fedélzeti kamerájára támaszkodva érzékeli a falakat, akadályokat és térbeli jellemzőket.

Kulcsszavak: Térkép készítés drónnal; Python programozás; gépi látás; beltéri navigáció; Visual SLAM.

1. BEVEZETÉS

A vizuális egyidejű lokalizáció és térképezés (Visual Simultaneous Localization and Mapping V-SLAM) algoritmust mobil robotok környezetének meghatározására is alkalmazzák. Az algoritmus segítségével meghatározható a robot/drón környezethez viszonyított helyzetének meghatározására. A beltéri navigáció szigorú feltételeket támaszt a SLAM alkalmazásával szemben, mivel nem támaszkodhat a globális helymeghatározó műholdrendszerre (GNSS), ami különösen fontos GPS-jel nélküli környezetekben, például gyárakban, barlangokban és földalatti létesítményekben [1]. A kutatók számos technikát vizsgáltak a hatékonyság növelésére, többek között számítógépes látás, mély tanulás és számítási optimalizálás alkalmazásával. Ahmed és munkatársai [2] egy autonóm pilóta nélküli légi jármű (UAV) navigációs és térképező rendszert fejlesztettek ki, amely GPS-jel nélküli helyeken működik. A rendszer LiDAR alapú érzékelőt alkalmaz a valós idejű akadályok érzékeléséhez és egyidejűleg felépíti az ismeretlen környezet 3D-s térképét. A megoldás ipari karbantartási alkalmazásokra esetében használható mint bányászat, kutató-mentő műveletekben, stb. Alexovič és munkatársai [3] egy négy lengőkaros IntelSense mélység követőkamerákkal felszerelt drónt valósítottak meg beltéri térképezési feladatok megvalósítására. Bár munkájuk főként hardverintegrációra és a beltéri alkalmazásokra összpontosított, a megvalósított alkalmazás jól szemlélteti az alacsony költségű látásalapú 3D-s térkép készítési megoldások lehetőségét GPS-jel nélküli környezetekben.

Egy másik megoldás a GuPho nevű drón alkalmazás egy moduláris és alacsony költségű V-SLAM hordozható rendszer, amelyet [4] mutatott be valós idejű 3D-s térkép készítéshez beltéri, kültéri és víz alatti alkalmazásokra. Megjegyezzük, hogy az említett rendszer valós idejű navigációs és ismételt helymeghatározási funkciókat kínál felhasználót segítő fotogrammetria terén hiányzó GNSS-jel és dinamikus körülmények között.

Kern és társai [5], [6] kifejlesztettek az OpenREALM térképezési keretrendszert pilóta nélküli légi járművek (Unmanned Aerial Vehicle – UAV) számára, lehetővé téve különböző V-SLAM architektúrák –

például az ORB-SLAM3, OpenV-SLAM és OV2-SLAM – integrálását. A módszer lehetővé teszi valós idejű adatok, például fotók és digitális felszínmodellek előállítását, miközben a drón még a levegőben van. A kutatás kimutatta, hogy a módszer, akár nagyobb pontosságot is elérhet kontrollpontok nélkül. Így hatékonyan alkalmazható időkritikus helyzetekben, például katasztrófaelhárítás során.

Krul és munkatársai [7] az LSD-SLAM és ORB-SLAM algoritmusokat hasonlították össze GPS nélküli beltéri állattartási és mezőgazdasági környezetekben. A két VSLAM algoritmust egy egykamerás drónra telepítették. Az eredmények azt mutatták, hogy az ORB-SLAM jobban teljesített az abszolút és relatív pozícióhibák tekintetében.

Steenbeek és Nex [8] egy valós idejű térképező rendszert mutatott be, amelyet vészhelyzeti drónos alkalmazásokhoz fejlesztettek ki. A rendszer az egykamerás ORB-SLAM2 algoritmust kombinálja konvolúciós neurális hálózattal (CNN). Bár a textúraszegény területeken vannak korlátai, a rendszer sikeresen teljesítette a térképezési feladatokat, kiemelve a keresési és mentési műveletekben rejlő lehetőségeit.

Li és munkatársai [9] egy valós idejű szemantikus sűrű térképező rendszert fejlesztettek ki, amely az ORB-SLAM2 algoritmust ötvözi a könnyű BiSeNetV2 hálózattal. A rendszer optimalizálását korlátozott hatótávolságú drónokon optimalizálták, lehetővé téve a valós idejű autonóm navigációt ellenőrzési és mentési célokra.

A [10]-es cikkben a Scale-Invariant Feature Transform (SIFT) és a Speeded Up Robust Features (SURF) algoritmusokat alkalmazzák terepi jellemzők érzékelésére, valamint egy kiterjesztett információs szűrőt (EIF) alkalmaznak az adatfúzióhoz. A talaj felszín érzékeléséhez Delaunay - háromszögelést alkalmaztak az interpolációhoz. A javasolt textúratérképezés, drónos feladatok elvégzése során javította a környezet vizualizációját mind a navigáció, mind a terep jellemzőinek értelmezése szempontjából.

A cikkben leírtakhoz a kísérletek során a DJI Tello drónját használtuk. A drón közvetlenül vezérelhető számítógépről Python fejlesztő környezetben. A drónnal történő kapcsolat Wi-Fi vezeték nélküli hálózaton keresztül érhető el. A drónt Python programozási nyelvben megírt vezérléssel irányítjuk, ahhoz, hogy vakon készítsen kétdimenziós (2D) beltéri épülettérképezést beépített kamerája segítségével.

A cikkben bemutatott eredmény a valós idejű térkép készítés és környezet rekonstrukció megvalósítása egy egykamerás V-SLAM algoritmus alkalmazásával, figyelembe véve a Tello drón hardveres korlátait. A tanulmány bemutatja a rendszer felépítését, és értékeli a térkép készítés pontosságát a valós referencia értékekhez képest.

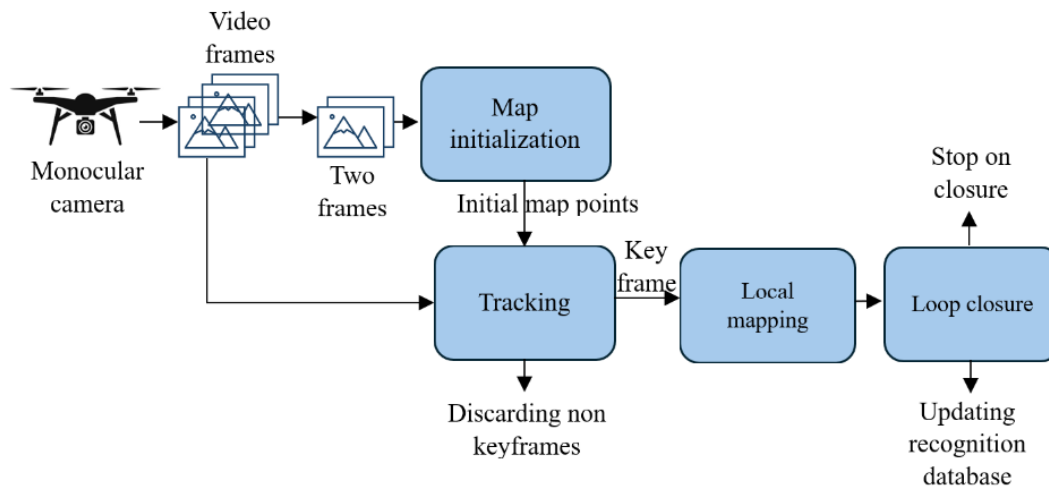
2. MONOKULÁRIS ORB-SLAM ARCHITEKTÚRA

A Monocular ORB-SLAM architektúra vizuális egykamerás SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) rendszer, amely képes a környezet feltérképezéséhez. A kamera helyzetének becslése kizárólag az általa közvetített képfolyam alapján történik. Az ORB-SLAM (Oriented FAST and Rotated BRIEF SLAM) algoritmus különösen hatékony a valós idejű alkalmazásokban.

A kísérletekben használt egykamerás ORB-SLAM alapvető tömbvázlata az 1. ábrán látható. Az architektúra négy egységből áll.

A rendszer a kamera videoképkockáinak rögzítésével indul, majd az első képkockák alapján elkészíti a kezdeti térkép elemet. Miután a térkép sikeresen inicializálódott, a követő egység összehasonlítja az aktuálisan elküldött képkockát az előzővel, hogy megállapítsa, tartalmaz-e elegendő új információt. Ha a következő képkocka valóban új információt hordoz, akkor kulcsképkockának minősül, és továbbításra kerül a térkép készítő egységhez a térkép elkészítéséhez használt műveletben. Ellenkező esetben elvetésre kerül, és a rendszer a következő képkockát vizsgálja meg. A térképező egység folyamatosan frissíti a térképet a követő egységgel együtt, háromszögelés és kötegelt illesztés (Bundle Adjustment – BA) technikák alkalmazásával.

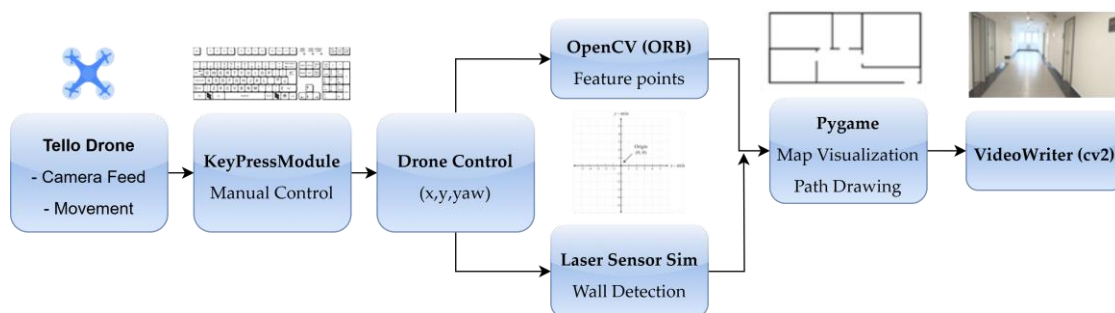
Végül „hurokzárás” történik, amely a térképen belüli korábban meglátogatott helyek felismerésére szolgál. A hurokzárás fontos az összegzett hiba csökkentéséhez és a kamera elcsúszásának korrekciójához, különösen hosszú és összetett térképek esetén, a Bag of Words (BoW) technika segítségével.



1. ábra. A monokuláris ORB-SLAM rendszer tömbvázlata

3. MEGVALÓSÍTÁS

A megvalósított rendszer a DJI Tello drónt kameráját használja beltéri térképek készítésére. A drón hasonlóan egy LIDAR érzékelőhöz körbefordul és a kamerája által közvetített képek segítségével elkészíti a beltéri akadályok térképét. A drónos térképkészítés tömbvázlata a 2 ábrán látható.



2. ábra. A megvalósított rendszer tömbvázlata

A DJI Tello drón táv vezérlésének biztosítása érdekében egy egyedi bemenetkezelő modult fejlesztettünk ki a *pygame* könyvtár alkalmazásával Python fejlesztő környezetben. A modul valós idejű billentyűzet parancsok segítségével irányítja a drón mozgását. A modul grafikus felületén keresztül interaktív módon vezérelhető a drón mozgása. A drón pályája folyamatosan frissül a Pygame által megjelenített virtuális térképen, lehetővé téve a valósághű mozgás követését.

A környezeti kamerán érzékelés megvalósítására létrehoztunk egy egyedi fejlesztésű „LaserSensor” fantázia nevű modult. A modul távolságmérő szenzorként működik, amely radiálisan pásztázza a környezetet, miközben a drón aktuális koordináitához rögzített adatokat küld. A rendszer különböző irányok mentén kibocsátott pásztázások segítségével, érzékeli a pásztázások metszéspontjait, így módon észleli a falakat és akadályokat. Az érzékelés előre meghatározott hatótávolság és szögfelbontás mellett történik. Az érzékelt akadályok koordinátáinak kezelésére két fontos módszer alkalmazható, amely az akadályokkal való ütközési pontokat mutatják:

- Adattárolás: feladata a drón által érzékelt környezetet tároló adatállományának kezelése, valamint az akadályok koordinátáinak rögzítése.
- `Show_sensor_Data`: függvény a pásztázott pontok valós idejű vizualizációját végzi, megjelenítve azokat a környezetben, hogy ábrázolja az érzékelt falakat és akadályokat.

A rendszer a Pygame, Python-alapú multimédiás könyvtárat használja a valós idejű térképezési folyamat vizualizálására és grafikus ábrázolására. A rendszer az OpenCV VideoWriter osztályának alkalmazásával rögzíti a kapott képeket, lehetővé teszi a térkép készítési folyamatot és a térkép dokumentálását illetve segíti az utólagos elemzéseket is. Ez a modul időbélyeggel ellátott felvételt készít a drón által felfedezett területekről és a generált valós idejű képeket videó formátumú állományba kódolva menti el.

4. EREDMÉNYEK

A kutatás célja az volt, hogy a drón kamerájának kizárólagos használatával, előzetes belsőépítészeti ismeretek nélkül állítsuk össze a könnyen bejárható helyiségek és folyosók térképét. Az autonóm térkép készítés igazolásának egyik alapvető feltétele volt egy valódi, ismeretlen környezetbe történő térkép készítés megvalósítása. A repülés során az ORB-SLAM modul feldolgozta a drón élő videófolyamát, becsléseket készített a kamera pályájáról, és rekonstruálta a környezet 3D térképét.

A térkép kezdetben nem tartalmazott adatokat, azonban minden egyes képkockával frissült, megjelenítve a szerkezeti éleket és falak körvonalait a kamera képeinek feldolgozása következtében. Amikor a drón visszatért korábban bejárt területekre, az ORB-SLAM rendszerben működő „hurokzár érzékelés” (loop closure detection) segített a helyzeti eltérések kijavításában, így biztosítva a pontos térkép felépítését. Az elért eredmények felhasználásával lehetővé vált valódi idejű beltéri térkép készítés monokuláris V-SLAM technológia és DJI Tello drón alkalmazásával. A monokuláris SLAM ismert korlátja, az abszolút skála hiánya ellenére a rendszer képes volt a térbeli elrendezések felvázolására és a következetes relatív mozgás fenntartására. A keretrendszer minimális lokalizációs hibát és megbízható szerkezeti rekonstrukciót eredményezett.

A kutatás megismétléséhez szükséges programok és egyéb dokumentumok itt [13], míg a kísérlet során készített videó itt [14] található.

IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] Rostum, H. M., Vásárhelyi, J.: A review of using visual odometry methods in autonomous UAV Navigation in GPS-Denied Environment. *Acta Univ. Sapientiae Electr. Mech. Eng*, University Sapientia, 15, 2023, 14-32.
- [2] Ahmed, A.A., Olumide, A., Akinwa, A. and Chouikha, M., 2019, November. Constructing 3D maps for dynamic environments using autonomous uavs. In *Proceedings of the 16th EAI International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems: Computing, Networking and Services*. ACM, 2019, pp. 504-513.
- [3] Alexović, S., Lacko, M. and Bačík, J., 3D mapping with a drone equipped with a depth camera in indoor environment. *Acta Electrotechnica et Informatica*, ISSN 1335-8243, Vol. 23, No. 1, 2023, 18–24, DOI: 10.2478/aei-2023-0003..
- [4] Menna, F., Torresani, A., Battisti, R., Nocerino, E. and Remondino, F., A modular and low-cost portable VSLAM system for real-time 3D mapping: from indoor and outdoor spaces to underwater environments. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 48, 2022.
- [5] Kern, A., Fanta-Jende, P., Glira, P., Bruckmüller, F. and Sulzbachner, C., An accurate real-time Uav mapping solution for the generation of Orthomosaics and surface models. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 43. 2021.
- [6] Kern, A., Bobbe, M., Khedar, Y. and Bestmann, U., OpenREALM: Real-time mapping for unmanned aerial vehicles. In *2020 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS) IEEE*, ISBN: 978-1-7281-4278-4, 2020, pp. 902-911.
- [7] Krul, S.; Pantos, C.; Frangulea, M.; Valente, J. Visual SLAM for Indoor Livestock and Farming Using a Small Drone with a Monocular Camera: A Feasibility Study. *Drones*, MDPI 2021, 5, 41.
- [8] Steenbeek, A.; Nex, F. CNN-Based Dense Monocular Visual SLAM for Real-Time UAV Exploration in Emergency Conditions. *Drones*, MDPI, 2022, 6, 79.
- [9] Li, Z.; Zhao, J.; Zhou, X.; Wei, S.; Li, P.; Shuang, F. RTSDM: A Real-Time Semantic Dense Mapping System for UAVs. *Machines*, MDPI, 2022, 10, 285.
- [10] Li, X., Aouf, N. and Nemra, A., 3D mapping-based VSLAM for UAVs. In *2012 20th Mediterranean conference on control & automation (MED) IEEE*, 2012, July pp. 348-352.
- [11] Xiao, R., Du, H., Xu, C. and Wang, W., August. An efficient real-time indoor autonomous navigation and path planning system for drones based on RGB-D sensor. In *Chinese Intelligent Automation Conference*. Singapore: Springer, Singapore 2019. pp. 32-44.
- [12] Rostum, H., & Vásárhelyi, J. . Enhancing Machine Learning Techniques in VSLAM for Robust Autonomous Unmanned Aerial Vehicle Navigation. *Electronics*, MDPI, 2025 14(7), 1440.
- [13] Rostum, H.: Efficient Real-Time Drone Mapping with Visual SLAM and Python (Version 1.0) [Computer software]. GitHub. <https://github.com/HussamRostum/Efficient-Real-Time-Drone-Mapping-with-Visual-SLAM-and-Python>, 2025.
- [14] Rostum, H.: Efficient Real-Time Drone Mapping – Live Demo [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=KUJu4nehA8w>, 2025, May 20.