

Tudományos közlemény

Szabadtéri parkolás elemzése drónfelvételekkel és gépi látással

Beküldve: 2021.12.01.
Elfogadva: 2022.03.22.
Online közzétéve: 2023.04.20.

- ID** **TORDAI DÁNIEL** junior kutató, tudományos segédmunkatárs, KTI Magyar Közlekedéstudományi és Logisztikai Intézet, Közlekedésfejlesztési Kutatóközpont, tordai.daniel@kti.hu
- ID** **ALBERT GÁBOR** vezető kutató, tudományos főmunkatárs, KTI Magyar Közlekedéstudományi és Logisztikai Intézet, Közlekedésfejlesztési Kutatóközpont, albert.gabor@kti.hu
- ID** **DR. MUNKÁCSY ANDRÁS** kutatóközpont-vezető, tudományos főmunkatárs, KTI Magyar Közlekedéstudományi és Logisztikai Intézet, Közlekedésfejlesztési Kutatóközpont, munkacsy.andras@kti.hu

Kivonat: Ez a cikk a szabadtéri parkolás vizsgálatára kialakított új módszertant mutat be. Ennek lényege, hogy a vizsgálni kívánt parkolóról drónnal rövid időközönként képeket készítünk, majd egy gépi látást és mesterséges intelligenciát használó algoritmus segítségével automatikusan megállapítjuk, hogy két kép készítésének időpontjai között hány autó maradt a parkolóban, valamint hány cserélődött. Az előzetes eredmények alapján a módszer kellően pontos ahhoz, hogy a gyakorlatban is alkalmazni lehessen.

Kulcsszavak: parkolás, gépi látás, gépi tanulás, drón

Analysis of outdoor parking with drone images and computer vision

Abstract: The article introduces a new methodology to analyse outdoor parking. The core of this procedure is to take drone images of car parking short intervals, and then apply computer vision and artificial intelligence to determine automatically the number of cars that remained in the car park and the number of cars that changed between the takings of the two images. According to the preliminary results, the methodology is sufficiently precise for being applicable in practice.

Keywords: parking, computer vision, machine learning, drone

Bevezetés

A parkolás, a nyugvó forgalom, a XX. század végére a településközpontok képét meghatározó tényezővé vált. Ezzel együtt élénkültek meg azok a törekvések, amelyek azt tűzték ki célul, hogy visszaadják ezeket a tereket az ott élő közösségeknek. Ennek következtében a parkolási igények kielégítése, annak szabályozása hangsúlyos részévé vált a települések fejlesztésének. Ez testesül meg az olyan korszerű tervezési irányelvekben, mint az integrált településfejlesztési stratégiák (ITS) vagy a fenntartható városi mobilitási tervek (SUMP), amelyeknek kötelező eleme a parkolás vizsgálata.

Ezek az útmutatók jól tükrözik a városi közlekedéssel foglalkozó, a fejlődés fenntarthatóságát évtizedek óta szem előtt tartó, felelősen gondolkodó szakemberek több évtizedes törekvését arra, hogy a közlekedés egészét összefüggő rendszerként kell kezelni, amelyek elemei kölcsönhatásban állnak egymással. A közlekedésirányítás és a mobilitásmenedzsment feladata ezek összehangolása és befolyásolása a közlekedési igények keletkezésétől a lezajlásáig úgy, hogy az a közösség számára legkedvezőbb módon bonyolódjék le. Ezt a – folyamatosan fejlődő, változó – célt szolgálják azok az eszközök, amelyek a korszerű megoldások kiválasztásában, megvalósításában támogatják a közlekedéstervezőket, a döntéshozókat.

A parkolási irányítás a közlekedésirányítás egyik eleme, amely szoros összefüggést mutat az igények keletkezésével, a közlekedési mód választásával, a közforgalmú közlekedés szolgáltatási színvonalával, de a közúti (és ennek részeként a kerékpáros) infrastruktúrával is, nem feledve a gazdasági összetevőket sem. A közlekedésirányítás – és ezen belül a parkolási irányítás – annál sikeresebb lehet, minél több eszközzel rendelkezik, minél több elemre tud hatást gyakorolni a kitűzött célok elérése érdekében. A különböző szabályozások, iránymutatások azt szolgálják, hogy ezeket az eszközöket minél szélesebb körben, egységes alapelvek mellett alkalmazzák, biztosítva ezzel a

közlekedési rendszer áttekinthetőségét, csökkentve a konfliktusok kialakulásának esélyét. Az összetettségéből fakadó nehézségek szintjét jól mutatja, hogy a több (elsősorban személy-) közlekedési mód – köztük a parkolás – optimális együttműködését megteremteni hivatott intermodális központok közül Európa-szerte is csak kevés váltotta be a hozzá fűzött reményeket (Monzón de Cáceres – Di Ciommo, 2016). Ezzel a problémával Magyarországon is több helyen szembesült mind a közlekedési szakma, mind pedig az utazóközönség.

A kutatás a parkolási irányítás megalapozottságának erősítése érdekében annak lehetőségét vizsgálja, hogy a felmérések eszköztára bővíthető-e a robbanásszerű fejlődést mutató pilóta nélküli légi járművek (drónok) felhasználására alapozó technológiával.

Kutatásunk során arra a kérdésre keressük a választ, hogy a dróntechnológiával készített felvételekkel támogatott eljárások képesek-e helyettesíteni, s hosszabb távon akár kiváltani a parkolóhely-használatot jellemző mutatószámok jelenlegi felmérési módszereit.

A cikk első részében bemutatjuk a kutatás hazai és nemzetközi előzményeit, a parkolásvizsgálattal szemben támasztott elvárásokat, követelményeket. A második részben részletesen ismertetjük az általunk kidolgozott módszertant. A záró rész az elért első eredményeket értékeli, bemutatva a módszer validálására tervezett eljárás lépéseit.

A kutatás előzményei, irodalmi áttekintés

A közterületi parkolási lehetőség biztosításának és szabályozásának igényét a közúti járműállomány gyors gyarapodása váltotta ki, különösen azokon a területeken, ahol a parkolás magánterületen nem, vagy csak korlátozott mértékig oldható meg. Elsősorban a nagyobb települések sűrű beépítésű térségein jellemző, hogy a parkolás nagyobb részben közterületet vesz igénybe. A közúti közlekedésről szóló 1988. évi I. törvény¹ 8.§ (1) c) pontja kimondja, hogy „önkormányzati feladat a helyi közutakon, a helyi önkormányzat tulajdonában álló közforgalom elől el nem zárt magánúton, valamint a tereken, parkokban és egyéb közterületeken járművel történő várakozás biztosítása.” Ez az oka annak, hogy a parkolási vizsgálatok döntő többségét települési önkormányzatok kezdeményezik. Ahhoz ugyanis, hogy ennek az előírásnak az említett komplex feltételrendszer figyelembevételével tudjanak eleget tenni, megfelelő adatokkal kell rendelkezniük.

A parkolási vizsgálatok célja általában a parkolók (várakozási területek) kihasználtságának, használatuk módjának feltárása, esetleges intézkedések, beavatkozások (például parkolási korlátozások) megalapozása. A szakmai gyakorlatban kétféle vizsgálatot alkalmaznak. A célforgalmi vizsgálatok részeként azt keresik, hogy a vizsgált térségben parkoló járművek honnan és milyen indokkal (munkavégzés, bevásárlás, ügyintézés stb.) érkeztek. A vizsgálatok másik csoportja a parkolóhely-használat mutatóinak meghatározására törekszik. Kutatásunk ez utóbbiakra keres új, korszerű, a korábbiaknál több lehetőséget nyújtó megoldást.

A parkolóhely-használat – fontossága ellenére – a forgalmi folyamatoknak talán legkevésbé tanulmányozott eleme. Diallo et al. (2015) szerint ez elsősorban a parkolási indokok és a parkolóhelyformák sokféleségének tudható be. A munkák többsége az indokokkal, a különböző célú utazásokkal vizsgálja a parkolási igények összefüggését, és a parkolási adatokat is az azokhoz köthető, pl. célforgalmi adatfelvételekből származtatja (Habib et al., 2012). Ezekben a tanulmányokban a helyszíni vizsgálatokat jellemzően csak a forgalmi modellezés eredményeinek validálására használják fel, és az előbbieket módszereivel nem foglalkoznak. Mathew két helyszíni felmérési módszert mutat be: telítettségvizsgálatot a parkolóban bent tartózkodók, illetve a be- és a kihajtók számlálásával, valamint a rendszámfelírási adatfelvételt (Mathew, 2019). Megállapítása szerint a parkoló használatáról és a parkolási időtartamokról az utóbbi ad reális képet. Díjszedési rendszer bevezetésének megalapozásához 15 perces gyakoriságú adatfelvételt tart indokoltnak.

A feltárt szakirodalom jól tükrözi a parkolóhely-használat nemzetközi felmérési gyakorlatát. Az egyik általánosan használt mutató a statikus elemzés útján feltárt telítettség. Ennek célja a parkolóhelyek foglaltságának (telítettségének) megállapítása egy vagy több időpontban. Ez lehetőséget kínál akár egész napi, heti stb. időszakban a parkolóhely-foglaltság időbeli lefolyásának bemutatására. A dinamikus vizsgálatok a fentiekén túlmenően alkalmasak annak meghatározására is, hogy a várakozási területet a parkoló járművek az egyes időszakokban mennyi ideig veszik igénybe.

Az országosan egységes megítélés érdekében, egyes intézkedések alátámasztására, ezeket a mutatókat előírt módon kell előállítani és értékelni. Abban az esetben, ha egy várakozási célra kijelölt közterület használatáért az

¹1988. évi I. törvény a közúti közlekedésről

üzemeltető díjat kíván szedni, akkor annak meg kell felelnie a 20/1984. (XII. 21.) KM rendelet² több pontjának, köztük a 35.15. a) pontnak, amely kimondja: „A díjfizetési kötelezettség olyan várakozási területen, olyan időszakra (tervezett időszak) rendelhető el, amelyen az adott időszakban a járművek várakozására alkalmas helyek átlagos foglaltsága (a továbbiakban: telítettség) a 70%-ot meghaladja.”

A telítettség megállapításánál a rendelet értelmében egyebek mellett az alábbi szempontokat kell figyelembe venni:

- a várakozási díj megfizetésének kötelezettsége a naptári év napjai legalább 50%-án fennáll, és
- a telítettség legalább 20%-a két óránál rövidebb idejű parkolási igénnyel lép fel.

Az első követelmény teljesülése statikus vizsgálattal is igazolható, a második feltétel azonban már megköveteli a dinamikus vizsgálat alkalmazását.

A jogszabály meghatározza azokat a mérési feltételeket, amelyeknek teljesülése esetében a vizsgálat eredménye elfogadható. A cikkünk szempontjából lényeges feltétel, hogy a mérést a tervezett díjfizetési időszakban legalább óránként kell elvégezni.

A hazai és a külföldi gyakorlat is azt mutatja, hogy a statikus elemzéseket az ezzel megbízott szakemberek a helyszínen lebonyolított járműszámlálások útján szerzett adatokra támaszkodva hajtják végre. A dinamikus vizsgálatnál nem mellőzhető a járművek azonosítása, jellemzően a rendszámok felírásával. Kritikus kérdés, hogy az egyes vizsgálatokat az előírt időszakban milyen gyakorisággal hajtják végre. A gyakorlat azt mutatja, hogy ez többségében a jogszabály által meghatározott egy óra, minthogy ez igényli a legkisebb ráfordítást.

Parkolásvizsgálatok

A parkolásvizsgálat hazai gyakorlatának több jellemző példáját is találjuk:

- A soroksári (Budapest XXIII. kerületi) parkolási helyzet vizsgálata során (KASIB Kft., 2015) az érintett terület parkolóhelyein négy napon óránkénti számlálással telítettségvizsgálatot végeztek, amelyet az egyik napon egy reggeli és egy délutáni órában rendszámfelírással egészítettek ki a hosszú idejű parkolás arányának feltárása céljából. A fizetőparkolást a 70%-ot meghaladó átlagos telítettséget mutató parkolóknál javasolták bevezetni. Az elvégzett felmérések jellegéből adódik, hogy a két óránál rövidebb parkolások arányát nem vizsgálták, így az elemzés arról nem tudott információt szolgáltatni, hogy az adott területek parkolási jellemzői az ide vonatkozó rendelet előírásának megfelelnek-e.
- A budaörsi helyi parkolási rendelettel kapcsolatos vizsgálatok alakulása jól mutatja az önkormányzati szándékok változását. A városban 2005-ben részletes parkolásvizsgálat készült (Közlekedés Kft., 2005), amelynek során a statikus vizsgálatokat a nappali és az esti időszakban 2-2 órás időtartamban hajtották végre, a dinamikus adatfelvételt a járművek azonosításával 8 és 18 óra között félórás időközönként bonyolították le. 2011-ben újabb vizsgálat készült (BFVT Kft., 2011), ezúttal kimondottan korlátozott parkolási övezetek kijelölése céljából. A statikus vizsgálat során hat egyórás intervallumra vonatkozóan végeztek telítettségi vizsgálatot, a rendszámfelírással, dinamikus vizsgálat gyakoriságát a tervdokumentáció nem adja meg. A következő parkolási adatfelvétel 2013-ban készült, a város térségére kiterjedő közlekedés-fejlesztési vizsgálat részeként (FŐMTERV Zrt., 2014). A statikus elemzéshez nappal és éjszaka egy-egy ötórás időszak járműszámlálási adatait használták fel. A dinamikus elemzéshez a rendszámok csonkolt felírását 7 és 21 óra között, félórás időközönként hajtották végre. A legutóbbi közzétett vizsgálat 2015-ben készült (Pannon Engineering Kft., 2015), a korábbi tanulmányok alapján kialakított parkolási korlátozások hatásainak nyomon követése céljából. A parkoló autók számlálását és rendszámuk csonkolt rögzítését két hétköznapon, 8 és 12 óra között, félórás időközönként végezték el.
- Baja városában is több parkolásvizsgálat készült a 2000-es években, főleg a korlátozott, esetleg fizető-parkolás bevezetési lehetőségeinek feltárása érdekében. 2009-ben átfogó közlekedési koncepció (TT Consult Kft – Styevola és Fia Kft., 2009) részeként foglalkoztak a kérdéssel, a kapcsolódó adatfelvételeket egy munkanapon, 8 és 17 óra között, 30 perces időközönként végezték. A koncepció megújításának keretében (TT Consult Kft., 2020) 2019-ben újabb felmérést hajtottak végre, ezúttal 6 és 18 óra között 60 perces ciklusidővel, a központi szerepű Szentháromság téren, rendszámfelírással.

² 20/1984. (XII. 21.) KM rendelet az utak forgalomszabályozásáról és a közúti jelzések elhelyezéséről

A bemutatott példák jól mutatják az adatfelvételek változatosságát. A statikus vizsgálatoknál feltételezhető, hogy az időpontok, esetleg a ciklusidő megválasztását a helyi tapasztalatok befolyásolják. Ugyanez nem mondható el a parkolási időtartamok meghatározásánál. Nem véletlen, hogy itt a felmérések már egységesebb képet mutatnak, a járművek azonosítása 30 vagy 60 perces ciklusidővel történik.

Könnyen belátható, hogy a dinamikus vizsgálat során a két leolvasás között lebonyolódó parkolások nem kerülnek be a rögzített állományba. Minél nagyobb a rövid parkolások aránya, annál nagyobb lehet az így figyelmen kívül maradó parkolások száma. Ezek a rövid parkolások kevésbé jellemzőek például munkahelyek közelében, egy P+R parkolóban vagy éjszaka lakóövezetekben, míg igen gyakoriak lehetnek egy kisebb üzletek vásárlóit kiszolgáló várakozóhelyen. Ahol a különböző funkciók keverednek, a várakozási idők változatosan alakulhatnak.

A figyelmen kívül maradó, nem regisztrált parkolások számának csökkentésére több módszer is kínálkozik. Egyik lehetőség a mérések sűrítése, azaz 60 percnél gyakoribb elvégzése. Ez az általában alkalmazott rendszám-felírással csak a felmérést végzők létszámának növelésével oldható meg, ami – ahogy korábban említettük – növeli a költségeket. További nehézség, hogy a járművek ilyen jellegű azonosítása több adatkezelési kérdést is felvet, valamint, hogy a járművezetők személyiségi jogaira vonatkozó, egyre növekvő érzékenységet érdemben az adatkezelési problémák rendezése sem csökkenti. (Tapasztalatunk, hogy a parkolók üzemeltetői az adatvédelmi szabályok betartása esetén is erre hivatkozva zárkoznak el a vizsgálatok lebonyolításától.) Egy másik lehetséges eljárás az „elvesző” adatok pótlása matematikai becslési módszerekkel. Kari Lautso (1981) azt vizsgálta, hogy a különböző parkolási jellemzők közötti matematikai összefüggések felhasználásával hogyan csökkenthető a szükséges megfigyelések száma. Az általa kidolgozott eljárás alkalmazásának nehézsége, hogy feltételezi a várakozások időtartam-eloszlásának ismeretét, azaz csak ismert parkolási jellemzőkkel rendelkező várakozási területeken alkalmazható.

Légi felvételek a közlekedési vizsgálatokban

Míg a földfelszíni járműazonosítási eljárások időigénye a parkolók számával egyenes arányban növekszik, légi adatfelvétel esetében csak a rögzítő eszköz látószöge és felbontóképessége jelent korlátot, és ezek mai fejlettsége igen nagy területek egyidejű megfigyelését teszi lehetővé. Ilyenkor a korlátot inkább a megfelelő látási viszonyok jelent(het)ik.

A légi felvételek közlekedési felhasználási lehetőségeinek vizsgálata nem új keletű. Tanulmányukban Howes és Miles (1963) részletesen foglalkoznak a légi felvételek alkalmazási lehetőségével a közlekedési vizsgálatokban, elsősorban a forgalmi áramlat jellemzőinek (forgalomnagyság, sebesség, követési távolság) meghatározásához. A technológiát elég pontosnak ítélik ahhoz, hogy származtatott adatként következtetéseket lehessen levonni más közlekedési jellemzőkről is, mint a jellemző lassítási és gyorsítási szokások, kiválási és becsatlakozási gyakorlat, vagy oldalirányú elhelyezkedés a sávon belül. A tanulmány foglalkozik a felmérés költségeivel, megállapítva, hogy az jelentősen meghaladja a hagyományos adatfelvételi módokét. Ez lehet az egyik oka, hogy miért nem foglalkozik a parkolók vizsgálatával, miközben megállapítja, hogy az eljárás még ilyen költségek mellett is hasznos lehet nagyobb térségek átfogó vizsgálatára. Rubenstein 1992-ben már kifejezetten javasolja a légi felvételek felhasználását nagyobb léptékű városi forgalmi vizsgálatokhoz (Rubenstein, 1992), de a parkolók vizsgálati lehetőségeivel nem foglalkozik.

Coifman és társai 2004-ben részletesen foglalkoznak a drónok felhasználási lehetőségeivel a forgalom megfigyelésére (2004). A bemutatott négy alkalmazási példa egyike egy parkoló kihasználtságának vizsgálata, azaz statikus vizsgálat. Az alkalmazás korlátjaként az azóta is jelen levő szigorú drónhasználati szabályozást (Sándor-Pusztai, 2021), a személyiségi jogok figyelembevételét említik. Barmapounakis és társai 2016-ban áttekintették a drónok forgalomtechnikai alkalmazásának akkori gyakorlatát és távlati lehetőségeit (Barmapounakis et al., 2016). Látható, hogy ekkorra a technológia már igen elterjedt, ugyanakkor a fejlesztések a mozgó forgalom megfigyelésére, követésére, az infrastruktúra azonosítására összpontosítanak. Kivételt képez Jiang és Cao (2016) munkája, akik járműfelismerésre és -követésre dolgoztak ki algoritmust, és az eljárás megbízhatóságát parkoló járműveken is vizsgálták.

Outay és társai összefoglaló tanulmánya (2020) részletesen foglalkozik a pilóta nélküli légi járművek felhasználhatóságával a közlekedésbiztonság, a forgalom és a közúti közlekedési infrastruktúra-gazdálkodás terén, de a parkolóhelyek kihasználtságának megfigyelését csak röviden említik, mint lehetőséget, Coifman és társai már említett tanulmányát hozva példának.

A hazai és a külföldi gyakorlat egyaránt azt támasztja alá, hogy a dróntechnológiát a parkolási vizsgálatokban

egyelőre csak ritkán, s akkor is a statikus vizsgálatokban alkalmazzák. Ez a helyzet – a dróntechnológia robbanásszerű fejlődése következtében – igen gyorsan megváltozhat, ezt a folyamatot elsősorban a lassú és körülményes drónhasználati szabályozás fékezheti.

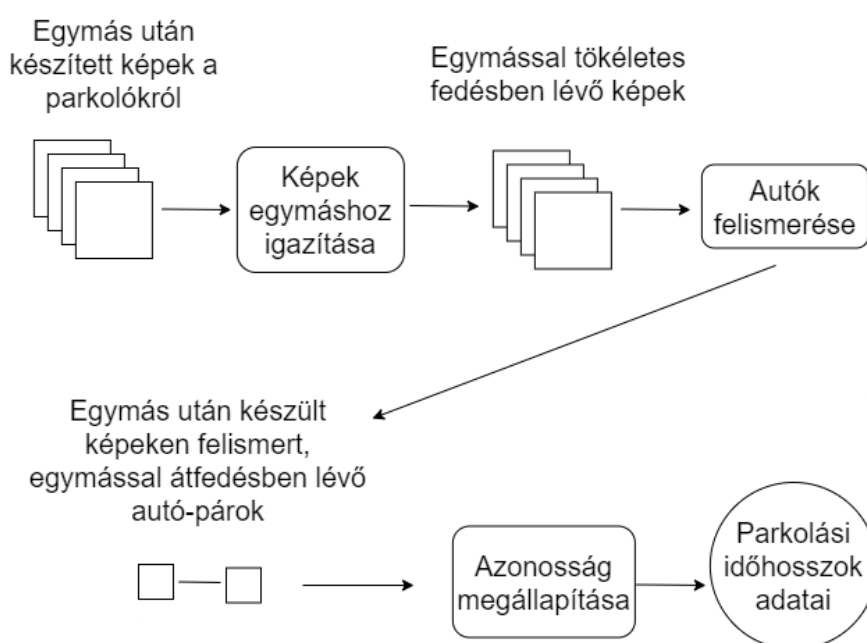
Járművek felismerése felülnézeti képeken

A cikkünk témájául szolgáló kérdéskör, vagyis a járműveknek légi vagy más felülnézeti felvételeken, gépi tanulás segítségével történő felismerése olyan téma, amelyet már más kutatók is vizsgáltak, más és más alkalmazási céllal. A felülnézeti járműfelismerés egyik leggyakoribb alkalmazási területe a szabad parkolóhelyek megszámlálása. Ennek során a parkolóhelyeket manuálisan vagy automatikusan meg kell határozni, majd detektálni kell a foglalt és a szabad helyeket. Ilyen módszertant mutat be Delibaltov és társai cikke, akik lámpaoszlopra szerelt kamerák képét használták erre a feladatra (2013). Regester – Paruchuri (2019) drónról készített képeken automatikusan detektálták a parkolóhelyek elhelyezkedését, majd a foglalt parkolóhelyeket is. Peng és társai szintén drónról mérték fel a szabad parkolóhelyek számát, 97%-ot meghaladó hatékonysággal. (2018).

Egy másik kutatási irány (EIMikaty – Stathaki, 2018) a jóval nagyobb magasságról készített képek elemzése, amelyek jelentősen terjedelmesebb területet, városrészeket vagy komplett városokat fednek le. Mivel a járművek mindössze néhány pixel méretűek, az autók felismerése külön kihívás az algoritmusoknak. Ennek az alkalmazásnak célja az adott területen található járművek megszámlálása és kategorizálása.

Módszertan

Az egyes autók parkolási időtartamát drónról készített fényképek segítségével kívánjuk vizsgálni. Módszerünk lényege, hogy a vizsgálni tervezett parkolóról felülnézetből, rövid időközönként (körülbelül 5 percenként) készítünk felvételt, ügyelve arra, hogy a tájolás, a kamera felszínnel bezárt szöge és a drón repülési magassága minden kép készítésekor azonos legyen. Ezután számítógépes program állapítja meg, hogy az egyes képeken hány autó található, illetve az időben egymás után készített képpárok alapján detektálja azt is, hogy a két kép készítése között eltelt időben hány autó távozott a parkolóból, hány új érkezett, és hány maradt a helyén. Ez a program három lépésből áll: 1. a képek egymáshoz igazítása, 2. az autók detektálása, 3. annak a vizsgálata képpáronként, hogy az ugyanazon helyen parkoló autók közül melyek azonosak, és melyek térnek el egymástól. A program egyes lépései külön-külön már mind széles körben alkalmazott technológiák, módszerünk újdonságát a három lépés integrálása és a parkolás vizsgálatára történő alkalmazása jelenti. Az 1. ábrán e folyamat áttekintése látható. A következő alfejezetekben a három lépést mutatjuk be.



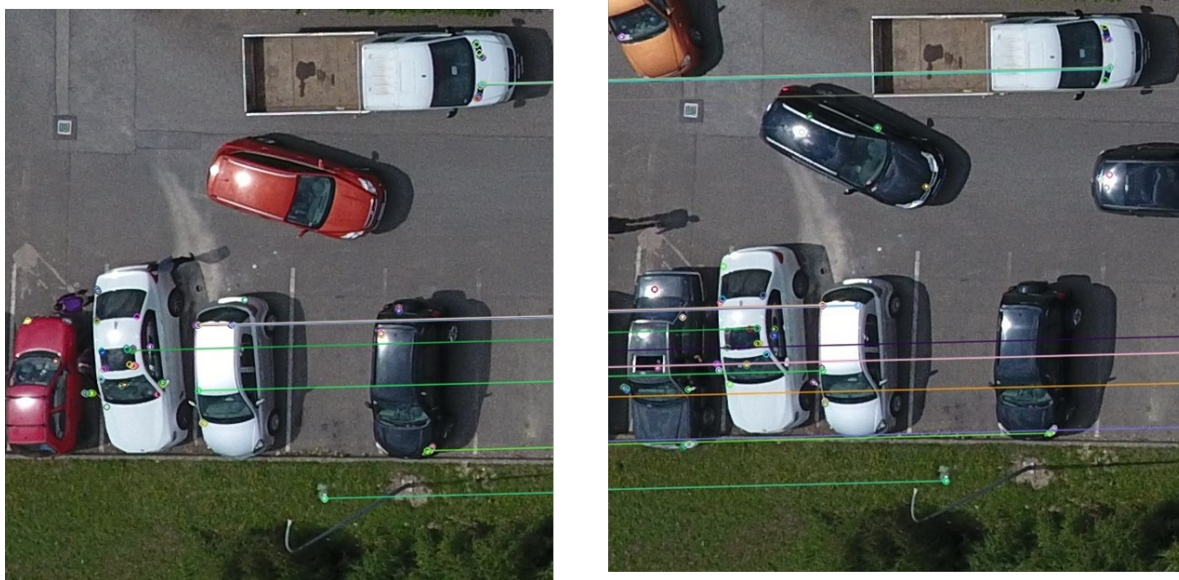
1. ábra A képfeldolgozás folyamata

Képek egymáshoz igazítása

A felvételek készítése során igyekeztünk ügyelni arra, hogy a képek pontosan ugyanolyan magasságból, ugyanolyan szögből, ugyanabból a pozícióból készüljenek. Az általunk a módszer teszteléséhez használt drón, hasonlóan a legtöbb, kereskedelmi forgalomban kapható készülékhez, nem rendelkezik olyan funkcióval, amely a legutóbbi kép készítéséhez alkalmazott tájolás megismétlése érdekében ugyanabba a pozícióba visszavigálna. Így a drón pilótája kénytelen a drón kamerája által látott élő képre hagyatkozni, és annak alapján törekszik arra, hogy a képek készítésének pozíciói minél pontosabban megegyezzenek. Azonban a 3. lépés leírásakor részletezendő okokból kifolyólag ez a viszonylagos pontosság nem elégséges a jelen módszer eredményességéhez: szükség van a képek egymáshoz igazítására oly módon, hogy a két, egymás utáni képen megegyező helyen parkoló autók szinte képpontra pontosan ugyanott legyenek találhatóak.

Léteznek olyan algoritmusok, amelyek pontosan ezt teszik, vagyis képeket igazítanak egymáshoz úgy, hogy az azon látható objektumok a két képen azonos helyre kerüljenek. Az általunk alkalmazott programban az OpenCV python csomagot használtuk, és erősen támaszkodtunk Satya Mallick (2018) leírására. A program az alábbi lépésekkel dolgozik:

- Első lépésben olyan stabil pontokat, úgynevezett kulcspontokat keres az egyes képeken, amelyek a kép későbbi módosításai (forgatás, eltolás, nagyítás-kicsinyítés) során is stabilak maradnak. Ezek a pontok jellemzően különböző objektumok határainál találhatók.
- A következő lépésben ezeket a képpontokat feleltetjük meg egymásnak az egymás után található képeken. A 2. ábrán két drónfelvételen a kód által megtalált kulcspontok láthatók, az ezeket összekötő vonalak pedig azt jelölik, hogy melyik kulcspontot melyik másik kulcspontnak felelteti meg a program. Nem minden megfeleltetés pontos, ám ez nem jelent problémát a képek egymáshoz igazítása során.
- Ezután a program kiszámítja, hogyan kell átalakítani a képet úgy, hogy a detektált és egymásnak megfeleltetett kulcspontok az átalakított, illetve az átalakítás során viszonyítási pontnak tekintett képek minél pontosabban fedjék egymást, majd ezt a kulcspontok alapján kiszámolt szükséges transzformációt alkalmazzuk a kép minden pontjára, így két kép szinte teljesen fedni fogja egymást. Transzformáció alatt itt kicsinyítést-nagyítást, forgatást és eltolást értünk.



2. ábra Kulcspontok és azok egymásnak megfeleltetési

Forrás: Sörös Attila (KTI) felvétele

A drónnal készített képeket tehát időrendi sorrendbe, párokba rendezzük, majd egymáshoz igazítjuk őket. Először az első és a második képből álló párt vesszük, és igazítjuk a második képet az elsőhöz, majd vesszük a második, már igazított képet, és hozzáigazítjuk a harmadik képet, és így tovább haladunk végig az összes képen. Az összes kép átalakítása után a képek olyanok lesznek, mintha mindegyiket pontosan ugyanabból a pozícióból készítették volna³. Azért sorban igazítjuk a képeket, és nem mindegyiket közvetlenül az első képhez, mert így az algoritmus több kulcspontot tud megfeleltetni egymásnak, és sikeresebb lesz az átalakítás.

Autók detektálása

A képek átalakítása után az egyes autók detektálása következik, amelyhez gépi látást használtunk. Ez olyan mesterséges intelligencián alapuló technika, amely a számítógépeket képessé teszi, hogy az emberekhez hasonlóan tárgyakat és egyéb objektumokat felismerjenek. Az eljárás különböző matematikai műveletekkel elemeire bontja a képet: vonalakra, formákra, formák távolságára. Ez alapján olyan mintázatokat keres, amelyek jellemzőek az adott tárgyra. Ennek az elsajátításához tanuló adatbázisra van szüksége, amely képeket tartalmaz, amelyeken a felismerni kívánt tárgyak be vannak keretezve, majd a program a tanulás során olyan mintázatokat keres, amelyek jellemzőek a bekeretezett területekre, ám a többi területre nem (Brownlee, 2019; Mihajlovic, 2019).

Az algoritmus tanítását részben korábbi, drónnal készült saját felvételeket, részben pedig más kutatók által összeállított képeket felhasználva végeztük. A saját felvételek használata számos előnnyel járt, ugyanakkor egyelőre nem állt annyi kép rendelkezésünkre, amennyi az algoritmus betanításához szükséges, így más kutatók munkájára is támaszkodtunk.

Több olyan adatbázis létezik, amelyeket kifejezetten algoritmusok tanításához állítottak össze, hogy azok képesek legyenek felülnézetből készített képeken a járművek felismerésére (és adott esetben kategorizálására). Ezekben az adatbázisokban a felülnézeti képek mellett megtalálható az az információ is, hogy az egyes képeken pontosan hol láthatóak járművek, ez alapján pedig az algoritmusok képesek a járművek detektálását „megtanulni”. A tanuláshoz azért van szükség külön adatbázisra, mert gépi tanulós algoritmus csak olyan objektumokat és csak olyan szögből tud felismerni a képeken, amelyek a tanuló adathalmazban is szerepelnek, így bár számos nagy, nyilvános adatbázis van járművekről, ahol azok oldalról látszanak, ezek jelen feladathoz nem használhatóak. Saját adatbázis szükségességét alátámasztó további kihívás, hogy a felülnézeti képeken felismerni kívánt járművek jellemzően kisebbek (kevesebb pixelből állnak), mint azok az objektumok, amelyeket általában egy betanított algoritmusnak fel kell ismernie. Ahhoz, hogy ennek ellenére nagy biztonsággal sikerüljön detektálni, szükség van külön tanuló algoritmusra. A VEDAI (Vehicle Detection in Aerial Imagery) adatbázis 1200 annotált képet tartalmaz (Razakarivony – Jurie, 2016), amelyben a járművek kategóriák szerint vannak bejelölve. A COWC (Cars Overhead With Context) adatbázis 53 nagyon nagy felbontású légi felvételt tartalmaz, amelyeken összesen több mint 32 000 jármű lett bejelölve (Mundhenk et al., 2016). Az adatbázis fő célja a képeken található járművek megszámlálására alkalmas program tanítása. A DOTA (Dataset for Object deTectiOn in Aerial images) adatbázis 2800 képet tartalmaz, 188 000 bejelölt járművel, és az egyes képek 4000*4000 pixel felbontásúak (Xia et al., 2018). Jelen kutatáshoz a VAID (Vehicle Aerial Imaging from Drone) adatbázist, pontosabban annak egy részét használtuk. Az adatbázis 6000 képet tartalmaz, amelyeket közúti forgalomról készítettek drónról, és 7 kategóriában összesen több mint 45 000 járművet jelöltek be rajtuk. A fent említett tanító adatbázisokat egymással összevetve a VAID készítőinek tanulmánya (Lin et al., 2020) úgy találta, hogy az ő adatbázisukon tanított algoritmus sokkal jobb eredményt ért el a járműfelismerés terén, mint a korábban említett adatbázisok, így a jelen kutatásban is ezt használtuk. A képek jó minőségűek voltak, nem nagy magasságból készültek; ez a két tulajdonság esetünkben is fennáll, valamint a képeken látható tajvani autópark is hasonlított a magyarországihoz. (Például amerikai vagy ausztrál tanító adatbázis alkalmazása kevésbé lenne szerencsés, mivel ott a pick-upok nagyobb aránya csökkentené a megtanult modell magyarországi alkalmazásának hatékonyságát. A tanuló algoritmus ugyanis olyan objektumok felismerésére optimalizál, amilyenek a tanuló adatbázisban is szerepelnek.)

A tanítás során a VAID adatbázis mellett korábbi saját képeket is használtunk. Ezeknek előnye, hogy itt ténylegesen a magyar járműparkra lehet tanítani az algoritmust, amitől a felismerés pontosabb lehet. Az ezeken a képeken látható autókat manuálisan kellett bejelölni.

³ Az eredeti, nem igazított képekből összeállított gif ezen a linken érhető el: <https://bit.ly/30UrtMG>, az igazítottakból összeállított pedig ezen a linken: <https://bit.ly/3I59daH> A két gif segítségével jól látható az igazítás hatása.

A fentiek szerint betanított gépi látásos algoritmus az előzetes eredmények alapján nagyon jól teljesít az autók felismerésében, mindent összevetve 97% feletti pontossággal rendelkezik. A tesztejünk azt mutatták, hogy a fényviszonyok nem befolyásolják számottevően a felismerés sikerességét, illetve az algoritmus azt is tudja kezelni, ha a parkoló autók egy része fák takarásában van.



3. ábra Felismert autók drónról készített képen

Forrás: saját szerkesztés Sörös Attila (KTI) felvétele alapján

Az autók felismerésekor a program az autók körül az ún. határoló dobozokkal mutatja, hol látja a képen az autókat (lásd a 3. ábrát). A százalékos értékek azt mutatják, hogy az egyes autók esetében mennyire biztos a rendszer abban, hogy tényleg autót talált. Látható az is, hogy a rendszer az autók bizonyos mértékű takarását még tolerálja, ugyanakkor van egy autó (szintén egy fa részleges – jelentős – takarásában), amelyet már nem ismert fel.

Autók azonosságának a megállapítása

A képeken lévő autók detektálása után annak az eldöntése van hátra, hogy a két, egymás után készült képen ugyanott található autók azonosak-e. Két, egymás után készült képen az ugyanott található autó alatt két olyan felismert objektumot értünk, amelyek köré rajzolt határoló dobozok között akármekkora méretű átfedés van. A képek utólagos egymásra igazítására azért volt szükség, hogy ezek a határoló dobozok minél nagyobb fedésben legyenek egymással. Nem húztunk alsó határt abban a tekintetben, hogy milyen mértékű átfedést várunk el ahhoz, hogy az autók azonosságát vizsgáljuk, de a két határoló doboz átfedésének mértéke, ahogy azt a későbbiekben bemutatjuk, olyan információ, amelyet az algoritmus az azonosság eldöntéséhez felhasznál.

Választhatunk volna olyan eljárást, amelynek keretében előre bejelöljük a képeken az egyes parkolóhelyeket, és az ezeken parkoló autókat hasonlítjuk össze egymással, ám ennek a módszernek több hátránya is lett volna: minden vizsgálati helyszínen a parkolóhelyek meghatározása jelentős manuális munkát igényelne; nehézkes lenne a pontatlanul, két helyet elfoglalva parkoló autók vizsgálata; és a nem kijelölt helyen parkoló autók nem lennének felmérve. Jelen módszer tulajdonképpen csak azt vizsgálja, hogy a két kép elkészítése között eltelt időben ott, ahol az első kép készítésekor már állt autó, a második képen is áll-e autó, és az megegyezik-e az előző képen lévővel. Lehetőség van arra is, hogy a képnek bizonyos részeit kivonjuk a vizsgálat alól, ha a felmérés ezt kívánja.

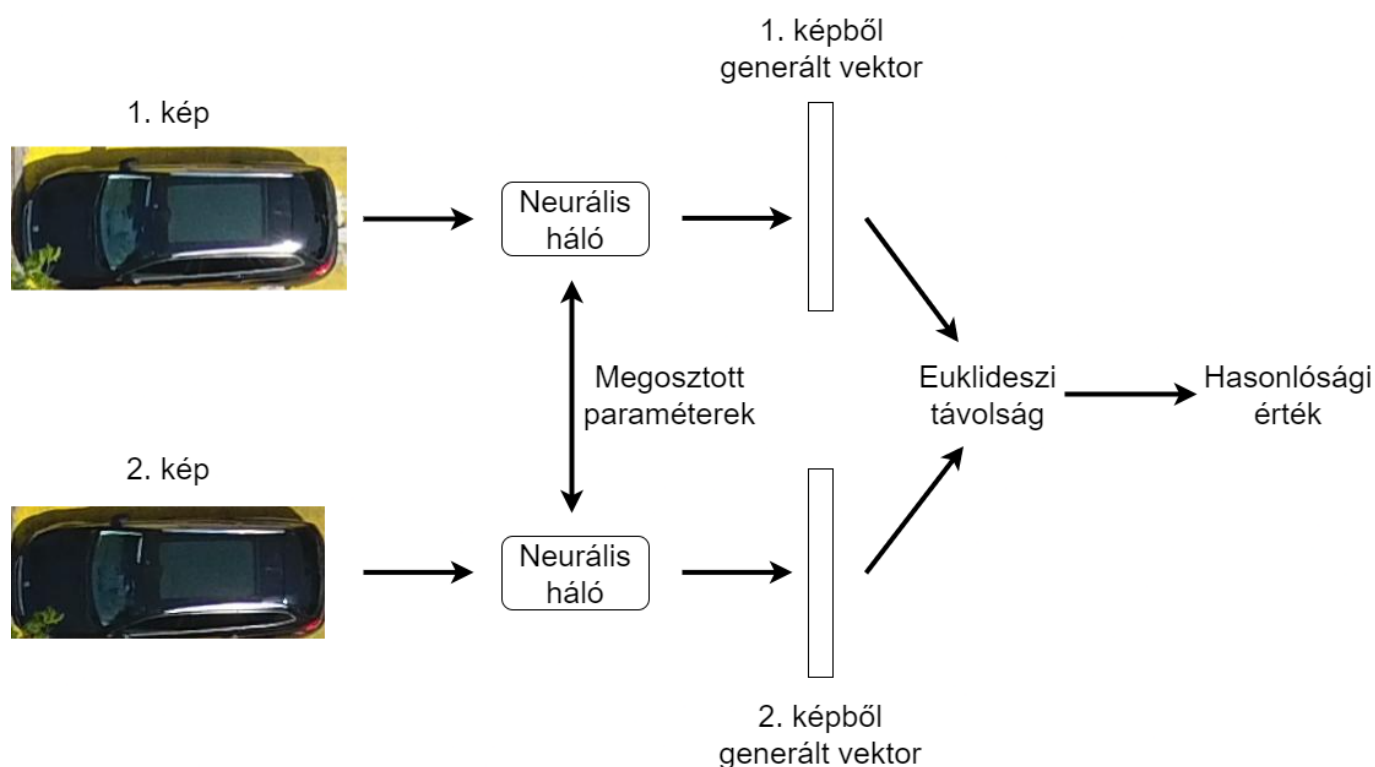
Miután a határoló dobozok átfedéseinek alapján megállapítottuk, hogy mely autópárok hasonlóságát kell

vizsgálni, következik magának az egyezés kérdésnek a vizsgálata. Ehhez egy szintén erre a célra általunk tanított, úgynevezett sziámi neurális hálót alkalmaztunk. A neurális hálók is a gépi tanulással dolgozó algoritmusok közé tartoznak, vagyis hasonlóan az autófelismeréshez használt algoritmushoz, itt is van tanuló adatbázis, amelyen az algoritmus megtanul megoldani egy feladatot.

A sziámi hálózatok a nevüket onnan kapták, hogy a két képet átalakító neurális hálók paraméterei megegyeznek, így ha bemenetként egy képet és annak másolatát adjuk meg, akkor ugyanazt a vektort kell kapnunk. A cél, hogy az eredményként kapott vektoroknak az euklideszi távolsága minél kisebb legyen, ha a két bemenetként használt kép hasonlít egymásra, és minél nagyobb, ha a két kép eltér egymástól. Az euklideszi távolság alapján, a két kép közötti egyezésre végül hasonlóságpontszámot kapunk. A tanuló adatbázis tehát képpárokat tartalmaz, illetve azt az információt, hogy a két kép ugyanazt a dolgot ábrázolja-e vagy sem. A tanulás során a neurális hálók paramétereit a rendszer úgy állítja be, hogy az eredményül kapott vektorok közötti euklideszi távolság minél nagyobb legyen azon képek között, amelyekről tudja, hogy eltérő objektumok láthatók rajtuk, és minél kisebb az azonosaknál, így a rendszer a tanulás során képessé válik tárgyak azonosságának megállapítására.

Van néhány szakterület, amely régóta sziámi hálózatokat használ, ilyen a kézzel írt számjegyek vagy betűk gépi felismerése, az aláírások hitelességének gépi megállapítása vagy az arcfelismerő rendszerek. Ezek mind olyan helyzetek, amelyekben az azonos objektumok két képen hasonlóan, de nem pont ugyanúgy néznek ki. Bárki felismer két azonos számjegyet még akkor is, ha jelentős eltérés van a két „rajz” között, ám mivel ezek nem pixelre pontos ábrázolások, a gépek mesterséges intelligencia használata nélkül nehezen tudnák a feladatot megoldani. A parkoló autók alkalmazási területe is nagyon hasonló, hiszen két, hasonlóan kinéző, ám mégsem pixelre pontosan egyező objektum azonosságát kell a gépnek felismernie.

A 4. ábra bemutatja egy ilyen sziámi hálózat működését.



4. ábra Sziámi hálózat

Forrás: saját szerkesztés⁴

⁴ Az eredeti ábra forrása: <https://www.pyimagesearch.com/2020/11/30/siamese-networks-with-keras-tensorflow-and-deep-learning/> (2021. november 26.)

A megoldásra váró jelen feladat tehát két, felülnézetből látott autó esetében annak eldöntése, hogy egyeznek-e. Ennek eldöntéséhez a szíami hálózat inputja a két kép, amelyeket egy-egy neurális háló segítségével vektorra átalakít. Ez az átalakítás – leegyszerűsítve – olyan matematikai műveleteket jelent, amelyekkel a képet alkotó, képpontokat tartalmazó mátrixból az említett vektor előállítható. Bemenetként az 5. ábrán láthatóhoz hasonló képpárokat adunk be, amelyekről szemrevételezéssel megállapítottuk, hogy egyező autókat ábrázolnak, a program pedig automatikusan generál olyan párokat, amelyek nem egyeznek meg. Ezek alapján tanulja meg, hogy mely autók azonosak, és melyek nem.



5. ábra Szíami hálózat tanításához használt képpár

Forrás: Sörös Attila (KTI) felvétele

A szíami hálózat alkalmazása során kapott hasonlósági pontszámot, a két autó körülhatároló doboza közötti átfedést, illetve egyéb, a képek strukturális hasonlóságát mutató metrikák használatával végül regressziós modell dönti el két képről, hogy azonosak-e vagy sem. Az előzetes eredmények pontossága 95% körüli, reményeink szerint ez még tovább is növelhető.

Összefoglaló következtetések

A fent bemutatott három lépéses eljárással sikerült olyan algoritmust létrehozni, amelynek a segítségével a parkolás teljesen automatizált módon vizsgálhatóvá vált. A jelenlegi dróntechnika lehetővé teszi, hogy a parkolókról 5 percenként vagy akár még annál is rövidebb időközönként képeket készítsünk, és meg tudjuk határozni a két kép készítése között a parkolóban maradó, illetve onnan eltávozó autók számát. Ez a sűrűség sokkal nagyobb, mint a manuális, rendszámfeljegyzős mérési módszer, és közben mindössze egy drónpilótára van hozzá szükség. A módszer adatvédelmi szempontból is kedvezőbb, mivel nem szükséges az autók egyedi azonosítójának a rögzítése, csak az autók felülnézeti képét tárolják, ami pedig nem teszi lehetővé az utólagos egyedi azonosítást. Az előzetes eredmények alapján feltételezzük, hogy az eljárás alkalmas a használatra, vagyis – felelve a kutatási kérdésre – felválthatja, de legalább kiegészítheti a hagyományos parkolásvételezési módszereket.

Az eljárásnak értelemszerűen vannak hátrányai is. Maga a drón megfelelő felbontású kamerával, illetve a hosszabb méréshez szükséges akkumulátorokkal nem olcsó eszköz. Ugyanakkor egyetlen drónpilóta is képes nagy terület felmérésére, a kézi (felírással) módszerhez képest pedig előnye a nagyobb pontosság is. További nehézség ugyanakkor az egyelőre igen körülményes drónszabályozás, amelynek a keretében a repüléshez szükséges eseti légtérendély megszerzésének folyamata összetett, átfutási ideje jelen cikk lezárásakor pedig több mint egy hónap. Kérdés, hogy a hasonló vizsgálatokat végzők ezen akadályok mellett is alkalmaznák-e ezt a technikát. További korlátot jelenthet még az autók fölé belógó fák, egyéb tárgyak takarása, valamint a szürkületi, esti fényviszonyok. Ennek a két tényezőnek a pontosságra gyakorolt hatását további vizsgálatban kívánjuk feltárni.

Ennek során célszerű feltárni azt is, hogy az adatfelvételek sűrítése növeli-e a vizsgálatok pontosságát, s ha igen, milyen mértékben. Ehhez drónnal rövid időközönként (pl. 5 percenként) készített felvételek készítése és ezt azonos helyszínen kísérő más felmérési módszer (pl. rendszámfelírás) alkalmazása alapján előálló eredmények összevetése szükséges. A manuálisan felvett adatokat a rögzített képek adataival összehasonlítva felmérhető, hogy adott képkészítési sűrűség mellett milyen szintű információvesztés történik. Ugyanez a mérés ad lehetőséget majd a módszer pontosságának végleges meghatározására is.

Felhasznált irodalom

- Barmounakis, Emmanouil N. – Vlahogianni, Eleni I. – Golias, John C. (2016): Unmanned Aerial Aircraft Systems for transportation engineering: Current practice and future challenges. *International Journal of Transportation Science and Technology*, 5(3), 111–122. <https://doi.org/10.1016/j.ijtst.2017.02.001>
- BFVT Kft. (2011): Budaörs parkolási rendelet, korlátozott idejű várakozásra vonatkozó rendelet. <https://www.budaors.hu/?module=news&action=getfile&aid=35875>
- Brownlee, J. (2019, március 18.): A Gentle Introduction to Computer Vision. *Machine Learning Mastery*. <https://machinelearningmastery.com/what-is-computer-vision/>
- Coifman, B. et al. (2004): Surface Transportation Surveillance from Unmanned Aerial Vehicles. The Ohio State University, Columbus. <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.80.9097&rep=rep1&type=pdf>
- Delibaltov, Diana et al. (2013): Parking lot occupancy determination from lamp-post camera images. 16th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC 2013), 2387–2392. <https://doi.org/10.1109/ITSC.2013.6728584>
- ElMikaty, Mohamed – Stathaki, Tania (2018): Car Detection in Aerial Images of Dense Urban Areas. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, 54(1), 51–63. <https://doi.org/10.1109/TAES.2017.2732832>
- FŐMTERV Zrt. (2014): Budaörs városi és elővárosi közlekedési rendszerének összekapcsolása, intermodális csomópont kialakítása, kitekintéssel a térség hosszú távú közlekedésfejlesztési le- hetőségeire. <https://www.budaors.hu/index.php?module=news&action=getfile&fid=182969>
- Habib, Khandker M. Nurul – Morency, Catherine – Trépanier, Martin (2012): Integrating parking behaviour in activity-based travel demand modelling: Investigation of the relationship between parking type choice and activity scheduling process. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 46(1), 154–166. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2011.09.014>
- Howes, W. F. – Miles, R. D. (1963): Aerial Photography Applied to Traffic Studies (o. 98–126). Purdue University. <https://docs.lib.purdue.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=3095&context=roadschool>
- Jiang, Xiaolong – Cao, Xianbin (2016): Surveillance from above: A detection-and-prediction based multiple target tracking method on aerial videos. 2016 Integrated Communications Navigation and Surveillance (ICNS), 4D2-1-4D2-13. <https://doi.org/10.1109/ICNSURV.2016.7486348>
- KASIB Kft. (2015): Soroksár parkolási helyzetének vizsgálata. KASIB Kft. https://www.soroksar.hu/uploads/_/originals/b67fe3ab-cfef-4a71-8989-fa8b8e3edc7f.pdf
- Közlekedés Kft. (2005): Budaörs város – városrendezési és közlekedési vizsgálat a helyi parkolási rendelet megalkotásához. Közlekedés Kft. <https://www.budaors.hu/index.php?module=news&action=getfile&aid=29445>
- Lin, Hwei-Yung – Tu, Kai-Chun – Li, Chih-Yí (2020): VAID: An Aerial Image Dataset for Vehicle Detection and Classification. *IEEE Access*, 8, 212209–212219. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3040290>
- Mallick, Satya (2018): Feature Based Image Alignment using OpenCV (C++/Python). *LearnOpenCV*. <https://learnopencv.com/image-alignment-feature-based-using-opencv-c-python/>
- Mathew, Tom V. (2019, január): Parking studies. https://www.civil.iitb.ac.in/tvm/nptel/581_Parking/web/web.html
- Mihajlovic, Ilija (2019, április 25.): Everything You Ever Wanted To Know About Computer Vision. *Towards Data Science*. <https://towardsdatascience.com/everything-you-ever-wanted-to-know-about-computer-vision-heres-a-look-why-it-s-so-awesome-e8a58dfb641e>
- Monzón de Cáceres, A. – Di Ciommo, F. (Szerk.). (2016): City-HUBS: Sustainable and efficient urban transport interchanges. CRC Press, Taylor & Francis Group. ISBN 9780367138981
- Mundhenk, T. Nathan et al. (2016): A Large Contextual Dataset for Classification, Detection and Counting of Cars with Deep Learning. *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 9907 LNCS, 785–800. https://doi.org/10.1007/978-3-319-46487-9_48
- Outay, Fatma –Mengash, Hanan Abdullah – Adnan, Muhammad (2020): Applications of unmanned aerial vehicle (UAV) in road safety, traffic and highway infrastructure management: Recent advances and challenges. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 141, 116–129. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2020.09.018>
- Pannon Engineering Kft. (2015): Budaörs, korlátozott idejű várakozási övezet, valamint a környező közterületek parkolási jellemzőinek vizsgálata. <https://docplayer.hu/35351019-Budaors-korlatozott-ideju-varakozasi-ovezet.html>
- Peng, Cheng-Fang et al. (2018): Drone-based vacant parking space detection. *Proceedings - 32nd IEEE International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops, WAINA 2018*, 2018-January, 618–622. <https://doi.org/10.1109/WAINA.2018.00155>
- Razakarivony, Sebastien – Jurie, Frederic (2016): Vehicle detection in aerial imagery: A small target detection benchmark. *Journal of Visual Communication and Image Representation*, 34, 187–203. <https://doi.org/10.1016/j.jvcir.2015.11.002>
- Regester, Andrew – Paruchuri, Vamsi (2019): Using Computer Vision Techniques for Parking Space Detection in Aerial Imagery. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 944, 190–204. https://doi.org/10.1007/978-3-030-17798-0_17
- Rubenstein, Harvey M. (1992): *Pedestrian malls, streetscapes, and urban spaces*. Wiley. ISBN: 978-0-471-54680-1
- Sándor Zsolt – Pusztai Máté (2021): A hazai pilóta nélküli légi járművekkel kapcsolatos szabályozás összehasonlítása a többi uniós tagállam gyakorlatával. *Repüléstudományi Közlemények*, 33(1), 85–95. <https://doi.org/10.32560/rk.2021.1.8>
- TT Consult Kft. (2020): Baja Város—Közlekedési koncepció. <https://docplayer.hu/199139147-Baja-va-ros-ko-zlekedesi-koncepcio.html>
- TT Consult Kft – Styevola és Fia Kft. (2009): Baja Város—Közlekedési koncepció (t:Projekt2015BajaBaja Város Közl. koncepció tanulmánySKMBT_C25315082511320.pdf). TT Consult Kft.
- Xia, Cui-Song et al. (2018): DOTA: A Large-Scale Dataset for Object Detection in Aerial Images. 3974–3983. https://openaccess.thecvf.com/content_cvpr_2018/html/Xia_DOTA_A_Large-Scale_CVPR_2018_paper.html