

EÖTVÖS LORÁND TUDOMÁNYEGYETEM  
TERMÉSZETTUDOMÁNYI KAR

# Sztereokamerás rendszerek alkalmazása a térképészeti gyakorlatban

SZAKDOLGOZAT  
FÖLDTUDOMÁNYI ALAPSZAK  
TÉRKÉPÉSZET ÉS GEOINFORMATIKA SPECIALIZÁCIÓ

*Készítette:*  
Sárközi Ágnes

*Témavezető:*  
Dr. Gede Mátyás  
Egyetemi docens  
ELTE Térképtudományi és Geoinformatikai Intézet



Budapest, 2021

# Tartalomjegyzék

|  |    |
|--|----|
| 1. Bevezetés .....   | 3  |
| 1.1. Témaválasztás .....   | 3  |
| 2. A sztereokamerákról röviden.....  | 4  |
| 3. A sztereokamerák története .....  | 5  |
| 3.1. Sztereoszkópok és sztereofényképezés a XIX. században.....                                  | 5  |
| 3.1.1. <i>Egy korszakokon átívelő sztereokép-történet: Les Diableries</i> .....                  | 6  |
| 3.2. Sztereokamerák a XX. és a XXI. században.....   | 7  |
| 3.2.1. <i>Sztereokamerák a VR (virtual reality) és az AR (augmented reality) területén</i> ..... | 9  |
| 3.2.2. <i>VR térképek</i> .....  | 10 |
| 4. Sztereokamera-használat a térképészetben .....  | 11 |
| 4.1. A sztereolátás elméleti háttere.....  | 11 |
| 4.1.1. <i>A látás biológiai háttere</i> .....  | 11 |
| 4.1.2. <i>A sztereolátás matematikai háttere</i> .....   | 13 |
| 4.2. Alkalmazási területek és példák.....  | 14 |
| 5. Saját sztereokamerás projekt bemutatása .....   | 16 |
| 5.1. A projekt hardveres háttere .....   | 16 |
| 5.2. A projekt szoftveres háttere.....   | 17 |
| 5.2.1. <i>A használt programozási nyelv</i> .....  | 17 |
| 5.2.2. <i>Az OpenCV szerepe a projektben</i> .....   | 18 |
| 5.3 A rendszer megépítése, tesztelése és működése.....   | 19 |
| 5.3.1. <i>A próbákhoz használt kamerák</i> .....   | 19 |
| 5.3.2. <i>Tesztelés</i> .....  | 19 |
| 5.3.3. <i>Az elkészült rendszer működése</i> .....   | 20 |
| 5.3.4. <i>Ismert korlátok, lehetséges hibák</i> .....  | 21 |
| 6. Összefoglalás és kitekintés .....   | 23 |
| 7. Köszönetnyilvánítás .....   | 24 |
| 8. Jegyzékek .....   | 25 |
| 8.1. Irodalomjegyzék .....   | 25 |
| 8.1.1. <i>Felhasznált irodalom</i> .....   | 25 |
| 8.1.2. <i>További, a témához kapcsolódó szakirodalmak</i> .....                                  | 26 |
| 8.2. Linkjegyzék.....  | 27 |
| 8.3. Ábrajegyzék .....   | 28 |
| 9. Nyilatkozat .....   | 29 |

# 1. Bevezetés

A sztereokamerák használata az utóbbi évek során egyre nagyobb jelentőséget nyer a legkülönbözőbb alkalmazási területeken – a modern térképészet és az azzal szoros kapcsolatban álló geoinformatika sem képez kivételt e tendencia alól. Szakdolgozatomban első részében az ilyen kamerák történetét, (térképészeti vonatkozással is bíró) elterjedését és alkalmazásait ismertetem szakirodalom-feldolgozás formájában, kitérve a sztereolátás elméleti hátterére is.

Ezeken kívül, bár csak marginálisan kapcsolódik ahhoz a tárgykörhöz, amit hagyományosan a térképészet alá szoktak sorolni, röviden szót ejtek a kiterjesztett valóság (AR) és a virtuális valóság (VR) sztereokamerákkal kapcsolatos vonatkozásairól, illetve arról, véleményem szerint miért érdemes ezeket megemlíteni a XXI. századi térképészet kapcsán.

A munka második felében gyakorlati példán keresztül bemutatom egy sztereokamerás rendszer megvalósítását, felvázolva az ehhez kapcsolódó esetleges továbbfejlesztési lehetőségeket is. Itt mind a hardveres, mind a szoftveres komponenseket igyekszem olyan részletességgel bemutatni, hogy abból könnyen érthető legyen, mikre képes a létrehozott rendszer, és mik a korlátjai.

A szakdolgozatomban végén kitekintést teszek a téma várható jövőbeli alakulására. Ez alatt értendő mind a már létező felhasználási területeken várható fejlődés, mind az esetleges újabb – térképészeti vonatkozással is bíró – felhasználási opciók.

## 1.1. Témaválasztás

A szakdolgozatomban témájához számomra komoly motivációt jelentett, hogy a későbbiekben drónokkal tervezek foglalkozni. Ezeknél egy igen fontos lehetőség az FPV (first-person view) irányítás, amely legtöbbször sztereokamerákat használ ahhoz, hogy a drónt irányító személy számára megteremtse a térhatású látásélményt. Mivel úgy vélem, a sztereokamerás rendszerekkel történő munkavégzéshez hasznos, ha a felhasználó valamennyire tisztában van az ilyen eszközök működésének elméleti hátterével is, ezért örömmel vettem, hogy a szakdolgozatomban írása során volt alkalmam behatóbban megismerni ezeket.

## 2. A sztereokameráról röviden

Egy standard sztereokamera tulajdonképpen nem más, mint két kamera, amiknek a képsíkja egy síkba esik, azonban a vetítési középpontjuk nem azonos. Az ilyen kamerák segítségével sztereó képpárokat rögzíthetünk, amik olyan képek, amelyek ugyanarról az objektumról vagy térrészletről, de kissé más szögből készültek. Megfelelő feldolgozás vagy prezentálás mellett egyrészt az ilyen képpárokkal a természetes emberi binokuláris (két szemmel történő) látáshoz hasonló illúzió érhető el, másrészt az elkészült felvételek alkalmasak lehetnek arra, hogy – a megfelelő kalkulációk alkalmazásával – azokból a képen látható objektumok távolságát kiszámítsuk.

Mindamellet, hogy a sztereofényképezés története tulajdonképpen egyidős a fényképezéssel (hiszen a sztereoképpárok koncepciójára épülő sztereoszkópok már az 1800-as évek első felében megjelentek, lásd a következő szekcióban), a sztereokamerás rendszerek robbanásszerű elterjedése aránylag friss jelenségnek tekinthető. Napjainkban jelenlétük azonban már olyan általánossá vált, hogy bizonyos csoportok számára szinte fel sem tűnik a jelenlétük, hiszen például bizonyos okostelefonokban már gyárilag is megtalálhatók sztereokamerák (Ghaffar és Mohd, 2018).

Egy ennyire a mindennapok részévé váló technológia esetében tulajdonképpen magától értetődőnek tekinthető az, hogy előbb-utóbb a különböző tudományterületek szakemberei is elkezdik felmérni, milyen módon alkalmazhatnák a saját szakterületükön. A térképészet ilyen szempontból szerencsésnek mondható: a vizualizáció mindig is fontos szerepet kapott benne, valamint a kartográfiában igen hamar felismerték a fényképészetben rejlő lehetőségeket, így a sztereokamerás rendszereket meglehetősen korán integrálni tudták a szakmába – Claude H. Birdseye például már 1940-ben *Stereoscopic Phototopographic Mapping* címmel publikált cikket az *Annals of the American Association of Geographers* folyóiratban<sup>1</sup>.

---

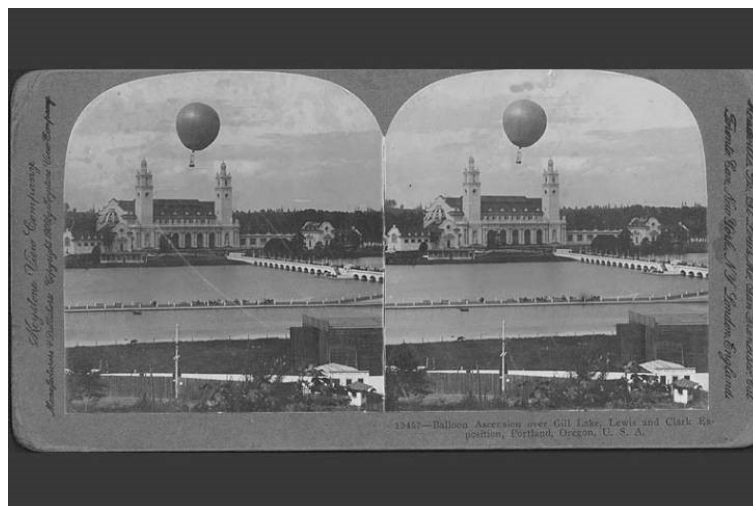
<sup>1</sup> *Annals of the American Association of Geographers*, Vol. XXX, No. 1

### 3. A sztereokamerák története

#### 3.1. Sztereoszkópok és sztereofényképezés a XIX. században

A sztereofényképezés története közel két évszázados múltra tekint vissza: Sir Charles Wheatstone a XIX. század első felében találta fel a sztereoszkópot, amit R. Murray optikussal 1832-ben el is készítettett. Wheatstone az eredményeit 1838-ban mutatta be a londoni Royal College-ben. Néhány évvel később Sir David Brewster megalkotta a lencsés sztereoszkópot, amit 1851-ben a Great Exhibition keretein belül be is mutatott. A Brewster-féle sztereoszkóp nagyjából akkora volt, mint egy kézitávcső (Pellerin, 2015). A kiállításon történt bemutatása (és az, hogy az akkor regnáló brit uralkodó, Viktória királynő figyelmét is felkeltette az eszköz) hirtelen nagy népszerűséget hozott a lencsés sztereoszkópnak: néhány hónapon belül mintegy negyedmillió példányt gyártottak belőle (Robinson, 2017).

Ezzel párhuzamosan természetesen megugrott a kereslet az ún. sztereokártyák iránt is. (Ezek olyan kártyák, amelyeken két, kissé eltérő szögből készült kép van, és sztereoszkópon keresztül nézve térhatás-érzet érhető el velük.)<sup>2</sup> Robinson (2017) cikkében kifejti, hogy a következő évtized során megjelent egy gazdaságosabb, kézi sztereoszkóp is, amely Oliver Wendell Holmes nevéhez köthető. Ez az eszköz két prizmatikus lencsét tartalmazott, valamint egy kart, amire rá lehetett helyezni a megtekinteni kívánt sztereokártyát. A Holmes-féle sztereoszkópokat több évtizeden keresztül gyártották és forgalmazták.



1. kép: Sztereokártya 1905-ből. Sztereó képpár egy hőlégballonról a Lewis és Clark Centenárium Kiállításon

<sup>2</sup> A Library of Congress gyűjteménybemutatói definíciója alapján

A Pellerin (2015) által a sztereofényképészet első aranykorának nevezett időszak azonban nem tartott sokáig: nagyjából az 1856 és 1862 közötti intervallumra datálható. Az évszázad vége felé még volt egy fellendülés a sztereoképek iránti érdeklődésben, azonban ez sem bizonyult tartósnak – a mozgókép megjelenése ekkoriban végképp kiszorította a sztereofényképészet termékeit a szórakoztatóiparból.

### **3.1.1. Egy korszakokon átívelő sztereokép-történet: *Les Diableries***

Mindamellet, hogy már összességében leáldozóban volt a sztereoképek népszerűsége, az 1860-as években is születtek még említésre méltó sztereokép-sorozatok: ilyen volt például a *Les Diableries*, amely történetének ma ismert részleteiről Kaba (2011) jelentetett meg egy publikációt. Ebben a képek megtalálásának története mellett a képsorozat elkészítésében résztvevő szobrászokról is ír. Ezek a sztereoképpárok ugyanis diorámákról készültek, amelyek – koncepció szerint – a Pokol mindennapjait jelenítették meg. Azonban valójában ezek a képek a korabeli francia társadalom bizonyos rétegeinek szatirikus kifigurázásai voltak – például III. Napóleon uralkodása és a burzsoázia dekadens életvitele elé tartottak görbe tükröt (Kitchin, 2013). A szokatlan (illetve kissé talán polgárpukkasztónak nevezhető), ám aprólékos igényességgel kidolgozott dioráma-jelenetekről készült képpárok utólagosan színezettek voltak, így ha nem szemből, hanem hátulról világították meg őket, a sztereokártyákon lévő képek egyes részei színesnek látszottak a megtekintő számára (May, 2011), tovább növelve érdekességüket.

Habár a *Les Diableries* egy letűnt szórakoztatási forma és technológia emlékének tekinthető, a különleges hangulatú képpárok napjainkra sem merültek teljesen feledésbe: ezt jól mutatja, hogy az elmúlt évtizedben is jelentek meg ezzel kapcsolatos publikációk, illetve hogy 2013-ban kiadásra került egy teljes egészében a sorozattal foglalkozó könyv (May – Pellerin – Fleming: *Diableries*), amelynek a nagy népszerűsége tekintettel 2019-ben publikálták a „teljes szériás” változatát is azzal a néhány képpárral, ami az eredeti kiadásban még nem volt benne. Ezen túlmenően 2019-ben Londonban egy ideiglenes kiállításon<sup>3</sup> is bemutatták a képsorozatot, készült róla rövidfilm (*One Night in Hell*) illetve dokumentumfilm (*Diableries Brought to Life*), valamint kiadtak okostelefonokra telepíthető applikációt (*Diableries*) a sztereoképpár-sorozatról, amelyhez tartozik egy AR (kiterjesztett valóság) bővítmény is (*Diabl-O-Scope*).<sup>4</sup> (Valamint az már nem közvetlenül a képsorozattal kapcsolatos, de a *One Night in Hell* zenéjét May szerzte, aki – mint a Queen zenekar gitárosa – ilyen téren sok rajongóval rendelkezik, és mivel a

<sup>3</sup> <https://www.diaableries.co.uk/media/press-release>

<sup>4</sup> <https://www.onenightinhell.com>

filmzene kapcsán többen érdeklődni kezdtek a mű iránt, ami inspirálta, így a *Les Diableries* híre még szélesebb közönséghez jutott el.) Bár ezzel kapcsolatban nehéz bármilyen konkrét információt találni, véleményem szerint lehetséges, hogy sok olyan ember, aki korábban nem ismerte a sztereoszkópot, ennek a sztereoképpár-sorozatnak a kapcsán szerzett tudomást róla, így érdemesnek tartottam a dolgozatomban is egy külön részben megemlékezni róla.

### 3.2. Sztereokamerák a XX. és a XXI. században

Mitofsky a sztereofényképezés történetét tárgyaló írásában kiemeli Edwin H. Land nevét is, aki 1932-ben szabadalmaztatott egy polarizált filterek készítésére alkalmas eljárást. Mint írja, ennek a technológiának később döntő szerepe volt abban, hogy megjelenhettek a színes 3D-s filmek. A Turing Institute archivált weblapján olvasható, a sztereofényképezés történetéről szóló oldalon említésre kerül, hogy Land ezen kívül a vektográfia nevű eljárás tökéletesítésében is fontos szerepet játszott (Ruiz, 1996).

Bár a légi fényképezést már az amerikai polgárháború idején is használták a hadászatban (Gandhi, 2012), amikor még hőlégballonokból készítettek felvételeket, ez a terület akkor tudott igazán kibontakozni, amikor már a repülőgépek is bekerültek a hadviselés eszközzaletjába. Mindamelllett, hogy már az I. világháború során is alkalmaztak légi sztereofelvételést szám-  
adatokkal is jól alátámasztott méreteken (Slater, 2011)<sup>5</sup>, talán az egyik legfontosabb eredménye ennek a technológiának a II. világháború alatt, a Crossbow (Számszerij) hadművelet során felmutatott teljesítménye volt (Kelly, 2011). Ennek során a Brit Királyi Légierő kötelékében repülő pilóták olyan légi felvételeket készítettek, amelyeket azután sztereoszkópos technikával kielemezve sikerült egy német kutatóbázis és rakétaindító pont helyét meghatározni. (A nagymennyiségű fotóanyag feldolgozását speciálisan erre képzett szakemberek, ún. képinterpretátorok végezték.) A lokalizáció birtokában a szövetséges haderőnek sikerült több megelőző csapat mérnie a peenemündei kutatóközpontot, ami számukra hatalmas eredmény volt, ugyanis ezzel jelentősen megakasztották a V-2 rakéta programot.

---

<sup>5</sup> <https://www.tim-slater.blogspot.com/2011/07/british-aerial-photography-and.html>



*2. kép: A peenemüdei katonai kutatóközpontról készült felvétel, amin egy kilövésre váró rakétát sikerült azonosítania egy képinterpretátornak*

Természetesen a világháborúk után is sokrétűen hasznosították a sztereokamerákat mind a katonai, mind a civil szférában. Az űrkorszak beköszöntével a távérzékelési eljárások egyre inkább teret hódítottak az élet különböző területein. Noha ezek közül csupán egy a sztereó rendszerekkel, a látható fény tartományában történő észlelés, a nagyközönség részéről ezek mindig is kiemelt figyelmet kaptak az általuk rögzített felvételekből alkotható képek látványos mivolta miatt. Annak ellenére, hogy az elmúlt nagyjából hat évtizedben is fel-fellángolt az átlagemberek érdeklődése a sztereó kamerák és az azokkal készített képek iránt, ez sokáig nem tudott a hétköznapi otthonok részévé válni, tekintve, hogy a háttérét adó technológia meglehetősen komplex (Stajkoski, 2015).

Azonban a digitális kamerák elterjedésével ez a tendencia változni látszik – még ha csak kismértékben is. Stajkoski ennek okai között említi például, hogy így már nincs szükség költséges fotópapírra, illetve rámutat, miszerint a digitális képfeldolgozás megjelenése egészen új



távlatokat nyithat meg a sztereofotózás előtt. A térhatású képek a digitális közegben rengetegképp felbukkanhatnak: oktatási-tudományos céllal éppúgy, mint a közösségi médiában a hagyományos fotók egyik lehetséges alternatívájaként. A Facebookon például 2018-ban jelent meg a *3D Photo* lehetőség (Coldewey, 2018), amely nagy népszerűségnek örvend, hiszen az egérmozgatásra – vagy okostelefonok esetében: eszkdöntésre – térhatású nézetváltással reagáló képek elkészítéséhez nincs szüksége a felhasználónak speciális eszközökre, mindössze egy olyan okostelefonra, ami páros (sztereó) kamerákkal rendelkezik. Coldewey cikkében közérthetően elmagyarázza az ilyen térhatású digitális képek létrehozásának elméleti hátterét, illetve kiemeli, hogy a technológia korlátjai – és így az elkészült 3D képek bizonyos értelemben vett „tökéletlenségei” – nem jelentenek problémát, hiszen ennél az alkalmazási módozatnál az a hangsúlyosabb, hogy az ilyen fotók érdekesek, szórakoztatók legyenek a felhasználók számára.

### ***3.2.1. Sztereokamerák a VR (virtual reality) és az AR (augmented reality) területén***

Bár a közbeszédben sokszor összemósódnak, a kiterjesztett valóság (augmented reality, AR) és a virtuális valóság (virtual reality, VR) két jól elkülöníthető koncepció. Az AR esetében a felhasználó a valós környezetét szemléli, ami kiegészül valamilyen digitálisan hozzáadott elemmel, információval. Ezzel szemben a VR „egy másik valóságot épít”, azaz a felhasználó valós környezetének milyensége nincs hatással a szimulációra.

A kiterjesztett valóságra könnyen érthető példa lehet az okos szemüvegek koncepciója: ezek lencséjén – bár rajta keresztül a viselő alapvetően a saját valós környezetét látja – dinamikusan változó kiegészítő információk is megjeleníthetők. (Érdeemes hozzátenni, hogy az okos szemüvegek mindennapokban való alkalmazhatósága még eléggé gyerekcipőben jár; a Google ugyan már 2013-ban bejelentette a Google Glasst, ám Birkás 2020-as cikkében megemlíti, hogy az kevésbé váltotta be a hozzá fűzött reményeket.)

A virtuális valóság koncepciója is egészen korán megjelent, és 1962-ben már építettek olyan eszközt, ami a modern VR-konstrukciók elődjének tekinthető. Annak ellenére, hogy a ténylegesen megvalósított VR csak a 2000-es években került be a szélesebb köztudatba, már az 1970-es évek második felében léteztek olyan rendszerek, amelyek már egészen hasonlóak voltak azokhoz, amiket ma virtuális valóságként emlegetünk: 1977-ben a NASA számára alkotott ilyen David Em, 1978-ban az MIT-n Aspen Movie Map néven megalkottak egy „virtuális túrát”, 1979-ben pedig Eric Howlett kifejlesztette a LEEP (Large Expanse, Extra Perspective) optikai rendszert. Ez utóbbi, bár nem kapcsolódik közvetlenül a VR-hoz, mégis nagy hatással volt arra, ugyanis segítségével sokkal realiztikusabb mélységlátás-élményt tudtak nyújtani a felhasználó

számára. A legtöbb modern VR headset alapját is a LEEP technológiája adja (Carlson, 2004). A '80-as években további fejlődésen mentek keresztül a virtuális valósághoz kapcsolódó technológiák, a '90-es években pedig egyre szélesebb körben váltak elérhetővé az ezekkel összefüggő lehetőségek a nagyközönség számára is. Napjainkban a VR már meglehetősen elterjedt dolognak számít, különösen a szórakoztató- és játékipar területén.

Bár a VR-nak nem a sztereokamerákhoz, hanem sokkal inkább a sztereolátáshoz van köze, mégis úgy éreztem, érdemes beemelnem a dolgozatomba – ugyanis a virtuális valóság egyik legjellemzőbb példája szorosan kapcsolódik a kartográfia sztereó megjelenítéses megoldásaihoz. A következő részben a VR ilyen jellegű alkalmazását mutatom be.

### ***3.2.2. VR térképek***

A virtuális valóság jellegű térképek koncepciója nem újkeletű (lásd például az előző pontban említett 1978-as Aspen Movie Map projektet), azonban amióta széleskörben hozzáférhető a VR technológia kezeléséhez szükséges kapacitású hardverek, népszerűségük rohamosan növekszik (Schöning et al., 2019) – a helyzetszimulációk és a játékok mellett ma talán ez nevezhető az egyik legismertebb virtuális valóság felhasználási területnek – gondoljunk csak például a Google Earth 2016-ban megjelent VR verziójára! Azonban a legnépszerűbb alkalmazások mellett sok kevésbé ismert VR térképes megoldás is létezik. Egy nemrég megjelent tanulmányban (Yang et al., 2019) a szerzők már a különböző típusú virtuális világtérképek összehasonlítását adják közre, Schöning és munkatársai (2019) pedig azt elemzik, hogy a felhasználók milyen módokon lépnek kapcsolatba a VR glóbuszokkal, és hogy ennek miképp lehetne javítani, bővíteni a körét.

Azonban a térképészet és a sztereokamerás rendszerek kapcsolata természetesen nem merül ki a (gyakorta sztereofelvételek felhasználásával létrehozott) VR térképekben. Arról, hogy a kartográfiában milyen alkalmazási lehetőségei vannak a sztereokameráknak, a következő részben igyekszem némi betekintést nyújtani. Mindamellet, hogy teljes, átfogó képet erről a téma sokrétűsége miatt nem egyszerű nyújtani, igyekeztem több határtudományi területről is válogatni a feldolgozott szakirodalmat, hogy – lehetőségeimhez mérten – minél szerteágazóbb képet tudjak felvázolni erről a dinamikusan fejlődő, sokszínű témáról.

## 4. Sztereokamera-használat a térképészetben

Szakedolgozatom ezen részében – a sztereolátás elméleti háttérének rövid áttekintése után – igyekszem bemutatni a sztereokamerák térképészeti felhasználási lehetőségeit a vonatkozó szakirodalom áttekintésével. Ennek során igyekeztem főként az utóbbi másfél évtizedben született publikációkat felhasználni, hogy a bemutatott példák aktuálisak legyenek.

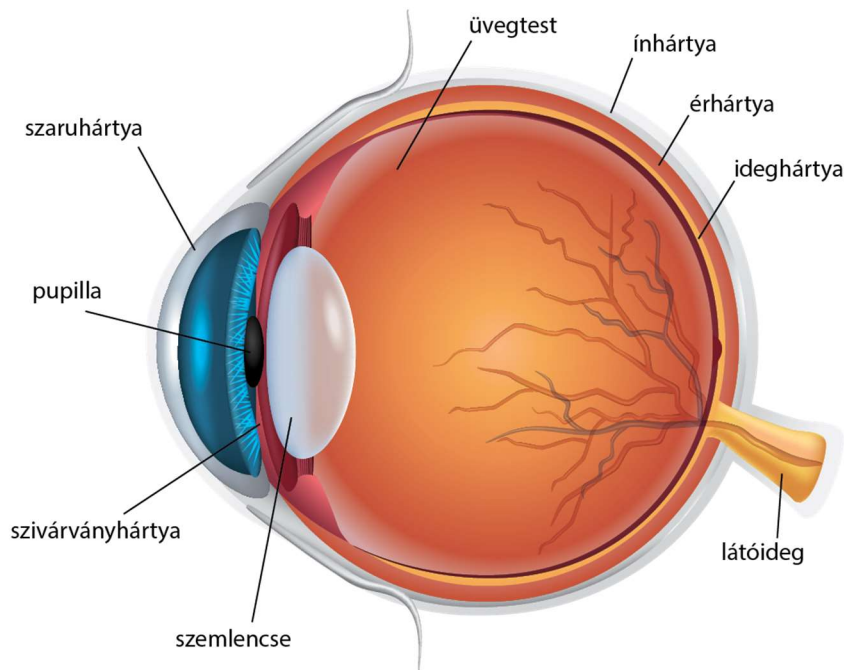
Bár a szimultán helymeghatározás és térképezés (SLAM, simultaneous localization and mapping) problémaköre csak egészen érintőlegesen kapcsolódik a szakedolgozatom témájához, bizonyos átfedések (pl. drónokon alkalmazott sztereokamera alapú SLAM) miatt mégis úgy véltem, teszek egy nagyon rövid kitekintést a szakirodalom-feldolgozás során ilyen fókuszú cikkek felé is. (Természetesen ezek közül igyekeztem azért olyanokat választani, amelyek valamilyen térképészeti relevanciával is bírnak.)

### 4.1. A sztereolátás elméleti háttére

Röviden összefoglalva az emberi látáshoz hasonló, mélységérzet-szimulálásra alkalmas képpárok előállítását a sztereokamerás képrögzítés lényege. A két szemmel történő (szakszóval binokuláris) vizuális észlelés során mindkét szem – a helyzeti különbségük miatt – egy kicsit másféle képet lát. Ezen a különbségekre a diszparitás szóval szokás utalni, és ezek segítik az embereket a mélységészlelésben. (Ez persze az egészséges látás folyamata; több olyan optikai probléma is lehetséges, amikor a mélységészlelés zavart szenved.) A gépi sztereolátás is hasonló elven működik: adott két kamera, amelyeknek ismerjük bizonyos adatait, és ezeknek, valamint az általuk rögzített képpárok eltéréseinek ismeretében kiszámítható az észlelt objektum távolsága. (A folyamat geometriájáról bővebben a 4.1.2. pontban írok.)

#### 4.1.1. A látás biológiai háttére

A sztereolátás elméleti háttérének jobb megértéséhez érdemesnek éreztem egy rövid és egyszerűsített leírást adni a dolgozatomban a látás biológiai háttéről is. Természetesen ennek részletes ismertetése jelentősen túlmutatna a dolgozatom témáján, így igyekszem ezzel kapcsolatban csak a legszükségesebb alapokat összefoglalni néhány mondatban.



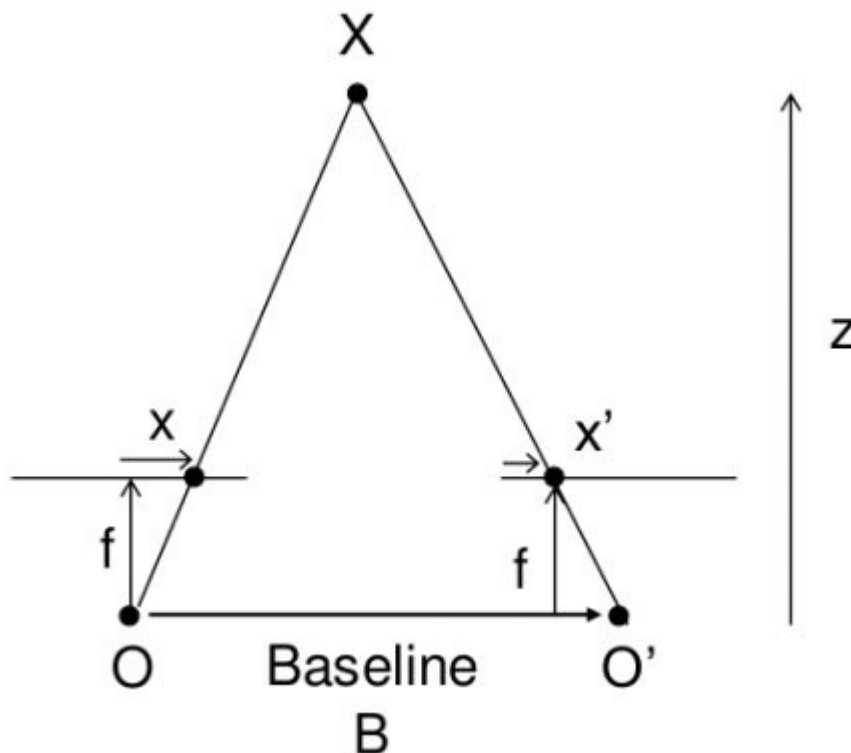
3. kép: Az emberi szem felépítése

A fenti ábrán látható az emberi szem felépítése. A látószerv belsejét az áttetsző, kocsonyás üvegtest tölti ki. Az elülső részén helyezkedik el a szemlencse, amelynek alakja – az eltérő távolságra történő fókuszálás következtében – bizonyos keretek között változhat. Ez előtt található a szivárványhártya avagy írisz. A szemgolyó külvilág felé eső részén, az írisz előtt helyezkedik el a szaruhártya, ezt öleli körbe a szaruhártyaszél. A szivárványhártyán található egy nyílás – a pupilla – aminek a mérete a fényerősség függvényében változik. Ezen keresztül képes bejutni a fény a retinához avagy ideghártyához, ahol receptorok találhatók (ezek közül a pálcikák a fényre érzékenyek, a csapok pedig a színlátásért felelnek). Az ideghártyát az érhártya, azt pedig az ínhártya veszi körbe.

A látás folyamata során a szemlencse aktuális alakja határozza meg, hogy milyen távolságra történik a fókuszálás (vagyis hogy közeli vagy távoli objektumokról éles-e a létrejövő kép). A kapott fényingert a fentebb már említett receptorok ingerületté alakítják, aminek az (agyban történő feldolgozása után) eredménye a látásélmény. A látás folyamatában adódhatnak problémák – ilyenek például a fénytörési hibák, amelyek az emberek jelentős hányadát érintik valamilyen formában.

#### 4.1.2. A sztereolátás matematikai háttere

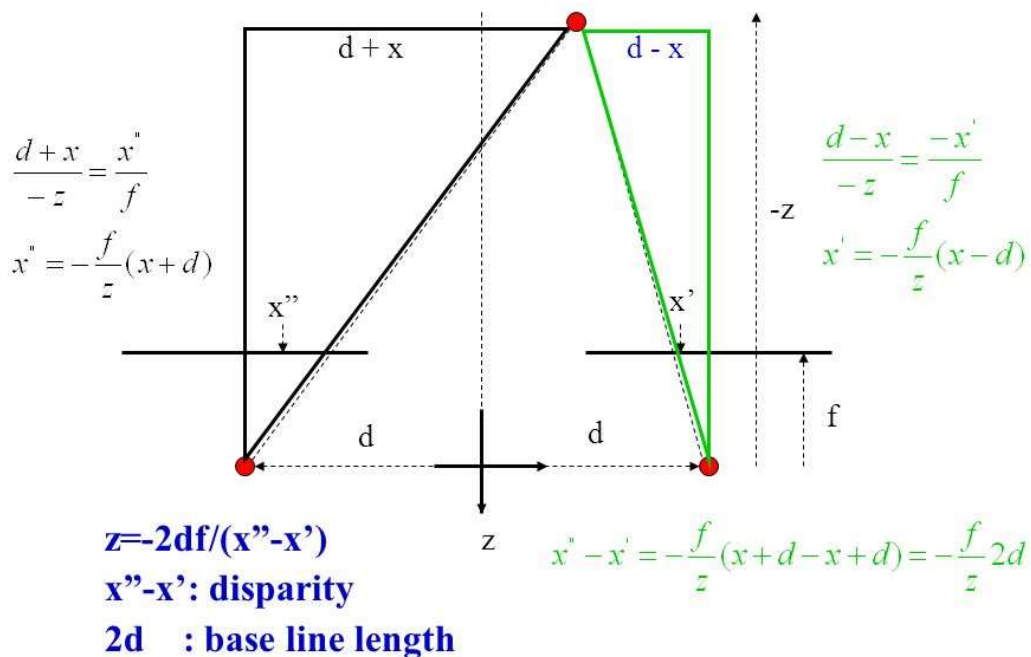
Amikor sztereokamera segítségével akarjuk meghatározni valaminek a távolságát, az is hasonló elven működik, mint a binokuláris látás. Egy sztereorendszernek van két kamerája, amiknek a képsíkja egy síkba esik. Ezekkel sztereó képpárokat lehetséges rögzíteni, amik esetében ismerjük az alapvonal hosszát (az ábrán **B**) és a kamerák fókusz-távolságát (az ábrán **f**). Ezen adatok segítségével háromszögeléses módszerrel kiszámítható egy adott pont távolsága. A 4. kép ennek a geometriai hátterét illusztrálja.



4. kép: A sztereoképpárok segítségével történő távolságmeghatározás egyszerűsített ábrája

A következő ábra pedig azt mutatja be, milyen matematikai műveletek segítségével számítható ki az ismert adatokból az objektum távolsága. A hasonló háromszögek (Kató és Czúni, 2011) alapján vizuálisan is aránylag könnyen levezethető, mely értékek fontosak ahhoz, hogy meg tudjuk határozni a távolságot. (A fókusz-távolság jelölése itt is **f**, azonban a képletben az alapvonalat a **2d** érték mutatja.)

## Basic binocular stereo equation



5. kép: Sztereoképpárból történő távolságszámítás geometriai háttere

### 4.2. Alkalmazási területek és példák

A sztereokamerák monitorozási-térképezési felhasználásának egyik igen dinamikus fejlődő területe a pilóta nélküli légi járművekről (UAV, drón) történő felvételkészítés. Az ilyen kamerák által készített felvételek igen nagy előnye, hogy egyszerre tartalmazhatnak távolsági és színadatokat (Deris et al., 2017). Az ilyen felvételek készítésére alkalmas eszközöket általában RGB-D kameráknak nevezik. Bár ezek többnyire passzív távérzékelést tesznek lehetővé, léteznek olyan drónos sztereokamerák, amelyek aktív távérzékelési módokat (például infravörös kibocsátású szenzorokat) használnak. Deris és munkatársai (2017) cikkükben azonban felhívják arra a figyelmet, hogy azokban a felhasználási módzatokban, ahol különösen nagyfokú precizitás a kívánatos (pl. bizonyos modellezési feladatokban), a tudományos közösség még jelenleg is csak óvatosan használja a sztereokamerás felvételezésekből szerzett adatokat. Az ilyen felvételezés előnyei – mint például a könnyű kezelhetőség és a költséghatékonyság – mellett a publikációban megemlítik az olyan lehetséges hátrulatókat is, mint a zajérzékenység, a felbontás és a látómező korlátozottsága, vagy hogy az észlelt objektumoknak egy meghatározott minimális és maximális távolság között szükséges lenniük a helyes távolságfelméréshez.

(ez utóbbi limitációt én magam is tapasztaltam az általam épített sztereokamerás rendszer tesztelése és működtetése során). Az előbb említetteken túl Haubeck és Prinz (2013) az ilyen rendszerekre alapozott felvételezés kapcsán kiemelik a gyors adatnyerést és a rugalmasságot is, mint előnyöket, illetve – különösen az archeológiai alkalmazásokra fókuszálva – fontos pozitívumként említik még, hogy drónok segítségével olyan helyszínek térképezésére is lehetőség nyílik, amelyek megközelítésére terepen nem, vagy csak nehezen lenne mód.



*6. kép: Példa egy gyárilag sztereokamerákkal felszerelt drónra (V-Coptr Falcon)*

A szimultán helymeghatározás és térképezés kérdésköre alapvetően nem kartográfiai vonatkozásokban szokott leginkább előkerülni, jellemzőbb alanyai inkább az önvezető autók, a drónok, de olyan hétköznapi eszközök is akár, mint a robotporszívó. SLAM esetében a probléma lényege úgy foglалható össze röviden, hogy egyszerre szükséges térképezést végezni a környezetről, de közben meg is kell határozni az eszköz helyzetét abban (Kumar, 2019). Bár elsősre ennyiből talán nem tűnik túl bonyolultnak, nagyon komoly matematikai és technológiai háttere van a dolognak. Ide kapcsolódik Filipenko és Afanasyev publikációja (2018), amelyben különböző beltéri SLAM rendszereket hasonlítanak össze: mono- és sztereoszenzoros megoldások egyaránt találhatók köztük. Természetesen ezek a megoldások kültéren is működőképesek, ezekre is van példa bőven (Sanket et al., 2020). Ebből is látszik, hogy – bár ez a típusú térképezés természetesen nem azonos a „klasszikus” kartográfiai térképezéssel – ilyen téren is van jelentősége a sztereokamerás rendszereknek.



## 5. Saját sztereokamerás projekt bemutatása

Ebben a részben ismertetem egy általam megvalósított, egyszerű sztereokamerás projekt részleteit. A rendszer felépítését és működését bemutató pontok mellett érdekesnek tartottam egy rövid részben a tesztelést is beemelni a szakdolgozatomba, mivel ez is fontos volt ahhoz, hogy a kívánt minőségű végeredmény elérhető legyen a projekt elkészültére.

### 5.1. A projekt hardveres háttere

A sztereó rendszer kameráinak két Trust Spotlight Pro típusú, 1280×1024 pixel felbontású webkamerát használtam. A kamerák saját, külön-külön szabályozható beépített LED-es megvilágítással rendelkeznek, ami rosszabb fényviszonyok között (pl. keret által történő árnyékolás) is lehetővé teszi a rendszer használatát.



7. kép: A megépített rendszer sztereokamera része

A használt számítógép egy HP ProBook 650 G1 típusú laptop, amelyben Intel i5-4200M (2.5 GHz, 4th Gen) processzor és Intel HD Graphics 4600-as videokártya található. Mivel az elkészült rendszernek nem volt nagy hardveres igénye, ezért ez az összeállítás teljes mértékben elégségesnek bizonyult a működtetéséhez.



## 5.2. A projekt szoftveres háttere

A projekt során használt laptopon 64 bites Windows 10 operációs rendszer fut. A programkód írásához a Python programozási nyelvet, illetve az IDLE és Visual Studio Code integrált fejlesztői környezeteket választottam. Továbbá a programozási megvalósítás során alkalmaztam az OpenCV-t (amelyről alább részletesebben is írok), illetve a NumPy nevű, Python nyelvhez alkotott, matematikai funkciókat tartalmazó könyvtárat is. (A lehetséges jövőbeni továbbfejlesztések teszteléséhez egyéb függvénykönyvtárakat is felhasználtam a munkám során, például a Point Cloud Library-t.) A különféle függvénykönyvtárakkal való kompatibilitás miatt a Python 3.6-os verzióját használtam. (A programnyelv legfrissebb verziója jelen szakdolgozat befejezésekor a 3.9-es<sup>6</sup>.)

Mind a korai próbák során, mind a megépített rendszerhez olyan webkamerákat használtam, amelyekhez nem volt szükséges külön driverek (illesztőprogramok) telepítésére.

### 5.2.1. A használt programozási nyelv

A programkódot Python nyelvre írtam. Ez egy sok területen népszerű<sup>7</sup> programozási nyelv, gépi látással kapcsolatos feladatokhoz is gyakran használják. Fontos előnye volt számomra, hogy van kompatibilis API-ja az OpenCV-vel.

A Python egy magas szintű, objektumorientált, általános célú programozási nyelv (Kangyerka, 2020). Mintegy három évtizedes múltat tekint vissza; egy holland programozó, Guido van Rossum kezdte fejleszteni 1989-ben, az első nyilvános verziót a programozási nyelvből pedig 1991-ben publikálta. A programozó sokat merített az ABC programozási nyelvből; a Python tervezése során igyekezett megtartani a másik nyelv erősségeit, és kiküszöbölni azokat a problémákat, amelyek miatt az ABC nem igazán vált sikeressé és népszerűvé (Zwart, 2018). Van Rossum nevéhez köthető egyébként az IDLE integrált fejlesztői környezetet is, amiben a projekt szoftveres részét képező programkód legnagyobb részét írtam. Kangyerka kiemeli, hogy a Python egyik elsődleges célja a programkód könnyű olvashatósága, s ezáltal a programozók munkájának könnyebbé tétele.

---

<sup>6</sup> <https://www.python.org/dev/peps/pep-0596>

<sup>7</sup> PYPL (Popularity of Programming Language), 2021. áprilisi adatok

### 5.2.2. Az OpenCV szerepe a projektben

Az OpenCV egy programkönyvtár, amely a gépi látáshoz kapcsolódó funkciókat tartalmaz. Az Intel fejlesztette ki; az első publikus alfa verziót 2000-ben, az azévi CVPR (Computer Vision and Pattern Recognition – Számítógépes Látás és Mintázatfelismerés) konferencia keretében mutatták be belőle. Ezt a következő években több bétaverzió követte, majd 2006-ban megjelent az 1.0-s verziója. A következő fontos állomás a programkönyvtár történetében 2009-ben volt, ugyanis ekkor jelent meg a második verziója. 2012-ben az Inteltől egy non-profit alapítvány vette át az OpenCV gondozását.

Érdekesség, hogy az OpenCV megjelenésének 20. évfordulója alkalmából tavaly bemutatták az OpenCV AI Kitet, vagy röviden csak OAK-t, ami egy hibrid szoftveres/hardveres készlet. A projektet közösségi finanszírozás keretében valósították meg, figyelemreméltó sikerrel. Ez a szakdolgozatom szempontjából azért érdemel említést, mivel az eszköz finanszírozási kampányában látványos elem volt a készlettel elérhető, különböző térlátási módok bemutatása, és ezzel a sztereokamerák nyújtotta lehetőségek felvillantása – akár a laikus, vagy csak korábban ezzel nem foglalkozó közönségnek is. (A következő nagy OpenCV-s közösségi finanszírozásos projekt egyébként nem sokkal e szakdolgozat megírása után fog rajtolni: a bejelentés szerint 2021. május 18-án indul majd az „OpenCV for Beginners” néven futó, kifejezetten a számítógépes látás világában kezdőket megszólítani-megcélózni kívánó kampány.)

Az általam összeállított sztereokamerás rendszer szoftveres részében komoly szerepet kap az OpenCV: olyan funkciók érhetők el általa néhány paraméter megadásával, amelyeknek a leprogramozása hosszú munka volna, sok hibalehetőséggel. Azonban az OpenCV előre definiált megoldásaival az ilyen, gépi látáshoz kapcsolódó feladatok gyorsan (illetve véleményem szerint erőforrás-hatékonyan) megoldhatók.

```
fBal = cv2.undistort(fBal, mtxBal, tavBal, None, ujkamBal)
fJobb = cv2.undistort(fJobb, mtxJobb, tavJobb, None, ujkamJobb)
d=stereo.compute(fBal, fJobb).astype(np.float32)
diszp = d/16.0;
cv2.imshow('Diszparitas', (diszp-min_diszp)/num_diszp)
points = cv2.reprojectImageTo3D(diszp-diszp_korr, Q) #3D-s koordináták
```

8. kép: Használatban az OpenCV: részlet a programkódból

A fenti rövid programkód-részlet, bár rövidnek tűnik, rengeteg mindent csinál: torzulást küszöböl ki, valamint diszparitást és 3D-s koordinátákat is számít. Ezek megvalósítása az OpenCV nélkül rengeteg kódolást igényelne.

## **5.3 A rendszer megépítése, tesztelése és működése**

A saját sztereokamerás rendszeremet dr. Gede Mátyás ötlete nyomán építettem. Előként a rendszer szoftveres részének „vázát” készítettem el működőképes szintre, majd ezt különböző hardveres összeállításokkal próbáltam ki – kitapasztalva az egyes verziók erősségeit, gyengeségeit, hibáit – amely tapasztalatokat fel tudtam használni a végső, általam épített verzió minél optimálisabb kialakításához.

### ***5.3.1. A próbákhoz használt kamerák***

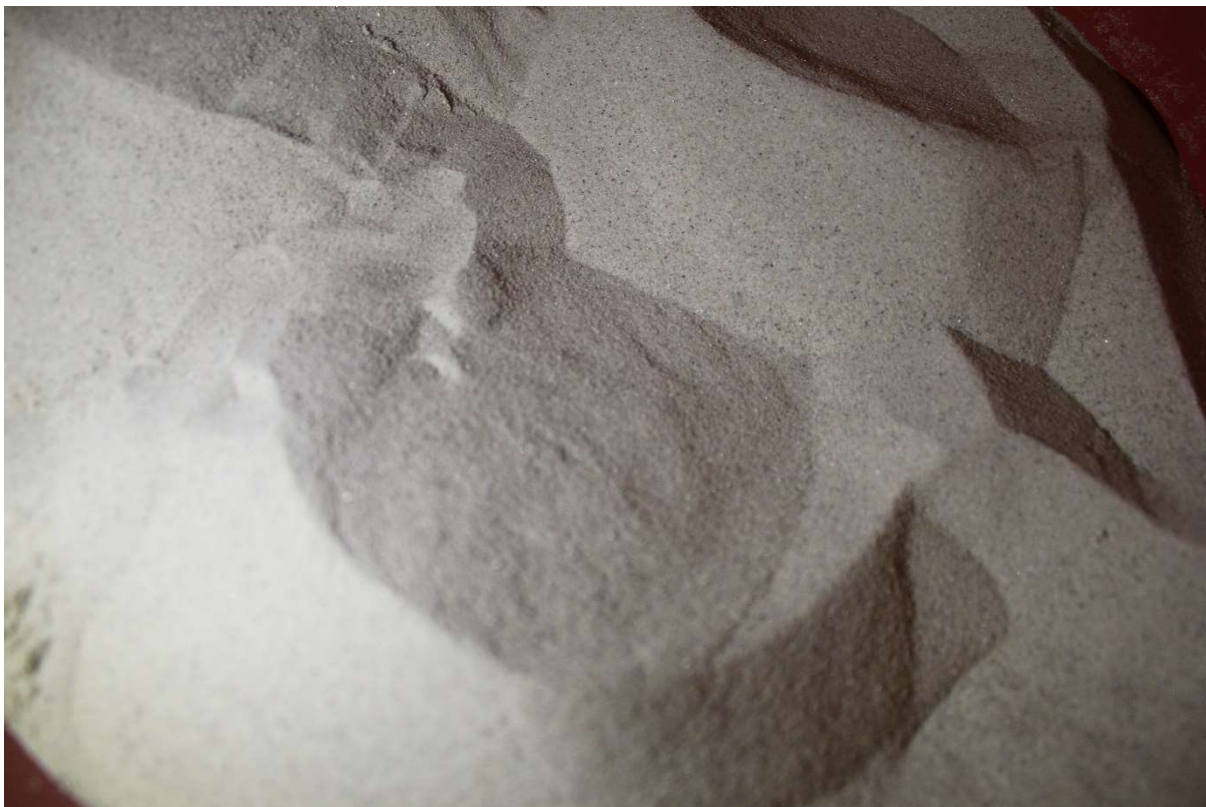
Amikor már készen volt a programnak egy használható változata, felmerült, hogy szükség lenne két (nem beépített) webkamerára a teszteléshez. A Covid-19 okozta világméretű járvány miatt azonban, amikor először próbáltam kamerákat vásárolni ehhez, problémába ütköztem: több műszaki cikkekkel foglalkozó üzletben is termékhiány volt szinte minden modellből – így az első próbákat a Térképtudományi és Geoinformatikai Intézet oktatóitól, illetve ismerőseimtől kölcsönkapott kamerákkal végeztem.

### ***5.3.2. Tesztelés***

Az elkészült program tesztelésein kisebb problémát jelentett, hogy az különböző eszközökön futtatva más „sorszámmal” ismerte fel a csatlakoztatott webkamerákat, de ezen kívül más hardveres nehézség nem adódott. (Mindenesetre igyekeztem az 5.1. pontban említett laptopot használni a teszteléshez, hogy csak emiatt ne kelljen változtatásokat eszközölnöm a programkódban.)

A rendszer teszteléséhez szükség volt kalibrációs adatokra. Ezek kinyeréséhez egy külön programot használtam. A programkód megírását nagyban megkönnyítették az OpenCV beépített függvényei, amelyek olyan speciális kihívásokra is megoldást nyújtanak, mint például a képtorzulások kiküszöbölése.

A kész rendszer távolságmérési lehetőségeit elsősorban egy homokkal borított felületű, erre a célra kialakított tárolóban teszteltem. A tároló alja és oldala hézagmentes műanyag volt; ez csökkentette annak az esélyét, hogy homok kerüljön ki belőle, ami esetlegesen a kamerás rendszerbe jutva károsíthatta volna annak a hardveres komponenseit.



9. kép: Modellelés a teszteléshez homokkal

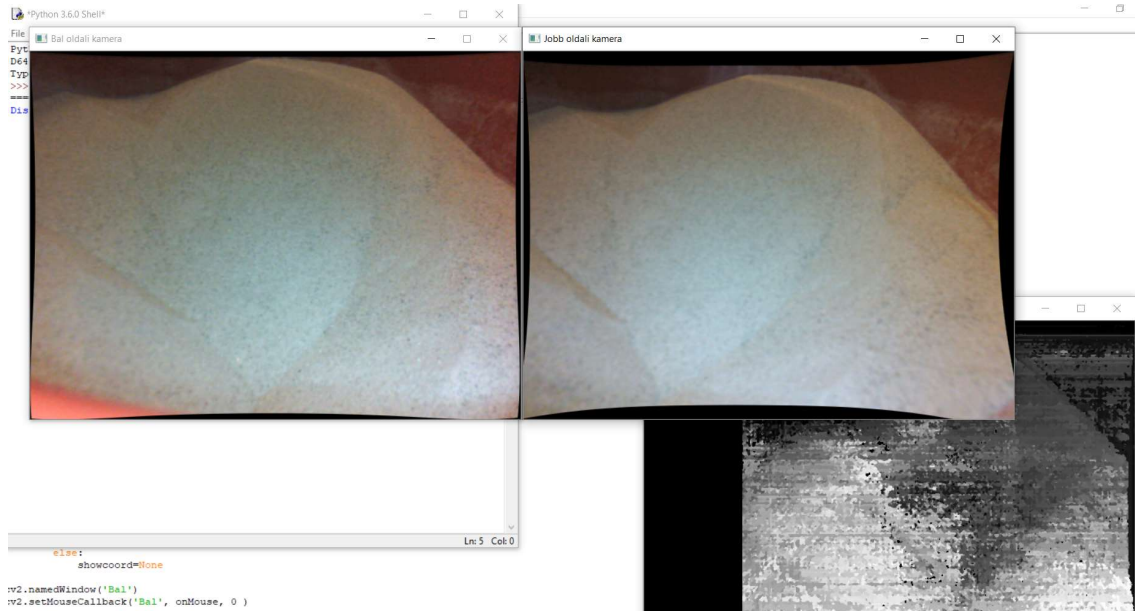
Emellett megfelelően egyenetlen felszínű tárgyakon is kipróbáltam a rendszer távolságmérési képességeit; nem extrém fényviszonyok között ezeken is hasonlóan jól működőnek bizonyult, mint a homokos modellezés esetében.

Az előbb leírt beltéri tesztelés mellett a rendszer kültéri próbája csak minimálisan történt meg. Ennek főleg technikai okai voltak (részint a kamerák limitált fókusztávolsága, részint az, hogy a már összeépített sztereokamerás rendszert – annak esetleges sérüléseinek és torzulásainak elkerülése érdekében – igyekeztem elcsomagolva nem hordozni). A kevés kültéri tesztelés alapján a rendszer ott is többnyire jól működött, azonban az árnyékok (különösen a mozgó árnyékok – pl. szél által mozgatott lombzaté) meg tudták zavarni.

### **5.3.3. Az elkészült rendszer működése**

A rendszer üzembe helyezéséhez először is csatlakoztatni szükséges az összeszerelt sztereokamerás perifériát ahhoz a számítógéphez, amelyen majd a szoftveres részt futtatni kívánjuk. Az eszköznek ehhez rendelkeznie kell legalább két szabad USB porttal.

Amennyiben rendelkezésre állnak kalibrációs adatok, rögtön futtatható a főprogram. Abban az esetben, ha ezek hiányoznak, akkor előbb létre kell hoznunk ilyeneket az erre a célra írt program futtatásának segítségével.



10. kép: Képernyőfotó a program futásáról

A fenti képernyőképen látható, hogy a két kamera kissé eltérő szögből rögzíti a képet. A harmadikként megnyíló ablakban a sztereoképpárból számított látvány rajzolódik ki.

#### 5.3.4. Ismert korlátok, lehetséges hibák

Bár a rendszert igyekeztem úgy megalkotni, hogy annak működése közben minél kevesebb probléma léphessen fel, ez természetesen nem jelenti azt, hogy nem produkálhat hibákat. Az egyik ismert probléma akkor lép fel, ha valamelyik kamera nincs vagy nem megfelelően van csatlakoztatva a számítógéphez a főprogram futtatása előtt. Ez könnyedén kiküszöbölhető olyan módon, hogy (Windows operációs rendszert feltételezve) az Eszközkezelőben megnézzük még a programindítás előtt, hogy a számítógép érzékeli-e mindkét kamerát.

A rendszer alkalmazhatóságának természetesen korlátjai is vannak: ilyen például – az *Alkalmazási területek és példák* részben említetthez hasonlóan – hogy a korrekt távolságmeghatározáshoz van egy minimális és maximális távolság, amely intervallumon kívül eső objektumokra a szoftveres rész nem tud helyes távolságértéket számítani. Fontos továbbá a helyes működéshez a megfelelő megvilágítás – az általam végzett tesztek alapján egy viszonylag sötét

szobában már elég rosszul teljesít a rendszer, egy bizonyos megvilágítottsági szint elérése nélkül pedig egyszerűen használhatatlan. Ezen bizonyos helyzetekben tudnak segíteni a kamerákba épített, szabályozható erősségű LED-ek, azonban ezek csak viszonylag közeli tárgyak és felületek esetében tudnak olyan megvilágítást biztosítani, ami már elégséges a rendszer megfelelő működéséhez.

A szabadtéri tesztelés során felmerült, hogy a mozgó árnyékok zavarhatják a rendszert. Ezzel a problémával részletesebben nem foglalkoztam (mivel a konstrukció alapvetően beltéri használatra lett építve), de érdemesnek tartottam megemlíteni.

## 6. Összefoglalás és kitekintés

A feldolgozott szakirodalmak, a tudományos és technológiai területek aktuális trendjei, valamint a saját projektmunkám során tapasztaltak is arra a következtetésre juttattak, hogy a sztereokamerás rendszereknek már most is komoly és sokrétű szerepük van a térképészetben. Mivel a sztereokamerák egyre könnyebben és olcsóbban hozzáférhetőek, illetve mind több és több területen ismerik fel (a kartográfián kívül is) a hasznosíthatóságukat, ezért úgy vélem, a szerepük várhatóan még jelentősebb lesz a jövőben.

A digitális térképészet szempontjából – bár természetesen közel sem minden oldható meg jelen technológiai fejlettségünkkel ilyen módon – egyre nagyobb szerepet kap az automatizálás. Ehhez sokszor távérzékelte adatokat – például drónokra installált kamerák által készített képeket – használnak, így véleményem szerint ezen a területen még inkább kiemelt jelentőséggel fog bírni a sztereokamerás rendszerek hasznosítása.

Az általam elkészített rendszert jelen formájában inkább csak érdekességnek mondanám, egy módna arra, ha valaki elsőkézből szeretne megismerkedni a gépi látásnak mind a hardveres, mind a szoftveres részeivel egy kicsit közelebről. Azonban úgy gondolom, egy ilyenben is vannak lehetőségek; jelenleg például abba az irányba dolgozom a projekttel, hogy a képekből nyert adatokból a számítógép képes legyen pontfelhőt kirajzolni, ami jóval látványosabb megjelenítési opciókat tudna biztosítani.

A távlati lehetőségek a saját sztereokamerás rendszerem kapcsán jelenleg csak elméleti szinten merültek fel: ilyen például a hardveres rész újraépítése (vagy inkább: egy új hardveres rész építése) más típusú, automatikus fókuszálásra is képes kamerákkal.

Összességében úgy vélem, a szakdolgozatom elkészítése során sikerült egy átfogó képet kapnom a sztereokamerás rendszerek történetéről és modern térképészeti használati lehetőségeikről – ennek dolgozatbeli átadásakor igyekeztem arra törekedni, hogy a nagy áttekintő kép mellett kisebb érdekes momentumokat is megemlítssek, ezzel is kiemelve, hogy milyen sokszínű és érdekes terület a sztereokamerák felhasználása. A saját rendszer megalkotása mind hardver, mind szoftver részen sok újdonsággal szolgált számomra. (A legfontosabbnak ezek közül magam részéről a Python nyelv behatóbb megismerését érzem, mivel korábban inkább a C# és a Java programozási nyelvekkel foglalkoztam.) Bízom benne, hogy ebből az érdekes folyamatból is sikerült valamennyit átadnom a szakdolgozatommal.

## 7. Köszönetnyilvánítás

Szeretnék köszönetet mondani a témavezetőmnek, Dr. Gede Mátyásnak, aki tanácsaival és hasznos észrevételeivel nagyban segítette, hogy ez a szakdolgozat elkészülhessen.

Oktatóim közül szeretném továbbá megköszönni Dr. Móga Jánosnak, miszerint a 2020 őszen tartott drónos speciálkollégiumán átadott tudással arra inspirált, hogy komolyabban elkezdjek foglalkozni a pilóta nélküli légi járművekkel – ez az alaptudás nagy segítségemre volt a dolgozat elkészítése során.

Ezeken túlmenően köszönettel tartozom azon családtagjaimnak és ismerőseimnek, akik a rendelkezésemre bocsátották különféle hardveres eszközeiket az általam készített sztereokamerás rendszer teszteléséhez. A járványhelyzet idején a segítségük nélkül ezt aligha tudtam volna ilyen jó ütemben kivitelezni.



## 8. Jegyzékek

### 8.1. Irodalomjegyzék

#### 8.1.1. Felhasznált irodalom

BENTACOURT, J. (2021): What is Stereoscopy and Why Is It Important to Photography Today? (<https://www.thepphotoargus.com/what-is-stereoscopy-and-why-is-it-important-to-photography-today>, együttműködők: D. Oczkowski, D. Pellerin, R. Sharpe)

BIRDSEYE, C. H. (1940): Stereoscopic Phototopographic Mapping. *Annals of the American Association of Geographers*, Vol. XXX, No. 1, 1–24.

BREWSTER, D. (1856): The Stereoscope. Its History, Theory, and Construction, with its Application to the fine and useful Arts and to Education. *John Murray*

CARLSON, W. E. (2004): A Critical History of Computer Graphics and Animation. *Ohio State University*

COLDEWEY, D. (2018): How Facebook's new 3D photos work (<https://techcrunch.com/2018/06/07/how-facebooks-new-3d-photos-work>)

DERIS, A. – TRIGONIS, I. – ARAVANIS, A. – STATHOPOULOU, E. K. (2017): Depth Cameras On UAVs: A First Approach. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII–2/W3, 231–236.

ENGLER P. (2010): A térlátás és a térfotogrammetria alapjai. *Nemzeti Szakképzési és Felnőttképzési Intézet*

FILIPENKO, M. – AFANASYEV, I. (2018): Comparison of Various SLAM Systems for Mobile Robot in an Indoor Environment. *9th IEEE International Conference on Intelligent Systems*

GANDHI, J. (2012): The Stereoscope and WWII IMINT (<https://blogs.commons.georgetown.edu/jg492-stia/files/2012/11/Stereoscope.docx>)

GHAFFAR, I. A. – MOHD, M. N. H. (2018): Selection of Android Smartphones with Built-in Dual Lens Camera for Stereo Vision Android App Development. *7th International Conference on Computer and Communication Engineering*

HAUBECK, K. – PRINZ, T. (2013): A UAV-Based Low-Cost Stereo Camera System for Archaeological Surveys – Experiences from Doliche (Turkey). *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XL–1/W2, 195–200.

KABA, M. (2011): Les Diableries: 3D Visions of Hell from the 19th Century

KATÓ Z. (2014): Körbelátó kamerák. Oktatási segédanyag, *Szegedi Tudományegyetem*

KATÓ Z. – CZÚNI L. (2011): Számítógépes látás. *Typotex Kiadó*

KELLY, J. (2011): Operation Crossbow: How 3D glasses helped defeat Hitler. *BBC News Magazine*

KITCHIN, R. (2013): Les Diableries: Devilish entertainment in three dimensions (<https://blog.scienceandmuseum.org.uk/victorian-stereoscopic-photographs-show-3d-skeletons-with-glowing-eyes> )

KUMAR, S. (2019): Development of SLAM algorithm for a Pipe Inspection Serpentine Robot. MSc szakdolgozat, *Universiteit Twente*

MITOFSKY, E.: The History of Stereo Photography (<https://www.chicagostereocameracub.org/History%20of%20stereo%20photography.pdf>)

SANKET, N. J. – SINGH, C. D. – ASTHANA, V. – FERMÜLLER, C. – ALOIMONOS, Y. (2020): MorphEyes: Variable Baseline Stereo For Quadrotor Navigation

SCHÖNING, J. – HECHT, B. – RAUBAL, M. – KRÜGER, A. – MARSH, M. – ROHS, M. (2019): Improving Interaction with Virtual Globes through Spatial Thinking: Helping Users Ask „Why?“

SLATER, T. (2011): British Aerial Photography and Photographic Interpretation on the Western Front

SLATER, T. (2016): British Photographic Reconnaissance Cameras in WW1

STAJKOSKI, P. M. (2015): History of Stereoscopy. Jules Richard Museum – Museum für Historische 3D- und Aktphotographie (<https://jules-richard-museum.com/history-stereoscopy-engl>)

THOMPSON, C. (2017): The Illusion of Reality. *Smithsonian Magazine*, Vol. 48, num. 6.

YANG, Y. – JENNY, B. – DWYER, T. – MARRIOTT, K. – CHEN, H. – CORDEIL, M. (2019): Maps and Globes in Virtual Reality

ZWART, R. (2018): The origins of Python: the ABC language (<https://reinout.vanrees.org/weblog/2018/04/25/origin-of-python-abc.html>)

### **8.1.2. További, a témához kapcsolódó szakirodalmak**

AGRAWAL, M. – KONOLIGE, K. – BOLLES, R. C. (2007): Localization and Mapping for Autonomous Navigation in Outdoor Terrains: A Stereo Vision Approach. *2007 IEEE Workshop on Applications of Computer Vision*

BARRY, A. J. – OLEYNIKOVA, H. – HONEGGER, D. – POLLEFEYS, M. – TEDRAKE, R. (2015): Fast Onboard Stereo Vision for UAVs. *IROS Workshop: Vision-Based Control and Navigation of Small Lightweight UAVs*, 6.

CHEN, H. – XU, Z. (2006): 3D Map Building Based on Stereo Vision. *International Conference on Networking, Sensing and Control*

DWIJOTOMO, A. (2020): Cartographer SLAM Method for Optimization with an Adaptive Multi-Distance Scan Scheduler. *Applied Sciences* 10 (1), 347.

HIRSCHMÜLLER, H. (2003): Real-Time Map Building from a Stereo Camera under Unconstrained 3D Motion. *De Montfort University, Faculty of Computing Sciences and Engineering, Faculty Research Conference*

HOFMANN, S. – SCHULZE, M. J. – SESTER, M. – BRENNER, C. (2011): Quality assessment of landmark based positioning using stereo cameras. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XXXVIII–3/W22, 85–90.

MURARKA, A. – KUIPERS, B. (2009): A Stereo Vision Based Mapping Algorithm for Detecting Inclines, Drop-offs, and Obstacles for Safe Local Navigation. *International Conference on Intelligent Robots and Systems*

NÜCHTER, A. – BLEIER, M. – SCHAUER, J. – JANOTTA, P. (2017): Improving Google’s Cartographer 3D Mapping By Continuous-Time SLAM. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII–2/W3, 543–549.

PRABU, S. – HU, G. (2014): Stereo Vision based Localization of a Robot Using Partial Depth Estimation and Particle Filter. *IFAC Proceedings Volumes* 47 (3), 7272–7277.

TRIPATHI, A. K. – RAJA, R. G. – PADHI, R. (2014): Reactive Collision Avoidance of UAVs with Stereovision Camera Sensors Using UKF. *IFAC Proceedings Volumes* 47 (1): 3rd International Conference on Advances in Control and Optimization of Dynamical Systems, 1119–1125.

WU, Y. – TANG, F. – LI, H. (2018): Image-based camera localization: an overview. *Visual Computing for Industry, Biomedicine, and Art* 1, 8.

## 8.2. Linkjegyzék

(Utoljára ellenőrizve: 2021. május 14.)

<https://24.hu/tech/2020/01/07/ces-2020-bosch-smartglasses-light-drive-okosszemuveg-modul>

(Birkás P.: *Itt az okosszemüveg, aminek végre van értelme, és azonnal használnánk*)

<https://content.lib.washington.edu/stereoweb/index.html> (Stereocard Collection)

[https://essay.utwente.nl/80207/1/Final\\_version\\_Kumar.pdf](https://essay.utwente.nl/80207/1/Final_version_Kumar.pdf) (Shrijan Kumar *Development of SLAM algorithm for a Pipe Inspection Serpentine Robot* című diplomamunkája)

<https://foundlingmuseum.org.uk/the-story-of-the-stereoscopes>

<https://www.kickstarter.com/projects/opencv/opencv-ai-kit> (Az OAK közösségi finanszírozási projektjének oldala)

<https://www.loc.gov/pictures/collection/stereo/background.html> (Library of Congress, gyűjtemények bemutatása: Stereograph Cards)

<https://www.londonstereo.com/diableries/index.html> (LSC: Les Diableries)

<https://lookafteryoureyes.org/eye-care/how-your-eye-works> (Look After Your Eyes – ismeretterjesztő oldal a College of Optometrists gondozásában)

<http://www.malnasuli.hu/tag/python> (MálnaSuli – Raspberry Pi Magyarország, Python programozási nyelv tananyagok)

[https://www.nive.hu/Downloads/Szakkepzesi\\_dokumentumok/Bemeneti\\_kompetenciak\\_meresi\\_ertekelesi\\_eszkozrendszerenek\\_kialakitasa/20\\_2241\\_010\\_100915.pdf](https://www.nive.hu/Downloads/Szakkepzesi_dokumentumok/Bemeneti_kompetenciak_meresi_ertekelesi_eszkozrendszerenek_kialakitasa/20_2241_010_100915.pdf) (Dr. Engler Péter: *A térlátás és a térfotogrammetria alapjai*)

[https://www.nkp.hu/tankonyv/biologia\\_8/lecke\\_04\\_027](https://www.nkp.hu/tankonyv/biologia_8/lecke_04_027) (Nemzeti Köznevelési Portál, biológia okostankönyv)

<https://opencv.org> (Az OpenCV hivatalos oldala)

<https://photofocus.com/photography/history-of-photography-stereoscopic-photography> (Cikk-szerző: Lisa Robinson)

<https://semmelweis.hu/anatomia/files/2018/09/Szem1-FokII-TZs.pdf>

<https://www.smithsonianmag.com/innovation/sterographs-original-virtual-reality-180964771> (Clive Thompson *The Illusion of Reality* című cikkének digitális változata)

<https://www.stereoscopy.com>

<https://tim-slater.blogspot.com> (Tim Slater I. világháborús légifotózással kapcsolatos írásai)

[https://web.archive.org/web/20030131081417/http://www.arts.rpi.edu/~ruiz/stereo\\_history/text/historystereog.html](https://web.archive.org/web/20030131081417/http://www.arts.rpi.edu/~ruiz/stereo_history/text/historystereog.html) (*History of Stereo Photography*. The Turing Institute)

### 8.3. Ábrajegyzék

(A hipervivatkozások utoljára ellenőrizve: 2021. május 14.)

*Az itt fel nem sorolt képeket a dolgozat szerzője készítette.*

1. kép: <https://digitalcollections.lib.washington.edu/digital/api/singleitem/image/stereo/0/default.jpg> (*Balloon ascension during Lewis and Clark Exposition, 1905*. University of Washington Digital Collections, Stereocard Collection)

2. kép: [https://ichef.bbci.co.uk/news/976/media/images/52683000/jpg/\\_52683069\\_peen-emunde.jpg](https://ichef.bbci.co.uk/news/976/media/images/52683000/jpg/_52683069_peen-emunde.jpg)

3. kép: [https://www.nkp.hu/tankonyv/biologia\\_8/img/Szem.png](https://www.nkp.hu/tankonyv/biologia_8/img/Szem.png)

4. kép: [https://docs.opencv.org/master/stereo\\_depth.jpg](https://docs.opencv.org/master/stereo_depth.jpg)

5. kép: [https://images.slideplayer.com/24/7518352/slides/slide\\_14.jpg](https://images.slideplayer.com/24/7518352/slides/slide_14.jpg)

6. kép: <https://www.hsw.hu/kepek/hirek/2020/01/2rotordrn.jpg>

## 9. Nyilatkozat

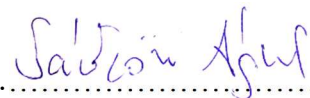
Alulírott **Sárközi Ágnes** nyilatkozom, hogy jelen szakdolgozatom teljes egészében saját, önálló szellemi termékem. A szakdolgozatot sem részben, sem egészében semmilyen más felsőfokú oktatási vagy egyéb intézménybe nem nyújtottam be. A szakdolgozatomban felhasznált, szerzői joggal védett anyagokra vonatkozó engedély a mellékletben megtalálható.

A témavezető által benyújtásra elfogadott szakdolgozat PDF formátumban való elektronikus publikálásához a tanszéki honlapon

HOZZÁJÁRULOK

NEM JÁRULOK HOZZÁ

Budapest, 2021. május 17.



.....  
a hallgató aláírása