

TDK-dolgozat

Csengeri Bence Zsombor

Molnár Kristóf Ferenc

Debreceni Egyetem
Informatikai kar
Információ Technológia Tanszék

Szemmozgást vizsgáló és modellező gyógypedagógiai rendszer



Témavezető:
Apró Anikó
Tanársegéd

Készítette:
Csengeri Bence Zsombor
2. évfolyam
Molnár Kristóf Ferenc
2. évfolyam

„Ha van olyan, a számítógépes technológiát körül lengő mítosz, amellyel ideje lenne már leszámolni, az az a közkeletű elképzelés, hogy a számítógép csak azt tudja megcsinálni, amire konkrétan beprogramozták. (...) A géptanulás-algoritmusok rutinszerűen rágják át magukat az adatokon, tárják fel a statisztikai összefüggéseket, és írják meg lényegében ezek alapján a maguk saját programját.”

Martin Ford

TARTALOMJEGYZÉK

Bevezetés	6
Kutatási kérdések.....	7
Célkitűzések	7
Megvalósítás	8
Tervezés.....	8
Szoftver.....	8
C++	9
Python.....	10
Mediapipe	11
Felhasználói dokumentáció	12
Élővideó esetén.....	12
Előre felvett videó esetén	13
CSV Fájl	13
Feladat	14
Hardver	15
Felmérés	17
Szerződés	17
Debreceni Bárczi Gusztáv Egységes Gyógypedagógiai Módszertani Intézmény.....	17
Debreceni Református Kollégium Gimnáziuma	18
Adatkezelés.....	18
GDPR	20
A felmérés menete	21
Debreceni Bárczi Gusztáv Egységes Gyógypedagógiai Módszertani Intézmény.....	21

Debreceni Református Kollégium Gimnáziuma	22
Gyógypedagógiai rész	23
Felmérések kiértékelése.....	23
Csoportosítások	25
Feljegyzések a felmérés alatt.....	25
Összefoglalás	26
Irodalomjegyzék	28
Saját munka leírása.....	29
Köszönetnyilvánítás	30
Ábrajegyzék.....	31

Bevezetés

A szem mozgását számos betegség és rendellenesség befolyásolhatja, melyeket a jelenlegi orvostudomány nem mér, vagy csak nagyon sarkos esetekben, viszont a diagnosztizálásban és például az autizmus spektrum zavarral élő személyek esetében a fejlesztésben is segíthet, erről Karaketin [4] cikkében részletesebben is olvashatunk. Így jutottunk arra a döntésre, hogy a kutatásunkkal az intellektuális képességzavarban érintett embereken szeretnénk segíteni. Számos gyógypedagógussal konzultáltunk a témában, és velük együtt dolgoztuk ki a projekt felépítését, és azokat a kritikus pontokat, amelyeket a szoftverünknek muszáj lefednie, annak érdekében, hogy a rendszer pontos adatokat adjon vissza. Korábbi kutatásokban olvashatunk a tekintetkövetésről (gaze-tracking) és a szemkövetésről (eye-tracking), viszont ezek a kifejezések teljesen összeolvadnak, nincs specifikálva egyik fogalom sem pontosan [2].

Az eddigi kutatások, amelyek intellektuális képességzavarban érintett személyek szemmozgását vizsgálták, nagy részben csak teoretikusan foglalkoztak a problémával. Nem készítettek külön szoftvert, amely kézzelfogható adatokat produkál, hanem csak megfigyelés alapján vontak le konklúziót a szemmozgás eltérésében. Az általunk kifejlesztett rendszer ebben eltér a többitől. Másodpercenként közel 2000 adatot nyerünk ki az adott alany videóanyagából. Ezek az adatok átmennek egy tisztításon, mivel egyik rendszer sem tökéletes, és ilyen adatmennyiség mellett előfordulnak hibák (2,5-3% hibahatár, tisztítás után 0,5% körülbelül). A kiugró adatokat a feldolgozás előtt letisztítjuk. Ezzel a módszerrel 95-98% pontossággal tudjuk megadni a szem pozícióját, amely nagyban hozzájárul a pontos adatösszehasonlításhoz.

A szemmozgás vizsgálatához készítettünk egy webapplikációt, amelyen piros pontok jelennek meg a képernyőn. Az alanyok feladata az volt, hogy ezeket a pontokat kövessék a fejük mozgása nélkül. Erről videót készítettünk, amelyekből később az adatokat kinyertük. A feladat elkezdése előtt tisztáztuk az alannyal a teendőket, és megbizonyosodtunk róla, hogy minden érthető számára, majd miután aláírták a beleegyező nyilatkozatot, hozzákezdtek a feladathoz. Az alanyoknak egymás után kétszer kellett elvégezniük a feladatot, ezzel azt is meg tudtuk mérni, hogy az alanyok a második alkalommal számítanak-e a pontok pozíciójára.

A korábban a Debreceni Egyetem GYGYK Karán tanító egyik oktatóval való konzultációnk alatt jött elő a probléma, hogy nem tudja bemutatni az intellektuális képességzavarban érintett gyermekek szemmozgását a hallgatóknak, annak ellenére, hogy például egy autizmussal élő gyermeknek a fejlesztésében a tekintet iránya nagyon sokat számít. Így jött az ötlet, hogy a kinyert, feldolgozott adatokat átültetjük egy 3D nyomtatott szembe, amellyel tökéletesen lehet reprezentálni a szemmozgást.

A 3D nyomtatott szemet mi modelleztük le, és az Egyetem falai között nyomtattuk ki. A szem mozgatásáért 6 szervómotor felel, amelyeket egy Raspberry Pi 4 irányít, és amin az általuk megírt Python kód fut. A szem képes X, Y tengelyen forogni, pislogni és kacsintani is, viszont még nem tökéletes. A szem jelenleg csak egy prototípus, és még számos változtatást fogunk végezni annak érdekében, hogy egy precíz, kifinomult műszer legyen.

Kutatási kérdések

- Van-e különbség a sajátos nevelési igényű és a tipikus fejlődésmentű emberek szemmozgása között?
- Segíthet-e a szemmozgás felmérése a diagnosztikában?

Célkitűzések

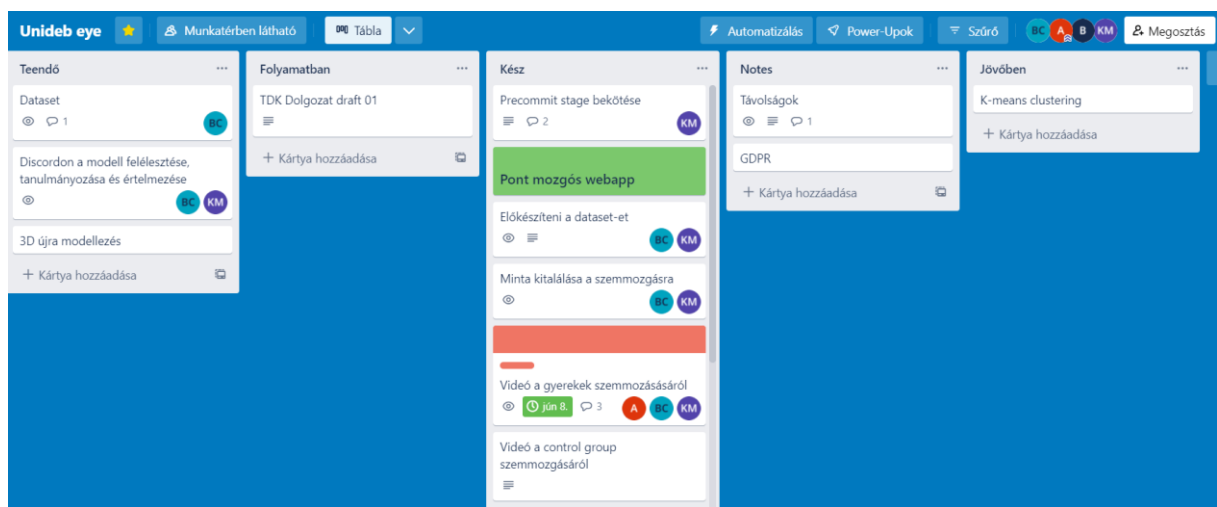
Az általunk létrehozott rendszer készítése során a következő célokat tűztük ki magunknak:

- A hardver és szoftver továbbfejlesztése
- Egy pontos, megbízható rendszer létrehozása a lehető legkisebb hibahatárral
- Minél szélesebb körű felhasználhatóság
- Az adatok biztonságos tárolása
- A nyomtatott szem mozgásának lehető legrealisabb kivitelezése
- Egy valós problémára nyújtott megoldás
- A lehető legkorszerűbb technológiák használata, hogy sokkal tovább felhasználható lehessen a rendszerünk
- Az intellektuális képességzavarban érintett emberekre való figyelemfelhívás
- Skálázhatóság

Megvalósítás

Tervezés

A projekt tervezése és kivitelezése egy kislétszámú Scrum-ban történt. Mivel a kutatásunk folyamatosan bővült, ezért nem volt jó a hagyományos projekttervezési forma. A Scrum keretrendszer előnye pedig az, hogy képes lekövetni a permanensen változó projekteket. A folyamatok vizualizálására egy Kanban stílusú listakészítő alkalmazást használtunk, a Trello-t. Azért erre a programra esett a választásunk, mivel könnyen kezelhető, ingyenes és az egyik legtestreszabhatóbb listakészítő alkalmazás.



1. ábra: A projektünk Trello munkatere

Szoftver

Magát a szoftvert több nyelvben, több implementációban is elkészítettük, többek között C++ (opencv), Python OpencCV, dlib könyvtárak segítségével. Ezek nem bizonyultak elég pontosnak vagy éppenséggel elég gyorsnak. A programkód gyártása közben több feltételnek is meg kellett és meg szerettünk volna felelni. Ezek közül az egyik - és a legkritikusabb - a minél kisebb hibahatár tartása volt annak érdekében, hogy minél több használható adatot és minél pontosabb adathalmazt tudjunk kinyerni egy adott tesztanyagból (például webkamera input vagy videó input).

Ügyelnünk kellett arra is, hogy a programunk minél optimálisabban fusson, azaz minél több FPS-el tudjuk futtatni a képfeldolgozást. Másodpercenként körülbelül 2000 adatot tudunk kinyerni a jelenlegi programunkkal, ami ~150 FPS-en fut, ellentétben az előző verzióinkkal, melyek ~20 FPS-en futottak (ezek az adatok az előre felvett videók esetében értendők). Azoknál a verzióknál az adatkinyerés szignifikánsan lecsökkent, sőt még a kinyert adatokból is lényegesen kevesebb volt használható. Ezért nagyon sok időt eltöltöttünk a kód és a hardver optimalizációjával. Ezek a lépések előkészítették a szoftvert arra, hogy a jövőben skálázható legyen, és akár valós idejű képfeldolgozást is tudjunk elvégezni, amely újabb kapukat nyithat meg előttünk.

C++

Amikor C++-ban írtuk meg a kódot, akkor a sebességgel voltak a fő problémáink. Mivel a terveink között van az is, hogy a szoftver képes legyen valós idejű adatfeldolgozásra is, ezért nem engedhettük meg magunknak azt, hogy csupán 10-15 FPS-t tudjon maximálisan feldolgozni a programunk. Ez ahhoz vezetett ugyanis, hogy sokkal kevesebb adatot tudtunk összegyűjteni egy alanytól, mely ellehetetlenítette azt, hogy utána megfelelőképpen megtisztítsuk az irreleváns, kiugró adatoktól a kapott koordináta halmazt, vagyis egy hiányos, rossz adathalmazt kaptunk eredményként. A C++-ban megírt kódunkat próbáltuk meg elsőnek optimalizálni, viszont egy idő után már csak rontottunk a helyzeten, mivel egyre komplexebb és olvashatatlanabb kódot kaptunk.

A sebesség mellett az adatmanipuláció volt a másik komoly problémák C++-ban, és innen eredt valószínűleg a sebességgel kapcsolatos problémánk is, mivel „bottleneck” alakult ki a gép és a kamera közti adatátvitel során. A maximális FPS, amit el tudtunk érni ezzel a módszerrel, a 19 volt.

C++-ban OpenCV-vel (Open Source Computer Vision Library) dolgoztunk, amely magában egy nagyon hatékony, több száz képfeldolgozó algoritmust tartalmazó library. A használata könnyű, mind szintaktikailag, mind szemantikailag. Ennek ellenére a fejlesztés során komoly problémákba ütköztünk.

Az OpenCV nem volt képes elszeparálni a szemöldököt a kimaszkolt arcból, ez azt jelentette számunkra, hogy a pislogást nem tudtuk mérni, amely adatkieséshez vezetett.

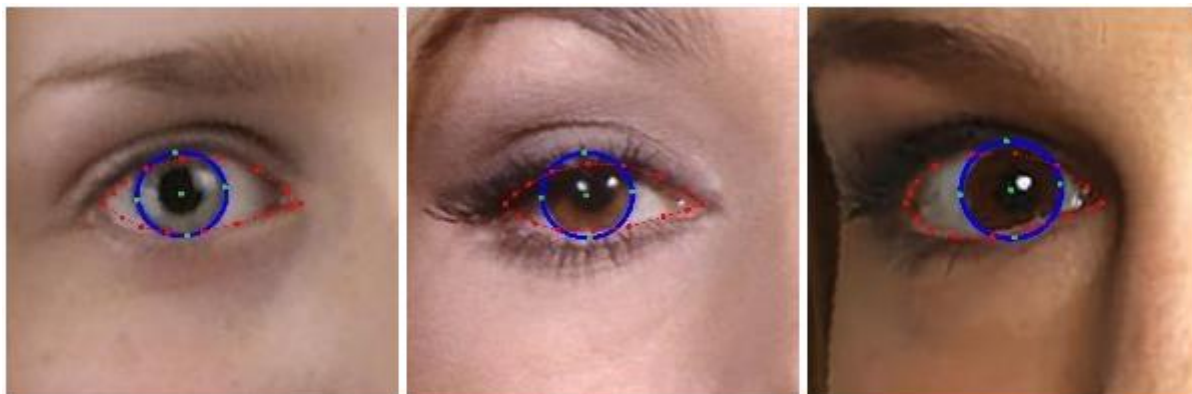
A probléma megoldása érdekében gondoltunk arra, hogy manuálisan fogjuk kinyerni a szemhéj adatait, viszont ezt nagyon amatőr megoldásnak tartottuk. A pislogásnak nagy szerepe van egy ember arcminikájában, ezért nagyon sok levonható konklúziótól estünk volna el a kész adatok során. Emellett a hardverre átültetett adatok között sem lett volna pislogás, ami ahhoz vezetett volna, hogy vagy manuálisan „pislogtatjuk” meg a szemet, vagy abszolút nem is pislogott volna. Egyik kimenet sem volt elfogadható.

További problémánk a nyelvvel, a hardverrel való összehangoltság volt. A Raspberry Pi jobban kezeli a Python nyelvet, mint a C++-t, ami alapból nem lett volna kizáró tényező, viszont ahhoz, hogy a képfeldolgozást a jövőben el tudjuk végezni magán a hardveren, muszáj volt elállnunk a C++ mellől. A körülbelül 6 hónapból, amit a szoftver fejlesztésére áldoztunk, nagyjából 3 hónapot azzal töltöttünk, hogy megpróbáltuk életre kelteni a létező C++ kódunkat. Az egyik vízválasztó megbeszélésünk során döntöttünk úgy, hogy nyelvet kell váltanunk a sikeres cél elérése érdekében. Ekkor jött a Python, amellyel kapcsolatban mindkettőnknek több tapasztalata volt.

Python

Az első Pythonban megírt verzióinkban OpenCV-t használtunk. A kód megírásához a dokumentációt használtuk fel [1]. A problémák hasonlóak voltak a C++-ban előkerült hibákkal. Ez a verzió már gyorsabban futott, körülbelül 30-50 FPS-t tudtuk elérni számítógépről. Ennek a változatnak az volt a sajátossága, hogy ezt a kódot próbáltuk ki elsőnek a hardveren. A Raspberry Pi el tudta futtatni a képfeldolgozást stabilan, de lassan. A kinyert adatok viszont itt már elérték a másodpercenkénti 750 adatot.

Mediapipe



2. ábra: Íriszre helyezett kontúrponatok

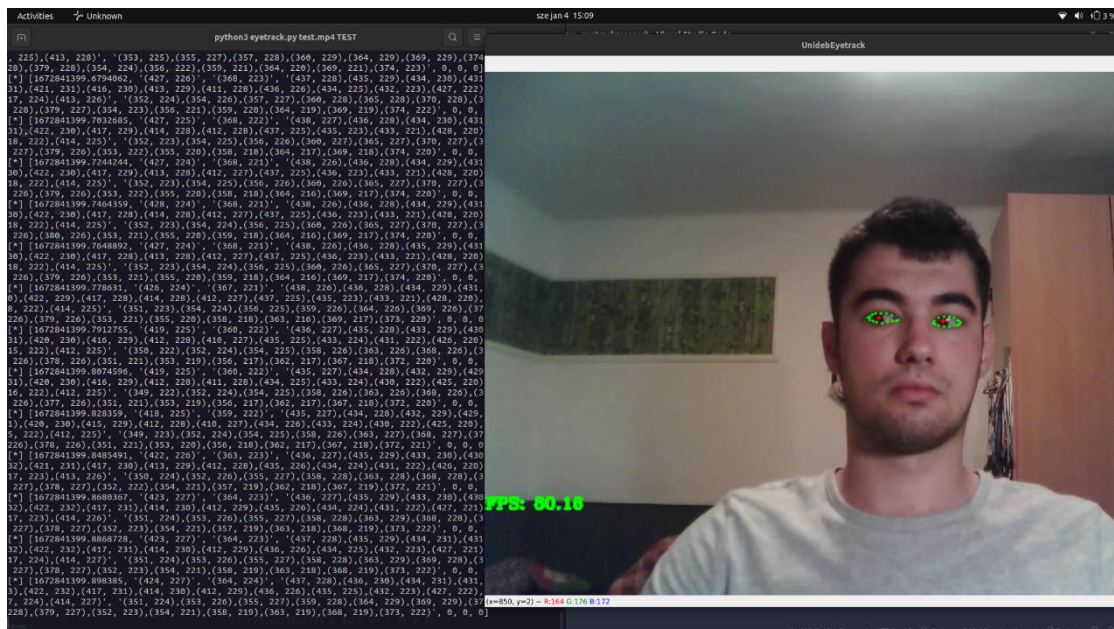
A szoftver jelenlegi verziójának kidolgozásához MediaPipe Iris Detection-t használtunk, amely a Google által fejlesztett, írisz alapú azonosításra használható nyílt forráskódú rendszer. Az írisz alapú azonosítás a szem íriszének, vagyis a szem körüli színkörnek a felismerésére alapul, és azt az emberi szem egyedülálló tulajdonságaként használja fel azonosításhoz.

A MediaPipe Iris Detection rendszer egy képfelismerő algoritmus, amely képes megbízhatóan azonosítani az ember íriszét még olyan körülmények között is, amikor a szem nincs teljesen nyitva, vagy ha árnyékolva van. A rendszer képes kezelni a különböző fényviszonyokat és a szemmozgásokat is, így képes megbízható eredményeket produkálni a valós életben. Az alanyok arcára 468 arckontúrponatot helyez a program, és ezek alapján számolja ki az arc pontos pozícióját.

A MediaPipe Iris Detection rendszer elsődlegesen olyan alkalmazásokban használható, ahol az emberek azonosítása fontos szempont, például biztonsági rendszerekben, online hitelesítési folyamatokban, vagy kézi állomásokon történő azonosításban. A rendszer képes működni számítógépeken, okostelefonokon és más eszközökön is, így széles körben alkalmazható.

Természetesen a MediaPipe Iris Detection rendszer nem tökéletes, és vannak olyan körülmények, amikor nehézségekbe ütközhet az alkalmazása. Például, ha a szem írisze túl kicsi, túl nagy, vagy túl sötét a képen, akkor ez nehézséget okozhat a rendszernek a felismerésben. Emellett a szemüveg viselése is akadályt jelenthet a rendszernek, mivel a szemüveg általában eltakarja az íriszt.

A MediaPipe Iris Detection rendszer fejlesztése folyamatos, és a Google folyamatosan dolgozik a rendszer továbbfejlesztésén és a hibák kijavításán, hogy még megbízhatóbbá tegyék azt. Emellett a Google folyamatosan új funkciókat is fejleszt a rendszerbe, hogy még többféle alkalmazásban használhatóvá tegyék azt.



3. ábra: Képernyőkép a program futása közben

Felhasználói dokumentáció

Fontos kiemelni, hogy mindkét futtatási forma előtt le kell futtatni a setup.sh nevű szkriptfájlt. Ez telepíti számunkra az összes olyan könyvtárat, amelyekre szükségünk lesz a program futtatásához. (A telepítési szkript Linux operációsrendszerhez készült.)

Élővideó esetén

A gyökérmappában található egy futtatható állomány „start” névvel, ez indítja el a programot. A futtatás előtt fontos, hogy engedélyezzük a webkamera hozzáférést. Erre külső kamera esetén (USB-vel csatlakoztatott) nincs szükség. Laptop esetén a FN+F6 (ez márkától és típustól függően eltérhet) gombok kombinációját kell lenyomni.

A kamera aktiválása után futtassuk a programot. A futtatás után egy fekete ablakot, majd a kameránk képét kell, hogy lássuk. Ha ideális a megvilágítás, és a kamera tisztán rálát az arcra, akkor a visszakapott videón láthatjuk a bizonyos maszkolásokat, pontokat és az FPS-t is. Ilyenkor a szoftver folyamatosan végzi a mérést. Amint megnyomjuk az ESC gombot, a

program bezár, és a Dokumentumok mappába elmenti az adott időszak során felmért adatokat.

Előre felvett videó esetén

Itt a programkódot kell módosítani. Az „eyetrack.py” nevű Python fájlban a 24 sorban található „videoPath” nevű változónak kell megadni, hogy hol található a videónk, amelyből ki akarjuk olvasni az adatokat. A 25. sorban található „candidate_name” nevű változónak, pedig megadjuk az alanyunk azonosítóját. Ezután futtatjuk a programot. Az eredményt a Dokumentumok mappába menti a program egy CSV fájlba, majd ezt ki is írja a konzolra.

```
videoPath = sys.argv[1]
candidate_name = sys.argv[2]
pins = getServoPINS()

f = open("../dump/" + candidate_name + ".csv", "w")
csvw = csv.writer(f, delimiter=";")
csvw.writerow(["Time", "Lefteye Center", "Righteye Center", "Lefteyelid Points", "Righteyelid Points", "Blinked", "Lefteye Blink", "Righteye Blink"])

drawing_spec = mp_drawing.DrawingSpec(thickness=1, circle_radius=1)
cap = cv2.VideoCapture(videoPath)
```

4. ábra: Kódrészlet

(A képen látható kódrészlet működése eltérhet a dokumentációban leírtaktól)

CSV fájl

Time	Lefteye Center				Righteye Center			
 16 (847	351)	(711	355)	(878	350)	(874	354)	
 16 (848	351)	(711	355)	(878	351)	(874	355)	
 16 (848	352)	(711	360)	(879	352)	(874	355)	
 16 (849	353)	(712	362)	(879	353)	(874	356)	
 16 (849	354)	(712	363)	(880	354)	(875	357)	
 16 (849	355)	(712	364)	(880	356)	(875	359)	
 16 (848	356)	(713	364)	(880	356)	(875	360)	
 16 (848	357)	(713	365)	(879	357)	(875	361)	
 16 (848	359)	(712	366)	(879	358)	(875	362)	
 16 (847	359)	(713	367)	(879	359)	(874	362)	
 16 (847	360)	(713	367)	(879	359)	(874	363)	
 16 (847	360)	(713	368)	(879	360)	(874	363)	
 16 (848	360)	(714	365)	(879	360)	(874	363)	
 16 (850	360)	(716	368)	(879	360)	(874	364)	
 16 (851	359)	(718	367)	(880	358)	(875	362)	
 16 (852	359)	(719	368)	(881	359)	(877	363)	
 16 (853	359)	(721	367)	(883	358)	(878	363)	
 16 (854	358)	(722	368)	(884	358)	(879	362)	
 16 (855	357)	(722	367)	(884	357)	(880	362)	

5. ábra: A kinyert CSV fájl részlete

A kapott eredményeket egy CSV fájlba kaptuk vissza a programtól, ahol átlagban 180 000 adatot tároltunk el alanyonként. A pontos időbélyegek cenzúrázásra kerültek az alany anonimitásának megtartása érdekében. Az cenzúrázatlan rész a másodpercet jelenti.

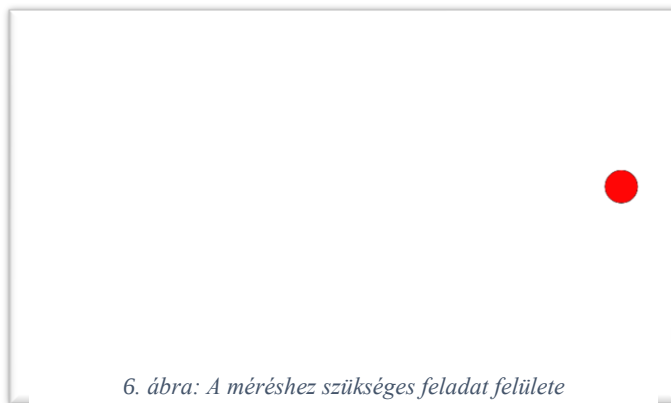
A CSV fájlban a fő kategóriák:

- Time: Az adatrögzítés időpontja
- Lefeye Center: A bal pupilla pontos pozíciója (x, y)
- Righteye Center: A jobb pupilla pontos pozíciója (x, y)
- Lefteyelid Points: A bal szemhéj pozíciója (x, y)
- Righteyelid Points: A jobb szemhéj pozíciója (x, y)
- Blinked: True, ha az alany pislogott
- Lefteye Blink: True, ha az alany a bal szemével pislogott (vagy nem érzékelte a szoftver a pupillát)
- Righteye Blink: True, ha az alany a jobb szemével pislogott (vagy nem érzékelte a szoftver a pupillát)

A Lefteye, Righteye Blink azért került bele, hogy az adattisztítás folyamatát le tudjuk egyszerűsíteni. Ha mind a Righteye, Lefteye -Blink és a Blinked is True-val tér vissza, akkor feltételezhetjük, hogy az adat, amit kaptunk az valós.

Feladat

A feladatban az alanyoknak egy piros pontot kellett követniük kizárólag a szemükkel, a lehető legkevesebb fejmozgással. A megnyitás után egy „KEZDÉS” gombot láthatunk, amire rányomva egy 3 másodperces visszaszámláló indul el. Ezután a képernyő bizonyos pontjain,

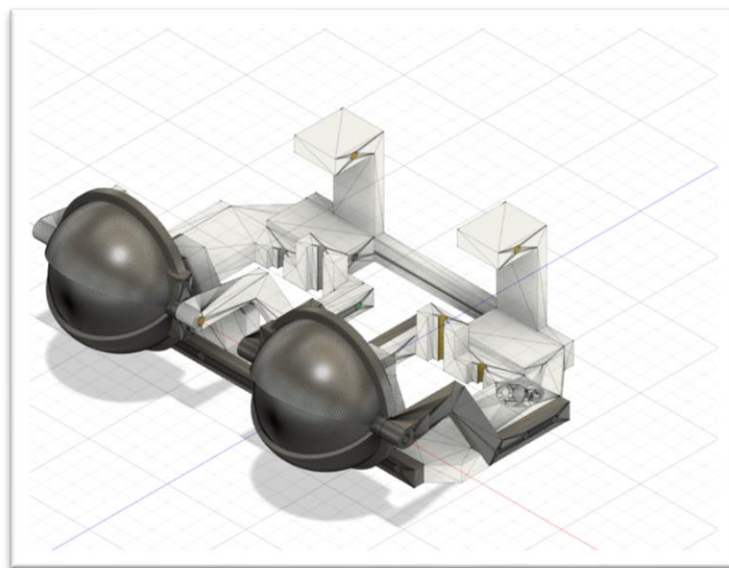


6. ábra: A méréshez szükséges feladat felülete

lehetőleg úgy, hogy messze legyenek egymástól az egymást követő pontok, annak érdekében, hogy a kinyert adataink minél tisztábbak legyenek, piros körök jelennek meg. A kör 2 másodpercig látható, ezután eltűnik és 0.3 másodperc után egy másik helyen újra feltűnik. A feladat színeit, sebességét, a körök nagyságát mind gyógypedagógusokkal közösen terveztük meg, annak érdekében, hogy az alanyoknak minél barátságosabb legyen a felület. A hirtelen villogásokat is megpróbáltuk elkerülni, annak érdekében, hogy ne okozzon epilepsziás rohamot. A feladatot 2 gyógypedagógus tesztelte le, és hagyta jóvá. A webapplikáció elkészítéséhez HTML-t és JavaScript-et használtunk.

A tesztelés alatt az alanyok 229 cm-re ültek a kivetítőtől, a kivetítőn a kör átmérője 9,4 cm volt, azaz a gyengén látó alanyok is el tudták végezni a feladatot.

Hardver

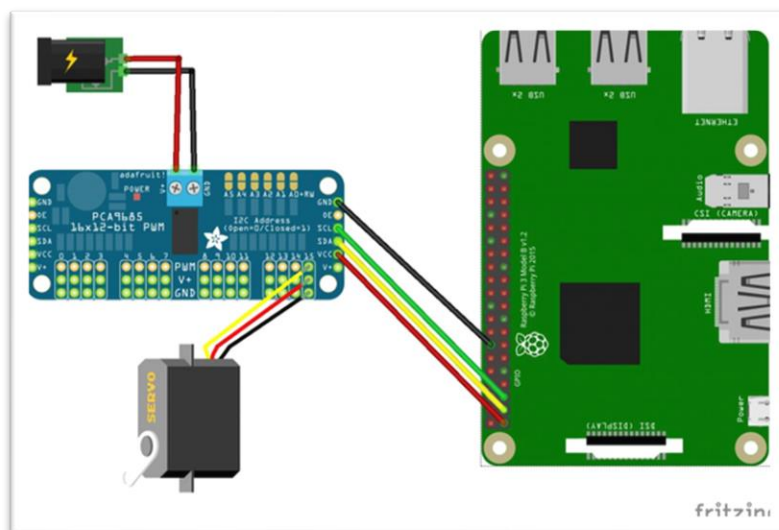


7. ábra: Modell a szemről, amely Fusion360-ban készült

A hardverünk közel sem tökéletes, és a jelenlegi állás szerint csak a teszteléseket végeztük el rajta. A jövőben tervezzük a modell újratervezését, újra nyomtatását. A jelenlegi prototípusunk kizárólag azért született meg, hogy tanuljunk a hibáinkból. Az elsőként kinyomtatott modellünk használhatatlan lett, mivel a nyomtatót nem jól állítottuk be. A

második nyomtatásnál csak pár darabot kellett újra nyomtatni. Miután összeszereltük a vázat, felszereltük a 8 szervómotort. Összeköttöttük a szervómotorokat a Raspberry Pi-al és ráengedtünk egy tesztкодot. Ez azonnal kiégetett egy motort. Hosszas próbálkozás és több tíz újranyomtatott alkatrész után „életre keltettük” a szemet.

Maga a váz PETG filamentből került kinyomtatásra az egyetem falai között. Klasszikus modell szervókat használtunk, melyeket egy Raspberry Pi 4 irányít. A Raspberry képes elvégezni a képfeldolgozást, azaz nincs szükség se laptopra, se szerverre az adatok feldolgozásához. A videó inputot egyenesen tudja venni a kamerából, amit a hozzá tudunk kötni egyenesen a PCB-hez. Ez egy 8 megapixeles kamera, amely képes 3280x2464-es állókép felbontásra vagy 720p-ben 60fps-en rögzíteni.



8. ábra: PCA9685 összekötése a Raspberry Pi-vel

A szervómotorokat egy PCA9685 Shield-del kötöttük össze a Raspberry Pi-al, ezzel is elősegítve a skálázhatóságot, mivel így technikailag végtelen. Az elektronika megtervezéséhez a Fritzing programot használtuk. A Raspberry Pi összeszereléséhez a dokumentációt használtuk. [7]

Felmérés

Szerződés

Szülői hozzájáruló nyilatkozat

Alulírott...../szülő törvényes képviselő/
hozzájárulok, hogy.....nevű gyermekem
Szül.hely.idő.....anyja neve:
lakcíme.....

A Debreceni Egyetem Informatika Karának Szemmozgást vizsgáló
kutatásában részt vegyen.

Kelt:

.....
szülő, törvényes képviselő

9. ábra: A szülői beleegyező nyilatkozat

A felmérés elvégzéséhez szükségünk volt egy szülők által kitöltött nyilatkozatra, amelyet a Debreceni Bárczi Gusztáv Egységes Gyógypedagógiai Módszertani Intézmény közreműködésével tudtunk megvalósítani.

Debreceni Bárczi Gusztáv Egységes Gyógypedagógiai Módszertani Intézmény

A kutatás eddigi legnehezebb része volt alanyokat találni, mivel nem sok fogyatékkal élő fiatalokat ellátó intézmény támogatja az ilyen tevékenységeket. Gyapjasné Ferenczi Edit a Debreceni Bárczi Gusztáv Egységes Gyógypedagógiai Módszertani Intézmény munkatársa érdeklődést mutatott a kutatásunk iránt, és ő maga is segített a projekt

megtervezésében. Számos találkozó alkalmával megbeszéltük a részleteket, kidolgoztuk a felmérés menetét, valamint minden fontos instrukciót megkaptunk, hogy mikre kell kifejezett figyelmet fordítanunk. Jogi tanácsadást kértünk, hogy milyen szerződéseket kell kössünk az intézménnyel és a szülőkkel, annak érdekében, hogy a folyamat jogilag is teljesen helytálló legyen. Kötöttünk egy szerződést az intézménnyel, ezután pedig kiküldtük a beleegyező nyilatkozatokat az szülőknek. 28 főből 28 fő egyezett bele a gyermeke kutatásban való részvételéhez.

Debreceni Református Kollégium Gimnáziuma

A kutatásunkhoz kellett egy kontrol csoport is annak érdekében, hogy a megkapott értékeket össze tudjuk hasonlítani. A Debreceni Bárczi Gusztáv Egységes Gyógypedagógiai Módszertani Intézményben 14-24 éves korú fiatalokat mértünk fel, ezért megpróbáltunk a kontrol csoportban is hasonló korú alanyokat felmérni. A Debreceni Református Kollégium Gimnáziuma, ebben nagy segítséget nyújtott, mivel amikor felkerestük a vezetőséget, és elmondtuk, hogy milyen kutatást folytatunk, nagyon segítőkészek voltak. A felméréshez biztosították a technológiát és a megfelelő helyet is.

A szerződés megkötése után kiosztottuk az alanyoknak a beleegyező nyilatkozatot, mindenki kapott egy azonosítót és megtartottuk a tájékoztatást arról, hogy miről szól a kutatás, hogyan fogjuk használni az adataikat. Az összes alany beleegyezett a részvételbe, egy héten belül pedig megkaptuk a szülők által aláírt beleegyező nyilatkozatot is, melyeket az intézmény tárol. 24 főből 24 fő szülője egyezett bele a gyermeke kutatásban való részvételéhez. 4 nagykorú főből, 4 fő egyezett bele a kutatásban való részvételbe.

Adatkezelés

A beleegyező nyilatkozatokkal együtt kiadtunk egy tájékoztatót az adatkezeléssel kapcsolatos tudnivalókról, amiben kimondtuk, hogy a felvett videókból az arcot egyből kimaszkoljuk úgy, hogy az alany felismerhetetlen legyen, az adatok kinyerése után a videót pedig megsemmisítjük. Az azonosítás ettől a ponttól fogva id.(int)-kkal történt úgy, hogy az alany az id. alapján ne lehessen beazonosítható, ezzel eleget téve az adatkezeléssel kapcsolatos törvényeknek, etikai normáknak.

Ugyanakkor a diagnózisok eltárolása is fontos volt számunkra, hogy azok se legyenek beazonosíthatóak, ezért azokat is egyéni azonosítóval láttuk el, melyet csak a kutatásban résztvevő személyek ismernek, ezzel is tovább erősítve az alanyok anonimitását.

id	kor	diag_id	group_bool	note
10	15	3		
11	17	2	-	
12	16	2		
13	15	2	-	x1
14	20	1		
15	17	1		
16	14	1	-	*

10. ábra: Az anonim adatok

Az adatokat egy Excel fájlban vezettük, amely tartalmazta az azonosítót, a kort és a diagnózis azonosítóját, az alany szakvéleményre történt csoportba helyezését és egy jegyzet oszlopot, ahol az adatfelmérés során megjelenő problémákat rögzítettük. (pl.: „x1” azt jelenti, hogy csak egyszer végezte el az alany a feladatot, a „*” a használhatatlan adatot jelenti [zárt szem, fókuszvesztés, nem értette meg a feladatot]). A táblázatban színkódolást is alkalmaztunk (zöld: 100% használható adat, sárga: ellenőrzést igényel, piros: használhatatlan adat, szürke: kontrol csoport). A képen egy példa adatbázis látható, a megjelenő azonosítók nem valósak.

GDPR

„Az adatvédelem nem statikus, hanem dinamikus követelmény.”

(Dr. Szalai Anita) [8]

A kutatás alatt meg kellett ismerkednünk a GDPR-t (General Data Protection), azaz az általános adatvédelmi rendeletet kielégítő adattárolási módszerekkel és szabályokkal. A törvényt 2016 áprilisában rendelte el az Európai Unió, melynek lényege a természetes személyek adatainak védelme. Mivel itt szenzitív információkat kell tárolnunk az alanyokról, biztosítanunk kellett, hogy ne lehessenek beazonosíthatóak a felmérésben szereplő személyek. Annak érdekében, hogy a kutatásunk skálázható lehessen, az adatvédelmet nagyon komolyan kellett vennünk, és követni a 7 alapelvet, amelyet a GDPR megfogalmaz.

A felmérés menete

Debreceni Bárczi Gusztáv Egységes Gyógypedagógiai Módszertani Intézmény

A felmérés napján megérkeztünk a helyszínre hárman, ahol rövid várakozás után fogadtak és bekísértek a terembe, ahol felállítottuk a felszerelést. A videók rögzítésére egy Panasonic LUMIX DMC-G80-t és egy Samsung S20 FE-t használtunk. Ezek az eszközök egy előre kimért távolságban voltak elhelyezve. A kamera és az alany között pontosan 145 cm volt, a kamera és a kivetített kép között pedig 84 cm. Az alanyok 229 cm-re ültek a kivetített területtől, a kamera pedig minden alkalommal az alanyok szemmagasságához lett igazítva.

Miután felállítottuk a technikát, átbeszéltük ismételten az ott dolgozókkal, hogy mi fog történni, tájékoztatást nyújtottunk az adatvédelmünkről, elmagyaráztuk, hogy mire fogjuk használni ezeket az adatokat, válaszoltunk a kérdésekre és miután mindent tisztáztunk leteszteltük a rendszert. Helyben felvettünk magunkról egy tesztanyagot, amelyre ráengedtük a szemkövető programot, és miután mindent megfelelőnek találtunk, elkezdtük az alanyok behívását. Belépéskor mindenkit üdvözlöttünk, majd megkértük őket, hogy foglaljanak helyet a kikészített széken. Könnyen érthető kommunikációval elmagyaráztuk, hogy mi lesz a feladatuk, hogyan fog zajlani a vizsgálat. Megkértük őket, hogy a fejüket próbálják meg egyáltalán nem mozgatni, csak a szemükkel követni a pontok mozgását. Eredetileg mindenkivel kétszer szeretnénk volna felvenni a vizsgálatot, azonban voltak olyan személyek, akik a fejüket véletlenül megmozdították vagy kényszeres mozgásuk miatt nem úgy sikerült az első két felvétel, ahogy mi szeretnénk volna, ezért ezekkel a személyekkel még legalább egyszer vagy kétszer felvettük a vizsgálatot.

A felmérés egész ideje alatt egy az intézményben dolgozó gyógypedagógus és egy gyógypedagógus hallgató felügyelte a sajátos nevelési igényű tanulókat. Jegyzeteket készítettek és a fiatalok szakvéleménye alapján felállították a kategóriákat, melyeket később használtunk fel. Emellett számos olyan megfigyelést tettek a felmérés során, amelyeket később részletezünk.

A felmérés körülbelül 3 órát vett igénybe. Amíg a tanulók ebédszüneten voltak, addig mi megismerkedtünk az intézményben folyó munkával. Megmutatták az ott dolgozók, hogy mivel töltik a tanulók a mindennapjaikat. Sok terembe belépve nagy mosollyal fogadtak minket a tanulók és büszkén mutatták be a saját maguk által készített papírtalakat, szőtt szőnyeget és még számos más tárgyat. Belátást kaptunk az oktatásukba, valamint az ott tanulók mindennapjaiba.

Miután végeztünk a felméréssel, összepakoltuk a technikát, megköszöntük a lehetőséget, és távoztunk az intézményből.

Debreceni Református Kollégium Gimnáziuma

A kollégiumba érkezve köszöntöttek minket a nevelők és megmutatták a termet, ahol elvégezhetjük a felmérést. A technika felállítása hasonló módon történt, mint az előző intézményben. Miután lemértük a távolságokat és beállítottunk mindent, behívtuk az alanyokat. Megtartottuk a tájékoztatót, kiosztottuk az adatkezelésről szóló nyilatkozatot, válaszoltunk a kérdésekre és megkezdjük a felmérést.

A diákok felmérése alatt minden egyes alanytól megkérdeztük, hogy van-e ismert fókuszproblémája vagy valami befolyásolhatja-e a szeme fókuszvesztését. Ezeket az információkat feljegyeztük annak érdekében, hogy az adatfeldolgozásnál nehogy hibás értéként kezeljük. A felmérést két kollégiumi nevelő felügyelte. Az egész procedura körülbelül két órát vett igénybe.

Gyógypedagógiai rész

Felmérések kiértékelése

Az adatok alapján arra tudunk következtetni, hogy a sajátos nevelési igényű (innentől SNI) tanulóknál az adott korcsoportban (14-25) az eltérés szignifikáns. Az adatok 15-20%-os eltérést mutattak számos területen. Az alábbi táblázatban foglaltuk össze az eltérő adatokat. Az A, B, C csoport az SNI-s tanulókat foglalja magában. A csoportosítást később részletezzük. A vizsgált adatok olyan néven szerepelnek a táblázatban, ahogy a CSV fájlban.

Vizsgált adat	Kontroll-csoport összesített adatai	A, B, C vizsgált csoportok összesített adatai	Eltérés %-ban
1) Lefteye Center – Righteye Center eltérés (Szentengelyferdülésre utalhat)	9%	38%	29%
2) Reakcióidő a minta változásakor	0,23413 mp	0,44113 mp	47,03%
3) Blinked	~21/perc	~16/perc	~23,81%
4) Használhatatlan adatok %-ban	8%	21%	13%

11. ábra: Kiértékelés táblázatos reprezentációja

- 1) Lefteye Center – Righteye Center eltérés (Szentengelyferdülésre utalhat)
 - Az értékek a bal és a jobb retina helyére vonatkoznak. Ha a retinák „párhuzamosan” helyezkednek el a két szemben, akkor az értékük megegyezik. Az eltéréseket a két érték különbségéből tudtuk megállapítani.

- Az értékek úgy lettek kiszámítva, hogy a feladat elején az origóba kellett fókuszálniuk az alanyoknak, így meg tudtuk nézni az eltérést a „normális” értéktől. Ha az alany szemüveges volt, a felmérést elvégeztük szemüveggel és anélkül is.
- Ezek az adatok utalhatnak astigmatism-ra, azaz szemtengelyferdülésre is.

2) Reakcióidő a minta változásakor

- A két szempozíció változás közötti időt mértük és átlagoltuk le. Az A, B, C csoportnál ez további munkát igényelt, mivel az alanyok közül voltak olyanok, akik idő előtt elnéztek a pontról, ezzel megbízhatatlan adatokat generáltak. Ezek kiszűrésére létrehoztunk egy hibahatárt és az azon túllépő rekordokat kiszűrtük.

3) Blinked

- A CSV fájl-ban a Blinked oszlopban már a korábban megtisztított rekordokat értékeltük ki (az adattisztításról részletesebben a „CSV FÁJL” részben olvashatnak). Ezeket az adatokat azért mértük, hogy ki tudjuk mutatni, hogy van-e különbség egy SNI-s és egy tipikus fejlődésmenetű alany között.

4) Használhatatlan adatok %-ban

- Ide azok az adatok kerültek, amelyek az adattisztítás után is használhatatlanok vagy nagyon kiugróak voltak. Ezekhez az adatokhoz nagyban hozzájárult az alanyok viselkedése is. Ha az alany elnézett a felmérés közben, akkor ott fals értékeket kaptunk vissza. Ez az A, B, C csoportnál jóval több esetben fordult elő. Itt szűrtük a szemüvegeseket, mivel a fényvisszaverődés miatt több pontatlan adat is született. Ezeket a rekordokat nem vettük figyelembe, mivel a szemüveg nélkül felvett mintákon az értékek helyesek voltak. A megjelenő % a valóban használhatatlan/pontatlan adatokra értelmezendő.

A statisztikai elemzéseket a jövőben tervezzük finomítani és még több szempontól megvizsgálni az adatokat.

Csoportosítások

A csoportosításokat a gyógypedagógusokkal közösen végeztük el a felmérés alatt. Az intellektuális képességszavarban való érintettségük alapján kerültek csoportosításra az alanyok. Az „A” csoportba az enyhén érintettek, a „C” csoportba pedig a súlyosan érintettek kerültek.

A csoportosításokat azért végeztük el, mivel terveztünk egy szortírozó algoritmust írni (K-Means clustering), ami kifejezetten a mért adatok alapján ki tudja szűrni, hogy melyik alanyunk kontroll és melyik nem. Viszont számos problémánk akadt az algoritmus megírásával, ezért azt a későbbiekre halasztottuk.

Feljegyzések a felmérés alatt

Mint már korábban említettük, a gyógypedagógusok a felmérés alatt jegyzeteket készítettek, amelyekben számos olyan észrevételt leírtak, amelyek a későbbiekben a projekt továbbfejlesztésében segíthetnek. Ilyen például, hogy a későbbiekben a felmérést egy sokkal nyugodtabb, letisztultabb környezetben kellene kivitelezni. Ez sokat segítené abban, hogy kiszűrjük a zavaró tényezőket a környezetükből, ezáltal jobban tudnának koncentrálni a feladathelyzetre és valószínűsíthető lenne, hogy jobb és pontosabb eredményeket tudnánk elérni a vizsgálaton. Ezt az állítást alátámasztja számos könyv és kutatás, mint például a „ Akadálymentes környezet Autizmussal élő gyermekek vizuális támogatása” [6] című kiadvány. Ezen kívül a feljegyzések között olyan témák is megjelennek, amelyekről még nagyon kevés vagy akár semmilyen feljegyzést, kutatást nem lehet találni. Az egyik ilyen a Down szindrómás alanyok esetén a pillanatnyi fókuszvesztés volt. A Down szindrómás alanyok a feladat elvégzése közben negyedmásodpercekre elvesztették a figyelmet, aztán felszólítás nélkül folytatták a feladatot. Ezt kizárólag a Down szindrómás alanyoknál figyeltük meg.

Összefoglalás

Összességében a kutatásunk sikeresnek nevezhető. Az adatokból következtethetünk arra, hogy a szemmozgás eltérése szignifikáns SNI-s és tipikus fejlődésmentű emberek között. A kutatás elején feltett kérdésekre választ kaptunk, emellett egy olyan terméket generáltunk, amely elősegítheti a jövőben a sajátos nevelési igényű emberek fejlesztését, és még a diagnózis felállításban is segíthet. A rendszerünk egy olyan valós problémára nyújthat megoldást, amely elősegítheti az orvosok, pedagógusok, gyógypedagógusok munkáját.

A projekt alatt számos kutatás volt segítségünkre, viszont kiemelkedően sokat segített Dr. Győri Miklós kutatása [3].

A szoftver és a hardver elkészítése alatt számos technológia használatával ismerkedtünk meg, amely a jövőben előnyünkre válhat. Emellett megtanultunk Scrum-ban dolgozni, melyet számos cég alkalmaz keretrendszerként. A kutatás elkészítése közben megannyi tudományos cikket elolvastunk, melyekből nagyon sok mindent tanultunk, mind a gyógypedagógiai, mind az informatika területén.

A kiindulási alapot messze túlszárnyaló teljesítményt tudtunk produkálni. A szoftverünk hibahatárát a tervezett maximum 5%-ról minimalizáltuk 2,5-3%-ra, ezzel sokkal pontosabb adatokat tudtunk generálni. Kipróbáltunk sok nyelvet, azon belül több különböző technológiát.

A legbüszkébbek azonban az elért képfeldolgozási sebességre vagyunk. A kiinduláskor a maximum 30 FPS-t értük el, amely kevesebb mint az egynegyede annak az FPS számnak, amit most el tudunk érni. Ez egy hatalmas előrelépés volt, mivel minél több FPS, annál több adat.

A kód írása közben törekedtünk arra, hogy olyan stílusban dolgozzunk, mintha egy cégnél lennénk. Kisebb dokumentációkat készítettünk a kódról egymásnak, verziókezelést (Github) alkalmaztunk, érthető, kisebb részekre tagoltuk a kódokat és számos kommentet használtunk.

A felmérések jelentős szervezést igényeltek, számtalan megbeszélés zajlott le a gyógypedagógusokkal, intézményekkel, viszont nagyon megérte a rááldozott energiát és időt. Ezek alatt a beszélgetések alatt rendkívül sok tapasztalatot gyűjtöttünk, és fölöttébb érdekes dolgokat tanultunk, kezdve az SNI-s gyerekek mindennapjaitól, az ilyen jellegű intézmények működéséig.

A jövőbeli felmérések során megfogadjuk a gyógypedagógusok tanácsát és megpróbálunk olyan környezetet teremteni az alanyok számára, ahol kevesebb behatás éri őket és jobban tudnak koncentrálni a feladatra.

A hardver tökéletesítésére sajnos már nem volt időnk, viszont tervezzük folytatni a gépezet kifejlesztését. Számos 3D-s modell prototípus is készült azóta az új, jobb hardverünkről, viszont ezek teszteléséhez és tökéletesítéséhez több idő és pénz szükséges. Az energiáinkat inkább a szoftver fejlesztésére és az adatok kiértékelésére fordítottuk. A tervek szerint 2023 nyárára már egy komplett arcot tudunk majd prezentálni reálisan mozgó szemekkel és alapmimikákkal. Ehhez adott az adatbázisunkból a szem mozgása.

Az adatokat K-means csoportosítással szeretnénk volna vizualizálni, viszont itt nagyon sok lett volna az adatvesztés, és pontatlan lett volna az ábránk, aminek nem láttuk értelmét. Azóta nem találtunk olyan technológiát, amellyel pontosan tudnánk ábrázolni az adatainkat.

A szemmozgás követése abszolút nem számít új dolognak, mint arról számos helyen olvashatunk van Gompel és munkatársai (2007) által írt kiadványban [5] [9] [10] [11] [12]. Viszont mi egy olyan precíz szintre emeltük ezt a felmérést, hogy csupán percek alatt több millió kiértékelhető adatot kaphatunk, amelyről számos dolog megtudhatunk a vizsgált személy szemmozgásáról. Ha ezeket az adatokat jól dolgozzuk fel, a jövőben akár az emberiség javára is válhat ez a technológia.

Irodalomjegyzék

- [1] Bradski, G. (2000). The OpenCV Library. Dr. Dobb's Journal of Software Tools.
- [2] Duchowski, A. T. (2007). Eye Tracking Methodology: Theory and Practice (2nd ed.). London: Springer.
- [3] Győri Miklós: A tekintet-követéses módszertan alkalmazása a neurokognitív fejlődési zavarok diagnosztikájában: alapok és perspektívák. In: Radványi Katalin (szerk.) A diagnosztika aktuális kérdései. Konferencia helye, ideje: Budapest, Magyarország, 2010.09.25. Budapest: Magyar Pszichológiai Társaság, 2012. pp. 23-40. (ISBN:978-963-87915-5-9
- [4] Karatekin, C. (2007) Eye tracking studies of normative and atypical development, Developmental Review -5
- [5] Land, M.F. (2007): Fixation Strategies During Active Behaviour: A Brief History.
- [6] Rácz Zsuzsanna, (2011) Akadálymentes környezet Autizmussal élő gyermekek vizuális támogatása
- [7] Raspberry Pi Ltd Documentation <https://www.raspberrypi.com/documentation/> Raspberry Pi documentation. [Letöltve: 2022 szeptember]
- [8] Szalai Legal - Dr. Szalai Anita <https://www.szalailegal.hu/adatvedelmi-jog/> [Letöltve: 2022 szeptember]
- [9] Van Gompel, R.P.G., Fischer, M.H., Murray, W.S., & Hill, R.L. (2007): Eye movements: a window on mind and brain. Elsevier.
- [10] Van Gompel, R.P.G., Fischer, M.H., Murray, W.S., & Hill, R.L. (2007): Eye-Movement Research: An Overview of Current and Past Developments.
- [11] Wade, N.J. (2007): Scanning the Seen: Vision and the Origins of Eye-Movement Research
- [12] Westheimer, G. (2007): Eye Movement Research in the 1950s.

Saját munka leírása

Csengeri Bence Zsombor:

- Munkafolyamat megtervezése
- Szerződéskötés az intézményekkel
- Dolgozat megírása
- Ábrák megtervezése
- Hardver összeszerelése, tesztelése
- Szoftver tesztelése
- Feladat megalkotása
- Programkód optimalizálása
- Adatok tisztítása
- Adatok kiértékelése
- Kapcsolattartás az intézményekkel, gyógypedagógusokkal
- Felmérések levezénylése

Molnár Kristóf Ferenc:

- Programkód megírása, tesztelése, debugolása, optimalizálása
- Hardver kinyomtatása, összeszerelése, tesztelése
- Adatok kinyerése a videókból
- Modellek megtervezése
- Dolgozat megírásához való hozzájárulás
- Elektronikai munkálatok elvégzése
- Feladathoz kapcsolódó webapplikáció elkészítése

Köszönetnyilvánítás

Külön köszönettel tartozunk **Gyapjasné Ferenczi Edit**nek, szakvizsgázott gyógypedagógusnak, aki korábban a Debreceni Egyetem Gyógypedagógiai Karán óraadó tanárként dolgozott, jelenleg pedig a Debreceni Bárczi Gusztáv Egységes Gyógypedagógiai Módszertani Intézményben - ahol a felmérést elvégeztük - osztályfőnök.

Köszönettel tartozunk **Csengeri Zsófinak**, végzős gyógypedagógus hallgatónak, aki az Eötvös Loránd Tudományegyetem Bárczi Gusztáv Gyógypedagógiai Karán tanul.

Köszönettel tartozunk **Ivánné Nagy Erzsébet Bernadett**nek, aki a Debreceni Református Kollégium Gimnáziumának Igazgatónője, hogy támogatta az intézményben tanuló diákok felmérését.

Köszönettel tartozunk **Nagy Imrének**, a Debreceni Református Kollégium Gimnáziuma Internátusának igazgatójának, hogy biztosította a területet a felméréshez.

Ábrajegyzék

1. ábra: A projektünk Trello munkatere	8
2. ábra: Íriszre helyezett kontúrponatok	11
3. ábra: Képernyőkép a program futása közben	12
4. ábra: Kódrészlet	13
5. ábra: A kinyert CSV fájl részlete	13
6. ábra: A méréshez szükséges feladat felülete	14
7. ábra: Modell a szemről, amely Fusion360-ban készült	15
8. ábra: PCA9685 összekötése a Raspberry Pi-vel	16
9. ábra: A szülői beleegyező nyilatkozat	17
10. ábra: Az anonim adatok	19
11. ábra: Kiértékelés táblázatos reprezentációja	23