



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Villamosmérnöki és Informatikai Kar
Méréstechnika és Információs Rendszerek Tanszék

Gesztusfelismerés fáradtság detektálására

DIPLOMATERV

Készítette
Domaföldi Ádám

Konzulens
Tóth András
Dr. Györke Péter

2017. november 24.

Tartalomjegyzék

Kivonat	i
Abstract	ii
1. Bevezetés	1
2. Előzmények	2
2.1. Gesztusfelismerés	2
2.1.1. Statikus gesztusok felismerése	3
2.1.2. Dinamikus gesztusok felismerése	3
2.2. Álmoság szintjének meghatározása	3
2.2.1. A viselkedés alapú tesztek	3
2.2.2. Teljesítmény alapú tesztek	4
2.2.3. Objektív tesztek (elektrofiziológias mérések)	5
2.2.3.1. Ismételt visszaalvási teszt (Multiple Sleep Latency Test) . .	5
2.2.3.2. Maintenance of Wakefulness Test	5
2.2.4. Introspektív tesztek	5
2.2.4.1. Stanford álmosági teszt (Stanford Sleepiness Scale)	6
2.2.4.2. Karolinska álmosági teszt (Karolinska Sleepiness Scale) . .	6
2.2.4.3. Epworth álmosági teszt (Epworth Sleepiness Scale)	7
2.3. Leap Motion: Leap Motion Controller	7
2.4. Optical flow	9
2.4.1. Lucas-Kanade Optical flow	11
3. Használt módszerek és metódusok	12
3.1. Leap Motion Controller a gyakorlatban	12
3.1.1. Fejlesztői környezet beállítása	12
3.1.2. Mutatott ujjak számának felismerése	12
3.1.3. Összetett gesztusok felismerése	12
3.2. Optical flow alapú képszegmentálás	13
3.2.1. Webkamera összekapcsolása a Matlab szoftverrel.	13
3.2.2. Lukas-Kanade Optical flow alkalmazása	14
3.2.3. A kéz szegmentálása	14
3.2.4. Egyszerű gesztusok felismerése	15
4. Eredmények	17
Ábrák jegyzéke	18
Táblázatok jegyzéke	19
Irodalomjegyzék	22

HALLGATÓI NYILATKOZAT

Alulírott *Domaföldi Ádám*, szigorló hallgató kijelentem, hogy ezt a diplomatervet meg nem engedett segítség nélkül, saját magam készítettem, csak a megadott forrásokat (szakirodalom, eszközök stb.) használtam fel. Minden olyan részt, melyet szó szerint, vagy azonos értelemben, de átfogalmazva más forrásból átvettem, egyértelműen, a forrás megadásával megjelöltem.

Hozzájárulok, hogy a jelen munkám alapadatait (szerző(k), cím, angol és magyar nyelvű tartalmi kivonat, készítés éve, konzulens(ek) neve) a BME VIK nyilvánosan hozzáférhető elektronikus formában, a munka teljes szövegét pedig az egyetem belső hálózatán keresztül (vagy autentikált felhasználók számára) közzétegye. Kijelentem, hogy a benyújtott munka és annak elektronikus verziója megegyezik. Dékáni engedéllyel titkosított diplomatervek esetén a dolgozat szövege csak 3 év eltelte után válik hozzáférhetővé.

Budapest, 2017. november 24.

Domaföldi Ádám
hallgató

Kivonat

Jelen dokumentum egy diplomaterv sablon, amely formai keretet ad a BME Villamosmérnöki és Informatikai Karán végző hallgatók által elkészítendő szakdolgozatnak és diplomatervnek. A sablon használata opcionális. Ez a sablon \LaTeX alapú, a *TeXLive* \TeX -implementációval és a PDF- \LaTeX fordítóval működőképes.

Abstract

This document is a L^AT_EX-based skeleton for BSc/MSc theses of students at the Electrical Engineering and Informatics Faculty, Budapest University of Technology and Economics. The usage of this skeleton is optional. It has been tested with the *TeXLive* T_EX implementation, and it requires the PDF-L^AT_EX compiler.

1. fejezet

Bevezetés

A kiírt Önálló laboratórium témában már készült egy TDK dolgozat és egy BSc. szakdolgozat. Ezek feldolgozását és az újabb célok kitűzését követően időszerűvé vált a kiírás módosítása. A korábbi Maradj Ébren (Gesture To Alert) cím Gesztusfelismerés fáradtság detektálásra módosult. A korábbi célzottan gépjárművekbe szánt feladat egy univerzális gesztusfelismerésre bővült, ezzel is kiterjesztve a jövőbeli felhasználás potenciális területeit.

A fáradtság az emberi élet meghatározó része. A felgyorsult, információ-központú világban gyakran nem fordítunk elegendő figyelmet a pihenés fontosságára. Állandóan túlhajsolt hétköznapijaink ennek következtében tragédiához is vezethetnek. A közúti balesetek egy része olyan vezetők hibájából történik, akik fáradtan ültek autóba, balesetet okoztak és ezzel mások életét veszélyeztették. Nem csak a közúti baleseteknél jelent problémát az álomosság mértéke. Hétköznapi tevékenységeknél esetében is megfigyelhető teljesítményromlás az álomosság növekedésével.

Az ember álomossági szintje kvantitív módszerekkel mérhető, megfelelő monitorozás esetén pedig prediktálni lehet az elalvást. Az okostelefonok fejlődésével ma már mindenki rendelkezik olyan eszközzel, amely képes nagyfelbontású videó rögzítésére, és számítási kapacitása lehetővé teszi az így kapott felvételeket valós időben történő feldolgozását. A diplomatéma a képfeldolgozást ötvözi gesztusfelismeréssel. Az álomossági teszt beviteli eszköze a kamera, értékei pedig a bekért gesztusokból nyert adatok.

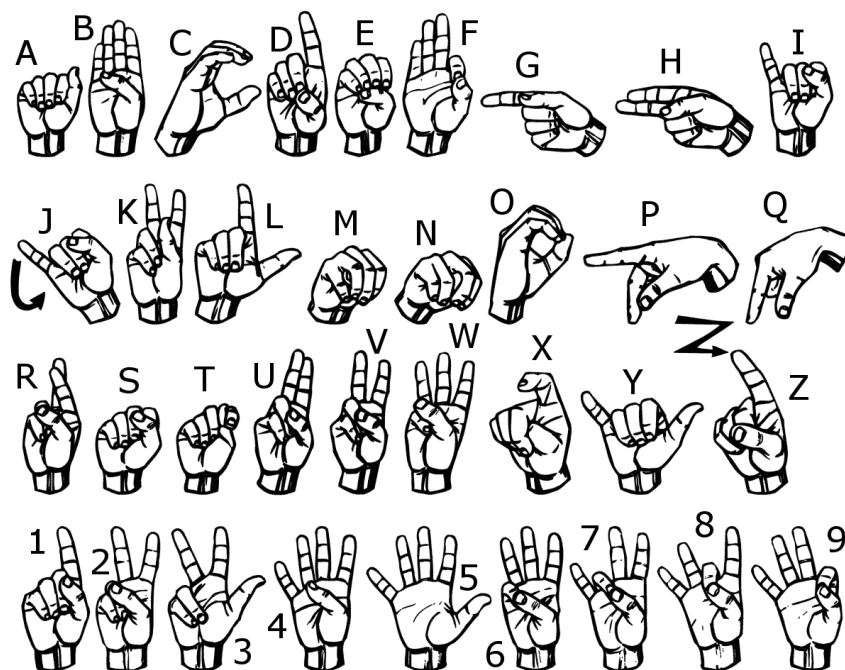
A diplomamunka bevezető fejezetében ismertetésre kerül az álomosság mint élettani folyamat, és annak mérésére használható tesztek. Ezt követően bemutatásra kerül a Leap Motion sztereokmerás szenzora majd a diplomadolgozat eredményihez elengedhetetlen szakirodalom megalapozása történik.

2. fejezet

Előzmények

2.1. Gesztusfelismerés

Kéz alapú gesztusok használata mindennapi olyan emberek körében, akik nem hallanak rendesen vagy nem képesek megfelelően beszélni. Gesztusok használata a legtermészetesebb és legkifejezőbb módja valós idejű rendszereknél az ember-gép közötti kommunikációban. Az egyes rendszerek által használt alap gesztusok átfednek a jelnyelvekben használt gesztusokkal (2.1 ábra). Egy gesztus magába foglalhatja az ujjak, kéz, kar, fej vagy a test többi részének mozgását. Osztályozása történhet a kéz orientációja, az ujjak pozíciója vagy a kéz alakja alapján. [32] A két kéz egy időben történő használatával és a már meglévő gesztusok kombinálásával lehetővé válik egy sor új gesztus létrehozása. A jelnyelvek kiterjeszthetővé válnak gépi látáson alapuló gesztusvezérlésre.



2.1. ábra. Amerikai jelnyelv gesztusai [34]

Napjainkban két elterjedt módja van a gesztusfelismerésnek, az egyik viselhető elektromágneses szenzorokon, a másik gépi látáson alapul. Az elektromágneses szenzorokat főként a filmiparban és a kiterjesztett valóság alapú rendszereknél használják. A magas megbízhatóság magas árral és specifikus felhasználási területtel társul. A gépi látás kép-

feldolgozáson alapul, amely megbízhatósága nagyban függ a környezeti viszonyoktól. A diplomamunkában a gépi látás alapú gesztusfelismeréssel foglalkoztam.

2.1.1. Statikus gesztusok felismerése

Statikus gesztusfelismerénél a forrást egy képkocka biztosítja. Ilyenkor a kéz és annak ujjai nem rendelkeznek sebesség komponensekkel. Statikus gesztus lehet egy kinyújtott ujj vagy ökölbe szorított kéz (2.1 ábra).

2.1.2. Dinamikus gesztusok felismerése

Dinamikus gesztusoknál több egymást követő képkocka kerül feldolgozásra. A kéz több képkockán át történő követésével megkapható az adott képkockára jellemző statikus gesztus mellett az elmozdulás nagysága és iránya is (2.5 ábra).

2.2. Álmoság szintjének meghatározása

A diplomamunka témája elsősorban az álmoság és elalvás köré szerveződik, amely bemutatása során az *álmoság* és *fáradtság* szavakat egymás szinonimájaként kezelem.

Általánosságban, a megnövekedett hajlandóságot az elalvásra álmoságnak nevezzük; ez a hajlandóság kapcsolódhat alacsony érzelmi szinthez is. [15] Orvosi problémák, pszichiátriai betegségek és alvási zavarok befolyásolhatják az ember álmoságát. Álmoság bekövetkezése patológiás, ha az nem megfelelő időpontban vagy szituációban történik. Jó példa erre a túlzott nappali álmoság, amely a narcolepsia¹ egyik fontos tünete. Az álmoság befolyásolódhat az ember kedvének, motiváltságának és alvási igényének függvényében, de kihathatnak rá központi idegrendszeri vagy fiziológias változások is. [4]

Az álmoság (vagy elalvásra való hajlandóság) két független faktort foglal magába, amely az *alvás* és az *ébrenlét*. Az elalvásra való hajlandóság bemutatható, mint egy adott személy pozíciója egy kontinuum számosságú skálán, amely két végpontja a hiperéberség, és egy második, független, kontinuum halmaz, amely az alvási idő szükségletet mutatja. Hogy ez a két faktor egymáshoz miként viszonyulva eredményez egy álmosági szintet az egyelőre megoldásra vár. Jelen pillanatban, ez azt jelenti, hogy nagy álmosági szint magas elalvási igényt vagy alacsony éberségi szintet vagy mindkettő állapotot eredményezheti. Más szavakkal, az álmoságnak lehetnek kvalitatívan megkülönböztethető állapotai. [10]

Az álmoság mérése komplex feladat. A sok változó miatt a jelenlegi tesztek meglehetősen limitáltak és a belőlük kapott eredmények csak kisebb mértékben összehasonlíthatóak. [10] Vannak azonban aktívan validált tesztek is, amelyek három nagyobb csoportba sorolhatóak:

1. Emberi viselkedésen és teljesítményen alapuló tesztek
2. Introspektív álmoságtesztek
3. Közvetlen elektrofiziológias mérések

2.2.1. A viselkedés alapú tesztek

Az emberi viselkedés megfigyelésből is kaphatóak álmoságra utaló jelek. A legismertebb ilyen jel az ásítás, amely fő funkciója az éberség növelése vagy fenntartása, abban az

¹Krónikus neurológiai (központi idegrendszert érintő) betegség, amely kihat az agy alvás-ébrenlét szabályozására. Narcolepsiában szenvedők pihenten ébrednek, de a nap jelentős részében magas álmosági szint jellemzi őket. A legváratlanabb helyzetekben, mint autóvezetés közben is akaratlanul elaludhatnak.

esetben ha az embert kevés inger éri a környezetéből. Az ásítások jelentősége a mérések esetében alacsony, mert az ásítás frekvenciája az ébrenlét alatt inkább növekszik mintsem csökken, és gyakorisága független a korábbi alvás mennyiségétől. További probléma, hogy éhség-érzethez vagy unalomhoz is köthető az ásítás. [10]

Fontos viselkedési jel a szem mozgása. Megfigyelések alapján az álmoság tetőfokán spontán szem mozgások következnek be. Ebben a mérési állapotban az álmoság detektálása már nem lehetséges csak az elalvás időpontjának megállapítása. Tapasztalt megfigyelők képesek következtetni a pislogások gyakoriságából az álmoság mértékére. Ahogy a fej mozgások, úgy a szem lecsukódása is már egy késői jelensége az elalvásnak. [10]

Pontos és konzisztens eredmények kaphatóak viszont tapasztalt megfigyelőktől, akik az arckifejezéseket figyelik meg és értékelik ki azokat. A szemhez hasonlóan itt is történnek karakterisztikus változások, amelyek indikátorai lehetnek a vizsgált személy álmoság szintjének. [10]

2.2.2. Teljesítmény alapú tesztek

Különböző kognitív funkciók, mint a figyelemfenntartás, vizuális felismerés vagy a hosszú és rövidtávú memória romlásából következtethetünk az álmoság mértékére. Azonban a teljesítmény nem mindig romlik az alváshiánnyal. A rövid (kevesebb mint néhány perces), izgalmas és stimuláló hatású feladatoknál a romlás mértéke alig kimutatható. Nehezebb vagy összetettebb (hosszabb időtartalmú, nagyobb terhelést és koncentrációt igénylő) feladatoknál a hatás nagyobb valószínűséggel növekszik. A nagyobb kihívást jelentő feladatok viszont, a belső vagy külső motiváció következtében kompenzáló hatásként felléphetnek, és a teljesítmény fenntartásához vezethetnek. Rövid és ingergazdag tesztek tehát nem képesek pontosan prediktálni az álmoság mértékét. Amennyiben a teszt túl hosszú, abban az esetben az unalom, motiváció és fáradás is rögzítésre kerül az álmoság hatásai mellett. [1]

Reakcióidőn alapuló tesztek használata bevett gyakorlat a teljesítmény mérésére. [7] Az álmoság szintjének kimutatására egyik leggyakrabban használt teljesítmény teszt a pszichomotoros éberségi feladat, amely a figyelemfenntartás mérését teszi lehetővé. Kimutatták ugyanis, hogy a pszichomotoros teljesítményt befolyásolja az alvás megvonás és a cirkadián ritmus is. [11, 27] Az elkövetett hibák száma a figyelem fenntartás mérésekor gyengén korrelál a jelenleg használatos álmosági tesztekkel, de a tény, hogy az ember elkezd elaludni vagy nem reagálni a non-stimulatív feladatoknál nagyon is ráilleszthető sok valós életből ismert szituációra. [21]

Ideális esetben a mérés kiértékelésénél azokat a komponenseket lenne szükséges figyelembe venni, amelyek kapcsolódnak az ember napi tevékenységeihez. Ilyen tevékenység lehet a vezetés, amelyről köztudott, hogy az álmoság jelentősen befolyásolhatja a vezető reakció idejét. A megnövekedett baleseti kockázat miatt, amelyet a fáradt sofőrök jelentenek, számtalan kísérlet történt a vezetés szimulálására. A szimulációból a valósághoz sokkal közelebbi értékek nyerhetők ki. Az ezekből levont következtetések így sokkal megbízhatóbbak mint a reakcióidők mérésére korlátozódó tesztek. Továbbá, a vezetés szimulátorok lehetőséget biztosítanak arra, hogy a vezetéstechnika is kiértékelésre kerüljön biztonságos és sztenderdizált körülmény között. Ennek segítségével az álmoság által a vezetésre, mint komplex tevékenységre kifejtett hatásának vizsgálata is lehetővé válik. [33]

A pszichometriai értékei ezeknek a mérési rendszereknek még nincsenek meghatározva. A jelenlegi ismeretek szerint a kvalitatív változások a vezetési magatartásban ökológiailag helyesek, de a kvantitatív mérések extrapolációja ezt nem támasztja alá. A teljesítmény romlása látszólag sokkal hamarabb és nagyobb mértékben következik be a szimulációs környezetben, mint valós körülmények között. [33] Az így kapott értékek tehát még nem használhatóak várhatóan bekövetkező biztonsági kockázatok előrejelzésére.

2.2.3. Objektív tesztek (elektrofiziológias mérések)

2.2.3.1. Ismételt visszaalvási teszt (Multiple Sleep Latency Test)

A Ismételt visszaalvási tesztet (IVT) először Carskadon és Dement [9] fogalmazta meg. A teszt alapját az a feltételezés adta, hogy az álmoság fiziológiai szükséglet az alváshoz, és a megnövekedett hajlandóság az elalvásra egyúttal indikátora is a megnövekedett álmoságnak. 1980-as években további finomrahangolások történtek a teszten, később pedig több javaslat is megfogalmazásra került a teszt előkészületeit illetően. [6] A teszt során az alany egy elsötétített, csendes szobában azt a feladatot kapja, hogy feküdjön le és aludjon el (lehetőleg ne álljon ellen az elalvásnak). Az elalvás késleltetése sztenderd elektrofiziológias mérésekkel került meghatározásra, és a mérés időtartama a lámpaoltástól az alvás első szakaszáig tartott. Amennyiben az elalvás nem történt meg 20 percen belül, a tesztet megszakították. Mind az alvás kezdete, mind a REM² kezdete fontos kimeneti érték volt.

A teszt magába foglal egy poliszomnográfias alvásvizsgálatot. A mérés elvégzése a szükséges technikai személyzet és helyszín miatt magas költségekkel jár. Másfelől az alapos sztenderdizáció következtében az egyes alvással foglalkozó intézmények között megszathatóvá válnak a mérési eredmények. A megítélő megbízhatóság és az újratestelés megbízhatóság 4-14 hónap elteltével a jó értékeléstől a kiválóig terjed. A teszt széles körben validált kísérleti és klinikai eseteknél, amelyekről ismert volt, hogy kihathatnak az az álmoságra. Szintén kimutatásra került, hogy az IVT érzékeny a olyan faktorokra, mint az akutt, krónikus, teljes alvás megvonás, alvászavarok, cirkadián ritmus, tudatmódosító és alkoholos szerek, narcolepsia, alvási apnea avgy idiopátiás hipersomnia.

2.2.3.2. Maintenance of Wakefulness Test

<https://sci-hub.cc/10.1016/j.jpsychores.2010.04.001>

2.2.4. Introspektív tesztek

A fáradtság szintjének leggyorsabb, legolcsóbb és egyben legegyszerűbb megállapítását teszi lehetővé az önértékelési tesztek. Hasonlóan az nem objektív mérésekhez, ezek a tesztek is torzulhatnak a mérést végző által. Ez lehet akaratlanul elkövetett pontatlanság, vagy tudatos adat-torzítás. Két nagyobb csoportot különböztetünk meg az önértékelési tesztek-nél: egyszerű önértékelés, amely az aktuális fáradtságérzetünket jelenti vagy egy átfogóbb tesztet, amely magába foglal mindennapi szituációkat és azok hatását az ember álmoság szintjére (mennyire érez hajlamot az ember az elalvásra, miközben egy ilyen feladatot végez). Az egyszerű önértékelési teszt a fáradtság rövid távú változásának felmérésére szolgál. [10] Önértékelésen alapuló tesztek, amelyekkel mérhető az álmoság mértéke:

1. Stanford álmosági teszt (Stanford Sleepiness Scale)
2. Karolinska féle álmosági teszt (Karolinska Sleepiness Scale)

Ezek a skálák megfelelőek lehetnek az álmoság szintjének rövidtávú meghatározására, mivel számításba veszik az alany alvással töltött idejét és az adott napszakot is. [16] Használatuk közben két gyakran elkövetett hibára kell kiemelt figyelmet fordítani. Az első, amikor a patológias fáradtságot és a fizikai vagy szellemi fáradtságot álmoságnak

²Az alvás egyik szakaszának tudományos megnevezése. Az agy 5, egymástól elkülönülő alvásfázisok (1,2,3,4 és REM (rapid eye movement)) között váltogat. A REM alvás teszik ki az ember alvási ciklusainak közel 25%-át, és először az elalvást követő 70-90 perc környékén jelenik meg. Köszönhetően az agy ciklikus fázisváltásainak, az éjszaka folyamán többször is REM alvás történik. REM alváskor az agy és a test energizált állapotban van, és ilyenkor álmodik az ember. [28]

tulajdonítják. A második, amikor az álmoság súlyossága alulbecslésre kerül, különösen a narkolepsziában szenvedők esetében. Kutatással is alátámasztásra került, hogy a magasabb álmosági szinttel rendelkezők sokkal pontatlanabban becsülik meg az fáradtságukat. [30]

2.2.4.1. Stanford álmosági teszt (Stanford Sleepiness Scale)

A Stanford álmosági teszt a leggyakrabban használt önértékelésen alapuló teszt, amelyet az éberség mérésére használják alvási panaszokkal rendelkező páciensek esetében. Több éberségi fokozat választható és minden érték mellett rövid jellemzés olvasható. Az alanyokat arra kérik, hogy válasszák ki a skálán található fokozatok közül azt, amely a legjobban körülírja az aktuális állapotukat. Több tanulmány is alátámasztja, hogy ez a teszt képes felfedni az alvásmegvonásból származó megemelkedett fáradtsági szintet. [13, 17]. Azonban nem elég érzékeny a teszt olyan alanyok esetében, akik ugyan alvási zavarokkal küzdenek ám azt nem hajlandóak beismerni. Ez részben meg is magyarázza azt, hogy a teszt miért nem elég érzékeny arra, hogy megkülönböztesse az alvási apnoea³ tüneteit produkálókat a normál alvóktól, annak ellenére, hogy a narkolepsziában szenvedők esetén hasznos önértékelési tesznek bizonyul. [8]

Álmoság foka	Érték
Aktív, vitális érzet és teljes éberség	1
Nagy teljesítmény és koncentráció képesség, de nem csúcsforma	2
Nincs teljes éberség, relaxált érzet; reakció az ingerekre	3
Csökkenett koncentráció és teljesítmény	4
Ködös, lelassult érzet; csökkenő késztetés az ébren maradásra	5
Álmos, kábult állapot, küzdés az elalvással; igényli a lefekvést	6
Nincs további küzdelem az elalvással, álom-szerű gondolatok megjelenése	7
Alvó állapot	X

2.1. táblázat. Az introspektív Stanford álmosági teszt skálája. [12]

"Ez egy gyors módszer arra, hogy meghatározd azt, hogy mennyire érzed magad ébernek. Napközben, amikor a napi tevékenységedet végzed, ideális esetben 1-es értéket adsz magadnak. Vedd figyelembe, hogy a legtöbb embernek két éberségi maximuma van egy napon, reggel 9:00 és este 21:00 körül. Az éberség reggeltől kezdve fokozatosan csökkenve éri el körülbelül 15:00 fele a minimumot; ezt követően elkezd újra növekedni. Értékelj magad a nap különböző szakaszaiban. Amennyiben 3-as érték fölé mész olyan időszakban, amikor ébernek kéne lenned, akkor ez indikátora annak, hogy alváshiányod van és a szervezeted több alvást igényel." [12]

2.2.4.2. Karolinska álmosági teszt (Karolinska Sleepiness Scale)

A karolinska teszt az álmoság szubjektív szintjét vizsgálja egy 9 pontos skálán a nap egyik pontjában. Az alanyok kiválasztják a skála fokozatát közül azt, amely szerintük a legjobban jellemezte őket pszichofizikailag a tesztek megelőző 10 percben. A karolinska teszt érzékeny a fluktuációra. Hosszan tartó ébrenléthez magasabb pontszámok társulnak és a teszt erősen korrelál az adott napszakhoz. [20]

A teszt használható a válaszok eltárolásával és kiértékelésével a környezeti faktorok, a cirkadián ritmusban bekövetkezett változás vagy gyógyszerek által a kifejtett hatások kimutatására. [10]

³Alvás közben több mint 10 másodpercig tartó légzéskihagyások kialakulása. Bekövetkezésének gyakorisága óránként elérheti a 30 alkalmat vagy többet, amelyet általánosságban a normál légzés visszaállása követ, gyakran egy hangos horkantás vagy fuldokló hang kíséretében.

Álmosság foka	Érték
Teljesen éber	1
Éber	3
Nem éber és nem álmos, a kettő közötti állapot;	5
Álmos de nem jelent problémát az ébren maradás	7
Nagyon álmos, küzd az elalvással	9

2.2. táblázat. Az introspektív Karolinska álmossági teszt skálája. A köztes fokozatok is kapnak értéket, de szöveges címkét nem. [2]

A karolinska tesztnek két változata van, a táblázatban látható az eredeti "A" változat. A "B" változat egy újabb teszt, ahol a köztes fokok is fel vannak címkézve. Szignifikáns különbséget nem mutattak ki a két skála között, és látszólag a plusz címkék nem befolyásolták az alanyok döntését. [3]

2.2.4.3. Epworth álmossági teszt (Epworth Sleepiness Scale)

Az Epworth álmossági teszt *Johns* [18] fejlesztette ki 1991-ben. A teszt létrehozása alapja a nappali álmosság előfordulásának és természetének megfigyelése volt. Ez az introspektív teszt az álmosság általános szintjének meghatározására használható. A teszt magába foglal 8, a mindennapok során gyakran előforduló szituációt. Ezek egy része nagyon hajlamosít az elalvásra, míg a többi mérsékelten. Egy 3 osztatú skálán az alanyok értékelik, hogy mekkora valószínűséggel aludnának el az egyes szituációk során (2.2 ábra). A végső pontszám így 0 és 24 között alakulhat. Amennyiben a kapott pontszám 10 vagy annál magasabb érték, akkor az indikátora lehet az abnormális vagy patológiás álmosságnak. A mérés megpróbálja kezelni, hogy az embereknek különböző nappali tevékenységei vannak, amelyek álmosíthatnak vagy stimulálhatnak. [18]

Johns szerint [19] az Epworth a legdiszkriminatívabb teszt eddig az átlagos elalvási hajlam mérésére. MSLT-hez és MWT-el összehasonlítva. Továbbá, a tesztet monitorozható a kezelések hatása az alvási apnéára. [18] A mérés képes megkülönböztetni a normál és patológiás alanyokat, de szükséges lehet további objektív tesztek kifejlesztésére, amelyekkel az álmosságot különböző szituációkban, az alany testtartása és aktivitási is befolyásoló tényező. [19]

Az Epworth teszt megbízhatósága kivizsgálásra került egy 5 hónap időtartamú kutatásban. Mind a Pearson féle korreláció (0.822), mind a Cronbach's alpha féle belső konzisztencia teszt (0.88) szerint a Epworth teszt jó konzisztenciával és megbízhatósággal bír. [4]

2.3. Leap Motion: Leap Motion Controller

A fáradtság detektálására tett első kísérletemhez a Leap Motion eszközt használtam. A cél egy olyan mobilos alkalmazás fejlesztése volt, amely képes valós időben gesztusokat bekérni a felhasználatól, és kielemezve azokat predikciót tenni az álmosság mértékére. A gesztusok lehetnek dinamikusak vagy statikusak, és a Leap Motion eszköze a mobiltelefonhoz csatlakozott volna egy erre kialakított dokkolón keresztül.

A kéz mozgása alapvető részét képezi az emberek közti kommunikációnak. A Leap Motion Controller [24] egy új eszköz, amelyet a Leap Motion [22] fejleszt célzottan gesztus felismerésre. Használatához szükséges egy usb porttal rendelkező asztali számítógép vagy notebook. Az eszköz képes tenyér és ujjmozgásokat valós időben detektálni és egy előre megírt API-n keresztül továbbítani a mért és előfeldolgozott adatokat. A képkockák

THE EPWORTH SLEEPINESS SCALE

Name: _____

Today's date: _____ Your age (years): _____

Your sex (male = M; female = F): _____

How likely are you to doze off or fall asleep in the following situations, in contrast to feeling just tired? This refers to your usual way of life in recent times. Even if you have not done some of these things recently try to work out how they would have affected you. Use the following scale to choose the *most appropriate number* for each situation:

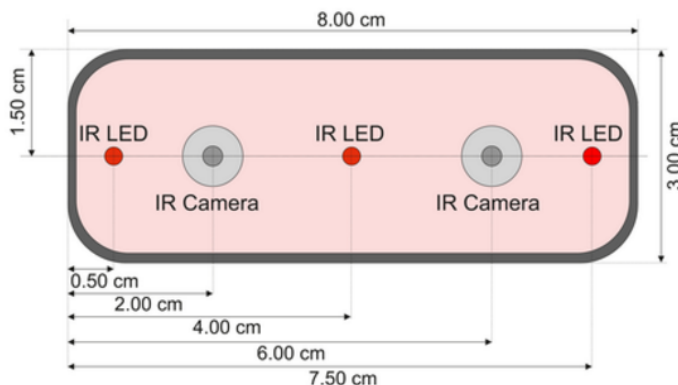
0 = would *never* doze
1 = *slight* chance of dozing
2 = *moderate* change of dozing
3 = *high* chance of dozing

Situation	Chance of dozing
Sitting and reading	_____
Watching TV	_____
Sitting, inactive in a public place (e.g. a theater or a meeting)	_____
As a passenger in a car for an hour without a break	_____
Lying down to rest in the afternoon when circumstances permit	_____
Sitting and talking to someone	_____
Sitting quietly after a lunch without alcohol	_____
In a car, while stopped for a few minutes in the traffic	_____

Thank you for your cooperation

2.2. ábra. Epworth álmosági teszt eredeti kérdőíve [18]

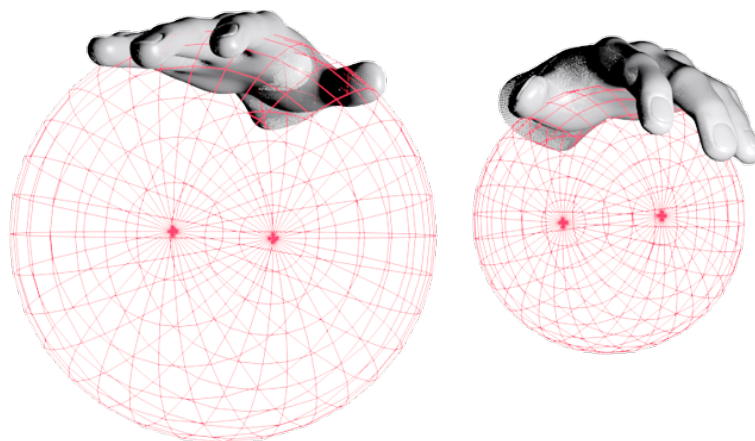
mellé kapott adatok tartalmazzák a tenyér és ujj pozícióit és az ebből számított sebesség értékeket.



2.3. ábra. Leap Motion Controller felépítése [23]

A gyártó szerint ígért pontosság $200\ \mu\text{m}$, de a megjelenést követő tesztek alapján az eszköz még nem éri el az egyes számítógépes feladatoknál használt egér pontosságát. A teszt eredménye szerint, míg az egér használata 2,8 %-os hibaszázalékkal rendelkezik, a Leap Motion Controller 7,8 %-al. Ez az érték várhatóan javulni fog, és biztosítani fogja az egérhez hasonló pontosságot ez egyes számítógépes feladatok esetében is. [5]

Az eszközön 3 infravörös led és 2 infravörös kamera található. A sztereokamerának köszönhetően egy sokkal pontosabb térbeli szegmentáció valósul meg (2.3. ábra). Az így szegmentált poligon középpontját kiszámítják, és ezt használják az ujjak pozíciójának pontos meghatározására. A szegmentált alakzatot egyöntetű háttér elé helyezik és ráillesztik a kéz modelljét. A modell nem követi méretben a felhasználó kezét, egy gyermek vagy felnőtt keze is azonos nagyságú a képen. Erre a következtetésre az ujjak hosszának becslésekor derült fény, amely nem csak nem volt nagyságrendileg pontos, de meglehetősen sztochasztikus értékeket produkált azonos megvilágítás és körülmények között is. A Leap Motion weboldalán található dokumentáció is csak becült értékeknek tünteti fel. Ennek pontos meghatározása nagyban függ a környezeti változóktól is, hiszen a kéz mérete és távolsága a kameráktól a megvilágítással együtt jelentős torzítást eredményezhet.



2.4. ábra. Leap Motion Controller gömbkoordináta-rendszer [23]

A Leap Motion Controller driver egy sajátfejlesztésű gömbkoordináta-rendszert használ a kéz különböző pozícióinak meghatározására. A szenzor fölé helyezett tenyér olyan, mintha egy labdát tartana, és ez a megfigyelés képezte a gömbkoordináta-rendszer bevezetésének alapját is (2.4. ábra). [23]

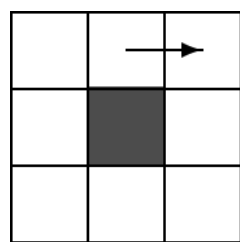
2.4. Optical flow

Optical flow vagy másnéven optic flow az objektumok, felületek, élek látszólagos elmozdulásának mintázata a megfigyelő szemszögéből. Az Optical flow alapját James J. Gibson amerikai pszichológus fektette le az 1940-es években, hogy leírja a

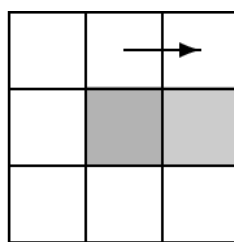
Optical flow or optic flow is the pattern of apparent motion of objects, surfaces, and edges in a visual scene caused by the relative motion between an observer and a scene.[1][2] The concept of optical flow was introduced by the American psychologist James J. Gibson in the 1940s to describe the visual stimulus provided to animals moving through the world.[3] Gibson stressed the importance of optic flow for affordance perception, the ability to discern possibilities for action within the environment. Followers of Gibson and his ecological approach to psychology have further demonstrated the role of the optical flow stimulus for the perception of movement by the observer in the world; perception of the shape, distance and movement of objects in the world; and the control of locomotion.[4] The term optical flow is also used by roboticists, encompassing related techniques from image processing and control of navigation including motion detection, object segmentation, time-to-contact information, focus of expansion calculations, luminance, motion compensated encoding, and stereo disparity measurement.[5][6]

Optical flow kikötései:

1. A pixel intenziás nem változik az egymást követő képkockáknál [29]
2. A szomszédos pixelek hasonló elmozdulással rendelkeznek [29]

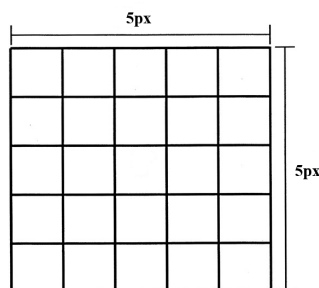


(a) $I(x,y,t)$



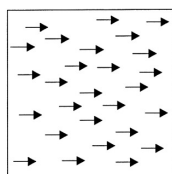
(b) $I(x+v,y+v,t+1)$

2.5. ábra. Egyszerű példa 2D+t Optical Flow-ra [31]

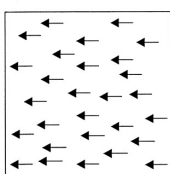


Kiindulási kernel

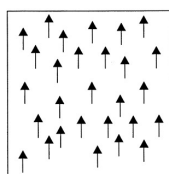
Elmozdulás lehetséges irányai



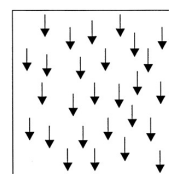
→
Jobb



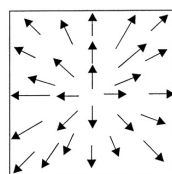
←
Bal



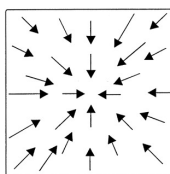
↑
Fel



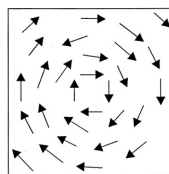
↓
Le



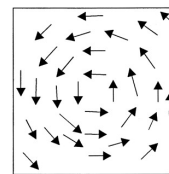
↔
Dilatáció



↔
Konstrikció



↻
Óramutató járása



↻
Óramutató járásával el.

2.6. ábra. Pixelek elmozdulásának vektorai, feltételezve, hogy a háttér változatlan és konstans fényintenzitás adott

Vegyük a 2.2 ábrán látható egyszerű 2D+t esetet. Amennyiben (x, y, t) pixel $I(x, y, t)$ intenzitással két képkocka között Δx , Δy és Δt nagyságban elmozdul és a fényintenzitás állandó marad, akkor:

$$I(x, y, t) = I(x + \Delta x, y + \Delta y, t + \Delta t) \quad (2.1)$$

Ezután az egyenlet jobb oldalát Taylor sorba fejtve, majd az egyszerűsítéseket elvégezve és δt -vel leosztva megkapjuk:

$$f_x u + f_y v + f_t = 0 \quad (2.2)$$

ahol

$$\begin{aligned} f_x &= \frac{\delta f}{\delta x}; f_y = \frac{\delta f}{\delta y} \\ u &= \frac{\delta x}{\delta t}; v = \frac{\delta y}{\delta t} \end{aligned} \quad (2.3)$$

A fenti egyenlet (2.2) az Optical Flow egyenlet. f_x és f_y a kép grádiensek, f_t a grádiens-időt⁴ jelöli. Mivel (u, v) ismeretlenek, így két ismeretlennel az egyenlet nem megoldható. Több megoldás is született az (u, v) változók kiszámítására, amelyekkel az egyenlet megoldhatóvá válik. Az egyik, a diplomatermben aktívan alkalmazott Lukas-Kanade módszer. [29]

2.4.1. Lucas-Kanade Optical flow

Az Optical Flow kikötései között szerepelt, hogy a szomszédos pixelek hasonló elmozdulással rendelkeznek. A Lukas-Kanade megoldás egy 3x3-as kernelt vesz a kiválasztott pixel körül (ez a pixel lesz a középső eleme a kernelnek). A 9 pixelnek így ugyanakkora elmozdulása lesz. A 9 kiválasztott pontra meghatározhatjuk a $f_x u, f_y v, f_t$ grádienseket de ezzel a problémánk kibővül 9 egyenlet megoldására 2 ismeretlen változóval. Optimalizáltabb megoldás kapható a legkisebb négyzetek elvét alkalmazva a lent látható módon. A megoldandó probléma két egyenletre és két ismeretlen változóra módosult. [29]

$$\begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_i f_{x_i}^2 & \sum_i f_{x_i} f_{y_i} \\ \sum_i f_{x_i} f_{y_i} & \sum_i f_{y_i}^2 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} -\sum_i f_{x_i} f_{t_i} \\ -\sum_i f_{y_i} f_{t_i} \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

Felhasználói szempontból ez egészen leegyszerűsödik és egyszerű esetben a követésre beadott pontokra visszatérnek az Optical flow vektorok. Mivel eddig kis elmozdulásokkal történt a számolás, így a nagyobb elmozdulásoknál nem fog a modell működni. Ilyenkor a piramis elvet⁵ alkalmazva a Lukas-Kanade megoldással megoldódik ez a skálázási probléma. [29]

⁴A rendszer megfigyelésének időtartama; t_1 és t_2 között eltelt idő.

⁵A piramis csúcsa felé haladva a kis elmozdulások eltávolításra kerülnek és a nagy elmozdulások válnak a kis elmozdulásokká

3. fejezet

Használt módszerek és metódusok

3.1. Leap Motion Controller a gyakorlatban

A 2.3 alfejezetben részletesen bemutatam a Leap Motion termékét, amely nagy pontossággal ismer fel gesztusokat. Megismerésére egy egész egyetemi félévet fordítottam, amely magába foglalta az SDK áttanulmányozását és egy saját konzolos alkalmazás fejlesztését is.

3.1.1. Fejlesztői környezet beállítása

A Leap Motion Controller használatához először feltelepítettem az ehhez tartozó Windows 10 illesztőprogramot. A gyári szoftver segítségével bekalibráltam a kamerákat, és teszteltem azok működését az előretelepített alkalmazásokkal. Az általam készített asztali alkalmazás Microsoft Visual Studio 2013 fejlesztőeszközzel készült. A projektfájl egy üres C++ konzolalkalmazás volt, ahol hozzáadtam a Leap Motion könyvtárat és névteret.

3.1.2. Mutatott ujjak számának felismerése

Az első lépés egy olyan funkció fejlesztése volt, amely felismerte, hogy hány ujj lett kinyújtva a szenzor fölé. Mivel az esemény alapú képkocka beolvasás nem volt elegendően hatékony és megnehezítette a további funkciók implementálását is, így egy iteráció alapú képkockabeolvasásra váltottam. Ez a megoldás egy bizonyos időtartamon keresztül kéri be a képkockákat. A Leap motion API minden egyes képkocka mellé adatokat szolgáltat. A felismert ujjakat és azok tulajdonságait egy objektumban kapom meg, és ezekhez hozzárendeltem még az ujjak neveit is. Az így elkészült rendszer már nem csak azt mutatta, hogy hány ujjat nyújtunk ki, hanem azok nevét is. A megoldás mindkét tényér esetében egyaránt működött.

3.1.3. Összetett gesztusok felismerése

Az fejlesztett C++ alkalmazás elsődleges célja komplex gesztusok felismerése volt, a lehető legnagyobb pontossággal. Több próbálkozás után, a gesztusokat előre definiáltam egy vektorban, 0 és 1 számokkal, ahol az 1 a kinyújtott ujjat takarta. A felismeréséhez legalább 8 képkockán kellett a programnak azonosítani a helyes gesztust egy megadott időintervallumon belül. Jelenleg statikus gesztusokkal dolgoztam. A dinamikus gesztusok megkülönböztetése a statikusoktól az ujjak közötti vagy tenyér sebességének mérésével történik. Ez a hétköznapi értelemben az ujjak és a tenyér mozgását takarja. Ha ez az érték nagyobb az előre definiált határértéknél, akkor feltételezzük, hogy a kéz mozog. A szoftver által jelenleg felismert gesztusok a következők: hüvelykujj kinyújtva, mutató és gyűrűsujj kinyújtva, mutatóujj kinyújtva, hüvelykujj és mutatóujj és középsőujj kinyújtva.

A pontos gesztusfelismerés egyik legfontosabb feltétele, hogy a felhasználó a szenzor mérési tartományán belül tartsa a kézfejét. Ez az elsőre triviálisnak tűnő feltétel meglehetősen sok mérési hibához vezetett. Az eszköz méretéből adódóan nehéz mindig megfelelő magasságba, és pontosan fölé helyezni az ember tenyerét. Elkészítettem egy olyan figyelmeztető rendszert, amely segíti a felhasználót, hogy megfelelően tartsa a kézfejét a gesztusfelismeréshez és jelzi, ha túl magasra vagy esetleg túl közel tartja a kezét a szenzor középpontjától. A figyelmeztetést követően vár egy megadott ideig, hogy a felhasználó javíthassa a kéz pozícióját, majd tovább időt ad, hogy a gesztus felismerésre kerüljön.

Az elkészült alkalmazás lehetőséget nyújtott arra, hogy a Leap Motion Controller pontosságát közvetlenül mérjem. A 3.1 táblázatban látható adatokat a mérések során generált *.txt* kiterjesztésű fájlok aggregálásával kaptam.

Napszak, megvilágítás	Helysz.	Mérő sz.	Bekért [db]	Sikeres [db]	Max [s]	Min [s]	Átl. [s]
dél - napsütés	kert	U1	100	99	10,017	0,192	2,253
délután - napsütés	szoba	U1	100	98	8,489	0,060	1,456
délután - napsütés	szoba	U2	100	95	7,567	0,035	0,945
este - sötét	szoba	U1	100	96	10,392	0,175	2,388

3.1. táblázat. Leap Motion Controller tesztelése. 100 gesztust kértem be a felhasználóktól és rögzítettem a felismerés idejét és pontosságát.

A kapott eredmények (3.1. táblázat) bizonyították, hogy a Leap Motion Controller egyaránt alkalmas lenne statikus és dinamikus gesztusok nagy pontosságú felismerésére. A sikeres felismerési arány napszaktól és felhasználótól nagyobb mint 94%. A szélsőséges megvilágítási körülmények (sötét és déli napfény) jelentősen megnövelték az átlagos felismerési időt, de nem rontották le kimutathatóan a sikeres felismerési arányt. Az okostelefonos SDK hiánya azonban szükségessé tette azt, hogy áttérjek a Mathworks Matlab termékére és elkezdjem a saját képfelismerési algoritmusom fejlesztését.

3.2. Optical flow alapú képszegmentálás

Az ember nyitott tenyérrel a kamera elé tartott keze a legnagyobb összpontosítás mellett is apró kilengéseket fog produkálni. Ennek oka a passzív mozgással szembeni ellenállás, az izomtónus¹. Az elmozdulások viszont megfelelő zajszűrés mellett pontos információt adhatnak a kéz pozíciójáról, annak méretéről és alakjáról.

3.2.1. Webkamera összekapcsolása a Matlab szoftverrel.

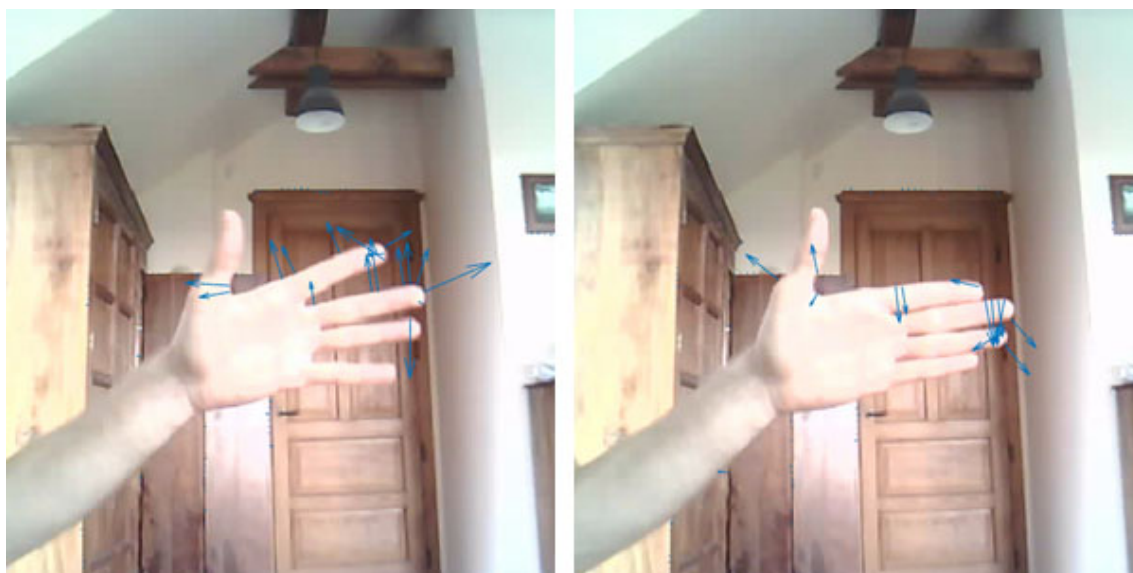
A Matlab 2017-es [26] verziójában elkészítettem egy kamera objektumot, amelyben összekapcsoltam a webkamerát a matlabos környezettel. Az ehhez szükséges Matlab drivert a Matlab centrálból telepítettem. Az objektumon keresztül definiáltam a felbontást, élességet, színteret és fény-intenzitást. A webkamera által szolgáltatott képet először zajszűrőm kellett. A különböző napszakokban bekövetkező fényváltozások eltérő zajszintet jelentenek. Szükségessé vált így egy kalibrációs metódus fejlesztése, amelyet lefuttatva beállíthattam az Optical flow érzékenységet. Ez egy olyan rekurzív függvény lett, amely iteratívan addig emelte az érzékenységet, amíg az alapzaj el nem tűnt a visszkapott Optical flow objektumból. Ez egy rövid, pár másodperces inicializálás, amely során a felhasználót megkérem, hogy ne mozogjon. Az időtartam nappal alacsonyabb, az esti órákban pedig megnő, mert

¹ "Az izomtónus az izmot beidegző α -motoneuronok váltakozó aktivitása következtében jön létre, az egyes motoros egységek aszinkron módon egymást váltják: az α -motoneuronok kisüléseit az izomorsókból származó afférens impulzusok váltják ki." [14]

sokkal több iteráció szükséges. A beállított érzékenységi értéket a Lukas-Kanade módszerbe átadtam mint paramétert.

3.2.2. Lukas-Kanade Optical flow alkalmazása

A webkamerából bejövő képkockákat iteratívan kérem le, és valós időben kiszámítom a hozzá tartozó optical flow vektorokat. A Lukas-Kanade módszerből (2.4.1 bekezdés) visszakapott optical flow objektum 4 mátrixot tartalmaz: V_x , V_y , *Orientation* és *Magnitude*. A V_x mátrix az elmozdulás sebességének X komponense, a V_y pedig a sebesség Y komponense. *Orientation* az elmozdulás szögét adja meg radiánban, a *Magnitude* az elmozdulás nagyságát. Ezek a mátrixok ugyanakkora eleműek mint a vizsgált képkocka felbontása. Ez nagyban megkönnyíti azt hogy valamelyik mátrix vagy képkocka bejárása közben csak át-címkezzek a másik mátrixba az adott pixelhez tartozó vektor nagyságáért vagy irányáért. Teljesítmény szempontjából ez mindenképpen előnyös, hiszen az általam használt 640*480 felbontású kép 307 200 pixelt tartalmaz, amelyet valós időben többször is bejárok, hogy számításokat végezzek rajta. A számítások végeztével megjelenítem a képkockát és kirajzolom rá az elmozdulás vektorokat (3.1 ábra). A kirajzolandó vektorokat szűröm és skálázom, annak érdekében, hogy nagyobb felbontásnál se lépjen fel performancia probléma.



3.1. ábra. Lukas-Kanade féle Optical Flow, az egyes pixelekhez tartozó elmozdulásokat a kék színű vektorok jelölik

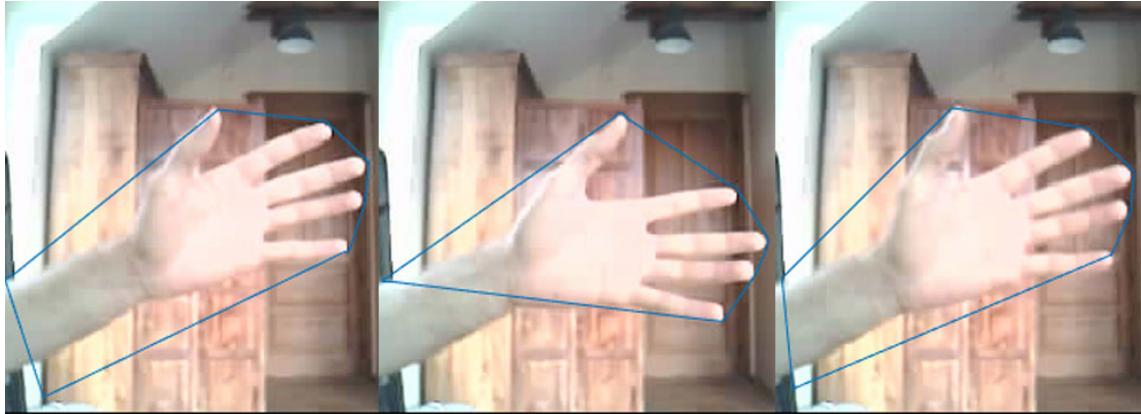
A 3.1 ábrán látható az egyes pixelekhez elmozdulásához tartozó vektorok. Annak érdekében, hogy a kielemezett képeket később is visszanezhessem és lehetőségem legyen újra kielemezni, írtam egy kiegészítő funkciót, amelyet a konzolról aktiválva lehet a mérés elején aktiválni. Ezt követően az összes képkockát kiexportálja *.png* formátumban, majd a mérés végén összefűzi ezeket egy *.mp4* videófelvétellé. A 3.1 ábra is hasonlóan készült.

A kép beolvasás iteratívan történik a kamera objektumból valós időben. A megkapott képet az Optical Flow meghatározása után meg is jelenítem egy ablakban. A visszakapott Optical Flow objektum vektorait megfelelő szűrést követően kirajzoltam a korábban megjelenített képkockára (3.1).

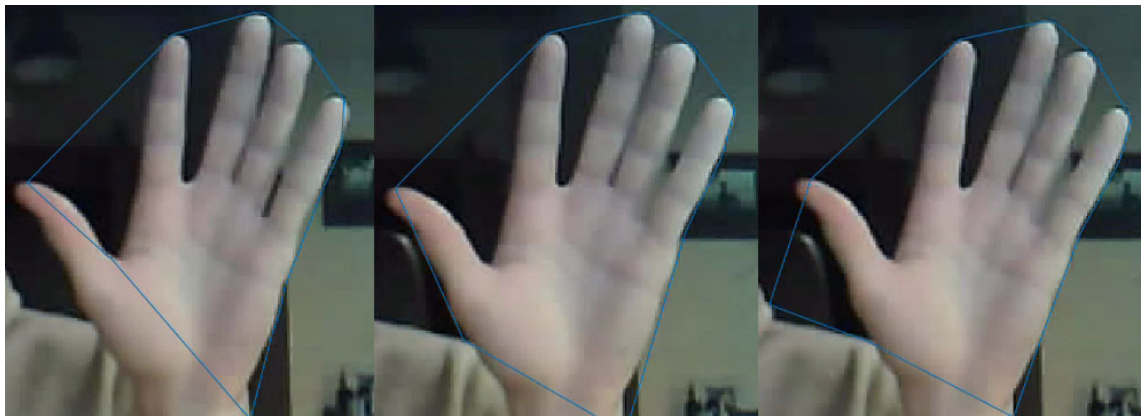
3.2.3. A kéz szegmentálása

Első lépésben, a 3.2.2 bekezdésben bemutatott optical flow objektum vektorait nagyságuk alapján szűrtem. Az elmozdulásokkal rendelkező pixeleket kirajzolom a képkockára. Ezt

követően a Matlab *boundary* [25] függvényét használtam, amely összeköti a külső pontokat (3.2 és 3.4). Az így kapott szegmentumon belül található ideális esetben a kéz. Sajnos a fény, az elmozdulás nagysága és egyéb inhomogén hátterek jelentősen befolyásolhatják a kapott eredményt. A kéz távolsága mellett fontos a kamerával bezárt szög is. A legjobb értékeket a kamerára merőleges tenyérrel, 30 cm távolságban kaptam.



3.2. ábra. Optical flow és boundary függvények alkalmazása nap-pali fényviszonyok között



3.3. ábra. Optical flow és boundary függvények alkalmazása esti fényviszonyok között

A 3.4 ábra este készült, gyenge fényviszonyok között. Látható, hogy a többszöri zajszűrésnek köszönhetően nincs alapzaj a képen, amely elmozdulást okozna és felesleges vektorokat generálna.

3.2.4. Egyszerű gesztusok felismerése

A korábbi bekezdésekben bemutatott képszegmentációs megoldás sajnos nem elég precíz még, hogy azzal nagyon pontosan lehessen a kezet szegmentálni. A kapott elmozdulást viszont felhasználtam apróbb gesztusok, irányítások elkészítésére. Elmozdulás alapján implementáltam egy olyan tesztet, amely megkéri a felhasználót, hogy a tenyerét mozgatva a (ábrán) látható karikákra helyezze azt. A kezdeti algoritmus nem vette figyelembe az elmozdulás irányát. Amint a kéz a megfelelő karika fölé került, a szoftver bekért egy másik gesztust. Mértem a reakcióidőt, a teljesítési időt és a sikerességet.



3.4. ábra. Optical flow és boundary függvények alkalmazása esti fényviszonyok között

4. fejezet

Eredmények

Ábrák jegyzéke

2.1.	Amerikai jelnyelv gesztusai [34]	2
2.2.	Epworth álmosági teszt eredeti kérdőíve [18]	8
2.3.	Leap Motion Controller felépítése [23]	8
2.4.	Leap Motion Controller gömbkoordináta-rendszer [23]	9
2.5.	Egyszerű példa 2D+t Optical Flow-ra [31]	10
2.6.	Pixelek elmozdulásának vektorai, feltételezve, hogy a háttér változatlan és konstans fényintenzitás adott	10
3.1.	Lukas-Kanade féle Optical Flow, az egyes pixelekhez tartozó elmozdulásokat a kék színű vektorok jelölik	14
3.2.	Optical flow és boundary függvények alkalmazása nappali fényviszonyok között	15
3.3.	Optical flow és boundary függvények alkalmazása esti fényviszonyok között	15
3.4.	Optical flow és boundary függvények alkalmazása esti fényviszonyok között	16

Táblázatok jegyzéke

2.1.	Az introspektív Stanford álmosági teszt skálája. [12]	6
2.2.	Az introspektív Karolinska álmosági teszt skálája. A köztes fokozatok is kapnak értéket, de szöveges címkét nem. [2]	7
3.1.	Leap Motion Controller tesztelése. 100 gesztust kértem be a felhasználóktól és rögzítettem a felismerés idejét és pontosságát.	13

Irodalomjegyzék

- [1] J.L.C. Wijnen A.F. Sanders and A.E. van Arkel. An additive factor analysis of the effects of sleep loss on reaction processes. *Acta Psychologica*, 51(1):41–59, 1982.
- [2] Torbjorn Akerstedt and Mats Gillberg. Subjective and objective sleepiness in the active individual. *Intern. J. Neuroscience*, 52(1):29–37, 1990.
- [3] Goran Kecklunk Anna Akerstedt Miley and Torbjorn Akerstedt. Comparing two versions of the karolinska sleepiness scale (kss). *Sleep Biol. Rhythms*, 14(1):257–260, 2016.
- [4] Colin M. Shapiro Azmeh Shahid, Jianhua Shen. Measurements of sleepiness and fatigue. *Journal of Psychosomatic Research*, 69(1):81–89, 2010.
- [5] Daniel Bachmann, Frank Weichert, and Gerhard Rinkenauer. Evaluation of the leap motion controller as a new contact-free pointing device. *sensors*, 15(1):227–228, 12 2014. DOI: 10.3390/s150100214.
- [6] Michael H. Bonnet and Donna L. Arand. Sleepiness as measured by modified multiple sleep latency testing varies as a function of preceding activity. *Sleep*, 21(5):477–483, 1998.
- [7] Roger Broughton. Performance and evoked potential measures of various states of daytime sleepiness. *Sleep*, 5(1):135–146, 1982.
- [8] Roger J. Broughton and Marisa Aguirre. Differences between rem and nrem sleepiness measured by event-related potentials (p300, cnv), mslt and subjective estimate in narcolepsy - cataplexy. *Electroencephalography and clinical Neurophysiology*, 67(1):317–326, 1986.
- [9] Mary A. Carskadon and William C. Dement. Sleepiness and sleep state on a 90-min schedule. *Psychophysiology*, 14(2):127–133, 2000.
- [10] Raymond Cluydts, Elke De Valck, Edwin Verstraeten, and Paul Theys. Daytime sleepiness and its evaluation. *Sleep Medicine Reviews*, 6(2):83–96, 2002. DOI: 10.1053/smr.v.2002.0191.
- [11] Katherine Williams Kelly A. Gillen John W. Powell Geoffrey E. Ott Caitlin Aptowicz David F. Dinges, Frances Pack and Allan I. Pack. Cumulative sleepiness, mood disturbance, and psychomotor vigilance performance decrements during a week of sleep restricted to 4-5 hours per night. *Sleep*, 20(4):267–277, 1997.
- [12] H. Smythe R. Phillips E. Hoddes, V. Zarcone and W. C. Dement. Stanford sleepiness scale (2017. november 14.). <https://web.stanford.edu/~dement/sss.html>.

- [13] H. Smythe R. Phillips E. Hoddes, V. Zarcone and W. C. Dement. Qualification of sleepiness: A new approach. *Department of Psychiatry, Stanford University School of Medicine*, 10(4):431–436, 1973.
- [14] Attila Fonyó. *Az orvosi élettan tankönyve*, volume 1. Medicina Könyvkiadó Zrt., 5 edition, 2011.
- [15] Mario Bertini Giuseppe Curcio, Maria Casagrande. Sleepiness: evaluating and quantifying methods. *International Journal of Psychophysiology*, 41:251–263, 2001.
- [16] Tamir Caspy Harvey Babkoff and Mario Mikulincer. Subjective sleepiness ratings: The effects of sleep deprivation, circadian rhythmicity and cognitive performance. *Sleep*, 14(6):534–539, 1991.
- [17] Joel Herscovitch and Roger Broughton. Sensitivity of the stanford sleepiness scale to the effects of cumulative partial sleep deprivation and recovery oversleeping. *Sleep*, 4(1):83–92, 1981.
- [18] Murray W. Johns. A new method for measuring daytime sleepiness: The epworth sleepiness scale. *Sleep*, 14(6):540–545, 1991.
- [19] Murray W. Johns. Sensitivity and specificity of the multiple sleep latency test (mslt), the maintenance of wakefulness test and the epworth sleepiness scale: Failure of the mslt as a gold standard. *Sleep*, 9(1):5–11, 2000.
- [20] Goran Kecklunk and Torbjorn Akerstedt. Sleepiness in long distance truck driving: an ambulatory eeg study of night driving. *Ergonomics*, 36(9):1007–1017, 1993.
- [21] Cheryl. Spinweber Laverne C. Johnson, Charles R. Freeman and Steven A. Gomez. Subjective and objective measures of sleepiness: Effect of benzodiazepine and caffeine on their relationship. *Psychophysiology*, 28(1):65–71, 1991.
- [22] Leap Motion Inc. About - leap motion (2017. június 23.). <https://www.leapmotion.com/about>.
- [23] Leap Motion Inc. Hand - leap motion c++ sdk v2.3 documentation (2017. június 27.). https://developer.leapmotion.com/documentation/v2/cpp/api/Leap.Hand.html#cppclass_leap_1_1_hand_1a5f68dfe482e57463b249d8e8062e05a8.
- [24] Leap Motion Inc. Leap motion for mac and pc (2017. június 23.). <https://www.leapmotion.com/product/desktop>.
- [25] MathWorks. Boundary of a set of points in 2-d or 3-d (2017. november 24.). <https://www.mathworks.com/help/matlab/ref/boundary.html>.
- [26] MathWorks. Matlab - mathworks (2017. november 24.). <https://www.mathworks.com/products/matlab.html>.
- [27] Richard E. Kronauer Megan E. Jewett, Derk-Jan Dijk and David F. Dinges. Dose-response relationship between sleep duration and human psychomotor vigilance and subjective alertness. *Sleep*, 22(2):171–178, 1999.
- [28] US Department of Health and Human Services. What is rem sleep? (2017. november 22.). <https://www.nichd.nih.gov/health/topics/sleep/conditioninfo/Pages/rem-sleep.aspx>.

- [29] OpenCV. Opencv: Optical flow (2017. november 18.). https://docs.opencv.org/3.2.0/d7/d8b/tutorial_py_lucas_kanade.html.
- [30] June J. Pilcher and Amy S. Walters. How sleep deprivation affects psychological variables related to college students' cognitive performance. *Journal of American College Health*, 46(1):121–126, 1997.
- [31] JArno Ralli. Optical-flow (2017. november 18.). <http://www.jarnoralli.fi/joomla/research/topics/optical-flow>.
- [32] Venu T. Subhash Chandra N. and Srikanth P. A real time static and dynamic hand gesture recognition system. *International Journal of Engineering Inventions*, 4(12):93–98, 2015.
- [33] Jan Törnros. Driving behaviour in a real and simulated road tunnel – a validation study. *Accid. Anal. and Prev*, 30(4):497–503, 1998.
- [34] VoiceNation. American sign language guide (2017. november 24.). <https://www.qualityanswerservice.com/american-sign-language-guide>.