

BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI
EGYETEM

OPTOMECHATRONIKA SPECIALIZÁCIÓ

Kétmonitoros 3D Kijelző Rendszer: Hardveres és Szoftveres Architektúra

Kovács Marcell
Neptun ID: VI6C6K

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés	2
2. Meglévő 3D Technológiák Áttekintése	2
2.1. Anaglif (Színszűrős) Képalkotás	2
2.2. Passzív Polarizációs Rendszerek	2
2.3. Aktív Zárás (Active Shutter) Kijelzők	2
2.4. Autosztereoszkópikus (Szemüveg Nélküli) Megjelenítők	3
3. Hardveres Architektúra	3
3.1. A Készülék Háza és Mechanikai Kialakítása	3
3.2. Optikai Elrendezés és Passzív Szűrés	4
3.3. Beágyazott Vezérlő és Hőmérséklet-menedzsment	4
4. Szoftverfejlesztés: Asztali Konverter	5
4.1. A Szoftver Működési Logikája	5
4.2. Az MPO Fájlformátum Bontása	6
4.3. FFmpeg Integráció és Hardveres Gyorsítás	6
4.4. Felhasználói és Üzemeltetési Útmutató	6
5. Beágyazott Kioszk Rendszer	7
5.1. Wayland és Kijelzőkezelés	7
5.2. Biztonság és Tárhelykezelés	7
6. Fejlesztési lehetőségek	7
7. Összegzés	8

1. Bevezetés

A térhatású megjelenítők (3D kijelzők) fejlesztése és alkalmazása az optomechatronika egyik kiemelt kutatási területe. Jelen projekt célja egy olyan kétmonitoros, térhatású képek és videók megjelenítésére alkalmas, teljesen automatizált kiosk rendszer megtervezése és implementálása, amely emberi beavatkozás nélkül képes vizuális tartalmakat feldolgozni és bemutatni. A megoldás felöleli a fizikai optikai kialakítást, a fájlformátumok konvertálását végző asztali szoftver fejlesztését, valamint a Raspberry Pi 5 alapú beágyazott operációs rendszer konfigurálását.

2. Meglévő 3D Technológiák Áttekintése

A térhatású megjelenítők történelme során számos technológiai megoldás született, amelyek mind eltérő kompromisszumokat követelnek meg a képminőség, a felhasználói élmény és a hardveres komplexitás terén.

2.1. Anaglif (Színszűrős) Képalkotás

A legkorábbi és legszélesebb körben elterjedt módszer, amely komplementer színszűrőket (jellemzően vörös-cián) használ a két szem képének elkülönítésére. **Előnyei:** Bármilyen hagyományos kijelzőn vagy nyomtatott formában alkalmazható, a szemüvegek gyártási költsége minimális. **Hátrányai:** Súlyos színtorzítást okoz (color retinal rivalry), hosszú távon fárasztja a szemet, és jelentős a csatornák közötti áthallás.

2.2. Passzív Polarizációs Rendszerek

A modern 3D mozik és számos televízió által használt technológia, ahol a megjelenítő páros és páratlan sorszámú eltérő polarizációjú fényt bocsátanak ki, amit a passzív szemüveg szűr. **Előnyei:** Színhű megjelenítés, a szemüvegek könnyűek, olcsók és nem igényelnek áramforrást. Villódzásmentes (flicker-free) élményt nyújt. **Hátrányai:** Speciális polarizációs réteget igényel a kijelzőn. A térbeli felbontás a felére csökken.

2.3. Aktív Zárás (Active Shutter) Kijelzők

A kijelző felváltva, magas képfrissítéssel jeleníti meg a bal és jobb szem képét, amit egy elektronikusan szinkronizált lencsés szemüveg takar ki. **Előnyei:** Mindkét szem számára teljes, natív felbontású képet ad. **Hátrányai:** A szemüvegek nehezek, drágák és akkumulátort igényelnek. A fényerő csökken, és sok felhasználó érzékeli a lencsék villódzását.

2.4. Autosztereoszkópikus (Szemüveg Nélküli) Megjelenítők

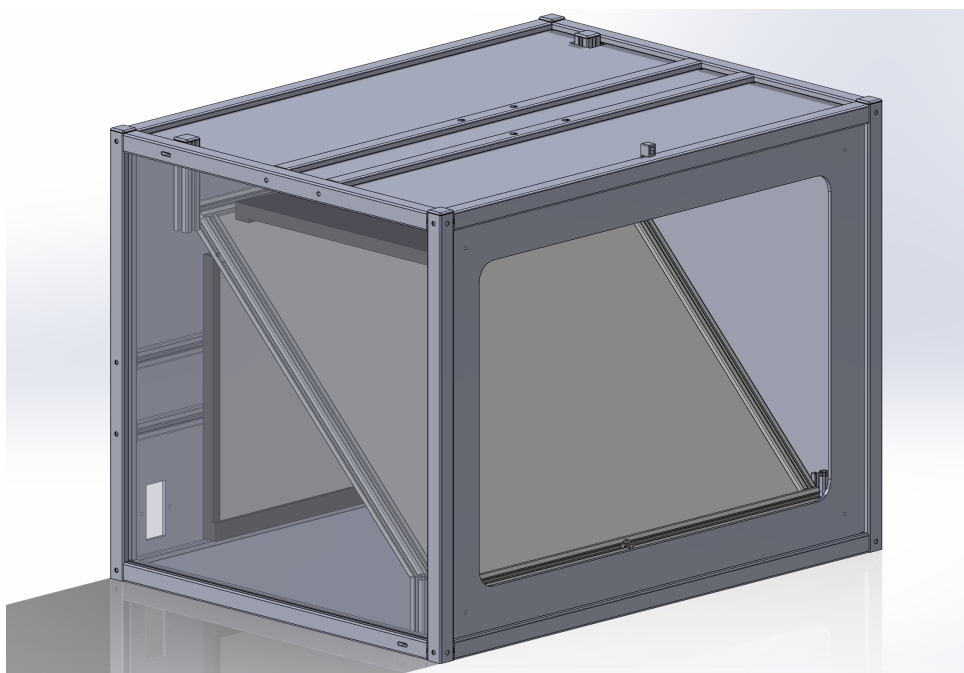
Olyan rendszerek (például parallaxis barrierék), amelyek magán a kijelzőn irányítják a fényt a felhasználó szemeibe. **Előnyei:** Nincs szükség kényelmetlen külső kiegészítőkre. **Hátrányai:** Csak szigorúan meghatározott betekintési szögből (sweet spot) működik megfelelően, a felbontás csökken.

Összehasonlítva a fenti technológiákkal, a jelen projektben alkalmazott kétmonitoros, féligáteresztő tükrös architektúra ötvözi az aktív rendszerek teljes felbontását és színhűségét a passzív rendszerek villódzásmentes, kényelmes betekintésével.

3. Hardveres Architektúra

3.1. A Készülék Háza és Mechanikai Kialakítása

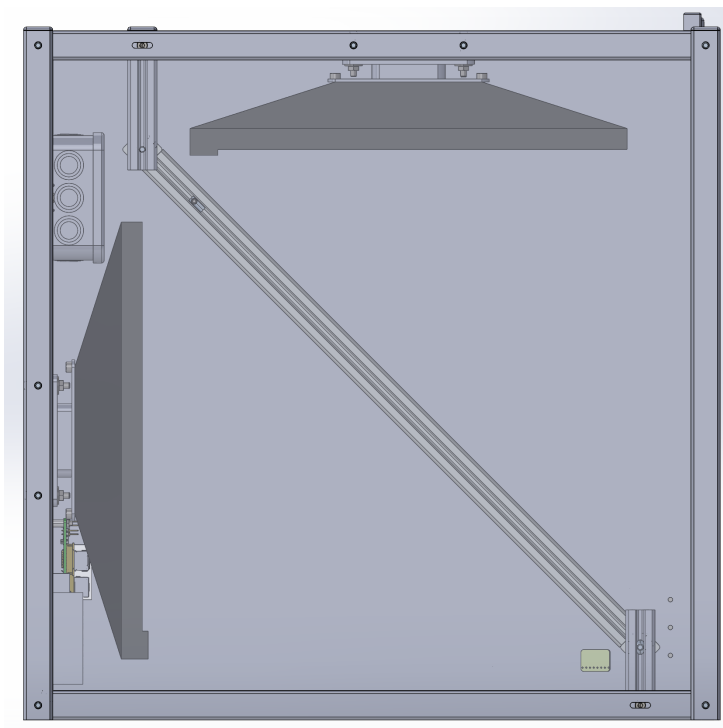
A megjelenítő rendszer minden alkatrésze egy zárt, dobozszerű házban kap helyet. A ház tartószerkezete egy alumíniumprofilokból épített keretrendszer, amely kellően strapabíró és logikusan szerelhető alapot biztosít. A doboz oldalait, illetve alsó és felső lapjait dibond lemezek alkotják. Az elülső dibond lemezen egy nagyméretű kivágás található, amelyen keresztül szemüveggel megtekinthető a monitorok által vetített kép. Ezen felül az előlapra felhelyezhető egy két kör alakú kivágással ellátott lemez is, amely akkor kap szerepet, ha a szerkezetet szemüveg nélkül, egyedüli nézőként kívánják használni. A belső térben a monitorok és a nyalábosztó üveg pozíciója a profilokhoz rögzített tartóelemek furataival finomhangolható.



1. ábra. Az alumíniumprofilokból és dibond lemezekből álló keret

3.2. Optikai Elrendezés és Passzív Szűrés

A térlátás (binokuláris diszparitás) szimulálásához a rendszer egy "dual-monitor" architektúrát használ. A két kijelző egymásra merőlegesen helyezkedik el, a képek optikai fúzióját pedig egy 45 fokban megdöntött, féligáteresztő tükör (planar beam splitter) valósítja meg.



2. ábra. A szerkezet oldalirányból, oldallemez nélkül

A két csatorna szétválasztásához a projekt passzív polarizációs eljárást alkalmaz. Az egyik monitor kijelzőfelületére egy polarizációs fólia kerül, míg a másikon az eredeti felület marad. Ennek eredményeképpen a féligáteresztő tükörről visszaverődő, illetve azon áthaladó fénysugarak eltérő polarizációt vesznek fel. A nézőtér felé eső betekintő nyílásnál elhelyezett (vagy szemüveggént viselt) szűrőlencsék ezt a polarizációs különbséget használják fel arra, hogy az egyik képet kitakarják, garantálva, hogy a bal és a jobb szem kizárólag a megfelelő optikai csatornát érzékelje.

A kimeneti felbontás a két kijelző paramétereiből adódóan 1920x2160 pixel, amelyet a szoftver vertikálisan egyesít, a jobb (felső) lencse képének szükséges optikai tükrözésével (vflip).

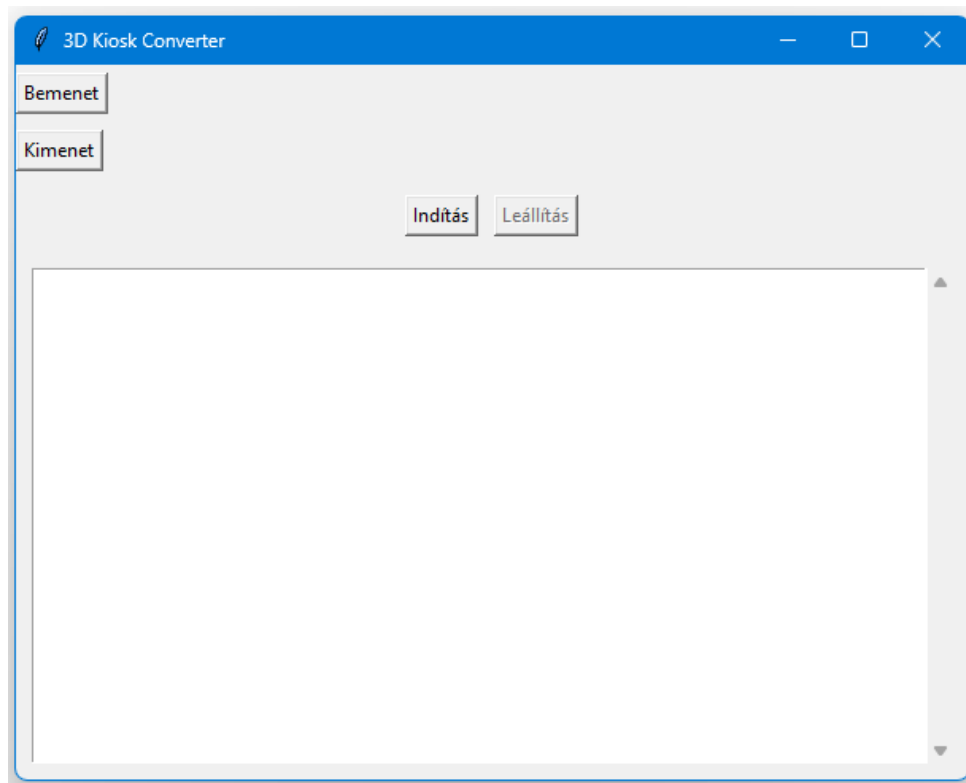
3.3. Beágyazott Vezérlő és Hőmérséklet-menedzsment

A kiosk vezérlőegysége egy Raspberry Pi 5 mikroszámítógép, amely megfelelően erős hardveres videódekóderrel (V3D) rendelkezik a nagy felbontású videók folyamatos lejátszásához. A rendszer hőmérséklet-menedzsmentjét a gyári aktív hűtés (Active Cooler) és

a Raspberry Pi alapértelmezett firmware-e látja el. A beépített termikus szabályozás a zárt burkolat ellenére is megbízhatóan tartja a működési hőmérsékletet, így egyedi kernel szintű beavatkozásra nem volt szükség.

4. Szoftverfejlesztés: Asztali Konverter

A fejlesztett asztali alkalmazás célja, hogy a felhasználó minimális interakciójával, kötegelten (batch processing) dolgozza fel a bemeneti mappában található nyers 3D média-fájlokat.



3. ábra. Az asztali konverter GUI-ja

4.1. A Szoftver Működési Logikája

A Python alapú asztali alkalmazás egy szigorúan definiált adatfolyam (pipeline) mentén végzi a feldolgozást. A folyamat lépései az alábbiak:

1. **Célkönyvtár pásztázása:** A szoftver rekurzívan beolvassa a felhasználó által megadott bemeneti mappa tartalmát, és szűri a támogatott kiterjesztéseket (MPO, MP4, MKV, AVI).
2. **Fájltípus-specifikus elágazás:** Az állóképek (MPO) és a videófájlok külön feldolgozási szálra kerülnek.

3. **Bináris extrakció:** Az MPO fájlok esetében lefut a korábban említett *Largest Gap* algoritmus, amely a RAM-ban kettébontja az állományt egy bal és egy jobb oldali JPEG képre.
4. **Hardver detektálás:** A rendszer lekérdezi a Windows WMI felületét a dedikált GPU azonosításához.
5. **FFmpeg hívás összeállítása:** A kiválasztott GPU-nak megfelelő kodekkel (pl. `h264_nvenc`) felépül a parancssori karakterlánc. A szűrő (filter) lánc tartalmazza a vertikális illesztést (`vstack`) és a jobb kép vertikális tükrözését (`vflip`).
6. **Kimenet generálása:** A rendszer elmenti a feldolgozott fájlokat a dedikált kimeneti mappába.

4.2. Az MPO Fájlformátum Bontása

A 3D kamerák a CIPA DC-007-2009 szabványnak megfelelő MPO (Multi-Picture Object) fájlokat állítanak elő. Ezek a fájlok binárisan összefűzött JPEG képeket és EXIF metaadatokat tartalmaznak. A miniatűrök jelenléte miatt a hagyományos fejléc-keresés instabil.

A probléma kiküszöbölésére a kifejlesztett Python szoftver a "Legnagyobb Szakadék" (Largest Gap) algoritmust alkalmazza. A program feltérképezi a `FF D8 FF` (Start-Of-Image) markerek pozícióját. A két legnagyobb távolságra lévő marker közötti adathalmaz garantáltan az első (bal) nagy felbontású kép, míg az azt követő adatsor a jobb lencse képe.

4.3. FFmpeg Integráció és Hardveres Gyorsítás

A szétbontott képek és a bemeneti 3D videók feldolgozását egy automatizált FFmpeg parancssoros lánc végzi. A szoftver dinamikusan detektálja az asztali gép videokártyáját, és kiválasztja a megfelelő (`h264_nvenc`, `h264_amf`, `h264_qsv`) kódolót.

4.4. Felhasználói és Üzemeltetési Útmutató

A konverter szoftver használatához az üzemeltetőnek az alábbi lépéseket kell követnie a tartalom frissítésekor:

1. **Előkészítés:** A felvett MPO képeket és nyers 3D videókat egy tetszőleges mappába kell másolni a számítógépen.
2. **Könyvtárak megadása:** A konverter indítása után a grafikus felületen ki kell választani a *Bemeneti mappa* (Source) és a *Kimeneti mappa* (Destination) elérési útját.

3. **Feldolgozás indítása:** A *Start* gomb megnyomásával a rendszer automatikusan végrehajtja a konverziót. A felhasználó egy folyamatjelzőn (progress bar) követheti az állapotot.
4. **Kioszk frissítése:** A kimeneti mappában lévő, már illesztett és tükrözött fájlokat egy FAT32 vagy exFAT fájlrendszerű USB flash meghajtóra kell másolni.
5. **Lejátszás:** A pendrive-ot a Raspberry Pi 5-höz csatlakoztatva az `udev` szabály automatikusan felcsatolja azt. A régi tartalom eltűnik, és az új médiafájlok lejátszása azonnal megkezdődik. Ha az eszközt eltávolítják, a kijelzőn a `nomedia.jpg` tartalék hibaüzenet jelenik meg.

5. Beágyazott Kioszk Rendszer

5.1. Wayland és Kijelzőkezelés

A Raspberry Pi OS Lite környezet grafikus felület nélkül, közvetlenül a DRM/KMS rétegen keresztül kommunikál a kijelzővel. Ablakkezelőként a `cage` Wayland kompozitor funkcionál. A médialejátszásért az `mpv` felel, amely a `WLR_RENDERER=gles2` változó segítségével kikényszeríti a Pi 5 dedikált hardveres dekóderének használatát.

5.2. Biztonság és Tárhelykezelés

A kioszk a *least privilege* elvet követi, egy dedikált kiosk felhasználóval. A `systemd` szolgáltatás a fájlrendszert `ProtectSystem=full` beállítással védi. A rendszer `udev` szabályokat alkalmaz az USB adathordozók kezelésére, amelyeket a `systemd-mount` csatol a `/mnt/usb` könyvtárba. Egy dedikált szkript figyel a könyvtárat, és adathordozó hiányában a `nomedia.jpg` tartalék hibaüzenetet jeleníti meg.

6. Fejlesztési lehetőségek

A projekt legnagyobb gyengesége az SD kártya, az élettartam megnövelése végett Read Only filesystemet használ a raspberry, hogy ne legyen feleslegesen írva, viszont így a naplózás majdnemhogy lehetetlen, mivel csak RAM-ban lehetséges a tárolás, ami áramvesztés/újraindulással elvesz.

Egy M.2 hat a raspberryre és egy hozzá tartozó M.2-es SSD ezt egy az egyben kiküszöbölne, sokkal több ideig írható mint egy SD kártya, és sokkal gyorsabb is. Egyetlen negatívuma, hogy nagyságrendekkel drágább.

7. Összegzés

A kifejlesztett rendszer hardveresen és szoftveresen is teljesíti az elvárt követelményeket, robusztus kioskz élményt nyújtva emberi beavatkozás nélkül.

Hivatkozások

- [1] CIPA DC-007-2009. *Multi-Picture Format*. Camera & Imaging Products Association, 2009.
- [2] Fehér Gábor. *Kétmonitoros, Full HD felbontású 3D megjelenítő építése Raspberry Pi mikroszámítógép alkalmazásával*. Szakdolgozat, BME MOGI, 2020.
- [3] Raspberry Pi Foundation. *Raspberry Pi 5 Datasheet: Processor and Memory Architecture*. Raspberry Pi Ltd., 2023.
- [4] FFmpeg Project. *FFmpeg Documentation: Hardware Acceleration and Filter Graph Design*. <https://ffmpeg.org/ffmpeg.html>, 2026.
- [5] Wayland Project. *The Wayland Protocol: Architecture and Display Server Fundamentals*. <https://wayland.freedesktop.org/docs/html/>, 2026.
- [6] Khronos Group. *Vulkan 1.3 Specification: Memory Management and Swapchain Handling*. <https://registry.khronos.org/vulkan/specs/1.3-extensions/html/vkspec.html>, 2026.