

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi  
Egyetem  
Építőmérnöki kar

3D pontfelhő előállítása  
Light-field kamerával

Konzulens:  
Dr. Barsi Árpád

Készítette:  
Horváth Viktor Győző

## Tartalomjegyzék

I.	Bevezetés, munkám célja:.....	3
II.	A fényképezőgép elméleti és technikai háttere .....	4
III.	A fényképezés végrehajtása .....	7
	a. A fényképezőgép pontos típusa és specifikációi: .....	7
	b. A fényképezés végrehajtása .....	8
IV.	Mélységképek előállítása a Lytro Desktop programból.....	10
V.	A pontfelhő előállítása a mélységkép és az all-in-focus kép birtokában Matlab segítségével .....	14
	a. Pontfelhők előállítása.....	14
	b. Pontfelhők összehasonlítása az objektumról lézerszkenneléssel előállított pontfelhővel.....	15
VI.	Összefoglalás, összegzés, tapasztalatok .....	19
VII.	Köszönetnyilvánítás .....	20
VIII.	Irodalomjegyzék.....	21

## I. Bevezetés, munkám célja:

---

Néhány éve a fotogrammetriában megjelentek a light-field kamerák, ezek különlegessége, hogy képes a fénykép készítése után is fókusz távolság állítására is, ezáltal a fényképezett tárgyról, térről lehetséges egy mélységkép előállítása. Ezen mélységképből, illetve a hozzá tartozó fényképből próbálok meg egy 3D-s pontfelhőt előállítani a BME K épülete mögött található első világháborús emlékmű szobráról.

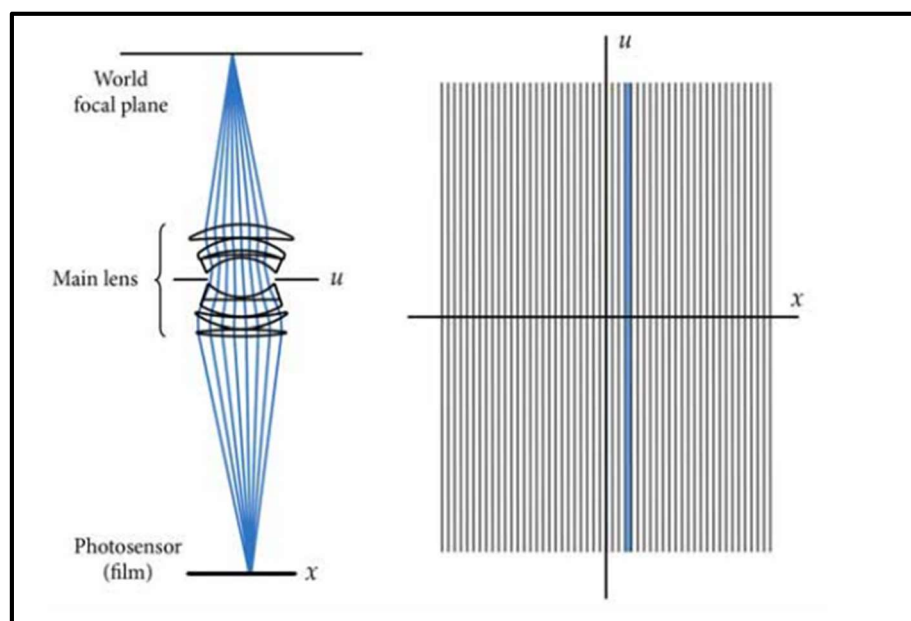


*1. ábra A szobor*

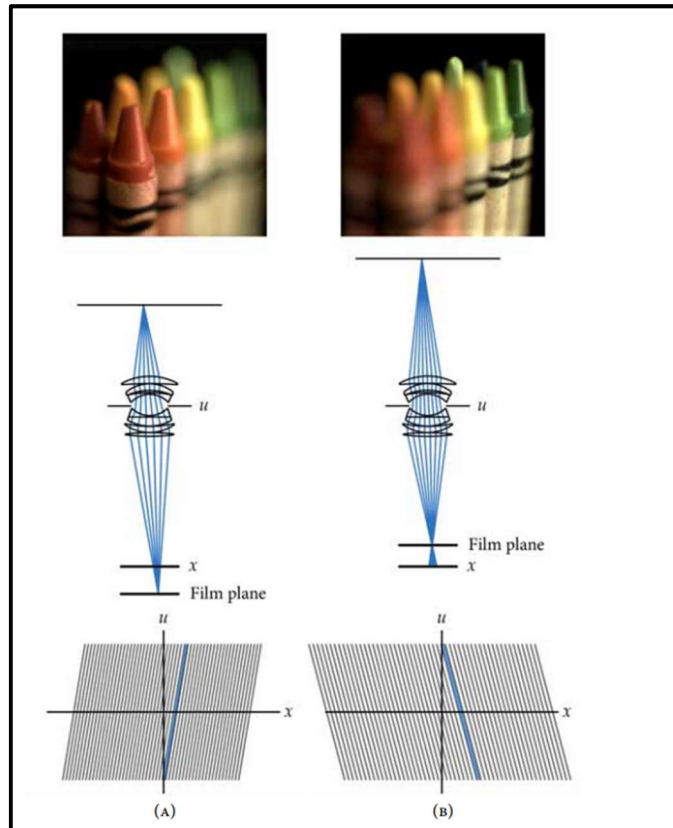
Ilyen kísérletekről publikáltak már, de csak kis, asztalon elférő tárgyakról állítottak elő pontfelhőket több-kevesebb sikerrel. Munkám során fel szándékozom használni a készített fényképeket, ezek mélységképét, illetve a Matlab, CloudCompare és Lytro Desktop szoftvereket és azok sok hasznos funkcióját. Nem számítok rá, hogy a lézerszkennerek pontosságát utolérheti, de véleményem szerint a szobor felismerésére elegendő lesz a rekonstruált pontfelhő.

## II. A fényképezőgép elméleti és technikai háttere

A light-field technológia nem egy manapság megfogalmazott gondolat, 1908-ban a Nobel díjas Gabriel Lippmann írta le a „belső fotográfia” ötletét, amiben egy többlencsés rendszerrel kívánt 3 dimenziós képet előállítani egy objektumról. Az ötlettel csak később 1996-ban kezdtek el foglalkozni a számítástechnikai fotográfia megjelenésével. A fényképezőgép elméleti hátterét és megvalósításának technikai hátterét 2006-ban Ren Ng villamosmérnök és mérnökinformatikus dolgozta ki és írta meg egy 175 oldalas PhD disszertációban a Stanfordon (Ng 2006). A kamera valójában a klasszikus digitális fényképezőgépek továbbgondolása olyan módon, hogy a klasszikus kamerák csak egy 2 dimenziós síkban rögzítik a beérkező fény intenzitását, addig ennél a kameránál a beérkező fénysugarak iránya is rögzítésre kerül, ebből lehet előállítani a mélységképet, amely megmutatja, hogy egyes pixelekre érkező fénysugarak a fényképezés helyétől milyen messze voltak a kép leképzésének pillanatában. A technológia még gyerekcipőben jár, vagyis inkább elérte a jelenleg megvalósítható pontossági korlátját, ugyanis a CCD panel elé egy komplex lencserendszert helyeznek, amiben minden lencsét külön kalibrálnak attól függően, hogy a fénysugár hogyan halad át rajta. Ebből következik, hogy mivel nem vagyunk képesek a CCD panel legkisebb érzékelőjével azonos méretű lencsét gyártani, ezért a lencsék több érzékelőre illeszkednek rá. Noha a kamera specifikációjában 40 megasugaras felbontást adnak meg (ami a 40 MP-es CCD panelből következik), a gép valójában csak 4 MP-es felvételeket képes készíteni.

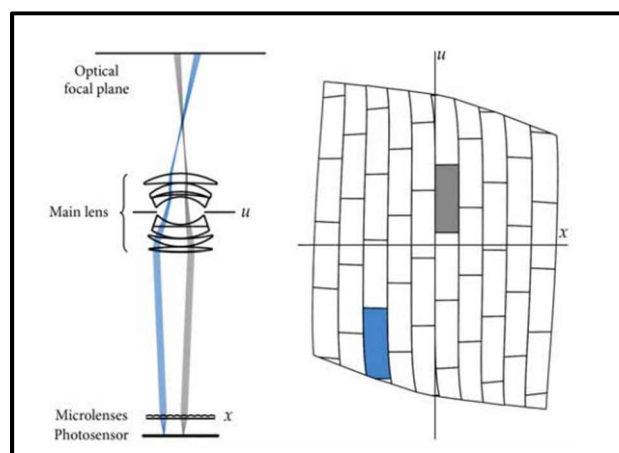


2. ábra A klasszikus 2D kamerák képképzése  
(Ng, 2006)



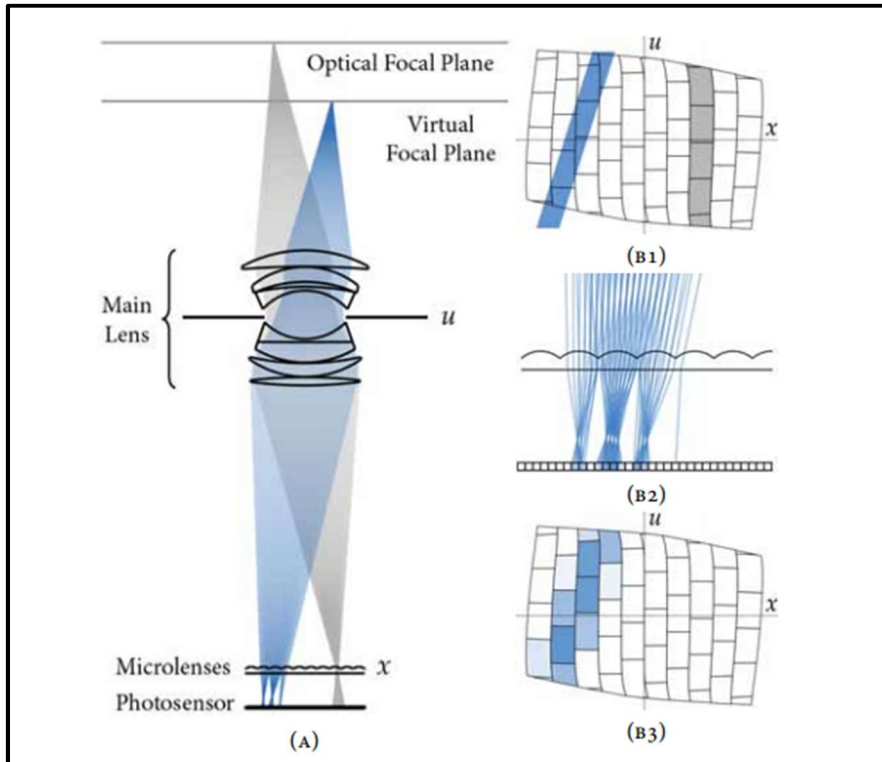
3. ábra A különböző fókusz távolságokhoz tartozó fénysugarak (Ng, 2006)

A 3-as ábrán látható, hogy a képesség szempontjából mennyit is jelent a fókusz távolság, azaz hogy hova fókuszál a kamera. A bal oldali képen látható, hogy a közelebb lévő zsírkréták vonalai élesebbek, és a hátsóbbak elmosódnak, míg a jobb oldali képen pont fordítva. Ebből következtethetünk arra, hogy a fókusz távolság változásából mélységi adatokat is kinyerhetünk egy fényképből. Ezt az eljárást depth-from-focusnak nevezik, mikroszkóppal készült képeknél használatos manapság.



4. ábra A CCD panel elé helyezett mikrolencse-rendszer (Ng, 2006)

A 4-es és 5-ös ábrán jól látható, hogy a CCD panel elé helyezett mikrolencse-rendszer milyen hatással van a fénysugarakra. Az ábrák alapján belátható, hogy a beeső fénysugár útja visszaállítható, így megállapítható, hogy melyik pixelcsoportot érzékelte. Ennek következménye, hogy minden egyes lencsét nagyon pontosan kalibrálni kell, hogy pontos információink legyenek arról, hogy hogyan jut át rajta a fénysugár.



5. ábra A mikrolencse-rendszer hatása és a virtuális fókusz sík (Ng, 2006)

### III. A fényképezés végrehajtása

---

a. A fényképezőgép pontos típusa és specifikációi:

**Lytro Illum Light Field Digital Camera:**

- Súly és méretek
  - Magasság: 86 mm
  - Szélesség: 145 mm
  - Hosszúság: 166 mm
  - Súly: 940 g
- 
- Kijelző
  - 4" hátsó megvilágítású LCD panel kapacitív érintőképernyővel
  - 480 x 800-pixel felbontás, 235 ppi
  - Állítható fényerő
  - Élő kép renderelés
- 
- Érzékelő panel
  - Light field szenzor a CMOS technológia alapján
  - Light Field Felbontása: 40 Megaray
  - Szenzor formátum: 1/1.2"
  - Aktív terület: 10.82 x 7.52 mm
  - ISO skála: 80-3200
- 
- Processzor
  - Snapdragon® 800 processor by QUALCOMM®
- 
- Lencsék
  - Fókusz távolság: 9.5 - 77.8 mm (30 - 250 mm equivalent)
  - Vágó tényező: 3.19
  - Zoom: 8x optikai
  - Lencsék rekesznyílása: konstans  $f/2.0$
- 
- Képfarmátum
  - Light Field RAW Format (.lfr) (nyers formátum)
  - 3 : 2 Képarány
  - 2D export felbontás: 2450 x 1634 pixel
- 
- Kamerazár
- Fókusz síkban
  - Leggyorsabb zársebesség: 1/4000 sec
  - Leghosszabb zársebesség: 32 seconds
  - Felvételi módok: Egyszeres, folytonos vagy időzítő
  - Időzítő: Igen (2 vagy 10 másodperc)
  - Folyamatos mód: 3 fps



b. A fényképezés végrehajtása

A fényképezést egy péntek délutánon 12-14 óra között hajtottam végre. Összesen 129 fényképet készítettem a szoborról. Mivel ez volt az első találkozásom a kamerával, ezeknek a nagy része rossz beállításokkal született, de összességében a végén ebből 22 képet használtam fel a pontfelhők létrehozásához. A képek felbontása 2022\*1404 pixel.

A fényképezés választott időpontja több szempontból is ideális volt: egyrészt péntek délután már kevesebb ember van az egyetemen, másrészt egy kellemes őszi délután volt, amikor a nap hol sütött, hol pedig felhők takarták el. Ez roppant kedvező volt, ugyanis így sokféle fényviszonyban tudtam lefotózni a szobrot, születtek olyan képek, amelyeken süt a nap, míg más képek inkább egy borult őszi délután fényviszonyaira emlékeztettek.

Az alább látható térképvázlaton bemutatom a fényképezések körülbelüli helyét a képeket felhasználva.



6. ábra Képek készítési helyei

A következőkben bemutatom az összes készített képet balról jobbra 1-től 23-ig számozva. Ezek már nem a nyers képek, hanem a szoftver által automatikusan generált „All-in-focus” képek.







A fényképezőgépen a fényképezésnél lehetőség van „live overlay”-t is bekapcsolni, ami élőben mutatja, hogy éppen milyen síkokat képes érzékelni, egy sárgától kékig terjedő skálán. A fedélzeti számítógépen lévő szoftver élőben mutatja és jelöli meg a képet, mielőtt megnyomjuk az exponáló gombot. Ezt igyekeztem minél jobban kihasználni, úgy, hogy az érzékelt síkok nagy része a szoborra essen. Igen ígéretesnek tűnt ugyanis a live overlayben, hogy a gép a szobor kisebb domborulatait is képes volt „beszemcsézni”, jelezve, hogy ott is érzékel különböző síkokat, ezáltal mélységeket.

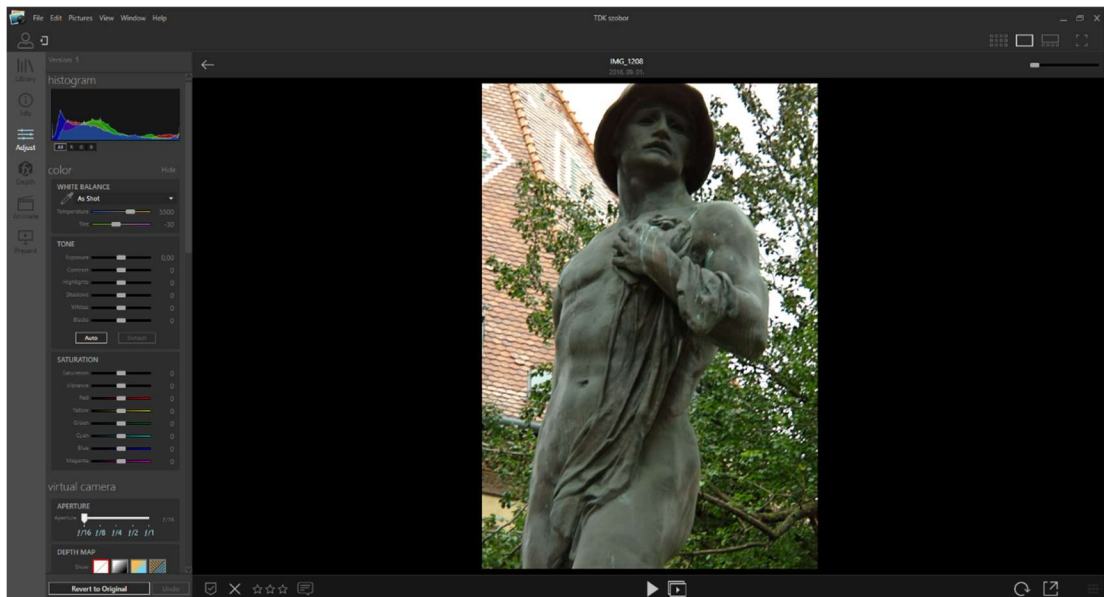
A fényképeket az átlagos fényképezőgépekhez viszonyítva itt nem a szokványos formátumokban tudjuk kiolvasni, hiszen a gép nemcsak a fényképet tárolja el, hanem a manapság szokványos metaadatokon kívül más speciálisabbakat is. A képeket két fájlban tárolja, egy .LFP és egy .LFR kiterjesztésű fájlban. Így a 129 kép összesen 258 fájlként jelentkezett. Ezek összesen 19,6 GB helyet foglaltak, amiből már láthatjuk, hogy egy képhez sokkal több információ tartozik, mint a klasszikus digitális fényképezőgépeknél. A képeket a gyártó oldaláról ingyenesen letölthető Lytro Desktop szoftverrel tudjuk kezelni. Ebben a programban kellett létrehozni egy .lytrolibrary könyvtárat és ebbe beimportálni minden képet.

## IV. Mélységképek előállítása a Lytro Desktop programból

A mélységképeket a kamerához tartozó hivatalos, ingyenesen letölthető szoftverrel, a Lytro Desktoptal lehet előállítani. A szoftver lehetővé teszi a képek széleskörű manipulálását; lehet állítani többek közt a rekesznyílást, a fókusztávolságot, megjeleníti a hisztogramot, és elő lehet állítani, illetve manipulálni lehet az adott fénykép mélységképét.

A programban a képek következő aspektusait tudjuk szerkeszteni:

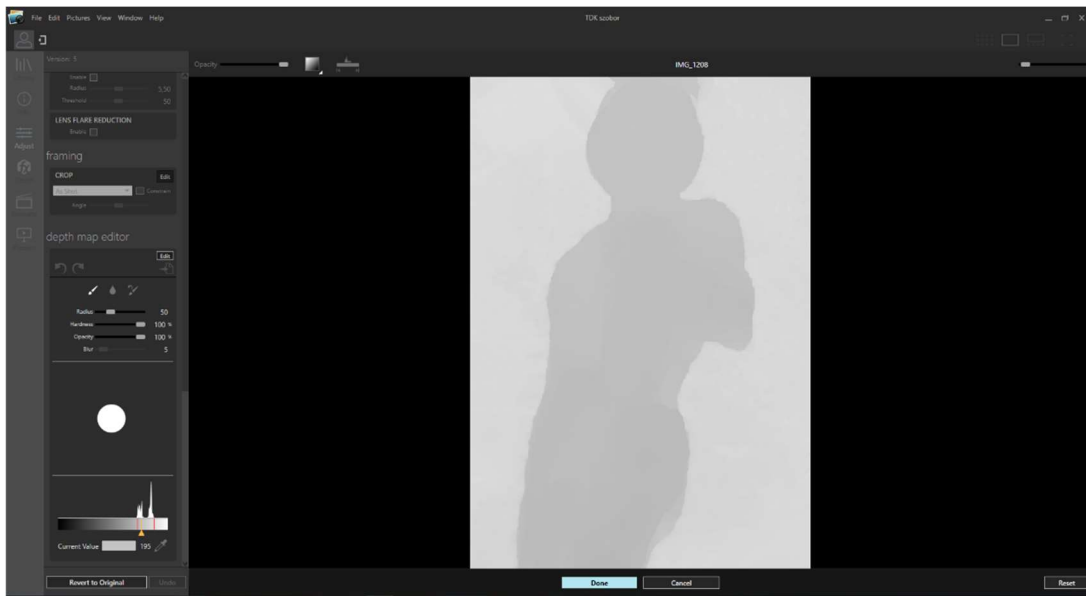
- Fehéregyensúly
- Tónusok
- Szaturáció
- Rekesznyílás nagysága
- Mélységkép színezése
- Fókusz állítása
- Kép forgatása
- Élesítés
- Zajcsökkentés
- Szegélyelmosás
- Lens flare csökkentés
- Körülvágás
- Mélységkép szerkesztő



7. ábra A Lytro Desktop szoftver kezelőfelülete

De mi is az a mélységkép?

A mélységképen a pixelek értékei egy relatív rendszerben azt adják meg, hogy az adott pixelben rögzített fénysugár milyen távolságról verődhetett vissza. Ezáltal a pixeleket különböző távolságú síkokra lehet elhelyezni, ebből fog előállni a pontfelhő, ahol minden pont egy pixel 3 koordinátájából áll össze.



*8. ábra Betöltött mélységkép és szerkesztő*

Miután mind a 129 képet beimportáltam a szoftverbe egy újonnan létrehozott könyvtárba, a szoftvernek fel kellett dolgoznia minden képet egyenként, ugyanis a fel nem dolgozott kép szerkesztési opcióihoz nem enged hozzáférést. Az összes kép feldolgozása körülbelül 40-50 perc alatt történt meg. A mélységképek felbontása megegyezik a képekével. (2022\*1404 pixel)

Miután betöltöttük a képeket a könyvtárba, azon belül is egy album mappába, minden képhez egy külön mappát találhatunk. Ebben a mappában a feldolgozott kép 7 fájlból áll. Ezek egy .json, két .jpg, és négy darab .lfp. Pontosan nem sikerült kiderítenem, melyik fájlban mit tárol a program, tartalmukra csak a fájlnevből lehet következtetni. Például a thumbnail.jpg a programban használt előnézeti kép, míg a raw.lfp a kép nyers adatait tárolhatja.

A mélységkép szerkesztőben egy Paint-szerű rajzeszközzel tudjuk a mélységkép értékeit megváltoztatni, illetve láthatjuk, hogy milyen értéktartományban vannak értékeink, azaz mennyi síkot volt képes érzékelni.

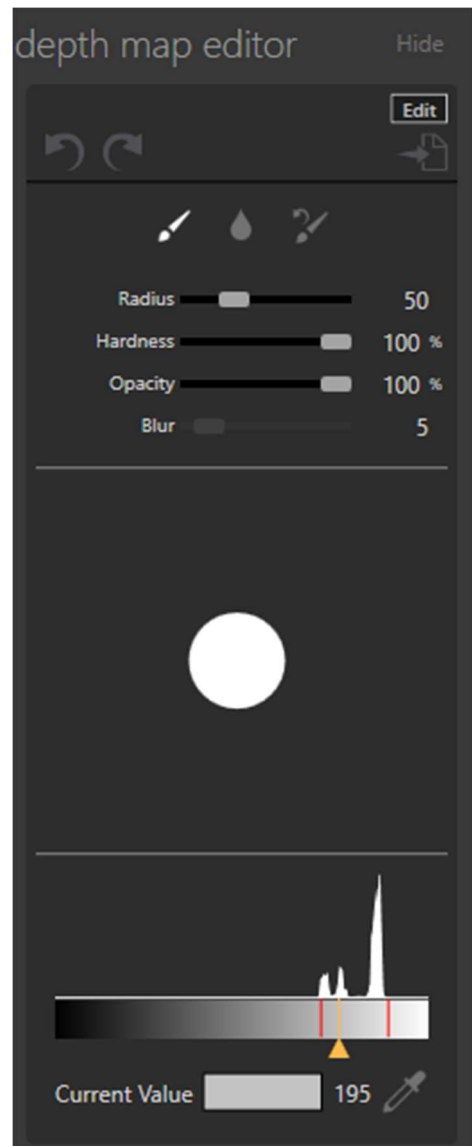
Az eszköztáron állíthatjuk a rajzolóeszközünk nagyságát, keménységét, átlátszóságát, illetve hogy milyen értéket akarunk használni.

Láthatunk továbbá egy előnézetet is a rajzeszközzel, az hogyan változik meg a beállításaink hatására.

A rajzeszköz értékét beállíthatjuk a skáláról, vagy használhatjuk a képszerkesztő programokból ismerős pipetta eszközt is, amely a kép egy pontjára mutatva felveszi az azon a ponton érzékelt értéket.

Miután megvizsgáltam, és megjavítottam mind a 129 kép mélységképét a program lehetőséget ad a mélységkép exportálására is. Ez .PNG formátumban lehetséges, azonban a program automatikusan mellékel az adott képről az All-in-focus képet is .tiff formátumban.

A 3D pontfelhőt már ezen két fájl birtokában képesek is leszünk előállítani.



9. ábra  
A mélységképszerkesztő  
eszköztára

Alábbiakban bemutatom a felhasznált 22 képből generált mélységképeket.





## V. A pontfelhő előállítása a mélységkép és az all-in-focus kép birtokában Matlab segítségével

---

### a. Pontfelhők előállítása

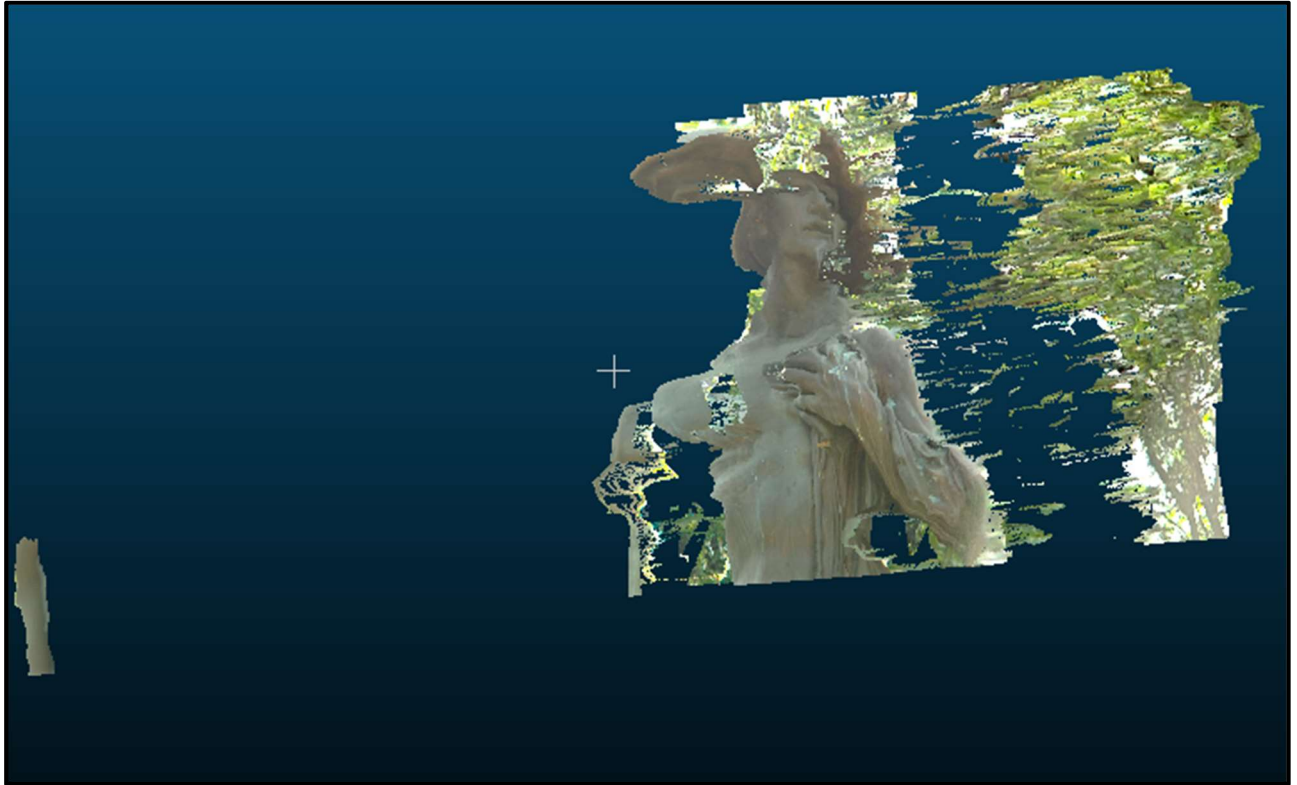
A pontfelhő előállításához a Matlab legfrissebb verzióját használtam fel (R2017b). A program képmanipulációs függvényeivel könnyedén írható egy szkript amivel a 2 síkban értelmezett képből előállítható a pontfelhő az objektumról. A pontfelhő létrehozásának alap gondolata, hogy minden pixelhez 3 koordinátát rendelünk. A 3 koordinátából 2-t az eredeti képről vesszük, amihez hozzárendeljük 3. koordinátaként a mélységképen ugyanazon pixel értékét, ami az adott pixel mélységét fogja megadni. Továbbá mivel az eredeti kép színes, így arról minden ponthoz rendelhetünk színeket is. Ennek trükkje, hogy minden ponthoz hozzárendeljük az adott pixel 3 csatornán eltárolt (RGB) intenzitásértékeit.

A Matlab-szkript mindössze 11 lépésben képes előállítani a színes pontfelhőket a mélységképekből és az all-in-focus képekből, majd exportálni tudja azt .ply formátumban. Néhány jobban sikerült példa a Matlab szkripttel előállított pontfelhőkből:



*10. ábra Az előállított legjobb pontfelhők*

Nem minden esetben sikerült a Lytro szoftvernek hibátlan mélységképet létrehoznia:

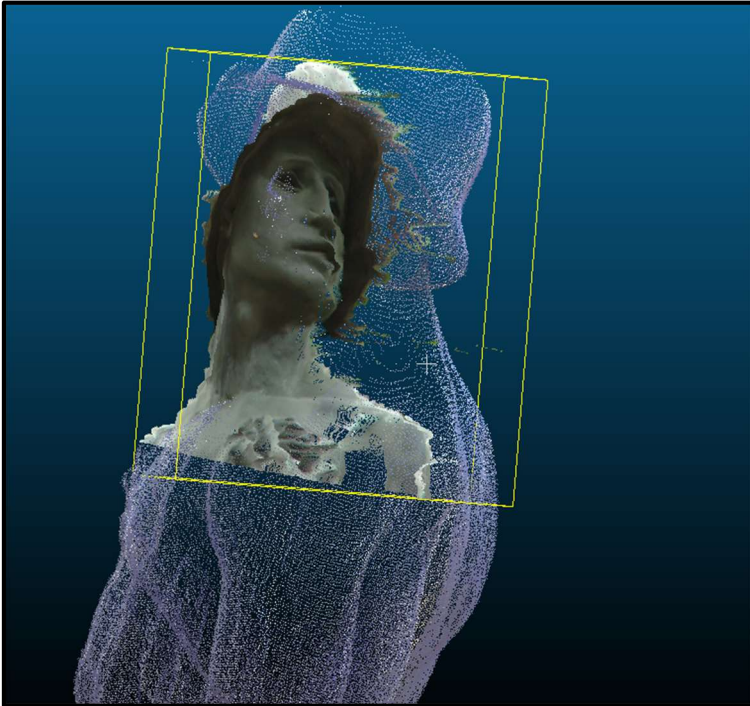


*11. ábra Egy rosszul sikerült pontfelhő*

b. Pontfelhők összehasonlítása az objektumról lézerszkenneléssel előállított pontfelhővel

Miután a pontfelhő előállításához semmiféle méretet nem mértünk, így az előállított modell sem egy mérhető modell. A lézerszkenneres pontfelhővel való összehasonlításhoz így nem túl nagy pontossággal beazonosítható illesztőpontokkal próbáltam egymáshoz hasonlítani a két pontfelhőt. Sajnos a kutatásom eredménye az, hogy egy ilyen összetett geometriával rendelkező objektummal nem bír el a Lytro Illum. A probléma okai valószínűleg a szoftveres kiforratlanság, illetve a fényképezőgép firmware-jének kiforratlansága. Az asztali szoftverben előállított mélységkép sajnos többször volt pontatlan mint, pontos, ez nem feltétlenül a szoftver hibája, lehetségesnek tartom, mivel először volt a kezemben a gép, sok fényképnél csak a beállítások voltak elrontva.

A két pontfelhő összeillesztését megpróbáltam pusztán a szobor fejére, illetve az egészére is elvégezni. Álljon itt most a két legjobb eredmény az összeillesztésre:



12. ábra Illesztés a lézerszkenneres pontfelhőhöz

Amint látható a két pontfelhő alig hasonlít egymásra. Látványosnak látványosak az eredményei a Matlab szkriptnek, látszatra 3D-s modellt kapunk, ám ezt egy pontos modellhez hasonlítva elvethetnénk a mérnöki alkalmazás gondolatát. A két pontfelhő összeillesztése manuálisan kiválasztott illesztőpontok alapján történt, nem ICP-vel.

A hiba oka a mélységképekben keresendő: mindkét képen jól látszik, hogy a szobor közepe szabályosan „behorpad”. A második képen az arc még csak-csak megfelelő, de a felsőtest egy síkként „átszúrja” a lézerszkennerral nyert pontfelhőt.

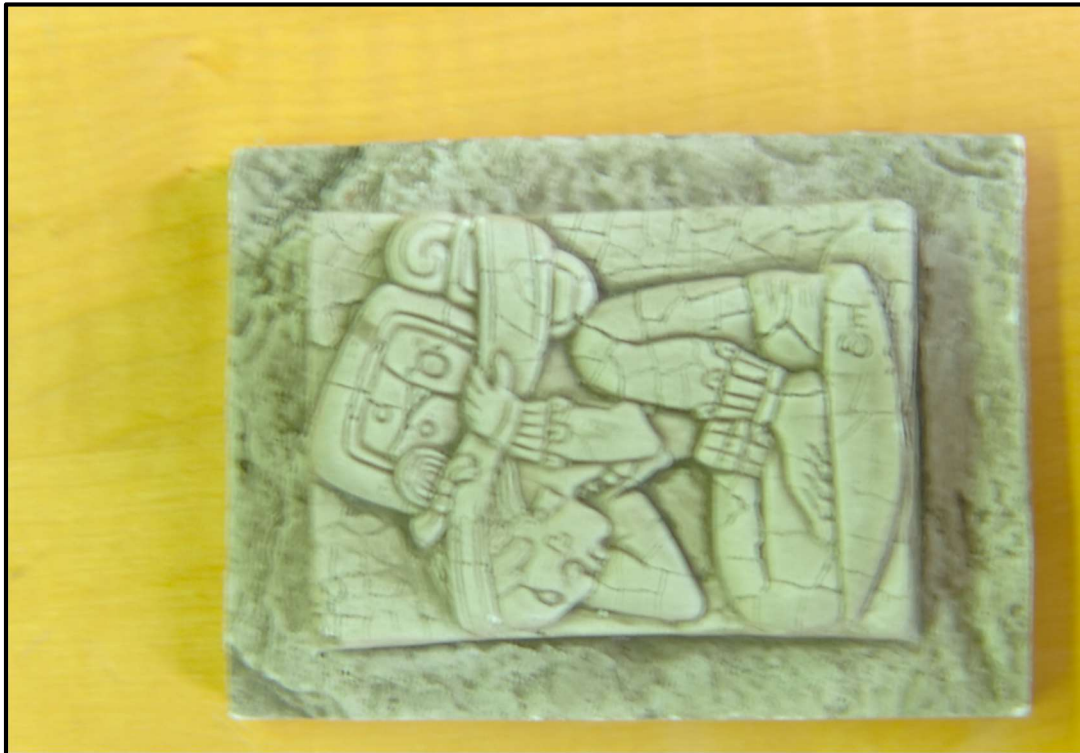
Ezekből levonva a tanulságot, nagy és bonyolult geometriájú objektumok esetén egyelőre elfelejthetjük a mérnöki alkalmazást. De mi lenne, ha egy kisebb, egyszerűbb, nagyjából síkokkal pontosan rekonstruálható objektumot vennénk? Merő kíváncsiságból feldolgoztam egy kis Maya karcolatot is, ami a nevéből adódóan egy kis kőanyagba karcolt alkotás, és elvégeztem rajta az egész folyamatot. Az eredmény egészen meglepő volt a szoborral való felsülés után.

#### c. Kísérletezés a módszer alkalmazásával kisebb objektumokon

A szobor után a következő rekonstruált objektum egy Maya karcolat volt. Ezen is ugyanazokat a lépéseket hajtottam végre, viszont a végeredmény egy meglepően pontos, ámde zajos modell lett. Ezt a pontfelhőt is összeillesztettem illesztőpontok alapján egy pontosabb, gépészek által használt letapogatóval előállított pontfelhővel.



Az újonnan rekonstruált objektum egy kb. 10\*7 cm-es karcolat. Különlegessége, hogy a felületén mm-esek a karcolat bemélyedései, amivel a földi lézerszkennerek már nem tudtak mit kezdeni. De a Lytro Illum igen, képes volt érzékelni még ezeket a kis mélységeket is.

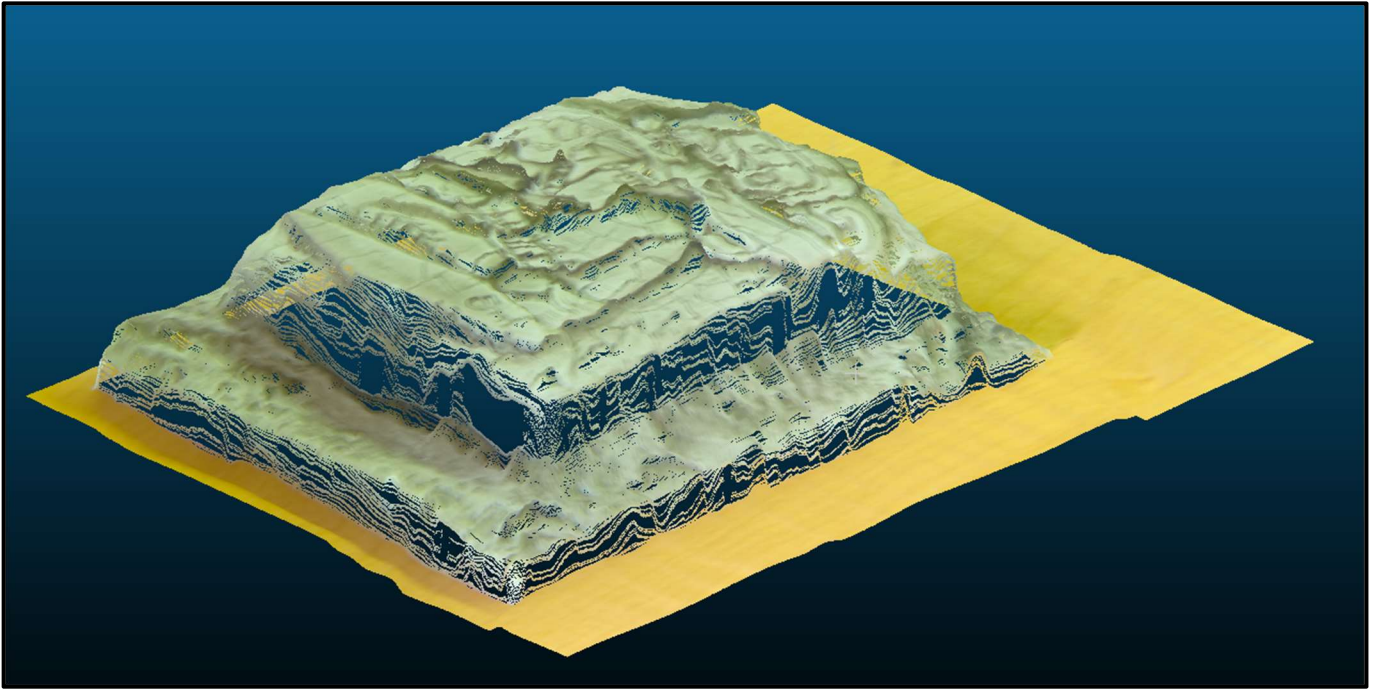


*13. ábra A szóban forgó karcolat*



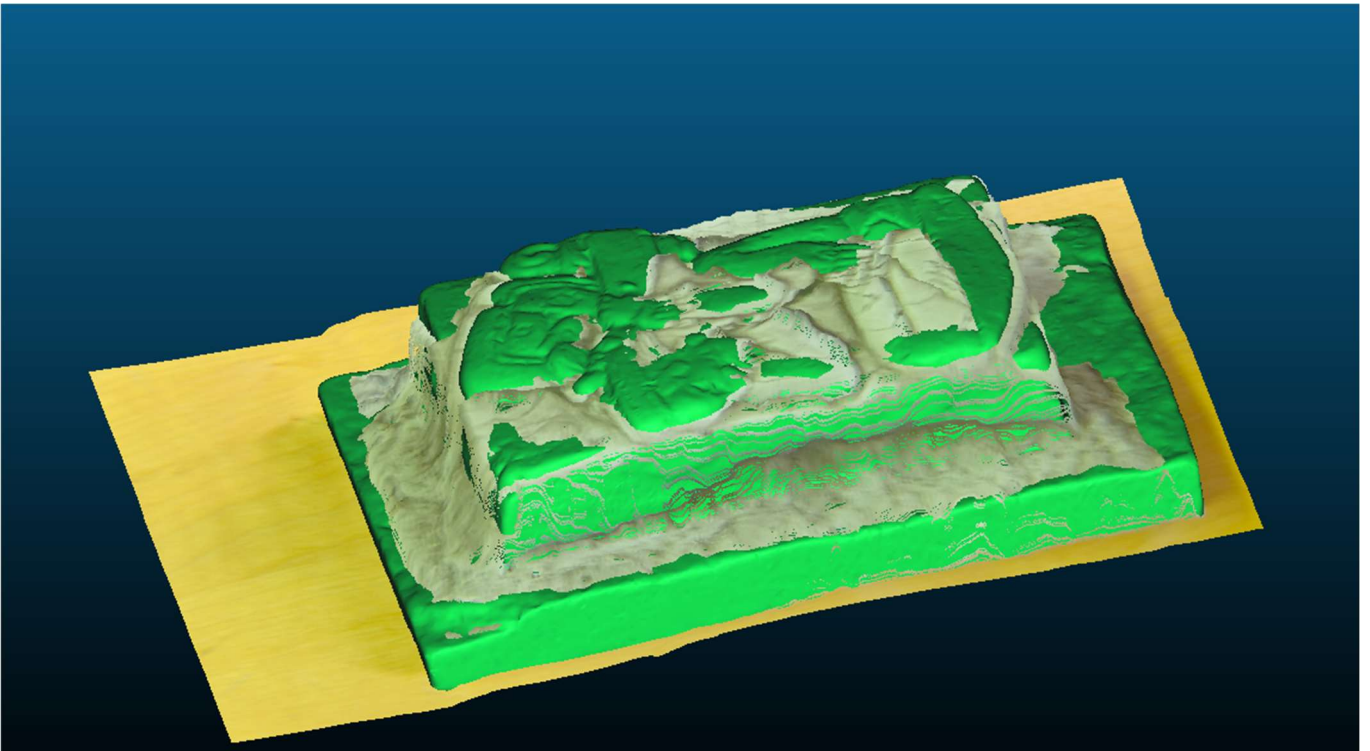
*14. ábra A mélységkép*

Az ebből született eredmények:



A modellen jól látható, hogy nagyon kicsi mélységkülönbségeket is képes volt észlelni a kamera, és a pontatlansága csak néhány tűskében jelentkezik zajként.

Hasonlítsuk össze a nagyon pontosan beszkenelt pontfelhővel:



A két pontfelhő könnyedén megkülönböztethető, a zöld a nagy pontosságú szkennelvel készített pontfelhő, míg a színes a Light-field kamerával előállított felhő. Látható, hogy elég jól fedik egymást, ha nagy pontossággal beazonosítható illesztőpontokat helyeznénk el, talán még jobban fedésbe hozható lenne a két felhő.

## VI. Összefoglalás, összegzés, tapasztalatok

---

### a. Összefoglalás

Szomorúan kell megállapítanunk, hogy a Lytro-val készített fényképekből nem sikerült mérnöki felhasználásra alkalmas pontfelhőket készíteni nagy méretű és összetett geometriájú objektumokról. Azonban ha kisebb, de ugyanúgy összetett geometriájú, de alapvetően síkhoz hasonló objektumról van szó, akár megközelítheti a gépezetek által használt szkennerek pontosságát is. A jövőben tervezem kipróbálni a Lytro-t szobor nagyságú, de egyszerűbb geometriájú objektumokkal is. Lehetséges, hogy ott már mérnöki alkalmazásra is megfelelő pontosságú pontfelhőket kapnánk.

### b. Tapasztalatok

Kutatásom alatt sok tapasztalattal lettem gazdagabb, megismertem a Matlab szoftver alapvető szintaxisát, összeismerkedtem a CloudCompare szoftver legtöbb funkciójával, illetve megtudtam, hogy a fényképezési ismereteimre ráfért egy kis bővítés.

Véleményem szerint a Lytronak mind az asztali szoftver tekintetében, mind a fedélzeti számítógép firmware-jének tekintetében lenne hova fejlődnie. De még az is lehetséges, hogy a rossz mélységképek csupán a véletlennek köszönhetőek.

## VII. Köszönetnyilvánítás

---

Szeretném megköszönni a dolgozat elkészítéséhez nyújtott hatalmas segítségét és fáradhatatlan munkáját konzulensemnek, Dr. Barsi Árpádnak, nélküle ez a dolgozat nem jöhetett volna létre.

## VIII. Irodalomjegyzék

---

- Ng, Ren (2006): Digital Light Field Photography, PhD disszertáció,  
<https://stanford.edu/class/ee367/reading/Ren%20Ng-thesis%20Lytro.pdf>
- Cloud Compare Open source software - <http://www.danielgm.net/cc/>
- Lytro Desktop - <https://illum.lytro.com/desktop>
- Google Maps - <https://www.google.hu/maps>
- Matlab R2017b - <https://www.mathworks.com/products/matlab.html>
- Murgia, Francesca – Perra, Cristian Giusto, Daniele (): 3D Point Cloud Reconstruction from Single Plenoptic Image, [http://journal.telfor.rs/Published/Vol8No1/Vol8No1\\_A5.pdf](http://journal.telfor.rs/Published/Vol8No1/Vol8No1_A5.pdf)
- Lytro Illum specifikációk és használati útmutató - <https://illum.lytro.com/illum/specs>