



**Mesterséges intelligencia**

GKLB\_INTM002

# **Geometriai méret meghatározás kameraképen**

**Varga Zoltán**

GIRJ80

Tatabánya, 2019/20 2. félév

## Tartalomjegyzék

1	Absztrakt .....	2
2	Bevezetés .....	2
3	Tárgyak méretének meghatározása két kamerával [1].....	3
3.1	Lineáris transzformációs algoritmus .....	3
3.2	Mesterséges neurális háló alapú algoritmus.....	4
3.3	Rendszer felépítése és működése .....	5
3.4	Kalibrációs és mérési eredmények.....	6
4	Három kamerás fotogrammetria[2].....	7
4.1	A rendszer felépítése .....	7
4.2	Kalibráció .....	7
4.2.1	Négyzetrács felület beállítás .....	8
4.3	Digitális felület modell előállítás.....	8
4.4	Méretmeghatározás .....	9
4.4.1	Tesztek .....	9
4.4.2	Éles tesztek.....	9
5	Méretmegállapítás egy kamerával [3].....	10
5.1	Mérési módszerek .....	10
5.1.1	Mérés a kamera képen .....	10
5.1.2	Képpont méret meghatározás.....	11
5.1.3	Mérés kamerával pixelek alapján.....	11
5.1.4	Képek kezelése.....	11
6	Összegzés.....	14
7	Felhasznált irodalom.....	16

## 1 Absztrakt

A dolgozat a tárgyak méretmeghatározásával foglalkozik gépi látás technikák felhasználásával. Három különböző kutatás eredményeit feldolgozva, három különböző módszert mutat be eltérő területen. Az egyik eset egy sztereo kamerás módszert mutat be ahol a kép kiértékelése és a méretmeghatározás két eltérő eljárással történik (közvetlen lineáris transzformáció és Mesterséges Neurális Háló), míg a második esetben az egészségügy területén tett kísérletet ismertet egy három kamerát és strukturált fényt használó eszköz használatával. A harmadik tanulmány egy a növények nehezen meghatározható méretét megállapító, költséges műszerek kiváltását szolgáló kamerás mérési eljárással foglalkozik amely egy kamerával is végrehajtható.

## 2 Bevezetés

A tárgyak fizikai méret meghatározásának számos módja létezik. Ez két fő csoportra oszthatók: a kontakt és non-kontakt mérésekre. Az, hogy mely eljárást használják nagy mértékben függ a mérés körülményeitől. Kontakt méréseket leginkább ott használnak, ahol nem követelmény a roncsolásmentes méretmeghatározás, a mérendő tárgy hozzáférhető vagy nincsenek az eljárásnak szűk időbeli korlátjai (pl. tömeggyártás). A non-kontakt mérések már sok területen elterjedtek előnyeinek és elérhetőségeinek köszönhetően.[1]

Az érintés nélküli mérések túlnyomó része gépi látás technológián alapszik. A mesterséges intelligencia ezen eszköze többféle eljárást foglal magába. Az érzékelők típusa és azok adatainak kiértékelése rendszerint a mérés követelményeitől és a annak körülményeitől függ. Speciális gépi látás szenzorokat (főleg nem látható fény tartományban működő szenzorok) leginkább kutatások és gyártás területén használnak ahol fontos a pontosabb mérési eredmény vagy a mérendő tulajdonság megköveteli.

Geometriai méret meghatározásra azonban szinte minden esetben megfelelnek a hagyományos gépi látás kamerák is (a sztereo kamerákat is bele értve) amelyek a látható fény tartományban érzékelnek. Mivel ezek a kamerák képzik le a valóságot, függ a mérés eredménye ezen szenzorok pontosságától [4]. Ha a kamera lencséje nem pontos, akkor bizonyos esetekben ez befolyásolhatja a kapott eredményeket. Ez kisebb fókusz távolság és kisebb kamera felbontás mellett esetenként elhanyagolható ha a lencse alaki hibája nem nagy.

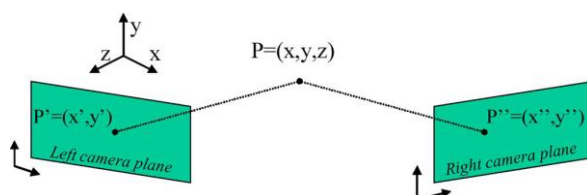
Geometriai méret meghatározás egy kamerával is lehetséges, azonban az ismertetett módszerek közt kettő és három kamerás megoldás is található. Minden esetben más az adatok kiértékelési módszere. Gépi látással történő méretmeghatározás esetében úgy vélem a fellelt irodalmak alapján, hogy a legelterjedtebb a sztereo kamerás módszer amely során két, egymástól meghatározott és ismert távolságra lévő kamera képeit vagy mozgóképeit kiértékelve határozható meg látótérben lévő tárgyak mérete. Az egy kamerás megoldással szemben itt nem feltétel a kamera és a vizsgált tárgy közti távolság ismerete. A bemutatott másik módszerrel, amely három kamerát használ, a tárgy harmadik dimenziója a mélysége is meghatározható.

### 3 Tárgyak méretének meghatározása két kamerával [1]

A gépi látással való méretmeghatározás leginkább ipari területen terjedt el, ahol fontos a folyamatos üzemelés és esetenként az érintés mentes mérési eljárás használata. Jórészt a gyártás közti és végellenőrzési feladatok ellátását bízzák ezekre a technológiákra. A választott szenzor és annak kiértékelési folyamatának megválasztása környezet (fényviszonyok, várható méretek, méretpontosság...) függő. A pontos méréshez elengedhetetlen a külső és a rendszer belső paramétereinek pontos ismerete valamint a rendszer pontos kalibrálása. Egy olasz kutatókból álló csoport egy két kamerás rendszert tesztelt[1]. Ehhez a sztereo kamerás rendszerhez több más tanulmányokból származó kalibrációs eljárást vettek figyelembe. Több értekezés és kutatás épít a kalibrálás során olyan információkra, mint például a fókusz távolság vagy a kamerák tájolási szöge. A csoport olyan pontosság beállítási eljárást szeretett volna amely nem épít olyan adatokra amelyek meghatározás ipari környezetben nem áll rendelkezésre, nehéz vagy lehetetlen pontosan meghatározni. Ezért az általuk vizsgált tanulmányok közül kettőt alapul véve vizsgálták meg milyen lehetőségek a vannak a rendszer alapbeállítására.

#### 3.1 Lineáris transzformációs algoritmus

Az egyik egy két lépcsős kalibrációs módszer amely torzításmentes kamerát feltételez és közvetlen lineáris transzformáción alapszik.[5]



1. ábra A dual kamerás felépítés geometriája[1]

Az 1-es ábrán látható P egy pont a térben, míg P' és P'' az adott pont vetületi képei a két kamera képsíkján (1.ábra). A homogén koordináták és a transzformációs mátrix figyelembevételével a P pont 3 dimenziós koordinátáinak és a két síkon fekvő vetületeinek koordinátáinak viszonya az alábbi(1)(2)[1]:

$$\begin{pmatrix} x'w_1 \\ y'w_1 \\ w_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \alpha_1 & \alpha_2 & \alpha_3 & \alpha_4 \\ \alpha_5 & \alpha_6 & \alpha_7 & \alpha_8 \\ \alpha_9 & \alpha_{10} & \alpha_{11} & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{pmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{pmatrix} x''w_2 \\ y''w_2 \\ w_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \beta_1 & \beta_2 & \beta_3 & \beta_4 \\ \beta_5 & \beta_6 & \beta_7 & \beta_8 \\ \beta_9 & \beta_{10} & \beta_{11} & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{pmatrix} \quad (2)$$

$(X, Y, Z)$  és  $(x', y')$  és  $(x'', y'')$  közötti kapcsolat kifejezhető alábbiak szerint:

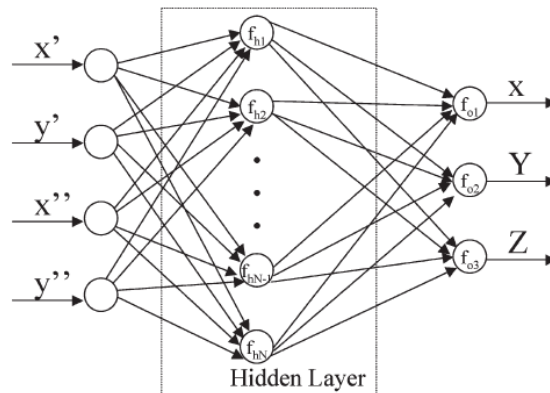
$$\begin{pmatrix} (\alpha_1 - \alpha_9 \cdot x') & (\alpha_2 - \alpha_{10} \cdot x') & (\alpha_3 - \alpha_{11} \cdot x') \\ (\alpha_5 - \alpha_9 \cdot y') & (\alpha_2 - \alpha_{10} \cdot y') & (\alpha_3 - \alpha_{11} \cdot y') \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (x' - \alpha_4) \\ (y' - \alpha_8) \end{pmatrix} \quad (3)$$

$$\begin{pmatrix} (\beta_1 - \beta_9 \cdot x'') & (\beta_2 - \beta_{10} \cdot x'') & (\beta_3 - \beta_{11} \cdot x'') \\ (\beta_5 - \beta_9 \cdot y'') & (\beta_2 - \beta_{10} \cdot y'') & (\beta_3 - \beta_{11} \cdot y'') \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (x'' - \beta_4) \\ (y'' - \beta_8) \end{pmatrix} \quad (4)$$

Ezek az összefüggések (3)(4)[1] képezik a háromdimenziós koordináták kiszámításához használt lineáris algebrai egyenletek halmazát. A számításból következik, hogy a valós pont pozíciós értékének mértékegysége megegyezik a kamerák piheleinek vízszintesen és függőlegesen megadott kiterjedésének mértékegységével. Az  $\alpha$  és  $\beta$  mátrix elemeinek értékei függenek a kamerák optikai és geometriai tulajdonságaitól amelyeket a kalibráció során kell beállítani.

### 3.2 Mesterséges neurális háló alapú algoritmus

A leírt rendszer egy másik kalibrációs, tanító módszere - amelyet a kutatók teszteltek - egy mesterséges neurális háló használata. Ez egy többrétegű hálózat amely három fő rétegre tagolható: A bemeneti réteg amely négy neuront tartalmaz amelyek mindegyike a kamera képsíkokra vetített pont egyegy koordinátája. A középső rejtett réteg ahol az adatok transzformációja történik és a kimeneti réteg három neuront tartalmazva, amelyek mindegyike kimenetként a valós térbeli pontegy-egy három dimenziós koordinátáját adja eredményül (2. ábra).

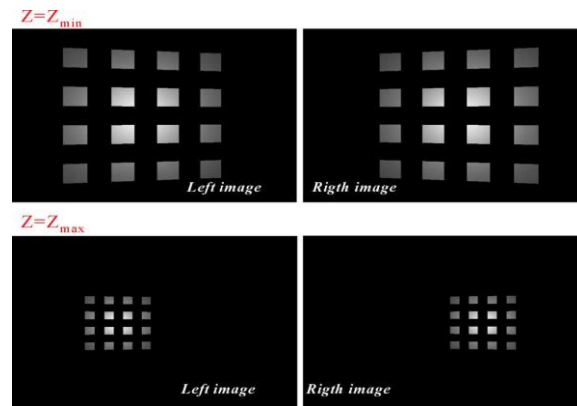


2. ábra A felhasznált neurális háló modellje.[1]

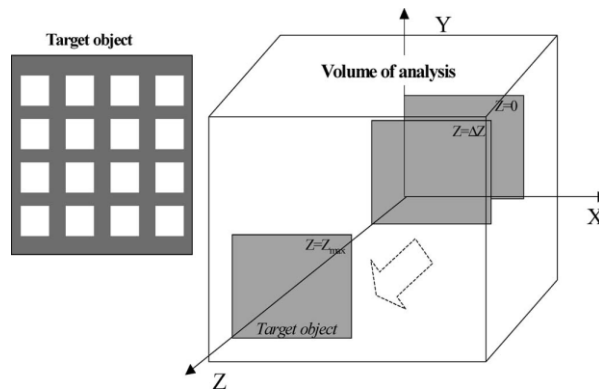
A háló feladatára való minél tökéletesebb kialakítása és megfelelősége nagy mértékben függ a tanító halmaz optimálisabb kiválasztásától. Közös mindkét módszerben, hogy a tanító, kalibrációs folyamathoz szükség van ismert három dimenziós ismert pontokra.

Míg a lineáris transzformációs algoritmus esetében elegendő hat pont a kalibrációhoz, a mesterséges neurális hálók esetében a mérési pontosság növekszik a tanító minták halmazának növelésével.

Ahhoz, hogy a későbbi élkeresési, szegmentálási és egyéb képelemző eljárások során az azokból eredő hibákat kiszűrjék, a tanítás során a tárgy jó kontrasztú, zaj és egyéb hibáktól mentes, mesterségesen létrehozott képével történik a tanítási folyamat. Ezen képek létrehozásánál a külső adatokat (megvilágítás, kameraszög...) is figyelembe veszik. Ez nagyon fontos a pontos méretmeghatározás során. Azonban a legnagyobb pontosság eléréséhez szükséges az adott tárgy képének különböző szögben való betanítására is (3. ábra).



3. ábra Ugyanazon ábra különböző távolságban tanítva.[1]

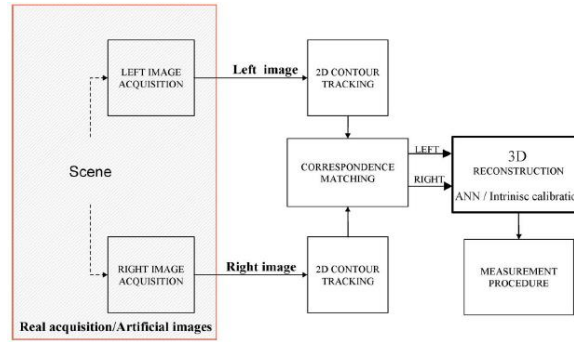


4. ábra A tanítási szakasz.[1]

### 3.3 Rendszer felépítése és működése

A csoport két analóg kamerát használt amelyek a monokrom video jelet egy PC grabber kártyájára küldték. A kamerák szögének beállítása a kamera képek síkjának átlapolását eredményezi. A kamerák 25mm-es fókusztávolságú lencsékkel lettek szerelve. Valamint a mérő rendszer egy flexibilisen állítható fényforrást is tartalmaz amely a mérendő tárgy megvilágítására szolgál a háttérhez való kontraszt növelésére. A kamerák expozíciós vezérlése a PC által történik RS-232-es kommunikáció segítségével.

A mérés a kameraképek rögzítésével kezdődik (tanítás során a mesterségesen generált ideális képek kerülnek bemenetre), majd az azokon végzett különböző élkeresési és szegmentálási folyamatokkal folytatódik. Majd azt követően a két kapott eredményből egy 3D-s rekonstrukció következik amelynek kimenetele kerül számításra amely a mérési eredményt adja (5. ábra).



5. ábra A tanítási és mérési módszer.[1]

### 3.4 Kalibráció és mérési eredmények

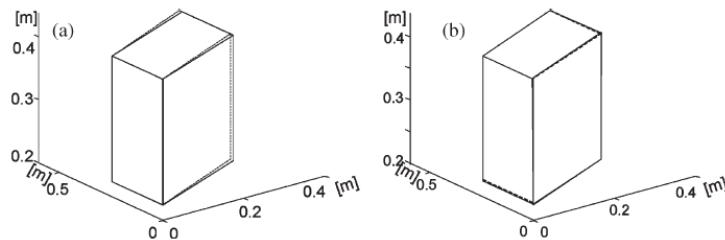
A közvetlen-lineáris transzformációs algoritmus esetében egy maximum 10000 pontot tartalmazó validációs eljárás során az y tengely mentén kissé rosszabb eredmények születtek (6. ábra).

A mesterséges neurális háló esetében a rejtett rétegben tíz csomópontot használva érhető el a legjobb teljesítmény. A kutatócsoport 2000 periódus után fejezte be a tanítási fázist.

A két algoritmus hasonló eredményeket ad vissza, azonban úgy tűnik, hogy a mesterséges neurális hálós megoldás valamivel jobban teljesít, mivel a képpontok alapján történő 3D rekonstrukció során jelentkező hibák kisebb számban voltak jelen. A két algoritmust egy szilárd téglatest képein is tesztelték. Ennek eredményeként is a neurális háló tűnt pontosabbnak (7. ábra).

Direct linear transformation algorithm				
Calibration/ training	$e_x = -0.32 \mu\text{m}$	$e_y = 4.9 \mu\text{m}$	$e_z = 21 \mu\text{m}$	$e_t = 0.13 \text{ mm}$
	$\sigma_x = 0.55 \text{ mm}$	$\sigma_y = 0.70 \text{ mm}$	$\sigma_z = 0.52 \text{ mm}$	$\sigma_t = 0.95 \text{ mm}$
Validation	$e_x = 4.4 \mu\text{m}$	$e_y = 6.8 \mu\text{m}$	$e_z = 11 \mu\text{m}$	$e_t = 0.85 \text{ mm}$
	$\sigma_x = 0.56 \text{ mm}$	$\sigma_y = 0.71 \text{ mm}$	$\sigma_z = 0.60 \text{ mm}$	$\sigma_t = 0.99 \text{ mm}$
ANN				
Calibration/ training	$e_x = 0.26 \mu\text{m}$	$e_y = -1.5 \mu\text{m}$	$e_z = 0.56 \mu\text{m}$	$e_t = 0.11 \text{ mm}$
	$\sigma_x = 0.26 \text{ mm}$	$\sigma_y = 0.58 \text{ mm}$	$\sigma_z = 0.26 \text{ mm}$	$\sigma_t = 0.62 \text{ mm}$
Validation	$e_x = -1.5 \mu\text{m}$	$e_y = 2.5 \mu\text{m}$	$e_z = 1.8 \mu\text{m}$	$e_t = 0.79 \text{ mm}$
	$\sigma_x = 0.52 \text{ mm}$	$\sigma_y = 0.69 \text{ mm}$	$\sigma_z = 0.59 \text{ mm}$	$\sigma_t = 0.85 \text{ mm}$

6. ábra Kalibrációs (tanítási) és tesztelési eredmények.[1]



7. ábra Képpontok alapján rekonstruált tárgy lineáris transzformációs algoritmus (a) és neurális háló (b) használatával.[1]

## 4 Három kamerás fotogrammetria[2]

Az ezredfordulón Hollandiában pár kutató megpróbált megoldást találni az egészségügyben régóta fenn álló problémára. Hatalmas költségeket emészt fel a tartósan fekvő betegek felfekvéses sebeinek gyógyítása. Az orvosok számára nehéz a gyógy módok összehasonlítása és a legjobb megtalálása a kialakult nyomássebek pontos térfogatának ismerete nélkül. Korábbi kutatások során többen próbáltak szimpla vagy dual kamerás valamint lézeres letapogatásos módszerrel megállapítani a jelenleg használatos folyadékkitöltéses eljárást alternatíváját megtalálni.

### 4.1 A rendszer felépítése

Az említett kutatók egy három kamerás megoldást teszteltek. A használt kamerák progresszív letapogatású kamerák amelyeket egy PC grabber kártyájára kötöttek. A kamerák fókusz távolsága nagyjából 6mm, VGA felbontásúak és pixel méretük  $7,4 \times 7,4 \mu\text{m}$  (8. ábra).



8. ábra A tesztelt rendszer konfiguráció[2]

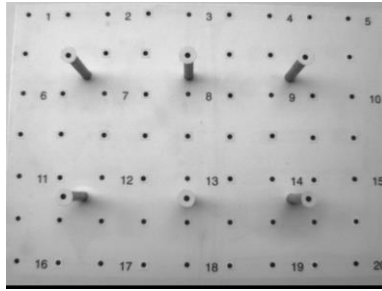
A teszt során fontos volt, hogy a kamerák látómezője új legyen meghatározva, hogy a seb körüli egészséges bőr felület is látszódjon, mivel a seb térfogata annak interpolációjával határozható meg. Ez a kutatási terület rávilágított egy – szinte minden látható spektrumba eső gépi látás módszernél gondot okozó – másik problémára, a felületen történő tükröződésre, amely hibás méréshez vezet. Ugyanis a sebek többnyire nedves felületűek így a megvilágítás erősségét és szögét és homogenitását jól be kell állítani. Ezt elkerülendő valamint annak érdekében, hogy a digitális felület modell létrehozásánál a strukturálatlan felület ne okozzon gondot, a kutatók a kamerákat tartó keret közepére egy texturált fényforrást erősítettek. Így a képek készítésekor nincs szükség referencia mértékre.

### 4.2 Kalibráció

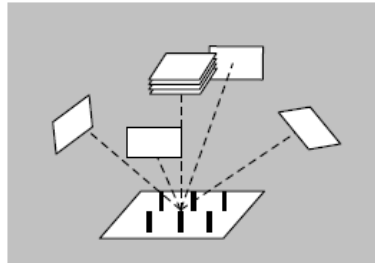
A kalibrációhoz a Bingo (Kruck, 1998) szoftver csomagot használták amellyel több kamera kalibrálási paramétereinek meghatározása is lehetséges egy időben. A használt kamerák nem nagy pontosságúak, amit figyelembe kell venni a felületi modell megalkotásánál. Ezen kívül a tájolást, fókusz távolságot, lencsetorzulást és egymáshoz mért távolságot. A kalibrációs eljárást egy erre a célra készített eszközzel végezték amely pontokat és rudakat tartalmazott (9. ábra).

A kalibráció során nyolc kép-hármaszt készítettek (négy egymással konvergens és négy normál beállítású) (10. ábra). A képek koordináta pontjait sablonnal mérték ami  $3 \times 10^{-4} \text{mm}$  pontosságot eredményeztek, ami egy pixel 5%-a.





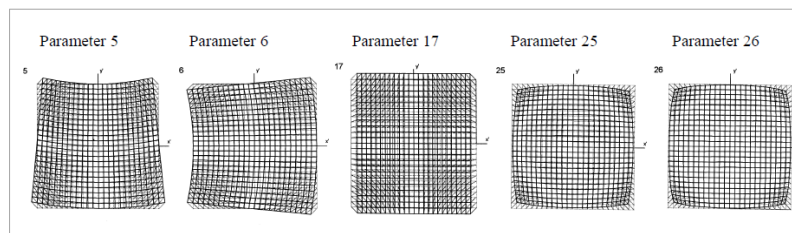
9. ábra A kalibrációs eszköz[2]



10. ábra A kalibrációs kép készítés módja[2]

#### 4.2.1 Négyzetrács felület beállítás

A kamerák belső tájolásának valamint egyenkénti külső tájolási paramétereinek meghatározása négyzetrács felülettel történik (11. ábra). A torzulások kiküszöbölésére az említett sw csomagból 5 további paramétert használnak. Az általános eltérés X és Y irányban 0,1mm, míg Z irányban 0,2mm. Ezekkel számolva a vizsgálati területen ez 37 mikronnak felel meg.



11. ábra Az 5 felhasznált paraméter[2]

A csoport négy kalibrációt hajtott végre, egymás közt nagyjából egy hónap elteltével. A kalibrációs adatokat az átlaggal összevetve azt találták, hogy azok különbsége nem haladja meg a megfelelő paraméter szórásának háromszorosát ami azt jelenti, hogy a rendszer elég stabilnak tekinthető.

#### 4.3 Digitális felület modell előállítása

A csoport a felület modell előállításához egy légifelvétel alapú felhasználásra kifejlesztett szoftver csomagot, a Softplotter-t használta fel. A felület modell generálás első lépéseként a kameraadatok kerülnek meghatározásra ami ebben az esetben a külső tájolás volt. Ez után csak a fókusz távolság és a referenciapont koordinátájának megadása szükséges.

A három kamera három kamera párt jelent, ami annyit tesz, hogy három felület modell jön létre. Ezek a felület modellek ún. Szabálytalan Háromszög Hálózatok, amelyek a legkisebb négyzet algoritmuson alapul és egy nagyon pontos felületet ad vissza. Majd Matlab-ban egy általános rácsra bicubic transzformációs közelítő algoritmussal interpolálják a három felületet. Az így kapott felületi modell a három átlaga lesz.

## 4.4 Méretmeghatározás

A méretmeghatározáshoz ebben az esetben ismerni kell a seb belső felületét valamint az eredeti bőrfelületet. A kiszámítandó térfogat e két felület által közre zárt tér. Az eredeti bőrfelület meghatározásához ismerni kell a seb körvonalát, a seb körüli felületet majd ezekből interpoláció használatával előállítható a kívánt hiányzó felület. Ezen felület bázisfelületként alkalmazható a gyógyulás folyamatában, hiszen a seb belső felülete fog változni. A pontosság közelíthető az alábbi számítással (5)[2]:

$$\sigma_{vol} = vol \cdot \frac{\sigma_{depth}}{depth} = surf \cdot \sigma_{depth} \quad (5)$$

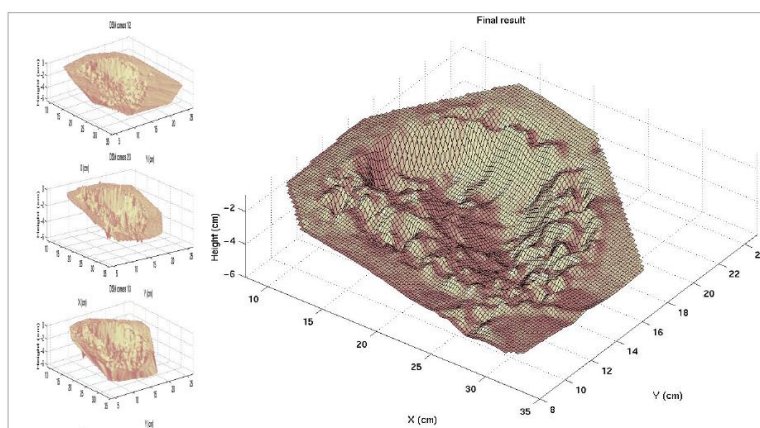
### 4.4.1 Tesztek

A rendszert tesztelték különböző körülmények között. Azt vették észre, hogy a sima textúrálatlan felületek gondot jelenthetnek a síkok összeillesztése során. Megoldásként a textúrált megvilágítást választották amely javulást jelentett az ilyen felületek vizsgálatakor.

A Softplotter által mért pontosság legalább 0,5pixel volt ami körülbelül 7,4µm. Ez túl jónak tűnt, így újabb méréseket végeztek. A mérések során úgy találták, hogy sima műanyag felületen textúrált fénnel hozzávetőlegesen 0,5mm anélkül 1mm, míg textúrált fénnel valós felfekvéses seben 0,7mm-es pontosság érhető el (12. ábra).

Object (in mm)	Difference model 1/2 - 2/3			Difference model 1/3 - 2/3			Difference model 1/2 - 1/3		
	Avg.	Stdv.	Max.	Avg.	Stdv.	Max.	Avg.	Stdv.	Max.
Flat surface (texture)	0.329	0.398	1.324	0.230	0.456	2.320	0.336	0.578	2.428
Plastic wound 1 (no texture)	0.105	0.942	10.050	0.238	0.891	12.034	-0.121	0.990	16.579
Plastic wound 2 (no texture)	0.130	1.178	19.332	0.220	1.055	11.175	-0.326	1.307	11.468
Plastic wound 3 (no texture)	0.194	1.163	14.377	0.231	0.985	8.397	-0.195	1.249	7.614
Head wound (no texture)	0.049	1.188	8.405	0.078	1.018	8.814	0.030	0.971	11.220
Pressure sore (no texture)	0.240	1.499	7.048	-0.081	1.535	11.643	0.488	2.742	14.095
Pressure sore (texture)	0.279	0.753	4.210	0.327	0.676	5.174	-0.080	0.803	8.421

12. ábra A létrehozott felületi modellek pontossága.[2]



13. ábra Egy műanyagból készült seb Digitális Felületi Modellje. [2]

### 4.4.2 Éles tesztek

Többféle seb vizsgálata során arra jutottak, hogy nedves valamint sima felületű sebek esetében a felületi modellek ugyanúgy nehézségbe ütköztek mint a mű mintáknál. Ezt azonban a textúrált fény vetítésével fel lehetett javítani. Gondot okozott még a nagyon meredek felületű seb, mivel annak fala nem minden kamera képen szerepelt így az illesztés során az átlagolásnál az egyik tag hiányzott. Nagy előnye azonban a rendszernek, hogy stabilitása miatt csak szállítás után mutatkoztak eltérések a kalibráció során.

## 5 Méretmegállapítás egy kamerával [3]

A 90-es évek végén az Egyesült Államokban végeztek egy kutatást amely során megpróbálták minél pontosabban meghatározni a fák törzsének keresztmetszetét különböző magasságokban digitális kamera használatával. Irodalomkutatásom során először találkoztam a „dendrométer” kifejezéssel, ami olyan eszköz amely segítségével a törzs keresztmetszete alapján meghatározható egy fa magassága. Ezen eszközök eléggé drágák és nem használhatóak érintésmentes mérésre. A fa magassága erdőgazdasági szempontokból fontos. A kutatás ezen eszközök kiváltását célozta meg.

Korábbi tesztek során már megpróbálták kivitelezni hagyományos filmtekercses kamerákkal ezt az eljárást aminek több hátránya is volt. Helytelen expozíció, orientációs problémák és a képek nem azonnali gyors kiértékelése. Az LCD kijelzővel rendelkező digitális kameráknál ezek a hibák azonnal kiszűrhetők és új kép készíthető más beállításokkal.

### 5.1 Mérési módszerek

Léteznek optikai dendrométerek amelyeknek három fő fajtáját különböztetik meg: optikai villa, optikai befogó és a távolságkereső. A kamerás mérés ezek közül az optikai villás módszernek felel meg. Ennél a módszernél alapvetően fontos, hogy ismert legyen a kamera és a fa távolsága.

#### 5.1.1 Mérés a kamera képen

Egy korai tanulmány megállapít egy egyszerű mérési módszert ami tulajdonképpen egy becslés. Egy 135mm-es lencsés kamerát alapul véve(6)[3]:

$$D = kdS \quad (6)$$

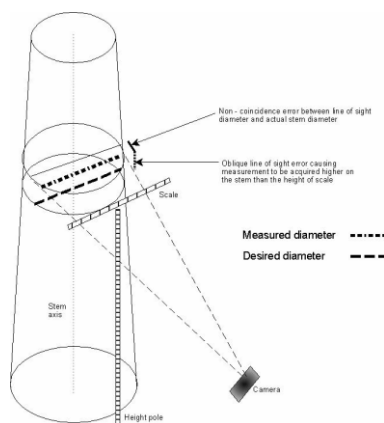
$D$  = a fa becsült átmérője

$k$  = kamerára jellemző állandó

$d$  = a fényképen mért átmérő

$S$  = a kamera és a mérési pont közötti távolság

Ezzel a képlettel egy 30-76cm átmérő esetén nagyjából 1cm-es pontosság érhető el. További kísérletek során sikerült elérni ennél nagyobb pontosságot is, azonban ahhoz egy referencia rudat kellett használni melyet emelővel kellett a megfelelő magasságba emelni a fa törzséhez (14. ábra).



14. ábra Mérés referencia rúd használatával.[3]

### 5.1.2 Képpont méret meghatározás

A hagyományos fénykép film felbontását az anyag emulziójában lévő reagensek határozzák meg. A digitális fényképezőgépeknél ezzel ellentétben pontosan meghatározható a felbontás, mivel azt a CCD lapkára integrált fényérzékeny félvezető elemek száma határozza meg. Azonban ez még nem elég a pontos mérés elvégzéséhez. Ismernünk kell a pixelek pontos méretét is, amely információt egyes gyártók nem kezelnek publikusan. Azonban méréssel meghatározhatók a pixelek méretei.

A mérés során a kamerával szemben egy négyszögletű fényforrást kell elhelyezni, amelyet kilenc különböző távolságból kell vizsgálni 0,3-21,6m-es tartományon belül.

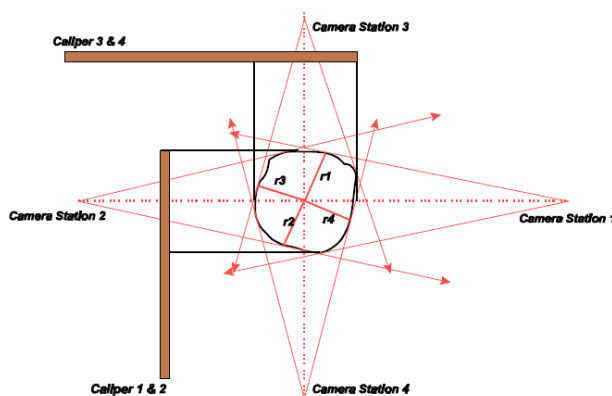
$$s = \frac{d}{D} \quad (7)$$

$$s = \frac{f}{L_0} \quad (8)$$

A fenti két egyenlettel (7)(8)[3] meghatározható a skála mérete „s”. D és  $L_0$  távolság a fényforrás és a lencse közt. f a fókusz távolság, d pedig a valós mérete a fényforrásnak. Így egy jól közelítő érték kapható a CCD egy képpontjának méretére. Mivel a pixelek szélessége csak ideális esetben egyforma, kis mértékű mérési hiba így is bekerülhet a rendszerbe.

### 5.1.3 Mérés kamerával pixelek alapján

Ahhoz, hogy a fa törzsének minél nagyobb hosszában lehessen mérést végezni érdemes a legkisebb fókusz távolságot választani. A kamera fától való távolsága és a szöge a mérés szempontjából fordítottan arányos. A kutatás során a fa törzse körül négy egymással szemközt ponton állították fel a kamerát (15. ábra):



15. ábra Kamera felállítási pontjai.[3]

### 5.1.4 Képek kezelése

Az említett, vizsgált tanulmány során archiválási célra a kamera által készített KDC1-es formátumot használták. Ebben a formában ugyanis tárolásra kerülnek olyan a képelemzés szempontjából fontos adatok, mint a minőségi beállítás, expozíciós idő és a készítés ideje. Azt követően egy szabványos, címkézett TIFF formátumba konvertálták.

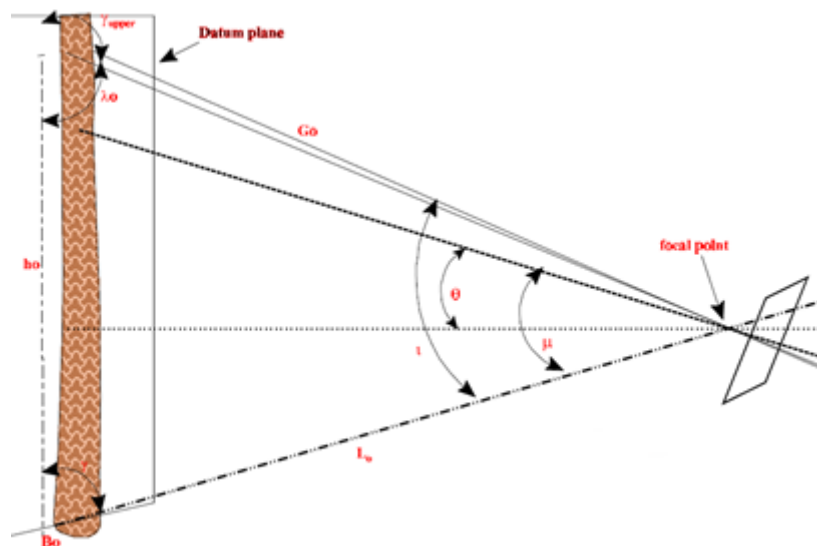
A kép mellé a kiegészítő adatokat - amelyeket a kép file nem tartalmaz - egy másik file-ban érdemes tárolni (a vizsgált tanulmányt végzők egy ASCII file-ba mentették). Úgy mint például az objektum távolsága a kamerától és a kamera szöge a vízszinteshez képest.

Mivel a fa törzse nem tökéletes kör alakú, így az egy oldalról való mérés egy erősen ellipszoid keresztmetszetű törzs esetében a valóságtól eléggé eltérő eredményt adna. Azonban a négy oldalról való mérés eredményét átlagolva már egy a valós keresztmetszetéhez egész jól közelítő átl keresztmetszeti értéket kaphatunk.

A mérést több magasságban és más-más távolságból végezve kiderült, hogy a kamerás és dendrométeres egyezés valószínűségi eloszlása nem minden esetben azonos. Úgy találták, hogy egyes távolságok és kamera szögek esetében elég jól egyezik az eredmény míg más esetben pozitív vagy negatív irányban eltérnek egymástól. A legpontosabb eredményeket akkor kapták amikor a kamera szög  $45^\circ$  alatt volt.

Úgy találták hogy a műszer pontosságából adódó eltérések csökkenthetők pixel interpolációval és a fókusztávolság növelésével. Ennek következtében azonban egy tárgyról esetenként több képet kell készíteni a teljes lefedettség érdekében.

Végül a keresztmetszet mérése a háromszögek hasonlóságán alapuló szögek egyezése alapján kerül kiszámításra:



16. ábra A kép készítése és a méréshez szükséges adatok. [3]

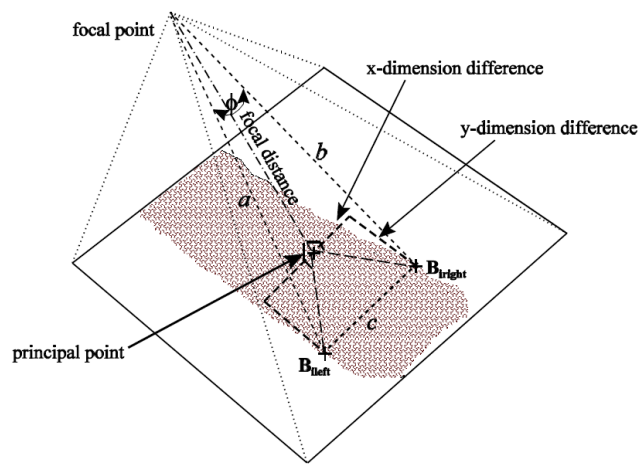
ahol az adatok amelyeket a képfile nem tartalmaz:

$\theta$  = a kamera dőlésszöge,

$L_0$  = A B0 pont és a lencse közepének távolsága

$$r = \sin \frac{\phi}{2} \times G_0 \quad (9)$$

A sugár, a fókuszpont és a fatörzs éle által alkotott szög ( $\phi$ ) szinusza a síkban, amely tartalmazza a fókuszpontot és a kiszámítandó átmérőt reprezentáló szakasz két végpontját, szorozva a törzs és a fókuszpont távolságával ( $G_0$ ) (9)[3].



17. ábra A kamera képsíkja. [3]

## 6 Összegzés

Jelen dolgozat a gépi látás használatával történő, valós tárgyak méretmeghatározásának három eltérő módszerét mutatta be. A tárgyaknak több paramétere is mérhető, meghatározható, úgy mint szélesség, magasság, kerület, térfogat és így tovább. Ezekre a mérésekre már számtalan érintéses és érintésmentes módszer létezik. A gépi látás megoldásokkal egyes érintéssel járó mérési módszerek válhatnak ki, míg más esetben az érintésmentes eljárások válhatnak ki idő vagy költség megtakarítás vagy nagyobb pontosság eléréséhez.

Az első esetben egy sztereo látás technológiát megvalósító tanulmány két féle kiértékelő módszerét bemutatva láthatóvá vált a mesterséges neurális háló használatának előnye egy tárgy fizikai kiterjedésének mérése során. A lineáris transzformációs algoritmussal szemben a neurális háló használata során kevesebb hiba és nagyobb pontosság érhető el. Valamint meg van az az előnye, hogy ha mindig ugyanazon alakú tárgyak mérésére szeretnénk használni (például tömeggyártás során az ipar területén), akkor a neurális háló tanító halmazaként lehetséges a mérendő tárgy egy ideális képét felhasználni egy mintadarab helyett, amely így nagyobb pontosságot fog eredményezni. Úgy vélem a rendszer egyszerű felépítése miatt ezeket a rendszereket olyan helyeken érdemes használni ahol fontos a rendelkezésre állás és a költség. Főleg egyszerűbb felépítésű, a háttérrel nagy kontrasztban álló tárgyak mérése során hozhat pontos eredményt. Ugyan a tanulmány nem tér ki rá, de úgy gondolom a háttér és a mérendő felület eltérő megvilágításával, esetlegesen textúrált fénnel még kisebb tévedési arányt lehetne elérni.

A második tanulmány során egy számomra teljesen új területet ismertem meg. Korábban az egészségügy területén ilyesfajta felhasználást nem tudtam elképzelni. A kísérletet végző csapat ráadásul egy olyan adat mérését tűzte ki célul ami nem a hagyományos fizikai test kiterjedésének mérésére irányul, hanem éppen annak hiányára. Konkrétabban az emberi test szövetének hiányára. Ez valójában egy térfogat mérés amely egy összetett eljárás során felveszi a meglévő szövetek határát és lemodellezi egy térhálós modellel, valamint kiszámítja a nem létező szövetek határát ami pedig egy másik felület modell. A mérés ebben az esetben a két felület közti térfogat meghatározására irányul. Itt is sztereo látásról beszélünk. Azonban mivel itt három kamerát használtak három egyidejű sztereo kamerás mérést kapunk. Ennél a tanulmánynál azt fedezték fel, hogy bizonyos felületek esetében jobban, míg mások esetében kevésbé, de a strukturált fénnel való megvilágítás nagyban hozzájárult a valóság pontosabb leképzéséhez. Véleményem az, hogy ebben az eljárásban nagy lehetőségek lehetnek azokon a területeken ahol egyes tárgyaknak (vagy azok helyének, vagy üregek) nem csak kettő, hanem három dimenziós kiterjedésének mérésére van szükség. A rendszer előnye, hogy nagyon stabil, így könnyen szállítható és a szállítás után egy egyszerű kalibrációra van csak szükség. Ez nagy előny lehet terepi kutatások során ahol településektől távol, esetlegesen a föld alatt kell mérést végezni.

A harmadik téma esetében szintén egy olyan kutatási területre tévedtem amelyet még nem ismertem. Nem gondoltam, hogy a fák törzseinek mérésével meghatározható annak magassága és térfogata. Pedig ez egy több évtizede működő gyakorlat. Ebben az esetben a kutatók célja az volt, hogy az érintéses mérést, amelyet jelenleg költséges műszerekkel (dendrométer) végeznek és kárt tesz a növényben, kiváltsák egy egyszerűbb és olcsóbb mérési módszerrel. Még a digitális kamerák megjelenése előtt próbálkoztak analóg képek készítésével és mérésével, azonban a gépi látás eszközeivel pontosabb eredmény érhető el. A másik két tanulmánnyal ellentétben itt csak egy kamera képét használták fel. Azonban itt a mérendő tárgyról több szögből és távolságból kellett képeket készíteni annak szabálytalan alakja miatt. A mérést a kamera pixelek méretére, a mérendő tárgy és a kamera távolságára

valamint a kamera szögére és fókuszpont ismeretére építve végezték el. Ugyan a kísérlet nem irányult szabályos keresztmetszetű tárgyak mérésére, az eljárás ismeretében úgy gondolom, hogy elég lenne egy fotó is a méretmeghatározáshoz, megfelelő felbontású kamera és a külső adatok pontos ismerete mellett. Ez alacsony költségigényű mérésekhez megfelelő eljárás. Azonban, mivel a pixelméret meghatározó a mérés pontosságánál, ha a kamera pixelek mérete nagy szórást mutat, a mérési eredmények sem lesznek nagy pontosságúak. Ugyan a rendszer csak egy kamerát használ, a külső paraméterek ismerete (távolság, szög...) nehézkessé és lassúvá teszi a mérést, ha nem egy előre beállított környezetben van elvégezve.

A gépi látással való méretmeghatározás más sok területen van használatban számos eljárást használva. A rendszer felépítése az, hogy milyen algoritmussal kerül a kép kiértékelésre nagyban függ az igényektől valamint attól, hogy az adott mérés milyen paraméter megállapítására irányul. A tanulmányok alapján az a tendencia látszik, hogy a gépi látás eszközökkel való mérés legoptimálisabb kiértékelő eszköze a mesterséges neurális háló. Azok az iparágak, ahol nagy számban használnak képelemzést, objektum detektálást, követést, mérést leginkább neurális hálók használatával fejlesztik rendszereiket. Előnyük a változatos és a célnak megfelelő kialakíthatóság, a bemeneti zajra való érzéketlenség valamint a könnyű betaníthatóság [6].



## 7 Felhasznált irodalom

- [1] A Comparison Between Stereo-Vision Techniques for the Reconstruction of 3-D Coordinates of Objects - Rosario Ancini, Consolatina Liguori, Member, IEEE, Vincenzo Paciello, and Alfredo Paolillo
- [2] Wound measurement with a three-camera vision system - Saskia M. Boersma, Frank A. van den Heuvel, Adam F. Cohen, Rick E.M. Scholtens
- [3] An Assessment of the Utility of a Non-Metric Digital Camera for Measuring Standing Trees - Neil A. Clark, Randolph H. Wynne, Chair Forestry
- [4] Influence of the machine vision lens to the accuracy in contactless 2D-metrology - Norbert Schuster, Thomas Schönheit
- [5] J. Weng, P. Cohen, and M. Herniou, "Camera calibration with distortion models and accuracy evaluation," *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, vol. 14, no. 10, pp. 965–980, Oct. 1992.
- [6] Mesterséges Intelligencia Modern megközelítésben Második, átdolgozott, bővített kiadás – Russell Stuart, Norvig Peter