



## 3D szkennerek kamera zajmodelljének validációja

**Kovács T.**

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Automatizálási és Alkalmazott Informatikai Tanszék  
Budapest, 1111 Goldmann György tér 3.

### ÖSSZEFOGLALÁS

*A cikk bemutatja egy aktív triangulációs 3D szkennerek fejlesztését. Külön figyelmet kap a vonalkövető algoritmus. Egy zajmodellt feltételezve az aktuális zajeloszlás paraméterek ismeretében a vonalkövetés pontossága becsülhető. A cikk célja ennek a zajmodellnek a validációja a kiválasztott rendszerkomponensekkel. Ismertetésre kerül a zajmodell vizsgálatához összeállított mérési elrendezés, mellyel az elemzés alapjául szolgáló mintasorozat került felvételre, illetve részletesen tárgyalásra kerül, hogy a zajmodell egyes összetevőit milyen módon lehetett a valóságos rendszerben igazolni.*

(Kulcsszavak: aktív triangulációs szkennerek, videó zaj, Chi illeszkedési teszt, normális eloszlású zaj, pixel intenzitások függősége)

### ABSTRACT

#### Validity Checking of the 3D Scanner Camera Noise Model

T. Kovács

Budapest University of Technology and Economics, Department of Automation and Applied Informatics  
Budapest, H-1111 Goldmann György tér 3.

*The paper presents the development of an active triangulation laser scanner focusing on the line following algorithm. Assuming a video noise model the accuracy of the line following can be estimated based on the actual noise distribution parameters. The target of the paper is to validate the noise model with the installed system components. The measurement configuration is presented. The pattern set was recorded with this installation. The method for the validation of the components of the noise model is described in details.*

(Keywords: active triangulation scanner, video noise, Chi goodness-of-fit test, normal noise distribution, dependency of pixel sensitivity)

### BEVEZETÉS

A szerző által fejlesztett rotációs tárgyasztallal szerelt aktív triangulációs lézerszkennerek konfigurációt mutat be az 1. ábra, amely Shirai (1987) által ismertetett elveken alapul. A rendszer függőleges fénykést alkalmaz megvilágításnak.

A berendezés komponensei a következők:

*Rotációs tárgyasztal:* a tárgyasztalt soros vonalon vezérelt léptető motor forgatja sírhajtáson keresztül. A kommunikációt mikrokontroller alapú elektronika végzi.

*Fényforrás:* a fényforrás egy He-Ne lézer, melynek fényét egy nyalábszűkítés után egy hengerlencsével húzzuk függőleges vonallá. Lehetőség van a vonal nem kívánt részeinek kitakarására.

*Képfelvevő rendszer:* a kamera egy Lumenera 130C típusú, 1.3 megapixel felbontású színes CCD kamerafej, mely USB kapcsolatban van a számítógéppel. A kamera alacsony szintű parancsokkal programozható, így például elérhető a natív, feldolgozatlan pixel folyam is. A driver C++ nyelven készült, C#-hoz illesztve.

*Szerkezet:* a pontosság érdekében nagyon masszív és pontosan kialakított, alumínium ötvözetből készült váz hordozza a többi komponenst (ITEM rendszer). A nem kívánt optikai reflexiót a szerkezet feketére eloxálásával érjük el.

*Szoftver környezet:* a rendszer alacsony szintű kommunikációja C++-ban íródott, míg a keretrendszer, a 3D modellalkotás, a megjelenítés .NET C# kódolású. A megjelenítés DirectX-et használ.

A rendszer által felvett koordináta rendszert mutatja a 2. ábra.

### **1. ábra**

**Az aktív triangulációs lézerszkennер a rotációs tárgasztallal.**



*Figure 1. The active triangulation scanner with the rotating table.*

2. ábra

A berendezés koordinátarendszerének vázlata és komponensei

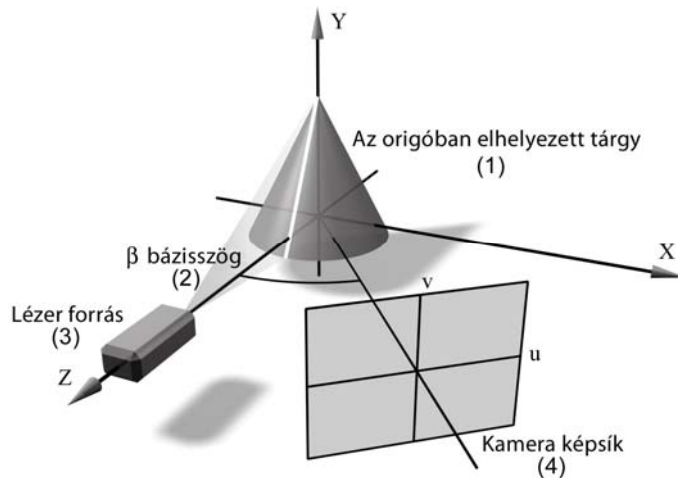


Figure 2. The draft of the coordinate system and system components

Object in the origin(1),  $\beta$  base angle(2), laser source (3), camera image plane(4)

A VONALKÖVETŐ ELJÁRÁS

A zajmodell

A képfelvevő rendszerek mindig zajjal terhelt képet szolgáltatnak. Jelen esetben zajnak tekintjük azt a jelenséget, mikor a változatlan fényviszonyok mellett készült képek közt véletlenszerű különbségek mutatkoznak. A további vizsgálatokhoz a következő zajmodellt állítjuk fel. A fénykés képe két elvi komponensből áll:

- A vonal zajmentes képe. Kamera koordinátarendszerben a vonalak u irányú metszete Gauss profilú, hiszen az egy módusú gázlézerek intenzitásprofilja ilyen (Harry, 1979). Az amplitúdó és a félérték-szélesség változhat.
- A videó rendszer zaja. Ezt tekintjük egy független, normális eloszlású, 0 várható értékű additív zajnak (valószínűségi változónak),  $\sigma_N$  szórással. Ebben a modellben a zaj legyen független az intenzitástól és a frame buffer koordinátáktól is.

A vonal képét kétféle forrásból származó zaj terheli: a képszenzor videó zaja, illetve a lézerekre jellemző folt zaj (speckle noise). Ez utóbbi nem tárgya jelen cikknek.

A vonalkövető eljárás

A lézerek scanner függőleges fénykessel dolgozik. A fényforrás, a kamera és a tárgyasztal olyan elrendezésben került installálásra, hogy a frame bufferben keletkezett képen a vonal képe minden sor mentén legfeljebb egyszer metszhető. Így a vonalkövetés első lépése, hogy egy vízszintes pászta mentén keresünk intenzitásmaximumot. Mivel a He-Ne lézerek intenzitás-keresztmetszete Gauss profilú, így a hengerlencsével széthúzott vonal keresztmetszete is ilyen lesz. Így az ideális vonal közepe jó közelítéssel meghatározható egy Gauss-regresszióval:

$$m = \frac{\sum_{i=1}^n (u_i - \bar{u}) \ln p_i}{2 \sum_{i=1}^n (u_i - \bar{u})^2} \cdot \frac{\left( \sum_{i=1}^n (u_i - \bar{u})^2 \right)^2 - n \sum_{i=1}^n (u_i - \bar{u})^4}{n \sum_{i=1}^n (u_i - \bar{u})^2 \ln p_i - \sum_{i=1}^n \ln p_i \cdot \sum_{i=1}^n (u_i - \bar{u})^2} + \bar{u} \quad (1)$$

ahol  $m$  a vízszintes pozíció valós,  $u$  a képernyő koordináta rendszer vízszintes komponense,  $p$  egy pixel intenzitásértéke.

A kezdőpont megtalálása után meg kell határozni a vonal irányát az adott pontban. Az irány egy szögérték lesz, amit a következő összetevőkből állítunk össze:

- Az irány meghatározó algoritmus ablakmérete, ami a távolba tekintés mértéke is. A zaj jellegétől, mértékétől függően ez a paraméter ad lehetőséget a vonalkövetés pontosságának állítására.
- A szögmátrix, mely az egyes celláiban azt a szögértéket tartalmazza, amit a függőleges felfelé mutató vonal és az ablak középpontját az adott cella középpontjával összekötő vonal közt mérünk.
- A maszkmátrix, melynek cellái 0-1 közti értékeket tartalmaznak. A maszkmátrix egy simított szélű félkört tartalmaz, mely minden lépésnél az előző lépés irányába áll.

A következő lépés irányát adja meg a következő kifejezés:

$$D = \frac{\sum_{i=-s}^s \sum_{j=-s}^s I_{u+i,v+j} \cdot A_{i,j} \cdot \varphi_{i,j}}{\sum_{i=-s}^s \sum_{j=-s}^s I_{u+i,v+j} \cdot A_{i,j}} \quad (2)$$

Ahol  $I$  az intenzitás mátrix (az ablak),  $A$  a maszk mátrix, és végül  $\varphi$  a szögmátrix. Mindhárom négyzetes mátrix oldalmérete (egyben az ablakméret)  $2s+1$ .

Ismerve a zajmodellt és a konkrét esetben a zaj paramétereit, statisztikai állításokat fogalmazhatunk meg a  $D$  irány pontossága, az  $s$  paraméter és a zaj jellemzők ismeretében (Kovács, 2001).

### A zajmodell helyessége

A fejlesztés során számos digitális kamera (Canon PowerShot G3, Nikon CoolPix 5700, Nikon D70, Vision Components, Lumenera 130C) került fókuszba abból a szempontból, hogy a korábban ismertetett zajmodell mennyire fogadható el. Nem minden kamera esetén volt helytálló a zajmodell alkalmazása, azonban a beépítésre került Lumenera 130C kamera megfelelőnek bizonyult. Nem volt elfogadható azon készülékek képeinek hisztogramja, mely már vizuálisan sem mutatta a normális eloszlásra jellemző harang jelleget, így a normalitást vizsgáló teszten nyilvánvalóan kiesett volna.

A vizsgálat mérési elrendezése a 3. ábrán látható.

A cél egy olyan mérési elrendezés kialakítása volt, melyben összehasonlítható módon vizsgálható egy képfelvévő szenzor zaja. Ehhez egy időben stabil fényforrásra van szükség, melyet a környezeti fény kizárásával úgy csatolunk a szenzorhoz, hogy a fényfelvévő felületre homogén megvilágítás jusson. A szenzor előtt leképező optikát nem alkalmaztunk. A fényforrás egy fém-halogén lámpa volt, melyet egy stabilizált egyenáramú energiaforrásról hajtottunk, így a forrás intenzitása szabályozható volt. A szórt fény kialakítása érdekében a fényforrás és a szenzor között 6 maratott felületű mattüveg került elhelyezésre.

3. ábra

A kísérleti elrendezés a zajméréshez.

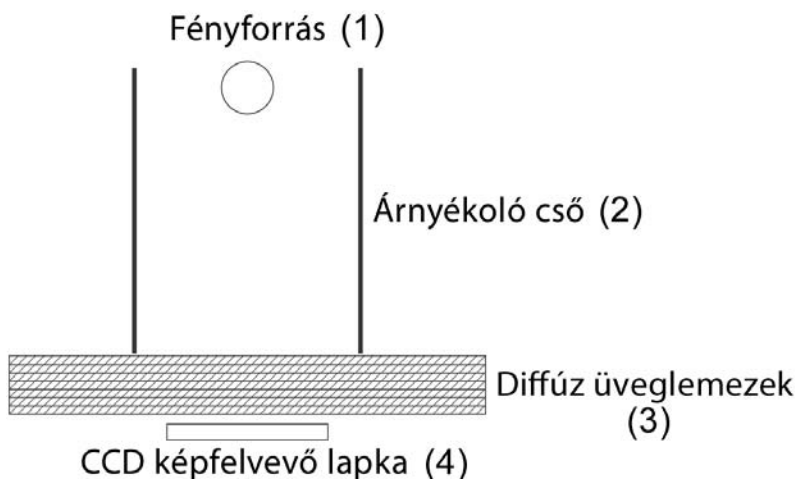


Figure 3. The experimental layout for the noise measurement.

Light source(1), Shading tube(2), Diffuse glass layers(3), CCD sensor(4)

A kamera expozíciós ideje 3 msec volt. Három, egyenként 200 képből álló sorozat került felvételre. Az első sorozat intenzitás átlaga 30, a másodiké 128, míg a harmadiké 225.

A még körültekintőbb előkészítés során kikalkuláltuk az egyes tartományokra jellemző fix mintát, mely magában hordozza többek között a vignettálás hatását, illetve az eltávolíthatatlan por vagy felületi sérülés eredményeit. Ezt a fix mintát az elemzés során minden egyes képből kivontuk, így végül valóban csak a zaj hatását vizsgálhattuk. Az elemző program .NET C# nyelven készült. A program beépített interpreterre hajtotta végre az előre összeállított mérési terv utasításait.

Következő lépésként az adathalmaz feldolgozása következett. Egy pixel intenzitását, mint valószínűségi változót vizsgáltuk. A három intenzitás osztályból 10-10 véletlen mintát generáltunk. Egy minta egy véletlenszerű koordinátapár által reprezentált pixel 200 értéke volt egy intenzitásoosztályban. Így tehát 30 db 200 elemű mintával indult az elemzés.

A feladat a minták normális eloszlásának igazolása vagy cáfolata volt. Pontosabban azt a hipotézist kell tesztelni, hogy a pixel intenzitás valószínűségi változó 2.5% szignifikanciával modellezhető-e normális eloszlással.

A hipotézis vizsgálatához a Chi-tesztet alkalmaztuk (Soong, 2004). Amint az látható az eredményekből, a zaj szórása függ az intenzitás szinttől. Így a legalacsonyabb intenzitás szinten a szabadságfok túl alacsony ennél a mintánál ( $k=4 \dots 6$ ). A hipotézis ezért elutasításra került ebben az osztályban. Azonban a zajmodellt mégis alkalmazhatóvá teszi az, ha a legnagyobb szórású zajjal számolunk minden intenzitástartományban, legfeljebb felülről becsüljük a zajt. A hipotézis elfogadását mutatja az 1. táblázat.

1. táblázat

**A zaj eloszlásának normalitására vonatkozó hipotézis igazolása a három intenzitás tartományban.**

Intenzitás átlag (1)								
30			128			225		
Chi négyzet (2)	d	Normál eloszlás? (3)	Chi négyzet	d	Normál eloszlás?	Chi négyzet	d	Normál eloszlás?
7,378	5,247	IGEN (5)	16,013	9,600	IGEN	11,143	8,328	IGEN
9,348	15,450	NEM (6)	17,535	21,157	NEM	12,832	17,460	NEM
11,143	17,368	NEM	16,013	12,988	IGEN	12,832	6,121	IGEN
9,348	4,914	IGEN	12,832	8,987	IGEN	12,832	14,685	NEM
7,378	12,370	NEM	14,449	8,750	IGEN	12,832	8,406	IGEN
9,348	8,888	IGEN	16,013	10,531	IGEN	11,143	2,777	IGEN
9,348	9,591	NEM	16,013	5,873	IGEN	14,449	16,830	NEM
7,378	6,364	IGEN	16,013	15,012	IGEN	14,449	1,799	IGEN
5,024	5,428	NEM	16,013	6,677	IGEN	12,832	6,170	IGEN
9,348	9,264	IGEN	14,449	15,905	NEM	14,449	8,803	IGEN

Table 1. The validity of the hypothesis for the normality of the distribution of the noise in the three intensity domain on the basis of Soong (2004).

Intensity average(1), Chi square(2), Normal distribution(3) TRUE(4) FALSE(5)

Az eloszlás koordinátáktól való függetlenségének vizsgálata úgy történt, hogy a képeken öt régiót definiáltunk: középső, bal-felső, jobb-felső, bal-alsó, jobb-alsó (CE, TL, TR, BL, BR). A teljes kép méretének arányában a régiók középpontja a következő volt:

- CE régió: x=50%, y=50%
- TL régió: x=15%, y=15%
- TR régió: x=85%, y=15%
- BL régió: x=15%, y=85%
- BR régió: x=85%, y=85%

A régiók mérete 100×100 pixel. Az egyes régiók várható értéke és szórása került vizsgálatra a három intenzitás tartományban, amit a 2. táblázat mutat be. A mérési eredmények igazolják, hogy a zaj paraméterei nagymértékben hasonlóak az egyes tartományokban.

A pixel intenzitások eloszlásának vizsgálata az egyes intenzitás tartományokban azt mutatta, hogy a zaj szórása az intenzitás növekedésével növekszik, azaz a zaj nem független a bázis intenzitástól. Ezen a ponton a mérések nem az elvileg felállított zajmodellt támasztják alá. Azonban a célunknak megfelelő az, ha a legnagyobb intenzitáshoz tartozó maximális szórást vesszük figyelembe, mert ez felülről becslést jelent a vonalkövetés pontosságában (hiszen alacsonyabb intenzitásokon ennél kisebb zaj torzítja a vonal képét).

A pixelek egymástól való függetlenségének vizsgálata is mintákon alapul, hiszen minden pixel-pár nem vizsgálható. A következő mintasort generáltuk:

Az első pixel koordinátái  $x_1=y_1=100$ -tól 1000-ig futottak 100-as lépésenként, míg a második pixel koordinátái  $x_2=y_2=101$ -től 1091-ig 110-es lépésenként. Így információt

nyerünk szomszédos és távolabbi pixelekről is. A kovarianciát vizsgáltuk a három intenzitás osztályban (*Korn and Korn, 1979*). Az eredmény azt mutatta, hogy a pixel intenzitások a várakozásnak megfelelően gyakorlatilag függetlenek (3. táblázat)(*Kovács, 2006*).

## 2. táblázat

**A zaj várható értéke és szórása a teljes képre illetve a vizsgált területekre.**

Intenzitás átlag (1)	30	Átlag (2)	TL(4) átlag	TR(5) átlag	BL(6) átlag	BR(7) átlag	CE(8) átlag
		28,66173	28,68235	28,68235	28,68235	28,68235	28,68236
		Szórás (3)	TL szórás	TR szórás	BL szórás	BR szórás	CE szórás
		0,93711	0,94636	0,94935	0,99803	0,82314	0,92024
			0,99%	1,31%	6,50%	12,16%	1,80%
		Átlag	TL átlag	TR átlag	BL átlag	BR átlag	CE átlag
		127,30959	127,31580	127,31582	127,31581	127,31582	127,31578
		Szórás	TL szórás	TR szórás	BL szórás	BR szórás	CE szórás
		2,74062	2,73297	2,67178	2,77134	2,71241	2,77788
			0,28%	2,51%	1,12%	1,03%	1,36%
		Átlag	TL átlag	TR átlag	BL átlag	BR átlag	CE átlag
		224,13150	224,13273	224,13278	224,13276	224,13279	224,13280
		Szórás	TL szórás	TR szórás	BL szórás	BR szórás	CE szórás
		3,27434	3,19863	3,16789	3,28818	3,28582	3,32143
			2,31%	3,25%	0,42%	0,35%	1,44%

Table 2. Mean and variance in the full image and in regions, based on three intensity classes.

Intensity average(1), Mean(2), Variance(3), Top-Left region(4) Top-Right region(5), Bottom-Left region(6) Bottom -Right region(7), Center region(8),

## 3. táblázat

**10 pixelpár függetlenségének vizsgálata. A három adatsor a 10-10 mért kovariancia értéket mutatja a három intenzitás tartományban.**

Intenzitás átlag (1)		
30	128	225
0,2767	0,2322	0,3004
-0,0515	-0,0521	-0,0871
0,1309	0,0483	0,0842
0,0404	-0,0799	-0,0551
-0,1044	0,0403	0,0292
0,0096	-0,027	0,0869
-0,0234	0,0093	0,0824
0,0522	0,1214	0,082
0,049	0,0452	-0,1223
-0,0939	-0,0033	-0,1683

Table 3. Covariances of 10 sample pixel pairs in the three intensity classes. Three data series includes 10-10 measured covariances in the three intensity domain.

Intensity average(1)

## KÖVETKEZTETÉSEK

Az ismertetett vizsgálatokból kiderült, hogy a zajmodell az alkalmazott kamera esetében megállja a helyét az intenzitásfüggetlenség elemzésénél javasolt módosítással. Így a szkennel szoftver becslést tud adni az aktuális zaj méréséből a modell statisztikailag várható pontosságára.

## IRODALOM

- T. Kovács (2001). Accuracy Prediction in a 3D Active Triangulation Scanner. *Machine Graphics & Vision*, (International Journal of the Institute of Computer Science, Polish Academy of Sciences) 10. 1. 75-87.
- T. Kovács, B. Takarics (2006): Confirmation of a Probability-based Accuracy Prediction Method for Line Extraction. CONTI'2006, The 7<sup>th</sup> International Conference on Technical Informatics, 8-9. Jun. 2006, Timisoara, Romania
- J.E. Harry (1979): *Ipari lézerek és alkalmazásuk*. Műszaki Könyvkiadó : Budapest
- T.T. Soong (2004): *Fundamentals of Probability and Statistics for Engineers*. John Wiley & Sons Ltd.
- Y. Shirai (1987): *Three-Dimensional Computer Vision*, Springer Verlag,
- G.A. Korn, T.M. Korn (1975): *Matematikai kézikönyv műszakiaknak*. Műszaki Könyvkiadó : Budapest

Levelezési cím (*Corresponding author*):

**Kovács Tibor**

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem,  
Automatizálási és Alkalmazott Informatikai Tanszék  
1111 Budapest, Goldmann György tér 3.

*Budapest University of Technology and Economics  
Department of Automation and Applied Informatics  
H-1111 Budapest, Goldmann György square 3.*

Tel.: +36-20-939-2627

e-mail: [kovacs.tibor@aut.bme.hu](mailto:kovacs.tibor@aut.bme.hu)