

کالیبراسیون سه بعدی سنجنده مایکروسافت

محمد سعادت سرشت¹، محمود داودیان ایدلیکی²، محمد شنکایی³

1. استادیار، گروه نقشه برداری، دانشگاه تهران

msaadat@ut.ac.ir

2. کارشناسی ارشد، گروه نقشه برداری، دانشگاه تهران

mahmooddavoodian@gmail.com

3. کارشناسی ارشد، گروه نقشه برداری، دانشگاه تهران

Moh109@gmail.com

چکیده

سنجنده جدید تصویر برداری که بی شک تاثیر شگرفی بر کاربردهای فتوگرامتری برد کوتاه داشته و خواهد داشت، کینکت مایکروسافت است. این سنجنده با توانایی اخذ تصاویر با رزولوشن 480*640 و نرخ تصویربرداری 30 فریم بر ثانیه یک انقلاب در برد کوتاه و دید کامپیوتری به شمار می رود. در این مقاله ما با استفاده از یک صفحه آزمون سه بعدی به کالیبراسیون این سنجنده پرداخته ایم که همواره یک قدم مهم در دستیابی به دقت هندسی بالا محسوب می شود. این کالیبراسیون شامل به دست آوردن پارامترهای داخلی دو سنجنده رنگی و عمق، معادله تبدیل عدد عمق به فاصله ی واقعی و پارامترهای توجیه نسبی بین دو سنجنده است. برای دستیابی به این هدف، یک صفحه کالیبراسیون سه بعدی شامل تارگت های سفید در زمینه سیاه طراحی شده و در یک شبکه تصویربرداری همگرا داده ها اخذ شده اند. در نهایت بعد از آماده سازی تصاویر و قرائت مشاهدات عکسی از طریق حل همزمان تمام پارامترهای مورد نیاز استخراج شده است.

واژه های کلیدی: کینکت مایکروسافت، کالیبراسیون، سنجنده برد کوتاه.

1- مقدمه

امروزه نیاز به بازسازی یا مدلسازی سه بعدی برای دستیابی به توان اندازه گیری سه بعدی در کاربردهای متفاوت اجتناب ناپذیر است. به عنوان نمونه می توان به کنترل هوشمند رباتها، شناسایی مانع در هدایت اتومبیل [4]، مهندسی معکوس [17]، طراحی قالب های صنعتی و کنترل کیفی اشاره کرد که از حوزه هایی محسوب می شوند که به اندازه گیری سه بعدی نیاز بنیادی دارند. بسیاری از کاربردهای دیگر نیز وجود دارند که برای دستیابی به اتوماسیون به صورت غیر مستقیم یا مستقیم نیاز به مدل سه بعدی دارند. در راستای برآوردن این نیازها ابزارها و روش های زیادی توسعه یافته است که می توان آنها را در حالت کلی به دو دسته فعال و غیر فعال تقسیم کرد.

از مهم ترین ابزارهای اندازه گیری سه بعدی فعال می توان بهاسکنر های نوری و لیزری [11] اشاره کرد که بی شک نقش مهمی در بازسازی سه بعدی ایفا می کنند. اما علاوه بر هزینه زیاد، که استفاده از آنها را در کاربردهای آماتور محدود می کند، وزن سنگینجابه جایی آنها را بین ایستگاهها برای دستیابی به مدل کامل

دشوار می کند و در نهایت ابر نقاط با حجم زیاد تولید می کند که نیاز به محیط پردازشی ویژه ایجاد می کند [16].

سنجنده فعال دیگری که در کمتر از یک دهه گذشته وارد بازار شده و قیمت کمتری دارد سنجنده ToF می باشد [9] که بیشتر برای کاربردهای برد کوتاه استفاده می شود. این سنجنده که بر اساس زمان حرکت نور مسافت را اندازه گیری می کند، دارای رزولوشن بسیار پایینی می باشد اما توان تصویربرداری با نرخ 30 فریم بر ثانیه را دارا می باشد. [5] مهم ترین کاربرد این سنجنده که در سطح گسترده به کار رفته است می توان به نصب آن در اتومبیل ها برای شناسایی موانع نام برد.

اما جدید ترین ابزار ارائه شده که دارای توانایی ایجاد مدل سه بعدی می باشد کینکت مایکروسافت [10] می باشد که یک سخت افزار جانبی ارائه شده در کنار ایکس باکس است و به منظور شناسایی حرکات انسان برای ارتباط آسان تر با کاربر طراحی شده است؛ اما می تواند برای اسکن و بازسازی محیط با دقت قابل قبولی استفاده شود. این دستگاه از چهار بخش شامل دو سنجنده تصویربرداری با کیفیت VGA، یکی در بازه نور مرئی و دیگری مادون قرمز، یک پروژکتور مادون قرمز و یک پردازنده تشکیل شده است. نحوه کار این سیستم در [7] آمده است.

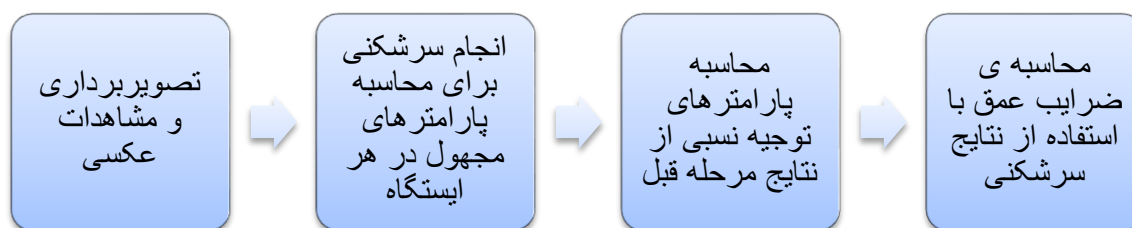
هر سیستمی پیش از اندازه گیری نیاز به کالیبراسیون دارد و این فرایند در سیستم های مختلف از سیستم های با پایداری بالا تا سیستم های ناپایدار وجود دارد اما پیاده سازی آن متفاوت است. از آنجایی که در طراحی سنجنده کینکت، پایداری فاکتور مهمی تلقی نمی گردد این کمبود می بایست در فرایند کالیبراسیون جبران گردد. همچنین از آنجایی که شرکت های دیگر مانند ایسوز نیز به ارائه سنجنده های مشابه اقدام کرده اند می توان یک روش کالیبراسیون برای تمام سنجنده ها ارائه کرد.

در دو سال گذشته بعد از ارائه کینکت به بازارهای جهانی تلاش های قابل توجهی برای کالیبراسیون این سنجنده به کار رفته است. راج [15] با استفاده از صفحه کالیبراسیون ژانگ [18] در به دست آوردن پارامترهای توجیه داخلی سنجنده رنگی موفق بوده است اما باقی پارامترها دقت خوبی ندارند. سیمسک [14] با استفاده از همان صفحه کالیبراسیون به آنالیز بهتری از دقت و صحت کینکت پرداخته است اما تاثیر مثبتی در نتایج وی مشاهده نمی شود. خوش الهام [6] به معادلات ریاضی به کار رفته در کینکت پرداخته و این بار با استفاده از صفحه کددار به کالیبراسیون اتوماتیک پرداخته است. در [2] و [13] نیز به بررسی دقت و صحت کینکت پرداخته شده اما روش مناسبی برای افزایش دقت آن ارائه نکرده اند. همچنین شرکت هایی که درایورهای کینکت را ارائه کرده اند هر کدام یک کتابخانه کالیبراسیون همراه آن ارائه کرده اند که مهم ترین آنها که دقت هندسی را مد نظر قرار داده است [12] می باشد.

در ادامه روش پیشنهادی کالیبراسیون همراه با معادلات ریاضی به کار رفته در آن توضیح داده شده است. سپس در بخش پیاده سازی مراحل اجرایی به صورت شفاف تر آمده و در نهایت در فصل نتایج آنالیزی از دقت و صحت پیاده سازی ها همراه با مقایسه آن با روش های دیگر بیان شده است.

2- روش پیشنهادی کالیبراسیون

در تصویر 1، نمای کلی از مراحل دستیابی به کالیبراسیون بیان شده است. در مرحله پیاده سازی هر قسمت به صورت گسترده تری توضیح داده شده است. در اینجا معادلات ریاضی مورد نیاز برای دستیابی به پارامترهای مورد نیاز آورده شده است.



شکل 1. نمای کلی از فرایند کالیبراسیون

معادلات توجیه داخلی مورد استفاده که در معاله () آمده از [3] استخراج شده است. گرچه این معادله، شامل تمام پارامترها می باشد اما در قسمت نتایج آمده است که می توان تعدادی از پارامترها را به خاطر وابستگی حذف کرد. مدل مورد استفاده برای داده های عمق از [6] است که با یکسری معادلات رایج دیگر مقایسه شده است.

$$\Delta x = x_0 - \frac{\bar{x}}{c} \Delta c + \bar{x} r^2 K_1 + \bar{x} r^4 K_2 + \bar{x} r^6 K_3 + (2\bar{x}^2 + r^2) P_1 + 2P_2 \bar{x} \bar{y} + b_1 \bar{x} + b_2 \bar{y} \quad \text{معادله 1.}$$

$$\Delta y = x_0 - \frac{\bar{y}}{c} \Delta c + \bar{y} r^2 K_1 + \bar{y} r^4 K_2 + \bar{y} r^6 K_3 + 2P_1 \bar{x} \bar{y} + (2\bar{y}^2 + r^2) P_2 \quad \text{معادله 2.}$$

اندازه گیری مرکز تارگت ها (قرائت مشاهدات عکسی)، بعد از پیش پردازش تصاویر برای قرائت ساده تر در نرم افزار [1] انجام شده است. از آنجایی که خروجی نرم افزار، پارامترهای توجیه خارجی است و هدف نهایی ما پارامترهای توجیه نسبی است، یکسری معادلات که از معادله شرط هم خطی (معادله 3) استخراج می شوند و در ادامه آمده اند برای تبدیل نیاز داریم.

$$R_m \cdot [x_i, y_i, c_i]^t + T_m = [X_i, Y_i, Z_i]^t \quad \text{معادله 3. معادله شرط هم خطی}$$

با برابر قرار دادن معادله 2 برای تصویر چپ و راست به معادله زیر می رسیم (معادله 4 و 5).

$$R_l [x_{il}, y_{il}, c_{il}] + T_l = R_r [x_{ir}, y_{ir}, c_{ir}] + T_r \quad \text{معادله 4.}$$

$$[x_i, y_i, c_i]_l = R_l^t \times R_r [x_i, y_i, c_i] + R_l^t \times (T_r - T_l) \quad \text{معادله 5.}$$

که در آن x_i, y_i مختصات عکسی، R_l, R_r ماتریس دوران عکس چپ و راست، T_r, T_l ماتریس انتقال عکس چپ و راست می باشند.

3- پیاده سازی

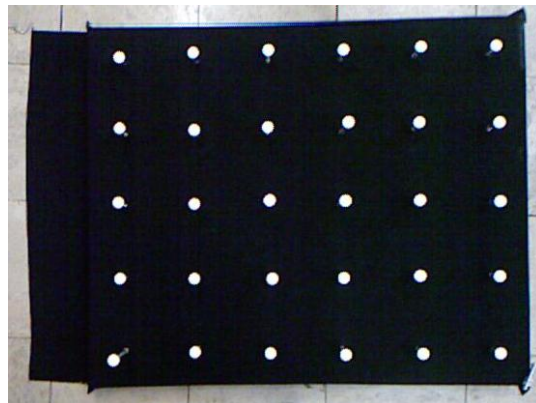
این مرحله شامل قدم های زیر می باشد.

- طراحی و ایجاد یک صفحه کالیبراسیون ساده اما کاربردی.
- تصویر برداری در شبکه همگرا.
- محاسبات نرم افزار شامل حل همزمان معادلات سرشکنی برای به دست آوردن پارامترهای توجیه داخلی و خارجی.
- محاسبه پارامترهای توجیه نسبی با استفاده از معادلات .
- برازش معادلات عمق برای محاسبه ضرایب آن.

3-1 - صفحه کالیبراسیون

در این مقاله یک صفحه کالیبراسیون به صورت دستی ساخته شده است. ساختار این صفحه به گونه ای است که می بایست تارگت ها در هر دو تصویر عمق و رنگی به آسانی قابل تشخیص و قرائت باشند. به این

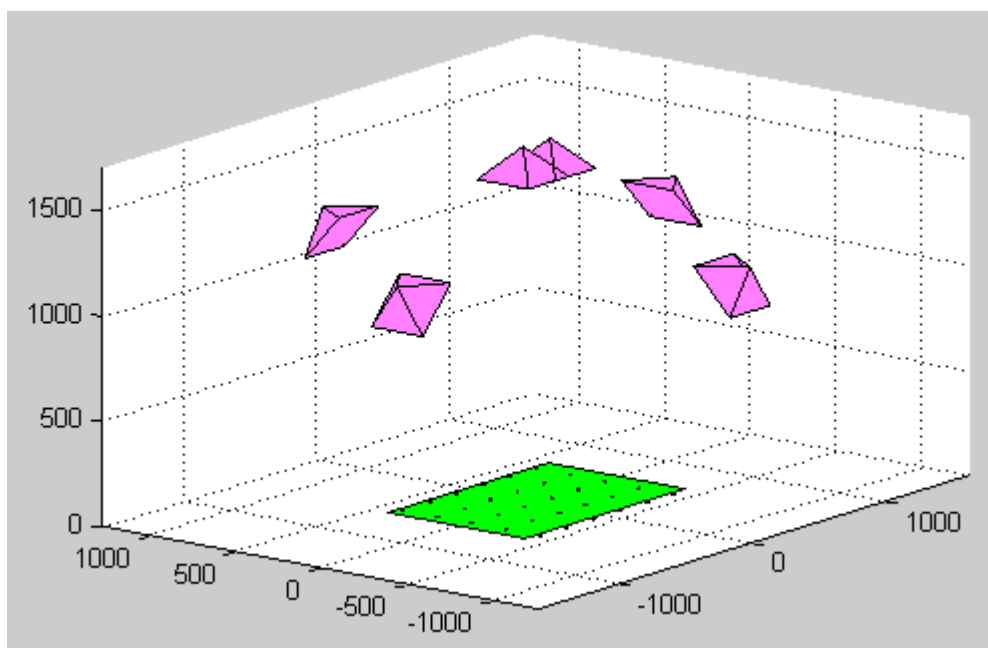
منظور از تارگتهای دایره ای با رنگ سفید در زمینه سیاه استفاده شده که شناسایی آنها را در تصویر رنگی آسان می کند و با ایجاد اختلاف ارتفاع از زمینه شناسایی آنها در تصویر عمق نیز امکان پذیر می شود. در مجموع صفحه آزمون یک گرید 5×5 با تارگت ها سفید به ضخامت 5 و ارتفاع 10 سانتیمتر می باشد. تصویر 1 صفحه کالیبراسیون نهایی را نشان می دهد.



شکل 2. تصویر قائم از صفحه کالیبراسیون سه بعدی طراحی شده.

3-2- اخذ داده

نرم افزار اخذ داده بر اساس درایور [8CLNUI] در پلت فرم مایکروسافت C# توسعه داده شده است. ده تصویر در یک شبکه همگرا با یک جفت استریو و هشت تصویر از چهار جهت با دوران 90 درجه اخذ شده است. شبکه تصویربرداری در شکل 3 قابل مشاهده است.

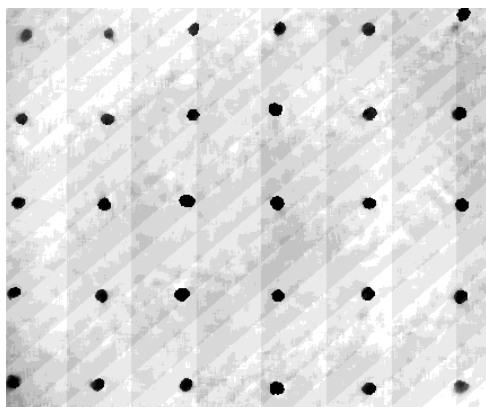


شکل 3. شبکه تصویربرداری.

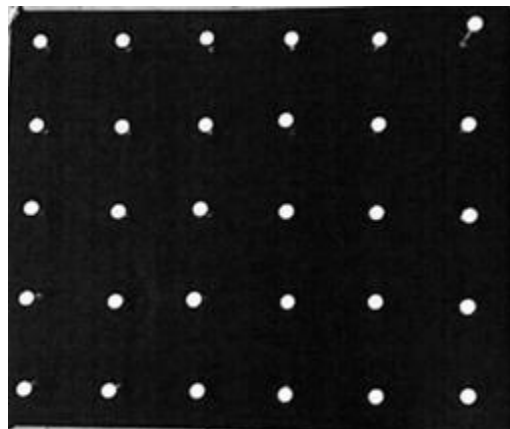
3-3- قرائت مشاهدات عکسی

در این مرحله می بایست مختصات مرکز تارگت ها استخراج شود. در تصویر رنگی به خاطر وجود اختلاف رنگ زیاد بین زمینه و تارگت این فرایند به راحتی امکان پذیر است اما در تصویر عمق به خاطر اختلاف کم

در مقادیر عمق تارگت و زمینه یک پیش پردازش نیاز است. تصاویر عمق بعد از کشیدن هیستوگرام به تصاویر سیاه سفید تبدیل می شوند. در تصاویر 4 و 5 تاثیر این فیلترها قابل مشاهده است.



شکل 5. تصویر عمق پردازش شده برای شناسایی تارگت ها.



شکل 4. تصویر عمق خام.

3-4 - محاسبات نهایی

بعد از انجام قرائت های عکسی انجام سرشکنی همزمان در نرم افزار Australis به راحتی انجام می گیرد. در واقع یک فرایند ترتیبی که در شکل 6 نشان داده شده است انجام می پذیرد و در نهایت مختصات تارگت ها و پارامترهای توجیه خارجی و داخلی به دست می آید. از معادلات برای به دست آوردن پارامترهای توجیه نسبی استفاده می کنیم و با برازش معادله عمق به فاصله پارامترهای مجهول آن را به دست می آوریم.



شکل 6. فلوجارت مراحل سرشکنی در نرم افزار [Australis1].

نتایج آزمایشات انجام شده در قسمت نتایج که در ادامه آمده است.

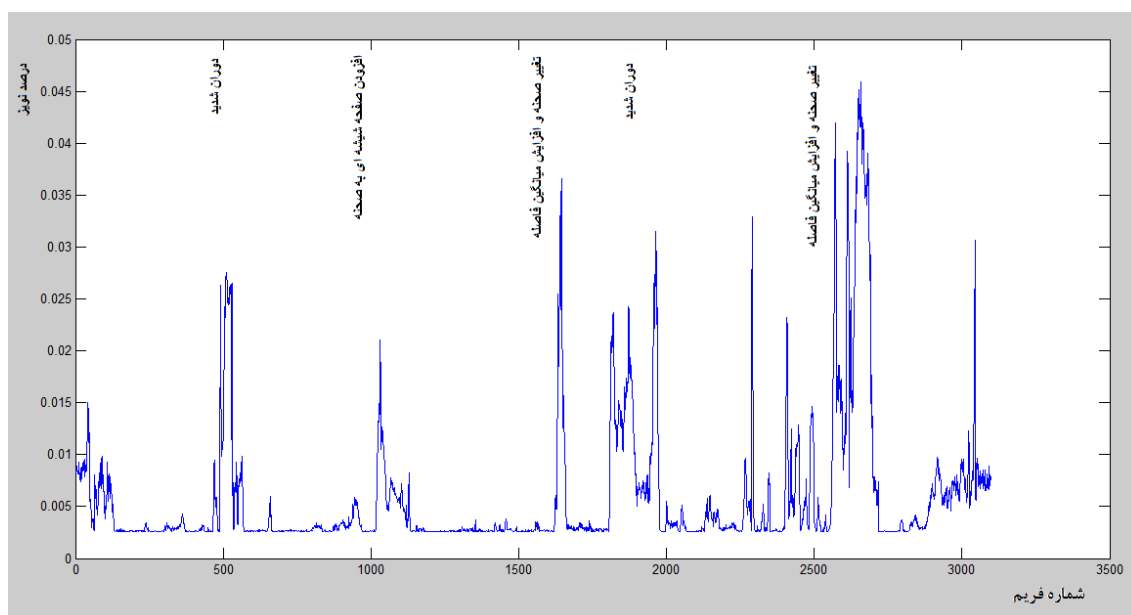
4- نتایج و پیشنهادات

با توجه با آزمایشات انجام شده در زیر نتایج شامل پارامترهای کالیبراسیون نمودار ارتباط عمق و فاصله، جدول کالیبراسیون ژانگ، آنالیز دقت خوش الهام آورده شده است. همچنین جدول خطاهای محاسبات عمق و پارامترهای کالیبراسیون آمده است.

جدول 1. پارامترهای کالیبراسیون داخلی سنجنده رنگی و عمق.										
	f	x_c	y_c	$K1$	$K2$	$K3$	$P1$	$P2$	$B1$	$B2$
دوربین رنگی	5/200	0/006	-0/065	-0/0088	0/0011	0	-0/0012	-0/0008	-0/007	0/01
دوربین عمق	5/235	0/081	-0/028	0/003	-0/0005	0	0/0009	0/0003	0/009	-0/003

میزان نویز در تصاویر کینکت وابسته به جنس و زاویه تابش می باشد. در شکل 7 نمودار 3000 فریم پیوسته با زوایا و سرعت های متفاوت ترسیم شده است. میزان نویز در یک محیط ثابت و بدون تغییرات شدید

ثابت است و به صورت تقریب $0/25$ درصد از تصویر می تواند نویز باشد که با حرکت دوربین و تغییر زاویه این میزان افزایش می یابد.



شکل 7. میزان نویز در تصاویر کینکت وابسته به حرکت و تغییر صحنه

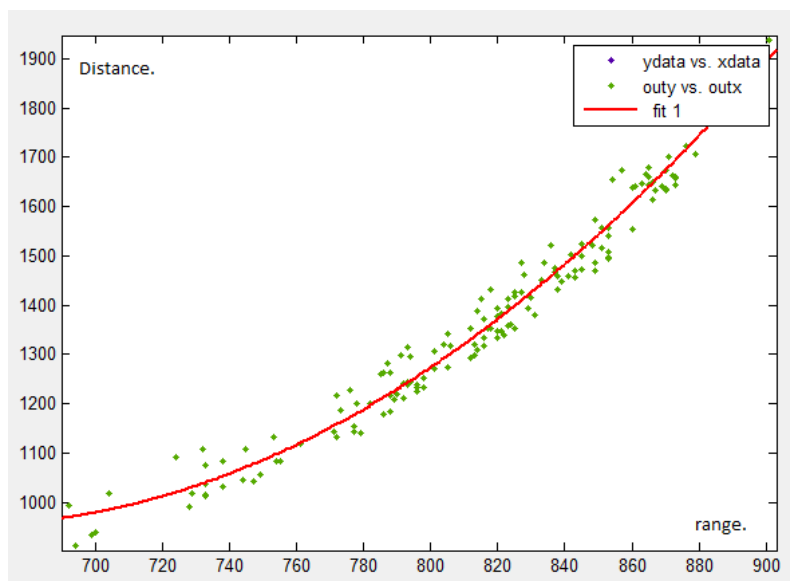
در جدول 2 پارامترهای توجیه نسبی دوربین عمق نسبت به دوربین رنگی و میزان خطای آنها آورده شده است.

جدول 2. پارامترهای توجیه نسبی سنجنده عمق نسبت به سنجنده رنگی.

	$(degree)\omega$	$\varphi(degree)$	$K(degree)$	$Xc(mm)$	$Yc(mm)$	$Zc(mm)$
مقدار پارامتر	0/15	-0/1	-0/55	-27	2	7
خطا	0/1	0/1	0/1	0/1	0/5	2/5

و در نهایت نمودار برازش مقادیر طول واقعی به مقادیر عمق در شکل 8 آمده است که از معادله 6 استفاده شده است و پارامترهای تخمین زده شده در جدول 3 آورده شده است.

معادله 6. $f(x) = p1x^2 + p2x + p3$



شکل 8. نمودار برازش داده های طول واقعی به مقادیر عمق.

جدول 3. پارامترهای برازش معادله 6 به مقادیر عمق			
$P3$	$P2$	$P1$	پارامتر
8032	-21/47	0/01628	مقدار

5- نتیجه گیری

با توجه به اهمیت فناوری ارائه شده توسط کینکت، استفاده از آن در کاربردهای برد کوتاه اجتناب ناپذیر است و تمام سنجنده ها برای استفاده در کاربردهای هندسی نیاز به کالیبراسیون با دقت مناسب دارند. با استفاده از یک صفحه کالیبراسیون سه بعدی طراحی شده برای کینکت، توانستیم به نتایج مناسبی در محاسبه پارامترهای مورد نیاز شامل توجیه داخلی هر دو سنجنده، توجیه نسبی سنجنده ها نسبت به هم و معادله تبدیل عمق به فاصله واقعی دست یابیم. همچنین با مقایسه نتایج به دست آمده با روش های کالیبراسیون رایج بهبود آنها به خوبی قابل مشاهده است.

مراجع

1. "Australis." http://www.photometrix.com.au/products_a.html.
2. Chow, JCK, KD Ang, DD Lichti, and WF Teskey. 2012. "PERFORMANCE ANALYSIS OF A LOW-COST TRIANGULATION-BASED 3D CAMERA: MICROSOFT KINECT SYSTEM." ... -remote-sens-spatial-inf-sci.net XXXIX(September): 175-180. <http://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XXXIX-B5/175/2012/isprsarchives-XXXIX-B5-175-2012.pdf> (January 30, 2013).
3. Fraser, Clive S. 1997. "digital camera self-calibration." *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 52: 149-159.
4. Gavrilu, D.M., and V. Philomin. 1999. "Real-time object detection for 'smart' vehicles." *Proceedings of the Seventh IEEE International Conference on Computer Vision*: 87-93 vol.1. <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=791202>.

5. Hussmann, S, T Ringbeck, and B Hagebeueker. 2008. "A performance review of 3D TOF vision systems in comparison to stereo vision systems." *Stereo Vision* (November): 103–120.
6. Khoshelham, K. 2010. "Accuracy analysis of kinect depth data." *ISPRS workshop laser scanning* 38: 1.
7. Krah, Christoph. 2011. "THREE-DIMENSIONAL IMAGING AND DISPLAY SYSTEM." 1–8.
8. Laboratories., Code. 2011. "CLNUI SDK and drivers." <http://www.codelaboratories.com>.
9. Lange, R., and P. Seitz. 2001. "Solid-state time-of-flight range camera." *IEEE Journal of Quantum Electronics* 37(3): 390–397. <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=910448>.
10. "Microsoft Kinect." 2011. <http://www.xbox.com/en-US/kinect>.
11. Pfeifer, N, and C Briese. 2007. "Laser scanning—Principles and applications." In *3rd International Exhibition & Scientific Congress on Geodesy, Mapping, Geology, Geophysics, Cadaster GEO-SIBERIA*, , p. 1–20. <http://www.ipf.tuwien.ac.at/np/Publications/geosibirPfeifer.pdf>.
12. Sense., Prime. 2011. "OpenNI Platform." <http://www.openni.org>.
13. Sensor, Kinect Depth, Evaluation F O R Computer, and Vision Applications. 2012. "KINECT DEPTH SENSOR EVALUATION FOR COMPUTER VISION APPLICATIONS."
14. Smisek, Jan, Michal Jancosek, and Tomas Pajdla. 2011. "3D with Kinect." *2011 IEEE International Conference on Computer Vision Workshops (ICCV Workshops)*: 1154–1160. <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6130380>.
15. Sodhi, Rajinder, and Brett Jones. 2010. *Kinect-Projector Calibration*.
16. Teutsch, Christian. "Model-based Analysis and Evaluation of Point Sets from Optical 3D Laser Scanners."
17. Varady, T, R R Martin, and J Cox. 1997. "Reverse engineering of geometric models—an introduction." *Computer-Aided Design* 29(4): 255–268.
18. Zhang, Zhengyou. 2000. "A flexible new technique for camera calibration." *Pattern Analysis and Machine Intelligence* 22(11): 1330–1334. http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=888718 (January 31, 2013).