

روشی تمام اتوماتیک برای کالیبراسیون دوربین

پریسا درویش زاده ورچه ئی ، رضا آقایی زاده ظروفی

تهران ، خیابان کارگر شمالی، پردیس فنی دانشگاه تهران، قطب کنترل و پردازش هوشمند، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

E-mail: parisadriv@yahoo.com, zoroofi@ut.ac.ir

چکیده - اهمیت تشخیص عمق اشیا و بازسازی صحنه در کاربردهای تشخیص عمق، سه بعدی سازی و تناظر یابی منوط به دقت کالیبراسیون دوربین است. کالیبراسیون دوربین به معنای محاسبه پارامترهای داخلی و خارجی دوربین است. ایده کلی حل مساله کالیبراسیون، استفاده از روابط بین مختصات سه بعدی فضا، دوربین و تصویر جهت استخراج پارامترهای مذکور است. روشهای که جهت کالیبراسیون معرفی گردیده اند هر یک با توجه به نوع نیاز سیستم، کاربرد، محیط تصویر برداری، دقت مورد نیاز، سرعت و امکانات موجود انتخاب و طراحی میشوند. در این مقاله روشی تمام اتوماتیک، جدید و دقیق برای کالیبراسیون دوربین ارائه میشود. دوربین کالیبره شده در این مقاله در پروژه هدایت ابزار جراحی مورد استفاده قرار میگیرد و نیاز به دقت بالا و سرعت مناسب و کالیبراسیون تمام خودکار دارد. در این روش با گرفتن تنها یک تصویر از یک الگوی سه بعدی کالیبراسیون صورت میگیرد. در اصل با اضافه کردن یک آشکار ساز گوشه و خاصیت رنگی بودن تصویر روش حاضر تبدیل به روشی دقیق، سریع و خودکار مبدل گشته است. ارائه نتایج پیاده سازی با استفاده از تست این روش و همچنین مقایسه این روش با روش دیگری که غیر اتوماتیک و دقیق است حاکی از قابلیت خوب این روش در پیدا نمودن پارامترهای دوربین است.

کلید واژه- الگوی مسطح، روش تمام اتوماتیک، کالیبراسیون دوربین.

۱- مقدمه

بعدی که دارای صفحات متعامد بر یکدیگر است (نظیر یک جعبه) و دارای مربعهای کوچک همانند صفحه شطرنجی بر روی وجوه خود است، استفاده میکنند. الگوریتمهای ارائه شده برای این روش دو نوعند: ۱- محاسبه مستقیم پارامترها، ۲- استفاده از ماتریس پروجکشن [1]. یکی از عوامل تعیین کننده دقت کالیبراسیون در این روش ابعاد پنجره های شطرنجی واقع بر روی صفحات الگو است. علاوه بر این روش نیازمند آن است که موقعیت فضایی الگو بدرستی در آن مشخص شود. لذا دقت اندازه گیری متریک از فضای بیرونی نیز در دقت کالیبراسیون تاثیر مستقیم دارد. در واقع در حین کالیبراسیون لازم است اطلاعات مربوط به فضای بیرونی یا محیطی اجسام تصویر برداری شده در هر مرحله به کمک نیروی انسانی به سیستم برای حداقل ۸ نقطه در تصویر و متناظر با آن مختصات فضایی آن ۸ نقطه اعلام شود که خود حاکی از ایجاد وقفه در

کالیبراسیون دوربین به معنای تخمین پارامترهای داخلی و خارجی مدل دوربین است. حل مساله کالیبراسیون، استفاده از روابط بین مختصات سه بعدی فضا، دوربین و تصویر جهت استخراج پارامترهای مذکور است. روشهای بسیاری جهت کالیبراسیون معرفی گردیده است که هر یک با توجه به نوع نیاز سیستم، محیط تصویر برداری، دقت، سرعت و امکانات انتخاب میشود. تقسیم بندی روشها معمولاً مبتنی بر ابعاد الگوی استفاده شده در روش است. در این قسمت خلاصه ای از عملکرد روشها را مرور خواهیم کرد.

۱-۱- مروری بر روشهای کالیبراسیون

در دسته اول روشهای ابتدایی کالیبراسیون دوربین که همان روشهای سنتی یا کلاسیک هستند و از یک شی سه

کالیبراسیون روشی سخت برای پیاده سازی است و هزینه محاسباتی آن بالاست و تنها مزیت آن الگوی کالیبراسیون است که وجود ندارد.

از جمله دیگر روشهای کالیبراسیون کالیبراسیون مبتنی بر نقاط حذفی است [6]، این روش نیازمند الگویی است که دارای سه جفت خطوط دو به دو موازی یکدیگر است. این روش بیشتر مناسب برای دوربینهای ترافیکی است. دانستن اطلاعات مربوط به حرکت دوربین در این روش ضروری است.

۲- روش پیشنهادی

با توجه به موارد گفته شده این نکته را خاطر نشان می کنیم که استفاده و انتخاب روش کالیبراسیون منوط به شرایط و امکانات موجود و نوع کاربرد و دقت مورد نیاز است. روشهای موجود الگوریتم موجود در دسته دوم دارای دقت بالا، حجم کم پردازش و سادگی محاسبات است با این تفاوت که در الگوریتمهای ارائه شده تا کنون باید اطلاعات مربوط به نقاط ویژگی بصورت دستی و از طریق کاربر به برنامه داده شود که هم سبب بروز خطای انسانی میشود و هم زمان زیادی را برای پردازش تعداد بالای تصاویر نیازمند است. الگوریتم ارائه شده در این مقاله که کلیه مشکلات مربوطه را مرتفع میسازد و آن را تبدیل به روشی تمام خودکار برای کالیبراسیون مینماید این بدان معناست که تنها با گرفتن یک تصویر از یک الگوی سه بعدی دارای صفحات شطرنجی متعامد بر یکدیگر و تعیین نقاط ویژگی آن (تنها ۴ نقطه) و آنهم بصورت کاملاً اتوماتیک با استفاده از خاصیت رنگی بودن تصویر و اضافه کردن یک الگوریتم آشکار ساز گوشه کالیبراسیون با سرعت بالا و حجم کم اطلاعات و دقت مطلوب انجام میشود در ادامه بحث معادلات پایه ای مورد استفاده در بینایی ماشین جهت کالیبراسیون، مساله کالیبراسیون الگوریتمهای مورد استفاده و نتایج حاصل از این الگوریتمها ارائه شده است.



شکل ۱- الگوی کالیبراسیون در روش اتوماتیک

برنامه و وارد شدن نقش کاربر در حین اجرای الگوریتم میشود. از طرفی هزینه محاسباتی و پیچیدگی عملیات ریاضی آن بسیار بالاست.

دسته دوم استفاده از اشیا مسطح یا همان اشیا دو بعدی به عنوان الگوی کالیبراسیون است [2]. در این روش لازم است که الگوی مسطح کالیبراسیون از جهات مختلف (حداقل سه جهت مختلف) تصویر برداری شود و سپس کالیبراسیون به کمک تصاویر گرفته شده صورت می پذیرد. دقت این روش با در نظر گرفتن مساله بهینه سازی در حد بسیار خوبی است. در این روش دیگر نیازی به وارد نمودن اطلاعات مربوط به مختصات فضایی نقاط تصویر نیست اما نیازمند دانستن مختصات تصویری نقاط ویژگی برای هر تصویر است که از طرفی این نقاط ویژگی در تصاویر مختلف متفاوت هستند و هیچگاه یکسان نمی باشند. از دیگر مشکلات این روش تعداد تصاویر است که باید از یک الگو در جهات مختلف گرفته شود که این خود سبب اشغال حجم اطلاعاتی و پردازش بالا میشود.

دسته سوم استفاده از اشیا یک بعدی است که در واقع اشیا نازک و بلند نظیر آنتن تلویزیون، خط کش و چوب باریک از آن دسته اند [3]. در این روش لازم است که سه نقطه بر روی الگو (ابتدا، وسط و انتها) تعیین شوند. کالیبراسیون با چرخاندن الگو حول یک نقطه ثابت و گرفتن حداقل ۶ تصویر کالیبراسیون صورت میگیرد. از جمله مزایای این روش به راحتی پیدا کردن الگوی کالیبراسیون است. دقت این روش در حد متوسط است و برای دستیابی به دقت بیشتر باید از الگوریتم ماکزیمم احتمال استفاده کرد. اما حجم محاسباتی نسبتاً بالایی در حد الگوهای دسته اول دارد.

دسته چهارم روشهای کالیبراسیون، خود کالیبراسیون یا همان کالیبراسیون به کمک اشیا بدون بعد است، تنها با تناظر یابی بین تصاویر گرفته شده از اطراف، کالیبراسیون صورت میپذیرد [4]. لازم است دوربین در جهات مختلف چرخش داشته باشد و از آنجایی که الگویی برای کالیبراسیون وجود ندارد، پارامترهای زیادی باید استخراج شوند. تنها گرفتن سه تصویر برای کالیبراسیون کافیهست [5]. کالیبراسیون با کمک تناظریابی تبدیل به حل یک مساله پیچیده ریاضی با پارامترهای زیاد میشود. در کل خود

رنگی است با رنگی کردن مربعهای گوشه راست بالا و چپ پایین (به سه رنگ نارنجی ، سبز و آبی برای هر وجه) برای هر راسی که قرار است به عنوان نقطه ویژگی آشکار شود مانند شکل (۱) و استفاده از الگوریتم جستجوی زیر نقاط ویژگی مورد نظر شناسایی میشوند. الگوریتم حاصل بدین ترتیب در نظر گرفته میشود :

۱. گرفتن مختصات نقاط آشکار شده از مرحله قبل
۲. با توجه به آنکه رنگهای انتخاب شده بر روی الگوی کالیبراسیون جزو رنگهای اصلی هستند لذا نقاطی از گوشه های آشکار شده به عنوان نقاط ویژگی انتخاب میشوند که در همسایگی سمت راست بالا و سمت چپ پایین خود بر روی تصویر دارای پیکسلهای رنگی به سه رنگ مورد نظر باشند. شرط پیدا نمودن آنها نیز تنها با در نظر گرفتن یک ترشولد بر روی آرایه های G ، R و B نقاط صورت میگیرد.
- نقاطی که شرط ۲ را برآورده سازند همان ۱۲ نقطه ویژگی مورد نظر بر روی الگو هستند.

۲-۳- بخش کالیبراسیون

در کالیبراسیون از مدل ساده پین هول استفاده میشود. [1] در همه روشهای کالیبراسیون دوربین از تساویهای مقدماتی و پایه ای که ناشی از روابط مثلثاتی واقع در شکل هستند و در ادامه نشان داده میشوند استفاده میشود. با فرض آنکه نقطه P در فضای سه بعدی با مختصات $[X^w, Y^w, Z^w]$ تعریف میشود و مختصات آن در مختصات دوربین بصورت $[X^c, Y^c, Z^c]$ است و مختصات تصویر آن نیز بصورت $[u, v]$ است آنگاه خواهیم داشت [1]:

$$\begin{bmatrix} X^c \\ Y^c \\ Z^c \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} X^w \\ Y^w \\ Z^w \end{bmatrix} + t \quad (1)$$

که در آن R ماتریس دوران و t بردار انتقال است و به عنوان پارامترهای خارجی دوربین هستند. ..همچنین خواهیم داشت :

$$a \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = P \begin{bmatrix} X^w \\ Y^w \\ Z^w \end{bmatrix} \quad (2)$$

الگوریتم روش استفاده شده برای کالیبراسیون به سه قسمت که شامل بخش آشکار سازی گوشه ها ، بخش تطبیق گوشه های صحیح - وارد نمودن خاصیت رنگ و بخش کالیبراسیون است تقسیم میشود . در ادامه هر یک به تفصیل توضیح داده میشود.

۲-۱- آشکار سازی گوشه ها

در این قسمت لازم است که مختصات کلیه رئوس مربعهای قرار گرفته بر روی وجوه مکعب به عنوان گوشه های تصویر استخراج شوند. الگوریتم مربوط به آشکار سازی گوشه ها بر مبنای [7] دارای مراحل زیر است :

- ۱- گرفتن تصویر رنگی و تبدیل آن به سیاه و سفید
- ۲- تعیین لبه های تصویر با استفاده از آشکار ساز لبه کنی و محاسبه تصویر باینری حاصل
- ۳- ماکزیمم و مینیمم ترشولد برای الگوریتم آشکار ساز لبه کنی به ترتیب 0.35 و 0 صفر است.
- ۴- استخراج کانتورهای لبه از شکل باینری حاصل و پر کردن (سیاه کردن) فضاهای خالی در کنتور. فیلتری که برای محاسبه کانتور استفاده میشود گوسی و با واریانس $2/25$ است.
- ۵- محاسبه خمیدگی برای هر کانتور برای از دست ندادن کانتورهای درست
- ۶- همه ماکزیمم محلی خمیدگیها کاندیدهای مناسب برای گوشه ها هستند، سپس رند کردن گوشه ها و حذف گوشه های اشتباه که بر اثر نویز باینری ایجاد شده اند را خواهیم داشت
- ۷- اضافه کردن نقاط انتهایی خطوط لبه به عنوان گوشه هایی که آشکار نشده اند.
- خروجی الگوریتم مختصات گوشه های آشکار شده تصویر است.

۲-۲- تطبیق گوشه های صحیح - وارد نمودن

خاصیت رنگ

از بین مختصات گوشه های تخمین زده شده تنها چهار نقطه از هر وجه الگوی کالیبراسیون (مکعب) نظیر آنچه در شکل ۳ نشان داده شده است، به عنوان نقاط ویژگی کالیبراسیون لازم است. با توجه به آنکه تصویر گرفته شده

$$v_{ij} = [h_{i1}h_{j1}, h_{i1}h_{j2} + h_{i2}h_{j1}, h_{i2}h_{j2}, h_{i3}h_{j1} + h_{i1}h_{j3}, h_{i3}h_{j2} + h_{i2}h_{j3}, h_{i3}h_{j3}]^T \quad (10)$$

بعد از حل معادله بالا کلیه مجهولات مساله کالیبراسیون براحتی استخراج میشوند. در این الگوریتم محاسبات مربوط به اعوجاج لنز نیز آمده است که برای اطلاعات بیشتر به [8] مراجعه شود. همچنین در محاسبه مربوط به پارامترها مساله بهینه سازی پارامترها با استفاده از الگوریتم Levenberg- Marquardt انجام میشود [2]

۳- نتایج

در ابتدا نتایج مربوط به روش ارائه شده در این مقاله نشان داده میشود و سپس با روش متعارف برای کالیبراسیون مبتنی بر الگوی مسطح مقایسه میگردد.

۳-۱- سخت افزار

کامپیوتر مورد استفاده در این آزمایش صنعتی بوده و دارای مشخصات سخت افزاری زیر است :
Intel (R) Celer,CPU 2.40GHz,AT/AT Compatible,
515,568 KB RAM همچنین دوربین مورد استفاده برای تصویر برداری CCD بوده و 220X POWER ZOOM
CAMERA ساخت SAMSUNG است. فریم گربر نیز Picolo چهار کاناله است [9]. در ضمن نرم افزار استفاده شده MATLAB 6.5 است.

۳-۲- نتایج کمی

الگوی تصویر برداری مکعبی به ابعاد ۲۰cm x ۲۰cm x ۲۰cm است که در هر وجه خود ۱۰۰ مربع به ابعاد ۲cm x ۲cm دارد. سه وجه مکعب همانطور که در شکل (۱) نیز نشان داده شده است دارای مربعهای رنگی به رنگهای آبی و سبز و نارنجی هستند. در ابتدا یک تصویر از الگو گرفته میشود، سپس با استفاده از الگوریتم آشکار ساز گوشه کلیه گوشه های آن نمایان شده و برچسب گذاری میشود. (شکل (۲)). سپس گوشه های آشکار شده وارد الگوریتم انتخاب گوشه های مناسب (که در قسمت ۳-۲ توضیح داده شد) میشوند و با استفاده از خاصیت رنگ ۴ گوشه رنگی از هر وجه مکعب استخراج میشود. (در کل ۱۲ نقطه) نقاط حاصل همان نقاط ویژگی مورد استفاده برای حل معادله (۹) مربوط به کالیبراسیون است.

که در آن P ماتریس پروجکشن نام دارد و بصورت $P = K [R \ t]$ است. K همان ماتریس پارامترهای داخلی دوربین بصورت رابطه (۳) است

$$K = \begin{bmatrix} f_u & \varsigma & u_0 \\ 0 & f_v & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_u & \alpha f_u & u_0 \\ 0 & f_v & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

f فاصله کانونی، ς میزان کج شدگی که بصورت ضریبی از فاصله کانونی در جهت محور u تصویر در نظر گرفته میشود. (حالت ایده آل $f_v = f_u$ و $\varsigma = 0$ فرض میشود) و (u_0, v_0) مختصات مرکز تصویر هستند.

برای ماتریس پروجکشن، ماتریس هوموگرافی با شرایط صفحه مسطح بصورت زیر است [2]:

$$H = K[r_1 \ r_2 \ t] = [h_1 \ h_2 \ h_3] \quad (4)$$

که در آن r_1 و r_2 همان ستونهای اول و دوم ماتریس دوران R است. ستون سوم بنا به شرط مسطح بودن الگو صفر فرض میشود. آنگاه با توجه به شرط متعامد بودن ستونهای r_1 و r_2 خواهیم داشت [2] و [1]:

$$h_1^T K^{-T} K^{-1} h_2 = 0 \quad (5)$$

$$h_1^T K^{-T} K^{-1} h_1 = h_2^T K^{-T} K^{-1} h_2 \quad (6)$$

اگر قرار دهیم

$$B = K^{-T} K^{-1} = \begin{bmatrix} B_{11} & B_{12} & B_{13} \\ B_{12} & B_{22} & B_{23} \\ B_{13} & B_{23} & B_{33} \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} \frac{1}{f_u^2} & \frac{-\alpha}{f_u f_v} & \frac{\alpha f_u v_0 - u_0 f_v}{f_u^2 f_v} \\ \frac{-\alpha}{f_u f_v} & \frac{\alpha^2 + 1}{f_v^2} & \frac{-\alpha(\alpha f_u v_0 - u_0 f_v)}{f_u f_v^2} - \frac{v_0}{f_v^2} \\ \frac{\alpha f_u v_0 - u_0 f_v}{f_u^2 f_v} & \frac{-\alpha(\alpha f_u v_0 - u_0 f_v)}{f_u f_v^2} - \frac{v_0}{f_v^2} & \frac{(\alpha f_u v_0 - u_0 f_v)^2}{f_u^2 f_v^2} + \frac{v_0^2}{f_v^2} + 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

که در نتیجه با توجه به مقارن بودن ماتریس حاصل بردار b بصورت زیر پارامترهای مجهول هستند:

$$b = [B_{11} \ B_{12} \ B_{13} \ B_{22} \ B_{23} \ B_{33}] \quad (8)$$

با جایگزینی ماتریس B در معادلات (۵) و (۶) و ساده سازی دو معادله به حل تک معادله زیر که در برگیرنده تمام مجهولات مساله است خواهیم رسید:

$$V b = 0 \quad (9)$$

که در آن V در اینجا یک ماتریس ۶x۶ است.

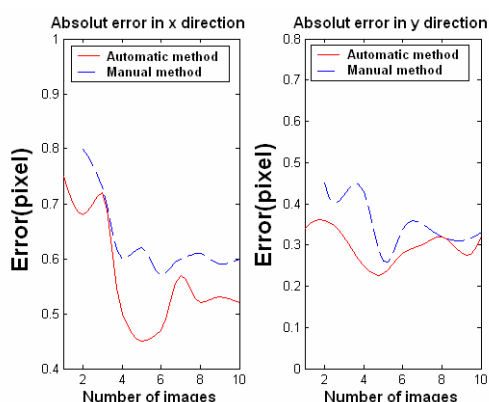
جدول ۱- مقایسه تعداد تصاویر استفاده شده در دو روش بر حسب زمان

تعداد تصاویر	۱	۳	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
زمان روش دستی (s)	-	۱۰	۲۶	۳۷	۴۵	۵۱	۶۲	۷۳
زمان روش خودکار (s)	۳	۷	۱۷	۲۳	۳۱	۴۳	۵۵	۶۴

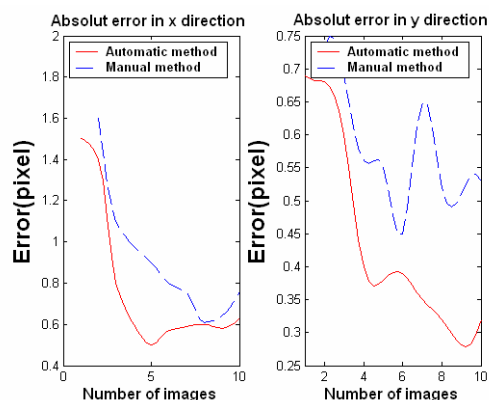


شکل ۲- نتیجه حاصل از آشکار سازی گوشه ها

کلیه پردازشهای مربوط به کالیبراسیون در کمتر از ۷ ثانیه صورت می پذیرد نتایج مربوط به پارامترهای خارجی و داخلی دوربین به همراه خطای محاسبات در شکلهای (۴) و (۵) آمده است. حال روش مذکور را با روش کالیبراسیون الگوی مسطح دیگری که از همان معادلات پایه ای استفاده کرده است مقایسه می نماییم شایان ذکر است که روش حاضر غیر اتوماتیک است و اطلاعات مربوط به نقاط ویژگی کاملاً دستی با کلیک کردن بر روی چهار نقطه نشان داده شده در شکل (۳) به برنامه داده میشود. نتایج نهایی با تغییر تعداد تصاویر (حداکثر ۱۰ تصویر) و محاسبه زمان مصرفی و خطای حاصله بدست می آید. نتایج حاصله با توجه به نمودار نشان داده شده حاکی از این است که با افزایش تعداد تصاویر زمان بیشتری برای کالیبراسیون لازم است از طرفی برای بهبود خطای محاسبات لازم است که تعداد تصاویر نیز افزایش یابد.



شکل ۴- قدر مطلق خطای پارامترهای خارجی دوربین در دو جهت افقی (X) و عمودی (Y) بر حسب تعداد تصاویر.



شکل ۵- قدر مطلق خطای پارامترهای داخلی دوربین در دو جهت افقی (X) و عمودی (Y).



شکل ۳- کلیک بر روی نقاط لازم

جدول (۱) میزان زمان مصرفی جهت کالیبراسیون برای تعداد تصاویر مختلف را نشان میدهد. با توجه به جدول کمترین تعداد تصاویر لازم برای استفاده از روش دستی [10] ۳ تصویر است که زمانی در حدود ۱۰ ثانیه را نیازمند است و این درحالی است که زمان لازم برای کالیبراسیون آنهم تنها با استفاده از یک تصویر در روش اتوماتیک ۳ ثانیه است.

۴- بحث و نتیجه گیری

خواهیم بود اما در هر صورت روش اتوماتیک گفته شده در سرعت و حجم پردازش اطلاعات بسیار بهتر از روش دستی عمل می کند. روش کالیبراسیون دوربین ارائه شده به عنوان گام اولیه در پروژه طراحی سیستم هدایت ابزار جراحی با موفقیت در آزمایشگاه پردازش تصویر دانشگاه تهران تست و بکار گرفته شده است.

مراجع

1. E.Turcco, Introduction Techniques for 3-D Computer Vision, Prentice Hall, 1998
2. Z.Zhang, "Flexible Camera Calibration By Viewing a Plane From Unknown Orientations", *IEEE Trans. On Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 22, no.11, 2000
3. Z.Zhang, "Camera Calibration with One-Dimensional Objects", *IEEE Trans. On Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol.26, No.7, 2004
4. Ji, S.Dai, "Self-Calibration of a Rotating Camera With a Translational Offset", *IEEE Trans. On Robotics and Automation*, Vol. 20, No.1, 2004
5. J.S.Kim, P.Gurdjos, and I.S.Kweon, "Geometric and Algebraic Constraints of Projected Concentric Circles and Their Applications to Camera Calibration", *IEEE Trans. on PAMI*, VOL. 27, NO. 4, APRIL 2005
6. J.Y.Guillemaut, A.S. Aguado, and J.Illingworth, "Using Points at Infinity for Parameter Decoupling in Camera Calibration", *IEEE Trans on PAMI*, VOL. 27, NO. 2, February 2005
7. <http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/loadFile.do?objectId=7652&objectType=file>
8. L.Ma, Y. Chen, and K.L. Moore, "A New Analytical Radial Distortion Model for Camera Calibration," *July 2003*, URL: <http://www.csois.usu.edu/people/yqchen>
9. <http://www.eurosys.com>
10. http://www.vision.caltech.edu/bouguetj/calib_doc/index.html#examples

در الگوریتم ارائه شده هدف کاهش زمان و کاهش حجم پردازش اطلاعات و همچنین بی نیاز کردن روش اصلی از نیروی انسانی به منظور از بین بردن خطای دید و لرزش دست به هنگام وارد نمودن اطلاعات مربوط به فضای بیرونی به برنامه است. با توجه به نمودارهای بدست آمده مشاهده میشود که دقت روش کالیبراسیون مبتنی بر الگوی مسطح کاملاً وابسته به تعداد تصاویر گرفته شده است و از طرفی پردازش تصاویر گرفته شده به منظور کالیبراسیون نیازمند صرف زمان بالا تا حد ۷۳ ثانیه برای ۱۰ تصویر که مینیمم خطا را در بردارد، است. اما الگوریتم اتوماتیک ارائه شده تنها با یک تصویر قادر است کلیه پردازشهای لازم را در زمانی کمتر از ۳ ثانیه با دقت نسبتاً خوبی انجام دهد. خطای ایجاد شده در محاسبات ناشی از روش اتوماتیک تنها شامل خطای دستگاه و گرد کردن اعداد و ارقام و همچنین دقت آشکار ساز گوشه که از الگوریتم کنی استفاده میکند دارد و عواملی نظیر دخالت نیروی انسانی جهت وارد نمودن اطلاعات مربوط به فضای بیرونی و همچنین تعداد تصاویر بر آن چیرگی ندارد.

از جمله ضعف روش غیر اتوماتیک آن است که ماکزیمم تعداد تصاویری که میتواند در بهبود خطا موثر باشد در تمامی منحنی ها در حدود ۵ تصویر است و بعد از آن همانطور که از نمودار ها نیز بر می آید خطا افزایش می یابد. این بدان معناست که خطا را هیچگاه نمی توان با افزایش تعداد تصاویر و صرف زمان بالا هم صفر نمود. یعنی اینگونه نیست که با افزایش تصاویر تا حد خیلی زیاد خطا به صفر برسد. در ضمن در برخی از نمودار ها مشاهده میشود که میزان خطا برای استفاده از سه و حتی بیشتر تصویر در روش دستی معادل با استفاده از یک تصویر در روش اتوماتیک است که این به معنی صرفه جویی در زمان و حجم اطلاعات است. از جمله مشکلات روش دستی کالیبراسیون دیدن تصاویر زیاد از جهات مختلف برای بهبود خطاست و این مساله تاثیر خود را در خطای روش اتوماتیک نیز گذاشته است چراکه دیدن یک مکعب در یک تصویر به طور عام به مانند دیدن تنها ۳ منظر مختلف از یک تصویر است در حالیکه طبق مدل اصلی که برای کالیبراسیون فرض شده است این تعداد منظر حداقل مساله را پوشانده و برای بهبود میزان خطا ناگزیر به استفاده از تصاویر بیشتر