اولین کنفرانس مهندسی فناوری اطلاعات مکانی
دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
دانشکده مهندسی نقشه‌برداری
۲۹ و ۳۰ دی ماه ۱۳۹۴

The 1st National Conference on Geospatial Information Technology
K.N.Toosi University of Technology
Faculty of Geomatics Engineering
19 - 20 January 2016

بررسی و ارزیابی کالیبراسیون UAV در حالت‌های قبل و حین پرواز

فریبرز قربانی[1*]، مسعود ورشو ساز[2] ، مهدی مرادی[3]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد – گروه فتوگرامتری-دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی
۲- دانشیار دانشکده‌ی مهندسی نقشه‌برداری- دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی
۳- دانشجوی کارشناسی ارشد – گروه فتوگرامتری-دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی

چکیده :

در دهه اخیر شاهد رشد و پیشرفت روزافزون کاربرد پرنده‌های بدون سرنشین در فتوگرامتری بردکوتاه جهت تولید محصولات مختلف و متنوع می‌باشیم. از جمله مزایایی که سبب این امر شده است می‌توان به برتری کارایی این روش ازنظر هزینه، زمان و دقت مورد نیاز نسبت به سایر روش‌ها اشاره کرد. در کنار این مزایا، استفاده از این سیستم‌ها دارای چالش‌هایی است. یکی از مواردی که سبب کاهش هزینه این سیستم‌ها شده است استفاده از دوربین‌های غیرمتریک می‌باشد که بررسی روش‌های مختلف کالیبراسیون این دوربین‌ها حائز اهمیت است. بنابراین لازم است تا به منظور تفسیر پتانسیل این دوربین‌ها در فضای شیء، روش‌های کالیبراسیون بررسی شود. هدف از این تحقیق بررسی کالیبراسیون قبل و حین پرواز دوربین‌های دیجیتال غیرمتریک در پرنده‌های بدون سرنشین است. سیستم استفاده شده در این تحقیق یک مولتی روتور فوق سبک می‌باشد که بر روی آن یک دوربین رقومی غیرمتریک با نام SONY ILCE-7R نصب گردیده است. ارزیابی‌ها در دو حالت انجام گردید. برای حالت کالیبراسیون با تصاویر قبل از پرواز از یک تست‌فیلد شطرنجی و برای حالت کالیبراسیون حین پرواز از تارگت‌های نصب شده با مختصات مجهول و توزیع و پراکندگی مناسب در محل مورد آزمایش، دانشکده‌ی هوافضای دانشگاه خواجه‌نصیرالدین طوسی، استفاده گردید. فاصله‌ی کانونی دوربین در طول پروژه ثابت است. نتایج این تحقیق نشان داد که با توجه به تغییرات پارامترهای داخلی دوربین در شرایط مختلف، دقت انجام کالیبراسیون در حین پرواز بیشتر می‌باشد.

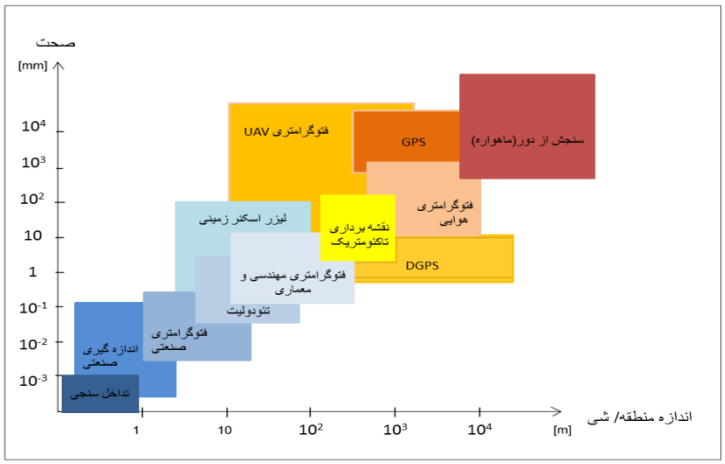
واژه‌های کلیدی : فتوگرامتری، UAV، تارگت، کالیبرایسون

نویسنده مکاتبه کننده : فریبرز قربانی
آدرس پستی : تهران، خیابان ولیعصر، تقاطع میرداماد، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، گروه سنجش از دور و فتوگرامتری.
تلفن :
آدرس پست الکترونیک : f_ghorbani95@yahoo.com

۱- مقدمه

به‌طورمعمول روش‌هایی که امروزه برای تهیه نقشه‌های توپوگرافی استفاده می‌شوند فتوگرامتری هوایی با استفاده از دوربین‌های متریک، استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، نقشه‌برداری زمینی و یا استفاده از لیزر اسکنرها می‌باشند؛ اما در بعضی از موارد اجرایی به دلیل مسائلی از قبیل هزینه، دسترسی، مدت‌زمان انجام پروژه و دسترسی سریع به اطلاعات، استفاده از این تکنیک‌ها به‌صرفه نمی‌باشد. در این موارد نیازمند به یک روش کارا و مقرون به صرفه می‌باشیم که نه‌تنها متناسب با ابعاد منطقه باشد بلکه قدرت تفکیک مکانی موردنیاز را نیز برآورده نماید.

در دهه اخیر شاهد رشد و پیشرفت روزافزون کاربرد پرنده‌های بدون‌سرنشین(UAV[1]) در فتوگرامتری بردکوتاه جهت تولید محصولات مختلف و متنوع می‌باشیم. فتوگرامتری هوایی بردکوتاه یک شاخه جدید از فتوگرامتری است که به عنوان یک تکنولوژی نوین موردتوجه قرارگرفته است [1,2]. این تکنولوژی در حقیقت تلفیقی از فتوگرامتری هوایی و فتوگرامتری بردکوتاه است که در آن با نصب یک سنسور اخذ داده، سنسورهای GPS[2] و INS[3] بر روی یک وسیله پرواز بدون‌سرنشین از ارتفاع محدود اقدام به اخذ داده و تصویربرداری می‌گردد. با توجه به شکل(۱) که نشان‌دهنده‌ی صحت روش‌های اندازه‌گیری در ارتباط با ابعاد منطقه یا شی مورد نظر است، می‌توان گفت که فتوگرامتری UAV قابلیت استفاده در تهیه نقشه‌های بزرگ مقیاس در محدوده ابعادی بین چندین متر تا چندین کیلومتر را دارا می‌باشد[3].



شکل ۱. صحت روش های اندازه گیری در ارتباط با ابعاد منطقه یا شی مورد نظر[3].

در نتیجه فتوگرامتری هوایی بردکوتاه می‌تواند جایگزین مناسبی برای فتوگرامتری هوایی کلاسیک یا ماهواره‌ها در موارد زیر باشد:

۱-مناطقی که امکان دسترسی توسط هواپیماهای سرنشین‌دار و یا ماهواره‌ها وجود نداشته باشد.
۲-تصاویر با قدرت‌تفکیک بالا موردنیاز باشد.
۳-استفاده از فتوگرامتری هوایی کلاسیک و یا ماهواره‌ها مقرون به صرفه نباشد.
۴-نیاز سریع به اطلاعات وجود داشته باشد.
۵-عدم نیاز به اخذ مجوزهای امنیتی

[1] Unmanned Aerial Vehicle
[2] Global Position System
[3] Inertial Navigation System

اگرچه استفاده از سیستم‌های پروازی بدون‌سرنشین دارای مزایای زیادی ازنظر زمان، دقت، دسترسی و سایر موارد ذکرشده در بالا می‌باشد اما تولید نقشه با این نوع پرنده‌ها با چالش‌هایی نیز همراه است. در پروژه‌های فتوگرامتری بردکوتاه معمولاً دوربینی که استفاده می‌شود غیرمتریک است و در نتیجه المان‌های داخلی دوربین می‌تواند در هر پروژه متفاوت باشد. همین امر الزام انجام کالیبراسیون در پروژه‌های فتوگرامتری بردکوتاه را ایجاب می‌کند. کالیبراسیون اولین مرحله از مراحل پردازش است که در این مقاله سعی شده کالیبراسیون دوربین UAV با تصاویر حاصله در شرایط قبل از پرواز و حین پرواز بررسی گردند. در حالت کالیبراسیون با تصاویر قبل از پرواز، پس از اعمال تنظیمات مد نظر برای دوربین، از یک صفحه شطرنجی تصاویری جهت انجام کالیبراسیون اخذ می‌شود (تصاویر مورد استفاده در کالیبراسیون). سپس بدون تغییر تنظیمات دوربین و با انجام پرواز، تصاویر مورد نظرِ فرآیند کالیبراسیون حین پرواز اخذ می گردد.

این مقاله در ۶بخش تنظیم‌شده است. در بخش اول مقدمه و ساختار مقاله مطرح شده است، در بخش دوم انواع پرنده‌های بدون‌سرنشین مورد بررسی قرار گرفته است. روش‌های کالیبراسیون در بخش سوم بررسی شده است. مراحل انجام کار و نتایج، به ترتیب در بخش چهارم و پنجم بیان‌شده‌است و دربخش پایانی نتیجه‌گیری صورت گرفته است.

۲-انواع پرنده‌های بدون سرنشین (UAV)

با ورود پرنده‌های بدون‌سرنشین به عرصه‌ی فتوگرامتری و مجهز شدن آنها به سیستم‌های اندازه‌گیری و همچنین کاربری آنها در فتوگرامتری بردکوتاه و نیز کاربردهایی که در زمینه‌ی تلفیق فتوگرامتری بردکوتاه و هوایی دارند باعث شده تا انتخاب وسایل پرواز با توجه به نیاز پروژه و ویژگی‌های هر یک از پرنده‌ها که دارای مزایا و معایب خاص خود می‌باشند، صورت گیرد. در دهه‌های اخیر سیستم‌های متنوعی به‌عنوان وسیله‌ی پرواز ارائه شده است که در این بین می‌توان به انواع بالن‌ها[۴]، کشتی‌های هوایی[۵]، هلیکوپترها،[۶] سیستم‌های دو روتوره[۷]، کوادراتورها[۸] و مولتی روتورها[۹] اشاره نمود[4]. در جدول(۱) برخی از ویژگی‌های انواع وسایل پرنده بیان شده است.

جدول ۱. ویژگی هایی از برخی وسایل پرنده[4]

انواع وسایل پرنده	برد عملیاتی	استحکام	وابستگی به باد و شرایط آب و هوایی	انعطاف‌پذیری
بالن‌ها	کم	زیاد	زیاد	کم
کشتی‌های هوایی	زیاد	زیاد	زیاد	متوسط
هلی کوپترها	متوسط	متوسط	متوسط	زیاد
سیستم‌های ۲ روتوره	متوسط	زیاد	متوسط	زیاد
کوادراتورها	کم	کم	زیاد	زیاد
مولتی روتورها	متوسط	متوسط	متوسط	زیاد

در این راستا میزان پایداری هر یک از پرنده‌ها و همچنین وضعیت محیطی حاکم مانند وزش باد و شرایط آب و هوایی می‌توانند به عنوان عواملی در تغییر وضعیت تصویربرداری به شمار آیند که به طبع آن پارامترهای کالیبراسیون دوربین

[4] Balloons
[5] Airships
[6]-Single rotor (helicopter)
[7]- Coaxial
[8]- Quadrotors
[9] - Multi-copters

را تحت تأثیر قرار می‌دهند. درنتیجه انتخاب نوع وسیله‌ی پرواز با توجه به ویژگی‌های آن می‌تواند در تغییر پارامترهای کالیبراسیون دوربین دخیل باشد.

۳- تعریف کالیبراسیون

هدف اصلی در کالیبراسیون دوربین در حقیقت به دست آوردن المان‌های داخلی دوربین شامل x_p، y_p و c و خطاهای مربوط به عدسی(شعاعی، غیر شعاعی و خطای خروج از مرکزیت) می‌باشد(روابط ۱و۲). اکثر روش‌های کالیبراسیون المان‌های توجیه خارجی دوربین را نیز به دست می‌آورند. روش‌های مختلفی برای کالیبراسیون دوربین‌ها وجود دارد که در شرایط مختلف عمل نموده و توانایی حل بخشی یا تمام المان‌های مجهول را دارا می‌باشند که هر کدام از آنها دارای مزایا و معایب مربوط به خود می‌باشد[5].

بسته به اینکه پارامترهای دوربین را قبل از استفاده در عکسبرداری بدانیم و یا اینکه در حین سرشکنی آنها را بدست آوریم می‌توان یک طبقه‌بندی مخصوص داشت.

$$x_{ij} - x_p + \Delta x_p = c_x \frac{(X_j - X_o)m_{11} + (Y_j - Y_0)m_{12} + (Z_j - Z_o)m_{13}}{(X_j - X_o)m_{31} + (Y_j - Y_0)m_{32} + (Z_j - Z_o)m_{33}}$$

$$y_{ij} - y_p + \Delta y_p = c_y \frac{(X_j - X_o)m_{21} + (Y_j - Y_0)m_{22} + (Z_j - Z_o)m_{23}}{(X_j - X_o)m_{31} + (Y_j - Y_0)m_{32} + (Z_j - Z_o)m_{33}}$$

رابطه ۱:

$$\Delta x_p = dr_x + dp_x + dg_x$$

$$\Delta x_p = dr_y + dp_y + dg_y$$

رابطه ۲:

در این تحقیق دو نوع کالیبراسیون زیر مد نظر است:

۳-۱-کالیبراسیون با تصاویر قبل از پرواز[10]

پس از اعمال تنظیمات مد نظر دوربین و قبل از انجام پرواز، تصاویر کالیبراسیون اخذ می‌شود و بدون تغییر تنظیمات دوربین، پرواز صورت پذیرفته و تصاویر مورد نظرِ مرحله‌ی طراحی پرواز جهت تولید محصول نهایی اخذ می‌شود.

۳-۲- کالیبراسیون با تصاویر حین پرواز[11]

در این حالت در شرایط پرواز و قبل از اخذ تصاویر مورد نظرِ مرحله‌ی طراحی پرواز جهت تولید محصول نهایی، تصاویری به منظور انجام کالیبراسیون اخذ می‌شوند و کالیبراسیون با تصاویر حاصله صورت می‌پذیرد. در این نوع کالیبراسیون از نقاط با مختصات زمینی معلوم و یا از طول‌های زمینی معلوم استفاده می‌شود.

۴-مراحل انجام تحقیق

در این تحقیق به منظور انجام کالیبراسیون دوربین دیجیتال غیرمتریک سیستم UAV دو روش کالیبراسیون قبل و در شرایط حین پرواز مدنظر می‌باشد. در این راستا از یک مولتی روتور به عنوان وسیله‌ی پرواز استفاده شده که بر روی آن دوربین دیجیتال SONY ILCE-7R با فاصله‌ی کانونی ثابت ۳۵ میلی‌متر نصب گردیده است. منطقه‌ی مورد مطالعه در این تحقیق محوطه‌ی دانشکده‌ی هوافضای دانشگاه خواجه نصیر واقع در شرق تهران می‌باشد؛ که تارگت‌های موردنظر در محوطه‌ی دانشکده با پراکندگی مناسب نصب و عملیات پرواز و تصویربرداری صورت گرفته است. پس از انجام

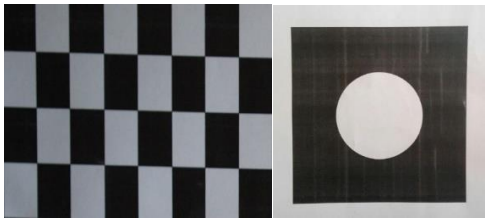
[10] Before Flying
[11] On Flying

فرآیند کالیبراسیون و بدست آوردن پارامترهای مرتبط با دوربین به منظور ارزیابی نتایج کالیبراسیون در هر یک از دو حالت با استفاده از طول‌های اندازه‌گیری شده در سطح زمین، میزان دقت هر یک از دو کالیبراسیون برآورد گردید.

۴-۱- طراحی تارگت‌ها

به منظور انجام فرآیند کالیبراسیون ۲ نوع تارگت شطرنجی و تارگت دایره ای-شکل تهیه شده است. از تارگت‌های شطرنجی که دارای مربعاتی با اضلاع ۲ سانتیمتر می‌باشد، به منظور کالیبراسیون قبل از پرواز و از تارگت‌های دایره‌ای با قطر ۲۵ سانتیمتر که با توزیعی مناسب در محل پرواز نصب گردیده‌اند، جهت کالیبراسیون دوربین در حین پرواز بهره گرفته شده است. شکل(۲) نمونه از تارگت‌های طراحی شده را نشان می‌دهد.

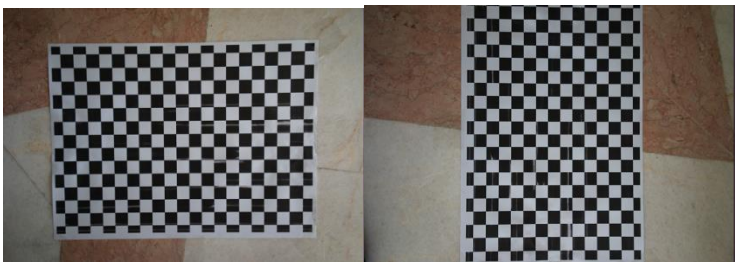
ب الف



شکل ۲. الف: نمونه‌ای از تارگت شطرنجی که در کالیبراسیون قبل از پرواز استفاده شده است ب: نمونه ای از تارگت دایره‌ای شکل که در کالیبراسیون حین پرواز استفاده شده است

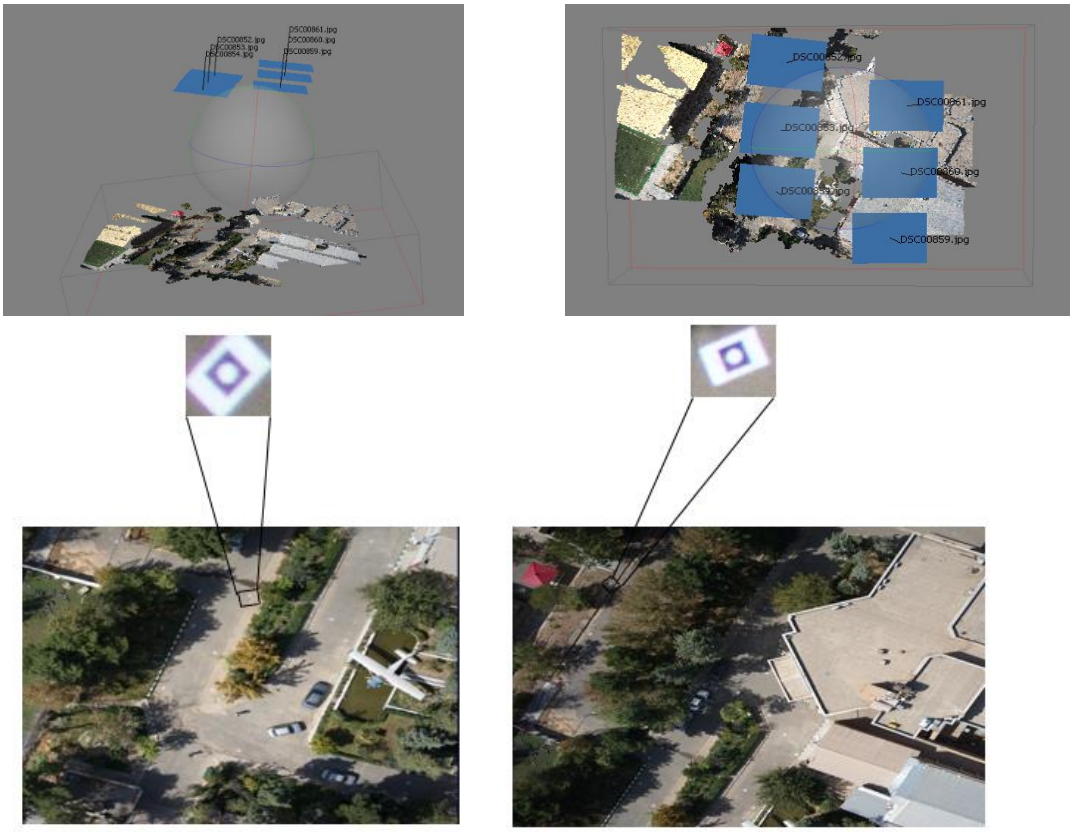
۴-۲- تصویربرداری

به منظور ایجاد حالتی مشابه تصویربرداری در شرایط حین پرواز تصاویر از تست‌فیلدهای شطرنجی به صورت قائم اخذ گردیده و سعی شده تا تمام صفحه‌ی تست‌فیلد در تصاویر در دسترس باشند و فاصله‌ی دوربین تا صفحه‌ی تست‌فیلد در حین تصویربرداری در حدود ۷۵ سانتیمتر می‌باشد. در شکل(۳) تصاویر اخذ شده از صفحات تست فیلد شطرنجی نشان داده شده است.



شکل ۳. نمونه‌ای از حالات تصویربرداری از تارگت‌های شطرنجی، قبل از پرواز

به منظور بررسی کالیبراسیون در شرایط حین پرواز پس از نصب تارگت‌های دایره‌ای-شکل طراحی شده در منطقه ، پرواز UAV با ارتفاع ۷۵ متر صورت گرفته و از منطقه به طور قائم تصویربرداری شد. در شکل (۴) تصاویر اخذشده از منطقه و همچنین محل قرارگیری ایستگاه‌های اخذ تصویر توسط UAV قابل مشاهده هستند.



شکل ۴. نمونه‌هایی از حالات تصویربرداری از تارگت‌های توزیع شده در سطح زمین در حین پرواز و نحوه ی استقرار ایستگاه‌های تصویربرداری

۴-۳-کالیبراسیون

پس از اخذ تصاویر از ۶تصویر بهینه‌ی اخذ شده در شرایط قبل و حین پرواز به منظور انجام فرآیند کالیبراسیون استفاده شده است. فاصله‌ی کانونی دوربین در طول پروژه ثابت و برابر با 35mm است. مختصات تصویری تارگت‌ها با استفاده از روش‌های پردازش تصویری معلوم است. پس از انجام فرآیند کالیبراسیون پارامترهای داخلی بدست آمده دوربین در هر دو حالت کالیبراسیون در جدول (۲) آورده شده‌اند.

جدول ۲. پارامترهای داخلی دوربین در شرایط قبل و حین پرواز

پارامترهای کالیبراسیون حین از پرواز		پارامترهای کالیبراسیون قبل از پرواز	
c	35.0000 mm	c	35.0000 mm
xp	-0.0004 mm	xp	-0.0046 mm
yp	0.0001 mm	yp	0.0021 mm
K1	-4.359e-05	K1	-7.232e-005
K2	1.631e-07	K2	1.011e-007
K3	-1.101e-10	K3	-4.999e-011
P1	-5.329e-04	P1	-9.275e-009
P2	-1.514e-04	P2	-5.016e-005
B1	6.043e-003	B1	2.443e-004
B2	2.570e-003	B2	-1.672e-004
RMSE	0.5µm	RMSE	1.8 µm

۵-بحث و بررسی

با استفاده از ماتریس واریانس کوواریانس نتایج بدست آمده می‌توان به ارزیابی صحت مقادیر بدست آمده و میزان وابستگی بین پارامترها پرداخت. بنا به تجربیات بدست آمده وابستگی پارامترهای بدست آمده نباید بیشتر از یک حد معین (معمولاً ۰.۷)باشد[6]. به طورکلی در صورت وجود وابستگی بین پارامترها در هنگام تعدیل شبکه، حالت نامرغوب[12] ایجادشده و صحت پارامترهای برآورد شده کاهش می یابد این امر به واسطه‌ی کاهش استحکام شبکه، موجب رد شدن تست واریانس وزن خواهد شد[6] . میزان وابستگی‌های پارامترها برای هر دو حالت کالیبراسیون در جداول(۳و۴) آمده است.

جدول ۳. ضرایب همبستگی بین پارامترهای کالیبراسیون قبل از پرواز

پارامترها	C	X_p	Y_p	K_1	K_2	K_3	P_1	P_2	B_1	B_2
C	۱.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰
X_p		۱.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۲	۰.۰۰
Y_p			۱.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۲
K_1				۱.۰۰	-۰.۷۶	۰.۷۲	۰.۴۲	-۰.۲۰	-۰.۰۷	-۰.۲۱
K_2					۱.۰۰	-۰.۹۹	-۰.۰۳	۰.۰۵	-۰.۰۶	۰.۰۳
K_3						۱.۰۰	۰.۰۲	-۰.۰۴	۰.۰۷	-۰.۰۲
P_1							۱.۰۰	۰.۰۷	۰.۳۴	-۰.۱۲
P_2								۱.۰۰	۰.۲۹	۰.۵۶
B_1									۱.۰۰	۰.۱۳
B_2										۱.۰۰

جدول ۴. ضرایب همبستگی بین پارامترهای کالیبراسیون در حین پرواز

پارامترها	C	X_p	Y_p	K_1	K_2	K_3	P_1	P_2	B_1	B_2
C	۱.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰
X_p		۱.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۲	۰.۰۰
Y_p			۱.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۲
K_1				۱.۰۰	-۰.۱۵	۰.۱۸	۰.۴۴	-۰.۳۱	۰.۴۷	۰.۳۱
K_2					۱.۰۰	-۰.۹۸	-۰.۰۱	۰.۰۲	۰.۰۷	۰.۱۰
K_3						۱.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۱	-۰.۱۰	-۰.۰۹
P_1							۱.۰۰	-۰.۲۹	۰.۷۲	۰.۴۷
P_2								۱.۰۰	-۰.۵۳	۰.۴۲
B_1									۱.۰۰	۰.۲۳
B_2										۱.۰۰

با توجه به جداول(۳و ۴) برای کالیبراسیون در شرایط قبل از پرواز وابستگی پارامترهای K1و K2 (-0.76)، K1و K3 (0.72) ، K3و K2 (-0.99) و برای شرایط حین پرواز پارامترهای اعوجاج شعاعی K2 و K3 (-0.98) و پارامترهای اعوجاج مماسی P1 وB1 (0.72) بیش‌ازحد مجاز است. می‌توان این‌طور تفسیر نمود که در مورد پارامترهای وابسته

[12] ill-Condition

بکارگیری یکی از آنها به منظور کالیبراسیون دوربین کافی است و بکارگیری همه‌ی آنها تأثیری در بهبود نتایج نخواهد داشت. در نتیجه تنها کافی است به‌جای ضرایب K1، K2 وK3 در حالت قبل از پرواز تنها یکی از آنها استفاده شود و در حالت پرواز از بین ضرایب K2 و K3 و همچنین ضرایب B1 وP1 تنها یک ضریب انتخاب شود؛ که درواقع این موضوع گویای این مطلب خواهد بود که پارامترهای وابسته در هر عکس تغییر کرده و امکان برآورد این پارامترها وجود ندارد.

جهت برآورد دقت کالیبراسیون از طول‌های کنترل استفاده شده است به طوریکه این طول‌ها در سطح زمین با دقت ۱ میلیمتر اندازه‌گیری شده اند. شکل(۵) تعدادی از طول‌های اندازه‌گیری‌شده را در سطح منطقه ی مورد مطالعه نشان می‌دهد.

مراحل زیر به منظور مقایسه‌ی دقت دو کالیبراسیون، در نظر گرفته شده است.

۱- ابتدا با تعدادی از طول‌های کنترل اندازه گیری شده، مختصات بدست آمده از کالیبراسیون در شرایط حین پرواز را مقیاس نموده و طول‌های کنترل در این حالت محاسبه می گردد.

۲- مختصات بدست آمده از کالیبراسون قبل از پرواز را با استفاده از طول‌های کنترل(اضلاع مربعات شطرنجی) مقیاس کرده و پارامترهای کالیبراسیون بدست می آیند.

۳-پارامترهای کالیبراسیون در حالت قبل از پرواز را جایگزین پارامترهای کالیبراسیون بدست آمده از شرایط حین پرواز کرده و طول‌های اندازه‌گیری شده به عنوان طول‌های کنترل مجدداً برای حالت قبل از پرواز محاسبه می‌شود.

۴-اختلاف بین طول های بدست آمده از دو حالت کالیبراسیون و طول های واقعی محاسبه می شود.

شکل ۵. تعدادی از طول های اندازه‌گیری شده

جدول(۵) نشان‌دهنده‌ی طول‌های واقعی و محاسبه شده در شرایط قبل و حین پرواز و همچنین اختلاف آنها با طول واقعی است.

جدول ۵. طول‌های واقعی و بدست آمده از کالیبراسیون در شرایط قبل از پرواز

طول‌ها	طول واقعی(mm)	طول‌های حاصل از کالیبراسیون در شرایط حین پرواز(mm)	اختلاف طول واقعی و بدست آمده از کالیبراسیون حین پرواز(mm)	طول‌های حاصل از کالیبراسیون در شرایط قبل از پرواز(mm)	اختلاف طول واقعی و بدست آمده از کالیبراسیون قبل پرواز(mm)
1	420	423.4327	3.4327	426.8122	۶.۸۱۲۲
2	420	424.6503	4.6503	427.8623	۷.۸۶۲۳
3	297	302.0651	5.0691	304.14	۷.۱۴۰۰
4	297	304.9666	7.9666	305.7620	۸.۷۶۲۰
5	420	422.8507	2.8503	424.7858	۴.۷۸۵۸
6	500	496.3656	3.6344	495.3002	۴.۶۹۹۸
7	500	503.5424	3.5424	503.2783	۳.۲۷۸۳
8	700	700.8052	0.8052	702.7464	۲.۷۴۶۴
9	420	424.4902	4.4902	426.3881	۶.۳۸۸۱
10	501	503.4260	2.4260	505.7572	۴.۷۵۷۲

۶-نتیجه‌گیری

در این تحقیق کالیبراسیون قبل و حین پرواز دوربین‌های دیجیتال غیرمتریک در پرنده‌های بدون سرنشین بررسی شد؛ که برای این منظور از یک مولتی روتور فوق سبک که بر روی آن یک دوربین غیر متریک نصب شده است، استفاده گردید. باوجود شرایط محیطی مختلف مانند ورزش باد در پروژه‌های گوناگون که امکان به وجود آمدن تغییرات در وضعیت پرنده‌های بدون سرنشین را ایجاد می‌کنند و از طرفی میزان تغییرات پایداری خود پرنده نیز در حین پرواز موجب می‌شود که پارامترهای کالیبراسیون دوربین هرلحظه متغیر باشند و این خود تأثیر مستقیم در نتایج دقت دارد. نتایج دقت بدست آمده از کالیبراسیون در شرایط قبل و حین پرواز با توجه به سیستم بکار گرفته شده و شرایط محیطی موجود در این تحقیق، نشان می‌دهد که دقت کالیبراسیون در شرایط حین پرواز بهتر است؛ درنتیجه انجام کالیبراسیون دوربین در شرایط پرواز با اطمینان بیشتری صورت می‌گیرد.

به‌عنوان پیشنهاد جهت انجام کارهای بعدی توصیه می‌شود پارامترهای کالیبراسیون بر اساس یک سری نقاط کنترل زمینی در هر لحظه بدست آید و یا از طریق یک سری معادلات وابسته به زمان نحوه تغییرات پارامترهای کالیبراسیون را محاسبه نمود و در سرشکنی بلوک به ازای هر تصویر پارامترهای کالیبراسیون مربوط به آن تصویر آورده شود. در این صورت مدل بدست آمده به لحظه عکس‌برداری نزدیک‌تر خواهد بود که این منجر به افزایش دقت و صحت مقادیر می‌گردد.

مراجع

1. *J. D. Blom, Unmanned Aerial Systems: a historical perspective vol. 45: Citeseer, 2010.*

2. *D. R. Oliver and A. L. Money, "Unmanned Aerial Vehicles Roadmap 2000-2025," Office of the Secretary of Defense, vol. 1000, pp. 20301-1000, 2001.*

3. Luhmann, T., et al., Close range photogrammetry: Principles, methods and applications. 2006: Whittles.

4. H. Eisenbeiß and E. T. H. Zürich, UAV photogrammetry: ETH Zurich, Switzerland:, 2009.

5. r. d. majd, "Digital camera calibration methods with an emphasis on digital photogrammetry applications," Master's thesis at K.N.Toosi University, 2003.

6. Atkinson, K., *Close Range Photogrammetry and Machine Vision Whittles Publishing.* Latheronwheel, Scotland, UK, 1996.

Evaluation of UAV Camera Calibration before and during Flight

Ghorbani, F. *[1], Varshosaz, M. [2], Moradi, M. [3]

1-Ms.c student of Photogrammetry and Remote Sensing Department of Geodesy and Geomatics Engineering, K.N. Toosi University of Technology

2- Associate professor in Department of Photogrammetry and Remote Sensing, Faculty of Geodesy and Geomatics Engineering, K.N. Toosi University of Technology

3-Ms.c student of Photogrammetry and Remote Sensing Department of Geodesy and Geomatics Engineering, K.N. Toosi University of Technology

In the last decade, the growth and progress in the use of unmanned aerial vehicle (uav) has been seen in close range photogrammetry to produce various products. Among the benefits lead to this, we can mentioned cost efficiency, time and accuracy requirements than the other methods. In addition to these benefits, the use of these systems has many challenge. One of the things that reduce the cost of these system is the use of non-metric cameras that study of different methods of calibration of the cameras is important. Therefore, it is necessary to investigate calibration methods for interpret the potential of these camera in object space. The system has been used in this study consists of a lightweight multi-rotor that non-metric Digital Camera SONY ILCE-7R mounted on it by a fixed focal length during the project. The aim of this study is to investigate the non-metric digital camera calibration by before flying and on flying images mode in unmanned aerial vehicle(uav). In this regard for before flying calibration mode, checkerboard testfield used and for on flying calibration mode, targets by proper distribution and suitable dispersion was installed in aerospace faculty of K.N.Toosi University that has unknown coordinates. The results of study showed that due to the changing interior parameter of camera in different situations, on flying calibration mode is more accurate calibration.