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

ارزیابی دقت هندسی تصاویر UAV در حالت دو بعدی و سه بعدی

محمد نجفی طرقی[۱*]، حمید عزت‌آبادی‌پور[۲]

۱- مربی رشته مهندسی نقشه‌برداری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی سیرجان
۲- مربی رشته مهندسی نقشه‌برداری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی سیرجان

چکیده :

فتوگرامتری هوایی برد کوتاه یکی از شاخه‌های فتوگرامتری است که اخیرا در بسیاری از کاربردهای نقشه‌برداری مورد استفاده قرار می‌گیرد. در تصویربرداری به روش فتوگرامتری هوایی برد کوتاه، جهت کاهش هزینه‌های تولید نقشه، معمولا از دوربین‌های متریک استفاده نمی‌شود، به همین دلیل در فرآیند تصحیح هندسی تصاویر، باید از مدل‌هایی استفاده نمود که نیاز به المان‌های توجیه داخلی نداشته باشند. همچنین، به علت کم بودن وسعت پوشش هر تصویر نسبت به تصاویر فتوگرامتری هوایی و تصاویر ماهواره‌ای، تعداد نقاط کنترل معمولا محدود می‌باشد. در مقابل، به علت کم بودن ارتفاع سنجنده، دقت ارتفاعی نسبت به تصاویر فتوگرامتری هوایی و ماهواره‌ای می‌تواند بیشتر باشد. در این تحقیق از تصاویر اخذ شده توسط دوربین Nikon D3200، جهت استخراج اطلاعات هندسی دو بعدی و سه بعدی استفاده شده است. برای این منظور، در حالت دو بعدی از مدل‌های پروجکتیو دو بعدی و ترکیبی و در حالت سه بعدی از مدل‌های انتقال خطی مستقیم و معادلات شرط هم‌خطی در حالت پارامترهای اضافی استفاده شده است. بررسی و ارزیابی دقت‌های به دست آمده، نشان می‌دهد که این تصاویر از لحاظ هندسی جهت تولید نقشه‌های مسطحاتی و توپوگرافی با مقیاس کوچکتر از ۱:۱۰۰۰ مناسب می‌باشند.

واژه‌های کلیدی : فتوگرامتری هوایی برد کوتاه، UAV، مدل‌های ریاضی دو بعدی و سه بعدی، پارامترهای اضافی، Self-calibration.

نویسنده مکاتبه کننده : محمد نجفی طرقی
آدرس پستی : : استان کرمان، سیرجان، خیابان شهدا، پلاک ۷۳
تلفن : ۰۹۱۲۴۱۱۷۱۶۶
آدرس پست الکترونیک : najafi5323@karshenasan.ir

۱- مقدمه

امروزه روش‌های رایج در تهیه نقشه‌های توپوگرافی نقشه‌برداری زمینی، فتوگرامتری هوایی، فتوگرامتری فضایی و لیزر اسکنرها می‌باشد. در بعضی از موارد اجرایی به دلیل مسائلی از قبیل هزینه، مجوزهای مورد نیاز، مدت زمان انجام پروژه و دسترسی به اطلاعات، استفاده از چنین تکنیک‌هایی کاری طاقت‌فرسا و عملا دور از انتظار می‌باشد و استفاده از وسایل پرواز بدون سرنشین[1] یا فتوگرامتری هوایی برد کوتاه راه حلی مناسب در این زمینه می‌باشد. فتوگرامتری هوایی به همراه تکنولوژی دوربین‌های رقومی متریک امروزه قابلیت تولید نقشه‌های مسطحاتی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ تا ۱:۵۰۰ با منحنی تراز تا ۰/۵ متر را دارا هستند. همچنین می‌توان نقشه‌هایی در مقیاس‌های ۱:۲۵۰۰۰ تا ۱:۵۰۰۰ توسط تصاویر ماهواره‌ای تولید کرد. در نقشه‌برداری زمینی که یکی از دقیق‌ترین روش‌ها در تولید نقشه‌های مسطحاتی و توپوگرافی می‌باشد می‌توان نقشه‌هایی با مقیاس ۱:۲۵۰۰ تا ۱:۲۰۰ با منحنی ترازهای ۱ متر تا ۲۰ سانتی‌متر تولید نمود که البته هزینه این روش نسبت به روش‌های دیگر بیشتر می‌باشد. استفاده از لیزر اسکنرها قابلیت تولید نقشه-هایی با مقیاس ۱:۵۰۰ با منحنی میزان ۱۰ سانتی متری را دارا می‌باشند. می‌توان این طور بیان کرد که فتوگرامتری هوایی برد کوتاه تلفیقی از فتوگرامتری هوایی و فتوگرامتری برد کوتاه می‌باشد که در آن با نصب یک سنسور اخذ داده بر روی یک وسیله پرواز بدون سرنشین از ارتفاع کم داده اخذ می‌گردد. در روش فتوگرامتری برد کوتاه با استفاده از تکنیک پرواز بدون سرنشین، در مقایسه با روش‌های رایج تهیه نقشه، دارای هزینه کمتر و انعطاف‌پذیری بیشتری می-باشد. استفاده از تصاویر غیرمتریک به علت سهولت در تهیه و هزینه پایین آنها می‌توانند در تهیه نقشه با صرفه باشند. در این مقاله، توسط دوربین غیرمتریک Nikon D3200 به روش فتوگرامتری هوایی برد کوتاه از منطقه مورد مطالعه تصویربرداری شده است. سپس، توسط مدل‌های ریاضی دو بعدی و سه بعدی مختصات زمینی نقاط از تصاویر اخذ شده استخراج گردیده است. در حالت دو بعدی از مدل‌های ریاضی پروجکتیو دو بعدی[2] و ترکیبی[3] و در حالت سه بعدی از دو مدل ریاضی انتقال خطی مستقیم[4] و معادلات شرط هم‌خطی در حالت پارامترهای اضافی[5] استفاده شده است. در پایان، توانایی روش انجام شده، جهت تولید نقشه از طریق RMSE نقاط چک و کنترل بررسی و ارزیابی شده است.

۲- مدل‌های ریاضی تصحیح هندسی مورد استفاده

مدل‌های ریاضی متفاوتی از لحاظ ساختار در این مقاله در دو حالت دو بعدی و سه بعدی مورد استفاده قرار گرفته است. در حالت دو بعدی مدل‌های پروجکتیو دو بعدی و مدل ترکیبی و در حالت سه بعدی از مدل‌های انتقال خطی مستقیم و معادلات شرط هم‌خطی در حالت پارامترهای اضافی استفاده شده است. خطاهای سیستماتیک می‌تواند توسط Self-calibration مشخص گردد با اضافه کردن پارامترهایی به مدل شرط هم‌خطی [۲]. توابع مختلفی برای Self-calibration وجود دارد [۳]. پارامترهای اضافی مورد استفاده در مدل شرط هم‌خطی از نوع تصحیح تغییر شکل مقیاس و پیچش[6] می‌باشد که نوع این پارامترها را می‌توان در گروه پارامترهای اضافی، تصحیح بر اساس تغییر شکل، قرار داد [۴]. اساس بررسی مدل‌ها در حالت دو بعدی و سه بعدی به این صورت است که نقاط کنترل زمینی را به دو گروه تقسیم کرده یک گروه نقاط کنترلی که جهت تعیین ضرایب مدل استفاده می‌شوند که به این گروه نقاط کنترل محاسباتی می‌گوییم و گروه دوم که در تعیین ضرایب مدل به کار نمی‌روند و تنها جهت تست دقت هندسی مدل ریاضی استفاده می‌شوند که به این گروه، نقاط چک می‌گوییم.

[1](UAV)Unmanned Aerial Vehicle
[2]2D-Projective
[3]Hybrid
[4]Direct Linear Transformation(DLT)
[5]Additional Parameters
[6]Shearing

۲- ۱- مدل‌های دو بعدی

در مورد مدل‌های ریاضی دو بعدی جهت تست دقت هندسی، ضرایب مدل ابتدا توسط نقاط کنترل محاسباتی مسطحاتی، به دست آمده و سپس به کمک مدل ریاضی بدست آمده برای نقاط چک و محاسباتی مقدار RMSE را به دست می‌آوریم. با توجه به ماهیت مدل‌های دو بعدی تاثیر جابجایی‌های ارتفاعی در نظر گرفته نمی‌شود. لذا این مدل‌ها را در مناطق مسطح که جابجایی‌های ارتفاعی نداریم می‌توان جهت تولید ارتوفتو استفاده کرد.

۲- ۱-۱- مدل پروجکتیو دو بعدی

این مدل ریاضی با توجه به اینکه قادر است اعوجاجات ناشی از تیلت در جهت‌های x و y را مدل نماید استفاده شده است [۱]. ساختار این مدل به صورت زیر است:

$$X = \frac{a_1x + a_2y + a_3}{c_1x + c_2y + 1} \quad (۱)$$

$$Y = \frac{b_1x + b_2y + b_3}{c_1x + c_2y + 1} \quad (۲)$$

در روابط فوق، (X, Y) مختصات زمینی و (x , y) مختصات تصویری هستند. در این مدل جهت تعیین ضرایب، حداقل چهار نقطه کنترل مسطحاتی مورد نیاز می‌باشد.

۲- ۱-۲- مدل ترکیبی از روش چند جمله‌ای‌ها ومدل توابع کسری دو بعدی

با توجه به اینکه اعوجاجات غیرخطی را نمی‌توان با چندجمله‌ای‌های درجه یک مدل نمود، از چند جمله‌ای‌های بالاتر از یک استفاده شده است. همچنین به علت رفتار چند جمله‌ای‌های بالاتر به صورت نوسان‌های زیاد تنها از چندجمله‌ای-های درجه دو و سه استفاده شده است. ساختار این مدل به صورت زیر است:

$$X = a_0 + a_1x + a_2y + a_3xy + a_4x^2 + a_5y^2 + a_6xy^2 + a_7x^2y + \cdots \quad (۳)$$

$$Y = b_0 + b_1x + b_2y + b_3xy + b_4x^2 + b_5y^2 + b_6xy^2 + b_7x^2y + \cdots \quad (۴)$$

مدل ترکیبی مورد استفاده در این تحقیق شامل دو قسمت است که یک قسمت آن به صورت کسری (پروجکتیو دو بعدی) و قسمتی دیگر به صورت چندجمله‌ای از نوع خطی می‌باشد. این مدل را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$X = \frac{a_1x + a_2y + a_3}{c_1x + c_2y + 1} + n_1x + n_2y + n_0 \quad (۵)$$

$$Y = \frac{b_1x + b_2y + b_3}{c_1x + c_2y + 1} + m_1x + m_2y + m_0 \quad (۶)$$

در روابط فوق نیز، (X , Y) مختصات زمینی و (x , y) مختصات تصویری هستند.

۲- ۲- مدل‌های سه بعدی

در این تحقیق، در حالت سه بعدی از مدل‌های توابع انتقال خطی مستقیم و معادلات شرط هم‌خطی در حالت پارامترهای اضافی استفاده شده است. به علت وسعت کم تصاویر، استفاده از مدل‌های ریاضی پیچیده در این تصاویر مقرون به صرفه نبوده و بنابراین بهتر است از مدل‌های ریاضی‌ای استفاده شود که ضرایب کمتری دارد. در این مدل‌ها از ارتفاع نقاط کنترل هم در مدل ریاضی استفاده می‌شود که این امر باعث می‌شود که این مدل‌ها جهت تعیین تصاویر ارتو از مناطق غیرمسطح نیز کاربرد داشته باشند.

۲- ۲-۱- مدل توابع انتقال خطی مستقیم

در حالتی که هیچ کدام از المان‌های توجیه داخلی و خارجی در دسترس نمی‌باشد مدل توابع کسری می‌تواند جهت استخراج اطلاعات سه بعدی به کار رود. اساس این مدل بر پایه چندجمله‌ای‌ها است و به صورت یک نسبت از چندجمله‌ای‌ها می‌باشد. این چندجمله‌ای‌ها، شامل ضرایبی هستند که مستقیماً محاسبه می‌شوند. این نوع مدل شبیه به معادلات شرط هم‌خطی، ارتباط بین فضای شئ و تصویر را برقرار می‌نماید. یک مدل عمومی از توابع کسری که برای اتصال از فضای دو بعدی تصویر به فضای سه بعدی مناسب می‌باشد در زیر ارائه گردیده است:

$$x = \frac{a_1 + a_2Y + a_3X + a_4Z + a_5XY}{1 + b_1Y + b_2X + b_3Z + b_4XY} \quad (۷)$$

$$y = \frac{c_1 + c_2Y + c_3X + c_4Z + c_5XY}{1 + b_1Y + b_2X + b_3Z + b_4XY} \quad (۸)$$

با توجه به اینکه در روش فتوگرامتری مورد استفاده، منطقه پوشش یافته، برای هر عکس منطقه وسیعی نیست، بنابراین استفاده از مدل انتقال خطی مستقیم که حالت خاصی از این معادلات است می‌تواند مقرون به صرفه باشد. جهت تعیین ضرایب این مدل نیاز به حداقل شش نقطه کنترل زمینی می‌باشد [۵]. ساختار این مدل به صورت زیر می‌باشد:

$$x = \frac{a_1 + a_2Y + a_3X + a_4Z}{1 + b_1Y + b_2X + b_3Z} \quad (۹)$$

$$y = \frac{c_1 + c_2Y + c_3X + c_4Z}{1 + b_1Y + b_2X + b_3Z} \quad (۱۰)$$

در اینجا (x , y) مختصات تصویری نقطه و (X , Y , Z) مختصات زمینی متناظر آن می‌باشد. در این روابط تنها ۱۱ مجهول پارامتری خواهیم داشت.

۲- ۲-۲- مدل شرط هم‌خطی در حالت پارامتر های اضافی

با توجه به اینکه می‌توان اثرات خطاهای مختلف را با اضافه کردن چندجمله‌ای‌هایی به مدل شرط هم‌خطی مدل نمود، مدلی با ساختار زیر برای این تصاویر استفاده شد. پارامترهای اضافه شده به معادلات شرط هم‌خطی شامل تصحیح مقیاس و پیچش می‌باشند:

$$v_{x_{ij}} + x_{ij} + p.x_{ij} + q.y_{ij} = -c\left\{\frac{a_1^j(X_i - X_0^j) + a_4^j(Y_i - Y_0^j) + a_7^j(Z_i - Z_0^j)}{a_3^j(X_i - X_0^j) + a_6^j(Y_i - Y_0^j) + a_9^j(Z_i - Z_0^j)}\right\} \quad (۱۱)$$

$$v_{x_{ij}} + y_{ij} - p.y_{ij} + q.x_{ij} = -c\left\{\frac{a_2^j(X_i - X_0^j) + a_5^j(Y_i - Y_0^j) + a_8^j(Z_i - Z_0^j)}{a_3^j(X_i - X_0^j) + a_6^j(Y_i - Y_0^j) + a_9^j(Z_i - Z_0^j)}\right\} \quad (۱۲)$$

۳- پیاده‌سازی

جهت پیاده‌سازی مدل‌های ریاضی ذکر شده یک منطقه روستایی در نظر گرفته شده است. منطقه مورد بررسی در اطراف شهر شیراز بوده و یک منطقه روستایی از توابع شهرستان زرقان در موقعیت "۳۰ ´۳۸ °۲۹ شمالی و "۱۲ ´۵۷ °۵۲ شرقی می‌باشد. در این تحقیق، تصاویر توسط یک دوربین رقومی مدل Nikon D3200 تهیه شده و مختصات زمینی نقاط کنترل زمینی در سیستم UTM توسط یک گیرنده دوفرکانسه تریمبل مدل ۵۷۰۰ در حالت RTK به برداشت شده است. در شکل (۱)، یک نمونه تصویر اخذ شده از منطقه مورد مطالعه، به همراه پراکندگی نقاط کنترل نشان داده شده است.

شکل ۱:) نمونه تصویر اخذ شده از منطقه واقع در زرقان شیراز به همراه پراکندگی نقاط کنترل

پراکندگی نقاط کنترل در محدوده اطراف تصاویر انتخاب شده است تا مختصات سایر نقاط از درون‌یابی بدست آیند. مدل‌های دو بعدی به کار رفته پروجکتیو دو بعدی و ترکیبی بوده و در حالت سه بعدی از مدل‌های انتقال خطی مستقیم و معادلات شرط هم‌خطی به همراه پارامترهای اضافی استفاده شده است.

۴-ارزیابی نتایج

در این تحقیق، جهت ارزیابی و بررسی نتایج از RMSE نقاط چک و کنترل استفاده شده است. این موضوع که کدام مدل ریاضی مناسب است، بر اساس نوع رفتار منابع خطا تعیین شده است. با توجه به اینکه، این تصاویر از طریق روش تصویربرداری یکسانی به دست آمده‌اند و همه با یک نوع دوربین اخذ شده‌اند، بنابراین در مورد این تصاویر هر مدل ریاضی، نتایج تقریبا یکسانی را به دست می‌دهد. معمولا دقت مسطحاتی را برابر ۰.۲۵ عدد مقیاس در واحد میلی‌متر و دقت ارتفاعی ۰.۳ فاصله منحنی میزان‌ها در نظر گرفته می‌شوند. رابطه بین مقیاس نقشه و دقت مسطحاتی و ارتفاعی در جدول (۱) ارائه شده است [۱].

جدول ۱: ارتباط مقیاس نقشه با دقت ارتفاعی ومسطحاتی

مقیاس نقشه	فاصله منحنی میزان‌ها	دقت مسطحاتی	دقت ارتفاعی
1:500	0.5	0.125	0.17
1:1000	1	0.25	0.3
1:2000	2	0.5	0.6

در حالت دو بعدی، تنها از موقعیت مسطحاتی نقاط استفاده می‌شود. با توجه به اینکه ارتفاع نقاط در مدل ریاضی استفاده نمی‌شوند بنابراین تصحیحات، جابجایی ناشی از اختلاف ارتفاع در این مدل‌ها در نظر گرفته نمی‌شود. در جدول (۲)، دقت‌های حاصل از اعمال مدل‌های دو بعدی نشان داده شده است.

جدول ۲: دقت‌های حاصل از اعمال مدل‌های دو بعدی(واحد متر)

تعدادنقاط		RMSEمدلپروجکتیو دو بعدی		RMSEمدل ترکیبی	
		کنترل	تست	کنترل	تست
کنترل	تست	مسطحاتی	مسطحاتی	مسطحاتی	مسطحاتی
6	5	0.20	0.37	0.20	0.20
7	4	0.18	0.25	0.18	0.19
8	3	0.20	0.20	0.15	0.15

در جدول فوق ملاحظه می‌شود که با در نظر گرفتن حالت‌های مختلف، مدل ترکیبی نتایج بهتری را نسبت به پروجکتیو دو بعدی ارائه می‌دهد. دقت حاصل برای نقاط چک با در نظر گرفتن ۷ نقطه کنترل محاسباتی و ۴ نقطه چک به کمک مدل ترکیبی برابر ۰.۱۹ متر است که می‌تواند برای تولید نقشه عکس‌های با مقیاس ۱:۱۰۰۰ مسطحاتی مناسب باشند.

در حالت سه بعدی با انتخاب دو مدل دقت تهیه نقشه تست شده است. ابتدا ضرایب مدل توسط نقاط کنترل به دست آمده سپس به کمک دو تصویر پوشش‌دار مختصات زمینی نقاط کنترل و چک محاسبه شده و به کمک مختصات زمینی آنها RMSE نقاط کنترل و چک محاسبه شده‌اند. همچنین دقت مسطحاتی و ارتفاعی جدا بررسی شده و همانگونه که در جدول (۳) مشاهده می‌شود می‌توان گفت، با افزایش تعداد نقاط کنترل خطای هندسی تصاویر کاهش می‌یابد. همچنین نتایج قابل قبول به دست آمده در جدول (۳) نشان می‌دهد که در حالت سه بعدی می‌توان از مدل‌های انتقال خطی مستقیم و معادلات شرط هم‌خطی به همراه پارامترهای اضافی جهت تست دقت هندسی در حالت سه بعدی استفاده نمود.

جدول ۳: دقت‌های حاصل از اعمال مدل‌های سه بعدی (واحد متر)

RMSE مدل پارامتر های اضافی				RMSEمدل انتقال خطی مستقیم				تعدادنقاط	
تست		کنترل		تست		کنترل			
ارتفاعی	مسطحاتی	ارتفاعی	مسطحاتی	ارتفاعی	مسطحاتی	ارتفاعی	مسطحاتی	تست	کنترل
0.34	0.15	0.41	0.27	0.500	0.320	0.100	0.053	5	6
0.15	0.14	0.46	0.26	0.410	0.230	0.405	0.240	4	7
0.17	0.16	0.42	0.24	0.270	0.190	0.410	0.240	3	8

۵-نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در حالت دو بعدی ملاحظه شد که مدل ترکیبی جهت رفع خطاهای سیستماتیک مطلوب‌تر از سایر مدل‌ها بوده است و به کمک این مدل ریاضی می‌توان گفت که این تصاویر در مناطق مسطح جهت تولید ارتوفتو با مقیاس ۱:۱۰۰۰ مفید خواهند بود.

در حالت سه بعدی با توجه به دقت‌های به دست آمده می‌توان گفت که جفت تصویر مورد استفاده، جهت تولید نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس کوچکتر از ۱:۱۰۰۰ مناسب می‌باشد. با توجه به اینکه کلیه عملیات پرواز نیز برای مساحت حدود دو هکتار در مدت یک ساعت انجام گرفت و همچنین زمان مورد نیاز برای پردازش و ترسیم این محدوده، حدود دو ساعت به طول انجامید، این روش تهیه نقشه، روشی مقرون به صرفه می‌باشد.

به عنوان کار آینده می‌توان با به دست آوردن المان‌های توجیه خارجی تصاویر به کمک GPS و INS، می‌توان درجه آزادی را افزایش داده و تعداد نقاط کنترل مورد نیاز را کاهش داد. همچنین می‌توان با استفاده از روش پوشش چند تصویری دقت‌های مسطحاتی و ارتفاعی را بهبود داد.

مراجع

[1] M. Najaf Targhi, A. Ghorbanali and J. Noori, "Evaluating the Geometric Accuracy of Pushbroom Satellite Images", presented at the Map World Forum Conference, Hyderabad, India, 2009.

[2] R. Passini, "Geometric Analysis on Digital Photogrammetric Cameras", presented at the ASPRS Annual Conference, Portland, Oregon, 2008.

[3] M. Blazquez and I. Colomina, "On the Role of Self-Calibration Functions in Integrated Sensor Orientation", presented at the EuroCOW, Castelldefels, Spain, 2010.

[4] H. Ebner and F. Müller, "Processing of digital three-line imagery using a generalized model for combined point determination", Elsevier, Photogrammetria, 41(3), 173-182, 1987.

[5] Y. El-Manadili and K. Novak, "Precision Rectification of SPOT Imagery Using the Direct Linear Transformation Model", Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 62(1), 67-72, 1996.