

طراحی و توسعه یک روش تلفیقی تناظریابی ناحیه ای و عارضه مبنای جدید برای توجیه نسبی در فتوگرامتری برد کوتاه

سید عبدا... کیانزاد^۱، حمید عبادی^{۲*}، مسعود ورشوساز^۳ و برات مجردی^۴

^۱عضو هیئت علمی دانشکده مهندسی نقشه برداری - دانشگاه تفرش

^۲دانشیار دانشکده مهندسی نقشه برداری - دانشگاه صنعتی خواجه نصیر

^۳استادیار دانشکده مهندسی نقشه برداری - دانشگاه صنعتی خواجه نصیر

^۴دانشجوی دکتری دانشکده مهندسی نقشه برداری - دانشگاه صنعتی خواجه نصیر

(تاریخ دریافت ۸۷/۶/۲۳، تاریخ دریافت روایت اصلاح شده ۸۸/۳/۲۰، تاریخ تصویب ۸۸/۶/۱۵)

چکیده

در گذشته روش های تناظریابی اتوماتیک مختلفی در فتوگرامتری هوایی پیشنهاد شده‌اند که عموماً در این امر موفق بوده‌اند. این روش‌ها در مواجهه با تصاویر همگرای فتوگرامتری برد کوتاه به دلیل وجود مشکلاتی از قبیل پارالاکس‌های بزرگ، عوارض پنهان و اعوجاج‌های هندسی و الگوهای تکراری چندان کارا نیستند. از این رو، در این تحقیق روش تناظریابی ترکیبی ناحیه ای و عارضه مبنای جدیدی برای غلبه بر بخشی از مشکلات فتوگرامتری برد کوتاه با تاکید بر به کارگیری اطلاعات طیفی تصاویر رنگی و بدون نیاز به دانش اولیه از میزان پوشش و ترتیب قرار گیری تصاویر پیشنهاد شده است. روش مذکور بر روی داده های واقعی اخذ شده از زوایای با همگرایی مختلف به کار برده شد. نتایج حاصله نشان دهنده توانایی روش پیشنهادی در انجام تناظریابی تصاویر با همگرایی ۴۰ الی ۶۰ درجه با صحتی در حدود دو پیکسل است.

واژه های کلیدی: تناظریابی اتوماتیک، فتوگرامتری برد کوتاه، پارالاکس های شدید، جا افتادگی عوارض، اعوجاج هندسی و الگوهای تکراری

مقدمه

اهمیت این موضوع از آن جهت است که تصاویر رنگی علاوه بر اطلاعات هندسی می توانند با برخورداری از اطلاعات کیفی در جهت شناسایی بهتر عوارض به کار روند، به ویژه در مواقعی که تصاویر مورد نظر در اثر تصویربرداری همگرا دچار اعوجاجات شدید شده باشند [۴].

با وجود این چنین قابلیت در تصاویر رنگی، متأسفانه کارهای تحقیقاتی زیادی در این زمینه انجام نشده است و در کارهای محدودی از اطلاعات طیفی در تناظریابی تصاویر استفاده شده است [۵]. از این رو، در این تحقیق از اطلاعات طیفی جهت بهبود کیفیت تناظریابی استفاده گردیده است.

در این تحقیق، ابتدا برخی از رایجترین روش‌های تناظریابی ناحیه مبنای^۱ عارضه مبنای^۲ و رابطه ای^۳ به همراه نقاط ضعف و قوت هر یک عنوان می‌شود و سپس با توجه به ویژگی‌های خاص فتوگرامتری برد کوتاه، روش تناظریابی جدید که حالت توسعه یافته ای از ترکیب

تا کنون روش‌های تناظریابی گوناگونی جهت اهداف مختلفی از جمله توجیه داخلی، نسبی و مطلق در کاربردهای بینایی ماشین جهت ایجاد مدل‌های سه بعدی و نمایش مورد استفاده قرار گرفته است [۱]. عموماً تصاویر غیر متریک از استحکام هندسی بالایی برخوردار نیستند و نیز اخذ تصاویر همگرا در فتوگرامتری برد کوتاه، سبب ایجاد دگرگونی های شدید هندسی و اعوجاجات در تصاویر می‌شود. از این رو، این نوع از تصاویر کمتر مورد توجه متخصصین علوم فتوگرامتری بوده‌اند. البته با توجه به پیشرفت های اخیر در زمینه تولید دوربین های رقومی و نیز بهبود هندسه داخلی این نوع از سنجنده ها، راه را برای گسترش تحقیقات در زمینه های گوناگون به خصوص در زمینه تناظریابی اتوماتیک عوارض در تصاویر پوششی را هموارتر ساخته است. همچنین استفاده از اطلاعات طیفی و رادیومتریکی تصاویر چند طیفی به عنوان یک منبع داده ای غنی جهت استخراج اطلاعات و تفسیر آنها می‌تواند به کار رود [۲] و [۳].

روش تناظریابی رابطه ای^۶

نوع دیگری از روش های تناظریابی مرسوم روش تناظریابی رابطه ای می باشد. در این نوع روش، بهترین نگاشت بین دو توصیف رابطه ای را برای تناظریابی مورد استفاده قرار می گیرد. این رابطه می تواند هندسی باشد مانند زاویه میان دو پلیگون مجاور، یا کمینه بودن فاصله دو لبه، طول یک پاره خط و انحناء آن و یا رادیومتریکی باشد مانند اختلاف درجات خاکستری (اطلاعات طیفی) و یا توپولوژیکی باشد مانند قرار گرفتن یک عارضه در داخل عارضه دیگر. لازم به ذکر است که انجام جستجو در این نوع روش تناظریابی به صورت درختی یا سلسله مراتبی است [۶] و [۸].

مقایسه روش های تناظریابی ناحیه ای و عارضه مبنا و رابطه ای

همان طور که ملاحظه شد روش های ناحیه مبنا دارای دقت بالایی هستند ولی نیازمند به داشتن دانش اولیه خوب از وضعیت قرار گیری تصاویر (میزان پوشش و ترتیب قرارگیری) هستند. همچنین در مقابله با نویز تصاویر، ضعیف عمل می کنند. از سوی دیگر روش های عارضه مبنا مشکلات مربوط به روش های ناحیه مبنا را ندارند. ولی ضعف این نوع از روش های تناظریابی، کم بودن دقت تناظریابی در آنها است. در نتیجه، ترکیب روش های مرسوم می تواند راه حل خوبی برای حل مساله تناظریابی باشد [۹]. از این رو، یکی از روش های مناسب برای انجام تناظریابی، روش ترکیبی ناحیه ای و عارضه مبنا خواهد بود و برای تقویت روش تلفیقی فوق جهت استفاده در تناظریابی اتوماتیک تصاویر همگرا از قیود رابطه ای نیز بهره جست. در ادامه شرایط تصویربرداری در فتوگرامتری برد کوتاه عنوان می شود تا نیازمندی های مربوط به روش تناظریابی در کارهای عملی مشخص شود.

شرایط تصویربرداری در فتوگرامتری برد کوتاه

در فتوگرامتری برد کوتاه برای افزایش دقت بعد سوم، معمولاً تصاویر به صورت همگرا اخذ می شوند. از این رو، تصاویر دچار اعوجاجات شدید هندسی گردیده و این باعث

روش های مرسوم تناظریابی است معرفی می شود. در نهایت آزمون و بررسی و نیز نتیجه گیری و ارائه پیشنهادهایی برای انجام کارهای تحقیقاتی آینده ارائه می شود.

مروری بر روش های تناظریابی مرسوم روش های تناظریابی ناحیه مبنا^۴

مشهورترین روش ها در تناظریابی، روش های تناظریابی ناحیه مبنا می باشند که در این روش ها، ارتباط میان دو تصویر به صورت محلی مد نظر است. این نوع از روش های تناظریابی از درجات خاکستری به عنوان عنصر تناظریابی استفاده می کنند. معیار تناظریابی کمینه بودن اختلاف میان درجات خاکستری برای پیکسل های تصویری نظیر و یا بیشینه بودن میزان مشابهت میان پنجره های مرجع و جستجو با ابعاد فرد در دو تصویر پوششی است.

مزیت این نوع از روش های تناظریابی دقت بالای آنهاست البته به شرطی که مقادیر اولیه نسبتاً دقیق در حد چند پیکسل به این روش ها معرفی شود (همه روش های ناحیه مبنا به غیر از روش همبستگی آماری دارای این خصوصیت هستند) [۶]. به عبارت دیگر، در این نوع از روش های تناظریابی داشتن دانش اولیه از نحوه قرارگیری تصاویر و میزان پوشش میان تصاویر جهت انجام تناظریابی نیاز است [۷]. همچنین عیب عمده این نوع روش حساسیت زیاد به نویز تصاویر است [۶].

روش های تناظریابی عارضه مبنا^۵

نوع دیگر از روش های مرسوم که معمولاً در بینایی ماشین مورد استفاده قرار می گیرند، روش های عارضه مبنا می باشد که بر اساس استخراج عوارض و سپس تناظریابی میان آنها عمل می نماید. عوارض نیز شامل سه دسته نقطه ای، خطی و سطحی هستند. دقت تناظریابی برای عوارض خطی و سطحی به دلیل نبود پیکسل های مشابه معمولاً کاهش می یابد [۴]. از این رو در این تحقیق از عارضه نقطه ای یا گوشه های هندسی عوارض به عنوان عنصر تناظریابی استفاده شده است. مزیت این نوع از روش ها، پایداری در برابر نویز تصویر است [۸]. در ادامه روش تناظریابی رابطه ای تشریح خواهد شد.

هندسی قوی، حد آستانه گرادیان مطابق رابطه ۳ به کار گرفته شد [۱۲].

$$G_r = (I_x^2 + I_y^2)^{1/2} \quad (3)$$

در رابطه ۳ مقدار حد آستانه ۱۵ اختیار گردیده است. بعد از استخراج نقاط گوشه ای برقراری شرط تناظر یک به یک میان دو مجموعه از نقاط در دو تصویر پوششی مد نظر می باشد. برای تحقق یافتن این موضوع (صرف نظر از هر نوع دانشی در رابطه با میزان پوشش تصاویر و یا تقدم و تاخر در قرارگیری تصاویر) از روش همبستگی آماری استفاده گردید. روش همبستگی آماری برای هر نقطه در یک تصویر با تمامی گوشه های هندسی در تصویر دیگر مقایسه می گردد تا نقاط کاندیدای احتمالی مشخص گردند. نکته قابل ذکر در این باره آن است که در روش همبستگی آماری مرسوم معیار تناظریابی بر اساس بیشترین مقدار ضریب همبستگی میان پنجره های تصویری ملاک عمل می باشد، حال آن که ممکن است به دلیل عدم وجود شرایط ایده آل نوری و اعوجاجات تصویری مقدار مورد نظر حداکثر مقدار نباشد. به عبارت دیگر به جای پذیرفتن مقدار بیشینه برای ضریب همبستگی، مقادیری که بیشتر از یک حد آستانه (مثلا ۸۰ درصد) به کار گرفته شود تا تناظرهای با بیشترین احتمال برای ارزیابی های مراحل بعدی باقی بمانند [۴]. به این ترتیب تعداد قابل توجهی از تناظرهای غلط می توانند حذف شوند. در ادامه برای نمایش صحیح تناظریابی ها و نیز حذف تناظرهای غلط از ماتریسی به نام ماتریس تناظریابی^۱ استفاده شده [۱۳] که در ذیل به آن پراخته می شود. اگر تعداد گوشه ها در دو تصویر به ترتیب m و n باشند، با در نظر گرفتن تمامی حالات ممکن در انجام تناظریابی تعداد $m \times n$ ضریب همبستگی به دست خواهد آمد که با در نظر گرفتن مقدار تلورانس روش همبستگی آماری مقادیر بالاتر از حد تلورانس برابر واحد و مقادیر کمتر از تلورانس مساوی صفر قرار داده می شود (مقدار واحد بیانگر کاندیدای احتمالی تناظریابی و مقدار صفر معرف عدم وجود تناظر میان جفت نقاط مقایسه شده است). برای نمایش تناظرهای صحیح از ماتریس تناظریابی استفاده می شود به این صورت که ضرایب همبستگی آماری به دست آمده (بر اساس مقادیر تلورانس روش همبستگی آماری) در این ماتریس قرار داده می شود (ابعاد

به وجود آمدن پارالاکس های شدید و نیز در برخی موارد سبب جا افتادگی عوارض^۷ می شود [۴]. علاوه بر موارد ذکر شده وجود عوارض و الگوهای تکراری و سطوح بدون بافت بر پیچیدگی های فضای تصویری می افزاید. از همه مهمتر اینکه، مساله وجود پارالاکس های شدید سبب می شود که برخی از عوارض در تصویر حالت کشیده پیدا کرده و برخی نیز منقبض گردند (ایجاد تغییر مقیاس های محلی). در این صورت مدل های ترانسفورماسیون بین دو تصویر یکی به صورت استریو و دیگری همگرا به صورت غیر خطی در خواهد آمد و در صورتی که از دو تصویر همگرا در دو سوی مختلف یک شی استفاده شود، پیچیدگی مدل ترانسفورماسیون دو بعدی بیشتر خواهد شد [۴]. از سوی دیگر تشدید مساله جا افتادگی عوارض به دلیل همگرایی زیاد تصاویر، مساله تناظریابی را بیش از پیش پیچیده تر می سازد.

علی رغم مشکلات بیان شده الگوریتمی که قابلیت تشخیص اتوماتیک ترتیب قرارگیری تصاویر را بدون دانستن پوشش بین تصاویر داشته باشد می تواند عملیات تناظریابی را تسهیل نماید. در ادامه روش تناظریابی جدید که در این تحقیق طراحی و توسعه یافته معرفی می شود.

روش تناظریابی پیشنهادی

قسمت اول این روش شامل استخراج نقاط گوشه ای^۸ می باشد که برای استخراج آنها از استخراج کننده گوشه ای Harris مطابق روابط ۱ و ۲ استفاده گردید. دلیل استفاده از این اپراتور (Corner detector) دقت، سرعت و پایداری بالای استخراج کننده گوشه ای Harris در تشخیص انواع مختلف گوشه های هندسی با اشکال مختلف (L شکل، X شکل، T شکل، Y شکل، گوشه نوک پیکانی) است [۱۱، ۱۰].

$$A = [(\nabla I)(\nabla I)^T] = \begin{bmatrix} I_x^2 & I_{xy} \\ I_{xy} & I_y^2 \end{bmatrix} \quad (1)$$

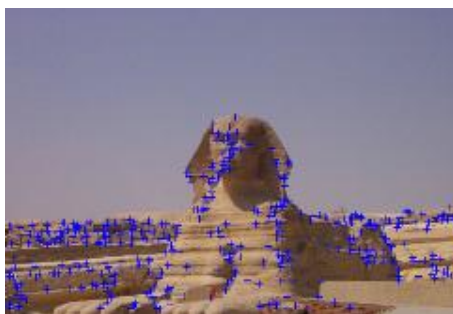
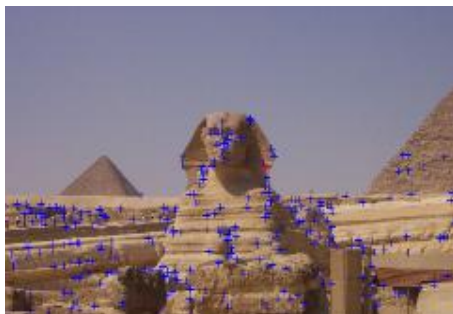
$$CRF = \det(A) - k(\text{Trace}(A))^2 \quad (2)$$

در رابطه ۱، I_x و I_y گرادیان تصویر با استفاده از الگوریتمهای استخراج لبه (مثلا اپراتور sobel) هستند. همچنین در رابطه ۲ معیار نگاهداشت گوشه های هندسی قوی مقادیر $K = 0.06 - 0.04$ می باشد و حداقل مقدار تابع واکنش گوشه^۹ (CRF) ۱۰۰۰۰ می باشد. البته برای سرعت بخشیدن به این روند و نیز استخراج گوشه های

توسط قوه بینایی انسان، تشخیص رنگ عوارض است. در نتیجه با شبیه سازی این حالت در بینایی کامپیوتر می توان نتایج بسیار خوبی را به دست آورد. از دیگر عوامل تشخیص عوارض، تشخیص آنها بر اساس محل قرارگیری آنها در یک تصویر است. در این خصوص نیز می توان تشخیص عوارض را در بینایی کامپیوتر بر اساس ترتیب قرارگیری آنها در نظر گرفت. در ادامه استفاده از هرم تصاویر و نیز عناصر مورد نیاز برای تعیین قیود رنگ و ترتیب معرفی می شوند.

به کارگیری هرم تصاویر^{۱۱}

دلیل استفاده از هرم تصویر در این تحقیق آن است که عوارض کوچک و نويز در لایه های بالایی هرم تصویر تا حدود زیادی حذف می گردند و با کوچک شدن ابعاد تصاویر و به تبع آن کوچک شدن فضای جستجو، پردازش مربوط به فرآیند تناظریابی در لایه های بالایی هرم تصویر با سرعت بالایی انجام پذیرد. پس از انجام تناظریابی تصاویر در لایه های بالایی هرم تصویر، می توان از دانش به دست آمده به منظور انجام تناظریابی در لایه های زیرین هرم تصویری استفاده نمود و این روند را تا پایین سطح هرم تصویر یعنی تصاویر اولیه ادامه داد [۶] و [۸] و [۱۴].



شکل ۱: انجام تناظریابی عارضه مبنا و ناحیه مبنا همبستگی آماری بدون استفاده از دانش اولیه میزان پوشش تصاویر و ترتیب قرارگیری.

ماتریس برابر تعداد گوشه های دو تصویر است $(m \times n)$. علاوه بر این به ماتریس فوق یک سطر و یک ستون جهت بررسی مساله عدم وجود تناظر و یا بیان حالت چند تناظری افزوده می گردد در نتیجه ماتریس فوق دارای ابعاد $(m+1) \times (n+1)$ خواهد بود. در ماتریس فوق مجموعه گوشه های تصویر اول را با $\{R_i\}$ ، $i=1, \dots, m$ ، نشان داده و نیز مجموعه گوشه های تصویر دوم $\{L_j\}$ ، $j=1, \dots, n$ خواهند بود. به عنوان مثال در جدول (۱) نقطه L2 با نقطه R1 متناظر است (تناظر یک به یک). نقطه L6 با هیچ یک از نقاط تصویر سمت راست متناظر نیست (عدم وجود جواب). همچنین نقطه L8 با دو نقطه R3 و R4 متناظر قرار داده شده است (مساله چند جوابی). مقدار 0 در سطر و ستون آخر بیانگر تناظر یک به یک احتمالی است و مقدار 1 برای سطر یا ستون آخر معرف اشتباه احتمالی در تناظریابی است که باید در مراحل بعدی رفع ابهام صورت گیرد. مقدار سطر یا ستون آخر زمانی صفر اختیار می شود که یک گوشه هندسی تنها با یک گوشه هندسی از تصویر دیگر متناظر است و مقدار واحد برای حالتی است که یک گوشه هندسی متناظری در تصویر دیگر نداشته باشد و یا اینکه چند متناظر داشته باشد. همان طور که در قسمت بالا ذکر شد وجود حالت های عدم وجود جواب و نیز مساله چند جوابی نشان می دهد که برای برقراری تناظر یک به یک بین گوشه های استخراج شده به کارگیری قیود مختلف برای تقویت روش های تناظریابی مرسوم امری لازم و ضروری است.

جدول ۱: ماتریس تناظریابی برای بیان حالت های مختلف تناظریابی.

ماتریس تناظریابی	R1	R2	R3	R4	تناظرهای اشتباه
L2	1	0	0	0	0
L6	0	0	0	0	1
L8	0	0	1	1	1
L13	0	0	1	0	0
تناظرهای اشتباه	0	1	1	0	0

قیود به کار رفته در روش تناظریابی جدید

از آنجا که تناظریابی در شرایط خاص فتوگرامتری برد کوتاه پیچیدگی های زیادی را به همراه دارد، در نتیجه بهتر است از قیودی در این خصوص استفاده گردد. عوارض و اشیای روی زمین به رنگها و اشکال مختلف دیده می شوند. یکی از مهم ترین عوامل در تمییز دادن اشیای

قید رنگ^{۱۲}

در رابطه فوق R, G و B باندهای تصاویر چند طیفی و NB باندهای تولید شده به این ترتیب با مقایسه مقادیر فوق برای گوشه های دو تصویر، تعداد تناظرهای غلط کاهش پیدا می کند. برای انجام این مقایسه از بردارهای تناظریابی^{۱۳} که در ذیل آورده شده است استفاده شد. بردارهای V_L و V_R حاوی مقادیر درجات خاکستری و نیز مقادیر میانگین درجات خاکستری در باندهای مختلف تصاویر چند طیفی برای هر یک از گوشه های هندسی استخراج شده برای تصاویر سمت چپ و راست است.

$$\overline{V}_{R_i} = (R_{R_i}, G_{R_i}, B_{R_i}, NB_{R_i}, MR_{R_i}, MG_{R_i}, MB_{R_i}, MNB_{R_i}) \quad (۶)$$

$$\overline{V}_{L_j} = (R_{L_j}, G_{L_j}, B_{L_j}, NB_{L_j}, MR_{L_j}, MG_{L_j}, MB_{L_j}, MNB_{L_j}) \quad (۷)$$

پارامترهای گوشه هندسی R_i ، G_{R_i} ، B_{R_i} و NB_{R_i} به ترتیب مقدار درجات خاکستری گوشه هندسی R_i در باندهای R, G, B و NB و نیز MR_{R_i} ، MG_{R_i} ، MB_{R_i} و MNB_{R_i} مقدار میانگین درجات خاکستری پنجره 7×7 حول هر گوشه در باندهای مختلف تصویر چند طیفی سمت راست است. همچنین پارامترهای R_{L_j} ، G_{L_j} ، B_{L_j} و NB_{L_j} به ترتیب مقدار درجات خاکستری گوشه هندسی L_j در باندهای R, G, B و NB و نیز MR_{L_j} ، MG_{L_j} ، MB_{L_j} و MNB_{L_j} مقدار میانگین درجات خاکستری در تصویر سمت راست در پنجره ای با ابعاد مشابه تصویر سمت چپ است.

قید رنگ معادل با کمینه بودن اختلاف میان مقادیر بردارهای \overline{V}_{L_j} و \overline{V}_{R_i} می باشد. در نتیجه با اعمال این شرایط تعداد زیادی از تناظرهای غلط رد می شود (تقریباً نیمی از تناظرهای اشتباه). اما حتی با به کارگیری قید رنگ، هنوز ممکن است برخی از تناظرهای انجام شده نادرست هستند (به عنوان مثال وجود عوارض یا گوشه های با شکل های تکراری در تصاویر پوششی که مساله چند تناظری را به وجود می آورد).

شکل (۲) تناظریابی تصاویر شکل (۱) را با توجه به قید رنگ نشان می دهد. همان طور که در شکل (۲) نیز ملاحظه می گردد برخی از تناظرهای غلط روش تناظریابی تلفیقی عارضه مبنا و ناحیه مبنای مرسوم کاسته شده است. اما با این وجود هنوز تناظریابی به طور صحیح میان گوشه های هندسی تصاویر پوششی برقرار نگردیده است. یک نمونه از این اشتباه در تناظریابی یک گوشه هندسی بر روی هرم با گوشه هندسی از روی شانه مجسمه سنگی است. در این صورت قید دیگری که وضعیت قرارگیری

قبل از بیان قید رنگ لازم است انجام تناظریابی را بدون حضور قید رنگ بررسی کرد. برای این منظور از تصاویری که در شکل (۱) نشان داده شده استفاده شد. همان طور که در شکل (۱) نیز دیده می شود هنگامی که روش تناظریابی ترکیبی عارضه مبنا و ناحیه مبنای مرسوم از دانش اولیه ای مانند ترتیب قرار گیری و نیز میزان پوشش تصاویر و یا مدل ارتباطی میان تصاویر بهره نمی گیرد توانایی انجام صحیح تناظریابی را ندارد. همچنین روش تلفیقی مرسوم توانایی حل مشکل جا افتادگی عوارض را ندارد (نقاط مربوط به اهرام سمت چپ و راست و نیز اتاقک چوبی در داخل تصویر اول شکل (۱) گواه این امر هستند). در ادامه قید رنگ جهت کاهش تناظرهای غلط معرفی می شود.

با توجه به این که عوارض متناظر در تصاویر مختلف با رنگ های نسبتاً مشابه ظاهر می شوند از این رو تا حدی درجات خاکستری در طیف های مختلف مقادیر مشابهی دارند. این موضوع می تواند به عنوان قیدی در تناظریابی عوارض مورد استفاده قرار گیرند. از این رو این قید می تواند برای تناظریابی گوشه های هندسی نیز مفید واقع شود. در نتیجه گوشه های هندسی که رنگ های متفاوتی در طبیعت دارند، در برقراری تناظر میان تصاویر پوشش دار مورد بهره برداری قرار گیرند. همچنین مقدار میانگین درجات خاکستری (رابطه ۴) در هر یک از باندهای طیفی می تواند یکی از معیارهای مناسب برای تمیز دادن گوشه های هندسی باشد [۴].

$$\bar{x}_{ij} = \frac{1}{n^2} \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n x_{ij} \quad (۴)$$

در رابطه فوق X_{ij} مقدار درجات خاکستری در هر پنجره مربع با ابعاد فرد n (مثلاً 7×7) در یک باند از باندهای طیفی می باشد و در نتیجه سه مقدار میانگین درجات خاکستری برای سه باند مختلف به دست می آید. در نتیجه علاوه بر مقدار درجات خاکستری برای هر گوشه هندسی در باندهای مختلف، سه مقدار میانگین نیز قابل تعریف خواهد بود. در این تحقیق علاوه بر باندهای مختلف تصاویر چند طیفی از تلفیق باندها نیز برای افزودن منابع اطلاعاتی طبق رابطه (۵) استفاده گردید [۷].

$$NB = a \times R + b \times G + c \times B, a + b + c = 1 \quad (۵)$$

با توجه به شکل (۳) ترتیب قرارگیری عوارض و گوشه‌های هندسی می‌تواند بر اساس مؤلفه‌های مختصاتی گوشه‌های هندسی بیان گردد. علاوه بر قرارگیری ترتیبی عوارض (و به تبع آن گوشه‌های هندسی) بایستی مساله وضعیت توپوگرافی که بر روی مدل انتقال میان دو تصویر همگرا تأثیر بسزایی دارد، مورد توجه قرار گیرد. این اثر به صورت گرادیان سطح (به عنوان تعیین کننده میزان جابجایی ناشی از ناهمواری سطح عوارض) جهت تکمیل مدل ترانسفورماسیون دو بعدی میان تصاویر می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد (۱۵).

از آنجا که مدل ترانسفورماسیون دو بعدی میان تصاویر هنوز تعیین نشده است بنابراین معرفی گرادیان سطح جهت تکمیل مدل ترانسفورماسیون دو بعدی میان تصاویر قبل از به کارگیری قید ترتیب امکان پذیر نخواهد بود. در نتیجه برای لحاظ کردن اثر توپوگرافی از تلورانس های tr_{ms} و tr_{mr} به عنوان جانشینی برای گرادیان سطح استفاده شد.

اگر مختصات گوشه‌های هندسی باقیمانده از تناظریابی در مرحله قبل در تصویر اول (x_i و y_i) و مختصات نقاط باقیمانده در تصویر دوم (u_j و v_j) باشد، در این صورت قدر مطلق اختلاف مختصات نقاط متناظر محتمل به صورت ذیل خواهد بود [۴]. دلیل استفاده از قدرمطلق این است که هنوز ترتیب قرارگیری تصاویر بر اساس محدوده‌های پوشش دار مشخص نشده است.

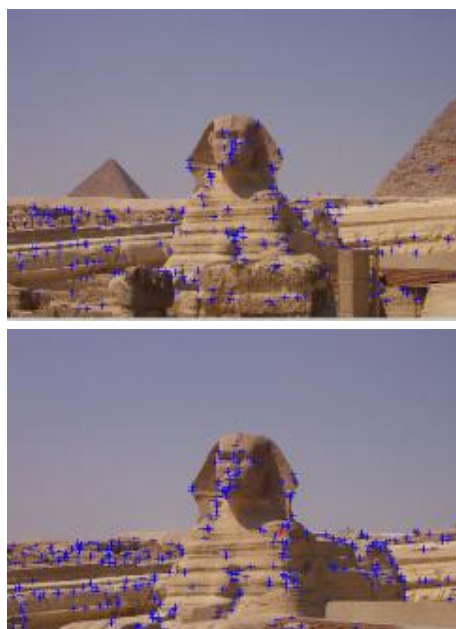
$$r_{ij} = |x_i - u_j| \quad (۸)$$

$$s_{ij} = |y_i - v_j| \quad (۹)$$

در روابط ۸ و ۹، r_{ij} و s_{ij} ها اختلاف مختصات مولفه در راستای محور x و محور y هستند. از آنجا که هدف قید ترتیب یافتن مدل ارتباطی میان تصاویر است در نتیجه اگر مقدار شیفت یا جا به جایی نقاط متناظر به دست آورده شود می‌توان از آن به عنوان معیاری جهت حذف تناظرهای غلط استفاده نمود. با مرتب نمودن صعودی یا نزولی این دو رشته از اعداد، مقادیر میانه این دو مجموعه از مقادیر یعنی mr و ms به دست می‌آید. مقادیر mr و ms به عنوان پارامترهای اصلی قید ترتیب می‌باشند. روابط ۱۰ و ۱۱ برای پذیرش یا عدم پذیرش تناظرهای موجود به همراه پارامترهای قید ترتیب نشان داده شده است.

$$|(x_i - u_j) - mr| < tr_{mr} \quad (۱۰)$$

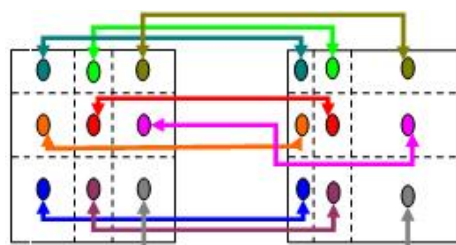
گوشه‌ها در تصاویر را مشخص نماید، ضروری خواهد بود.



شکل ۲: انجام تناظریابی عارضه مبنا و ناحیه مبنای همبستگی به همراه قید رنگ.

قید ترتیب^{۱۴}

با اعمال قید رنگ عدم وجود تناظر بین جفت گوشه‌ها در تصاویر پوششی تا حدود زیادی بر طرف می‌گردد. اما هنوز مساله چند تناظری وجود دارد و ممکن است برخی از گوشه‌ها در مکان‌های هندسی متفاوت با یک گوشه هندسی متناظر باشند. برای رفع این مشکل از قید ترتیب استفاده شد [۶]. قید ترتیب در این تحقیق بر اساس اطلاعات طیفی و رادیومتریکی گوشه‌های هندسی ایجاد گردیده است. شکل (۳) شمایی از قید ترتیب را در تناظریابی تصاویر فتوگرامتری برد کوتاه نشان می‌دهد. همان‌طوری که ملاحظه می‌شود عوارض در تصاویر همگرا دچار تغییر شکل می‌شوند ولی تقریباً ترتیب قرارگیری عوارض و به تبع آن گوشه‌های هندسی حفظ می‌شوند.



شکل ۳: ترتیب قرارگیری عوارض در محدوده‌های مختلف تصاویر همگرای فتوگرامتری برد کوتاه.

ناهمواری در آنها کم بوده است تا حد چند پیکسل (۳ پیکسل) می تواند کاهش یابد. با توجه به ماتریس تناظریابی به دست آمده از روابط ۱۰ و ۱۱ مساله ترتیب قرارگیری تصاویر و نیز تعیین مقادیر تقریبی بر حسب مقادیر مختصات گوشه های باقی مانده مشخص می گردد. علاوه بر این پس از برطرف شدن حالت چند تناظری توسط حدود آستانه قید ترتیب، دیگر هیچ گوشه هندسی نمی تواند بیش از یک تناظر داشته است.

با به دست آمدن ماتریس تناظریابی که در آن رابطه یک به یک میان گوشه های هندسی تصاویر برقرار شده، می توان با برآزش مدل ترانسفورماسیون دو بعدی آفاین و یا پروژکتیو ارتباط هندسی میان گوشه های هندسی را با دقتی در حدود چند پیکسل برقرار کرد.

قیود معرفی شده در این تحقیق جهت حل مساله تناظریابی در فلوچارت روش پیشنهادی شکل (۴) نمایش داده شده است. پس از به کارگیری قیود مذکور نقاط متناظر در دو تصویر رابطه ای یک به یک خواهند داشت. به منظور اثبات صحت تناظریابی از معادلات ترانسفورماسیون دو بعدی و خصوصا از معادله شرط هم صفحه ای استفاده گردید (۱۶).

به این ترتیب، با استفاده از مجموعه نقاط متناظر به دست آمده دانش اولیه ای به کمک برآزش مدل ترانسفورماسیون دو بعدی (آفاین و پروژکتیو) بر مختصات نقاط گوشه ای متناظر در دو تصویر که حداقل مقدار خطای RMSE را طبق رابطه (۱۲) داشته باشد و به این ترتیب نحوه قرارگیری تصاویر مربوطه (تصاویر مرجع و جستجو) مشخص خواهد شد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n V_{ij}^2}{n-1}}, V_{ij}^2 = r_{ij}^2 + s_{ij}^2, i = j \quad (12)$$

پس از مشخص شدن مدل ارتباطی میان تصاویر در سطوح بالایی هرم و نظر به اینکه هر تصویر نیز در هرم تصویری به اندازه یک چهارم تصویر زیرین خود می باشد در نتیجه هر پیکسل در لایه بالایی هرم معادل چهار پیکسل در سطح پایین تر خود خواهد بود. از این رو، مقادیر نسبتا دقیقی از نحوه قرارگیری گوشه های هندسی در لایه زیرین به دست خواهد آمد و در هر مرحله برآزش مدل ترانسفورماسیون دو بعدی بر مختصات گوشه های هندسی انجام خواهد شد.

$$|(y_i - v_j) - ms| < tr_{ms} \quad (11)$$

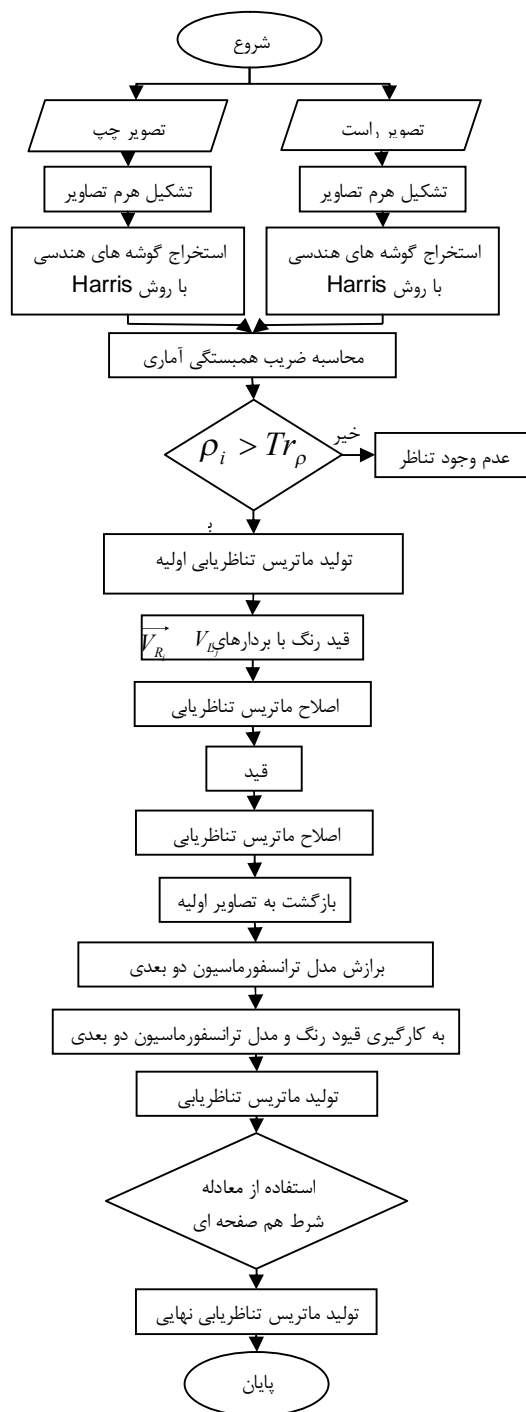
در روابط (۱۰) و (۱۱) دلیل استفاده از مقادیر میانه به عنوان حدود آستانه قید ترتیب این است که برخی از تناظرهای انجام شده پس از به کارگیری قید رنگ، حالت یک به یک داشته (اختلاف مختصات گوشه های هندسی نظیر به عنوان مقادیر صحیح بوده) و برخی از گوشه های هندسی نیز به طور ناصحیح متناظر قرار داده شده اند. در حالتی که گوشه های هندسی به طور ناصحیح و بر خلاف میزان پوشش تصاویر با یکدیگر متناظر قرار داده شده اند ملاحظه می گردد که اختلاف مختصات گوشه های با تناظرهای اشتباه مقادیر بسیار بیشتر و یا کمتری نسبت به اختلاف مختصات گوشه های صحیح برخوردارند.

از این رو، جهت حذف تناظرهای اشتباه از مقدار میانه اختلاف مختصات گوشه های هندسی به عنوان معیار حذف تناظرهای اشتباهی که اختلاف مختصاتی بسیار بیش از مقدار میانه و یا بسیار کمتر از آن را دارند استفاده گردید.

مقادیر حدود آستانه برای اثر توپوگرافی در مرحله اول به طور پیش فرض بر اساس بیشترین جابجایی نقاط تصویری سطح عوارض ناشی از ناهمواری سطح و وجود پارالاکس های بزرگ، در حدود یکصد پیکسل در نظر گرفته شد. لازم به ذکر است که قید ترتیب دارای چند مرحله تکرار است و در طی هر مرحله تکرار مختصات گوشه های هندسی کاندیدای تناظریابی با گوشه های هندسی دیگر با توجه به روابط (۱۰) و (۱۱) سنجیده می شود. در صورت عدم پیروی از روابط فوق تناظرهای میان نقاط مربوطه حذف گردیده (ماتریس تناظریابی به هنگام می گردد) و در نتیجه با حذف برخی از گوشه های هندسی مقادیر ms و mr تغییر یافته و باید به هنگام گردند.

با توجه به کاهش مقادیر mr و ms تلورانس های مربوط به اثر توپوگرافی یعنی tr_{ms} و tr_{mr} نیز که در ارتباط با وضعیت قرارگیری گوشه های هندسی است، کاهش می یابد. این فرآیند ادامه می یابد تا اینکه تمامی گوشه های هندسی باقیمانده در دو تصویر در روابط فوق صدق نمایند. در نتیجه ماتریس تناظریابی برای تناظرهای ممکن باقی مانده به هنگام می شود.

در مراحل تکرار فرآیند فوق مقدار حدود آستانه tr_{mr} و tr_{ms} برای تصاویری که میزان جا به جایی نقاط ناشی از



شکل ۴: نمودار روش تناظریابی پیشنهادی در توجهی نسبی فتوگرامتری برد کوتاه.

دو سوی مجسمه سنگی قرار گرفته اند، اما در تصویر دوم به علت اخذ تصویر همگرا اهرام مصر از تصویر حذف شده اند. همان طور که ملاحظه می گردد روش تناظریابی پیشنهادی توانسته است علاوه بر مساله جا افتادگی، اثر

در ادامه این روند ادامه خواهد یافت تا اینکه در پایین ترین سطح هرم گوشه های هندسی نظیر به کمک قیود رنگ و مدل ترانسفورماسیون دو بعدی (به عنوان قید نهایی ترتیب) به خدمت گرفته می شوند. پس از به کارگیری قیود فوق ماتریس تناظریابی نهایی تشکیل خواهد شد. برای بررسی صحت تناظریابی از معادله شرط هم صفحه ای استفاده خواهد شد. در شکل (۴) فلوجارت روش پیشنهادی آورده شده است. روش تناظریابی پیشنهادی هیچ گونه اطلاعات اولیه ای برای ترتیب قرارگیری تصاویر و نیز اطلاعات هندسی دیگر را دریافت نمی نماید لذا مقادیر تقریبی در حد چند پیکسل (به عنوان مثال ۵ پیکسل) را به صورت خودکار ارائه می دهد. جهت تدقیق نمودن مدل ارتباطی میان تصاویر از مدل های ترانسفورماسیون دو بعدی استفاده می گردد. معیار انتخاب روش بهینه در میان مدل های ترانسفورماسیون دو بعدی، کمینه بودن مقدار خطای RMSE می باشد. برای دستیابی به نتایج بهتر از قیود هندسی قوی به دست آمده در مرحله قبل در جهت بهبود دقت و صحت تناظریابی استفاده گردید.

ارزیابی روش توسعه یافته تناظریابی و انجام آزمون

برای آزمون روش تناظریابی توسعه یافته جدید از تصاویر واقعی در شرایط تصویربرداری مختلف استفاده گردید از جمله بررسی توانایی روش تناظریابی پیشنهادی در حذف خطاها و اشتباهات تناظریابی در مواجهه با پدیده جاافتادگی عوارض، اخذ تصاویر همگرا و اثر توپوگرافی، بررسی توانایی روش در مواجهه با شرایط اخذ تصاویر همگرا از دو امتداد مختلف، بررسی شرایط نامناسب نوری، قابلیت به کارگیری در تهیه پانوراما، مقابله با مساله وجود عوارض تکراری در شرایط تصویربرداری با همگرایی مختلف، بررسی اثر دوران (حول محور عمود بر سطح اشیای مورد تصویربرداری) و مقیاس.

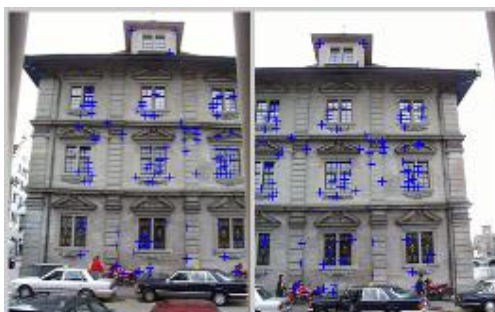
آزمایش ۱: بررسی اثر همگرایی و Occlusion

در این آزمایش از شکل (۵) به منظور بررسی اثر همگرایی تصاویر در جابجایی نقاط تصویری و نیز بروز مساله جا افتادگی عوارض یا Occlusion می باشد. همانطور که ملاحظه می شود اهرام مصر در تصویر اول

در روش‌های تناظریابی ناحیه مبنای بر پایه کمترین مربعات تنها شیفت رادیومتریکی به صورت خطی یا به صورت غیر خطی برای کل تصاویر مورد تناظریابی مورد استفاده قرار می‌گیرد (۸). حال آنکه در تصاویر شکل زیر به صورت محلی شرایط نامناسب نوری ایجاد شده است و به صورت محلی نیز حالت غیر خطی دارد. همان‌طور که در شکل ذیل نیز ملاحظه می‌شود روش پیشنهادی توانسته است در مواجهه با تغییر مقیاس محلی (در حدود ۴۰ درصد) تناظریابی را به درستی انجام دهد.



شکل ۶: انجام تناظریابی در محیط آزمایشگاهی در حالت تصویر برداری همگرا و شرایط نوری نامناسب.



شکل ۷: انجام تناظریابی عوارض و الگوهای تکراری با همگرایی کم.

آزمایش ۳: بررسی اثر الگوهای تکراری با زوایای همگرایی کم (اثر آفاینیتی)

برای آزمون چنین اثری از شکل (۷) که نشان دهنده

توپوگرافی سطح مجسمه و نیز دیواره‌های اطراف را به درستی تشخیص دهد و نقاط با دقت و صحت بالایی تناظریابی شوند.

البته با توجه به اخذ تصاویر همگرا با همگرایی ۵۰ درجه، تعداد نقاط تناظریابی شده در حدود ۵۰ نقطه متناظر می‌باشند و حداکثر خطای تناظریابی در این حالت ۲ پیکسل بوده است. تغییر مقیاس در این تصاویر حدود ۲۵ درصد بوده است.



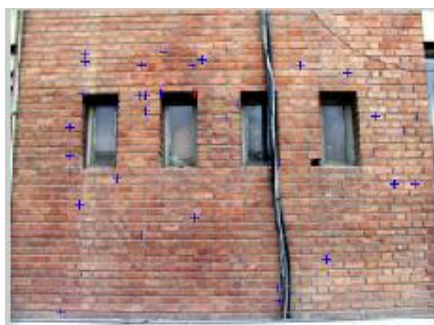
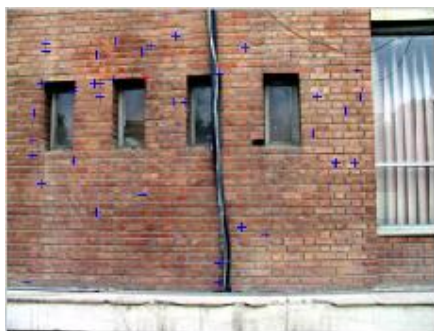
شکل ۵: بررسی اثر همگرایی تصاویر و بروز مساله Occlusion و جابجایی نقاط تصویری ناشی از اثر توپوگرافی.

آزمایش ۲: بررسی اثر اعوجاج شدید هندسی (اثر پروژکتیویتی) و اختلافات رادیومتریکی

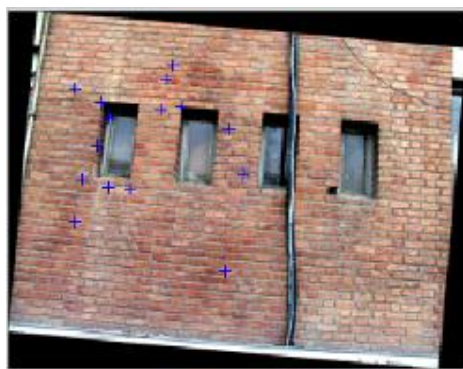
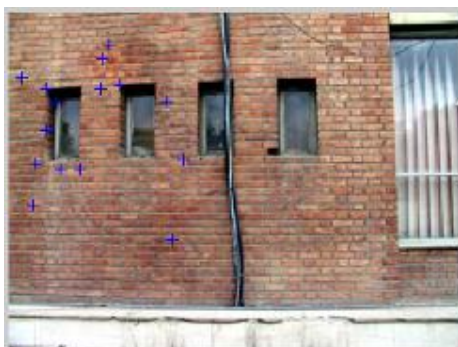
برای آزمون چنین شرایطی از شکل (۶) که نشان دهنده شرایط اخذ تصاویر همگرا در دو سوی مختلف یک عارضه است استفاده شود که این موضوع باعث بروز اعوجاج شدید عوارض می‌شود به صورتی که اختلاف مقیاس محلی را سبب می‌شود.

همان‌طور که در شکل مذکور ملاحظه می‌شود تصاویر فوق با زوایای همگرایی حدود ۳۰ درجه از دو امتداد مختلف اخذ شده‌اند. همچنین جهت بررسی روش پیشنهادی در مواجهه با شرایط نوری نامناسب، شرایط نوردهی مصنوعی به طور عمدی به نحوی ایجاد گردید که اختلافات رادیومتریکی به آسانی قابل مدل‌سازی با روابط ریاضی نباشد، همچنان که مشاهده می‌شود شدت نور در دو سوی تصویر با یکدیگر متفاوت هستند.

با هم متناظر قرار گرفته اند. حداکثر خطای به وجود آمده در این حالت در حدود نیم پیکسل بوده است.



شکل ۹: انجام تناظریابی برای عوارض و الگوهای تکراری.



شکل ۱۰: انجام تناظریابی با اعمال شرایط اعمال دوران تا ۱۵ درجه حول محور عمود بر سطح شی مورد تصویربرداری و عوارض تکراری.

توانایی این روش در انجام تناظریابی تصاویر با الگوهای تکراری و با زوایای همگرایی کم است استفاده شد. همان‌طور که در شکل زیر ملاحظه می‌شود تقریباً ۱۰۸ گوشه هندسی متناظر در این دو تصویر با هم متناظر قرار گرفته اند. حداکثر خطای مشاهده شده در حدود ۰/۲ پیکسل بوده است.

شکل (۸) نشان دهنده توانایی این روش در کاربردهای تولید تصاویر پانوراما می‌باشد که برای منطقه باستانی تخت جمشید مورد استفاده قرار گرفته است. لازم به ذکر است که روش تناظریابی فوق بدون داشتن دانشی در خصوص قرارگیری تصاویر و نیز میزان پوشش آنها حدود ۴۰ نقطه متناظر را در تصاویر تشخیص داده است.



شکل ۸: انجام تناظریابی برای مناطق باستانی برای تصاویر اخذ شده به صورت متوالی از یک ایستگاه با پوشش ۴۰ درصدی.

آزمایش ۴: بررسی اثر الگوهای تکراری، اختلاف مقیاس و همگرایی

برای آزمون چنین اثرهایی از شکل (۹) استفاده گردید. همان‌طور که ملاحظه می‌شود این روش توانایی انجام تناظریابی تصاویر با الگوهای تکراری و اختلاف مقیاس حدود ۲۰ درصد و میزان همگرایی در حدود ۳۵ درجه را دارا است. همان‌طور که در شکل زیر نیز دیده می‌شود تقریباً ۴۲ گوشه هندسی متناظر در این دو تصویر

در جدول (۲) خلاصه ارزیابی روش پیشنهادی ارائه شده در این تحقیق در شرایط مختلف آورده شده است.

جدول ۲: ارزیابی روش تناظریابی پیشنهادی در این تحقیق.

خطای تناظریابی به پیکسل	تعداد نقاط متناظر یافت شده	مدل هندسی (آفاین، پروژکتیو)	آزمایش
۲	۵۰	پروژکتیو	۱
۲	۱۲	پروژکتیو	۲
۰/۲	۱۰۸	آفاین	۳
۰/۵	۴۲	آفاین	۴
۲	۱۵	پروژکتیو	۵

نتیجه گیری و ارائه پیشنهادها

همان‌طور که در این تحقیق ملاحظه گردید روش تناظریابی پیشنهادی جدید به کمک قیود رنگ و ترتیب، در مواجهه با مشکلات پارالاکس های بزرگ، جا افتادگی عوارض و نیز شرایط نامناسب نوری موفق آمیز عمل کرده است. این روش بدون نیاز به دانش اولیه در مورد نحوه ترتیب قرارگیری تصاویر و نیز پوشش آنها، قادر است تناظریابی تصاویر همگرا را تا همگرایی ۳۰ درجه از طرفین شی مورد نظر را به انجام رساند.

دقت‌های بهتر برای تصاویر با همگرایی کم بوده و مقدار آن در حدود ۰/۲ الی ۰/۵ پیکسل و برای تصاویری که شرایط پیچیده تصویربرداری در آنها رخ داده باشد از جمله تغییر مقیاس کلی یا محلی، وجود عوارض و الگوهای تکراری، همگرایی زیاد و نیز شرایط نامناسب نوری خطاهایی در حدود ۲ الی ۳ پیکسل داشته است. همان‌طور که در قسمت قبل نیز ملاحظه گردید روش تناظریابی پیشنهادی در مواجهه با بروز مشکلات مختلف مذکور به صورت توأم نسبت به حالتی که یک یا تعداد اندکی از آنها بروز نمایند دچار کاهش دقت می‌شود.

در نتیجه پیشنهاد می‌گردد برای رفع معایب روش فوق در کارهای تحقیقی آینده از قیود دیگری نظیر آماره‌های مختلف جهت افزایش منابع اطلاعاتی و استفاده از روش‌هایی که به دوران حساسیت کمتری داشته باشند، بهره گرفته شود.

آزمایش ۵: بررسی اثر دوران حول محور عمود بر سطح شی مورد تصویربرداری

برای آزمون چنین آزمایشی از شکل (۱۰) که نشان دهنده توانایی این روش در مواجهه با بروز دوران های مختلف به صورت همگرا و نیز حول محور عمود بر سطح عارضه است استفاده شود.

شایان ذکر است علاوه بر دوران های مذکور مساله وجود عوارض و الگوهای تکراری نیز به صورت توأم در آن در نظر گرفته شده است.

نتایج نشان داد که بروز همزمان دوران‌های مختلف و نیز وجود عوارض تکراری از تعداد نقاط متناظر می‌کاهد. در مقایسه با نتایج تصاویر شکل (۹) تعداد تناظرهای صحیح از ۴۲ تناظر صحیح به ۱۵ تناظر صحیح در شکل (۱۰) کاهش یافت. پس از برازش مدل ترانسفورماسیون دو بعدی پروژکتیو ملاحظه گردید خطای تناظریابی در این حالت در حدود ۲ پیکسل بوده است.

ارزیابی آزمایش‌ها

برای ارزیابی روش تناظریابی توسعه یافته ناحیه ای و عارضه مبنای جدید از مدل های ترانسفورماسیون دوبعدی آفاین و پروژکتیو استفاده شد. تقریباً نیمی از نقاط به عنوان نقاط کنترل و بقیه نقاط به عنوان نقاط چک در نظر گرفته شدند. همچنین جهت بررسی درستی نتایج و نیز یافتن اشتباه تناظریابی احتمالی از معادله شرط هم صفحه ای نیز استفاده شد.

پس از بررسی نتایج حاصله از برازش مدل های ترانسفورماسیون دو بعدی و سپس چک کردن نتایج با معادله شرط هم صفحه ای، نتایج حاکی از آن است که در بهترین حالت با همگرایی ۳۰ درجه و ۳۵ درجه به ترتیب خطای تناظریابی در حدود ۰/۲ پیکسل و ۰/۵ پیکسل برای مدل‌های ترانسفورماسیون پروژکتیو و آفاین می‌باشد. برای تصاویر با همگرایی ۶۰ درجه، خطای تناظریابی در حدود ۲ پیکسل و ۳ پیکسل برای مدل های ترانسفورماسیون پروژکتیو و آفاین است.

مراجع

- 1 - Zhou, Ji. (2002). "A robust algorithm for feature point matching." *Computers & Graphics*, Vol. 26, PP. 429-436.
- 2 - Russ, J. C. (1999). *The Image Processing Handbook*, CRC Press LLC.

- 3 - Hahn, M. and Brenner, C. (1995). "Color image matching." *Proc. SPIE*, Vol. 2, PP. 92-101.
- 4 - Kianejad, S. A. (2005). *Evaluation and analysis of matching methods of non-metric images in close range photogrammetry and development of an improved method*, M.Sc. thesis, Department of Geodesy and Geomatic Engineering, K.N.Toosi University of Technology, Tehran, Iran.
- 5 - Kuzu. (2002). "Photorealistic object reconstruction Using color image matching." *ISPRS Commission V, Close Range Vision Techniques*, corfu, Greece.
- 6 - Pateraki, M. (2000). "Matching methods for automatic DTM generation." *Swiss Federal Institute of Technology ETH-Hoenggerberg*, Switzerland.
- 7 - Goshtasby, A. (2005). *2D and 3D Image Registration*, John Wiley & Sons, Inc.
- 8 - Schenk, T. (2000). *Digital Photogrammetry*, Laurelville, Ohio, TerraScience.
- 9 - Van der Merwe, N. and Ruther, H. (1996). "An image matching scheme using a hybrid feature and area based approach." *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. XXXI, Part B3, Vienna.
- 10 - Trajkovic, M. and Hedley, M. (1998). "Fast corner detection." *Image and Vision Computing*, Vol. 16, No. 2, PP. 75-87.
- 11 - Wincent, E. and Laganier, R. (2004). "Detecting and matching feature points." *Journal of Visual Communication & Image Representation*, Vol. XXX.
- 12 - Gonzalez, R. C. and Woods, R. E. (2007). *Digital Image Processing*, ADDITION-WESELY.
- 13 - Guo, Z., Wanshou, J. and Deren, L. (2001). "A new algorithm of automatic relative orientation." *22nd Asian Conference on Remote Sensing*, 5-9, Singapore.
- 14 - Wolf, P. R. (2000). *Elements of Photogrammetry with applications in GIS*, 3rd ed. McGraw-Hill Companies.
- 15 - Mustaffar, M. and Mitchell, H. L. (2001). "Improving area-based matching by using surface gradients in the pixel coordinate transformation." *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 56, PP. 42-52.
- 16 - Wang, Y. (1998). "Principles and applications of structural image matching." *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 53, PP. 154-165.

واژه های انگلیسی به ترتیب استفاده در متن

- | | |
|------------------------------------|-------------------------------|
| 1 - Area-based | 2 - Feature-based |
| 3 - Relational | 4 - Area-based Image Matching |
| 5 - Feature Based Image Matching | 6 - Relational Matching |
| 7 - Occlusion | 8 - Corner points |
| 9 - Corner Response Function (CRF) | 10 - Correspondence Matrix |
| 11 - Image Pyramid | 12 - Color Constraint |
| 13 - Vector Matcher | 14 - Order Constraint |