

تأثير نقاط الضبط على الطريقة المباشرة لتصحيح التشوهات الهندسية في الصور القريبة

الدكتور عمر محمد الخليل*

(تاريخ الإيداع 15 / 4 / 2015. قُبل للنشر في 12 / 8 / 2015)

□ ملخص □

تنشأ التشوهات الهندسية في الصور القريبة من عدة مصادر وهي تؤثر على كامل الصورة بشكل مشترك. وهذه التشوهات تؤثر على النوعية الهندسية للبيانات المكانية المقطعة من الصورة ولذلك لا بد من تصحيحها قبل ذلك بعملية تسمى تقويم الصورة.

يتوفر أسلوبان لتقويم الصور القريبة وهما الأسلوب غير المباشر والأسلوب المباشر Non-parametric approach وهو لا يتطلب معرفة معاملات آلة التصوير المستخدمة. تعتبر نقاط الضبط Control points والتحويلات الهندسية مكونين أساسيين في الأسلوب المباشر للتقويم.

عادة ما تتواجد تشوهات التكور Barrel والمنظورية Perspective في الصور القريبة. في هذا البحث سنقوم بدراسة تأثير نمط توزيع نقاط الضبط ودرجة التحويل الهندسي على تصحيح الصورة من هذه التشوهات. تم إجراء الاختبار باستخدام صورة قريبة لواجهة أثرية مع تعريضها للتشوهات السابقة بالمحاكاة. الهدف هو التحري عن تأثير توزيعات نقاط الضبط وعن فعالية التحويلات العامة (الخطية) والمحلية (اللاخطية) المستخدمة في تقويم الصور القريبة. لقد تمت البرهنة على أن نقاط الضبط المتواجدة في مناطق مختلفة من الصورة تملك نسب تشوه مختلفة وأن نقاط الضبط الموزعة في مركز الصورة تعاني تشوهاً أقل وأن التحويلات المحلية تعطي نتائج أفضل عند تقويم الصور ذات التشوهات المعقدة.

الكلمات المفتاحية: التشوهات الهندسية، نقاط الضبط، التحويل الهندسي، تقويم.

* أستاذ مساعد - قسم الهندسة الطبوغرافية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية

Effect of control points on the non-parametric method for geometric deformations correction in close range images

Dr. Omar Mohammed AL Khalil *

(Received 15 / 4 / 2015. Accepted 12 / 8 / 2015)

□ ABSTRACT □

There are many sources that cause the emergence of geometric deformations in close range images. These deformations are accumulated and not present singly in the image. Therefore, it is necessary to rectify (correct) the image before extracting geometric or semantic data from it.

Two methods are available to rectify the close range images. These ones are the parametric and the non-parametric methods. Non-parametric approach does not require knowledge of the parameters of the used camera. Control points and geometric transformations are considered as the two main components in the non-parametric approach.

Usually, barrel and perspective deformations are present in close range images. In this paper, we will study the impact of the distribution of control points and the degree of geometric transformation on the correction of the image of these deformations. The test was performed using a close range image of a historical façade. This image was exposed to previous deformations by simulation. The goal is to investigate the effect of the distribution of control points and on the effectiveness of global (linear) and local transformations used to rectify the close range images. It has been demonstrated that the control points located in different parts of the image have different deformation rates, the control points distributed in the center of the image suffers less deformations, and local transformations give the best results when rectifying images with complex deformations.

Key words :Geometric deformations, Control points, Geometric transformation, Rectification.

* Associate Professor, Department of Topographic Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

مقدمة

تعتبر الصور القريبة Close range images الملتقطة بآلات تصوير لامترية Non-metric cameras (مثل آلات التصوير الرقمية Digital cameras) مصدراً مهماً للحصول على المعطيات المكانية Spatial Data ثنائية وثلاثية الأبعاد اللازمة لأغراض نمذجة العناصر والتعبير عنها ببعدين أو بثلاثة أبعاد. فمن أجل الحصول على معطيات ثلاثية الأبعاد، لا بد من استخدام مزدوجات تجسيمية Stereoscopic أو حزمة مقاربية من الصور. أما المعطيات ثنائية الأبعاد فيمكن الحصول عليها من صورة واحدة.

تعاني الصور من تشوهات هندسية Geometric deformations متعددة المصادر، وهي تتراكم داخل هذه الصور ولا تظهر بمفردها وبالتالي فهي تؤثر على النوعية الهندسية للصورة ككل. وهذا يعني أنه يجب قبل استخدام هذه الصور في الحصول على معطيات مكانية تخص العنصر المصور، المرور بمرحلة تقويم Rectification للصور، وهي عملية تهدف بشكل رئيسي لتوصيف العلاقة الهندسية بين المشهد المصور والمشهد الحقيقي والتخلص، قدر الإمكان، من التشوهات التي تؤثر على دقة المعطيات الهندسية المقطعة من هذه الصور.

تعتبر التشوهات الهندسية من الأخطاء التي تظهر في كل المرئيات المستشعرة عن بعد ومنها الصور القريبة. وأسباب ظهور هذه التشوهات في الصور القريبة متعددة، منها تزيغات Aberrations عدسات آلة التصوير، الإزاحة الناتجة عن الميلان والانزياحات الناتجة عن اختلاف المناسيب داخل الصورة. لقد تم إنجاز العديد من الأبحاث حول التشوهات الهندسية التي تخص الصور الجوية وليس القريبة. فمثلاً تم في (J. R. Jensen., 2005) تقديم تحليل للتأثيرات الإفرادي لعدة أنواع من التشوهات الهندسية على صورة جوية ما. كما تم في (L. Zhao., et al.2009) البحث في تأثيرات تشوهات الصورة التي يسببها ميلان آلة التصوير وذلك في حالة آلة تصوير جوية رقمية متعددة المقاسات Multi-format. وهنا قام الباحثون بحساب نسبة التغير في عينة مسافة أرضية مشتقة خلال الدراسة استناداً إلى ميل آلة تصوير واحدة في اتجاه واحد بقيمة 15، 18 و 20 درجة.

فيما يخص عملية تقويم الصور، فهناك أسلوبان أساسيان لإنجاز هذا التقويم وتصحيح التشوهات الهندسية في الصور. وهذان الأسلوبان هما الأسلوب غير المباشر Parametric approach والأسلوب المباشر Non-parametric approach. في الأسلوب غير المباشر يجب معرفة مصادر التشوهات في الصورة كما تتطلب نمذجة هذه التشوهات معرفة معاملات التوجيه الخارجي Exterior orientation، والتوجيه الداخلي Interior orientation لآلة التصوير المستخدمة وهو أمر غير متاح دائماً (S. Xiangyang, L et al., 2010). أما فيما يخص الأسلوب المباشر، فإنه لا يتطلب معرفة الآليات التي تسبب التشوهات (D. T. Pai., 2010) كما لا يتطلب معرفة معاملات توجيه آلة التصوير. وبمعنى آخر، يعتبر الأسلوب المباشر مستقلاً عن آلة التصوير المستخدمة في التقاط الصورة. وأكثر من ذلك، يمكننا بتطبيق هذا الأسلوب التخلص من التشوهات التي تسببها التغيرات في توجيه آلة التصوير (F. Eltohamy and E. H. Hamza., 2009).

تجب الإشارة إلى أنه تتوفر عدة نماذج رياضية Mathematical Models في الأسلوب المباشر من أجل القيام بتقويم الصور (Valadan Zoej M. J., 1997). هذه النماذج هي عبارة عن كثيرات حدود Polynomials تطبق لربط إحداثيات الصورة مع إحداثيات محددة في المشهد. هذا ويعتمد اختيارنا التقليدي لتطبيق كثير حدود ما على معيار دقته الهندسية والتي تتبع لمايلي: (F. Eltohamy and E. H. Hamza., 2009).

عدد نقاط الضبط Control points المتوفرة.

ختمت توزيع نقاط الضبط في المشهد.

فوعية التشوهات الهندسية الموجودة في الصورة.

وبشكل عام، يمكن القول أن توفر عدد كاف من نقاط الضبط مع توزع جيد لها، سيضمن دقة هندسية لحساب العلاقة بين الصورة والمشهد (L, Hung Liew., et al., 2013) وذلك لأنه سيؤمن التخلص من معظم التشوهات الهندسية في الصورة.

من المؤكد أن تشوهات مثل الانزياحات الناتجة عن انكسار الضوء في الغلاف الجوي أو تلك الناتجة عن انحناء الأرض لا تظهر في الصور القريبة. من جهة أخرى، ستكون التشوهات الناتجة عن ميلان محور التصوير (المنظورية) والناتجة عن تزيغات العدسة (التكور Barrel) حاضرة وبقوة في هذه الصور.

سنقوم في هذه الدراسة بتعميم بعض الطرائق المقترحة في دراسة التشوهات الهندسية في الصور الجوية على حالة الصور القريبة. نذكر من هذه الطرائق تلك المطورة في (F. Eltohamy and E. H. Hamza., 2009) وفي (L, Hung Liew., et al. 2012) وفي (L, Hung Liew., et al. 2013). حيث قام الباحثون بدراسة تأثير كل نوع من أنواع التشوهات الهندسية (كل على حدا) ومن ثم درسوا تأثير كل التأثيرات مجتمعة على دقة التقويم الهندسي المطبق وذلك بتغيير أنماط توزيع نقاط الضبط وعددها ودرجة التحويل المستخدم. والنقاط الجديدة التي يناقشها بحثنا بالنسبة لهذه الأبحاث هي :

1. الصور المدروسة هي صور أرضية وليست صوراً جوية أو مرئيات فضائية Satellite images. وهنا يكون الحضور الأقوى لتشوهات ناتجة عن تزيغات العدسات وعن ميلان الصورة (المنظورية الأفقية والمنظورية الشاقولية)، في حين تظهر في الصور الجوية تشوهات أخرى.
2. الأبحاث تقوم على محاكاة Simulation صور جوية في حين يقوم بحثنا على استخدام صور حقيقية ملتقطة بآلة تصوير رقمية غير معايرة Non-calibrated camera.
3. نتائج الأبحاث السابقة موجهة للعاملين المختصين في مجال المساحة التصويرية والمهتمين بصناعة الخرائط الرقمية ذات المقاييس الكبيرة، أما نتائج بحثنا فيمكن للعاملين في العديد من المجالات الاستفادة منها. من هذه المجالات نذكر التوثيق المعماري، حساب الكميات، تاريخ الفن... الخ. إن هؤلاء غير مختصين في المساحة التصويرية ويتعاملون مع آلات تصوير رقمية قليلة التكاليف وغير معايرة ويطمحون في نفس الوقت إلى الحصول على بيانات هندسية دقيقة ما أمكن من الصور الملتقطة بهذه الآلات. وضمن هذا السياق، قد تشكل نتائج هذا البحث دليل عمل لهؤلاء.

سنقوم في هذا البحث باختبار معيار الدقة الهندسية لتقويم صورة قريبة (تعاني من عدة أشكال من التشوهات الهندسية) والتي يؤمنها تحويل هندسي من درجة متعددة. سيتم إنجاز العمل عبر مقارنة نتائج استخدام عدة أنماط لتوزيع نقاط الضبط ولعدد هذه النقاط ودراسة تأثيرها على فعالية هذا التحويل في التخلص من التشوهات. تم القيام بالاختبار على صورة قريبة لواجهة أثرية في مدينة بصرى الشام (واجهة جامع مبرك الناقبة) ملتقطة بواسطة آلة تصوير رقمية لامترية. حيث قمنا أولاً بقياس شبكة كثيفة من نقاط الضبط الموزعة بشكل منتظم ما أمكن على صورة. لقد تم بناء هذه الشبكة اعتماداً على أبعاد العنصر وضمن نظام إحداثيات محلي. إن الهدف هنا هو دراسة تأثير عدة أنماط لتوزيع نقاط الضبط على النوعية الهندسية للتحويل الهندسي المطبق. إضافة إلى تمكيننا من تجريب أكبر عدد ممكن من التحويلات نظراً لوجود عدد كبير من نقاط الضبط. تم لاحقاً تطبيق محاكاة للتشوهات

الهندسية على هذه الصورة بالاستعانة بالبرنامج Photoshop ومن ثم دراسة فعالية التحويلات في التخلص من هذه التشوهات.

عملية التجريب ستم بمساعدة أحد واجهات تقويم الصور والمتوفرة في العديد من برامج التصميم بمعونة الحاسب أو في برامج نظم المعلومات الجغرافية .

أهمية البحث وأهدافه

تشكل الصور الملتقطة بآلات تصوير لا مترية (آلات التصوير الرقمية) مصدراً أساسياً للمعطيات المكانية في الكثير من التطبيقات مثل حساب الكميات، الرفع المعماري والتوثيق ثنائي البعد للواجهات. وبما تقويم هذه الصور هو خطوة أساسية قبل البدء بأي عملية اقتطاع للمعطيات المكانية منها، فإنه من المهم تطبيق أفضل أسلوب تقويم ممكن وذلك للحصول على أعلى مستوى من الدقة لهذه المعطيات. ومن هنا تظهر أهمية البحث فهو يسعى إلى :

1. تقويم الصور الملتقطة بواسطة آلات تصوير ذات نموذج هندسي Geometric model غير معروف.
2. الربط بين دقة التقويم وقدرته على التخلص من التشوهات الهندسية.
3. اختبار التحويلات الهندسية المتوفرة في حزم برمجية تجارية (مثل ArcGIS و Raster Design) و المستخدمة من قبل غير المختصين في المساحة التصويرية Photogrammetry. إن هذا البحث سيرفد هؤلاء بمنهجية وبتوصيات للاستفادة من الصور كمصدر للبيانات المكانية الدقيقة في أعمالهم الهندسية المختلفة.
4. تعميم المنهجية المطبقة في حساب التصحيحات الهندسية Geometric corrections في الصور الجوية والمرئيات الفضائية على الصور القريبة آخذين بعين الاعتبار خصوصية الصور القريبة والتشوهات التي تعاني منها.

طرائق البحث ومواده

تتوفر حالياً آلات تصوير رقمية قليلة التكاليف وذات دقة تمييز هندسي Geometric resolution جيدة. وهذا يشجعنا على استخدامها في النقاط الصور التي تستخدم لاحقاً في اقتطاع معطيات هندسية دقيقة ثنائية البعد حول العنصر المصور. ونظراً لكون النموذج الهندسي لآلات التصوير هذه غير معروف (آلات غير معايرة أي أن معاملات توجيهها الخارجي والداخلي مجهولة) فإنه لا بد من استخدام أسلوب مباشر في تقويمها. من ناحية أخرى، تتوفر مجموعة من البرامج التجارية التي تملك أدوات فعالة للتعامل مع الصور منها إمكانية تقويم الصور بتطبيق الأسلوب المباشر . يقوم هذا البحث على فكرة استخدام آلة تصوير رقمية Digital camera غير معايرة في النقاط صورة لواجهة ومن ثم استخدام مجموعة من نقاط الضبط المحددة حقلياً على الصورة والتي تعرف شبكة كثيفة من نقاط الضبط (تم الحصول على نقاط الضبط باستخدام أجهزة مساحية تقليدية (محطة الرفع المتكاملة Total station)). إن هذه الشبكة تؤمن فائضاً في عدد وأنماط توزع نقاط الضبط مما يمكننا من تطبيق عدة أشكال ودرجات من التحويلات كثيرة الحدود (أسلوب مباشر) بالاستعانة ببرنامج نظم معلومات جغرافي تجاري (البرنامج ArcGIS 9.3).

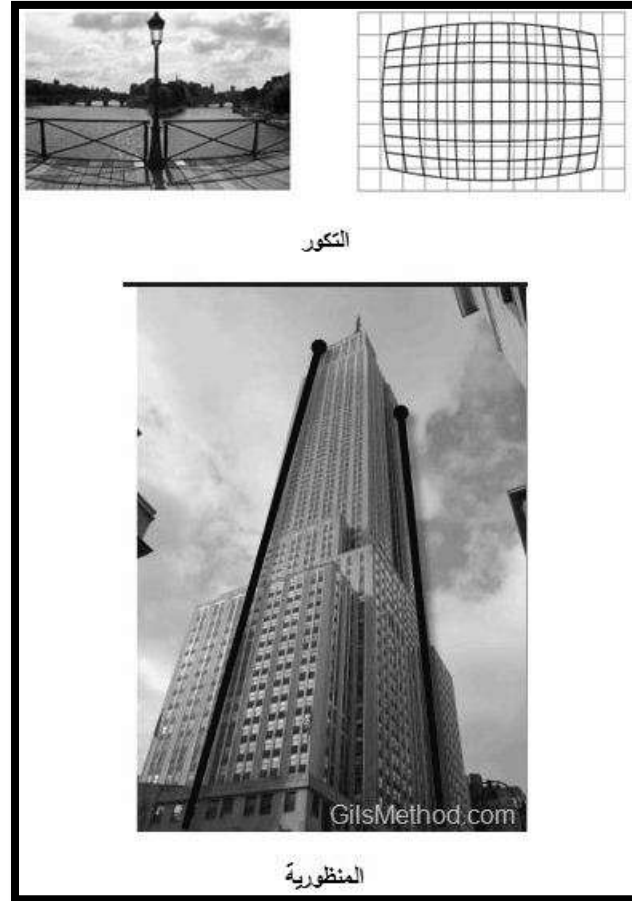
سنقوم بعد ذلك بمقارنة التأثيرات التي تسببها التغيرات في عدد نقاط الضبط وتوزعها النسبي في الصورة على الدقة الهندسية التي تعطيها التحويلات كثيرة الحدود وعلى قدرتها على التخلص من التشوهات الهندسية الحاضرة في الصورة. هذه التشوهات تمت محاكاتها وتطبيقها على الصورة بالاستعانة بالبرنامج التجاري Photoshop. سندرس

تأثير كل تشوه على حدا ثم سنقوم بمحاكاة صورة تحوي كل التشوهات السابقة وتقويمها وذلك لدراسة تأثير كل هذه التشوهات مجتمعةً.

سنقوم باعتماد معيار الخطأ متوسط التربيع RMS للتقويم كمعيار عددي للمقارنة. سيتم حساب هذا الخطأ لكل نمط من أنماط توزيع نقاط الضبط وتأثيرها على كل تشوه لوحده ومن ثم على التشوهات مجتمعةً.

التشوهات الهندسية

تعاني الصور القريبة الملتقطة بآلات تصوير غير معايرة من تشوهات هندسية متعددة. في الشكل التالي (الشكل 1)، نوضح تأثير أهم هذه التشوهات على الصورة وهما التكور Barrel والمنظورية Perspective. يعتبر التكور واحداً من أهم التشوهات الهندسية في الصور القريبة وهو يسبب نوعاً من الانحناء في مرتسمات الخطوط المستقيمة في الصورة وتزداد قيمته بالابتعاد عن المحور البصري Optical axis لعدسة آلة التصوير. ينتج هذا النوع من التشوهات عن تزيغات العدسة المستخدمة في آلة التصوير. أما تشوه المنظورية فهو يولد صورة تميل فيها الخطوط المستقيمة الأفقية أو الشاقولية في الصورة للتلاقي. هذا النوع من التشوهات ينتج عن ميل آلة التصوير.



الشكل (1). أشكال من تشوهات الصور القريبة.

في واقع الأمر، لا يظهر كل من هذه التشوهات بمفرده، بل تتراكم التشوهات في الصور القريبة الخام وتسبب تشوهات في علاقة الصورة مع المشهد الحقيقي المصور، وبالتالي فهي تؤثر على الدقة الهندسية للبيانات المكانية التي تقتطع من هذه الصورة.

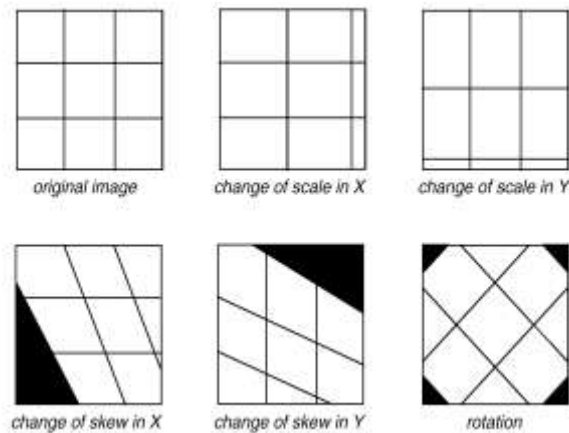
نماذج كثيرات الحدود Polynomial models

بما أننا سنستخدم في هذا البحث التحويلات المباشرة في تقويم الصور (التحويلات كثيرة الحدود)، فإننا نجد أنه من المفيد إعطاء فكرة سريعة عن هذه التحويلات. في الواقع، يتم استخدام النماذج كثيرة الحدود في حساب التحويل بين إحداثيات الصورة وإحداثيات العنصر. واعتماداً على التشوه في الصورة، وعدد نقاط الضبط الأرضية المستخدمة، ومواقعها النسبية بين بعضها البعض، يمكن أن نحتاج معادلات كثير حدود معقدة للتعبير عن التحويل المطلوب. إن التحويل من الدرجة الأولى هو تحويل خطي. ويمكن للتحويل الخطي أن يُغيّر الموقع Location في X و/أو Y ، المقياس Scale في كل من X و/أو Y ، الانزياح Skew في X و/أو Y والدوران Rotation (المعادلات (1) والشكل (2)). يستخدم هذا النوع من التحويلات (تحويلات عامة) من أجل العناصر ذات الطبيعة المستوية أي التي يمكن التعبير عن سطحها باستخدام معادلة مستو وذلك لتصحيح التشوهات الخطية. أما التحويلات من الدرجة الثانية أو الأعلى من الثانية، فهي تحويلات غير خطية (تحويلات محلية) تعبر عن إسقاط السطوح غير المستوية على مستو الصورة وتستطيع تصحيح التشوهات غير الخطية للسطح المصور. وتستخدم التحويلات من الدرجة الثالثة مع الصور الجوية المشوهة ومع الصور الرادارية. كما يمكن استخدام التحويلات من الدرجة الرابعة على الصور الجوية المشوهة جداً (المعادلات (2) والشكل (3)). لمعادلات التحويلات الخطية الشكل التالي :

$$X_0 = b_1 + b_2 x_i + b_3 y_i \quad (1)$$

$$Y_0 = a_1 + a_2 x_i + a_3 y_i$$

حيث : x_i و y_i هما إحداثيات الصورة، X_0 و Y_0 هما الإحداثيات في العنصر و $a_1, a_2, a_3, b_1, b_2, b_3$ هي معاملات مصفوفة التحويل والتي توصف إسقاط العنصر المصور على مستوي الصورة. لبعض هذه المعاملات معنى فيزيائي (انسحاب، دوران، تغيير مقياس،...الخ) و لبعضها الآخر معنى جبري فقط. في الشكل (2) نلاحظ تأثير المعاملات الفيزيائية على الصورة الأصلية.

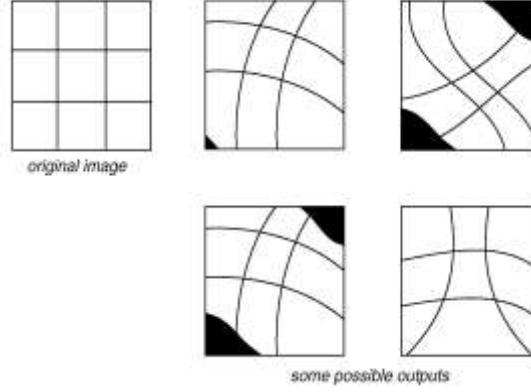


الشكل (2). التحويلات الخطية وتأثيرها على الصورة.

أما معادلات كثيرات الحدود لتحويل من الدرجة t ، فإنها تأخذ الشكل التالي:

$$x_0 = A + B_x + C_y + Dx^2 + Exy + Fy^2 + \dots + Qx^i y^j + \dots + \Omega y^t \quad (2)$$

حيث: $Q, \dots, \Omega, A, B, C, D, E, F, \dots$ هي معاملات، t هي درجة كثير الحدود و i و j هما الأسس Exponents. هذا وتأخذ المعادلة لـ Y_0 نفس الصيغة مع معاملات مختلفة .



الشكل (3). التحويلات غير الخطية وتأثيرها على الصورة.

النتائج والمناقشة

1- زرع شبكة كثيفة من نقاط الضبط

تتوفر لدينا صورة لواجهة أثرية ملتقطة بآلة تصوير رقمية لا متريّة من النوع Kodak 8 Mp كما تتوفر مجموعة من نقاط الضبط Control points (77 نقطة ضبط) وهي نقاط تم تحديد إحداثياتها في حيز العنصر في جملة محلية وذلك بطريقة مساحية تقليدية (محطة رفع متكاملة). عند زرع هذه النقاط، أخذنا بعين الاعتبار أبعاد العنصر المصور (أبعاده التقريبية $18 \text{ m} \times 16 \text{ m}$) والنوعية الهندسية لهذا العنصر بحيث حرصنا على أن تغطي كل الواجهة بطريقة موحدة قدر الإمكان (الشكل (4)). إن الهدف هنا هو تأمين فائض كبير جداً من نقاط الضبط يمكننا من تطبيق أنماط مختلفة من توزع هذه النقاط ومن كمياتها المستخدمة في حساب معاملات التحويل الهندسي كثير الحدود. بالنسبة لهندسية العنصر المصور فهي مستوية عموماً مع وجود بعض العناصر النائثة (الأعمدة التي على أطراف العنصر والقوس الحجري في وسط الواجهة وبعض الأحجار النائثة نتيجة تخرب الواجهة).







الشكل (4). شبكة من نقاط الضبط على الصورة.

2- محاكاة التشوهات الهندسية في الصورة

تمت محاكاة أشهر التشوهات التي تعاني منها الصور الأرضية الملتقطة بألة تصوير غير معايرة عبر

الاستعانة بالبرنامج Photoshop. هذه التشوهات هي (الشكل 5) :

1. تشوه التكوير والذي يحاكي التشوهات الناتجة عن تزيغات العدسة.
2. تشوه المنظورية الأفقية Horizontal perspective والذي يحاكي ميلان الصورة في المستوي الأفقي.
3. تشوه المنظورية الشاقولية Vertical perspective والذي يحاكي ميلان الصورة في المستوي الشاقولي.
4. التشوه الكلي : وهنا تم توليد صورة من تجميع الصور السابقة بحيث تعاني من كل التشوهات مجتمعةً.

| | |
|--|--|
| <p>محاكاة تشوه التكوير في الصورة</p> |  |
| <p>محاكاة تشوه المنظورية الشاقولية في الصورة</p> |  |
| <p>محاكاة تشوه المنظورية الأفقية في الصورة</p> |  |
| <p>محاكاة لكل التشوهات السابقة في الصورة</p> |  |

الشكل (5). محاكاة التشوهات الهندسية في الصورة.

3- أنماط توزيع نقاط الضبط

سنقوم باعتماد الأنماط التالية من توزع نقاط الضبط :

1. التوزع الموحد Uniform distribution : سنحرص هنا على اختيار مواقع نقاط الضبط المستخدمة في التقويم بحيث تكون موزعة بشكل موحد على كامل العنصر المصور.
 2. التوزع الطرفي Border distribution : سنعتمد على نقاط ضبط واقعة على أطراف الصورة فقط.
 3. التوزع المركزي Central distribution : سنعتمد على نقاط ضبط واقعة في مركز الصورة.
- سنبين في كل الحالات السابقة، تأثير هذا التوزع على قيمة الخطأ متوسط التربيع RMS للتقويم وعلى تصحيح التشوهات الموجودة في الصورة المقومة، وذلك بتطبيق كثيرات حدود من الدرجات الأولى والثانية والثالثة.

أولاً : حالة التوزع الموحد

تم تقويم الصورة باستخدام 33 نقطة من نقاط الضبط والموزعة على كامل الصورة فحصلنا على النتائج التالية :

الجدول (3). درجة التحويل الهندسي وأنواع التشوهات الخطأ المتوسط التربيع للتقويم باستخدام التوزع الموحد و 33 نقطة ضبط

| التحويل الهندسي | | | التشوه | التوزيع |
|-----------------------|------------------------|------------------------|-----------------|---------|
| درجة أولى RMS (cm) | درجة ثانية RMS (cm) | درجة ثالثة RMS (cm) | | |
| 10.7 | 10.7 | 2.98 | تكوير | موحد |
| 28.6 | 5.4 | 5.01 | منظورية شاقولية | |
| 18.7 | 0.96 | 0.87 | منظورية أفقية | |
| 36.01 | 12.9 | 5.98 | كلي | |

ثانياً : حالة التوزع الطرفي

تم تقويم الصورة باستخدام 23 نقطة من نقاط الضبط والموزعة على أطراف الصورة فقط فحصلنا على النتائج

التالية :

الجدول (4). درجة التحويل الهندسي، التشوهات والخطأ المتوسط التربيع للتقويم باستخدام التوزع الطرفي و 23 نقطة ضبط

| التحويل الهندسي | | | التشوه | التوزيع |
|-----------------------|------------------------|------------------------|-----------------|---------|
| درجة أولى RMS (cm) | درجة ثانية RMS (cm) | درجة ثالثة RMS (cm) | | |
| 6.4 | 5.8 | 2.01 | تكوير | طرفي |
| 33.7 | 7.6 | 6.7 | منظورية شاقولية | |
| 24.1 | 0.79 | 0.63 | منظورية أفقية | |
| 42.31 | 8.45 | 7.15 | كلي | |

ثانياً : حالة التوزع المركزي

تم تقويم الصورة باستخدام 25 نقطة من نقاط الضبط والموزعة على أطراف الصورة فقط فحصلنا على النتائج

التالية :

الجدول (5). درجة التحويل الهندسي، التشوهات والخطأ المتوسط التربيع للتقويم باستخدام التوزيع المركزي و 25 نقطة ضبط

| التحويل الهندسي | | | التشوه | التوزيع |
|-----------------------|------------------------|------------------------|-----------------|---------|
| درجة أولى RMS (cm) | درجة ثانية RMS (cm) | درجة ثالثة RMS (cm) | | |
| 0.4 | 2.77 | 3 | تكوير | مركزي |
| 0.4 | 0.4 | 11.6 | منظورية شاقولية | |
| 0.92 | 1.02 | 7.4 | منظورية أفقية | |
| 1.34 | 3.22 | 14.75 | كلي | |

تحليل النتائج

أولاً : فيما يخص نمط توزيع نقاط الضبط

من بين الأنماط الثلاثة للتوزيع نلاحظ أن التوزيع المركزي هو الوحيد الذي يعطي القيم الأقل للأخطاء المتوسطة التربيع RMS وذلك فيما يخص التشوهات الإفرادية والتشوه الكلي (الجداول 3,4,5 والشكل 6). كما نلاحظ أن قيم هذه الأخطاء صغيرة مقارنةً بمقابلاتها والتي حصلنا عليها من تطبيق التوزيعين الموحد والطرفي. يمكننا تبرير هذه النتائج بكون مرسمات نقاط الضبط الواقعة في مركز الصورة تتعرض لأقل كمية من التشوهات مقارنة بتلك التي تعاني منها النقاط الطرفية. فنحن نعلم أن التشوهات الناتجة عن تزيغات العدسة في نقطة ما من الصورة، تتناسب طردياً مع بعد هذه النقطة عن مركز الصورة. وبما أن تشوهات نقاط الضبط المركزية قليلة، فإن هذا سينعكس على نتائج التحويل التي يستخدمها كمدخلات (أي على قيمة الخطأ المتوسط التربيع لهذا التحويل). يمكننا أن نختم بأن قيمة الخطأ المتوسط التربيع في حالة التوزيع المركزي تعبر فقط عن المنطقة المركزية من الصورة (عند نقاط الضبط وفي الجوار القريب منها) ولكن في حال ابتعدنا عن المركز، فإن قيمة هذا الخطأ لن تكون واقعية أبداً.

من ناحية أخرى، نلاحظ أن قيم الأخطاء المتوسطة التربيع في حالة التوزيع الطرفي لنقاط الضبط (الجدول 3,4,5 والشكل 6) هي أكبر عموماً من تلك الخاصة بالتوزيع الموحد. إن هذا مبرر بكون مرسمات نقاط الضبط الطرفية تحمل الكمية الأكبر من التشوهات الهندسية، وهذا ما يؤثر على دقة التحويل الهندسي المطبق.

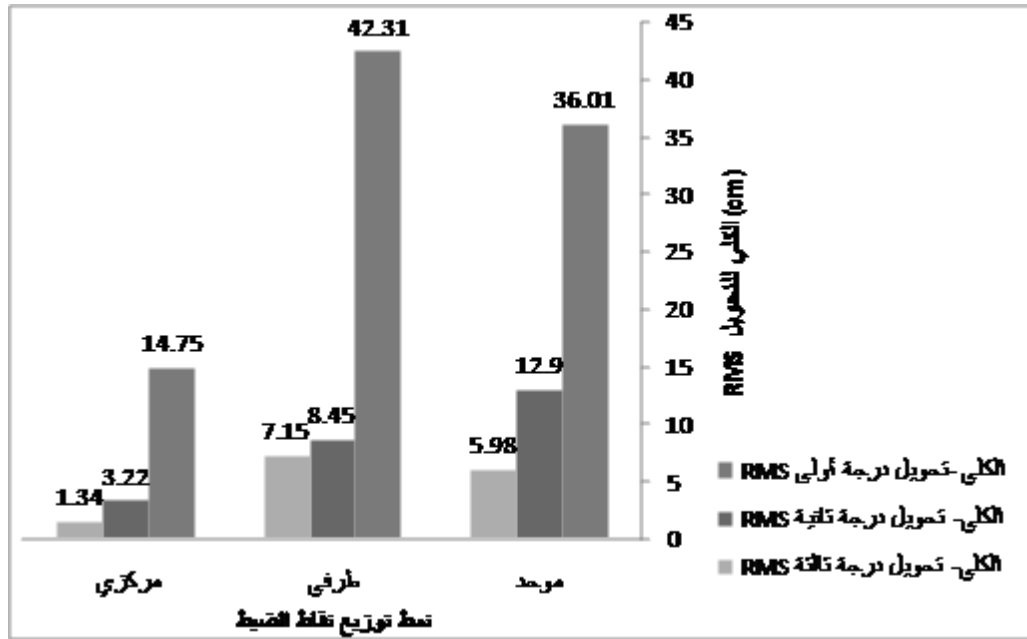
أما فيما يخص الأخطاء المتوسطة التربيع في النمط الموحد للتوزيع (الجداول 3,4,5 والشكل 6) فإننا نلاحظ أنه يمثل حالة وسطية بين الحالتين السابقتين (التوزع المركزي والتوزع الطرفي). يمكن تفسير ذلك بحصول شكل من أشكال التوزيع المتجانس، لتأثير التشوهات الهندسية الموجودة في مرسمات نقاط الضبط على نتائج التحويل الهندسي المطبق.

ثانياً : فيما يخص درجة التحويل الهندسي

بالنسبة للأخطاء متوسطة التربيع كتابع لدرجة كثير الحدود، نلاحظ مايلي :

1. الخطأ المتوسط التربيع الخاص بالتحويل من الدرجة الأولى في كل أنماط التوزيع هو الأكبر (الجدول 3,4,5 والشكل 6) وذلك لأن هذا التحويل لا ينجح تماماً إلا في حالة المشاهد المستوية وفي حال غياب التشوهات المحلية في نقاط الضبط.

2. الخطأ المتوسط التربيع الخاص بالتحويل من الدرجة الثانية في كل أنماط التوزيع مقبول كقيمة وسطية بين التحويل من الدرجة الأولى والثالثة. كما أنه يمكن من التخلص من معظم التشوهات الهندسية المحلية. ولكننا نشير إلى أنه أقل فعالية من التحويل من الدرجة الثالثة في إزالة تشوه المنظورية الشاقولية (الجدول 3,4,5).
3. الخطأ المتوسط التربيع الخاص بالتحويل من الدرجة الثالثة في كل أنماط التوزيع هو الأصغر (الجدول 3,4,5 والشكل 6) ولكن تمثيله لهندسية العنصر قد تكون غير مقبولة من الناحية الصورية (يولد تشوهات في الصورة. الشكل 7) في حالات التوزيع الطرفي والمركزي.



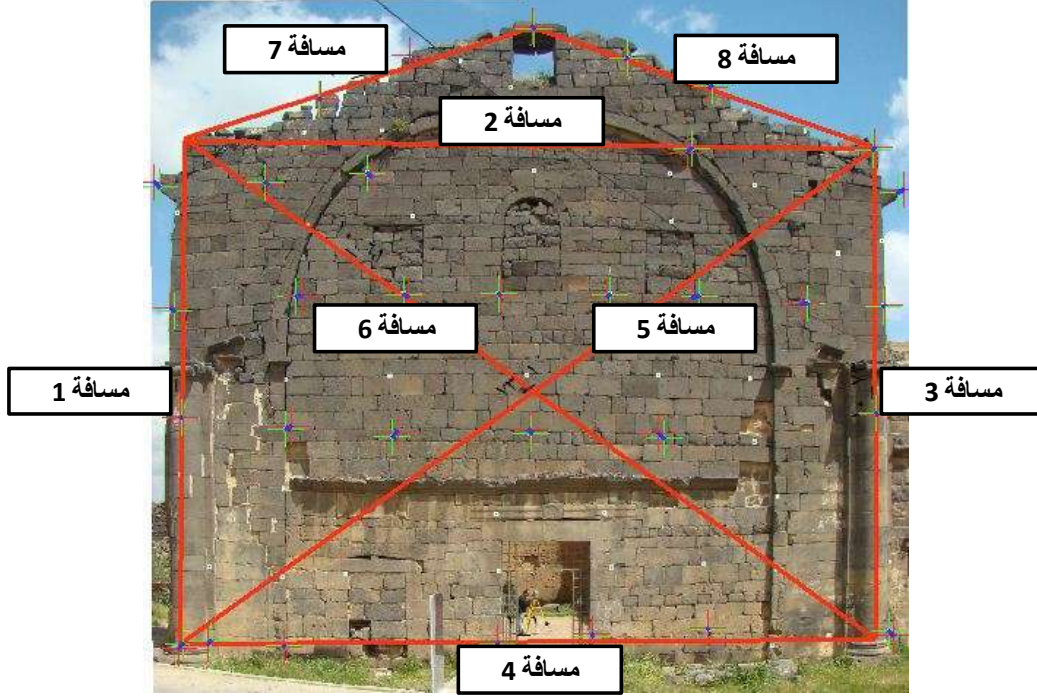
الشكل (6). علاقة الخطأ المتوسط التربيع الكلي للتحويل مع أنماط توزيع نقاط الضبط ودرجات التحويل.



الشكل (7). تشوه الصورة عند تطبيق التحويل من الدرجة الثالثة والنمط الطرفي لتوزيع نقاط الضبط.

5- التحقق من خلال المسافات

للتحقق الإضافي من النتائج التي توصلنا إليها سابقاً، قمنا باستخدام مجموعة من مسافات الاختبار Check distances على الواجهة. لقد تم اختيار هذه المسافات بحيث تعبر عن هندسية العنصر المصور ما أمكن (الشكل 8).



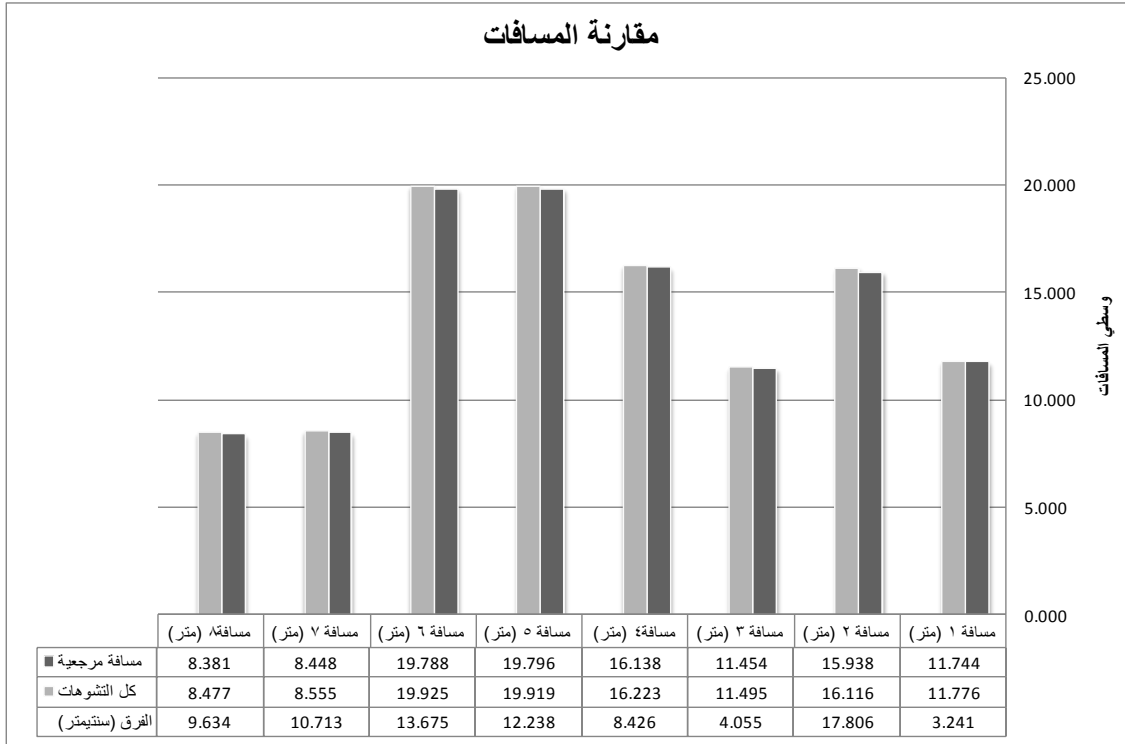
الشكل (8). مسافات الاختبار.

تم في البداية حساب المسافات المرجعية (التي ستستخدم للمقارنة) انطلاقاً من إحداثيات النقاط، و من ثم تم قياس المسافات على الصور المقومة و التي تعاني من كل التشوهات. لقد قمنا باعتماد مقارنة وسطي المسافات المقاسة بعد تطبيق كل أنماط توزع نقاط الضبط، مع المسافة المرجعية المقابلة. النتائج موضحة في الشكل 8 و الشكل 9، نلاحظ من هذين الشكلين مايلي :

(1) المسافة 2، المسافة 5 و المسافة 6 هي المسافات التي تعاني أكبر قيم من التشوهات، و هذا مبرر بأن هذه المسافات كبيرة نسبياً كما أنها تربط بين نقاط بعيدة عن مركز الصورة (تعاني تشوهات أكبر)، إضافة لكون بعض هذه النقاط بعيد عن المستوي المتوسط للصورة (نقاط واقعة على الأعمدة و على حجارة ناتئة نتيجة تخرب بعض أجزاء الواجهة).

(2) قيم التشوهات في المسافتين 1 و 3 هي تقريباً من نفس الفئة، و هذا منطقي و ذلك لأنها تربط بين نقاط تقع تقريباً في نفس المستوي.

(3) قيم التشوهات في المسافتين 7 و 8 هي تقريباً من نفس الفئة، و هذا منطقي و ذلك لأنها تربط بين نقاط تقع تقريباً في نفس المستوي، كما أنها قيم كبيرة نسبياً و ذلك لأنها تربط نقاطاً بعيدة عن مركز الصورة.



الشكل (9). مقارنة المسافات المرجعية مع المسافات المقاسة على الصورة التي تحوي كل التشوهات.

الاستنتاجات والتوصيات

بالاستناد إلى الدراسة النظرية حول تقييم تأثير توزيع نقاط الضبط في فعالية التحويلات الهندسية في تصحيح تشوهات الصور القريبة والتطبيق العملي لهذه الدراسة، نستنتج مايلي :

1. الأسلوب المباشر للتقويم والتخلص من التشوهات الهندسية في الصور القريبة هو أفضل الحلول في حال عدم توفر أية معلومات حول النموذج الهندسي لآلة التصوير المستخدمة في النقاط هذه الصور.
2. تعتبر نقاط الضبط عنصراً هاماً في الأسلوب المباشر في تقويم الصور القريبة الملتقطة باستخدام آلات التصوير غير المعاييرة. ولذلك فإنه يجب تحديد إحداثياتها بدقة وتأمين وجود فائض في عدد نقاط الضبط هذه.
3. يجب اختيار نمط توزيع نقاط الضبط المستخدمة في التقويم كتابع للتشوهات الهندسية الموجودة في الصورة. يعتبر التوزيع الموحد لنقاط الضبط أفضل الأنماط، وذلك من حيث قدرته على تصحيح التشوه الكلي للصورة القريبة بطريقة فعالة.
4. يمكن استخدام التحويلات الخطية (الكلية) في حال عدم وجود تشوهات محلية في الصورة.
5. إن فعالية التحويل الهندسي المستخدم في التقويم والتخلص من التشوهات الهندسية تحددها عدة عوامل أهمها: عدد نقاط الضبط ونمط توزيعها ونوع التشوهات الهندسية الموجودة في الصورة. لقد وجدنا من خلال دراستنا أن التحويل الهندسي من الدرجة الثانية الموافق للتوزع الموحد لنقاط الضبط، هو أفضل الخيارات في حال وجود تشوهات محلية في الصورة.

المراجع

1. J. R. Jensen, Chapter 7.,2005. *Geometric Correction, Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2005.
2. D. T. Pai., 2010. *Auto rectification for robotic helicopter aerial imaging*. Thesis Master of Science in Computer Science, San Diego State University, 2010.
3. S. Xiangyang, L. Conggui and S. Yizhen., 2010. *Comparison and analysis research on geometric correction of remote sensing images*, In Proceedings of the International Conference on Image Analysis and Signal Processing (IASP), 9 - 11 April 2010, pp. 169 - 175.
4. F. Eltohamy and E. H. Hamza., 2009. *Effect of ground control points location and distribution on geometric correction accuracy of remote sensing satellite images*, In Proceedings of the 13th International Conference on Aerospace Sciences & Aviation Technology (ASAT – 13), 26 – 28 May 2009.
5. Valadan Zoej M. J., 1997, *Mathematical Modeling and Geometric Accuracy Testing of MOMS-O2 Imagery*, IRAN.
6. L, Hung Liew., B.Y, Lee., Y.C, Wang., W, Cheah., 2013. *Aerial Images Rectification Using Non-parametric Approach*. In Journal of Convergence. Volume 4, Number 2., 15-21 June 2013.
7. L. Zhao, X. Cheng and Z. Wu.,2009. *Study on image distortion caused by camera incline in multi-format aerial digital camera*. In Proceedings of the 1st International Conference on Information Science and Engineering (ICISE), 26 - 28 Dec 2009, pp. 1452 – 1455.
8. L, Hung Liew., Y.C, Wang., W, Cheah., 2012. *Evaluation of Control Points' Distribution on Distortions and Geometric Transformations for Aerial Images Rectification*. In Procedia Engineering 41 (2012) 1002 – 1008. 2012.