

ترميم (تصحيح) الصور الرقمية Digital Image Restoration

(١، ٤) مقدمة

إن البيانات الأولية (الخام) للمستشعرات لا تمثل بشكل دقيق الأهداف الأرضية التي تم تصويرها، وذلك لأن هذه البيانات تتعرض لبعض التشويه أثناء عملية المسح والتحويل إلى بيانات رقمية.

وهناك عوامل عديدة تؤدي إلى هذا التشويه مثل تأثير الغلاف الجوي على الطاقة التي يتحسسها المستشعر، وحركة الجهاز المستشعر أثناء المسح، وحركة المركبة الحاملة سواء أكانت طائرة أم قمر صناعي، ودوران الأرض وكرويتها. ينتج من كل هذه العوامل تشويه إشعاعي (radiometric distortion) وتشويه هندسي (geometric distortion) وتشويش منتظم وعشوائي (systematic and random noise) في البيانات التي يسجلها جهاز الاستشعار. ولذلك فإن القيم الرقمية لوحداث الصورة الرقمية لا تمثل تماماً الطاقة التي عكسها الهدف الأرضي المقابل، كما وأن الموقع المكاني للهدف الأرضي على الصورة الرقمية لا يرتبط بصورة دقيقة مع موقعه على الأرض. ويتطلب الأمر إجراء عمليات تصحيحية للبيانات الأولية، يطلق عليها ترميم البيانات (data restoration) أو المعالجة الأولية للبيانات (preprocessing)

بمعنى أن هذه البيانات المستقبلية من جهاز الاستشعار يتم تصحيحها أو معالجتها قبل الشروع في المعالجة التي تؤدي إلى تحسين البيانات واستخلاص المعلومات منها. ومع أن إجراءات التصحيح لبيانات آلة التصوير الثابتة (Solid State Camera, SSC) ذات المصفوفات الخطية ولبينات الماسح متعدد الأطياف MSS تختلف عن تلك التي تطبق على بيانات مستشعر القمر لاندسات والقمر الفرنسي سبوت لكننا لن نقوم بشرح تفصيلي لكل العمليات التصحيحية التي تناسب كل مستشعر على حدة، بل سنعتمد عناوين عامة يمكن إتباعها وتعديلها لتناسب المستشعر المعين. هذه العناوين ستشمل التصحيح الهندسي والتصحيح الإشعاعي وإزالة أو تهذيب التشويش.

(٤،٢) التصحيح الهندسي Geometric Correction

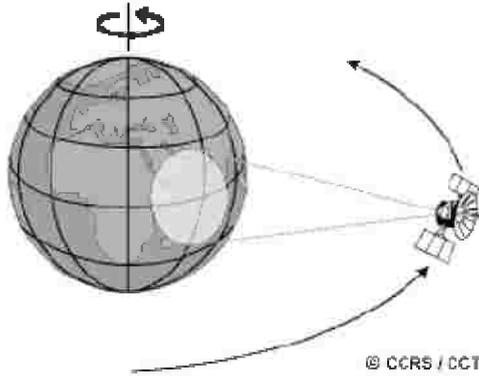
تحتوي بيانات الصورة الرقمية الخام عادة على تشوهات هندسية كبيرة بحيث لا يمكن عمل قياسات مساحية دقيقة عليها. ومصادر هذه التشوهات الهندسية من ناحية عامة هي:

- (أ) تغير ارتفاع منصة حامل جهاز الاستشعار وتغير توجيهها ومرعتها (change in platform height, orientation and speed).
 - (ب) انحناء أو كروية سطح الأرض، (earth curvature).
 - (ج) انكسار الأشعة خلال مرورها من طبقات الغلاف الجوي (atmospheric refraction).
 - (د) دوران الأرض أثناء عملية المسح (earth rotation).
 - (هـ) تغير التضاريس (relief variation).
 - (و) تشوهات ناتجة من جهاز الاستشعار (instrumental errors).
- والغاية من عملية التصحيح الهندسي هي تصحيح موقع عنصر الصورة ومن ثم وضع الهدف الأرضي في موقعه الهندسي الصحيح في الصورة.

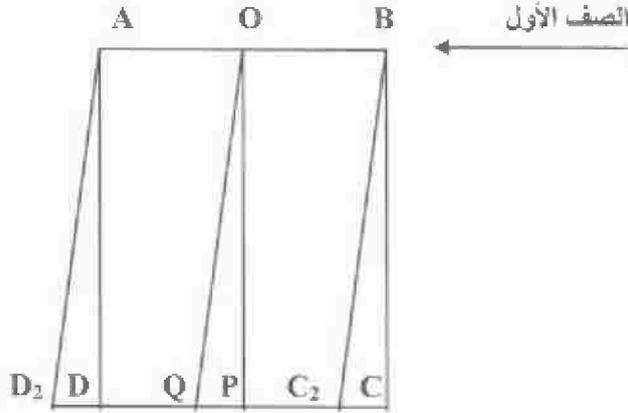
ويمكن تقسيم الأخطاء الهندسية الناتجة إلى أخطاء منتظمة وأخطاء عشوائية [9]-[14],[16],[22].

(١، ٢، ٤) الأخطاء الهندسية المنتظمة

تعرف التشوهات الهندسية المنتظمة من أسبابها أو مصادرها التي ذكرناها من قبل. وبعد معرفة مصدر الخطأ يتم تصميم نموذج رياضي لمعالجته. ومن أكثر مصادر الأخطاء الهندسية المنتظمة تأثيراً على بيانات مستشعرات الأقمار الصناعية دوران الأرض أثناء الحصول على الصورة. إن دوران الأرض في اتجاه الشرق (الشكل رقم ١، ٤) يجعل جهاز المسح يعطي في كل مسحة خطية مساحة من الأرض تقع إلى الغرب قليلاً من المسحة السابقة لها. وهذا التشوه الهندسي الناتج يطلق عليه تشوه الانحراف (skew distortion)، وعملية إزالة هذا الانحراف (de skewing) من بيانات الصورة الرقمية تتطلب إزاحة كل خط أو صف من صفوف المسح المتتالية نحو الغرب بمقدار مساو للإزاحة التي حصلت له نتيجة دوران الأرض، وينتج من ذلك شكل متوازي الأضلاع كما في الشكل رقم (١، ٤ ب).



الشكل رقم (١، ٤). دوران الأرض أثناء النقاط الصورة [11].



الشكل رقم (١، ٤ب). تشوه الانحراف الناتج من دوران الأرض.

إذا بدأ المستشعر بمسح الخط AB يكون حينئذ وضع الخط الثاني في الموقع CD ويتحرك حامل المستشعر حتى يصل موقع مسح الخط CD ففي هذا الوقت تكون الكرة الأرضية قد تحركت نحو الشرق وينتج عن ذلك مسح الخط C_2D_2 بدلا عن الخط CD ويكون مسار الحامل هو المسار OQ بدلا عن المسار OP.

إن سرعة دوران الأرض الخطية V_E تتناسب مع خط العرض (L) الذي يمر عليه القمر الصناعي بالعلاقة التالية:

$$V_E = R \cos(L) \omega_E$$

حيث:

R = نصف قطر الكرة الأرضية (6378137 متراً بالتقريب)،

ω_E = السرعة الزاوية للكرة الأرضية التي تدور دائرة كاملة (360° أو 2π راديان) في

23 ساعة و 56 دقيقة و 4 ثوان (86164 ثانية). وهذه السرعة الزاوية ω_E تساوي

$2\pi/86164$ راديان في الثانية = 0.7292×10^{-4} راديان في الثانية.

فبالنسبة للقمر لاندسات الذي يدور حول الأرض دورة كاملة في 6196 ثانية فإن سرعته الزاوية هي:

$$0.101407 \times 10^{-2} = 2\pi/6196 = \omega_s \text{ راديان/ ثانية}$$

وعليه فإن الزمن الذي يستغرقه القمر لاندسات لمسح الصورة الرقمية (عرض 185 كم) هو:

$$28.6 = 185000/(R \omega_s) = t$$

في هذه الفترة الزمنية تكون الكرة الأرضية قد قطعت مسافة $V_E t = V_E 28.6$ في اتجاه الشرق.

وإذا اعتبرنا خط العرض $L = 51^\circ$ فإن سرعة الكرة الأرضية تكون:

$$292.7 = 6378137 \times \cos(51^\circ) \times 0.7292 \times 10^{-4} = V_E \text{ متر/ ثانية}$$

وتكون النقطة على سطح الأرض قد تحركت مسافة قدرها $28.6 \times 292.7 = 8371$ متراً في اتجاه الشرق.

وبما أن مستوى مدار القمر لاندسات ينحرف عن خط الطول بزاوية تساوي 14.54° عند خط العرض 51° فإن المسافة الصحيحة التي تكون قد قطعتها الكرة الأرضية في اتجاه الشرق هي:

$$8103 = 8371 \cos(14.54^\circ) \text{ متراً.}$$

ولتصحيح الصورة الرقمية نستخدم مصفوفة الدوران M:

$$M = \begin{bmatrix} 1 & k \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

حيث: $0.0719 \cos(L)/\cos(\theta) = \omega_E \cos(L) / \omega_S \cos(\theta) = k$

وعند خط العرض $L = 51^\circ$ تكون قيمة $k = 0.0465$ وتصبح مصفوفة الدوران هي:

$$M = \begin{bmatrix} 1 & 0.0465 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

وإذا كان المتجه X يمثل إحداثيات نقطة الصورة المشوهة، فإن المتجه X' الذي يمثل إحداثيات النقطة بعد التصحيح لتأثير دوران الأرض يعطى من العلاقة:

$$X' = M X$$

(٤, ٢, ٢) الأخطاء الهندسية العشوائية

إن التغير في ارتفاع الحامل وتوجيهه وتغيرات التضاريس وغيرها من العوامل يمكن أن تؤدي إلى تشوهات هندسية عشوائية في بيانات الصورة. ولتصحيح التشوهات الهندسية لا بد من وجود نقط تحكم أرضية (ground control points) يمكن التعرف عليها في الصورة وفي الطبيعة أو في الخريطة المساحية. ثم يتم وضع نموذج لتحويل وحدات الصورة الرقمية إلى الموقع الصحيح باستخدام مواقع نقاط التحكم. ويمكن استخدام دالة متعددة الحدود (معادلة 4.1 و 4.2) لتحويل مواقع عناصر الصورة الرقمية المشوهة إلى مواقع مصححة. وترتبط هذه الدالة بين إحداثيات عنصر الصورة في البيانات الخام المشوهة هندسياً (x, y) وإحداثياته في الصورة المصححة هندسياً (x_0, y_0) بواسطة ثوابت يمكن حسابها باستخدام نقاط التحكم.

$$x_0 = a_1 + a_2 x + a_3 y + a_4 x y + a_5 x^2 \quad (1.4)$$

$$y_0 = b_1 + b_2 x + b_3 y + b_4 x y + b_5 x^2 \quad (2.4)$$

وبما أن عدد الثوابت في المعادلتين رقمي (4.1) و (4.2) هو عشرة a_1, \dots, a_5

و b_1, \dots, b_5 فإننا نحتاج إلى خمسة نقاط تحكم على الأقل لإيجاد قيم الثوابت العشرة. إذ

أن كل نقطة تحكم تم قياس إحداثياتها على الصورة المشوهة ومعروف إحداثياتها من الصورة المصححة أو من الخريطة تعطي معادلتين في x و y . ومن الأفضل أن تكون نقاط التحكم موزعة في الصورة وتمثل ظواهر يمكن التعرف عليها بدقة على الصورة مثل تقاطع الطرق الرئيسية. ولحساب قيم الثوابت تكتب المعادلتين رقمي (4.1 و 4.2) في شكل مصفوفات على النحو التالي:

$$X_0 = A d$$

حيث إن المصفوفة X_0 تضم قيم إحداثيات نقاط التحكم (وعدها i , $i \geq 5$) على الصورة المصححة:

$$X_0 = [x_1 y_1 x_2 y_2 \dots x_i y_i]^T$$

و المصفوفة A هي:

$$\begin{bmatrix} 1 & x_i & y_i & x_i y_i & x_i^2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & x_i & y_i & x_i y_i & x_i^2 \end{bmatrix}$$

والمتجه d يحوي قيم الثوابت المجهولة:

$$[a_1 \ a_2 \ a_3 \ a_4 \ a_5 \ b_1 \ b_2 \ b_3 \ b_4 \ b_5]^T$$

فإذا كان عدد نقاط التحكم $i = 5$ فالحل يكون كالتالي:

$$d = A^{-1} X_0$$

وإذا زاد عدد نقاط التحكم على خمسة نقاط فيمكن استخدام طريقة المربعات الصغرى والتي تعطي الحل التالي:

$$d = (A^T A)^{-1} A^T X_0$$

وبعد حساب قيم الثوابت يمكن تصحيح كل عناصر الصورة المشوهة بتعويض قيم الثوابت في المعادلتين رقمي (4.1 و 4.2).

(٤,٣) إعادة الأعداد الرقمية لعناصر الصورة المصححة Resampling

بعد عملية تحويل إحداثيات عناصر الصورة من الوضع الخام المشوه هندسياً إلى الإحداثيات الجديدة المصححة يتطلب الأمر إعادة الأعداد الرقمية كل إلى عنصر الصورة التي كان عليها قبل التصحيح. وهناك طرق مختلفة لإعادة الأعداد الرقمية إلى عناصر الصورة بعد التصحيح الهندسي نذكر منها:

(٤,٣,١) طريقة الجار الأقرب Nearest Neighbour

في هذه الطريقة يتم اختيار العدد الرقمي لأقرب عنصر صورة ويسجل لعنصر الصورة المطلوب إعادة عدده الرقمي. ويمكن التعبير عن هذه الطريقة بالنموذج الرياضي (4.3):

$$I(x,y) = I(u,v) \quad (4.3)$$

حيث إن (x,y) هي إحداثيات عنصر الصورة الخام، و (u,v) إحداثيات عنصر الصورة نفسها في الصورة المصححة هندسياً، وتمثل الدالة "I" العدد الرقمي. هذه الطريقة بسيطة جداً وتجنبنا تغيير الأعداد الرقمية من الصورة الخام. ومن عيوب هذه الطريقة أنها ربما تنتج صورة متقطعة البيانات وذلك لأن مصفوفة الخرج (بيانات الصورة الناتجة) يمكن أن تتزاح مكانياً.

(٤,٣,٢) طريقة استنباط الخط المزدوج Bilinear Interpolation

في هذه الطريقة نحسب متوسط الأعداد الرقمية لعناصر الصورة الأربعة المجاورة لعنصر الصورة التي نحن بصدد إعادة عددها الرقمي. وتمثل هذه الطريقة بالنموذج الرياضي التالي:

$$I(x,y) = a_1I(u,v+1) + a_2I(u,v) + a_3I(u+1,v+1) + a_4I(u+1,v) \quad (4.4)$$

ينتج من هذه الطريقة صورة ذات مظهر أفضل من ناتج الطريقة السابقة.

(٤,٣,٣) طريقة الطي التكميبي Cubic Convolution

أما في هذه الطريقة فيتم استخدام ستة عشر عنصر صورة محيطة بعنصر الصورة الذي يراد إعادة تسجيله. وتعطي هذه الطريقة صورة أكثر وضوحاً من سابقتها. ويمكن تمثيل هذه الطريقة بالنموذج الرياضي التالي:

$$I(x,y) = \sum a_{m,n} I(u+m, v+n) \quad (4.5)$$

حيث إن $-1 < m,n < 2$

(٤,٤) التصحيح الإشعاعي Radiometric Correction

هنالك عوامل أخرى تتسبب في تشويه الصورة الرقمية من خلال تأثيرها على الطاقة الإشعاعية التي تصل إلى جهاز الاستشعار معكوسة من الهدف الأرضي. ومن هذه العوامل نتحدث عن تأثير الغلاف الجوي وتأثير تغير الإضاءة بسبب موقع الشمس بالنسبة للأرض.

(٤,٤,١) تصحيح تأثير الغلاف الجوي Atmospheric Correction

يتسبب الغلاف الجوي في تقليل الطاقة الشمسية التي ترد إلى الهدف الأرضي كما وأنه يقوم بدور عاكس للطاقة فيتسبب في إضافة أشعة مبعثرة (scattered radiation) إلى الطاقة التي تصل جهاز الاستشعار أثناء المسح ويطلق عليه شعاع المسار المبعثر أو الشعاع الدخيل. ويمكن التعبير عن الإشارة المركبة التي تلاحظ في موقع وحدة الصورة بالمعادلة التالية:

$$R_T = (\rho * I * T) / \pi + R_p \quad (4.6)$$

حيث إن:

R_T = كمية الأشعة الكلية التي تصل جهاز الاستشعار

ρ = معامل انعكاسية الهدف

I = كمية الأشعة الواردة من الهدف الأرضي

$$T = \text{نفاذية الغلاف الجوي}$$

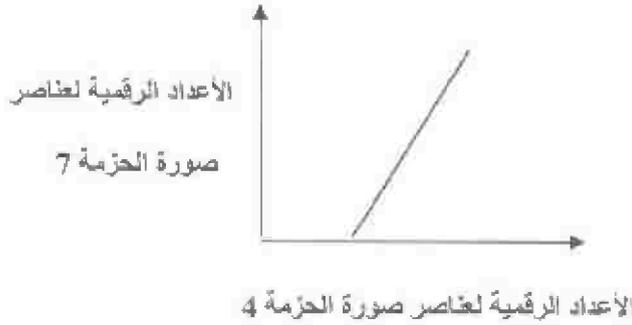
$$R_p = \text{كمية الأشعة الدخيلة (من الغلاف الجوي)}$$

وتعتمد كل هذه القيم على طول الموجة الكهرومغناطيسية. ويلاحظ أن الحد الأول من المعادلة الذي يمثل انعكاسية الأشعة من الهدف الأرضي هو المعلوم أما الحد الثاني الذي يمثل شعاع المسار المتبعثر فهو الحد المجهول. ويتسبب الأخير في ضبابية في الصورة تضعف بنيتها ويؤدي إلى تباين ضوئي منخفض، ويعتمد هذا التبثر على طول الموجة، فكلما قصر طول الموجة ازداد التبثر وبالتالي ازدادت ضبابية الصورة. وعلى سبيل المثال فإن الحزمة 4 طول الموجات (0.5 - 0.6 um) للماسح متعدد الأطياف MSS تتأثر تأثيراً كبيراً بتبعثر الأشعة الناتج من الغلاف الجوي، وذلك بعكس الحزمة 7 التي تشمل الموجات (0.8 - 1.1 um) فيكون التأثير عليها أقل. وهناك طريقتان لتصحيح هذا التأثير، تعتمد كل منهما على وجود جسم مائي أو ظل في المنطقة المصورة؛ وذلك لأن الجسم المائي أو الظل يمثل بالعدد الرقمي 0 أو 1 في وحدة الصورة التي تمثله فإذا كان العدد الرقمي لوحدة الصورة التي تمثل الجسم المائي أكبر من ذلك فذلك يدل على وجود تأثير للأشعة المبعثرة الدخيلة. وفي حالة التصحيح لصور الماسح متعدد الأطياف تستخدم الحزمة 7 كمرجع للحزم الأخرى.

الطريقة الأولى

نقوم بتوقيع قيم الأعداد الرقمية لعناصر الصورة من الحزمة 7 مقابل القيم الرقمية لعناصر الصورة المقابلة لها من الحزمة 4 (الشكل رقم ٤،٢)، ثم نقوم برسم أقرب خط مستقيم يمثل هذه العلاقة. إذا لم يكن هنالك تأثير لتشتت أو تبعثر الأشعة فإن الخط المستقيم يمر بنقطة الأصل، ولكن نتيجة تأثير تبعثر الأشعة فإن الخط المستقيم ينزاح من نقطة الأصل على طول المحور الذي يمثل الأعداد الرقمية التي تمثل الحزمة 4. ويتم التصحيح بطرح قيمة الإزاحة التي حدثت من قيمة العدد الرقمي

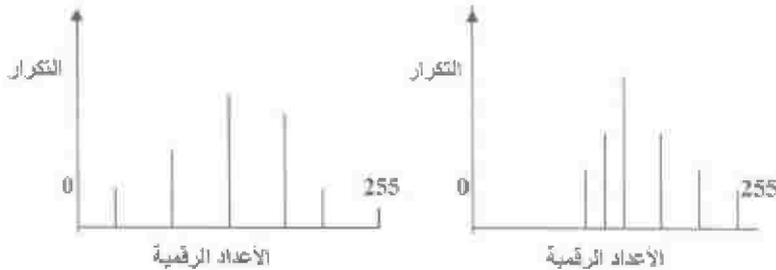
لكل وحدة صورة من الحزمة 4. هذه الطريقة يتم تطبيقها على كل من الحزمة 5 والحزمة 6 مع الحزمة 7 لتصحيح الأعداد الرقمية فيها.



الشكل رقم (٤,٢). تأثير تبعثر الأشعة على صورة الحزمة 4.

الطريقة الثانية

في هذه الطريقة نقوم برسم المدرج التكراري لكل حزم النظام الماسح متعدد الأطياف ونبدأ بالحزمة 7 ثم تتم المقارنة بين المدرج التكراري للحزمة 7 مع المدرج التكراري لكل حزمة مستخدمة (مثلاً الحزمة 4)، يبين ذلك الشكل رقم (٤,٣).



المدرج التكراري للحزمة 7.

المدرج التكراري للحزمة 4.

الشكل رقم (٤,٣). المدرج التكراري للحزمة 4 وللحزمة 7.

بما أن أقل عدد رقمي في المدرج التكراري للحزمة 7 هو 0 ويمثل الظل أو الجسم المائي فإن أقل عدد رقمي نقرؤه من المدرج التكراري للحزمة 4 لا بد من أن يمثل هذا العدد الرقمي الجسم المائي أو الظل ويجب أن تصحح بالتالي الأعداد الرقمية لكل عناصر صورة الحزمة 4 بطرح هذا المقدار الذي هو أدنى رقم عددي في الحزمة 4 قبل التصحيح.

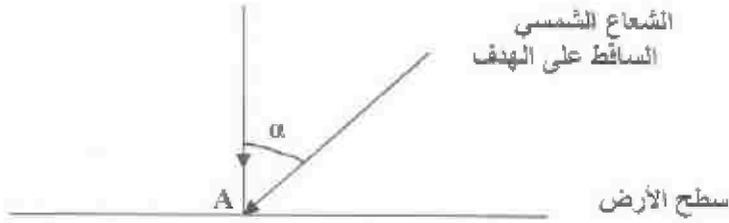
(٤,٤,٢) تصحيح تأثير تغير زاوية سقوط الأشعة الشمسية

إن الصور الرقمية التي يتم التقاطها في أوقات مختلفة من السنة تكون أحوال الإضاءة فيها مختلفة بسبب تغير زاوية سقوط الأشعة الشمسية، إذ إن زاوية سقوط الشمس على الأرض من المستوى الأفقي تكون أكبر في فصل الشتاء.

إن أحد أهم تطبيقات الاستشعار عن بعد هو دراسة التغير الذي يحدث في منطقة ما من وقت لآخر. ومن المعلوم أنه يحدث تغير للخصائص الطيفية في الصور الرقمية التي يتم التقاطها في أوقات مختلفة لهدف معين حتى ولو لم يطرأ أي تغير في الخصائص الطيفية للهدف نفسه؛ وذلك بسبب تغير زاوية سقوط الشمس على الهدف وقت التصوير. وعليه فإن دراسة التغير الذي يحدث في منطقة ما بواسطة هذه التقنية يستوجب إزالة تأثير التغير الذي يحدث بفعل تغير زاوية سقوط أشعة الشمس. إن إحدى الطرق المستخدمة لذلك هي اعتماد الزاوية 90 درجة لتكون زاوية سقوط شعاع الشمس لكل الصورة الرقمية بغض النظر عن فصل السنة الذي التقطت فيه الصورة وبالتالي يتم تحويل العدد الرقمي لكل عنصر صورة (DN_0) إلى عدد رقمي جديد (DN_n) يكون هو العدد الرقمي في حالة ما إذا كانت زاوية سقوط الشمس 90 درجة، وتتحصل عليه من المعادلة:

$$DN_n = DN_0 / \cos \alpha \quad (4.7)$$

حيث إن α هي زاوية سقوط الشعاع الشمسي بالنسبة للخط الرأسى الذي يمر بالهدف المصور (الشكل رقم ٤,٤).



الشكل رقم (٤,٤). زاوية سقوط الشمس على الهدف A .

(٤,٤,٣) تصحيح تأثير بعد الشمس من الهدف الأرضي على كمية الأشعة الواردة تتغير كمية الأشعة الشمسية الواردة إلى الهدف الأرضي بتغير أوقات السنة. فمن المعلوم أن الشمس تكون أقرب إلى الأرض في الثالث من شهر يناير حيث تكون المسافة بينهما = 146.4 مليون كيلومتر، وتكون المسافة أبعد ما تكون في الرابع من شهر يوليو (151.2 مليون كيلومتر). وكما ذكرنا من قبل فإن كمية الطاقة المنعكسة من الهدف الأرضي تتناسب مع كمية الطاقة الشمسية الواردة إليه. وعليه فإن الهدف تحت التصوير والذي لم تتغير خصائصه الطيفية يعكس أشعة شمسية في شهر يناير أعلى مما يعكس في شهر يوليو، إذا نظرنا فقط لتأثير بعد الشمس من الأرض [3].

مثال (٤,١)

إذا كانت الأعداد الرقمية لثلاثة عناصر من صورة رقمية التقطت في شهر يوليو هي 200, 100, 50. وإذا لم تتغير الخصائص الطيفية للأهداف الثلاثة فكم تكون الأعداد الرقمية لعناصر صورة تمثل هذه الأهداف في صورة رقمية التقطت في شهر يناير؟

الحل

إن اختلاف توقيت التصوير يتسبب في اختلاف كمية الأشعة الواردة للهدف وبالتالي يتغير العدد الرقمي لوحدة الصورة. ويطلق على معامل اختلاف كمية الأشعة (تغير العدد الرقمي) قانون "المعامل التربيعي". ومن الجدير بالذكر أن كمية الأشعة الواردة للهدف وبالتالي التي يعكسها الهدف في شهر يناير تزيد على كمية الأشعة التي يعكسها الهدف نفسه في شهر يوليو بمعامل $= (151.2/146.4)^2$. ويوضح الحل في الجدول أدناه:

العدد الرقمي في شهر يوليو	العدد الرقمي في شهر يناير
50	$50x(151.2/146.4)^2 = 53$
100	$100x(151.2/146.4)^2 = 107$
200	$200x(151.2/146.4)^2 = 213$

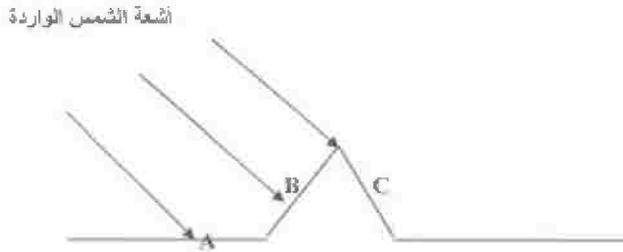
ويلاحظ أن الزيادة المطلقة في العدد الرقمي تكون أكبر في وحدة الصورة ذات العدد الرقمي الأكبر مع أن معامل الضرب التربيعي ثابت.

(٤, ٤, ٤) تأثير تضاريس الأرض على كمية الأشعة الواردة للهدف

تختلف كمية الأشعة الشمسية الواردة للهدف الأرضي بحسب وضعه التضاريسي. فالهدف الذي يكون على وضع مستوي تصله أشعة شمسية أكبر من التي تصل لهدف يكون على وضع مائل.

يبين الشكل رقم (٤, ٥) ثلاث أهداف أرضية A, B, C على أوضاع تضاريسية مختلفة. إذا افترضنا أن الأهداف الثلاثة لها نفس الخصائص الطيفية فإتباعاً ستعكس كميات أشعة مختلفة بسبب استقبالها لكميات أشعة مختلفة نتيجة أوضاعها التضاريسية المختلفة. فالهدف A وهو في وضع مستوي يستقبل أشعة شمسية أقل من الهدف B الذي

يكون على وضع مائل ومتعامد لشعاع الشمس. أما الهدف C وهو أيضاً في وضع مائل ولكنه في اتجاه معاكس لاتجاه شعاع الشمس ولذلك هو لا يستقبل أشعة شمسية ولا يعكسها فيظهر في الصورة الرقمية بعدد رقمي 0 الذي يمثل لوناً أسوداً في الصورة المرئية.



الشكل رقم (٤,٥). تأثير ميل الهدف الأرضي على كمية الأشعة الواردة.

وقد وضعت نماذج رياضية لتصحيح تأثير تغير التضاريس الأرضية على كمية الأشعة التي يستقبلها الهدف الأرضي يتم فيها حساب أعداد رقمية جديدة لوحداث الصورة باعتبار أن كل الأهداف الأرضية التي تظهر في الصورة تستقبل كميات أشعة متساوية وكأنها على مستوى واحد، المستوى الأفقي على سبيل المثال.

(٤,٥) إزالة التشويش Noise Removal

يعرف التشويش بأنه الاضطراب أو التشوه الذي يحدث في الصورة الرقمية إما بسبب قصور في جهاز الاستشعار مثل الانزياح الدوري للمستكشف والتداخل بين مكونات جهاز التحسس أو خلل في عملية تسجيل البيانات. وقد يؤدي التشويش إلى تردي محتوى الصورة الرقمية أو حجبتها تماماً، لذلك فإن إزالة التشويش أمر ضروري

حتى تصبح الصورة أقرب إلى المشهد الأصلي للأهداف المصورة. وتسبق هذه العملية عمليات تحسين بيانات الصورة وتصنيفها.

وتعتمد تقنيات تصحيح التشويش على معرفة نمط التشويش: هل هو تشويش منتظم ودوري أم هو تشويش عشوائي أم مزيج من الاثنين. وسنبداً بتعريف وإزالة التشويش المنتظم ثم العشوائي [9,14].

(١, ٥, ٤) إزالة تشويش البنية الشريطية المفقودة Destripping

من المعلوم أن الماسح متعدد الأطياف MSS يمسح ستة خطوط في آن واحد مستخدماً ستة من المستشعرات (اللاقطات). وقد يحدث في بعض الصور اختفاء بيانات أحد المستشعرات الستة. قد ينتج ذلك بسبب خطأ في هذا المستشعر أو نتيجة عملية توصيل أو تسجيل البيانات أو أثناء إعادة إنتاج شريط التسجيل. وعلى كل فإن الخطوط المفقودة تظهر على الصورة المرئية خطوطاً سوداء أو بيضاء وتكون الأعداد الرقمية في مثل هذه الصفوف إما 0 وإما 255.

إن أبسط طريقة لإجراء ترميم البنية الشريطية المفقودة هي إبدال العدد الرقمي المفقود في كل وحدة صورة من هذا الخط بالعدد الرقمي للعنصر المقابل له في الخط السابق أو الخط اللاحق للخط المفقود. إذا رمزنا للعدد الرقمي المفقود بالرمز DN_{ij} وقيمته 0 أو 255 لعنصر يقع في العمود i والصف j فإننا نستبدله بالعدد الرقمي $DN_{i,j-1}$ وهو العدد الرقمي للعنصر الواقع في العمود i والصف $j-1$ وهو الصف السابق للصف المفقود، ونعبر عن ذلك بالمعادلة:

$$DN_{ij} = DN_{i,j-1} \quad (4.8)$$

وإذا كان الخط المفقود هو أول صف في الصورة فإننا نستبدله بالصف الذي يليه ويصبح النموذج الرياضي كالتالي:

$$DN_{ij} = DN_{i,j+1} \quad (4.9)$$

ويمثل الشكل رقم (٤,٦ أ) جزءاً من صورة رقمية قبل الترميم والشكل (٤,٦ ب) الجزء نفسه من الصورة بعد الترميم.

16	19	24	27	29	31
17	18	22	25	28	30
0	0	0	0	0	0
15	17	20	24	26	33
16	19	23	26	27	32

الشكل رقم (٤,٦ أ). الصورة الرقمية قبل ترميم الصف المحذوف.

16	19	24	27	29	31
17	18	22	25	28	30
17	18	22	25	28	30
15	17	20	24	26	33
16	19	23	26	27	32

الشكل رقم (٤,٦ ب). الصورة أعلاه بعد ترميم الصف المحذوف.

(٤,٥,٢) إعادة تصحيح الصفوف التالفة

إن مستشعرات حزم الطيف الستة في الماسح متعدد الأطياف MSS والستة عشر في الماسح الموضوعي TM يتم معايرتها بدقة قبل إطلاق القمر الصناعي. وبمرور الزمن فإن حساسية بعض المستشعرات ربما تزيد أو تنقص عن المستوى الذي كانت عليه وقت المعايرة. ويتبع عن ذلك أعداد رقمية شاذة في الصفوف التي تمسح بواسطة المستشعر الذي قلّت فعاليته. ويؤدي هذا الشذوذ في الأعداد الرقمية إلى إضعاف دقة تصنيف الصورة، إضافة إلى تقليل المظهر الجمالي للصورة. ويمكن التعرف على الصفوف التالفة بحساب الخصائص الإحصائية للصورة عامة ويمثلها متوسط الأعداد الرقمية والانحراف المعياري للصورة كلها، ثم نحسب متوسط الأعداد الرقمية والانحراف المعياري لكل صف ونقارن بين الخصائص الإحصائية للأعداد الرقمية للصورة مع الخصائص الإحصائية للأعداد الرقمية للصفوف، فإذا زاد الفرق

بين متوسط الصورة ومتوسط واحد من الصفوف على قيمة التسامح threshold (value) أو زاد الفرق بين الانحراف المعياري للصورة عامة والانحراف المعياري لواحد من الصفوف على قيمة محددة، تعتبر الأعداد الرقمية في هذا الصف غير صحيحة وتشكل تشويش في الصورة وتحتاج إلى ترميم حتى تكون موافقة للأعداد الرقمية في الصفوف الأخرى. وتعتمد تقنيات معالجة هذا التشويش على تغيير الأعداد الرقمية في الصفوف التالفة لتساوى في خصائصها الإحصائية مع الخصائص الإحصائية للصورة عامة.

(١, ٢, ٥, ٤) حساب الخصائص الإحصائية للصفوف وللصورة

يمكن حساب متوسط الأعداد الرقمية لكل صف (i) يمثل أحد المستكشفات (الستة في نظام الماسح متعدد الأطياف) بجمع الأعداد الرقمية في ذلك الصف وقسمة حاصل الجمع على عدد عناصر الصورة في الصف، دعنا نرمز له بالرمز x_i ثم نحسب المتوسط العام للصورة بجمع متوسطات الصفوف وقسمة الحاصل على عدد الصفوف ونرمز له بالرمز \bar{x} ، ثم نحسب الانحراف المعياري للأعداد الرقمية في كل صف σ_i ، ثم نحسب الانحراف المعياري للصورة عامة (σ) من العلاقة التالية:

$$\sigma = \{ [\sum n_i (x_i^2 + \sigma_i^2) / n_i] - \bar{x}^2 \}^{0.5} \quad (4.10)$$

حيث إن n_i هي عدد عناصر الصورة في المستشعر i . وحتى يكون تقدير هذه الخصائص الإحصائية مقبولاً لا بد من استخدام بيانات كافية، وبيانات الصورة الرقمية تحقق ذلك.

مثال (٢, ٤)

هذا المثال لتوضيح عملية حساب الخصائص الإحصائية للصورة عامة ولصفوف المستشعرات، ولذلك نكتفي ببيانات قليلة لتسهيل التوضيح.

يبين الجدول بيانات لستة صفوف تمثل ستة مستكشفات في جهاز الماسح متعدد الأطياف، ويحتوي كل صف على خمسة عناصر صورة. المطلوب حساب الخصائص الإحصائية (متوسط الأعداد الرقمية والانحراف المعياري) لكل صف وللصورة عامة.

الأعداد الرقمية لعناصر الصورة					رقم المستشعر
2	3	4	2	4	1
2	7	3	2	6	2
4	2	6	3	8	3
3	4	5	3	8	4
2	2	2	4	6	5
0	4	4	2	8	6

الحل

يمكن متابعة الحل من الجدول التالي:

مربع الانحراف المعياري σ_i^2	الانحراف المعياري σ_i	مربع المتوسط x_i^2	المتوسط x_i	المستكشف
0.8000	0.894	9.00	3.0	1
4.400	2.098	16.00	4.0	2
4.640	2.154	21.16	4.6	3
2.960	1.720	21.16	4.6	4
2.560	1.600	10.24	3.2	5
7.040	2.653	12.96	3.6	6
22.40		90.52	23.0	المجموع

المتوسط العام للصورة = مجموع المتوسطات + 6

$$x = 23 / 6 = 3.833$$

نعوض في المعادلة (10.4) لحساب الانحراف المعياري للصورة:

$$\sigma = \{ 5 (22.40 + 90.52) / 30 - (3.833)^2 \}^{0.5} \quad (10.4)$$

$$= 2.05$$

والآن يمكن أن نقارن بين الانحراف المعياري لكل صف σ_i والانحراف المعياري

العام للصورة σ . ونلاحظ أن الصف الأول هو الأكثر اختلافاً من عامة الصورة بالنسبة للمتوسط وبالنسبة للانحراف المعياري.

(٤,٥,٢,٢) ترميم تشويش الصفوف التالفة بطريقة متوسط الصفين المجاورين

إن إحدى الطرق البسيطة لترميم هذا النوع من التشويش هي استبدال الأعداد الرقمية لعناصر الصورة في الصف التالف بأعداد رقمية جديدة. يتم ذلك بحساب متوسط العددين الرقميين لعنصري الصورة المجاورين لعنصر الصورة في الصف التالف واللذان يقعان في الصف السابق والصف اللاحق للصف التالف. ونعبر عن ذلك رياضياً بالمعادلة التالية:

$$DN_{ij} = (DN_{i,j-1} + DN_{i,j+1}) / 2 \quad (11.4)$$

وبالطبع فإن العدد الرقمي يكون أقرب عدد صحيح للنتائج. وتكون نتيجة ذلك صورة رقمية محسنة مع أننا استخدمنا قيماً صناعية وغير حقيقية. ويمثل الشكل رقم (٤,٧) والشكل رقم (٤,٧) ب) على التوالي، جزءاً من صورة رقمية فيها صف تالف وأخرى بعد عملية الترميم باستخدام هذه الطريقة البسيطة. أما الصف التالف فيمكن التعرف عليه بحساب متوسط كل صف، ثم حساب المتوسط العام للصورة والمقارنة. والنتيجة هي أن متوسطات الصفوف الأربعة على التوالي من أعلى إلى أسفل هي: 20.75, 21.75, 20.00 والمتوسط العام للصورة هو 26.69 وعليه فإن الصف الثالث الذي متوسطه 44.25 هو الأكثر اختلافاً من المتوسط العام، وبالتالي هو الصف التالف الذي يجب معالجته.

23	19	18	20
23	24	18	22
45	47	42	43
21	22	20	20

الشكل رقم (٤,٧) أ). الصف الثالث في هذه الصورة يعتبر تالفاً.

23	19	18	20
23	24	18	22
22	23	19	21
21	22	20	20

الشكل رقم (٤,٧ ب). الصف الثالث بعد عملية الترميم بطريقة متوسط الصفين المتجاورين.

وهذه الطريقة تعجز في معالجة الصف الأول أو الأخير إذا كان أحدهما هو التالف. ويمكن استخدام طريقة معالجة الصف المفقود التي شرحناها من قبل. إذ من الممكن استبدال الأعداد الرقمية للصف التالف بالأعداد الرقمية للصف الذي يليه إن كان هو في أعلى الصورة أو استبداله بالصف السابق له إن كان هو في أسفل الصورة. وقد تم تطوير العديد من الطرق لمعالجة الصفوف التالفة، يتم فيها تعديل الأعداد الرقمية في الصف التالف حتى تكون خصائصه الإحصائية مساوية للخصائص الإحصائية للصورة عامة. وهناك طرق أخرى يتم فيها رسم المدرج التكراري لكل مستشعر على حدة ومدرج تكراري تراكمي لعامة الصورة ثم عمل تنسيق أو توليف بين هذه المدرجات التكرارية وستقوم بتفصيل إحدى هذه الطرق فيما يلي.

(٤,٥,٢,٣) ترميم الصفوف التالفة بنموذج العلاقة الخطية Linear method

في هذه الطريقة يتم ربط قيم الأعداد الرقمية المخرجة لكل صف أو مستكشف بالقيم المدخلة له بعلاقة خطية يفترض فيها أن كل مستكشف من مستكشفات الماسح متعدد الأطياف يستطيع أن يتحسس توزيعاً للأهداف الأرضية مماثلاً لما هو موجود في منطقة المسح. إذا كان هذا الافتراض صحيحاً وإذا كانت نسب وحدات الصورة التي تمثل الأهداف الأرضية المختلفة من ماء ونبات وغابات وصخور، هي نفسها لكل مستكشف فإن مخططات (مدرجات) التكرار (histograms) للأعداد الرقمية لوحدات

الصورة لكل المستكشفات المستخدمة يجب أن تكون متطابقة تماماً كما وأن متوسط الأعداد الرقمية وانحرافها المعياري للمستكشفات المستخدمة يجب أن تتساوى. وعليه فإن النموذج الرياضي لتغيير الأعداد الرقمية في الصف (المستشعر) التالف بعد التعرف عليه إحصائياً، الذي تم تطويره في مركز ايروز للبيانات EROS Data Center في أمريكا، يعبر عنه بالعلاقة الخطية التالية:

$$DN_{O(i,c)} = DN_{I(i,c)} (\sigma / \sigma_i) + x - x_i (\sigma / \sigma_i) \quad (4.12)$$

حيث إن $DN_{O(i,c)}$ = العدد الرقمي المخرج لعنصر الصورة في العمود c من الصف i
 $DN_{I(i,c)}$ = العدد الرقمي المدخل لعنصر الصورة في العمود c من الصف i
 وباقي الرموز للخصائص الإحصائية كما عرفت من قبل. ومن عيوب هذا النموذج أنه يكون أقل تأثيراً كلما ازداد الفرق بين الخصائص الإحصائية للصف التالف والخصائص الإحصائية للصورة.

إذا طبقنا هذا النموذج على المثال السابق نحصل على الأعداد الرقمية التالية لعناصر الصورة في الصفوف الأربعة (الشكل رقم ٤,٨).

43	21	16	27
32	37	10	28
31	43	14	19
30	42	17	17

الشكل رقم (٤,٨). الأعداد الرقمية بعد عملية الترميم.

وإذا حسبنا المتوسطات للصفوف الأربعة نجدها بالترتيب من أعلى إلى أسفل: 26.75, 26.75, 26.50, والمتوسط العام للصورة = 26.69. والانحراف المعياري لهذه الصفوف: 10.16, 10.25, 11.23, 10.40 والانحراف المعياري لعامة الصورة هو 10.52.

ويظهر جلياً تقارب الخصائص الإحصائية للصفوف ولعامة الصورة بعد الترميم.

(٤,٥,٣) التشويش العشوائي Random Noise

إن الصفوف المفقودة دورياً والصفوف الثالثة دورياً تتسبب فيما يسمى التشويش المنتظم، وقد عرفنا كيف نتعرف على وجود مثل هذا التشويش وكيف يمكن التخلص منه بطرق بسيطة.

أما التشويش العشوائي فهو الشذوذ في الأعداد الرقمية لعناصر الصورة الذي لا يتكرر بصفة دورية أو منتظمة. إنه النشاط الذي يحدث في عنصر الصورة وسط مجموعة من عناصر الصورة حولها. بمعنى أن العدد الرقمي لعنصر من عناصر الصورة يكون مختلفاً اختلافاً ملحوظاً عن الأعداد الرقمية للعناصر المجاورة. وفي الصورة الرقمية تظهر عناصر الصورة الشاذة هذه كبقع سوداء أو نقاط بيضاء تختلف عما يجاورها.

يوضح الشكل رقم (٤,٩) البيانات الرقمية لجزء من صورة رقمية تتراوح الأعداد الرقمية لعناصرها بين 40 و60، فيما عدا عنصرين: أحدهما عدده الرقمي 90 والآخر 0 ويظهر الأول فيها في الصورة المرئية بقعة بيضاء والثاني بقعة سوداء.

40	60	50	40	50
40	0	40	90	60
40	60	60	40	50

الشكل رقم (٤,٩). جزء من صورة رقمية يحتوي على تشويش عشوائي.

ولإزالة مثل هذا التشويش نستعمل مرشح الوسط المتحرك (moving average filter). وهو عبارة عن مصفوفة مربعة لعناصر الصورة تتكون من عدد صفوف وأعمدة فردية ومتساوية (مثال: 3x3؛ 5x5). ونستعمل في هذه الحالة مصفوفة 3x3 وتسمى أيضا النافذة المتحركة. نحسب أولاً متوسط الأعداد الرقمية لكامل عناصر

الصورة. وفي هذا المثال يكون المتوسط العام = $720/15 = 48$. (مجموع الأعداد الرقمية في كل الصورة = 720 مقسوماً على عدد عناصر الصورة = 15).

ونحسب ثلثي المتوسط العام = $(2/3)*48 = 32$ وتعتبره الحد الأعلى للفرق بين العدد الرقمي لأي عنصر صورة والعدد الرقمي المتوسط. ثم نحسب متوسط الأعداد الرقمية في أول مصفوفة لعناصر الصورة مكونة من 3×3 في يسار الصورة، هذا المتوسط = $390/9 = 43$ كأقرب عدد صحيح، ثم نقارن بين هذا المتوسط والعدد الرقمي في مركز المصفوفة الأولى وهو 0، فإذا زاد الفرق على الحد المختار وهو 32 فإننا نستبدل الوسط المحسوب للنافذة 3×3 بالعدد الرقمي في المركز، وفي هذا المثال الفرق بين 0 و 43 يزيد على الحد المسموح به وهو 32 فنستبدل العدد الرقمي 43 بالعدد الرقمي 0. ثم نحرك النافذة يميناً عموداً واحداً ونحسب متوسط الأعداد الرقمية في عناصر الصورة التسعة ونجدها 49 ونقارن بين هذا المتوسط والعدد الرقمي في مركز النافذة وهو كما في الشكل رقم (٤،٩) يساوي 40 فنجد أن الفرق وهو 9 في حدود الحد المسموح به. وتتحرك نحو اليمين مرة أخرى ونحسب متوسط الأعداد الرقمية في النافذة الجديدة (53) ونقارن بينه وبين العدد الرقمي في المركز وهو 90، ونجد أن الفرق (37) أكبر من الحد المسموح به وعليه نستبدل العدد الرقمي 53 بالعدد 90. تستمر العملية حتى نكمل الصورة يميناً ثم نرجع إلى اليسار وننزل إلى أسفل بصف واحد وتتواصل العملية إلى أن نغطي كل الصورة. ويوضح الشكل رقم (٤،١٠) البيانات الرقمية لجزء الصورة المدخل بعد إزالة التشويش.

بالنسبة لكل من الصفين الأعلى والأسفل نقوم بإضافة صف فيه أعداد رقمية مماثلة للصف الذي قبله أو بعده، وكذلك بالنسبة للعمود الأول والعمود الأخير حتى يتسنى لنا إكمال مصفوفة مربعة يتم تطبيق المرشح الوسط المتحرك عليها.

40	60	50	40	50
40	43	40	53	60
40	60	60	40	50

الشكل رقم (٤,١٠). بيانات جزء الصورة بعد إزالة الضجيج العشوائي.

بعد إجراء التصحيحات المذكورة في هذا الفصل تكون الصورة الرقمية جاهزة لعمليات التحسين التي تساعد على تفسيرها وتصنيفها. سيتم في الفصول الثلاثة اللاحقة شرح مفصل لعمليات معالجة الصورة الرقمية لتحسينها قبل عملية التصنيف.

(٤,٦) تمارين

- (٤,٦,١) عدد مصادر الأخطاء الهندسية في الصورة الرقمية.
- (٤,٦,٢) اشرح كيف تقلل من تأثير الأخطاء الهندسية العشوائية في الصورة الرقمية.
- (٤,٦,٣) ما هي مميزات وسلبيات زيادة رتبة درجة معادلة متعددة الحدود التي تستخدم في التشويش الهندسي للصورة الرقمية؟
- (٤,٦,٤) عرف أنواع التشويش الذي يحدث في الصورة الرقمية.
- (٤,٦,٥) الشكل التالي عبارة عن بيانات صورة رقمية 5x5. حدد عناصر الصورة التي حدث فيها تشويش ثم وضح كيف تتم إزالته من الصورة.

2	3	1	4	4
1	10	3	2	5
2	2	3	4	2
4	1	6	0	6
3	4	4	5	3

(٤, ٦, ٦) يبين الشكل التالي بيانات صورة رقمية 4x4 تحتوي على صف تالف. حدد الصف التالف وأجر عليه عملية الترميم التي تزيل تأثيره على الصورة.

9	8	7	7
6	4	6	8
0	0	0	0
8	4	4	8