

المحاضرة الخامسة

المعالجة الرقمية للبيانات

المعالجة الأولية Pre- Processing

مقدمة :

في المحاضرة الثانية ذكرنا ان الاستشعار عن بعد يتكون من مرحلتين اساسيتين هما جمع البيانات (والتي تحدثنا عنها بالمحاضرات السابقة) و مرحلة تحليل البيانات و تشمل المعالجة و التصنيف " المعالجة الرقمية للبيانات" و التي بدورها يمكن تقسيمها الى المراحل الرئيسية التالية :

- المعالجة الأولية Pre-Processing
- تحسين المرئية Image Enhancement
- تحويل المرئية Image Transformation
- تصنيف و تحليل المرئية Image classification and analysis

1- المعالجة الأولية Pre - Processing

تصحيح الصور الرقمية

مقدمة

إن البيانات الأولية (الخام) للمستشعرات لا تمثل بشكل دقيق الأهداف الأرضية التي تم تصويرها و ذلك لأن هذه البيانات تتعرض لبعض التشويه أثناء عملية المسح و التحويل إلى بيانات رقمية . و هنالك عوامل عديدة تؤدي إلى هذا التشويه مثل الغلاف الجوي و تأثيره على الطاقة التي يتحسسها المستشعر ، و حركة الجهاز المستشعر أثناء المسح ، و حركة الحامل سواء كان طائرة أو قمر صناعي ، و دوران الأرض تحت الحامل أثناء حركته . ينتج من كل هذه العوامل تشويه إشعاعي (radiometric distortion) و تشويه هندسي (geometric distortion) و ضجيج منتظم وعشوائي (systematic and random noise) في البيانات التي يسجلها جهاز الاستشعار . و لذلك فإن القيم الرقمية لوحداث الصورة الرقمية لا تمثل تماما الطاقة التي عكسها الهدف الأرضي المقابل ، كما و أن الموقع المكاني للهدف الأرضي على الصورة الرقمية لا يرتبط بصورة دقيقة مع موقعه على الأرض . و يتطلب 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 ترميمها أو تصحيحها أو معالجتها قبل الشروع في المعالجة التي تؤدي إلى تحسين البيانات و استخلاص المعلومات منها .

التصحيح الهندسي Geometric Correction

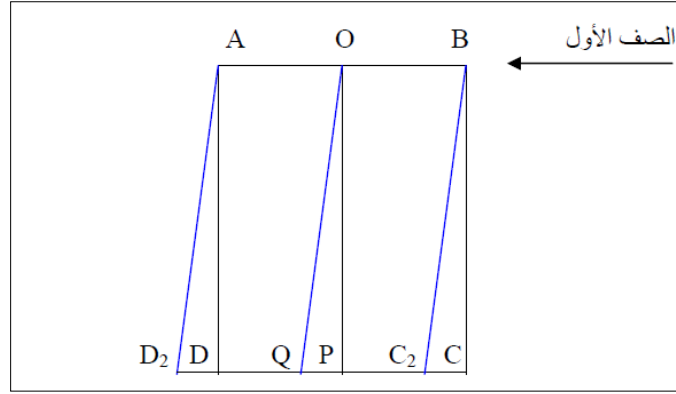
تهدف هذه العملية بشكل رئيسي إلى تحويل نظام إحداثيات الصورة (سطر وعمود) إلى نظام إحداثيات حقيقي (إحداثيات خريطة) ، كما تهدف إلى إزالة التشوهات حيث تحتوي بيانات الصورة الرقمية الخام عادة على تشوهات هندسية كبيرة بحيث لا يمكن عمل قياسات مساحية دقيقة عليها . و مصادر هذه التشوهات الهندسية من ناحية عامة هي:

- تغير ارتفاع منصة حامل جهاز الاستشعار و تغير توجيهها و سرعتها .
- إنحناء أو كروية سطح الأرض (earth curvature) و يزداد التشوه كلما زاد ارتفاع الحامل .
- انكسار الأشعة خلال مرورها من طبقات الغلاف الجوي (atmospheric refraction) .
- دوران الأرض أثناء عملية المسح (earth rotation) .
- تغير التضاريس (relief variation) .
- تشوهات ناتجة من جهاز الاستشعار (instrumental errors) .

و الغاية من عملية التصحيح الهندسي هي تصحيح موقع وحدة الصورة و بالتالي وضع الهدف الأرضي في موقعه الهندسي الصحيح في الصورة . و يمكن تقسيم الأخطاء الهندسية الناتجة إلى أخطاء منتظمة و أخطاء عشوائية .

الأخطاء الهندسية المنتظمة

تعرف التشوهات الهندسية المنتظمة من أسبابها أو مصادرها التي ذكرناها من قبل . و بعد معرفة مصدر الخطأ يتم تصميم نموذج رياضي لمعالجة الخطأ . و من أكثر مصادر الأخطاء الهندسية المنتظمة تأثيرا على بيانات مستشعرات الأقمار الصناعية دوران الأرض أثناء التقاط الصورة . إن دوران الأرض في اتجاه الشرق يجعل جهاز المسح يعطي في كل مسحة خطية مساحة من الأرض تقع إلى الغرب قليلا من المسحة السابقة لها . و هذا التشوه الهندسي الناتج يطلق عليه تشوه الانحراف (skew distortion) ، و عملية إزالة هذا الانحراف 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 ، و ينتج من ذلك شكل متوازي الأضلاع كما في الشكل التالي :



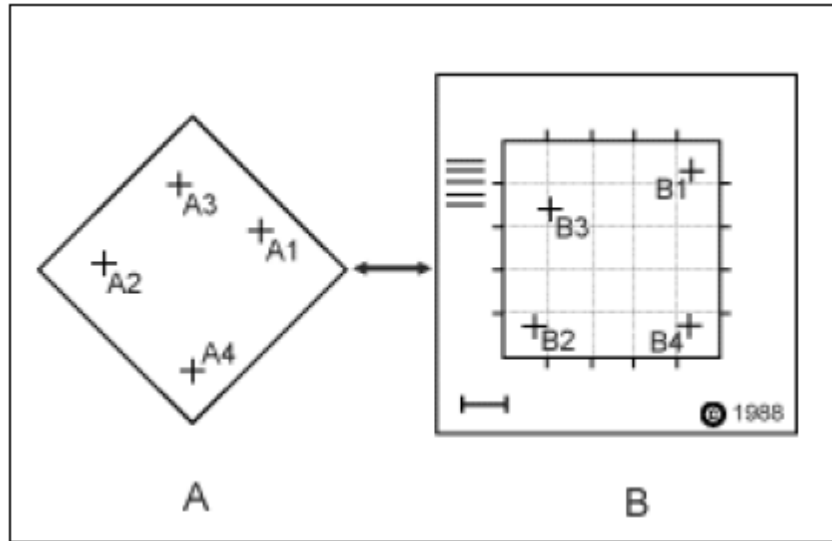
إذا بدأ المستشعر بمسح الخط AB يكون حينئذ وضع الخط الثاني في الموقع CD و يتحرك حامل المستشعر حتى يصل موقع مسح الخط CD ففي هذا الوقت تكون الكرة الأرضية قد تحركت نحو الشرق و ينتج عن ذلك مسح الخط C_2D_2 بدلا من الخط CD و يكون مسار الحامل OQ بدلا من المسار OP .

الأخطاء الهندسية العشوائية

إن التغير في ارتفاع الحامل و توجيهه و تغيرات التضاريس و غيرها من العوامل ممكن أن تؤدي إلى تشوهات هندسية عشوائية في بيانات الصورة.

لتصحيح التشوهات الهندسية يتم ما يعرف بعملية التسجيل الهندسي للمرئية لنظام احداثيات أرضية معلوم. تشمل عملية التسجيل الهندسي تحديد الاحداثيات علي المرئية $image\ coordinates$ أي (الصف و العمود) لبعض النقاط الواضحة علي المرئية (A) والتي يطلق عليها اسم نقاط الضبط الأرضي $ground\ control\ points$ (أو اختصارا GCP) ومطابقة احداثياتهم في نظام احداثيات أرضية (مثلا خط الطول و دائرة العرض)، تعتبر بعض العناصر المميزة مثل تقاطعات الطرق وأغطية حفر التفتيش والصخور المنعزلة والتي تتميز بمساقط واضحة في المرئية جيدة كنقاط ضبط أفقية. يجب اتخاذ الاجراءات التي تؤمن عدم وقوع نقاط الضبط في مناطق الظلال في المرئية. يمكن في بعض المناطق مثل البراري و الغابات و الصحارى عدم توفر نقاط طبيعية كي تستخدم كنقاط ضبط، وفي هذه الحالة يتم استخدامات إشارات اصطناعية $Artificial\ Points$ تسمى بـ $Panel\ points$ وهي تثبت على الأرض قبل التقاط المرئيات.

وعادة ما يتم الحصول علي الاحداثيات الأرضية الحقيقية لهذه النقاط من خريطة (B) سواء كانت ورقية أو رقمية، ومن ثم تسمى هذه العملية بالتسجيل من المرئية الي الخريطة $image-to-map\ registration$. أيضا يمكن لعملية التسجيل الهندسي أن تتم بتسجيل مرئية الي مرئية أخرى سبق تحديد احداثياتها الأرضية الحقيقية. وهذا ما يسمى بالتسجيل من مرئية الي مرئية $image-to-image\ registration$. او يمكن أن تتم بتسجيل الاحداثيات الارضية الحقيقية باستخدام قراءات جهاز تحديد المواقع GPS لإحداثيات النقاط المميزة.



التسجيل الهندسي من مرئية الي خريطة

فعملية التصحيح الهندسي تعتمد على وجود نقاط تحكم أرضية (ground control) يمكن التعرف عليها في الصورة الخام و في الخارطة المرجعية . ثم يتم حساب معادلات تحويل الاحداثيات ليتمكن بعد ذلك تطبيقها علي الاحداثيات الأصلية للمرئية (الصف والعمود) واستنتاج الاحداثيات الأرضية الحقيقية باستخدام مواقع نقاط التحكم . و من النماذج التي تستخدم في تحويل مواقع وحدات الصورة الرقمية المشوهة إلى مواقع مصححة دالة متعددة الحدود في المعادلتين (1) و (2) و التي تربط بين إحداثيات وحدة الصورة في البيانات الخام المشوهة هندسيا (x , y) و إحداثياتها في الصورة المصححة هندسيا (x₀ , y₀) . بواسطة ثوابت يمكن حسابها باستخدام نقاط التحكم GCPs .

- كثير حدود من الدرجة الأولى:

$$x_0 = a_1 + a_2 x + a_3 y \quad (1)$$

$$y_0 = b_1 + b_2 x + b_3 y \quad (2)$$

- كثير حدود من الدرجة الثانية :

$$x_0 = a_1 + a_2 x + a_3 y + a_4 x y + a_5 x^2 + a_6 y^2 \quad (1)$$

$$y_0 = b_1 + b_2 x + b_3 y + b_4 x y + b_5 x^2 + b_6 y^2 \quad (2)$$

ويختلف عدد نقاط التحكم الأرضي الضرورية لإجراء عملية التحويل تبعا لدرجة كثيرات الحدود المستخدمة في عملية التحويل ويمكن حساب الحد الأدنى من عدد نقاط التحكم الأرضي من المعادلة التالية :

$$GCP's = (t+1)(t+2)/2$$

t = order (درجة كثير الحدود)

إعادة الأعداد الرقمية لوحدات الصورة المصححة

حتى يمكننا اتمام التصحيح الهندسي للمرئية الأصلية المشوهة فإن عملية تسمى إعادة أخذ العينة re-sampling يتم تطبيقها لتحديد القيم الرقمية التي سيتم وضعها في كل خلية أو بكسل للمرئية الجديدة الناتجة . وهذه العملية تقوم بحساب قيمة الخلايا الجديدة بناءا علي قيم الخلايا في المرئية الأصلية ، وهناك ثلاثة طرق شائعة الاستخدام في عملية إعادة أخذ العينة وهي : الجار الأقرب nearest neighbor ، الاستنباط الخطي المزوج bilinear interpolation ، الالتفاف التكعيبي cubic convolution . ويمكن القول أن عملية تحويل إحداثيات وحدات الصورة من الوضع الخام المشوه هندسيا إلى الإحداثيات الجديدة المصححة يتبعه إعادة الأعداد الرقمية كل إلى وحدة الصورة التي كان عليها قبل التصحيح . و هنالك طرق مختلفة لإعادة الأعداد الرقمية إلى وحدات الصورة بعد التصحيح الهندسي نذكر منها :

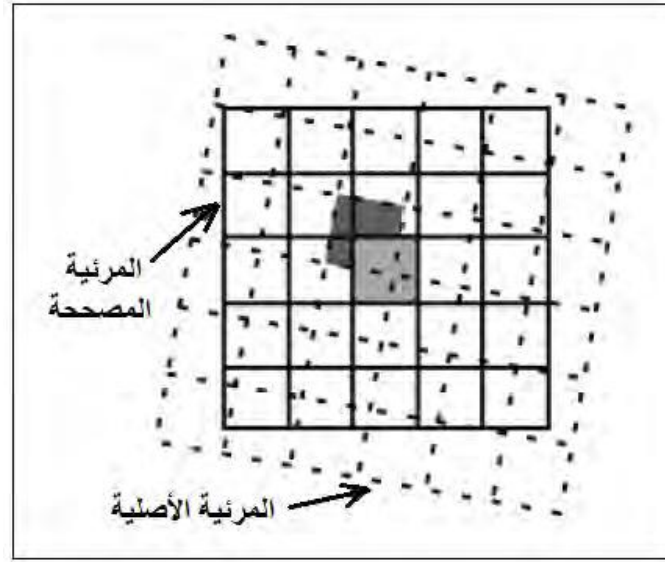
طريقة الجار الأقرب Nearest Neighbour

في هذه الطريقة يتم اختيار العدد الرقمي لأقرب وحدة صورة و يسجل لوحدة الصورة المطلوب إعادة عددها الرقمي . و يمكن التعبير عن هذه الطريقة بالنموذج الرياضي (3) .

$$I(x,y) = I(u,v) \quad (3)$$

حيث أن (x,y) هي إحداثيات وحدة الصورة الخام ، و (u,v) إحداثيات وحدة الصورة نفسها في الصورة المصححة هندسيا و تمثل الدالة "I" العدد الرقمي .

هذه الطريقة بسيطة جداً و تجنبنا تغيير الأعداد الرقمية من الصورة الخام . و من عيوب هذه الطريقة أنها ربما تنتج صورة متقطعة البيانات و ذلك لأن مصفوفة الخرج (بيانات الصورة الناتجة) يمكن أن تنزاح مكانيا . أي أن طريقة الجار الأقرب تستخدم للخلية الجديدة القيمة الرقمية للخلية التي تكون أقرب ما يكون لها في المرئية الأصلية . وهذه الطريقة هي أبسط طرق إعادة أخذ العينة ، وهي لا تقوم بتغيير القيم الأصلية إلا أن بعض قيم الخلايا قد تتكرر بينما البعض الآخر قد يفقد .



طريقة الجار الأقرب

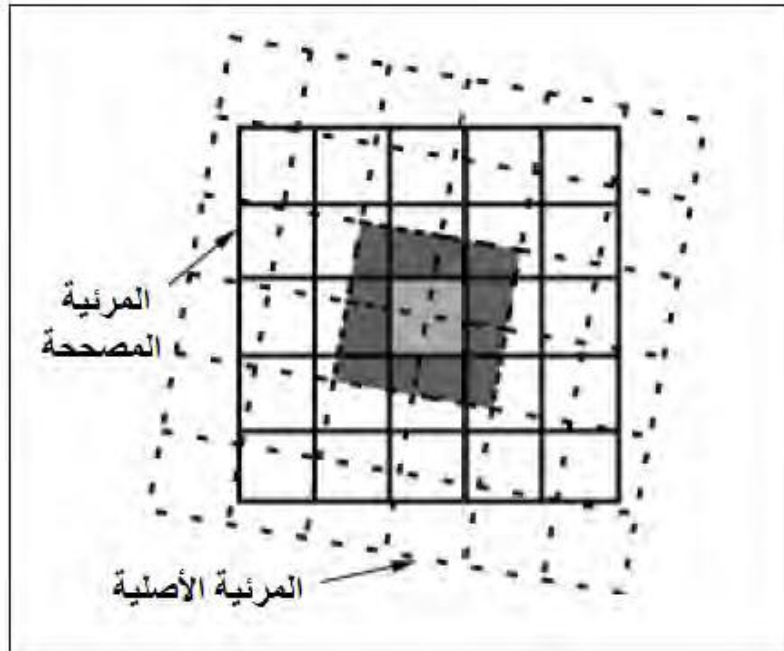
طريقة استنباط الخط المزدوج Bilinear Interpolation

في هذه الطريقة نحسب متوسط الأعداد الرقمية لوحدة الصورة الأربع المجاورة لوحدة الصورة التي نحن بصدد إعادة عددها الرقمي . و تمثل هذه الطريقة بالنموذج الرياضي التالي :

$$I(x,y) = a_1I(u,v+1) + a_2I(u,v) + a_3I(u+1,v+1) + a_4I(u+1,v) \quad (4)$$

ينتج من هذه الطريقة صورة تتمتع بمظهر أفضل من ناتج الطريقة السابقة.

أي أن طريقة الاستنباط الخطي المزدوج تعتمد علي حساب المتوسط الموزون لأقرب أربعة خلايا علي المرئية الأصلية لحساب قيمة الخلية في المرئية الجديدة .وبسبب عملية المتوسط فإن المرئية الجديدة ستكون ذات قيم جديدة (مختلفة) تماما . وهذا التأثير قد يكون غير مرغوبا بها في حالة اتمام التصنيف و التحليل المعتمد علي الاستجابة الطيفية . وهنا فقد يكون اتمام عملية إعادة أخذ العينة لاحقا بعد اتمام التصنيف .



طريقة الاستنباط الخطي المزدوج

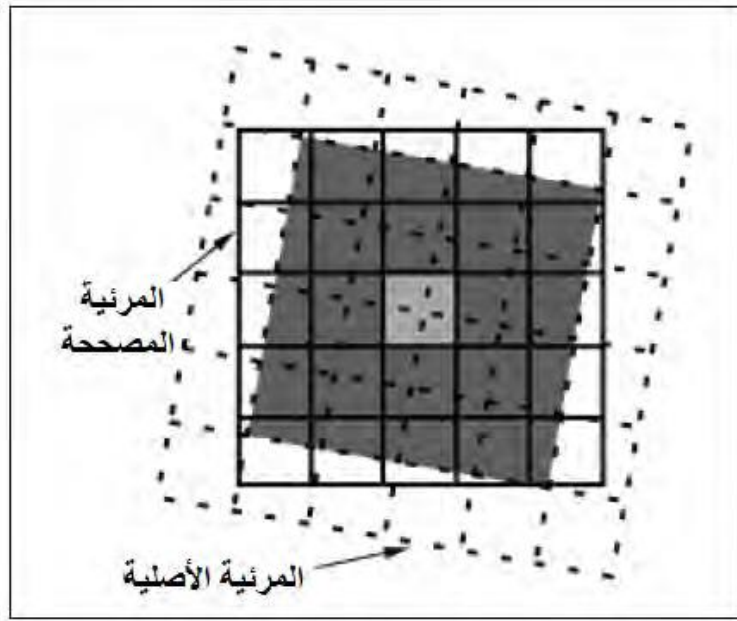
طريقة الطي التكعيبي Cubic Convolution

أما في هذه الطريقة فيتم استخدام ستة عشر وحدة صورة محيطة بوحدة الصورة التي يراد إعادة تسجيلها . و تعطي هذه الطريقة صورة أكثر وضوحا من سابقتها . و يمكن تمثيل هذه الطريقة بالنموذج الرياضي التالي:

$$I(x,y) = \sum a_{m,n} I(u+m, v+n) \quad (5)$$

حيث أن : $-1 < m,n < 2$

أي أن طريقة الالتفاف التكعيبي تقوم بحساب المتوسط لعدد ١٦ خلية مجاورة علي المرئية الأصلية للخلية علي المرئية الجديدة . ومثل الطريقة السابقة فإن المرئية الناتجة عن تطبيق طريقة الالتفاف التكعيبي ستكون جديدة تماما وذات قيم خلية مختلفة تماما عن المرئية الأصلية . لكن كلتا هاتين الطريقتين تتميزان بإنتاج مرئيات أكثر وضوحا و تقاديا للمظهر الداكن الذي قد ينتج عن تطبيق طريقة الجار الأقرب.



طريقة الالتفاف التكعيبي

تقييم دقة نقطة الضبط اعتماداً على قيمة متوسط مربع الخطأ Residual Mean Square (RMS) error

في الخطوة الأولى من التصحيح الهندسي لمصورة ، يتم حساب وسطاء كثير الحدود باستخدام نقاط الضبط وهي نقاط مميزة (مثل تقاطعات طرق) معلومة الإحداثيات في الصورة وفي نظام الإحداثيات المرجعي أو الخارطة . يتم إعادة حساب مواقع نقاط الضبط هذه اعتماداً على وسطاء التحويل المحسوبة وذلك كي تتمكن من الحكم على نوعية كل نقطة ضبط بمفردها وعلى النوعية الكلية للتصحيح .

$$RMS_x = \sqrt{\sum (x_i - \hat{x})^2 / n - k} \quad (n = 4, k = 3)$$

$$RMS_y = \sqrt{\sum (y_i - \hat{y})^2 / n - k} \quad (n = 4, k = 3)$$

حيث :

- X_i و y_i هي الاحداثيات المحسوبة من معادلات التحويل بعد حساب وسطاء كثير الحدود .
- $\hat{x}$ و $\hat{y}$ هي الاحداثيات المرجعية المعطاة من خلال نقاط الضبط الارضية .
- n هي عدد نقاط التحكم الأرضي و المرتبطة بدرجة كثير الحدود .
- K هي عدد وسطاء كثير الحدود " في حالة كثير حدود من الدرجة الأولى فإن عدد الوسطاء = 3 " .

$$\text{Overall RMS} = \sqrt{(RMS_x)^2 + (RMS_y)^2}$$

التصحيح الإشعاعي Radiometric Correction

هناك عوامل أخرى تتسبب في تشويه الصورة الرقمية من خلال تأثيرها على الطاقة الإشعاعية التي تصل إلى جهاز الاستشعار معكوسة من الهدف الأرضي . و من هذه العوامل نتحدث عن تأثير الغلاف الجوي و تأثير تغير الإضاءة بسبب موقع الشمس بالنسبة للأرض . تكون التصحيحات الراديومترية ضرورية بسبب التغير في إضاءة المشهد و هندسة الرؤية و ظروف الطقس و أخطاء المستشعر ذاتها . وتختلف هذه الأخطاء بناءً على المستشعر و المنصة المستخدمة في استشعار البيانات بالإضافة للظروف أثناء عملية الاستشعار . أيضا يكون من المرغوب فيها أن تتم تحويل و معايرة البيانات مقارنة بوحدة مطلقة للإشعاع و الانعكاس وذلك بهدف تسهيل عملية المقارنة بين البيانات . حيث أن التطبيقات الكمية لبيانات الاستشعار عن بعد تستلزم تحويل القيم الرقمية (DN) إلى قياسات بوحدة تمثل الانعكاس أو الانبعاث الحقيقي من سطح الأرض . ويتم ذلك بالاستعانة بمعلومات تفصيلية عن استجابة المستشعر ليتم بها تحويل القيم الرقمية إلى قيمة الإشعاع المطلق لكل خلية ، وهذا ما يمكننا من عمل مقارنة دقيقة بين عدة مرئيات مختلفة في التاريخ أو من مستشعرات مختلفة .

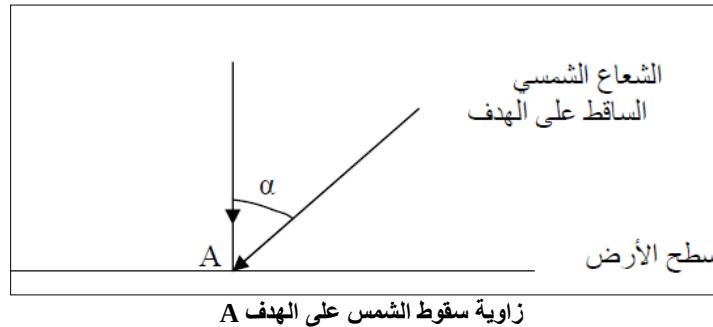
مصادر التشوه الإشعاعي :

1- 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 أن زاوية سقوط الشمس على الأرض مقاسه من المستوى الأفقي في فصل الصيف تكون أكبر منها في فصل الشتاء . إن أحد أهم تطبيقات الاستشعار عن بعد هو دراسة التغير الذي يحدث في منطقة ما من وقت لآخر . إن الصور الرقمية التي يتم التقاطها في أوقات مختلفة لنفس الهدف يحدث فيها تغير للخصائص الطيفية حتى إذا لم يطرأ أي تغير في الخصائص الطيفية للهدف نفسه ، و ذلك بسبب تغير زاوية سقوط الشمس على الهدف وقت التصوير . و عليه 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 و بالتالي يتم تحويل العدد الرقمي لكل وحدة صورة (DN₀) إلى عدد رقمي جديد (DN_n) يكون هو العدد الرقمي في حالة ما كانت زاوية سقوط الشمس 90 درجة ، و نحصل عليه من المعادلة:

$$DN_n = DN_0 / \cos \alpha$$

حيث α هي زاوية سقوط الشعاع الشمسي مقيسة من الخط الرأسي الذي يمر بالهدف المصور كما الشكل التالي :



2- 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 (المسافة بين الشمس و الأرض 146.4 مليون كيلومتر) ، و تكون المسافة بينهما أبعد ما تكون في الرابع من شهر يوليو (151.2 مليون كيلومتر) . و كما ذكرنا من قبل فإن كمية الطاقة المنعكسة من الهدف الأرضي تتناسب مع كمية الطاقة الشمسية الواردة إليه . و عليه فإن الهدف تحت التصوير و الذي لم تتغير خصائصه الطيفية يعكس أشعة شمسية في شهر يناير أعلى مما يعكس في شهر يوليو ، إذا نظرنا فقط لتأثير بعد الشمس من الأرض .

مثال

إذا كانت الأعداد الرقمية لثلاث وحدات صورة من صورة رقمية التقطت في شهر يوليو هي 100 ، 50 ، 200 و إذا لم تتغير الخصائص الطيفية للأهداف الثلاثة فكم تكون الأعداد الرقمية لوحدة صورة تمثل هذه الأهداف في صورة رقمية التقطت في شهر يناير ؟

الحل:

إن اختلاف توقيت التصوير يتسبب في اختلاف كمية الأشعة الواردة للهدف و بالتالي يتغير العدد الرقمي لوحدة الصورة . إن معامل اختلاف كمية الأشعة (تغير العدد الرقمي) يطلق عليه قانون "المعامل التربيقي" إن كمية الأشعة الواردة للهدف و بالتالي التي يعكسها

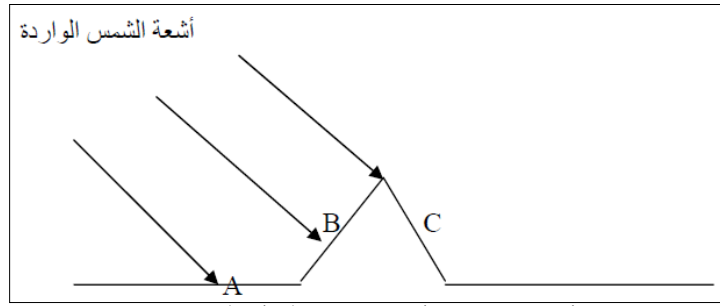
الهدف في شهر يناير تزيد على كمية الأشعة التي يعكسها الهدف نفسه في شهر يوليو بمعامل $= (151.2 / 146.4)^2$ و يوضح الحل في الجدول أدناه :

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

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

3- تأثير تضاريس الأرض على كمية الأشعة الواردة للهدف

تختلف كمية الأشعة الشمسية الواردة للهدف الأرضي بحسب وضعه التضاريسي . يبين الشكل التالي ثلاث أهداف أرضية A,B,C على أوضاع تضاريسية مختلفة . إذا افترضنا أن الأهداف الثلاثة لها نفس الخصائص الطيفية فإنها ستعكس كميات أشعة مختلفة بسبب استقبالها لكميات أشعة مختلفة نتيجة أوضاعها التضاريسية المختلفة . فالهدف A و هو في وضع مستوٍ يستقبل أشعة شمسية أقل من الهدف B الذي يكون على وضع مائل و معامد لشعاع الشمس . أما الهدف C و هو أيضا في وضع مائل و لكنه في اتجاه معاكس لاتجاه شعاع الشمس و بالتالي هو لا يستقبل أشعة شمسية و لا يعكسها فيظهر في الصورة الرقمية بعدد رقمي 0 الذي يمثل لونا أسود في الصورة المرئية .



تأثير ميل الهدف الأرضي على كمية الأشعة الواردة

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

4- تحويل و معايرة البيانات مقارنة بوحدات مطلقة للإشعاع و الانعكاس :

الطاقة الإشعاعية Radiant energy Q : قدرة الإشعاع ضمن نطاق طيفي محدد على القيام بعمل . وحدتها الجول (J) .

التدفق الإشعاعي Radiant flux F : المعدل الزمني لتدفق الطاقة على السطح أو خارجه منه أو من خلاله . وحدتها w أو J/s .

الإشعاع Irradiance : التدفق الإشعاعي الساقط على سطح لكل وحدة مساحة من ذلك السطح . وحدتها $(W.m^{-2})$.

الانبعاث Exitance : التدفق الإشعاعي الخارج من السطح لكل وحدة مساحة من ذلك السطح . وحدتها $(W.m^{-2})$.

الإشعاع أو السطوع L : التدفق الإشعاعي الذي يغادر منطقة المصدر المتوقعة لكل وحدة زاوية صلبة في اتجاه محدد .

- تحويل العدد الرقمي DN الى انعكاسية

- يلتقط مستشعرا Thematic Mapper (TM) و Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) المحمولين على القمر الصناعي Landsat الطاقة الشمسية المنعكسة ، وبحولان هذه البيانات إلى إشعاع ، ثم يُعَيِّدان قياس هذه البيانات إلى عدد رقمي (DN) ذي 8 بت بنطاق يتراوح بين 0 و 255 . يُمكن تحويل هذه الأرقام الرقمية يدوياً إلى انعكاس ToA من خلال عملية من خطوتين :
- الخطوة الأولى هي تحويل الأرقام الرقمية إلى قيم إشعاع باستخدام قيم الانحياز والكسب الخاصة بالمشهد الذي تعمل عليه .
- الخطوة الثانية هي تحويل بيانات الإشعاع إلى انعكاس .

A. تحويل العدد الرقمي الى اشعاع L_λ

هناك صيغتان يمكن استخدامهما لتحويل قيم DN إلى إشعاع ؛ وتعتمد الطريقة المستخدمة على بيانات معايرة المشهد المتوفرة في ملفات الرأس المرفقة بصورة القمر الصناعي .

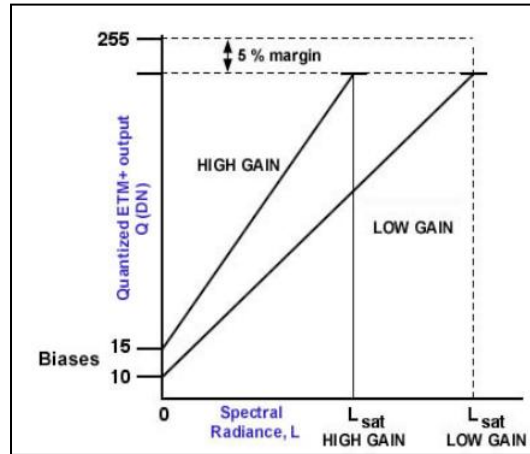
- تستخدم إحدى الطريقتين قيمتي الكسب والانحياز (أو الإزاحة) كما يلي :

$$L_\lambda = \text{"gain"} * (\text{DN}) + \text{"offset"} \text{ or Biases}$$

حيثُ :

L_λ : الإشعاع الطيفي عند فتحة المستشعر بالواط/(متر مربع * ستيير * ميكرومتر) .
 GAIN : هي قيمة الكسب و هي أما Low أو High تبعاً للنطاق الطيفي و الغطاء الأرضي السائد الذي يغطيه مشهد الصورة وهي بيانات موجودة بملف الرأس (Header File) للصورة .
 DN : قيمة العدد الرقمي DN للبكسل المراد معايرتها كمياً .
 Biases : قيمة الإزاحة .

الشكل التالي يوضح قيمة الإشعاع عند الكسب Gain المنخفض والمرتفع لمشاهد المستشعر ETM+ .



- أما الطريقة الأطول فتستخدم عاملي مقياس الإشعاع الطيفي L_{Max} و L_{Min} .

$$L_\lambda = ((L_{MAX\lambda} - L_{MIN\lambda}) / (QCAL_{MAX} - QCAL_{MIN})) * (QCAL - QCAL_{MIN}) + L_{MIN\lambda}$$

حيثُ :

L_λ = الإشعاع الطيفي عند فتحة المستشعر بالواط/(متر مربع * ستيير * ميكرومتر).
 QCAL = قيمة العدد الرقمي DN للبكسل المراد معايرتها كمياً .
 $L_{MIN\lambda}$ = الإشعاع الطيفي المقاس عند اصغر قيمة من العدد الرقمي $QCAL_{MIN}$ بالواط/(متر مربع * ستيير * ميكرومتر) .
 $L_{MAX\lambda}$ = الإشعاع الطيفي المقاس عند أقصى قيمة من العدد الرقمي $QCAL_{MAX}$ بالواط/(متر مربع * ستيير * ميكرومتر) .
 $QCAL_{MIN}$ = الحد الأدنى لقيمة العدد الرقمي للبكسل المعايرة كمياً (المقابلة لـ $L_{MIN\lambda}$) .
 $QCAL_{MAX}$ = أقصى قيمة للعدد الرقمي للبكسل المعايرة كمياً (المقابلة لـ $L_{MAX\lambda}$) .

B. تحويل قيمة الإشعاع L_λ الى الانعكاسية

$$R_{\text{sesnor}} = (\pi * L_\lambda * d^2) / (E_{\text{SUNi}} * \cos(z))$$

حيث :

R_{sesnor} : الانعكاسية عند المستشعر .

E_{SUNi} : هو الإشعاع الشمسي خارج الغلاف الجوي في النطاق الطيفي بالواط / م³ .

d : هي المسافة بين الأرض والشمس بالوحدات الفلكية .

z : هي زاوية ذروة الشمس .

Atmospheric Correction تصحيح تأثير الغلاف الجوي

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 و يطلق عليه شعاع المسار المتبعثر أو الشعاع الدخيل . ويمكن التعبير عن الإشارة المركبة التي تلاحظ في موقع وحدة الصورة بالمعادلة التالية:

$$R_T = R_L + R_p$$

حيث أن

R_T = كمية الأشعة الكلية التي تصل جهاز الاستشعار .

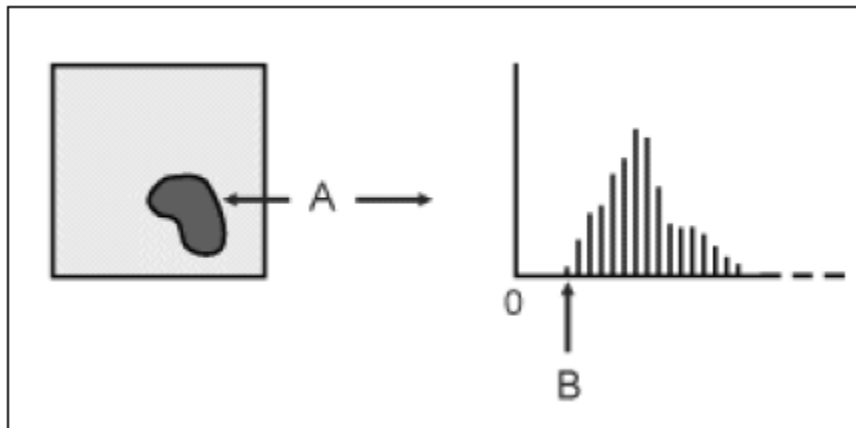
R_L = كمية الأشعة الصادرة من الهدف الأرضي .

R_p = (كمية الأشعة الدخيلة) من الغلاف الجوي .

يتسبب الشعاع المتبعثر R_p في ضبابية في الصورة تضعف بنيتها و يؤدي إلى تباين ضوئي منخفض ، و يعتمد هذا التبعثر على طول الموجة الكهرومغناطيسية فكلما قصر طول الموجة ازداد التبعثر وبالتالي ازدادت ضبابية الصورة.

و على سبيل المثال فإن الحزمة 4 ذات طول الموجات (0.5 - 0.6 um) للماصح متعدد الأطياف MSS تتأثر تأثيرا كبيرا بتبعثر الأشعة الناتج من الغلاف الجوي ، و ذلك بعكس الحزمة 7 التي تشمل الموجات (0.8 - 1.1 um) فيكون التأثير عليها أقل .

ويمكن تطبيق عدة طرق لتصحيح أخطاء الغلاف الجوي atmospheric correction تتراوح ما بين النمذجة التفصيلية لظروف الطقس أثناء عملية الاستشعار و الحسابات البسيطة التي تعتمد فقط على المرئية ذاتها. وكمثال لهذه الطريقة الأخيرة نقوم بفحص قيم الاضاءة المرصودة (أي القيم الرقمية digital numbers) لمنطقة تقع في الظل أو لهدف داكن جدا مثل بحيرة (A) وتحديد أقل قيمة (B) . ويتم التصحيح من خلال طرح هذه القيمة (المحسوبة لكل نطاق band) من جميع الخلايا في النطاق المناظر . وحيث أن التشتت يعتمد على طول الموجة فإن أقل قيمة ستختلف من نطاق الي نطاق اخر . وهذه الطريقة مبنية على الفرض بأن الانعكاس من هذه الأهداف (في حالة كون الغلاف الجوي صحو) سيكون صغير جدا (ان لم صفرا) . ومن ثم فنحن اذا استطعنا رصد القيم الأكبر كثيرا من الصفر فستكون خالية من التشتت.



تصحيح أخطاء تشتت الغلاف الجوي

إزالة الضجيج Noise Removal

يعرف الضجيج بأنه الاضطراب أو التشوه الذي يحدث في الصورة الرقمية إما بسبب قصور في جهاز الاستشعار مثل الإنزياح الدوري للمستكشف و التداخل بين مكونات جهاز التحسس أو خلل في عملية تسجيل البيانات . و قد يؤدي الضجيج إلى تردي محتوى الصورة الرقمية أو حجبها تماما ، و لذلك فإن إزالة الضجيج أمر ضروري حتى تصبح الصورة أقرب إلى المشهد الأصلي للأهداف المصورة . و تسبق هذه العملية عمليات تحسين بيانات الصورة و تصنيفها . و تعتمد تقنيات تصحيح الضجيج على معرفة نمط الضجيج : هل هو ضجيج منتظم و دوري أم هو ضجيج عشوائي أم مزيج من الاثنين . و سنبدأ بتعريف و إزالة الضجيج المنتظم ثم العشوائي .

إزالة ضجيج البنية الشريطية المفقودة Destripping

من المعلوم أن الماسح متعدد الأطياف MSS يسمح ستة خطوط في آن واحد مستخدما سنا من المستكشافات . و قد يحدث في بعض الصور اختفاء بيانات أحد المستكشافات الست . قد ينتج ذلك بسبب خطأ في هذا المستكشف أو نتيجة عملية توصيل أو تسجيل البيانات أو أثناء إعادة إنتاج شريط التسجيل . و على كل فإن الخطوط المفقودة تظهر على الصورة المرئية خطوطا بيضاء أو سوداء و في الصورة الرقمية تكون الأعداد الرقمية في مثل هذه الصفوف إما 0 أو 255 إن أبسط طريقة لإجراء ترميم البنية الشريطية المفقودة هي إبدال العدد الرقمي المفقود في كل وحدة صورة من هذا الخط بالعدد الرقمي لوحدة الصورة المقابلة لها في الخط السابق أو الخط اللاحق للخط المفقود . إذا رمزنا للعدد الرقمي المفقود بالرمز $DN_{i,j}$ ويمثل العدد الرقمي DN (و قيمته 0 أو 255) لوحدة الصورة i (تقع في العمود i) في الصف j فإننا نستبدله بالعدد الرقمي $DN_{i,j-1}$ و هو العدد الرقمي لوحدة الصورة i (في العمود i) في الصف $j-1$ و هو الصف السابق للصف المفقود ، و نعبر عن ذلك بالمعادلة:

$$DN_{i,j} = DN_{i,j-1}$$

و إذا كان الخط المفقود هو أول صف في الصورة فإننا نستبدله بالصف الذي يليه و يصبح النموذج الرياضي كالتالي:

$$DN_{i,j} = DN_{i,j+1}$$

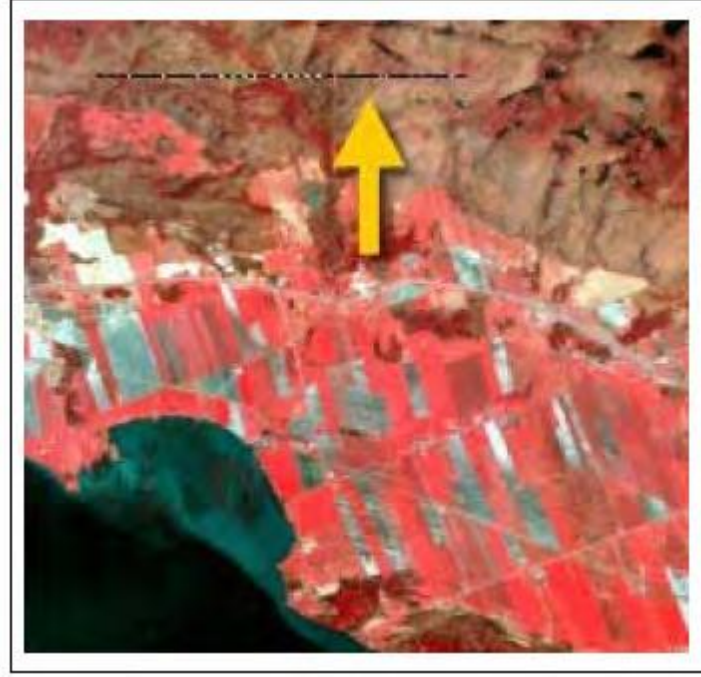
و يمثل الشكل التالي a جزء من صورة رقمية قبل الترميم والشكل b نفس الجزء من الصورة بعد الترميم .

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

a. 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

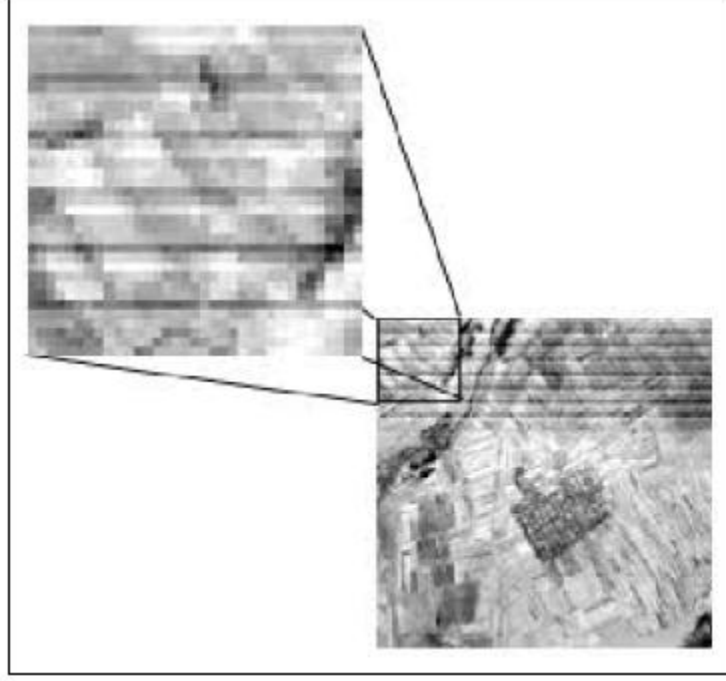
B الصورة أعلاه بعد ترميم الصف المحذوف.



خطاً الخطوط المتساقطة

ضجيج الصفوف التالفة أو الشرائح المنتظمة systematic striping

إن مستشعرات حزم الطيف الستة في الماسح متعدد الأطياف MSS و الستة عشر في الماسح الموضوعي TM يتم معايرتها بدقة قبل إطلاق القمر الصناعي . و بمرور الزمن فإن حساسية بعض المستشعرات ربما تزيد أو تنقص عن المستوى الذي كانت عليه وقت المعايرة . و ينتج عن ذلك أعداد رقمية شاذة في الصفوف التي تسمح بواسطة المستشعر الذي قلت فعاليته . و يؤدي هذا الشذوذ في الأعداد الرقمية (التلف) إلى إضعاف دقة تصنيف الصورة إضافة إلى تقليل المظهر الجمالي للصورة . و يمكن التعرف على الصفوف التالفة بحساب الخصائص الإحصائية للصورة عامة و يمثلها متوسط الأعداد الرقمية و الانحراف المعياري للصورة كلها ، ثم نحسب متوسط الأعداد الرقمية و الانحراف المعياري لكل صف و نقارن بين الخصائص الإحصائية للأعداد الرقمية للصورة مع الخصائص الإحصائية للأعداد الرقمية للصفوف ، فإذا زاد الفرق بين متوسط الصورة و متوسط واحد من الصفوف على قيمة محددة سلفاً أو زاد الفرق بين الانحراف المعياري للصورة عامة و الانحراف المعياري لواحد من الصفوف على قيمة محددة ، تعتبر الأعداد الرقمية في هذا الصف غير صحيحة و تشكل ضجيج في الصورة و تحتاج إلى ترميم حتى تكون موافقة للأعداد الرقمية في الصفوف الأخرى . و تعتمد تقنيات معالجة هذا الضجيج على تغيير الأعداد الرقمية في الصفوف التالفة لتتساوى في خصائصها الإحصائية مع الخصائص الإحصائية للصورة عامة .



خطأ الشرائح المنتظمة

ترميم ضجيج الصفوف التالفة بطريقة متوسط الصفيين المجاورين

إن إحدى الطرق البسيطة لترميم هذا النوع من الضجيج هي استبدال الأعداد الرقمية لوحدة الصورة في الصف التالف بأعداد رقمية جديدة . يتم ذلك بحساب متوسط العددين الرقميين لوحدة الصورة المجاورتين لوحدة الصورة في الصف التالف و اللتان تقعان في الصف السابق و الصف اللاحق للصف التالف . و نعبر عن ذلك رياضيا بالمعادلة التالية:

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

و بالطبع فإن العدد الرقمي يكون أقرب عدد صحيح للناتج . و تكون نتيجة ذلك صورة رقمية محسنة مع أننا استخدمنا قيما صناعية و غير حقيقية

و يمثل الشكل a ، و الشكل b على التوالي ، صورة رقمية فيها صف تالف و أخرى بعد عملية الترميم باستخدام هذه الطريقة البسيطة . أما الصف التالف فيمكن التعرف عليه بحساب متوسط كل صف ، ثم حساب المتوسط العام للصورة و المقارنة . و النتيجة هي أن متوسطات الصفوف الأربعة على التوالي من أعلى إلى أسفل هي : 20.75 ، 44.25 ، 21.75 ، 20.00 و المتوسط العام للصورة هو 26.69 و عليه فإن الصف الثالث الذي متوسطه 44.25 هو الأكثر اختلافا من المتوسط العام ، و بالتالي هو الصف التالف الذي يجب معالجته.

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

a. الصف الثالث في هذه الصورة يعتبر تالفا

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

B. الصف الثالث بعد عملية الترميم البسيط

و هذه الطريقة تعجز في معالجة الصف الأول أو الأخير إذا كان أحدهما هو التالف . و يمكن 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.

الضجيج العشوائي Random Noise

إن الصفوف المفقودة دورياً و الصفوف الناقصة دورياً تتسبب فيما يسمى الضجيج المنتظم ، و قد عرفنا كيف نتعرف على وجود مثل هذا الضجيج و كيف يمكن التخلص منه بطرق بسيطة. أما الضجيج العشوائي فهو الشذوذ في الأعداد الرقمية لوحدة الصورة الذي لا يتكرر بصفة دورية أو منتظمة. إنه النشاز الذي يحدث في وحدة الصورة وسط مجموعة من وحدات الصورة حولها . بمعنى أن العدد الرقمي لوحدة من وحدات الصورة يكون مختلفاً اختلافاً ملحوظاً عن الأعداد الرقمية لوحدة الصورة المجاورة . و في الصورة الرقمية تظهر وحدات الصورة الشاذة هذه كبقع سوداء أو نقاط بيضاء تختلف عما يجاورها في الصورة. و نسميه الضجيج العشوائي. يوضح الشكل التالي البيانات الرقمية لجزء من صورة رقمية تتراوح الأعداد الرقمية لوحدة الصورة فيها بين 40 و 60 ، فيما عدا وحدتين : إحدهما عددها الرقمي 90 و الأخرى 0 و تظهر الأولى في الصورة المرئية بقعة بيضاء و الثانية سوداء.

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

جزء من صورة رقمية يحتوي على ضجيج عشوائي

و لإزالة مثل هذا الضجيج نستعمل مرشح الوسط المتحرك (moving average filter) و هو عبارة عن مصفوفة مربعة لوحدة الصورة تتكون من عدد صفوف و أعمدة فردية و متساوية (مثال: 3*3 ؛ 5*5) . و نستعمل في هذه الحالة مصفوفة 3*3 و تسمى النافذة المتحركة . نحسب أولاً متوسط الأعداد الرقمية لكامل وحدات الصورة . و في هذا المثال يكون المتوسط العام $720/15 = 48$

(مجموع الأعداد الرقمية في كل الصورة = $720 / 15$ "مقسوماً على عدد وحدات الصورة") و نحسب ثلثي المتوسط العام $48 * (2/3) = 32$ و نعتبره الحد الأعلى للفرق بين العدد الرقمي لأي وحدة صورة و العدد الرقمي المتوسط . ثم نحسب متوسط الأعداد الرقمية في أول مصفوفة لوحدة الصورة مكونة من 3*3 في يسار الصورة ، هذا المتوسط = $390/9 = 43$ كأقرب عدد صحيح ، ثم نقارن بين هذا المتوسط و العدد الرقمي في مركز المصفوفة الأولى و هو 0 ، فإذا زاد الفرق على الحد المختار و هو 32 فإننا نستبدل العدد الرقمي في المركز بالوسط المحسوب للنافذة 3*3 ، و في هذه الحالة الفرق بين 0 و 43 يزيد عن الحد المسموح به و هو 32 فنستبدل العدد الرقمي 0 بالعدد الرقمي 43 ثم نحرك النافذة يميناً عموداً واحداً و نحسب متوسط الأعداد الرقمية في وحدات الصورة التسع و نجدها 49 و نقارن بين هذا المتوسط و العدد الرقمي في مركز النافذة و هو كما في الشكل يساوي 40 فنجد أن الفرق و هو 9 في حدود الحد المسموح به . و نتحرك نحو اليمين مرة أخرى و نحسب متوسط الأعداد الرقمية في النافذة الجديدة (53) و نقارن بينه و بين العدد الرقمي في المركز و هو 90 ، و نجد أن الفرق (37) أكبر من الحد المسموح به و عليه نستبدل العدد الرقمي 90 بالعدد 53 . تستمر العملية حتى نكمل الصورة يميناً ثم نرجع إلى اليسار و ننزل إلى أسفل بصف واحد و نتواصل العملية إلى أن نغطي كل الصورة . و يوضح الشكل البيانات الرقمية لجزء الصورة المدخل بعد إزالة الضجيج. بالنسبة لكل من الصفين الأعلى و الأسفل نقوم بإضافة صف فيه أعداد رقمية مماثلة للصف الذي قبله أو بعده ، و كذلك بالنسبة للعمود الأول و العمود 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

بيانات جزء الصورة بعد إزالة الضجيج العشوائي

بعد إجراء التصحيحات المذكورة في هذا الباب تكون الصورة الرقمية جاهزة لعمليات تحسين الصورة و التي تساعد على تفسيرها و تصنيفها .

المراجع :

- Al-Bakri, J., Duqqah, M., and Brewer, T. (2013) Application of remote sensing and GIS for modelling and assessment of land use/cover change in Amman, Jordan, Journal of Geographic Information System, No. 5, pp. 509-519.
- Mather, P.M., "Computer Processing of Remotely Sensed Images," John Wiley and Sons, New York, USA, 2004.
- Russ, J. C., "The Image Processing Handbook," CRC Press Inc., Boca Raton, USA, 1995.
- Sabins, F. F. Jr., "Remote Sensing Principles and Interpretation," W. H. Freeman and Co., New York, USA, 1997.
- Sanchez, J. and M. P. Canton, "Space Image Processing," CRC Press, New York, USA, 1999.
- أبو ريشة ، علي وفا عبد الرحمن " أسس تقنيات الاستشعار عن بعد " مركز دراسات الصحراء ، جامعة الملك سعود ، الرياض ، المملكة العربية السعودية .
- الحسن ، عصمت . محاضرات في الاستشعار عن بعد ، كلية الهندسة ، جامعة الملك سعود .