

أساسيات المعالجة الرقمية للصور

Fundamentals of Digital Image Processing

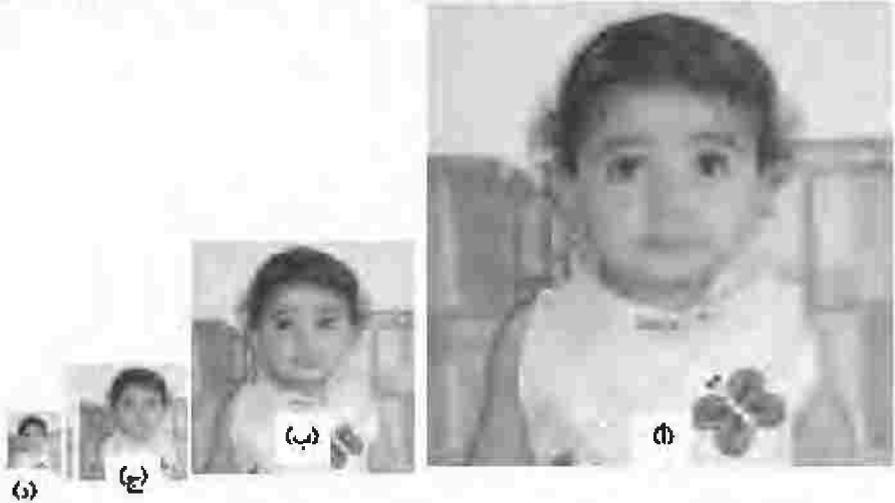
(١١،١) مقدمة

يمكن تعريف الصورة على أنها دالة في بعدين $f(x,y)$ حيث كل من x و y هما بعدين في مستوى السطح، أما مقدار هذه الدالة f عند أي نقطة (x,y) فهو كثافة $intensity$ هذه النقطة أو شدة إضاءتها أو حدتها. أحياناً يطلق عليها مستوى الرمادية $gray level$ لهذه النقطة. إذا كانت الأبعاد x و y والدالة f كلها قيماً رقمية، أي تأخذ قيماً محددة، فإن الصورة في هذه الحالة يطلق عليها صورة رقمية، وبذلك فإن الطرق المستخدمة لمعالجة هذه الصور ستكون أيضاً طرقاً رقمية نستخدم فيها الحاسبات أو المعالجات الرقمية، وهذا هو بالضبط المقصود من المعالجة الرقمية للصور. ولقد انتشر هذا المجال من العلوم مع انتشار الحاسبات وتقدمها مثله مثل مجال المعالجة الرقمية للإشارات. بالطبع وكما فعلنا في الفصل السابق والخاص بالمعالجة الرقمية للصوت فإنه من الصعب أن نجمع كل الموضوع في فصل واحد، أو حتى أن نتكلم بالتفصيل على جزء من جزئياته، ولكننا سنمر سريعاً على الموضوع، وربما مع بعض الأمثلة البسيطة، لمعرفة مجالاته المختلفة وتطبيقاته دون الدخول في التفاصيل وسنترك الدخول في التفاصيل لمن يريد

الاستزادة حيث هناك العديد من الكتب المتخصصة في كل جزئية من هذه الجزئيات. تتكون الصورة الرقمية من عدد محدد من العناصر كل منها يشغل مكاناً معيناً وقيمة أو مستوى رمادية معين، كل من هذه العناصر يسمى عنصر صورة picture element أو pixel ونحن سنستخدم هنا نفس المنطوق، بكسل، لكثرة شيوع اللفظ. يرجع موضوع معالجة الصور إلى بداية العشرينيات من القرن الماضي (عام ١٩٢٠م) عندما تم نقل صور عبر المحيط من أمريكا إلى أوروبا من خلال كابل بحري وتوالى بعد ذلك تطور سريع في طرق نقل وتحسين هذه الصور، ولكن كل هذه الطرق لا يمكن أن تعدها طرقاً رقمية لأن الحاسب لم يكن ظاهراً في هذا الوقت ولم يتم استخدامه. لذلك فإن التقدم الحقيقي في طرق المعالجة الرقمية للصور وطرق حفظها كان بعد الانفجار الذي حدث في تكنولوجيا الحاسبات الذي بدأ مع نهاية السبعينيات من القرن الماضي. كما نعلم فإن الرؤية بالعين هي من أهم طرق الإحساس التي يتمتع بها أي كائن حي، ولكن من المعروف أن العين البشرية لا تستطيع أن ترى سوى الصور المحصورة في مجال الضوء المرئي من مجال الطيف، وهذا على عكس الكثير من ماكينات التصوير أو الرؤية التي يمكنها التصوير في نطاقات غير مرئية من الطيف مثل أشعة أكس وأشعة جاما والموجات فوق الصوتية والرنين المغناطيسي وغيرها الكثير التي أضفت أبعاداً لعملية التصوير لم تكن موجودة من قبل والذي استلزم طرقاً جديدة ومتقدمة يستخدم فيها الحاسب لتحسين هذه الصور لترها العين البشرية بصورة مريحة، أو تخزين هذه الصور لاستدعائها في أوقات لاحقة، أو التعرف الآلي على مكونات هذه الصورة، والكثير من هذه الطرق والوسائل الأخرى والتي نطلق عليها المعالجة الرقمية للصورة digital image processing.

من أهم خواص الصورة التي تتأثر بها العين مباشرة خاصية التحديد أو المقدرة

التحليلية resolution والتي على ضوئها تتحدد جودة جهاز أو طريقة عرض الصورة. كما ذكرنا سابقا فإن الصورة الرقمية يتم عرضها في صورة عدد من البكسلات في وحدة المساحة. فكلما زاد عدد البكسلات في وحدة المساحة زادت جودة الصورة، فشاشة الصورة المقسمة إلى 512×512 بكسل بالطبع ستكون أفضل بكثير من شاشة نفس المساحة ولكنها مقسمة إلى 16×16 بكسل. تخيل أنك تريد عمل صورة مكبرة بطريقة يدوية عن طريق تقسيم هذه الصورة الأصلية إلى مربعات ثم نقل محتويات كل مربع على حده من الصورة الأصلية إلى الصورة المكبرة. بالطبع فإن جودة عملية النسخ ستكون أفضل بكثير كلما كان عدد المربعات المستخدمة في عملية النسخ أكبر، هنا عدد المربعات المستخدمة يقابل عدد البكسلات أو عناصر الصورة التي ذكرناها. الشكل رقم (١١.١) يبين صورة أصلية وقد تم تصغيرها على مراحل عن طريق حذف



الشكل رقم (١١.١). (أ) الصورة الأصلية 256×256 بكسل. (ب) نفس الصورة 128×128 بكسل. (ج) نفس الصورة 64×64 بكسل. (د) نفس الصورة 32×32 بكسل.

صف من البكسلات من بين كل صفين، وأيضاً عمود من البكسلات من بين كل عمودين حيث يتم تقسيم الصورة إلى عدد من الصفوف وعدد من الأعمدة من البكسلات. فالصورة الأصلية تتكون من ٢٥٦ صفاً و٢٥٦ عموداً من البكسلات ولذلك فإننا نقول إنها 256×256 بكسل.

الشكل رقم (١١.٢) يبين تأثير جودة التحديد resolution حيث نلاحظ في الشكل رقم (أ) (١١.٢) الذى يمثل الصورة الأصلية 256×256 بكسل والشكل رقم (١١.٢) ب) يمثل الصورة 128×128 بكسل معروضة في نفس مساحة الصورة الأصلية والشكل رقم (١١.٢) ج) عبارة عن صورة 64×64 بكسل معروضة في نفس مساحة الصورة الأصلية، وأخيراً الشكل رقم (١١.٢) د) يمثل صورة 32×32 بكسل معروضة في نفس مساحة الصورة الأصلية. لاحظ في هذه الأشكال ظهور عيب الصندوق blocking effect حيث تظهر الصورة فى صورة صناديق تشابه صناديق لوحة الشطرنج تتسبب في عدم وضوح الصورة وعدم تحديدها، وهذا عيب معروف في وسط المعالجة الرقمية للصور وهناك العديد من طرق التخلص منه.

كما ذكرنا فإن الصورة الرقمية عبارة عن مصفوفة من الأرقام كل رقم يمثل كثافة intensity أو شدة الإضاءة عند هذه البكسل. الرقم الممثل لكثافة كل نقطة يتم التعبير عنه بعدد من البتات في حالة الصور الرمادية. فمثلاً في حالة استخدام بايت كاملة (ثمانية بتات) لتمثيل هذه الأرقام فإن كل رقم من هذه الأرقام سيتراوح من صفر - ٢٥٥، أي أن عدد مستويات الرمادية في هذه الحالة سيكون ٢٥٦ مستوى. بفرض أن لدينا صورة مساحتها 64×64 بكسل فإن هذه الصورة ستحتاج لذاكرة مقدارها $1 \times 64 \times 64$ بايت = ٤٠٩٦ بايت. بالنسبة للصور الملونة RGB فإن كل بكسل تمثل بثلاثة بايت حيث تمثل درجة كل لون ببايت، بايت يمثل كثافة اللون الأحمر، وآخر

يمثل كثافة اللون الأخضر، والثالث يمثل كثافة اللون الأزرق، بحيث عند جمع الثلاث مركبات نحصل على اللون الطبيعي للبكسل. في هذه الحالة فإن الصورة السابقة ستحتاج للذاكرة أكبر حيث ستكون $٣ \times ٦٤ \times ٦٤$ بايت = ١٢٢٨٨ بايت.



الشكل رقم (١١،٢). (أ) الصورة الأصلية. (ب) صورة ١٢٨×١٢٨ بكسل. بنفس مساحة الصورة الأصلية. (ج) صورة ٦٤×٦٤ بنفس مساحة الصورة الأصلية. (د) صورة ٣٢×٣٢ بنفس مساحة الصورة الأصلية.

الشكل رقم (١١.٣) يبين تمثيل الكثافة بأعداد مختلفة من البتات بدأ من سبعة بتات = ١٢٨ مستوى وانتهاء بـ ١ بت = مستويين فقط. نلاحظ أنه بزيادة عدد مستويات تمثيل مستوى الرمادية فإن الصورة تكون أفضل ومريحة أكثر للعين البشرية.



الشكل رقم (١١.٢). تمثيل الصورة بمستويات رمادية مختلفة. (أ) ١٢٨ مستوى. (ب) ٣٢ مستوى. (ج) ١٦ مستوى. (د) ٨ مستويات. (هـ) ٤ مستويات. (و) مستويان.

تمثيل الصورة بمستويين رماديين كما في الشكل رقم (١١.١) يعطي صورة أبيض وأسود فقط ويتم ذلك عن طريق اختيار مستوى رمادية معين ووضع جميع البكسلات التي كثافتها أعلى منه باللون الأبيض والبكسلات التي كثافتها أقل منه باللون الأسود، ولذلك فإن الصورة الناتجة ستعتمد في مظهرها على مقدار المستوى الذي سيتم اختياره. الشكل رقم (١١.٣) يبين نفس صورة أسيل في المستويين الأبيض

والأسود باستخدام أكثر من مستوى فصل وباستخدام دالة الماتلاب التالية:

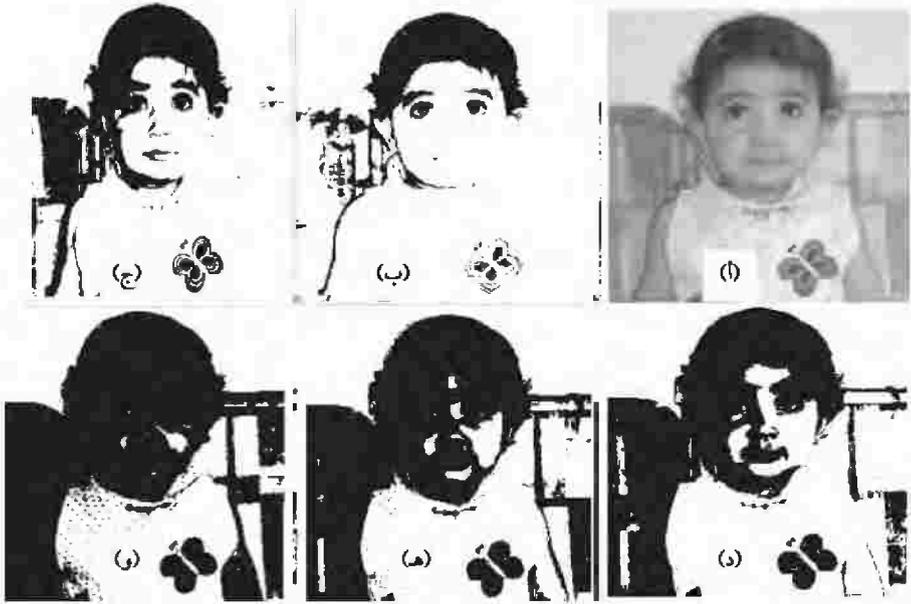
$$BW = \text{im2bw}(I, \text{level})$$

حيث BW هي الصورة الأبيض والأسود الناتجة، و I هي الصورة المراد تمثيلها بالمستويين الأبيض والأسود و level هو المستوى الذي ستكون كثافة البكسلات الأعلى منه باللون الأبيض والبكسلات التي ستكون كثافتها أقل منه باللون الأسود كما في الشكل رقم (١١.٤).

(١١.٢) تحسين الصور

Image Enhancement

المقصود بتحسين الصورة هو الحصول على صورة أفضل من الصورة الأصلية باستخدام طريقة أو خواريزم معين. خواريزمات تحسين الصورة كثيرة ومتعددة وتعتمد بدرجة كبيرة على الصورة نفسها، فالطريقة التي تعطي نتائج جيدة مع صور الكاميرات الضوئية ليس بالضرورة أن تعطي نفس الجودة مع صور أشعة أكس. تنقسم خواريزمات تحسين الصورة إلى قسمين، قسم يعمل في النطاق المكاني أو المساحي spatial domain الذي يعمل على مساحة الصورة وعلى بكسلاتها، أما القسم الثاني فيعمل على الصورة وهي في النطاق الترددي frequency domain أي بعد أخذ تحويل فوريير لها. ونحن هنا سنقدم عرضاً سريعاً لبعض هذه الطرق والخواريزمات دون الدخول في تفاصيل معظمها أو حتى ذكرها كلها لضيق المساحة المخصصة لهذا الموضوع وهي هذا الفصل فقط.



الشكل رقم (١١.٢). الحصول على صورة أبيض وأسود من الصورة الرمادية بأكثر من مستوى تشبع
 (أ) الصورة الأصلية. (ب) $level=0.4$ (ج) $level=0.5$. (د) $level=0.6$.
 (هـ) $level=0.65$. (و) $level=0.7$.

(١١.٢.١) طرق التحسين في نطاق مساحة الصورة Spatial Domain

يمكن التعبير عن أي عملية على الصورة في نطاق المساحة بالمعادلة البسيطة

التالية:

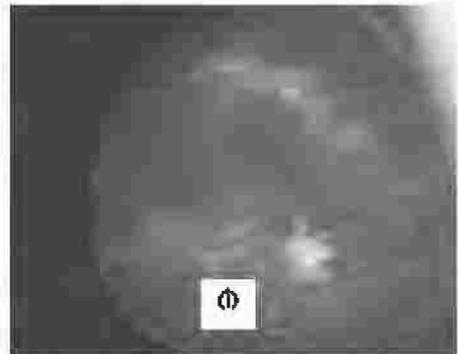
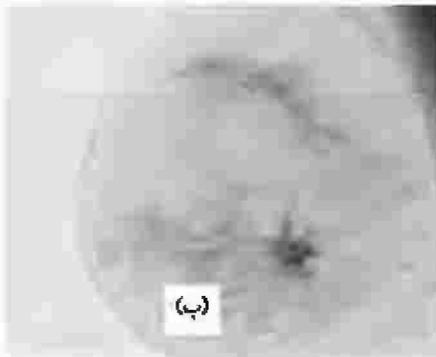
$$(١١.١) \quad g(x,y)=T(f(x,y))$$

حيث $f(x,y)$ تمثل بكسل في الصورة الأصلية، و $g(x,y)$ تمثل البكسل الناتجة بعد

إجراء العملية أو التحويل T عليها. من أشهر هذه التحويلات هو الحصول على الصورة السالبة negative للصورة الأصلية حيث يمكن التعبير عن ذلك بالمعادلة التالية:

$$s=L-1-r \quad (١١.٢)$$

حيث L هي الحد الأقصى لعدد المستويات الرمادية (٢٥٦ في حالة التمثيل باستخدام ثمانية بتات)، و r هي المستوى الرمادي لأي بت في الصورة الأصلية، و s هي المستوى الرمادي لأي بت في الصورة السالبة. إن عملية الحصول على الصورة السالبة لا تكون بغرض التسلية فقط ولكن في العادة يكون هناك صور إذا تم عكسها تكون الصورة أفضل ومينة للكثير من التفاصيل كما في الشكل رقم (١١.٥) الذي يبين صورة أشعة أكس للثدي يتم فحصه لتشخيص وجود سرطان من علمه في هذا الثدي حيث نلاحظ أن الصورة الأصلية تحتوي الكثير من السواد مما أخفى الكثير من تفاصيلها، ولكن بعكسها ظهر الكثير من التفاصيل.



الشكل رقم (١١.٥). ماموجرام (أ) الصورة الأصلية. (ب) الصورة السالبة.

طريقة عكس الصورة بالمعادلة رقم (١١.٢) طريقة خطية كما هو واضح من المعادلة، هناك طرق أخرى غير الطرق الخطية والتي منها الطريقة اللوغاريتمية الممثلة في المعادلة التالية:

$$(١١.٣) \quad s=c\text{Log}(1+r)$$

حيث c قيمة ثابتة، و s و r كما ذكرنا سابقاً. لاحظ أن هذا التحويل سيضغط المستويات الرمادية العالية. يمكن أيضاً استخدام تحويل أسّي على المستويات الرمادية لتحسين الصورة كما في المعادلة التالية:

$$(١١.٢) \quad s=cr^g$$

حيث كل من c و g ثوابت موجبة.

المعادلات رقم (١١.٢) و (١١.٣) و (١١.٤) تتعامل مع كل بكسلات الصورة بنفس الطريقة. هناك طرق للتحسين تقسم مستويات الصورة الرمادية إلى عدد من المجالات، فمثلاً المجال الأول من المستوى الرمادي صفر حتى المستوى ١٠٠، والمجال الثاني من المستوى ١٠٠ حتى المستوى ١٥٠ والثالث من المستوى ١٥٠ حتى المستوى ٢٥٦ وهكذا، ثم بعد ذلك تقوم بمعالجة كل مجال من هذه المجالات بطريقة تحسين معينة أو معادلة تحسين معينة من المعادلات السابقة تختلف عن المجال الآخر. بالطبع معظم هذه الطرق تخضع للتجربة وتكون العين البشرية هي الحكم النهائي حيث يتم التحسين بعد محاولات مختلفة حتى تصل إلى أحسن رؤية.

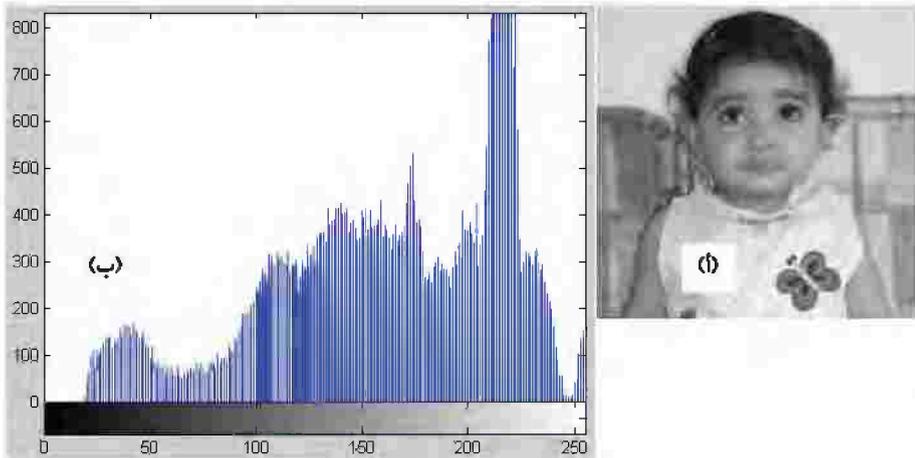
(١١.٢.٢) المدرج الإحصائي (الهستوجرام) Histogram

الهستوجرام هو إحدى طرق تحسين الصورة الشهيرة التي تعمل على بكسلات

الصورة، أي في النطاق المساحي للصورة. بفرض أن لدينا صورة رقمية عدد مستوياتها الرمادية يمتد من المستوى صفر إلى المستوى $L-1$. هستوجرام هذه الصورة يمكن كتابته كما في المعادلة التالية:

$$h(r_k) = n_k \quad (11.4)$$

حيث $k=0,1,2,\dots,L-1$ و r_k هو المستوى الرمادي رقم k ، و n_k هو عدد البكسلات التي لها هذا المستوى الرمادي. فمثلاً في صورة لها ٢٥٦ مستوى رمادي، الهستوجرام يحسب عدد البكسلات الصورة التي لها المستوى صفر، وعدد البكسلات التي لها المستوى واحد، وعدد البكسلات التي لها المستوى ٢، ... وهكذا إلى المستوى ٢٥٥. يتم تمثيل الهستوجرام على محورين، الأفقي يمثل المستويات من صفر حتى ٢٥٥، والرأسي يمثل عدد البكسلات في هذا المستوى. الشكل رقم (١١،٦) يبين صورة أسيل ومجوارها الهستوجرام الخاص بها.



الشكل رقم (١١،٦). (أ) صورة أسيل. (ب) الهستوجرام.

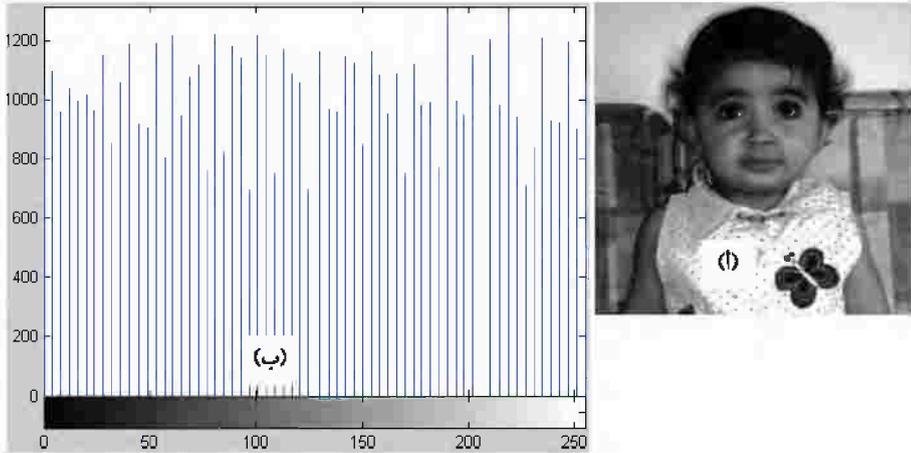
لاحظ الشريط الموجود في أسفل الهستوجرام والذي يبين أن أقصى مستوى في اللون الأبيض هو المستوى ٢٥٦ بينما المستوى صفر يمثل أقصى اللون الأسود. نلاحظ أيضاً من الهستوجرام أن الصورة تميل إلى اللون الأبيض حيث نلاحظ تمركز الهستوجرام ناحية اللون الأبيض. حتى تكون الصورة ذات تباين جيد يجب أن يكون الهستوجرام الخاص بها منتظماً تقريباً على كل المستويات الرمادية أو يأخذ شكل الجرس بحيث يكون عالياً قليلاً عند المستويات الرمادية المتوسطة ويقل تدريجياً عند مستويات الأطراف. هناك طرق لتحسين الصورة عن طريق ضبط الهستوجرام بضيق المكان لشرحها هنا ولكن يمكن قراءة تفاصيلها في أي مرجع من مراجع معالجة الصور. برنامج الماتلاب به دالة تقوم بضبط هستوجرام أي صورة تسمى histogram equalization وتكتب كما يلي:

$$I = \text{haste}(J) \quad (١١.٤)$$

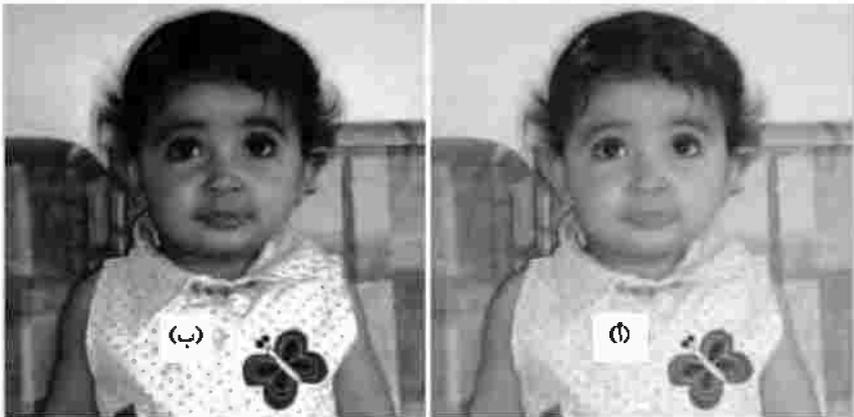
حيث I هي الصورة الناتجة بعد تعديل هستوجرام الصورة J. باستخدام الدالة السابقة لتعديل هستوجرام صورة أسيل في الشكل رقم (١١.٦) نحصل على الصورة الجديدة والهستوجرام الخاص بها كما في الشكل رقم (١١.٧).

لاحظ التباين الزائد في الصورة الناتجة حيث اللون الأبيض أصبح أكثر بياضاً والأسود أصبح أكثر سواداً. ربما لو وضعنا الصورتين متجاورتين يمكننا أن نلاحظ هذا الفرق بسهولة كما في الشكل رقم (١١.٨). إن تعديل الصورة عن طريق تعديل الهستوجرام يعتمد بدرجة كبيرة على خبرة المستخدم وعلى عين الرائي.

إن موضوع الهستوجرام وطرق تعديله يتم عرضه في صفحات عديدة في أي كتاب ولكننا نكتفي بهذا القدر عنه هنا حيث إننا نعرض في هذا الفصل الأفكار فقط عن موضوع المعالجة الرقمية للصور.



الشكل رقم (١١,٧). (أ) الصورة بعد تعديلها عن طريق تعديل المستويجرام. (ب) المستويجرام الجديد.



الشكل رقم (١١,٨). (أ) الصورة قبل التعديل. (ب) الصورة بعد التعديل عن طريق تعديل المستويجرام الخاص بها.

Spatial Filtering (١١.٢.٣) المرشحات في النطاق المساحي للصورة

إن كلمة مرشح ترتبط دائماً بالعمل على المحتويات الترددية للإشارة أو الصورة ويتم ذلك في العادة بعد أخذ تحويل فوريير لهذه الصورة. هذا النوع من المرشحات ليس هو موضوعنا هنا ولكنه سيكون موضوع جزء خاص بذلك. المرشح الذي نعنيه هنا هو مرشح يعمل على بكسلات الصورة أو يعمل على الصورة وهي في النطاق المساحي. مثال ذلك أن تمثل مستوى الرمادية لكل بكسل بمتوسط مستوى الإضاءة للشمان بكسلات المحيطة بها مثلاً. تتم عملية الترشيح في هذه الحالة تبعاً للخطوات التالية:

- ١- يتم تحديد مساحة المرشح filter أو أحياناً يسمى القناع mask وأحياناً أخرى يسمى النافذة window ونحن هنا سنستخدم أي واحد من هذه الأسماء. في العادة تكون هذه المرشحات مربعة الأبعاد مثل ٣×٣ بكسل أو ٤×٤ بكسل وهكذا، وتتوقف المساحة على حسب المرشح المستخدم.
- ٢- يتم تحديد معامل أو ثابت لكل بكسل من بكسلات هذا المرشح. قيمة هذا المعامل تتوقف على الغرض المستخدم من أجله المرشح كما سنرى.
- ٣- يتم تطبيق المرشح على الصورة ومسحها به، ويتم ذلك في العادة بدأ من الصف الأعلى من اليسار وانتهاء بالصف الأسفل من اليمين. عند كل موضع من مواضع المسح يتم ضرب معاملات المرشح في قيمة مستوى كل بكسل مقابل بكسلات الصورة كما في المعادلة التالية:

$$R = w(-1, -1)f(x-1, y-1) + w(-1, 0)f(x-1, y) + w(-1, 1)f(x-1, y+1) + \\ w(0, 1)f(x, y+1) + w(1, 1)f(x+1, y+1) + w(1, 0)f(x+1, y) + \\ w(1, -1)f(x+1, y-1) + w(0, -1)f(x, y-1) + w(0, 0) f(x, y) \quad (11, 6)$$

لاحظ أن النافذة أو المرشح المستخدم في المعادلة رقم (١١.٦) مساحتها 3×3 بكسل متمركزة حول البكسل (x, y) ، والقيمة R والتي تعدها استجابة المرشح في هذه الحالة تمثل مستوى الرمادية الجديد عند النقطة (x, y) . يمكن كتابة معادلة الترشيح السابقة بصورة عامة كما يلي :

$$(١١.٧) \quad g(x, y) = \sum_{s=-a}^a \sum_{r=-b}^b w(s, r) f(x+s, y+r)$$

حيث a و b تمثل مساحة المرشح أو النافذة التي سيتم إجراؤها على بكسلات الصورة $f(x, y)$ لتنتج بكسلات الصورة الجديدة $g(x, y)$. لترشيح صورة كاملة ذات أبعاد $M \times N$ فإن x في المعادلة رقم (١١.٧) ستتغير من صفر حتى $M-1$ ، و y ستتغير من صفر حتى $N-1$.

(١١.٢.٤) مرشحات تنعيم الصورة Smoothing Filters

مرشحات التنعيم تعتمد في نظريتها على استبدال مستوى الرمادية لكل بكسل بمتوسط مستوى الرمادية للبكسلات المحيطة بها على حسب مساحة المرشح. سميت بمرشحات التنعيم لأن أخذ المتوسط على مستوى مساحة معينة يقلل من حدة الحواف الموجودة في هذه المنطقة من الصورة، وهذه العملية تسمى *blurring* أو الضبابية حيث إن الصورة في هذه الحالة تظهر كما لو كانت مأخوذة في ضباب حيث تتلاشى أو تخف حدة الحواف الموجودة في الصورة وهذه من العيوب الجانبية لهذا النوع من المرشحات. وهذه الظاهرة تكون مفيدة في الصور التي بها ضوضاء عشوائية تتسم بالحدة حيث يمكن في هذه الحالة تخفيف حدة هذه الحواف العشوائية وهذه من مميزات هذه المرشحات. ومن مميزات هذه المرشحات أيضاً أنه يمكن استخدامها في تخفيف حدة

المسارات أو الحلقات الكاذبة التي تظهر في الصورة نتيجة استخدام عدد غير كاف من المستويات الرمادية لتمثيل الصورة والتي سميت من قبل بعيب الصندوق.

يوجد نوعان من هذه المرشحات والنوعان ممثلان في الماتلاب كما سنرى. النوع الأول يسمى مرشحات التنعيم الالتفافية convolution smoothing filters وهذا النوع يقوم بنفس الدور الذي كانت تقوم به عملية الالتفاف التي شرحناها على الإشارات سابقاً، حيث يتم قلب الإشارة وبعد ذلك يتم سحبها على الإشارة الأخرى مع الضرب عند كل خطوة سحب. هنا يتم دوران المرشح أو النافذة التي سيتم استخدامها كمرشح بمقدار ١٨٠ درجة وبعد ذلك يتم ضرب بكسلات المرشح في بكسلات الصورة مع الإزاحة المستمرة من اليمين لليسار ومن أعلى لأسفل.

برنامج الماتلاب لديه الدالة imfilter التي تقوم بترشيح الصورة المعطاة تبعاً للمرشح المعطى أيضاً. الخطوات التالية تبين ذلك:

```
I=imread('d:\aseel\aseel256.jpg');
J = rgb2gray(I);
J = imresize(J,[256 256]);
imshow(J);title('Original Image')
h = ones(11,11) / 121;
I2 = imfilter(J,h,'conv');
figure; imshow(I2); title('Filtered Image')
```

حيث تم تحديد المرشح الذي سيتم استخدامه بالمصفوفة h وبعد ذلك تم إجراء عرض للصورتين الأصلية والمرشحة كما في الشكل رقم (١١،٩).

الدالة imfilter يمكن استخدامها بدون الاختيار 'conv' حيث في هذه الحالة سيتم ضرب بكسلات المرشح مباشرة في البكسلات المقابلة لها في الصورة الأصلية بدون عملية الدوران ١٨٠ درجة كما في حالة دالة الالتفاف convolution. هذه هي

الحالة التلقائية للدالة `imfilter`، أي أنه إذا لم تكتب بها الاختيار 'conv' فإن الدالة لن تنفذ الضرب الالتفافي، ولكنها ستنفذ الضرب العلاقي `correlation` فحاول تنفيذ نفس البرنامج السابق بنفس حجم النافذة أو المرشح (11×11 بكسل والرقم واحد) وانظر هل هناك فرق بين الحالتين أم لا. المفروض ألا يكون هناك فرق لأن مصفوفة المرشح أو نافذة الترشيح كلها تحتوي الرقم واحد فقط ولن تتأثر بعملية الدوران 180 درجة نتيجة إجراء الضرب الالتفافي. هناك ملاحظة ثانية على الصورة الناتجة من مرشح التنعيم في الشكل رقم (11.9) وهي وجود إطار أسود أو حدود حول الصورة الناتجة من الترشيح وهذا الإطار أو هذا الحد لم يكن موجوداً في الصورة الأصلية، إذن فما هو سبب وجود هذا الإطار؟ سبب وجود هذا الإطار نفهمه لو فهمنا طريقة تطبيق هذا المرشح. كما ذكرنا أنه يتم تطبيق مساحة المرشح على مساحة الصورة لتعديل أو تنعيم مستوى نقطة المركز في مساحة المرشح، ثم نبدأ في تحريك المرشح بالنسبة للصورة من اليسار لليمين ومن أعلى لأسفل إلى أن ننتهي من مسح الصورة كلها.

السؤال الآن هو ما هو موقف النقاط الموجودة على حافة الصورة أو على إطارها؟ عندما تكون واحدة من هذه النقاط هي مركز مساحة المرشح فإن جزءاً من مساحة المرشح سيقع خارج نقاط الصورة حيث لا توجد بكسلات معروفة للصورة يمكن الضرب فيها، فما هو الموقف في هذه الحالة وكيف سنتعامل مع بكسلات المرشح التي تقع خارج نطاق الصورة. هناك أكثر من حل لهذا الموقف، أحدها أن يتم فرض مستوى رمادية هذه البكسلات بأصفار وهذا ما يفعله الماتلاب فعلاً وهو السبب في ظهور الإطار الأسود حول الصورة وهو ما يسمى `zero padding`. هناك حل آخر وهو أن كل بكسل خارج نطاق الصورة تأخذ نفس مستوى الرمادية في النقطة المجاورة لها على حافة الصورة أو بمعنى آخر يتم تكرار نقاط الحافة كبكسلات خارج الصورة وهو

ما يسمى *border replication*. ويمكن عمل ذلك في الدالة *imfilter* بإضافة كلمة *replicate* لها حيث ستكون النتيجة كما في الشكل رقم (١١.١٠) حيث نلاحظ اختفاء الحافة الخارجية تقريباً بالمقارنة بالصورة الموجودة في الشكل رقم (١١.٩). (ب).



الشكل رقم (١١.٩). (أ) الصورة الأصلية. (ب) نفس الصورة بعد تطبيق مرشح التعميم الاتفاقي عليها.

(١١.٢.٥) مرشحات الوسط *Median Filters*

هذا النوع من المرشحات مفيد جداً في إزالة نوع معين من الضوضاء التي تقع على الصورة والتي تكون في صورة نقاط سوداء جداً في وسط أقل سواداً، أو العكس نقاط بيضاء جداً في وسط أقل بياضاً أيضاً. هذا النوع من الضوضاء يسمى ضوضاء الملح والفلفل *salt and pepper noise* لأنها تشبه حيات الفلفل الأسود المنتشرة في الملح الأبيض. مرشح الوسط *median filter* عبارة عن نافذة مربعة لا تحتوي على أي معاملات نسمح بها الصورة كما سبق، ولكننا نقرأ مستويات بكسلات الصورة تحت هذه النافذة ونرتبها ترتيباً تصاعدياً ونأخذ القيمة المتوسطة فيها ونستبدل بها قيمة البكسل التي نرشحها أو نعالجها والتي هي البكسل الموجودة في مركز النافذة.



الشكل رقم (١١.١٠). تأثير المعاملة مع حواف الصورة.

فمثلاً لو فرضنا أن بكسلات الصورة التي كانت تحت نافذة أبعادها 3×3 مستوياتها الرمادية كالتالي (٥٠، ١٠، ٨٠، ٣٠، ٠، ١٠٠، ٢٥، ٨٨، ٩٠). لتطبيق مرشح الوسط على هذه النافذة نقوم بترتيب البكسلات السابقة ترتيباً تصاعدياً من اليسار لليمين كالتالي (٠، ١٠، ٢٥، ٣٠، ٥٠، ٨٠، ٨٨، ٩٠، ١٠٠)، وعلى ذلك تكون القيمة الوسطى هي القيمة ٥٠ حيث إن قبلها أربع قراءات أقل منها وبعدها أربع قراءات أكبر منها كما ترى. بعد ذلك نقوم باستبدال قيمة البكسل التي في مركز المرشح بالقيمة ٥٠. لاحظ أننا نبعد عن القيمة الوسطى في النافذة، أي التي في منتصف القائمة، بعد الترتيب وقلها عدد من النقاط يساوي العدد الذي بعدها. البعض يعتقد أننا نحسب متوسط نقاط النافذة وهذا خطأ. برنامج الماتلاب يوفر الكثير من النوال للمساعدة في ذلك ومنها مثلاً الدالة :

```
J = imnoise(J,'salt & pepper',0.02);
```

التي تضيف الضوضاء من نوع الملح والفلفل للصورة بنسبة ٠.٠٢ من عدد بكسلات الصورة، وكذلك فإن كثافة كل بكسل أو مستوى الرمادية لها يكون ٠.٠٢ أيضا. البرنامج التالي سيضيف هذا النوع من الضوضاء على صورة أسيل الأصلية ثم يستخدم مرشح وسط بالأبعاد ٣×٣ لإزالة هذه الضوضاء كما في الشكل رقم (١١.١١) الذي يبين الصورة الأصلية والصورة مع الضوضاء ثم الصورة بعد إزالة هذه الضوضاء.



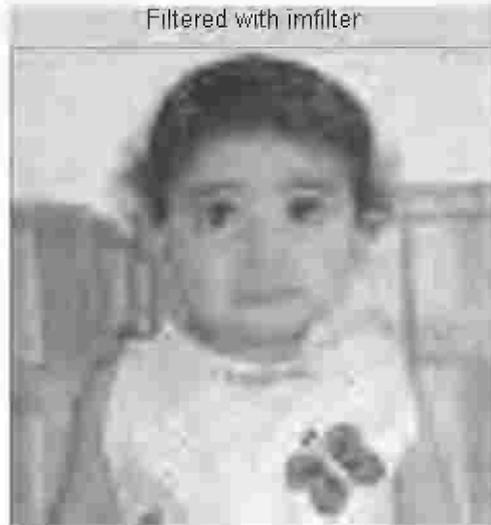
الشكل رقم (١١.١١). تأثير مرشح الوسط **median filter** على ضوضاء الملح والفلفل. (أ) الصورة الأصلية. (ب) الصورة مضافا إليها الضوضاء (ج) الصورة بعد إزالة الضوضاء.

```
I=imread('d:\aseel\aseel256.jpg');
J = rgb2gray(I);
J = imresize(J,[256 256]);
imshow(J);title('Original Image')
J = imnoise(J,'salt & pepper',0.02);
figure, imshow(J)
L = medfilt2(J,[3 3]);
figure, imshow(L)
```

لكي نرى مدى جودة مرشح الوسط في إزالة هذا النوع من الضوضاء سنحاول إزالة هذه الضوضاء بمرشح تنعيم كما سبق باستخدام الدالة:

```
h = ones(3,3) / 9;
I2 = imfilter(I,h);
```

الشكل رقم (١١.١٢) يبين كيف أن مرشح التنعيم لم يزيل هذه الضوضاء كما فعل مرشح الوسط.



الشكل رقم (١١.١٢). إزالة ضوضاء الملح والفلفل باستخدام مرشح تنعيم.

(١١.٢.٦) مرشحات زيادة الحدة أو الإظهار Sharpening Filters

إظهار الصورة تقصد به التخلص مما بها من ضبابية إن وجدت، وكذلك التأكيد أو إظهار تفاصيل الصورة بما فيها من حواف ومكونات. كما ترى فإن عملية الإظهار

عكس عملية الضبابية blurring. كما ذكرنا من قبل فإن الضبابية عبارة عن تجميع لشدة البكسلات في المنطقة المجاورة وإيجاد متوسطها وإحلالها محل البكسل الموجودة في مركز هذه المنطقة. أي أنها في النهاية عبارة عن عملية تكامل لشدة البكسلات في هذه المنطقة. لذلك فإننا نتوقع أن تكون عملية الإظهار sharpening عبارة عن عملية تفاضل (عكس عملية التكامل في مرشحات الضبابية). كما نعلم فإن التفاضل في الدوال الرقمية عبارة عن الفرق، لذلك فإنه في المنطقة المتجانسة التي لها نفس مستوى الرمادية عند كل البكسلات سيكون تفاضلها يساوي صفراً. بينما عند أي حافة أو خط في الصورة يجب أن نتوقع أن التفاضل سيكون كبيراً لأنه عند الخط أو الحافة هناك تغير مفاجيء في الشدة. وعلى ذلك فالمعادلة التالية تحدد التفاضل في الاتجاه x كما يلي:

$$(١١.٨) \quad \frac{\partial f(x)}{\partial x} = f(x+1) - f(x)$$

في بعض الخوارزميات تكون هناك حاجة للتعامل مع التفاضل الثاني للدالة، ويمكن تعريف التفاضل الثاني في هذه الحالة كما يلي:

$$(١١.٩) \quad \frac{\partial^2 f(x)}{\partial x^2} = f(x+1) + f(x-1) - 2f(x)$$

بتطبيق المعادلة رقم (١١.٩) على صورة $f(x,y)$ يمكن كتابة المعادلتين التاليتين:

$$(١١.١٠) \quad \frac{\partial^2 f(x,y)}{\partial x^2} = f(x+1,y) + f(x-1,y) - 2f(x,y)$$

$$(١١.١١) \quad \frac{\partial^2 f(x,y)}{\partial y^2} = f(x,y+1) + f(x,y-1) - 2f(x,y)$$

بجمع المعادلتين رقمي (١١.١٠) و (١١.١١) يمكن كتابة معادلة التفاضل الثاني للصورة كما يلي:

$$(١١.١٢) \quad \frac{\partial^2 f(x,y)}{\partial(x,y)^2} = f(x+1,y) + f(x-1,y) + f(x,y+1) + f(x,y-1) - 4f(x,y)$$

المعادلة رقم (١١.١٢) تسمى اللابلاسيان Laplacian وفي العادة تكتب كما يلي:

$$(١١.١٣) \quad \nabla^2 f(x,y) = f(x+1,y) + f(x-1,y) + f(x,y+1) + f(x,y-1) - 4f(x,y)$$

الشكل رقم (١١.١٣) يبين طريقة وضع اللابلاسيان في صورة مرشح مساحة أو نافذة. الشكل رقم (١١.١٣) ب) يبين نفس اللابلاسيان ولكن مع أخذ كل من قطري النافذة في الاعتبار.

1	1	1
1	-8	1
1	1	1

0	1	0
1	-4	1
0	1	0

(ب)

(أ)

الشكل رقم (١١.١٣). تنفيذ اللابلاسيان كمرشح مساحة أو نافذة.

```
h = fspecial('laplacian
```

تعطي نافذة لابلاس مناسبة للتطبيق الفوري على الصورة. بتنفيذ هذه الدالة

نحصل على النافذة التالية :

```
h =
0.1667  0.6667  0.1667
0.6667 -3.3333  0.6667
0.1667  0.6667  0.1667
```

الآن يمكن ترشيح أي صورة بهذه النافذة لنحصل على الصورة اللابلاسيان كما

في الشكل رقم (١١،١٤) وكما هو في البرنامج التالي :

```
I = imread('d:\aseel\aseel256.jpg
```

```
J = rgb2gray(I
```

```
[J = imresize(J,[256 256
```

```
imshow(J);title('Original Image
```

```
h = fspecial('laplacian
```

```
I3 = imfilter(J,h
```

```
figure; imshow(I3); title('Laplacian image
```

لاحظ السواد الزائد في الصورة اللابلاسيان ، وهذا متوقع لأننا كما ذكرنا عندما

نفاضل نأخذ الفرق ، وعندما تكون النقطتان متساويتين فالفرق بينهما يكون صفرا

ويظهر بالطبع باللون الأسود كما نرى إلا عند الحواف أو الخطوط يكون الفرق له قيمة

لذلك يظهر بلون رمادي تبعاً لقيمة هذا الفرق. هنا يظهر سؤال ، ماذا سنستفيد من هذه

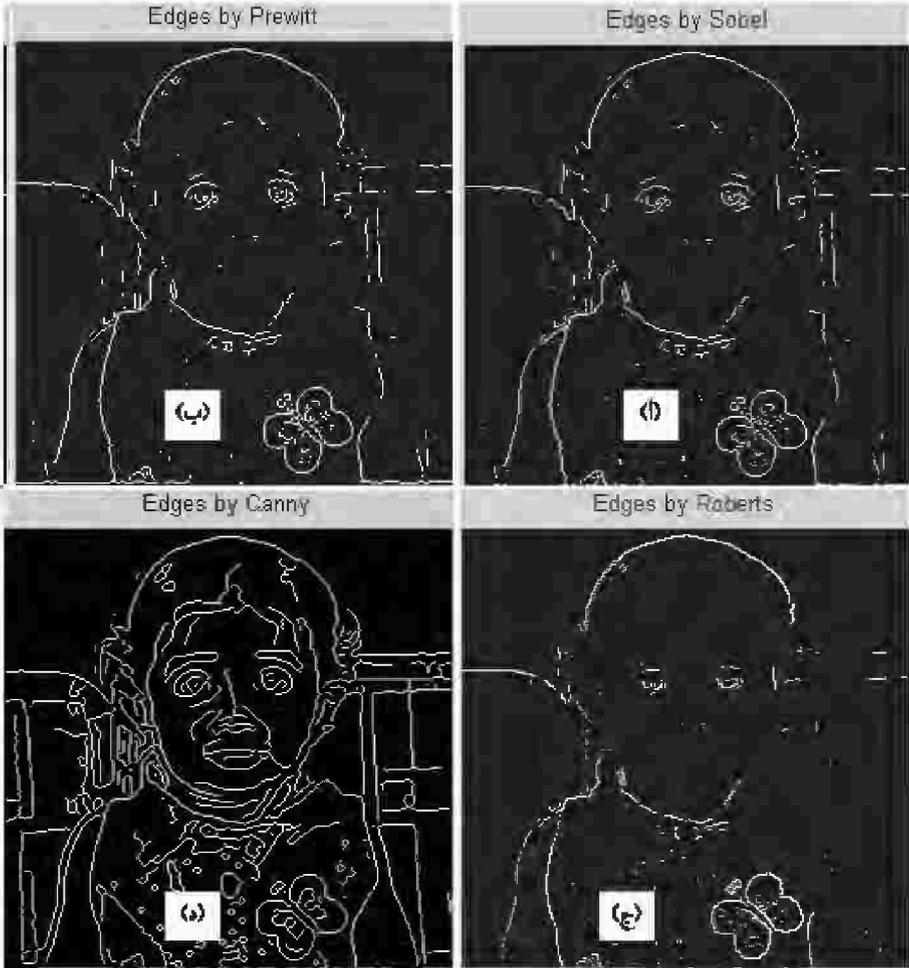
الصورة؟ في الحقيقة فإن الصورة الموجودة في الشكل رقم (١١.١٤) في حد ذاتها تكون غير مفيدة، ولكن في الكثير من التطبيقات عند إضافة هذه الصورة على الصورة الأصلية يحدث تحسين كبير في الصورة وبالذات من ناحية الإظهار sharpening حيث مع إضافة الصورتين يتم التأكيد على الخطوط والخواف.



الشكل رقم (١١.١٤). الصورة اللابلاسيان.

كما رأينا فإنه بالتفاضل يمكن إظهار الخطوط والخواف، ومن هنا ظهر الكثير من الخوارزميات التي تستعمل مرشحات مساحية بمعاملات معينة لإظهار هذه الخواف والتأكيد عليها، ونحن هنا لن نخوض في تفاصيل هذه الخوارزميات لأنها تحتاج لمساحات كبيرة من الشرح. من هذه الخوارزميات سوبيل Sobel وپرويت Prewitt وروبرتس Roberts وكاني Canny وكلها مرشحات تؤكد أو تظهر الخواف أو الخطوط في الصورة. الشكل رقم (١١.١٥) يبين تطبيق هذه الخوارزميات الأربعة على صورة أسيل باستخدام البرنامج التالي :

```
I=imread('d:\aseel\aseel256.jpg');
J = rgb2gray(I);
J = imresize(J,[256 256]);
imshow(J);title('Original Image');
BW1 = edge(J,'sobel');
```



الشكل رقم (١١.١٥). الحصول على حواف ومخطوط الصورة باستخدام محاوريزم. (أ) سوبل. (ب) بريت. (ج) روبرتس. (د) كاني.

```
figure; imshow(BW1);title('Edges by Sobel');
BW2 = edge(J,'prewitt');
figure; imshow(BW2);title('Edges by Prewitt');
BW3 = edge(J,'roberts');
figure; imshow(BW3);title('Edges by Roberts');
BW4 = edge(J,'canny');
figure; imshow(BW4);title('Edges by Canny');
```

(١١.٢.٧) المرشحات في النطاق الترددي للصورة Frequency Domain Filtering

كما علمنا من الفصول السابقة فإن المعالجة في النطاق الترددي تستلزم الحصول على تحويل فوريير للدالة أو الإشارة، وإذا كانت الإشارة أو الدالة رقمية فإننا نجري عليها تحويل فوريير الرقمي ولا حاجة لنا هنا لمراجعة تحويل فوريير لأنه تم ذلك في فصول سابقة، فقط وبما أن الصور تعد دالة ثنائية البعد فإننا سنعرض هنا فقط لتحويل فوريير ثنائي البعد.

تحويل فوريير للصور ثنائية الأبعاد يمكن كتابته كالتالي:

$$(١١,١٤) \quad F(u, v) = \frac{1}{MN} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) e^{-j2\pi \left(\frac{ux}{M} + \frac{vy}{N} \right)}$$

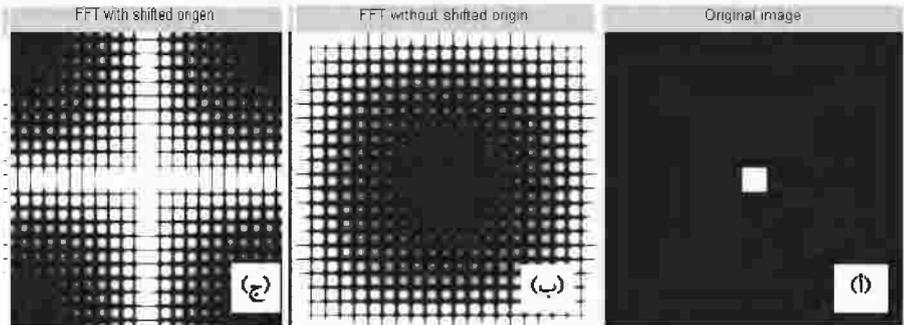
حيث M و N هي أبعاد الصورة في الاتجاه x و y على التوالي بالبعكسل و u و v هي التردد الرقمي حيث إن التحويل الناتج سيكون ثنائي الاتجاه بنفس عدد النقاط M في الاتجاه u و N في الاتجاه v ، وهذا يناظر تماما تحويل فوريير أحادي الاتجاه الذي درسناه سابقاً. بالتناظر يمكن كتابة تحويل فوريير العكسي ثنائي الاتجاه كما يلي:

$$(١١,١٥) \quad f(x, y) = \sum_{u=0}^{M-1} \sum_{v=0}^{N-1} F(u, v) e^{-j2\pi \left(\frac{ux}{M} + \frac{vy}{N} \right)}$$

كما نذكر فإن نقطة الأصل لتحويل فورير الرقمي أحادي الاتجاه تكون عند النقطة $w=0$ ، فإنه بنفس الطريقة ستكون نقطة الأصل لتحويل فورير ثنائي الاتجاه عند $u=0$ و $v=0$ ، وهذا في العادة يكون غير مرغوب فيه في حالة التعامل مع الصور حيث عادة نريد نقطة الأصل أن تكون في قلب مستوى الصورة، أي عند $u=M/2$ و $v=N/2$ وهذا يتم ببساطة بضرب الصورة $f(x,y)$ في القيمة $(-1)^{x+y}$ حيث يمكن من خواص تحويل فورير أن تثبت المعادلة التالية:

$$(١١.١٥) \quad \mathcal{F}[f(x,y)(-1)^{x+y}] = F(u - \frac{M}{2}, v - \frac{N}{2})$$

حيث $\mathcal{F}[\cdot]$ ترمز إلى تحويل فورير لما بين القوسين. وهذه المعادلة تعني أن نقطة الأصل لتحويل فورير للدالة $f(x,y)(-1)^{x+y}$ ستنقل إلى النقطة $u=M/2$ و $v=N/2$. الشكل رقم (١١.١٦) (ب) و (١١.١٦) (ج) يبين تحويل فورير للصورة الموجودة في الشكل رقم (١١.١٦) (أ)، والبرنامج التالي يبين طريقة الحصول على هذه الصور. لاحظ الفرق بين وجود نقطة الأصل في مركز الصورة ووجودها أعلى يسار الصورة.



الشكل رقم (١١.١٦). (أ) محول فورير لصورة. (ب) محول فورير بدون إزاحة نقطة الأصل. (ج) محول فورير بعد إزاحة نقطة الأصل لمركز الصورة.

```

; (f = zeros(256,256
; f(118:138,118:138) = 1
; ( imshow(f); title('Original image
; (F1 = fft2(f,256,256
; ((F2 = log(abs(F1
; ( figure; imshow(F2); title('FFT without shifted origin
; (F3 = fftshift(F1
; ((F4 = log(abs(F3
; ( figure; imshow(F4); title('FFT with shifted origin
    
```

(١١.٢.٨) ترشيح الصور في النطاق الترددي

كما نتوقع وكما درسنا في الفصول السابقة فإن ترشيح أي صورة في النطاق الزمني سيتم في الخطوات التالية:

- ١- اضرب الصورة في النطاق المساحي في $(-1)^{x+y}$ كما في المعادلة رقم (١١, ١٦) لجعل نقطة الأصل في النطاق الترددي في مركز الصورة.
- ٢- احسب تحويل فوريير الرقمي DFT للصورة باستخدام المعادلة رقم (١١, ١٤) لتحصل على الصورة في النطاق الترددي $F(u,v)$.
- ٣- اضرب تحويل فوريير للصورة $F(u,v)$ في تحويل فوريير للمرشح المطلوب $H(u,v)$ إجراؤه على الصورة ، وهناك أنواع كثيرة من هذه المرشحات.
- ٤- احسب تحويل فوريير العكسي لحاصل الضرب الناتج من الخطوة الثالثة باستخدام المعادلة رقم (١١, ١٥).

- ٥- احسب الجزء الحقيقي real part للنتائج من الخطوة الرابعة.
- ٦- اضرب النتائج من الخطوة الخامسة في $(-1)^{x+y}$ كما في المعادلة رقم (١١,١٦) لإرجاع نقطة الأصل لأصلها في الصورة في النطاق المساحي.
- وهذه الخطوات هي بالضبط ما تم تنفيذه في معرض الحديث عن المرشحات أحادية البعد في الفصول السابقة.

إن الحديث عن المعالجة الرقمية للصور تفرد له مراجع ضخمة ونحن هنا في هذا الفصل قد عرضنا لطرق تحسين الصورة عرضاً مختصراً جداً حيث إن هناك طرقاً أخرى عديدة لتحسين الصورة. بجانب هذا فإن الأمر لا يتوقف على تقنيات تحسين الصورة فقط بل إن هناك أيضاً ضغط الصورة وهي عبارة عن مجموعة من الخوارزميات التي تضغط الصورة بحيث تأخذ أقل مساحة تخزينية ممكنة لأن الصور كما نعلم تحتاج مساحات تخزينية كبيرة. هناك أيضاً تقنيات أو خوارزميات تقسيم الصورة والتعرف على محتوياتها، وهذا يأخذنا إلى موضوع الرؤية بالحاسب والذي يعد من الموضوعات النشطة بحثياً وتستخدم في تطبيقات الروبوتيات.

لذلك سنتوقف عند هذا الحد في الحديث عن أساسيات المعالجة الرقمية للصور تاركين الموضوع لمن يريد الاستزادة للرجوع إلى المراجع العديدة.

المراجع

References

المراجع لموضوع المعالجة الرقمية للإشارات كثيرة ولا حصر لها منذ منتصف خمسينيات القرن الماضي وإلى الآن ما بين كتب منشورة وأبحاث في دوريات . ولكننا رأينا أن هذه المجموعة من الكتب تغطي كل مواضيع هذا الكتاب وزيادة ولذلك اكتفينا بها.

- Andreas Antoniou " Digital Signal Processing, Signals, Systems, and Filters" Mc Graw Hill 2006.
- B. P. Lathi "Signal Processing & Linear Systems" Berkely Cambridge Press 1998.
- B. Preetham Kumar "Digital Signal Processing Laboratory" CRC Press 2005.
- Bernard Jahn, and Horst HauBecker "Computer vision and applications, a guide for students and practitioners" Academic Press 2000.
- Brian Hahn and Daniel T. Valentine "Essential MATLAB for engineers and scientists" Elsevier Ltd 2007.
- C. Britton Rorabaugh "Digital Filters Designer's Handbook" TAB Books.
- Christopher G. Relf "Image acquisition and processing with LabView" CRC Press 2004.
- E. S. Gopi "Algorithm Collections for Digital Signal Processing Applications Using Matlab" Springer 2007.
- Gregory Warnell "Signal Processing with Fractals: A Wavelet based approach" Printice Hall 1996.
- Hector Perez Meana "Advances in Audio and Specch Signal Processing Technologies and Applications" Idea Group Publishing 2007.
- Ida Mengyi Pu "Fundamental Data Compression" Butterworth Heinemann Publications, 2006.

- J. G. Proakis and D. G. Manolakis "Digital signal processing: principles, algorithms, and applications" Macmillan, New York, NY, third edition, 1996.
- John Watkinson "An Introduction to Digital Audio" Focal Press 1994.
- L. R. Rabiner and B. Gold. "Theory and applications in digital signal processing" Printice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1975.
- Lonnic C. Ludeman "Fundamentals Of Digital Signal Processing" Happer & Row Publishers, 1986.
- Mark Tathan and Katherine Morton "Expression in Speech, Analysis and Synthesis" Oxford University press, 2004.
- MathWork Inc. Manual "MATLAB, the language of technical computing" 2001.
- Misza Kalechman "Practical MATLAB, basics for engineers" CRC Press Taylor & Francis Group 2009
- Nasser Kehtarnavaz "Real Time Digital Signal Processing Based on the TMS320C6000" Elsevier 2005.
- Paul A. Lynn, and Wofgang Fuerst "Introductory Digital Signal Processing With Computer Applications" John Wiley & Sons, 1996.
- Rafael C. Gonzalez and Richard E. Woods "Digital image processing" Second edition, Printice Hall 2002.
- Richard G. Lyons "Understanding Digital Signal Processing" Printice Hall 2001.
- Robert M. Gray and Lee D. Davisson "An Introduction to Statistical Digital Signal Processing" Copy right by the authors 1999.
- S. G. Hoggar "Mathematics of digital images, creation, compression, restoration, recognition" Cambridge University Press 2006.
- S. R. Otto and J. P. Denier "An introduction to programming and numerical methods in MATLAB" Springer-Verlag 2005.
- Saeed V. Vaseghi "Advanced Digital Signal Processing and Noise Reduction" Second Edition, John Wiley and Sons Ltd, 2000.
- Sanjit K. Mitra "Digital Signal Processing, A Computer Based Approach" McGraw-Hill, 1998.
- Sen M. Kuo, Bob H. Lee "Real Time Digital Signal Processing, Implementation, Applications, and Experiments with TMS320C55X" John Wiley & Sons Ltd, 2001.
- Steven T. Karris "Mathematics for Business, Science, and Technology with MATLAB and Excel Computations" Third Edition, Orchard Publication, 2007.
- Steven T. Karris "Signals and systems with MATLAB computing and Simulink modeling" Orchard Publication, fourth edition 2008.
- Vijay K. Madisetti and Douglas B. Williams "Digital signal processing Handbook" CRCnet base 1999.
- Vinay K. Ingle, John G. Proakis "Digital signal processing using MATLAB V4" PWS Publishing company, 1997.
- Walt Kester "Mixed Signal And DSP Design Techniques" Printice Hall 2000.
- William K. Pratt "Digital image processing" John Wiley & Sons 2001.