بسم الله الرحمن الرحيم

معالجة الصورة الرقمية

تأليف

Rafael C. Gonzalez Richard E. Woods

ترجمة

د. مُحَمَّد سهيل العابد

أستاذ مساعد بقسم التقنية الطبية الحيوية

كلية العلوم الطبية التطبيقية – جامعة الملك سعود

دار جامعة الملك سعود للنشر
KING SAUD UNIVERSITY PRESS

ص.ب ٦٨٩٥٣ - الرياض ١١٥٣٧ المملكة العربية السعودية

ح دار جامعة الملك سعود للنشر، ١٤٤١هـ (٢٠٢٠م)

فهرسة مكتبة الملك فهد الوطنية أثناء النشر

غونزاليس ، رافائيل س

معالجة الصور الرقمية. / رافائيل س غونزاليس؛ وريتشارد إ وودز ؛ محمد سهيل العابد - الرياض، ١٤٤١هـ.

١٢٤٣ ص؛ ١٧سم × ٢٤ سم

ردمك: ٩ - ٨٧١ - ٥٠٧ - ٦٠٣ - ٩٧٨

١- التصوير الرقمي ٢- التصوير الضوئي أ. وودز، وريتشارد إ (مؤلف مشارك)

ب. العابد، محمد سهيل (مترجم) ج. العنوان

ديوي ٦٢١,٣٦٧ ١٤٤١/١٠٥٤٦

رقم الإيداع: ١٤٤١/١٠٥٤٦

ردمك: ٩ - ٨٧١ - ٥٠٧ - ٦٠٣ - ٩٧٨

هذه ترجمة عربية محكمة صادرة عن مركز الترجمة بالجامعة لكتاب:

Digital Image Processing
By: Rafael C. Gonzalez and Richard E. Woods
© 2008 Pearson Education, Inc
وقد وافق المجلس العلمي على نشرها في اجتماعه الثاني للعام ١٤٤٠/ ١٤٤١هـ المعقود بتاريخ ١٧/ ١/ ١٤٤١هـ الموافق ١٦/ ٩/ ٢٠١٩م

جميع حقوق النشر محفوظة. لا يسمح بإعادة نشر أي جزء من الكتاب بأي شكل وبأي وسيلة سواء كانت إلكترونية أو آلية بما في ذلك التصوير والتسجيل أو الإدخال في أي نظام حفظ معلومات أو استعادتها بدون الحصول على موافقة كتابية من دار جامعة الملك سعود للنشر.

دار جامعة الملك سعود للنشر
KING SAUD UNIVERSITY PRESS

مقدِّمة المترجم

لقد توسَّع مجال تطبيقات معالجة الصور حتى شمل مختلف أنشطة الحياة، فأصبح يشمل – على سبيل الذِّكْر لا الحصر – الطب، والقضاء، والإذاعة المرئية، والدفاع، والبحوث الفضائية، والاتصالات، والتعليم، وأبحاث الطاقة النووية، وأصبح الإلمام بمبادئ معالجة الصور ليس أمرًا مرغوبًا فحسب، بل ضرورة في كثير من الحالات. و الملاحظ الغياب العربي شبه الكامل عن هذا المجال؛ إذ إن عدد المقالات العربية المشاركة في المؤتمرات العلمية في هذا المجال يكاد يكون معدوماً. وهي محصورة في مجال معالجة الأحرف الأبجدية والتعرُّف عليها.

إن مواكبة التطوُّر العلمي في هذا المجال أصبحت ضرورة؛ لأن المنتجات الصناعية التي تعتمد على معالجة الصورة تغزو العالم كله، وحتى استيعاب استعمالها الصحيح يتطلَّب الإلمام – إلى حد كبير – بمفاهيم معالجة الصورة.

لذلك لا نحتاج إلا لشحذ الهمة، والتعرُّف على هذا الفرع من فروع العلم حتى نستطيع استثمار ما يُفيدنا من الخوارزميات المطوَّرة، وتطوير الخوارزميات الخاصة بنا، والتي يمكن أن تخدم أغراضًا محدَّدة لنا لا تستطيع أن تخدمها الخوارزميات الجاهزة.

ونظرًا للأهمية المتميزة لهذا المجال فقد وقع الاختيار على هذا الكتاب؛ لأنه يُعَدُّ الكتاب الجامعي الرائد في هذا المجال لأكثر من ثلاثين عامًا ، حيث يواصل تركيزه – بطبعاته المتعدِّدة– على التطوُّرات المعاصرة في جميع المجالات السائدة لمعالجة الصور، مثل: أساسيات الصورة، وتحسين الصور في المجالات المكانية والترددية، وترميم ومعالجة الصور الملوَّنة، والـمُوَيْجات، وضغط الصور، والمعالجة الشكلية، وتجزئة الصورة، ووصف الصورة، وأساسيات التعرُّف على الأشياء. وهو يركِّز على المواد الأساسية وذات النطاق التطبيقي الواسع.

إن الأهداف الأساسية لهذا الكتاب هي تأمين مقدِّمة للمفاهيم والتقنيات الأساسية لمعالجة الصور الرقمية، وإرساء أساس يمكن استعماله كمبدأ لبحوث ودراسات أبعد في هذا المجال. و لتحقيق هذه الأهداف فقد ركَّز الكتاب على المواد الأساسية، والتي لا ينحصر مجال تطبيقها في مسائل تخصُّصية.

إن السوية الرياضية للكتاب في متناول الجامعيين في المستويات العليا، وطلاب السنة الأولى في الدراسات العليا الذين تلقَّوْا إعدادًا تمهيديًّا في التحليل الرياضي، والمتَّجهات، والمصفوفات، والاحتماليات، والإحصاء، والأنظمة الخطية، وبرمجة الحاسوب. و يوفر موقع الكتاب في الإنترنت تمارين لدعم القراء الذين هم بحاجة إلى استعراض هذه المواد المساعدة.

و أخيرًا نأمُل أن يقدِّم تعريب هذا الكتاب خدمة كبيرة للدارسين والباحثين في هذا المجال في الوطن العربي. و أن نتمكن في المستقبل من تقديم كتب أخرى وثيقة الصلة به، وتتعلَّق بالرؤية بواسطة الحاسوب والذكاء الصناعي، والتعرُّف على الأنماط، والله ولي التوفيق.

تمهيد
Preface

عندما تقرأ شيئًا ما من دون جهد، فهذا يعني أن جهدًا كبيرًا في كتابته قد بُذِل.
إنريك جارديل بونسيلا (Enrique Jardiel Poncela)

هذه الطبعة من "معالجة الصورة الرقمية" هي تنقيح رئيس لهذا لكتاب، كما هو الحال في طبعة عام ١٩٧٧، وطبعة ١٩٨٧ لغونزاليس ووينتز، وكذلك في طبعة عام ١٩٩٢، وفي طبعة عام ٢٠٠٢ لغونزاليس ووودز، وقد أعددنا هذه الطبعة من الجيل الخامس، واضعين في الاعتبار الطلاب والمدرِّسين.

الأهداف الرئيسة للكتاب هي أن يستمر ليكون بمثابة مقدِّمة للمفاهيم الأساسية، ولمنهجيات معالجة الصورة الرقمية، ووضع الأساس الذي يمكن أن يُستخدَم كقاعدة لمواصلة الدراسة، والبحث في هذا الميدان. لتحقيق هذه الأهداف، ركَّزنا مرة أخرى على المواد التي نعتقد أنها أساسية، ولا يقتصر نطاق تطبيقها على حل المشاكل المتخصصة. لا يزال مستوى التعقيد الرياضي للكتاب في متناول الجامعيين في المستويات العليا، وطلاب السنة الأولى في الدراسات العليا الذين تلقَّوْا إعدادًا تمهيديًّا في التحليل الرياضي، والمتجهات، والمصفوفات، والاحتماليات، والإحصاء، والأنظمة الخطية، وبرمجة الحاسوب. يوفر موقع الكتاب في الإنترنت تمارين لدعم القرّاء الذين هم بحاجة إلى استعراض هذه المواد المساعدة.

أحد الأسباب الرئيسة التي جعلت هذا الكتاب رائدًا على مستوى العالم في مجاله لأكثر من ٣٠ عامًا هو مستوى الاهتمام الذي أوْلَيْناه للاحتياجات التعليمية المتغيِّرة للقراء. و تستند هذه الطبعة إلى أشمل دراسة استقصائية أجرَيْناها على الاطلاق. فقد شملت الدراسة أعضاء هيئة تدريس وطلاب وقراء مستقلين للكتاب في ١٣٤ مؤسسة تعليمية في ٣٢ بلدًا. والنتائج الرئيسة للدراسة الاستقصائية أشارت إلى الحاجة إلى:

- مقدمة أكثر شمولية في بداية الكتاب للأدوات الرياضية المستخدَمة في معالجة الصورة.

- شرح موسَّع لتقنيات معالجة المخطط التكراري.
- ذكر الخوارزميات المعقَّدة كملخَّصات خطوة بخطوة.
- شرح موسَّع للترابط المكاني والطي.
- مقدمة على نظرية المجموعة الضبابية وتطبيقها على معالجة الصورة.
- مراجعة المواد التي تتناول المجال الترددي، بدءًا من المبادئ الأساسية التي تبيِّن كيف ينتج تحويل فورييه المتقطع من عينات البيانات.
- تغطية للتصوير المقطعي المُحَوْسَب.
- توضيح المفاهيم الأساسية في الفصل المتعلق بالمويجات.
- تنقيح الفصل المتعلق بضغط البيانات؛ ليشمل تقنيات أكثر لضغط الفيديو والمعايير المحدَّثة والعلامات المائية.
- التوسُّع في الفصل المتعلق بعلم الشكل؛ ليشمل إعادة التركيب الشكلية، وتنقيح موضوع علم شكل التدرُّج الرمادي.
- توسيع نطاق تغطية تجزئة الصورة؛ لتشمل تقنيات أكثر تقدُّمًا للكشف عن الحافة، مثل خوارزمية كاني، ومعالجة أكثر شمولًا لتعتيب الصورة.
- تحديث الفصل المتعلق بتمثيل الصورة والوصف.
- تبسيط المواد التي تعالِج تمييز هيكلية الكائن.

المواد الجديدة بالإضافة للمواد التي أُعِيد ترتيبها، والتي نجمت عن هذه الطبعة، هي في إطار محاولتنا لتوفير قدر معقول من التوازن بين الالتزام بالوضوح في العرض، والالتزام بنتائج الدراسة الاستقصائية للسوق، والحفاظ في الوقت نفسه على حجم الكتاب عند مستوى يمكن التحكم به. وفيما يلي التغييرات الرئيسة في طبعة الكتاب هذه.

الفصل ١: تم تحديث بضعة أشكال، وإعادة كتابة جزء من النص لتتوافَق مع التغييرات في الفصول اللاحقة.

الفصل ٢: تم تعديل حوالي ٥٠٪ من هذا الفصل؛ لإدراج صور جديدة وشروحات أكثر وضوحًا، تشمل التعديلات الرئيسة هذه مقطعًا جديدًا عن استيفاء الصورة، ومقطعًا جديدًا شاملًا يُلخِّص الأدوات الرياضية الرئيسة المستخدَمة في الكتاب. فبدلاً من تقديم المفاهيم الرياضية "الجافة" واحدة تلو الأخرى، اغتنمنا هذه الفرصة لندخل في الفصل ٢ عددًا من تطبيقات معالجة الصورة التي

كانت مُبَعْثَرة في جميع أرجاء الكتاب، فقد نقلنا – على سبيل المثال– توسيط الصورة وطرح الصورة إلى هذا الفصل؛ لتوضيح العمليات الحسابية. و هذا استمرار للاتجاه الذي بدأناه في الطبعة الثانية من الكتاب لنَقْل أكبر عدد ممكن من التطبيقات إلى بداية المناقشة، ليس فقط كتوضيحات، ولكن أيضًا كحافز للطلاب. بعد الانتهاء من الفصل الثاني المنسَّق حديثًا سيكون لدى القارئ الفهم الأساسي عن كيفية التلاعب بالصور الرقمية و معالجتها. إذ أن هذا يشكِّل المنصة المتينة التي تبني عليها بقية الكتاب.

الفصل ٣: تشمل التنقيحات الرئيسة لهذا الفصل مناقشة مفصَّلة للعلاقة المكانية والطي، وتطبيقها على ترشيح الصورة باستخدام الأقنعة المكانية. كما وجدنا موضوعًا متَّسِقًا في دراسة السوق الاستقصائية يسأل عن أمثلة عددية توضِّح تسوية وتوصيف المخطط التكراري، لذلك قمنا بإضافة عدة أمثلة من هذا القَبِيل لتوضيح آليات هذه الأدوات المعالِجة. و قد طلب كثيرًا في الدراسة الاستقصائية أيضًا تغطية المجموعات الضبابية وتطبيقاتها لمعالجة الصورة. وأدرجنا في هذا الفصل مقطعًا جديدًا عن أساسيات نظرية المجموعات الضبابية، وتطبيقها على تحويلات الشدة والترشيح المكاني، وهما استخدامان رئيسان لهذه النظرية في معالجة الصورة.

الفصل ٤: أكثر موضوع سمعنا عنه في التعليقات والاقتراحات خلال السنوات الأربع الماضية كان يتعلق بالتغييرات التي أجريناها من الطبعة الأولى إلى الطبعة الثانية في الفصل ٤. وكان هدفنا في إدخال تلك التغييرات هو تبسيط تقديم تحويل فورييه والمجال الترددي. ومن الواضح أننا ذهبنا بعيدًا جدًّا، وقد اشتكى العديد من مستخدمي الكتاب من أن المواد الجديدة كانت سطحية جدًّا، وقد صحَّحْنا هذه المشكلة في الإصدار الحالي.

تبدأ المواد الآن بتحويل فورييه لمتغير واحد مستمر، وتتقدم لاشتقاق تحويل فورييه المنفصل بدءًا بالمفاهيم الأساسية لأخذ العينات والطي. المنتج الثانوي لتسلسل هذه المواد هو الاشتقاق البديهي لنظرية أَخْذ العينات وآثارها. تتوسع المادة أحادية البُعد إلى مادة ثنائية الأبعاد، حيث نقدِّم عددًا من الأمثلة لتوضيح آثار أَخْذ العينات على الصور الرقمية، بما في ذلك أنماط التزييف وأنماط مواريه. ثم أوضِّح تحويل فورييه المتقطع ثنائي الأبعاد واشتق ولخص العديد من الخصائص الهامة. ثم استخدمت هذه المفاهيم كأساس للترشيح في المجال الترددي، وأخيرًا ناقشنا مشاكل التنفيذ، مثل تفكيك التحويل، واشتقاق خوارزمية تحويل فورييه السريع. في نهاية هذا الفصل سيكون القارئ قد تقدَّم بدءًا من أَخْذ عينات الدوالّ أحادية البُعْد عبر الاشتقاق الواضح لأساس تحويل فورييه المتقطع، وبعض أهم استخداماته في معالجة الصورة الرقمية.

الفصل ٥: كان التعديل الرئيس في هذا الفصل هو إضافة مقطع يتناول إعادة بناء الصورة من الإسقاطات، مع تركيز على التصوير المقطعي المحوسب. تبدأ تغطية التصوير المقطعي المحوسب بمثال بديهي عن المبادئ الأساسية لإعادة تركيب الصورة من الإسقاطات وطرائق التصوير المختلفة المستخدمة عمليًّا. اشتقَقْنا بعدئذ نظرية شريحة فورييه وتحويل رادون، واستخدامهما كأساس لصياغة مفهوم الإسقاطات العكسية المرشَّحة. وقد نُوقِش موضوعَا إعادة التركيب بالحزمة المتوازية وإعادة التركيب بالحزمة المروحية، وأُوضِحَا باستخدام العديد من الأمثلة. فقد طال انتظار إدراج هذه المواد، وهو يمثِّل إضافة هامة للكتاب.

الفصل ٦: كانت تقتصر التنقيحات المُدْخَلة على هذا الفصل على بعض التوضيحات والتصويبات في التدوين، ولم تُضَفْ مفاهيم جديدة.

الفصل ٧: تلقَّيْنا العديد من التعليقات بشأن حقيقة أن الانتقال من الفصول السابقة إلى موضوع المويْجات كان صعبًا على المبتدئين، لذلك فقد أُعِيدَت كتابة العديد من المقاطع الأساسية في محاولة لجعل المادة أكثر وضوحًا.

الفصل ٨: أُعِيدت كتابة هذا الفصل وتحديثه بشكل كامل. فتقنيات الترميز الجديدة والتغطية الموسَّعة للفيديو، وتنقيح الجزء المتعلق بالمعايير والمقدّمة عن العلامة المائية للصورة هي من ضمن التغييرات الرئيسة. سيجعل الترتيب الجديد من متابعة المواد أسهل على الطلاب المبتدئين.

الفصل ٩: التغييرات الرئيسة في هذا الفصل هي إدراج مقطع جديد حول إعادة التركيب الشكلية، والتنقيح الكامل للمقطع المتعلق بالبنية الشكلية بالتدرج الرمادي. إن إدراج إعادة التركيب الشكلية للصور الثنائية، وصور التدرُّج رمادي جعل من الممكن تطوير خوارزميات شكلية أكثر تعقيدًا وفائدة من ذي قبل.

الفصل ١٠: خضع هذا الفصل أيضًا إلى مراجعة رئيسة. الترتيب هو كما كان من ذي قبل، ولكن المواد الجديدة تتضمَّن تركيزًا أكبر على المبادئ الأساسية، فضلًا عن مناقشة تقنيات تجزئة أكثر تقدُّمًا. وقد نُوقِشت نماذج الحافة ووُضِّحت بمزيد من التفصيل، كما هو حال خصائص التدرُّج. أُدْرِجت كواشف مار هيلدريث وكاني للكشف عن الحافة لتوضيح تقنيات أكثر تقدُّمًا للكشف عن الحافة. لقد أُعِيدت كتابة المقطع المتعلق بالتعتيب أيضًا لإدراج أسلوب أوتسو، وهو أسلوب العتبة المثلى التي ازداد رواجها زيادةً كبيرة على مدى السنوات القليلة الماضية. قدَّمنا هذا الأسلوب لصالح التعتيب الأمثل القائم على قاعدة تصنيف بايز، ليس فقط لأنه الأسهل فهمًا وتنفيذًا، بل أيضًا لأنه يُستخدم عمليًّا

أكثر بكثير. تم نَقْل أسلوب بايز هذا إلى الفصل ١٢، الذي نناقش فيه قاعدة قرار بايز بمزيد من التفصيل. وقد أضَفْنا أيضًا نقاشًا حول كيفية استخدام معلومات الحافة لتحسين التعتيب، وأضفنا كذلك عددًا من الأمثلة الجديدة على التعتيب التكيُّفي. باستثناء إيضاحات طفيفة، بقيت المقاطع المتعلقة بالحدود المائية الشكلية، واستخدام الحركة للتجزئة كما كانت في الطبعة السابقة.

الفصل ١١: التغييرات الرئيسة في هذا الفصل هي في إدراج خوارزمية متابعة الحدود، والاشتقاق المفصّل لخوارزمية لملاءمة مضلّع بأدنى محيط للحد الرقمي، وفي إضافة مقطع جديد عن مصفوفات الحدوث المشترك لوصف الإكساء. العديد من الأمثلة في المقطعين ١١,٢ و١١,٣ هي جديدة، كذلك جميع الأمثلة الواردة في المقطع ١١,٤.

الفصل ١٢: تشمل التغييرات في هذا الفصل مقطعًا جديدًا عن المطابقة بالترابط، ومثالًا جديدًا على استخدام مصنّف بايز لتمييز المناطق ذات الاهتمام في الصور متعدِّدة الأطياف. يقتصر النقاش الآن في المقطع المتعلق بالتصنيف الهيكلي على مطابقة السلاسل فقط.

نَجَمَ عن كل التنقيحات التي ذُكِرت للتَّوِّ ما يزيد عن ٤٠٠ صورة جديدة، وما يزيد عن ٢٠٠ سطر جديد من الرسومات والجداول، وأكثر من ٨٠ مسألة واجب جديدة. اختصرت إجراءات المعالجة المعقدة – حيثما كان ذلك مناسبًا– إلى شكل خوارزميات خطوة بخطوة. وقد تم تحديث المراجع في نهاية كل الفصول أيضًا.

كان موقع الكتاب في الإنترنت – الذي أُنشئ خلال إطلاق الطبعة الثانية– ناجحًا، وجذب أكثر من ٢٠ ألف زائر كل شهر. أُعِيد تصميم الموقع وترقيته ليتوافق مع إطلاق هذه الطبعة. لمزيد من التفاصيل حول الميزات والمحتوى راجع "موقع الكتاب في الإنترنت"، بعد " الشكر والتقدير ".

هذه الطبعة من "معالجة الصورة الرقمية" هي انعكاس لكيفية تغيُّر الاحتياجات التعليمية للقراء منذ عام ٢٠٠٢. فكما هي العادة في مشروع كهذا يستمر التقدُّم في الميدان بعد توقُّف العمل في المخطوطة الأصلية. أحد أسباب القبول الحسن لهذا الكتاب منذ أن ظهر للمرة الأولى في عام ١٩٧٧ هو تركيزه المتواصل على المفاهيم الأساسية – وهذا نهج يحاول – من بين أمور أخرى– توفير قَدْر من الاستقرار في هيكل المعرفة الذي يتطوَّر سريعًا، لقد حاولنا أن نتبع نفس المبدأ في إعداد هذه الطبعة من الكتاب.

المؤلفان

شكر وتقدير المؤلِّفَيْن
Acknowledgments

إننا مدينون لعدد من الأفراد في الدوائر الأكاديمية، وكذلك في الصناعة والحكومة الذين ساهموا في طبعة الكتاب هذه. وقد كانت أهمية مساهماتهم بطرق كثيرة، بحيث إننا نجد صعوبة في تقديرها بأي طريقة أخرى غير الترتيب الأبجدي. ونَوَدُّ على وجه الخصوص أن نُعرِب عن تقديرنا لزملائنا منجي عبيدي Mongi A. Abidi وستيفن لدينز Steven L. Eddins ويونغمين كيم Yongmin Kim وبريان مورس Bryan Morse وأندرو أولدرويد Andrew Oldroyd وعلي م رضا Ali M. Reza وإدغاردو فيليبي ريفرون Edgardo Felipe Riveron وخوسيه رويز شولكلوبر Jose Ruiz Shulcloper وكاميرون هغ رايت Cameron H.G. Wright؛ لاقتراحاتهم العديدة حول كيفية تحسين العرض و/ أو نطاق تغطية الكتاب.

لقد قدَّم لنا العديد من الأفراد والمنظمات مساعدة قيِّمة خلال كتابة هذه الطبعة. مرة أخرى، نذكرهم هنا أبجديًّا، فنحن مَدينون بشكل خاص لكورتني إسبوسيتو Courtney Esposito وناعومي فرناندیز Naomi Fernandes في شركة ماثوركس Mathworks؛ لتزويدنا ببرنامج ماتلاب MATLAB، وبالدعم الهام الذي مكَّننا من إنشاء أو توضيح العديد من الأمثلة والنتائج التجريبية المُدْرَجة في طبعة الكتاب هذه. وقد حصلنا على نسبة كبيرة من الصور الجديدة المستخدَمة في هذه الطبعة (وفي بعض الحالات تاريخ هذه الصور وتفسيرها) من خلال جهود الأفراد الذين نقدِّر مساهماتهم بصدق. ونَوَدُّ على وجه الخصوص أن نُعْرِب عن تقديرنا لجهود سيرج بيوشر Serge Beucher وميليسا د. بيند Melissa D. Binde وجيمس بلانكنشيب James Blankenship وأوفي بوس Uwe Boos وإرنستو بريبيسا Ernesto Bribiesca ومايكل إ. كيسي Michael E. Casey ومايكل ودافيدسون Michael W. Davidson وسوزان ل. فورسبورغ Susan L. Forsburg وتوماس ر. جيست Thomas

R. Gest ولاليت غوبتا Lalit Gupta، ودانيال أ. هامر Daniel A. Hammer وزونغ هي Zhong He وروجر هاديو Roger Heady وخوان أ. هيريرا Juan A. Herrera وجون هودك John M. Hudak ومايكل هورويتز Michael Hurwitz وكريس جوهانسن Chris J. Johannsen وروندا كنيتون Knighton Rhonda ودون ميتشل Don P. Mitchell، وأشلي محمد Ashley Mohamed وأ. موريس A. Morris وكورتيس أوبر Curtis C. Ober وجوزيف إ. باسنت Joseph E. Pascente وديفيد. ر. بيكنز David. R. Pickens ومايكل روبنسون Michael Robinson وباريت أ. شايفر Barrett A. Schaefer ومايكل شافر Michael Shaffer وبيت سايت Pete Sites وسالي ستو Sally Stowe وكريغ واتسون Craig Watson وديفيد كيه ويه David K. Wehe، وروبرت أ. وست Robert A.West. ونود كذلك أن نشكر الأفراد والمنظَّمات الأخرى الذين ذُكِروا في تعليقات العديد من الأشكال في جميع أرجاء الكتاب؛ لسماحهم لنا باستخدام تلك المواد.

شكر خاص إلى فينس أوبراين Vince O'Brien وروز كيرنان Rose Kernan وسكوت ديسانو Scott Disanno ومايكل ماكدونالد McDonald Michael وجو روديك Joe Ruddick وهيذر سكوت Heather Scott وأليس دوركين Alice Dworkin من برنتيس هول Prentice Hall .

إن إبداعهم ومساعدتهم وصبرهم أثناء إنتاج هذا الكتاب هو موضع تقدير حقيقي.

المؤلفان

موقع الكتاب على الإنترنت
The Book Web Site

الموقع الأصلي: www.prenhall.com/gonzalezwoods
الموقع الموازي: www.imageprocessingplace.com

"معالجة الصورة الرقمية" هو كتاب مستقل بذاته تمامًا، ومع ذلك يقدِّم موقع الإنترنت المصاحِب دعمًا إضافيًّا في عدد من المجالات الهامة.

بالنسبة للطالب أو القارئ المستقل يحتوي الموقع على:

- استعراض في مجالات مثل الاحتمالات والإحصاءات والمتجهات والمصفوفات.
- حلول كاملة لمسائل مختارة.
- مشاريع حاسوبية.
- قسم تمارين يحتوي على عشرات من التمارين حول معظم الموضوعات التي نُوقِشت في الكتاب.
- قاعدة بيانات تحتوي جميع الصور في الكتاب.

بالنسبة للمدرس يحتوي الموقع على:

- دليل المدرِّس مع حلول كاملة لجميع المسائل في الكتاب، بالإضافة إلى المبادئ التوجيهية للتدريس في المقرَّر والمختبر. الدليل متاح مجانًا للمدرسين الذين اعتمدوا الكتاب لاستخدامه في الفصول الدراسية.
- مواد عرض الفصول الدراسية على شكل بوربوينت PowerPoint.
- يمكن تحميل المواد التي أُزِيلَت من الطبعات السابقة على شكل PDF ملائم.
- العديد من الروابط لمصادر تعليمية أخرى.

بالنسبة للممارس يحتوي الموقع على مواضيع متخصصة إضافية مثل:

- روابط لمواقع تجارية.
- مراجع جديدة مختارة.

• روابط لقواعد بيانات تجارية للصور.

موقع الإنترنت هو أداة مثالية للمحافظة على تحديث الكتاب بين الطبعات من خلال تضمين مواضيع جديدة وصور رقمية، وغيرها من المواد ذات الصلة التي تظهر بعد نشر الكتاب. على الرغم من أنه قد تَمَّ بَذْل قَدْرٍ كبير من العناية في إنتاج الكتاب، فإن الموقع أيضًا موضع مناسب لأي أخطاء قد يتم اكتشافها بين الطبعات.

الإحالات إلى موقع الكتاب على الإنترنت يشار إليها في هذا الكتاب من خلال الأيقونة التالية

نبذة عن المؤلِّفَيْن
About the Authors

رافائيل غونزاليس Rafael C. Gonzalez

حصل رافائيل غونزاليس على درجة بكالوريوس العلوم في الهندسة الكهربائية من جامعة ميامي عام ١٩٦٥، و درجة الماجستير في الهندسة الكهربائية عام ١٩٦٧، و درجة الدكتوراه في الهندسة الكهربائية من جامعة فلوريدا عام ١٩٧٠، وانضم إلى قسم هندسة الكهرباء والحاسوب بجامعة تينيسي في نوكسفيل عام ١٩٧٠، حيث أصبح أستاذًا مشاركًا في عام ١٩٧٣، وأستاذًا في عام ١٩٧٨، وأستاذ خدمة متميز في عام ١٩٨٤، شغل منصب رئيس قسم من عام ١٩٩٤ إلى ١٩٩٧، وهو حاليًا أستاذ فخري في جامعة تينيسي في نوكسفيل.

غونزاليس هو مؤسِّس مختبر تحليل الصور والأنماط، وكذلك مختبر الروبوتات والرؤية الحاسوبية في جامعة تينيسي. كما أسَّس شركة بيرسيبتيكس Perceptics عام ١٩٨٢، وكان رئيسًا لها حتى عام ١٩٩٢. وقد أمضى السنوات الثلاث الأخيرة من هذه الفترة بموجب عقد عمل بدوام كامل مع شركة وستنغهاوس Westinghouse التي استحوذت على الشركة عام ١٩٨٩.

أصبحت بيرسيبتيكس تحت إدارته ناجحة للغاية في معالجة الصور والرؤية الحاسوبية وتقنية التخزين بالقرص الليزري. قدّمت بيرسيبتيكس في السنوات العشر الأولى سلسلة من المنتجات المبتَكَرة، منها: أول نظام رؤية حاسوبية متاح تجاريًّا في العالم للقراءة الآلية للوحات ترخيص المركبات المتحركة، وسلسلة من أنظمة معالجة الصورة والأرشفة واسعة النطاق التي تستخدمها البحرية الأمريكية في ستة مواقع إنتاجية مختلفة في أنحاء البلاد لمعاينة محركات قذائف الصواريخ في برنامج ترايدنت ٢ II Trident

التي تُطلق من الغواصات، والطائفة الرائدة في سوق اللوحات الصورية لأجهزة الحاسوب ماكنتوش المتقدمة، وخط منتجات الأقراص الليزرية بسعة تريليون بايت. وهو مستشار شبه دائم في الصناعة والحكومة في مجالات تمييز الأنماط، ومعالجة الصورة، والتعلم الآلي، وقد كُرِّم أكاديميًّا لعمله في هذه المجالات بجائزة كلية الهندسة في جامعة تينيسي في نوكسفيل ١٩٧٧ لإنجازات أعضاء هيئة التدريس، وبجائزة الباحث العلمي في جامعة تينيسي في نوكسفيل عام ١٩٧٨، وبجائزة أستاذية الهندسية ماجنافوكس Magnavox عام ١٩٨٠، وكذلك في عام ١٩٨٠ بجائزة بروكس Brooks للبروفيسور المتميز، أصبح في عام ١٩٨١ أستاذ IBM في جامعة تينيسي، وسُمِّي في عام ١٩٨٤ كأستاذ خدمة متميزة هناك، وحصل على جائزة الخريج المتميز من جامعة ميامي في عام ١٩٨٥، وجائزة فاي كابا فاي Phi Kappa Phi للباحث العلمي في عام ١٩٨٦، وجائزة ناثان دبليو دوغيرتي Nathan W. Dougherty في جامعة تينيسي للتميُّز في الهندسة في عام ١٩٩٢.

أما تكريمه لإنجازاته في الصناعة يتضمَّن جائزة معهد مهندسي الكهرباء والإلكترونيات المعروفة بـ IEEE للمهندس المتميِّز لعام ١٩٨٧ للتنمية التجارية في ولاية تينيسي، وجائزة ألبرت روز ناتال Rose Nat'l عام ١٩٨٨ للتميُّز في معالجة الصور التجارية، وجائزة أوتو ويلي Otto Wheeley لعام ١٩٨٩ للتميز في نقل التكنولوجيا، وجائزة كوبرز وليبراند Coopers and Lybrand لرائد مشاريع عام ١٩٨٩، وجائزة المهندس المتميز من معهد مهندسي الكهرباء والإلكترونيات المنطقة الثالثة عام ١٩٩٢، وجائزة الجمعية الوطنية للتصوير الآلي لعام ١٩٩٣ على تطوير التكنولوجيا.

أَلَّف غونزاليز أو شارك في تأليف أكثر من ١٠٠ مقالة تقنية، وقد أَلَّف كتابَين، وأربعة كتب دراسية في مجالات تمييز الأنماط ومعالجة الصورة والروبوتات، وتستخدم كتبه في أكثر من ١٠٠٠ جامعة ومؤسسة بحثية في جميع أنحاء العالم. وهو مُدْرَج في قائمة ماركيز Marquis للمرموقين في أميركا، وفي قائمة ماركيز للمرموقين في الهندسة، وفي قائمة ماركيز للمرموقين في العالم، وفي ١٠ اقتباسات تراجم وطنية ودولية أخرى، وهو شريك في ملكية اثنين من براءات الاختراع الأمريكية، وكان محرِّرًا مشاركًا في مجلة معهد مهندسي الكهرباء والإلكترونيات لفعاليات الأنظمة، والإنسان وعلم التحكم الآلي، وفي المجلة الدولية للكمبيوتر وعلوم المعلوماتية، وهو عضو في العديد من الجمعيات المهنية والفخرية، بما في ذلك تاو بيتا بي Tau Beta Pi، وفاي كابا فاي Phi Kappa Phi، وإيتا كابا نو Kappa Nu Eta، وسيجما شي Sigma Xi، وهو زميل في معهد مهندسي الكهرباء والإلكترونيات.

ريتشارد وودز Richard E. Woods

حصل ريتشارد وودز على شهادة البكالوريوس والماجستير والدكتوراه في الهندسة الكهربائية من جامعة تينيسي، نوكسفيل، وتمتد تجاربه المهنية من الأعمال الحرة إلى الأعمال الأكاديمية الأكثر تقليدية والاستشارية والحكومية والصناعية التجارية، أَسَّسَ في الآونة الأخيرة شركة ميداتا التفاعلية MedData Interactive، وهي شركة تكنولوجيا عالية التخصص في تطوير أنظمة الحاسوب المحمول للتطبيقات الطبية، وكان أيضًا مؤسس ونائب رئيس شركة بيرسيبتيكس Perceptics، حيث كان مسؤولًا عن تطوير العديد من تحليلات الصور الكمية للشركة، ومنتجات صُنع القرار المستقلة ذاتيًّا.

كان الدكتور وودز قبل بيرسيبتيكس ومدياتا أستاذًا مساعدًا للهندسة الكهربائية وعلوم الحاسوب في جامعة تينيسي، وقبل ذلك كان مهندس تطبيقات الحاسوب في شركة يونيون كارباید Union Carbide، وكخبير استشاري شارك في تطوير عدد من المعالجات الرقمية ذات الأغراض الخاصة لمجموعة متنوعة من الوكالات الفضائية والعسكرية، بما في ذلك وكالة ناسا وقيادة أنظمة الصواريخ الباليستية ومختبر أوك ريدج Ridge Oak الوطني.

نشر الدكتور وودز العديد من المقالات المتعلقة بمعالجة الإشارات الرقمية، وهو عضو في العديد من الجمعيات المهنية، بما في ذلك تاو بيتا بي وفاي كابا فاي ومعهد مهندسي الكهرباء والإلكترونيات، وكُرِّم في عام ١٩٨٦ كخريج كلية الهندسة المتميز من قِبَل جامعة تينيسي.

المحتويات
CONTENTS

مقدِّمة المترجم ..... هـ
تمهيد ..... ز
شكر وتقدير المؤلِّفين ..... م
موقع الكتاب على الإنترنت ..... س
نبذة عن المؤلفين ..... ف
المحتويات ..... ش
١. مقدِّمة ١
(١, ١) ما هي معالجة الصورة الرقمية؟ ١
(١, ٢) أصول معالجة الصورة الرقمية ٣
(١, ٣) أمثلة عن المجالات التي تستخدم معالجة الصورة الرقمية ٩
(١, ٣, ١) التصوير بأشعة غاما ١٠
(١, ٣, ٢) التصوير بالأشعة السينية ١٢
(١, ٣, ٣) التصوير في النطاق فوق البنفسجي ١٤
(١, ٣, ٤) التصوير في النطاقات المرئية وتحت الحمراء ١٦
(١, ٣, ٥) التصوير في نطاق الأمواج الميكروية ٢٣
(١, ٣, ٦) التصوير في النطاق الراديوي ٢٤
(١, ٣, ٧) أمثلة تُستخدم فيها أنماط تصوير أخرى ٢٥
(١, ٤) خطوات أساسية في معالجة الصورة الرقمية ٣٠

(١,٥) مكوِّنات نظام معالجة الصورة ٣٤
ملخَّص ٣٧
المراجع ومصادر أخرى للقراءة ٣٧

٢. أساسيات الصورة الرقمية ٤١
(١,٢) عناصر الإدراك البصري ٤٢
(١,١,٢) بُنية العين البشرية ٤٢
(٢,١,٢) تشكُّل الصورة في العين ٤٥
(٣,١,٢) التكيُّف مع الإضاءة وتمييزها ٤٦
(٢,٢) الضوء والطيف الكهرومغناطيسي ٥٢
(٣,٢) استشعار واقتباس الصورة ٥٦
(١,٣,٢) اقتباس الصورة باستخدام مستشعر وحيد ٥٧
(٢,٣,٢) اقتباس الصورة باستخدام شرائح استشعار ٥٨
(٣,٣,٢) اقتباس الصورة باستخدام مصفوفات استشعار ٦٠
(٤,٣,٢) نموذج بسيط لتشكل الصورة ٦١
(٤,٢) أخْذ عينات وتكميم الصورة ٦٣
(١,٤,٢) مفاهيم أساسية في أخْذ العينات والتكميم ٦٣
(٢,٤,٢) تمثيل الصور الرقمية ٦٦
(٣,٤,٢) الميز المكاني وميز الشدة ٧٢
(٤,٤,٢) استيفاء الصورة ٧٩
(٥,٢) بعض العلاقات الأساسية بين عناصر الصورة ٨٢
(١,٥,٢) جيران عنصر صورة ٨٢
(٢,٥,٢) المحاذاة والاتصالية والمناطق والحدود ٨٢
(٣,٥,٢) مقاييس المسافة ٨٦
(٦,٢) مقدمة إلى الأدوات الرياضية المستخدمة في معالجة الصور الرقمية ٨٨

(١, ٦, ٢) عمليات النسَق مقابل المصفوفة ٨٨
(٢, ٦, ٢) العمليات الخطية مقابل اللاخطية ٨٩
(٣, ٦, ٢) العمليات الحسابية ٩٠
(٤, ٦, ٢) العمليات المنطقية وعمليات المجموعات ٩٧
(٥, ٦, ٢) العمليات المكانية ١٠٤
(٦, ٦, ٢) عمليات المتجهات والمصفوفات ١١٢
(٧, ٦, ٢) تحويلات الصور ١١٤
(٨, ٦, ٢) الطرق الاحتمالية ١١٧
ملخص ١٢٠
المراجع ومصادر أخرى للقراءة ١٢٠
مسائل ١٢٢

٣. تحويلات الشدة والترشيح المكاني ١٣١
تمهيد ١٣١
(١, ٣) معلومات أساسية ١٣٢
(١, ١, ٣) أساسيات تحويلات الشدة والترشيح المكاني ١٣٢
(٢, ١, ٣) عن الأمثلة الواردة في هذا الفصل ١٣٤
(٢, ٣) بعض الدوال الأساسية في تحويل الشدة ١٣٥
(١, ٢, ٣) سلبيات الصور ١٣٦
(٢, ٢, ٣) التحويلات اللوغاريتمية ١٣٦
(٣, ٢, ٣) التحويلات الأسية (غاما) ١٣٨
(٤, ٢, ٣) دوال التحويل الخطية القِطعية ١٤٢
(٣, ٣) معالجة المخطط التكراري ١٤٩
(١, ٣, ٣) تسوية المخطط التكراري ١٥١
(٢, ٣, ٣) مطابقة (تحديد) المخطط التكراري ١٦٠

(٣,٣,٣) المعالجة الموضعية للمخطط التكراري ١٧١
(٣,٣,٤) استخدام إحصائيات المخطط التكراري في تحسين الصورة ١٧٣
(٣,٤) أساسيات الترشيح المكاني ١٧٨
(٣,٤,١) آليات الترشيح المكاني ١٧٩
(٣,٤,٢) الترابط المكاني والطي المكاني ١٨١
(٣,٤,٣) التمثيل الاتجاهي للترشيح الخطي ١٨٦
(٣,٤,٤) توليد أقنعة الترشيح المكانية ١٨٧
(٣,٥) المرشحات المكانية التنعيمية ١٨٨
(٣,٥,١) مرشحات التنعيم الخطية ١٨٨
(٣,٥,٢) مرشحات المرتبة الإحصائية (اللاخطية) ١٩٢
(٣,٦) المرشحات المكانية لزيادة حدة الصورة ١٩٤
(٣,٦,١) الأساس ١٩٥
(٣,٦,٢) استخدام المشتق الثاني في زيادة حدة الصورة –العامل اللابلاسي ١٩٧
(٣,٦,٣) قناع إزالة حدة الصورة والترشيح الـمُعزِّز العالي ٢٠١
(٣,٦,٤) استخدام مشتقات الدرجة الأولى في الزيادة (اللاخطية) لحدة الصورة – التدرج ٢٠٤
(٣,٧) دمج طرق التحسين المكاني ٢٠٨
(٣,٨) استخدام التقنيات الضبابية في تحويلات الشدة والترشيح المكاني ٢١٣
(٣,٨,١) مقدمة ٢١٣
(٣,٨,٢) مبادئ نظرية المجموعة الضبابية ٢١٤
(٣,٨,٣) استخدام المجموعات الضبابية ٢١٩
(٣,٨,٤) استخدام المجموعات الضبابية في تحويلات الشدة ٢٣٠
(٣,٨,٥) استخدام المجموعات الضبابية للترشيح المكاني ٢٣٣
ملخص ٢٣٦
المراجع ومصادر أخرى للقراءة ٢٣٦
مسائل ٢٣٨

٤. الترشيح في المجال الترددي ٢٤٧
تمهيد..... ٢٤٧
(١, ٤) معلومات أساسية ٢٤٨
(١, ١, ٤) لمحة تاريخية موجزة عن سلاسل وتحويل فوريه ٢٤٨
(٢, ١, ٤) عن الأمثلة الواردة في هذا الفصل ٢٥٠
(٢, ٤) مفاهيم أولية ٢٥٠
(١, ٢, ٤) الأعداد المركبة ٢٥٠
(٢, ٢, ٤) سلاسل فوريه ٢٥١
(٣, ٢, ٤) النبضات وخاصيتها الانتقائية..... ٢٥٢
(٤, ٢, ٤) تحويل فوريه للدوال ذات متغير واحد مستمر ٢٥٤
(٥, ٢, ٤) الطي ٢٧٣
(٣, ٤) التقطيع وتحويل فوريه للدوال المتقطعة ٢٦٠
(١, ٣, ٤) التقطيع ٢٦٠
(٢, ٣, ٤) تحويل فوريه للدوال المتقطعة ٢٦٢
(٣, ٣, ٤) نظرية أخذ العينات ٢٦٤
(٤, ٣, ٤) التزييف ٢٦٧
(٥, ٣, ٤) إعادة تركيب الدالة (الاستعادة) من البيانات المقطَّعة ٢٧١
(٤, ٤) تحويل فوريه المتقطع لمتغير واحد ٢٧٢
(١, ٤, ٤) الحصول على تحويل فوريه المتقطع من التحويل المستمر لدالة مقطَّعة ٢٧٢
(٢, ٤, ٤) العلاقة بين التقطيع والفواصل الترددية ٢٧٥
(٥, ٤) التوسيع لدوال ذات متغيرَين ٢٧٧
(١, ٥, ٤) النبضة ثنائية الأبعاد وخاصيتها الانتقائية ٢٧٧
(٢, ٥, ٤) زوج تحويل فوريه المستمر ثنائي الأبعاد..... ٢٧٨
(٣, ٥, ٤) التقطيع ثنائي الأبعاد ونظرية التقطيع ثنائي الأبعاد ٢٨٠

(٤,٥,٤) التزييف في الصور ٢٨٢
(٤,٥,٥) تحويل فوريه المتقطع ثنائي الأبعاد وعكسه ٢٩٠
(٤,٦) بعض خصائص تحويل فوريه المتقطع ثنائي الأبعاد ٢٩١
(٤,٦,١) العلاقات بين الفواصل المكانية والترددية ٢٩١
(٤,٦,٢) الانتقال والدوران ٢٩٢
(٤,٦,٣) الدورية ٢٩٢
(٤,٦,٤) خصائص التناظر ٢٩٤
(٤,٦,٥) طيف فوريه وزاوية الطور ٣٠٢
(٤,٦,٦) نظرية الطي ثنائي الأبعاد ٣٠٨
(٤,٦,٧) ملخص عن خصائص تحويل فوريه المتقطع ثنائي الأبعاد ٣١١
(٤,٧) أساسيات الترشيح في المجال الترددي ٣١٤
(٤,٧,١) خصائص إضافية للمجال الترددي ٣١٥
(٤,٧,٢) أساسيات الترشيح في المجال الترددي ٣١٦
(٤,٧,٣) ملخص خطوات الترشيح في المجال الترددي ٣٢٤
(٤,٧,٤) المقاربة بين الترشيح في المجالين الترددي والمكاني ٣٢٦
(٤,٨) تنعيم الصورة باستخدام مرشحات المجال الترددي ٣٣٢
(٤,٨,١) مرشحات التمرير المنخفض المثالية ٣٣٢
(٤,٨,٢) مرشحات بتروورث للتمرير المنخفض ٣٣٦
(٤,٨,٣) المرشحات الغاوسية للتمرير المنخفض ٣٤٠
(٤,٨,٤) أمثلة إضافية عن مرشحات التمرير المنخفض ٣٤٢
(٤,٩) زيادة حدة الصورة باستخدام مرشحات المجال الترددي ٣٤٦
(٤,٩,١) مرشحات التمرير العالي المثالية ٣٤٨
(٤,٩,٢) مرشحات بتروورث للتمرير العالي ٣٤٩
(٤,٩,٣) المرشحات الغاوسية للتمرير العالي ٣٥٠
(٤,٩,٤) العامل اللابلاسي في المجال الترددي ٣٥٢

(٥, ٩, ٤) قناع إزالة حدة الصورة والترشيح المُعزِّز والترشيح التوكيدي عالي التردد ٣٥٤
(٦, ٩, ٤) الترشيح متماثل الشكل ٣٥٧
(١٠, ٤) الترشيح الانتقائي ٣٦١
(١, ١٠, ٤) مرشحات نبذ حزمة ومرشحات تمرير حزمة ٣٦١
(٢, ١٠, ٤) المرشحات الثلمية ٣٦٢
(١١, ٤) تطبيق ٣٦٧
(١, ١١, ٤) قابلية الفصل في تحويل فوريه المقطع ثنائي الأبعاد ٣٦٧
(٢, ١١, ٤) حساب تحويل فوريه المتقطع العكسي باستخدام خوارزمية تحويل فوريه المقطع . ٣٦٨
(٣, ١١, ٤) تحويل فوريه السريع ٣٦٨
(٤, ١١, ٤) بعض الملاحظات على تصميم المرشحات ٣٧٣
ملخص ٣٧٣
المراجع ومصادر أخرى للقراءة ٣٧٤
مسائل ٣٧٦

٥. ترميم وإعادة تركيب الصورة ٣٨٧
تمهيد ٣٨٧
(١, ٥) نموذج لعملية تآكل/ ترميم الصورة ٣٨٨
(٢, ٥) نماذج الضجيج ٣٩٠
(١, ٢, ٥) الخصائص المكانية والترددية للضجيج ٣٩٠
(٢, ٢, ٥) بعض الدوال المهمة للكثافة الاحتمالية للضجيج ٣٩٠
(٣, ٢, ٥) الضجيج الدوري ٣٩٦
(٤, ٢, ٥) تقدير بارامترات الضجيج ٣٩٨
(٣, ٥) الترميم في وجود الضجيج فقط – الترشيح المكاني ٤٠٠
(١, ٣, ٥) مرشحات التوسيط ٤٠٠
(٢, ٣, ٥) مرشحات الترتيب الإحصائي ٤٠٥

(٥,٣,٣) المرشحات التكيفية ٤١١
(٥,٤) تخفيض الضجيج الدوري عن طريق الترشيح في المجال الترددي ٤١٧
(٥,٤,١) مرشحات حذف حزمة ٤١٧
(٥,٤,٢) مرشحات تمرير حزمة ٤١٩
(٥,٤,٣) المرشحات الثلمية ٤٢٠
(٥,٤,٤) الترشيح الثلمي الأمثل ٤٢٣
(٥,٥) التآكلات الخطية لا تغيرية مع تغير الموقع ٤٢٨
(٥,٦) تخمين دالة التآكل..... ٤٣١
(٥,٦,١) التخمين بملاحظة الصورة ٤٣٢
(٥,٦,٢) التخمين بالتجريب ٤٣٢
(٥,٦,٣) التخمين بالنمذجة ٤٣٣
(٥,٧) الترشيح العكسي ٤٣٧
(٥,٨) الترشيح بطريقة الخطأ التربيعي المتوسط الأصغري (وينر) ٤٣٩
(٥,٩) الترشيح بالتربيعات الصغرى المقَّيدة ٤٤٥
(٥,١٠) مرشح التوسيط الهندسي ٤٥١
(٥,١١) إعادة تركيب الصورة من الإسقاطات ٤٥٢
(٥,١١,١) مقدمة ٤٥٢
(٥,١١,٢) مبادئ التصوير المقطعي ٤٥٦
(٥,١١,٣) الإسقاطات وتحويل رادون ٤٦٠
(٥,١١,٤) نظرية شريحة فورييه ٤٦٧
(٥,١١,٥) إعادة التركيب باستخدام الإسقاطات الراجعة المرشَّحة لحزمة متوازية ٤٦٩
(٥,١١,٦) إعادة التركيب باستخدام الإسقاطات الراجعة المرشَّحة للحزمة المروحية ٤٧٦
ملخص..... ٤٨٤
المراجع والمزيد من القراءة..... ٤٨٥
مسائل ٤٨٧

٦. معالجة الصورة الملوَّنة ٤٩٥
تمهيد ٤٩٥
(٦,١) أساسيات اللون ٤٩٦
(٦,٢) النماذج اللونية ٥٠٤
(٦,٢,١) النموذج اللوني RGB الأحمر/ الأخضر/ الأزرق ٥٠٤
(٦,٢,٢) النموذج اللوني CMY سماوي/ أُرجواني/ أصفر والنموذج اللوني CMYK
سماوي/ أُرجواني/ أصفر / أسود ٥١٠
(٦,٢,٣) النموذج اللوني HSI صباغ/ تشبع/ شدة ٥١١
(٦,٣) معالجة الصورة بالتلوين الزائف ٥٢٠
(٦,٣,١) التقطيع الشرائحي وفقًا للشدة ٥٢١
(٦,٣,٢) التحويلات من الشدة إلى اللون ٥٢٦
(٦,٤) مبادئ معالجة الصورة كاملة الألوان ٥٣٢
(٦,٥) تحويلات اللون ٥٣٤
(٦,٥,١) الصياغة ٥٣٤
(٦,٥,٢) مكملات الألوان ٥٣٨
(٦,٥,٣) التقطيع الشرائحي اللوني ٥٣٩
(٦,٥,٤) تصحيحات اللون ودرجته ٥٤٢
(٦,٥,٥) معالجة المخطط التكراري ٥٤٧
(٦,٦) زيادة الحدة والتنعيم ٥٤٩
(٦,٦,١) تنعيم الصورة الملونة ٥٤٩
(٦,٦,٢) زياد حدة الصورة الملونة ٥٥٢
(٦,٧) تجزئة الصورة بناءً على اللون ٥٥٣
(٦,٧,١) التجزئة في الفضاء اللوني HIS ٥٥٣
(٦,٧,٢) التجزئة في الفضاء الاتجاهي RGB ٥٥٥

(٦,٧,٣) كشف حواف اللون ٥٥٩
(٦,٨) الضجيج في الصور الملونة ٥٦٣
(٦,٩) ضغط الصورة الملونة ٥٦٥
ملخص Summary ٥٦٦
المراجع ومصادر أخرى للقراءة ٥٦٨
مسائل ٥٦٩

٧. المعالجة بالمويجات والمعالجة متعددة الميز ٥٧٧
تمهيد ٥٧٧
(٧,١) معلومات أساسية ٥٧٨
(٧,١,١) أهرامات الصورة ٥٧٩
(٧,١,٢) الترميز بالحزم الفرعية ٥٨٣
(٧,١,٣) تحويل هار ٥٩٣
(٧,٢) النشر متعدد الميز ٥٩٧
(٧,٢,١) نشر السلاسل ٥٩٧
(٧,٢,٢) دوال التقييس ٥٩٩
(٧,٢,٣) دوال المويجات ٦٠٤
(٧,٣) التحويلات المويجية في البُعد الواحد ٦٠٨
(٧,٣,١) نشر السلاسل المويجية ٦٠٨
(٧,٣,٢) التحويل المويجي المتقطع ٦١١
(٧,٣,٣) التحويل المويجي المستمر ٦١٣
(٧,٤) التحويل المويجي السريع ٦١٦
(٧,٥) التحويل المويجي ثنائي الأبعاد ٦٢٧
(٧,٦) حزم المويجات ٦٣٨
ملخص ٦٥٠

المراجع ومصادر أخرى للقراءة ٦٥٠
مسائل ٦٥٢

٨. ضغط الصورة ٦٥٩
تمهيد ٦٥٩
(٨,١) أساسيات ٦٦١
(٨,١,١) فائض الترميز ٦٦٢
(٨,١,٢) الفائض المكاني والزماني ٦٦٥
(٨,١,٣) المعلومات غير ذات الصلة ٦٦٦
(٨,١,٤) قياس معلومات الصورة ٦٦٧
(٨,١,٥) معايير الدقة ٦٧٠
(٨,١,٦) نماذج ضغط الصورة ٦٧٣
(٨,١,٧) صِيغ الصورة والحاويات ومعايير الضغط ٦٧٥
(٨,٢) بعض أساليب الضغط الأساسية ٦٨٠
(٨,٢) ترميز هوفمان ٦٨٠
(٨,٢,٢) ترميز غولمب ٦٨٣
(٨,٢,٣) الترميز الحسابي ٦٨٩
(٨,٢,٤) ترميز LZW ٦٩٣
(٨,٢,٥) ترميز طول التشغيل ٦٩٦
(٨,٢,٦) الترميز القائم على الرمز ٧٠٥
(٨,٢,٧) ترميز مستوي البت ٧٠٩
(٨,٢,٨) ترميز التحويل الكتلي ٧١٣
(٨,٢,٩) الترميز التنبؤي ٧٣٧
(٨,٢,١٠) الترميز المويجي ٧٦٢
(٨,٣) الوسم المائي للصورة الرقمية ٧٧٦

ملخص ٧٨٦
المراجع ومصادر أخرى للقراءة ٧٨٦
مسائل ٧٨٨

٩. المعالجة الشكليّةُ للصورة ٧٩٥
تمهيد ٧٩٥
(٩,١) مقدمات ٧٩٦
(٩,٢) التآكل والتوسيع ٨٠٠
(٩,٢,١) التآكل ٨٠٠
(٩,٢,٢) التوسيع ٨٠٢
(٩,٢,٣) الثنائية ٨٠٤
(٩,٣) الفتح والإغلاق ٨٠٥
(٩,٤) تحويل التجربة والخطأ ٨١٠
(٩,٥) بعض الخوارزميات الشكلية الأساسية ٨١٣
(٩,٥,١) استخراج الحدود ٨١٣
(٩,٥,٢) ملء الثقوب ٨١٤
(٩,٥,٣) استخراج مكونات متصلة ٨١٦
(٩,٥,٤) الغلاف المحدَّب ٨١٩
(٩,٥,٥) الترقيق ٨٢٢
(٩,٥,٦) التسميك ٨٢٢
(٩,٥,٧) الهياكل ٨٢٤
(٩,٥,٨) التقليم ٨٢٧
(٩,٥,٩) إعادة التركيب الشكلي ٨٢٩
(٩,٥,١٠) ملخص العمليات الشكلية على الصور الثنائي ٨٣٨
(٩,٦) البنية الشكلية بالتدرج الرمادي ٨٤١

(١, ٦, ٩) التآكل والتوسيع ٨٤٢
(٢, ٦, ٩) الفتح والإغلاق ٨٤٥
(٣, ٦, ٩) بعض الخوارزميات الشكلية الأساسية للتدرج الرمادي..... ٨٤٨
(٤, ٦, ٩) إعادة التركيب الشكلي للتدرج الرمادي ٨٥٧
ملخص..... ٨٦١
المراجع ومصادر أخرى للقراءة ٨٦١
مسائل ٨٦٢

١٠. تجزئة الصورة ٨٧٣
تمهيد..... ٨٧٣
(١, ١٠) أساسيات ٨٧٤
(٢, ١٠) كشف نقطة وخط وحافة ٨٧٧
(١, ٢, ١٠) معلومات أساسية ٨٧٨
(٢, ٢, ١٠) كشف النقاط المنعزلة..... ٨٨٢
(٣, ٢, ١٠) كشف الخطوط..... ٨٨٤
(٤, ٢, ١٠) نماذج الحافة ٨٨٩
(٥, ٢, ١٠) أساسيات كشف الحافة..... ٨٩٦
(٦, ٢, ١٠) تقنيات أكثر تطورًا لكشف الحافة ٩٠٧
(٧, ٢, ١٠) ربط الحواف وكشف الحدود ٩٢٣
(٣, ١٠) التعتيب..... ٩٤٠
(١, ٣, ١٠) الأساس ٩٤٠
(٢, ٣, ١٠) أساسيات التعتيب الشامل..... ٩٤٤
(٤, ٣, ١٠) استخدام تنعيم الصورة لتحسين التعتيب الشامل ٩٥٣
(٥, ٣, ١٠) استخدام الحواف لتحسين التعتيب الشامل ٩٥٥
(٦, ٣, ١٠) العتبات المتعددة..... ٩٦٠

(٧,٣,١٠) التعتيب المتغير ٩٦٣
(٨,٣,١٠) التعتيب متعدد المتغيرات..... ٩٧٠
(٤,١٠) التقطيع المناطقي ٩٧٢
(١,٤,١٠) التنمية المناطقية ٩٧٢
(٢,٤,١٠) الفصل والدمج المناطقي..... ٩٧٥
(٥,١٠) التجزئة باستخدام الحدود المائية الشكلية..... ٩٨٠
(١,٥,١٠) معلومات أساسية ٩٨٠
(٢,٥,١٠) بناء السدود..... ٩٨٣
(٣,٥,١٠) خوارزمية التجزئة باستخدام الحدود المائية ٩٨٦
(٤,٥,١٠) استخدام الواسمات..... ٩٨٩
(٦,١٠) استخدام الحركة في التجزئة ٩٩١
(١,٦,١٠) التقنيات المكانية..... ٩٩١
(٢,٦,١٠) تقنيات المجال الترددي ٩٩٥
ملخص..... ١٠٠٠
المراجع ومصادر أخرى للقراءة ١٠٠٠
مسائل ١٠٠٤

١١. التمثيل والوصف ١٠١٧
تمهيد..... ١٠١٧
(١,١١) التمثيل..... ١٠١٧
(١,١,١١) تتبع الحدود ١٠١٨
(٢,١,١١) رموز السلسلة ١٠٢٠
(٣,١,١١) التقريبات متعددة الأضلاع باستخدام متعدد الأضلاع ذي المحيط الأصغر..... ١٠٢٤
(٤,١,١١) طرق تقريب أخرى متعددة الأضلاع ١٠٣٢

(٥, ١, ١١) التواقيع ١٠٣٣
(٦, ١, ١١) أجزاء الحدود ١٠٣٧
(٧, ١, ١١) الهياكل ١٠٣٨
(٢, ١١) واصفات الحدود ١٠٤٢
(١, ٢, ١١) بعض الواصفات البسيطة ١٠٤٣
(٢, ٢, ١١) أرقام الشكل ١٠٤٤
(٣, ٢, ١١) واصفات فوريه ١٠٤٦
(٤, ٢, ١١) العزوم الاحصائية ١٠٥٠
(٣, ١١) الواصفات المناطقية ١٠٥٢
(١, ٣, ١١) بعض الواصفات البسيطة ١٠٥٢
(٢, ٣, ١١) الواصفات التضاريسية ١٠٥٤
(٣, ٣, ١١) الإكساء ١٠٥٧
(٤, ٣, ١١) ثوابت العزوم ١٠٧٣
(٤, ١١) استخدام المكونات الرئيسة في الوصف ١٠٧٦
(٥, ١١) الواصفات العلائقية ١٠٨٧
ملخص ١٠٩٢
المراجع ومصادر أخرى للقراءة ١٠٩٢
مسائل ١٠٩٥

١٢. تمييز الأشياء ١١٠١
تمهيد ١١٠١
(١, ١٢) الأنماط وفئاتها ١١٠١
(٢, ١٢) التمييز القائم على القرار– الطرق النظرية ١١٠٧
(١, ٢, ١٢) المطابقة ١١٠٧
(٢, ٢, ١٢) مصنِّف المسافة الصغرى ١١٠٧

(٣, ٢, ١٢) المصنفات الإحصائية الأمثل ١١١٥
(٤, ٢, ١٢) الشبكات العصبونية ١١٢٦
(٣, ١٢) الطرق الهيكيلة ١١٥٢
(١, ٣, ١٢) مطابقة أرقام الأشكال ١١٥٢
(٢, ٣, ١٢) مطابقة السلاسل ١١٥٤
(٤, ١٢) ملخص ١١٥٦
المراجع ومصادر أخرى للقراءة ١١٥٦
مسائل ١١٥٧

ملحق أ ١١٦٣

المراجع ١١٧١

ثبت المصطلحات ١٢٠٣
أولًا: عربي - إنجليزي ١٢٠٣
ثانيًا: إنجليزي- عربي ١٢١٩
كشاف الموضوعات ١٢٣٥