

دراسة مقارنة لطرق إزالة الضجيج النبضي في الصور الطبية

د. ياسر سعيد خضرا⁽¹⁾

الملخص

تُعَدُّ عملية تنعيم الصورة إحدى التقنيات الأساسية المستخدمة في معالجة الصور الرقمية، بهدف إزالة الأنواع المختلفة من الضجيج التي يمكن أن تتداخل مع الصورة.

إن أحد أكثر أنواع الضجيج تأثيراً في الصور الرقمية هو ما يعرف بالضجيج النبضي (ضجيج الملح والفلفل)، الذي ينتج عن أسباب تقنية متعددة؛ منها تلف في بعض نقاط حساسات استحصال الصورة، أو نتيجة الخطأ في أثناء عملية التبدل من التماثلي إلى الرقمي أو بنتيجة التداخل الناتج عن نقل الصورة بواسطة قناة اتصال رديئة وغيرها. يظهر في الصورة الرقمية التي تحتوي على ضجيج الملح والفلفل عناصر صورة معزولة بتباين حاد مع جيرانها، كعناصر الصورة شديدة الإضاءة في المناطق العاتمة من الصورة أو العكس.

يعدُّ مرشح التنعيم الأوسطي من أكثر التقنيات اللاخطية الفعالة للتعامل مع هذا النوع من الضجيج. ويوجد في المنشورات العلمية العديد من أنواع المرشحات الأوسطية، فمنها في هذا البحث دراسة سبعة أنواع منها ومقارنتها بناءً على قابليتها لإعادة بناء الصور بعد تعرضها للضجيج النبضي.

من أجل دراسة فعالية التقنيات المختلفة للمرشحات الأوسطية المعروضة في هذا البحث فمننا ببرمجتها واختبارها على مجموعة من الصور الطبية لمستويات مختلفة من الضجيج النبضي، ومن ثم فورنت بينها باستخدام المعايير المتعارف عليها لقياس جودة الصور الرقمية بعد معالجتها.

بالمقارنة بين التقنيات المختلفة، المدروسة في هذا البحث للمرشحات الأوسطية وجدنا بأن المرشح الأوسطي التكيفي أعطى أفضل النتائج وفقاً للمعايير المختارة مقارنةً ببقية التقنيات التي استخدمت في هذه الدراسة.

الكلمات المفتاحية: الترشيح اللاخطي، الضجيج النبضي (ضجيج الملح والفلفل)، المرشح الأوسطي، المرشح الأوسطي الموزون، المرشح الأوسطي الهجين، مرشح الشعاع الأوسطي، المرشح الأوسطي الحيزي، المرشح الأوسطي الحيزي المعدل، المرشح الأوسطي التكيفي، جذر مربع الخطأ MSE، نسبة الإشارة إلى الضجيج PSNR، معامل تحسين الصورة IE، معامل ترابط الصور ICF.

⁽¹⁾ مدرس، قسم الهندسة الإلكترونية والاتصالات، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة البعث، حمص، سورية.

Comparative Study of Impulse Noise Removal Methods In Medical Images

Dr. Yasser Said Khadra⁽¹⁾

Abstract

Image smoothing is one of the principal techniques used in image processing to remove the different types of noise that are present in the image.

One of the most frequent types of noise that affected the digital images are the impulsive noise (salt and pepper noise) which can be caused by dead pixels in the image acquisition sensors, analog to digital converter error or during the transmission of the image in a noisy channel ..etc. An image containing salt-and-pepper noise will have some isolated dark pixels in bright regions and bright pixels in dark regions.

The median smoothing filter is one of the most popular nonlinear solutions used to deal with the impulsive noise.

There are many variations of median filters in literature. Seven different techniques of median filtering are studied and compared in this paper based on their ability to reconstruct the images affected by impulsive noise.

To insure the effectiveness of the various median filtering techniques, they are coded and tested on a set of grayscale medical images with different levels of noise, then compared using the standard known image quality measures.

In the comparison of the studied median filtering techniques, we found that the adaptive median filter gives the best results in comparison with the other techniques used in this study.

Key Words: Non-linear filtering, Impulse noise (salt & pepper noise), Median filter, Weighted Median filter, Hybrid median filter, Vector Median filter, Spatial Median filter, Modified Spatial Median filter, Mean Square Error (MSE), Peak Signal to Noise Ratio (PSNR), Image Enhanced factor (IEF), Image Correlation Factor (ICF) .

⁽¹⁾ Assistant Professor, Dep., Electronics and Communications Engineering, FMEE, Al-Baath Univ., Homs, Syria.

1. المقدمة:

للصور الطبية على سبيل المثال ليس من الضروري أن تكون هي الطريقة المثلى لمعالجة الصور الفضائية؛ وهذا يعتمد على طبيعة الصور ودلالاتها اللونية، ومدى الدقة المطلوبة للمعالجة.

يوجد عملياً نوعان من طرائق معالجة الصور إحداهما تدعى بطرائق المعالجة في المجال الترددي Frequency Domain، والأخرى تدعى بطرائق المعالجة الحيزية (المكانية) Spatial Domain.

تقوم طرائق المعالجة الترددية على نقل الصورة من مستوى الزمن إلى مستوى التردد بواسطة أحد التحويلات المعروفة، كتحويل فورييه Fourier Transform ثم نقوم في مستوى التردد بتطبيق تقنيات المعالجة الترددية القائمة على نظرية الطي Convolution Theorem كالمرشحات الترددية ثنائية البعد بأنواعها المختلفة، ومن ثم نعيد الصورة مرة أخرى إلى مجال الزمن بعد تطبيق تحويل فورييه العكسي [1, 4].

تظهر الحافات والانتقالات الحادة الأخرى في السويات اللونية للصورة كالضجيج كمركبات ترددية عالية عند تحويل الصورة إلى المستوي الترددي، ومن ثم تُعْمَم في المجال الترددي بتخميد مجال محدد من هذه المركبات عالية التردد.

أمّا في طرائق المعالجة الحيزية (المكانية) فيجري التعامل مباشرة مع عناصر الصورة Pixels، ويرجع مصطلح الحيزي Spatial أو المكاني إلى تجمعات العناصر التي تشكل صورة ما. ويمكن التعامل مع طرائق المعالجة في المجال الحيزي بتقسيمها إلى أساليب معالجة عامة Global شاملة للصورة، مثل: طرائق المعالجة القائمة على تسوية هистоغرام للصورة Histogram Equalization، أو تحسين التباين Contrast Enhancement وزيادة حدة الحافات في الصورة Edge Sharpening وغيرها، وبأساليب معالجة محلية موضعية Local تقوم على معالجة العنصر مع مجموعة من جيرانه Neighbours؛ وذلك من خلال تعريف جوار لعنصر الصورة يشكل صورة فرعية مربعة أو مستطيلة مركزها العنصر نفسه وعناصرها هي مجموعة العناصر المحيطة به.

تستعمل عمليات التنعيم أو إزالة الضجيج في الأصل لإضعاف الآثار الزائفة التي يمكن أن تكون موجودة في الصورة الرقمية، كنتيجة لنظام أخذ عينات رديء أو قناة اتصال رديئة، وينظر إلى مرشح إزالة الضجيج كنظام

يعود الاهتمام بالصورة الرقمية في السنوات الأخيرة إلى أهمية هذا النموذج من الملفات الرقمية، وكمية المعلومات الهائلة التي يمكن أن تحملها، وقد أصبحت معالجة الصور الرقمية Digital Image Processing وتقنياتها من العلوم الأساسية التي تُستخدم في مختلف أنواع التطبيقات العلمية الحديثة ومجالاتها كالطب والفضاء والاستشعار عن بعد والاتصالات والوسائط المتعددة وغيرها من العلوم، وأسهمت كثيراً في تطوير هذه العلوم، وأصبح الاهتمام بمبادئ معالجة الصور الرقمية وتحسينها من الأمور الأساسية الضرورية في كثير من التطبيقات [1].

تعدُّ عملية تحسين الصور الطبية Medical Image Enhancement المتضررة التي تداخلت معها مركبات ضجيجية عند الاستحصال بتقنيات التصوير الطبي المختلفة أو في أثناء النقل بقنوات الاتصال المتعددة من أهم التحديات التي تواجه الباحثين في هذا المجال نظراً إلى أهمية المعلومات المحمولة في هذه الصور، وما يتعلق بها من دقة التشخيص الطبي [2].

تهدف عملية تنعيم الصورة Image Smoothing إلى إزالة المركبات الضجيجية منها مع المحافظة على جودتها، وهي تعدُّ من أهم مراحل معالجة الصورة الرقمية، فهي أولى الخطوات التي يمكن اتباعها في أي تطبيق قائم على معالجة الصورة. إن عملية معالجة الصورة في التطبيقات الطبية لها خصوصية نظراً إلى ارتباط التشخيص الطبي السليم بالصورة الطبية واضحة المعالم، وارتباط العلاج الفعال مع التشخيص السليم، وهنا تبرز أهمية استخدام أدق التقنيات وأعلىها جودة وضرورتها في عملية معالجة الصور الطبية [3].

الهدف من هذه الدراسة هو اختبار سبع من الخوارزميات المستخدمة لإزالة الضجيج النبضي من الصور الطبية وتقييمها عن طريق المعالجة غير الخطية للصورة، ومقارنة هذه التقنيات بهدف إظهار مكان القوة والضعف في كل منها؛ لتسهيل عملية الاختيار على الباحث والعامل في مجال معالجة الصور الطبية.

2. تنعيم الصورة (إزالة الضجيج):

إن الهدف الرئيس من تقنيات تحسين الصورة هو معالجتها لتكون أكثر ملاءمة من الصورة الأصلية لتطبيق معين، ومن ثم فإن منهجية معالجة الصورة المناسبة

1/9	1/9	1/9
1/9	1/9	1/9
1/9	1/9	1/9

الشكل (1) نموذج نافذة أبعادها 3×3 تستخدم في مرشحات توسيط الجوار .

4. الترشيح اللاخطي (الترشيح الأوسطي):

قد يحدث عند نقل الصورة الرقمية في قنوات الاتصال المختلفة، أو من خلال أجهزة التحصيل بأن تتعرض الإشارة المنقولة سواء كانت أحادية البعد أم ثنائية البعد (الصورة) إلى ضجيج حاد يؤدي إلى ظهور تنوعات مسمارية إيرية Spike في الإشارة المنقولة، هذا النوع من التداخل في النقل يسمى بضجيج الملح والفلفل Salt & Pepper Noise. يعبر عن درجة التشويه الحاصل في الصورة موضوع النقل بالمركبة الضجيجية للصورة، وهي النسبة بين عدد النقاط غير المنقولة بشكل صحيح إلى عدد النقاط المنقولة دون تغيير [6].

يُعدُّ المرشح الأوسطي Median Filter النموذج الأكثر استخداماً من المرشحات اللاخطية لإزالة الضجيج في الصورة الرقمية. يقوم مبدأ عمل هذا المرشح على استبدال بالسوية اللونية لكل عنصر بالصورة القيمة الوسطى Median Value للسويات اللونية في جوار ما لذلك العنصر بدلاً من القيمة المتوسطة Average Value في حالة مرشح التنعيم الخطي. وهذه الطريقة فعالة خاصة عندما يكون نمط الضجيج مكوناً من مركبات قوية ذات تنوعات مدببة، وحيث تكون الخواص التي يجب أن نحافظ عليها هي حدة الحافات [7].

رُكزت هذه المقالة على الأنواع المختلفة للمرشح الأوسطي، وطرائق عملها والمقارنة فيما بينها بهدف تحديد أفضلها وأكثرها ملاءمة للصور الطبية.

4.1. المرشح الأوسطي القياسي MF:

كما نعلم من علم الإحصاء أن أوسطي مجموعة هو العنصر m الذي يكون في وسطها بعد فرز عناصر هذه المجموعة تصاعدياً أو تنازلياً، فإذا كان عدد عناصر المجموعة فردياً يكون أوسطي المجموعة هو العنصر الذي ترتيبه m والواقع في وسط المجموعة المفروزة، أي إنَّ

معالجة صورة يأخذ في دخله الصورة التي تعرضت إلى ضجيج ما يعطي في خرجه تخميناً للصورة الأصلية من دون المعرفة المسبقة للمركبات الضجيجية في الصورة ودرجتها، ويمكن تقسيم التقنيات المستخدمة في التنعيم في المجال الحيزي إلى تقنيات خطية وتقنيات لاخطية.

شُرحت في الفقرات اللاحقة هذه التقنيات، وفُصل في تقنية التنعيم اللاخطية موضوع بحثنا.

3. تنعيم الصورة الخطي:

إن أبرز مرشح تنعيم خطي Linear Smoothing Filter يدعى بمرشح توسيط الجوار Averaging Filter، إذ يستخدم توسيط الجوار بشكل أساسي من أجل الحصول على صورة منعمة انطلاقاً من صورة تداخل معها الضجيج وأثر في جودتها، فإذا كان لدينا صورة $f(x, y)$ أبعادها $m \times n$ ، وطبقنا مرشح توسيط الجوار عليها حصلنا على صورة منعمة $g(x, y)$ تكون قيمة سوياتها اللونية عند كل نقطة منها إحداثياتها (x, y) تساوي متوسط قيم السويات اللونية لعناصر الصور f المحتواة في جوار (x, y) محدد مسبقاً [1, 5].

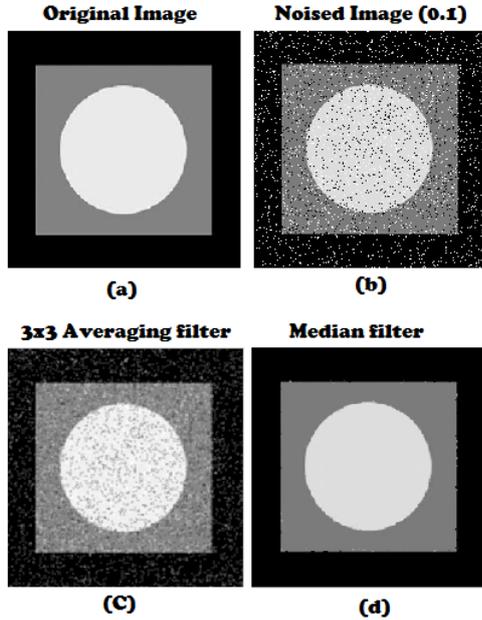
تعدُّ الجوارات المربعة هي الجوارات الأكثر استخداماً، ويعرّف عادةً الجوار بشكل مصفوفة مربعة ندعوها بالنافذة Window أو القناع Mask، يبيّن الشكل (1) نافذة أبعادها 3×3 تستخدم في مرشح توسيط الجوار .

ويمكن أن يكون الجوار بأبعاد أخرى 5×5 أو 7×7 وغيرها، وكلما كبر الجوار كان أثر التنعيم أوضح، وأسهم ذلك في إزالة الضجيج، ولكن من مساوئه أنه يؤدي إلى تغييب الحافات.

إحدى الصعوبات الأساسية للترشيح بالطريقة الخطية التي قمنا بشرحها بشكل مقتضب هي أنها تغييب الحافات Edge Blurring، وتسهم في طمس التفاصيل الحادة الأخرى في الصورة. مع أنه يمكن التغلب على هذه المشكلة باستخدام عتبة Threshold محددة، لكن اختيار قيمة هذه العتبة يعتمد -إلى حد كبير- على التجربة ولا يمكن تعميمه، فكل صورة موضوع المعالجة هي حالة خاصة، ولذلك استُخدم الترشيح اللاخطي Nonlinear Filtering من أجل التغلب على مشكلة تغييب الحافات، وطمس الحافات في الترشيح الخطي.

يبين الشكل (3) التحسين الواضح على الصورة المرشحة بعد تطبيق المرشح الأوسط، مقارنةً بمرشح توسيط الجوار.

يمتاز المرشح الأوسط بأنه يسهم بشكل أقل من مرشح توسيط الجوار في تشكيل سوياوات لونية جديدة مزيفة ليست من أصل الصورة، مع ملاحظة أن أداء المرشح الأوسط يكون ضعيفاً عندما يكون الضجيج عالياً ولذلك طرأ على هذا المرشح العديد من التحسينات استُعرضت في الفقرات اللاحقة.



الشكل (3) تطبيق المرشح الأوسط ومرشح توسيط الجوار على نموذج ضجيجي للصور. (a) الصورة الأصلية، (b) الصورة بعد إضافة ضجيج نبضي لها بدرجة 0.1، (c) الصورة المنعمة باستخدام مرشح توسيط الجوار، (d) الصورة بعد ترشيحها باستخدام المرشح الأوسط [1].

4.2. المرشح الأوسط الموزون WMF:

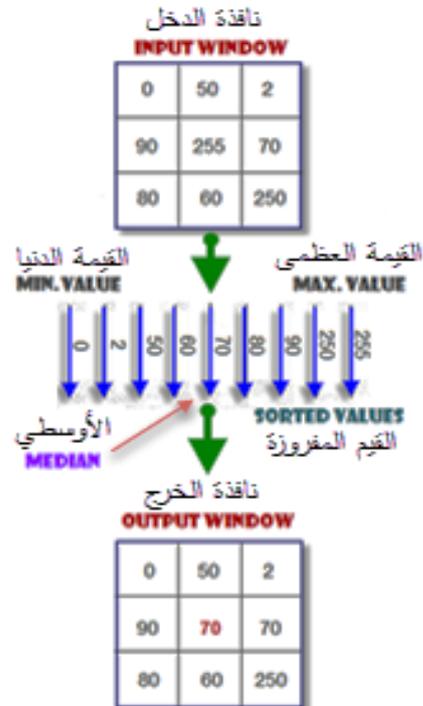
إن أول التعديلات التي أُجريت على المرشح الأوسط القياسي هو إضافة أوزان Weights إلى عناصر نافذة الجوار لتجاوز بعض الصعوبات في التنعيم المتعلقة بطبيعة الضجيج الممكنة [9, 8]، وفي هذا النموذج من المرشحات الأوسطية يُعرّف أولاً تعريف شعاع الأوزان W بحيث يحقق خاصية ما كالتوزيع الغوسي، أو ما شابه؛ كانت هناك معرفة مسبقة بطبيعة الضجيج النبضي

نصف هذه القيم يكون أصغر من m ، ونصفها الآخر أكبر من m ، أمّا أوسطي المجموعة التي عدد عناصرها زوجي فتُحدّد قيمته بإيجاد متوسط العنصرين الواقعين في وسط المجموعة بعد فرزها.

الفكرة نفسها طُبِّقت في مجال معالجة الصورة الرقمية وذلك بأن نأخذ جواراً ما لكل عنصر في الصورة، ثم نقوم بفرز قيم العنصر وجيرانه تصاعدياً أو تنازلياً، ونحدد أوسطها، ونسب هذه القيمة إلى العنصر الذي له الإحداثيات نفسها في الصورة الجديدة الناتجة عن المعالجة [1, 7].

يبين الشكل (2) مثال لكيفية استخراج قيمة العنصر الأوسط ضمن جوار بأبعاد 3×3 لعنصر صورة مُعطى.

إن أهم مميزات المرشح الأوسط هو أنه أكثر فعالية في التنعيم، مع المحافظة على الحافات مقارنةً بالمرشحات الخطية كمرشح توسيط الجوار وهو يستخدم بشكل رئيس عندما يكون الضجيج من الشكل النبضي Impulsive Noise، أو ما يعرف بضجيج الملح والفلل Salt and Pepper [6].



الشكل (2) مثال عن كيفية استخراج قيمة العنصر الأوسط ضمن جوار عنصر الصورة.

4.4. مرشح الشعاع الأوسطي VMF:

بيّن الباحثون أن إحدى أهم نقاط الضعف في المرشح الأوسطي القياسي وتعديلاته الأولية هو عدم تمثيل عنصر الصورة المدروس بشكل دقيق، مع الأخذ بالحسبان بعض الخصائص المحلية في جوار ذلك العنصر، لذا اقترح نوع جديد من التحسين على النموذج الأولي للمرشح الأوسطي أطلق عليه مرشح الشعاع الأوسطي [11, 12, 13].

تقوم الفكرة الرئيسية من التعديل الجديد على حساب مجموع أطوال الأشعة بين كل عنصر من عناصر نافذة الجوار، والعناصر الأخرى من النافذة نفسها، ويُعدُّ عنصر الصورة الذي له أقل مجموع لهذه الأشعة في جوار العنصر المدروس هو العنصر الذي يُستبدل به عنصر الصورة المدروس ويعبر ذلك رياضياً بـ:

$$VMF(x_1, \dots, x_N) = x_r$$

$$[r, \lambda] = \min(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_N)$$

إذ إن r هي ترتيب عنصر الصورة الذي يملك أقل قيمة لمجموع أطوال الأشعة بينه وبين العناصر الأخرى، λ_i هو مجموع أطوال الأشعة بين العنصر المدروس x_i و باقي عناصر النافذة، ويعبر عن ذلك رياضياً بـ:

$$\lambda_i = \sum_{j=1}^N \|x_i - x_j\|$$

إذ إن $\|x_i - x_j\|$ هي طويلة الشعاع المتشكل بعنصري الصورة x_i و x_j . تجدر الإشارة هنا إلى أن كل عنصر من الصورة الملونة يعبر عنه بشعاع مؤلف من ثلاث مركبات لونية RGB، في حين أن عناصر صورة السويات الرمادية يعبر عنها بقيمة واحدة تمثل السوية اللونية للعنصر، وبناءً على طريقة التمثيل اللوني لعناصر الصورة المدروسة يُطبّق هذا النوع من المرشحات الأوسطية.

4.5. المرشح الأوسطي الحيزي SMF:

بيّن الباحثون أن من مساوئ المرشحات الأوسطية بشكل عام أنه في بعض الأحيان تُستبدل بقيم عناصر غير معرضة للضجيج أصلاً (عناصر صورة أصلية) قيم عناصر أخرى من الجوار وخاصة عند الحافات، وبيّن الباحثون أنه يوجد عملياً تحديان أساسيان لتطوير المرشحات الأوسطية، التحدي الأول هو تحديد النقاط الضجيجية وتمييزها عن النقاط الأصلية في الصورة والتي لم تتعرض للضجيج بينما التحدي الثاني هو كيفية تعديل هذه النقاط لتصبح أقرب ما يمكن للحالة الأصلية للصورة، ويتصف مرشح التنعيم الجيد بأنه يقوم بإزالة الضجيج من

(الإبري) المؤثر في الصورة، ومن ثم عند تطبيق المرشح الأوسطي تكون النتيجة:

$$WMF(x_1, \dots, x_N) = \text{median}(w_1x_1, \dots, w_Nx_N)$$

إذ إن $[w_1, w_2, \dots, w_N]$ هي شعاع الأوزان، و $[x_1, x_2, \dots, x_N]$ هو العنصر مع جواره.

4.3. المرشح الأوسطي الهجين HMF:

المرشح الأوسطي الهجين هو تعديل آخر للمرشح الأوسطي اقترح من قبل الباحثين بهدف التنعيم اللاخطي للصورة الرقمية مع الحفاظ على الحافات بطريقة أكثر فاعلية من المرشح الأوسطي القياسي [10].

يقوم مبدأ عمل هذا المرشح على أخذ جوار ما W للعنصر المدروس C ، ومن ثم تحديد عنصرين أوسطين من نافذة الجوار نفسها، أحدهما يمثل العنصر الأوسطي القطري M_r للنافذة، (أي أوسطي عناصر أقطار النافذة التي مركزها C)، والآخر يمثل العنصر الأوسطي اللاقطري M_c للنافذة نفسها (أي عناصر النافذة الأفقية والشاقولية التي مركزها C)، ويكون خرج هذا المرشح هو العنصر الأوسطي لثلاثة عناصر، هم: العنصر الأوسطي القطري M_c ، والعنصر الأوسطي اللاقطري M_r ، والعنصر موضوع المعالجة نفسه C ، ويعبر عن ذلك رياضياً بـ:

$$hmf(x_1, \dots, x_N) = \text{median}(M_r, M_c, C)$$

وتكون خطوات العمل في هذا المرشح كما يأتي:

- 1- طبق نافذة قطرية \times مركزها العنصر المدروس.
- 2- استخرج العناصر من الصورة الموافقة لأقطار النافذة.
- 3- رتب هذه العناصر تصاعدياً أو تنازلياً.
- 4- حدد العنصر الأوسطي في المجموعة وليكن M_r .
- 5- طبق نافذة $+$ مركزها العنصر المدروس.
- 6- استخرج العناصر من الصورة الموافقة للعناصر اللاقطرية للنافذة.
- 7- رتب هذه العناصر تصاعدياً أو تنازلياً.
- 8- حدد العنصر الأوسطي في المجموعة وليكن M_c .
- 9- ضع العناصر الناتجة من 4 و 8 والعنصر المدروس نفسه C في مجموعة مؤلفة من ثلاثة عناصر (M_r, M_c, C) .
- 10- رتب عناصر المجموعة الثلاثة تصاعدياً أو تنازلياً.
- 11- خذ العنصر الأوسطي من المجموعة الثلاثية المرتبة (M_r, M_c, C) ، وانسب قيمته إلى العنصر الموافق للعنصر المدروس في الصورة الناتجة.

أساس ترتيب الأشعة الممثلة لعناصر الصورة في جوار ما بشكل متدرج، ويُستبدل بمركز النافذة في الصورة الناتجة عن المعالجة عنصر الصورة الذي يقع في أعلى هرم الترتيب بالنسبة إلى المرشح الحيزي الأوسطي، أو الذي يقع في أدنى هرم الترتيب بالنسبة إلى مرشح الشعاع الأوسطي، ومن المراجعة الرياضية لعلاقات المرشح الأوسطي الحيزي ومرشح الشعاع الأوسطي نجد أنه في حال كانت الصورة ممثلة بالسويات الرمادية حيث يتم التعبير عن كل عنصر صورة بقيمة واحدة فقط، وليس كشعاع ثلاثي القيم كما في الصور الملونة، فإن العلاقات الرياضية الناظمة لكل منهما تعطي نتائج متقاربة، وهو ما وجدناه بالتجربة العملية، وكأنهما تعديل واحد للمرشح الأوسطي بنموذجين رياضيين مختلفين.

4.6. المرشح الأوسطي الحيزي المعدل MSMF:

عند دراسة المرشحات الأوسطية وتعديلاتها السابقة دراسة دقيقة نلاحظ أن هناك نقطة سلبية يجب الانتباه إليها، تتلخص بكونه لم يؤخذ بالحسبان هل العنصر موضوع المعالجة الذي هو مركز النافذة (القناع) بالأصل نقطة سليمة أي لم تتعرض للضجيج يجب عدم تعديلها، أم هي نقطة تعرضت للضجيج لابد من معالجتها؟ ويتبين بأنه يمكن لتلك المرشحات أن تعمل في المناطق التي لا تحتوي على ضجيج، وستعالج المعلومات فيها وتعديلها على الأغلب.

لتجاوز هذه السلبية اقترح الباحثون المرشح الأوسطي الحيزي المعدل MSMF [14, 16] الذي يُعدُّ تطويراً للمرشح الحيزي الأوسطي. فيعد أن يُحسب العمق الحيزي لكل عنصر صورة في النافذة تُجرى محاولة لاستخدام هذه المعلومات بهدف اتخاذ قرار يساعد على تصنيف العنصر المدروس إلى عنصر صورة تعرض للضجيج أم لا.

تقوم الفكرة الرئيسية في تحديد كون العنصر المدروس أهو عنصر أصلي أم عنصر ضجيجي؟ من خلال تحديد موقعه في المجموعة المرتبة للعمق الحيزي، فعناصر الصورة ذات العمق الحيزي الكبير تُعدُّ نقاطاً أصلياً، وتتوضع في مقدمة المجموعة، في حين أن النقاط الضجيجية تتوضع في مؤخرة المجموعة المرتبة تنازلياً. رمزنا لترتيب قيمة العمق الحيزي للعنصر x_i في المجموعة المرتبة ب r_i ، وبناءً عليه يكون r_1 فهو ترتيب أول عنصر موجود في المجموعة، أما r_c هو ترتيب العنصر المدروس

الصورة بينما يحافظ على معظم عناصر الصورة الأصلية وكذلك يحفظ الحواف.

يُعدُّ المرشح الأوسطي الحيزي [14] نموذجاً جديداً من مرشحات إزالة الضجيج، إذ يقوم في عمله على خوارزمية شبيهة - إلى حد كبير - بخوارزمية العمل لمرشح الشعاع الأوسطي مع بعض التعديلات.

تقوم الفكرة الرئيسية في هذا المرشح على حساب العمق الحيزي Spatial Depth الذي يرمز له بـ $S_{depth}(x_i)$ لكل عنصر من عناصر نافذة الجوار للعنصر المدروس [15]، ثم يؤخذ عنصر الصورة الذي له أكبر قيمة للبعد الحيزي في هذا الجوار ليكون هو العنصر الذي سيستبدل به عنصر الصورة المدروس في الصورة الجديدة، ويعبّر عن ذلك رياضياً بـ:

$$SMF(x_1, \dots, x_N) = x_r$$

$$[r, S] = \max(S_{depth}(x_1), \dots, S_{depth}(x_N))$$

إذ إن: $i = 1, \dots, N$ يدل على دليل العنصر في الجوار المدروس، r هي دليل العنصر الذي يملك أكبر قيمة للعمق الحيزي، ويعبّر عن $S_{depth}(x_i)$ الذي هو العمق الحيزي للعنصر x_i بينه وبين عناصر نافذة الجوار جميعها المحيطة بـ:

$$S_{depth}(x_i) = 1 - \frac{1}{N-1} \left\| \sum_{j=1}^N \frac{x_i - x_j}{\|x_i - x_j\|} \right\|$$

إذ إن: $\|x_i - x_j\|$ هي طولية الشعاع المتشكل بعنصري الصورة x_i و x_j .

بتحليل خوارزمية العمل لهذا النوع من المرشحات الأوسطية نجد أنه يتعامل مع العمق الحيزي على أنه دليل على مقدار المركبة الضجيجية في العنصر المدروس، فالعمق الحيزي الكبير دليل على أن احتمال كون العنصر المدروس قد تعرض للضجيج هو احتمال ضعيف ويزداد هذا الاحتمال كلما صغرت قيمة العمق الحيزي.

تجب الإشارة هنا إلى أنه كما في حالة مرشح الشعاع الأوسطي، فإن كل عنصر من عناصر الصورة الملونة يعبّر عنه بشعاع مؤلف من ثلاث مركبات لونية RGB، في حين أن عناصر صورة السويات الرمادية يعبّر عنها بقيمة واحدة تمثل السوية اللونية للعنصر وبناءً على طريقة التمثيل اللوني لعناصر الصورة المدروسة يُطبّق هذا النوع من المرشحات الأوسطية.

إن المرشح الحيزي الأوسطي SMF ومرشح الشعاع الأوسطي VMF يشتركان بأن كلاهما يقوم على

يكن يمثل ضجيجاً حقيقياً، إذ لا يُعدُّ عنصر الصورة المدروس ضجيجاً حقيقياً إلا إذا كانت قيمته مختلفة بشكل كبير عن معظم عناصر جواره، وهو غير مترادف معها.

يقوم مبدأ العمل في هذا المرشح كما يأتي:

1- نحدد w و w_{max} ، وهما حجم نافذة البداية وحجم النافذة الأعظمي على الترتيب التي يمكن استخدامه في المرشح.

2- من أجل كل عنصر في الصورة $p(x, y)$ نأخذ جواراً أولياً له أبعاده $w \times w$ ، ونحدد في هذا الجوار القيم الآتية: Z_{xy} ، Z_{med} ، Z_{max} ، Z_{min} . إذ إن: Z_{min} هي قيمة السوية اللونية الدنيا في جوار العنصر المدروس، و Z_{max} هي قيمة السوية اللونية العظمى في جوار العنصر المدروس، و Z_{med} هي قيمة السوية اللونية الوسطى في جوار العنصر المدروس، و Z_{xy} هي قيمة السوية اللونية الحقيقية للعنصر المدروس.

3- إذا كان $Z_{min} < Z_{med} < Z_{max}$ عندها نناقش الحالتين الآتيتين:

a. إذا كان $Z_{min} < Z_{xy} < Z_{max}$

$q(x, y) = Z_{xy}$ ← إذ إن: $q(x, y)$

هي قيمة السوية اللونية للعنصر الناتج عن المعالجة.

b. وإلا $w = w + 2$ (تكبر حجم النافذة بمقدار صفيين وعموديين متساويين على محيط النافذة) فإذا كانت $w < w_{max}$ نذهب إلى 2 وإلا يكون عندها:

$q(x, y) = Z_{med}$

إن من أهم مميزات المرشح الأوسطي التكيفي مقارنة بالمرشح الأوسطي القياسي وتعديلاته المقدمة سابقاً؛ هو أنه أكثر فاعلية من المرشح القياسي عندما تكون كثافة الضجيج الحبيبي (النسبة المئوية من عناصر الصورة التي تأثرت بالضجيج) أكبر من 0.2، وهو أكثر قدرة على حفظ التفاصيل وهذا ما وجدناه بالتجربة العملية، وسيظهر جلياً في النتائج التي حصلنا عليها.

5. النتائج:

من أجل مقارنة أداء المرشحات المعروضة سابقاً على الصور الطبية، كان لا بد من تطبيقها على صور من أنواع مختلفة، وبدرجات ضجيج متفاوتة؛ لذا قمنا بتحقيق ذلك من خلال الخطوات الآتية:

- أولاً قمنا بالحصول على أربع صور طبية كعينة أولية، كل منها مأخوذ بتقنية تصوير مختلفة، عناصرها ممثلة

C الذي يشكل مركز النافذة وفقاً لموقع بعده الحيزي في المجموعة، وتتلخص آلية العمل في هذا المرشح كما يأتي:

- 1- تحديد معيار عتبة للمسافة $\delta \geq 1$.
- 2- أخذ جوار لعنصر الصورة المدروس.
- 3- حساب العمق الحيزي لكل عنصر صورة في نافذة الجوار.
- 4- فرز قيم العمق الحيزي لعناصر الجوار المدروس تنازلياً.

5- تحديد قيمة r_c التي هي ترتيب العمق الحيزي الموافق للعنصر المدروس C في المجموعة المفروزة تنازلياً.

6- إذا تحقق المعيار $r_c \leq \delta$ ، أي إن العنصر C هو ضمن العناصر الموجودة في مقدمة المجموعة المرتبة فهو يُعدُّ عنصراً أصلياً ولا داعي لتعديل قيمته، وأما إذا لم يتحقق المعيار أي $r_c > \delta$ فهو يُعدُّ من عناصر صورة التي تعرضت للضجيج، وسيُستبدل به العنصر الموجود في مقدمة المجموعة، الذي له الترتيب r_1 . ويعبر عن ذلك رياضياً بـ:

$$r_c \leq \delta \Rightarrow MSMF(\lambda, c) = C$$

$$r_c > \delta \Rightarrow MSMF(\lambda, c) = x_1$$

إذ إن x_1 هو جار العنصر المدروس C الذي له أكبر قيمة للعمق الحيزي.

مع ملاحظة أن هذا التعديل يمكن تطبيقه على مرشحات الشعاع الأوسطي، كذلك بالآلية نفسها مع الأخذ بالحسبان خصوصية المعيار المستخدم وآلية الاختيار.

4.7. المرشح الأوسطي التكيفي AMF:

تقوم فكرة مرشحات الصورة التكيفية Image Adaptive Filters في المعالجة الحيزية بشكل عام على استخدام حجم نافذة متغير حول عنصر الصورة المدروس، ولا يخرج المرشح الأوسطي التكيفي Adaptive Median Filter عن هذا المفهوم، ففيه يُستخدم حجم متغير للنافذة حول العنصر المدروس بغية الحصول على نتائج أكثر واقعية، وملائمة لطبيعة المنطقة المعالجة من الصورة [1,17,18,19].

الغاية من هذا النموذج المعدل هو تجاوز بعض السلبيات في المرشح الأوسطي القياسي وتعديلاته اللاحقة، من حيث حفظ الحافات، ومعالجة العناصر الضجيجية دون غيرها. فباستخدام المرشح الأوسطي التكيفي ليس من الضروري استبدال بالسوية اللونية للعنصر المدروس السوية اللونية للعنصر الأوسطي في نافذة الجوار، إن لم

متوسط مربع الخطأ **MSE**: الذي يعبر عنه بـ:

$$MSE = \frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (G(i,j) - F(i,j))^2$$

إذ إن: M, N هما أبعاد الصورة المدروسة F, G هي الصورة الناتجة عن المعالجة. كلما كانت قيمة **MSE** أصغر كانت الصورة الناتجة عن المعالجة أقرب إلى الصورة الأصلية، ومن ثم المرشح الذي يعطي هذه النتيجة هو الأفضل.

نسبة قمة الإشارة إلى الضجيج **PSNR**: ويعبر عنها بالعلاقة الآتية:

$$PSNR = 10 \log \left(\frac{255}{MSE} \right)^2 = 20 \log \frac{255}{\sqrt{MSE}}$$

كلما كبرت قيمة الـ **PSNR** كان ذلك دلالة على جودة النتائج التي يعطيها المرشح المدروس.

معامل تحسين الصور **IFE** [22]: ويعطى بـ:

$$IEF = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (O(i,j) - F(i,j))^2}{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (G(i,j) - F(i,j))^2}$$

إذ إن: M, N هما أبعاد الصورة المدروسة، G هي الصورة الناتجة عن المعالجة، و F هي الصورة الأصلية، و O هي الصورة التي تعرضت للضجيج. كلما كبرت قيمة الـ **IEF** كان ذلك دلالة على جودة النتائج التي يعطيها المرشح المدروس؛ وهذا يعني أن الصورة الناتجة عن المعالجة هي قريبة جداً من الصورة الأصلية، إذ يكون عندها الفرق بينهما صغيراً جداً، وهو يكون في مقام الكسر مما يجعل قيمته كبيرة.

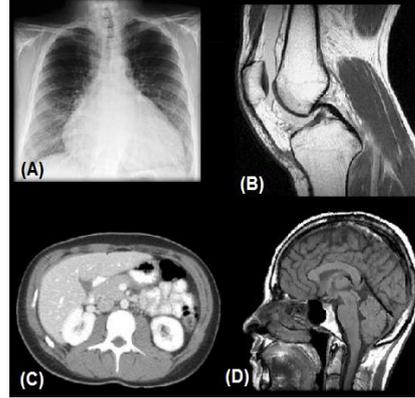
معامل ترابط الصور **ICF**: الذي يعبر عنه كما يأتي:

$$ICF = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (F(i,j) - \bar{F})(G(i,j) - \bar{G})}{\sqrt{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (F(i,j) - \bar{F})^2 (G(i,j) - \bar{G})^2}}$$

إذ إن: M, N هما أبعاد الصورة المدروسة، G هي الصورة الناتجة عن المعالجة، و \bar{G} هي القيمة المتوسطة لمصفوفة الصورة G (مجموع قيم عناصر الصورة مقسوماً على عددها)، و F هي الصورة الأصلية، \bar{F} هي القيمة المتوسطة لمصفوفة الصورة F . كلما اقتربت قيمة الـ **ICF** من القيمة واحد كان ذلك دلالة على جودة المرشح المدروس.

يبين الشكلان (5) و(6) عرضاً لنتائج الترشيح على نموذجين فقط من الصور المستخدمة في التطبيق، هما الأشعة السينية للصدر (الشكل 5) وصورة الرنين المغناطيسي للركبة (الشكل 6) بعد أن أضيف ضجيج نبضي من نوع ملح وفلفل إلى كل من الصورتين بدرجة 50%.

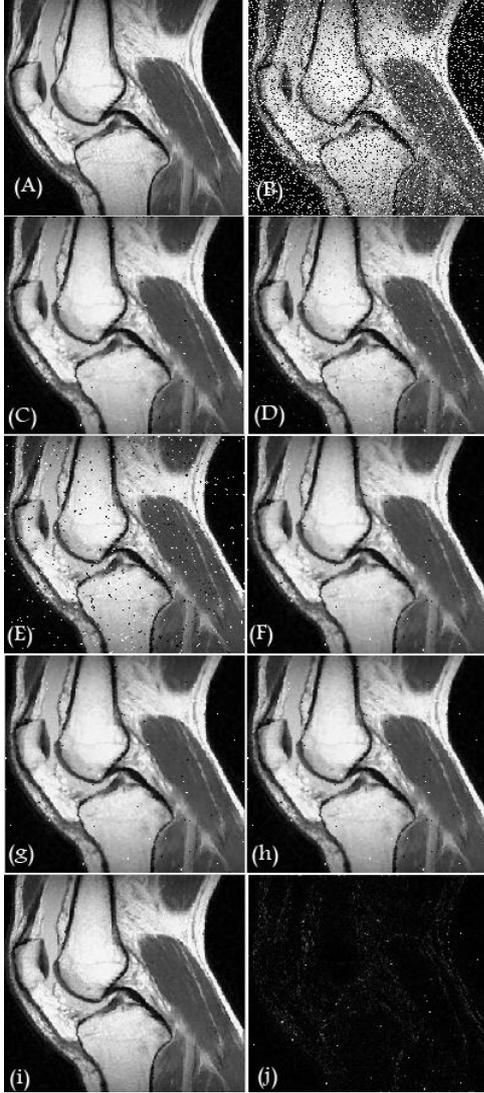
بـ 256 سوية تدرج رمادية وتتألف من صورتين رنين مغناطيسي **MRI** للدماغ (1024 x 1024 pixels) ولمفصل الركبة (992 x 992 pixels)، صورة مقطعية للبطن مأخوذة بطريقة التصوير الطبقي المحوري **CT-Scan** (344x256 pixels) وصورة أشعة سينية للصدر **Chest X-Ray** (630x630 pixels) كما هو مبين بالشكل (4).



الشكل (4) الصور الطبية التي استُخدمت في التجارب. (A) صورة أشعة سينية للصدر، (B) صور رنين مغناطيسي للركبة، (C) صورة مقطعية للبطن، (D) صورة رنين مغناطيسي للرأس.

- أضيف إلى كل صورة من الصور الأربع ضجيج نبضي (ضجيج ملح وفلفل) بتسع درجات مختلفة تراوح بين 10% إلى 90% وبفقره مقدارها 10% بين كل صورة واللاحقة لها، ومن ثم حصلنا على ما مجموعه 36 صورة ضجيجية كقاعدة معطيات للاختبار.
- طبقت الأنواع المختلفة من المرشحات الأوسطية المشروحة سابقاً على الصور الطبية المضاف إليها الضجيج، وسُجّلت النتائج.
- أُجريت التجارب وبرمجة المرشحات باستخدام برنامج *Matlab R2014a* لما يملكه من مكتبات داعمة ومرونة بالبرمجة، وخاصة في مجال معالجة الصور الرقمية.

من أجل تقييم النتائج التي حصلنا عليها كان هناك نوعان من التقييم، هما تقييم كفي لجودة الصور الناتجة عن المعالجة، وهو ما يظهر للعين المجردة فكلما كانت الصورة الناتجة خالية من الضجيج وأقرب إلى الصورة الأصلية كانت نتيجة التقييم الكفي للمرشح أفضل، وتقييم كمي من خلال استخدام مجموعة من المعايير والقياسات المتعارف عليها في مجال معالجة الصور الرقمية [20,21]، أهمها:

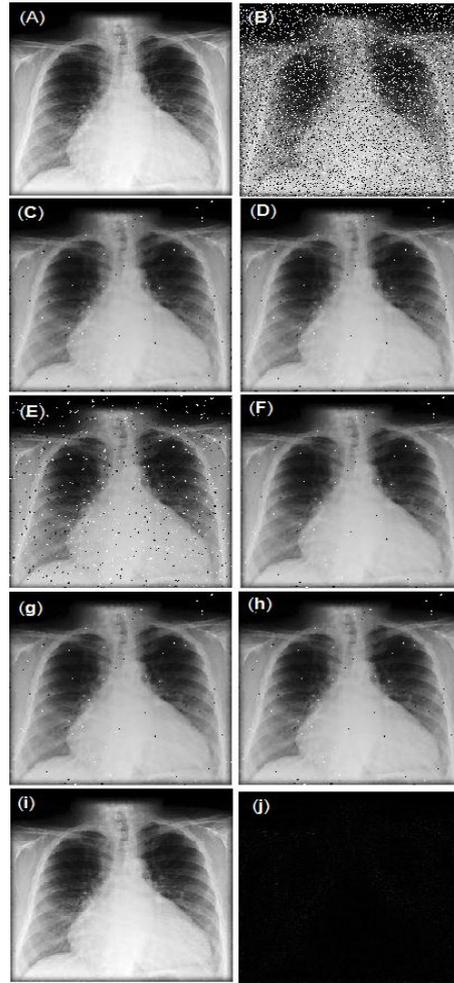


الشكل (6) نتيجة تطبيق الأنواع المختلفة للمرشحات

الأوسطية على صورة الرنين المغناطيسي للركبة. (A) الصورة الأصلية، (B) الصورة الأصلية بعد إضافة الضجيج إليها، (C) نتيجة تطبيق المرشح الأوسط التقليدي MF، (D) نتيجة تطبيق المرشح الأوسط الموزون WMF، (E) نتيجة تطبيق المرشح الأوسط الهجين HMF، (F) نتيجة تطبيق مرشح الشعاع الأوسط VMF، (G) نتيجة تطبيق المرشح الأوسط الحيزي MFS، (H) نتيجة تطبيق المرشح الأوسط الحيزي المعدل MSMF، (I) نتيجة تطبيق المرشح الأوسط التكيفي AMF، (J) صورة الفرق بين الصورة الأصلية والصورة الناتجة عن المعالجة باستخدام المرشح الأوسط التقليدي MF.

أما الأشكال (7, 8, 9) فتبين نتائج التحليل الكمي باستخدام معايير التقييم التي شرحناها في بداية هذه الفقرة، إذ يظهر من الأشكال المقارنة بين الأنواع السبعة للمرشحات

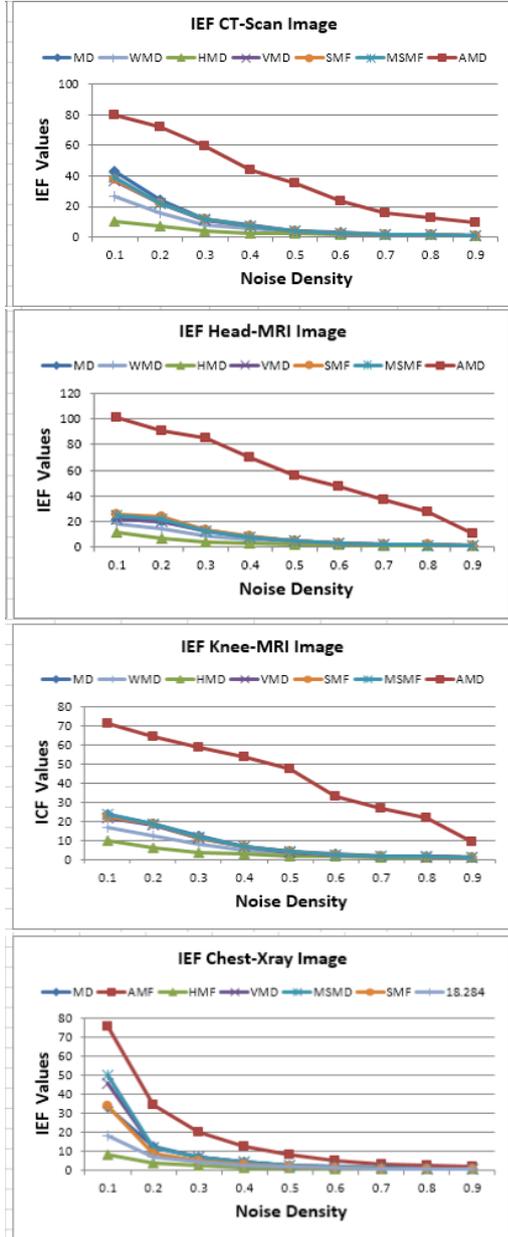
نلاحظ من التحليل الكيفي للنتائج (تقييم الصور بالعين المجردة) أفضلية المرشح الأوسط التكيفي مقارنة بالأنواع الأخرى، إذ ظهرت الصورة الناتجة عن المعالجة بهذا المرشح بشكل مشابه جداً للصورة الأصلية دون نقاط ضجيجية ظاهرة. مع ملاحظة استخدام نافذة جوار للمرشحات جميعها بقياس موحد هو 3×3 ، وبالنسبة إلى المرشح التكيفي اخترنا حجم النافذة الأولي $w = 3$ و $w_{max} = 9$.



الشكل (5) تطبيق للمرشحات الأوسطية على صورة الأشعة السينية للصدر.

(A) الصورة الأصلية، (B) الصورة الضجيجية، (C) نتيجة تطبيق المرشح الأوسط التقليدي MF، (D) نتيجة تطبيق المرشح الأوسط الموزون WMF، (E) نتيجة تطبيق المرشح الأوسط الهجين HMF، (F) نتيجة تطبيق مرشح الشعاع الأوسط VMF، (G) نتيجة تطبيق المرشح الأوسط الحيزي MFS، (H) نتيجة تطبيق المرشح الأوسط الحيزي المعدل MSMF، (I) نتيجة تطبيق المرشح الأوسط التكيفي AMF، (J) صورة الفرق بين الصورة الأصلية والصورة الناتجة عن المعالجة باستخدام المرشح الأوسط التكيفي AMF.

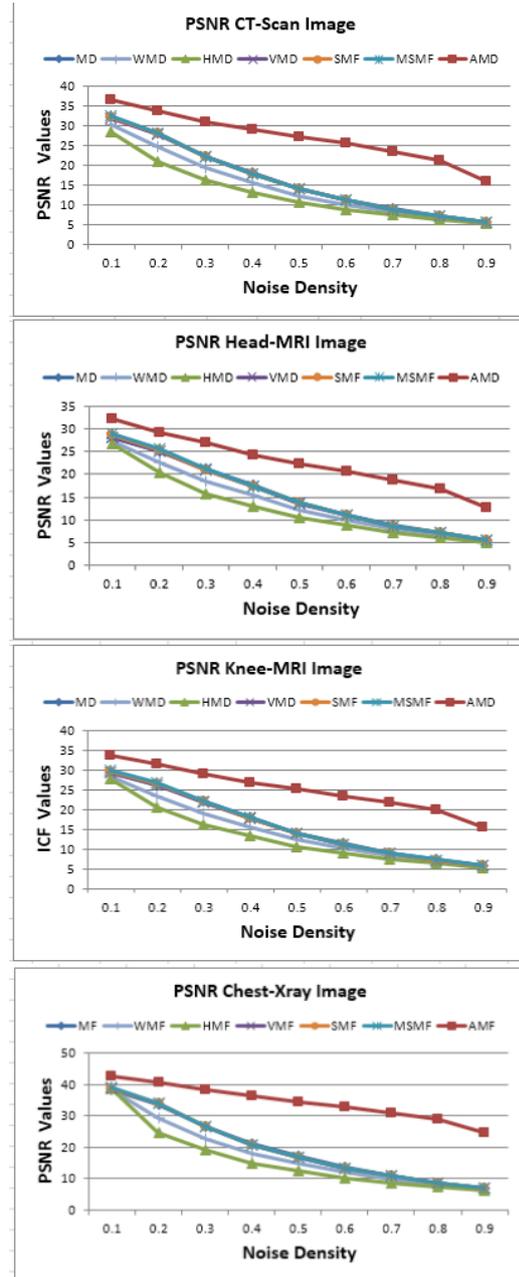
نلاحظ من الشكل (8) أن المرشح الأوسطي التكيفي AMF قد أعطى نتائج ممتازة مقارنة بالأنواع الأخرى من المرشحات، وفقاً لمعامل تحسين الصورة IEF.



الشكل (8) مقارنة قيم الـ IEF للأنواع السبعة من المرشحات الأوسطية بعد تطبيقها على الصور لدرجات الضجيج المختلفة

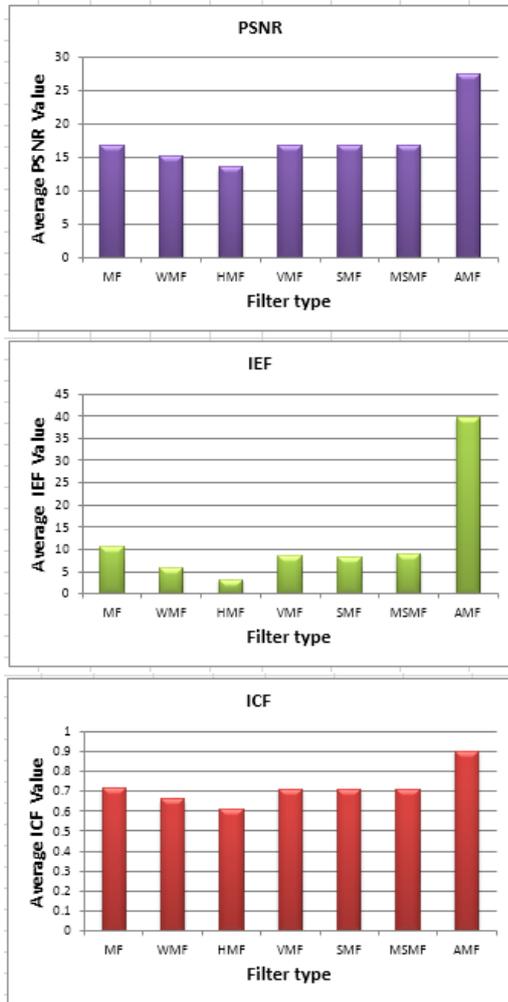
يتناغم الشكل (9) مع الشكل (7) والشكل (8) من حيث إبراز أفضلية المرشح الأوسطي التكيفي ولاسيما عند المستوى العالي من الضجيج وفقاً لمعامل ترابط الصور ICF.

الأوسطية. في الشكل (7) قمنا بعرض قيمة الـ PSNR عند كل مستوى من مستويات الضجيج، ولكل صورة من الصور الأربعة التي تم اختبار المرشحات عليها، ونلاحظ أفضلية المرشح الأوسطي التكيفي AMF عند كافة مستويات الضجيج المختلفة وخاصةً عند مستويات الضجيج العالية.



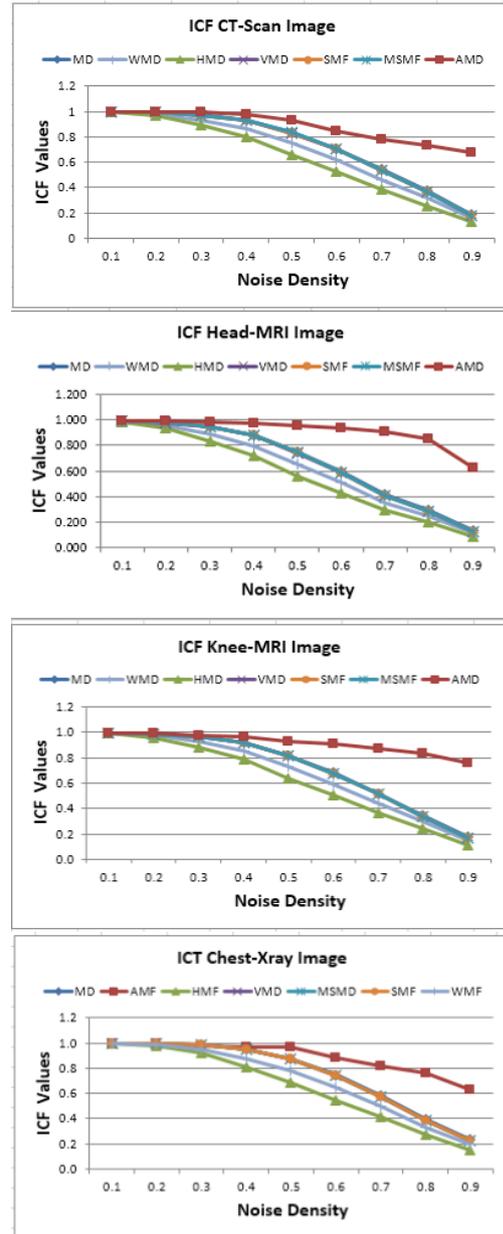
الشكل (7) مقارنة نسبة PSNR للأنواع السبعة من المرشحات الأوسطية بعد تطبيقها على الصور لدرجات الضجيج المختلفة.

لاستكمال التقييم الكمي لأنواع المختلفة من المرشحات الأوسطية عرض في الشكل (10) متوسط قيم معاملات التقييم الكمي الثلاث لكل نوع من أنواع المرشحات، وللصور جميعها التي خضعت للمعالجة (36 صورة). ونلاحظ من الشكل السابق أن المرشح الأوسطي التكمي قد أعطى بالمحصلة أفضل النتائج، ولمستويات الضجيج كلها التي طبقت على الصور.



الشكل (10) متوسط قيم المعاملات التقييم الكمي (PSNR, ICF, IEF) لكل نوع من أنواع المرشحات وللصور جميعها التي خضعت للمعالجة (36 صورة).

نلاحظ من الأشكال الثلاثة السابقة التي تعرض نتائج التحليل الكمي أن المرشح الأوسطي التكمي أعطى أفضل النتائج، وهو ما توافق مع التقييم الكمي من خلال استعراض جودة الصورة الناتجة عن المعالجة ولاسيما عندما تكون مستويات الضجيج عالية.



الشكل (9) مقارنة قيم الـ ICF لأنواع السبعة من المرشحات الأوسطية بعد تطبيقها على الصور لدرجات الضجيج المختلفة.

6. الخاتمة والمناقشة:

تناولنا في هذا البحث إحدى المراحل الأساسية في نظام معالجة الصور الرقمية، وهي مرحلة إزالة الضجيج باستخدام المرشحات اللاخطية، وعرضنا في الدراسة المرجعية (التي استندت إلى مجموعة من أحدث المراجع في هذا المجال) سبعة أنواع مختلفة من هذه المرشحات مشتقة من المرشح الأوسط التقليدي الذي يعدّ النموذج الأساسي لمرشحات إزالة الضجيج النبضي المطبقة على الصور الرقمية. وأجرينا دراسة تجريبية على نماذج من الصور الطبية المستحصلة بتقنيات تصوير مختلفة بهدف مقارنة نتائج تطبيق الأنواع المختلفة على الصور كميّاً وكيفياً، ولإنجاز هذه المقارنة استُخدم برنامج الماتلاب Matlab R2014a لتوليد قاعدة معطيات من الصور الطبية بدرجات ضجيج نبضي مختلفة، ومن ثم برمجة خوارزميات المرشحات المذكورة كذلك أيضاً برمجة معايير التقييم الكمي.

تظهر النتائج التي حصلنا عليها أن المرشح الأوسطي التكيفي Adaptive Median Filter قد أعطى أفضل النتائج لإزالة الضجيج النبضي من الصور الطبية لمستويات الضجيج كلّها بشكل عام. وأظهرت النتائج تمايزاً واضحاً لهذا المرشح عن غيره من الأنواع الأخرى عند مستويات الضجيج المرتفعة في الصور الطبية.

نتمنى أن يسهم ما قدمناه في هذا البحث في أمثلة قرار اختيار مرشح إزالة الضجيج النبضي في أنظمة معالجة الصور الطبية.

7. مسرد المصطلحات:

باللغة الإنكليزية	باللغة العربية
Image Smoothing	تنعيم الصورة
Image Denoising	إزالة الضجيج من الصورة
Spatial Domain	المجال الحيزي
Convolution Theorem	نظرية الطي
Edge Sharpening	زيادة حدة الحافات
Neighbors	جيران العنصر
Edge Blurring	تغبيش الحافات
Threshold	عتبة
Nonlinear Filtering	ترشيح لا خطي
Median Filtering	الترشيح الأوسطي
Salt & Pepper Noise	ضجيج الملح والفلفل
Averaging Filter	مرشح توسيط الجوار
Impulsive Noise	ضجيج نبضي
MF	المرشح الأوسطي
WMF	المرشح الأوسطي الموزون
HMF	المرشح الأوسطي الهجين
VMF	مرشح الشعاع الأوسطي
SMF	المرشح الأوسطي الحيزي
MSMF	المرشح الأوسطي الحيزي المعدل
AMF	المرشح الأوسطي التكيفي
MSE	جذر مربع الخطأ
IEF	معامل تحسين الصورة
ICF	معامل ترابط الصورة
PSNR	نسبة القيمة العظمى للإشارة إلى الضجيج

15. Agostinelli, C. and Romanazzi, M. 2011. "Local Depth," *Journal of Statistical Planning and Inference*, 141: 817–830.
16. Megha J Mane and M S Chavan. 2013. "Design And Implementation Of Median Filter For Image Denoising", *International Journal of Electronics and Communication Engineering*, 2(2).
17. H. Ibrahim. 2012. "Adaptive switching median filter utilizing quantized window size to remove impulse noise from digital images," *Asian Transactions on Fundamentals of Electronics, Communication and Multimedia*, 2(1):1-6.
18. Dhanasekaran, D., Bagan, K. 2009. "High Speed Pipeline Architecture for Adaptive Median Filter," *European Journal of Scientific Research*, 29(4):454-460.
19. H. Hwang and R. A. Haddad. 1995. "Adaptive Median Filters: New Algorithms and Results" *IEEE Transactions on image processing*. 4:499-502.
20. M. Renuka Devi, and S. Shenbagavadivu, 2013. "A Comparative Analysis of Median Filter on Various Types of Images", *International Conference on Research Trends in Computer Technologies (ICRTCT)*.
21. Rohini R. Varade, M. R. Dhotre, Ms. Archana B. Pahurkar, 2013. "A Survey on Various Median Filtering Techniques for Removal of Impulse Noise from Digital Images", *IJARCET*, 2(2).
22. S. Gopi Krishna, T. Sreenivasulu Reddy, G. K. Rajini, 2012. "Removal of High Density Salt and Pepper Noise Through Modified Decision Based Unsymmetric Trimmed Median Filter". *International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA) ISSN: 2248-9622 www.ijera.com* 2(1):090-094.

REFERENCES

1. Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods. 2009. "Digital Image Processing", 3rd edition, Prentice Hall.
2. Lalitha Y. S. and Mrityunjaya V. Latte. 2011. "A Novel Approach Noise Filtration For Mri Image Sample In Medical Image Processing", *International Journal of Computer Science and Communication (IJCSC)*. 2(2):359-363,
3. Bhausahab Shinde, Dnyandeo Mhaske, A. R. Dani. 2012. "Study of Noise Detection and Noise Removal Techniques in Medical Images".
4. Kwame Osei Boateng, Benjamin Weyori Asubam, and David Sanka Laar. 2012. "Improving the Effectiveness of the Median Filter", *International Journal of Electronics and Communication Engineering*. 5(1):85-97.
5. V. Jayaraj, D. Ebenezer, and V. R. Vijayakumar. 2011. "A noise free estimation switching median filter for detection and removal of impulse noise in images," *European Journal of Scientific Research*, 51(4):563–581.
6. K. Aiswarya, V. Jayaraj, and D. Ebenezer. 2010. "A new and efficient algorithm for the removal of high density salt and pepper noise in images and videos", *Second Int. Conf. Computer Modeling and Simulation*, pp. 409–413.
7. Medida. Amulya Bhanu, Gopichand Nelapati, Rajeyyagari Sivaram. 2012. "Salt and Pepper Noise Detection and removal by Modified Decision based Unsymmetrical Trimmed Median Filter for Image Restoration", *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*, 1(3).
8. T. C. Lin, P. T. Yu, 2007. "A new adaptive center weighted median filter for suppressing impulsive noise in images", *Information Sciences* 177, 1073–1087.
9. S.-J. Ko and Y. H. Lee. 1991. "Center weighted median filters and their applications to image enhancement", *IEEE Trans. Circuits and Systems*, 38(9): 984–993.
10. Rakesh M. R, Ajeya B, Mohan A. R. 2013. "Hybrid Median Filter for Impulse Noise Removal of an Image in Image Restoration", *IJARCET*, 2(10).
11. Jaakko Astola, Petri Haavisto, and Yrjo Neuvo. 1990. "Vector Median Filters", *Proceedings of the IEEE*, 78(4): 678-689.
12. Samuel Morillas and Valent in Gregori. 2011. "Robustifying Vector Median Filter", *Sensors*, 11: 8115-8126.
13. Morillas, S.; Gregori, V. 2011. Adaptive vector marginal median filter for colour images. *Sensors*, 11: 3205-3213.
14. James Church, Yixin Chen and Stephen Rice. 2008. "A Spatial Median Filter for Noise Removal in Digital Images", *Proceedings of IEEE Southeastcon*, pp. 618-623.

Received	2014/08/13	إيداع البحث
Accepted for Publ.	2015/08/17	قبول البحث للنشر