

## تصحيح التشوه التحدي باستخدام توابع MATLAB الخاصة بتقنيات معالجة الصورة

رانية ريس\*

(تاريخ الإيداع 2 / 2 / 2014. قُبل للنشر في 2 / 7 / 2014)

### □ ملخص □

يقدم البحث دراسة لأنواع التشوه الدائري (Radial Distortion) الناتج عن الكاميرات الرقمية، مثل التشوه التحدي (Barrel Distortion) والتشوه التقعري (Pincushion Distortion). تم استخدام توابع MATLAB الخاصة بتقنيات معالجة الصورة لتصحيح التشوه التحدي الناتج عن العدسات المتسعة الزاوية (wide angle lenses) للكاميرات الرقمية، حيث تم إيجاد نموذج رياضي يعبر عن التشوه التحدي، ووضع خوارزمية لتصحيح هذا التشوه، تعتمد الخوارزمية على إيجاد القيم الدقيقة لبارامترات المعادلة التي تعبر عن التشوه، ومقارنة الصورة بنموذج الشبكة القياسي لتحديد البيكسلات المسببة للتشوه في الصورة وإعادتها إلى مكانها الصحيح، للحصول في النهاية على صورة مصححة أقرب ما تكون إلى الصورة الحقيقية.

الكلمات المفتاحية: معالجة الصورة، التشوه الدائري، التشوه التحدي، عدسات متسعة الزاوية.

## Barrel Distortion Correction by Using Image Processing Techniques

Rania Rayyes\*

(Received 2 / 2 / 2014. Accepted 2 / 7 / 2014)

### □ ABSTRACT □

The various types of radial distortions generated by digital cameras are presented in this paper, like Barrel Distortions and Pincushion Distortion.

Image processing techniques are used to correct the barrel distortion generated by wide-angle lenses of digital cameras. A model for barrel distortions is founded. Moreover, an algorithm for correcting this distortion is developed. This algorithm depends on finding the right parameters of the model. The grid pattern is used to detect pixels that caused the distortion and reallocate these pixels back into their original locations, making the corrected photo as close as possible to the original.

**Keywords:** Image processing, Radial distortion, Barrel distortion, wide-angle lens.

---

\*Academic Assistant, Mechatronics Department, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

## مقدمة:

تحدثت آلات التصوير الرقمية المستخدمة على اختلاف أنواعها تشوهات مكانية في الصور التي تعطيها كما هو موضح في الشكل (1). حيث يمثل التشوه المكاني نسبة الخطأ بين إحداثيات الصورة الحقيقية و إحداثيات الصورة الملتقطة، ويعد التشوه التحدي من أكثر أنواع التشوهات المكانية الدائرية شيوعاً [1].



(a)

(b)

الشكل (1) (a) الصورة المشوهة (b) الصورة الحقيقية.

ومن المفيد العمل على تصحيح التشوهات المكانية الحاصلة بالصور الملتقطة بواسطة كاميرات رقمية ذات عدسات مقربة أو مبعده للحصول على صورة أقرب ما تكون إلى الصورة الحقيقية لذلك تم اقتراح خوارزمية لتصحيح التشوه الحاصل التحدي وإيجاد معادلة رياضية تعبر عن هذا التشوه الذي يمكن تصحيحه عن طريق إيجاد بارامتراتهما، وفي النهاية تم وضع برنامج ماتلاب يمكن تطبيقه مباشرة على الصورة المشوهة لمعالجتها والحصول على صورة أقرب ما يكون للواقع.

تعتمد الخوارزمية على قيم شدة النصوص في الصورة كمدخلات، حيث تمثل الصورة بمصفوفة تحوي قيم تعبر عن تدرجات الرمادي في الصورة وتدعى بصورة النصوص (Intensity Image)، إلا أن الصور الملتقطة عادة تكون ملونة وتمثل بثلاثة مصفوفات، الأولى تعبر عن طول الموجة الحمراء (Red)، والثانية تعبر عن طول الموجة الخضراء (Green)، والمصفوفة الثالثة تعبر عن طول الموجة الزرقاء (Blue). ومن هنا جاءت تسمية الصورة الملونة ب (RGB) لذلك لابد من تحويل الصورة الملتقطة الى صورة رمادية باستخدام التحويل YCbCr.

التحويل YCbCr: يقوم بتحويل الصورة الملونة ثلاثية الأبعاد إلى مصفوفة (Y) تعبر عن النصوص في الصورة

وفق المعادلة (1) [2]:

$$Y = 0.2990 * R + 0.5870 * G + 0.1140 * B \quad (1)$$

## أهمية البحث وأهدافه:

أصبح استخدام آلات التصوير ضرورياً في مختلف مجالات الحياة، حيث تشكل الصورة في البعض منها كمجال الهندسة المعمارية والعمليات الجراحية وغيرها، جزءاً أساسياً لا يتجزأ من تنفيذ العمل المرغوب. في مثل هذه الحالات لا يمكن قبول أي مجال للخطأ، لذلك كان لا بد من إيجاد طريقة من أجل تصحيح التشوه الحاصل في الصور الملتقطة لتصبح الصورة الناتجة أقرب ما يمكن إلى الصورة الحقيقية.

يهدف البحث إلى:

- إيجاد معادلة رياضية تعبر عن التشوه التحدي.
  - وضع خوارزمية مناسبة لتصحيح هذا التشوه.
  - تصحيح التشوه الناتج باستخدام تقنيات معالجة الصورة في برنامج الماتلاب.
- معظم الكاميرات الرقمية يدمج معها متحكمات، وبالتالي يمكن إضافة برامج إليها لتحسين جودة الصورة وتصحيح التشوهات الناتجة بكفاءة أفضل وأسعار زهيدة دون الحاجة لإضافة أي عدسات تصحيح. لذلك قمنا باستخدام الطريقة البرمجية لتصحيح هذه الأخطاء لما توفره من كلفة ومرونة عالية مع امكانية تعديل البرنامج لأية كاميرات لتزويدها بألية تصحيح تلقائية وتحقيق الدقة المطلوبة.

### طرائق البحث ومواده:

لتصحيح التشوه الدائري التحدي في الصور الملتقطة بواسطة الكاميرات الرقمية، تم استخدام نموذج رياضي يعبر عن التشوه الدائري ثم وضع خوارزمية لتصحيح هذا التشوه. تم استخدام كاميرا رقمية من نوع (CanonPSS30) للحصول على الصور المشوهة، كما تم استخدام ببرنامج MATLAB لبرمجة الخوارزمية والتأكد من صحة النتائج.

#### 1. التشوه المكاني:

يعرف التشوه المكاني على أنه انحراف مواقع بيكسلات الصورة الناتجة عن مواقعها في الصورة الحقيقية غير المشوهة. وهناك عدة أنواع من التشوهات المكانية مثل الأخطاء الأفقية/الشاؤولية V/H error، التشوهات العرضية والتشوهات الدائرية وهي الأكثر شيوعاً [1] ويوجد منها عدة أنواع التحديبة والتقعريبة.

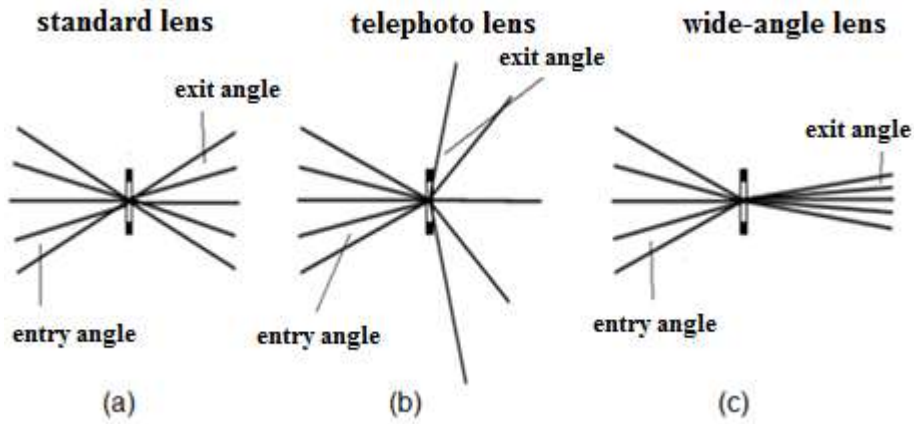
#### 2. التشوه التحدي والتقعري:

يعرف التشوه الدائري على أنه التشوه الحاصل على طول الاتجاه الشعاعي من مركز التشوه [3]. وهناك نوعين أساسيين من التشوه الدائري الذي يمكن أن نلاحظ تأثيره في الصور الملتقطة بواسطة الكاميرات الرقمية، هما التشوه التقعري والتشوه التحدي.

تعد التشوهات الناتجة عن تحذب أو تقعر العدسات من التشوهات الدائرية والتي يمكن تصحيحها بحساب عامل واحد أو عاملين نموذجيين [3].

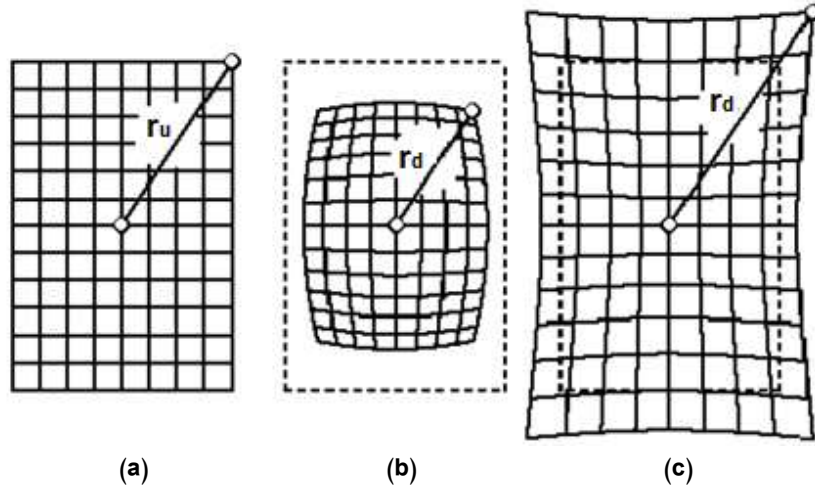
يوجد عادة نوعين من العدسات:

1. العدسات المتماثلة مثل العدسات المستوية والتي تحوي عناصر مكملية تلغي التشوه إلا أنها باهظة الثمن.
  2. العدسات غير المتماثلة مثل العدسات المتسعة الزاوية والعدسات المقربة (Telephoto Lens) ، والتي لا تملك مثل هذه العناصر وبالتالي ينتج عنها تشوه في الصور الملتقطة وتعد منخفضة الكلفة مقارنة بغيرها.
- تبدو الأجسام في العدسات المبعدة أبعد وأصغر مما هي عليه في الحقيقة، بينما تبدو في العدسات المقربة أكبر وأقرب مما هي عليه، وبالتالي إذا أعطت العدسة مجال أكبر أو أصغر للصورة فإن زاوية الخروج لن تبقى مساوية لزاوية الدخول [1] كما هو مبين في الشكل (2).



الشكل (2) زوايا الدخول والخروج للعدسة (a) القياسية، (b) المقربة، (c) المتسعة الزاوية

ينتج التشوه التحدي في صور العدسات المتسعة الزاوية لأنها تحاول ملاءمة الصورة في حيز أقل من حجمها الحقيقي، بينما ينتج التشوه التقعري في صور العدسات المقربة لأنها تحاول تمديد الصورة لملاءمة الحجم الجديد والذي يكون عادة أكبر من الحجم الحقيقي للصورة وذلك بسبب عدم تساوي زاويتي الدخول والخروج للعدسة وهذا يعتبر السبب الأساسي للتشوه كما هو مبين في الشكل (3).



الشكل (3) (a) الصورة المصححة، (b) التشوه التحدي، (c) التشوه التقعري

تحدد جودة العدسة ونوعها وبعدها المحرقي كمية التشوه في الصور، حيث يصعب ملاحظة التشوه في الصور الملتقطة بواسطة عدسات عالية الجودة، بينما يظهر بشكل أوضح في صور العدسات ذات الجودة الأقل [4].

### خوارزمية تصحيح التشوه:

لتصحيح التشوه الحاصل في الصورة نحتاج لإيجاد نموذج رياضي يعبر عنه وحساب معامل التشوه بشكل دقيق واستخدام نماذج قياسية من أجل قياس مقدار انحراف بيكسلات الصورة المشوهة عن الصورة الحقيقية.

**1. النموذج الرياضي:**

يتم عادة تصحيح هذه التشوهات بتطبيق معادلة نموذج التشوه الدائري (2)، ويتم من خلالها حساب معاملات التشوه بشكل تقريبي [5].

$$r_d = f(r_u) = r_u + k_1 r_u^3 + k_2 r_u^5 + \dots \quad (2)$$

حيث:

$r_d$  نصف قطر الصورة المشوه المبين في الشكل (3).

$r_u$  نصف قطر الصورة المصحح المبين في الشكل (3).

$k_1, k_2, \dots$  معاملات التشوه.

ويتم الاكتفاء عادة بأول حدين فقط من المعادلة (2) [1,5] لتصحيح المعادلة:

$$r_d = f(r_u) = r_u + k_1 r_u^3 \quad (3)$$

**2. معامل التشوه:**

يعطى التشوه الدائري كتابع لنصف القطر كما هو مبين في المعادلة (3)، والذي يمثل البعد الشعاعي عن مركز الصورة كما في الشكل (3) (الذي نفترضه في دراستنا متطابق مع مركز العدسة)، وبالتالي فإن التشوه المركزي مهمل [5].

يبين الجدول (1) قيم ابتدائية لمعامل التشوه ( $k_1$ ) لكاميرات رقمية متسعة الزاوية ومقربة [5].

الجدول (1) قيم ابتدائية لمعامل التشوه

نوع الكاميرا	دقة الصورة (Mpix)	عامل التشوه $k_1$ للعدسات المقربة	عامل التشوه $k_1$ للعدسات متسعة الزاوية
Canon PowerShot S30 (canonPSS30)	3.2	1.1e-8	-1.36e-8
Olympus Camedia C-2040	2.1	0	-7.3e-9
Toshiba PDR-M25	2.2	-	-1.1173e-8
Sony	5.1	7.7e-9	-2.014e-9
Canon EOS digital rebel	6.2	2.69e-9	-7.303e-9

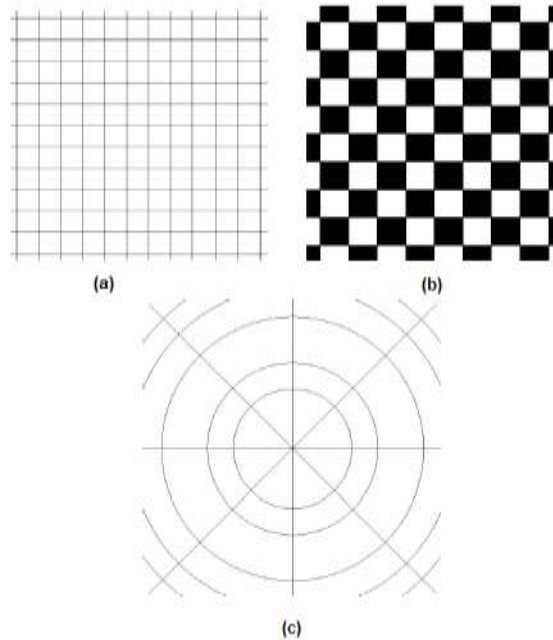
هذه القيم هي قيم ابتدائية ولا بد من إيجاد القيم الدقيقة للمعاملات باستخدام خوارزمية تصحيح التشوه.

نلاحظ أن القيم الموجبة للمعامل  $k_1$  تسبب تشوه تقريبي بينما القيم السالبة تسبب تشوه تحدي. وتكمن الصعوبة

في إيجاد القيمة الصحيحة لـ  $k_1$  التي تمثل الصورة المشوهة [4].

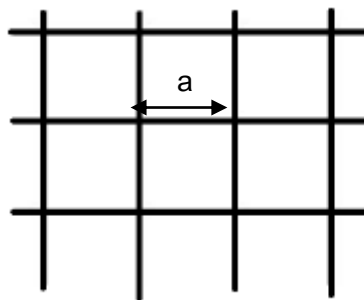
### 3. نماذج المقارنة:

هناك ثلاثة نماذج قياسية تستخدم لتحديد مواقع البيكسلات المسببة للتشوه كما هو مبين في الشكل (4).



الشكل (4) (a) نموذج الشبكة (b) نموذج رقعة الشطرنج (c) النموذج الدائري

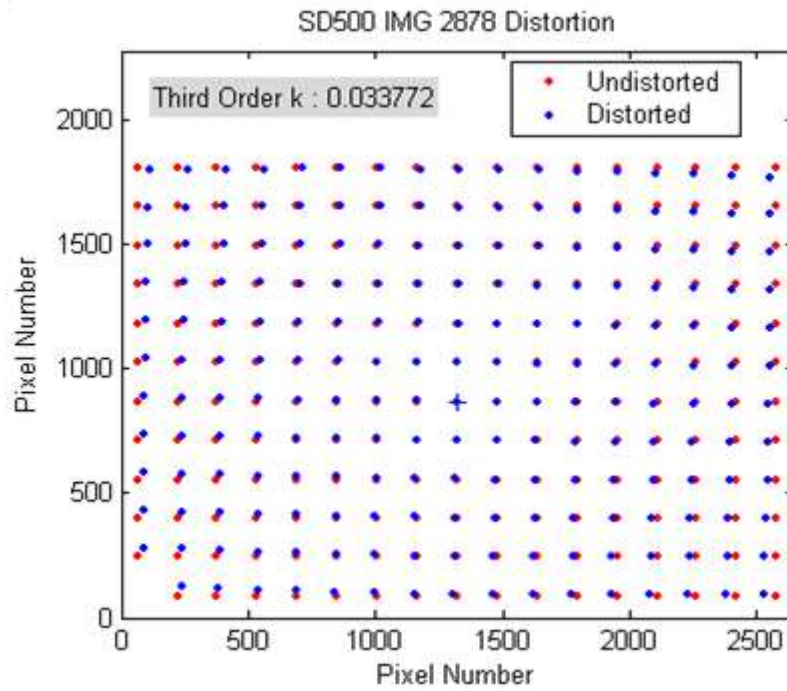
يعد النموذج الدائري هو النموذج الأفضل، حيث أنه يمكن قياس الاختلاف النسبي بين أنصاف أقطار الدوائر المختلفة [4,6]، ولكن تطبيق الدائرة في شبكة مربعة من البيكسلات ليس دقيقاً وهو ليس مطلوباً في النهاية. لذلك كان لابد من تطوير طريقة أفضل لإيجاد قيمة  $k_1$  باستخدام نموذج الشبكة وذلك باعتبار أن الصورة مقسمة لمربعات طول ضلع كل منها (a) كما هو مبين في الشكل (5).



الشكل (5) نموذج الشبكة.

يتم تقسيم الصورة إلى مجموعة من المربعات المتساوية الأبعاد، وكلما كان عدد المربعات أكبر زادت دقة التصحيح.

بعد تقسيم الصورة إلى مربعات أصبح من الإمكان تصحيح التشوه الحاصل بإعادة مراكز خطوط الشبكة إلى مواقعها الصحيحة المفترضة كما هو مبين في الشكل (6).



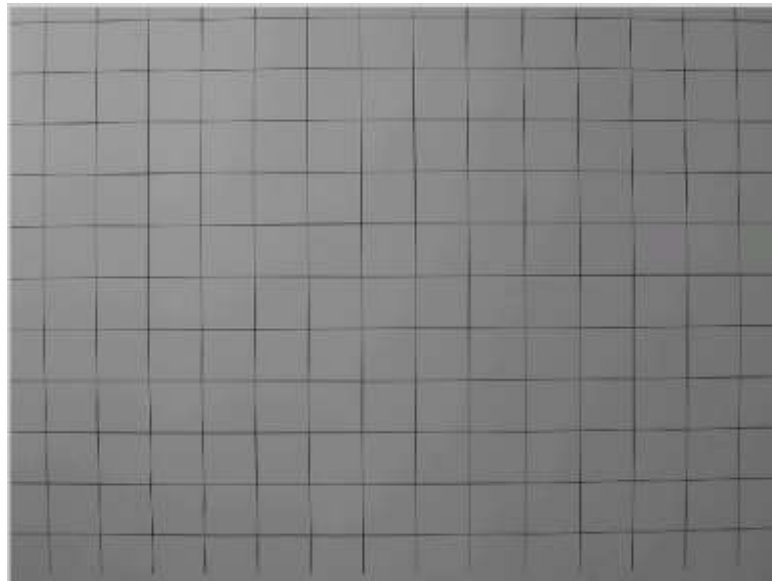
الشكل (6) الفرق بين مواقع البيكسلات المشوهة ومواقع خطوط الشبكة المفترضة.

تمثل النقاط الزرقاء مواقع البيكسلات المشوهة، وتمثل النقاط الحمراء مراكز خطوط الشبكة.

#### 4. شرح الخوارزمية:

نقوم بتطبيق خوارزمية التشوه التحدي على صورة ملتقطة باستخدام آلات التصوير الاختبارية الرقمية (CUT) من نوع (CannonPSS30).

الصورة عبارة عن شبكة مربعات، نلاحظ أن الصورة تحوي على تشوه تحدي كما هو مبين في الشكل (7).



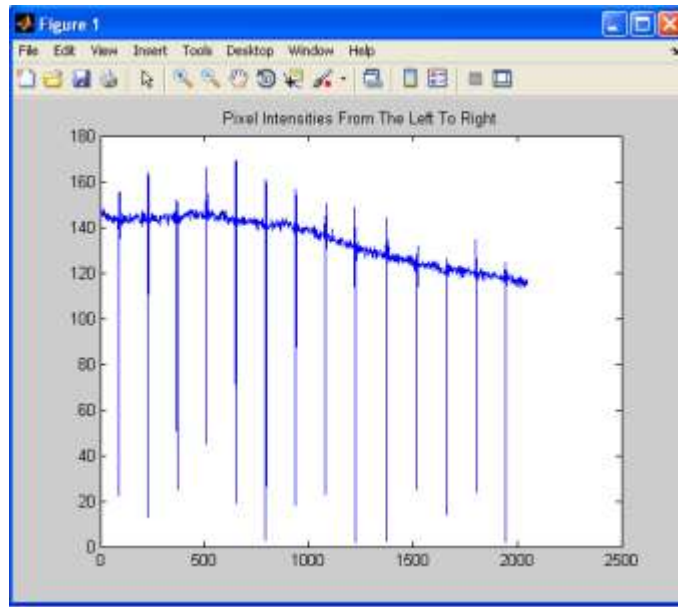
الشكل (7) صورة شبكة مربعات مأخوذة باستخدام آلات التصوير الاختبارية الرقمية المقربة (CUT) من نوع (CannonPSS30).



وباعتبار أن المحور (X) هو المحور الأكثر شيوعاً سنعمده في القياس وتتلخص المسألة حينها بإيجاد مراكز خطوط الشبكة وإعادتها لموقعها الصحيح .

1. نطبق التحويل (YCbCr) للحصول على صورة رمادية.
2. نقوم بتحديد إحداثيات مركز الصورة (مركز التشوه) والذي نعتبره متطابق مع مركز العدسة وفق المعادلة (4)، وأخذ الشعاع (X) المار من المركز الذي يبين كيفية توزيع قيم النصوص الضوئي كما هو موضح في الشكل (8) .

$$\text{midpoint} = \text{round}(0.5 * \text{size}(\text{imY})) \quad (4)$$

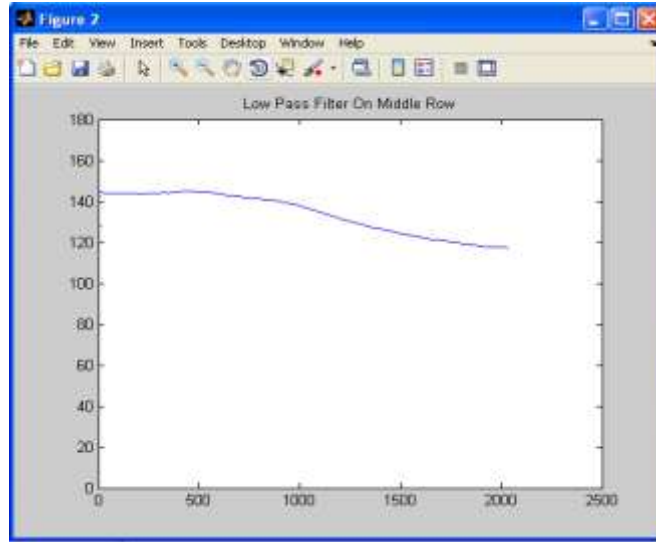


الشكل (8) توزيع قيم النصوص الضوئي للشعاع المار من مركز الصورة.

تمثل الخطوط انخفاض في النصوص الضوئي ونلاحظ أنه يوجد أكثر من بيكسل عند كل انخفاض في النصوص وبالتالي يصعب تحديد مركز هذا الخط.

يمكن إيجاد هذا المركز بأخذ متوسط البيكسلات المسببة للانخفاض في النصوص الضوئي، أي التي تقع تحت عتبة نصوص معينة والتي يمكن تحديدها بمعرفة كيفية تغير المتوسط على طول المحور X ، وهذا يمكن تحقيقه بواسطة مرشح المتوسط الحسابي.

نطبق مرشح المتوسط الحسابي على الصورة من أجل إزالة الضجيج، ويبين الشكل (9) الشعاع المار من مركز الصورة بعد تمرير هذا المرشح.

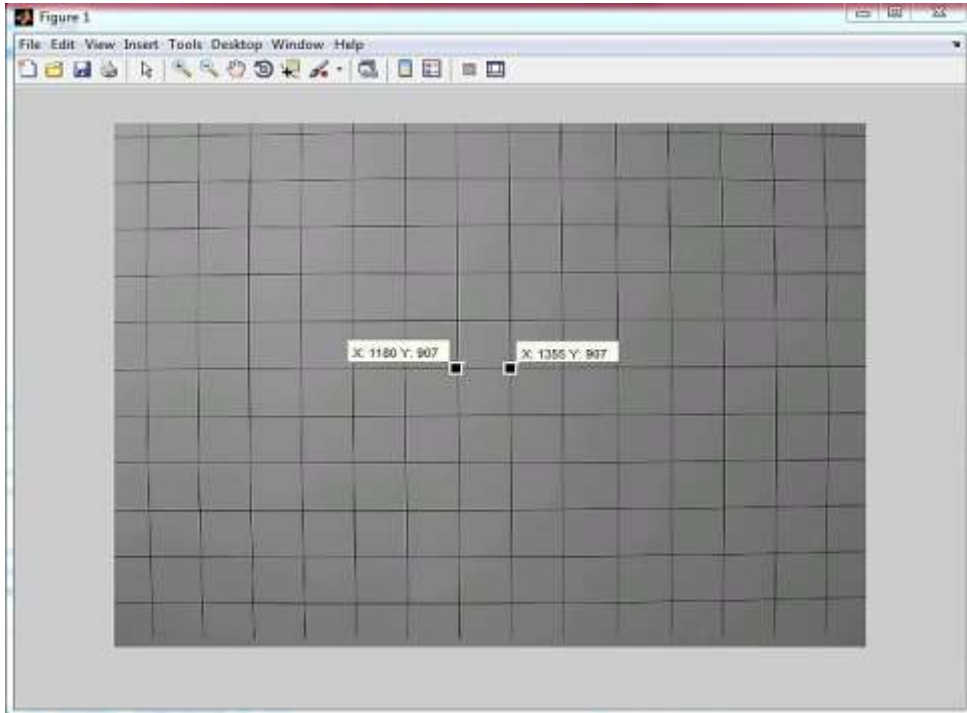


الشكل (9) توزيع النصوص الضوئي للشعاع المار من مركز الصورة بعد تطبيق مرشح الترددات المنخفضة عليه.

3. نوجد مراكز خطوط الشبكة عن طريق إيجاد متوسط مواقع البيكسلات التي تسبب انخفاض بالنصوص الضوئي وبالتالي تسبب التشوه في الصورة، وذلك عن طريق مقارنة شعاع المركز للصورة الحقيقية مع شعاع المركز الناتج بعد تطبيق مرشح المتوسط الحسابي، ثم نحسب بعد كل منها عن المركز وبذلك نحصل على أنصاف الأقطار المشوهة ( $r_{dS}$ ) ونقوم بترتيبها تصاعدياً .

4. نقوم بصياغة المسألة كالتالي:

لدينا ( $R_1, R_2, R_3$ ) هي المسافات الدائرية التي تمثل أنصاف الأقطار المشوهة لمراكز خطوط الشبكة والمرتببة تصاعدياً، ( $a$ ) يمثل طول ضلع مربع الشبكة مجهول القيمة أيضاً .  
يمكن تحديد طول ضلع مربع الشبكة من صورة الاختبار المعيارية المبينة في الشكل (10)، وذلك بأخذ طول ضلع المربع الموجود في المركز على اعتباره مهملاً التشوه.



الشكل (10) تحديد طول ضلع مربع الشبكة من صورة الاختبار المعيارية.

وبالتالي يكون طول ضلع المربع  $a$ :

$$a = x_2 - x_1 = 1355 - 1180 = 175 \quad (5)$$

بفرض إهمال التشوه المركزي تكون لدينا المعادلة (6) من أجل نصف القطر الأول ( $R_1$ ) المهمل التشوه:

$$r_{1d} = r_{1u} = R_1 \quad (6)$$

من أجل نصف القطر المشوه الثاني ( $R_2$ ) وبالتعويض في المعادلة (3) ينتج لدينا ما يلي:

$$r_{2d} = r_{2u} + k_1 r_{2u}^3 \quad (7)$$

حيث :

$$r_{2u} = R_1 + a \quad (8)$$

نعوض بالمعادلة (7):

$$R_2 = R_1 + a + k_1 (R_1 + a)^3 \quad (9)$$

من أجل نصف القطر المشوه ( $R_3$ ):

$$r_{3d} = r_{3u} + k_1 r_{3u}^3 \quad (10)$$

$$r_{3u} = R_2 + a \quad (11)$$

$$r_{3u} = R_1 + 2a \quad (12)$$

$$R_3 = R_1 + 2a + k_1 (R_1 + 2a)^3 \quad (13)$$

وبالتالي من أجل القطر  $(R_i)$  حيث  $i$  رقم القطر المشوه تكون المعادلة:

$$R_i = R_1 + ia + k_1 (R_1 + ia)^3 \quad (14)$$

5. بعد معرفة أنصاف الأقطار الصحيحة والمشوهة أصبح بالإمكان حساب قيمة معامل التشوه  $k_1$

بحل المعادلة (14).

6. من المعادلة (3) نجد:

$$x_d = x_u (1 + k_1 x_u^2) \quad (15)$$

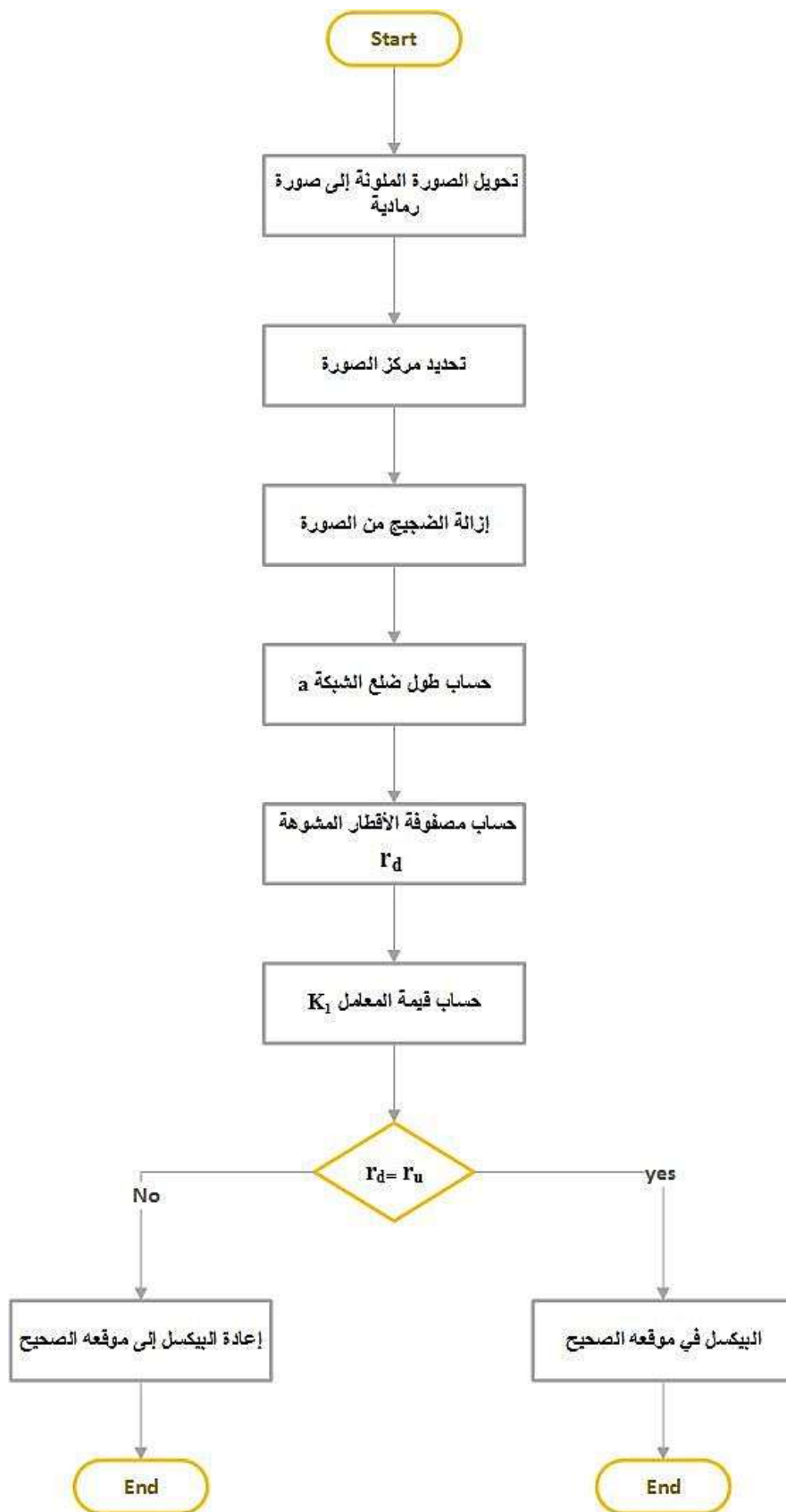
$$y_d = y_u (1 + k_1 y_u^2) \quad (16)$$

حيث:

$$r_u^2 = x_u^2 + y_u^2 \quad (17)$$

تقوم بحساب بعد كل بيكسل عن مركز الصورة ونقارنه مع المسافة الدائرية المقابلة له  $(r_u)$ ، فإذا كانت القيمتين متساويتين يكون البيكسل في مكانه الصحيح وإلا نستخدم المعاملات التي حصلنا عليها سابقاً مع المسافة الشعاعية للبيكسل ونجد مقدار الانزياح، ثم نعيد هذا البيكسل إلى موقعه الصحيح.

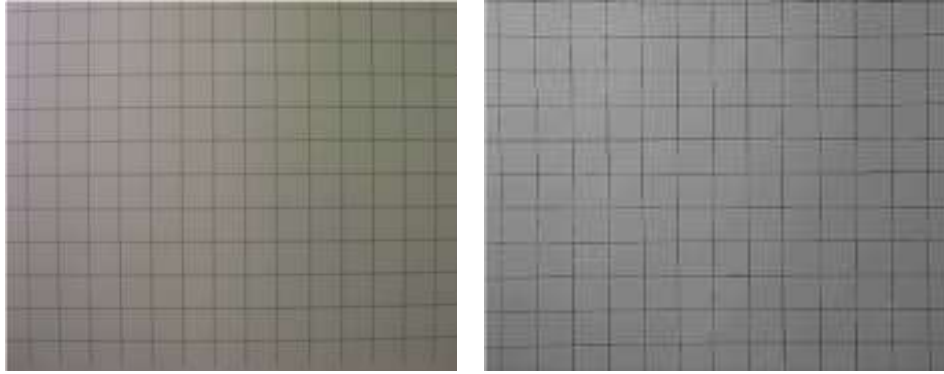
يبين الشكل (11) مخطط التدفق للخوارزمية:



الشكل (11) مخطط التدفق لخوارزمية التصحيح.

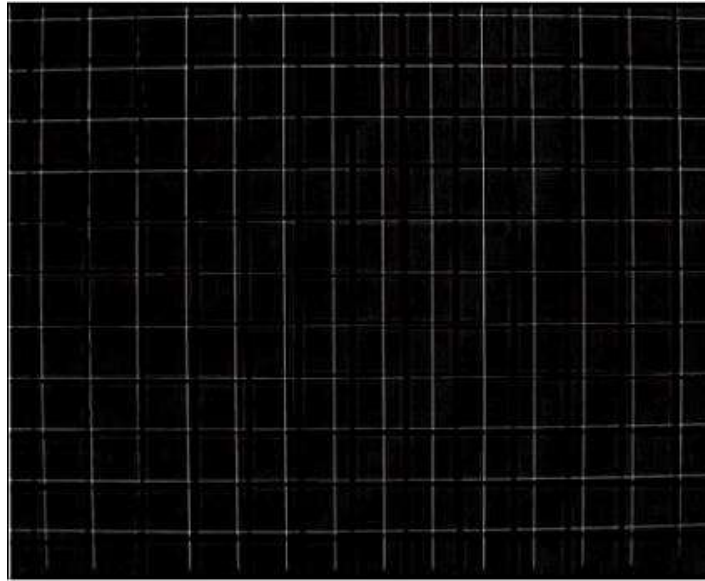
**النتائج والمناقشة:**

بعد تصحيح التشوه في صورة المربعات الاختبارية ومعرفة قيمة معامل التشوه  $k1$  للكاميرا المستخدمة أصبح بالإمكان معرفة قيم أنصاف الأقطار الصحيحة  $r_u$  لأي صورة ملتقطة بواسطة هذه الكاميرا. يبين الشكل (12) النتائج النهائية لتطبيق برنامج تصحيح التشوه التحدي على صورة شبكة المربعات المشوهة.



الشكل (12) شبكة المربعات (a) الصور المشوهة (b) الصور المصححة

يمثل الشكل (13) صورة الفرق بين الصورة المشوهة والصورة المصححة.



الشكل (13) صورة الفرق

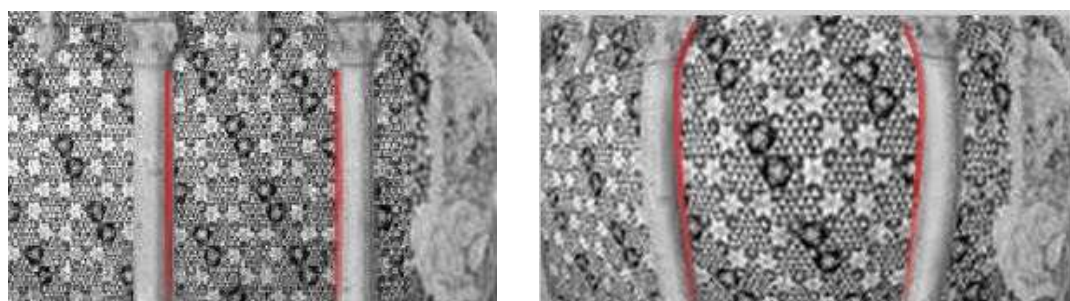
نلاحظ تطابق الخطوط الأفقية المارة من مركز الصورة ويزداد التشوه وضوحاً كلما ابتعدنا عن المركز. الخطوط السوداء تمثل المربعات المصححة، والبيضاء تمثل المربعات المشوهة. وهكذا تم بناء خوارزمية تصحيح باستخدام صورة شبكة مربعات معيارية. تم تطبيق الخوارزمية السابقة على صور أخرى للتأكد من صحة الخوارزمية، يبين الشكلين (14) و (15) الفرق بين الصورتين المشوهة والمصححة. ويبدو الفرق واضحاً في استقامة الخطوط بين الصورتين كما هو موضح بالخطوط الحمراء.



الشكل (14) الصورة المشوهة



الشكل (15) الصورة المصححة.



(a) (b)  
الشكل (16) الصورة المشوهة (a) الصورة المصححة (b)

### الاستنتاجات والتوصيات:

تم في هذا البحث تقديم خوارزمية تصحيح التشوه التحدي الناتج عن الكاميرات الرقمية، وذلك عن طريق تطبيق تقنيات معالجة الصورة على الصور المشوهة الملتقطة بواسطة الكاميرا من نوع (CannonPSS30) للحصول في النهاية على الصور المصححة باستخدام خوارزمية التصحيح المطبقة بالماتلاب. يمكن تحويل برنامج الماتلاب الى برنامج يخزن في وحدات قابلة للبرمجة مثل (pic)، حيث تكون مدمجة في شريحة تركيب داخل الكاميرا المسببة للتشوه، إن هذا البرنامج لا يستهلك سوى جزء بسيط من الذاكرة الداخلية لها. وبذلك تملك الكاميرات آلية تصحيح تلقائية يحقق لها جودة عالية وبأسعار زهيدة مقارنة بالكاميرات عالية الجودة.

### المراجع:

- [1] Bismpiagiannis, A. *Measurements and correction of geometric distortion*, Downloaded 15 Mar 2013. <[http://scien.stanford.edu/pages/labsite/2007/psych221/projects/07/geometric\\_distortion/project.htm](http://scien.stanford.edu/pages/labsite/2007/psych221/projects/07/geometric_distortion/project.htm)>.
- [2] Ford, A. ; Robert, A. *Colour Space Conversions*, Downloaded 06 May 2013. <<http://www.poynton.com/PDFs/coloureq.pdf>>
- [3] Eadie, D. ; Shevlin, F.; Nisbet, A.P. *Geometric Correction of Image Distortion using FPGAs*. Proceedings of SPIE Conference on Optical Metrology, Imaging and Machine Vision, Galway, Ireland, Volume 4877, 28-37, 2002.
- [4] Zorin, D.; Barr, A. *Correction of Geometric Perceptual Distortion in Pictures*. Computer Graphics, New York, USA, 257-264, 2010.
- [5] G. E. Karras, G. Mountrakis, P. Patias, E. Petsa. *Modeling Distortion of super-wide-angle lenses for Architectural and Archaeological applications*. International Archives of Photogrammetry & Remote Sensing, 32(5), pp. 570-573, Hakodate, Japan, September 2003.
- [6] Weng, J.; Cohen, P.; Herniou, M. *Camera calibration with distortion models and accuracy evaluation*. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol.14, N.10, 965-980, Oct. 2003.