JOURNAL OF ENGINEERING RESEARCH AND APPLIED SCIENCES (JERAS)
11th Edition –2023, (Hoon – Libya), **ISSN 2414-6515**

معايرة ألة التصوير باستخدام بطريقة التحويل الخطي المباشر

عبدالسلام محمد بن نصر

قسم الهندسة الميكانيكية – كلية الهندسة – جامعة مصراتة

الملخص

معايرة آلة التصوير نحتاجها في العديد من التطبيقات الصناعية التي تستخدم الحساسات البصرية، حيث يتم حساب المعاملات الداخلية و الخارجية لالة التصوير، هناك عدة تطبيقات تحتاج إلي معايرة دقيقة لآلة التصوير للقيام بقياسات سليمة للأجسام الموضوعة داخل مجال آلة التصوير، في هذه الورقة تم توضيح، إحدى طرق معايرة آلة التصوير و التي تعطي درجة عالية من الدقة، و هي تعرف بطريقة التحويل الخطي المباشر، وهذه التقنية تعرف بتقنية بصريات الحاسوب ثلاثية الأبعاد. للحصول علي دقة عالية من منظومة القياس فإن الإحداثيات الفراغية الثلاثية الأبعاد لنقاط المعايرة يجب أن تحدد بدقة و كذلك تكون موزعة بالتساوي خلال منطقة المعايرة.

الكلمات المفتاحية : معايرة آلة التصوير، المعاملات الداخلية و الخارجية لالة التصوير، تقنيات بصريات الحاسوب ثلاثية الأبعاد. التحويل الخطي المباشر.

Abstract

Camera calibration is an important problem for many industrial applications that use visual sensing. Camera calibration involves the calculation of the intrinsic and extrinsic camera parameters. There are many applications that require a precise calibration of the camera in order to achieve an accurate measurements for the objects that placed inside its space. This paper shows, one of the camera calibration techniques that gives high accuracy. This method is called Direct Linear Transformation.

Key words: Camera calibration, intrinsic and extrinsic camera parameters, 3D computer vision, Direct Linear Transformation

1. المقدمة

معايرة آلات التصوير (camera calibration) تعتبر خطوة مهمة و أساسية عند التعامل مع تقنيات بصريات الحاسوب (computer vision)، حيث تطلب استخلاص معلومات ثلاثية الأبعاد من صورة ذات بعدين [2,1]، المعايرة الصحيحة لالة التصوير تساعد علي الحصول علي معلومات مترية ثلاثية الأبعاد من الصورة .
لاستخدام ألة التصوير في استخلاص المعلومات ثلاثية الأبعاد للمشهد (Scene) يوجد طريقتين، الأولي تعرف بـ stereovision شكل (1) و الثانية بمعايرة الآلة (Camera calibration).
stereovision هي عملية يتم فيها استخلاص معلومات ثلاثية الأبعاد من الصور باستخدام آلتي تصوير موضوعتين علي مسافة بينهما و باستخدام طريقة التثليث (triangulation) يمكن إيجاد احداثيات ثلاثية

الأبعاد للمشهد[4,3] و في حالة تزايد متطلبات الدقة فان هذه الطريقة تكون غير كافية [5]. أما بالنسبة لطريقة معايرة الألة فهي عبارة عن نموذج رياضي يمكن أن يستخدم لإيجاد الإحداثيات الفراغية الثلاثية الأبعاد (3D world coordinates) من صورتين ثنائية البعد أو أكثر، الحلول الحسابية (Algorithm) لعملية المعايرة هذه تبدأ من حل معدلات خطية إلي استخدام طرق أكثر تطورا و أكثر تعقيدا.
هناك متطلبات مختلفة عند معايرة آلة التصوير فمثلا في حالة تطبيقات الرجل الألي (Robotics Applications) فإن عملية المعايرة يجب أن تكون سريعة و أتوماتيكية بينما في حالة القياسات (Metrology) فإن الدقة تكون أكثر أهمية [6]. معايرة آلة التصوير هي خطوة ضرورية في تقنية بصريات الحاسوب ثلاثية الأبعاد للحصول علي معلومات مترية من الصور ذات البعدين [7].

الغرض من عملية المعايرة هذه هو إنشاء علاقة بين إحداثيات الفراغ ثلاثي الأبعاد و الإحداثيات المكافأة لها للصورة ذات البعدين، حالما يتم ضبط هذه العلاقة فإنه يمكن الحصول على معلومات ثلاثية الأبعاد من المعلومات ذات البعدين و العكس صحيح [8]. إحدى الطرق الشائعة لاستخلاص المعلومات ثلاثية الأبعاد من الصور هي بإلتقاط صورتين للمشهد باستخدام آلتي تصوير موضوعتين علي مسافة بينهما، و باستخدام نقطة معينة في إحدى هاتين الصورتين و التي تكافؤها في الصورة الأخرى تعطيان معلومات ثلاثية الأبعاد، أو كخيار أخر يمكن أن تتم العملية بإلتقاط صورتين أو أكثر للمشهد من آلة تصوير متحركة [9].

.

معايرة ألات التصوير في بيئة بصريات الحاسوب ثلاثية الأبعاد هي عملية يتم فيها تحديد الأبعاد الهندسية الداخلية لالة التصوير(internal camera geometric) و مواصفاتها البصرية (Optical characteristics) و تسمي المعاملات الداخلية (Intrinsic parameters) و كذلك تحديد الموضع ثلاثي البعد لإطار ألة التصوير (camera frame) بالنسبة للإحداثي الفراغي (world coordinate system) و هذه تسمي المعاملات الخارجية [10] (extrinsic parameters) . و هذه العملية تعتبر الخطوة الأولي في بيئة تقنية الحاسوب ثلاثية الأبعاد و التي يعتمد عليها اعتمادا أساسيا أداء منظومة بصريات الحاسوب.

2. لماذا نحتاج إلي معايرة ألات التصوير

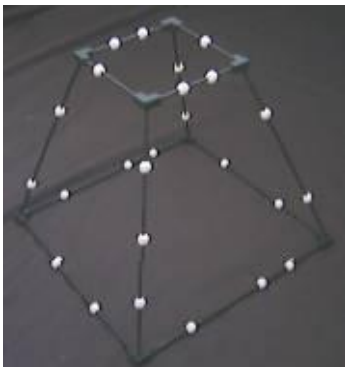
من أهم أهداف بصريات الحاسوب ثلاثية الأبعاد هو إيجاد موقع الأشياء في الطبيعة (real space)، حيث يتم قياس كل شيء في الطبيعة بوضع إطار مرجعي يسمي الإطار المرجعي الفراغي (world reference frame)، بينما الأشياء في الصور تقاس بناء علي إحداثيات البكسل و التي موجودة في إطار الصورة (Image reference frame)، و لأننا نعرف المسافة بين البكسل و الآخر في الصورة و لا نعرف المسافة بين البكسل و الآخر في الواقع، لذلك يجب أن نجد بعض المعادلات الرياضية التي تربط ما بين الإطار المرجعي الفراغي و الإطار المرجعي للصورة، لكي نحصل علي علاقة ما بين إحداثيات النقاط في الطبيعة ذات الثلاثة أبعاد و إحداثيات النقاط في الصورة ذات البعدين.
الصعوبة هي أننا لا نستطيع الحصول علي العلاقة بين هذين الإطارين مباشرة، و لربط هذين الإطارين ببعضهما نحتاج إلي إطار ثالث يسمي الإطار المرجعي لالة التصوير (Image reference frame)، الفكرة الأساسية هي إيجاد معادلة تربط الإطار المرجعي لالة التصوير بالإطار المرجعي للصورة و معادلة أخرى تربط الإطار المرجعي الفراغي بالإطار المرجعي لآلة التصوير، حل هذه المعادلات ينتج عنه العلاقة لتي نبحث عنها [7].

المشكلة في معايرة آلة التصوير هو حساب معاملات آلة التصوير الخارجية و الداخلية (extrinsic and intrinsic parameters). المعاملات الخارجية هي المعاملات التي تعرف موقع و اتجاه الإطار المرجعي لآلة التصوير بالنسبة للإطار المرجعي الفراغي أو الواقعي (WRF)، و المعاملات الداخلية هي المعاملات التي نحتاجها لربط إحداثيات البكسل للنقاط في الصورة مع النقاط المكافأة لها في الإطار المرجعي للصورة [7]. القياس المباشر لهذه المعاملات تقنيا مستحيلا، و لهذا السبب هذه المعاملات تحسب بطريقة غير مباشرة [11]، معايرة آلة التصوير هي طريقة غير مباشرة لقياس المعاملات الخارجية و الداخلية لآلة التصوير.

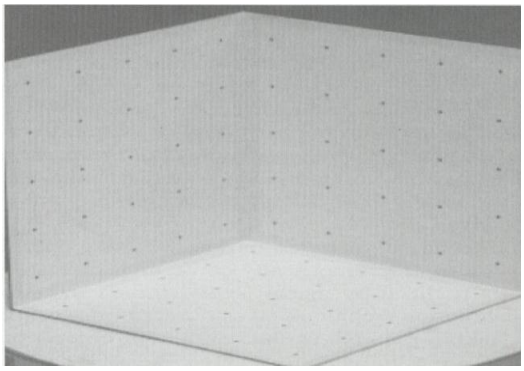
3. أدوات المعايرة (Calibration objects)

اختيار حجم و شكل أداة المعايرة يعتمد علي نوع الاستخدام، و يمكن أن تكون أداة المعايرة مصممة خصيصا لأداء غرض محدد أو أن تكون مصنعة مسبقا، الأشكال (2-3-4) تبين بعض من أدوات المعايرة.

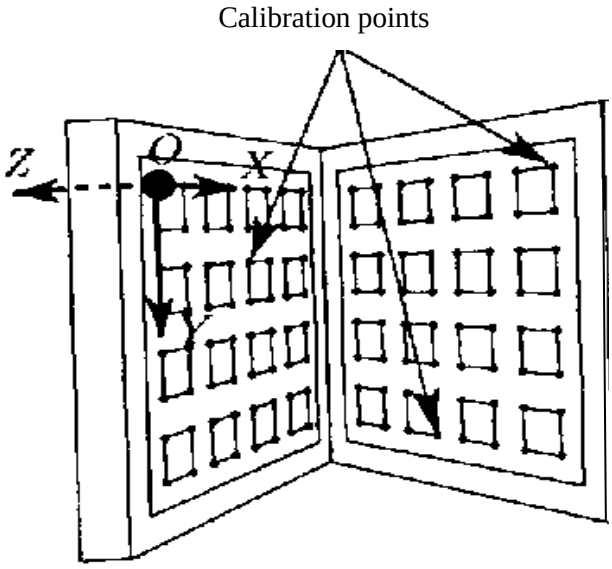
الأبعاد الهندسية للجسم المستخدم كأداة معايرة يجد أن تكون مقاسة بدقة عالية، الإحداثيات الثلاثية الأبعاد لأداة المعايرة يمكن إيجادها باستخدام بعد الأدوات الخاصة مثل جهاز قياس الزوايا أو ما يعرف (theodolites) [2] أو عن طريق آلة قياس الإحداثيات (Coordinate Measurement Machine).



شكل 2 أداة معايرة علي شكل إطار [11]
نقاط المعايرة هي الدوائر البيضاء



شكل 3 أداة معايرة علي شكل مكعب مفتوح نقد المعايرة هي النقاط السوداء[11]



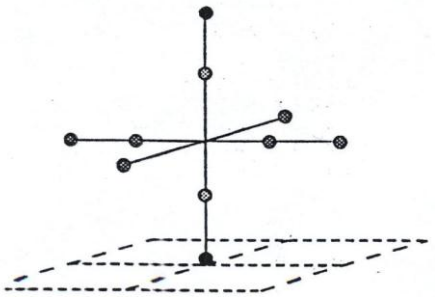
شكل 4 لوحان متعامدان ، نقاط المعايرة هي زوايا المربعات لصغيرة [2]

بناء علي الغرض من عملية القياس فان نقاط المعايرة يمكن أن تكون صمام ثنائي يبعث أشعة تحت الحمراء (LED) أو نقاط عاكسة للضوء الساقط عليها [12].

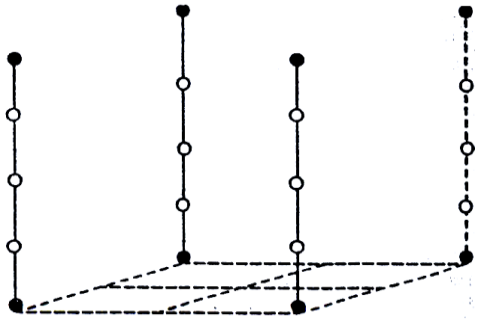
4. تشكيلة نقاط المعايرة (Distribution of calibration points)

توزيع نقاط المعايرة له أثر على الدقة الناتجة من عملية المعايرة. CHALLIS, J.H. and KERWIN [13] اختبرا خمس تشكيلات مختلفة لنقاط المعايرة لمعرفة تأثير شكلية توزيع نقاط المعايرة علي دقة النتائج، التوزيعات موضحة في الأشكال من 5 إلي 9.

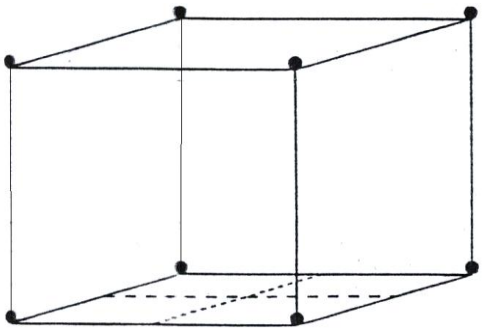
النتائج أظهرت أن التشكيلتين 1 و 4 أعطيتا دقة أقل بينما باقي التشكيلات كانت لها نتائج متشابهة، التشكيلة 1 و التي تحتوي فقط علي ثمانية نقاط أعطت نتائج شبيهة بالتشكيلة 5، بالرغم من أن التشكيلة رقم 5 لها عدد من نقاط المعايرة أكثر من أربعة أضعاف موزعة علي محيط الشكل، هذه النتائج توضح أنه من المهم أن توزع نقاط المعايرة حول المنطقة التي ستتم بها القياسات و ليس داخلها. كما وُجِد أن أفضل نتائج بصورة عامة يتم الحصول عليها عندما تتوزع نقاط المعايرة بالتساوي في كامل منطقة المعايرة. LEROUX, M. وآخرون [14] استنتجوا أن زيادة عدد نقاط المعايرة يودي إلي زيادة غير مذكورة في درجة الدقة.



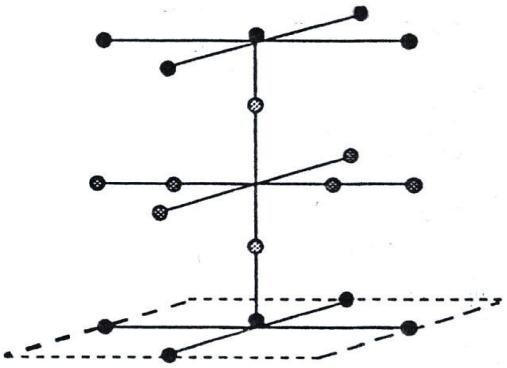
شكل 5 نقاط المعايرة تشكيلة 1



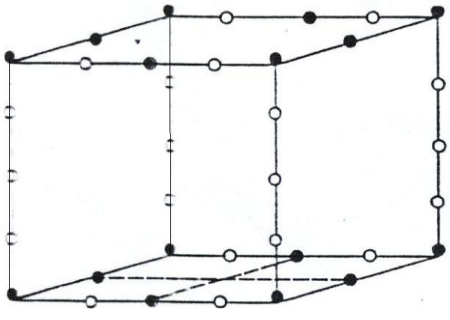
شكل 6 نقاط المعايرة تشكيلة 2



شكل 7 نقاط المعايرة تشكيلة 3



شكل 8 نقاط المعايرة تشكيلة 4



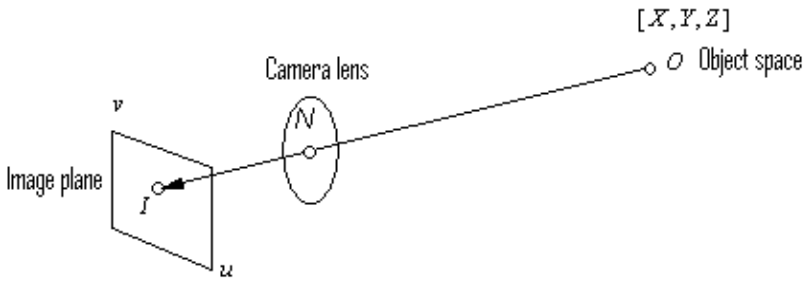
شكل 9 نقاط المعايرة تشكيلة 5

5. معايرة ألة التصوير باستخدام طريقة التحويل الخطي المباشر (Direct Linear Transformation (DLT))

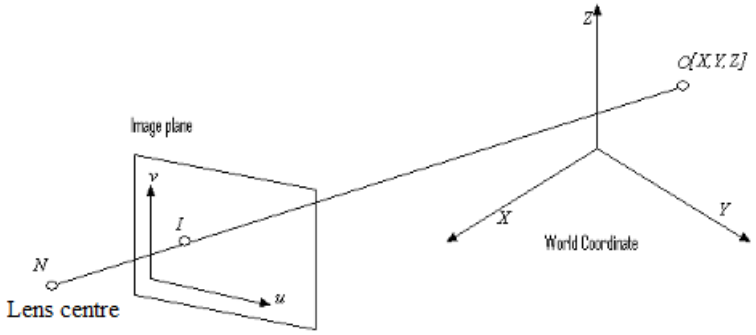
طريقة التحويل الخطي المباشر هي أكثر الطرق الشائعة المستخدمة لاستخراج إحداثيات ثلاثية الأبعاد من صورتين أو أكثر [15,14]). هذه الطريقة بداية اقترحها كلا من (Abdel-Aziz and Karara , 1971) [16] ثم تم تحسينها بواسطة (Hatze, 1988) [17] و (Gazzani, 1993) [18]، و كذلك أعطت نتائج دقيقة و لها مرونة عند وضع ألة التصوير [19].

6. التحليل الرياضي لطريقة DLT

من شرط العلاقة الخطية نجد أن الإحداثيات الفراغية للجسم (O) و إحداثيات الصورية لصورة الجسم(I) يقعان علي نفس الخط ، و الذي يمر خلال المركز البؤري للعدسة (N) كما يوضح الشكل (10).
باستخدام مبدأ العلاقة الخطية من الممكن إعادة إسقاط الصورة إلي الخلف خلال مركز العدسة إلي مستوي جديد يقع أمام العدسة، الغرض من هذا الإسقاط هو التخلص من الصورة المقلوبة.
الشكل (11) يوضح الإطار المرجعي الفراغي للجسم (O) والإطار المرجعي لمستوي الصورة الجديد [u,v].
الإحداثيات الفراغية للنقطة (O) هي [X,Y,Z] و [u,v] هي إحداثيات النقطة (I).

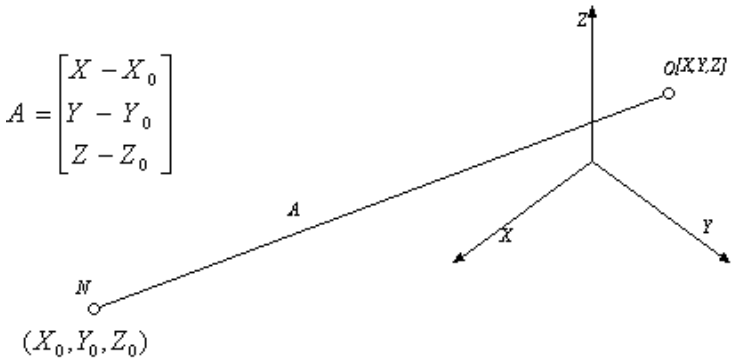


شكل 10 شرط العلاقة الخطية



شكل 11 الإطار المرجعي الفراغي للجسم (O) والإطار المرجعي لمستوي الصورة الجديد [u,v]

بما أن النقطتين (O) و(I) تقعان علي استقامة واحدة، فيمكن فرض إحداثيات النقطة (N) هي (X_0,Y_0,Z_0)و المتجه A يمكن تمثيله بالإحداثيات $(X-X_0,Y-Y_0,Z-Z_0)$ أنظر الشكل (12).



شكل 12 فرض إحداثيات النقطة (N) هي (X_0, Y_0, Z_0)و المتجه A

و لكي نجعل إطار مستوي الصورة ثلاث الأبعاد تم إضافة محور ثالث (W)، و في هذه الحالة قيمة (W) لأي نقطة موجودة علي مستوي الصورة تكون صفرا. لذلك فان الموقع ثلاثي الأبعاد لنقطة (I) يكون (u,v,0) أنظر الشكل (13).

في الشكل (13) تم إضافة النقطة P (نقطة الأساس) و من N رسم خط عمودي إلي P و موازيا للمحور W، الخط (NP) يسمي محور الأساس و المسافة ما بين P و N تسمي مسافة الأساس.

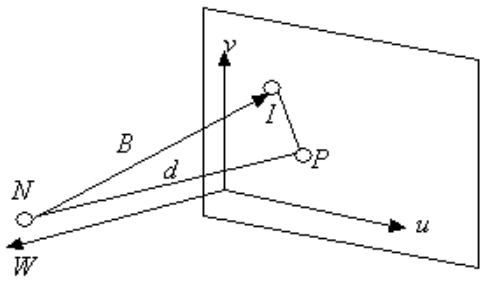
لدينا النقاط O، I ، عند N علي استقامة واحدة، فيكون المتجه A في الشكل (12) و المتجه B في الشكل (13) يمثلان خط مستقيم و العلاقة بينهما ينقن التعبير عنها بالمعادلة التالية:

$$B = cA \qquad (1)$$

حيث c يمثل معامل مقياس ألة التصوير (the camera scale factor)

$$I = (u, v, 0)$$
$$P = (u_0, v_0, 0)$$
$$N = (u_0, v_0, d)$$

$$B = \begin{bmatrix} u - u_0 \\ v - v_0 \\ -d \end{bmatrix}$$



شكل 13 الموقع ثلاثي الأبعاد لنقطة (I)

من الواضح أنه المتجه A معبر عنه في الإطار المرجعي الفراغي و المتجه B في الإطار المرجعي لمستوي الصورة، و من أجل التعبير عن هذين المتجهين باطار مرجعي مشترك فقد تم تحويل المتجه A إلي الإطار المرجعي لمستوي الصورة باستخدام مصفوفة التحويل التالية:

$$T_{I/O} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix}$$

$$A^{(I)} = T_{I/O}.A^{(O)} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix}.A^{(O)} \qquad (2)$$

حيث

$A^{(I)}$ = المتجه (A) معبر عنه في الإطار المرجعي لمستوي الصورة

$A^{(O)}$ = المتجه (A) معبر عنه في الإطار المرجعي الفراغي للجسم

TI/O= مصفوفة التحويل من لإطار المرجعي الفراغي للجسم إلي الإطار المرجعي لمستوي الصورة

بالتعويض بقيمة المتجهين A و B من الشكلين 12 و 13 في المعادلة 2 نتحصل علي:

$$\begin{bmatrix} u - u_0 \\ v - v_0 \\ -d \end{bmatrix} = c \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X - X_0 \\ Y - Y_0 \\ Z - Z_0 \end{bmatrix} \qquad (3)$$

أو

$$u-u_0 = c[r_{11}(X-X_0)+r_{12}(Y-Y_0)+r_{13}(Z-Z_0)] \quad (4)$$
$$v-v_0 = c[r_{21}(X-X_0)+r_{22}(Y-Y_0)+r_{23}(Z-Z_0)] \quad (5)$$
$$-d = c[r_{31}(X-X_0)+r_{32}(Y-Y_0)+r_{33}(Z-Z_0)] \quad (6)$$

من المعادلة (6) أعلاه نجد أن:

$$c = \frac{-d}{[r_{31}(X-X_0)+r_{32}(Y-Y_0)+r_{33}(Z-Z_0)]} \quad (7)$$

بالتعويض بقيمة (c) من المعادلة (7) في (3):

$$u-u_o = -d\,\frac{[\,r_{11}(X\text{-}Xo)+r_{12}(Y\text{-}Yo)+r_{13}(Z\text{-}Zo)]}{[\,r_{31}(X\text{-}Xo)+r_{32}(Y\text{-}Yo)+r_{33}(Z\text{-}Zo)]} \quad (8)$$

$$v-v_o = -d\,\frac{[r_{21}(X\text{-}Xo)+r_{22}(Y\text{-}Yo)+r_{23}(Z\text{-}Zo)]}{[r_{31}(X\text{-}Xo)+r_{32}(Y\text{-}Yo)+r_{33}(Z\text{-}Zo)]} \quad (9)$$

لاحظ أن في المعادلتين (8 و 9) قيم u,v,u_0 و v_0 هي إحداثيات مستوي الصورة بالوحدات المعروفة مثل (مم)، و لكن أنظمة ألات التصوير تستخدم وحدات قياس مختلفة مثل البكسل، لذلك نحتاج إلي معامل تحويل لنستخدم وحدة البكسل كوحدة قياس.

$$u-u_o \Rightarrow \lambda_u(u-u_o)$$
$$v-v_o \Rightarrow \lambda_v(v-v_o)$$

$$u - u_o = \frac{\text{-d } [\ r_{11}\ (\ X\ \text{-}X_0\ ) + r_{12}\ (Y\text{-}Y_0) + r_{13}\ (Z\text{-}Z_0)]}{\lambda_u\ [\ r_{31}\ (\ X\ \text{-}X_0\ ) + r_{32}\ (Y\text{-}Y_0) + r_{33}\ \ (Z\text{-}Z_0)]} \qquad (10)$$

$$v - v_o = \frac{\text{-d } [\ r_{21}\ (\ X\ \text{-}X_0\ ) + r_{22}\ (Y\text{-}Y_0) + r_{23}\ (Z\text{-}Z_0)]}{\lambda_v\ [\ r_{31}\ (\ X\ \text{-}X_0\ ) + r_{32}\ (Y\text{-}Y_0) + r_{33}\ \ (Z\text{-}Z_0)]} \qquad (11)$$

حيث $\lambda u, \lambda v$ معامل التحويل للمحورين u و v

بإعادة ترتيب المعادلتين (10 و11) نتحصل علي معدلات التحويل الخطي المباشر (DLT) ، التي وضعها كلا من (Abdel-Aziz and Karara in 1971)

$$u = \frac{L_1 X + L_2 Y + L_3 Z + L_4}{L_9 X + L_{10} Y + L_{11} Z + 1} \qquad (12)$$

$$v = \frac{L_5 X + L_6 Y + L_7 Z + L_8}{L_9 X + L_{10} Y + L_{11} Z + 1} \qquad (13)$$

حيث

$$L_1 = \frac{u_0 r_{31} - d_u r_{11}}{D}\ ,\quad L_2 = \frac{u_0 r_{32} - d_u r_{12}}{D},\quad L_3 = \frac{u_0 r_{33} - d_u r_{13}}{D},$$

$$L_4 = \frac{(d_u r_{11} - u_0 r_{31}) X_0 + (d_u r_{12} - u_0 r_{32}) Y_0 + (d_u r_{13} - u_0 r_{33}) Z_0}{D},$$

$$L_5 = \frac{v_0 r_{31} - d_v r_{21}}{D}\ L_6 = \frac{v_0 r_{33} - d_v r_{22}}{D},\quad L_7 = \frac{v_0 r_{33} - d_v r_{23}}{D},$$

$$L_8 = \frac{(d_v r_{21} - v_0 r_{31}) X_0 + (d_v r_{22} - v_0 r_{32}) Y_0 + (d_v r_{23} - v_0 r_{33}) Z_0}{D} \qquad L_9 = \frac{r_{31}}{D},$$

$$L_{10} = \frac{r_{32}}{D}\ ,\quad L_{11} = \frac{r_{33}}{D}$$

$$[d_u, d_v] \equiv \left[\frac{d}{\lambda_u}, \frac{d}{\lambda_v}\right]$$

$$D \equiv (X_0 r_{31} + Y_0 r_{32} + Z_0 r_{33})$$

المعاملات $(L_1 - L_{11})$ أعلاه هي معاملات (DLT) و التي تعكس العلاقة ما بين الإطار المرجعي الفراغي و الإطار المرجعي لمستوي الصورة.
بإعادة ترتيب المعادلتين (12 و 13) المعادلة التالية يمكن استخلاصها

$$\begin{bmatrix} X & Y & Z & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -uX & -uY & -uZ \\ 0 & 0 & 0 & 0 & X & Y & Z & 1 & -vX & -vY & -vZ \end{bmatrix} \begin{bmatrix} L_1 \\ L_2 \\ L_3 \\ L_4 \\ L_5 \\ L_6 \\ L_7 \\ L_8 \\ L_9 \\ L_{10} \\ L_{11} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix}$$

إذا كان لدينا ست نقاط معايرة أو أكثر معلومة إحداثياتها في الفراغ $(X، Y، Z)$، و كذلك إحداثيات الصورة المكافأة لها $(u، v)$، فانه يمكن إيجاد المعاملات لان لدينا عدد 12 من المعادلات أو أكثر (إثنان لكل نقطة معايرة) و عدد المجاهيل 11 ، هذا يتم اجراه لكل ألة تصوير.
عند الحصول علي المعاملات لألتي تصوير أو أكثر موضوعتين علي مسافة بينهما ، فان الأبعاد الفراغية $(X، Y، Z)$ لأي جسم موضوع داخل منطقة المعايرة يمكن حسابها لوجود أربعة معدلات أو أكثر و ثلاثة مجاهيل $(X، Y، Z)$.

6. الخلاصة

معايرة ألة التصوير هي خطوة ضرورية في بيئة بصريات الحاسوب ، نحتاج لمعايرة ألة التصوير للحصول على المعاملات التي تربط الإحداثيات الفراغية الثلاثية الأبعاد بإحداثيات الصورة ثنائية الأبعاد. هناك عدة طرق لحساب هذه المعاملات.
في هذه الورقة تم توضيح إحدى طرق معايرة ألة التصوير و هي طريقة التحويل الخطي المباشر (DLT) وي تتضمن فقط حل معدلات خطية و فيها لا نحتاج إلي معرفة إحداثيات موضع ألات التصوير.
للحصول علي دقة عالية من منظومة القياس فان الإحداثيات الفراغية الثلاثية الأبعاد لنقاط المعايرة يجب أن تحدد بدقة و كذلك تكون موزعة بالتساوي خلال منطقة المعايرة.

7. المراجـــع

[1] SALVI, J., ARMANGUÉ, X. and BATLLE, J., 2002. A comparative review of camera calibrating methods with accuracy evaluation. Pattern Recognition, **35**(7), pp. 1617-1635.
[2] ROBERT, L., 1996. Camera Calibration without Feature Extraction. Computer Vision and Image Understanding, **63**(2), pp. 314-325.

[3] ORTEU, J., 3-D computer vision in experimental mechanics. *Optics and Lasers in* Engineering, In Press, Corrected Proof.

[4] EFFORD, N., 2000. Digital image processing : a practical introduction using Java. Harlow: Addison-Wesley.

[5] WÜRZ-WESSEL, A., 2003. Free formed surface mirrors in computer vision systems.

[6]HEIKKILA, J., 2000. Geometric camera calibration using circular control points. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, **22**(10), pp. 1066-1077.

[7] ZHENGYOU, Z., 2000. . A Flexible New Technique for Camera Calibration. IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence, **22**(11), pp. 1330-1334.

[8] LUONG, Q.-. and FAUGERAS, O.D., 1992. Self-Calibration Of A Camera Using Multiple Images. International Conference On Pattern Recognition,

[9] HEIKKILA, J. and SILVEN, O., 1997. A Four-Step Camera Calibration Procedure with Implicit Image Correction. Proceedings, , pp. 1106.

[10] ZEHANG, S and CHRISTIAN R., 2001. Internship with UNR & Ford Motor Company.

[11] KLETTE, R., KARSTEN, S. and ANDREAS, K., 1998. Computer Vision: three-Dimension Data from Images .Singapore: Spring-Verlag Singapore Pte.ltd .

[12] STURMAN, D.J. and ZELTZER, D., 1994. A Survey of Glove-based Input. Clumsy intermediary devices constrain our interaction with computers and their applications. Glove-based input devices let us apply our manual dexterity to the task. IEEE computer graphics and applications., 14(1), pp. 30 .

[13] CHALLIS, J.H. and KERWIN, D.G., 1992. Accuracy assessment and control point configuration when using the DLT for photogrammetry. Journal of Biomechanics, 25(9), pp. 1053-1058 .

[14] CHEN, L., ARMSTRONG, C., RAFTOPOULOS, D. 1992, An investigation on the accuracy of 3-dimensional space reconstruction using the direct linear transformation technique, Journal of Biomechanics, Volume 27 ،Issue 4, April 1994, Pages 493-500

[15] LEROUX, M., ALLARD, P., MURPHY, N. and AMERICAN SOCIETY OF BIOMECHANICS, 1990. Accuracy and Precision of the Direct Linear Transformation Technique (DLT) in Very Close Range Photogrammetry with Video Cameras. PROCEEDINGS OF THE ANNUAL MEETING- AMERICAN SOCIETY OF BIOMECHANICS, , pp . 203-204 .

[16] HINRICHS, R.N. and MCLEAN, S.P., 1995. NLT and extrapolated DLT: 3-D cinematography alternatives for enlarging the volume of calibration. Journal of Biomechanics, 28(10), pp. 1219-1223 .

[17] ABDEL-AZIZ, Y.I. and KARARA, H.M., 1971. Direct linear transformation from comparator coordinates into object space coordinates in close-range photogrammetry. Proceedings of the Symposium on Close-Range Photogrammetry, , pp. 1-18 .

[18] HATZE, H., 1988. High-precision three-dimensional photogrammetric calibration and object space reconstruction using a modified DLT-approach. Journal of Biomechanics, 21, pp. 533-538 .

[19] GAZZANI, F., 1993. Comparative assessment of two algorithms for calibrating stereophotogrammetric systems. Journal of Biomechanics, 26(12), pp. 1449-1454 .

[20] Pourcelot, P., Audigie, F., Degueurce, C., Geiger, D. And Denoix, J.M., 2000. A method to synchronise cameras using the direct linear transformation technique. Journal of biomechanics., 33(12), pp. 1751.