



الباب الثاني

قواعد إعادة تركيب الأبعاد الثلاثة

*Bases of Three- Dimensional Reconstruction*





## الفصل الأول

أولاً : نظم الإحداثيات الفراغية

ثانياً : تكنيك إعادة التركيب

ثالثاً : الكاميرا الثابتة



بدأ الكثير من التسجيلات البيوميكانيكية لحركة الإنسان في الأبعاد الثلاثة من خلال بيانات الحاسب الآلى، عن طريق تصوير آلات التصوير ذات السرعات العالية أو الثابته، وآلات تصوير الفيديو أو نظام التصوير بالأشعة ويعتبر الاكثر انتشاراً لنظم البيانات بالحاسب الآلى. ويمكن تحديد التوافق الخاص لنقاط الهدف أو علامات الجسم باستخدام أسس التصوير المساحى بالرغم من اختلاف الحد الأدنى للإحساس أو الرؤية.

وقد خصصت نقاط الهدف لإمكانها تحديد وتخصيص كل رؤية (منظر) وعدم تداخل كل منها أو تلاصق أسطحها أو تداخل العلامات الأرضية. وعُرف التصوير المساحى عن طريق الجمعية الأمريكية للتصوير المساحى، وهو فن، وعلم، وتطبيق علمى للحصول على معلومات صادقة عن طبيعة الأشياء والبيئة المحيطة بها خلال عمليات التسجيل، والقياس وطبع الصور الداخلى، ونماذج تسجيل إشعاع الطاقة الكهرومغناطيسية Radiant electro-magnetic energy

والنظريات الأخرى عن وولف (Wolf 1983م)، من خلال التصوير المساحى، يُكون القياس ووضوح التصوير المساحى مجالين مختلفين، يتكون قياس التصوير المساحى من مقاييس محكمة من التصوير ومصادر أخرى لتحديد الأوضاع النسبية للنقاط والعلامات. ويشمل توضيح التصوير المساحى على استخدام نظم التحليل لتنظيم وتحديد علاقات الأشياء. تشمل الحركة الذاتية تنظيم وتحديد علامات الأشياء، كما يحدث ذلك فى إعادة تنسيق الأبعاد الثلاثة.

يغضى هذا الفصل أسس تكنيك إعادة تركيب الأبعاد الثلاثة، فمثلاً الطرق الكلاسيكية Classical Methods فحصت كخطوتين لإعادة تركيب التكنيك، وفى الآونة الاخيرة طريقة الانتقال المباشر فى الحركة الخطية the Di-rection Linear Transformation (DLT) أصبحت أكثر انتشاراً. كما بحثت مصادر الخطأ من الأنواع المختلفة لآلات التصوير، وعدسة الكاميرا، ومعايرة الأهداف.

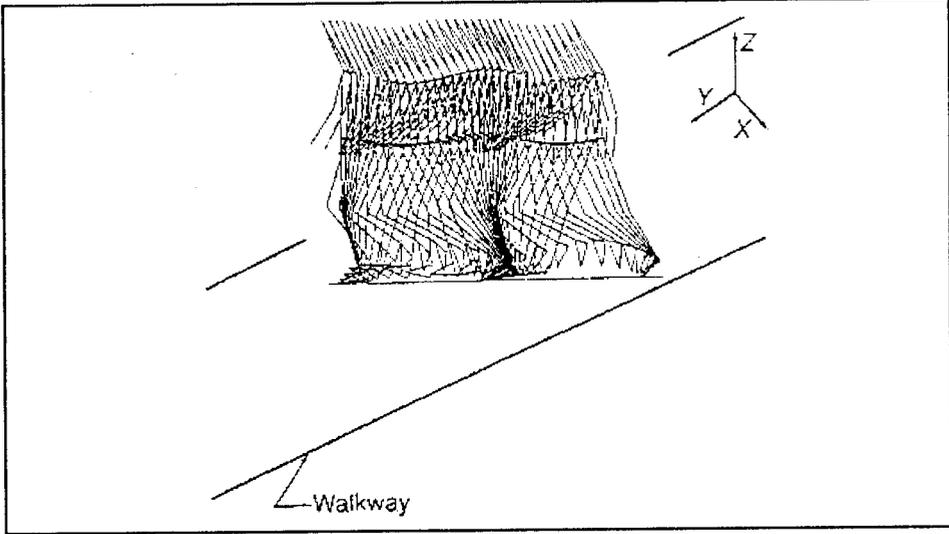
\* \* \*



## الفصل الأول

### أولاً: نظم الإحداثيات الفراغية *Spatial Coordinate Systems*

يتطلب تحليل الأبعاد الثلاثة نظم إحداثيات متعددة. فعند التحليل في المستوى الأفقى، يوجد قياساً ثابتاً أو نظام إحداثى Fixed Coordinat System (F.C.S) كما فى شكل (٦) حيث حسبت علامة إحداثيات الجسم. ويجب أن تتجنب محاور النظام الإحداثى تداخل أنظمة الإحداثيات التى تحدد حركة المفاصل. ويمكن تحديد موضع المصدر الأسمى عند أى نقطة عملياً فى المعمل. أى وضع أو نسبة نظام إحداثى (L.C.S) Local Coordinate System يمكن وضعها على حركة أجزاء الجسم. فمثلاً: بحث الوصف الكينماتيكى للطرف العلوى عند وضع نظام إحداثى، يمكن تحديد وضع الكتف خلال كل من الطرف العلوى الداخلى فى الحركة. وعندئذٍ علامة النظام الإحداثى للجسم تحسب بالنسبة لهذا الكتف.



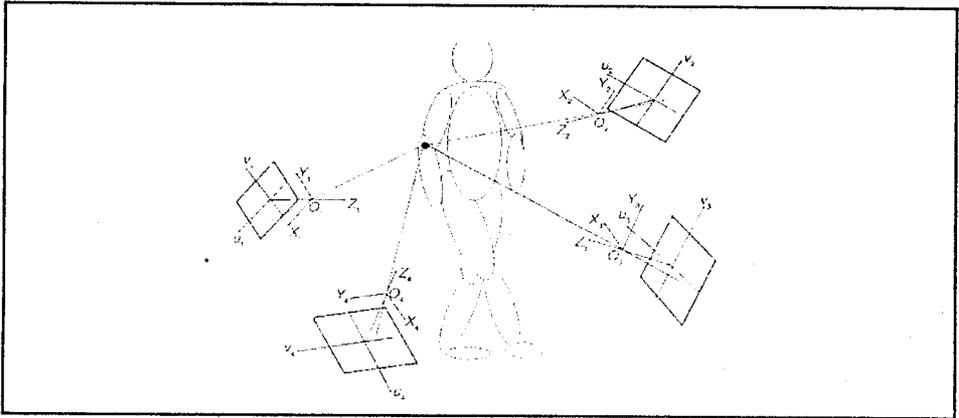
شكل (٦)

النموذج التخطيطى «حركة مشى الفرد من اليمين الى الشمال أصل (مت) نظم الإحداثيات يمكن وضعه عند أى نقطة متداخلة فى المعمل. وتحدد المحاور تبعاً لقانون اليد اليمنى. والتسلسل العمودى والاتجاه يتبع المحور Z, Y، ويكون المحور X فى الاتجاه المتعامد على المستوى YZ.

وكذلك علامة السرعة والعجلة بالنسبة للكتف ولا يمكن أخذ ذلك في الحساب المطلق لإزاحة الكتف بالنسبة لوضع النظام الإحداثي الثابت وبالأخص في المعمل.

يتطلب بناء الابعاد الثلاثة منظر أو منظرين أو أكثر للشخص ويمكن تصوير هذه المناظر بالفيديو، أو بكادرات آلة التصوير وهكذا. كل منظر له آلة تصوير للنظام الإحداثي الخاص به (CCS) Camera Coordinate System أسست على أساس استنباط التصوير.

ويعرض الشكل (٧) نظام إحداثي لأربعة كاميرات فيديو (CCS) حيث يحدد اتجاه المحور الإجباري Z اتجاه المحورين X, Y الأفقى والرأسى نسبياً، عندما يكون تصوير الكاميرا فى مستوى المصدر  $O_i$  (حيث أن i رقم الكاميرا) يحدد عند النقطة البؤرية لكل كاميرا، تصميم نظم الإحداثيات هذه على الصور لتكوين نظام إحداثي للصورة (ICS) Image Coordinate System والذي يكون أصل لنقطة الأساس، والتي تجمع من خلال البعد البؤرى للعدسة. وبالتسليم بأن الصورة تكون مستوية، بحذف محور واحد والمحورين الآخرين يرمز لكل منهما بالرمز  $U_i, V_i$  على التوالي، لتجنب التشويش بين نظم إحداثيات الكاميرا أو الصورة.



شكل (٧)

نظام الأربعة كاميرات عندما تحدد صورة جميع علامات الجسم فوق نظام توافق كاميرات التصوير، ويرمز له بالرمز (CCS) على بؤرة عدسة كل كاميرا.

## ثانياً: *Reconstruction Techniques* إعادة التركيب

منذ تحديد نظم الإحداثيات تستخدم المعادلات لتحديد إحداثيات نقطة الهدف من إحداثيات صورته. (فى تحليل خطوة المشى، نقاط الهدف تكون أسهل سلبياً أو إيجابياً للعلامات التى تحدد العلامات التشريحية الخاصة).

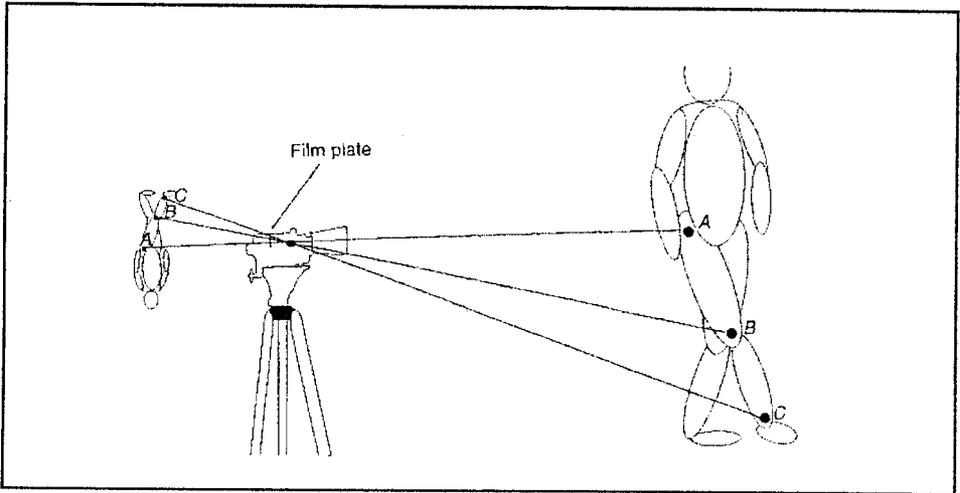
هذه المعادلات تنسب إلى البيانات الخارجية (مثل الاتجاه الخاص بالكاميرا) والداخلية، مثل خصائص العدسة أو نوع الكاميرا، ونقطة الهدف أو وضع العلامات. طورت طرق المعادلات والتحليل من أجل استخدام الكاميرا المتحركة والثابتة. تمت الابعاد الثلاثة لخطوة المشى بكاميرا ثابتة وبمواجهة الهدف. أو فى مجال التصوير، أو نظم آلات الرؤية، مثل الدليل الذاتى للتأمل *Self-guided Vehicles*، الكاميرا تكون محمولة على حامل وتتحرك بطوله، عندئذ تؤخذ قمة إزاحة الكاميرا فى الحساب. يتأسس مستوى إنتاج المقياس الضوئى على دقة المعلومات عن البيانات الخارجية والداخلية للكاميرا، أى خطأ فى أى من تلك البيانات يتبعه خطأ فى قيمة الاحداثيات. وبالرغم من ذلك هذا التكنيك يصبح جيداً جداً عندما تستخدم كاميرات قياسية صممت من أجل التصوير المساحى المجسم *Stereo-Photogrammetry* وعندما تأخذ كل كاميرا وضع خاص ويحدد اتجاهها بدقة.

## ثالثاً: *Fixed Cameras* الكاميرات الثابتة

تكنيك إعادة تركيب الأبعاد الثلاثة بالنسبة للكاميرات الثابتة يمكن أيضاً استخدامه بأكثر من كامرتين للتصوير- تأسيس مستوى التكنيك على استخدام صورتين- وأى صور إضافية تستحدث باستخدام كاميرا فى تركيب زوجى - لذلك، الثلاث صور تكون ثلاث أزواج بينما الأربع صور تصنع 6 أزواج وهكذا. هذه الإمكانية تحصل منها على صورة جيدة بالسرعة العالية للتصوير السينمائى أو التصوير بالفيديو. خلال التصوير بالفيديو الصورة المزدوجة يجب أن تكون فى تزامن واحد. بالإضافة لذلك حركة أى كاميرا مفردة يمكن أيضاً استخدامها إذا كان الهدف فى محطات متناسبة، كما فى تتابع التصوير.

من أهم أساسيات التحليل بالتصوير المساحي أن تكون الحالة فى إستقامة واحدة. يعرض الشكل (٨) تجهيزات نقطة الهدف أو النقطة المعلومة وهى المطابقة للصورة من الخط المستقيم المار خلال مركز عدسة التصوير. (أسهل مثل لذلك آلة التصوير ذات الثقب (Pinhole Camers) عندما تقابلنا هذه الحالة عندئذ يمكن تطبيق العلاقات الهندسية وحساب المثلثات لتحديد الوضع الخاص للهدف أو للعلاقة. فى الشكل (٨) نقاط الهدف A, B, C وضعت على نفس الخط المستقيم المطابق لصورة النقاط c,b,a تطورت المعادلة فى حالة الاستفادة الواحدة من نفس العلاقات المثلثية وعرضت، تفاصيلها فى الكتاب المنهجي لولف (١٩٨٣م) Wolf's text book عن التصوير المساحي photogrammetry .

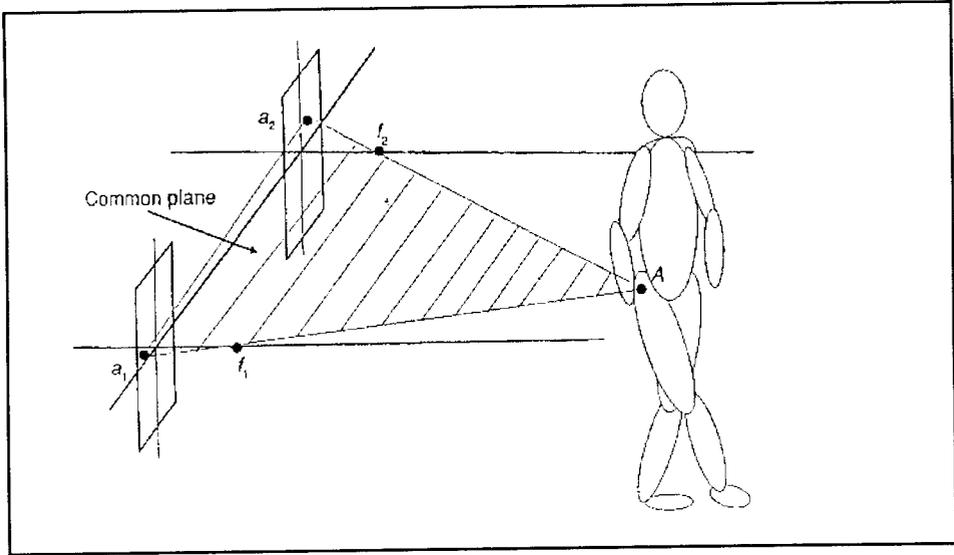
وبنفس الأهمية تكون حالة المستوى الواحد، والذي تتطلب أن تكون نقطة الهدف A مطابقة للصورة المزدوجة A1, A2، كما فى مركز عدسة التصوير للكاميرا F1, F2، الموضوع على المستوى المشترك (انظر الشكل ٩)، حيث أن ارتباط نقطة الهدف تكون بصورتها فى حالة المستوى الواحد، وسلسلة الصور فى حالة المستوى الواحد (صورتين على الأقل) تكون مرتبطة



شكل (٨)

متطلبات تصوير الأبعاد الثلاثة فى حالة الخط المستقيم عن طريق علامات مفاصل الفخذ والركبة ورسغ القدم A, B, C ومطابقتها لصورها عند المركز البؤرى لعدسة كاميرا التصوير.

بنقطة الهدف. ومن خلال هاتين الحالتين يتطلب الأمر إحدائيات فراغية تمكننا من التحليل عند إعادة التركيب من الصور المأخوذة (المحضرة).



شكل (٩)

عرض حالة المستوى الواحد والتي وضعت فيها علامات الجسم في المستوى المشترك وشكلت عن طريق تطابق أوضاع التصوير والمركز البؤري لعدسة كل كاميرا





## الفصل الثاني

أولاً : التكنيكات الكلاسيكية لإعادة التركيب  
ثانياً : التكنيكات المتداخلة لإعادة التركيب



## الفصل الثانى

### أولاً: التكنيكات الكلاسيكية لإعادة التركيب Classical Reconstruction Techniques

كانت معظم الأساليب الفنية السائدة تنطلق من الأساليب الفنية الكلاسيكية. ويقودنا الفهم الأفضل للمدخل الأساسى للمجال العلمى الى الادراك الأفضل. معظم معادلات الأبعاد الثلاثة مشتقة من حالة المستوى الواحد، والمعادلة الأساسية لمجال التصوير المساحى مطابقة لتلك المعادلات المستخدمة فى تحليل حركة الإنسان. والاختلاف فى كون أن المحور البصرى عادة يكون موازى فى حركة جسم الإنسان فى المعمل أكثر من العمودى كما فى مجال التصوير.

خطوات التصوير المساحى الجسم Sterco- Photogrametric عرضت فى شكل (١٠) بنفس المسافات المعطاه من أجل عرض الأهداف المسلمة الهامة هى أن البيانات الخارجية للكاميرا معروفة وأن علبة الفيلم وضعت فى نفس المستوى. ويعنى هذا أن المحور البصرى موازى وعمودى على مستوى الفيلم (علبة الفيلم).

المحورين  $U_i$ ،  $V_i$  متصلان بالنقطة الأساسية للفيلم،  $P_i$ ، المحور البصرى لكل كاميرا مر خلال المركز البؤرى للعدسة وينضم بالنسبة للنقطة الأساسية للكاميرا، النظام الإحداثى الثابت (fixed Coordinate System)(FCS) يتحكم فى المجموعة عند المركز البؤرى لعدسة الكاميرا (١) عند  $O_i$ ، والكاميرات تكون منفصلة عن المسافة الرئيسية،  $B_i$  بمقدار ١,٢٠٠ متر. ويكون طول البعد البؤرى ٠,٣٠٠ متر وفى هذا المثال الإحداثيات لأى نقطة هدف،  $A$  (٠,٦٠٠، ٠,٣٠٠، ١,٣٠٠) محسوبة بالمتر كما فى  $O_i$ .

وهذه هى الخطوة الأولى لأى معرفة. وهذه الخطوة تمكن من تحديد التحليل عن طريق تطبيق المعادلة التالية، هارلبرت Harllert (١٩٦٠م):-

$$X_i = (B \cdot U_i) / p \dots \dots \dots (1)$$

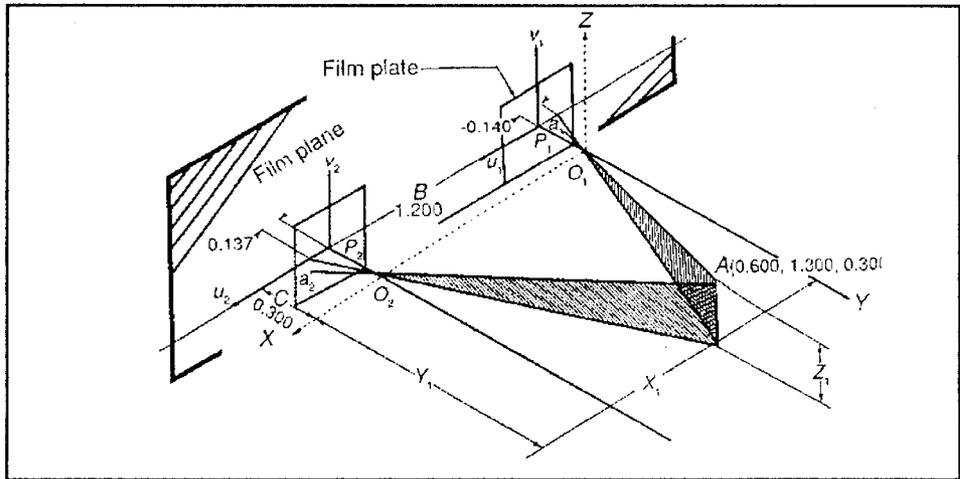
$$Y_i = (B \cdot C) / p \dots \dots \dots (2)$$

$$Z_i = (B \cdot V_i) / p \dots \dots \dots (3)$$

حيث أن  $U_2 - U_1 = P$  وتستخدم لتصحيح انحراف الرؤية فى النظام الإحداثى  $O_i$  المستخدم لتلك المعادلة، وإحداثيات الهدف يكون كما يلى :-  
 $iX = (0, 137 - 0, 140) \div (0, 140 \times 1, 200) = 0, 600$   
 $iY = (0, 137 - 0, 140) \div (0, 300 \times 1, 200) = 1, 200$   
 $iZ = (0, 137 - 0, 140) \div (0, 790 \times 1, 200) = 0, 300$

كذلك أصبحت الحسابات بسيطة تماماً لاكتساب تكنيك لمقياس دقة موضع الكاميرات. أيوب، أيوب ورامسى (١٩٧٠م) Ayoub, Ayoub and Ramsey وصفوا بالتفصيل نظام تصويرهم وجميع المساعدات لتصحيح الإجراءات لتحديد المسافة الرئيسية، والنقطة الرئيسية وانحراف العدسة.

الآن قانون انحراف العدسة مجهز ليناسب التصوير المساحى المجسم بسرعات عالية بكاميرات الفيديو. ولكن نحن ننصحك بفحص العدسة من



شكل (١٠)

الخطوات الأساسية للتصوير المساحى المجسم من خلال توازى المحور البصرى فى كل منها. الكاميرا الأساسية ١,٢٠٠ متر و البعد البؤرى للعدسة ٠,٣٠٠ متر على استقامة واحدة وتم التحكم فى الإحداثيات. وجميع الاتجاهات قيست بالمتر.

أجل أخطاء الانحراف. والسؤال الأول إذا كان المصنع يمكنه مساعدتك من خلال خصائص العدسة بالتعاقب، يمكنك عمل معايرتك من خلال الدقة المناسبة باستخدام سجل شريط ورقه الرسم البياني لجدول القياس الجرائتي. هذه الجداول تكون عادة مسطحة = ٢ ك م. العلامات النموذجية على ورق الرسم تستخدم لاختيار انحراف العدسة. جدول الجرائتي يكون وضعه عمودي مع استخدام المستوى الأحسن والمجموعة عمودية بقدر الإمكان على المحور البصرى للكاميرا. وكذلك الجدول يمكن أن يكون مائل بالتدرج، هذا الانحراف سيكون مقدار ثابت المعادلة (١) حتى المعادلة (٢) يمكن التعبير عنها بأكثر من شكل عام :-

$$\begin{bmatrix} U - U_p + \Delta u \\ V - V_p + \Delta v \\ \quad \quad \quad -C \end{bmatrix} = \lambda [M] \begin{bmatrix} X - X_0 \\ Y - Y_0 \\ Z - Z_0 \end{bmatrix} \dots (4)$$

حيث أن  $u$ ،  $v$  هي إحداثيات التصوير،  $U_p$ ،  $V_p$  هي نقطة الأصل لإحداثيات التصوير،  $\Delta u$ ،  $\Delta v$  هما الخطأ في  $U$ ،  $V$ ،  $C$  هي المسافة الرئيسية للكاميرا هي مقياس الرسم للعامل الخطي،  $M$  هي  $3 \times 3$  مصفوفة تحويل الشكل من الصورة الى النظام الاحداثي في المعمل،  $X$ ،  $Y$ ،  $Z$  وهي إحداثيات الهدف في المعمل،  $X_0$ ،  $Y_0$ ،  $Z_0$  وهي المركز البؤرى لنظام الإحداثيات في  $Z$ ،  $X$ ،  $Y$  ومن هذا الشكل العام يمكن اشتقاق معادلات الأبعاد الثلاثة.

\* \* \*

## ثانياً: التكنيكات المتداخلة لإعادة التركيب *Implicit Reconstrution Techniques*

المدى المغلق للتصوير المساحي، أو تطبيق التصوير المساحي حيث تكون مسافة نقطة الهدف للعدسة أقل من ٣٠٨ متر أى (٠, ١٠٠٠ قدم) أصبح ممكناً من خلال ظهور الأجهزة المناسبة والطرق العلمية وتكنيك اختزال البيانات (مارزن ١٩٧٥ م Marzan). تحول الكاميرات من الكاميرات Metric Camera إلى الكاميرات غير القياسية nonmetric Camera، أدى إلى استخدام تشخيص تحليلي جديد لتحديد بيانات الكاميرا الداخلية والخارجية والتي تعتبر مهمة لتطوير التصوير المساحي ليشمل دراسة حركة جسم الإنسان الربح الذاتي في قانون التكلفة، والاستعداد للانتفاع بغلق وتشغيل الكاميرات، لم يعد مناسباً للمدخل الكلاسيكي لإعادة التركيب.

اليوم كثر تداخل الطرائق الفنية. وكثير منها طور عن طريق إعادة ترتيب تكلفته تبسيط المعادلة (٤).

حولت المعادلة الكلاسيكية إلى مجموعة بيانات غير معروفة، والتي تكون دالة لإحداثيات نقطة الهدف وثباتها. والثبات معلومة حسابية معقدة تشتمل على بيانات كاميرا واحدة أو أكثر.

ولتحديد هذه البيانات عملياً، تشير دقة قياس معايرة نقاط الهدف المستخدمة في تحديد المعلومات غير المعروفة إلى خطوتين:

الخطوة الأولى استنباط معايرة التصوير الضوئي والصورة وإحداثيات نقطة الهدف الحقيقية والمستخدم في تحديد قيم المعلومات المجهولة في الاصطلاحات الحسابية. وتلك هي أشكال معايرة الكاميرا. إذن استنباط المعايرة يرجع إلى المعلومات المجهولة لنقاط الهدف أو علامات الجسم المقاسة.

والخطوة الثانية تحديد إحداثيات هذه العلامات المقاسة من إحداثيات صورة الهدف والحساب السابق للثابت التحليلي. ويتطلب تعدد نقاط المعايرة تفسير المعلومات المجهولة تبعاً لتنوع تداخل التكنيك المطبق.

انتشرت أفضل الطرق الفنية للأبعاد الثلاثة في حركة الإنسان في مجال الميكانيكا الحيوية. وذكرها بالتفصيل يخرج عن نطاق هذا العمل. وعامة الخطأ ينحصر بين صفر مم، ٥ مم. ومع ذلك القيم المقررة لا تتأسس دائماً على نفس معنى الخطأ. فيما بين طرق إعادة تركيب الأبعاد الثلاثة، التطبيق والشرح الأكثر انتشاراً ربما يكون تكنيك الانتقال المباشر (DLT) المتطور عن مارزان Marzan (١٩٧٥م). الذي يستخدم أنواع كثيرة من اختراعات التصوير، شتوكيز Stokes، بيجالو Bigalow، وموريلانند Moreland (١٩٨٧م) استخدموا تكنيك التصوير المساحي للانتقال المباشر (DLT) بأشعة X (X-Ray) لقياس انحناءات العمود الفقري بينما آلارد Allard، دوهايمي Duhaime، لايللي Labelle، مورفي Murphy وموريلانند Moreland (١٩٨٧م) استخدموا الكاميرات الثابتة لتحديد وضع وانحراف رسغ القدم ومحور مفصل الدوران. أخطاء التصوير المساحي للانتقال المباشر ساعد في استخدام التصوير ذو السرعة العالية (شايبرو Shapiro ١٩٧٨م) وفرص تصوير الفيديو (ليروكس Leroux، آلارد Allard، مورفي Murphy ١٩٩٠م). تأسست طريقة التصوير المساحي للانتقال المباشر على التكنيك الكلاسيكي ويعبر عنها كما يلي:

$$U + \Delta u = \frac{L_1x + L_2Y + L_3Z + L_4}{L_9x + L_{10}Y + L_{11}Z + 1}$$

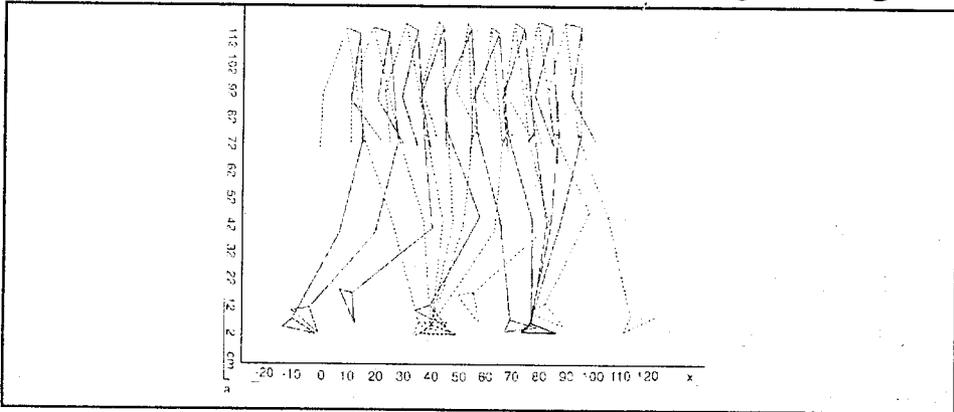
$$V + \Delta r = \frac{L_5x + L_6Y + L_7Z + L_8}{L_9x + L_{10}Y + L_{11}Z + 1} \dots\dots\dots(5)$$

حيث أن  $U, V =$  إحداثيات التصوير و  $\Delta u, \Delta r =$  تصحيح إحداثي اتجاه عدسة التصوير. وإحداثيات نقطة الهدف  $X, Y, Z$  بينما الثوابت  $L_1$  حتى  $L_{11} =$  بيانات التصوير المساحي للانتقال الثلاثي المباشر والتي يحددها وضع الكاميرا واتجاهها وعلى سبيل المثال البيانات الداخلية للكاميرا واتجاه العوامل الخطية للعدسة. وللمعلومات الأكثر انظر Marzan (١٩٧٥م).

في المثال المبني على تكتيك إعادة تركيب الأبعاد الثلاثة الكلاسيكي شكل (١٠) المحاور البصرية يجب أن توازي كل منها الآخر. إذا لم تكن متوازنة، المعادلة (٤) لا يمكن تطبيقها، ويجب تطوير مجموعة معادلات لتصحيح انحرافات زوايا الكاميرات. من خلال كاميرات ومعادلات (DLT) يمكن الاقتراب من نقطة واحدة ولكن يجب أن نضع في الاعتبار أن العلامة بين الاقتراب من نقطة واحدة وتداخل الزوايا حددها Marzan (١٩٧٥م) لتكون في الحسبان لتقليل أى خطأ لإعادة التركيب. وهذه ليست دائماً ممكنة في البيئة المحيطة في أى معمل، بالمقارنات بين مكان الكاميرا وأى خطأ مقبول يجب الوصول إليه.

المعادلة (O) كانت كأداة تجارية لنظام الفيديو المؤسس كينماتيكي لمتابعة علامات الجسم. وعلى سبيل المثال: طبق هذا النظام لدراسة حركة المشي العادية وللمرضى.

والشكل (١١) أ حتى ج، الشكل (١٢) أ حتى ج يعرضاً تشخيص لاختلاف بطارية المشي العادي حيث يعرض الرسم التخطيطي (أ). التسلسل خلال المستوى السهمي باعتباره المستوى العام لاتجاه التسلسل، (ب) المستوى الأمامي و(ج) من أعلى.

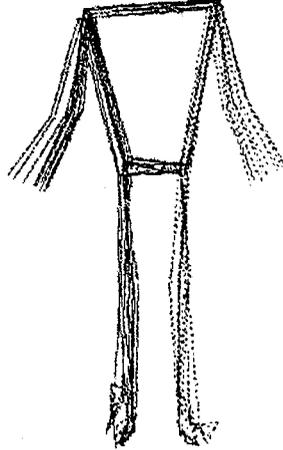


شكل (١١)

الرسم التخطيطي لمشي فرد من الشمال إلى اليمين عند النظر في المستوى السهمي باعتباره المستوى العام لاتجاه التسلسل، (ب) المستوى الأمامي (انظر الصفحة التالية)، (ج) المستوى الأفقي انظر الصفحة التالية.

118 108 98 88 78 68 58 48 38 28 18 8 0 0

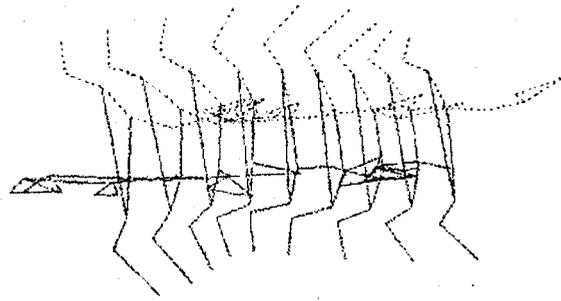
cm 18 -8 2 12 22 32 42 52 62 72 82 92 102 112 122 132 y



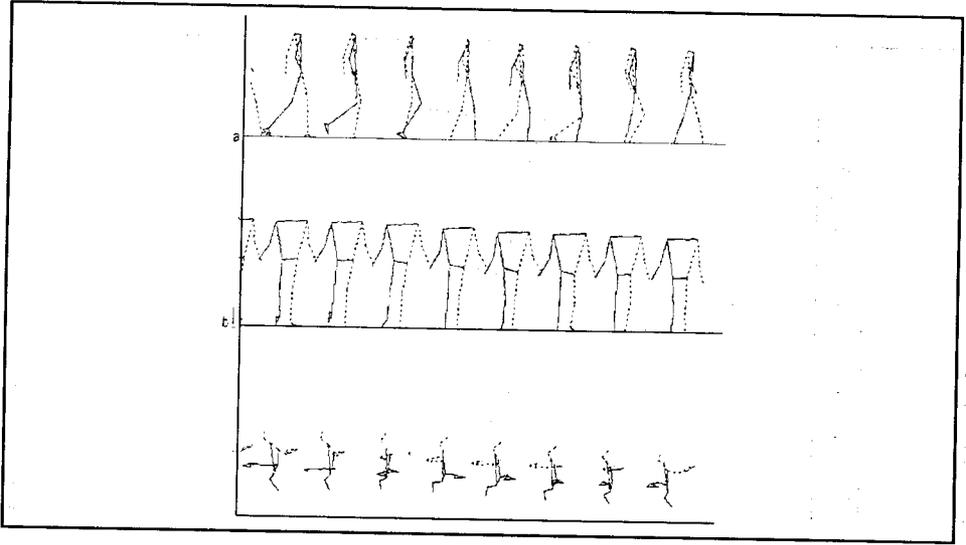
شکل (ب)

111 101 91 81 71 61 51 41 31 21 11 1

cm -20 -10 0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120 y



شکل (ج)



شكل (١٢)

رسم تخطيطي للصور المتباعدة لشخص يسير من الشمال إلى اليمين بالنظر في ( أ ) المستوى السهمي باعتباره المستوى العام لاتجاه التسلسل، ( ب ) المستوى الأمامي، ( ج ) المستوى الأفقي.

هامان Hamaan وميلر Milier (١٩٨٢) تناولوا هذا التأثير. يتطلب هذا التكنيك معايير قبلية لتحديد مصفوفة الانتقال.

دين هان Den Haan ودين برينكير Den Brinker (١٩٨٨م) رسما العوامل الهامة المؤثرة في دقة القياس لمتابعة الهدف. استمرار التعاقب سبب بعض عدم وضوح العلامات المرجعية وكان هذا بالنسبة لكلا وضوح الزمن، حجم العلاقات، بالإضافة إلى وضع الكاميرات بالنسبة لكل منها وإمكانية توليد مقومات الخطأ.

تازى Tsai (١٩٨٧م) أقر تكنيك جديد لمعايرة الأبعاد الثلاثة للكاميرا من أجل قياس الآت الرؤية المستخدمة لغلق - ال - رف Off the Shelf للكاميرات الفيديو والعدسات المكبرة. هاتان الطريقتان تهدفان إلى فعالية حساب البيانات الداخلية والخارجية للكاميرا والتي من خلالها يمكن تحديد التناسق في نفس وقت استخدام كاميرات الفيديو العادية. الجهود ما زالت تبذل لتطوير توحيد تكتيكات إعادة تركيب الأبعاد الثلاثة أو لتطوير تكنيك جديد لعدد الكاميرات المتحركة. حول المشاكل التي حددت بالنسبة لوضع الكاميرا وحساب حدود الزمن، ما زلنا نحتاج إلى تكنيك نثق فيه، ولكن هناك طرق جبرية ظهرت بظهور الأخطاء.



## الفصل الثالث

أولاً : إقلال خطأ إعادة التركيب

ثانياً : أنواع الكاميرات وتشويش العدسة

ثالثاً : فنيات إعادة التركيب

رابعاً : هدف المعايرة وخطأ إعادة التركيب

المراجع



## الفصل الثالث

### أولاً: إقلال خطأ إعادة التركيب *Minimizing Reconstructed Coordinate Error*

كل قياس يقترن بخطأ يجعله أكثر أو أقل دقة. بيرتيل هارلريت Bertil Harlret (١٩٦٠م) استقر على أن حقيقة الأخطاء وهم لأن القيم بالضبط نادر معرفتها، لذلك فإن اصطلاح مشاهدة يفضل عن بالضبط أو حقيقة، لذلك استخدم في هذا الكتاب القياس.

تؤثر عوامل كثيرة على نوعية إعادة تركيب الاحداثيات وأعظمها اختراع التصوير، التعرف على العلاقات، وتشغيل الكاميرا، ومعايرتها. وقبل مناقشة مصادر هذا الخطأ، باختصار نحذر عند حدوث خطأ إعادة تركيب الإحداثيات: الأخطاء المأخوذة من الدرس (المحاضرة) مثل المتوسط الحسابي، الانحراف المعياري، والجذر التربيعي للمتوسط الحسابي، النسبة المئوية، التقدير، وهكذا. هذه الاصطلاحات يجب أن تؤخذ بعنايه واهتمام وتستخدم بحرص.

### تعريف مصطلح الخطأ Error Definition Terminology

أى فرد يجب أن يميز بين الدقة والتدقيق. فيما سبق اشرنا إلى الاختلافات بين المشاهدة والقيم المقاسة ونشير الآن إلى القدرة على تكرار القيم المقاسة وإمكانية الاحتفاظ بها أو الحصول عليها. يمكن التفكير فى ذلك كنظام ومكونات خطأ عشوائى، نسبياً.

ونحن ننصح بأن خطأ متوسط الجذر التربيعى (Root Mean Square Error) (RMS) المعطى والمعبر عن النسبة المئوية لمتوسط مسافة الكاميرا الأساسية للهدف. يعبر عنه بالمعادلة:

$$E_{RMS} = \sqrt{\frac{\sum (XR - Xi)^2}{N}} \dots\dots(6)$$

حيث أن  $N =$  عدد المشاهدات،  $X_R =$  قيمة المشاهدات  $X_i =$  قيم الخطأ. بالإضافة لذلك، يجب أن تطبق فقط إحصائيات نقطة الهدف التي لا تستخدم في تحديد الثوابت التحليلية.

لعرض الفرق بين خطأ المتوسط الحسابي وخطأ المتوسط الحسابي المطلق، خطأ الجذر التربيعي للمتوسط الحسابي (RMS).

ولتوضيح الفرق بين خطأ المتوسط الحسابي، والخطأ المطلق للمتوسط الحسابي وخطأ الجذر التربيعي للمتوسط الحسابي، نعطي كمثال ١٢ قياساً تم فيها إعادة تركيب العلامات عن طريق كل علامة على أخرى.

الجدول (١) يشير إلى أن قيمة المتوسط الحسابي تؤول إلى الصفر. وهناك تأرجح بسيط جداً حوالى (١١, ٠ مم) فى التجهيزات، والخطأ العشوائى حوالى (١٢, ٠ مم) فى كل إحدائى. وخطأ المتوسط لا يكون مناسباً لإظهار دقة الأداة لأن الأخطاء السالبة تلغى الأخطاء الموجبة المماثلة لها.

وهنا خطأ المتوسط الحسابى المطلق (٣٧, ٠ مم) وخطأ متوسط الجذر التربيعى (RMS) (٤٤, ٠ مم) وكل منهم ثلاثة أضعاف خطأ المتوسط الحسابى. وخطأ متوسط الجذر التربيعى يحفظ تقدير دقة الأداة.

(1) جدول

المتوسط الحسابي، الانحراف المعياري، الخطأ المطلق، خطأ الجذر التربيعي للمتوسط الحسابي

| الاختلاف<br>المطلق | $\Delta Z$<br>(مم) | $\Delta Y$<br>(مم) | $\Delta X$<br>(مم) | العلامة                  |
|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------------|
| ٠,٥١               | ٠,٤٣               | ٠,١٨               | ٠,٢١-              | ١                        |
| ٠,٤٠               | ٠,٢٠-              | ٠,٣٠               | ٠,١٨               | ٢                        |
| ٠,٢٧               | ٠,٠٢-              | ٠,٢٦-              | ٠,٠٥               | ٣                        |
| ٠,٢٨               | ٠,٥٢               | ٠,١٨               | ٠,٠٩-              | ٤                        |
| ٠,٣٦               | ٠,٣٤-              | ٠,٠٨-              | ٠,٠٧-              | ٥                        |
| ٠,٥٨               | ٠,٤٥-              | ٠,٢٣-              | ٠,٢٨               | ٦                        |
| ٠,٢٧               | ٠,١٥               | ٠,١١               | ٠,١٩               | ٧                        |
| ٠,٤٢               | ٠,٢٤               | ٠,٣٢-              | ٠,١٤               | ٨                        |
| ٠,٢٨               | ٠,٦٧-              | ٠,٠٣               | ٠,٠٧               | ٩                        |
| ٠,٣٨               | ٠,٢٧               | ٠,٢٧               | ٠,٠٤-              | ١٠                       |
| ٠,٤٩               | ٠,٠٩               | ٠,٣٣               | ٠,٣٥-              | ١١                       |
| ٠,١٤               | ٠,١٤-              | ٠,٠٢-              | ٠,٠٠-              | ١٢                       |
| ٠,١١               | ٠,١٠               | ٠,٠٤               | ٠,٠٢               | خطأ المتوسط الحسابي      |
|                    | (٠,٣٥)             | (٠,٢٣)             | (٠,١٨)             | (الانحراف المعياري)      |
| ٠,٣٧               | ٠,٢٩               | ٠,١٩               | ٠,١٤               | الخطأ المطلق             |
|                    | (٠,١٩)             | (٠,١١)             | (٠,١١)             | (الانحراف المعياري)      |
| ٠,٤٤               | ٠,٣١               | ٠,٢٦               | ٠,١٧               | خطأ متوسط الجذر التربيعي |

ملحوظة: حسب القيم من قياس وإعادة تركيب العلامات المرجعية التي لم

تستخدم في تحديد ثوابت تكنيك الانتقال الخطي المباشر (DLT).

غالباً فى التصوير المساحى يعبر عن الخطأ النسبى للمسافة من قاعدة الكاميرا إلى الهدف. وفى هذه الحالة خطأ متوسط الجذر التربيعى (RMS) لقاعدة الكاميرا والهدف سيكون بنسبة (١:٢, ٩٥١). بالإضافة لذلك إذا كان اختلاف العدسة (١٢مم أو بتقريب العدسة)، استخدم بدلاً من عدسة ٨مم، سوف يتعادل اختلاف الخطأ مع وضع الكاميرا المشابه. زيادة طول البعد البؤرى للعدسة مناسب لجعل الكاميرا قريبة من الهدف.

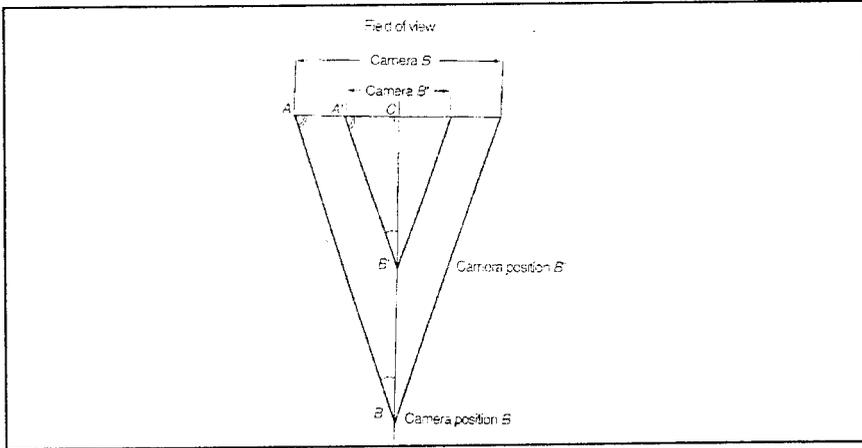
استخدام نفس الكاميرا ونفس العدسة، يكون تغير الخطأ خطى تقريباً خلال المسافة من قاعدة الكاميرا إلى الهدف.

ولأن المسافة بين قاعدة الكاميرا والهدف متنوعة من كاميرا إلى أخرى، بناء على ذلك فإن مسافة البعد البؤرى المستخدمة يمكن تعديلها بسهولة وتكون أفضل فى التعبير عن الخطأ كتناسب لمجال الرؤية. ويمتلك هذا التأثير على انخفاض النسبة، لأن عرض مجال الرؤية عادة أقل من المسافة من الهدف إلى قاعدة الكاميرا، والشكل (١٣) يعرض المثلث  $ABC$  مشابه المثلث  $A'B'C'$  وكذلك  $AB/A'B'$  هى نفسها  $AC/A'C'$ . كيف سيحدد طول مجال الرؤية؟ هل هو الرأسى، الأفقى أو المسافة القطرية؟.

## جدول (٢)

المتوسط الحسابي، والخطأ المطلق، وقيم خطأ الجذر التربيعي للمتوسط (RMS) باعتبارها كنسبة مئوية لاختلاف المسافات.

| خطأ الجذر التربيعي للمتوسط الحسابي (RMS) | الخط المغلق | المتوسط الحسابي | المسافة   |
|--|-------------|-----------------|---|
| ١:٢,٩٥١                                  | ١:٣,٥٠٩     | ١:١١,٨٠٣        | الكاميرا - القاعدة إلى الهدف<br>١,٢٩٣ مم                |
| ١:١,٩٣١                                  | ١:١,١٠٨     | ١:٣,٧٢٧         | مجال الرؤية الأفقي (٤١٠ مم)                             |
| ١:١,٠٤٢                                  | ١:١,٢٣٩     | ١:٤,١٦٧         | المائل (القطري)<br>(٤١٠ في ٢٠٥ مم،<br>٤٥٨,٤٠ مم)        |
| ١:١,١٤١                                  | ١:١,٣٥٧     | ١:٤,٥٦٥         | القطر الخاص<br>(٤١٠ في ٢٠٥ في ٢٠٥ مم،<br>٥٠٢,٢ مم قطري) |



شكل (١٣)

علاقة النسب المثلثية المتشابهة بين الأوضاع المختلفة للكاميرا

إذا كان كل مسافة من تلك المسافات الرأسية والأفقية أو القطرية صحيحاً، فالقطرية ينتج أفضل تعبير لمجال الرؤية، لأنها تحتوى على الارتفاع والعرض. ومع ذلك لأنهم جميعاً يرتبطون بالمسافة بين الكاميرا والهدف، والتي يمكن بسهولة قياسها ومقارنتها بمجال رؤية الكاميرا، سوف يستخدم متوسط المسافة بين القاعدة والهدف. وتعوض قيم المعايير المائلة فقط أى تجزئته لمجال رؤية الكاميرا، وهى تستخدم لإنتاج أقل نسبة.

أى علامات رجوع استخدمت على التوالى فى معايرة الثوابت التحليلية سوف تنتج عامة خطأ بسيط، لأن البيانات التحليلية تكون على استعداد مثالى لكل من النقاط. (استخدم هذا الخطأ فى حساب كل من نقاط الرجوع كحد أدنى لإظهار أنسب ثبات للعمليات).

وعلى التوالى تستخدم فقط علامات الرجوع للإحداثيات الباقية فى حساب الخطأ. برنامج مارزان Marazan للكمبيوتر للانتقال الخطى المباشر (DLT) سنة (١٩٧٥م) أظهر مستوى الخطأ أو خطأ الانتقال الخطى المباشر لبيانات ١١ انتقال خطى مباشر. عند محاولتنا ربط خطأ الانتقال الخطى المباشر (DLT) بالخطأ المطلق (قبل الاختلال بين المتوسط الحسابى المطلق والمرجع ومقياس الإحداثيات)، نحن نجد أن خطأ الانتقال الخطى المباشر (DLT) كان دائماً دلالتة الإحصائية منخفضة عن أندريه André، دانسيريو Dansereou و آارد Allard (١٩٩٠م). فى محاولة عملية، عندما يزيد خطأ علامة الرجوع من صفر مم إلى ٥ مم، يزيد خطأ الانتقال الخطى المباشر من صفر مم إلى ٤,٥ مم. بينما وصل الخطأ المطلق إلى أقصى من ٥,٥ مم خلال وصول قمة الخطأ إلى ٥,٣ مم.

وباختصار، خطأ متوسط الجذر التربيعى (RMS error) سوف يحسب من احداثيات العلامة التى لم تستخدم فى عمليات المعايرة، ونسبة متوسط الجذر التربيعى (RMS) أو الخطأ المطلق سوف تعبر عن العلاقة بين متوسط المسافة من الكاميرا إلى الهدف (Camera bias- to Object).

## ثانياً: أنواع الكاميرات وتشويش العدسة *Camera Types and Lenas Distortion*

المكونات الأساسية لنظام التصوير المساحى البصرى هى استخدام الكاميرا إما للقياس أو عدم القياس، عدم تسطح الفيلم، العدسة. كل من تلك المكونات الأساسية تعطى خطأ للقياس، ولكن نماذج قاعدة إعادة التركيب الثلاثى الأبعاد لا تصحح مصادر خطأ هذه المكونات.

التكنيكات المتداخلة مثل الانتقال الخطى المباشر DLT، بدلت الخطوات المجهدة لمعايرة الكاميرا. كرارا Karara وعبد العزيز Abdel Azez (١٩٧٤م) قارنوا دقة طرق الانتقال الخطى المباشر (DLT) المستخدمة فى الكاميرا القياسية وأربع أنواع من الكاميرات غير القياسية الكاميرات غير القياسية كانت Hon-Kodak In-، Hanssed 500c، Crown Grophic، eywell Pentax Spotmatic stamatic 154 Camera أما الكاميرا القياسية كانت Hasselbad Mk 70. الانحراف المعيارى لخطأ الجذر التربيعى للمتوسط الحسابى (RMS) حسب موضع النقاط المرجعية عند المسافات بين قاعدة الكاميرا والهدف من (٠,٠٠م)، (٠,٥م) وكانت دائماً القيم الأصغر لخطأ متوسط الجذر التربيعى خلال تقارب أوضاع الكاميرا وكان الانحراف المعيارى لخطأ المتوسط الحسابى للجذر التربيعى الاكبر (١,٣مم) (حصل عليه من The Kodlak Instamatic Camera) ونسبة حوالى ١ : ١,٧٨٠ بالنسبة للمسافة من قاعدة الكاميرا إلى الهدف. خطأ الجذر التربيعى للمتوسط الحسابى من خلال الكاميرات غير القياسية الأخرى كان ٥٥٪ إلى ٧٥٪ أصغر من خطأ Instamatic Camera. ولم يكن الاختلاف حاد بين خطأ الكاميرات غير القياسية والكاميرا القياسية، حيث النسب بالنسبة للمسافة من قاعدة الكاميرا إلى الهدف بالتنوع ما بين ١ : ١,٧٧٤ (Instamatic) ما بين ١ : ٥,٢٠٠ (Pentax).

واستخدموا شخصياً Nikon FE Cameras مجهزة عن Nikkor بعدسة مكبرة ٥٥مم، ونتج مدى خطأ مطلق ٣٣,٠مم (١ : ١,٥٤). ودقتهم حددت عن طريق أصبع رسم لوحة الرسم بخطأ ٤,٠مم وعمليات التحليل اليدوية.

فرازير Fraser (١٩٨٢م) تمكن من الوصول إلى نسبة (١ : ٠.٠٠٠ و ١٠) أو أفضل من خلال الكاميرات غير القياسية وبطريقة نوع الانتقال الخطى المباشر (DLT).

مجموعة التصوير المثلثية المتعددة المحطات فى وقت واحد صنعت لاستخدام تصور المعايرة الذاتية من خلال إضافة البيانات من مجموعة التصوير. ويكون ضمن مجموعة بيانات التصوير بيانات التصوير الثابتة التى تؤخذ من التركيز على تشويه خاصية كل صورة فى الفيلم مع افتراض أن درجة تسطح الفيلم من صورة إلى صورة لا تختلف وتبعاً لرأى فرازير Fraser (١٩٨٢م) يكون عدم ظهور تسطح الفيلم العامل الأكثر مدى دال يمكن إدراكه لدقة تكتيك إعادة التركيب بكاميرا غير قياسية، وبخاصة بالنسبة لكثرة خصائص الكاميرات وقصر طول البعد البؤرى للعدسات.

\* \* \*

### ثالثاً: فنيات إعادة التركيب *Reconstruction Techniques*

يشتمل تكنيك (فنيات) إعادة التركيب على حساب الثوابت المتعددة المرتبطة بالبيانات الداخلية والخارجية للكاميرا، وعوامل تصحيح العدسة والخصائص الأخرى. بعض هذه الثوابت جزء متكامل لفنية إعادة التركيب بينما عوامل التصحيح الإضافية الأخرى تضاف إلى نموذج التصوير المساحى.

فمثلاً: تفترض قاعدة نموذج التصوير المساحى لا مسافة للعدسة. فإذا فرضنا عدم وجود مسافة العدسة عندئذٍ يجب إضافة نوع من الانحراف خاص بإعادة التركيب التحليلي. مع ذلك إذا حدث هذا عند دخول انحراف قليل أو عدم انحراف العدسة. ينتج عندئذٍ خطأ عشوائى أو متأرجح.

الانتقال الخطى المباشر فى الاتجاهات الثلاثة الكامل اللوغارتم (الرمز الحسابى) يحتوى على ٢٢ معلمات (بيانات) الحادية عشر الأولى تساعد مع البيانات الداخلية والخارجية ومع عوامل تصحيح خط العدسة. أى بعد لأسماء الأمر السابع يمكن إضافته لتوضيح استقامة انحراف العدسة، وزيادة عدد العوامل إلى ١٦. ويمكن التعبير عن تهذيب مكونات الصور  $\Delta u$ ،  $\Delta v$  فى المعادلة (٥) كما يلي :-

$$\Delta u = a_1 + au_2 + av_3 + u (K_1 r^3 + K_3 r^4 + K_4 r^5 + K_5 r^6).$$
$$\Delta u = a_4 + a_5 u + a_6 v + v (K_1 r^2 + K_2 r^3 + K_3 r^4 + K_4 r^5 + K_5 r^6). \quad (7)$$

حيث أن  $a_1 =$  الثوابت التى تعكس المكونات الخطية لانحراف العدسة وتشويه الفيلم، وتضم الثوابت العوامل من  $L_1$  حتى  $L_{11}$ ، بينما  $r =$  طول متجه القطر من نقطة تماثل إلى نقطة تحت التركيز ( $u, v$ ).

إضافة الخمس الأولى غير المعلومة،  $K_1 =$  ترتيب عوامل انحراف العدسة. يعكس انحراف العدسة غير التماثل السبب فى مناسبة اجزاء العدسة وتقدير الاختيار من نقطة لأخرى والتى تتماثل كمرجع، نموذج كوترادى Con-

rad (1919م) استخدم للتعبير عن عدم تناسق انحراف العدسة. وأصبحت المعادلة (7):

$$\Delta u = a_1 + a_2 u + a_3 v + u' (K_1 r^2 + K_2 r^3 + K_3 r^4 + K_4 r^5 + K_5 r^6) + P_1 (r^2 + 2u'^2) + 2p_2 u' v.$$

$$\Delta v = a_4 + a_5 u + a_6 v + v' (K_1 r^2 + K_2 r^3 + K_3 r^4 + K_4 r^5 + K_5 r^6) + P_2 (r^2 + 2v'^2) + 2p_1 u' v. \quad (8)$$

حيث أن  $P_1$ ،  $P_2$  = عوامل انحراف العدسة غير المماثلة. والأربع عوامل يمكن إضافتها للمعادلة (8) لتقدير المركب غير الخطي لتشويه الفيلم ليقود إلى اكتمال نموذج تهذيب الصورة من خلال 22 عامل.

$$\Delta u = a_1 + a_2 u + a_3 v + a_4 u^2 + a_5 r^2 + u' (K_1 r^2 + K_2 r^3 + K_3 r^4 + K_4 r^5 + K_5 r^6) + P_1 (r^2 + 2u'^2) + 2p_2 u' v.$$

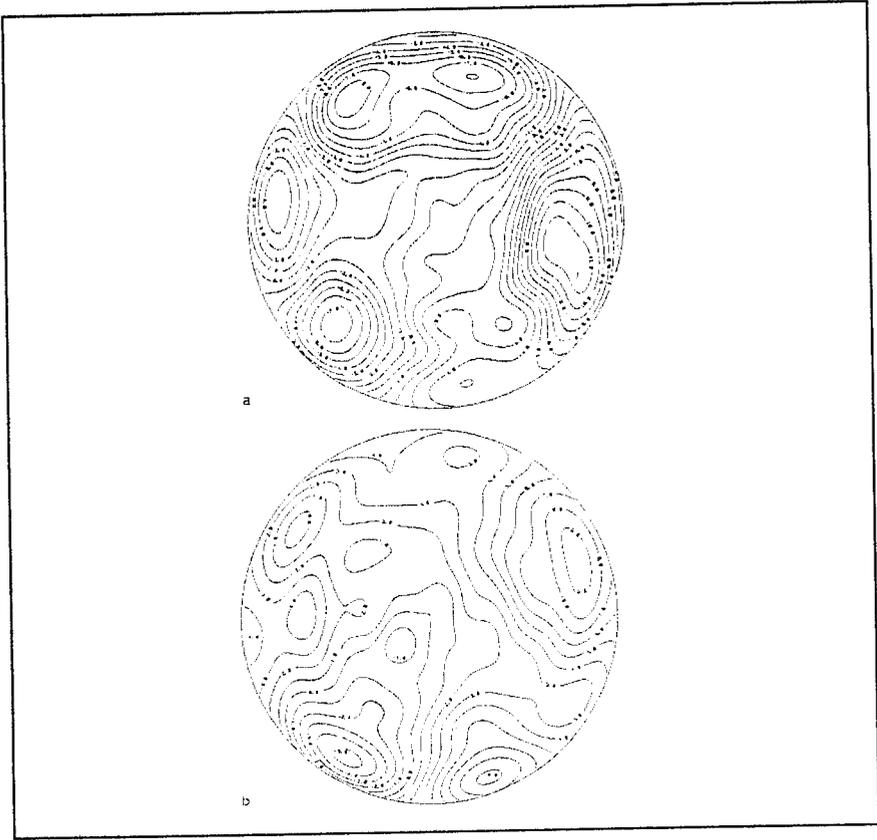
$$\Delta v = a_6 + a_7 u + a_8 v + a_9 2 + a_{10} r^2 + v' (K_1 2^2 + K_2 r^3 + K_3 r^4 + K_4 r^5 + K_5 r^6) + P_2 (r^2 + 2v'^2) + 2p_1 u' v. \quad (9)$$

كذلك،  $\Delta u$ ،  $\Delta v$  كما في المعادلة (9) يجب التعويض عنها تبعاً للقيم في المعادلة (9).

استخدام كاميرات الفيديو، استبدال الفيلم عن طريق استبدال جهاز تقويم التيار والنظام الإلكتروني، والذي ينتج علاقة خطية بين تسليط الضوء على مستوى موضع الصورة ونتائج البيانات. تفاصيل تحضير خرائط اخطاء صور- مستوى الفيديو عرفت عن طريق أنتونسون Antonsson ومان Mann (1989م) والذين استخدموا 12,00 نقطة بأي جهد لمعايرة موضع دقة بعد المجال الداخلي للمنظر عند مدى 3 متر. هذه أقصى درجة لأكبر عدد للنقاط الإرشادية (المرجعية) احتفظ بها عن طريق وحدة قناة طولها 2 متر والتي فوق 30 علامة رجوع وضعت على طول العارضة وقيست بدقة تقل عن 1مم. حسب المقياس باحكام الموتور الناقل وتحكم الكمبيوتر في لوح دائر من خلال

محور دورانه انضم مع المحور الاختياري. ويدور اللوح بزاوية ٥٩°. علاوة على الحصول على ٤٠٠ خطوة حول الدائرة.

مقاييس تساوى القطر ومحيط الدائرة وخطاً الاستدارة لأى كاميرا فيديو يكون بعيداً عن أن يكون نصف قطر، والشكل (١٤) يعرض مثلاً لذلك.



شكل (١٤)

مقياس (أ) تساوى القطر، (ب) تساوى محيط الدائرة وتصحيح الاستدارة

#### رابعاً: هدف المعايرة وخطأ إعادة التركيب *Object Calibration and Reconstruction Error*

هناك مصادر متعددة للخطأ، ولكن ربما الأكثر أهمية وغالباً ما يهمل وهو ارتباط الكمية وإعطاء الأهمية لقياس معايرة الهدف. يكون من السهل معايرة أى اختراع أو أى أداة من أجل الدقة الأكبر من المستوى الذى تقارن به. لهذا دويبلن Doebelin (١٩٧٥م) أوصى باستخدام مستوى معايرة ١٠ مرات لضبط الدقة المطلوبة للاختراع أو لمعايرة الاداة.

فى التصوير المساحى يكون هذا أكثر تداخلاً لأننا نستخدم الهدف الذى يقاس بدنيا بمعايرة البيانات الداخلية والخارجية للكاميرا بالتدرج، دقة التجهيزات تستخدم فى معايرة رجوع الهدف ويكون متعارض لأنه أيضاً يتأثر بدقة إعادة تركيب الأبعاد الثلاثة. الشكل (١٥) يلخص بالتدرج مصادر الأخطاء التى يمكن حدوثها فى خطوات مختلفة نحو الحصول على إعادة تركيب الإحداثيات غالباً، إحداثيات العلامات الإرشادية على الهدف المعايير يتحدد باستعمال خريطة مستوى المقاس التى دقتها ٠,٥ مم. فالقارئ يحكم تقرير دقة إعادة تركيب إحداثيات الأبعاد الثلاثة. بعض مصانع إنتاج الفيديو أسست الانظمة لمعامل باختراعات المعايرة، التى سوف تساهم فى تقليل الخطأ.

إلى جانب الانتباه المعطى لقياس معايرة الهدف، هناك عدد من العوامل الأخرى التى تؤثر على الدقة.

وهذه تشمل على العدد وعلى اختيار علامات الرجوع (الإرشادية) المستخدمة فى تكنيك إعادة التركيب، شكل الهدف المعايير، بالنسبة لوضع الكاميرا، ولوغارتم إعادة التركيب.

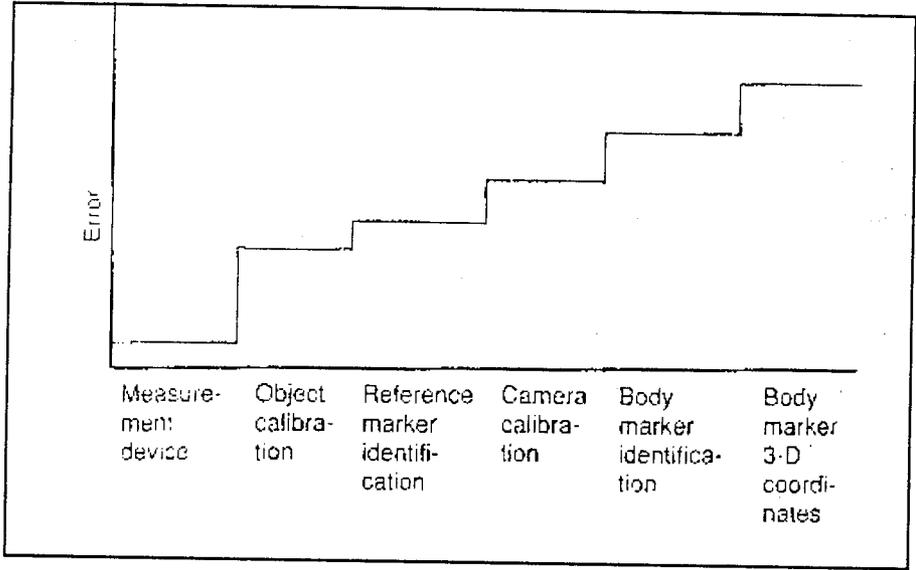
الحد الأدنى لعدد النقاط المختارة لتحليل البيانات غير المعروفة فى لوغارتم إعادة التركيب تبدل تبعاً للتكتيك المستخدم، من أجل الانتقال الخطى المباشر (DLT)، تنسيق الصورة يتطلب ما لا يقل عن ٦ علامات رجوع.

شابيرو Shapiro (1978م) أوصى باستخدام من 12 إلى 20 علامة رجوع. إذا استخدم أكثر من 6 علامات رجوع، تؤدي أقل توافقاً للتربيعات، الخطأ لا يكون منشطاً للتأثير عن طريق عدد النقاط، ما دام معايرة الهدف بدقة جيدة. لوريكس، آلارد ومورفي Leroux, Allard and Murphy (1990م) قاسوا موضع العلامة من  $\pm 0.2$  مم خلال نظام معايرة حوالى 27, 30 مم ومع مسافة من قاعدة الكاميرا إلى الهدف مقدارها 600, 30 مم مع من 8 حتى 20 علامة رجوع، كانت قيمة الخطأ المطلق 41, 34 مم على التوالي.

يجب التنبيه إلى أنه عندما تزيد عدد النقاط يقل خطأ إعادة التركيب. أقل تربيع سوف يقترب من إنتاج أفضل تهذيب، ويستخدم لأكثر سلاسة لنقاط الرجوع عن الحد الأدنى، ويكون فعال، ومهما يكن، أيضاً تهذيب أقل تربيع يستخدم لإقلال الخطأ العشوائى، ولا يكون مستخدم فى تصحيح الانحراف التجريبي لهذه النتائج من معايرة مرجع الهدف. الخطأ يجب يقدر ليست فقط بالنسبة للأطوال لمسافة بين علامتين ولكن أيضاً بالنسبة لإحداثيات العلامات المطلقة بنفسها أو بالنسبة لطول العامل المخترع عند النظام الإحداثى للمعمل والعلامة.

تشويش العلامات المرجعية خلال المعايرة يكون أيضاً مهم. ليروكس Le-roux (1990م) قارن الأخطاء بعد المعايرة بإضافة علامات انحرفت نحو الأمام، وللقمة، أو للجانب الأيمن للمكعب المرجعى. أولاً، كان هناك 8 علامات، وعلامة فى كل ركن، وكانت سبع علامات مضافة بالزيادة.

ويلخص الجدول (3) النتائج التى تعرض أن تشويش الانحراف لعلامات الرجوع ضعف الخطأ وبخاصة فى الاتجاه العمودى على مستوى الفيلم (الاتجاه Z).



شكل (١٥)

انتشار الاخطاء الدالة للخطوات المختلفة المتبعة للحصول على إعادة تركيب الابعاد الثلاثة.

جدول (٣)

الخطأ المطلق (الانحراف المعياري) لكل من العلامات المشوشة المعالم

| قيمة الخطأ | EZ<br>الخطأ السهمي<br>(ف س) | EY<br>الخطأ الراسي<br>(ف ص) | EX<br>الخطأ الأفقي<br>(ف س) | موضع<br>العلامة |
|------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------|
| ٠,٥٤       | ٠,٤٦                        | ٠,١٨                        | ٠,٢٣                        | القمة           |
| (٠,٤٥)     | (٠,٣٦)                      | (٠,١٨)                      | (٠,١٩)                      |                 |
| ٠,٥٨       | ٠,٤٨                        | ٠,٢٣                        | ٠,٢٢                        | اليمين          |
| (٠,٤٥)     | (٠,٣٦)                      | (٠,٢٢)                      | (٠,١٧)                      |                 |
| ٠,٥٧       | ٠,٤٧                        | ٠,٢٣                        | ٠,٢٣                        | أمام            |
| (٠,٤٩)     | (٠,٤٠)                      | (٠,٢٢)                      | (٠,١٩)                      |                 |

## جدول (٤)

الخطأ المطلق (الانحراف المعياري) في إحدائيات علامات الهدف

| قيمة الخطأ                      | خ س EZ               | خ س EY              | خ س EX               | النوع | موضع العلامة |
|---------------------------------|----------------------|---------------------|----------------------|-------|--------------|
| ✓ خ س ٢ + خ ص ٢ + خ ي ٢<br>(مم) | الخطأ السهمي<br>(مم) | الخطأ الرأس<br>(مم) | الخطأ الأفقي<br>(مم) |       |              |
| ٠,٣٩                            | ٠,٣١                 | ٠,١٧                | ٠,١٦                 | داخلي | خلف          |
| (٠,٢٨)                          | (٠,٢٠)               | (٠,١٥)              | (٠,١٣)               |       |              |
| ٠,٦٠                            | ٠,٢٦                 | ٠,٣٣                | ٠,٢١                 | خارجي |              |
| (٠,٤٧)                          | (٠,٣١)               | (٠,٢٦)              | (٠,٢٤)               |       |              |
| (٠,٥٥)                          | ٠,٤٨                 | ٠,٢١                | ٠,١٧                 | داخلي | يسار         |
| (٠,٣١)                          | (٠,٢٤)               | (٠,١٧)              | (٠,١٠)               |       |              |
| (١,٥٠)                          | ١,٣٧                 | ٠,٣٩                | ٠,٤٧                 | خارجي |              |
| (١,٠٢)                          | (٠,٩٦)               | (٠,٢٦)              | (٠,٢٣)               |       |              |
| ٠,٥٣                            | ٠,٤٤                 | ٠,٢٦                | ٠,١٤                 | داخلي | أعلى         |
| (٠,٢٧)                          | (٠,١٩)               | (٠,١٧)              | (٠,٠٨)               |       |              |
| ٠,٧٩                            | ٠,٤٣                 | ٠,٣٩                | ٠,٥٤                 | خارجي |              |
| (٠,٤٧)                          | (٠,٢٩)               | (٠,٢٦)              | (٠,٢٧)               |       |              |

تنبيه: وقعت العلامات الداخلية خلال معايرة المسافة - وقعت العلامات الخارجية خارج معايرة المسافة.

منذ لحظة معايرة التصوير المساحي، عندئذ يكون في الإمكان تحديد مواضع علامة الهدف. ولتجنب استكمال الأخطاء، سوف نسقطهم خلال معايرة الكادر. يعرض جدول (٤) الخطأ المطلق في إحداثيات علامات الهدف ممتداً من الخلف إلى اليسار أو من أعلى عن معايرة الكادر : الخطأ الضعف أو أكثر.

Wood ومارشال Marshall (١٩٨٦م) وجدا أن استكمال الخطأ كان ٥٠٪ إلى ١٠٠٪.

### خلال هذا الفصل، سلّمنا بما يلي:

أ- أن تعدد علامات الصور يسهل تعريفها.

ب- أنها تظهر وصف علامات المفاصل للجسم. بالإضافة لذلك، عملياً ملفات البيانات يجب أن تكون معدة للطبع وإبعاد التشويش من إدخال مصادر الضوء إلى العلامات الحمراء بعد الحساب أو مشاكل الظلال، وحشر البيانات الخاطئة، ولتصحيح نتائج إزاحة العلامة من حركات الجلد، وهكذا. والترينج Woltring، وهويسكس Huiskes (١٩٩٠م) تنبأ بأن الزمن عند التعرف على المجموعة. وتكنيك الذكاء الصناعي يجب أن يكون أكثر انتشاراً لتطبيق بيانات أنظمة الحاسب الآلي من أجل تحليل حركة جسم الإنسان.

**المراجع**  
**REFERENCES**

- 1 - Allard, P., Duhaime, M., Labelle, H., Murphy, N., & Nagata, S. (1987). Spatial reconstruction Technique and Kinematic Modeling of the ankle. *Engineering in Medicine and Biology*, 6, 31- 36.
- 2 - André, B., Dansereau, J., & Arllard, P., (1990, November). Calibration Object Measurements and Three- Dimensional reconstruction accuracy of the DLT algorithm. Paper Presented to the 14 th annual Meeting of the American Society of Biomechanics, Miami, FL.
- 3 - Antonsson, EK., & Mann, R.W. (1989), Automatic 6- D.O.F Kinmatic Trajectory acquisition and analysis *Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control*, 111, 31- 39.
- 4 - Ayoub, M.A., Ayoub, M.M., & Ramey, J.D. (1970). Astereometric System For Measuring human Motion. *Human Factors*, 12, 523- 535.
- 5 - Conrady, A. (1919) Decentering Lens Systems. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 79.
- 6 - Dapend, J. Harman, E.A., & Miller J.A. (1982) Three- Dimensional Cinematography With Control Object of Unknown Shape *Journal of Biomechanics*, 15, 11- 19.
- 7 - de Groot, G., de Koning, J., & Van Ingen Schenau, G.J. (1989) Method to determine 3-D Coordinates With Panning Camers, Paper Presented to the Xllth International Society of Biomechanics Meeting, Los Angeles, 297.
- 8 - de Haan, T., & den Brinker, B- (1988) Direct Linear Transformation Method For 3-D registration Using Subject Tracking Cameras. In. G. de Groot, P.A. Hollander, P.A. Huijing, & G. J. Van Ingen Schenau

- (Eds.) Biomechanics XI- B (pp 1051- 1056). Free Univrsity Press.
- 9 - Doeblin, E.O. (1975) Measurement Systems: Application and Design. New York: Mc Grow- Hill.
  - 10 - Fraser, C.S. (1982) On the use of Nonmetric Cameras in analytical Close- rang Photogrammetry. Canadian Surveyor, 36, 259- 279.
  - 11 - Hallert, B. (1960). Photogrammetry, New York: Mc Grow- Hill.
  - 12 - Krara, H. M., & Abdel- Aziz, Y.I.. (1974) Accuracy aspects of non-Metric Imageries. Photogrammetric Engineering, 40. 1107- 1117.
  - 13 - Leroux, M., Allard, P., & Murphy, N. (1990, November). Accuracy and Precision of the direct Linear Technique (DLT) in Very- Close-range Photogrammetry With Vidio Cameras. Peper Presented to the 14th annual Meeting of the American Society of Biomechanics, Miami, Fl.
  - 14 - Marzan, G.T. (1975). Rational desigan For Close- range photomm-etry, Doctoral dissertation, University of Illinois at Urbana- Cham- pion, Xerox University Micro Films.
  - 15 - Shapiro, R. (1975). Direct Linear Transformation Method For Three- Dimensional Cinemato graphy. Research Quaretly, 49, 197- 205.
  - 16 - Stokes, I.A.F., Bigalow, L.G., & Mareland, M.S. (1987) Three di- mensional Spinal Cuvature in idiopathic Scoliosis. Journal of Or- thopaedic Research, 5, 102- 113.
  - 17 - Tsai, R. Y. (1987), Aversatile Camera Calibrton Technque For high- accuracy 3-D Machine Vision and Electronic Engineering Journal of Robotics and Automation, RA-3, 323- 344.
  - 18 - Wolf, P. R. (1983). Elements of Photogrammetry. New York: Mc Grow- Hill.

- 19 - Waltring, H.J., & Huiskes., R. (1990) Stereo photogrammetry- In. 14. Berme & Acappozzo (Eds), Biomechanics of human Movement: Applications in rehabilitation, Sports and ergonomics (pp. 108- 127). Worthington. OH: Bertec Corporation.
- 20 - Wood, G.A., Marshall, R.N. (1986). the accuracy of the DLT extrapolations in Three- dimensional Film analysis. Journal of Biomechanics, 19, 781- 785.