



## الباب الرابع

النظم التي تعتمد على الوسائل الالكترونية البصرية

Optoelectronic - Based Systems



يتناول هذا الفصل استخدام أجهزة الإحساس أو الرصد البصرية للحصول على معلومات مترابطة فيما يخص حركة الإنسان. وتتضمن هذه النظم عدة مزايا لأنها تعتمد على مبادئ بصرية (غير مباشرة) يمكن تشغيلها أوتوماتيكياً بصورة سريعة ودقيقة دون الحاجة لتدخل الإنسان. والتطور السريع الذى تحقق فى هذه النظم أسفر عن ثورة حقيقية فى مجال تحقيق حركة الإنسان خلال الفترة الحالية (بيدوتى Bedotti ١٩٩٠م).

وأول النظم الاوتوماتيكية لقياس الحركة كانت تعتمد على جهاز Electro-gonio meter (المنقل الاتوماتيكي) أو قياس الزوايا الاتوماتيكي لاجزاء الجسم. وقد شكل ذلك عدة مشاكل معروفة فى تقييد الحركة والذى لا يسمح الا بقياس الزوايا الموجهة لأجزاء الجسم وفى منتصف السبعينيات ظهرت أول النظم التى تعتمد على تصوير كاميرا الفيديو وكانت هذه النظم تكشف عن محددات الحركة النشطة أو غير النشطة على أساس البريق الناتج عنها. (شينج cheng وكوزيكانانى Koozikanani وفاتشى Fatchi ١٩٧٥م - فيزى Fuzee وآخرون ١٩٧٤م - جاريت Jarrett اندرو Anderw وبول Poul ١٩٧٦م - وينتر Winter وجرينلو Greenlow وهوبسون Hobson ١٩٧٢م). . . ولهذا كان يجب أن تكون المحددات أو العلامات أكثر بريقاً من غيرها فى الصورة حتى يسهل ملاحظتها عن طريق الضبط المسبق لإشارات الفيديو. والكشف المبديى يتطلب عناية كبيرة لتجنب ظهور أشياء أكثر بريقاً فى الصورة. وهكذا فقد تم استخدام علامات كبيرة نوعاً لزيادة مقدار الطاقة التى تعكسها أو تنبعث منها وهذه العلامات الكبيرة تقلل من المسافة المسموح بها بين الأشياء. ودقة مثل هذه النظم يحددها مدى ثبات أجهزة الإحساس (الرصد) لأن المعلومات الموجودة بالصورة تنتقل فقط من خلال اللونين الأبيض والأسود بعد الضغط المسبق.

وأحدث هذه النظم التى ظهرت فى منتصف الثمانينات يعتمد على استخدام أساليب إدراك نمطية للكشف عن العلامات وبهذا تتغلب على عقبة

النظم التى تعتمد على الضبط المبدئى . . أولاً: فإن استخدام أساليب التعامل مع الصورة يسمح بالكشف عن العلامات فقط فى حالة ملاءمتها للشكل المحدد مسبقاً (فيريجنو Ferrigno، بورغيس Borghese وبيدوتى ١٩٩٠م، فيريچنو وبيدوتى ١٩٨٥م) . . وهكذا فإن حساسية الكشف تصبح عالية إذا ما قورنت بنظم الضبط المسبق السابق ذكرها . . ثانياً: تمكنا هذه النظم من استرجاع العديد من المعلومات الخاصة بوضوح العلامة من خلال استخدام جميع درجات اللون الرمادى وهذا ما يزيد من فعالية هذا النظام.



## الفصل الأول

المكونات الرئيسية لنظام قياس الأبعاد الثلاثة

Principal Components of A3 - D Measurement System



## الفصل الأول

### المكونات الرئيسية لنظام قياس الأبعاد الثلاثة:

هناك ثلاثة أبعاد لقياس حركة الإنسان قد تم إخضاعها للكشف فى مسارات لعدة نقاط تحدد أوضاع أجزاء الجسم. فالشكل (١٩) يشير إلى عدة أجزاء فى نظام الثلاثة أبعاد. وهناك مستويين للتشغيل يمكن تمييزهما على أساس مدى سرعة أو تعقيد التنفيذ. المستوى الأول أو المنخفض يستخدم لجمع مركبتى البعدين لعدة علامات فى إطار كل جهاز. فى النظم الاتوماتيكية يتم أداء هذه المهمة فى نفس الوقت أما مدى تعقيد التعامل فيعتمد على الأساس المستخدم فى الكشف عن المركبات وهذا بدوره يؤثر فى مستوى الاداء العام للنظام.

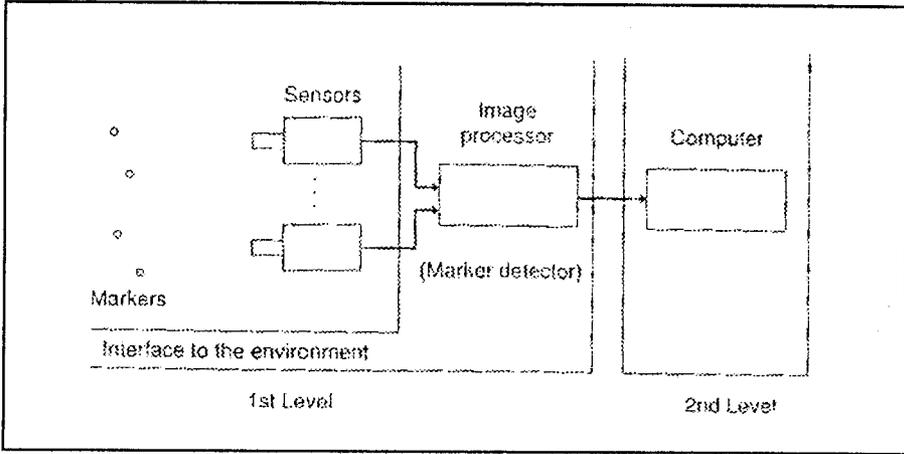
ويمكن تقسيم المستوى الأول لجزئين الجزء المشترك مع البيئة المحيطة والذى يشمل مجموعة من العلامات وجهاز الرصد بالصورة مع جهاز التعامل مع الصورة.

والمستوى الثانى المرتفع يستخدم فى التعامل مع العمليات الأكثر تعقيداً والتي يتم تشغيلها على On Line أو الـ Off Line. وهى تشتمل على معايرة الثلاث أبعاد والتشويش، والتصحيح وإعادة بناء الأبعاد الثلاثة والتنقية الرقمية، التصميم وبيان المعلومات. أما التعامل مع البيانات الخاصة بالميكانيكا الحيوية مما يشتمل على القوى ونظام الالكتروميوجراف EMG فيتم أيضاً أداؤها ضمن هذا المستوى. ويتم أداء المستوى الثانى عادة على أجهزة الكمبيوتر ذات الأغراض المتعددة.

تم فى الفصل السابق وصف العلامات المباشرة (والتي تصدر عن قدر معين من الطاقة) و(العلامات غير مباشرة). والأجهزة التي ناقشها هنا هى أجهزة اليكترونية بصرية والتي تتيح القياس دون اتصال مباشر. إنها عبارة

عن كاميرات فيديو (سواء من النوع المميز أو العادي) أو صورة ثنائية بتأثير جانبي أو مجموعات خطية.

ويلعب جهاز معاملة الصورة أو الكاشف عن العلامات دوراً هاماً في تحديد مدى دقة النظام بأسرة. النظم الاتوماتيكية عادة ما تتم على Hard ware ويمكن أن تعتمد على عدة مبادئ تتراوح ما بين الكشف المبدي البسيط وإجراءات الإدراك النمطية.



شكل (١٩)

التركيب العام لمحلل الحركة في الأبعاد الثلاثة

### العلامات المباشرة أو غير المباشرة: Passive or Active Markers

عادة ما تصنع العلامات المباشرة من ورق عاكس للضوء وهي تحتاج للتزويد بالطاقة من أجل زيادة درجة التناقص واللمعان بالنسبة للخلفية ويمكن زيادتها من خلال استخدام جهاز قياس سرعة الدوران أو التردد لتسهيل عملية تمييز العلامة. أم العلامات غير المباشرة فهي أقل ظهوراً ولكنها تتطلب نظام معاملة معلومات أكثر دقة وذكاء.

فالعلامات المباشرة عادة ما تتكون من مناطق ذات طاقات منخفضة (واحد واط 1.w) وصمامات ثنائية تنبعث منها الإضاءة (LEDs) وينتج عن ذلك

مشاكل تتعلق بالشكل المخروطى الذى تتردد داخله وتعكس شدة الإضاءة التى تضمن معدل مقبول من الإشارة والتشويش .

### أنظمة صمامات الإضاءة الثنائية : Light - Emitting Diode Systems

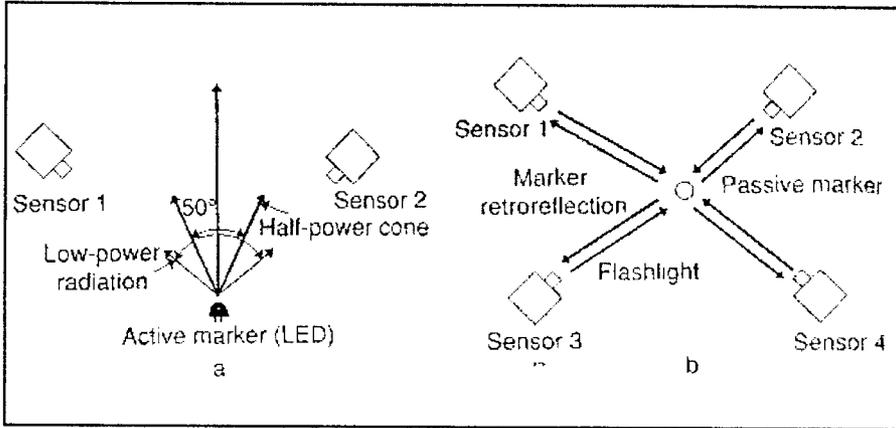
تتطلب العلامات المباشرة وجود موارد طاقة خارجية، وبالرغم من استخدام مصابيح الضوء الغامر كعلامات مباشرة (شينج وآخرون ١٩٧٥م) إلا أن LEDs تستخدم حالياً فى هذا المجال ويكون طول الموجة المرئية للاختيار فى هذه الأجهزة ضمن الأشعة تحت الحمراء (IR) (JR) بقدر يتجاوز mm 2000 بقدر ضئيل وذلك من أجل تفادى إزعاج رؤية الشخص أثناء بقاءه فى مدى حساسية الأجهزة .

والميزة الرئيسية فى العلامات المباشرة هى سهولة تصنيعها أو تمييزها التى سيرد وصفها فيما بعد أيضاً ارتفاع مستوى الاختبارات عند استخدام علامات قليلة ولكن على أية حال أن استخدام هذه النظم لا يخلو من المشاكل .

\* فهى تحدث إعاقة للشخص الخاضع لها بسبب وجود الأسلاك الموصلة لمصدر الطاقة أو وحدة الضبط والتحكم خاصة وإذا كان الحال يتطلب حرية فى الحركة مثل ما يحدث عند دراسة الحركة فى الرياضة ولهذا فقد يكون هذا العيب ذا أهمية بالغة وبالإضافة لذلك فإن الطاقة المأخوذة من مصدر الطاقة وحجمها أيضاً لا يزيد نشاط العلامة أو معدل الاختبار .

\* LEDs يكون لها زاوية إضاءة محددة . وحتى عند استخدام زوايا متاحة أكبر أو عند استخدام وسائل تجارية معدله فإنه من الصعب أن تتجاوز ٥٠° من مدى نصف القوة أو الطاقة وهذا بدوره يخلق مشكلة فى أى وقت يتطلب فيه الأمر أن تقوم العلامة بحركة دائرية أثناء أداء الحركة . وهى أيضاً تشكل مشكلة بالنسبة لأسلوب تحليل 3 - D الذى يتطلب على الأقل جهازين للتصوير . إن الدقة فى الوصول لعمق العمل يمكن أن يتحقق فقط إذا كانت الزاوية بين جهازى التصوير واسعة بالقدر الكافى . ولسوء الحظ فى هذه

الأحوال يكون من الصعب بالنسبة لجهازى التصوير أن يكونا فى مواجهة ال LEDs وحتى اذا حدث ذلك فان القوة المترددة التى تصل لأجهزة الاحساس سوف تكون منخفضة كما هو مبين بالشكل (٢٠ - أ).



شكل (٢٠)

تأثير الوضع النسبى بين أجهزة الرصد (a) العلامات المباشرة، (b) العلامات غير المباشرة

\* إن أجهزة الرصد المستخدمة مع هذه العلامات عادة ما تتطلب اضاءة لوقت مضاعف. وهذا يحد من عدد العلامات التى يمكن استخدامها على الشخص الخاضع للتجربة كما انه يتسبب فى عدم تزامن الاختبارات لمركبتى العلامات والذى يمكن أن يزيد المشكلة سوءاً عند زيادة سرعة الحركات.

### العلامات ذات العواكس الخفية (الارتجاعية): Retroreflective Markers

والبدليل لاستخدام العلامات المباشرة هو استخدام العواكس الارتجاعية المستترة أو غير المباشرة وهذه العلامات تعكس الإضاءة (داخل زاوية ضيقة) فى اتجاه مصدرها وهذا هو نفس الاساس الذى يشير إليه عن طريق العواكس الخلفية فى السيارات أو إشارات المرور (وهذه أيضاً وسائل خافية أو مستترة) والتى تبدو مضاءة إذا ما سلطت عليها الأضواء الكاشفة للسيارات.

ومميزات هذا النوع من العلامات تختلف عن علامات الـ LEDs من حيث أنها لا تشكل عائقاً أمام الشخص الخاضع للتجربة كما أن حركة الدوران لا تحد من فعاليتها. فالعلامة الكروية الشكل المستترة يمكن رؤيتها من أى اتجاه بزاوية ٣٦٠ كما هو مبين بالشكل (٢٠ - أ).

وتتكون هذه العلامات عادة من دعامات بلاستيكية مكسوة بورق عاكس ومثبتة على جسم الشخص الخاضع للتجربة بشريط لاصق وهى لا تستلزم وجود أى أسلاك ولذلك يمكن استخدامها لدراسة الحركات السريعة الواسعة. أما النظم التى تستخدم علامات أصغر (وذلك لنفس حجم العمل) فهى تعتبر مناسبة أكثر من تلك التى تستخدم علامات أكبر تحت تلك الظروف.

وحقيقة أن العلامات غير المباشرة يمكن رؤيتها فى وقت متزامن بواسطة الكاميرات يعتبر ميزة من وجهة نظر أسلوب معاملة الإشارة (الأنظمة التى تعتمد على العلامات المباشرة لها بعض المشاكل الخاصة بأسلوب الاختبار غير المتزامن) ولكن من ناحية أخرى فالتصنيف فى الكمبيوتر مطلوب، وهذا التصنيف يستوجب تحديد لقطه ويعطى تصنيفاً محددا لكل زوج من المركبات. وهذا يتم عادة باجراء تعقبى مثلاً إذا قررنا أن يخضع الرسغ أو المعصم للعلامة رقم ٣ فيجب أن تتبع نفس العلامة فى اللقطات المتتابعة ونضعها تحت اسم المعصم أو ٣.

ومن الميزات الأخرى للعلامات غير المباشرة أو الكامنة هو سهولة تثبيتها على أعضاء الجسم والذى بدوره يمنح الشخص الخاضع للتجربة الحرية الكاملة للحركة وعلى الأقل نظرياً يستخدم عدد غير محدد من العلامات.

ولكن المشاكل التى تنجم عن استخدام هذه العلامات تتعلق بصعوبة التصنيف فى الأوضاع الحرجة. وتتطلب تداخل العلامات تعاملاً دقيقاً فيريچنو وآخرون (١٩٩٠م) أو مونتاج يدوى فعال. وفى بعض الأحيان إذا استخدمت أساليب تعقيمية خاصة للصورة فإن تداخل العلامة المفقود يتطلب تدخل المشرف على التشغيل وبذلك يزيد الزمن الذى تستغرقه معاملة

البيانات. وعلاوة على ذلك فإن المعدل الأقصى لاختبارات العينة بعدد الكاميرات المستخدمة. يمكن أن تصل النظم إلى ١٠٠ Hz (مع نسبة عالية من الدقة) أو ٢٠٠ Hz (مع نسبة أقل قليلاً من الدقة) ومن المؤكد أن هذه المعدلات تعتبر مناسبة لمعظم الحركات الإنسانية. . حتى فى الرياضة (د. أميكو D. Amico، فيريجنو ورودانو Rodano ١٩٨٩م - ١٩٩٠م).



## الفصل الثاني

أجهزة الرصد الموجهة وغير الموجهة

Addressable and Nonaddressable Sensors



## الفصل الثانى

### أجهزة الرصد الموجهة وغير الموجهة :

إن الأجهزة الاليكترونية البصرية يمكن إدراجها تحت قسمين . الأجهزة التى يمكن توجيهها والأجهزة التى لا يمكن توجيهها .

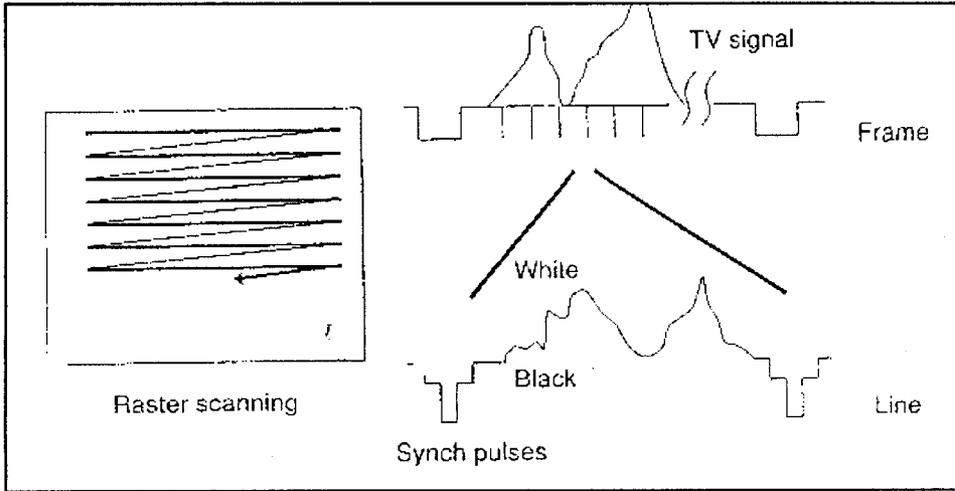
وأجهزة الإحساس التى يمكن أن تربط كل عنصر فى الصورة (Pixel) بزواج من المركبات . تعتبر كاميرات الفيديو من الأجهزة التى يمكن توجيهها لأن الصورة تشفر فى ما يسمى raster Format (والذى يوضحه الرسم فى الشكل (٢١) فالصورة تعرض خطأ فى كل إطار وعمود بعد عمود فى كل خط وبهذا تظهر الصورة أحادية الأبعاد أما علاقات الفراغ بين مختلف أجزاء الصورة فإنه يتم تحويلها إلى فترات زمنية . وعن طريق فك الشفرة بالطريقة المناسبة استعادة حيز المعلومات . عندما يتواجد عدة علامات فى وقت واحد داخل الصورة فإن أجهزة الرصد التى يمكن توجيهها تكون لديها القدرة على إيجاد المركبات بين جميع العلامات وبدون حدود، أما أجهزة الرصد التى لا يمكن توجيهها فإن لديها القدرة على تقديم معلومات متكاملة عن الصورة التى يقوم بالتقاطها، وعلى سبيل المثال فإن الصور الثنائية ذات التأثير الجانبى (فى النتائج) تعطى مركبات المركز المتوسط توزيعاً للإضاءة أمام جهاز الرصد Sen- sor .

ولذلك إذا تم استخدامها للكشف عن العلامة فيجب استخدام علامة واحد فقط ومصدر واحد فقط للإضاءة فى كل اختبار على حدة (Woltring وولترينج ١٩٧٥) . ويقع بين هاتين الطبقتين أجهزة الرصد ذا الصفوف الخطية (ليو وماسيلارى ١٩٧٩ Macelaxi leo) .

والاختلاف الرئيسى بين هذه الأنواع من الأجهزة هو أن الضوء المنتشر يتم اعتباره زوجاً آخر من المركبات أو محورا زائفاً بواسطة الأجهزة التى يمكن توجيهها . بينما لا تضع فى اعتبارها المركبات التى تم الحصول عليها من

أجهزة الرصد (Sensors) التي لا يمكن توجيهها ومهمة الكمبيوتر هو حذف العلامات الزائفة من البيانات التي تم جمعها بواسطة كاميرات الفيديو ولكنه من المستحيل عمل الشيء نفسه مع البيانات التي قامت بجمعها صور الصمامات الثنائية ذات التأثير الجانبي.

ونظرياً فإنه عن طريق الضبط الجيد للمحيط الذي سيتم فيه إجراء الاختبارات فان المصدر الوحيد للإضاءة أمام جهاز الرصد غير الموجه يجب أن يكون الـ LEDs ولكن العلامات المباشرة يمكن أن تعطى انعكاساً على الاسطح المحيطة بما فيها جسم الشخص الخاضع للتجربة ومثل هذه الانعكاسات يفسد العملية.



شكل (٢١)

تصفح شفرة الكادر والخط الكهربى لإشارة الفيديو تردد أبيض وأسود إلى مستويات تردد التيار الكهربى، ويرد الفراغ إلى فترات زمنية

### توليف جهاز الرصد : Sensor Synchronization

للقيام باجراءات الأبعاد الثلاثة فلا بد من وجود على الأقل جهازى رصد ثنائى الأبعاد. . وهكذا تنشأ مشكلة وهى كيفية توليف أجهزة الرصد المتعددة وهذه المشكلة يمكن حلها (بالنسبة لأجهزة الرصد الموجهة) عن طريق استخدام مولد توليف رئيسى لقيادة جميع أجهزة الرصد.

وهذا الأسلوب يشمل وجود جهاز معاملة أقراص الكمبيوتر ويجب أن يتم توصيله أيضاً بمولد التنسيق. وفي حالة صور الصمامات الثنائية ذات التأثير الجانبي Photodiodes فإن الناتج المماثل في كل جهاز للرصد يجب أن يولف إلى شكل رقمي. وهنا تظهر مشكلة أخرى وهي أن العلامات المباشرة لا تظهر على الشاشة في وقت واحد ولذلك فإن أجهزة التنسيق بينها يجب أن تولف باستخدام نظام التوليد أو الاستيفاء الحسابي.

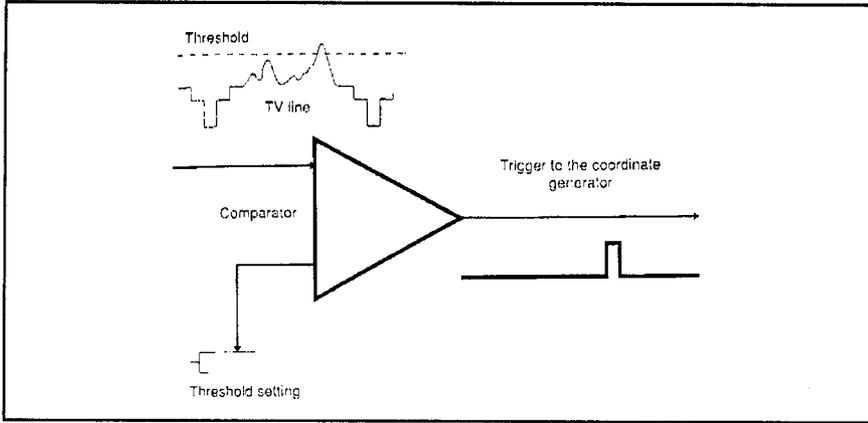
### **الكاشف عن العلامة : Marker Detector**

ويجب أن يكون هذا الجزء من النظام قادراً على توفير المعلومات الكافية لعملية البناء الحسابي دون أن يرهق نفسه بمزيد من الإيجابيات الزائفة التي تجعل العمل أصعب وتزيد من احتمالية قبول علامة زائفة (بسبب التشويش في الخلفية) أو حتى استبعاد علامة حقيقية وفي نظم تحليل الحركة يستخدم جهاز كشف العلامة اتجاهان وهما:

أسلوب الكشف المبدئي وأسلوب معاملة إشارات الصورة. وهذان الاتجاهان يستخدمان فقط أجهزة الرصد الموجهة والصفوف الخطية حيث أن صور الصمامات الثنائية ذات التأثير الجانبي يمكنها بسهولة أن تزود منسقات المركز المتوسط بالضوء الشديد.

### **الكشف المبدئي : Threshold Detection**

ونظام الكشف المبدئي هو النظام الأكثر انتشاراً والأسهل في الكشف عن العلامات التي يزيد بريقها عن بريق الخلفية. وشكل (٢٢) يوضح كيف يعمل نظام العد الحسابي. فإن إشارة الفيديو الداخلة يتم مقارنتها عموداً بعمود للمرجع المبدئي. وفي كل مرة تتجاوز الإشارة ارتفاع العمود المبدئي ترسل الإشارات لمولد أو جهاز التنسيق وللكمبيوتر للتمييز بأن هناك عموداً براقاً تم الكشف عنه. ثم تجمع بعدها العواميد البراقة مع بعضها البعض وترد للعلامات التي تختص بها.



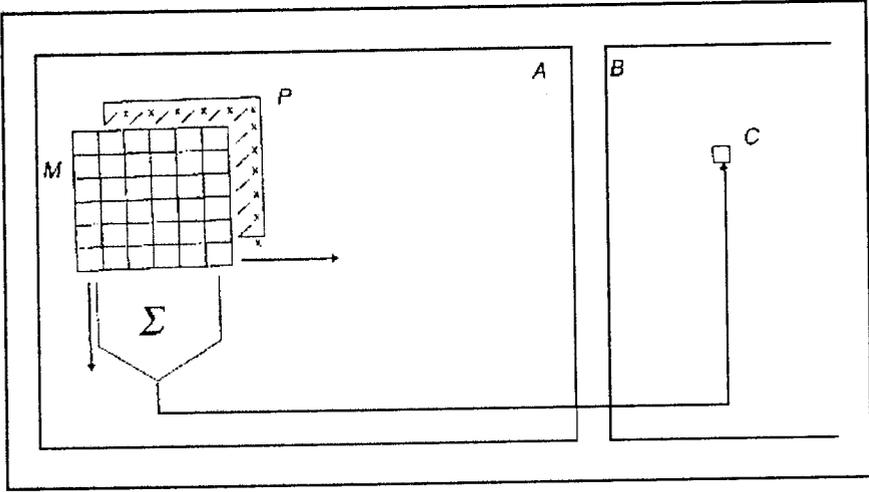
شكل (٢٢)  
الكشف المبدئي

ومن أبرز مميزات هذا الاتجاه هو اعتدال ثمنه وأنه لا يتطلب تكنولوجيا خاصة.. وعلى النقيض من ذلك نجد أن عيوب فرق الطاقة المنخفض تظهر.. ولأن أسلوب الكشف عن العلامة يعتمد فقط على درجة البريق للشئ المستهدف فإن أى أشياء أخرى فى المشهد إذا كان لها نفس درجة البريق أو اللمعان الخاصة بالعلامة (مثل الأسطح، المناطق البيضاء، والمصاييح) فإن هذه الأشياء سوف يتم ادخالها وتفسيرها على أنها أيضاً علامات.. وعلاوة على ذلك نجد أنه بسبب وجود مستويين فقط (الأبيض والاسود) الذى يتم عن طريقهما التفسير فى الصورة بعد الكشف فإن مقدار الثبات فيما يتعلق بجهاز الرصد Sensor (حوالى ٥٠٠ × ٣٠٠ عمود) غير مسموح به. ولكن يمكن تحقيق تحسينات قليلة عن طريق استخدام علامات كبيرة الحجم من أجل توليد عدد الحبر من العواميد البراقة والتي يمكن أن تجمع مركباتها وتحدد نسبتها أو عن طريق استخدام نماذج (دوائر مثلاً) بنفس شكل العلامة.

### أسلوب معاملة الإشارة : Signal Processing

مع التطورات الحديثة فى مجال حساب الكمبيوتر المتوازي بالرقائق المتكاملة واسعة المدى (VLSI) وفى رؤية الكمبيوتر أصبح من الممكن معها تصميم ديسكات Hardware لمعاملة الصورة لإدراك نمط الزمن الفعلى من أجل الكشف على العلامات بصورة فعالة جداً.

ويمكن تحقيق ذلك عن طريق استخدام أسلوب العلاقات المتبادلة والذي يصل بين الشكل المتوقع للعلامة مع سمات الصورة (فيرينجو، بورغيس وبيدوتى ١٩٩٠م - فيرينجو وبيدوتى ١٩٨٥م) وعندما تتناسب الصورة مع الشكل المتوقع فإن وظيفة العلاقة التبادلية تصل إلى فعاليتها القصوى وعندما تختلف الصورة عن الشكل فإن القيم تتحول إلى الانخفاض والسلبية وعملية الحساب أساساً تعمل بالطريقة الموضحة في شكل (٢٣).



الشكل (٢٣)  
نظام الحساب

يتم نقل الشكل الأساسي M من عمود لعمود من اليسار إلى اليمين وخط بخط من الأعلى للأسفل على الصورة الناتجة. وفي كل جزء من الصورة P فإن ناتج التحرك عمود بعمود مع عنصر الصورة الأساسي M يتم توصيله. أما النتائج فيتم تجميعها واختصارها لتعطي قيمة كل عمود C للصورة الناتجة. ويتحرك الصورة (القناع) فإن كل العواميد في الصورة الناتجة B يتم الحصول عليها.

ويجب أن تكون الأشكال المستخدمة للعلامات متناسقة وإلا فإنها ستتغير إذا تحرك الجسم في حركة دائرية. (الأشكال الكروية وشبه الكروية هي أكثر الأشكال التي لا تتأثر بحركة الدوران). ويتم اختيار الغطاء أو Mask





شكل (٢٤)

الكشف عن العلامات الصغيرة جداً (أقل من ١مم) بواسطة جهاز معاملة الصورة الفعلية الذي يعتمد على نظام الحساب بالعلاقات المتبادلة (a) صورة تم تسليط العلامات أو التشويش على الشفافة، (b) عبر كاشف العلامات عن وجود بقع براققة على الصورة.

### مستوى الكمبيوتر : Computer Level

وهذا الجزء من النظام يشمل السطح الفاصل بين Hardware الكمبيوتر المخصصة ومجموعة من برامج الكمبيوتر Software وإجراءاته لمعاملة بيانات التشغيل On Line والغلق Off Line.

والعامل الرئيسي الذي يجب أن يفى به الكمبيوتر هو القدرة على احتواء البيانات في نفس وقت الحصول عليها. تعتمد كمية البيانات وسرعة دخولها على العدد المتوقع للعلامات وعلى عدد العلامات (موجهة أو غير موجهة) وتقسم على البارامتر T. Parameter.

$$T = NM. NTV. SR.$$

(10).

حيث أن  $NM =$  عدد العلامات ، و  $NTV =$  عدد أجهزة الإحساس و  $SR =$  معدل الاختبار أو العينة. وبصفة عامة يستطيع مدخل الذاكرة المباشر المخصص (DMA) إيجاد الحلول الجيدة ولكل الأسطح البينية المتعددة الأغراض مثل GPIB (IEEE - 448) و ETHERNET ويتم استخدامها.

وتخزين البيانات الفعلية يمثل أيضاً مشكلة كبرى بالنسبة لتحليل الحركة لأنها تعيق الحصول على البارامتر Parameter. أنها ذات علاقة نسبية مع البارامتر.

$$D = NM \cdot NTV \cdot SR \quad (11)$$

حيث أن  $t =$  مدة الاكتساب. بالمقارنة بين معادلتى 11 و 12 تنتج العلاقة التالية:

$$D = T \cdot t \quad (12)$$

وهذا يعنى أن تخزين البيانات ذو علاقة نسبية بالدواخل وزمن الاكتساب. على سبيل المثال لو افترضنا أن يكون هناك ٢٥ علامة ترى بواسطة ٤ أجهزة بمعدل اختبار للعينة يصل إلى ١٠٠ هيرتز. فإن  $T$  تفترض قيمة ١٠٠٠٠ بمعنى أن المركبات (التي يتم تشفيرها بعدد معين من وحدة البايث Byte وذلك يعتمد على نوع النظام) تبلغ ١٠٠٠٠ مركبة تكتسب فى كل ثانية. وهكذا يكون قدرة الاكتساب المطلوبة لتخزين البيانات فى ٣٠ ثانية تبلغ ٣٠٠٠٠٠٠ ويضرب هذا العدد فى عدد وحدات البايث (Byte) المطلوبة لتشفير كل مركبة. أن النظام الذى يشفر كل مركبة فى ٤ بايث يتطلب ٢٠٠٠٠٠٠ وحدة بايث.

### أسلوب اكتساب البيانات ومعاملة بيانات الفتح :

#### Data Acquisition and on Line Data Processing

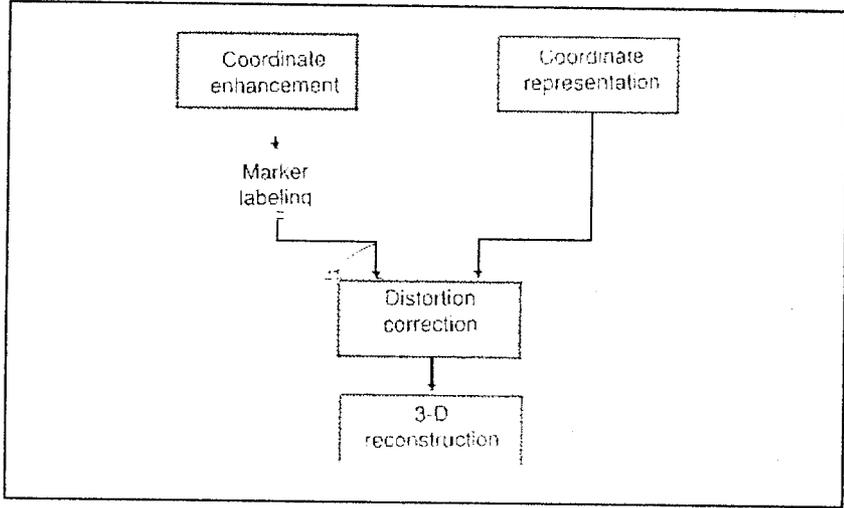
فى بعض التجارب يكون على الكمبيوتر أن يمارس مهمة اكتساب البيانات وأيضاً معاملة البيانات لتقييمها والتأكد من صحتها وأيضاً لضبطها.

وخلال عملية اكتساب البيانات فإن عدد العلامات، وعدد الأجهزة ومعدل اختبار العينة ومدة اكتساب البيانات يجب أن يفصل كل منهم على حدة. وعند هذه المرحلة يمكن أن يعمل النظام دون معرفة العدد المحدد للعلامات المستخدمة ويمكن وقف عملية اكتساب البيانات أو بدءها عن طريق وحدة التشغيل ذلك وعن طريق عداد زمني داخلي أو مفتاح خارجي أو كلاهما. فى هذه الحالة سيصبح الباراميتير  $t$  و  $NM$  نواتج للنظام بدلاً من أن يكونوا دواخل. بينما  $NTV$  و  $SR$  لابد دائماً من تحديدها وأسلوب معاملة  $on$  Line الأساس يعتمد على طبيعة جهاز الرصد. فإن أجهزة الرصد غير الموجهة (مثل الصمامات الثنائية للاضاءة الجانبية) تنتج ناتج مماثل ولا تحتاج لمعاملة البيانات. لأن هذه الأجهزة لا تظهر صورة يمكن رؤيتها على شاشة المونيتور فالكمبيوتر لابد أن يظهر خطوطاً بيانية تبين ما يحدث أثناء التجربة.

إن صفوف  $CDD$  الخطية وكاميرات الفيديو يجب أن تحتوى على عمود واحد على الأقل لكل علامة، فإن غزارة المعلومات تزيد من ثبات جهاز الرصد. والإجراءات أو الخطوات المتبعة لدعم هذا الثبات تتيح الفرصة لضغط البيانات لأن زوج واحد فقط من المركبات يمكن الحصول عليها من جهاز رصد واحد. ويلخص الشكل (٢٥) كل هذه العمليات ويحدد أنواع أجهزة الرصد لما يناسبها.

#### المعاملة الأساسية : Basic Processing

المعاملة الأساسية للحساب أو لأسلوب العد العشري يشتمل على كل العمليات غير المطلوبة فى نظام ال  $on$  Line ولكنها أيضاً هامة وضرورية للحصول على عمليات أخرى يمكن استخدامها. والشكل (٢٥) يوضح هذه العمليات فى خط المعادلة سواء فى أجهزة الرصد الموجهة أو غير الموجهة.



شكل (٢٥)

المعاملة الأساسية للبرنامج للحصول على إحداثيات الأبعاد الثلاثة للنقاط السطحية. الصندوق المزدوج يشير إلى الإجراءات بالضبط لآلات التصوير الموجهة: يستخدم صندوق الأبعاد الثلاثة للإجراءات بالضبط في آلات التصوير غير الموجهة

### تصحيح الخلل أو التشويش : Distortion Correction

وهو يكون بمثابة التعويض عن عدم التخطيط الطولي في أجهزة الرصد البصرية (أن التشويش الذي ينتج عن الصمامات الثنائية للصورة ذات التأثير الجانبي وعن العدسات الاسطوانية التي تستخدم مع صفوف CDD الخطية تكون أكبر ليو وماسيلارى ١٩٧٩م - وولترنج ١٩٧٥م - ١٩٧٦م) إن ضبط التشويش عادة ما يتم بواسطة تعبير متعدد الحدود مع معامل كمبيوتر تم حسابه من عمليات التحكم (انظر الباب الثاني) مران وكارارا (١٩٧٥م) وميلر Miller وشابيرو Shapero ماك لوغلن Mc Laughlin (١٩٨٠م) قد قدموا نموذجاً عالمياً لعمليات التشويش، وقد قدم أيضاً بورغيس وفيريجنو (١٩٩٠م) نماذجاً محلية. وهذه النماذج تتيح الفرصة لتصحيح الأخطاء المحلية باستخدام وحدات بارامتر من تلك التي تتطلبها نفس العملية في الاتجاه العالمى الذى يعتبر أقل مرونة. ومن ناحية أخرى فإن عملية تقريب النسب تتطلب أسلوباً أكثر دقة لاكتساب المركبات على شبكة التحكم.

## مهمة العلامة : Marker Assignment

وهى عملية مطلوبة عند استخدام أجهزة الرصد الموجهة والعلامات غير المباشرة وهذه النظم تنقل المركبات الخاصة بالعلامات بنفس ترتيبها عن الكشف عنها مع تحديد الخطوط والصفوف فى خريطة البنية.

إذا كانت الحركة معقدة فيمكن عكس هذا الترتيب. ومن الضرورى إجراء تعديل من أجل تصحيح ترتيب الناتج وإعادة بناء الأبعاد الثلاثة وهناك عدة اتجاهات قدمت لحل هذه المشكلة (فيريجنو وآخرون ١٩٩٠م- فيريجنو وجاسونى ١٩٨٨م- جاريت وآخرون ١٩٧٦م- تايلور وآخرون ١٩٨٢م).

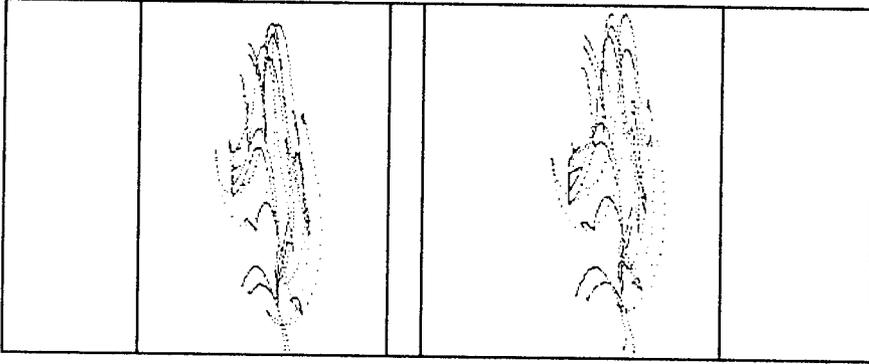
وتتم المساعدة المبدئية فى أوائل الكادرات وعادة ما تؤدى يدوياً ولكن العمليات التى تركز على المعلومات التى تستخدم للتصنيف الأتوماتيكى تخضع حالياً لعمليات التطوير. فعند التصنيف الصحيح للعلامات الموجودة بالكادرات فإن مركباتها تستخدم لاستكمال بقية العملية والتنبؤ بمساراتها. وأحدث هذه الأساليب (فيريجنو وآخرين ١٩٩٠م) يقدم أيضاً معلومات مسبقة عن بناء الجسم الخاضع للتحليل وبذلك يزيد ثقتنا فى الاعتماد على التنبؤ وأيضاً فإنه يحل مشكلة تخطى العلامة أتوماتيكياً.

وهذه الأهداف تتحقق عن طريق وصف نموذج للجسم فى صورة مركبات تربط العلامات وأيضاً احتمالات اختفاء بعض العلامات وراء بعضها.

ومثال على عملية التحديد نجده موضحاً فى الشكل ٢٦ (a و b) والشكل (٢٧).

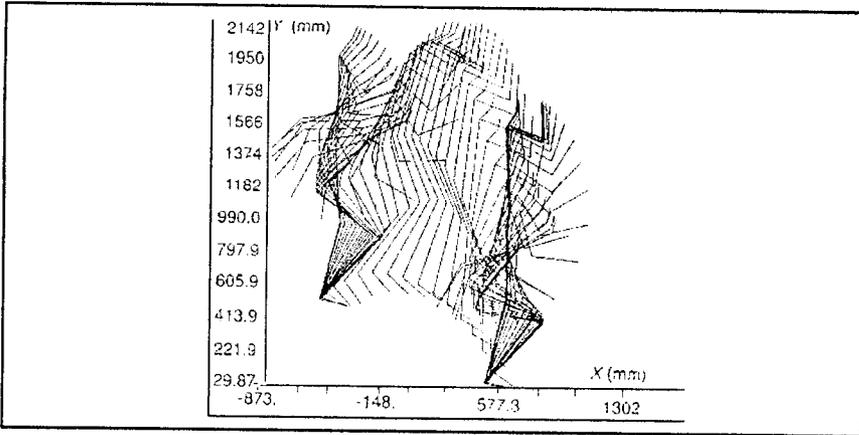
فى الشكل (٢٦) a و b يبينان النقاط الأصلية التى تم الحصول عليها بواسطة كاميرتى فيديو والشكل (٢٧) يبين الخط البيانى لنظام الأبعاد الثلاثة (مبين بطريقة تخطيطية) لحركة معينة (وهى الوثب من منصة). والعلامات يمكن ادراك وجودها بواسطة شكلها باستعمال نظام ELITE بمعدل اختبار للعينة يصل إلى ١٠٠ هيرتز. ومن الثابت ان فى مثل هذه الحركة المعقدة

يظهر مسار العلامات في شكل عدة أجزاء وخطوط مركبة قد يظهر معها الشكل مركباً ومحيراً في الشكل (٢٦) a و b ولكن يظهر ثابتاً أكثر في الشكل (٢٧).. وللحصول على هذا الثبات يجب أن يجرى النظام عدة عمليات.



شكل (٢٦)

(b,a) نقطتان خام جمعت عن طريق اختبار شخصي يثب من منصة القوى (a) ( $TV_1$ ) والثانية ( $TV_2$ ) الزاوية بين الكاميرتين كانت  $75^\circ$  وضع على الشخص ١٠ علامات اثنتان على الرأس، علاقة على كل من الكتف والمرفق ورسغ القدم، ورأس العظمة الخامسة بالقدم



شكل (٢٧)

الرسم التخطيطي للوثب المعروض في شكل (٢٧) (a) ، (b) قذفت على المستوى السهمي بعد إعادة تركيب الأبعاد الثلاثة من أجل الوضوح ترسم الصورة الخطية كل ٥٠ م ث فقط. وقياس الرسم على الراسم بالمليمتر (مم).

(a) وهي التحديد البدئي للعلامات (b) مسار متعدد النقاط (c) إعادة توصيل بين العلامات المستترة. (d) تصحيح التشويش. (e) نظام بناء الأبعاد الثلاثة.



## الفصل الثالث

عملية إعادة بناء مركبات الأبعاد الثلاثة

Three - dimensional coordinat Reconstruction



## الفصل الثالث

### عملية إعادة بناء مركبات الابعاد الثلاثة

وهى آخر عملية أساسية مطلوبة قبل استكمال التحليل وأيضا عدة اتجاهات تم اقتراحها، اثنان من هذه العمليات سوف نذكرها فى هذا الكتاب وهى: التحويل الخطى المباشر (DLT) وهى ماتم مناقشته فى الباب الثانى وحل المربع الأقل تكرارا للنسب الخطية (ILSSC) الذى سيناقش هنا. وكلا الاتجاهان يعتمدان على نفس النموذج للتحويل بين مساحة الهدف (البيئة من حول الجهاز) والفراغ فى الصورة (المنطقة التى يتم فيها العمل أمام الأجهزة وخلف العدسات) والشكل (٢٨) يوضح هذه الفراغات مع الإشارة لنظام الجهاز البصرى.

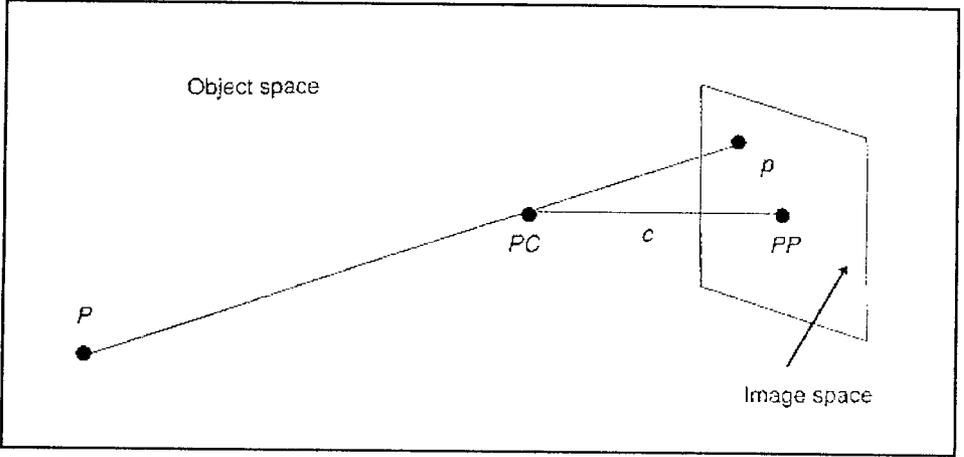
والنسب الرياضية التى تحول فقط الفراغ حول الهدف إلى نقاط فراغ فى الصورة تتمثل فى المركبة X

$$X - X_0 = -C. \frac{M11 (X - X_0) + M12 (Y - Y_0) + M13 (Z - Z_0)}{M31 (X - X_0) + M32 (Y - Y_0) + M33 (Z - Z_0)} \quad (13)$$

أما بالنسبة للمركبة Y

$$Y - Y_0 = -C. \frac{M21 (X - X_0) + M22 (Y - Y_0) + M23 (Z - Z_0)}{M31 (X - X_0) + M32 (Y - Y_0) + M33 (Z - Z_0)} \quad (14)$$

حيث أن: X و Y يمثلان المركبات بين النقط P (X,Y,Z) على فراغ الصورة.



شكل (٢٨)

الاسقاط النسبي للنقطة P، في مدى اعتراض مجال الصورة، P خلال المركز النسبي، PC. PP. النقطة الرئيسية اسقاط PC في مستوى الصورة) ووضع الجزء PC-PP على المحور البؤري، ويكون طوله البعد البؤري C.

(c) هو البعد البؤري للعدسة  $X_0$  و  $Y_0$  هما مركبتا النقطة الأساسية (نقطة التقاطع للمحور البصري ومجال الصورة)  $X_0$  و  $Y_0$  و  $Z_0$  هم مركبات مركز المنظور و  $M11$  هي التسع عناصر مركز الدوران من الكادر الذى يشير لحيز الفراغ داخل الصورة (وولف ١٩٨٣م). وبالرغم من أن مجموع هذا كله يصل الى ٩ باراميتير فإن ثلاثة فقط غير معروفة يمكن الاعتماد عليها لأن كل عناصر  $M11$  ليس لها وظيفة خطية على زوايا الانحدار Pitch والزوايا الممتدة roll وزوايا الانعراج Yaw لعلاجات Q, W,  $(X_0, Y_0, C, X_0, Y_0, Z_0, K, 4, W)$  ونقط تقاطع الفراغ (تحديد النقطة المجهولة P) تتمثل فى الطبيعة الخطية النسبية ما بين ٤ : ٥ .

ونظام DLT نجح فى التغلب على هذه العقبة بإعادة ترتيب شروط التناسب ٤ : ٥ رياضيا والاتجاه المسمى بـ ILSSC يعتمد على تخطيط النسب من ٤ : ٥ باستخدام سلسلة تايلور Taylor فى تقريب نقطة البداية .

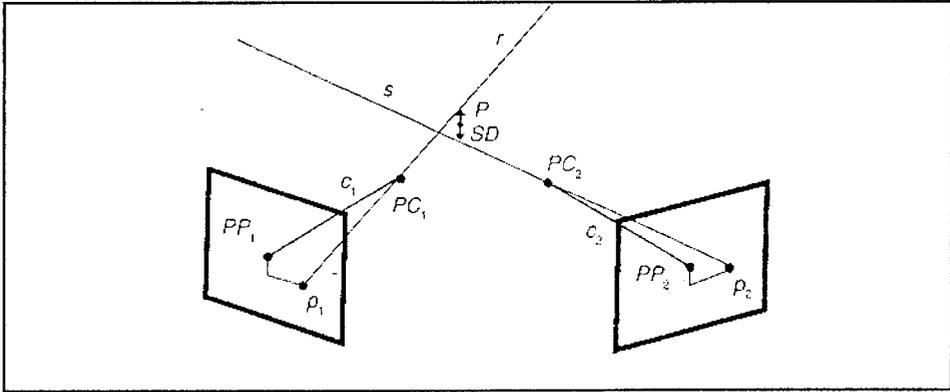
وتحسب نقطة جديدة فى وحدات الباراميتير المجهولة باستخدام النسبة بين ٤ : ٥ فيما يتعلق بالمركبات المسجلة وأيضا تقليل الأخطاء فى نقاط التحكم

X,Y ، والنقطة الجديدة تصبح نقطة البداية القادمة والتكرار يستمر حتى تصغر قيمة الباراميتير بالقدر المناسب .

ونقطة الالتقاء سوف تحدث خلال خمسة أو ستة تكرارات . ونقطة تقاطع الفراغ اللاحقة سوف تحدث عن طريق البحث عن أقصر مسافة عمودية تصل الخطان اللذان يربطان بين مركزي المنظور لكاميرتي الفيديو ويصلانها لنقطة الانعكاس على العلامة كما هو مبين في الشكل (٢٩) (بورغيس وميريغنو ١٩٩٠م).

### التحليل المؤجل Deferred Analysis :

يمكن اجراء التحليل المؤجل فى أى وقت على البيانات المكتسبة والتي تم معاملتها من قبل محلل الحركة . الزوايا المشتركة، وسرعة الزوايا الخطية يتم حسابها لاستخدامها فى النماذج الميكانيكية (مثلا لحساب الحركات والقوى الداخلية، والتي تتطلب أيضا معرفة القوى الخارجية). إن البيانات التي تم جمعها بواسطة جهاز اليكتروميوجراف، يمكن أن تنضم مع بيانات علم الحركة المجردة أو الديناميكا للحصول على وصفا تاما للقوى المحركة، وهكذا فإن العديد من أنظمة تسجيل الحركة تتطلب تدوين دائم لبيانات الإشارات المماثلة .



شكل (٢٩)

نقطة تقاطع الفراغ تؤدي عن طريق البحث عن أقل مسافة بين وضع S , I والمرور خلال المركزين النسبيين (PC8 , PC1) واعتراض نقطة (P2, P1) فى الكاميرا

## تقسيم نظم قياس كينماتيكية الأبعاد الثلاثة

### *Classification of 3 - D Kinematic Measurement systems*

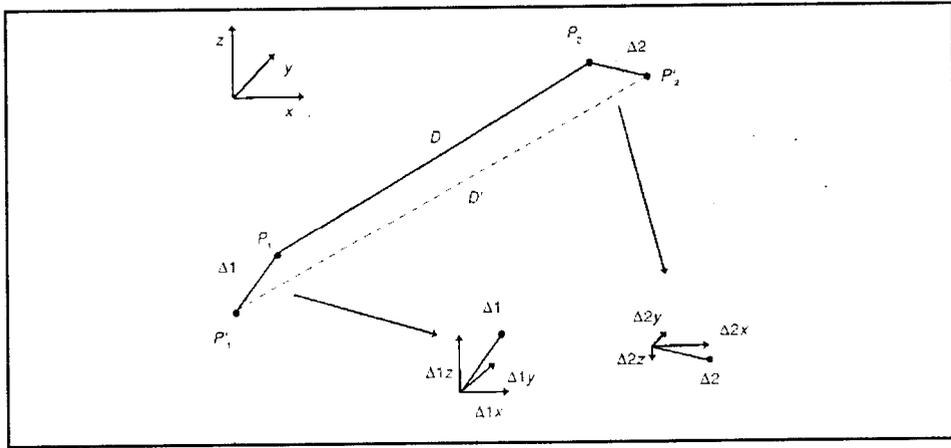
هناك نظم ثلاثية الأبعاد لقياس الحركة المجردة يمكن تقييمها على أساس دقتها ومدى الاعتماد على فعاليتها.

#### **دقة ووضوح النظام : System Accuracy and Precision**

الدقة هي إمكانية إعادة كادر للقياس. ويمكن التعبير عنه بأنه الأبعاد المثالي للأخطاء المقسمة بمدى القياس والذي يعرف بأنه التقدير الرقمي لحجم العمل (مع الافتراض بأنها لها بريق على القاعدة المستطيلة) وهكذا تقاس الدقة على توحيد الزمن. ويمكن حسابها باستخدام العلامات الثابتة مما يفسر نظام التشويش، ولكن الدقة لا يمكن استخدامها لوصف قياس النظام لأنها تعتمد على ثبات الجهاز الأساسي وأيضاً تعتمد على وضع أجهزة الرصد المستخدمة في الاختيار. وعلى النقيض من ذلك فإن جهاز الرصد الذي يحتوى على عمود  $2 \times 2$  يمكن أن يعطى دقة تامة مع توزيع العلامات فى موقع متسع. وفى أى موقع يكون فيه العلامة ضمن واحد من هذه الأربعة عواميد. أما العلامات التى تقع على حدود مرمى هذه العواميد يمكن فقط أن تعطى بعداً دقيقاً واقعياً. ويجب أيضاً وضع الكماليات الأخرى فى الاعتبار.

أما الوضوح فيرجع الى تلك الأخطاء التى يتم حسابها كفرق بين القيم الحقيقية والقيم التى تم قياسها، وهذه المعلومات تعكس الأخطاء التى نواجهها خلال الاستخدام اليومى لنظام «الأبعاد الثلاثة» للقياس. ولقياس مستوى الوضوح يجب أن نقارن بين المركبات التى تربط بين عدة نقاط التى تم الحصول عليها من قبل محلل الحركة وبين مواقعها الطبيعية وأثناء الممارسة إذا أردنا اعتبار أن أحدث النظم المتقدمة قادرة على قياس الانحرافات التى تقل عن ٠,٥ مم فى حيز مكعب تبلغ جوانبه ١,٥ مم (مثلاً نظام ELITE فيريجنو وآخرون ١٩٩٠ - فيريجنو وييدوتى ١٩٨٥م)، التى لها القدرة المماثلة على القياسة بوضوح، فإن القياس الحر لأوضاع العلامات التى تستخدم فى الاختبار يكون بالغ الصعوبة.

والبديل لذلك هو استخدام الاتجاه الاحصائي، مثل أن تحرك عصا الطول الثابت في مساحة مدرجة وتحديد تنوع قياس المسافات بين العلامات الموضوعه على طرفيه (بورغيس وميريغنو ١٩٩٠). وهذا النوع من الاختبار يعطينا معلومات عن الاحتفاظ بالمسافات ولكن ما يهمننا هنا هو وضوح القياسات في كل محور. وهناك خطوتان لتحديد ذلك الأولى هي: تحليل تنوعات الطول للعلامتان المستخدمتان والثاني: تحليل الخطأ الواقع في كل علامة على المحاور الثلاثة (انظر الشكل (٣٠)) فالخطأ في المسافة (D - D) يحلل الى الأخطاء الموجهة على  $P_1$  و  $P_2$ .



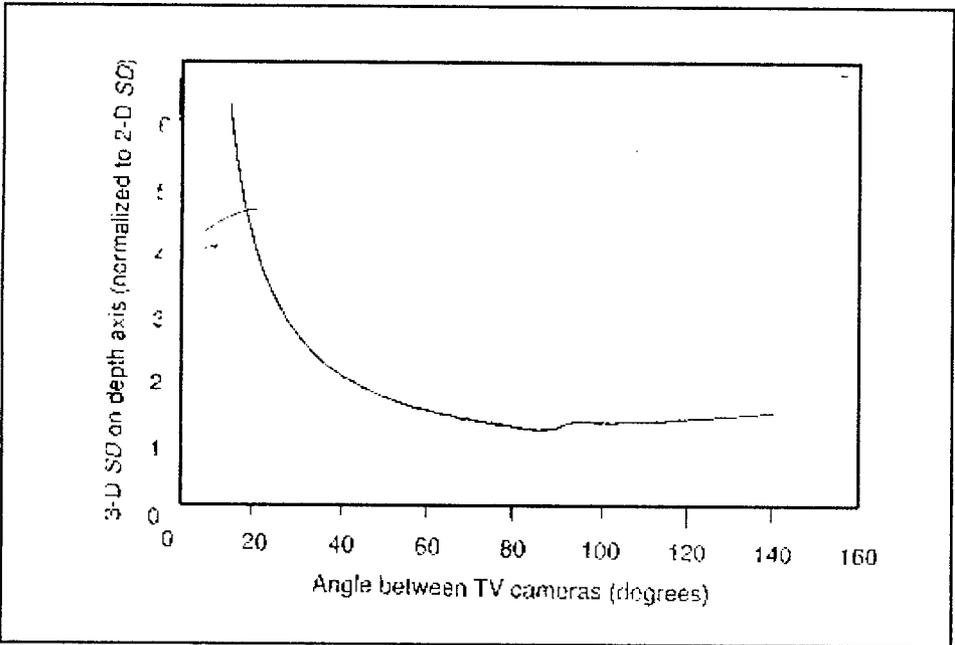
شكل (٣٠)

الخطأ في المسافة (D - D)، وتحليلها إلى متجهي خطأ  $P_1$ ,  $P_2$ .

وهذه تنعكس تباعا على محور الكادر من أجل الحصول على ثلاثة مكونات للخطأ في X, Y, و Z. والخطوة الأولى مباشرة (بورغيس وميريغنو ١٩٩٠م) والانحراف في الخطأ لكل علامة سوف يوجد على أنه ١/٢ مرة انحراف في المسافة. وفي الخطوة الثانية فإن اتجاه جهاز الرصد ووضعه في الفراغ يجب أن يوضع في الاعتبار. بورغيس وميريغنو (١٩٩٠م) قد وضعوا فرضا يظهر أن الدقة على المحاور الثلاثة تعتمد على اتجاهات كاميرات الفيديو. ومن هذا الفرض ظهر أيضا أنه إذا أردنا الحصول على وضوح جيد على المحاور الثلاثة فإن الزاوية بين أجهزة الرصد (المفترض أنها وضعت في

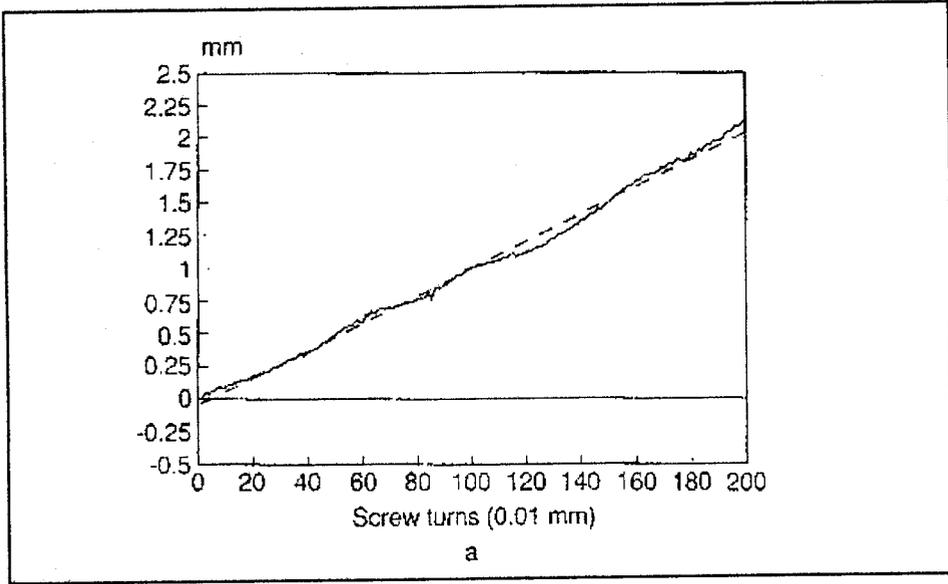
الزاوية المنعرجة فقط وليس  $90^\circ$ ) يجب أن تقترب من  $90^\circ$  درجة (وهذا بدوره يمكن أن يخلق مشكلة مع العلامات المباشرة التي لا تملك مثل هذه الزوايا الواسعة للاطلاق). في هذه الحالة فإن الخطأ يوزع بنسبة  $1 : \sqrt{2} : 1$  على طول المحاور الرأسية والافقية والسهمية.

وشكل (31) يوضح توزيع الانحراف للخطأ للمركز Z (عمق) مفترضا وجود انحراف في مركبات 2-D يساوي 1 وأن زاوية كاميرات الفيديو المنعرجة Yaw ( $\varphi$ ) حول محور Y (العمودي) هي الزاوية اللاصفرية الوحيدة. ولاحظ أن من  $40^\circ$  و  $90^\circ$  درجة لا يمكن تقليل وضوح عمق المحور. ويجب أن يكون ذلك في الذهن عند تصميم موقع الاختبار.



شكل (31)

الانحراف المعياري للخطأ على المحور السهمي (Z) طبقاً للانحراف المعياري للخطأ في البعدين للكاميرات



شكل (٣٢)

اختيار الدقة لنظام ELITE: (a) قمة المتوسط (دقة الثبات) لكل وضع للعلامة، ويعرض المحور الأفقى عدد اللفات اللولبية (مثل عدد الازاحات فى ٠.١ مم)، (b) الانحراف المعيارى لكل نقطة فى الشكل (٣٢ - a).

والاحتمال الأخير هو تقويم مدى وضوح ودقة النظام يكون على أساس محلى. ويمكن أن يتم ذلك عن طريق استخدام مقياس دقيق لتصغير الأبعاد Micrometer بعد وضوح العلامة عليه. شكل (٣٢) a و b يوضح مثالا لمثل هذا التقويم يقوم به نظام ELITE وقد أجرى الاختبار فى وسط منطقة مدرجة (بقطر يصل الى ١,٧ م) وتم استخدام برغى لتحريك العلامة الكروية ٠.١ مم فى كل مرة للحصول على وضع الأبعاد الثلاثة بقياس ٢ مم (تم توزيعها على المحاور الثلاثة X, Y, Z). وقد تم الحصول على ١٠٠ عينة من خلال ٢٠٠ وضع للعلامة وذلك بفضل نظام ELITE أما مركبات الأبعاد الثلاثة فقد تم حساب نسبتها. والشكل (٣٢) يبين على المحور الرأسى القيمة النسبية لكل وضع من أوضاع العلامة بينما يظهر على المحور الأفقى عدد لفات البرغى (بحركة ٠.١ مم).

وأقصى خطأ تم اكتشافه فيما يتعلق بالقيمة الحقيقية كان ١٧,٠ مم بينما بلغت نسبة الوضوح ٩٥٪ ضمن مساحة ٠,٧ مم (بقطر ٢٤٠٠/١) وشكل (٣٢) b يوضح انحراف كل نقطة في شكل (٣٢) a و a الخطأ يتعلق بالوضوح والغموض خلال مساحة تبلغ ٠,٩ مم (بقطر ١/١٩,٠٠٠).

### حدود واحتماليات النظم Systems Passibilities and Limitations

إن أداء محلل الحركة يتنوع تبعاً لنوع جهاز الرصد وجهاز معاملة الإشارة المستخدم فإن الأنظمة التي تستخدم العلامات المباشرة بالرغم من ظهورها في وقت مبكر من نظام تحليل الحركة أوتوماتيكياً (ميتشيلسون ١٩٧٥-Mitchel-son)، (وولترنج Woltring ١٩٧٤) إلا أن استخدامها لا يزال مستمراً نظراً لسرعتهم النسبية (كما أن لهم معدل مرتفع في اختبارات العينة) وأيضاً لا تتطلب تعقب مسارات العلامات. وعلى الرغم من تخلف هذه النظم في مجال مدى الاعتماد عليها ووضوحها ومرونتها إلا أنها تتيح الفرصة لمعالجة البيانات بصورة عالية دون الحاجة لتدخل مسئول عن التشغيل. ومن ناحية أخرى فهي بطيئة لأن الشخص الخاضع للتجربة يجب أن يرتدى أسلاك وتوصيلات كهربية ووحدات تحكم وعادة ما يشكل ذلك عائقاً في تحليل الحركات السريعة (مثل الحركات الرياضية) كما أنه يعيق جميع الحركات السريعة (مثل الحركات الرياضية) كما أنه يعيق جميع الحركات الأخرى ودرجة الوضوح ليست عالية بالرغم من الثبات الكامل في كلا نظام العلامات المماثل للبعدين ونظام الصفوف الخطية وذلك لعدة أسباب.

في التحليل الحركي عندما تستخدم مشتقات قياس الوضع لحساب السرعة فإن وضوح مشتقات kth للبيانات تعتمد على قوة الـ C/k من معدل الاختبار. (لانشمور Lanshmmor ١٩٨٢).

ولذلك يمكن أن يكون الوضوح أكثر دلالة من معدل الاختبار.

إن صنمامات الثنائية المماثلة للصورة ذات التأثير الجانبي تعاني أيضاً من قلة الوضوح الذي يرجع سببه إلى انعكاسات LED وإضاءة الخلفية IR، بينما

الصفوف الخطية تتأثر بالتشويش الناتج عن العدسات الأسطوانية. إن تقليل زاوية الرؤية الموجودة في كلا النظامين يمكن أن يمثل إعاقة في مواقع الاختبار أو التجربة.

ولا يستطيع أى من الأنظمة تقديم صورة مرئية للمشاهد الذى يتم قياسه. إن الأنظمة التى تستخدم العلامات غير المباشرة، بالرغم من أنها تتطلب عملية تعقب المسارات إلا أنها تقدم ميزات فى الحرية والحركة (حيث لا توجد عوائق أو توصيلات سلكية) مع مرونة عالية فى موقع التجربة. وأيضاً يمكن رؤية صورة الحركة على شاشة المونيتور مع العلامات وهذا يضمن إمكان تقسيم موقع التجربة. وهناك عدة حلول لمشكلة تعقب العلامات. والعوائق التى لاتزال تؤثر على هذا الاتجاه هى صعوبة تعقب أثر العلامات عندما يغيب أحدهما أو كلاهما لوقت طويل (عندما تحدث حركات دوران للشخص فى مجال كاميرا الفيديو) والحاجة للتحديد المبدئى قد يجعل معاملة البيانات الفعلية عملية شاقة. فالإتجاه الآن يميل نحو التشغيل الاتوماتيكى الذى يقوم بتعقيب مسارات نظام الأبعاد الثلاثة أكثر من نظام البعدين.

وبعض التطورات الأخرى تحاول الاستفادة من الحقيقة القائلة بأن نقطة التقاء الخطوط تبدأ من انعكاس للنقطة P (فى فراغ الأبعاد الثلاثة) الى صورتين مختلفتين لجهازى الرصد حيث (البعدين) يجب أن تتقاطع بالضبط.

ولسوء الحظ عندما يزيد عدد العلامات تظهر عدة نقاط التقاء زائفة تجعل من الضرورى إجراء بعض التحكم. والاتجاهات الأخرى تستلزم استخدام شبكة ظهرية لتعيين العلامات على أساس ملفات التعقب السابقة. كما أن معدل الاختبار سوف يزيد، فشكراً للتكنولوجيا الحديثة التى سوف تجعل العلامات المتاحة أكثر سرعة.

## الخلاصة: CONCLUSION:

إن التطورات التقنية الحديثة قد جعلت الأنظمة التي تعتمد على الأجهزة البصرية ملائمة لتحليل حركة الإنسان في الأبعاد الثلاثة، كما أن سرعة جهاز الكمبيوتر وتكاليفه المنخفضة مع التطور في برامج وديسكات الكمبيوتر في مجال تحديد وتعقب العلامات تعنى أن الجمع بين العلامة غير المباشر وكاميرا الفيديو الموجهة سوف يمثل المستقبل المثالى للتجربة في هذا المجال. وهذا فإن على الباحثين استخدام مبادئ التقويم الموضحة في هذا الفصل عند اختيار معدات القياس والعلامات وتصميم الصورة الخاصة بهم.



## الفصل الرابع

أساليب التهذيب والتفريق المطبقة على بيانات الأبعاد الثلاثة

المراجع

Smoothing and Differentiation Techniques Applied to 3 - D Data



## الفصل الرابع

### أساليب التهذيب والتفريق المطبقة على بيانات:

يتعامل هذا الفصل مع أحد المشكلات الدائمة الحدوث والتي تعيق التطبيق المتواصل لتحليل الحركة. إن الفجوة بين الهدف النهائي للتحليل وما يمكن قياسه مباشرة عادة ما تكون واسعة وهي تقلل من إقدام كثير من الباحثين وإقبالهم على دراسة الحركة الإنسانية. ورغم أن معدل انتشار آثار الخطأ في هذا التحويل معقولاً إلا أن هناك إجراءات خاصة يمكن اتخاذها في سبيل تقليل هذه الأخطاء. بعض الأخطاء تتعلق بالعملية الخاصة للبحث وبعضها لا يعتمد عليها مطلقاً. الأمثلة على الرأي الأول هي حدود النموذج الوظيفي الذي يصف الحركة (على سبيل المثال أن نموذج الجسم الصلب يتجاهل وجود كل الأنسجة الرخوة أثناء الحركة أو أخطاء تشويش الصورة غير المعوض في أجهزة القياس). ومثال للأخطاء المستقلة أساساً قياس التشويش واسع المدى في الأجهزة الاليكترونية البصرية لأسلوب الأبعاد الثلاثة للحركة المجردة. والأخطاء النظامية في معدات القياس لها تأثيرها على النوعيات التي تقاس وذلك يماثل أخطاء التصميم في مكونات سلسلة معادلة المعلومات. . وهكذا فإن التمييز بين الأخطاء المتبادلة وغير المتبادلة يكون أكثر ملائمة من التمييز بين أخطاء القياس والتصميم.

وقد يظهر أنه لا حاجة لتقليل قياس التشويش واسعة المدى بسبب عوائق نموذج الجسم الصلب. وبالرغم من أن ذلك يعتبر صحيحاً بعض الشيء إلا أن أنماطاً مختلفة للأخطاء قد يكون لها تأثيرات مختلفة على التنوعات التي يتم قياسها.

وبالتحديد فإن قياس الموجة العريضة التشويش (البيضاء) يكون لها أثراً ضاراً على المشتقات التي تم قياسها بينما النماذج الصناعية قد يكون لها تأثير أكبر على البيانات المبسطة والترددات القليلة. وما سنناقشه بعد ذلك سنجد أن

من الممكن الحصول على قياسات أفضل للترددات القليلة عن طريق أخذ عينات مستويات أعلى من المطلوبة في نظرية الاختبار مادام التشويش عنصراً أبيض مضاف.

بدأت الدراسات التي يتم فيها تقويم صفات إشارات الحركة نسبة إلى صفات قياس الخطأ وقيود النموذج إظهار بعض الثقة في إجراء التحويلات اللازمة لسد الفجوة بين ما نستطيع قياسه وما نحتاج معرفته.

ومن أجل الاطلاع على النماذج الحديثة عن التبسيط والتميز في بيانات التشويش في مجال الميكانيكا الحيوية انظر (هاتز Hatze ١٩٨١م) وود Wood (١٩٨٢م) - رولترنج ١٩٨٥م، ١٩٨٦م، ١٩٩٠م) فيوريتي وجيتو (١٩٨٩م) - دورمان Dohrman يوسبي Busby (١٩٩٠م) وود، واميكو وفيريغنو (١٩٩٠م - ١٩٩٢م). وفي تاريخ الإحصاء ومعاملة الإشارة انظر كوي Kohi وانسلي Ansley (١٩٨٧م - ١٩٨٩م) فيسلر Fessler (١٩٩١م) - فاجان Vau-ghan (١٩٨٢م).

\* \* \*

## المشكلات العامة التي نواجهها

### مع أول وأعلى المشتقات

#### *General Problems With First and Higher Derivatives*

إن طبيعة تضخيم الصوت في عملية التمييز معروفة. فإذا كان لدينا إشارة زمنية  $X(t)$  تتكون من مجموعة من المتوافقات أو المتآلفات الميئية.

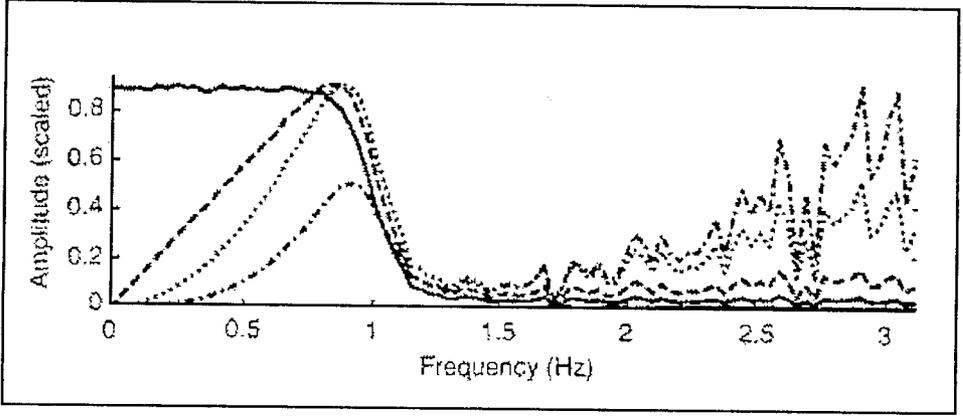
$$X(t) = \sum_{i=0}^N a_i \sin(\omega_i t + \phi_i) \dots (15)$$

إن قيم  $X(t)$  تعرف بـ  $(a_i)$  ولكنها في بداية الاشتقاق من  $X(t)$  تكون  $(\omega_i a_i)$  وتكون  $(\omega_i^2 a_i)$  في الاشتقاق من  $X(t)$  شكل (٣٣).

وهكذا سوف يسيطر ذلك على السرعة والزيادة والمشتقة العليا.

وبسبب تأثير التضخيم ذا التردد العالي يجب على الشخص ألا يختار قطع التردد على أساس مساهمة القوى النسبية (المعرفة في شكل قيم مربعة) لمكونات الإشارة المرفوضة ولنفترض مثلاً أن الإشارة تتكون من ١ - هـ.ت بقيمة ١ + ١٠ هـ.ت = ١,٠٪ وبينما تكون القيم على مستوى الاشتقاق الثاني متساوية.

فوق تردد معين سنجد أن المكونات الطيفية لبيانات الحركة الطبيعية سوف تختص مع تردد في مثل ذلك الارتفاع لمكونات الإشارة على مستوى الاشتقاق لا ينتج سرعات متزايدة وقوى جامدة (وولترنج ١٩٨٥م).



شكل (٣٣)

مثال لتشويش الإشارة الضوئية الأولى (....) والثانية (....) والثالثة (....) ومشتقات الزمن

في الكثير من إجراءات القياس فإن الضوضاء البيضاء التي يضيفها الجهاز يكون لها اتساع للموجة أعلى مما كان عليه قبل بداية تحلله بالتردد. (تويلينج ومارس ١٩٨٤م). وهكذا نجد هناك عادة عدة نقاط النقاء للتردد والتي يقل فيها إشارة معدل الضوضاء (SNR) عن ١ في كل تردد وهذا يضمن قطع التردد لتبسيط Low - Pass. ويكون هذا القطع للتردد متكرراً في كل مشتقة تقع تحت معيار SNR.

والإشارات في تحليل الحركة لثلاثة أبعاد له عدة أبعاد مثلاً، يعبر عنه بالمركبات X, Y, Z في مضاعف العلامات عبر الزمن. والسؤال الذي يطرأ هنا ما إذا كان يجب معادلة مكونات الإشارة على حدة أم لا؟. على سبيل المثال في تحليل حركة الجسم الصلب فإن المسافة المعروفة والثابتة بين اذدواج العلامات يجب أن تستخدم كعوائق خلال عملية التهذيب والتمييز (مثل جيننج و رود ١٩٨٨م) ويجب أن يتم قياسها في وقت متزامن مع بعضها إذا لم تكن هناك أولوية. والترددات الأساسية في المجال السمعي تكون ضعف مثيلاتها في الاتجاه الجانبي الأوسط. وهكذا يتمكن الشخص من إجراء عملية التهذيب والتمييز المثلى بحرية دون التزام بعوائق (لانج، هاسكيز وكور ١٩٩٠م) (وولترنج ولانج وكور وهاسكيز ١٩٨٧م).

وليس معروف حتى الان أى الاتجاه هو الأفضل ولكن المعاملة المستقلة تعتبر أسهل وعادة ما تتم أسرع. وعلى أية حال فإن المثال السابق يمثل نقطة الانخفاض فى العملية. فإذا تم استخدام عملية المعاملة المستقلة فلن نستطيع تجنب اللقاء مع شروط التردد العالى داخل مكونات إشارة التردد المنخفض وذلك سواء استخدمنا العوائق قبل عملية التهذيب أو بعدها. وقد قال البعض أن مشكلة التهذيب والتمييز يمكن تفاديها بقيامات اشتقاق متكاملة متكررة حتى نحصل على الناتج الذى يمثل البيانات الأولية. ولكن هذا الاتجاه مضملاً أو خادعاً لأنه يعادل قياس الاشتقاق.

ونحن نصادف هذا الخطأ يحدث ليس فقط فى نماذج الحركة المجردة بل أنها تحدث فى نماذج الحركة الشاملة إذا تم ضبط قياسات القوة مرة بعد مرة وحتى الحصول على معايير مناسبة. وهنا نجد أن معيار الضبط المستخدم لتعديل قياسات القوة سوف يحدد الحل النهائى الذى يحتوى مكونات التردد المنخفض.

أما إذا استخدمت الترددات العالية فإنه من المحتمل ايجاد أن وظيفة المعيار المستخدم سطحية وبذلك ستقل مصداقية هذا الحل تحت القياسات الصغيرة أو إعاقات النموذج.

### اختيار تردد الاختبار : Sampling Frequency Choice

يجب اختيار تردد الاختبار اختياراً صحيحاً إذا أردنا الحصول على اشارات ثابتة يمكن بنائها من العينات الرقمية.

ومعيار Nyquist يفيد أن تردد الاختبار يجب أن يكون على الأقل ضعف أعلى تردد للإشارة. وهذا لا يعنى استخدام ترددات أعلى فى الاختبار. فالاختبارات ذات الإشارة المستمرة سوف تبين بالتفصيل كل الترددات التى تعلقو على تردد Nyquist  $\omega_N = \pi / t$  (مثل نصف ترددات الاختبار) وتضعها فى موجة Nyquist  $\omega_N \leq \omega \leq \omega_N$  وهذا المعيار يضمن أن هذا التفكيك لن

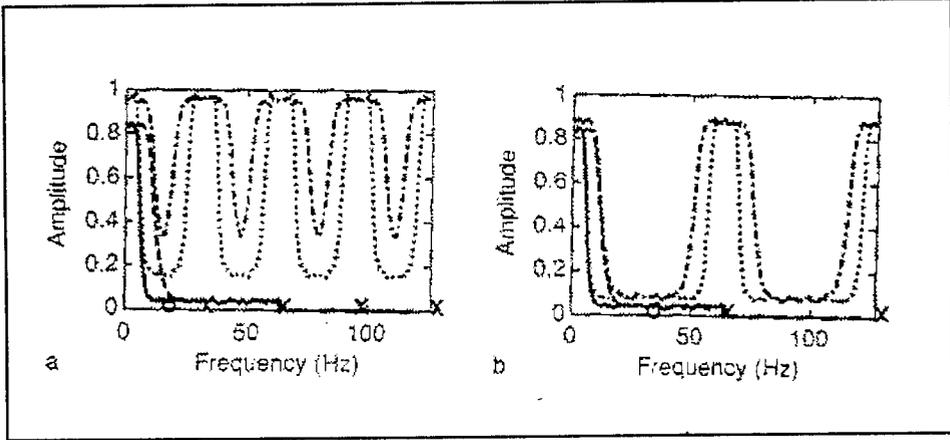
يحدث لمكونات الإشارة في البيانات أما الضوضاء ذات الترددات العالية فسوف تستمر في التفكك والضم لموجه Nyquist ويظهر ذلك من ارتفاع عمود الضوضاء على الخط البياني في شكل (٣٤)  $a, b$  وعلاوة على ذلك فإن مجال البيانات (الإشارات + الضوضاء) سوف يتم تكراره حول ترددات  $K = \dots, -2, -1, 0, 1, 2, \dots$  مع  $2K \omega_N$

وتكرار هذا التردد قد يبدو غريباً حتى ندرك علاقته بتأثيرات الاستروبوسكوب عندما يحدث أى ظاهرة وتخضع للاختبار فإنه من الصعب تحديد مدى ترددها الأصلي.

وبين نقاط البيانات يمكن أن تتداخل مكونات ذات ترددات عالية أو منخفضة. ويساهم الترددات المنخفضة فقط (في موجه Nyquist) أما الإشارات المتداخلة الأخرى فتعتبر صفر. رياضياً معاملة الإشارة الرقمية في نفس المجال الزمنى والترددى يحدث فى زمن دائرى أو مجال تردد. ومعاملة الإشارات الدائمة تحدث على مجال خطى طالما بقى قياس الضوضاء فوق مستوى تردد Nyquist سوف تكون أصغر (تويلنج ومارس ١٩٨٤م). وقد قام جاستافسون (١٩٧٧م) ولانسمار (١٩٨٢م) باشتقاق العلاقة التالية بين مستوى الضوضاء  $\sigma_k^2$  لكل عينة بعد التهذيب والتميز لبيانات الاختبار ذات الموجه المحدودة.

$$\sigma_k^2 = \sigma^2 \tau \frac{\omega^{2k+1}}{(2K+1)\pi} \dots \dots \dots (16)$$

حيث أن  $0 < K$  فى نظام الاشتقاق ( $0 = k$ ) التهذيب بدون التمييز  $\omega =$  تردد Low - Pass ،  $\sigma$  الاشتقاق الأمثل للضوضاء فى العينات الاولية و  $\tau$  فترة الاختبار (مقلوب تردد الاختبار).



شكل (٣٤)

تكرار الاختبار وحاصل ضرب (x) : تكرار Nyquist ( $\omega_N$ ) مسجل (o)

وفى هذه الحالة يصبح الفصل بين الإشارة والضوضاء مثالى . وهذا الأثر سوف يتضح أكثر مع التحويل اللاخطى فى بناء الأبعاد الثلاثة لمركبات العلامات من ناتج ملاحظات الكاميرا، تحدث بعض التأثيرات اللاخطية . وعلى أية حال فان تفصيل مركبات الأبعاد الثلاثة يبين العلامات الخاصة ببيانات الجسم الصلب تكون أيضاً لا خطية . وبذلك يمكن حدوث الفصل بين مكونات الإشارة المنخفضة والموجة العريضة ويجب أولاً إضافة المؤثرات الصوتية .

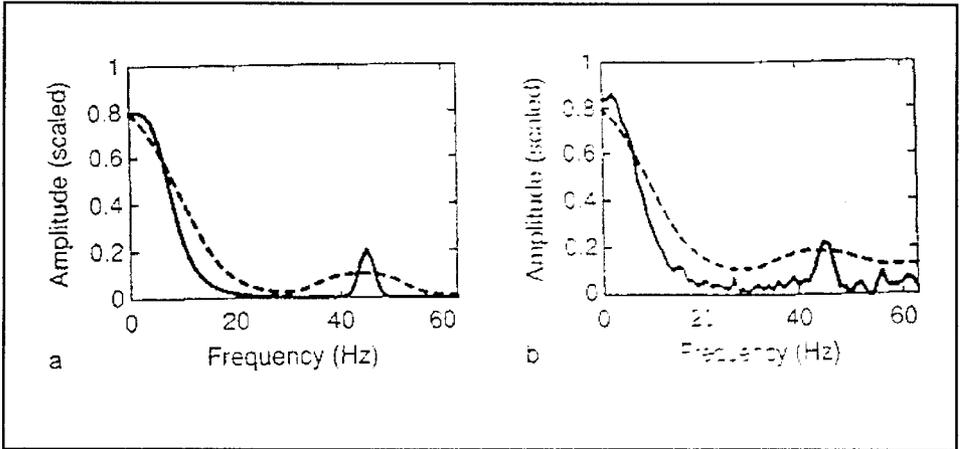
وحالما تم التهذيب فإنه يمكن عمل التمييز عن طريق الاختلافات ونظم الاستبقيات، حتى بعد التحويل اللاخطى . وعلى أية حال فإن مدة التمييز والاستبقاء يجب أن تكون قليلة نوعاً ما للسماح بالتقريب الخطى لأعلى وأول المشتقات فى الترتيب .

ويجب أن نلاحظ أن عملية المعاملة الحرة للبيانات الأولية قد لا تتيح الاستخدام الأمثل للمعلومات المتاحة على سبيل المثال فان خطوط الرؤية الواصلة بين الكاميرات وأجهزة الرصد لا بد أن تتداخل فى نقطة واحدة . أما الأخطاء التى نواجهها فى هذه الحالة فقد تساعدنا على افتراض مواقع الخطأ

فى النظام خاصة إذا كان هناك أكثر من كاميرتى فيديو. ويعتبر ذلك فى صالح الأبعاد الثلاثة الخطى قبل التهذيب.

وعلى نحو مشابه فإن المعرفة المسبقة للمسافات بين العلامات يمكن استغلالها فى القياس المباشر للموقع وقياس اتجاه الجسم الصلب وموقعه من الكاميرا. والمثال على ذلك هو التحويل الخطى المباشر المستخدم على نظام الأبعاد الثلاثة للكاميرا حيث موقع واتجاه الهدف وعلاقاته بالآخر مع عدد معين من وحدات الباراميتري يمكن أن نحصل عليها من 11 DLT باراميتري والتي تنتج أثناء التدرج فى الموقع.

ونظرياً يعتبر أفضل اتجاه هو القيام بجميع عمليات المعاملة فى نفس الوقت باستخدام أدوات النظام الحديث وقياس الباراميتري (ايكوف ١٩٧٤م، زودستوم وستوشيا ١٩٨٩م) وبهذه الطريقة نستطيع قياس القوة الموجهة لوضع الجسم الصلب وشبكة الاتجاهات والقوة الموجهة لسرعتها وعجلتها (على المحور الخطى أو الدائرى) وذلك من خلال ملاحظة كل البيانات الخاصة بمجموعة العلامات. . حتى إذا كانت بعض العلامات ليست دائماً فى دائرة ملاحظة الكاميرات.



شكل (٣٥)

التأثير غير الخطى فى المجال الزمنى وانحراف الطيف (a) حر التشويش، (b) الإشارة المشوشة قبل الخط الثابت) وبعد (....) الإشارة المربعة فى مجال الزمن

وبالإضافة لذلك فإن الشخص يمكنه إدماج قياسات العجلة والموقع . .  
وتعتبر قياسات الموقع مفيدة بصفة خاصة بالنسبة للمجال ذا التردد المنخفض  
بينما تساهم بيانات العجلة في المجالات ذات الترددات العالية (لادن و  
ودا ١٩٩١م).

والأقسام التالية ستناقش بعض الاتجاهات الحالية بين عمليات المعاملة  
المستقلة والمتزامنة .

### الانساب الباراميتريّة: ومناسبة النموذج Parametric Methods : Model Fiting

يبدأ الاختلاف بين النماذج الباراميتريّة والنماذج اللاباراميتريّة من وقت  
ظهور نظم الحاسبات عندما يعبر عن النماذج اللاباراميتريّة بمنحنى لوظيفة أو  
جدول أما النماذج الباراميتريّة فكانت تعطى بناء ولكن بعدد محدود من  
وحدات الباراميتريّة معروفة .

وفى مجال الإشارة الرقمية فان التمييز بين النوعين لاداعى له لأن كلا  
النوعين يعتمد على وحدات الباراميتري في القياس . ولكن يبقى من الممكن  
التمييز بينهم على أساس عدد وحدات الباراميتري التي تستلزم كمية من البيانات  
المتاحة . . وبمعنى آخر على أساس درجات الحرية . وهكذا فان التناسب بين  
القطع المكافئ ومجموعة وبيانات الصوت عملية باراميتريّة بينما عملية quintic  
Spline ومناسبتها للبيانات عملية باراميتريّة .

وفى بعض العمليات يتم المزج بين النماذج الباراميتريّة واللاباراميتريّة فى  
مجال التردد (انظر د . اميكو وفيريچنو ١٩٩٠م - ١٩٩٢م).

وفى أسلوب القياس بالباراميتري يكون النظام الرياضى من عدد من  
الباراميتريّة المجهولة أو المعروفة جزئياً والمشكلة هنا هو كيفية قياس هذا العدد  
من الباراميتريّة من مجموعات خاصة متكررة من البيانات الصوتية . مثلاً إذا  
كانت الإشارة الصفرية ذات شكل معروف  $X(t)$  وتختفى وراء إشارة الضوضاء  
 $Y(t)$  بإضافة ضوضاء بيضاء ثابتة (انحراف  $\sigma$  يعنى الصفر أو كمية غير

معلومة) وهي عملية تسمى التعقيب التوليفي في تكنولوجيا الرادار التي تعتمد على إيجاد القيمة القصوى للوظيفة ذات العلاقة التبادلية.

$$P(T) = \int x(t) y(t+T) dt, \dots\dots\dots (17)$$

والقيمة القصوى يمكن إيجادها في مجال التردد لأن عدد اللغات في مجال الزمان يماثل عملية الضرب في مجال التردد. وباستخدام أساليب تحويلية سريعة يمكن اختزال عدد كبير من عمليات الكمبيوتر (أوبنهايم وشافر ١٩٨٩).

وعموماً فإن قياس البارامتر تحت ظروف إضافة الضوضاء يمكن ترجمته إلى محاولة حل مشكلة النظام الخطي.

$$\vec{A}a = \vec{y}, \dots\dots\dots(18)$$

حيث أن  $A$  مصفوفة  $n * m$  المعروفة لرتبة  $m$  وعادة مع  $n \gg m$ ;  $y = (Y_1, \dots, Y_n)$  كمية الضوضاء الحقيقية والغير معروفة  $\vec{\varepsilon} = (\varepsilon_1, \dots, \varepsilon_n)$  والتي تعرف بالتحديد صفاتها وحيث  $a = (a_1, \dots, a_m)$  تحتوي على عدد البارامترات المراد قياسها.

ومثال على ذلك أحكام القطع المكافئ  $X = a_0 + a_1 t + a_2 t^2$  لمجموعة من بيانات التشويش  $(Y_i)$   $m \geq 3$  المخزنة في  $n$ -vector  $\vec{y}$  تعريف صف  $n$  والقوة الموجبة  $(1, t^1, t^2)$  واحد لكل نقطة زمن  $(t)$  وهذه المصفوفة يمكن ربطها عن طريق  $A$  Matrix  $n * 3$ . إذا كانت قيمة التشويش تعنى صفر وان  $\vec{\varepsilon} = 0$  بشبكة معروفة غير مفردة  $\vec{\varepsilon}(\varepsilon)$  فإن أفضل نظام للقياس هو كما يلي:

$$\vec{a}_{blue} = N_{blue}^{-1} A' / N_{blue}^{-1} \vec{y} \dots\dots\dots(19)$$

$$N_{blue} = (A' N^{-1} A)^{-1} \dots\dots\dots (20)$$

وفى أغلب الأحيان فإن  $N$  تكون مرفوعة لعامل النسبة الذى يمكن الحصول عليه من اختلاف الفرق بين الناتج  $O_{res}^2$  مثل ما يلى:

$$\sigma_{res}^2 = \frac{\frac{\Lambda}{\epsilon} \quad \frac{\Lambda}{\epsilon}}{(n - m)} \dots\dots (21)$$

حيث أن  $\frac{\Lambda}{\epsilon}$  الخطأ المناسب بين البيانات والنموذج، أو:

$$\frac{\Lambda}{\epsilon} = (I - AN_{blue} A^1 N^{-1}) \vec{y}$$

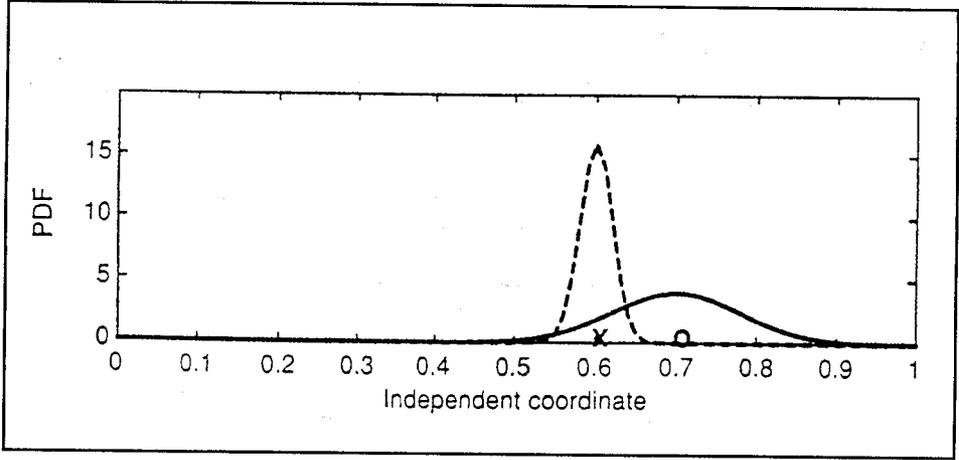
وحيث أن تباين المصفوفة  $N_{blue}$  (Covariance Matrix) يمكن قياسه مثل:

$$N_{blue} = \sigma_{res}^2 (A^1 N^{-1} A)^{-1}$$

وبالرغم من أن ناتج التريعات التقليدية مناسب لبيانات الصوت أو التشويش قد يؤدي إلى الحصول على قياسات متتالية إلا أن تنوع القياسات قد يكون كبيراً جداً إذا كانت مصفوفة البيانات  $A$  شبه مفردة.

والاختلافات فى بيانات الصوت يعتبر مثالا لحالة شبه الانفراد. ولذلك قد يكون من المفيد أن تسمح ببعض الانحراف فى أمر القياس. والذى بدوره سوف يقلل فى تنوعات القياس بصفة معقولة.

انظر الشكل (٣٦).



شكل (٣٦)

مثال لأساس وتباين الصناعة على بعد لتقدير البيانات. احتمال معامل الكثافة (PDF) لأفضل تقدير غير خطي (الخط الاسود) والمقوم وقع بالخط المقطع (...). وعلامة المتوسط الحقيقي صفر وعلامة المتوسط المؤسس (X)

تنقية Low - Pass في عملية التفريق يعتبر مثلاً على فرض مثل ذلك الانحراف. ومن أجل تقليل مستوى Stochastic error فإن علينا إدماج بعض المركبات المحددة.

وهذا يتطلب إزالة التشويش. الإشارات الأخيرة في الحقيقة هي شكل من الانحراف.

وهناك طريقة لفرض قليل من الانحراف بفرض عدد من المعوقات النسبية على النظام الخطي (١٦)

$$Ca = 0,$$

حيث أن  $K * m \text{ matrix} = C$  أما لتحديد مقدار الوزن المؤثر على هذا الانحراف بإضافة عامل وزن إضافي فإن تنظيم البارامتر  $X$  يجب أن يكون أكبر بكثير من الصفر. وفي عملية التفريق مثلاً، يمكن فرض العائق على نطاق الاشتقاقات. والقياس الناتج هو:

$$\vec{a}_{\text{biased}} = (A' N^{-1} A + \alpha C' C)^{-1} A' N^{-1} y . \quad \dots\dots\dots(25)$$

وتوجد نماذج مشابهة في مجال التصوير الطبى (الاشعاع الطبية) (CT, MRI)

واستخدام عواتق للوزن في معادلة (١٩ - ٢٤) فإن لذلك أثراً في إيجاد العلاقة التبادلية بين عناصر  $\frac{\Delta}{a}$  وأيضاً تقليل الأبعاد على  $a$  وفي الحقيقة يمكن وصف كيفية تبسيط الشريحة تبعاً لهذه النماذج ولكن عندما  $m = n$  وتختلف عن وضع  $m \ll n$  للنموذج الباراميتري.

والسؤال يبقى ما مدى الانحراف المفروض إيجاده لتقليل مستوى التشويش في القياس  $a_{biased}$  بالقدر الكافي دون الخلل بالإشارات أيضاً.

وهذه القضية التي تتعلق بالتنظيم المثالى واختيار القيم المناسبة لـ  $\alpha$  سوف يطرح في قسم المعادلة التالية للبيانات.

### الانساب الالباراميترية

### Nonparametric Methods

إن أسلوب أحكام الشريحة الزمنية وأساليب Fourier السريعة في مجال التردد غالباً ما تعتبر أساليب لالباراميترية لمعادلة الإشارة. ولكن هذه الأساليب تعتبر أيضاً باراميترية بالرغم من حقيقة أن النموذج الذى يراد أحكام بياناته عام وذلك يستدعى وجود عدة وحدات باراميترية غير معروفة.

وهناك تاريخ طويل لهذان الأسلوبان ولكن لا يسمح الفصل بذكره. ولكن يمكن للقارئ العودة للتاريخ الأصى للموضوع مثل كتاب عام ١٩٨٩م الذى ألفه (أوبنهايم وشافر وعنوانه الكلام ومعادلة الإشارة).

كما أنه توجد عدة برامج كمبيوتر خاصة بالموضوع وتتيح المساعدة في عملية تنقية الباراميتري من الزمن المحدد أو متطلبات مجال التردد

(مثل NETLIB @ RESEARCH . ATT . COM) الذى يمكن الرجوع إليه

في الفهرس أو مخاطبته عن طريق القنوات التجارية.

## أساليب مجال الزمن : Time Domain Method

إن مصطلح التنقية الرقمية له عدة معانى قد يختلط بعضها فى علم الميكانيكا الحيوية والمصطلح رسمياً يرجع لأى شكل من أشكال معاملة الإشارة الرقمية سواء فى ذلك إذا كانت تمهيد Low - Pass أو التفريق أو أى نوع من التحويل. وفى مجال الزمن فان مصطلح تنقية عادة ما يفسر فى نطاق ضيق على عكس التمهيد والتنبؤ. عند وجود مقدار محدد من وحدات قياس التثويش فى فترة زمنية  $T_{min} T_{max}$  وعندما يقاس التحويل للزمن  $T$  التمهيد يشير إلى الحالة  $T_{min} < T < T_{max}$  التنقية تشير إلى  $T_{min} T_{max}$  أو التنبؤ يشير إلى  $T < T_{max}$ . مثلاً فى أسلوب Kalman للتنقية فان القياسات السابقة والحالية تستخدم لقياس القيم الحالية للموقع، السرعة والعجلة من بيانات التثويش. وعند استخدام المعلومات المستقبلية أيضاً يتم تطبيق مصطلح التمهيد (فيوريتى وجبتو ١٩٨٩م). إن أجهزة التنقية تستطع قياس البيانات الماضية والحالية والمستقبلية خلال مجموعة من الاجراءات.

كثير من أساليب المجال الزمنى المعروفة تعمل جيداً اذا كانت البيانات الأولية يفترض فيها الثبات. ومن المهم على أيه حال إدراك أن هذا الفرض قد لا يكون صحيحاً فى جميع تجارب وعمليات الميكانيكا الحيوية.

ومن أجل تنقية رقمية مثلى نعود هنا للإشارة للتاريخ. وفى علم الميكانيكا الحيوية فإن استخدام وظائف الشريحة قد أصبح شائعاً منذ نشر كتب (سردان وديركيس ١٩٧٩م) وود (١٩٨٢م) وعلى أيه حال فليس هناك إشارات لاستخدام الشريحة فى تاريخ المعادلة الرقمية للإشارات، وقد يرجع سبب ذلك إلى كون قاعدتها الأساسية تحليلية وشيوعها فى الإحصاء كان بعيداً عن مجال تحديد تردد الزمن فى مجال هندسة تحليل الإشارات.

وقد ظهرت حديثاً الصلة بين المجالين (كرافن ووهبة ١٩٧٩م - وولترنج وآخرون ١٩٨٧م) وهناك مركبات أخرى توجد فى مجال التصميم الديناميكي (دورمان وبايس ١٩٩٠م ، كون وانسلى ١٩٨٧م، ١٩٨٩م).

## أساليب مجال التردد : Frequency - Domain Method

فى السابق أشرنا إلى أسلوب تنقية Wiener . وهنا قد أجريت عمليات التمهيد التنقية والتنبؤ والتفريق فى مجال التردد. وعلى أية حال فإن جهوداً كبيرة قد بذلت من أجل خدمة التطبيقات العملية فى الملاحظة فى الفضاء والمدفعية لتقريب هذه العمليات فى مجال الزمن. فإذا كانت الإشارة والتشويش ليس لها علاقة تبادلية - مع وجود قوى كثافة معروفة  $S(\omega) N(\omega)$  فإن جهاز تنقية Wiener هو الأمثل لتقليل حجم الخطأ وهو أيضاً يملك وظيفة التحويل (وولترنج ١٩٩٠م).

$$H(\omega) = \frac{S(\omega)}{S(\omega) + N(\omega)} \quad \dots\dots (26)$$

على سبيل المثال يتبع نظام التفريق Kth ناتج ال  $H(\omega)^k (j\omega)$  عندما تكون  $(j\omega)^k$  هى المثلى وتبعاً لاستجابة تردد جهاز التفريق و J هى الوحدة التخيلية  $\sqrt{1}$  وبالنسبة لأى نوع من التحويل الخطى فإن وظيفة التحويل المثلى فى مجال التردد ترتبط ب  $H(\omega)$  فى المعادلة (٢٦) وهذا هو نتيجة اختبار المعيار المثلى . . . .

بالرغم من أن أسلوب تنقية Wiener قد يكون مثالياً من وجهة نظر مجال التردد إلا أن له تأثيرات عكسية فى مجال الزمن. واعتماداً على عمل اندرسن Anderssen وبلوم فيلد Bloomfield (١٩٧٤م) قام هانز (١٩٨١م) بوصف عملية Fourier للتحويل السريع لقياس Law - Pass للإشارات المتناقة ومشتقاتها. ومشكلة عدم ثبات البيانات قد أصبحت مؤكدة نظراً للطبيعة الدائرية لعملية FFT والبيانات الدولية تم تعديلها عن طريق طرح الميل الخطى  $a_0 + a_1 t$  بطريقة معينة حتى أصبحت النقاط الأولى للبيانات والنقاط الأخيرة قيمتها صفر. وبعد ذلك أصبحت البيانات تتخذ الاتجاه الدائرى المستمر فى أول اشتقاقاتها بالعكس السلبى مثل :

$$X_i = Y_i, X_{2n+1-i} = y_i; i = 1, \dots, n \quad \dots\dots (27)$$

التمهيد والتفريق تم على مجموعة البيانات المقدمة  $\{X_1\}$  فى مجال التردد تبعاً لأسلوب Fourier فى التحويل. ولسوء الحظ أن هذا الاتجاه يتطلب فرض قطع الاشتقاق الثانى على موانع التسجيل ( $i = 1$  and  $i = 2n$ ) إذا كان الاشتقاق الثانى الحقيقى لا صفرى فى هذه النقاط أما تنقية البيانات Low - Pass فى مجال التردد قد نتج عنه طينياً فى إشارة المشتق الثانى ليس فقط على موانع التسجيل ولكن خلال مدى البيانات (وولترنج ١٩٨٥م).

أما الأساليب البديلة التى تتجنب الحقائق الزائفة فيجب استخدامها تحت الظروف المناسبة وأيضاً هناك كتب عديدة تبحث فى مجال الإشارة وتطوع أساليباً عديدة لها فهناك أساليب تعتمد على استخدام برامج الكمبيوتر متاحة فى الأسواق كما أنه هناك أساليب يمكن منها الاختيار بين معايير تختلط فيها مجالات الزمن والتردد.

### المعاملة المثلى للبيانات : Optimal Data Processing

إن العديد من الكتب قد استخدمت بأساليب التحكم الكامل فى استجابات التردد أو الزمن وهنا تصبح المشكلة هى كيفية الاختيار بين تلك الاستجابات. وهذا بدوره يظهر لنا مشكلة أخرى وهى القياس الأمثل لاستجابات التنقية المطلوبة من البيانات ومثلاً على ذلك هو أسلوب تنقية Wiener التى ناقشناها فى السابق عندما تم قياس مجالات الصوت والإشارة من البيانات أو تم افتراضها. وفى العلم الحديث فإن الأساليب المثلى قد تم طرحها للبحث خاصة فى خدمة مجال ملاححة الفضاء.

وبذلك فإن استجابات التنقية يتم تحديدها وعدد وحدات البارامتر يتم قياسها من البيانات على سبيل المثال يمكن أن تقرر استخدام جهاز تنقية Butter Worth الذى يعمل بنظام mth بوظيفة تحويل ونحاول إيجاد تردد cut - off مناسب  $\omega_c$  من البيانات لأن هذا النوع من الفلتر يسمى :

$$H_{\alpha}(\omega) = \frac{1}{1 + (\omega / \omega_{\alpha})^{2m}} \quad \dots\dots (28)$$

بفلتر (IIR) يعمل عادة بطريقة الإعادة للمعاملة المباشرة في مجال الزمن وحالته الآلية تعتبر مهمة. وهذه الحالة الأولية قد تؤثر على قيم الاشتقاق المكتسبة تبعاً من أليانات الممهدة. وهكذا قد يفضل البعض فلتر (FIR) الذي تكون فيه عملية التحكم في وضعه وتشغيله.

وقد قام هانز (١٩٨١م - ١٩٩٠م) وولترنج (١٩٨٥م-١٩٨٦م-١٩٩٠) بوصف الأساليب المثلى لقياس البيانات الممهدة ومشتقاتها من تسجيلات بيانات الصوت. وقد قام هانز بتطبيق هذا الأسلوب على موديل FFT ووصف وولترنج ودورمان وبابسى هذه الأساليب وقاموا بتقديم برامج لتشغيل هذه الأساليب في مختلف المجالات.

ويفترض للوصول للكمال تحديد المعايير الواقعية حتى يتم الوصول بها للكمال. وهذه بدورها تستلزم افتراضات محددة عن البيانات (الإشارة والضوضاء) حتى يتاح معاملتها بأفضل أنواع الفلاتر أو المنقيات. وبسبب بعض عيوب بال نماذج فإن الفروض غير الواقعية، والسؤال الذي يجب طرحه هو ما مدى نشاط أو تحمل الأسلوب إذا لم يتم استيفاء فروض النموذج؟ مثلاً إشارات التردد مع إضافة ضوضاء بيضاء يمكن فرضها غالباً فماذا يحدث اذا كانت البيانات لا تحتوى على ضوضاء بيضاء أو إشارات ذات تردد عالى؟ ولهذا فما هى دلالة قياسات الجسم الصلب فى الحركات والقوى المشتركة مع الوضع فى الاعتبار طبيعة الجهاز الإنسانى الذى لا يتسم بالصلابة؟ (ومثال لذلك سوف يناقش فى القسم القادم). فى الجوهر كثير من هذه الأساليب يمكن جعلها تقتصر على مشكلة التنظيم الأمثل لقياس البارامترات كما هو مبين مثل  $\alpha$  فى المعادلة (٢٥).

## التوثيق العام المتبادل : Generalized Cross - Validation

في أعمال كرافن ووهيه (١٩٧٩م) هناك اتجاه واحد امثل لتحديد  $\alpha$  من البيانات وهو ما يسمى بالتوثيق العام المتبادل (GCV) وفي جوهره يتطلب هذا الاتجاه قياس وظيفة الاحكام التي تعتمد على جميع نقاط البيانات ما عدا نقطة kth لبعض القيم المعطاه لـ  $\alpha$  . والخطأ المتوقع عند  $k_k$  هذه النقطة يستخدم بعد ذلك في تحديد الخطأ العام لـ (RMS) وهكذا (RMS) أفضل التنبؤات في مجال إحساس RMS . وعلى النقيض من التوثيق المتبادل العادي (DCV) أو (CV) يستخدم نظام GCV عوامل الوزن لتحقيق مدد غير متساوية في المتغير المستقل .

ومن المدهش حقاً أن موضوعي استخدام الشرائح في الإحصاء والتنقية الرقمية في الهندسة الكهربائية قد اقتربا من بعضهما الآخر . ويظهر لنا أن سمات مجال التردد للشرائح المنتظمة يماثل إلى حد بعيد تلك التي يستخدمها نظام فلتر Butter Worth . ووظيفة أسلوب GCV تتحدد بالخطأ في فرق الناتج وتأثير عرض موجه التوقف في الفلتر . فإذا كانت  $H_\alpha(\omega)$  هو استجابة الفلتر  $X(\omega)$  هو المجال الداخلى فإن المجال الناتج  $Y_\alpha(\omega)$  ومجال الخطأ  $E_\alpha(\omega)$  يحسبان كما يلي :

$$y_\alpha(\omega) = H_\alpha(\omega) x(\omega), \dots\dots\dots (29)$$

$$E_\alpha(\omega) = \zeta H_\alpha \{ \omega - 1 \} x(\omega),$$

والقوة المتبقية لكل وحدة ترددية في موجة التوقف  $W_{stop}$  كما يلي :

$$\sigma_\alpha^2(X) = \frac{1}{\omega_{stop}} \int_0^{\pi/\tau} / E(\omega) / 2 d\omega \dots\dots\dots (30)$$

إذا كان الفلتر مثالياً فإن  $H_\alpha = 01$  تبعاً لتردد الفلتر  $\omega_\alpha$  ويساوى صفر للترددات الأعلى ثم  $\omega_{stop} = \pi / \tau - \omega_\alpha$  والقوة المتبقية في موجة التوقف تساوى :

$$\sigma^2_{\alpha} = \frac{1}{(\pi/\tau - \omega_{\alpha})} \int_{\omega_{\alpha}}^{\pi/\tau} |X(\omega)|^2 d\omega, \dots\dots (31)$$

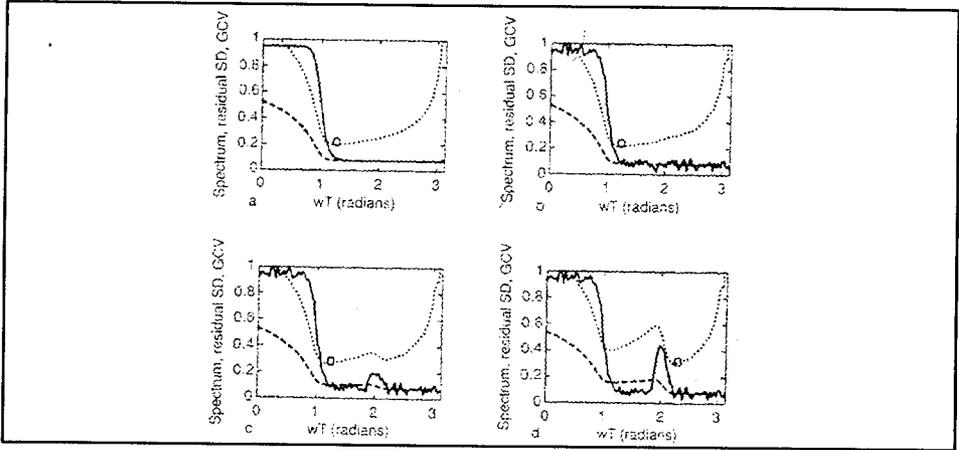
عندما تكون  $\tau$  هي مدة الاختبار. أما الضوضاء البيضاء  $X(\omega)$  أساساً تكون مسطحة لأي  $\omega_{\alpha}$  أقل من أقصى تردد للإشارة. ولذلك  $\sigma^2$  سوف يكون ثابت أيضاً و GCV وظيفته يتم الحصول عليها بالتقسيم مرة أخرى على  $\omega_{\text{stop}}$  والقيمة المثلى تنتج باختبار هذه القيمة المحددة لـ  $\omega_{\alpha}$  التي عندها تصبح وظيفة الـ GCV في أدنى مستوياتها.

وعملياً فإن الفلاتر الخطية مع عرض موجه نهائي بين  $H(\omega)=0$  و  $H(\omega)=1$  ويمكن تعميم هذه الفكرة عن طريق وزن كل مكون من مكونات التردد. ويظهر أن أثر مصفوفة التنقية  $A_{\alpha}$  في التحويل الخطي كما يلي:

يمكن استخدام  $Y_{\alpha}$  بين البيانات الأولية الداخلة والنتائج الممهدة لهذا الغرض (كرافن ووهيه ١٩٧٩م) لأن الفلتر الأمثل يساوي عدد مكونات التردد وعرض موجه التوقف نسبيه إلى  $n - n_{\alpha}$  لان إجمالي القوة المتبقية يمكن استخراجها في مجال الزمن ككمية من الفروقات المربعة بين البيانات الأولية والبيانات الممهدة.

من أجل إشارة Low - Pass والضوضاء المضافة يكون الخط الأفقي في المجال عالي التردد ينتج عن ذلك ما يشبه ما حدث في الشكل (٣٧) وهذا في مجال البيانات الأولية يتم رسمه بخط متواصل يعبر عن وظيفة التردد. بينما المقدار الباقي من تردد الانحرافات في كل وحدة وقياس GCV يتم رسمه بالخط المنقط والمتقطع وهما يعبران عن وظائف تردد الفلتر تبعاً لتردد نظام Nyquist. لأن بيانات التردد العالي تحتوي على ضوضاء مع طيف ثابت والمقدار الباقي للانحرافات يتماشى مع البيانات.

لتقليل تردد cut - off فان وظيفة s . d تبدأ في الانحراف في مجال الإشارة لأن هذا المجال يبدأ في التغيير مع التردد.



شكل (٣٧)

أنسب توثيق عام متبادل (GCV) المؤسس على أقل مرور للتهذيب من أجل أقل مرور منخفض للتقية، أقل مرور للإشارة، واختلاف نوع التشويش: (a) البيانات النموذجية، (b) ليت القيمة الأعلى، (c) أضعف قيمة، (d) أقوى قيمة والرمز (o) يشير إلى دالة GCV الحقيقية.

ولأن الإشارات الحقيقية التي نحصل عليها عن طريق تحليل حركة الأبعاد الثلاثة لن تتمكن من تحقيق فروض النموذج فالسؤال الذي يفترض طرحه هو كيف ستمكن هذه العمليات من ممارسة العمل؟ يوضح ذلك الشكل (٣٨ - a) وفي شكل (٣٨ - b) لا تزال الضوضاء بيضاء ولكن في الشكلين (٣٨ - c, d) تم إضافة قمة في مجال التردد العالي. لأنه في الحالة السابقة كانت هذه القمة أصغر من أن تظهر كصوت بأسلوب العدد أو الحساب ولكن ذلك يختلف في الحالة الثانية. وعلى أية حال فالفلتر لا يستطيع التمييز بين الإشارة أو الضوضاء، ففي النهاية من يستخدم الفلتر يفسر البيانات التي لها الاختبار الأخير.

### مجموعة شرائح GCVSPL : Spline Package

بعض هذه المشاكل يمكن توضيحه وحله باستخدام مجموعة شرائح GCVSPL (وولترنج ١٩٨٦م) وفي هذه المجموعة نجد أن الحد الأدنى العالمي والمحلى لوظيفة GCV عن طريق إدخال القيم المراد استخدامها في البحث عن تنظيم مثال للبارامتر  $\alpha$  وهذه المجموعة يمكن استرجاعها بالبريد الإلكتروني.

وتحتوى مجموعة الشرائح المختارة من قبل حتى نظام  $2m$  ويمكن أن نحسب خطأً  $(m=1)$  = مكعب  $(m=3)$  مخمس  $(m=5)$  مسبع  $(m=7)$  ومتسع  $(m=9)$  والذي يعتبر أكثر أنواع الترتيب التي يمكن الاعتماد عليها.

أما بالنسبة للشرائح الدورية فإن البديل لفلتر Butter Worth المضاعف يمكن إيضاحه عن طريق نظرية Fourier إذا تم تحديد الشريحة كما هو في التحويل الخطى  $h(\cdot)$  ، مع Fourier تحول  $H(\omega)$  والذي يقلل وظيفة القيمة من أجل تنظيم ثابت للباراميتير . ، كما يلي :

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |h(X_i) - X_i|^2 + \infty \int \left| \frac{\partial^m h \{x(t)\}}{\partial t^m} \right|^2 dt, x_i = x(t_i). \quad (32)$$

المعادلة (٢٨) يمكن أن تشتق لأن الوظيفة المثلى للتحويل  $H(\omega)$  مع

$$\omega \propto (n \tau \alpha)^{-1/2m} \quad (33)$$

وبالرغم من أن هذه العلاقة تصلح لشرائح المتنافسة إلا أن GCVSPL بالشريحة الطبيعية وجد أنها تؤدي بنفس الطريقة ما لم يكن مقدار التمهيد عالياً جداً.

وهكذا فإن GCVSPL ذا الشريحة لا يتصرف كفلتر مثالي Low Pass وعلى أية حال فإن عرض الموجه المؤثر ينتج كنسب  $\{A \propto\}$  Trace . كما يبين أن  $A \propto$  يمكن أن تشتق كالتالى

$$A \propto = B(B + \alpha E)^{-1} \quad (34)$$

حيث أن مصفوفات  $B$  و  $E$  موجه ومحددة وتعلق بالمصفوفات  $C, N, A$  كما فى المعادلة (٢٥). وبسبب الطبيعة المحددة للموجة فى هذه المصفوفات فإن حساب  $Y \propto$  فى معادلة (٣٢) وفى  $\{A \propto\}$  Trace تكفى ولا

تتطلب قلب المصفوفة كما في المعادلة (٣٥). والمقدار المتبقى من الانحراف في مجال الزمن (بنسبته إلى مقدار الانحراف في كل وحدة تردد في مجال التردد) ووظيفة GCV يعبر عنها كما يلي:

$$\sigma^2_{\alpha} = \frac{|\{1 - A_{\alpha}\}x|^2}{\text{Trace}\{I - A_{\alpha}\}} \quad (35)$$

$$\text{GCV}_{\alpha} = \frac{|\{I - A_{\alpha}\}x|^2}{|\text{Trace}\{I - A_{\alpha}\}|^2} \quad (36)$$

إن تشابه المعادلات (٢١) و (٢٢) ، (٣٤) مع  $I = \text{Trace}\{1\}$  فإن ذلك يستدعى  $\text{Trace}\{I - A\}$  بحيث يفسر الرقم المؤثر في درجة الحرية في تبسيط المشكلة و  $\text{Trace}\{A_{\alpha}\}$  على أنها البارامترات المؤثر  $n_{\alpha}$  حتى إذا كان الرقم الإجمالي  $n$  ولأى قيمة  $\alpha$ .

ودلالة هذا التفسير يمكن توضيحها لتحديد الحالة وتمهيد  $\alpha \rightarrow 00$  و  $\text{GCVSPL}$  ذا الشرائح الطبيعية، إن الشرائح بعد ذلك تقلل إلى كمية متعددة الحدود  $(m-1)$  و  $\text{Trace}\{A\}$  للوصول لتلك القيمة. بسبب هذا التفسير لـ  $\text{Trace}\{A_{\alpha}\}$  أنها إحدى بارامترات التحكم التي تستخدم للوصول للأسلوب الأمثل في نظام مجموعة  $\text{GCVSPL}$ .

ومن أجل تحقيق أسلوب مثالي مضاعف في وظيفة  $\text{GCV}$  قد يكون من المفيد لتخطيط الكمية المتبقية للانحراف ومدى  $\text{GCV}$  كوظيفة لـ  $\alpha$  واستخدام الشريحة في هذا النظام يماثل استخدام فلتر Butter Worth وهذه العلاقة موضحة في المعادلة (٣٣) وفي أثناء التجربة وجدت العلاقة الخطية التالية بين  $\text{Trace}\{A_{\alpha}\}$  و  $\{\omega_{\alpha}\}$ .

$$\text{Trace } \{A_\alpha\} = x \{n/2 + mk_n \omega_\mu \tau\} \quad (37)$$

$$K_m = \int_0^\infty \frac{dx}{1+x^{2m}} \downarrow \frac{1}{\pi} \text{ For } m \rightarrow \infty \quad (38)$$

وقد وجدت هذه العلاقة تتحقق فقط في القيم العالية لتنظيم البارامتر وبعد ذلك أصبحت الشرائح متعددة، انظر  $BW_{fre}$  شكل (٣٨) وهذا يعنى أن الشرائح كعينة تحتاج ما يقرب من  $m/2$  كعينات للوفاء بتأثير المركبات.

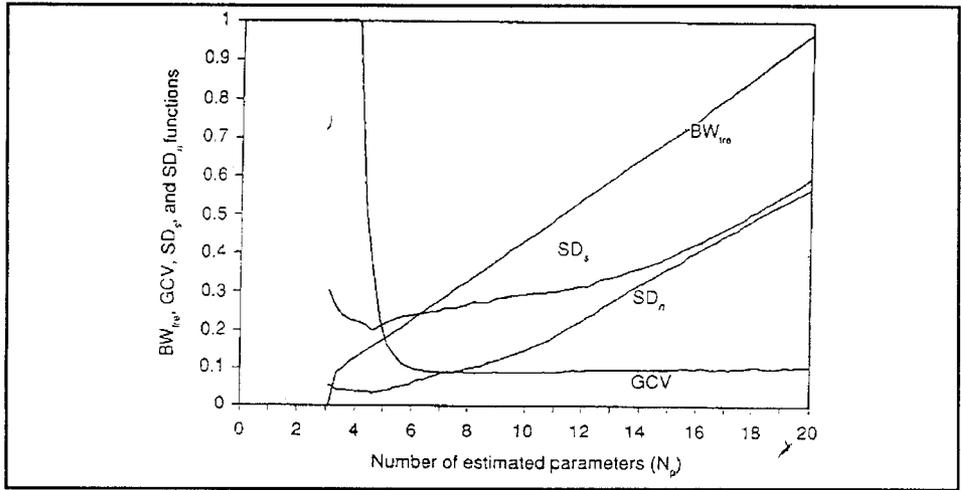
أما بالنسبة لبقية النقاط فإن الشرائح الطبيعية تؤدي عملها تقريباً كالشرائح الدورية وحتى انحراف  $(m-1)$ . أما المركبات الوهمية فإنها سوف تعمل على الانحرافات الأعلى لتسجيل البيانات إذا كانت قيمة الانحرافات الأعلى لا صفرية في حدود التسجيل.

وعند حساب الشرائح لقيمة  $\alpha$  المختارة من قبل المستخدم فإن مجموعة GCVSPL تستخدم وبديلاً لذلك يمكن استخدام المجموعة بأسلوب متكرر يكون فيه القيم المثالية أو القيم المطلوبة لـ  $\{A_\alpha\}$  Trace موجودة أتوماتيكياً.

وتحتوى هذه المجموعة على عدة اختيارات أخرى مثل معاملة البيانات والسماح بوجود عدة عوامل للوزن إذا توفرت بعض المعلومات عن توزيع الضوضاء النسبي.

والسؤال المطروح هو ما مدى مثالية أو فعالية أى من الانحرافات التى نتجت عن هذه البيانات الممهدة؟ إن عملية الشرائح تمثل حلاً وسطاً للمناسبة بين مستوى البيانات (انحرافات O-th) والانحناء فى انحرافات mth (هانز ١٩٨١م) قد اقترح استخدام معايير مختلفة للتمهيد لكل انحراف ولكن مجموعة الشرائح لا توفر ذلك. وفى الواقع فإن تعقيد النتائج التى توصل إليها وولترنج وآخرون سنة (١٩٨٧م) ولانج وآخرين (١٩٩٠م) توضح أن مقدار التمهيد كان أقل من المطلوب. شكل (٣٨) وفى هذه الدراسات تم

قياس المحور اللولبي بالنسبة لحركة قرب محور مثبت ولذلك فإن انتشار IHA الذي تم تقدير استخدامه كمعيار كلى لنوعية اكتساب البيانات وحلقة معاملة البيانات. وقد أظهر وولترنج (١٩٨٧م) أن IHA هو الانحراف الأول الذي يتطلب الموقع والسرعة لنقطة الرجوع فى جسم متحرك وسرعة الدوران لهذا الجسم. وبالرغم من تحقيق تطور مؤثر يرجع سببه لأسلوب GCV المثالى فى تمهيد بيانات موقع الضوضاء فإن تمهيداً أقوى قد يقلل مقدار الضوضاء فى بيانات IHA باستخدام عامل من ٢ إلى ٣ (انظر  $S D_n$  ،  $S D_s$  البيانية فى شكل (٣٩) للتعرف على موقع واتجاه الانتشار و(IHA).

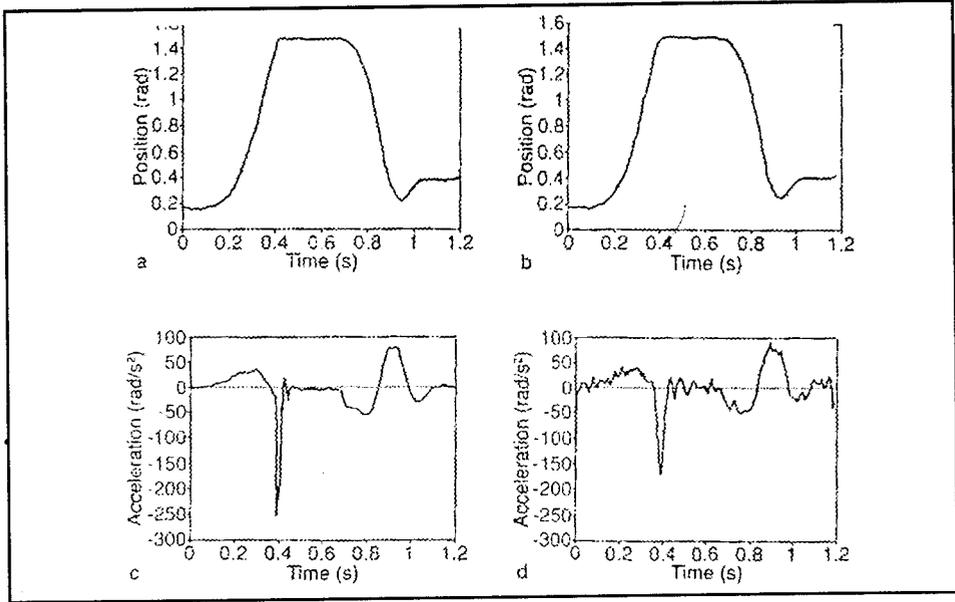


شكل (٣٨)

نتائج التهذيب من أجل تزامن المحاور اللولبية من تشويش بيانات العلامة الأرضية (ولترنج وآخرون ١٩٨٧م). موضع الأخطاء  $SD_s$ ، واتجاه الأخطاء  $SD_n$  للانحراف الأول الذى يتطلب الموقع والسرعة لنقطة الرجوع فى جسم متحرك وسرعة الدوران لهذا الجسم (IHA).

إن مدى ما يتحقق من مثالية لكل انحراف سوف يؤدى إلى تحسن فى مزايا أسلوب التمهيد والتفريق ومثال لذلك قدمه رولترنج (١٩٩٠م) كان مقدار من البيانات تم معاملتها بواسطة الشرائح الطبيعية GCV لأنماط مختلفة فى شكل (٣٩)  $a, d$  فإن المواقع التى تم قياسها وعجلة البيانات يتم مقارنتها بشرائح GCV الطبيعية وما تحصل عليه من قياسات.

وسنجد طينياً واضحاً يظهر في الانحراف الثاني وهذا ينتج عن استخدام فلتر Low Pass على إشارة ذات تردد عريض . وبالرغم من اختفاء إشارات الانحراف الثاني على حدود التسجيل فإن مكعب شرائح GCV أظهر مكوناً ذو تردد عالي قوى لا يمكن رؤيته في نظام شرائح GCV العالية ومن المحتمل أن يكون هذا تأثير الضوضاء على حدود التسجيل .



شكل (٣٩)

(b، a) موضع البيانات، (d,c) بيانات العجلة المشتقة من Dowling (١٩٨٥م). كلا المنحنين يسارا من تسجيلات غير عملية ويعرض المنحنى في الجزء العلوى يمينا وضع تهذيب البيانات عن طريق GCV. والمنحنى (d) يعرض المشتقة الثانية لتهذيب وضع البيانات



**المراجع**  
**REFERENCES**

- 1 - Anderssen, R.S. & Bloomfield, P. (1974)., Numerical differentiation procedures for nonexact data. *Numerische Mathematik*, 22, 157 - 182.
- 2 - Busby, H.R., & Trujillo, D.M. (1985). Numerical experiments with a new differentiating filter. *Journal of Biomechanical Engineering*, 107, 293 - 299.
- 3 - Cappozzo, A., & Berme, N. (Eds.) (1986). *Biomechanics of human movement Applications to ergonomics, sports and rehabilitation. (Proceedings of a Study Institute and Summer Conference on Biomechanics of Human Movement at Formia, Italy)*. Worthington, OH: Bertec.
- 4 - Craven, P., & Wahba, G. (1979). Smoothing noisy data with spline functions. *Numerische Mathematik*, 31, 377 - 403.
- 5 - D'Amico, M., & Ferrigno, G. (1992). Comparison between the most recent techniques for smoothing and derivative assessment in biomechanics. *Medical and Biological Engineering and Computing*, 30, 193 - 204.
- 6 - D'Amico, M., & Ferrigno, G. (1990). A technique for the evaluation of derivatives from noisy biomechanical displacement data by a model - based bandwidth selection procedure. *Medical and Biological Engineering and Computing*, 28, 407 - 415.
- 7 - Dohrmann, C.R. & Busby, H.R. (1990). A dynamic programming approach to smoothing and differentiating noisy data with spline functions. In A. Cappozzo & N. Berme (Eds.) *Biomechanics of human movement Applications to ergonomics, sports and rehabilitation* (PP. 248 - 262). Worthington, OH: Bertec.
- 8 - Dowling, J.J. (1985). A modeling strategy for the smoothing of biomechanical data. In B. Johnsson (Ed.), *Biomechanics X-B* (pp. 1163 - 1167). Champaign, IL: Human Kinetics.
- 9 - Eykhoff, P. (1974). *System identification - Parameter and state estimation*. London: Wiley.
- 10 - Fessler, J.A. (1991). Nonparametric fixed - interval smoothing with splines. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 39 (4), 852 - 859.

- 11 - Fioretti, S., & Jetto, L. (1989). Accurate derivative estimation from noisy data: A state - space approach. *International Journal of Systems Science* 20 (1), 33 - 52.
- 12 - Furnée, E.H. (1989). TV - computer motion analysis systems - The first two decades. Doctoral thesis, Delft University of Technology, The Netherlands. ISBN 90 - 9003095 - 6.
- 13 - Furnée, E.H. (1990). PRIMAS: A Real - time image - based motion measurement system. In J.S. Walton (Ed.), *Proceedings Mini - Symposium on Image - Based Motion Measurement*, 1356, (pp. 56 - 62). First World Congress of Biomechanics, San Diego, Ca. Bellingham, WA: Society of Photo - Optical Engineers.
- 14 - Gustafsson, L. (1977). ENOCH - An integrated system for measurement and analysis of human gait. Doctoral thesis, Teknikum, Uppsala University, UPTEC 77 23R, Uppsala, Sweden.
- 15 - Hatze, H., (1981). The use of optimally regularized Fourier series for estimating higher order derivatives of noisy biomechanical data. *Journal of Biomechanics*, 14 (1), 13 - 18.
- 16 - Hatze, H., (1990). Data conditioning and differentiation Techniques. In A. Cappozzo & N. Berme (Eds.), *Biomechanics of human movement - Applications to ergonomics, sports, and rehabilitation* (pp. 237 - 248). Worthington, OH: Bertec.
- 17 - Jennings, L.S., & Wood, G.A. (1988). Co - Joint data smoothing using splines. In A.E. Goodship & L.E. Lanyon (Eds.) *ESB 1988 - European Biomechanics (Proc. 6th Meeting of the European Society of Biomechanics)*. London: Butterworths.
- 18 - Kohn, R., & Ansley, C.F. (1987). A new algorithm for spline smoothing based on smoothing a stochastic process. *SIAM Journal on Scientific and Statistical Computing*, 8 (1), 33 - 48.
- 19 - Kohn, R., & Ansley, C.F. (1989). A fast algorithm for signal extraction, influence, and cross - validation in state - space models. *Biometrika*, 76 (1), 65 - 79.
- 20 - Ladin, Z., & Wu, G. (1991). Combining position and acceleration measurements for joint force estimation. *Journal of Biomechanics*, 24 (12), 1173 - 1187.

- 21 - Lange, A. de, Huiskes, R., & Kauer, J.M.G. (1990). Effects of data smoothing on the reconstruction of helical axis parameters in human joint kinematics. *Journal of Biomechanical Engineering*, 112, 107 - 113.
- 22 - Lanshammar, H. (1982a). On practical evaluation of differentiation techniques for human gait analysis. *Journal of Biomechanics*, 15 (2), 99 - 105.
- 23 - Lanshammar, H. (1982b). On precision limits for derivatives numerically calculated from noisy data. *Journal of Biomechanics*, 15. 459-470.
- 24 - Lyche, T., Schumaker, L.L., & Sepehrnoori, K. (1983). FORTRAN subroutines for computing smoothing and interpolating natural spline. *Advances in Engineering Software*, 5, 2 - 5.
- 25 - Oppenheim, A.V., & Schaffer, R.W. (1989). *Discrete time signal processing*. Englewood Cliffs, Nj: Prentice Hall.
- 26 - Söderström, T., & Stoica, P. (1989). *System identification*. London: Prentice Hall International (UK).
- 27 - Soudan, K., & Dierckx, P. (1979). Calculation of derivatives and Fourier coefficients of human motion data, while using spline functions. *Journal of Biomechanics*, 12 (1) 21- 26.
- 28 - Teulings, H-L. & Maarse, F.J. (1984). Digital recording and processing of handwriting movement. *Human Movement Science*, 3 (1/2), 193-217.
- 29 - Vaughan, C.L. (1982). Smoothing and differentiation of displacement-time data. An application of splines and digital filtering. *International Journal of Biomedical Computing*, 13, 345-386.
- 30 - Woltring, H.J. (1984). On methodology in the study of human movement. In H. Whiting (Ed.) *Human motor actions - Bernstein reassessed* (pp. 35-73) Amsterdam: North - Holland.
- 31 - Woltring, H.J. (1985). On optimal smoothing and derivative estimation from noisy displacement data in biomechanics. *Human Movement Science*, 4 (3), 229-245.
- 32 - Woltring, H.J. (1986). A FORTRAN package for generalized cross - validatory spline smoothing and differentiation. *Advances in Engineering Software*, 8 (2), 104-113.

- 33 - Woltring, H.J. (1990) - Model and measurement error influences in data processing (pp. 203-237). In A. Cappozzo & N. Berme (Eds.), *Biomechanics of human movement - Applications to ergonomics, sports, and rehabilitation* (pp. 203-237). Worthington, OH: Bertec.
- 34 - Woltring, H.J. (1992). One hundred years of photogrammetry in biolocomotion. In A. Cappozzo, M. Marchetti, & V. Tosi (Eds.), *Biolocomotion: Acentury of research using moving pictures* (PP. 199-225). Rome: Promograph.
- 35 - Woltring, H.J., de Lange, A., Kauer, J.M.G., & Huiskes, R. (1987). Instantaneous helical axis estimation via natural cross-validated splines. In G. Bergmann, A. Kölbl, & A. Rohlmann (Eds.), *Biomechanics: Basic and applied research* (pp. 121-128). Dordrecht: Martinus Nijhoff.
- 36 - Wood, G.A. (1982). Data smoothing and differentiation procedures in biomechanics, *Exercise and Sport Sciences Review*, 10, 308-362.