الفصل الثالث

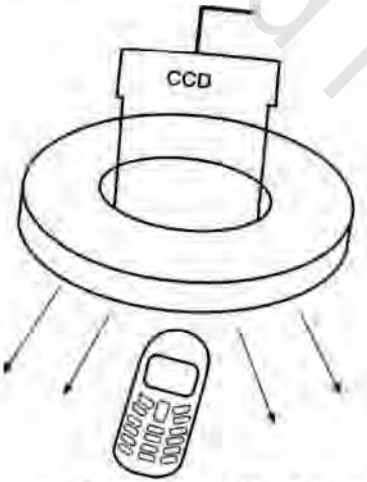
أنظمة الرؤية الآلية
Machine Vision Systems

بفضل التطور السريع لكاميرات CCD فإن مجال تقنية الرؤية الآلية ومراقبة المنتج انتشر بشكل واسع في مختلف القطاعات الصناعية. تشمل التطبيقات النموذجية لمهام الرؤيا الآلية الفحص و القياس، وتحديد مواقع المنتجات بين المنتجات الأخرى. وهذا سيكون موضوع كتاب آخر لوصف مجال الرؤيا الآلية الواسع بينما سنركز هنا فقط على بعض التطبيقات. ستظهر توصيفات بعض الأنظمة التي تتحدث من الناحية العملية عن استخدام الرؤية الآلية أيضا في فصول أخرى من هذا الكتاب.

(٣,١) فحص الغطاء البلاستيكي للهاتف المحمول
Inspection of Plastic Cover of Mobile Telephone

عادة ما يتضمن نظام الرؤية الآلية مصدراً فعالاً أو غير فعالٍ للضوء لإضاءة الجسم، و كاميرا CCD واحدة أو أكثر و عناصر بصرية و مثبت إطارات صور، يستطيع معالجة الصورة أو أنه يُمكّن من نقل معلومات الصورة إلى داخل الوحدة المركزية لأجهزة الكمبيوتر شخصية (PC). و تُثبَّت في بعض التطبيقات كاميرا CCD على ذراع آلية صناعية، على سبيل المثال، لفحص جودة اللحام في صناعة المركبات.

المتطلب المهم للرؤيا الآلية عادة هو ترتيب الإضاءة المناسبة للجسم بواسطة مصدر ضوئي متحكم به بحيث يمكن الحصول على صورة حادة للجسم. الاضطرابات الخارجية المختلفة، مثل، شدة إضاءة خافتة و تذبذب شدة الضوء و الضوء المبعثر يمكن أن يكون لها تأثير على فحص الأجسام. يجب الانتباه عند اختيار أبعاد الإضاءة لأمور مثل تباين الصورة، و الظلال، و الحواف، و كذلك حركة الجسم. يظهر في الشكل رقم (٣,١) رسماً تخطيطياً لأحد الأمثلة على نظام الرؤية الآلية حيث يتم فحص غطاء بلاستيكي لهاتف محمول. والمطلوب غطاء عالي الجودة، لذلك. في حالة الشكل رقم (٣,١) يمكن أن تشمل عملية الفحص مهام مثل حالة شريط الحماية الملصق على الشاشة وعدسة كاميرا الجوال والهاتف ومانعات تسرب الغبار، على التوالي. و يمكن للمرء أن يتوقع تطورات إضافية في مجال الهواتف النقالة، وعليه ستصبح جودة الفحص الضوئية و غيرها من الوسائل الأكثر شيوعاً.



الشكل رقم (٣,١). الفحص الضوئي لغطاء هاتف محمول بلاستيكي.المصدر الضوئي يأخذ شكل حلقة و تستخدم كاميرا CCD كجهاز مراقبة لتحليل الصورة.

ولذلك تصبح مراقبة الجودة من خلال الوسائل الضوئية وغيرها من الوسائل أكثر شيوعا. إنه من الممكن إدخال أجهزة تحسس ضوئية وغيرها إلى الهاتف الجوال، و يمكن أن يكون لهذه الحساسات في المستقبل أنواع مختلفة من المهام، على سبيل المثال، في زيادة أمن الناس.

(٣,٢) مقياس رؤيا آلي يعتمد على حيود عنصر ضوئي لقياس سماكة الزجاج المصقول

Diffractive Optical Element Based Machine Vision Gauge for Float Glass Thickness Measurement

يمكن اعتبار الحيود إحدى الظواهر الضوئية الأساسية. عادة ما يظهر انتظاماً في النمط الضوئي الملاحظ في منطقة المجال البعيد عن الحاجز الذي يُنتج نموذج شدة موجة ضوئية محايدة. بالتالي، يكون عادة وصف الحيود أسهل من وصف التشتت الضوئي. يظهر الحيود على حد سواء في الإشعاع غير المترابط و المترابط جزئيا و المترابط، ويظهر عندما يرسل أو ينعكس الضوء عن بنية ميكروية. أما في التطبيقات الهندسية فكثيرا ما يُستغل الحيود في منطقة طيف الضوء المرئي.

(٣,٢,١) عنصر ضوئي حيودي Diffractive Optical Element

عُرفت العناصر الضوئية الحيودية (DOE) لفترة طويلة نسبيا. و ربما يكون محزوز الحيود أبسط مثال لـ (DOE)، وجد محزوز الحيود تطبيقات و خاصة كبديل للموشور في التحليل الطيفي الضوئي. ممكن في الواقع أن يُحلِّل الضوء الأبيض إلى أطيافه بواسطة محزوز الحيود. تستخدم حالياً محازيز حيود هولوغرافية على نطاق واسع في مقاييس الطَّيْف الضَوئي بسبب تمايز تشتيتها الجيد في الراسم الطيفي الأحادي. و يمكن جعل زمن قياس التحليل الطيفي بواسطة محلل طيفي محزوزي أقصر بكثير مما لو

استخدم محلل طيفي موشوري. في حالة الموشور على المرء تدوير الموشور، في حين أنه في حالة محزوز الحيود يتم الحصول على الطيف كاملاً مباشرة مع مصفوفة من الكواشف الحديثة. يمكن في الحالة العامة للعناصر الضوئية الحيودية (DOE) أن تغير كل من سعة وطور الضوء الساقط. يمكن أن يعود تعديل الضوء بواسطة الحيود لتغير تضاريس السطح الموضعي و معامل انكسار العناصر الضوئية الحيودية (DOE).

(٣,٢,٢) الزجاج المصقول Float Glass

يتم تصنيع الزجاج الصفائحي بواسطة شريط زجاج عائم على قصدير نقي منصهر، بعد ذلك يسحب، و يبرد ومن ثم يقطع عند خط المعالجة. تؤثر عوامل مختلفة على نوعية الزجاج، و كل مصنع له وصفة خاصة به. وهكذا، على سبيل المثال من الممكن عن طريق التحليل الطيفي الضوئي أن نجد الفروق بين المنتجات من مصادر مختلفة حيث يخضع الزجاج المصقول في كثير من الأحيان لمزيد من المعالجة مثل التليين، التقسية، والتصفيح وذلك من أجل زيادة قوته و خصائص سلامته. للزجاج المصقول العديد من التطبيقات، غير نوافذ المباني. هناك حاجة إلى رفع مستوى جودة الزجاج المصقول في النظارات العلمية و زجاج السيارة الأمامي، سماكة الزجاج الإلكتروني عادة أقل من واحد ملليمتر، لكن في معظم التطبيقات عدة ملليمترات.

توجد أنواع مختلفة من أجهزة القياس الضوئية المباشرة وغير المباشرة في مصانع الزجاج لتقييم نوعية الزجاج المصقول ربما كانت سماكة الزجاج المصقول، هي أهم محدد للجودة. يُستخدم لذلك جهاز حساس يعمل على أساس انعكاس شعاع الليزر من السطوح العليا والسفلى للشريط الزجاجي [37]. بسبب زيادة الطلب على الدقة العالية في قياس سماكة الزجاج المصقول، فإنه تم تركيب نوع آخر من أجهزة الحساسات للتشغيل المباشر [38]. ويستند هذا الحساس على الاستفادة من العنصر

الضوئي الحيودي (DOE). بالإضافة إلى إشارة السماكة يعطي الحساس DOE معلومات عن تشويه حافة الشريط. ينتقل الشريط إلى الأمام على ناقل أسطواني دوار في اتجاه الجهاز. تترك الأسطوانة الدوارة آثاراً على كل من حافتي الزجاج المتصلب وهكذا يظهر تشويه الحافة. والذي يأخذ شكل وتد. يمكن قياس تشويه الحافة بمراقبة الطاقة الضوئية و التي تقاس بالميللي دوبتر (mdpt)، من أجل الزجاج المصقول. تشويه الحافة مهم في تقدير خط القطع للشريط عند كل من الحافتين على حد سواء. إذا تم تشويه عال نوعا ما للحافة بعد ذلك، مثل زجاج السيارة الأمامي، يمكن أن يشاهد السائق من خلال الزجاج الأمامي للمركبات الأجسام مشوهة أو تبدو كأنها تتحرك على الرغم من أنها ثابتة. ولذلك، فمن السهل أن نفهم أن الجودة العالية للزجاج المصقول على غاية من الأهمية، على سبيل المثال، في تحسين أمن المركبات.

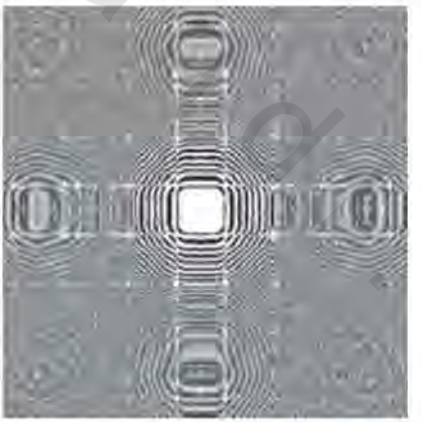
(٣,٢,٣) DOE كمقياس ثخانة مباشر للزجاج المصقول

DOE as an On-Line Thickness Gauge of Float Glass

DOE في هذه الحالة هو هولوغرام مولّد بالحاسوب [39]. الـ DOE – الموضح في الشكل رقم (٣,٢) تم حِسابه باستخدام تكامل حيود رايلي – سوميرفيلد –Rayleigh Sommerfeld [40]، على محور هولوغرام سعوي ثنائي والذي نفاذيته ٥٠٪ نموذج مخرج الـDOE السطحي، عندما يركب بواسطة شعاع ليزري موسع، هو مصفوفة نظامية ذات ٤ × ٤ بقعة ضوئية (bixel). يمكن أن يصمم حجم فتحة العدسة والبعد البؤري لـDOE، وكذلك نموذج الخرج وفقا للطلب.

الـ DOE في الشكل رقم (٣,٢) هو حساس يتعلق بكل من سعة وطور الموجة المعاد تشكيلها. انتج هذا العنصر باستخدام الطباعة بالشعاع الإلكتروني. إذ رُسِّبَت طبقة من الكروم على ركيزة من الزجاج، و رُسِّبَت مقاومة إلكترونية موجبة على طبقة الكروم، والتي بدورها عُرِّضَت لشعاع إلكتروني كاتب. حيث تم الحصول على قناع

الكروم بعد نمو المقاومة والحفر- الرطب على الكروم. ثمن الـ DOE مرتفع بسبب كون الشعاع الكاتب وغيره من المرافق اللازمة عالية الثمن، ولكن، يمكن تخفيض الثمن إذا تم نسخ العنصر الأساسي بكمية إنتاج ضخمة. أبعاد فتحة الـ DOE هي ٨ × ٨ (ملم^2) و البعد المحرقي هو ١٢٠٠ ملم ومقياس بقعة الضوء الفردي هو حوالي ٣٠ ميكرومترا في الحالة الراهنة. ميزة صغر حجم البقعة هي الحصول على دقة أفضل في قياس السماكة، يوفر ارتفاع عدد البقع الضوئية وسيلة موثوقة للتحليل الإحصائي باستخدام بيانات الصورة المكتسبة عن طريق القياس. لاحظ أن كل بقعة ضوء فردية يمكن استخدامها في حساب سمك الزجاج باستخدام إعدادات النظام المبين في الشكل رقم (٣,٣) يسقط شعاع ليزر موسع أولا على الـ DOE.



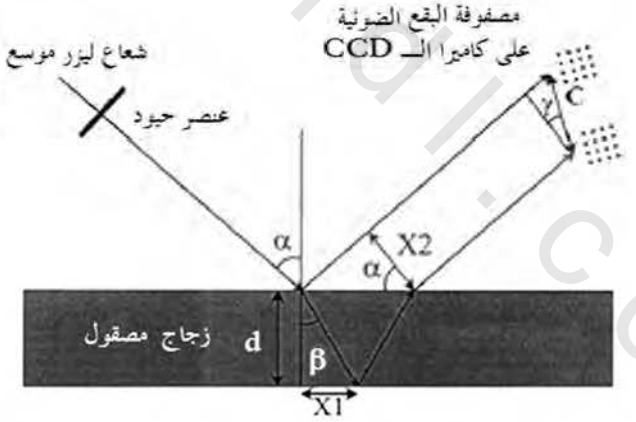
الشكل رقم (٣,٢). عنصر ضوئي حيودي.

تنعكس جبهة الموجة المنحادة من الأسطح العلوية والسفلية للزجاج المصقول. يُسجِّل نموذجا المصفوفتين للبقع بشكل متزامن في مواقع مختلفة لخلية CCD كاميرا، أي لا يوجد عدسة شيئية على الإطلاق. نظرا لانخفاض سرعة خط انتاج الزجاج المصقول عالي الجودة، فإنه من الممكن قياس سماكة الزجاج في الوقت الحقيقي.

يتم الحصول على سمك الزجاج (d) باستخدام الرموز في الشكل (٣,٣) وفي قانون سنل Snell ، فضلا عن علم المثلثات و يمكن التعبير عن قانون سنل على النحو التالي :

$$\beta = \arcsin(\sin \alpha / n) \qquad (٣,١)$$

حيث n هو معامل انكسار الزجاج. من الشكل رقم (٣,٣) نلاحظ أن من المهم أن ندرك الآن أن الـ CCD كاميرا في الشكل رقم (٣,٣) يجب أن تكون مائلة ذلك لأن نموذجي البقع الضوئية المنعكسين يجب أن يكونا في منطقة المحرق. وبالتالي تكون المسافة على الرقاقة بين صورتي مصفوفتي البقع المنعكستين من الأسطح العلوية والسفلية للزجاج المصقول تساوي:



الشكل رقم (٣,٣). رسم تخطيطي لقياس سماكة الزجاج المصقول بالاعتمادعلى DOE.

$$x_1 = d \tan \beta$$

(٣,٢)

$$x_2 = 2\, x_1 \cos \alpha$$

(٣,٣)
$$C = \frac{x_2}{\cos \gamma}.$$

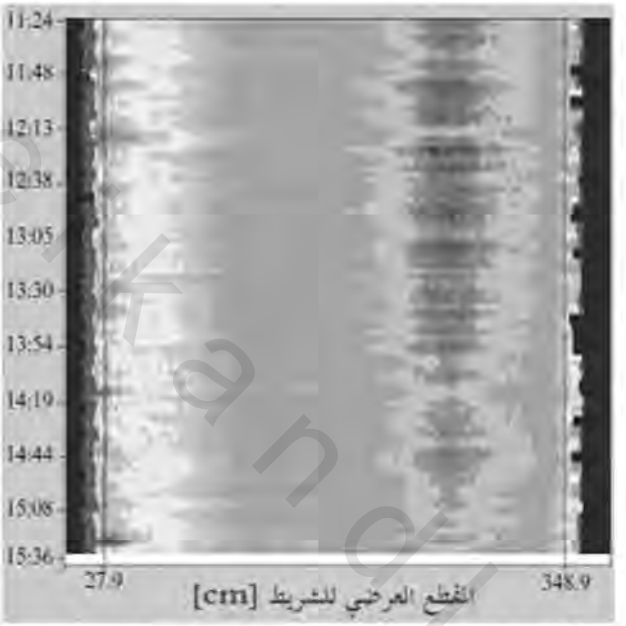
ثم نحصل من (٣,١) إلى (٣,٣)

(٣,٤)
$$C = \frac{2 \tan [\arcsin(\sin \alpha / n)] \cos \alpha}{\cos \gamma} d.$$

يعتمد المعامل C لسماكة الزجاج في (٣-٤) على كلٍ من معامل انكسار الزجاج، الذي هو ثابت من الناحية العملية للزجاج عالي الجودة، و أبعاد القياس. يمكن تحسين هذا العامل بحيث يتم الحصول على الحد الأدنى من خطأ السماكة. تكون دقة قياس السماكة بواسطة الـ DOE هي ±١٠ ميكرومتر. يمسح رأس الحساس في المواقع الصناعية فوق الشريط الزجاجي وتكون درجة الحرارة في خط إنتاج الزجاج المصقول عالية نوعا ما لذلك، فإن تبريد رأس الحساس أمر مهم، حيث يمكن أن يبرد من خلال إحاطته بالماء، أو باستخدام تبريد الهواء. ويظهر في الشكل رقم (٣,٤)، على سبيل المثال، مخطط للتدريج الرمادي (يمكن أن تعطى الألوان مرمزة) لسماكة الزجاج المصقول لشريط طوله ٢ كيلو متر.

قد يكون الاتجاه المستقبلي فيما يتعلق بصناعة الزجاج الضوئي قياساً ضوئياً مباشراً ومتعدداً يوفر في الوقت نفسه معلومات عن الأخطاء، و السماكات، و القدرة الضوئية، و خشونة السطح، و تغير معامل الانكسار المكاني بالزمن الفعلي

و خصائص أخرى تعود للشريط الزجاجي. يجب أن تكون تقنية القياس كهذه تعمل على أساس التحقيق الفوري لمنطقة واسعة.



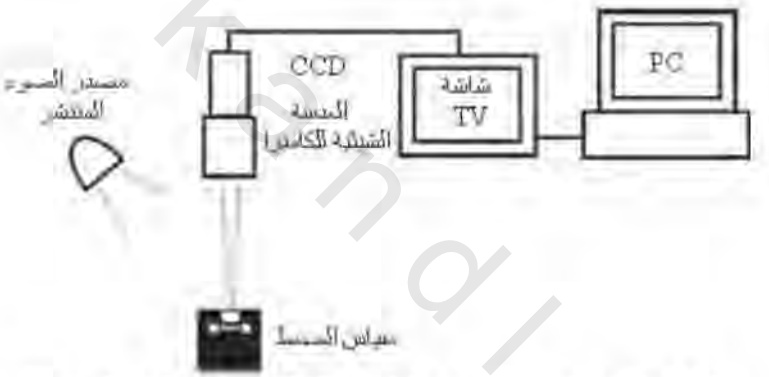
الشكل رقم (٣,٤). خريطة سماكة الزجاج المصقول بالتدريج الرمادي.

(٣,٣) نظام رؤيا آلي لمراقبة ورق مضغوط

Machine Vision System for Monitoring Compressed Paper

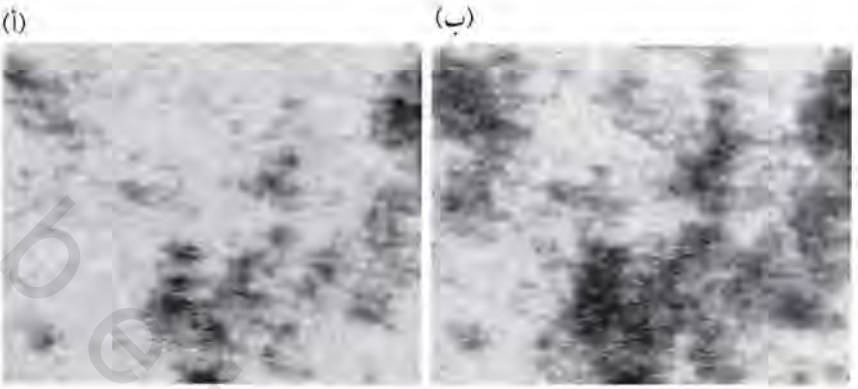
يعود عدد المنتجات الورقية الكبير إلى التطبيقات المختلفة. يعير صناع الورق اهتماماً مستمراً لتحسين نوعية الورق، و يلعب الصباغ دوراً هاماً في هذه العملية . لقياس نعومة ورقة نجد جهاز تشابمان Chapman و طريقته الضوئية [41]، و التي هي معروفة في مجال علوم الورق. والتي تستفيد من الانعكاسات الكلية للضوء لتقييم منطقة الاتصال بين الورق و موشور المسبار، و بشكل ما فطريقة القياس هذه تحاكي

الوضع بين الورق و الملقط في آلة ارتشاف الورق. بسبب تعدد درجات الورق، مثل ورق التصور، وورق الأخبار و الورق الناعم، والورق فائق النعومة super-calendared paper (SC)، و التي هي عُرضة للطباعة، أُدخلت تقنيات القياس البصري لمحاكاة عملية الطباعة، وذلك باستخدام على سبيل المثال انعكاس الشعاع الليزري [42]. نَصف هنا تقنية بسيطة إلى حد ما للرؤيا الآلية، جنبا إلى جنب مع نظام ضغط الورق. وضِّح مبدأ الجهاز في الشكل رقم (٣,٥).



الشكل رقم (٣,٥). رسم تخطيطي لنظام الرؤية الآلي لمراقبة سطح ورقة مضغوطة.

نعرض في الشكل رقم (٣,٦) أمثلة عن بيانات صورة تم الحصول عليها للورق الناعم في المواقع ذاتها عند ما تم زيادة الضغط. يُلاحظ من الشكل رقم (٣,٦) أن مساحة منطقة البقع السوداء زادت نتيجة لزيادة الضغط الذي تتعرض له الورقة بين الإطارين. تم تأكيد ظاهرة النماذج المعتمة والتي تعود إلى اتصال الورقة مع إطار المجس العلوي، و ذلك من الدراسة الطيفية [43]. تكون معلومات الصورة، في الشكل رقم (٣,٦) مهمة في تطوير فحص خشونة السطح، والتشكيل والانضغاطية لمختلف درجات الورق.



الشكل رقم (٣,٦). المناطق المظلمة على سطح ورقة مضغوطة (أ) الضغط يعادل ١,٢ميغا باسكال ، و(ب) ٢,٤ ميغا باسكال. مساحة الصورة هي ٣,٨ × ٢,٨٥ ميليمتر مربع.

صناعة الورق هي واحدة من أكثر الفروع تقدماً حيث إنها تهتم باستشعار المعالجة والإنتاج خلال عمليات تصنيع الورق. سوف يزداد الطلب في هذا القطاع الصناعي في المستقبل أيضا على أجهزة القياس المتعددة الفورية التي يمكنها في ذات الوقت قياس الرطوبة، وخشونة سطح، واللمعان المطلق، و لمعان البقع، والكمد وغيرها من خصائص الورق ذات الصلة التي تمثل تحدياً كبيراً، وخاصة أن السرعة الآلية لآلات الورق الحديثة عالية جداً $2Km/\ min^{-1}$.

(٣,٤) التصوير الطيفي
Imaging Spectrometer

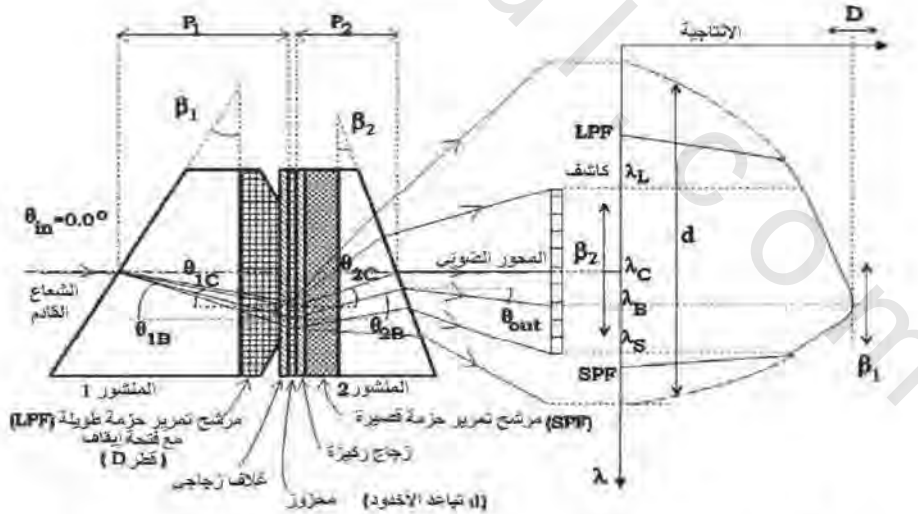
يمكن تركيب جهاز يعطي على حد سواء معلومات بالصورة والطيف في آن واحد لأنواع مختلفة من الأجسام. يتراوح طيف الأشعة بين الأشعة فوق البنفسجية لتصل إلى الأشعة تحت الحمراء بمساعدة الـ CCD الكاميرا ومقياس التحليل الطيفي. يمكن للمرء الحصول بواسطة المطياف التصويري على صورة ثنائية الأبعاد من الجسم

وكذلك تحليل طيفي له من النقطة الصورية. إما أن تصور هذه الأجهزة بعدين مكانيين وطيف عينة زمنية أو أنها تصور بعداً مكانيا وزمانياً أو أنها تصور بعدا مكانياً واحداً وطيفاً بينما تأخذ عينات لبقية الأبعاد المكانية.

كما أنها تهتم بتطبيقات الأنظمة المحمولة جواً والتي تقوم فيها بأداء الاستشعار عن بعد. بالإضافة إلى ذلك ممكن أن تُستَخدم مقاييس التحليل الطيفي التصويرية لمهام الفحص والمراقبة في الصناعة مثل عملية مراقبة جودة المنتجات، وأيضا في التصوير الطبي.

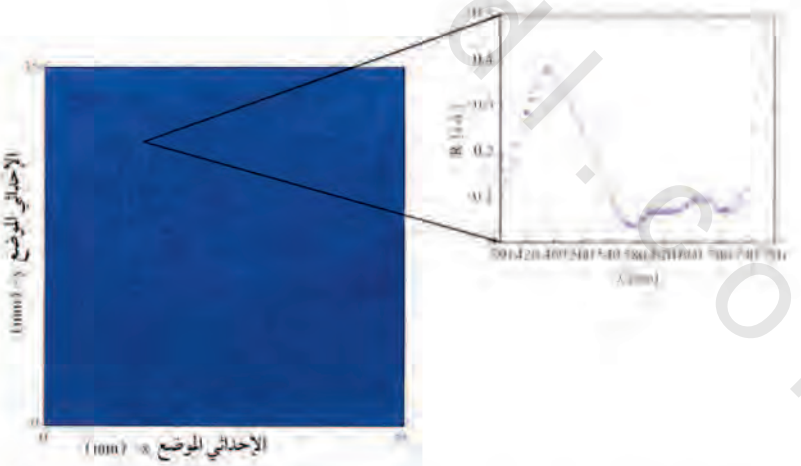
على سبيل المثال، يمكن للمرء تسجيل الطيف المنعكس من جسم وحساب إحداثيات اللون لكل بكسل من الصورة.

نعرض هنا مقياس الطيف التصويري (المطياف) الذي يعتمد على تركيب (PGP) موشور محزوز- موشور [44]. تنفيذ مطياف التصوير الضوئي PGP مبين في الشكل رقم (٣,٧). يقوم بتجميع بعد مكاني واحد و بعد طيفي في نفس الوقت. يتم الحصول على البعد المكاني الثاني بالمسح الضوئي لمجال الرؤية.



الشكل رقم (٣,٧). رسم تخطيطي لـ PGP التصوير المطيافي (بالإذن من الدكتور ماوري ايكو).

مبدأ العملية هو أن كل عنصر في الصورة يوفر طيفه الصافي. محزوز النقل الحجمي بين الموشورين ممكن أن يكون، مثلاً، من ثاني كرومات الجيلاتين. يتمثل دور محزوز الحيود في الفرز المكاني للأطوال الموجية المختلفة. ويُحَلل الطيف المكاني بطبيعة الحال، والنتيجة عادة مجموعة ضخمة من البيانات. بالإضافة إلى الصورة التقليدية. يمكن للمرء عرض نظام إحداثيات ديكارتي ثنائي الأبعاد حيث إن أحد المحاور هو المحور المكاني والآخر هو المحور الطيفي. تظهر في الشكل رقم (٣,٨) صورة RGB – ثنائية الأبعاد، والتي تم حسابها من صورة طيفية للطباعة بلون كثيف لحبر أزرق على ورقة. طيف الانعكاس من أحد المواقع على الورقة مبين في الشكل رقم (٣,٨) أيضاً. حجم البقعة الضوئية (Pixel) كان ١١٧×١١٧ (ميكرومتر)^{٢}، و الطيف الذي تم الحصول عليه كان في النطاق المرئي بخطوة ٥ نانو متر.



الشكل رقم (٣,٨). طباعة مع تلوين كثيف (يسار) وطيف الانعكاس من بقعة ضوئية (1pixel) واحدة.

(٣,٥) خلاصة ونتائج

Conclusion

سوف تصبح تقنية التصوير المعتمدة على أجهزة الرؤية أكثر شيوعا في الصناعة، على سبيل المثال، في فحص الهواتف النقالة. سيكون التحدي المقبل في المستقبل للاستشعار والتصوير عن بعد في الطب النانوي؛ لأنها تتطلب معلومات عن ملامح دقيقة. سيكون الاتجاه إلى جعل النظام التصويري أصغر حجماً وأسرع مما هو عليه في أيامنا هذه، كما يجب أن تُوفَّر أجهزة معلومات فورية متعددة. الكلمات الرئيسية في هذه الصناعة هي الوثوقية والتكلفة المناسبة والتشغيل المباشر (on-line operation) لجهاز القياس في بيئات قاسية.

obeikandl.com