

تحديد مستوى السائل في صور عبوات زجاجية باستخدام تحويل هاف Hough

الدكتور إياد حاتم*

(تاريخ الإيداع 19 / 8 / 2009. قُبل للنشر في 14 / 2 / 2010)

□ ملخص □

يقدم هذا البحث تطبيقاً عملياً هاماً لتقنية أساسية تستخدم بشكل واسع في تطبيقات معالجة الصورة لاكتشاف الأشكال الهندسية وهي تقنية تحويل هاف. بعد تبيان أهمية البحث، تم تمهيد الفكرة الرئيسية بعرض لمقدمة عن معالجة الصور وتقنياتها المختلفة مع التركيز على تقنيات كشف الحواف التي تعتبر الخطوة الأولية التي تطبق عادة والتي تسبق تطبيق تقنية تحويل هاف. قدمت بعدها مناقشة تحليلية للمعنى الرياضي للتحويل، وذلك لاستخدامه في اكتشاف الخطوط المستقيمة، مع مثال نظري باستخدام برنامج ماتلاب. بعد ذلك تم تقديم التطبيق العملي وهو نظام مراقبة مستوى السائل (الماء) في قوارير متوضعة على سير نقال. تم تصميم هذا النظام كاملاً كعتاد و برمجيات في مخبر قسم الميكاترونك في جامعة تشرين. بينت النتائج في الاختبار فاعلية تحويل هاف في اكتشاف مستوى السائل الأفقي ضمن صور القوارير الممررة أمام عدسة الكاميرا.

الكلمات المفتاحية: معالجة صور، تحويل هاف، أنظمة آلة الرؤية، كشف الحواف

* مدرس - قسم هندسة الميكاترونك - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

Detection of Liquid Level in Bottle Images by Using Hough Transform

Dr. Iyad Hatem *

(Received 19 / 8 / 2009. Accepted 14 / 2 / 2010)

□ ABSTRACT □

The objective of this paper is to introduce an important practical application of an essential technique in image processing called Hough transform. This transform is widely used to detect geometric patterns in images.

After emphasizing the importance of this work, the paper gives a brief introduction of image processing techniques in general with emphasis on edge detection methods. These methods precede and prepare images for the application of Hough transform. After that, Hough transform is introduced through a mathematical analysis. The applicability of this transform was shown through a simulated design of a machine vision system used to detect liquid level in bottles passing on a belt in front of a camera. The results showed the effectiveness of using this technique in detecting the liquid level.

Keywords: Image processing, Machine vision systems, Hough transform, Edge Detection

* Assistant Professor , Department of Mechatronics, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Latakia, Syria

مقدمة:

في عام 1964 استخدمت معالجة الصور الرقمية Digital Image processing حصرياً لتحسين وتصحيح صور القمر المنقولة من المركبة الفضائية رينجر Ranger إلى وكالة الفضاء الاميركية ناسا NASA. ومنذ ذلك التاريخ وحتى الآن تطور حقل معالجة الصور الرقمية . فبالإضافة إلى تطبيقات برنامج الفضاء تستخدم الآن تقنيات معالجة الصور الرقمية لحل الكثير من المسائل. وبالرغم من اختلاف هذه المسائل فهي تحتاج إلى وسائل تقوم بتحسين المعلومات التصويرية pictorial information للصور، وذلك كي تصبح قابلة للتأويل والتحليل البشري. ففي الطب، على سبيل المثال تستخدم الحواسيب لتحسين تباين الصور الشعاعية، أو لتمثيلها بمستويات لونية، وذلك من أجل تسهيل قراءة محتوياتها. وقد يستخدم الجيولوجيون نفس التقنيات أو ما يشابهها لدراسة أنماط التلوث في صور فضائية وجوية. وفي الفيزياء والمجالات المتعلقة به تستخدم تقنيات الكمبيوتر لتحسين صور التجارب بشكل روتيني في مناطق مثل البلازما العالية الطاقة و الميكروسكوب الالكتروني. وتوجد تطبيقات ناجحة مماثلة لطرق معالجة الصورة في علم الفلك و البيولوجيا والطب النووي و تطبيق القانون والدفاع والتطبيقات الصناعية [1].

بالإضافة إلى التطبيقات السابقة التي أساسها التأويل البشري هناك تطبيقات أخرى أساسية تستخدم تقنيات معالجة الصورة لحل المشاكل المتعلقة بتأويل الآلة. وهنا يكون التركيز منصباً على طرق استخراج معلومات من الصورة تكون ملائمة للمعالجة باستخدام الكمبيوتر. وغالباً ما تحتوي هذه المعلومات على شبه بالمعالم المرئية التي يستخدمها الإنسان في تأويل محتوى الصورة. وكمثال على نوع المعلومات المستخدمة في تأويل الآلة : العزوم الإحصائية statistical moments و معاملات تحويل فورييه Fourier transform coefficients و قياسات المسافة المتعددة الأبعاد multidimensional distance measures. ومن التطبيقات الهامة في تأويل الآلة التي تستخدم تقنيات معالجة الصورة : التعرف البصري على المحارف optical character recognition و أنظمة آلة الرؤية الصناعية لتجميع و فحص المنتجات و المعالجة الآلية لبصمات الأصابع... الخ.

أهمية البحث وأهدافه:

في هذه الورقة نقدم تطبيقاً عملياً هاماً ونموذجياً في التطبيقات الصناعية وهو قياس مستوى السائل (الماء) في صور عبوات زجاجية باستخدام معالجة الصورة. في البداية هناك مقدمة موجزة عن معالجة الصور، ثم شرح لإحدى تقنيات معالجة الصورة الهامة المستخدمة في تأويل الآلة، وهي تحويل هاف Hough transform والذي يستخدم لاكتشاف المنحنيات في الصور كالخطوط والدوائر والقطوع ... الخ. وفي النهاية نعرض هذا التطبيق مع النتائج التي تبين فعالية التقنية المستخدمة. يمكن استخدام هذا التطبيق في الأبحاث العلمية والمخابر والمعامل وغيرها من التطبيقات الصناعية لأغراض القياس والمعايرة والاختبار والتحقق من المنتج والمراقبة المستمرة.

طرائق البحث ومواده:

تم اجراء التطبيق العملي لهذا البحث في مخبر الميكاترونك في كلية الهندسة الميكانيكية في جامعة تشرين. وقد أستخدم برنامج Matlab [2] لتطبيق الأمثلة التوضيحية المقدمة لشرح تقنية تحويل هاف. وبالنسبة للتطبيق العملي للتقنية فقد تم تصميم نظام قياس مستوى سائل مؤتمت باستخدام معالجة الصور. وتكون هذا النظام من سير يقوده محرك DC motor وذلك لحمل عبوات السائل، وتم التحكم بهذا المحرك عن طريق الحاسوب عبر دارة تحكم موصولة

مع المنفذ التفرعي، و من نظام تصوير يحتوي على كاميرا من نوع Eagleye EG-136 متصلة مع الحاسوب من خلال لاقط أطر من نوع Imagention PCX200 وحاسوب من نوع PC Pentium 1.8 GHz ، بالإضافة إلى حساس ليزري موصول مع الحاسوب استخدمت إشارته لإيقاف العبوة المقاسة في منطقة التصوير أمام الكاميرا. تم تصميم برنامج ذي واجهة بلغة الـVBASIC لإدارة النظام، والذي قام بعمليات معالجة الصور وتطبيق تحويل هاف من خلال استدعاء توابع من مكتبة برنامج Halcon المتخصص في معالجة وتحليل الصور[3].

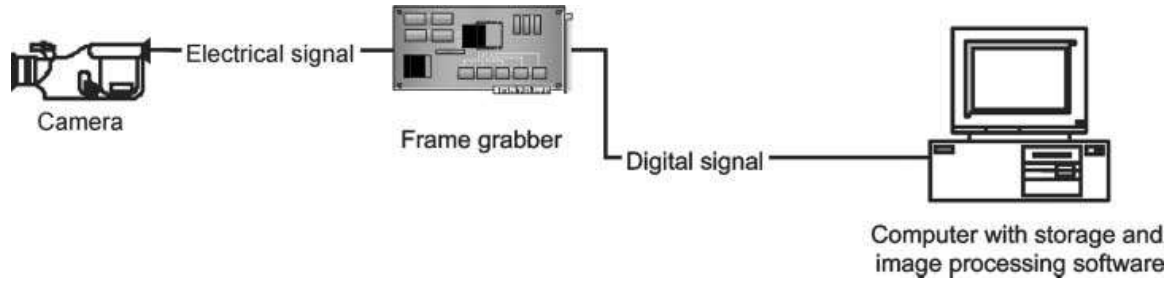
1- مقدمة عن معالجة الصور:

يشمل نظام معالجة الصور الرقمية مجالاً واسعاً من العتاد hardware والبرمجيات software والأسس النظرية. وللقيام بمهمة معالجة الصور هناك خطوات أساسية تضم أولاً التقاط الصورة؛ أي الصورة الرقمية من خلال حساس ومقرن digitizer للإشارة الناتجة عن الحساس. بعد الحصول على الصورة الرقمية تتم عملية المعالجة الأولية للصورة preprocessing والتي تهدف عادة لتحسين الصورة من أجل زيادة فرصة نجاح العمليات التي تليها. ثم تأتي مرحلة تقطيع الصورة segmentation والتي يتم فيها تقسيم الصورة إلى أجزائها المكونة أو إلى كائنات objects. وعادة تكون عملية التقطيع التلقائي من أصعب مهمات معالجة الصورة . و غالباً يكون خرج مرحلة التقطيع معطيات بكسل[†] صرف تكوّن إما حدود منطقة ما أو كل النقاط في المنطقة ذاتها. والهدف من الخطوة التالية هو تحويل هذه المعطيات إلى شكل ملائم للمعالجة اللاحقة بالكمبيوتر. وتوصف هذه المعطيات من خلال عملية تسمى باستنباط المعالم feature extraction التي ينتج عنها معلومات كمية مهمة للتفريق بين صنف كائنات وآخر. تتضمن آخر مرحلة في العملية التعرف recognition والتأويل interpretation. ففي عملية التعرف يسند اسم label لكل كائن اعتماداً على المعلومات المقدمة من الواصف، أما التأويل فيشمل تخصيص معنى لمجموعة من الكائنات المتعرف عليها[4].

يبين الشكل (1) المخطط العام لعتاد نظام معالجة الصورة الرقمية والمؤلف من كاميرا فيديو ولاقط إطار Frame grabber وجهاز حاسوب. تقوم كاميرا الفيديو بالنقاط الصورة المركزة بواسطة عدسة الكاميرا على طبقة ضوئية حساسة، وتحويلها من الشكل المستوي للصورة إلى إشارة كهربائية. يقوم لاقط الإطار برقمنة هذه الإشارة ثم تخزين في ذاكرة جهاز ما كالحاسوب، وتصبح قابلة لعمليات معالجة الصور الرقمية.

تهدف عمليات معالجة الصور الرقمية الى معالجة وتحليل المعلومات الموجودة في الصورة في سبيل تحسين أو تصحيح أو تحليل أو - بطريقة ما- تغيير الصورة. تتمثل الصورة في المجال الرقمي بنقاط متقطعة لقيم السطوح المعرفة رقمياً. ومن خلال معالجة قيم السطوح هذه يستطيع الحاسب القيام بعمليات معقدة بسهولة نسبية. ويمكن تصنيف عمليات معالجة الصورة الرقمية الى خمس فئات: تحسين الصور Enhancement وترميم الصور Restoration و تحليل الصور Analysis و ضغط الصور Compression و أخيراً توليد الصور Synthesis. وتعتبر عمليات تحسين الصور الأكثر استخداماً. وهي تهدف إما إلى جعل الصورة أفضل مرئياً أو ملائمة أكثر للمعالجة اللاحقة، أو تهدف الى تحسين موضوعي للصورة لتصحيح تشوهات معروفة. ومن التقنيات الهامة التي تدخل ضمن إطار هذه الفئة هي التقنيات التي تسعى الى اكتشاف الحواف في الصور الرقمية. وسنقدم هنا هذا النوع من التقنيات كمثال، ولأهميته أيضاً في تقنية تحويل هاف، كما سنرى لاحقاً.

[†] البكسل هي أصغر عنصر في الصورة الرقمية حيث تعتبر الصورة مصفوفة مستطيلة من البكسلات ولكل بكسل إحداثيات (x,y) توافق موقعه ضمن الصورة.

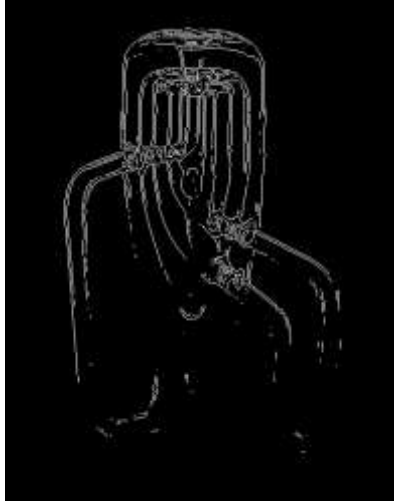


الشكل (1) مخطط عام لنظام معالجة الصورة

2- تقنيات كشف الحواف:

تخزن الصورة الرمادية في ذاكرة الحاسوب على شكل مصفوفة ثنائية البعد. ويعبر كل عنصر فيها عن نقطة أو ما يسمى بكسل pixel من الصورة. يُرمز كل بكسل بعدد من الخانات الثنائية تُحدّد عدد السويات الرمادية في الصورة. فمثلاً إذا تم ترميز كل بكسل بـ (1Byte = 8bit) يكون لدينا 255 سوية رمادية في الصورة، وتسمى صورة متعددة السوية الرمادية. تطبق كواشف الحواف وهي توابع رقمية على نقاط الصورة ومجاوراتها. وتعتمد على إيجاد المشتق المكاني الأول والثاني لهذه النقاط من أجل اكتشاف الحواف في الصورة. هناك طرق عديدة لاكتشاف الحواف مثل سوبل Sobel و بربويت Prewitt ومشغل كاني Canny . وكل منها له تطبيقاته المفيدة. وسنقدم مشغل كاني [5] هنا كمثال لكاشفات الحواف لأهميته كعملية تحضيرية لتحويل هاف. يستقبل مشغل كاني كدخل صورة ذات تدرج الرمادي، وينتج كخرج صورة تبيين مواضع تعاقبات الكثافة المنقطعة التي تمثل الحواف. ويعمل وفق عملية متعددة المراحل، حيث يتم في البداية تنعيم الصورة باستخدام التحويل الالتفافي الغاوسي. ثم يتم تطبيق مشغل اشتقاق ثنائي البعد بسيط على الصورة المنعمة لتسليط الضوء على مناطق الصورة ذات القيمة العالية للمشتق المكاني الأول التي تقابل أضلاع حرفية للكائنات في الصورة. بعد ذلك تقتفي الخوارزمية قمم هذه الأضلاع الحرفية، وتجعل قيم جميع البكسلات التي لا تقع حقيقة على قمم الأضلاع صفراً لكي يُنتج خط رفيع يحدد الحافة في صورة الخرج. إن لعملية الملاحقة عروة إعاقة تحدد بين عتبتين (قيمتين مختلفتين للسوية الرمادية) $Th1$, $Th2$ حيث $Th1 > Th2$. يمكن أن تبدأ عملية الاقتفاء في نقطة تقع على حرف، وذات قيمة أكبر من $Th1$. بعد ذلك تستمر هذه العملية في كلا الاتجاهين على جانبي هذه النقطة حتى تنخفض قيمة السوية الرمادية للنقطة على الحرف تحت العتبة $Th2$. تساعد عروة الإعاقة في التأكد من أن ضجيج الحواف لا يسبب ظهور حواف منقطعة.

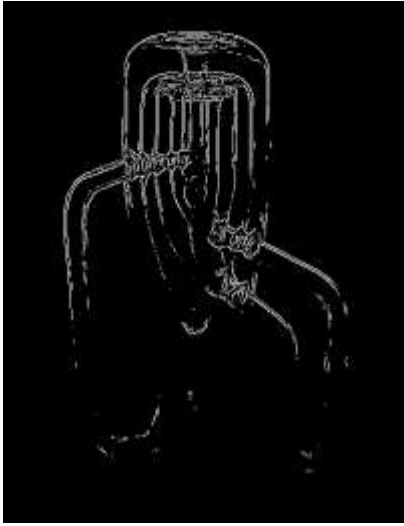
تظهر مشكلة واحدة في مشغل كاني الأساسي عند العمل مع الحواف على شكل حرف Y حيث تتلاقى ثلاثة أضلاع حرفية في الصورة في نقطة واحدة. وستعالج عملية الاقتفاء اثنين من هذه الأضلاع الثلاثة كجزء خط متصل مفرد، والضلع الثالث كخط قريب ولكن ليس متصلاً بجزء الخط المفرد السابق. سنستخدم الصورة في الشكل (2-أ) لمقارنة تأثير مشغل كاني على صورة لتحفة زجاجية مشهورة باسم زجاجة كلاين bottle Klein بالنسبة لمشغلي آخرين هما صوبل Sobel و روبرت Roberts. وكما يبين الشكل، نلاحظ أفضلية كاشف الحواف كاني (2-ب) على نظيره صوبل (2-ب) و روبرتس (2-د). فقد قام بكشف أغلب الحواف الرئيسية في الصورة، وتم تحديد أجزاء التفاصيل بشكل جيد.



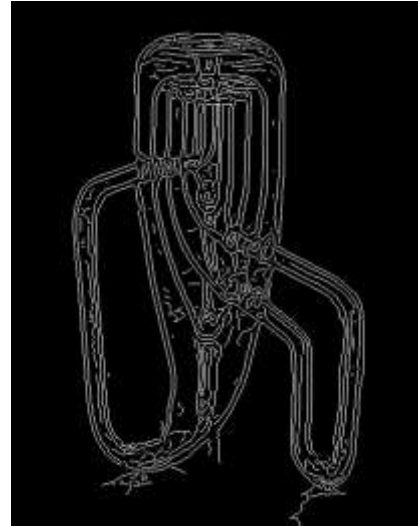
ب - صورة الحواف باستخدام صوبيل



أ - الصورة الأصلية



د - صورة الحواف باستخدام روبرتس



ج - صورة الحواف باستخدام كاني

الشكل (2)

3- تحويل هاف Hough لاكتشاف الخطوط المستقيمة:

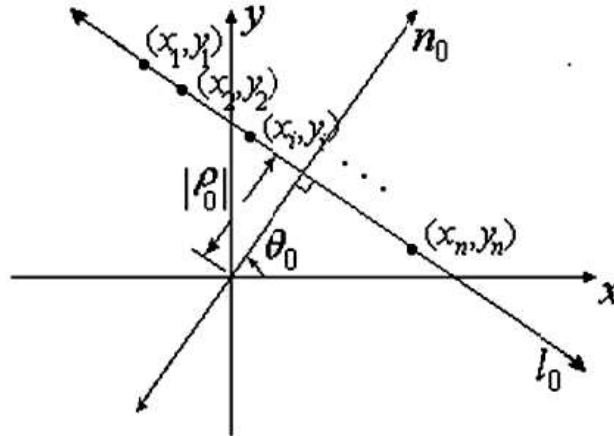
تحويل هاف هو تقنية عامة للتعرف على مواضع و اتجاهات أنواع معينة من المعالم في الصور الرقمية. لقد طوره ريتشارد دودا وبيتر هارت عام 1972 وسمي بـ "تحويل هاف المعمم" بعد براءة الاختراع المسجلة باسم باول هاف عام 1962 الذي تم ترخيصه باسم شركة IBM [6]. وقد انتشر استخدامه في تطبيقات رؤية الحاسوب بعد المقالة الشهيرة "تعميم تحويل هاف لاكتشاف الاشكال الاعباطية" من قبل دانا هـ. بالارد عام 1981 [7]. ومنذ صياغته الأولى خضع هذا التحويل لاختبارات مكثفة والتي نتجت على شكل قوانين عديدة وتطبيقات مختلفة في معالجة الصورة [8] و [9]. إن دخل تحويل هاف هو صورة ثنائية تمت معالجتها بواسطة بعض أنواع كاشفات الحافة والعتبة. و يجب أن يكون الدخل بالتحديد صورة حواف رقمية ثنائية.

يُستخدم تحويل هاف لاكتشاف أشكال هندسية بسيطة كالخطوط المستقيمة والدوائر والقطوع وماشابهها. سوف نقدم هنا شرحاً لهذا التحويل لاكتشاف الخطوط المستقيمة الذي يمكن تعميمه للحالات الأخرى.

تبعاً لخوارزمية هاف فإن الخط المستقيم هو مجموعة من النقاط الواقعة على استقامة واحدة. ولذلك يمكن أن يتراوح عدد النقاط في الخط المستقيم من نقطة واحدة إلى عدد البكسلات على طول قطر الصورة. ويتحكم بنوعيّة الخط المستقيم عدد النقاط المشكلة له. ورياضياً ، تحويل هاف هو تابع يقوم بنقل نقاط الصورة من المستوي الديكارتي R^2 إلى المستوي القطبي حيث تمثل كل نقطة فيه بالبعد ρ عن نقطة الأصل والزاوية θ مع المحور الأفقي.

$$h: (x, y) \rightarrow \rho = x \cos(\theta) + y \sin(\theta) \quad (1)$$

حيث أن h هو تابع تحويل هاف، و (x, y) الإحداثيات الديكارتية، و (ρ, θ) الإحداثيات القطبية. نلاحظ في العلاقة (1) أن أي نقطة في الفضاء المستوي $X-Y$ يقابلها منحني جيبي في الفضاء القطبي $\rho-\theta$. كما أن أي خط مستقيم l_0 في الفضاء المستوي $X-Y$ يقابله نقطة (ρ_0, θ_0) في الفضاء القطبي $\rho-\theta$ ، حيث أن $\rho_0 \in R$ و $\theta_0 \in [0, \pi]$. ليكون n_0 المستقيم العمود على l_0 ماراً من نقطة المبدأ للمستوي XY . ولتكن θ_0 الزاوية التي يصنعها n_0 مع المحور X الموجب. إن بعد نقطة المبدأ $(0,0)$ عن l_0 على المسار n_0 هو $|\rho_0|$. يبين الشكل (3) العلاقة بين $l_0, n_0, \theta_0, \rho_0$. ونلاحظ أن المحور X يقابل النقطة $(0,0)$ في الفضاء القطبي بينما يقابل المحور Y النقطة $(0, \pi/2)$.



الشكل (3) العلاقة بين التمثيل الديكارتي المتعامد والتمثيل القطبي لخط مستقيم

بفرض أن $(x_i, y_i): 1 \leq i \leq n$ مجموعة نقاط من المستوي XY تنتمي إلى المستقيم l_0 كما في الشكل (3). وممثل المستقيم l_0 في المستوي $\rho-\theta$ هو (ρ_0, θ_0) . يوجد تحويل هاف صورة النقاط (x_i, y_i) من المستوي الديكارتي إلى المستوي القطبي (ρ, θ) عن طريق المنحني الجيبي :

$$\rho = x_i \cos(\theta) + y_i \sin(\theta) \quad (2)$$

والخوارزمية التي يعتمد عليها تحويل هاف هي أن مجموعة المنحنيات الجيبية في الفضاء القطبي $\rho-\theta$ الممثلة بالمعادلة (2) والمقابلة لمجموعة النقاط الواقعة على خط مستقيم في الفضاء المستوي $X-Y$ لها نقطة تقاطع عامة (ρ_0, θ_0) . وبالعكس يمر المنحني الجيبي (3) من النقطة (ρ_0, θ_0) في المستوي $\rho-\theta$ فقط إذا كانت (x, y) تنتمي إلى المستقيم المقابل لـ (ρ_0, θ_0) في المستوي $X-Y$.

$$\rho = x \cos(\theta) + y \sin(\theta) \quad (3)$$

كمثال توضيحي نأخذ النقاط $(1,7)$, $(3,5)$, $(5,3)$, $(6,2)$ في المستوي XY والتي تنتمي إلى المستقيم l_0 ويمثل ρ و θ حيث: $\theta_0 = \frac{\pi}{4} \approx 0.7854$, $\rho_0 = \sqrt{32} \approx 5.657$ على التوالي. يبين الشكل (4) هذه النقاط والمستقيم l_0 .

ينقل تحويل هاف النقاط السابقة إلى توابع جيبية كما يلي:

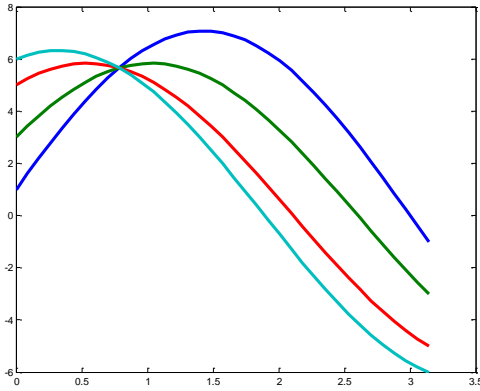
$$h: (1,7) \rightarrow \rho = \cos(\theta) + 7 \sin(\theta)$$

$$h: (3,5) \rightarrow \rho = 3 \cos(\theta) + 5 \sin(\theta)$$

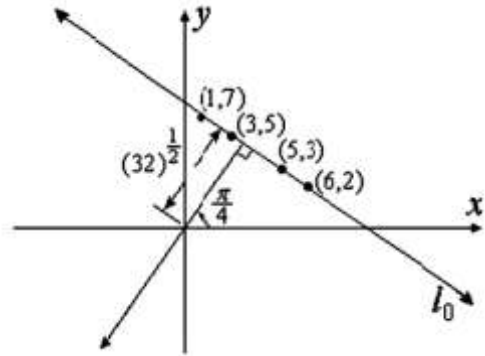
$$h: (5,3) \rightarrow \rho = 5 \cos(\theta) + 3 \sin(\theta)$$

$$h: (6,2) \rightarrow \rho = 6 \cos(\theta) + 2 \sin(\theta)$$

يمكننا أن نرى مخطط هذه التوابع الجيبية في الشكل (4).



التوابع الجيبية في فضاء هاف المقابلة للنقاط الواقعة على الخط المستقيم



المعطيات القطبية المقترنة بالنقاط الواقعة على خط واحد

الشكل (4)

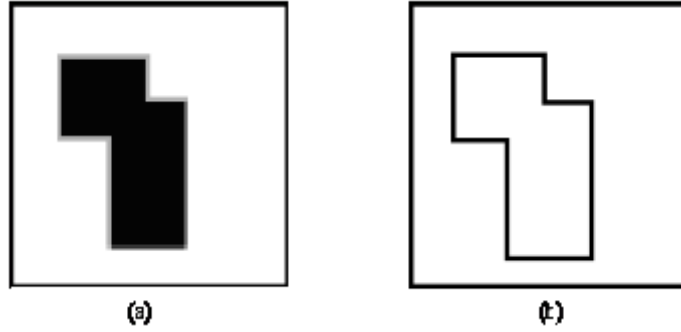
لاحظ كيف تتقاطع هذه المنحنيات الجيبية الأربعة في النقطة:

$$\rho_0 = \sqrt{32} \approx 5.657, \quad \theta_0 = \frac{\pi}{4} \approx 0.7854$$

تتحول كل نقطة (x,y) من بكسلات الإظهار في مجال الصورة إلى تابع جيبى بواسطة تحويل هاف. إذا كانت نقطة إظهار الصورة (x_i, y_i) تنتمي إلى المستقيم الموجود في المستوي XY والمحدد بالبارامترات (ρ_0, θ_0) ، فإن ممثله الموافق له كمنحن جيبى في المستوي $\rho-\theta$ سيقطع النقطة (ρ_0, θ_0) .

ولذلك يمكن عدّ نقاط بكسلات الإظهار التي تقع على المستقيم (ρ_0, θ_0) في المستوي $X-Y$ عن طريق عدّ المنحنيات الجيبية في المستوي $\rho-\theta$ التي تتقاطع في النقطة (ρ_0, θ_0) . هذه الملاحظة هي الأساس الذي تعتمد عليه خوارزمية هاف لاكتشاف المستقيمت. من الواضح أنه من المستحيل إحصاء عدد المنحنيات الجيبية المتقاطعة عند كل نقطة في المستوي $\rho-\theta$. بدلاً من ذلك يتم تكميم المستوي $\rho-\theta$ من أجل $0 \leq \theta \leq \pi$, $-R \leq \rho \leq R$. أي يتم تقسيم المستوي $\rho-\theta$ إلى شبكة من المربعات الصغيرة تمثل مصفوفة تراكمية $a(i,j)$ ذات أبعاد $r \times c$. ويمثل كل عمود من المصفوفة تزايداً مقداره $\frac{\pi}{c}$ في الزاوية θ . ويمثل كل سطر في المصفوفة تزايداً مقداره $\frac{2R}{r}$ في البعد ρ .

ويستخدم موقع خلية المصفوفة $a(i,j)$ كعداد للنقاط $((i-\frac{r}{2})\frac{2R}{r}, j\frac{\pi}{c})$ في المستوي $\rho-\theta$ (وبالتالي المستقيمات المقابلة في المستوي $X-Y$). تعطى كل خلية في المصفوفة التراكمية القيمة الابتدائية 0. وتتزايد قيمة كل خلية $a(i,j)$ بمقدار 1 عندما يمر المنحني الجيبي المقابل لنقطة (x,y) منها. وهذا يحدث إذا انتمت النقطة (ρ_i, θ_j) إلى المنحني الممثل بالعلاقة (3). وعندما تنتهي عملية زيادة قيم الخلايا في المصفوفة التراكمية، ستكون قيمة كل خلية $a(i,j)$ مساوية لعدد المنحنيات التي تقطع النقطة (ρ_i, θ_j) في المستوي $\rho-\theta$. وكما رأينا سابقاً، هذا يمثل عدد بكسلات الإظهار في مستوي الصورة الرقمية الثنائية التي تنتمي إلى المستقيم (ρ_i, θ_j) . والمعيار الذي يحدد الخط الجيد في خوارزمية هاف هو العدد الضخم للنقاط الواقعة على استقامة واحدة. وهذا يفترض أن تكون القيم العليا في المصفوفة التراكمية تقابل الخطوط المستقيمة في الصورة.



الشكل (5). a- صورة بسيطة لمستطيلين مقللين b- الحواف المكشوفة باستخدام مشغل كاني

من أجل قيم مكتمة عددها $c \perp \theta$ في المصفوفة التراكمية، يتم حساب العلاقة (3) من أجل كل بكسل (x,y) في الصورة ذات العدد N . ثم يتم فحص كل خلية rc في المصفوفة التراكمية من أجل تحديد الخلايا ذات القيم العالية. تكون التكلفة الحسابية لخوارزمية هاف هي $(N.c + r.c)$. وهذا تطوير جوهري للتعقيد من الدرجة الثالثة للأسلوب التقريبي القديم لإيجاد الخطوط المستقيمة في صورة رقمية ثنائية ذات N بكسل إظهار، والذي يعتمد على فحص جميع الخطوط المستقيمة المحتملة $N(N-1)/2$ بين نقاط بكسلات الإظهار. ومن أجل كل خط من الخطوط الممكنة التي عددها $N(N-1)/2$ يجب إنجاز $(N-2)$ عملية اختبار لفحص الاستقامة. بالتالي يمكننا القول إن للأسلوب التقريبي القديم تعقيد حسابي من الدرجة الثالثة $N(N-1)(N-2)/2$. قد تكون مقارنة التعقيد هذه خادعة بعض الشيء. المقارنة الواقعية تتم بعد تقدير أبعاد المصفوفة التراكمية. وإذا كان استخدام مصفوفة تراكمية أصغر يخفض من التعقيد الحسابي. إلا أن إنجاز كاشف مستقيمات أفضل يتم بتكميم أدق للمستوي $\rho-\theta$ مما يعني مصفوفة تراكمية أكبر.

لتوضيح تحويل هاف بالرسوم بشكل مفصل، سنبدأ بصورة بسيطة لكائن مكون من مستطيلين مقللين متداخلين كما في الشكل (5-a). يقوم كاشف الحافة كاني *canny* بإنتاج مجموعة حواف لهذا الكائن، كما يظهر في الشكل (5-b). إذا استخدمنا صورة الحواف الثنائية (5-b) هذه كدخل لتحويل هاف، يتم تشكيل المنحني في الفضاء القطبي (r, θ) لنقاط كل حافة. وتبدو المصفوفة التراكمية عند عرضها كصورة كثافة، كما في الشكل (6). نلاحظ أنه على الرغم من أن r, θ هما إحداثيات تمثيل قطبي، يتم تخطيط الفضاء التراكمي كمستوي مستطيل الشكل حيث θ إحداثي أفقي و r إحداثي رأسي. نلاحظ في الشكل 5 وجود ثمانية قمم حقيقية فقط ناتجة عن تقاطع المنحنيات في ثماني نقاط، وهي

تمثل النقاط الواقعة على استقامة واحدة في صورة الدخل. نقاط تقاطعات هذه المنحنيات هي الخطوط المستقيمة للصورة الأصلية، وبذلك يحدد تحويل هاف الشكل الهندسي الحقيقي للكائن.

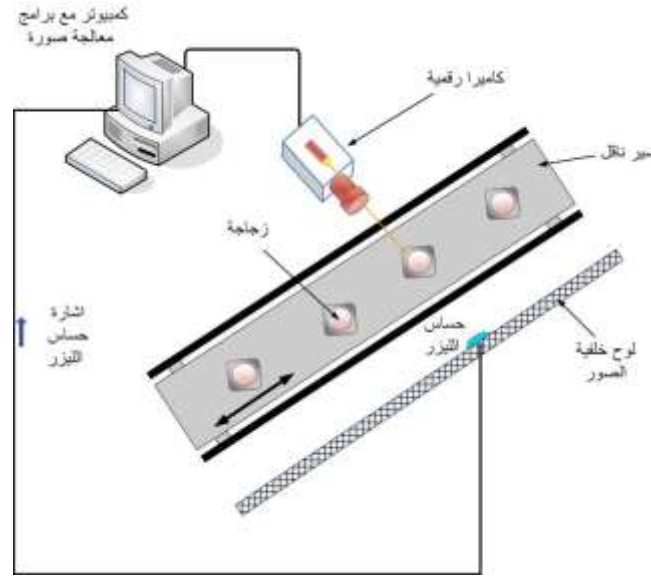


الشكل (6) المنحنيات الجيبية الناتجة بعد تطبيق تحويل هاف على صورة الشكل (5-b)

تجدر الإشارة هنا إلى أنه يمكن تعديل تحويل هاف بشكل مباشر للتكيف مع أشكال هندسية أخرى كالدائرة والقطع الناقص لكن حجم وأبعاد فضاء هاف المستخدم لتجميع الأصوات يزداد بازدياد تعقيد الشكل [10]. ومن التطبيقات الأخرى الشائعة لتحويل هاف هو وصل الحواف (Edge Linking) المتقطعة في صورة [11].

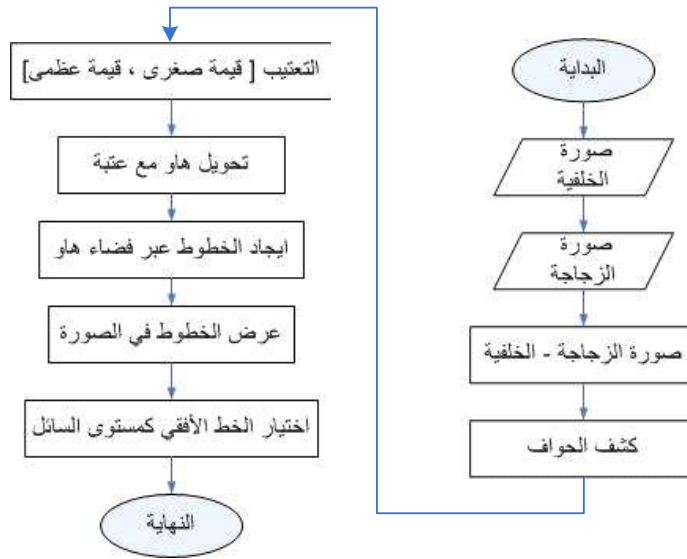
النتائج والمناقشة:

لقد استخدمنا التقنية التي سبق شرحها لقياس مستوى السائل في عبوات زجاجية شفافة. ولقد فضلنا أن يكون هذا السائل شفافاً (لا لون له)، لكونها الحالة الأصعب في اكتشاف المستوى، مقارنة مع السوائل الملونة التي تنتج حافة مستوى سائل أكثر وضوحاً. لذلك تمت الدراسة وعمليات الاختبار هنا على الماء. النموذج المقدم هنا هو محاكاة لنظام تطبيقي يمثل جزءاً من عملية صناعية، وفيه أردنا قياس مستوى الماء في عبوات زجاجية أثناء حركتها على خط إنتاج، من خلال نظام معالجة الصورة (الشكل 7).



الشكل (7) رسم توضيحي يمثل الأجزاء الرئيسية للنظام

يتمثل خط الإنتاج هنا من خلال سير يتم تحريكه بواسطة محرك مستمر (DC Motor) يتم التحكم به عن طريق الحاسب ودارة إلكترونية. يتم التقاط صورة الزجاجاة عندما تصبح متوضعة في مواجهة الكاميرا تماماً حيث يتعرف الحاسب على موضع الزجاجاة من خلال الية تعرف عن طريق حساس ضوئي. يتوضع منبع ضوء ليزري فوق الكاميرا تماماً، يقوم بإرسال شعاع ضوئي ضيق يسقط على مستقبل ضوئي (ترانزستور ضوئي) متوضع على لوح خشبي يمثل خلفية الصورة. يجعل الضوء الساقط الترانزستور في حالة on وينخفض جهد مجمله إلى قيمة صغيرة تدخل إلى الحاسب كقيمة منطقية (0) عن طريق المنفذ التفرعي له. ويبقى جهد مجمع الترانزستور منخفضاً حتى يقطع الشعاع الليزري بمرور العبوة أمام الكاميرا فيرتفع جهد مجمع الترانزستور ليدخل إلى الحاسب كقيمة منطقية (1). و يتم تنفيذ القرار بتشغيل أو إيقاف المحرك والشعاع الليزري عن طريق أحد مخارج المنفذ التفرعي.



الشكل (8) المخطط الصندوقي لآلية عمل البرنامج

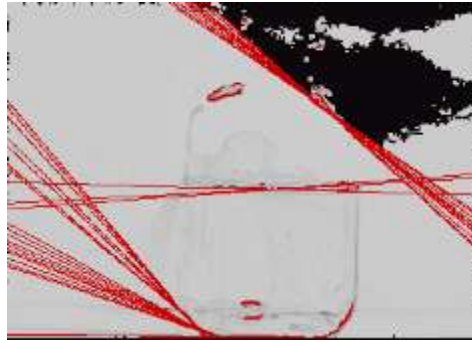
بعد التقاط الصورة للعبوة يتم معالجتها وتحديد مستوى السائل داخل العبوة . يبين المخطط الصندوقي في الشكل(8) التسلسل الهرمي للمنهجية المستخدمة في هذا التطبيق. فيتم في البداية اكتساب وتخزين كل من صورة الخلفية (دون عبوة) بالإضافة الى صورة العبوة الزجاجية (الشكل 9) في ذاكرة الحاسب ليقوم البرنامج بطرح صورة الخلفية من صورة العبوة. عملية الطرح هذه تضمن التخلص من التشويشات المتواجدة في الخلفية بالإضافة الى التشويشات الناتجة عن الاضاءة.



الشكل (9) صورة العبوة الزجاجية التي سيتم تحديد مستوى الماء فيها

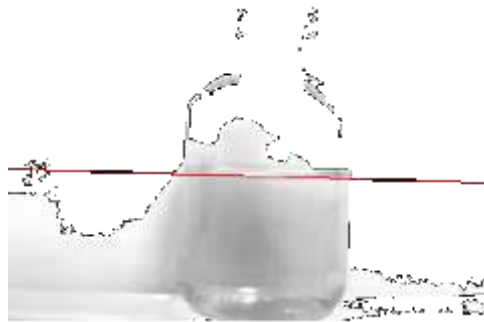
بعد ذلك تطبق عملية اكتشاف الحواف على الصورة الناتجة ثم تجرى عملية تعتيب thresholding على صورة الحواف لتحويلها إلى صورة ثنائية. تشكل الصورة الناتجة دخلاً لتابع التحويل هاف الذي يعطي كخرج جميع المستقيمات الممكنة الموجودة في الصورة والتي عدد نقاطها أكبر من عدد معين (عتبة معينة). هذا الخرج يتمثل على شكل مصفوفتين: الأولى هي مصفوفة قيم بعد هذه المستقيمات عن مركز الإحداثيات المعبر والتي هي النقطة العليا اليسرى في الصورة والثانية هي مصفوفة قيم زوايا المستقيمات مع المحور الشاقولي. ينتهي عمل البرنامج في حالة عدم

إنتاج أي خط مستقيم؛ أي عندما يكون عدد الخطوط الناتجة يساوي الصفر. أما إذا كان عدد الخطوط الناتجة أكبر من الصفر يقوم البرنامج بعرض مجموعة الخطوط، ثم تحميلها فوق صورة العبوة الزجاجية، كما تظهر في الشكل(10).



الشكل (10) جميع الخطوط التي تم كشفها في الصورة

وبما أن مستوى الماء يمثل خط أفقي، يقوم البرنامج بإجراء عملية اختبار على زوايا الخطوط المكتشفة لاختبار الخط المستقيم الذي تكون زاويته أقرب ما يمكن إلى زاوية الخط الأفقي، وهي $\pi/2$ rad نسبة إلى المحور الشاقولي. وتكون النتيجة خطأ مستقيماً واحداً يحدد مستوى الماء في العبوة الزجاجية.



الشكل (11) تحديد الخط المستقيم ذي الزاوية الأقرب إلى زاوية المستقيم الأفقي

الشكل (11) يظهر صورة العبوة الزجاجية، وقد تم تحديد مستوى الماء فيها. يمكن اعتماداً على بعد المستقيم الناتج عن نقطة مركز إحداثيات الصورة حساب النسبة المئوية لحجم الماء في العبوة من حجمها الكامل وذلك بعد معايرة المستوى الأدنى والمستوى الأعلى لمنسوب الماء في الزجاجية.

الاستنتاجات والتوصيات:

تم في هذه الورقة عرض تصميم نموذج مصغر لنظام معالجة صور يقوم بالتعرف على مستوى السائل في قوارير متوضعة على سير نقال. تم الاعتماد على تقنية متقدمة لاكتشاف الأشكال الهندسية في الصور، وهي تحويل هاف وعلى عمليات معالجة الصور المسبقة لهذه التقنية. ويعد هذا التطبيق تطبيقاً صناعياً مطلوباً في العديد من المجالات. فيمكن استخدامه لقياس حجم السائل أو يمكن إضافة آلية صناعية تتم مراقبتها بشكل مؤتمت لملء العبوات

بكميات محددة من السوائل. كما يمكن مراقبة كميات السوائل في مختلف أنواع خزانات السوائل والمحاليل المستخدمة في الصناعة وملؤها بالكميات المطلوبة بطريقة آلية متكاملة عن طريق استخدام مضخات يتحكم الحاسوب بها.

المراجع:

1. BXES, G. A, “*Digital Image Processing – Principles and Applications*”, by John Wiley & Sons, Inc., New York, US, 1994.
2. Matlab and Simulink 7.6.0 , The Mathworks Inc., USA.
3. Halcon Image Processing Software, MVTec Software GmbH, München (Germany)
4. HATEM, I. ; J. TAN, 2003. "Image Analysis", *Encyclopedia of Agricultural , Food and Biological Engineering*. Marcel Dekker, Inc., New York. 2003,517 – 523.
5. CANNY, J., "A Computational Approach to Edge Detection", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.8, No. 6, Nov. 1986.
6. DUDA, R. O.; HART,P. E. "Use of the Hough Transformation to Detect Lines and Curves in Pictures," Comm. ACM, Vol. 15, 1972, 11–15.
7. BALLARD, D.H. "Generalizing the Hough transform to detect arbitrary shapes," Pattern Recognition 13, 2, 1981.
8. LU, W. ; TAN, J. “*Detection of incomplete ellipse in images with strong noise by iterative randomized Hough transform (IRHT)*”, Journal of Pattern Recognition, Vol. 41, Issue 4, 2008, 1268-1279.
9. MOCHIZUKI,Y.;TORRI , A. IMIYA, A. “*N-Point Hough transform for line detection*”, Journal of Visual Communication and Image Representation, Vol. 20, Issue 4, 2009, 242-253.
10. RUSS, J. C. , “*The Image Processing Handbook*”, 2nd edition, 1995, by CRC Press LLC, Florida, USA.
11. PRATT, W. “*Digital Image Processing*”, 2nd edition, by John Wiley & Sons, Inc., New York, US,1991 .