Pamukkale Univ Muh Bilim Derg, 21(5), 158-161, 2015

Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi

Pamukkale University Journal of Engineering Sciences

GÖRÜNTÜ İŞLEME VE BEŞ EKSENLİ ROBOT KOL İLE ÜRETİM BANDINDA NESNE DENETİMİ

OBJECT CONTROL ON PRODUCTION LINE WITH IMAGE PROCESSING AND FIVE AXIS ROBOT ARM

Fatih Ahmet ŞENEL[1], Bayram ÇETİŞLİ[1]*

[1]Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye.
fatihsenel@sdu.edu.tr, bayramcetisli@sdu.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 31.03.2014, Kabul Tarihi/Accepted: 09.07.2014 doi: 10.5505/pajes.2014.96658
* Yazışılan yazar/Corresponding author Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Gelişmiş ve gelişmekte olan dünya ülkeleri, gelişen endüstriyel sanayi teknolojisiyle birlikte üretilen ürünler için; yüksek kalite, düşük maliyet ve az zaman parametrelerini aramaktadır. Bu sebeple günümüzde birçok sanayi uygulaması için insan gücü yerine makine gücü tercih edilmektedir. Günümüz endüstriyel sanayi uygulamalarında; yüksek yük miktarı, sürekli çalışma ve düşük hata gibi özelliklerinden dolayı robotlar ve robot kolları yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada, bir üretim bandı üzerinden geçen ürünler, geliştirilen gömülü sistem yazılımı ve robot kolu yardımıyla sınıflandırılmıştır. Gerçekleştirilen çalışmada, 15 adet üretim hatası olan ve 45 adet üretim hatası olmayan toplam 60 adet ürün, %100 gibi oldukça yüksek bir başarı oranı ile ayrıştırılmıştır.

Anahtar kelimeler: Görüntü işleme, Gömülü sistemler, Robot kollar

Abstract

Developed and developing countries of the world are seeking high quality, low cost and less time parameters for products which produced with evolving industrial technology. Hence, nowadays instead of manpower machine power is preferred for many industrial applications. In today's industrial applications, robots and robotic arms are widely used because of the amount of high load, continuous operation and features such as low error. In this study, the products which are passing over production line classified with the help of the robot arm and developed embedded system software. In this study, 60 products in total which 45 of them have no manufacturing fault and 15 of them have manufacturing defect have been classified with a very high success rate with 100%.

Keywords: Image processing, Embedded systems, Robotic arms

1 Giriş

Günümüzde savunma ve endüstriyel sanayi teknolojilerinde yaşanan gelişmeler; hızlı üretim, iş güvenliği, ürün kalitesi ve zaman gibi önemli gereksinimlerden dolayı makine gücü kullanımını zorunlu kılmaktadır. Endüstriyel otomasyon sistemlerinde donanım teknolojilerinin gelişmesi ile birlikte artık bilgisayar kullanımı, yerini hızlı bir şekilde gömülü sistemlere bırakmaktadır. Gömülü sistemler denilince ilk olarak mikro denetleyiciler (MD'ler) akla gelmektedir. MD'ler kullanılma amaçlarına göre farklı özelliklere sahip olabilmektedir. Bu özelliklerin başında kaç bitlik olduğu ve ne kadar belleğe sahip olduğu gelmektedir. MD uygulamalarında 8, 16 ve 32 bitlik MD yaygın olarak kullanılmaktadır. Basit uygulamalar için 8 bitlik MD'lerin yeterli olmasına karşın, uygulama boyutu ve zorluğu arttıkça 32 bitlik MD'leri kullanmak kaçınılmazdır. Günümüzde, endüstriyel gömülü sistem uygulamalarında; PIC, AVR, FPGA, ARM, DSP gibi farklı MD türleri kullanılmaktadır [1]-[3]. 32 bitlik MD'ler genellikle büyük uygulamalarda tercih edildiklerinden, üzerinde gömülü sisteme uygun bir işletim sistemi çalıştırabilecek şekilde tasarlanmaktadırlar.

Gömülü sistemler, hayatımızın her alanına girmiş ve kullanıcılara üst düzey güvenlik ve kolaylık sağlamaktadırlar. Başlıca kullanım alanlarına örnek olarak, ATM cihazları, cep telefonları, ev otomasyon sistemleri, tıbbi cihazlar, ölçüm cihazları vb. verilebilir. Gömülü sistemlerin klasik sistemlere göre en büyük avantajı, daha düşük güç tüketimi ve daha az maliyetle gerçeklenmeleridir. Bu nedenle kişisel bilgisayarlarda kullanılan MD'lerin aksine gömülü sistem için tasarlanan MD'lerde daha basit bir mimari kullanılmakta ve gereksiz tüm yapılar çıkarılarak maliyet azaltılmaktadır. Gömülü sistem MD'leri, çoğunlukla gerçek zamanlı çalışacak şekilde tasarlanan ve kullanıcı arabirimleri (klavye, fare, ekran) olmayan donanım ürünleridir. Ancak, istenildiği takdirde gerekli donanım ve kullanıcı arabirimleri eklenebilmektedir. Bu çalışmada gerçek zamanlı görüntü işleme uygulaması geliştirilmiştir. ARM mimarisine sahip S3C6410A MD'sini barındıran FriendlyARM firmasının ürettiği mini6410 geliştirme kartı kullanılmıştır. Robot kol olarak beş eksenli çalışabilen ED-7220C model robot kolu kullanılmıştır. Yapılan çalışmada, bant üzerindeki ürünler geliştirilen görüntü işleme algoritmaları kullanılarak sınıflandırılmıştır.

Bu çalışmanın ikinci bölümünde kullanılan donanım, yazılım ve kurulan platform hakkında bilgiler verilmiştir. Üçüncü bölümde sistemin çalışması hakkında bilgiler verilmiş ve son bölümde ise elde edilen sonuçlar açıklanmıştır.

2 Gömülü Sistem ve Robot Kolu

2.1 Donanım

Bu çalışmada, FriendlyARM firması tarafından üretilen ve ARM11 çekirdek mimarisine sahip olan mini6410 geliştirme kartı kullanılmıştır (Şekil 1). Mini6410 geliştirme kartı; Samsung firması tarafından 32 bitlik RISC mimarisiyle üretilen S3C6410A MD'sine sahiptir. S3C6410A MD'si, 533-667 MHz frekans aralığında çalışabilen, 512 MB DDR RAM belleğe ve 1 GB NAND FLASH belleğe sahiptir. Mini6410 geliştirme kartı USB, ekran, seri port haberleşmesi gibi kullanıcı arabirimlerini barındırmaktadır.

Mini6410 geliştirme kartı Gömülü Linux, Ubuntu, Windows CE ve Android işletim sistemleri ile çalışabilmektedir. Gerçekleştirilen çalışmada, gerek açık kaynak olması gerek daha kullanışlı bir işletim sistemi olması nedeniyle Linux tabanlı çalışan Gömülü Linux işletim sistemi kullanılmıştır.

Robot kolları, çalışılacak sistemin ihtiyaçlarına göre belirlenmektedir. Sadece tek yönde hareket edebilen robot kolu olduğu gibi birçok yönde hareket edebilen robot kollar da mevcuttur [4]. Nesne ayıklama işlemi için Şekil 2'de görünen ED-7220C model, beş eksenli çalışabilen robot kolu kullanılmıştır. Robot kolu hareket ettirmek için, robot kolu üretici firması tarafından ED-MK4 sürücü devresi üretilmiş ve bu devre seri port üzerinden haberleşebilmektedir [5]. ED-7220C model robot kolunun temel özellikleri aşağıda belirtilmiştir;

- 5 Eksenli çalışma,
- Dikey tasarım,
- +/- 0.5 mm tutucu kısım hassasiyeti,
- Her eksende yaklaşık 100 mm/sn hızda hareket,
- 1 Kg taşıma kapasitesi,
- 6 adet DC SERVO motor,
- Hareket açıları;
  - Gövde Hareketi 310^0
  - Omuz Hareketi $+130^0/-35^0$
  - Dirsek Hareketi $+130^0/-130^0$
  - Bilek Hareketi Aşağı-Yukarı $+130^0/-130^0$
  - Bilek Hareketi Dönme 360^0
- Tutucu açılma mesafesi 65 mm (Tutucu koruyucusu olmadan 75 mm),
- 25 kg ağırlık.

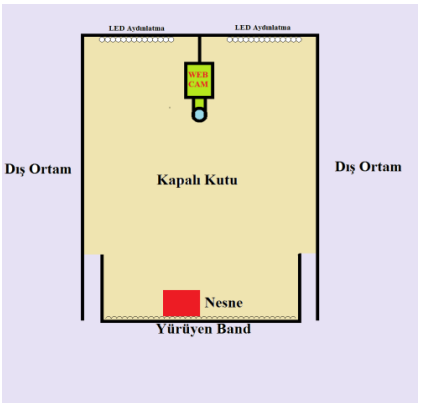
Çalışmada kullanılan görüntüleme sistemi ışık almayacak şekilde tasarlanan kapalı bir kutu içine yerleştirilmiştir. Kapalı kutu içinde USB WEB kamerası, bandı yukardan kuş bakışı görecek şekilde yerleştirilmiştir. Kamera çevresine içeriyi aydınlatmak için LED'ler döşenmiş ve kutunun yan tarafları aynalarla desteklenerek, kutu içinin sorunsuz bir şekilde aydınlatılması sağlanmıştır. Kullanılan LED'ler 5V DC adaptör ile beslenmekte ve beyaz ışık yaymaktadır. 20 lm/W ışık verimliliğinde çalışmaktadır. LED aydınlatması önüne saydam kâğıtlardan oluşan bir süzgeç yerleştirilerek bant ve nesneler üzerinde parlama yapması önlenmiştir.



Şekil 1: Mini6410 geliştirme kartı.

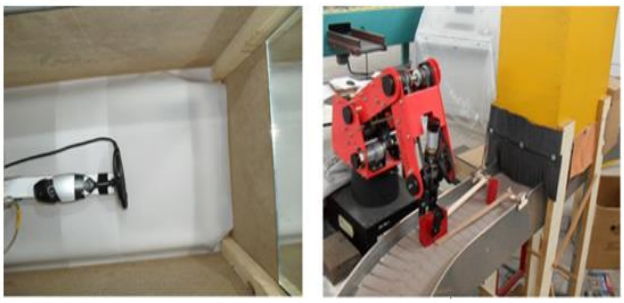


Şekil 2: ED-7220C robot kolu.



Şekil 3: Kamera sistemi.

Kamera sisteminin (Şekil 3) bulunduğu kutunun dışına bant üzerinde ilerleyen nesneleri robot kolunun alabileceği şekilde hizalayan yönlendiriciler de düzeneğe sabitlenmiştir (Şekil 4). Yönlendiriciler vasıtasıyla kamera ile tanımlanan nesneler robot kolunun ulaşamayacağı noktalardan, bandın orta bölümüne doğru yönlendirilmiş ve robot kolu tarafından alınmıştır.



(a) (b)

Şekil 4: (a): Kamera sistemi içten görünüş,
(b): Kamera sisteminin dış görünümü ve yönlendiriciler.

2.2 Yazılım

Bu çalışmada, Linux-2.6.36 çekirdek sürümüne sahip Gömülü Linux işletim sistemi kullanılmıştır. Gömülü Sistemlerle tümleşik olarak çalışabilen QT 4.8 arayüz tasarımı ve kodlama programı kullanılmıştır. QT programı C++ programlama dili ile çalışmaktadır. Geliştirilen yazılım x86 tabanlı bir makinede derlendiği için ARM çekirdeği tarafından

çalıştırılamamaktadır. Bu nedenle çapraz derleme araçları kullanılmıştır. QT 4.8 programı çapraz derleme için uygun bir program olup bu çalışmada Arm-Linux-GCC-4.5.1 çapraz derleme aracı kullanılmıştır. Geliştirme kartına Gömülü Linux kurulumu yapıldıktan sonra, geliştirilen programın derlenmesi, geliştirme kartında da yapılabilir ancak uzun süren çalışma zamanı gerektirdiğinden masaüstü bilgisayarda çapraz derleme araçları ile derlenerek, geliştirme kartına yüklenmiştir. Derlenen programlar "ssh" haberleşme protokolü ile ağ üzerinden mini6410 geliştirme kartına kopyalanmıştır. Seri port haberleşmesi için açık kaynak ve C++ dili ile geliştirilmiş "qextserialport" kütüphanesi kullanılmıştır. Geliştirilen nesne sınıflandırma algoritmaları için literatürde yaygın olarak kullanılan "OpenCV" bilgisayarlı görü kütüphanesi kullanılmıştır. OpenCV, hem ticari hem de akademik çalışmalar için ücretsiz olarak kullanıcılara sunulmakta ve C, C++, Python ve Java dilleri ile Windows, Linux, Android ve Mac platformları üzerinde çalışabilmektedir [6].

3 Deneysel Çalışmalar

3.1 Görüntü Alma ve İşleme

Görüntü alımı aşamasında mini6410'a bağlı olan USB arayüzlü WEB kamerasından gerçek zamanlı olarak görüntüler alınmıştır. Elde edilen görüntüler 180x240 imgecik çözünürlüğünde olup *RGB* formata sahiptir.

Kameradan alınan görüntüler ilk olarak bir renk süzgecinden geçirilerek sadece ilgi odağı olan renkler görüntüde kalmıştır. Çünkü bant üzerinde hareket eden üretim nesneleri kırmızı renge sahiptir. Kırmızı renk ayrıştırılırken *RGB* (Red-Green-Blue) ve *HSV* (Hue-Saturation-Value) renk uzayları kullanılmıştır.

RGB ve *HSV* renk uzayları üzerinde deneyler yapılarak deneme yanılma yoluyla *HSV* renk uzayının Saturation değerinin iyi bir öznitelik olduğu ve iyi bir ayrıştırma yaptığı tespit edilmiştir. Bu çalışma şartlarında en iyi sonuç *HSV* renk uzayındaki görüntülerden elde edilmiştir. Deneysel çalışmada kullanılan cisimler kırmızı renkte olduğundan, *HSV* uzayındaki görüntüde, kırmızı bölgeyi ayırmak için sırasıyla H, S, V değerlerinin Denklem (1)'de belirtildiği şekliyle olması gerektiği deneme yanılma yoluyla tespit edilmiştir.

$$\begin{aligned} 0 < H < 255 \\ 55 < S < 255 \\ 0 < V < 255 \end{aligned} \quad (1)$$

H, S, V değerleri belirlenen aralıklara göre filtrelenen görüntüde sadece ilgi odağı olan yani kırmızı bölgeler kalmaktadır. Daha sonra elde edilen görüntü morfolojik işlemler ile gerekli doldurma işlemlerinin yapılabilmesi için ikili resme dönüştürülmektedir.

Elde edilen ikili resimde oluşan gürültüleri temizlemek için morfolojik işlem olan aşındırma işlemi kullanılmıştır. Aşındırma işleminde 3x3'lük daire yapısal elemanı kullanılmıştır. Bu işlem sonucunda, görüntüde var olan gürültüler yüksek oranda temizlenmiştir.

Gürültüsü temizlenen resmin, Canny kenar belirleme algoritması ile kenarları belirlenmektedir. Daha sonra, 3x3'lük daire yapısal elemanı ile morfolojik işlem olan genişletme işlemi uygulanarak nesneler içinde oluşan boşluklar doldurulmaktadır.

Kamera açısına nesnelerin tamamının girdiğini tespit etmek için, elde edilen ikili resmin en üst satırında bulunan piksel değerleri sürekli olarak kontrol edilmektedir. Piksel değerleri toplamı sıfırdan büyük olduğunda bir nesnenin kamera açısına girdiği sonucuna varılmaktadır. Daha sonra yine en üst satırı sürekli olarak kontrol edilerek tekrar toplam piksel değerlerinin sıfır değerine ulaşması gözlemlenmektedir. Sıfır değerine ulaştığı anda, gelen nesnenin tamamının kamera açısına girdiği anlaşılmaktadır (Şekil 5).

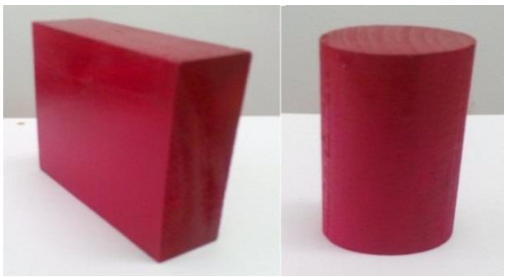


(a) (b) (c) (d)

Şekil 5: (a): Nesne beklenirken sistem görüntüsü, (b): Kamera açısına nesnenin girdiği andaki görüntüsü, (c): Nesnenin tamamının kamera açısına girmesi beklenirken ki görüntüsü, (d): Nesnenin tamamının kamera açısına girdiği görüntü.

Kamera açısına nesnenin tamamının girdiği tespit edildikten sonra, ikili resimdeki tüm piksel değerleri toplamına bakılarak gelen nesnenin arızalı olup olmadığına karar verilmektedir. İşlenmeyen ürünler dikdörtgen şekline sahip (Şekil 6a) ve işlendikten sonra yuvarlak, silindir haline gelmektedir (Şekil 6b). Bu nedenle işlenmemiş ya da hatalı işlenmiş nesneler, nesnenin olması gereken son halinden hacimce daha büyük olmaktadır. Bu nedenle, ikili görüntüde nesnelerin kapladıkları alanların büyüklüğüne göre işlenip işlenmediğine ya da hatalı olup olmadığına karar verilebilmektedir. Ürün Tespit İşleminde (ÜTİ) gelen ürünün, Hatalı Ürün (*H*Ü) veya Hatasız Ürün (*HS*Ü) olduğuna Piksel Değerleri Toplamına (*PDT*) bakılarak Denklem (2)'de gösterildiği şekilde karar verilmektedir.

$$\text{ÜTİ} = \begin{cases} H\text{Ü}, & eğer\ PDT > 50000 \\ HS\text{Ü}, & diğer \end{cases} \quad (2)$$



(a) (b)

Şekil 6: (a): Hatalı işlenmiş ürün, (b): Hatasız ürün.

3.2 Robot Kolu ile Ayrıştırma İşlemi

Robot kolunun; başlangıç, ürün alma ve ürün bırakma olmak üzere üç farklı konumu vardır. Kullanılan robot kol üzerinde altı adet DC servo motor bulunmaktadır. Bunlardan beş tanesi eklem noktalarını kontrol etmekte, geri kalan biri ise tutacağın açılıp kapanmasını kontrol etmektedir.

ED-MK4 sürücü devresi, seri port ile haberleşmekte ve sırasıyla her bir motorun hareket edeceği miktarı parametre olarak almaktadır. Dolayısıyla her bir motorun ne kadar hareket edeceği bilgisi sürücü devresine seri port ile iletildikten sonra robot kolu harekete geçmekte ve istenilen noktaya hareket etmektedir. Bu işlemi yaparken robot kolu referans noktası olarak, sürücü devresinin ilk enerji verildiği andaki konumunu başlangıç, yani tüm motorların sıfır noktasında olduğu kabul etmektedir. Bu nedenle çalışmada referans olarak bir başlangıç noktası belirlenmiş ve sistem her kapatılmadan önce robot kolu başlangıç konumuna getirilerek kapatılmıştır. Aksi takdirde referans noktası değişen robot kolu, istenilen noktalara hareket etmeyecektir.

Çalışmada referans olarak alınan noktaya göre, robot kolunun ürün alma ve bırakma noktalarına ulaşmak için hangi motorun ne kadar hareket edeceği önceden belirlenmiştir. Böylece robot kolu kendisine ürün alınacak bilgisi geldikten sonra önce sırasıyla ürün alma noktasına gitmekte, ürün gelince tutacak ile ürünü tutmakta son olarak tuttuğu ürünü, ürün bırakma noktasına gelince bırakmaktadır.

Bölüm 3.1'de anlatıldığı üzere hatalı ürün tespit edildikten sonra mini6410 geliştirme kartı robot koluna, seri port üzerinden ürünün alınacağı bilgisini göndermektedir. Mini6410 hatalı ürün tespit ettikten sonra 18 saniye bekleyip daha sonra robot koluna alınacak bilgisi göndermektedir. Çünkü tespit edildiği noktadan, robot kolunun tutacağı noktaya kadar ürünün ulaşması 18 saniye sürmektedir. Bu süre robot kolunun, kamera sistemine olan uzaklığı ile doğru orantılı olarak değişebilmektedir. Robot kolu gelen ürünü alıp, hatalı ürünü sepetine bıraktıktan sonra tekrar ürün alma noktasına gelerek hazırda beklemektedir. Robot kolunun bir ürünü alıp, hatalı ürün sepetine bırakıp tekrar hazır konuma geçebilmesi için 18 saniye gereklidir. Bu nedenle bu süre içinde bir başka ürün kameradan tespit edilirse, o ürün robot kolu tarafından ayrıştırılamamaktadır. Bu sistemin en büyük dezavantajı robot kolunun hızlı hareket edememesidir.

Mini6410 üzerinde geliştirilen yazılım, toplamda kaç adet ürünün, üretim bandından geçtiğini ve kaç adet arızalı ürünün tespit edildiği gibi bilgileri hafızasında tutmakta ve ekranda göstermektedir. Ayrıca yazılım, robot kolunun başka bir ürünü hatalı ürün sepetine taşıdığı zamanlar hariç, hiçbir arızalı ürünü kaçırmamaktadır. Üretim bandı üzerinde, bu süre zarfında ayrıştıramasa bile hatalı ürün sayısında herhangi bir hata meydana gelmemektedir.

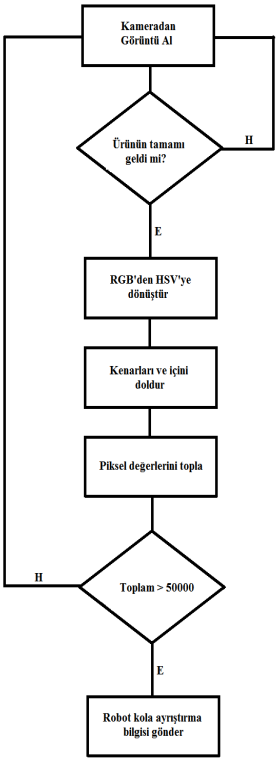
Çalışılan şartlarda sistem, dakikada ortalama üç adet hatalı ürün ayrıştırabilme yeteneğine sahiptir.

Geliştirilen otomasyon sisteminin akış diyagramı Şekil 7'de gösterilmiştir.

4 Sonuçlar

Bu çalışmada, gömülü sisteme bağlı bir kameradan görüntü alarak, görüntü işleme tekniklerine tabi tutulmuş ve üretim bandı üzerinde hareket eden ürünler tasniflenmiştir. İncelenen ürünler hatalı olduğu tespit edildiğinde gömülü sisteme bağlı robot kola gerekli komutlar gönderilerek hatalı ürün üretim bandından alınarak hatalı ürün sepetine konulmuştur. Yapılan deneysel çalışmalarda, iki çeşit nesne içeren toplam 60 adet ürün, geliştirilen gömülü sistem yazılımı aracılığıyla %100 gibi yüksek başarımla sınıflandırılmıştır.

Gelecek çalışmalarda, daha fazla ürün çeşidi olan bir üretim bandı üzerinde çalışma yapılması amaçlanmaktadır.



Şekil 7: Görüntü işleme ve beş eksenli robot kol ile üretim bandında nesne denetimi işlemi akış diyagramı.

5 Teşekkür

Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisine katkı sağlayan tüm yazar ve hakemlere teşekkür ederiz.

6 Kaynaklar

[1] Xia Z, Xiaoyan L, Boxue T, Jin S, Yajing W. "Design of Intelligent Security System Based on ARM Microcontroller". *E-Product E-Service and E-Entertainment (ICEEE), 2010 International Conference,* Henan, China, 7-9 November 2010.

[2] Han C, Sang D, Ren Y. "AVR Microcontroller Based User Terminal Data Acquisition System Design". *World Automation Congress (WAC),* Puerto Vallarta, Mexico, 24-28 June 2012.

[3] Jianrong L, Huibin G, Zhiqian W, Tianwen G, Yan Z. "Embedded Image Grabber and Processing System Based on Camera Link". *World Automation Congress (WAC),* Puerto Vallarta, Mexico, 24-28 June, 2012.

[4] Bejo A, Pora W, Kunieda H. "Development of a 6-Axis Robotic Arm Controller Implemented on a Low-Cost Microcontroller". *6th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology*, Pattaya, Chonburi, Thailand, 6-9 May 2009.

[5] Iqbal J, Islam R, Khan H. "Modeling and Analysis of a 6 DOF Robotic Arm Manipulator". *Canadian Journal on Electrical and Electronics Engineering,* 3(6), 300-306, 2012.

[6] Dragusu M, Mihalache AN, Solea R. "Practical Applications for Robotic Arms using Image Processing". *System Theory, Control and Computing (ICSTCC), 16th International Conference,* Sinaia, Romania, 12-14 October 2012.