

Gömülü Sistemlerle Görüntü İşleme ve PI Denetimli Nesne Takibi

Object Tracking by PI Control and Image Processing on Embedded Systems

Tolga Öztürk, Yalçın Albayrak, Övünç Polat

Akdeniz Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Antalya, Türkiye
tlgazturk@gmail.com, yalbayrak@akdeniz.edu.tr, ovuncpolat@akdeniz.edu.tr

Özetçe -Bu çalışmada görüntü işleme ve PI kontrol kullanılarak nesne takip uygulaması gerçekleştirilmiştir. Görüntü işleme tekniği ile tespiti ve takibi istenen nesnenin renk özelliğinden faydalanılmış ve kamera önündeki pozisyonunun sabit kalması hedeflenmiştir. Kontrol uygulaması ise PID kontrol tekniğinin PI varyasyonunu kullanmaktadır. Nesnenin kesin olarak tespit edilmesi için gerekli morfolojik işlemler kullanılmış ve oluşan gürültü, medyan filtresi kullanılarak filtrelenmiştir. Takip edilmesi beklenen nesnenin koordinat bilgisi, kameradan alınan frame içerisinde nesnenin ağırlık merkezinin bulunduğu piksel değeri olarak belirlenmiştir. Nesnenin kameradan alınan görüntü içerisinde merkez noktadan uzaklaşması halinde hata payı, PI kontrol algoritmasının girişine uygulanmaktadır. Tüm bu verilen işlemler tek bir program dâhilinde C programlama dili ile yazılmış ve ARM11 mikroişlemci mimarisine sahip Raspberry Pi geliştirme kartında kullanılmıştır. Görüntü işleme için OpenCV kütüphaneleri kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler - Nesne Takibi, PI Kontrol, Gömülü sistem

Abstract - In this study, object tracking application by using image processing and PI controlling is implemented. The color property of the desired object which was wanted to be detected and tracked by image processing technique was utilized and its position in front of the camera was aimed to be fixed. Controlling technique is using the PI variation of the PID controlling technique. In order to determine the object definitely morphological applications were used and the noise filtered by the median filter. The coordinate information of the object which was aimed to be tracked was determined as the pixel value which was in the gravity center of the object in the frame received from the camera. If the object within the image received from the camera away from the center point, margin of error is applied to the PI algorithm as a input. All this given procedures were written with C programming under a single program and were used in Raspberry Pi development card which has ARM11 microprocessor architecture. For image processing, OpenCV libraries were used.

Keywords – Object Tracking, PI Control, Embedded System.

1. Giriş

Günümüzde insanların güvenlik isteklerinin sürekli olarak artması ve bilgisayarlı otomasyon sistemlerinin insan hayatındaki yeri düşünüldüğünde, kaliteli ve hızlı tepki veren endüstriyel sistemlerin tasarımı vazgeçilmez olmuştur. Özellikle paketleme ve ürün takip noktalarında, nesne takip eden robot uygulamalarında ve ark kaynak robotlarında tespit edilmesi gereken nokta ve nesnelere kararlı bir hızda kalmaması ve hızını düzensiz bir şekilde değiştirmesi takip işlemini zorlaşmaktadır. Burada sensör yaklaşımıyla aç - kapa denetim organı oluşturmak yerine daha kompakt bir şekilde görüntü işleme ile tespit edilmesi istenen nesnenin PID denetim organı ile takibini gerçeklemek daha hassas ve güvenilir sonuçlar doğurmaktadır [1-5].

PID kontrolör çalışmaları ilk olarak 1922 yılında donanma gemilerinde otomatik direksiyon sistemleri için Minorsky tarafından uygulanmıştır [6]. Ardından hızlı sanayileşme ile birlikte PID denetim organı, endüstride % 85' lere ulaşan bir uygulama alanına sahip olmuş ve bunun üzerine çalışmalar devam etmektedir [7-15].

Görüntü işleme ile nesne tespit ve takibi üzerine ise sayısız çalışmalar yapılmış ve bu çalışmalarda uygulanan sistem adına çıkardığı sonuçlar neticesinde hız, kararlılık, hata oranı ve uygulanabilirlik olmak üzere çeşitli parametreler endüstrideki kullanım alanlarını oluşturmuştur. Gömülü sistemlerde gerçekleştirilen işlemler ise sistemin mobilitesini artırmaktadır. Bu neticeler göz önüne alındığında tespiti ve takibi istenen nesnenin veya noktaların gömülü sistemlerde kullanılması planlandığında, renk tespiti yordamı ile yapılan işlemlerde hız, kararlılık ve uygulanabilirlik adına bir avantaj sağlanırken, aynı renk değerlerine sahip bileşenlerin bozucu etken oluşturması sonucu meydana gelen hata oranı ise diğer tespit yöntemlerine göre dezavantaj sağlamaktadır [16-22].

Bu çalışmada gömülü sistem üzerinde görüntü işleme ve PI kontrol kullanılarak bir nesne takip uygulaması gerçekleştirilmiştir.

2. Tek Kartlı Bilgisayarlar

Tek kartlı bilgisayarlar, normal bir bilgisayarın tüm özelliklerini sağlayacak donanımın, tek bir kart üzerinde tasarlanmış olan halidir. İşlemcisi, hafıza birimi, giriş - çıkış

ünitesi ve diğer çevresel üniteler bu kart üzerine entegre edilmiştir. Tek kartlı bilgisayarlarda genellikle harici kart yuvaları bulunmaz (ekran kartı, ses kartı vb.). Sistem birimleri (CPU, RAM vb.) küçük boyutta, düşük maliyette ve düşük güç tüketimi sağlayacak şekilde tasarlanmaktadır. Bu tasarımlar genellikle eğitim çalışmaları için sistem ve prototip geliştirmek için tercih edilir. Sistem depolama birimi harici bir flash sürücü teknolojisi kullanımıyla sağlanır [23].

Endüstriyel uygulamalarda tek kartlı bilgisayarlar genellikle kontrol ve haberleşme üniteleri arasında bir arayüz sağlamak amacıyla kullanılırlar. Multi – card bilgisayarlarla karşılaştırıldıklarında bazı avantajları bulunmaktadır, bunlar; tek kartlı bilgisayarlar daha hafiftir, daha az güç tüketimi gerçekleştirir ve daha kolay kullanım sağlarlar [23].

2.1. Raspberry Pi Model B

Raspberry Pi, ARM1176JZF-S 700 MHz merkezi işlem birimi içeren Broadcom BCM2835 mikroçipi üzerine kurulmuş tek kartlı bir bilgisayardır [24]. Çalışmada kullanılan Raspberry Pi Model B için donanım özellikleri şu şekildedir: Broadcom BCM2835 – 700 Mhz ARM1176JZF-S, 512MB Ram, USB 2.0, HDMI yuvası, SD kart okuyucu, 3.5 mm ses jakı, RCA video çıkışı, CSI bağlantısı, 10/100 Ethernet, Kamera portu.

3. OpenCV Kütüphanesi

OpenCV, Intel firması tarafından geliştirilen Berkeley Software Distribution (BSD) lisanslı açık kaynak kodlu bir kütüphanedir. Çok sayıda bilgisayarlı görü algoritması içermektedir. OpenCV kütüphanesi, Intel tarafından C ve C++ programlama dilleri ile geliştirilmiştir. Mac, Windows, Linux vb. platformlarda çalışabilmektedir [25].

Nesne analizlerinde, askeri uygulamalarda, güvenlik sistemlerinde, medikal görüntü işleme uygulamalarında, uydu görüntü ve harita uygulamalarında genellikle OpenCV kütüphanesi kullanılmaktadır [25].

Bu çalışmada OpenCV'nin 2.3.1 versiyonu kullanılmıştır ve Raspberry Pi geliştirme kartında kendi kaynak kodundan derlenmiştir.

Yine bu çalışmada OpenCV kütüphanesinin kullanılma sebebi, tek kartlı bilgisayarlarda rahatlıkla uygulanabilir olmasıdır.

4. Nesne Tespit ve Takip Yöntemi

Nesne tespiti uygulamalarında ilgilenilen nesneye ait birçok ayırt edici özellik değeri bulunabilmektedir. Bu çalışmada ise nesnenin renk özelliğinden faydalanılmıştır.

Gerçekleştirilen çalışmada görüntü işleme tekniği ile nesnenin kameradan alınan görüntü içerisindeki tespit ve takip işlemleri için aşağıda verilen yol haritası izlenmiştir:

1. Kameradan görüntünün alınması.
2. Alınan görüntülerin frame'ler halinde oluşturulması.
3. Frame içerisindeki görüntünün RGB uzayından HSV renk uzayına çevrilmesi.
4. Belirlenen renk değeri için eşik alınması.
5. Morfolojik işlemlerden "Smoothing" uygulanması.
6. Medyan filtre uygulanarak renkteş gürültülerin önlenmesi.

7. Oluşan binary görüntüde binary '1' olan piksellerin ağırlık merkezi bulunarak, nesnenin piksel değeri olarak konumunun tespit edilmesi.
8. Konumu belirlenen nesnenin gittiği yolun çizilmesi.
9. Tespit noktasının kameradan alınan görüntünün merkez noktasına olan uzaklığına göre hata değerinin belirlenmesi.
10. Hesaplanan hata değerinin PI denetim algoritmasının girişine uygulanması.
11. PI kontrolörün, hataya göre ürettiği çıkış sinyali ile darbe genişlik modülasyonu (PWM) değerini oluşturması.
12. Oluşturulan darbe genişlik modülasyonu ile beraber motorların sürülmesi ve takip edilmesi istenen nesneye doğru yönelim.

4.1. Medyan Filtresi

Eşik değeri alınmış görüntü içerisinde tespit edilen nesnenin gürültüden arındırılması planlandığında medyan filtresinin kullanımı oldukça pratiktir. Medyan filtresi iki boyutlu bir matris içerisindeki bütün değerleri komşu değerlerle karşılaştırarak tarar ve aritmetik sıraya göre ortanca değeri, taranan değerini yeni değeri olarak atar [26].

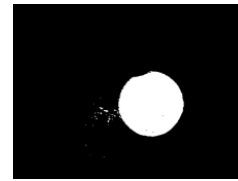
5. Görüntü İşleme ile Nesne Tespit İşleminin Gerçekleştirilmesi

Bu çalışmada önerilen metot, şekil 1'de gösterilen nesnenin tespit ve takip edilmesi için test edilmiştir.



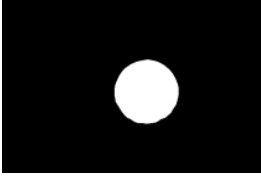
Şekil 1: Tespiti ve takibi gerçekleştirilen nesne

Tespit edilmesi istenen nesnenin renk değerlerini bir eşik fonksiyonundan geçirdiğimiz zaman, çevresel etkenlerin oluşturduğu bilinmeyen parlaklık değeri ve arka planda bulunup bozucu etki yaratan renkteş nesnelerin olduğu bir ortamda örnek bir görüntü şekil 2'de gösterilmiştir.

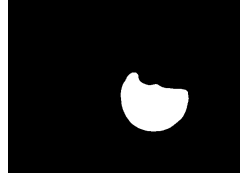


Şekil 2: Topun gürültülü bir ortamdaki tespiti

Medyan filtresinin kullanımı sonucu ise bu bozucu etkenler giderilmiş olup şekil 3 a' da verilen sonuç elde edilmiştir.



Şekil 3a: Gürültünün engellenmesi ile elde edilen görüntü



Şekil 3b: Işık etkisi sonucu renk değerin algılanamaması

Şekil 3b'de görüldüğü üzere ışığın topa tepeden etmesi sonucu topun üst kısmındaki belli bir bölgenin renk değeri, eşik alma fonksiyonunda belirlenen parametrelerin dışında kalmış ve o kısım algılanamamıştır. Bu nedenle yumuşatma işlemi ile topu görüntüde yayarak orijinal haline benzetilmesi hedeflenmiştir. Şekil 4'de görüntüyü yumuşatma sonucu oluşan yayılmış görüntü gösterilmiştir.



Şekil 4: Yumuşatma işlemi sonucu oluşan görüntü

6. Görüntü İşleme Sonuçlarının PI Algoritmasına Girişi

Kameradan alınan görüntü içerisinde istenilen referans noktası, kameranın ortasındaki piksel değeridir. Görüntü işleme ile hesaplanan ağırlık merkezi ve kameranın ortasındaki pikselin sütun değeri arasındaki fark PI kontrolörün girişine uygulanacak olan hata değerini oluşturmaktadır.

Geri beslemeli PI denetim sistemlerinin dijital bir ortamda uygulanması istendiğinde, PI denetim sinyalinin ayrık zamanda işlenmesi gerekmektedir. Bu çalışmadaki ayrık zaman PI denetim sinyalinin ayar noktası 512'dir.

Şekil 5'de ise örnek bir durum olarak, takip edilen nesnenin kamera önünde sağ tarafa ilerlemesi sonucu, PI denetleyicinin hatayı düzeltmek adına ürettiği sinyalin bir bölümü, örnek olarak verilmiştir. Burada 618 değeri en büyük aşım değeridir (overshoot).

Sol motor PID : (_531_)	Sag motor PID : (_512_)
Sol motor PID : (_576_)	Sag motor PID : (_512_)
Sol motor PID : (_588_)	Sag motor PID : (_512_)
Sol motor PID : (_604_)	Sag motor PID : (_512_)
Sol motor PID : (_610_)	Sag motor PID : (_512_)
Sol motor PID : (_618_)	Sag motor PID : (_512_)
Sol motor PID : (_613_)	Sag motor PID : (_512_)
Sol motor PID : (_605_)	Sag motor PID : (_512_)
Sol motor PID : (_578_)	Sag motor PID : (_512_)
Sol motor PID : (_513_)	Sag motor PID : (_512_)

Şekil 5: Nesnenin sağ tarafa gitmesi sonucu oluşan örnek PID denetim sinyali

Örnek olarak alınan ayrık zaman PI kontrol sinyaline göre, kontrol mekanizmasında takip nesnesinin kamera önündeki pozisyonunun sabit kalması için 12 V, 20000 Rpm hızında alan etkili DC motor için hesaplamalar yapılmış ve 11x11 medyan filtresi kullanılmıştır. PID denetim katsayıları $K_p=20$, $K_i=1$ ve $K_d=0$ için alınmıştır.

Tablo 1'de 12 V, 20000 Rpm hızında bir DC motor için PI kontrol sinyalinin ayrık zamanda 10 örnek sinyal ile oluşturduğu sonuçlar verilmiştir. Sonuçlar takip nesnesinin kameradaki orta noktanın sağ tarafında bulunduğu bir zaman diliminden alınmıştır.

Darbe genişlik modülasyonu (PWM) için darbe genişlik periyodu 0-1024 skalasında belirlenmiş olup PI denetim sinyalinin her örnekte aldığı değer, o anki darbe genişlik değerine eşitlenmektedir.

Motor sürücü devresi ile 12 V'luk alan sargılı DC motor PWM değerine göre tablo 1'deki sonuçları vermektedir.

Tablo 1: PI denetimin sol motorda oluşturduğu parametreler

Örneklenmiş Sinyal için Örnek Sırası	Sol motor için ayrık zaman PI sinyali	Darbe Genişlik Oranı (Duty Cycle Ratio)	Sol Motordaki Gerilim
1	531	% 51,85	6,22 V
2	576	% 56,25	6,75 V
3	588	% 57,42	6,89 V
4	604	% 58,98	7,07 V
5	618	% 60,35	7,62 V
6	618	% 60,35	7,62 V
7	613	% 59,86	7,18 V
8	605	% 59,08	7,08 V
9	578	% 56,44	6,77 V
10	513	% 50,09	6,01 V

Şekil 9'da da görüldüğü gibi 10 örneklilik sinyal süresince takip edilen nesne kameradaki orta noktanın sağında kalmış ve sağ motor hızını değiştirmemiştir. Tablo 2'de verilen değerler sağ motoru denetleyen kontrolör için belirtilmiştir.

Tablo 2: PI denetimin sağ motorda oluşturduğu parametreler

Örneklenmiş Sinyal için Örnek Sırası	Ayrık Zamanda Sağ Motor için Denetim Sinyali	Darbe Genişlik Oranı (Duty Cycle Ratio)	Sağ Motordaki Gerilim
1-10	512	% 50	6 V

7. Sonuçlar

Bu çalışmada yapılan kayıtlar değişken bir arka planda ve farklı ışık şiddetlerinin olduğu bir ortamda gerçekleştirilmiştir.

Medyan filtresi için 3x3 ve 11x11'lik maske kullanılarak yapılan çalışmada tablo 3'de verilen sonuçlar alınmıştır.

Tablo 3'de verildiği gibi 11x11 maskeye sahip medyan filtresi kullanıldığında, farklı arka plan şekillerinin bulunduğu, ışık şiddetinin etkili olduğu bir ortamda gerçek zamanlı kayıt yapıldığında % 99 oranında başarı sağlanabilmektedir. Ancak sistem yavaşlamaktadır. Kullanılabilir en küçük maske olan

3x3'lik medyan filtre kullanımında ise hassasiyet azalmakta ve sistem hızlanmaktadır.

Tablo 3: Farklı filtre maskeleri ile nesne tespit sonuçları

Kullanılan filtre maskesi	3x3 medyan filtresi	11x11 medyan filtresi
Kayıt süresi	240 saniye	240 saniye
Kayıt süresince filtrelenen frame sayısı	1162	745
Gürültüsüz frame sayısı	1019	739
Gürültülü frame sayısı	143	6
Nesne tespit hassasiyeti	% 87,69	% 99,19

8. Kaynaklar

- [1] De Xu, Linkun Wang, and Min Tan, "Image Processing and Visual Control Method for Arc Welding Robot", *IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics*, China, Aug 2004
- [2] G. Bolmsjo, M. Olsson, P. Cederberg, "Robotic arc welding-trends and developments for higher autonomy", *Industrial Robot*, vol. 29, no. 2, 2002, pp. 98-104.
- [3] J.-Y. Yu, and S.-J. Na, "Study on vision sensors for seam tracking of height - varying weldment, Part 1: mathematical model", *Mechatronics*, vol. 7, no. 7, pp. 599-612, 1997
- [4] Zhao S, Ren Y, Liu B, Han J, "Color Tracking Vision System For The Autonomous Robot", *The 9th International Conference on Electronic Measurement & Instruments*, China, Aug 2009
- [5] Yu Y.H, Kwok N.M, Ha Q.P, "Color tracking for multiple robot control using a system-on-programmable-chip", *Automation in Construction*, pp: 669-676, 2011
- [6] N. Minorsky, "Directional stability of automatically steered bodies", *J. Am. Soc. Naval Eng.*, pp: 280-309, 1922.
- [7] J. G. Juang, R. W. Lin, W. K. Liu, Comparison of classical control and intelligent control for a MIMO system, *Applied Mathematics and Computation* 205, 778-791, 2008.
- [8] B.C. Kuo, *Automatic Control Systems*, sixth ed., Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1995.
- [9] J.G. Ziegler, N.B. Nichols, Optimum settings for automatic controllers, *Trans. ASME*, 759-768, 1942.
- [10] M. R. Rani, H. Selamat, H. Zamzuri, Z. Ibrahim, Multi-Objective Optimization For PID Controller Tuning Using The Global Ranking Genetic Algorithm, *International Journal of Innovative Computing, Information and Control* 8, 269-284, 2012.
- [11] M. S. Saad, M. Jamaluddin, I.Z.M. Darus, Implementation of PID Controller Tuning Using Differential Evolution and Genetic Algorithms, *International Journal of Innovative Computing, Information and Control* 9, 7761-7779, 2012.
- [12] R. Sanchis, J. A. Romero and P. Balaguer, Tuning of PID controllers based on simplified single parameter optimisation, *International Journal of Control* 83, 1785-1798, 2010.
- [13] M. Tokuda, T. Zamamoto, Self-Tuning PID Controller Based on Control Performance Evaluations, *International Journal of Innovative Computing, Information and Control* 6, 3751-3762, 2010.
- [14] Kiam Heong Ang and Gregory Chong, "PID Control System Analysis, Design, and Technology", *IEEE Transactions On Control Systems Technology*, 13, No:4, 2005
- [15] Li Y., Heong K. and Chong G. "PID Control System Analysis and Desing", *IEEE Control Systems Magazine*, 32-41, 2006
- [16] Karaslu B. "Videolardaki Hareketli Nesnelerin Tespit ve Takibi İçin Uyarlanabilir Arka Plan Çıkarımı Yaklaşımı Tabanlı Bir Sistem", *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 93-110, Cilt 18, 2013
- [17] Qingyi Gu, Abdullah Al Noman, Tadayoshi Aoyama, Takeshi Takaki and Idaku Ishii, "A Fast Color Tracking System with Automatic Exposure Control", *Proceeding of the IEEE International Conference on Information and Automation*, 2013, 1302-1307
- [18] Jung Uk Cho, Seung Hun Jin, Xuan Dai Pham, Dongkyun Kim and Jae Wook Jeon, "A Real-Time Color Feature Tracking System Using Color Histograms", *International Conference on Control, Automation and Systems*, 2007, 1163-1167
- [19] Tiago Goncalves and Andrew I. Comport, "Real-Time Direct Tracking of Color Images in the Presence of Illumination Variation", *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 2011, sh: 4417-4422
- [20] Lukac R. and Plataniotis K.N. *Color Image Processing: Methods and Applications*, CRC Press. 2007
- [21] Antonio T, Contextual Priming for Object Detection, 2003. *International Journal of Computer Vision*, Volume 53, Number 2, sh: 169-191.
- [22] Karakkoç Y, Öztürk S, Kuncan M. "Hareket Eden Renkli Nesnelerin Takibinin PID ile Gerçeklemesi", *Otoamatik Kontrol Ulusun Toplantısı, Niğde, Turkey*, Oct 2012
- [23] Solak S., Doğru Bolat E. "Reel time Industrial Applications of Single Board Computer Based Color Detection System" , "ELECO 8. Uluslararası Konferansı", 2013, pp: 353 - 357
- [24] Sarthak Jain, Anant Vaibhav, Lovely Goyal, "Raspberry Pi based Interactive Home Automation System through E-mail", "International Conference on Reliability, Optimization and Information Technology", 2014, pp: 277-280
- [25] Wikipedia, 2014 Nisan 23, "OpenCV" Bağlantı: <http://en.wikipedia.org/wiki/OpenCV>
- [26] Zhijun Pei, Qingqiao Tong, Lina Wang, Jun Zhang, "A Median Filter Method for Image Noise Variance Estimation", *Second International Conference on Information Technology and Computer Science*, 2010, pp: 13-16