

Kızılötesi Yeğinlik Ölçümleriyle Kurala Dayalı Hedef Ayırdetme ve Konum Kestirimi

Tayfun Aytaç ve Billur Barshan

Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü
Bilkent Üniversitesi 06800, Bilkent, Ankara

{taytac, billur}@ee.bilkent.edu.tr

Özetçe

Bu çalışma, düşük maliyetli kızılötesi algılayıcıların iç mekânlarda düzlem, köşe, kenar ve silindir gibi sıkça karşılaşılan hedef ilkellerinin ayırdedilmesinde ve konum kestiriminde kullanımını incelemektedir. Bu tip algılayıcılardan elde edilen yeğinlik ölçümleri hedefin konumuna ve özelliklerine analitik olarak kolayca ifade edilemeyecek şekilde bağlı olup bu durum ayırdetme ve konumlandırma sürecini zorlaştırmaktadır. Bu bildiride iki kızılötesi algılayıcıdan elde edilen açısız yeğinlik taramalarını işleyerek hedefleri ayırdedebilen kurala dayalı bir algoritma ileri sürüyoruz. Düzlem, 90° köşe, 90° kenar ve silindir hedef türleri sırasıyla %90, %100, %82,5 ve %92,5 doğrulukla ayırdedilmişlerdir. Hedeflerin konumları sırasıyla 0,55 cm ve 1,03° ortalama mutlak erim ve açısız konum hatalarıyla kestirilmektedir. Uygulanan yöntem, basit kızılötesi algılayıcılardan elde edilen sinyallerin uygun şekilde işlenmesiyle çok daha fazla bilgi çıkarılarak bilinen yaygın uygulamaları dışında da kullanılabileceğini göstermektedir.

1. Giriş

Kızılötesi algılayıcılar ucuz, kullanımı ve erişimi kolay aygıtlardır. Bu tip algılayıcılardan elde edilen sinyaller hedefin geometrisine ve yüzey özelliklerine bağlı olduğundan tek bir yeğinlik değerine dayanarak güvenilir erim kestiriminde bulunmak mümkün değildir. Öte yandan, basit yeğinlik ölçümlerinden yararlanarak hedefin erimi ve açısız konumu bilinmeden geometrisini ve yüzey özelliklerini kestirmek de mümkün değildir. Bu çalışmada, bir tarama mekanizması ve iki kızılötesi algılayıcı kullanarak elde edilen sinyalleri kurala dayalı olarak işleyen ve hedefleri konumdan bağımsız ayırdeden bir algoritma öne sürüyoruz. İleri sürülen kuralların yeğinlik taramalarının erime ve açısız konuma bağlı olarak değişen özelliklerinden bağımsız olmaları nedeniyle konumdan bağımsız hedef ayırımı mümkün olmaktadır.

Kızılötesi algılayıcılar robotbilim ve otomasyon, süreç kontrolü, uzaktan algılama ve güvenlik sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle de basit nesne tesbitinde yakınsak algılayıcı olarak, sayma işlemlerinde [1, 2], derinlik ve erim gözetiminde [3], zemin algılamada, konum kontrolünde [4], engel saptamada [5], bilgisayarla görme sistemlerinde [6] kullanılmışlardır. Kızılötesi algılayıcılar kapı ve pencere yerlerinin saptanmasında [7], kapı geçişlerinde duvar açıklıklarının belirlenmesinde [8], aynı zamanda bina

ve araçların kapı ve pencerelerinin gözetiminde ve belli alanların korunmasında kullanılmıştır. Kaynak [9]'da kızılötesi algılayıcılar sonar algılayıcılarla birlikte kapı aralıklarında kenarların yerlerini belirlemek için kullanılmıştır.

Diğer bir çalışmada ise [10], bilinen bir uzaklıkta konumlanmış düzlemsel bir hedefin özellikleri Phong aydınlatma modeliyle belirlenmiş ve bu bilgi kullanılarak kızılötesi algılayıcı yakın mesafeler için doğru erim ölçer olarak modellenmiştir. Kaynak [11], bir oda içerisindeki insanların konumlarının pasif kızılötesi algılayıcı sistemiyle bulunmasını anlatmaktadır. Kızılötesi algılayıcılar ayrıca farklı atık maddelerin otomatik olarak ayrılmasında kullanılmıştır [12, 13].

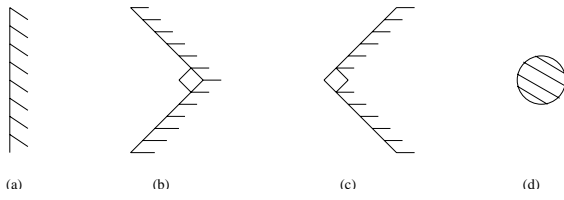
Kaynak [14] ve [15]'de tek bir kızılötesi algılayıcıdan elde edilen açısız yeğinlik taramalarının ayırdedici özellikleri hedef ve yüzey tanımada kullanılmıştır. Sözü edilen çalışmalarda kaydedilen referans taramaları ve elde edilen açısız yeğinlik taraması arasındaki farkı en küçük kareler ve uyumlu süzgeç yaklaşımlarını kullanarak işledik. Bu bildiride ise kurala dayalı bir yaklaşım kullanarak bir çift algılayıcıdan elde edilen sinyalleri işledik. Kurala dayalı yaklaşım daha az işleme zamanına sahip, gürültüye daha dayanıklı ve hedefleri ayırdetmek için gerekli bilgi karar alma kurallarında mevcut olduğundan veri kaydetmeyi gerektirmemektedir. Sonar algılayıcılarla benzer yaklaşımlar kaynak [16] ve [17]'de bulunabilir.

Bu bildiri şu şekilde düzenlenmiştir: Bölüm 2'de, kurala dayalı ayırdetme ve konum kestirimi süreci anlatılmıştır. Bölüm 3'de ileri sürülen yaklaşımlar deneysel olarak doğrulanmıştır. Son bölümde ise varılan sonuçlar ve bu çalışmanın devamı niteliğindeki araştırma konularına değinilmiştir.

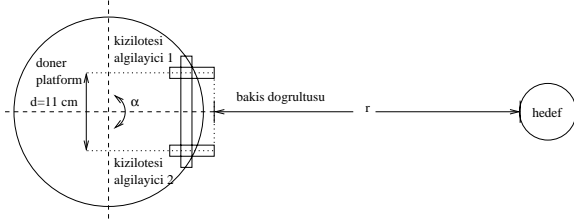
2. Hedef Ayırdetme ve Konum Kestirimi

Çalışmada kullanılan kızılötesi algılayıcı [18] bir alıcı-verici ünitesinden oluşmakta ve hedeflerden yansıyan sinyalin yeğinliğiyle orantılı analog gerilim çıktısı sağlamaktadır. Alıcı penceresi, ortamdaki ışığın yeğinlik ölçümlerine etkisini en aza indirmek için bir kızılötesi süzgeç ile kaplanmıştır. Verici kısmı kapatıldığında, alıcı sıfır değerini okumaktadır. Algılayıcının duyarlılığı sistemin çalışma aralığını belirlemek için değişken dirençle ayarlanabilmektedir. Hedefin erimi, açısız konumu, geometrisi ve yüzey özellikleri kızılötesi algılayıcının yeğinlik ölçümlerini etkilemektedir.

Çalışmada, kesit alanları Şekil 1'de verilen herbiri 120 cm yüksekliğinde düz tahtadan yapılmış düzlem, 90° köşe, 90°



Şekil 1: Deneysel kullanılan hedef türleri: (a) düzlem, (b) köşe, (c) kenar ve (d) silindir.



Şekil 2: Deneysel düzeneği. Hem tarama açısı α hemde hedefin açıl konumu θ yatay eksenden saatın tersi yönünde ölçülmektedir.

kenar ve 4,8 cm yarıçapında silindirik hedefler kullanılmıştır. Silindirik dışındaki bütün hedeflerin yatay uzantıları sonsuz kabul edilebilecek şekilde geniştir, böylece kenar etkilerinin dikkate alınması gerekmemiştir. Yöntemimiz her hedefin belli bir açı aralığında taranmasına dayanmaktadır. 15,2 cm yarıçapında döner bir platform [19] üzerine merkezleri arasındaki uzaklık 11 cm olacak şekilde yerleştirilen iki kızılötesi algılayıcı kullanılmıştır (Şekil 2). Hedefler $\theta = -60^\circ$ 'den $\theta = 60^\circ$ 'ye kadar $\theta = 0,15^\circ$ aralıklarla taranmıştır ve döner platformun her noktasında 100 yeğinlik örneğinin ortalaması hesaplanmıştır. Hedefler 20 ile 65 cm arasında değişen uzaklıklarda konumlanmıştır.

Hedeflerden elde edilen örnek açıl yeğinlik taramaları Şekil 3-6'da gösterilmektedir. Köşe hedefinden elde edilen yeğinlik taramaları ikili tümsek yapıya, diğer hedeflerden elde edilen yeğinlik taramaları tekli tümsek yapıya sahiptirler [Şekil 4]. İkili tümsek yapı, köşeyi oluşturan iki dik düzlemin sonucudur. Bu ayırdedici özelliğinden dolayı köşe ayırdetme kuralı ilk olarak uygulanmıştır. Örüntünün iki tümseğe sahip olup olmadığını kontrol ediyoruz. Eğer öyleyse hedef köşedir, tümseklerin ortasındaki çukurların açıl konumlarının ortalaması köşe hedefinin açıl konum kestirimi olarak alınmıştır.

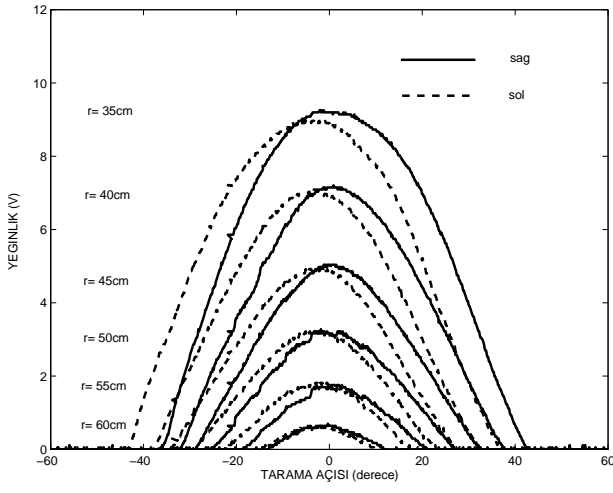
Eğer hedef köşe değilse, ikinci adımda hedefin düzlem olup olmadığını kontrol ediyoruz. Şekil 3'de görüldüğü gibi, düzlemsel hedefler için en büyük değerlerinin gerçekleştiği açıl konum farkları diğer hedeflerinden farklıdır. Düzlemsel hedefler diğer hedeflerden iki yeğinlik örüntüsünün en büyük değere sahip olduğu açıl konumlarının mutlak farkı karşılaştırılarak ayırdedilmektedir. Eğer bu fark deneysel olarak belirlenen referans değerinden küçükse, hedef düzlemdir aksi takdirde hedef kenar ya da silindirdir. (Deneylerde, referans değeri olarak $6,75^\circ$ alınmıştır.) Düzlemsel hedeflerin açıl konum kestirimleri ise algılayıcılardan elde edilen taramaların en büyük değerinin gerçekleştiği açıl konumlarının ortalaması alınarak gerçekleştirilmektedir.

Hedef düzlem değilse, kenar ya da silindirik olup olmadığına karar veriyoruz. Kenar ve silindirik hedefleri için yeğinlik taramaları Şekil 5 ve 6'da verilmiştir. Bu örüntülerde görüntüleri düzlemsel hedeflerinkine benzemektedir fakat yeğinlik taramalarının kesişim noktaları düzlemsel hedefinkinden farklıdır. Kenar ve silindirik ayırdedilmesinde iki örüntünün kesişim noktasındaki yeğinlik değerinin en büyük yeğinlik değerine oranı kullanılmaktadır. (Sağ ve sol algılayıcıların en büyük yeğinlik değerleri birbirine oldukça yakın olduğundan, herhangi birisinin en büyük değeri ya da her ikisinin ortalaması bu hesaplamada kullanılabilir.) Bu oran deneysel olarak belirlenmiş referans değeriyle karşılaştırılarak hedefin kenar ya da silindirik olup olmadığına karar veriliyor. Eğer oran referans değerinden büyükse, hedef kenardır, aksi takdirde silindirdir. (Deneylerde referans değeri olarak $0,65$ alınmıştır.) Eğer örüntüler kesişmiyorsa, algoritma silindirik ve kenarı ayırdedememektedir. Bu durum, bizim deneylerimizde hiç gerçekleşmemiştir. Kenar ve silindirik hedeflerinin açıl konumları, iki taramanın en büyük değerlerinin gerçekleştiği açıl konum değerlerinin ortalaması bulunarak kestirilmiştir. Hedef türü belirlenip, açıl konumları kestirildikten sonra, hedefin erimi açıl taramaların merkez değerleri arasında (Şekil 3-6) doğrusal aradeğerleme yapılarak kestirilmektedir.

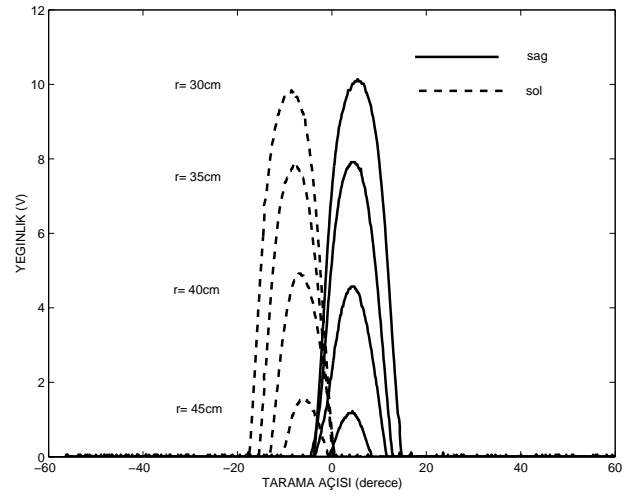
3. Algoritmanın Deneysel Olarak Doğrulanması

Bölüm 2'de anlatılan deney düzeneği ve özetlenen kurala dayalı algoritma kullanılarak düzlem, 90° köşe, 90° kenar ve 4,8 cm yarıçapındaki silindirik hedefleri ayırdedilme ve konumları kestirilmeye çalışılmıştır. 160 test taraması için sonuçlar (her hedef için 40 farklı konumda) gerçek ve ayırdedilen hedefleri içeren hedef ayırdetme dizeyi olarak Tablo 1'de verilmiştir. Bütün hedef türleri için ortalama doğruluk, %91,3, hedef ayırdetme tablosunda köşegen üzerindeki doğru kararların toplamını toplam deneme sayısına (160) bölerek bulunmuştur. Hedeflerin konum kestirimi $0,55$ cm ve $1,03^\circ$ ortalama mutlak erim ve açıl konum hatalarıyla gerçekleştirilmiştir.

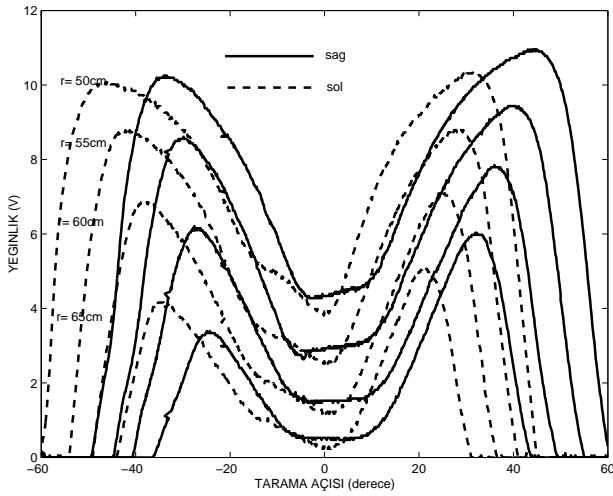
Hatalar, kestirilen erim ve açıl konum ile deney düzeneğinin tabanını kaplayan milimetrik kağıttan okunan gerçek değerleri arasındaki mutlak farkların ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Doğru ve yanlış ayırdetme oranları Tablo 2'de yüzde olarak verilmiştir. Tablonun ikinci sütünü hedeflerin doğru ayırdetme oranlarını, üçüncü sütünü belli bir hedefin diğer hedeflerle karıştırılma yüzdesini vermektedir. Dördüncü sütün ise, hedeflerin belli bir hedef türüyle karıştırılma yüzdesini vermektedir. Örneğin, düzlem hedefi için $(4+3)/43 = \%16,3$, düzlem dışındaki tüm hedeflerin %16,3 oranıyla yanlış olarak düzlem olarak ayırdedilme oranını göstermektedir. Köşe hedefleri için yeğinlik taramaları diğer hedef türlerinininkinden oldukça farklı olduğundan, algoritma köşe hedeflerini %100 doğru olarak ayırdetmektedir. Gerçekte köşe olmayan hiç bir hedef köşe olarak ayırdedilmemektedir. Kenar ve silindirik hedefleri ayırdedilmesi en zor olan hedef türleridir.



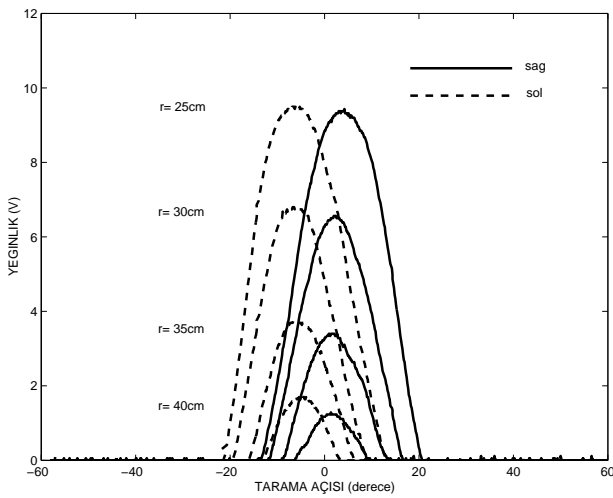
Şekil 3: Yeğİnlik-tarama açısı karakteristiği: Düzlem.



Şekil 6: Yeğİnlik-tarama açısı karakteristiği: Silindir.



Şekil 4: Yeğİnlik-tarama açısı karakteristiği: Köşe.



Şekil 5: Yeğİnlik-tarama açısı karakteristiği: Kenar.

Tablo 1: Hedef ayırdetme dizeyi (D: düzlem, KÖ: köşe, K: kenar, S: silindir).

hedef	ayırdetme sonuçları				toplam
	D	KÖ	K	S	
D	36	–	4	–	40
KÖ	–	40	–	–	40
K	4	–	33	3	40
S	3	–	–	37	40
toplam	43	40	37	40	160

4. Sonuç

Bu çalışmada, basit ve ucuz kızılötesi algılayıcılardan elde edilen yeğİnlik ölçümleri işlenerek düzlem, köşe, kenar ve silindir gibi sıkça karşılaşılan hedef türleri ayırılmaya çalışılmıştır. Hedefleri konumlarından bağımsız olarak ayırabilen bir tarama mekanizması ve iki kızılötesi algılayıcı kullanarak kurala dayalı bir hedef ayırdetme algoritması ileri sürüldü. Açısal yeğİnlik taramalarının hedefleri ayırabilen ve konumlarını kestirebilmek amacı için yeterli bilgiye sahip olduğunu gösterdik. Algoritma, hedefleri doğru ayırdetme, erim ve açısal konum kestirimi açısından değerlendirilmiştir. İleri sürülen yaklaşım, benzer hedeflerden oluşan bilinmeyen ortamlarda hedeflerin ayırılmasının gerektiği gezgin robot uygulamalarında kullanılabilir. Birçok yapay çevre bu kategoriye girmektedir. Geliştirdiğimiz sistemi, burada ele alınan hedeflerden oluşan bir test odasında gezgin robot üzerinde harita çıkarımı için test ederek değerlendirmeyi düşünmekteyiz.

Bu çalışmanın en önemli katkısı, yeğİnlik örüntüleri hedefin uzaklığına, açısal konumuna ve yüzey özelliklerine bağılı olmasına ve bu ilişki analitik olarak kolayca ifade edilememesine rağmen, konumdan bağımsız olarak hedef ayırdetmeyi gerçekleştirmiş olmasıdır. Karar verme kuralarını örüntülerin erim ve açısal konumla değişmeyen özelliklerine göre seçerek bütün hedef türleri için ortalama %91,3 doğru ayırdetme oranı gerçekleştirilmiş, 0,55 cm and 1,03°

Tablo 2: Algoritmanın performans parametreleri (D: düzlem, KÖ: köşe, K: kenar, S: silindir).

gerçek hedef	doğru ayırdetme oramı (%)	ayırdetme hatası I (%)	ayırdetme hatası II (%)
D	90	10	16,3
KÖ	100	0	0
K	82,5	17,5	10,8
S	92,5	7,5	7,5
toplam	91,25	8,75	8,65

mutlak erim ve açılmal konum hatası elde edilmiştir. Kurala dayalı yaklaşımımız örüntülerin işlevsel formlarını değil de yapısal özelliklerini vurguladığından geometri ya da yüzey özelliklerinden kaynaklanabilecek gürültülere daha dayanıklıdır. İleri sürülen yöntemin başlıca dezavantajı benzer kurala dayalı yöntemlerde olduğu gibi kuralların ilgilenilen hedef setine bağlı olması ve diğer hedef setleri için uyarlanması gerektiğidir. Ancak, bu bildiride ileri sürülen kurallar iç mekanlarda sıkça karşılaşılan hedefleri kapsadığı için uygulama açısından önemli olup genel bir kurallar bütünü olarak düşünülebilir.

Bu bildiride benzer yüzey özelliklerine sahip dört ana hedef türünün ayırılması incelenmiştir. Genel olarak bakıldığında, farklı maddelerin ve dokuların başlıca etkisi nesnelere yansıtıcı katsayılarını değiştirmeleridir. Bu da örüntülerin yapısal formlarından çok yeğlilik değerlerini değiştirmektedir. Bu nedenle aynı genel kurallar parametrelerde küçük değişikliklerle ya da ayarlamalarla diğer hedef türlerine de uygulanabilir. Şu anki çalışmalarımız hedefin konumu bilinmeden yeğlilik taramasına dayanarak hedef geometrisinin yanı sıra yüzey özelliklerinin de çıkarılması üzerine yoğunlaşmıştır.

[Bildirinin genişletilmiş hali kaynak [20]'de Haziran ayında basılacaktır.]

5. Teşekkür

Bu çalışma TÜBİTAK tarafından Bütünleştirilmiş Doktora Programı ve 197E051 fonlarıyla desteklenmiştir.

6. Kaynakça

- [1] Hashimoto K., Kawaguchi C., Matsueda S., Morinaka K. ve Yoshiike N., "People counting system using multisensing application," *Sensors and Actuators A—Phys.*, 66(1–3), 50–55, 1 Nisan 1998.
- [2] Hand A. J., "Infrared sensor counts insects," *Photon. Spectra*, 32(11), 30–31, Kasım 1998.
- [3] Wikle H. C., Kottalingam S., Zee R. H. ve Chin B. A., "Infrared sensing techniques for penetration depth control of the submerged arc welding process," *J. Mater. Process. Technol.*, 113(1–3), 228–233, 15 Haziran 2001.
- [4] Butkiewicz B., "Position control system with fuzzy micro-processor AL220," *Lect. Notes Comput. Sci.*, 1226, 74–81, 1997.

- [5] Lumelsky V. J. ve Cheung E., "Real-time collision avoidance in teleoperated whole-sensitive robot arm manipulators," *IEEE Trans. Syst. Man Cybern.*, 23(1), 194–203, Ocak/Şubat 1993.
- [6] Everett H. R., *Sensors for Mobile Robots, Theory and Application*, A K Peters, Ltd., 289 Linden St, Wellesley, MA, 1995.
- [7] Beccari G., Caselli S. ve Zanichelli F., "Qualitative spatial representations from task-oriented perception and exploratory behaviors," *Robot. Autonom. Syst.*, 25(3/4), 147–157, 30 Kasım 1998.
- [8] Warszawski A., Rosenfeld Y. ve Shohet I., "Autonomous mapping system for an interior finishing robot," *J. Comput. Civ. Eng.*, 10(1), 67–77, Ocak 1996.
- [9] Flynn A. M., "Combining sonar and infrared sensors for mobile robot navigation," *Int. J. Robot. Res.*, 7(6), 5–14, Aralık 1988.
- [10] Novotny P. M. ve Ferrier N. J., "Using infrared sensors and the Phong illumination model to measure distances," *Proc. IEEE Int. Conf. Robot. Automat.*, s. 1644–1649, Detroit, MI, 10–15 Mayıs 1999.
- [11] Hashimoto K., Tsuruta T., Morinaka K. ve Yoshiike N., "High performance human information sensor," *Sensors and Actuators A—Phys.*, 79(1), 46–52, 25 Ocak 2000.
- [12] de Groot P. J., Postma G. J., Melssen W. J. ve Buydens L. M. C., "Validation of remote, on-line, near-infrared measurements for the classification of demolition waste," *Anal. Chim. Acta*, 453(1), 117–124, 18 Şubat 2002.
- [13] Scott D. M., "A 2-color near-infrared sensor for sorting recycled plastic waste," *Meas. Sci. Technol.*, 6(2), 156–159, Şubat 1995.
- [14] Aytaç T. ve Barshan B., "Differentiation and localization of targets using infrared sensors," *Opt. Commun.*, 210(1–2), 25–35, Eylül 2002.
- [15] Barshan B. ve Aytaç T., "Position-invariant surface recognition and localization using infrared sensors," *Opt. Eng. dergisine sunuldu*, Şubat 2003.
- [16] Barshan B. ve Kuc R., "Differentiating sonar reflections from corners and planes by employing an intelligent sensor," *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.*, 12(6), 560–569, Haziran 1990.
- [17] Ayru B. ve Barshan B., "Identification of target primitives with multiple decision-making sonars using evidential reasoning," *Int. J. Robot. Res.*, 17(6), 598–623, Haziran 1998.
- [18] Matrix Elektronik, AG, Kirchweg 24 CH-5422 Oberehrendingen, Switzerland, *IRS-U-4A Proximity Switch Datasheet*, 1995.
- [19] Arrick Robotics, P.O. Box 1574, Hurst, Texas, 76053 URL: www.robotics.com/rt12.html, *RT-12 Rotary Positioning Table*, 2002.
- [20] Aytaç T. ve Barshan B., "Rule-based target differentiation and position estimation based on infrared intensity measurements," *Opt. Eng.*, 46(6), xxx–xxx, Haziran 2003.