

# Kızılberisi Algılayıcılardan Elde Edilen Sinyallerin Parametrik Modellenmesiyle Yüzey Ayırdetme ve Konum Kestirimi

## Surface Differentiation and Position Estimation by Parametric Modeling of Signals Obtained with Infrared Sensors

Tayfun Aytaç ve Billur Barshan

Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü  
Bilkent Üniversitesi 06800, Bilkent, Ankara  
{taytac, billur}@ee.bilkent.edu.tr

### Özetçe

Bu çalışmada, düşük maliyetli kızılberisi alıcı ve vericiler, farklı özelliklere sahip yüzeylerin konumdan bağımsız olarak tanınmasında kullanılmaktadır. Bu tip algılayıcılardan elde edilen yeğlilik ölçümleri yüzeyin konumuna ve özelliklerine analitik olarak kolayca ifade edilemeyecek şekilde bağlıdır ve bu durum ayırdetme ve konum kestirimi sürecini zorlaştırmaktadır. Açışal yeğlilik taramalarını parametrik olarak modelleyen yaklaşımımız çeşitli yüzeyleri konumdan bağımsız olarak ayırdedebilmektedir. Yüzey tanımlandıktan sonra, konumu da kestirilmektedir. Yöntem deneysel olarak tahta, beyaz köpükten ambalaj malzemesi, beyaz badanalı duvar, beyaz ve siyah kumaş, beyaz, kahverengi ve mor resim kağıdı ile doğrulanmıştır. Sekiz yüzey için %73 doğru ayırdetme oranı elde edilmiş ve yüzeylerin konumu sırasıyla 0,8 cm ve 1,1° mutlak erim ve açışal konum hatalarıyla kestirilmiştir. Ayırdetme oranı yedi yüzey için %86'ya ve altı yüzey için %100'e ulaşmaktadır. Uygulanan yöntem, basit kızılberisi algılayıcılardan elde edilen sinyallerin uygun işlenmesiyle çok daha fazla bilgi çıkarılarak bilinen uygulamaları dışında da kullanılabilirliğini göstermektedir.

### Abstract

In this study, low-cost infrared emitters and detectors are used for the recognition of surfaces with different properties in a location-invariant manner. The intensity readings obtained with such sensors are highly dependent on the location and properties of the surface in a way that cannot be represented analytically in a simple manner, complicating the differentiation and localization process. Our approach, which models infrared angular intensity scans parametrically, can distinguish different surfaces independently of their positions. Once the surface type is identified, its position can also be estimated. The method is verified experimentally with wood, styrofoam packaging material, white painted wall, white and black clothes, and white, brown, and violet papers. A correct differentiation rate of 73% is achieved over eight surfaces and the surfaces are localized within absolute range and azimuth errors of 0.8 cm and 1.1°, respectively. The differentiation rate improves to 86% over seven

surfaces and 100% over six surfaces. The method demonstrated shows that simple infrared sensors, when coupled with appropriate processing, can be used to extract a significantly greater amount of information than they are commonly employed for.

### 1. Giriş

Bu çalışmada, farklı renk ve doku özelliklerine sahip yüzeyler kızılberisi yeğlilik taramalarının parametrik olarak modellenmesiyle ayırdedilmektedir. İleri sürülen yöntem orta sayıda yüzeyi ayırdedebilmektedir. Bu bölümde, ışığın yüzeye olan etkileşimi kısaca açıklanacak ve varolan bazı modeller sunulacaktır.

Nesnelardan yansıyan ışık, ışık kaynağının dalga boyuna, uzaklığına ve dağınık ya da noktasal olma özelliğine, yansıtma, emme ve geçirme gibi yüzey özelliklerine bağlıdır [1, 2]. Yansıtma, yüzey özelliklerine bağlı olarak farklı şekillerde modellenebilir.

Mat yüzeyler, ışığı yansıtmayan ve gelen bütün ışığı gelme açısına göre her yönde eşit şekilde dağıtan ideal Lambert yüzeyler olarak modellenebilirler [1, 3, 4]. Yansıyan ışığın yeğliliği yüzeyin normaliyle gelme açısı arasındaki  $\alpha$  açısına bağlıdır (Şekil 1). Lambert yüzey, enerjisi  $E$  olan bir noktasal kaynak tarafından aydınlatıldığında, yansıtma fonksiyonu şu şekilde verilir:

$$\mathcal{R} = \frac{1}{\pi} E \cos(\alpha) \quad \alpha \geq 0 \quad (1)$$

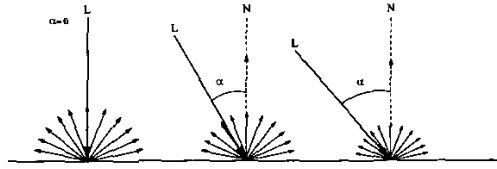
Bu ilişkiye mat yüzeyler için "cosinüs" yada Lambert yansıtma yasası denir [3].

Aynasal yansıtma olması durumunda ise, yansıyan ışık gelen ışık ve yüzey normaliyle tanımlanan düzlemde yansımaktadır ve yüzeyin normaliyle yaptığı açı, gelme açısına eşittir (Şekil 2).

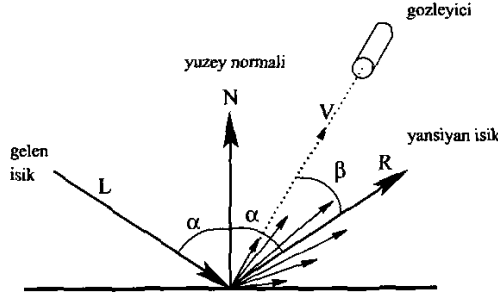
Bilgisayar grafiği uygulamalarında sıkça kullanılan Phong aydınlatma modeli [5] ortam aydınlatmasını, dağınık ve aynasal yansımaları tek bir formülde birleştirmektedir:

$$I = I_a k_a + I_i [k_d (\vec{L} \cdot \vec{N})] + I_s [k_s (\vec{R} \cdot \vec{V})^n] \quad (2)$$

burada  $I_a$  ve  $I_i$  sırasıyla ortam aydınlatmasını ve gelen ışığın yeğliliğini,  $k_a$ ,  $k_d$  ve  $k_s$  verilen yüzey için ortam, dağınık ve



Şekil 1: Dağınık yansımaya.



Şekil 2: Aynasal yansımaya.

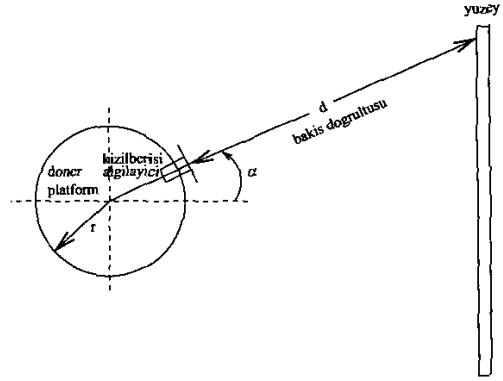
aynasal yansımaya katsayılarını ve  $\vec{L}$ ,  $\vec{N}$ ,  $\vec{R}$  ve  $\vec{V}$  birim vektörleri ise sırasıyla ışık kaynağını, yüzey normalini, yansıyan ışık ve bakış doğrultusunu göstermektedir (Şekil 2). Denklem (2)'de ilk terim olan ortam aydınlatması bu çalışmada kullandığımız kızılberisi algılayıcıyı kaplayan süzgeç tarafından süzülüyor için diğer terimlere göre ihmal edilebilir.

Denklem (2)'de ifade edilen matematiksel model, Kaynak [6]'da, bilinen uzaklıktaki yüzeylerden elde edilen yeğnilik taramalarının modellenmesinde kullanılmaktadır. Bu sayede küçük erimler için algılayıcının erim kestiriminde iyileştirme sağlanmıştır. Bizim yaklaşımımız [6]'dan, daha basit bir model olması, uzaklığı değişken olarak alması ve daha önceden uzaklığın bilinmesini gerektirmemesi açısından farklıdır. Diğer bir fark ise, çalışma [6] esas olarak yüzey türünün belirlenmesinden öte kısıtlı bir uzaklık aralığında erim kestirimiyle ilgilienmektedir. Oysa ki bizim yaklaşımımız daha çok yüzey türünün belirlenmesine odaklanmıştır. Diğer bir çalışmada ise [7], aktif kızılberisi algılayıcı demetlerinin ayırtma özellikleri kızılberisi sinyal iletiminin Denklem (2) ile benzetilmesiyle incelenmiştir.

Bildiri şu şekilde düzenlenmiştir: Bölüm 2'de, kızılberisi yeğnilik taramalarının modellenmesi anlatılmıştır. Bölüm 3'de ileri sürülen yaklaşım deneysel olarak doğrulanmıştır. Son bölümde ise sonuçlar çıkarılmış ve olası gelecek araştırma konularına değinilmiştir.

## 2. Kızılberisi Yeğnilik Taramalarının Modellenmesi

Bu çalışmada, tahta, beyaz köpükten ambalaj malzemesi, beyaz badanalı duvar, beyaz ve siyah kumaş, beyaz, kahverengi ve mor resim kağıdı gibi yüzeyler ayırdedilmeye çalışılmıştır. Yüzeylerden açısız yeğnilik taramaları elde etmek için kızılberisi algılayıcı [8] 15,2 cm yarıçapında döner



Şekil 3: Deneysel düzeneğin üstten görünüşü. Alıcı ve verici pencereleri 8 mm çapında olup merkez aralıkları 12 mm olan dairelerdir. (Verici alıcının üstündedir.) Hem tarama açısı  $\alpha$  hem de yüzeyin konum açısı  $\theta$  yatay eksenden saatin tersi yönünde ölçülmektedir.

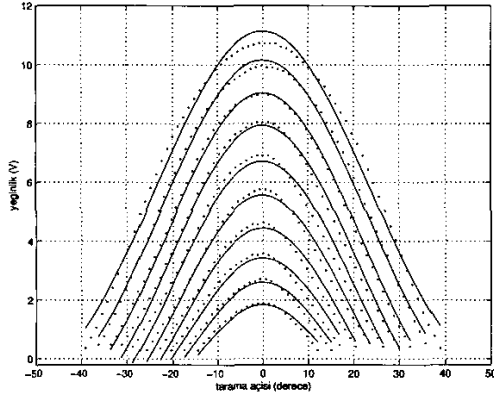
bir platform [9] üzerine yerleştirilmiştir (Şekil 3). Yeğnilik referans taramaları her yüzey türü için yüzeyleri 2,5 cm aralıklarla, 30 cm'den 52,5 cm'e kadar,  $\theta = 0^\circ$  açısız konumunda yerleştirilerek elde edilmiştir. Örnek olarak beyaz köpükten ambalaj malzemesi için farklı uzaklıklarda yeğnilik taramaları Şekil 4'de noktalarla gösterilmiştir. Diğer yüzeylerin yeğnilik taramaları da benzer karakteristik eğrilere sahiptir. Bu yeğnilik taramaları, yüzeyler ideal Lambert yüzey olarak kabul edilerek şu şekilde modellenmiştir:

$$I = \frac{C_0 \cos(\alpha C_1)}{\left[ \frac{C_2}{\cos(\alpha)} + r \left( \frac{1}{\cos(\alpha)} - 1 \right) \right]^2} \quad (3)$$

Bu model Denklem (1)'deki ikinci terimin uyarlanmış halidir. Burada,  $C_0$  yüzeyin yansımaya katsayısını gösteriyor,  $C_1$  yeğnilik taramalarının uzaklığa göre değişen taban genişliğini denkleştirmek için eklenmiştir (Şekil 4).  $C_2$  ise döner platform ile yüzey arasındaki yatay uzaklığı göstermektedir.  $C_1$  parametresine benzer bir bağımlılık Kaynak [10]'da da kullanılmıştır.  $I$ 'in paydası kızılberisi algılayıcı ve yüzey arasındaki  $d$  uzaklığıdır (Şekil 3).

Denklem (3)'de verilen modele göre, parametrik eğriler doğrusal olmayan en küçük kareler yöntemiyle [11] referans yeğnilik taramalarına uydurulmuştur. Elde edilen eğriler, beyaz köpükten ambalaj malzemesi için Şekil 4'de düz çizgilerle gösterilmiştir. Referans taramaları için, yüzeyin algılayıcı birimine olan uzaklığı bilindiğinden  $C_2$  değişken parametre olarak alınmıştır.

Algoritmanın yerel en küçük noktaya yakınsamaması ve eğri uydurmanın daha küçük sayıda özyinelemede tamamlanabilmesi için parametrelerin başlangıç kestirimlerinin akıllıca yapılması gerekmektedir.  $C_0$  parametresinin başlangıç kestirimi Denklem (3)'ün  $\alpha = 0^\circ$  değerinde hesaplanmasıyla yapılmaktadır. Bu değer  $I$ 'nin  $\alpha = 0^\circ$  konumundaki değerinin  $d^2$  ile çarpımıdır. Benzer şekilde,  $C_1$  parametresinin başlangıç kestirimi, sıfırdan farklı bir  $\alpha$  değerinde Denklem (3)'den,  $C_0$ 'nun başlangıç kestirimi ve  $\alpha = 0^\circ$  değerinde



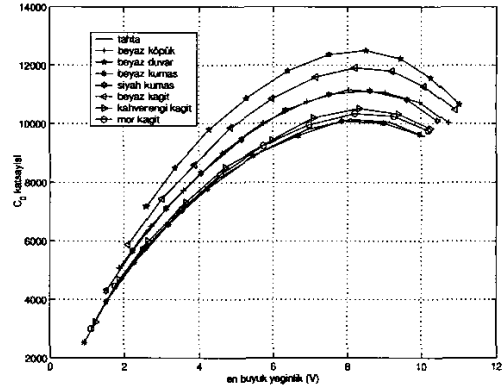
Şekil 4: Beyaz köpükten ambalaj malzemesi için farklı uzaklıklarda yeğinlik taramaları. Düz çizgiler uydurulan eğriyi, noktalar ise gerçek veriyi göstermektedir.

bilinen  $d$  uzaklığı kullanılarak yapılmaktadır. Eğri uydurma sırasında,  $C_0$  parametresinin başlangıç kestirim değerinin  $\pm 2000$  arasında değiştirilmesine izin verilmiş ve  $C_1$  değeri pozitif olarak seçilmiştir.  $C_0$ ,  $C_1$  ve  $C_2$  (ya da  $\alpha = 0^\circ$  değerinde  $d$ ) parametrelerinin referans yeğinlik taramalarının en büyük değerlerine göre değişimi Şekil 5-7'de görülmektedir.  $d$  uzaklığı arttıkça,  $C_0$  azalmakta ve  $C_1$  Denklem (3)'teki modelde görüldüğü gibi artmaktadır.

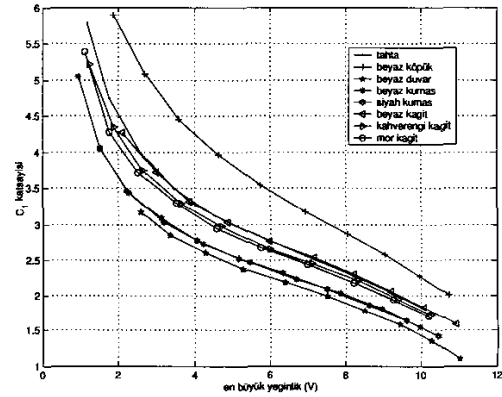
Model uydurması, aynasal yansıyan kısımların yeğinlik taramalarının en büyük olduğu yerlerdeki katkıların uzaklığın azalmasıyla artması, modelimizin ise sadece dağınık yansımaları dikkate almasından dolayı daha düşük yeğinliğe sahip taramalar için daha iyidir. Bu yüzden gerçek veriyi uydurulan eğri arasındaki hata belli bir uzaklıktan sonra artmaktadır (Şekil 4). Bu etki, belli bir uzaklıktan sonra azalmaya başlayan  $C_0$  katsayısında görülmektedir. Fakat, aynı etki bizim karar verme sürecinde etkili olan  $C_1$  parametresinde görülmemektedir (Şekil 6). Sistemin çalışma aralığı, yakın mesafelerde eğri uydurmadaki hata pahasına artırılmıştır.

### 3. Algoritmanın Deneysel Olarak Doğrulanması

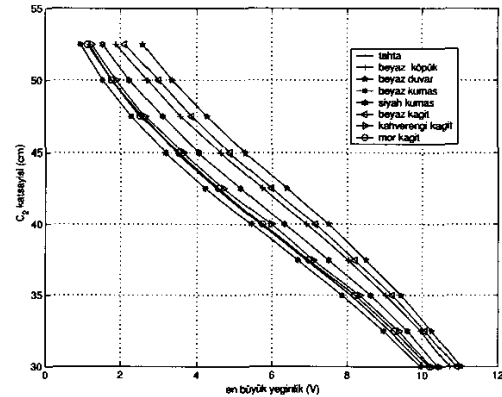
Bu bölümde, ileri sürülen yöntem deneysel olarak doğrulanmaktadır. Test sürecinde, yüzeyler  $-45^\circ$ 'den  $45^\circ$ 'ye farklı açılarda,  $2,5$  cm aralıklarla,  $30$  cm'den  $52,5$  cm'ye kadar referans veri taramalarının doyuma ulaşmadığı rasgele noktalara yerleştirildi. İlk olarak gözlenen yeğinlik taramasının en büyük değeri bulunmakta ve bu değer gerçekleştirdiği açı değeri, yüzeyin açıl konum kestirimi olarak alınmaktadır. Eğer birden fazla en büyük değer varsa, bu en büyük değerlerin gerçekleştiği açıların ortalamaları alınarak yüzeylerin açıl konum kestirimi yapılmaktadır. Gözlenen yeğinlik taraması, açıl konum kadar kaydırılmakta ve Denklem (3) ile verilen modele doğrusal olmayan en küçük kareler yöntemiyle uydurulmaktadır.  $C_0$  ve  $C_1$  parametreleri için başlangıç kestirimleri referans taramaları için anlatıldığı şekil-



Şekil 5:  $C_0$  katsayısının en büyük yeğinliğe göre değişimi.



Şekil 6:  $C_1$  katsayısının en büyük yeğinliğe göre değişimi.



Şekil 7:  $C_2$  katsayısının en büyük yeğinliğe göre değişimi.

de yapılmaktadır. Kaydedilen referans taramalarının en büyük değerine karşılık gelen erimlerin en büyük ve en küçük değerlerinin ortalaması,  $C_2$  uzaklığının başlangıç kestirimi olarak alınmıştır. Bu değerler Şekil 7'den doğrusal aradeğerleme yapılarak bulunmaktadır. Buda yaklaşık en büyük 2,5 cm erim hatasına neden olmaktadır.  $C_2$  parametresi başlangıç kestiriminin  $\pm 2,5$  cm arasında değişmektedir. Doğrusal olmayan eğri uydurmasından sonra,  $C_0$ ,  $C_1$  ve  $C_2$  olmak üzere 3 parametre elde ediyoruz. Karar sürecinde, gözlenen taramanın en büyük değeri ve Şekil 6'da doğrusal aradeğerleme ile her yüzey türü için elde edilen  $C_1$  değeri kullanılmaktadır.  $C_1$  parametresinin en büyük yeghlik değerine göre değişimi ayırdedici olduğundan, kararlar  $C_1 - C_1^*$  mutlak farkına göre alınmaktadır. En küçük hatayı veren yüzey türü doğru yüzey olarak seçilmektedir. Bu karşılaştırma kestirilen erimdeki parametre değerleri kullanılarak da yapılabilir fakat bu  $C_2$  kestirimindeki hata ve belirsizlik yüzünden daha iyi sonuç vermemektedir.

Yüzey ayırdetme sonuçları Tablo 1'de verilmiştir. Sekiz yüzey için %73 doğru ayırdetme oranı elde edilmiş ve yüzeyler sırasıyla 0,8 cm and 1,1° mutlak erim ve açısız konum hatalarıyla konumlandırılmışlardır. Dört yüzey tipi ile (beyaz köpükten ambalaj malzemesi, beyaz badanalı duvar, kahverengi ve mor resim kağıdı) %100 doğruluk elde edilmiştir. Beyaz ve siyah kumaşlar birbirleriyle karıştırılmışlardır. Benzer şekilde, tahta ve beyaz resim kağıdı bir tanesi dışında karıştırılmaktadır. Ayırdedilen yüzeylerin sayısını azaltarak daha yüksek doğru ayırdetme oranları elde edebiliriz. Örneğin, test setimizden siyah kumaşı çıkardığımızda %86 doğru ayırdetme oranı elde ediyoruz. Benzer şekilde, tahta ve beyaz kumaşı ya da tahta ve siyah kumaşı test setinden çıkardığımızda, geride kalan altı yüzey için %100 doğru ayırdetme oranı elde edilmekte ve yüzey konumları sırasıyla 0,21 cm and 1,06° ve 0,24 cm ve 1,11°, mutlak erim ve açısız konum hatalarıyla kestirilmiştir.

Tablo 1: Yüzey ayırdetme dizeyi :  $C_1$  parametresine dayalı ayırdetme. (TA: tahta, KM: köpükten ambalaj malzemesi, BD: beyaz duvar, BK: beyaz kumaş, SK: siyah kumaş, BR: beyaz resim kağıdı, KR: kahverengi resim kağıdı, MR: mor resim kağıdı).

yüzey	ayırdetme sonuçları								toplam
	TA	KM	BD	BK	SK	BR	KR	MR	
TA	4	-	-	-	-	7	-	1	12
KM	-	12	-	-	-	-	-	-	12
BD	-	-	12	-	-	-	-	-	12
BK	-	-	-	7	5	-	-	-	12
SK	-	-	-	9	3	-	-	-	12
BR	4	-	-	-	-	8	-	-	12
KR	-	-	-	-	-	-	12	-	12
MR	-	-	-	-	-	-	-	12	12
toplam	8	12	12	16	8	15	12	13	96

#### 4. Sonuç

Bu çalışmada, basit ve ucuz kızılberisi algılayıcılarla konumdan bağımsız yüzey ayırdetme gerçekleştirdik. İleri sürülen yaklaşım altı farklı yüzeyi %100 oranla doğru ayırdetmektedir. Parametrik olmayan yöntemlerle yüzeyleri ayırdettiğimiz çalışmamızda [12] dört yüzey için en çok %87 doğru ayırdetme oranı elde edilmiştir. Bu oranı bu çalışmamızdaki

oranla karşılaştırdığımızda, parametrik yaklaşımın parametrik olmayanı göre doğruluk açısından, ayırdedilen yüzeylerin sayısı açısından ve bellek gereksinimi açısından (parametrik olmayan yaklaşım referans taramalarının kaydedilmesini gerektiriyor) daha üstün olduğu görülmektedir.

İleri sürülen yöntem, farklı yüzeylerin düşük maliyetle ayırdedilmesinin gerektirdiği endüstriyel uygulamalarda ve gezgin robot uygulamalarında yakın mesafelerdeki yüzeylerin algılanmasında kullanılabilir.

Şu anki ve gelecekteki çalışmalarımız doyuma ulaşmış taramaların modellenmesini, böylece sistemimizin çalışma aralığının genişletilmesini ve modelin tam yansımaları da içerecek şekilde genişletilmesini içermektedir. Ayrıca, yapay sinir ağları kullanarak yüzey ayırdetme oranını iyileştirmeyi düşünüyoruz.

#### 5. Kaynakça

- [1] M. D. Adams. Lidar design, use, and calibration concepts for correct environmental detection. *IEEE Trans. Robot. Automat.*, 16:753-761, Aralık 2000.
- [2] X. D. He, K. E. Torrance, F. X. Sillion ve D. P. Greenberg. A comprehensive physical model for light reflection. *Computer Graphics*, 25(4):175-186, Temmuz 1991.
- [3] E. R. Davies. *Machine Vision: Theory, Algorithms, Practicalities*, London: Academic Pr., 377-382, 1990.
- [4] R. M. Haralick ve L. G. Shapiro. *Computer and Robot Vision*, Reading, Massachusetts: Addison-Wesley, 2:1-11, 1993.
- [5] B. T. Phong. Illumination for computer generated pictures. *Communications of the ACM*, 18(6):311-317, Haziran 1975.
- [6] P. M. Novotny ve N. J. Ferrier. Using infrared sensors and the Phong illumination model to measure distances. *Proc. IEEE Int. Conf. Robot. Automat.*, 1644-1649, Detroit, MI, 10-15 Mayıs 1999.
- [7] B. Iske, B. Jäger ve U. Rückert. A ray-tracing approach for simulating recognition abilities of active infrared sensor arrays. *Sensors, 2002. Proc. IEEE*, 2:1227-1232, 12-14 Haziran 2002.
- [8] Matrix Elektronik, AG, Kirchweg 24 CH-5422 Oberchrendingen, Switzerland, *IRS-U-4A Proximity Switch Datasheet*, 1995.
- [9] Arrick Robotics, P.O. Box 1574, Hurst, Texas, 76053, URL: [www.robotics.com/rt12.html](http://www.robotics.com/rt12.html), *RT-12 Rotary Positioning Table*, 2002.
- [10] G. Petryk ve M. Buehler. Dynamic object localization via a proximity sensor network. *Proc. IEEE/SICE/RSJ Int. Conf. Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems*, 337-341, Washington DC, USA, 8-11 Aralık 1996.
- [11] *Numerical Recipes in C: The Art of Scientific Computing*, Cambridge University Press, 681-689, URL: [www.library.cornell.edu/nr/bookcpdf.html](http://www.library.cornell.edu/nr/bookcpdf.html).
- [12] B. Barshan ve T. Aytaç. Position-invariant surface recognition and localization using infrared sensors. *Opt. Eng.*, 42(12): 3589-3594, Aralık 2003.