

Kızılötesi Algılayıcılarla Pozisyondan Bağımsız Yüzey Tanıma ve Konumlandırma

Tayfun Aytaç ve Billur Barshan
Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü
Bilkent Üniversitesi 06533, Bilkent, Ankara
{taytac,billur}@ee.bilkent.edu.tr

Özet

Bu çalışmada, düşük maliyetli kızılötesi alıcı ve vericiler, farklı özelliklere sahip yüzeylerin konumdan bağımsız olarak tanınmasında kullanılmaktadır. Bu tip algılayıcılarla elde edilen yeğinlik ölçümleri yüzeyin konumuna ve özelliklerine analitik olarak kolayca ifade edilemeyecek şekilde bağlıdır ve bu durum tanıma ve konumlandırma sürecini zorlaştırmaktadır. Açısal yeğinlik taramalarını kullanan yaklaşımımız çeşitli yüzeyleri konumdan bağımsız olarak ayırdedebilmektedir. Yüzey tanımlandıktan sonra, konumu da saptanmaktadır. Yöntem deneysel olarak alüminyum yüzey, beyaz badanalı duvar, kahverengi resim kağıdı ve beyaz ince köpük ambalaj malzemesi ile doğrulanmıştır. %87 doğru ayırdetme oranı elde edilmiş ve yüzeyler sırasıyla 1,2 cm ve $1,0^\circ$ mutlak erim ve açısal konum hatalarıyla konumlandırılmıştır.

1 Giriş

Bu çalışma, alıcı ve vericiden oluşan basit bir kızılötesi algılayıcı sisteminin yüzey tanıma ve konumlandırma amacıyla kullanımını incelemekte olup daha önce düzlem, köşe, kenar ve silindir gibi farklı geometriye sahip nesnelerin ayırdedilmesini ve konumlandırılmasını incelediğimiz çalışmamızı tamamlayıcı niteliktedir [Aytaç ve Barshan 2002]. Her iki uygulama da, nesnelerin ayırdedilmesinin gerektiği akıllı sistem uygulamalarında oldukça önemlidir.

Kızılötesi algılayıcılar ucuz, kullanımı ve erişimi kolay aygıtlardır. Yayılan ışık yüzeylerden yansımakta ve alıcıda elde edilen yeğinlik ölçülmektedir. Ancak, yansıyan sinyal nesnenin yüzeyine ve diğer özelliklerine bağlı olduğundan, tek bir yeğinlik değerine dayanarak güvenilir erim kestiriminde bulunmak mümkün değildir. Ayrıca, yüzeyin özellikleri, erimi ve açısal konumu bilinmeden basit yeğinlik ölçümleri kullanılarak belirlenmemektedir. Bu çalışmada, çeşitli yüzeyleri konumdan bağımsız olarak ayırdeden bir tarama mekanizması ve yöntem ileri sürüyoruz. Yüzey özellikleri tanımlandıktan sonra, konumu (r, θ) da saptanmaktadır. Sonuçlar, uygun işleme yöntemleri kullanıldığı takdirde kızılötesi algılayıcılardan çok daha fazla bilgi çıkarılabileceğini ve bu tür algılayıcıların bilinen yaygın uygulamaları dışında da kullanılabileceğini göstermektedir.

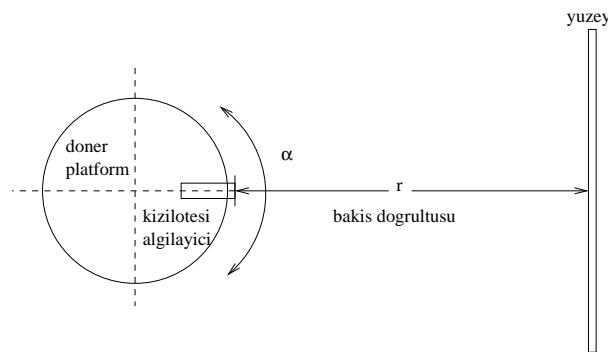
İleri sürdüğümüz yöntemin doğruluğu referans taramalarının sayısını artırarak, yüzey tanıma ve konum kestirme işlemindeki hesaplama yoğunluğunu artırmadan ölçülenebilmektedir.

Kızılötesi algılama ile örüntü tanıma çalışmalarının çoğu iki boyutlu imgelerde öznitelik ya da nesne çıkarımıyla ilgilidir. Bu sınıfa yüz tanıma [Phillips 1998], otomatik hedef tanıma [Kwon 2002], hedef izleme [Tsao 2002], otomatik araç sezimi [Pavlidis 2000], uzaktan algılama [Tag 2000], gürültülü arka planlarda hedef saptama ve ayırtetme [Jain 1997, Zalevsky 2000] ve otomatik arazi analizi [Bhanu 1997] gibi çalışmalar girmektedir. Bu çalışmada gerçekleştirilen pozisyondan bağımsız örüntü tanıma ve konum kestirimi, çoğunlukla imgeler üzerinde gerçekleştirilen işlemlerden [Yu 1998, Yu 1999], doğrudan yüzeyin çeşitli imgeleme sistemleriyle elde edilen fotografik imgelerinin değil de, dönen bir noktasal algılayıcıdan elde edilen açışal yeğinlik taramalarının işlenmesi bağlamında farklıdır.

Çalışmada ayırdettiğimiz ve koordinatlarını belirlemeye çalıştığımız nesnelere, iki boyutlu imgelerden öte, algılayıcı sistemine göre konumunu kestirmek istediğimiz uzayda derinliği olan yüzeylerdir. Gerçekleştirilen pozisyondan bağımsız tanıma ve konumlandırma, geleneksel imgelerde uygulanan örüntü tanıma ve konumlandırma işlemlerinden oldukça farklıdır [Casasent 1976, McDonnell 1978, Arsenault 1984, Yu 1989, Gheen 1990, Refregier 1991, Gu 1992, Lohmann 1996].

Kızılötesi algılayıcılar robotbilim ve otomasyon, süreç kontrolü, uzaktan algılama ve güvenlik sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle yakın mesafedeki hedeflerin saptanmasında [Cheung 1989], sayma işlemlerinde [Hand 1998], erim ve derinlik gözetiminde [Wikle 2001], zemin algılamada, konum kontrolünde [Butkiewicz 1997], engel saptamada [Lumelsky 1993] ve gezgin robot yöngüdümünde kapı aralıklarında kenarların yerlerinin belirlenmesinde sonar algılayıcılarla birlikte [Flynn 1988] kullanılmıştır. [Novotny 1999]'da bilinen bir uzaklıkta konumlanmış düzlemsel hedefin yüzey değişkenleri Phong aydınlatma modeliyle [Phong 1975] belirlenerek kızılötesi algılayıcılar yakın mesafeler (5–23 cm) için erim ölçer olarak modellenmiştir. Bu tür algılayıcılarla derinlik bilgisi optik olarak belirlenmiştir [Cuevas 1999, Klysubun 2000, Esteve 2002]. [Hashimoto 2000] ise bir odadaki insanların konumlarını belirleyen pasif bir kızılötesi algılayıcı sistemini anlatmaktadır. Kızılötesi algılayıcılar ayrıca farklı atık maddelerin otomatik olarak ayıklanmasında da kullanılmıştır [Scott 1995, Groot 2002]. Ancak bildiğimiz kadarıyla, basit kızılötesi algılayıcılar bugüne kadar çeşitli yüzeyleri eş zamanlı olarak ayırtetmede ve konumlarını kestirmede kullanılmamıştır. Bu bildiride, uygun işleme ve örüntü tanıma tekniklerinin kullanılmasıyla, bu amaçların gerçekleşmesinin mümkün olduğu gösterilmiştir.

Bildiri, şu şekilde düzenlenmiştir: Bölüm 2'de, ayırtetme ve konumlandırma süreci anlatılmaktadır. Bölüm 2.1 ve 2.2'de öne sürülen iki farklı yaklaşım sunulmuştur. Bölüm 2.3'te ise doyuma ulaşmış taramaların nasıl işlendiği anlatılmıştır. İleri sürülen yöntemler Bölüm 3'de deneysel olarak doğrulanmıştır. En son bölümde ise sonuçlar özetlenmiş ve çalışmanın devamı niteliğindeki araştırmalar için motivasyon sağlanmıştır.



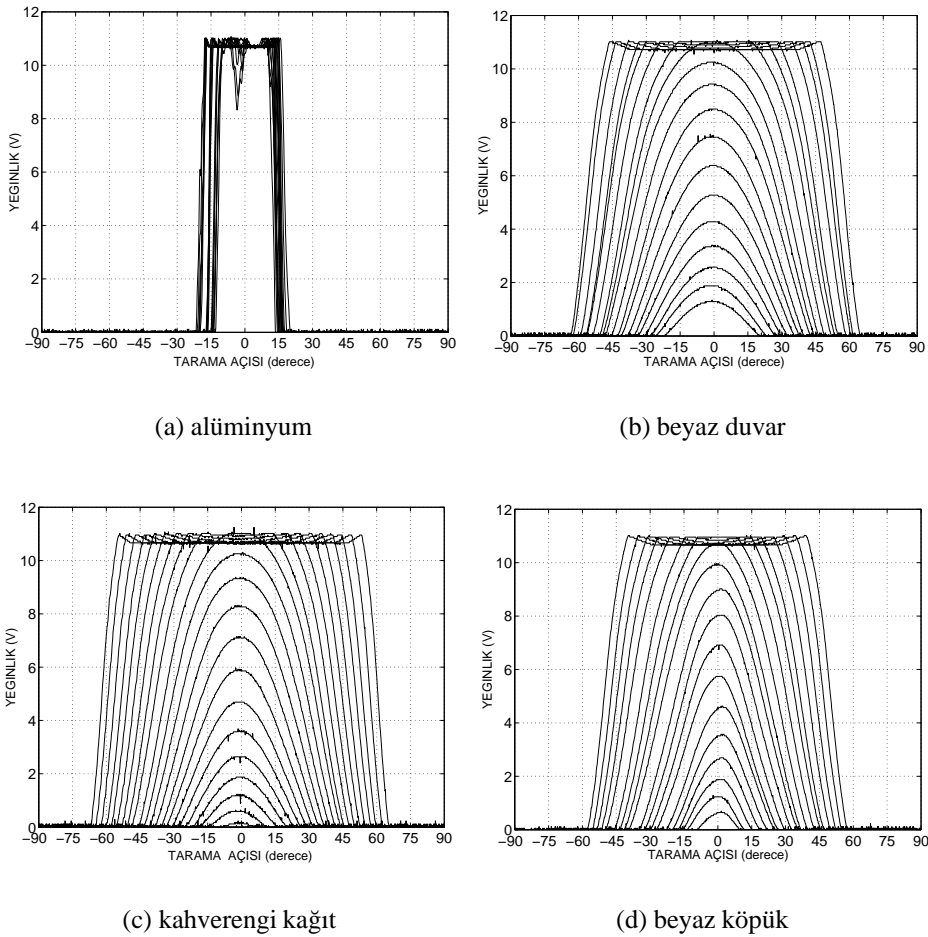
Şekil 1: Deneysel düzeneğin üstten görünüşü. Alıcı ve verici pencereleri 8 mm çapında olup merkez aralıkları 12 mm olan dairelerdir. (Verici alıcının üstündedir.) Hem tarama açısı α hemde yüzeyin konum açısı θ yatay ekseninden saatin tersi yönünde ölçülmektedir.

2 Yüzey Tanıma ve Konum Kestirimi

Çalışmada kullanılan kızılötesi algılayıcı [Matrix Elektronik 1995] bir alıcı-verici ünitesinden oluşmakta, 20–28 V DC giriş gerilimiyle çalışmakta ve ölçümün yeğirliğiyle orantılı analog gerilim çıktısı sağlamaktadır. Alıcı penceresi ortam aydınlatmasının yeğirlik ölçümlerine etkisini en aza indirmek için kızılötesi süzgeç ile kaplanmıştır. Verici kısmı kapatıldığında, alıcı sıfır değerini göstermektedir. Aygıtın duyarlılığı sistemin çalışma erimini belirlemek için değışken dirençle ayarlanabilmektedir.

Çalışmada, alüminyum yüzey, beyaz badanalı duvar, kahverengi resim kağıdı ve beyaz ince köpük ambalaj malzemesi kullanılmıştır. Yöntemimiz her yüzeyin belli bir açı aralığında taranmasına dayanmaktadır. Kızılötesi algılayıcı yüzeylerden açısız taramalar elde etmek için 15,2 cm yarıçapında döner bir platform [Arrick Robotics 2002] üzerine, yerleştirildi (Şekil 1). Her yüzey türü için, yüzey $\theta = 0^\circ$ açısız konumunda iken, 2,5 cm aralıklarla, 12,5 cm'den 57,5 cm'ye kadar referans veri taramaları kaydedildi. Yeğirlik sinyalleri 100 μs zamanlı 8-bit A/D çevirici çip tarafından işlendi.

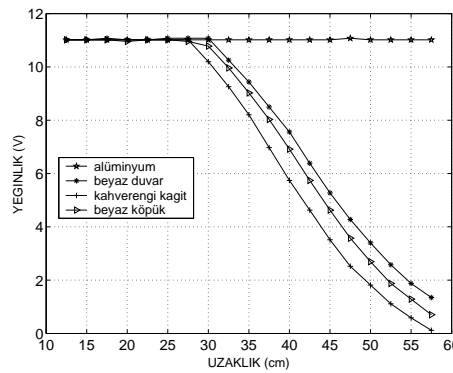
Dört farklı yüzey için elde edilen referans taramaları Şekil 2'de verilmektedir. Yeğirlik taramaları θ 'dan bağımsız fakat r 'ye bağılıdır; yani r 'deki değışimler sadece basit bir ölçeklemeye neden olmamaktadır. Daha sonra görüleceğı gibi, bu taramalar çeşitli yüzeyleri oldukça doğru olarak ayırdetmek ve konumlarını kestirmek için yeterli bilgiyi içermektedirler. Ayrıca, yansıyan sinyaller yaklaşık olarak 10,7 V'a karşılık gelen gerilim değirinde doyuma ulaşmaktadır.



Şekil 2: Farklı uzaklıklara konumlanmış çeşitli yüzeyler için yeğirlik taramaları.

Yeğinlik taraması kaydedilen yüzeylerin türü ve konumu şu şekilde belirlenmektedir: İlk önce kaydedilen tarama $I(\alpha)$ 'nın, doyuma ulaşmış kontrol edilmiştir. Bu durum daha sonra Bölüm 2.3'de ayrıca ele alınacaktır.

Yüzeyin türünü belirlemek için Şekil 2'deki ilgili eğriyle doğrudan karşılaştırma, yüzeyin erimi bilinmediğinden mümkün olmamaktadır ve tüm eğrilerle her uzaklık için karşılaştırma yapmak da çok fazla işlem gerektirecektir. Bu nedenle, Şekil 2'deki örüntülerin erime tekdüze bir bağımlılık gösterme özelliğini kullandık. Ayrıca, gözlenen örüntü, referans taramalarıyla karşılaştırıldığında, Bölüm 2.1 ve 2.2'de tanımlanan fark ölçütlerine göre, tek bir en küçük değer etrafında tekdüze bir artış veya azalış göstermektedir. Bu yüzden tüm referans taramalarını dikkate almaktansa, merkez değerleri gözlenen örüntünün merkez değerine en yakın olan dört referans tarama örüntüsüyle (her yüzey türü için bir tane) karşılaştırarak doğruluktan ödün vermeden işlem sayısını azaltmış olduk. Bu yaklaşım, hesaplama maliyetini artırmadan, sistemin doğruluğunu artırmayı mümkün kılmaktadır. Deneme olarak, gözlenen örüntünün merkez değerinin altında ve üstünde kendisine en yakın merkez değerlerine sahip referans yeğinlik taramalarıyla ve mevcut tüm referans yeğinlik taramalarıyla da karşılaştırmalar yapılmıştır. Daha çok işlem gerektiren bu denemeler tek bir dörtlü tarama ile elde edilen sonuçları iyileştirmemiştir. Üstelik, Bölüm 2.2'de tartışılan uyumlu süzgeç kullanılmasında sonuçlar dört tarama seçilmesi durumunda iyileşmektedir. Bunun nedeni tarama sayısını baştan sınırlandırarak küçük bir olasılıkla da olsa gürültü ve diğer nedenlerden kaynaklanan hatalı eşlemelerin baştan elenmesidir. Dörtlü karşılaştırmayı yapmada iki alternatif yaklaşım benimsenmiştir. Bunlar aşağıda iki alt başlıkta tartışılmaktadır.



Şekil 3: Çeşitli yüzeyler için merkezi yeğinlik değerinin uzaklığa göre değişimi.

2.1 En Küçük Kareler Yaklaşımı

İlk önce yüzeyin açısal konumu saptanmaktadır; Gözlenen örüntünün doyuma ulaşmadığını varsayarak, en büyük yeğinlik değerini ve ona karşılık gelen açıyı hesaplıyoruz. Bu açısal değer, θ_{MAX} , doğrudan yüzeyin açısal konum kestirimi olarak alınabilir. Alternatif olarak, örüntülerin ağırlık merkezi aşağıdaki gibi bulunarak da hedefin açısal konumu kestirilebilir:

$$\theta_{A\check{G}M} = \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_i I(\alpha_i)}{\sum_{i=1}^n I(\alpha_i)} \quad (1)$$

Örüntülerin simetrik olduğu göz önünde bulundurulursa, ideal koşullarda örüntünün en büyük değeri ile ağırlık merkezindeki değerinin çakışması beklense de uygulamada arada küçük farklar olmaktadır. Biz sonuçları her iki durum için de tablo halinde vereceğiz. Buradan itibaren, her iki açısal kestirimi de örüntünün 'merkez açısı' olarak tanımlıyoruz.

Her örüntü için merkez açısındaki yeğlilik değerinin uzaklığa göre değişimi yöntemimizde önemli bir rol oynamaktadır. Şekil 3’de bu eğriler en büyük yeğlilik değerine göre verilmektedir.

En küçük kareler yaklaşımında, gözlenen örüntünün merkezi, dört referans taramasınınki ile çakıştırılarak aralarındaki farkların karelerinin toplamı karşılaştırılmaktadır. Karesi alınmış farklar, bire yakın olan çarpanlara bile duyarlı olduğundan gözlenen örüntünün merkez değerinin aşağısında ve yukarısında en yakın iki referans taraması arasında doğrusal aradeğerleme uygulanarak elde edilen referans taramaları kullanılmıştır. Gözlenen örüntü ile herbir referans taraması arasındaki kareler farkı toplamı aşağıdaki gibi bulunmaktadır:

$$\mathcal{E}_j = \sum_{i=1}^n [I(\alpha_i - \alpha_{\text{kayma}}) - I_j(\alpha_i)]^2 \quad (2)$$

Burada I_j , $j = 1, 2, 3, 4$ dört referans taramasını, α_{kayma} ise her iki örüntüyü de aynı doğrultuya getirmek için kullanılan açısız kayma değerini göstermektedir. En küçük \mathcal{E} değerine karşılık gelen yüzey, gözlenen yüzey türü olarak kabul edilmektedir. Yüzey türü belirlendikten sonra, doğrusal aradeğerleme kullanılarak hedefin erimi saptanmaktadır. Böylece yöntemin doğruluğu referans taramalarının kaydedildiği 2,5 cm aralıklarla sınırlanmamaktadır.

2.2 Uyumlu Süzgeç Yaklaşımı

İkinci bir alternatif olarak, gözlenen örüntüyü ve referans taramalarını karşılaştırmak için uyumlu süzgeç yöntemi [Goodman 1996] kullanılmıştır. Uyumlu süzgecin dürtü tepkisi $h(\alpha_k)$, süzgeç çıkışı gözlenen örüntüyle j nci referans tarama arasındaki çapraz-ilintiye eşit olacak şekilde $I_j(-\alpha_k)$ ’ya eşitlenmiştir. Her referans taraması toplam enerjisinin kareköküyle normalize edilmiştir. Gözlenen örüntü ile normalize edilmiş dört tarama arasındaki çapraz-ilinti aşağıdaki gibi elde edilmiştir:

$$y_j(l) = \frac{\sum_k I(\alpha_k) I_j(\alpha_{k-l})}{\sqrt{\sum_k [I_j(\alpha_k)]^2}} \quad (3)$$

En büyük çapraz-ilinti değerine karşı gelen yüzey türü, gözlenen yüzeyin türü olarak alınmakta ve bu en büyük değer gerçekleştiği açı, yüzeyin konum açısı olarak kabul edilmektedir. Yüzeyin erimi Şekil 3’te açı kestiriminin yapıldığı yeğlilik değerinde doğrusal aradeğerleme yapılarak bulunmaktadır.

2.3 Doyuma Ulaşmış Taramalar

Gözlenen örüntünün doyuma ulaştığı durumda, en küçük kareler yaklaşımında, kaydırılmış gözlenen örüntü ile tüm doyuma ulaşmış referans taramaları arasındaki kareler farkı toplamı Denklem (2)’deki gibi hesaplanarak, en küçük toplam kareler farkı yüzey türünün belirlenmesinde kullanılmaktadır. Yüzeyin erimi en küçük kareler farkını veren taramanınkiye eşit alınmıştır. Benzer bir şekilde, uyumlu süzgeç için, gözlenen örüntü ile kaydedilmiş bütün doyuma ulaşmış referans taramaları arasındaki çapraz-ilinti hesaplanmış, en yüksek çapraz-ilintiye veren yüzey, doğru yüzey türü olarak seçilmiştir. Erim saptaması yine en iyi eşlenen yüzeyinki olarak, konum açısı ise en büyük çapraz-ilinti değerinin gerçekleştiği açı olarak alınmıştır.

Doyum durumunda doğrusal aradeğerleme mümkün olmadığından, erim kestiriminin doğruluğu referans taramalarının elde edildiği 2,5 cm aralığıyla sınırlıdır. Sinyalin doyuma ulaşmadığı durumlarda ise, Şekil 3’den doğrusal aradeğerlemeyle gerçekleştirilen erim kestiriminin hassasiyetinin 2,5 cm ile sınırlı olmadığını tekrar vurgulamak isteriz.

3 Deneysel Çalışmalar

Bu bölümde, deneysel çalışmaların sonuçları sunulmaktadır. Her bir yüzeyi $r = 12,5 \text{ cm}$ 'den $57,5 \text{ cm}$ 'e ve $\theta = -45^\circ$ 'den 45° 'ye kadar olan alan içinde rasgele belirlenmiş 25 noktaya yerleştirerek toplam 100 adet test taraması elde edilmiştir.

En küçük karelere dayalı yüzey ayırdetme sonuçları Tablo 1 ve 2'de verilmiştir. Tablo 1, en büyük yeğlilik değerini kullanarak elde edilen sonuçları vermektedir. Tablo 2 ise bu sonuçları ağırlık merkezindeki yeğlilik değerine göre göstermektedir. Bütün yüzey türleri için ortalama doğruluk, yüzey ayırdetme tablosunda köşegen üzerindeki doğru kararların toplamını toplam deneme sayısına (100) bölerek bulunmaktadır. En büyük yeğlilik değerine ve ağırlık merkezine göre doğru ayırdetme oranları sırasıyla %83 ve %82'dir.

Uyumlu süzgeç kullanılarak elde edilen sonuçlar Tablo 3'de verilmiştir. Bütün yüzey türleri için doğru ayırdetme oranı, en küçük kareler yaklaşımından daha iyi olup, %87'dir. [Aytaç ve Barshan 2002]'de, buradaki gibi farklı yüzeylerin değil de, farklı geometriye sahip hedeflerin ayırdedilmesi ve konumlarının kestirimini incelediğimiz çalışmamızda, en küçük kareler yaklaşımı %93 ve %89, uyumlu süzgeç yaklaşımı ise %97 doğru ayırdetme oranını vermiştir. Bu sonuçlara göre, farklı yüzeylere sahip hedeflerin ayırımının farklı geometrilere sahip hedeflerin ayırımına göre biraz daha zor olduğu çıkarımında bulunabiliriz. (Tablolarda AL: alüminyum, BD: beyaz duvar, KK: kahverengi resim kağıdı ve BK: beyaz ince köpük ambalaj malzemesi için kullanılmıştır).

Tablo 1: Yüzey ayırdetme dizeyi: en küçük karelere dayalı ayırdetme (en büyük yeğlilik değeri).

yüzey	ayırdetme sonuçları				toplam
	AL	BD	KK	BK	
AL	25	-	-	-	25
BD	-	20	3	2	25
KK	-	2	19	4	25
BK	-	-	6	19	25
toplam	25	22	28	25	100

Tablo 2: Yüzey ayırdetme dizeyi: en küçük karelere dayalı ayırdetme (ağırlık merkezi).

yüzey	ayırdetme sonuçları				toplam
	AL	BD	KK	BK	
AL	25	-	-	-	25
BD	-	20	3	2	25
KK	-	4	18	3	25
BK	-	-	6	19	25
toplam	25	24	27	24	100

Tablo 3: Yüzey ayırdetme dizeyi: uyumlu süzgece dayalı ayırdetme.

yüzey	ayırdetme sonuçları				toplam
	AL	BD	KK	BK	
AL	25	-	-	-	25
BD	-	21	3	1	25
KK	-	1	21	3	25
BK	-	-	5	20	25
toplam	25	22	29	24	100

Tablo 4: Mutlak erim ve açısal konum kestirim hataları.

yöntem		AL	BD	KK	BK	ort. hata
en küçük kareler (en büyük)	$r(\text{cm})$	2.4	1.3	0.9	0.9	1.4
	$\theta(\text{derece})$	0.8	1.9	1.6	0.8	1.3
en küçük kareler (ağırlık merkezi)	$r(\text{cm})$	2.4	1.3	1.3	0.9	1.5
	$\theta(\text{derece})$	0.8	1.0	1.6	0.8	1.1
uyumlu süzgeç	$r(\text{cm})$	1.7	1.2	1.0	0.8	1.2
	$\theta(\text{derece})$	0.8	1.1	1.6	0.7	1.0

Tablolarda görüldüğü üzere, alüminyum yüzey uygulanan yöntemden bağımsız olarak, farklı karakteristiğinden dolayı her zaman doğru olarak ayırdedilmiştir. Geri kalan yüzeyler doğru ayırdetme yüzdeleri açısından karşılaştırılabilir. Yanlış ayırdedilen yüzeylerin çoğu yansıyan sinyalin doyuma ulaştığı yakın uzaklıklarda konumlanmıştır. Bu da çalışma aralığının azaltılması pahasına, erim aralığının alt sınırı artırılarak yanlış ayırdetme oranının azaltılabileceğini göstermektedir.

Farklı yaklaşımlar için, ortalama mutlak erim ve açısal konum kestirim hataları Tablo 4'de bütün yüzeyler için verilmiştir. Tablodan da görüldüğü gibi, en küçük kareler yönteminin en büyük yeğlilik

ve ağırlık merkezi değerine dayalı varyasyonları yüzey erimlerini sırasıyla 1,4 cm ve 1,5 cm ortalama mutlak hatayla kestirmektedir. Uyumlu süzgeçle mutlak ortalama erim kestirimi hatası en küçük kareler yaklaşımındaki erim hatasından daha iyi olup 1,2 cm'dir. Erim hatalarına en büyük katkı, hatalı olarak ayırdedilen yüzeylerden gelmektedir. Sadece doğru ayırdedilen yüzeylerin erim hatalarının ortalaması alındığında, en küçük kareler yönteminin en büyük yeğinlik ve ağırlık merkez değerine dayalı yaklaşımları, ve uyumlu süzgeç yaklaşımları için ortalama mutlak erim hataları sırasıyla 1,0 cm, 1,1 cm ve 1,2 cm olmaktadır. Bu üç sayı Tablo 4'deki karşılıkları ile karşılaştırılabilir olduğundan, uyumlu süzgeç yaklaşımının üstün erim kestirim özelliğinin yüksek doğru ayırdetme oranının bir sonucu olduğu söylenebilir.

Erim hatalarına en büyük katkı, Şekil 3'ü kullanarak doğrusal aradeğerlemenin mümkün olmadığı doyuma ulaşmış taramalardan kaynaklanmaktadır. Bunun sonucu olarak, çalışma aralığının büyük kısmının doyuma olduğu yüzeylerin erim kestirim hataları (alüminyum en yüksek olmak üzere) daha yüksek çıkmaktadır.

Açısal konum kestiriminde ise, uyumlu süzgeç ortalama mutlak $1, 0^\circ$ açısal hatayla en küçük kareler yönteminden üstündür. Sadece doğru ayırdedilen yüzeyler dikkate alındığında, ortalama açısal konum hataları anlamlı farklar göstermemektedir çünkü açısal konum kestirimi ayırdetmeden bağımsız olarak gerçekleştirilmektedir. Ağırlık merkezi kullanıldığında ise yeğinlik sinyallerindeki gürültülerin etkisi azaldığından, ortalama olarak en büyük yeğinlik değeri yaklaşımına göre daha iyi açısal konum kestirimi elde edilmektedir.

Performanstaki değişimi incelemek amacıyla sistemin çalışma erim aralığını genişletmeyi de düşündük. Örnek olarak çalışma aralığının [12.5 cm, 57.5 cm]'den [5 cm, 60 cm]'ye genişletilmesi doğru ayırdetme yüzdesinin 87% 'den 80% 'e düşmesine neden olmuştur. Bu performans kaybı büyük ölçüde doyuma ulaşmış ve yansıma sinyalinin oldukça zayıf olduğu, büyük hatalara neden olabilecek taramalardan kaynaklanmaktadır.

Yüzeylerden yansıyan ışık hem aynasal hem de dağınık yansıma bileşenlerine sahiptir. Aynasal yansıma, yansıma açısının gelme açısına eşit olduğu doğrultuda yoğunlaşmıştır; dağınık yansıma ise gelme açısının kosinüsüne bağlı olarak çeşitli yönlere dağılmıştır. Erim kestiriminde katkısı olan yansıyan sinyalin dağınık olan parçasıdır. Çeşitli yüzeyler için aynasal ve dağınık yansımalarının katkısı ve yeğinliğin tarama açısı α 'ya göre azalma oranı farklıdır. Buna karşın sadece yansıyan sinyale dayalı bir sistemin uzak erimlerde çok yansıtıcı olan yüzeyler ve daha az yansıtıcı olan yüzeyler arasında ayırdetmeyi gerçekleştirmesi mümkün olmamaktadır. İleri sürülen yöntemle, uzakta konumlanmış ender de olsa α 'ya benzer bir bağımlılık gösteren yeğinlik taramalarına sahip yüzeylerin güvenilir şekilde ayırdedilmesi mümkün olmamaktadır.

4 Sonuç

Bu çalışmada dört farklı yüzeyin basit kızılötesi algılayıcılarla ayırdedilmesi ve konum kestirimi gerçekleştirilmiştir. Yüzey ayırdetme, erim ve açısal konum kestirimi açısından farklı yaklaşımlar karşılaştırılmıştır. İleri sürülen yöntem, çeşitli yüzeylerden oluşan bilinmeyen ortamların gözetiminin gerektiği gezgin robot uygulamalarında veya çeşitli maddelerin tanımlanıp ayırdedilmesinin gerektiği endüstriyel uygulamalarda kullanılabilir.

Bu çalışmanın en önemli katkısı, yeğinlik örüntülerinin esasen yüzeyin pozisyonuna ve özelliklerine bağlı olmasına ve bu ilişki analitik olarak kolayca ifade edilememesine rağmen, pozisyonundan bağımsız olarak yüzey ayırdetmeyi gerçekleştirmiş olmasıdır. Ortalama %87 doğru ayırdetme oranı, ve 1,2 cm ve $1, 0^\circ$ ortalama mutlak erim ve açısal konum hatalarıyla yüzeylerin konum kestirimi

gerçekleştirilmiştir. İleri sürdüğümüz yöntem referans tarama sayısını artırarak işlem yoğunluğunu artırmadan doğruluğun artırılabilmesi açısından ölçeklenebilirdir.

Daha önceki çalışmamızda [Aytaç ve Barshan 2002], bu bildiriye farklı yüzeylerin aksine, düzlem, köşe, kenar ve silindirik gibi farklı geometriye sahip nesnelerin ayırılması ve konumlandırmasını incelemiştir, ortalama %97 doğru ayırtma oranı gerçekleştirmiştir. Bu oranı, çalışmada başarılı olan %87 doğru ayırtma oranıyla karşılaştırdığımızda, yüzeylerin dağınık/aynasal yansıma karakteristiklerinin geometrik yansıma karakteristikleri kadar ayırıcı olmadığı sonucuna vardık. Şu anki çalışmamız, hedefin konumu bilinmeden, yeğlilik taramasına dayanarak hedefin yüzey özelliklerinin yanı sıra geometrisinin de çıkarılması üzerinde yoğunlaşmaktadır. Ön sonuçlar bu bildiriye ileri sürülen yöntemlerin biraz değişiklikli veya olduğu gibi belli bir geometri ve yüzeyin birleşimini genelleştirilmiş bir hedef türü olarak değerlendirerek bu duruma da uygulanabileceğini göstermektedir [Aytaç 2002].

Kaynakça

- [1] Arrick Robotics, P.O. Box 1574, Hurst, Teksas, 76053, URL: www.robotics.com/rt12.html, RT-12 Rotary Positioning Table, 2002.
- [2] Arsenault H. H., Hsu Y. N., ve Chalasinska-Macukow K., "Rotation-invariant pattern recognition," *Optical Engineering*, 23(6), s. 705–709, 1984.
- [3] Aytaç T., "Differentiation and localization using infrared sensors," Yüksek Lisans Tezi, Bilkent Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Ankara, 2002.
- [4] Aytaç T. ve Barshan B., "Differentiation and localization of targets using infrared sensors," *Optics Communications*, 210(1-2), s. 25-35, 2002.
- [5] Bhanu B., Symosek P., ve Das S., "Analysis of terrain using multispectral images," *Pattern Recognition*, 30(2), s. 197–215, 1997.
- [6] Butkiewicz B., "Position control system with fuzzy microprocessor AL220," *Lecture Notes in Computer Science*, 1226(74-81), 1997.
- [7] Casasent D. ve Psaltis D., "Scale invariant optical correlation using Mellin transforms," *Optics Communications*, 17(1), s. 59–63, 1976.
- [8] Cheung E. ve Lumelsky V. J., "Proximity sensing in robot manipulator motion planning: system and implementation issues," *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, 5(6), s. 740–751, 1989.
- [9] Cuevas F. J., Servin M., ve Rodriguez-Vera R., "Depth object recovery using radial basis functions," *Optics Communications*, 163(4-6), s. 270–277, 1999.
- [10] Esteve-Taboada J. J., Refregier P., Garcia J., ve Ferreira C., "Target localization in the three-dimensional space by wavelength mixing," *Optics Communications*, 202(1-3), s. 69–79, 2002.
- [11] Flynn A. M., "Combining sonar and infrared sensors for mobile robot navigation," *International Journal of Robotics Research*, 7(6), s. 5–14, 1988.
- [12] Gheen G., "Design considerations for low-clutter, distortion invariant correlation filters," *Optical Engineering*, 29(9), s. 1029–1032, 1990.

- [13] Goodman J. W., *Introduction to Fourier Optics*, New York: McGraw-Hill, 2. baskı, 1996, s. 246–249.
- [14] Groot P. J. de, 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,” *Analytica Chimica Acta*, 453(1), s. 117–124, 2002.
- [15] Gu C., Hong J., ve Campbell S., “2-D shift invariant volume holographic correlator,” *Optics Communications*, 88(4-6), s. 309–314, 1992.
- [16] Hand A. J., “Infrared sensor counts insects,” *Photonics Spectra*, 32(11), s. 30–31, 1998.
- [17] Hashimoto K., Tsuruta T., Morinaka K., ve Yoshiike N., “High performance human information sensor,” *Sensors and Actuators A—Physical*, 79(1), s. 46–52, 2000.
- [18] Jain A. K., Ratha N. K., ve Lakshmanan S., “Object detection using Gabor filters,” *Pattern Recognition*, 30(2), s. 295–309, 1997.
- [19] Klysubun P., Indebetouw G., Kim T., ve Poon T. C., “Accuracy of three-dimensional remote target location using scanning holographic correlation,” *Optics Communications*, 184(5-6), s. 357–366, 2000.
- [20] Kwon L., Der S. Z., ve Nasrabadi N. M., “Adaptive multisensor target detection using feature-based fusion,” *Optical Engineering*, 41(1), s. 69–80, 2002.
- [21] Lohmann A., Zalevsky Z., ve Mendlovic D., “Synthesis of pattern recognition filters for fractional Fourier processing,” *Optics Communications*, 128(4-6), s. 199–204, 1996.
- [22] Lumelsky V.J. ve Cheung E., “Real-time collision avoidance in teleoperated whole-sensitive robot arm manipulators,” *IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics*, 23(1), s. 194–203, 1993.
- [23] Matrix Elektronik, AG, Kirchweg 24 CH-5422 Oberehrendingen, İsviçre, IRS-U-4A Proximity Switch Datasheet, 1995.
- [24] McDonnell M., “Clarification on use of Mellin transform in optical pattern recognition,” *Optics Communications*, 25(3), s. 320–322, 1978.
- [25] Novotny P. M. ve Ferrier N. J., “Using infrared sensors and the Phong illumination model to measure distances,” *Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation*, s. 1644–1649, Detroit, MI, 10–15 Mayıs 1999.
- [26] Pavlidis I., Symosek P., Fritz B., Bazakos M., ve Papanikolopoulos N., “Automatic detection of vehicle occupants: the imaging problem and its solution,” *Machine Vision and Applications*, 11(6), s. 313–320, 2000.
- [27] Phillips P. J., “Matching pursuit filters applied to face identification,” *IEEE Transactions on Image Processing*, 7(8), s. 1150–1164, 1998.
- [28] Phong B. T., “Illumination for computer generated pictures,” *Communications of the ACM*, 18(6), s. 311–317, 1975.
- [29] Refregier P., “Optical pattern recognition—optimal trade-off circular harmonic filters,” *Optics Communications*, 86(2), s. 113–118, 1 November 1991.

- [30] Scott D. M., "A 2-color near-infrared sensor for sorting recycled plastic waste," *Measurement Science and Technology*, 6(2), s. 156–159, 1995.
- [31] Tag P. M., Bankert R. L., ve Brody L. R., "An AVHRR multiple cloud-type classification package," *Journal of Applied Meteorology*, 39(2), s. 125–134, 2000.
- [32] Tsao T. ve Wen Z. Q., "Image-based target tracking through rapid sensor orientation change," *Optical Engineering*, 41(3), s. 697–703, 2002.
- [33] Wikle H. C., Kottilingam S., Zee R. H., ve Chin B. A., "Infrared sensing techniques for penetration depth control of the submerged arc welding process," *Journal of Materials Processing Technology*, 113(1-3), s. 228–233, 2001.
- [34] Yu F. T. S. ve Jutamulia S., ed., *Optical Pattern Recognition*, Cambridge: Cambridge University Press, 1998.
- [35] Yu F. T. S., Li X., Tam E., Jutamulia S., ve Gregory D. A., "Rotation invariant pattern recognition with a programmable joint transform correlator," *Applied Optics*, 28(22), s. 4725–4727, 1989.
- [36] Yu F. T. S. ve Yin S., ed., *Selected Papers on Optical Pattern Recognition*, MS(156) of SPIE Milestone Series, Bellingham, Washington: SPIE Optical Engineering Press, 1999.
- [37] Zalevsky Z., Mendlovic D., Rivlin E., ve Rotman S., "Contrasted statistical processing algorithm for obtaining improved target detection performances in infrared cluttered environment," *Optical Engineering*, 39(10), s. 2609–2617, 2000.