İstatistiksel Örüntü Tanıma Teknikleri Kullanarak Kızılberisi Algılayıcılarla Hedef Ayırdetme

Target Differentiation with Infrared Sensors Using Statistical Pattern Recognition Techniques

Tayfun Aytaç [a,b], *Çağrı Yüzbaşıoğlu* [a,b] *ve Billur Barshan* [a]
{taytac, cagri,billur}@ee.bilkent.edu.tr

[a]Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü
Bilkent Üniversitesi 06800, Ankara

[b]Simülasyon ve Eğitim Sistemleri Direktörlüğü
Havelsan A. Ş. 06520, Ankara

Özetçe

Bu çalışma, düzlem, köşe, kenar ve silindir gibi bina içi ortamlarda sıkça karşılaşılan öznitelikleri veya hedefleri basit kızılberisi algılayıcılar kullanarak ayırdetmeye ilişkin çeşitli istatistiksel örüntü tanıma tekniklerinin başarımlarını karşılaştırmaktadır. Karşılaştırılan örüntü tanıma teknikleri parametrik yoğunluk kestirimi, karma Gauss sınıflandırıcıları, çekirdek kestiricisi, k-en yakın komşuluğu, sinir ağları sınıflandırıcıları ve destekçi vektör makinalarını içermektedir. Altı yüzey için parametrik ayırdetmeyle %100 doğru ayırdetme gerçekleştirilmiştir. Yedi farklı yüzeyle kaplı üç geometri için, en iyi doğru ayırdetme oranı (%100) üç bileşene sahip karma Gauss sınıflandırıcıyla elde edilmiştir. Sonuçlar, basit kızılberisi algılayıcıların, uygun sinyal işlemeyle, bilinen uygulamalarının aksine daha fazla bilgi çıkarımında kullanılabileceğini göstermektedir.

Abstract

This study compares the performances of different statistical pattern recognition techniques to differentiation of commonly encountered features or targets in indoor environments, such as planes, corners, edges, and cylinders, using low-cost infrared sensors. The pattern recognition techniques compared include parametric density estimation, mixture of Gaussians, kernel estimator, k-nearest neighbor classifier, neural network classifier, and support vector machine classifier. A correct differentiation rate of 100% is achieved for six surfaces using parametric differentiation. For three geometries covered with seven different surfaces, best correct differentiation rate (100%) is achieved with mixture of Gaussians classifier with three components. The results demonstrate that simple infrared sensors, when coupled with appropriate processing, can be used to extract substantially more information than such devices are commonly employed.

1. Giriş

Hedef ayırdetme, hedeflerin tanınmasının ve ayırdedilmesinin gerektiği akıllı sistemlerde oldukça önemlidir. Ayırdetme ayrıca farklı maddelerin ayırdedilmesinin gerektiği endüstriyel uygulamalarda da önemlidir. Bu çalışmada, ayırdetme için bir alıcı ve vericiden oluşan basit bir kızılberisi algılayıcı sistemi kullanıyoruz. Bu algılayıcılar ucuz, kullanımı ve erişimi kolay aygıtlardır. Fakat, yeğinlik sinyalleri yansıtıcı hedefin geometrisine ve yüzey özelliklerine bağlı olduğundan, basit yeğinlik ölçümleri kullanılarak güvenilir erim kestiriminde bulunmak mümkün değildir. Aynı zamanda, hedeflerin özellikleri, hedefin erimi ve açısal konumu bilinmeden basit yeğinlik ölçümlerinden çıkarılamamaktadır.

Kızılberisi algılayıcıların kullanımına ilişkin ayrıntılı kaynaklar [1]'in giriş kısmında verilmiştir. Bu bildiride, hedef ayırdetmeye ilişkin çeşitli örüntü tanıma tekniklerinin başarımlarını karşılaştıracağız.

Deney düzeneğinin fotoğrafı ve çizimi Şekil 1 ve 2'de verilmiştir. Çalışmada kullanılan hedefler, 120 cm uzunluğunda, düzlem, 90° köşe, 90° kenar ve 4.8 cm yarıçapında silindirden oluşmaktadır.

2. Önceki Çalışmalarımız

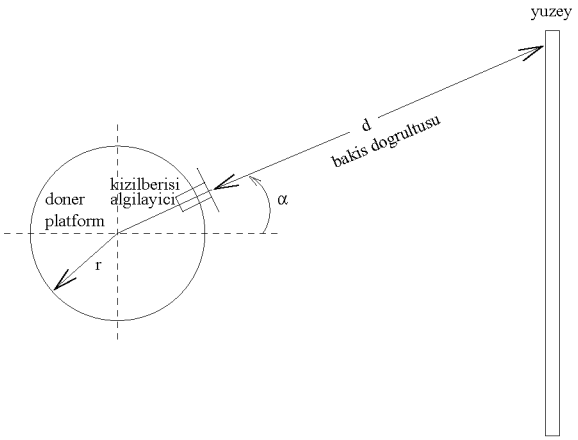
2.1. Kurala Dayalı Ayırdetme:

Basit kızılberisi algılayıcılarla hedef ayırdetmede, ilk olarak, kızılberisi yeğinlik sinyallerinin özelliklerini dikkate alan kurala dayalı bir yöntem geliştirdik. Yöntem, mutlak yeğinlik sinyallerine bağlı kalmaksızın pozisyondan bağımsız hedef ayırdetme gerçekleştirmektedir. Ayırdetmenin ayrıntıları Kaynak [2]'de anlatılmıştır. Dört hedef geometrisinden elde ettiğimiz test verilerine göre, ortalama %91.3 doğru ayırdetme

(a) (b)

Şekil 1: (a) Kızılberisi algılayıcı ve (b) deney düzeneği.

1-4244-0239-5/06/$20.00 ©2006 IEEE



Şekil 2: Deney düzeneğinin üstten görünüşü. Tarama açısı α ve konum açısı θ yatay eksenden saatin dönme yönünün tersi yönünde ölçülmektedir.

oranı elde edilmiştir.

2.2. Referans Sinyallerine Dayalı Ayırdetme:

Referans sinyallerine dayalı ayırdetmede, farklı özelliklere sahip hedeflerden elde edilen, önceden kaydedilen açısal yeğinlik sinyalleri test sinyalleriyle karşılaştırılmaktadır. Ayırdetmede en küçük kareler ve uyumlu süzgeç kullanılmıştır. Çalışmada, farklı geometrik özelliklere ama benzer yüzey özelliklerine sahip (tahta) hedefler [3], aynı düzlem geometriye fakat farklı yüzey özelliklerine sahip hedefler [4] ve hem geometrik hem de yüzey özellikleri değişen hedefler [5] dikkate alınmıştır. İleri sürdüğümüz yöntemi rasgele seçilen konumlara hedefleri yerleştirerek ve test taramaları toplayarak deneysel olarak doğruladık. Farklı geometrik özelliklere fakat benzer yüzeye (tahta) sahip hedefler için, ortalama doğru ayırdetme oranı %97'dir. Farklı yüzeyler için ayırdetme oranı %87 olmaktadır. Hem geometrisi hem de yüzey özellikleri değişen hedefler için ortalama ayırdetme oranı %80 olmaktadır.

2.3. Parametrik Yüzey Ayırdetme:

Parametrik ayırdetmede, tüm kızılberisi yeğinlik taramalarını Bölüm 2.2'de olduğu gibi kullanmak yerine düzlem hedefleri için kızılberisi yeğinlik taramalarını modelleyerek yansıma katsayıları kullanılmıştır [6]. Açısal yeğinlik taramaları, yüzeyler ideal Lambert yüzey olarak kabul edilerek şu şekilde modellenmiştir:

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

Burada, C_0 yüzeyin yansıma katsayısını göstermektedir. C_1 yeğinlik taramalarının uzaklığa göre değişen taban genişliğini denkleştirmek için eklenmiştir. C_2 ise döner platform ile yüzey arasındaki yatay uzaklığı göstermektedir. α ise tarama açısıdır.

Denklem (1)'de verilen modele göre, parametrik eğriler doğrusal olmayan en küçük kareler yöntemiyle referans yeğinlik taramalarına uyarlanmıştır [örneğin Şekil 3(a)]. Referans taramaları için, yüzeyin uzaklığı bilindiğinden C_2 değişken olarak alınmamıştır.

Test taramaları için, doğrusal olmayan eğri uyarlamasından sonra, C_0^*, C_1^* ve C_2^* olmak üzere 3 parametre elde ediyoruz. Karar sürecinde, gözlenen taramanın en büyük değeri ve doğrusal aradeğerleme ile her yüzey türü için referans taramalarından elde edilen C_1 değeri kullanılmaktadır. C_1'in en büyük yeğinlik değerine göre değişimi ayırdedici olduğundan, kararlar $C_1 - C_1^*$ mutlak farkına göre alınmaktadır. En küçük hatayı veren yüzey türü doğru yüzey olarak seçilmektedir.

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 edilmiştir. Ayırdetme oranı yedi yüzey için %86'ya ve altı yüzey için %100'e ulaşmaktadır.

3. Örüntü Tanımaya Dayalı Ayırdetme

Bu bölümde, Bölüm 2.3'te anlatılan parametrik ayırdetme yaklaşımını hedeflerin geometrisini belirlemek için örüntü tanıma tekniklerini kulanarak genişleteceğiz. Gerek model parametrelerinin belirlenmesi gerekse test aşaması parametrik ayırdetme bölümünde anlatılan yöntemle aynıdır. Örnek yeğinlik taramaları ve uyarlama eğrileri ve model parametrelerinin değişimi Şekil 3 ve 4'te sırasıyla verilmiştir.

3.1. Geometrinin Belirlenmesi

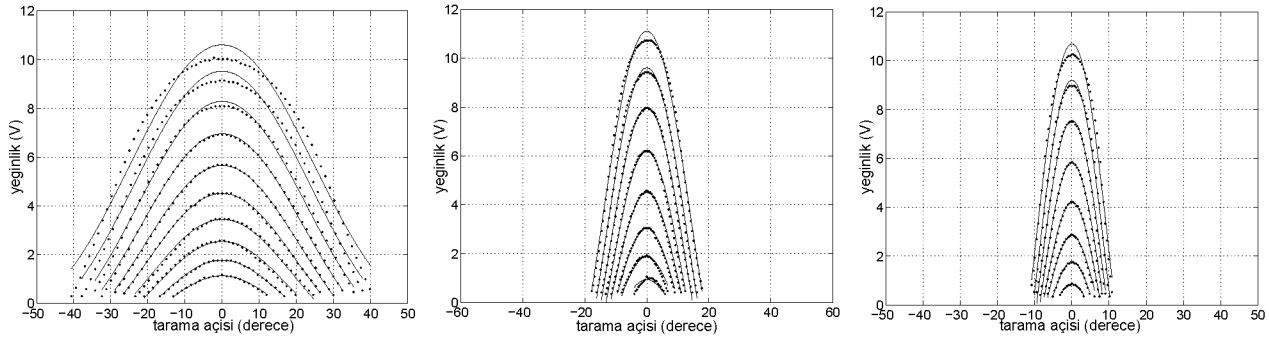
3.1.1. En Büyük Olabilirlik Kestirimi (EBK):

Eğitim [Şekiller 4(a) ve 4(b)] ve test setimize doğrusal ve ikilenik Bayes Gauss sınıflandırıcıları uyguladık [7]. Eğitim seti 3 farklı hedeften oluşmaktadır: 70 düzlem, 55 kenar ve 50 silindir. Test seti ise 84 düzlem, 43 kenar ve 84 silindir hedeflerinden oluşmaktadır. Gauss sınıflandırıcıları eşit ya da keyfi ortak değişinti matrislerine sahiptirler. Diğer olası ortak değişinti durumları da dikkate alındı, ama farklı geometri verileri ilintili olduğundan burada açıklanan durumlardan daha iyi sonuç vermemişlerdir.

(I_{max},C_0) parametre çifti kullanıldığında, eğitim ve test seti için %86.3 ve %20.4 ayırdetme oranları gerçekleştirilmiştir. Keyfi ortak değişinti durumunda ise, bir öncekinden daha iyi olmak üzere, eğitim ve test seti üzerinde doğru ayırdetme oranları sırasıyla %98.3 ve %42.2'dir. (I_{max},C_1) parametre çifti kullanıldığında ise, eşit ortak değişinti matris durumunda eğitim ve test seti için %96.6 ve %98.6 ayırdetme oranları gerçekleştirilmiştir. Test seti için sadece üç kenar hedefi silindir olarak yanlış ayırdedilmiştir. Keyfi ortak değişinti durumunda ise, eğitim setinde doğru ayırdetme oranı %98.3'e yükselmektedir ve test setindeki ayırdetme oranı eşit ortak değişinti durumuyla aynıdır. Gözlenen yeğinlik taramalarının C_0 kestirimleri C_1 kestirimleri kadar ayırdedici olmadığından, biz çalışmanın diğer kısımlarında (I_{max},C_1) öznitelik vektörüne dayalı ayırdetme üzerinde duracağız.

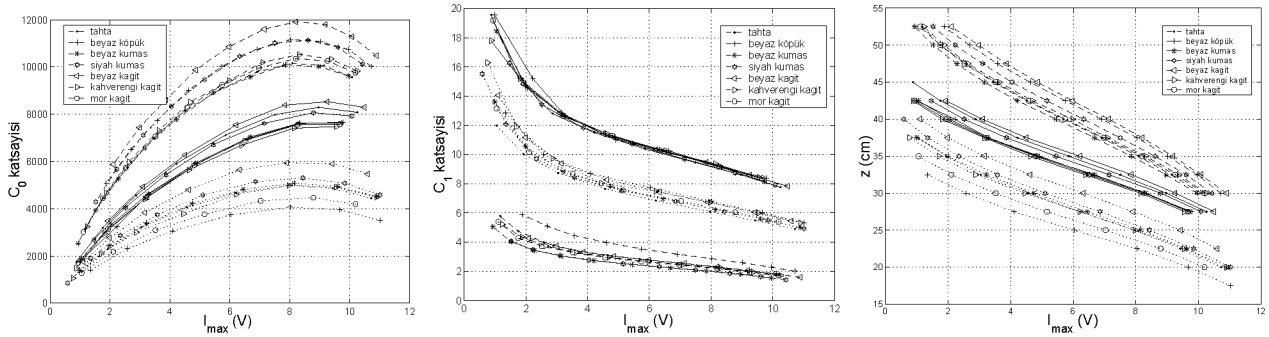
3.1.2. Karma Gauss Sınıflandırıcıları (KGS):

Her hedef türü için, iki ya da üç bileşene sahip karma Gauss sınıflandırıcı kullanılarak yoğunluk kestirimi yapılmıştır. Kestirim, beklenen enbüyütmeye dayalı topaklama kullanılarak yapılmıştır [7]. Her iki varyasyon için de, %100 ayırdetme oranı elde edilmiştir. İki bileşenli durumda, %99.5 doğru



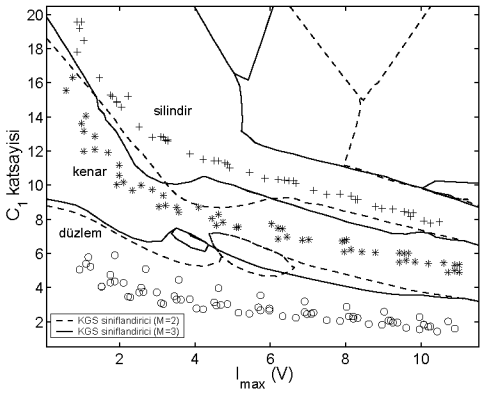
(a) (b) (c)

Şekil 3: Farklı erimlerde tahta hedefler için yeğinlik taramaları (noktalı çizgi) ve eğri uyarlama sonuçları (düz çizgi): (a) düzlem, (b) kenar ve (c) silindir.



(a) (b) (c)

Şekil 4: (a) C_0, (b) C_1 ve (c) z parametrelerinin en büyük yeğinlik değerine göre değişimi (kesikli çizgi düzlemler, düz çizgi silindir ve noktalı çizgi ise kenar hedefleri için).



Şekil 5: C_1 kullanılarak uygulanan karma Gauss sınıflandırıcı için ayırtaç işlevleri.

ayırdetme oranı elde edilmiş, üç bileşenli durumda ise tüm hedefler %100 doğru olarak ayırdedilmişlerdir. Ayırtaç işlevleri Şekil 5'te verilmiştir.

3.1.3. k-en Yakın Komşuluğu (KYK) ve Çekirdek Kestiricisi (ÇK):

En yakın komşuluğunda elemanların sayısı, eleman sayısını azaltarak hatanın eniyilenmesiyle bulunmaktadır. Eğitim setindeki hedefler %100 doğru ayırdedilmişlerdir, test hedeflerinden ise sadece bir kenar hedefi silindir olarak yanlış ayırdedilmiştir. ÇK'ye dayalı sınıflandırıcı kullanıldığında aynı ayırdetme oranları elde edilmiştir.

3.1.4. Yapay Sinir Ağları (YSA):

Yapay sinir ağı sınıflandırıcısı olarak, geriyayılım, Levenberg-Marquardt algoritması ve doğrusal algılama ile eğitilen ileri beslemeli sinir ağı kullanılmaktadır. Ağ, dört nörona sahip saklı katmandan oluşmaktadır. En büyük yineleme sayısı 1000 olarak seçilmiştir. Geriyayılım ile eğitilen ağ, eğitim ve test setindeki hedefleri sırasıyla %98.3 ve %98.6 doğru olarak ayırdetmiştir. Levenberg-Marquardt'a dayalı eğitimde aynı ayırdetme oranı eğitim setinde gerçekleşmiştir. Test setinde ise, geriyayılım ile eğitilme durumuna göre daha iyi sonuç vermiş, sadece bir kenar hedefi silindir olarak yanlış ayırdedilmiştir (%99.5). Model parametrelerinin dağılımından da beklendiği gibi, sınıflar doğrusal olarak ayrılabilir olmadığından doğrusal algılama ile elde edilen ayırdetme sonuçları diğerlerine göre daha kötüdür. Eğitim ve test setinde %77.7 ve %76.3 doğru ayırdetme oranları elde edilmiştir.

3.1.5. Destekçi Vektör Makinası (DVM):

Çalışmada, üç farklı çekirdek tipine sahip DVM sınıflandırıcıları kullanılmıştır: çok terimli, üstel ve radyal. Çok terimli (%84.3 ayırdetme oranı) dışında, eğitim setinde %100 ayırdetme oranı elde edilmiştir. Test setinde, ayırdetme oranları çok terimli, üstel ve radyal için sırasıyla %98.1, %99.5

Tablo 1: Karşılaştırılan yöntemlerin genel sonuçları. (D: düzlem, KÖ: köşe, K: kenar, TA: tahta, AL: aluminyum, BD: beyaz duvar, SK: siyah kumaş, BK: beyaz kağıt, KK: kahverengi kağıt, MK: mor kağıt, BEK: beyaz kumaş, BKÖ: beyaz köpük.)

ayırdetme yöntemi	geometri tipi	yüzey tipi	öznitelik	doğru ayırdetme (%)	eğitim seti	öğrenme	parametrik
kurala dayalı					kullanılıyor, depolanmıyor	hayır	hayır
[2]	D,KÖ,K,S	WO	geometri	91.3			
referans sinyallerine dayalı					kullanılıyor	hayır	hayır
[3]	D,KÖ,K,S	TA	geometri	97			
[4]	D	AL,BD,BK,BKÖ	yüzey	87			
[5]	D,KÖ,K	AL,BEK,BKÖ	geometri	99			
”	”	”	yüzey	81			
”	”	”	geometri+yüzey	80			
parametrik					kullanılıyor, depolanmıyor	evet	evet
[6]	D	BKÖ,BD,BEK(SK), BK,KK,MK	yüzey	100			
istatistiksel örüntü tanıma							
EBK1,2	D,K,S	TA,BKÖ,BEK,SK, BK,KK,MK	geometri	98.6	kullanılıyor, depolanmıyor	hayır	evet
KGS3	”	”	”	100	kullanılıyor, depolanmıyor	hayır	evet
$k-YK$	”	”	”	99.5	kullanılıyor, depolanıyor	hayır	hayır
$ÇK$	”	”	”	99.5	kullanılıyor, depolanıyor	hayır	hayır
YSA LM	”	”	”	99.5	kullanılıyor, depolanmıyor	evet	hayır
DVM E	”	”	”	99.5	kullanılıyor, depolanmıyor	hayır	hayır

ve %99.1'dir.

3.2. Yüzey Tipinin Belirlenmesi

Yüzey tipi belirlenmesi, geometri tipi belirlenmesine göre daha zordur. Bu durum açıkça aynı geometriye sahip yüzeylere ait model parametrelerinin değişiminde görülmektedir (Şekil 4). [6]'da, altı farklı maddeyle kaplı düzlemsel yüzeyler %100 doğru ayırdedilmiştir. Yukarıdaki ayırdetme yöntemleri hedeflerin geometrisinin önceden doğru olarak ayırdedildiği varsayılarak yüzey tipini belirlemede uygulanmıştır. Örneğin, silindir hedefleri için, Gauss yoğunluk tabanlı sınıflandırıcı kullanıldığında ayırdetme hatası %85'e düşmüştür. Bu yüzden yüzey türü belirlemeyle daha fazla uğraşılmamıştır.

4. Sonuçlar

Tablo 1, uygulanan tüm yöntemlerin sonuçlarını karşılaştırmalı olarak vermektedir. Referans sinyallerine dayalı ayırdetmede en iyi sonuçlar *uyumlu süzgeç* yaklaşımında elde edilmektedir. Sonuçlar hedeflerin geometrik özelliklerinin yüzey özelliklerine göre daha baskın olduğunu ve yüzey tipinin sınırlayıcı etken olduğunu göstermektedir. Parametre tabanlı yüzey ayırdetmede, altı farklı yüzey %100 oranla doğru olarak ayırdedilmektedir. Referans taramalarına dayalı yöntemde, dört yüzey için en çok %87 doğru ayırdetme oranı elde edilmiştir. Bu oranlar karşılaştırıldığında, parametrik yaklaşımın doğruluk açısından, ayırdedilen yüzeylerin sayısı açısından ve bellek gereksinimi açısından (parametrik olmayan yaklaşım referans taramalarının kaydedilmesini gerektiriyor) daha üstün olduğu görülmektedir. Parametre tabanlı yüzey ayırdetme yöntemini, örüntü tanıma tekniklerini kullanarak geometri ve yüzey ayırdetmeye genişlettik. En büyük olabilirlik kestirimi, karma Gauss sınıflandırıcıları, k-en yakın komşuluğu, çekirdek kestiricisi, sinir ağları sınıflandırıcıları ve destekçi vektör makinaları gibi farklı teknikler uyguladık. Yedi farklı yüzeyle kaplı üç geometri için, en iyi doğru ayırdetme oranı (%100) üç bileşene sahip karma Gauss sınıflandırıcıyla elde edilmiştir. (I_{max},C_1) değişimi farklı yüzey özelliklerine sahip kenar ve silindir hedefleri için ayırdedici olmadığından, yüzey tipi belirlenmesi geometri tipinin belirlenmesi kadar başarılı olmamıştır.

5. Kaynakça

[1] Ç. Yüzbaşıoğlu ve B. Barshan. Improved range estimation using simple infrared sensors without prior knowledge of surface characteristics. *Meas. Sci. Tech.*, 16:1395–1409, Temmuz 2005.

[2] T. Aytaç ve B. Barshan. Rule-based target differentiation and position estimation based on infrared intensity measurements. *Opt. Eng.*, 42:1766–1771, Haziran 2003.

[3] T. Aytaç ve B. Barshan. Differentiation and localization of targets using infrared sensors. *Opt. Commun.*, 210:25–35, Eylül 2002.

[4] B. Barshan ve T. Aytaç. Position-invariant surface recognition and localization using infrared sensors. *Opt. Eng.*, 42:3589–3594, Aralık 2003.

[5] T. Aytaç ve B. Barshan. Simultaneous extraction of geometry and surface properties of targets using simple infrared sensors. *Opt. Eng.*, 43:2437–2447, Ekim 2004.

[6] T. Aytaç ve B. Barshan. Surface differentiation by parametric modeling of infrared intensity scans. *Opt. Eng.*, 44:1–9, Haziran 2005.

[7] R. P. W. Duin, P. Juszczak, P. Paclik, E. Pekalska, D. de Ridder ve D. M. J. Tax. A Matlab Toolbox for Pattern Recognition, PRTools4. *Delft University Tech.*, 2004.