

OTOMATİK ODAKLAMADA KULLANILAN KISTAS FONKSİYONLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Veysel ASLANTAŞ¹

Şaban ÖZER²

Serkan ÖZTÜRK³

^{1,3}Bilgisayar Mühendisliği Bölümü

²Elektronik Mühendisliği Bölümü

Mühendislik Fakültesi

Erciyes Üniversitesi, 38039, Talas, Kayseri

¹e-posta: aslantas@erciyes.edu.tr

²e-posta: sozer@erciyes.edu.tr

³e-posta: ozturks@erciyes.edu.tr

Anahtar sözcükler: Otomatik Odaklama, Bulanıklık, Netlik Kistasları

ABSTRACT

Automatically obtaining the sharp image of a scene is an important task in computer vision. It has numerous applications in areas such as robotics, medicine and surface science for the purposes of object recognition, scene interpretation, obstacle avoidance, navigation, inspection, assembly and manipulation. Because sharply focused images inherently contain more information than defocused images. A camera can be sharply focused on an object point in different ways. To automate this task, a criterion function is needed to measure the sharpness of focus. This paper first explains the theory of defocused images. Then, the criterion functions are employed for measuring the sharpness of noisy images and their performances are discussed.

1. GİRİŞ

Bir nesnenin net görüntüsünü otomatik olarak elde etmek bilgisayarla görme alanında çok önemlidir ve robotik, mikroskopi, yüzey bilimi gibi alanlarda pek çok uygulamaya sahiptir. Net odaklanmış resimler, odaklanmamış resimlerden daha çok bilgi içerirler.

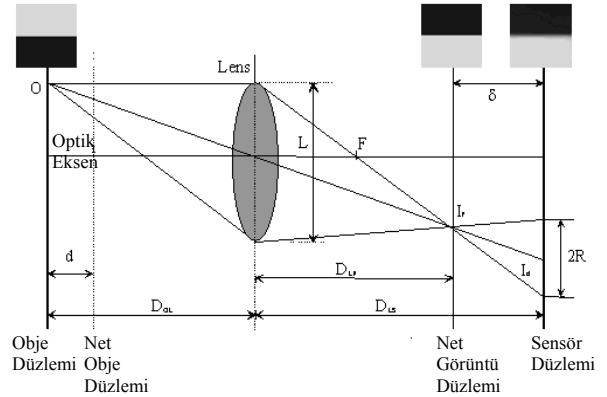
Genel amaçlı bir video kamerayı (CCD) seçilmiş hedeflere otomatik olarak odaklamanın iki kendine özgü problemi vardır:

- 1) Mesafe hakkında herhangi bir bilgi olmadan, bir nesne noktasının net görüntüsü için uygun konumun nasıl belirleneceği
- 2) Net bir görüntü elde edildiğinde, hesaplanacak nesne noktasının mesafesinin nasıl elde edileceği

Şekil 1 de görüldüğü gibi, bir nesne noktasının net görüntüsü dört şekilde elde edilebilir: kamerayı nesneye veya nesneyi kameraya göre hareket ettirerek, lens'i resim sensörüne veya resim sensörünü lense göre hareket ettirerek. Bu işlemi otomatikleştirmek için bir kıstas fonksiyonuna gerek vardır. Bu kıstas fonksiyonu, görüntünün mesafe ölçümü arzulanan bir parçasındaki odaklamanın netliğini değerlendirmede kullanılır. Odaklama, yukarıda bahsedilen

yöntemlerden biri kullanılarak kıstas fonksiyonunun minimum yada maksimum değerinin elde edilmesiyle yapılır. İkinci problem, net görüntünün ve lens parametrelerinin değerlerinin elde edilmesiyle geometrik optik kanunlarını kullanarak çözülmüştür.

Bu bildiriye ilk önce bulanık görüntü teorisi açıklanmıştır. Sonra, görüntülü resimlerin netliğini belirlemek için kıstas fonksiyonları kullanılmış ve bunların performansları karşılaştırılmıştır.



Şekil-1. Temel resim oluşum geometrisi

2. BULANIK GÖRÜNTÜ TEORİSİ

Görüntünün oluşumu, üç boyutlu uzaydaki nesnelerin optik gri tonlarının, 2 boyutlu sensör düzlemine mesafe ağırlıklı iz düşümü olarak tanımlanabilir. Bu bölümde bulanık resim, geometrik optik prensiplerine göre incelenmiştir.

2.1 Bulanıklığın Modellenmesi

Bir optik sistemin dönüşümü, bir konvolüsyon işlemiyle modellenebilir [1]. Bulanık bir görüntü, bir süperpozisyon integrali ile ifade edilebilir;

$$I(x, y) = \iint H(x - \xi, y - \eta, d(\xi, \eta)) S(\xi, \eta) d\xi d\eta \quad (1)$$

Burada, x ve y resmin koordinatları, ξ ve η uzaysal iki değişken, $S(x, y)$ kaynak objenin irradyans dağılımı, $I(x, y)$ sensör düzlemindeki irradyans dağılımı, $d(x, y)$ objeyle, net obje düzlemi (NOD) arasındaki mesafe ve $H(x, y, d)$ nokta dağılım fonksiyonudur (NDF).

Eğer objeyle, NOD arasındaki mesafe sabit ise, NDF $H(x, y, d)$, $H(x, y)$ olarak yazılabilir ve bulanıklık işlemi, bir konvolusyon integrali ile tarif edilebilir;

$$I(x, y) = \iint H(x - \xi, y - \eta) S(\xi, \eta) d\xi d\eta \quad (2)$$

Konvolusyon genellikle \otimes sembolü ile gösterilir. Böylelikle Denklem (2) aşağıdaki hale gelir;

$$I(x, y) = H(x, y) \otimes S(x, y) \quad (3)$$

Fourier domeninde Denklem (3) aşağıdaki gibidir;

$$I(u, v) = H(u, v) S(u, v) \quad (4)$$

Burada; $\{I(x, y), I(u, v)\}$, $\{H(x, y), H(u, v)\}$ ve $\{S(x, y), S(u, v)\}$ fourier çiftleridir. $H(u, v)$ fonksiyonu genellikle optik transfer fonksiyonu (OFT) olarak ifade edilir. Otomatik Odaklama tekniklerinin pek çoğu, $d(x, y)$ mesafe fonksiyonunun yavaş yavaş değiştiğini farz etmektedir. Böylelikle, bu fonksiyon yerel bölgelerde neredeyse sabittir. Dolayısıyla bulanıklık bu bölgelerde konvolusyon integrali sayesinde modellenilebilir.

2.2 Nokta Dağılım Fonksiyonu (NDF) (Point Spread Function, PSF)

Nokta dağılım fonksiyonları, genelde iki şekilde modellenirler. Birincisi, klasik geometrik optik yöntemidir. Işın izleme temeline dayanır ve birinci dereceden bir yaklaşımdır. İkincisi, klasik fiziksel optik yöntemidir. Kırınım teorisine dayanır ve sonuçları kesindir. Bu çalışmada, NDF'nin sadece geometrik optik yöntemi ile modellenmesi dikkate alınmıştır.

Şekil 1'de gösterildiği gibi, O objesi tarafından saçılan ve lense ulaşan bütün ışınlar, odak düzlemindeki I_f noktasında birleştirilmek üzere lens tarafından kırılırlar. Eğer bir resim odaklanılmışsa, net görüntü düzlemi (NGD) ile sensor düzlemi üst üstedir. Yani net bir görüntü elde edilir. Eğer odaklanılmıyorsa, NGD ile sensor düzlemi aynı noktada değildir ve sensor düzlemi üzerinde objenin I_d bulanık görüntüsü oluşur. Bu görüntü, 'bulanıklık daresi (blur circle)' olarak adlandırılan ve $2R$ çapına sahip bir dairesel diskidir. Burada, NDF aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$H_1(x, y) = \begin{cases} \frac{1}{\pi R^2} & , x^2 + y^2 \leq R^2 \\ 0 & , \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (5)$$

Geometrik optiğe göre, bulanıklık daresi içindeki gri ton dağılımının düzgün olduğu varsayılır [1]. Bu konuda değişik dalga boyları ve lens özellikleri dikkate alınarak yapılan çalışmalar sonucunda, en iyi NDF'nin $2B$ Gaussian fonksiyonu şeklinde olduğu bulunmuştur [1,2].

$$H_2(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{(x^2+y^2)}{2\sigma^2}} \quad (6)$$

Burada, σ dağılım parametresidir ve bulanıklık daresi yarıçapı R ile doğru orantılıdır.

$$R = k\sigma \quad (7)$$

Buradaki oransal sabit k , sisteme bağlıdır ve kalibrasyonla belirlenir.

3. KİSTAS FONKSİYONLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Kıstas fonksiyonlarının karşılaştırılması için dört farklı resim kullanılmıştır. Bu resimlerin seçiminde, kıstas fonksiyonlarının farklı tip resimlere uygulanabilirliğinin önemi dikkate alınmıştır.

3.1 Örnek Resimler

a) İki Gri Seviyeli Resim

Şekil 2'de gösterilen bu resim, yazım programında hazırlanmış bir dokümanın resim formatına dönüştürülmüş halidir. Bu resim 0 ve 255 griton değerlerine sahip piksellerden oluştuğu için kıstas fonksiyonlarının değerlendirilmesinde önemlidir.

Net odaklanma, netlik, odaklanma, netlikten dolayı
t. Çözünürlük odaklanma, netlik, odaklanma, netlikten dolayı
netlik, odaklanma, netlik, odaklanma, netlikten dolayı
Genel amaçlı bir resim, kamera (CCD) seçilmiş, netlik
1) Mesafe halledi, herhangi bir bilgi olmadan, bir
2) Net bir görüntü elde edildiğinde, hesaplanacak ne
Şekil 2.1 de görüldüğü gibi, netlik, odaklanma, netlikten dolayı
1) Netlik, odaklanma, netlik, odaklanma, netlikten dolayı
2) Netlik, odaklanma, netlik, odaklanma, netlikten dolayı
[Horn, 1970]. Bu işlemi otomatikleştirmek için bir kitap
ide geliştirilmiştir. [Horn, 1970]. Odaklanma, netlikten dolayı
netlik, odaklanma, netlik, odaklanma, netlikten dolayı
netlik, odaklanma, netlik, odaklanma, netlikten dolayı

Şekil-2. Fonksiyonların Karşılaştırılmasında Kullanılan Yazı Resmi

b) Yüksek Ayrıntılı Resim

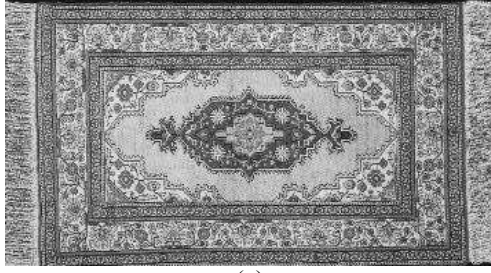
Şekil 3 (a)'da gösterilen bu resmin seçilme sebebi pek çok ayrıntıya sahip olmasıdır. Çünkü pek çok kıstas fonksiyonu bu tür resimler için geliştirilmiştir [3]. Buradaki resim irili ufaklı pek çok kilim desenlerine sahiptir. Desenlerin bazıları yüksek gri ton değişimine sahiptir, bazıları da düşük gri ton değişimine sahiptir.

c) Keskin Kenar Geçişli Resim

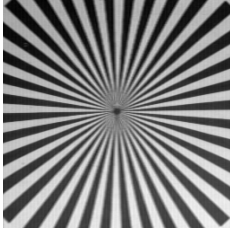
Keskin kenarlara sahip olan bu resim Şekil 3 (b)'de gösterilmiştir. Bu resimde yatay, dikey ve köşegen kenarları bulunan uzun bloklar vardır. Bu yüzden kıstas fonksiyonlarının değerlendirilmesinde önemlidir.

d) Yumuşak Kenar Geçişli Resim

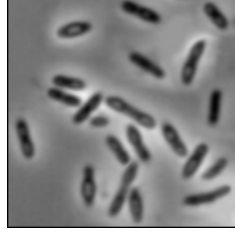
Şekil 3 (c)'de gösterilen bu resim normal bir zemin üzerine koyu renk objelerden (bakteri) oluşur. Objelerin çevrelerinde yumuşak ve keskin geçişler vardır. Bu sebeple kıstas fonksiyonlarının değerlendirilmesinde önemlidir [3].



(a)



(b)



(c)

Şekil-3. Fonksiyonların Karşılaştırılmasında Kullanılan (a) Kilim Resmi (b) TV Test Paterni Resmi (c) Bakteri Resmi

3.2 Kıstas Fonksiyonlarından Beklenen Özellikler
Kıstas fonksiyonlarının seçiminde ve değerlendirilmesinde aşağıdaki özellikler önemlidir [4].

- 1) Görüntü gri tonundaki yüksek frekans değişimlerine cevap vermeli.
- 2) Görüntü alanı tam olarak odaklandığında maksimum veya minimum cevap üretmeli.
- 3) Otomatik odaklamanın hızlı yapılmasına imkan tanınmalı.

3.3 Gürültü Ekleme

Kıstas fonksiyonlarının gürültülü resimlere karşı davranışını belirlemek için resimlere gaussian gürültü eklendi:

$$f(i, j) = s(i, j) + n(i, j) \quad (8)$$

Burada, $s(i, j)$ orijinal resim, $n(i, j)$ gürültü ve $f(i, j)$ gürültülü resimdir. Gürültüler, işaret-gürültü oranının (Signal-to-Noise Ratio, SNR) aşağıda gösterilen tanımına göre eklendi:

$$SNR = \frac{\sigma_s}{\sigma_n} \quad (9)$$

Burada σ_s^2 orijinal resmin varyansı, σ_n^2 gürültünün varyansıdır ve şöyle tanımlanır:

$$\sigma_s^2 = \sum_{x=1}^N \sum_{y=1}^N [s(x, y) - \bar{s}]^2 \quad (10)$$

$$\sigma_n^2 = \sum_{x=1}^N \sum_{y=1}^N [n(x, y)]^2 \quad (11)$$

Burada \bar{s} , S resim bölgesinin gri seviye ortalamasıdır.

$$\bar{s} = \frac{1}{N^2} \sum_{x=1}^N \sum_{y=1}^N s(x, y) \quad (12)$$

3.4 Kıstas Fonksiyonlarının Resimlere Uygulanması

Kıstas fonksiyonlarının değerlendirilmesi için bir dizi resme uygulanması gerekmektedir. Bu yüzden, her bir resim için 70 ayrı bulanık resim oluşturulmuştur. Bu resimler, Denklem (3) ve (6) kullanılarak sigma değerleri -7 'den başlayıp $+7$ 'ye kadar 0,2 adım aralıklarla değiştirilerek üretilmişlerdir.

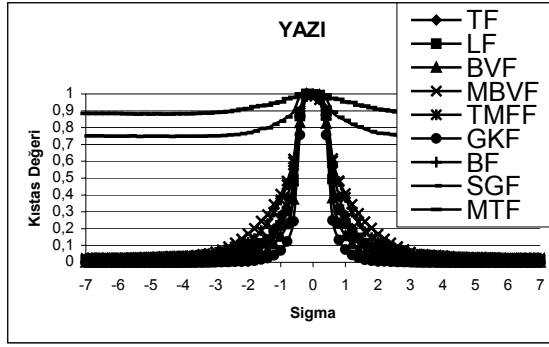
Gradient tabanlı fonksiyonlardan Tenengrad [5,6], Toplam-Modül-Farkı [7], Gradient Kare [8], Brenner [9] ve Laplacian [8] fonksiyonları, Kontrast tabanlı fonksiyonlardan Varyans [10], Normalleştirilmiş Varyans [10], Mutlak Varyans [3], Normalleştirilmiş Mutlak Varyans [3], Bölgesel Varyans [11] ve Mutlak Bölgesel Varyans [11] fonksiyonları, Histogram tabanlı fonksiyonlardan Uzaklık [12], Mendelsohn ve Mayall [13], Mason ve Green [14], Histogram Entropi [13] ve Bölgesel Maksimum Minimum [11] fonksiyonları, Tepe Yüksekliği ve Çukur Derinliği tabanlı fonksiyonlardan Sinyal Gücü fonksiyonu [14] ve Moment tabanlı fonksiyonlardan, her iki yöndeki bilgiyi kullanan her iki yöndeki bilgiyi kullanan M_3 fonksiyonu [15] değerlendirmede kullanılmıştır. Tenengrad Fonksiyonunda eşik değeri 0 seçilmiştir. Mendelsohn ve Mayall fonksiyonunda eşik değeri ortalama gri tona ayarlanmıştır.

Kıstas fonksiyonları için değerlendirme penceresi 20×20 olarak seçilmiştir. Değerlendirmede kullanılan resimlere Denklem (9)'a göre $SNR = 6dB$ olacak şekilde gaussian gürültü eklenmiştir.

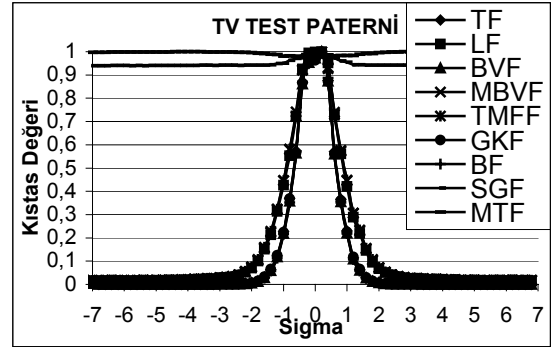
Bütün karşılaştırma sonuçları Şekil 4-11'de gösterilmiştir. Değerlendirmenin kolay yapılabilmesi için her bir kıstas fonksiyonunun değerleri o fonksiyonun maksimum değerine bölünmüştür. Böylece bütün kıstas fonksiyonlarının tepe değeri 1 olmuştur.

4. SONUÇLAR

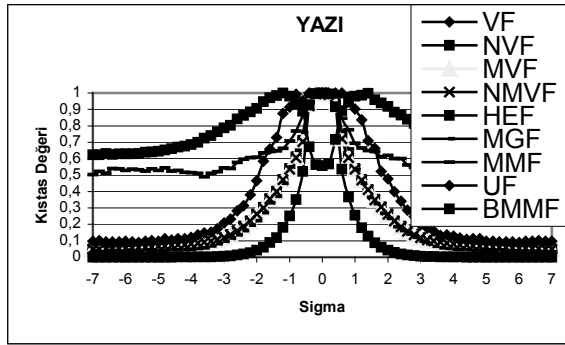
Yazı resminde Histogram Entropi fonksiyonu hariç diğer fonksiyonlar başarılı olmuştur. Kontrast tabanlı fonksiyonlar gürültüden daha az etkilenmelerine rağmen, maksimum nokta etrafındaki değerlerin birbirine yakın olması sebebiyle daha geniş tepe değerlerine sahiptir. Sinyal Gücü fonksiyonu ve Moment tabanlı fonksiyon yatık bir eğri vermiştir. Yani çok bulanık bir resim ile net resim arasındaki kıstas değeri çok fazla değildir.



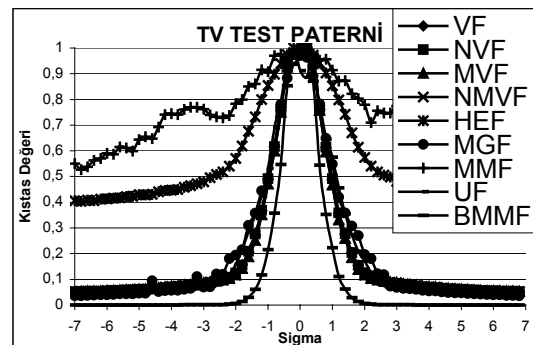
Şekil-4 TF, LF, BVF, MBVF, TMFF, GKF, BF, SGF ve MTF fonksiyonlarının Yazı resmi için karşılaştırılması



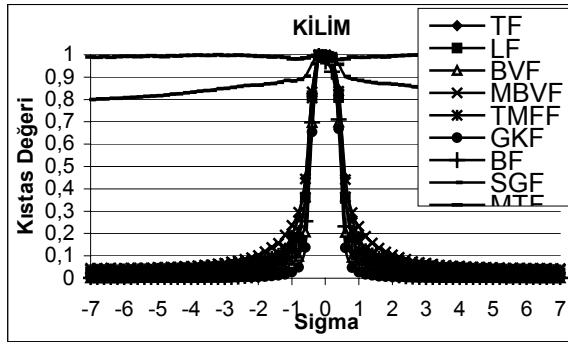
Şekil-8 TF, LF, BVF, MBVF, TMFF, GKF, BF, SGF ve MTF fonksiyonlarının TV test paterni resmi için karşılaştırılması



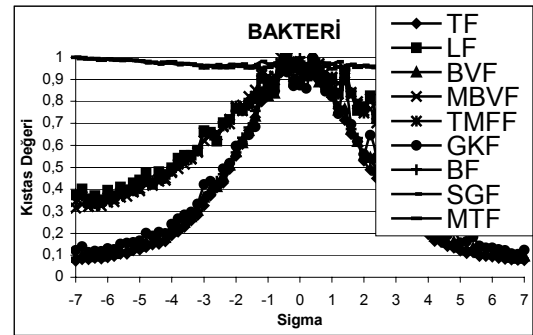
Şekil-5 VF, NVF, MVF, NMVF, HEF, MGF, MMF, UF ve BMMF fonksiyonlarının Yazı resmi için karşılaştırılması



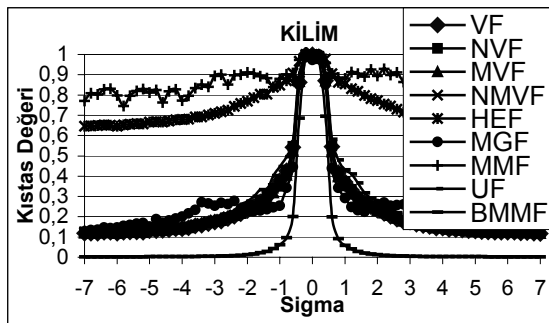
Şekil-9 VF, NVF, MVF, NMVF, HEF, MGF, MMF, UF ve BMMF fonksiyonlarının TV test paterni resmi için karşılaştırılması



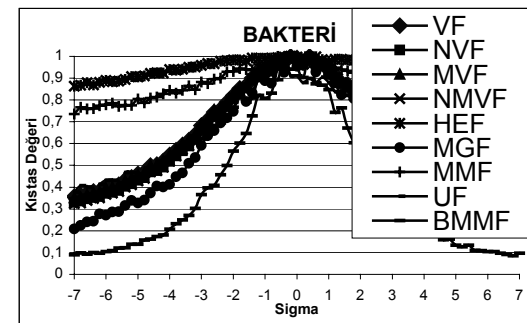
Şekil-6 TF, LF, BVF, MBVF, TMFF, GKF, BF, SGF ve MTF fonksiyonlarının Kilim resmi için karşılaştırılması



Şekil-10 TF, LF, BVF, MBVF, TMFF, GKF, BF, SGF ve MTF fonksiyonlarının Bakteri resmi için karşılaştırılması



Şekil-7 VF, NVF, MVF, NMVF, HEF, MGF, MMF, UF ve BMMF fonksiyonlarının Kilim resmi için karşılaştırılması



Şekil-11 VF, NVF, MVF, NMVF, HEF, MGF, MMF, UF ve BMMF fonksiyonlarının Bakteri resmi için karşılaştırılması

Kilim resminde Moment tabanlı fonksiyon hariç diğer fonksiyonlar başarılı olmuştur. Histogram tabanlı kıstas fonksiyonlarından Histogram Entropi fonksiyonu hariç diğer fonksiyonlar tepe değeri haricinde inişli çıkışlı eğriler vermiştir. Yani gürültüden çok etkilenmişlerdir. Histogram Entropi fonksiyonu ve Sinyal Gücü fonksiyonu gürültüden etkilenmemesine rağmen yatık bir eğri vermiştir.

Tv Test Paterni resminde Uzaklık fonksiyonu ve Moment tabanlı fonksiyon hariç diğer fonksiyonlar başarılı olmuştur. Mendelsohn ve Mayall fonksiyonu tepe değeri haricinde inişli çıkışlı eğriler vermiştir.

Bakteri resminde Laplacian fonksiyonu, Toplam-Modül-Farkı fonksiyonu, Gradient Kare fonksiyonu, Sinyal Gücü fonksiyonu ve Moment Tabanlı fonksiyon başarılı olamamıştır. Histogram Entropi fonksiyonu ve Mendelsohn ve Mayall fonksiyonu gürültüden etkilenmemesine rağmen yatık bir eğri vermiştir.

Sonuç olarak Gradient tabanlı fonksiyonların her türlü resim için uygulanabilir olduğu ve iyi sonuç verdiği görülmüştür. Kontrast tabanlı fonksiyonların gürültüden en az etkilendiği ve her türlü resim için uygulanabilir olduğu görülmüştür. Fakat tepe değerlerinin geniş olmasından dolayı tercih edilmemelidir. Histogram tabanlı fonksiyonlar hesaplama yükünün yanı sıra, her resim türü için iyi sonuç vermemiştir. Düşük kontrastlı ve yumuşak kenar geçişli resimlerde Sinyal Gücü fonksiyonu başarılı olamamıştır. Moment tabanlı fonksiyon değerlendirme penceresinin çevresi ayrıntıya sahip olan resimlerde (Kilim, Tv Test Paterni ve Bakteri resimlerinde) başarılı olamamıştır.

Kıstas fonksiyonlarından görüntü alanı tam olarak odaklandığında maksimum veya minimum cevap üretmesi ve bu cevabın her iki yanında monoton bir artma veya azalma olmalısı beklenir. Bu özellik Histogram tabanlı fonksiyonlar hariç diğer fonksiyonlarda görülmüştür.

Fonksiyonları hesaplama yükü bakımından karşılaştırdığımızda pencere tabanlı fonksiyonların (TF, LF, BVF gibi) ve Histogram tabanlı fonksiyonların çok fazla hesaplama gerektirdiği görülür.

18 kıstas fonksiyonu değerlendirilmiştir. Gürültüden az etkilenen ve hassas olanı Tenengrad fonksiyonu ve Bölgesel Varyans fonksiyonudur.

REFERANSLAR

- [1] Horn, B.K.P. Robot Vision, MCGRAW-HILL, New York, 1986
- [2] Aslantaş, V. New Techniques For Determining Depth From Defocusing, Ph.D Thesis,

- UNIVERSITY OF WALES, United Kingdom, 1997.
- [3] Groen, F.C.A., Young, I.T. and Lighthart, G. A Comparison of Different Focus Functions for Use in Autofocus Algorithms, CYTOMETRY, No.6, p.81-91, 1985
- [4] Aslantaş, V. Criterion Functions for Automatic Focusing, p.301-311, THE TENTH TURKISH SYMPOSIUM ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND NEURAL NETWORKS, June 21-22, 2001, Gazimagusa
- [5] Schlag, J.F., Sanderson, A.C., Neuman, C.P. and Wimberly, F.C. Implementation of Automatic Focusing Algorithms for a Computer Vision System with Camera Control, CMU-RI-TR-83-14, ROBOTICS INSTITUTION, Carnegie Mellon University, 1983
- [6] Tenenbaum, J.M. Accommodation in Computer Vision, PhD Thesis, STANFORD UNIVERSITY, USA, 1970
- [7] Jarvis, R.A. Focus Optimisation Criteria for Computer Image Processing, MICROSCOPE, Vol.24, No.2, p.163-180, 1976
- [8] Muller, R.A. and Buffington, A. Real-Time Correction of Atmospherically Degraded Telescope Images Through Image Sharpening, JOURNAL OF OPTICAL SOCIETY OF AMERICA, Vol.64, p.1200-1203. 1974
- [9] Brenner, J.F., Dew, B.S., Horton, J.B., King, T., Neirath, P.W. and Seller, W.D. An Automated Microscope for Cytologic Research, JOURNAL OF HISTOCHEMISTRY AND CYTOCHEMISTRY, Vol.24, p.100-111, 1984
- [10] Kernforschungszentrum Karlsruhe GMBH, Verfahren und Einrichtung zur automatischen Scharfeinstellung eines jeden Bildpunktes eines Bildes, PATENT SPECIFICATION PLA 7907, Karlsruhe, Germany, 1979
- [11] Aslantaş, V., Otomatik Odaklamada Yeni Metodlar, Teknik Rapor 1, ERCİYES ÜNİVERSİTESİ, Bilgisayar Müh. Bölümü, Kayseri, 2002
- [12] Firestone, L., Cook, K., Culp, K., Talsania, N. and Preston, Jr.K., Comparison of Autofocus Methods for Automated Microscopy, CYTOMETRY, Vol.12, p.195-206, 1991
- [13] Mendelsohn, M.L. and Mayall, B.H. Computer-Oriented Analysis of Human Chromosomes, COMPUTER BIOL MED, Vol.2, p.137-150, 1972
- [14] Mason, D.C. and Green, D.K. Automatic Focusing of a Computer-Controlled Microscope, IEEE TRANSACTIONS ON BIOMEDICAL ENGINEERING, BME, Vol.22, p.312-317, 1975
- [15] Zhang, Y. and Wen, C. A New Focus Measure Method Using moments, IMAGE AND VISION COMPUTING, Vol.18, p.959-965, 2000