

Bulanıklık Tespiti Birikimli Olasılığına Dayalı Kızılötesi Kamera Otomatik Odaklanması Autofocus of Infrared Cameras Based On the Cumulative Probability of Blur Detection

Serdar Çakır^{1,2}

1. TÜBİTAK BİLGEM İLTAREN

Ankara, Türkiye

E-posta: serdar.cakir@tubitak.gov.tr

A. Enis Çetin²

2. BİLKENT ÜNİVERSİTESİ

Ankara, Türkiye

E-posta: {cakir,cetin}@bilkent.edu.tr

Özetçe —Nesne iz ölçümü ve analizinde kızılötesi (KÖ) kameralar önemli bir rol oynamaktadır. Özellikle araştırma ve askeri amaçlı kullanılan bilimsel KÖ kameralarda odaklama el ile yapılmakta ve bu durum alınan ölçümün hassasiyet ve güvenilirliğini azaltmaktadır. Otomatik kamera odaklama algoritmaları imgeden çeşitli öznitelikler çıkararak en iyi odak noktası için bir ölçüt belirlemeye çalışmaktadır. Bu çalışmada, imge kalite değerlendirilmesinde kullanılan dayanaksız (referanssız) bir bulanıklık ölçütü bir takım uyarlamalardan geçirilmekte ve uyarlanan bu ölçüt KÖ kamera otomatik odaklanması problemi için önerilmektedir. Gerçekleştirilen deneysel çalışmalar önerilen yöntemin KÖ kamera otomatik odaklanması probleminde başarıyla kullanılabileceğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler—Kızılötesi kamera otomatik odaklanması, kızılötesi kamera, odaklama algoritmaları, imge kalite değerlendirmesi, bulanıklık tespiti birikimli olasılığı

Abstract—The infrared (IR) cameras plays an important role in the measurement and analysis of object signature. However, especially the scientific IR cameras that are used for research and military purposes have manual focusing system that reduces the sensitivity and reliability of the measurement taken. Camera autofocus algorithms extract various features from the camera images in order to define a measure for determining the most focused camera image instance. In this work, a no-reference image quality measure is modified and the modified measure is proposed for the autofocus of infrared cameras. Experimental results show that the proposed measure can be used in the problem of autofocus of infrared cameras, successfully.

Keywords—Autofocus of infrared cameras, infrared cameras, autofocus algorithms, image quality assessment, cumulative probability of blur detection

I. GİRİŞ

Kamera odaklanması, kameranın ya da ilgilenilen nesnenin konumunun değişmesi sonucu kaybolan nesne detaylarını tekrar elde etmek üzere gerçekleştirilen bir doğal gerekliliktir. Kamera odaklanmasında genellikle imge keskinliğine dayanan yöntemler kullanılmaktadır [1], [2]. Bu yöntemler öncelikle imge dizisindeki her bir imgenin odaklama ölçütünü belirlemekte, daha sonra da en iyi odaklama ölçütünü sağlayan lens konumunu odak noktası olarak belirlemektedir. Literatürde otomatik kamera odaklanması için Sobel gradyan yöntemi [3], Laplas işlecine dayalı yöntemler [4], [5], ayrık

kosinüs dönüşümü [6] ve dalgacık dönüşümü [7] gibi bir çok yöntem önerilmiştir.

Çok ortamlı verinin (multimedya) ve özellikle imge/video yayınlarının/paylaşımının yaygınlaşması ile birlikte, veri kodlama teknikleri ve aktarım kanalları kaynaklı veri üzerinde meydana gelen bozulmalar, verinin kalitesini belirleyen nesnel bir ölçüt tanımlanması gerekliliği ortaya çıkarmıştır [8]. Bu kapsamda birçok “imge kalite değerlendirilmesi” çalışmaları gerçekleştirilmiştir [9]. Bu çalışmalarda geliştirilen imge kalite ölçütleri dayanak (referans) veri ihtiyacına göre dayanaksız [10], azaltılmış dayanaklı [11] ve tam dayanaklı [12] imge kalite ölçütleri olmak üzere üç ana sınıfa ayrılmaktadır. Eğer geliştirilen ölçüt dayanak veriye ihtiyaç duymuyorsa dayanaksız ölçüt, dayanak verisinin bir kısmına veya dayanak verisinden çıkarılan özniteliklere ihtiyaç duyuyorsa azaltılmış dayanaklı, dayanak verisinin tamamına ihtiyaç duyuyorsa tam dayanaklı ölçüt olarak tanımlanmaktadır.

Önerilen çalışmada, KÖ kamera otomatik odaklanması için, bulanıklık tespiti tabanlı dayanaksız imge kalite değerlendirme ölçütü kullanılmıştır [13]. İlgili kalite ölçütü üzerinde bir takım uyarlamalar yapılmış ve önerilen ölçüt iç ve dış mekan olmak üzere iki farklı imge dizisi üzerine uygulanarak deneysel sonuçlar rapor edilmiştir.

II. BULANIKLIK TESPİTİ BİRİKİMLİ OLASILIĞI (BTBO)

Çalışma [10]’da “hissedilebilir seviyede bulanıklık (HSB)” kavramına dayalı bir keskinlik ölçütü tanımlanmış ve gerçekleştirilen testlerde ölçütün, literatürdeki benzerlerine göre daha yüksek başarımla sağladığı gözlenmiştir. Çalışmada, sabit bir arkaplan yeşinliği üzerine yerleştirilmiş sabit yeşinlikli karesel nesne üzerindeki bulanıklık etkisinin tespit olasılığı öznel testler vasıtasıyla elde edilmektedir. Kare şeklindeki nesne ve arkaplan imgesi yeşinliklikleri, aralarındaki fark “hissedilebilir seviyede fark”dan büyük olacak şekilde seçilmektedir. Kare şeklindeki nesne farklı standart sapmaya (σ) sahip 7×7 Gauss çekirdekler ile bulandırılmakta, her bir (σ)’ya karşılık gelen bulanıklık tespit olasılığı öznel testlerden elde edilmektedir. Bu örnekleme noktaları üzerinde, Denklem 1’de verilen psikometrik fonksiyon vasıtası ile belirli bir karşılık (C)

değeri için eğri uydurma gerçekleştirilmektedir.

$$P = 1 - \exp\left(-\left|\frac{\sigma}{\sigma_{HSB}}\right|^{\beta}\right) \quad (1)$$

Bu denklemde β eğri uydurma parametresini, σ_{HSB} ise HSB eşliğine karşılık gelen standart sapma değerini ifade etmektedir. Çalışma [14]'de σ_{JNB} , 0.63 olasılığa karşılık gelen standart sapma olarak seçilmiş, ve 0.63 olasılığa sahip nokta, "algısal olarak kayıpsız kodlama noktası" olarak belirtilmiştir. Elde edilen HSB eşliği, belirli bir karşıtlığa sahip bir bölgedeki bir kenar üzerindeki bulanıklık eşliğini sağlamaktadır. İmge üzerindeki tüm kenar üzerinden bir bulanıklık/keskinlik ölçütü çıkarmak adına, Denklem 1'de verilen ifade değiştirilerek Denklem 2'de verilen ifadeye dönüştürülmüştür.

$$P_{BUL} = P_{BUL}(e_i) = 1 - \exp\left(-\left|\frac{w(e_i)}{w_{HSB}(e_i)}\right|^{\beta}\right) \quad (2)$$

Bu denklemde, $P_{BUL}(e_i)$ i . indisli kenara ait bulanıklık tespit olasılığını, $w(e_i)$ ilgili kenara ait ölçülen kenar uzunluğunu [15], $w_{HSB}(e_i)$ ise kenarın bulunduğu bloğun karşıtlığına (C) göre değişen HSB genişliğini ifade etmektedir. Gerçekleştirilen öznel testler sonucu HSB genişliği Denklem 3'de görüldüğü gibi belirlenmiştir [10].

$$w_{HSB}(e_i) = \begin{cases} 5, & C \leq 50 \\ 3, & C > 50 \end{cases} \quad (3)$$

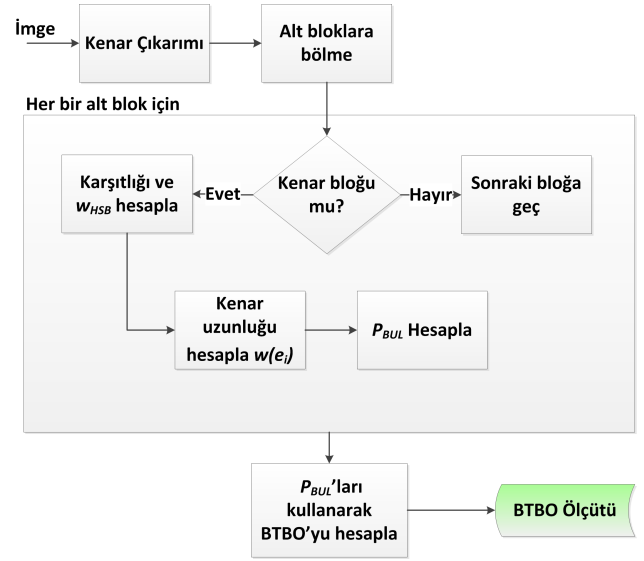
Çalışma [10]'da, bulanıklık etkisinin HSB eşliğinin altında olduğu durumlarda hissedilebilir derecede olmadığı gerçeği gözardı edilmiştir. Bu çalışmayı temel alarak gerçekleştirilen diğer bir çalışmada, bulanıklık tespit olasılığının değerlendirilmesinde HSB olasılığının etkisi göz önüne alınmıştır [13]. Her bir kenar pikseli üzerinden hesap edilen olasılık değerleri, bulanıklık tespit olasılığı hesabı gerçekleştirilen imgedeki tüm kenarların düzelenmiş histogramına karşılık gelen BTBO ölçütünü oluşturmak üzere bir araya gelecek nesnel bir bulanıklık/keskinlik ölçütü hesabına katkı sağlamaktadır. Denklem 4'te hesaplanması verilen BTBO ölçütü (η), HSB olasılığından ($P_{HSB} = 0.63$) daha düşük bulanıklık tespit olasılığına sahip kenar yüzdesine karşılık gelmektedir.

$$\eta = P(P_{BUL} \leq P_{HSB}) = \sum_{P_{BUL}=0}^{P_{BUL}=P_{HSB}} P(P_{BUL}) \quad (4)$$

Diğer bir deyişle BTBO, bulanıklık etkisi algılanamayan kenar sayısının toplam kenar sayısına oranıdır. Bu yüzden yüksek BTBO ölçütüne sahip bir imge daha keskin bir imge olarak addedilebilmektedir. Şekil 1'de BTBO ölçütü hesap yöntemini özetleyen bir akış diyagramı verilmektedir.

III. BTBO TABANLI KIZILÖTESİ KAMERA OTOMATİK ODAKLANMA ALGORİTMASI

Çalışma [13]'de önerilen BTBO ölçütü, Gaussian ile bulanırılmış ve JPEG2000 algoritmasıyla sıkıştırılmış imgeler üzerindeki bulanıklığın ölçülmesi ve ilgili imgelere kalite atanması probleminde kullanılmıştır. BTBO hesabı kenar çıkarımında Canny ve Sobel kenar çıkarım yöntemlerinden faydalanılmıştır. BTBO ölçütü imgeler üzerindeki bulanıklığın ölçülmesi amacıyla kullanıldığından imge kenar çıkarımında eşik değerleri düşük tutularak çok fazla kenar elde edilmiştir.



Şekil 1. BTBO ölçütü hesaplama yöntemi

Fakat KÖ kamera odaklanmasında, kamera üzerindeki sabit örüntüye sahip gürültü ve odaklanmamış kamera etkilerinden kaynaklanan örüntüler üzerinden çıkarılan kenarlar BTBO algoritmasının yanlış çalışmasına neden olmaktadır. Bu nedenlerden dolayı, BTBO ölçütünün KÖ kamera otomatik odaklanmasında kullanılabilmesi için, BTBO hesaplama algoritması üzerinde bir takım ayarlamalar yapılması gerekmektedir. BTBO hesaplama algoritması üzerinde gerçekleştirilen ilk ayarlama, kenar çıkarım algoritmasının değiştirilmesidir. Odağı bozulmuş kamera görüntülerinden gereksiz kenarların atılması amacı ile "Laplas işleminde geçirilmiş Gauss" yöntemi, hassasiyet eşliğiyle birlikte kullanılmıştır. Böylelikle KÖ imge üzerindeki zayıf kenarlar elenmektedir. BTBO ölçütünün hassasiyet eşliğiyle elde edilen kenarlar üzerinden hesaplanması bir başka sorunun ortaya çıkmasına neden olmuştur. Kenar çıkarımı sonrası elde edilen kenar imgesinde çok az kenarın olması ve bu kenarlar üzerindeki bulanıklık tespit olasılığının P_{HSB} 'den küçük olması durumunda BTBO ölçütü oldukça yüksek çıkmakta ve bu yüksek ölçüt değerleri kamera odaklanmasında olumsuz bir rol oynamaktadır. Bu durumun önlenmesi amacı ile BTBO ölçütü hesap yöntemi üzerinde yapılan diğer bir ayarlama ise BTBO ölçütünün "kenarlılık ölçütü" (ξ) ile ağırlıklandırılmasıdır. Gerçekleştirilen bu ayarlamalar sonucu ortaya çıkan BTBO hesaplama yöntemine ait akış diyagramı Şekil 2'de verilmektedir.

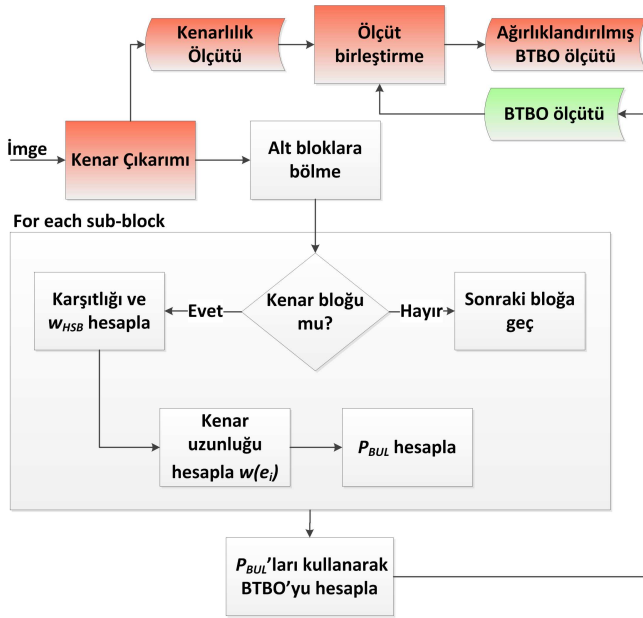
Kenarlılık ölçütü ξ kenar piksellerinin sayısına bağlı olarak Denklem 5'te görüldüğü gibi tanımlanmaktadır.

$$\xi = \frac{\sum_{i=1}^H \sum_{j=1}^W E(i, j)}{H \times W} \quad (5)$$

Burada, E kenar imgesini, H ve W ise sırasıyla girdi imgesinin yükseklik ve genişliğini belirtmektedir. Denklem 5'te tanımlanan kenarlılık ölçütü Denklem 6'te verilen BTBO ağırlıklandırılmasında kullanılmaktadır.

$$\eta_A = \eta \times \xi \quad (6)$$

Uyarlanmış BTBO yöntemi ile elde edilen η_A ölçütü KÖ

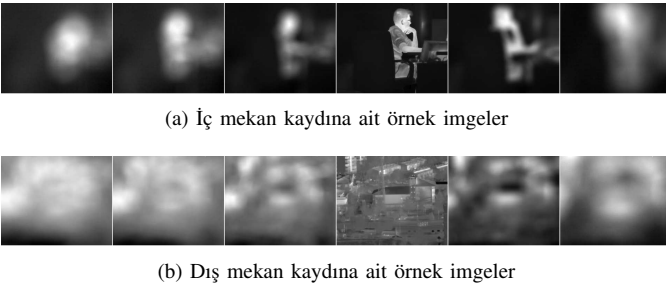


Şekil 2. Uyarlanmış BTBO ölçütü hesaplama yöntemi

kamera otomatik odaklanmasında kullanılmakta, ölçütü ilgili deneysel çalışmalar bir sonraki bölümde detaylandırılmaktadır.

IV. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Deneysel çalışmalarda, uzun-dalga bandında çalışan KÖ kamerayla 50 çerçeve/saniye hızında kaydedilen imge dizileri kullanılmaktadır. KÖ kameradan elde edilen imgeler 320×256 boyutunda olup, üzerlerindeki noktasal gürültünün giderilmesi amacıyla bir ön işleme safhasına maruz bırakılmaktadır. Kamera otomatik odaklanmasının testi amacıyla, kameranın sabitlenerek kayıt aldığı senaryolarda, kameranın odağı en uzaktan en yakına olacak şekilde 50mm'lik kamera lensi üzerinden yavaş yavaş değiştirilmektedir. Deneysel çalışmalarda kullanılan biri iç diğeri dış mekanda kayıt edilen imge dizilerine ait örnek imgeler Şekil 3'de gösterilmektedir.



Şekil 3. Kamera otomatik odaklanması için elde edilen KÖ görüntü örnekleri

Gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda, KÖ imge dizilerindeki her bir imge için keskinlik ölçütü hesabı yapılmış, en yüksek keskinlik ölçütünü sağlayan imge, ilgili imge dizisinin en iyi odak noktası olarak belirlenmiştir. Keskinlik ölçütü hesabında klasik BTBO ve bu çalışmada önerilen uyarlanmış BTBO kullanılmıştır.

Toplamda 2583 imge içeren iç mekan imge dizisinin en iyi odaklı imge indisinin belirlenmesi amacı ile dizindeki her bir

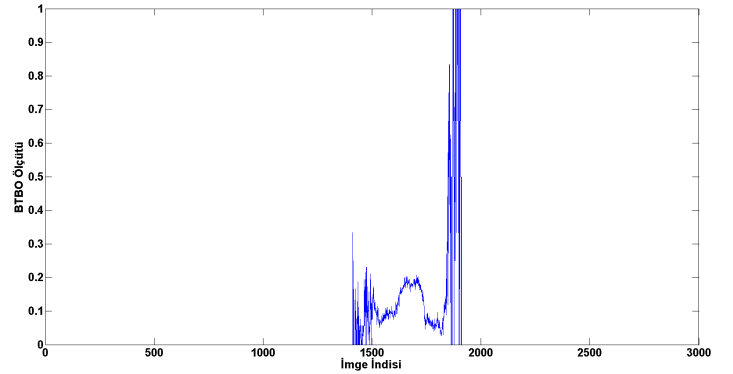
imge için klasik ve uyarlanmış BTBO ölçütleri hesaplanmıştır. Her ölçütün en yüksek hesaplandığı imge indisi, ilgili ölçütün belirlediği en iyi odak noktası olarak belirlenmektedir. Klasik BTBO ve önerilen ölçüt ile elde edilen en iyi odak noktası imgeleri Şekil 4'te ve ilgili ölçütlerin imge indislerindeki değişimi Şekil 5'te gösterilmektedir.



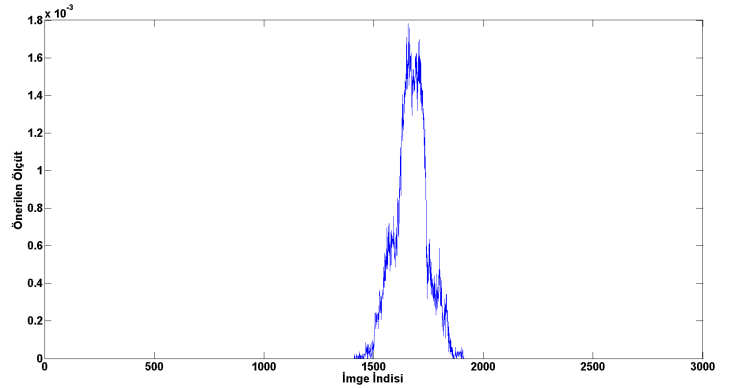
(a) Klasik BTBO Ölçütü

(b) Önerilen Ölçüt

Şekil 4. İç mekan imge dizisinde klasik BTBO ölçütü ve önerilen ölçüt ile elde edilen en iyi odak noktasına karşılık gelen imgeler



(a) Klasik BTBO Ölçütü



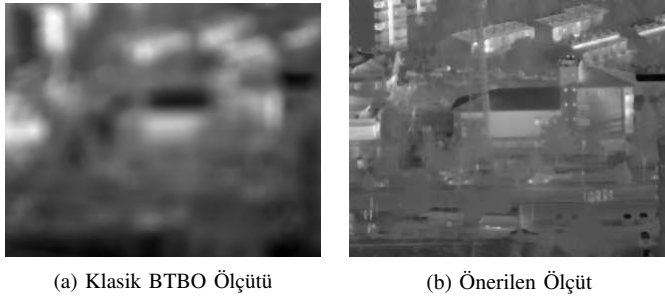
(b) Önerilen Ölçüt

Şekil 5. İç mekan imge dizisinde klasik BTBO ölçütü ve önerilen ölçütün imge indisine göre değişimi

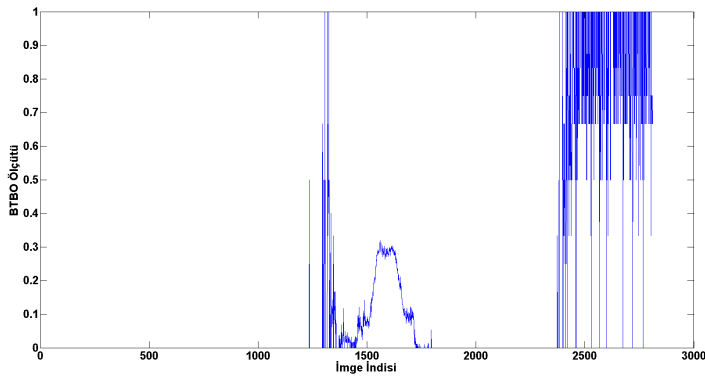
Şekil 4 ve Şekil 5'den görülebileceği gibi önerilen uyarlanmış BTBO ölçütü daha iyi odaklanmış bir imgeyi, imge odak noktası olarak belirlemiştir. Bu durum, klasik BTBO'nun Bölüm III'de açıklanan yetersiz kenar çıkarıldığı durumlardaki yanıltıcı ölçüt sonuçları sağlamasından kaynaklanmakta, önerilen uyarlanmış BTBO ölçütü kenarlık ölçütünden faydalanarak daha güvenilir bir keskinlik ölçütü sağlamaktadır. Böylelikle önerilen yöntem, KÖ kamera otomatik odaklanması

V. SONUÇ

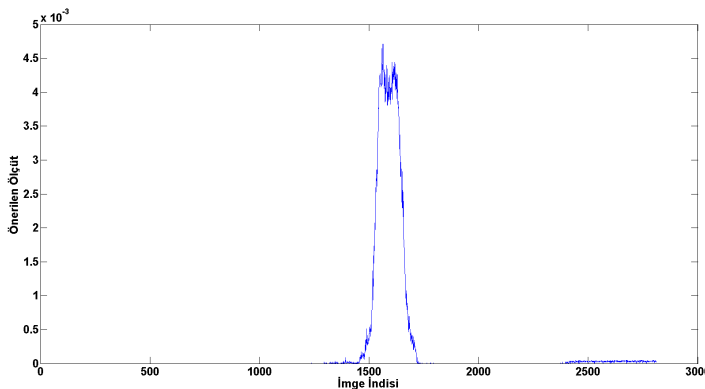
2813 imgeden oluşan dış mekan imge dizisinde de en iyi odaklı imge indisinin belirlenmesi amacı iç mekan imge dizisi üzerinde gerçekleştirilen ölçüt hesap yöntemi tekrarlanmıştır. Gerçekleştirilen dış mekan imge dizisi sonucunda klasik BTBO ve önerilen ölçüt ile elde edilen en iyi odak noktası imgeleri Şekil 6'da ve ilgili ölçütlerin imge indislerindeki değişimi Şekil 7'de gösterilmektedir.



Şekil 6. Dış mekan imge dizisinde klasik BTBO ölçütü ve önerilen ölçüt ile elde edilen en iyi odak noktasına karşılık gelen imgeler



(a) Klasik BTBO Ölçütü



(b) Önerilen Ölçüt

Şekil 7. Dış mekan imge dizisinde klasik BTBO ölçütü ve önerilen ölçütün imge indisine göre değişimi

Şekil 6 ve Şekil 7'de sunulan dış mekan dizine ait sonuçlar, önerilen yöntemin daha iyi bir kamera odak noktası sağladığını göstermektedir. Önerilen yöntem ayrıca, sadece kenar sayısı gözetilen ve literatürde sıkça kullanılan ölçütlerden imge detayları açısından daha iyi bir otomatik odaklanma sağlamıştır. 1978

Bu çalışmada, imge kalite değerlendirmesinde başarılı olarak kullanılan BTBO ölçütünün KÖ kamera otomatik odaklanmasında kullanılması amacıyla uyarlanması çalışması gerçekleştirilmiştir. Önerilen yöntemin başarımı gerçekleştirilen iç mekan ve dış mekan deneyleriyle değerlendirilmiştir. Deneysel çalışmalar sonucu önerilen yöntemin KÖ kamera otomatik odaklanmasında başarılı sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Böylelikle imge kalite değerlendirilmesinde kullanılan bir ölçütün kamera odaklanması uygulamasında da başarıyla kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

KAYNAKÇA

- [1] E. Krotkov, "Focusing," *International Journal of Computer Vision*, vol. 1, no. 3, pp. 223–237, 1988.
- [2] K. Ooi, K. Izumi, M. Nozaki, and I. Takeda, "An advanced auto-focus system for video camera using quasi condition reasoning," in *Consumer Electronics, 1990. ICCE 90. IEEE 1990 International Conference on*, 1990, pp. 348–349.
- [3] J. Tenenbaum, *Accommodation in Computer Vision*, ser. Memo (Stanford Artificial Intelligence Project). Department of Electrical Engineering, Stanford University, 1970.
- [4] M. Subbarao and J.-K. Tyan, "Selecting the optimal focus measure for autofocus and depth-from-focus," *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on*, vol. 20, no. 8, pp. 864–870, 1998.
- [5] S. Nayar and Y. Nakagawa, "Shape from focus," *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on*, vol. 16, no. 8, pp. 824–831, 1994.
- [6] S.-Y. Lee, Y. Kumar, J.-M. Cho, S.-W. Lee, and S.-W. Kim, "Enhanced autofocus algorithm using robust focus measure and fuzzy reasoning," *Circuits and Systems for Video Technology, IEEE Transactions on*, vol. 18, no. 9, pp. 1237–1246, 2008.
- [7] J. Kautsky, J. Flusser, B. Zitova, and S. Simberova, "A new wavelet-based measure of image focus," *Pattern Recognition Letters*, vol. 23, no. 14, pp. 1785 – 1794, 2002.
- [8] L. Karam, T. Ebrahimi, S. Hemami, T. Pappas, R. Safranek, Z. Wang, and A. Watson, "Introduction to the issue on visual media quality assessment," *Selected Topics in Signal Processing, IEEE Journal of*, vol. 3, no. 2, pp. 189–192, 2009.
- [9] U. Engelke and H.-J. Zepernick, "Perceptual-based quality metrics for image and video services: A survey," in *Next Generation Internet Networks, 3rd EuroNGI Conference on*, 2007, pp. 190–197.
- [10] R. Ferzli and L. Karam, "A no-reference objective image sharpness metric based on the notion of just noticeable blur (jnb)," *Image Processing, IEEE Transactions on*, vol. 18, no. 4, pp. 717–728, 2009.
- [11] S. Wolf, "Measuring the end-to-end performance of digital video systems," *Broadcasting, IEEE Transactions on*, vol. 43, no. 3, pp. 320–328, 1997.
- [12] H. Sheikh and A. Bovik, "Image information and visual quality," *Image Processing, IEEE Transactions on*, vol. 15, no. 2, pp. 430–444, 2006.
- [13] N. Narvekar and L. Karam, "A no-reference image blur metric based on the cumulative probability of blur detection (cpbd)," *Image Processing, IEEE Transactions on*, vol. 20, no. 9, pp. 2678–2683, 2011.
- [14] I. Hontsch and L. Karam, "Adaptive image coding with perceptual distortion control," *Image Processing, IEEE Transactions on*, vol. 11, no. 3, pp. 213–222, 2002.
- [15] P. Marziliano, F. Dufaux, S. Winkler, and T. Ebrahimi, "Perceptual blur and ringing metrics: Application to jpeg2000," *Signal Processing: Image Communication*, pp. 163–172, 2004.