TERMAL KAMERALARDA HİSTOGRAM TABANLI OTOFOKUSLAMA YÖNTEMİ

AUTOFOCUS METHOD IN THERMAL CAMERAS BASED ON IMAGE HISTOGRAM

Emre Turgay¹, Oğuzhan Teke²,

1. Görüntü İşleme Müdürlüğü

Mikroelektronik Güdüm ve Elektro-Optik Gurubu, ASELSAN

eturgay@mgeo.aselsan.com.tr

2. Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü

Bilkent Üniversitesi

o.teke@ug.bilkent.edu.tr

ÖZETÇE

Bu bildiride termal kameralar için yeni bir gerçek zamanlı otomatik odaklama yöntemi tanıtılmıştır. Önerilen odaklama yöntemi alanda programlanabilir kapı dizisi (FPGA) ve sayısal işaret işlemcinin (DSP) eş zamanlı çalışması ile gerçekleştirilmektedir. FPGA ve DSP'nin gerçek zamanlı akan görüntü üzerinden elde ettiği yüksek frekans histogram derinliği bilgisi otomatik odaklama işlemi için kullanılmıştır. Önerilen yöntem literatürdeki Fourier dönüşüm ya da piksel farkı tabanlı diğer yöntemlerden farklı olarak histogram eşleme işlemi sırasında FPGA tarafından üretilen yüksek frekans histogramın genişliği bilgisini kullanarak odak yönüne karar verebilmektedir. Yöntem bu üstünlüğü sayesinde gerçek zamanlı görüntü işlemenin zorunlu olduğu termal kameralar için ekstra hiçbir işlemci yükü getirmemektedir. Yapılan analizler yöntemin simülasyon ve taramalı termal görüntüler üzerinde başarıyla çalıştığını göstermiştir.

ABSTRACT

In this paper, a new histogram based auto-focusing method for thermal cameras is proposed. This proposed method is realized by FPGA (Field Programmable Gate Array) and DSP (Digital Signal Processor) working together and simultaneously. HF (High Frequency) component, obtained from real-time image flow by FPGA and DSP is used for auto-focusing process. Proposed method is able to determine the focus direction from the HF component produced in the process of histogram equalization by FPGA, unlike Fourier transform and pixel difference based methods in the literature. With this superiority, proposed method requires no extra calculation for thermal cameras for which histogram equalization is necessary. Analysis show that proposed method is successful on the simulations and scanning thermal cameras.

1. GİRİŞ

Otomatik odaklama özelliği, hedef noktanın hareketli mercekler kullanılarak kamera odak noktasına düşürülmesi işlemidir. Ba-

sit optikli kameralarda, örneğin webcamlerde, dedektör dizisi kamera optik odak noktasına yerleştirilerek her mesafe için aynı anda netlik sağlanırken, özellikle askeri alanda kullanılan termal kameraların menzil ve derinlik istekleri bu sistemlerde odaklama ihtiyacını doğurmuştur. Şu anda üretilen termal kameraların çoğunluğunda odaklama işlemi kullanıcı tarafından gerçekleştirilmektedir. Askeri uygulamalarda hızlı tepki süresi kritik etmenlerden biridir. Odaklama gibi gözetleme ve atış performansını etkileyen bir işlemin kullanıcı yerine otomatik olarak gerçekleştirilmesinin büyük avantajı vardır. Bu bildiri bu ihtiyacı karşılamak için ürüne dönüştürülme aşamasında olan bir metodu anlatmaktadır.

Pasif odaklama sistemlerinde problem, odağın keskinliğini belirtecek bir fonksiyon tanımlamaktır. Bu problemin çözümü, odak bozuldukça monoton olarak değişen ve en iyi odak noktasında tepe noktasına ulaşan bir fonksiyon olmalıdır. Bu özellikteki bir fonksiyonla, en iyi odak noktası belirlenebilir ve herhangi bir bozuk noktadan odak noktasına ilerleme sağlanabilir. Bu probleme çözüm sağlayan piksel tabanlı fonksiyonlar literatürde geniş bir yer kaplamaktadır. Temel yöntemlerden biri bozulmuş odağı düşük geçiren filtre olarak yorumlamak ve görüntünün yüksek frekans bileşenlerini incelemektir. Nayar'ın kullandığı yöntem, değiştirilmiş laplas operatörüdür, [1]. Diğer bir yaklaşım da Tenenbaum'un ortaya attığı ve *Schlag vd.* tarafından geliştirilen Tenengrad fonksiyonudur, [2], [3]. Bu iki operatör de her bir pikseldeki yönsel türevleri değerlendirilerek görüntünün yüksek frekans bileşenini elde etmektedir. Başka bir yöntem de Sugimoto'nun kullandığı yerel varyans metodudur, [4]. Bu metotta bozuk odağın görüntünün varyansını arttıracak gözlemlenmiş ve piksellerin lokal varyansları hesaplanmıştır. Bu üç yaklaşımdan başka, genlik metodu, Fourier dönüşüm metodu, toplam-modül-fark metodu, histogram entropisi gibi metotlar da kullanılmıştır. Bu metotların karşılaştırmalı performansları *Chern vd.* tarafından incelenmiştir [5].

Kullanılan termal kameralardaki yüksek çerçeve hızı (frame rate) ve çözünürlük. Bu işlemlerin sadece işlemciler

üzerinde gerçekleştirilebilmesini zorlaştırmaktadır. FPGA'ler günümüzde özellikle askeri uygulamalarda gerçek zamanlı sinyal işleme iş yükünün büyük bir kısmını DSP üzerinden almıştır. FPGA'ler özellikle görüntü işleme uygulamalarında akan video üzerinde paralel piksel işlemi yaparak, DSP'lerin birkaç bin tikte (clock cycle) gerçekleştirdiği işlemleri bir kaç tik hızıyla gerçekleştirebilmektedir. Günümüzde birçok askeri sistemde histogram eşleme ve kenar güçlendirme algoritmaları FPGA ve DSP'lerin birlikte çalışması ile gerçek zamanlı olarak uygulanmaktadır, [6], [7]. Bildiride önerilen yöntem FPGA ve DSP iş dağılımı göz önüne alınarak oluşturulmuştur.

Bu bildiride taramalı termal kameralar için FPGA ve DSP işlemci tabanlı bir algoritma önerilmiştir. Bu algoritma görüntüdeki yüksek frekans bilgisinin histogramı üzerinde işlem yaparak odaklama işlemini gerçekleştirmektedir. Bu yöntem askeri termal kameralarda çoğunlukla hali hazırda bulunan kenar güçlendirme işlemi sırasında üretilen yüksek frekans histogramın başlangıç ve bitiş noktalarının farkını kullanmaktadır. Bildirinin ikinci bölümünde termal kamera görüntü işleme mimarisi anlatılmıştır. 3. bölümde termal kameralarda deney sonuçları verilmiştir. Son bölümde ise yöntem performansı tartışılmıştır.

2. TERMAL KAMERA ALT YAPISI

2.1. Kamera Modeli

Kamera optiği ince kenarlı bir mercek olarak Şekil 1'deki gibi modellenenabilir. Uzaydaki bir nokta kamera lensinden geçerek kamera içerisinde optik eksen üzerinde bir noktaya yerleştiren dedektör dizisi üzerine düşürülerek görüntü oluşturulur. Kamera üzerinde görüntü oluşturulması işlemi doğrusal ve uzay-bağımsız varsayılarak aşağıdaki gibi modellenenabilir, [8].

$$g(x, y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} h(x - \xi, y - \eta) f(\xi, \eta) d\xi d\eta \quad (1)$$

bu denklemde ξ, η obje düzlemindeki uzaysal koordinatları, x ve y görüntü düzlemindeki 2 boyutlu koordinatları $f(\cdot)$ obje deki noktaya ait irradians, $g(\cdot)$ ise görüntü düzlemindeki nokta parlaklığını gösterir. $h(\cdot)$ nokta dağılım fonksiyonudur. Bu fonksiyon obje üzerindeki bir noktanın görüntü düzlemindeki dağılımını belirtir. Nokta dağılım fonksiyonu (NDF), kameranın optik yapısı ve dalga boyu ile doğrudan ilişkilidir. Bu fonksiyon dairesel simetrik 2 boyutlu Gauss dağılım fonksiyonu olarak modellenenabilir. Şekil 1'e göre, sonsuzdaki bir A noktası kamera odak noktası üzerinden geçen odak düzlemi üzerinde NDF genişliğinde bir alana dağılır. B noktası ise NDF genişlikteki dağılıma şekle göre odak düzleminin daha gerisinde B' noktasında ulaşır. Kamera lensi hareketi ile odak uzunluğu değiştirilerek B' noktası odak düzlemi üzerine getirilebilir. Bir başka ifadeyle odaklama işlemi kameradaki hareketli mercek ile kamera odak uzunluğunun değiştirilerek, hedef noktanın en düşük NDF genişliğine sahip olacak şekilde kamera dedektör pikselleri üzerine düşürülmesi işlemidir.

2.2. Termal Kameralarda Görüntü İşleme

Termal kameralar gündüz kameralardan farklı olarak düzenli dedektör pikselleri barındırmazlar. Yüksek menzilli termal kameralar çoğunlukla dizi dedektör yapısına sahiptir. Bu yapıda,

Şekil 1: Sonsuzdaki A noktası ve kameraya yakın B noktasının görüntü düzlemindeki dağılımı. A noktası net, B noktası bu kamera için bulanık görünmektedir.

dizi dedektör mekanik olarak tek bir yönde hareket ettirilerek sahne taranır ve görüntü elde edilir. Termal kamerada ilk işlem dizi kamera görüntüsünden iki boyutlu imge elde etmek, ikinci aşamada ise bu görüntüdeki dedektör farklılıkları gidermektir. Sonrasında histogram eşleme algoritmalarından biri kullanılarak görüntü ekrana verilir. Bazı yüksek menzil kameralarda kenar güçlendirme özelliği de kullanılmaktadır.

Bu bildiride kullanılan termal kamera tek bir dedektör dizisinin mekanik olarak saniyede 25 kez sahneyi taramasıyla görüntü oluşturmaktadır. Görüntüde dedektör farklılıkları giderildikten sonra görüntü yüksek frekans ve düşük frekans iki kanala ayrıştırılır. Bu iki kanala ayrı ayrı [7]'de belirtilen ve ürüne dönüştürülmüş histogram eşleme algoritması uygulanır. Bu yöntem sırasında FPGA bloğu görüntüyü yüksek frekans bileşenlerine ait histogramı 25 Hz çerçeve sıklığında hesaplar.

3. YÖNTEM

3.1. Görüntü Netliğinin Yüksek Frekans Histogramına Etkisi

Önerilen yöntem, görüntünün yüksek frekans bileşenine ait histogramı otomatik odaklama için kullanılmaktadır. Yüksek frekans görüntüye ait histogram derinliği görüntüdeki yüksek frekans bileşenlerin çeşitliliği ile ilişkilidir. Örneğin yüksek frekans bileşenin hiç bulunmadığı bir görüntüde histogram tek bir değerden oluşurken, görüntüdeki bu bileşenler güçlendikçe histogramın derinliği de değişmektedir. Aşağıdaki simülasyonda tek boyutta bir basamak (step) fonksiyonu ardışık olarak Gauss filtreden geçirilmiştir. Her bir filtreleme sonrası basamak fonksiyonu keskinliği azalmıştır, Şekil 2a. Keskinliği farklılaştırılmış bu fonksiyonların yüksek frekans bileşenleri Şekil 2b'de verilmiştir. Yüksek frekans bileşenlerin histogramları ayrı ayrı çıkartılmış ve Şekil 3'de gösterilmiştir. Görüldüğü gibi, adım fonksiyonunu keskinliği arttıkça yüksek frekans histogramının genişliği de artmaktadır.

3.2. Yöntemde FPGA ve DSP İş Dağılımı

Bildiride kullanılan sistemde termal kamera odak ayarı kameradaki hareketli merceğin odak motoru ile sürülmesi ile gerçekleştirilir. Odak komutu görüntü işleme kartından seri

Şekil 2: Tek boyutlu keskinliği değiştirilmiş basamak fonksiyonları (sol) ve bunların yüksek frekans bileşenleri (sağ).

Şekil 3: Tek boyutlu basamak fonksiyonlarının yüksek frekans bileşenlerinin histogramları. Basamak fonksiyonunun keskinliği arttıkça yüksek frekans histogramının derinliği de artmaktadır (soldan sağa).

kanal ile odak motoruna artır azalt ya da komut yok olarak iletilir. Odak motoru bu komut ile pozisyon döngüsünü kapatarak merceği hareket ettirmektedir. Diğer taraftan optik birim ve kartları tarafından oluşturulan video görüntü işleme kartına iletilmektedir. Bu kartta yer alan FPGA ve DSP işlemcisi sırasıyla aşağıdaki adımları döngüsel olarak gerçekleştirir.

- DSP işlemci, FPGA birimine Gauss filtre değerini yazar.
- FPGA görüntüyü Gauss filtre katsayılarına göre yüksek ve düşük frekanslı iki kanala ayırır.
- İki kanaldaki düşük ve yüksek frekans görüntü için histogram eşleme algoritması [7]'de belirtildiği şekilde uygulanır. Bu yöntem sırasında FPGA histogram başlangıç ve bitiş noktalarını DSP tarafında belirtilen görüntü marjini değerine göre bulur [7].
- Bu işlemler sırasında FPGA tarafından üretilen yüksek frekans histogram başlangıç ve bitiş noktaları akan her görüntü için kaydedilir.
- Görüntü işleme DSP yazılımı görüntüyü rastgele olarak bir yönde odak komutu verir.
- Bu komut seri kanal üzerinden odak motoruna iletilir.
- Odak konumundaki değişim görüntü yüksek frekans histogram başlangıç ve bitiş noktalarında değişime sebep olur. Bu yeni değer daha önceki değerle karşılaştırılır. Değişim artış yönünde ise, odak motoruna aynı komut verilmeye devam eder. Değişim azalma yönünde ise odak motoruna diğer yönde değişim komutu verilir.

4. TERMAL GÖRÜNTÜDE DENEY SONUÇLARI

Şekil 2 ve 3'de görülen yüksek frekans histogramı ile netlik arasındaki ilişki termal kamera görüntülerinde de doğrulanmıştır. Yapılan deneyde termal kamera 700 m

mesafede buluna hedef için odak konumundan uzaklaştırılmış sonra ters yönde odak komutu verilerek önce netlik sağlanıp sonra tekrar odak noktasından diğer yöne doğru uzaklaştırılmıştır. Kaydedilen videoya ait 300 kare için yüksek frekans histogram genişlik grafiği Şekil 4a'da verilmiştir. Bu videoya ait 5 görüntü Şekil 5'in birinci satırında verilmiştir. Şekil 5 birinci satırındaki en net görüntü, Şekil 4a'daki grafiğin tepe noktasıdır. Şekil 5 ikinci satırında farklı netlikler için yüksek frekans görüntüler verilmektedir. Bu görüntülere ait histogramlar aynı şeklin 3. satırında verilmiştir. Histogram değişiminin Şekil 3'deki ilişkiyle aynı olduğu görülmektedir. 300 kareden oluşan bu videoya literatürdeki diğer iki yöntem [1], [4] uygulanmıştır. Video indeksine göre parametrelerin değişimi Şekil 4b ve c'de verilmiştir. Grafiklerin netliğe göre değişimi incelendiğinde yerel varyans tabanlı [4] yöntemin değişim eğrisinin önerilen yöntem ve Nayar'ın [1] yöntemine göre başarısız olduğu görülmektedir. Önerilen yöntemin ise [1] 'de verilen Laplas tabanlı yöntemle yakın sonuçlar verdiği görülmektedir.

5. ÇIKARIMLAR

Bu bildiride termal kameralar için otomatik odaklama sistemi önerilmiştir. Yöntem FPGA ve DSP'lerin birlikte çalışması ile gerçek zamanlı olarak uygulanmıştır. Uygulamanın şu anki versiyonunda yüksek frekans histogram genişliği bir önceki değere ve anlık değere bakarak odak yönüne karar vermektedir. Bu da sistemin yerel minimumlara takılmasına sebep olabilmektedir. Yöntemdeki en önemli problem odak noktasından fazlasıyla uzaklaşıldığı zaman grafiğin eğiminin düşmesi, dolayısı ile nicelme (quantization) sonucu eğimin kaybolmasıdır. Bu durumda algoritma odak yönünü bulamamaktadır. Aynı sorunun Nayar ve Sugimoto'nun metodlarında da olduğu Şekil 4b ve c incelendiğinde görülebilir. Bu bildirinin yazarları, düşük frekans histogramın eğimini de odak bulma amacıyla kullanılabilceğine dair ön sonuçlar almışlardır.

6. KAYNAKÇA

- [1] Nayar, S.K. Nakagawa, Y. (1994) Shape from focus. IEEE Trans. Pattern Anal.Mach. Intell. 16, 824-831.
- [2] Tenenbaum, J.M. Accommodation in Computer Vision, PhD Thesis, Stanford University, USA, 1970.
- [3] 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.
- [4] Sugimoto, S.A. and Ichioka, Y. (1985) Digital composition of images with increased depth of focus considering depth information. Appl. Opt. 24, 2076 - 2080.
- [5] Ng Kuang Chern, N.; Poo Aun Neow; Ang, M.H., Jr., "Practical issues in pixel-based autofocus for machine vision," Robotics and Automation, 2001. Proceedings 2001 ICRA. IEEE International Conference on , vol.3, no., pp. 2791 2796 vol.3, 2001.
- [6] D. Gu; N. Yang, D. Pi, M. Hua, X. Shen, R. Zhang, "DSP+FPGA Based Real-Time Histogram Equalization

Şekil 4: Örnek termal kamera görüntü dizisi üzerindeki simülasyon sonuçları. a) Önerilen yöntemdeki histogram genişliği. b) Laplace operatörü [1]. c) Toplam görüntü varyansı metodu [4].

Şekil 5: Gerçek-zamanlı görüntü akışından 5 örnek görüntü (Satır 1), bunların yüksek frekans bileşenleri (Satır 2) ve yüksek frekans bileşeninin histogram derinliği (Satır 3) gösterilmiştir. Örnekler soldan sağa, odak önce önde sonra doğru konumda sonra da arkada olacak şekilde seçilmiştir. Odak bozuldukça yüksek frekans bileşenlerindeki piksel değerleri tek bir değere yaklaşmaktadır. Bu durumun histogramlara, değerlerin tek bir nokta etrafında toplanması şeklinde yansıtıldığı gözlemlenmiştir.

System of Infrared Image”, Proc. SPIE, Vol. 4602, pp. 160-165, Semiconductor Optoelectronic Device Manufacturing and Applications, 2001.

- [7] Vural, M.F.; Kiziloğlu, C.; Turgay, E.; , ”FPGA based real-time efficient histogram equalization,” Signal Processing and Communications Applications Conference, 2009. SIU 2009. IEEE 17th , vol., no., pp.49-52, 9-11 April 2009
- [8] Harry C. Andrews , B. R. Hunt, Digital Image Restoration, Prentice Hall Professional Technical Reference, 1977