

En İyi Ajan Operatörü Kullanılarak Çok Eşikli Bölütleme

*¹Ferzan Katircioğlu and ²Uğur Güvenç

¹Duzce MYO Control and Automation Technology, Duzce University, Turkey

*² Technology Faculty of Engineering, Department of Electrical-Electronic, Duzce University, Turkey

Özet

Bu çalışma da, en iyi ajan operatörlü yerçekimi arama algoritmasını kullanarak (EİAYAA) gri görüntülerde çoklu eşik yöntemi ile bölütleme gerçekleştirilmiştir. EİAYAA hassas arama kabiliyetini artırmak için en iyi ajan operatörü kullanılmıştır. Bölütleme görüntü işleme alanında en temel işlemlerden biri olup, görüntü piksel yoğunluklarının önceden belirlenmiş sınıflara ayrılmasıdır. Bölütleme metodlarından en kolay uygulanabilir olanlarından biri olan eşikleme, gri tonlu görüntü piksellerinin yoğunluk seviyelerine bağlı olarak kümelere veya sınıflara bölünme sürecidir. Bu sınıflandırmanın yapılabilmesi için th eşik değerinin seçilmesi gerekir. En uygun eşik değeri için amaç fonksiyonu olarak Kapur'un metodu kullanılmıştır. Optimizasyon safhasından sonra, en iyi eşik değerler çoklu eşik bölütleme metoduna uygulanarak sınıflara ayrılmış görüntü elde edilmiştir. Elde edilen deneysel sonuçlar, bilinen yöntemler ile karşılaştırılmış ve sonuçlar önerilen algoritmanın sayısal görüntü bölütleme de güçlü olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Çok Eşikli Bölütleme, Optimizasyon, En İyi Ajan Operatörü

Multilevel Thresholding Segmentation Using The Best Agent Operator

Abstract

In this paper, a multilevel thresholding algorithm based on the The Best Agent Operator Gravitational Search Algorithm (BAOGSA) is introduced. BAOGSA with activating best agent to influence the worst mass with agents, the total force and therefore to a low velocity is intended. Segmentation is one of the most important tasks in image processing that endeavors to identify whether a pixel intensity corresponds to a predefined class. One of the easiest methods is applicable to the segmentation thresholding, which is a process in which the pixels of a gray scale image are divided in sets or classes depending on their intensity level. It is used Kapur's method as an objective function for optimal threshold selection by us. After The best threshold values are applied into multiple thresholding segmentation method, and then divided image are obtained into classes . Experimental results are compared and evaluated with the known methods and results demonstrate the high performance of the proposed method for the segmentation of digital images.

Keywords: Multilevel Thresholding Segmentation , Optimization, The Best Agent Operator.

1. Giriş

Çeşitli problemlerin karar değişkenlerine bağlı olarak, en uygun çözümünü arama yöntemlerine optimizasyon denir [1]. Bir optimizasyon probleminin zorluk derecesine göre çözüm uzayı ve çözümün bulunma süresi dezavantajını ortadan kaldırmak için ortaya atılmış olan sezgisel algoritmalar, belirli bir çözüm uzayında rastgele seçimlerle en iyiyi bulmaya çalışırlar. Herhangi

*Corresponding author: Address: Duzce MYO Control and Automation Technology, Duzce University, 81100, Duzce TURKEY. E-mail address: ferzankatircioglu@duzce.edu.tr, Phone: +903805240098

bir amacı gerçekleştirmek veya hedefe varmak için doğal yaşamdaki davranışlardan esinlenen algoritmalarıdır [2]. Yerçekimi Arama Algoritması (YAA)'nın araştırma ve işletme yeteneklerini geliştirmek için birçok öneri getirilmiştir. Bunlardan ilkinde, Sarafrazi ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen çalışmada bozulma olarak adlandırılan özünü astrofizikten alan bir operatör kullanılmıştır [3]. Kaotik sistemde parametre tanımlama probleminin çözümü için ilk olarak sonsuz çökme içeren iteratif kaotik haritalar tanıtılmış ve sonra kaotik yerel arama tasarlanmıştır [4]. Doğrusal olmayan filtre modellemede kanal gürültülerini azaltmak için parametre tahmininde kullanılan bu çalışmada, YAA'nın içerisine kaotik operatör yerleştirilmiştir [5]. Çok modlu problemlerin içinde çoklu çözümler bulunması için geliştirilmiş algoritma da ana sürü kütleleri küçük alt sürülere bölünür. K- yakın komşuluk ilişkisi olan eleme stratejisi kullanılmış ve alt sürüleri korumak için aktif yerçekimi kütle formül işlemi tekrar düzenlenmiştir [6]. YAA çeşitliliğin çabuk kaybolmasından dolayı erken yakınsama problemi yaşamaktadır. Bu sakıncayı ortadan kaldırmak ve standart algoritmanın performansını artırmak için Parçalı Doğrusal ve Sıralı Kuadratik Programlama Yerçekimi Arama Algoritması önerilmiştir [7]. Kural Esaslı Çok Durumlu Yerçekimi Arama Algoritması çalışmasında, her ajanın hızı ve pozisyonu güncellenmesini esas alır. Her bir ajanın şu andaki durumu bir merkez gibi tanımlandıktan sonra güncellenecek hız bir yarıçap gibi daire oluşturarak gerçekleştirilmiştir [8].

Görüntüde parlaklık, renk bilgisi gibi belirlenen özellikler doğrultusunda birbirleriyle bağlı olan piksellerin türdeş gruplarına bölüt, yapılan bu işleme de bölütleme denir [9]. Görüntü işlemede bölütleme yöntemleri, eşikleme, histogram esaslı, sınır-kenar esaslı ve bölge esaslı yöntemler, graf esaslı ve bulanık kümeleme yöntemleri gibi çeşitleri fazla olup, her geçen zaman içerisinde yeni bir yöntem eklenmektedir [10]. Eşikleme yöntemi görüntünün piksel yoğunlukları üzerine eşik değer koyarak sınıflandırmayı esas alır. Çoklu eşikleme yöntemleri parametrik ve parametrik olmayan olmak üzere iki gruba bölünebilir. Parametrik uygulamalar her bir sınıf için olasılık yoğunluk fonksiyonunun değerinin tahminine ihtiyaç duyar ve tahmin süreci uzun zaman alır. Bundan dolayı parametrik olmayan uygulamalarda eşik değerinin niteliğini doğrulamak için hata oranı, entropi ve sınıf varyans arası gibi çeşitli kriterler kullanılır [11-12]. İki sınıfsal eşikleme metodu mevcuttur. Birincisi Otsu tarafından önerilen metot da sınıflar arasındaki varyansı maksimize ederken, Kapur tarafından önerilen ikinci metot da sınıflar arasındaki homojenliği ölçmek için entropinin maksimize edilmesini kullanır [11-13]. Literatürde yer alan bölütleme çalışmalarının içerisinde, başlangıç değerlerinden en iyi eşik değerlerini otomatik olarak seçen yerel seviye kümelerini kullanan uyarlamalı görüntü çoklu eşikleme yöntemi önerilmiştir[14]. Bir diğer çalışmada yerel ızgara kutu filtresini esas alan iki boyutlu Otsu eşikleme algoritması önerilmiştir. İlk olarak kabadan inceye doğru fikri kullanılmış ızgara tekniği ile iki boyutlu histogram iki bölgeye ayrılmıştır [15]. Kapur etropisinden faydalanarak çoklu eşikleme yöntemi gerçekleştirilmiş ve en uygun eşik bulmak için Guguk Arama Algoritması ve Rüzgar Güdüllü Optimizasyon olmak üzere iki başarılı sürü-zeka esaslı küresel optimizasyon algoritmaları kullanılmıştır [16]. İkili Geçit Benzetimi ile Kodlanmış Genetik Algoritma kullanılarak çoklu eşikleme yöntemi tıbbi beyin görüntülerine uygulanmıştır. En uygun çoklu eşikleme etropinin maksimize edilmesi ile bulunmuştur [17]. Otsu kriteri ve beta diferansiyel gelişim algoritması kullanılarak verilen görüntünün istenilen eşikleme sayısı ile bölütleme işlemi sağlanmıştır [18]. Son olarak, diğer parçacıklar ile işbirliği çalışması yapan ve her zaman

dinamik bir şekilde vektörü güncelleyen dinamik işbirliğine dayalı kuantum davranışlı parçacık sürü optimizasyonu önerilmiştir [19].

Bu çalışmamızda, ilk olarak yerçekimi arama algoritması ve Kapur Entropi Kriter Yöntemi tanıtımı yapılmıştır. Daha sonra, EİAYAA kullanılarak çoklu eşik ile bölütleme olan önerilen algoritma sunulmuştur. Üçüncü bölümde önerilen algoritma bilindik görüntülere uygulanarak sonuçlar, karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Son bölümde çalışmamızın sonuç bölümünü oluşturmaktadır.

2. Yerçekimi Arama Algoritması ve Entropi Kriter Yöntemi (Kapur'un Yöntemi)

2.1. Yerçekimi Arama Algoritması

Bu bölümde, yerçekimi kanununu esas alan optimizasyon algoritması tanıtılmıştır. YAA içerisinde arama yapan ajanlar bir nesne gibi düşünülmüş ve onların performansları kütleleri ile ölçeklendirilmiştir [20]. N ajanlı(kütleli) bir sistem düşünüldüğünde. i.'ninci ajanın konumunu :

$$X_i = (x_i^1, \dots, x_i^d, \dots, x_i^n) \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (1)$$

Denklem (1) deki n problemin boyutunu ve x_i^d d.ninci boyut içerisinde i.ninci ajanın pozisyonu şeklinde tanımlanır. Ajanların çözümüne başlama noktası rastgele yapılmaktadır. Belirli bir t zamanında j kütlelerinden i kütleli üzerindeki kuvvet hareketi aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$F_{ij}^d(t) = G(t) \frac{M_{pi}(t) \cdot M_{aj}(t)}{R_{ij}(t) + \epsilon} (x_j^d(t) - x_i^d(t)) \quad (2)$$

$$R_{ij}(t) = \|X_i(t), X_j(t)\|_2 \quad (3)$$

i ve j arasındaki oklit mesafesidir.

$$F_i^d(t) = \sum_{j=1, j \neq i}^N \text{rand}_j F_{ij}^d(t) \quad (4)$$

randj [0,1] olabilir ve rastgele belirlenebilir. Yukarıdaki eşitliği ve hareket kanunu kullanarak i ajanının ivmesi

$$a_i^d(t) = \frac{F_i^d(t)}{M_{ii}(t)} \quad (5)$$

Eşitlik içerisindeki Mii ifadesi i ajanının atalet kütlelerini temsil etmektedir. Ayrıca ajanın gelecek hızı şu anki hızına ivmesi eklenmiş bir parçasıymış gibi düşünülebilir. Bu yüzden ajanın pozisyonu ve hızı aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$v_i^d(t+1) = \text{rand}_i \times v_i^d(t) + a_i^d(t) \quad (6)$$

$$x_i^d(t+1) = x_i^d(t) + v_i^d(t+1) \quad (7)$$

Yerçekimi ve atalet kütlelerinin eşit olduklarını varsayarsak, kütlelerin değerlerini uygunluk haritası kullanarak hesaplayabilir.

$$M_{ai} = M_{pi} = M_{ii} = M_i \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (8)$$

$$m_i(t) = \frac{fit_i(t) - \text{worst}(t)}{\text{best}(t) - \text{worst}(t)} \quad (9)$$

$$M_i(t) = \frac{m_i(t)}{\sum_{j=1}^N m_j(t)} \quad (10)$$

$fit_i(t)$ t zamanında i ajanının uygunluk değerini temsil eder ve maksimizasyon problemi için $worst(t)$ ve $best(t)$ aşağıdaki şekilde tanımlanır [20].

$$best(t) = \max_{J \in \{1, \dots, N\}} fit_j(t) \quad (11)$$

$$worst(t) = \min_{J \in \{1, \dots, N\}} fit_j(t) \quad (12)$$

2.2 Entropi Kriter Yöntemi (Kapur'un Yöntemi)

Eşikleme, gri tonlu görüntü piksellerinin L yoğunluk seviyelerine bağlı olarak kümelere veya sınıflara bölünme sürecidir. Bu sınıflandırmanın yapılabilmesi için th eşik değerinin seçilmesi zorunludur ve Denklem (13)'deki basit bir kural ile gerçekleştirilebilir.

$$\begin{aligned} c_1 &\leftarrow p \text{ if } 0 \leq p < th_1 \\ c_2 &\leftarrow p \text{ if } th_1 \leq p < th_2 \\ c_i &\leftarrow p \text{ if } th_i \leq p < th_{i+1} \\ c_n &\leftarrow p \text{ if } th_n \leq p < L - 1 \end{aligned} \quad (13)$$

Denklem (13) de $\{th_1, th_2, \dots, th_i, th_{i+1}, th_k\}$ değerleri farklı eşikleri temsil etmektedir. Sınıfların doğru belirlenmesi eşik değerlerinin doğru seçimine ve problemin ikili veya çoklu eşik olmasına bağlıdır. Çalışmada kullanılan Kapur probleminin amaç fonksiyonu aşağıdaki Denklem (14) de tanımlanmıştır [21].

$$\begin{aligned} J(th) &= H_1^c + H_2^c, \\ c &= \begin{cases} 1,2,3, & \text{if RGB Image} \\ 1, & \text{if Gray scale Image} \end{cases} \end{aligned} \quad (14)$$

Denklem (14)'deki H_1 ve H_2 entropileri aşağıdaki model kullanılarak hesaplanır.

$$H_1^c = \sum_{i=1}^{th} \frac{Ph_i^c}{w_0^c} \ln \left(\frac{Ph_i^c}{w_0^c} \right), \quad H_2^c = \sum_{i=th+1}^L \frac{Ph_i^c}{w_1^c} \ln \left(\frac{Ph_i^c}{w_1^c} \right), \quad (15)$$

Denklem (15)'deki Ph_i^c yoğunluk seviyelerinin olasılık dağılımıdır, $w_0(th)$ ve $w_1(th)$ c_1 ve c_2 için olasılık dağılımlarını temsil etmektedir. Entropi esaslı uygulama çoklu eşik değerler için geliştirilebilir. Bu durum için görüntü k sınıfı içerisinde bölünmesi zorunludur. Böyle bir durum altında yeni amaç fonksiyonu aşağıda belirtilmiştir.

$$\begin{aligned} J(TH) &= \max \left(\sum_{i=1}^k H_i^c \right), \\ c &= \begin{cases} 1,2,3, & \text{if RGB Image} \\ 1, & \text{if Gray scale Image} \end{cases} \end{aligned} \quad (16)$$

Denklemdeki $TH = [th_1, th_2, \dots, th_{k-1}]$ çoklu eşik değerlerini içeren vektörü temsil etmektedir. Her bir entropi onun th değeri ile birlikte ayrı hesaplanır [21].

2.3 EİAYAA Operatörü Kullanılarak Çoklu Eşik ile Bölütleme

YAA da, bir ajana etki eden toplam kuvveti bulmak için kendisine etki eden ajanlar en iyi kütleyle sahip ajanlar arasından seçilmektedir. Buda bu çok büyük kütleli ajanın diğerleri gibi ivmesi,

hızının büyük olması ve büyük oranda pozisyon değiştirmesi anlamına gelir. Halbuki en iyi sonuç değerine sahip olmasından dolayı çok yavaş hareket etmesi gerekirdi [22]. Bu tespiti yapılan sakıncayı ortadan kaldırmak için, en iyi sonuç değerine sahip ajanın bir sonraki döngüde özel bir uygulama olan Kworst uygulamasına sokulur.

$$Kworst = son_ajan + \left(1 - \frac{t}{T}\right) \cdot (K_4 - son_ajan) \quad (18)$$

Denklem (18) deki, K4 yüzde sabiti değeri 100, t arama içerisindeki döngü değeri, T arama maksimum döngü sayısı ve son_ajan son döngüde kuvvet hesabına girecek ajan sayısı değeridir. En iyi ajanın etkiyen toplam kuvvet hesabı ise Denklem (19) daki gibi güncellenir.

$$F_i^d(t) = \sum_{j \in Kworst, j \neq i}^N rand_j F_{ij}^d(t) \quad (19)$$

```

Adım 1.  I görüntüsünü oku.
        Eğer görüntü renkli ise
            IR, IG ve IB şeklinde ayır c parametresini c=1,2,3 ver.
        değilse
            gri tonlu görüntü IG olarak kaydet c parametresini c=1 al.
        son
Adım 2.  Histogramları elde et ve Olasılık dağılımlarını Phic hesapla
Adım 3.  EİAYAA ajan sayısı N, eşik sayısı k, döngü sayısı ve amaç fonksiyonu Kapur için belirle
Adım 4.  Rastgele başlatma
Adım 5.  Ajanların uygunluk değerlerinin tespiti
        En iyi uygun değere sahip ajana bul
        for ajan=1 den maksimum ajana
            İlgili ajanın fitness değerini bul
            Eğer en küçük değer ise
                En iyi ajan değerine ata
        son
        son
Adım 6.  G(t) best(t), worst(t) ve Mi(t) değerlerini tekrar güncelleme, Farklı yönler içerisindeki toplam kuvveti hesaplama
        Bir sonraki döngüde Kbest ve Kworst ajan sayısını hesapla.
        for ajan=1 den maksimum ajana
            Eğer ilgili ajan En iyi değere sahip ajan ise
                for ajan=1 den maksimum Kworst kadar
                    Fid(t) = ∑j ∈ Kworst, j ≠ iN randj Fijd(t)
                son for
            sonra
                for ajan=1 den maksimum Kbest kadar
                    Fid(t) = ∑j ∈ Kbest, j ≠ iN randj Fijd(t)
                son for
            son eğer
        son for
Adım 7.  İvme ve hızı hesaplama, Ajanların pozisyonlarını güncelleme
Adım 8.  5'den 9'a kadar adımları verilen kritere ulaşana kadar tekrarlama
Adım 9.  Sonlandırma

```

Şekil 1. EİAYAA operatörlü Kapur bölütleme algoritması sözel kodu

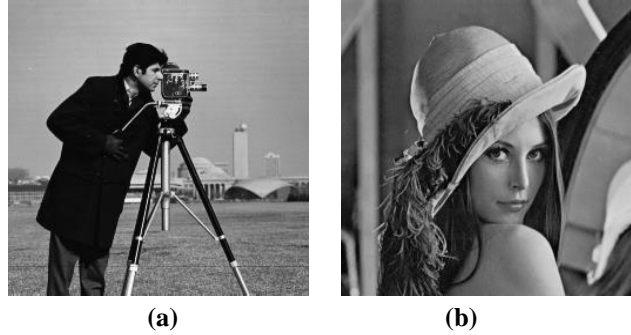
Kworst yaklaşımında bu ajana etkiyen en kötü kütleye sahip ajanları devreye sokarak toplam kuvveti, dolayısıyla hızı düşük olacaktır. Çok küçük oranlarda pozisyon değiştirmesi ile en iyi sonuç değerine yakınsama özelliğini artıracaktır [22].

Önerilen bölütleme algoritmasında Denklem (16)'daki Kapur amaç fonksiyonu düşünülerek

uygulamaya konmuştur. Bu yüzden EİAYAA ile çoklu eşikleme bölütleme algoritmasının uygulama evreleri Şekil 1'deki sözel kod içerisinde özetlenmiştir. Üzerinde çalışılan görüntü okunduktan sonra renk değerleri ve her bir bileşenin histogramı elde edilir. İlk döngüde amaç fonksiyonu rastgele başlatılarak uygunluk değerleri bulunur. En iyi uygunluk değerinin ajanı bulunur ve onu kuvvet hesabı en iyi ajan operatörü tarafından hesaplanır. Dolayısıyla, aramayı en iyi ajan noktasında hassas arama özelliği sağlanmış olur. Eğer bu şartların dışında ise normal arama gerçekleşiyor var olan durumu devam ettirilir.

3. Bulgular

EİAYAA operatörü ile gerçekleştirilen bölütleme algoritması Şekil 2 de yer alan kamera adam ve lena gri tonlu karşılaştırma görüntülerinde test edilmiştir. Bu görüntüler 256x256 piksel büyüklüğünde ve jpeg formatındadır.



Şekil 2. Uygulamada kullanılan test görüntüleri (a) Kamera adam (b) Lena

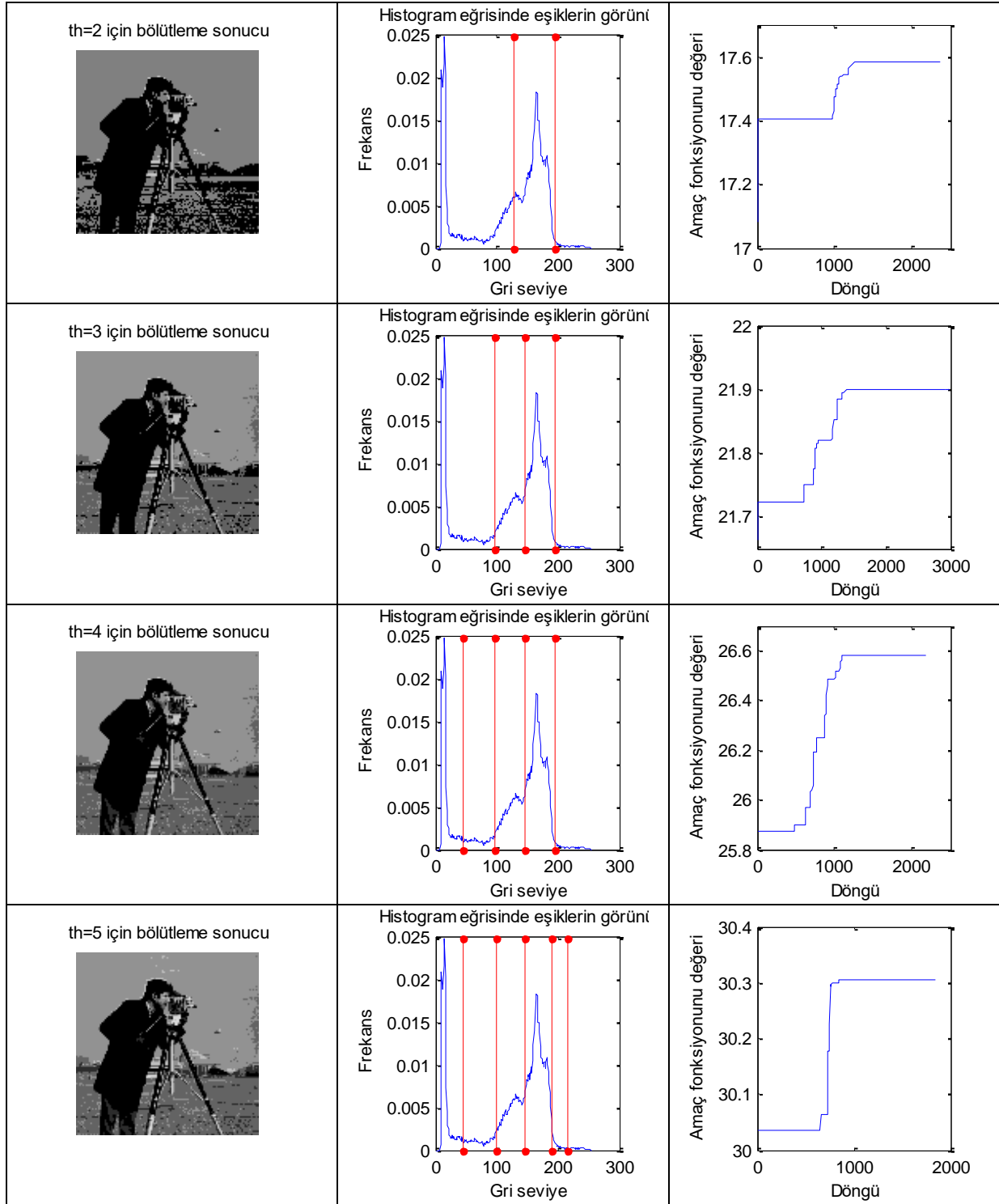
Her bir görüntü 30 kere çalıştırılmış, sayısal sonuçlara ve görsel sonuçlara da yer verilmiştir. Uygunluğunu ve performansını karşılaştırmak amacıyla literatürde yer alan çalışmalara eşik=2,3,4,5 için yer verilmiştir [23]. Önerilen algoritmaların istikrar ve tutarlılığını değerlendirmek için 30 çalışmadan elde edilen standart sapma ve orijinal görüntü ile bölütlenmiş görüntü arasındaki benzerliği belirleyen Tepe Sinyal Oranı (TSO) kullanılmıştır.

$$TSO = 20 \log_{10} \left(\frac{255}{RMSE} \right) \quad RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{ro} \sum_{j=1}^{co} (I_0^c(i,j) - I_{th}^c(i,j))^2}{roxco}} \quad (21)$$

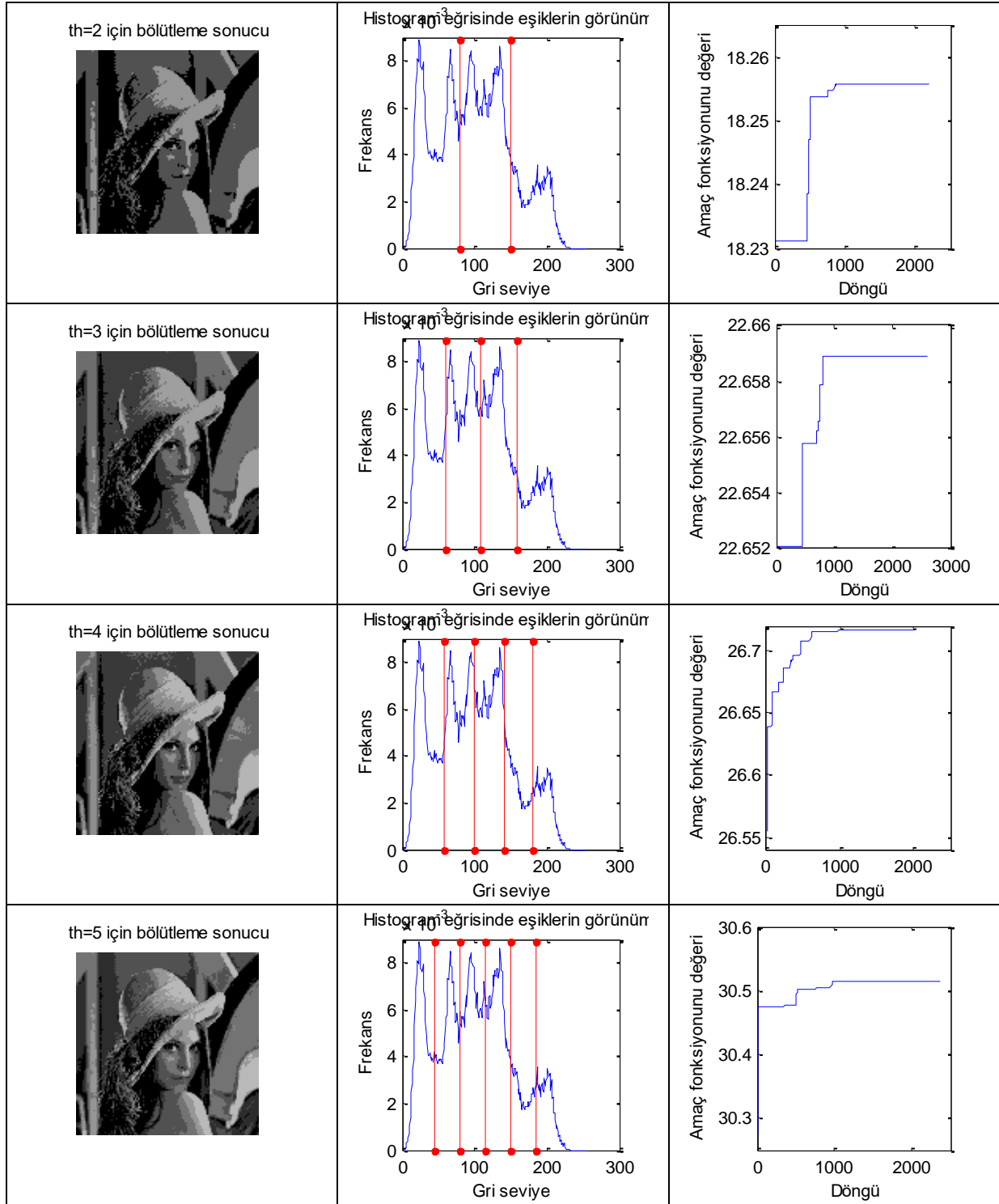
Denklem (21) deki I_0^c orijinal görüntüyü, I_{th}^c ise bölütlenmiş görüntüyü, ro ve co görüntünün sırasıyla sütun ve satır sayısını vermektedir.

3.1. EİAYAA Kapur bölütleme sonuçları

Bu bölümde EİAYAA operatörü ile gerçekleştirilen ve Kapur'un önerdiği Denklem (17)'deki amaç fonksiyonunun sonuçlarına yer verilmiştir. Şekil 2 ve Şekil 3 Kapur görsel sonuçlarını Tablo 1 ise sayısal sonuçları içermektedir. Tablo 1'deki sonuçlara göre 2,3,4 ve 5 eşik sayıları için en iyi eşik değerlerini sunmuştur. TSO ve SP değerleri eşik sayısının büyüklüğü arttıkça artmıştır. Şekil 2 kamera adam ve Şekil 3 Lena de bölütleme yapılmış görüntü, histogram üzerinden eşik görüntüsü ve amaç fonksiyonunun döngüye bağlı olarak değişim eğrileri görülmektedir.



Şekil 3. Kamera adam görüntüsü üzerinde EİAYAA Kapur bölütleme uygulama sonuçları



Şekil 3. Lena görüntüsü üzerinde EİAYAA Kapur bölütleme uygulama sonuçları

Tablo 1. EİAYAA Kapur bölütlemeye uygulamasının karşılaştırma görüntü sonuçları

Görüntü	k	Eşikler x_{best}^c	TSO	SP
Lena	2	81,150	15.454	0.0099
	3	60,109,159	18.583	0.0025
	4	57,100,142,181	19.757	0.0192
	5	45,81,115,150,185	21.617	0.0159
Kamera Adam	2	128,196	13.713	0.0123
	3	97,146,196	18.802	0.0766
	4	45,96,146,196	20.158	0.3128
	5	44,99,146,196,217	20.452	0.1289

3.2. EİAYAA Kapur algoritmalarının diğer bilinen yöntemler ile karşılaştırması

Bu bölümde önerilen algoritma bilinen sezgisel tekniklerden olan genetik algoritma (GA), parçacık sürü optimizasyonu (PSO) ve harmoni arama algoritması (HAA) ile Tablo 2 de karşılaştırılmıştır [21]. Tablo 2 dikkatlice incelendiğinde iki yöntemde literatürdekilerden iyi sonuç verdiği görülmektedir.

Tablo 2. EİAYAA Kapur bölütlemeye sonuçlarının literatür ile karşılaştırılması

Görüntü	k	PSO			GA			HSMA			EİAYAA Kapur		
		TSO	SP	Ort.	TSO	SP	Ort.	TSO	SP	Ort.	TSO	SP	Ort.
Kamera Adam	2	12.259	0.1001	16.071	11.941	0.1270	15.341	13.626	3.60E-15	17.584	13.71	0.0123	17.667
	3	15.211	0.1107	21.125	14.827	0.2136	20.600	14.460	1.40E-03	22.007	18.802	0.0766	22.839
	4	18.000	0.2005	25.050	17.166	0.2857	24.267	20.153	1.20E-03	26.586	20.158	0.3128	26.589
	5	20.963	0.2734	28.365	19.795	0.3528	28.326	20.661	2.75E-02	30.553	20.452	0.1289	30.972
Lena	2	12.345	0.0033	16.916	12.334	0.0049	16.122	14.638	3.60E-15	17.809	15.454	0.0099	18.249
	3	15.133	0.0390	20.468	14.995	0.1100	20.920	16.218	7.66E-02	22.306	18.583	0.0025	22.658
	4	17.838	0.1810	24.449	17.089	0.2594	23.569	19.287	1.44E-14	26.619	19.757	0.0192	26.706
	5	20.442	0.2181	27.526	19.549	0.3043	27.213	21.047	1.22E-02	30.485	21.617	0.0159	30.502

Sonuçlar

Bu çalışma içerisinde EİAYAA optimizasyon üzerinde çoklu eşik yöntemi kullanılarak bölütlemeye sunulmuştur. Kapur metodu amaç fonksiyonu olarak hassas arama kabiliyeti yüksek EİAYAA'ya uygulanmıştır. Algoritmanın performansını test etmek için bölütleme kalitesini elde etmek de kullanılan TSO ve SP tercih edilmiştir. Uygulama sonuçları kendi içinde, görsel kendi içinde ve bilinen literatür arasında olmak üzere üç farklı yaklaşım ile test edilmiştir. Algoritma yakınsama hızı, doğruluk ve performansı ile sonuçların doğruluğunu kanıtlamıştır.

Kaynaklar

- [1] Reeves C. R., Modern heuristic techniques for combinatorial problems, John Wiley & Sons, Inc., (1993).
- [2] Lee, K. Y., El-Sharkawi, M. A., Modern heuristic optimization techniques: theory and applications to power systems, John Wiley & Sons, (2008).
- [3] Sarafrazi, S., Nezamabadi-Pour, H., & Saryazdi, S., Disruption: a new operator in gravitational search

- algorithm, *Scientia Iranica*, 18(3) (2011) 539-548.
- [4] Li, C., Zhou, J., Xiao, J., & Xiao, H., Parameters identification of chaotic system by chaotic gravitational search algorithm, *Chaos, Solitons & Fractals*, 45(4) (2012) 539-547.
- [5] Han, X., Chang, X., A chaotic digital secure communication based on a modified gravitational search algorithm filter, *Information Sciences*, 208 (2012) 14-27.
- [6] Yazdani, S., Nezamabadi-pour, H., Kamyab, S., A gravitational search algorithm for multimodal optimization, *Swarm and Evolutionary Computation*, 14 (2014) 1-14.
- [7] Han, X., Quan, L., Xiong, X., Wu, B., Diversity enhanced and local search accelerated gravitational search algorithm for data fitting with B-splines, *Engineering with Computers*, 31(2) (2015) 215-236.
- [8] Ibrahim, I., Ibrahim, Z., Ahmad, H., Jusof, M. F. M., Yusof, Z. M., Nawawi, S. W., Mubin, M., An assembly sequence planning approach with a rule-based multi-state gravitational search algorithm, *The International Journal of Advanced Manufacturing*, 79(5-8) (2015) 1363-1376.
- [9] Navon, E., Miller, O. ve Verburch, A. (2005). Color Image Segmentation based on adaptive local thresholds. *Image and Vision Computing* 23 69-85.
- [10] Katircioğlu, F., Renkli görüntülerin bağıntı matrisine dayalı ayrıştırılması ve kenar algılama, Düzce Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi, Düzce 2007.
- [11] Otsu N., "A threshold selection method from gray-level histograms," *IEEE Transactions on Systems, Man, Cybernetics*, vol.9, no. 1,(1979) pp. 62–66,
- [12] Kittler J. ve Illingworth J., Minimum error thresholding, *Pattern Recognition*, vol. 19, no. 1, pp. 41–47, (1986).
- [13] Kapur J.N., P. K. Sahoo, ve A. K. C.Wong, A new method for gray-level picture thresholding using the entropy of the histogram, *Computer Vision, Graphics, & Image Processing*, vol. 29, no. 3, pp. 273–285, (1985).
- [14] Balla-Arabé, S., & Gao, X. (2012). Image multi-thresholding by combining the lattice Boltzmann model and a localized level set algorithm. *Neurocomputing*,93, 106-114.
- [15] ya Guo, W., fei Wang, X., & zhi Xia, X. (2014). Two-dimensional Otsu's thresholding segmentation method based on grid box filter. *Optik-International Journal for Light and Electron Optics*, 125(18), 5234-5240.
- [16] Bhandari, A. K., Singh, V. K., Kumar, A., & Singh, G. K. (2014). Cuckoo search algorithm and wind driven optimization based study of satellite image segmentation for multilevel thresholding using Kapur's entropy. *Expert Systems with Applications*, 41(7), 3538-3560.
- [17] Manikandan, S., Ramar, K., Iruthayarajan, M. W., & Srinivasagan, K. G. (2014). Multilevel thresholding for segmentation of medical brain images using real coded genetic algorithm. *Measurement*, 47, 558-568.
- [18] Ayala, H. V. H., dos Santos, F. M., Mariani, V. C., & dos Santos Coelho, L. (2015). Image thresholding segmentation based on a novel beta differential evolution approach. *Expert Systems with Applications*, 42(4), 2136-2142.
- [19] Li, Y., Jiao, L., Shang, R., & Stolkin, R. (2015). Dynamic-context cooperative quantum-behaved particle swarm optimization based on multilevel thresholding applied to medical image segmentation. *Information Sciences*, 294, 408-422.
- [20] Rashedi, E., Nezamabadi-Pour, H., Saryazdi, S., GSA: a gravitational search algorithm, *Information sciences*, 179(13) (2009) 2232-2248.
- [21] Oliva, D., Cuevas, E., Pajares, G., Zaldivar, D., & Perez-Cisneros, M. (2013). Multilevel thresholding segmentation based on harmony search optimization, *Journal of Applied Mathematics*.
- [22] Güvenç, U., Katircioğlu, F., (2016). En iyi ajana özel davranış: Geliştirilmiş yerçekimi arama algoritması. *Ecjse Journal of Science and Engineering*,3(1), 143-153.
- [23] Lai C.,Tseng D., (2004). A hybrid approach using Gaussian smoothing and genetic algorithm for multilevel thresholding, *International Journal of Hybrid Intelligent Systems*, vol. 1, 143–152.