

SOBEL İŞLECI KULLANILARAK RENKLİ GÖRÜNTÜLERDE KENAR BULMA

Elif AYBAR

Anadolu Üniversitesi, Porsuk Meslek Yüksekokulu,
26430, Eskişehir/Türkiye

ÖZET

Günümüzde görüntülerin daha çok renkli olması ve renkli görüntülerin gri seviyeli görüntülere göre daha çok bilgi içerdiğinden dolayı, bu çalışmada, renkli görüntüler için kenar bulma işlemi incelenmiştir. Gri seviyeli görüntüler üzerinde kenar bulma işlemi için kullanılan Sobel işleci renkli görüntülerde kullanılmak üzere seçilmiştir. Öncelikle, genişletilmiş Sobel işleci hesaplanmakta, ele alınan görüntü RGB uzayında üç renk bileşenine ayrıştırılmakta ve her bir RGB bileşeni için hesaplanan Sobel işleci kullanılmaktadır. Son olarak, ele alınan RGB bileşenleri için hesaplanan kenarlar kullanılarak renkli görüntü de yer alan kenarlar bulunmaktadır.

Anahtar kelimeler: Sobel İşleci, Kenar Bulma, Renkli Görüntü.

EDGE DETECTION ON COLOR IMAGES USING SOBEL OPERATOR

ABSTRACT

Since at present images have more color and the color images include more information than the gray scale images, in this work edge detection is studied for the color images. Sobel [1] which is used to find edges for gray scale images is chosen for color images. First of all, the extended Sobel is determined, then the considered color image is decomposed into the three RGB components and the determined Sobel is used for each RGB component. Finally, the edges of the considered color image are found by using the edges which are determined for the RGB components.

Key words: Sobel Operator, Edge Detection, Color Image.

1. GİRİŞ

Nesnelerin tanımlanması için sınırlarının belirlenmesi gerektiğinden, kenar bulma, görüntü işleme ve görüntü analiz sistemleri için en önemli aşamalardan biri olmuştur. Görüntü içinde belirgin geçişler nesne kenarlarını gösterdiğinden, kenar bulma algoritmaları bu geçişleri bulmayı amaçlamaktadır.

Prewitt [2], Sobel [3], Canny [4], Marr ve Hildreth [5], literatürdeki temel kenar bulma algoritmaları olarak kabul edilmektedir. Gri seviyeli görüntüler üzerinde bu algoritmalar kullanılarak yapılmış bir çok çalışma bulunmaktadır [6-8].

Temel olarak görüntüleri, gri seviyeli ve renkli görüntüler olmak üzere ikiye ayırabiliriz. Gri seviyeli görüntüler için kenar bulma araştırmaları büyük alana yayılmasına rağmen renkli görüntüler için gerekli kenar bulma yöntemleri yeterli derecede yaygın değildir. Renkli bir görüntü ile gri seviyeli bir görüntü arasındaki temel fark gri seviyeli görüntülerde bir piksele atanan değer skalar gri seviyesi iken renkli görüntülerde piksele atanan üç bileşenden oluşan bir renk vektörüdür. Gri seviyeli bir görüntü ile karşılaştırıldığında, renkli görüntü, renk yoğunluk bilgisine ek bilgiler sağlar. Renkli görüntülerde, renk yoğunluğu, tonu, doyumu hepsi birden nesne sınırlarının belirlenmesinde rol oynamaktadır [1].

Gri seviyeli görüntülerde süreksizlikler kenar olarak gösterilebilmesine rağmen, renkli kenar tanımı renkli görüntüler için bu kadar kolay yapılamaz. Renkli kenar için birçok farklı tanım sunulmuştur [9]. En eski tanıma göre, eğer gri seviyeli görüntü kenar içeriyorsa kesinlikle renkli görüntüde de kenar vardır denir. İkinci tanım; eğer renk bileşenlerinden en az biri kenar içeriyorsa renkli görüntüde de kenar vardır. Üçüncü tanım; üç renk bileşeni için hesaplanan gradyanların mutlak değerlerinin toplamı eşik seviyesinden büyükse renkli görüntüde kenar vardır. Bu tanımlara uygun olarak renkli görüntülerde uygulanan kenar bulma tekniklerinin sonuçları hangi renk uzayında çalışıldığına bağlı olarak değişmektedir [9].

Tipik olarak renkli görüntü yakalama sistemleri RGB (R; kırmızı, G; yeşil, B; mavi) olarak bilinen renk uzayında çalışmaktadır. Buna ek olarak RGB renk uzayının eşdeğeri olan CMY, YIQ, HSI, HSV, LUV renk uzayları da kullanılmaktadır [10]. Bu makalede de, RGB renk uzayında çalışılmıştır.

[11]'de önce ki yıllarda renkli görüntüler için yapılmış olan kenar algılama çalışmalarından bahsedilmiştir. Robinson ve Nevatia tarafından ilk renkli görüntüler için kenar bulucular sunulmuştur. Koschan üç renk kanalı için standart teknikleri uygulayarak karşılaştırmalı bir çalışma sağlamıştır. Tao ve Huang daha iyi eşik seviyeleri elde edebilmek için cluster analizini kullanmışlardır. Bir çok yöntem çok iyi bilinen gri seviyeli görüntüler için kullanılan, kenar bulma algoritmalarını RGB renk kanallarını uygulayarak kullanmışlardır. Bununla birlikte, örneğin Weeks -Myler ve Machuan-Phillips adlı araştırmacılar farklı renk uzayları kullanmayı amaçlamışlardır

Renkli görüntülerde kenar bilgisi tek renkli görüntüdekinden daha zengindir. Aynı parlaklık fakat farklı renk tonunda iki nesne arasındaki kenar renkli görüntülerde bulunabilir. Dolayısıyla, gri seviyeli görüntülerde bulunamayan ek özellikler renkli görüntülerde olabilir. Ayrıca, kenar bulmanın düşük kontrastlı görüntülerde zor olabildiği durumlarda renkli görüntülerle daha iyi sonuçlar elde edilebilir [12]. Renkli görüntülerden elde edilen sonucun her zaman gri seviyeli görüntülerden elde edilen sonuçlardan daha iyi olduğu belirtilmiştir [12].

2. KENAR BULMA

Birçok renkli kenar bulma metodunda (bkz. [11]) tekrenkli görüntü temelli teknikler kullanılmaktadır [9]. Bir renkli görüntü için tek renkli hali her piksel için parlaklık bileşeni kullanılarak elde edilmektedir.

Gri seviyeli görüntülerdeki kenarlar parlaklıkta yer alan süreksizliklerin olduğu bölgeler olarak veya parlaklık derecelerinin birbirinden belirgin olarak birbirinden farklı olduğu iki bölge arasındaki sınır olarak tanımlanabilir. Görüntü içindeki bu değişiklikler gradyan kullanılarak elde edilmektedir. Gradyan temelli algoritmalar kullanılarak bu tek renkli görüntülerden kenarlar elde edilebilir. Diğer bir alternatif ise her bir renk bileşeni için bulunan kenarların her bir piksel için doğrusal olarak birleştirilmesidir [13]. Bu iki işlemde kenar bulucu doğrusal olmak şartıyla aynıdır [14].

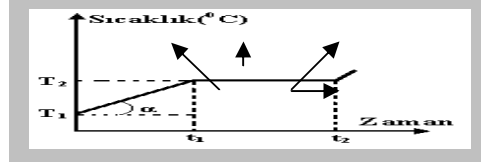
Değişik işlemler kenar bulmak amacı ile tek renkli görüntülerde kullanılmıştır. Prewitt ve Sobel en iyi bilinen işlemlerdir ve 3x3'lük yatay ve dikey yönlü maskelerden oluşurlar. Bu işlemlerin en büyük sınırlaması yüksek gürültülü ortamlarda kenarları doğru olarak bulamamasıdır. Ancak, [15]'de bu problemin, gradyanın hesaplandığı komşulukların arttırılmasıyla en aza indirgenebileceği belirtilmiştir.

Tek renkli ve renkli görüntülerdeki gradyan hesabı benzerdir. İşleç boyutu büyüdüğünde gürültü hassasiyeti azalmakta ve keskin kenarlar bulunmaktadır. Konvolusyon maskelerinin oluşturduğu düzgünleştirme etkisi buna neden olmaktadır. Bu yüzden konvolusyon maskelerinin boyutu ne kadar büyükse alçak geçiren filtre etkisi o kadar güçlü olmakta ve işleçlerin neden olduğu yüksek frekans etkilerine karşı hassasiyeti azalmaktadır [15].

Bu makalede gradyan temelli işleçlerden olan Sobel işleci en yaygın kullanılan işleçlerden biri olduğu için tercih edilmiştir. Sobel kenar algılama işlecinin geliştirilmesindeki amaç, Robert işleci [16] gibi yaygın kullanılan işleçlere göre yönden daha bağımsız gradyan değerlendirmesi ile verimli bir hesaplama yapabilesidir [17].

3. SOBEL İŞLEÇİ

Sayısal bir görüntü, bir fonksiyon olarak değerlendirildiğinde, bir nokta üzerindeki gradyan değerinin, 3×3 komşulukta mümkün olan dört merkezi yönde (Şekil 1) elde edilebilir gradyan değerlerinin vektör toplamları şeklinde oluşturulması düşüncesine dayanır. Bu yaklaşımla Sobel kenar işleci oluşturulmuştur.



Şekil 1. Dört temel yönde gradyan vektörleri

Bu gradyan değerlerinin vektör toplamları, gradyan ölçümlerinin yönü (directions of measurement) üzerinde ortalama değer bulunmasını sağlar (bkz [17,20]). Eğer yoğunluk fonksiyonu gerçekten düzlemsel ise, o noktanın etrafındaki bütün yakın komşuluklardaki tüm gradyanlar aynı değere sahip olur.

3×3 'lük komşuluk için merkez noktanın gradyan değeri, dik vektör çiftlerinin vektör toplamları olarak bulunmaktadır. Burada kullanılan gradyan vektörleri, (i,j) elemanı merkezde olmak üzere Şekil 1'de verilmektedir. Her dik vektör, yönsel türev değerinin türev yönünü belirleyen birim vektör ile çarpımı ile elde edilmektedir.

Dört gradyan değerinin vektörel toplamı, sekiz yönsel türev vektörünün vektörel toplamıyla aynıdır. Bir nokta ve onun sekiz komşuluğunun yoğunluk değerleri, Şekil 2’de gösterilmektedir. Verilen komşuluklar için; yf , yoğunluk farkı (iki piksele ait yoğunluk değerlerinin birbirinden çıkarılması ile elde edilen), k , komşular arası uzaklık olmak üzere, g , yönsel türev değer vektörünün büyüklüğü,

$$|g| = yf / k \quad (1)$$

olarak verilir.

a_{11}	a_{12}	a_{13}
a_{21}	a_{22}	a_{23}
a_{31}	a_{32}	a_{33}

Şekil 2. 3×3 komşulukta yer alan piksellerin yerleşimi

Birbirine karşılık gelecek şekilde komşu noktalar (a,i) , (b,h) , (c,g) ve (f,d) olarak gruplanırsa, $R = \sqrt{2}$ için (köşegenlerdeki piksellerin merkez noktadan uzaklığı) gradyan değerlerinin vektörel toplamı,

$$\vec{G} = \frac{(a_{31} - a_{13})}{R} \cdot [1, 1] + \frac{(a_{11} - a_{33})}{R} \cdot [-1, 1] + (a_{12} - a_{32}) \cdot [0, 1] + (a_{23} - a_{21}) \cdot [1, 0] \quad (2)$$

olarak ifade edilir. Bu işlemin sonucunda elde edilen vektöre ait yoğunluk ağırlıklarının toplamı Şekil 3’de gösterilen düşey ve yatay yönlerdeki ağırlık fonksiyonları kullanılarak gösterilir.

-1	0	1
-2	0	2
-1	0	1

1	2	1
0	0	0
-1	-2	-1

Şekil 3. Yatay ve düşey yöndeki ağırlık katsayıları

Bu algoritma, T önceden belirlenmiş bir eşik seviyesi olmak üzere, $|\vec{G}|^2 > T$ şartını sağlayan noktaları kenar noktası olarak belirleyen bir kenar algılayıcısı olarak kullanılır [18].

Sobel’in 3×3 komşuluğundaki noktalar için hesaplanmış olan gradyan tanımı 5×5 komşuluk için de uygulanabilir. Bu durumda dört yerine değişik konumlardaki oniki gradyan değerinin hesaplanması gerekir. Bu değerlerin vektörel toplamı ile gradyan değeri elde edilir. 5×5’lik komşulukta, bir nokta

ve onun yirmi dört komşuluğunun yoğunluk değerleri Şekil 4'te gösterilmektedir.

a_{11}	a_{12}	a_{13}	a_{14}	a_{15}
a_{21}	a_{22}	a_{23}	a_{24}	a_{25}
a_{31}	a_{32}	a_{33}	a_{34}	a_{35}
a_{41}	a_{42}	a_{43}	a_{44}	a_{45}
a_{51}	a_{52}	a_{53}	a_{54}	a_{55}

Şekil 4. 5×5 komşulukta yer alan piksellerin yerleşimi

Tüm yönlerdeki gradyan değerlerinin vektörel toplamı, $R_1 = \sqrt{2}$, $R_2 = \sqrt{5}$, $R_3 = \sqrt{8}$ ve $R_4 = 2$ olmak üzere,

$$\begin{aligned} \vec{G} = & \frac{(a_{24} - a_{42})}{R_1} \cdot \frac{[1,1]}{R_1} + (a_{23} - a_{43}) \cdot [0,1] + \frac{(a_{22} - a_{44})}{R_1} \cdot \frac{[-1,1]}{R_1} + (a_{34} - a_{32}) \cdot [1,0] \\ & + \frac{(a_{35} - a_{31})}{R_4} \cdot \frac{[2,0]}{R_4} + \frac{(a_{15} - a_{51})}{R_3} \cdot \frac{[2,2]}{R_3} + \frac{(a_{13} - a_{53})}{R_4} \cdot \frac{[0,2]}{R_4} \\ & + \frac{(a_{11} - a_{55})}{R_3} \cdot \frac{[-2,2]}{R_3} + \frac{(a_{25} - a_{41})}{R_2} \cdot \frac{[2,1]}{R_2} + \frac{(a_{14} - a_{52})}{R_2} \cdot \frac{[1,2]}{R_2} + \frac{(a_{12} - a_{54})}{R_2} \cdot \frac{[-1,2]}{R_2} \\ & + \frac{(a_{21} - a_{45})}{R_2} \cdot \frac{[-2,1]}{R_2} \end{aligned} \quad (3)$$

eşitliği ile ifade edilmektedir.

Bu eşitlik kullanılarak, elde edilen yatay ve düşey yönlerdeki maske katsayıları Şekil 5'de verilmektedir.

-5	-4	0	4	5
-8	-10	0	10	8
-10	-20	0	20	10
-8	-10	0	10	8
-5	-4	0	4	5

5	8	10	8	5
4	10	20	10	4
0	0	0	0	0
-4	-10	-20	-10	-4
-5	-8	-10	-8	-5

Şekil 5. Yatay ve düşey yöndeki ağırlık katsayıları

Sobel işlecine ait yatay ve düşey yönlü maskeler, görüntü üzerinde ayrıca gezdirilerek sonuç görüntüsü elde edilir. Görüntüde sol üst köşeden başlayarak işleç maskesi görüntü üzerine konulur. Her piksel değerine karşılık gelen maske katsayısıyla, piksel değeri çarpılarak, tüm sonuçlar toplanır ve işlecin tepkisi bulunur. Orijinal görüntüde yatay ve düşey yönlü maskelerin aynı yerlerdeki tepkilerinin kareleri toplanır ve karekökü alınarak, gerçek gradyan değeri elde edilir. Gradyan değerleri, orijinal görüntü büyüklüğündeki bir matrise yerleştirildiğinde, orijinal görüntünün kenarlarını gösteren bir görüntü bulunmuş olur .

Standart Sobel işleçleri kullanılarak renkli görüntülerde elde edilen kenarlar Şekil 7’de (üçüncü sütun) verilmiştir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde tam olarak kenar bilgisinin görüntülerde yer almadığı görülmüştür. Bu nedenle [19] gri seviyeli görüntülerde kullanılmak üzere genişletilmiş olan Sobel işleci renkli görüntüler üzerinde de kenar bulmak amacı ile kullanılmıştır.

4. RENKLI GÖRÜNTÜLER ÜZERİNDE SOBEL İŞLECİNİN UYGULAMASI

3x3 ve 5x5 boyutundaki Sobel işleçleri renkli görüntüler üzerinde kenar bulmak üzere uygulanmadan önce renkli görüntü temel bileşenleri olan R, G, B olarak ayrılır. Daha sonra her bir bileşen için üçüncü bölümde yer alan 3x3 ve 5x5 boyutunda ki maskeler görüntü üzerinde dolaştırılarak üç farklı bileşen için kenar bilgileri elde edilir ve bu bilgiler daha sonra doğrusal olarak birleştirilerek sonuç görüntüleri bulunur. Bu işlem aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

Sobel 5x5 yatay ve düşey maskeleri her bir görüntüye uygulanarak, her RGB bileşeni için sonuç bulunur. Bulunan sonuç görüntüler toplanarak birleştirilir. Birleştirilen görüntü piksel değerlerini ortalaması bulunur. Eğer piksel değeri ortalamadan küçük ise piksel değeri sıfır ile değiştirilir, aksi durumda piksel değeri aynen korunur ve böylece sonuç görüntüsü oluşturulur.

Geleneksel Sobel işleci kullanıldığında elde edilen kenar bilgisi gürültüden çok etkilenmektedir. Bu nedenle kenar bulma uygulamaları sırasında kullanılan işleçlerin boyutu 5x5 olduğunda daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Görüntülerin okunması ve elde edilen sonuçların incelenmesinin kolaylığı nedeniyle Matlab yazılımı seçilmiştir. Bir önceki bölümde verilen Sobel 5x5 kenar işleçlerinin kullanıldığı yöntem için bir program geliştirilmiştir.

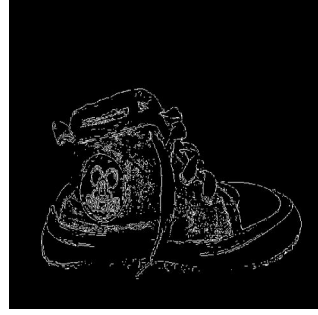
Bu program, işlenmesi istenilen görüntüler için tekrar tekrar çalıştırılabilmekte ve boyut sınırlaması olmaksızın kullanılabilir. Geliştirilen yöntem ile elde edilen genişletilmiş Sobel işleci ve standart Sobel işleci arasında bir karşılaştırma yapılarak maske boyutundaki artışın yarattığı etkiler renkli bir görüntü üzerinde incelenmiştir (bkz. Şekil 6). Maske boyutunun büyümesi ile bulunan kenarlar kalınlaşmaktadır çünkü maske içerisine giren kenar sayısı artmaktadır. Bu nedenle maskeler görüntü üzerinde gezdirilip sonuç görüntüsü elde edildikten sonra kenarları inceltmek için bir eşik seviyeleme işlemi gerekmektedir (bkz.[20]).



(a)



(b)



(c)

Şekil 6. (a) Orijinal renkli görüntü, (b) 5x5 genişletilmiş Sobel işleç sonucu, (c) 3x3 standart

Genişletilmiş Sobel işleci ile elde edilen kenarların standart Sobel ve Prewitt işlecine göre daha iyi sonuçlar verdiğini gösterebilmek için altı farklı renkli görüntü kullanılarak elde edilen sonuçlar Şekil 7’de verilmiştir. Verilen

renkli görüntüler iview280 adlı program [21] kullanılarak gri seviyeli hale dönüştürülmüştür. Daha sonra elde edilen gri seviyeli görüntülere Sobel 5x5'lik kenar işleci uygulanmıştır. Elde edilen bu sonuçlar renkli görüntülere uygulanmış sonuçlar ile karşılaştırma yapılabilmesi için Şekil 7'de dördüncü sütun olarak verilmiştir. Renkli görüntünün gri seviyeli bir görüntü haline getirilirken uğradığı kayıplar nedeni [12] ile renkli görüntüler kullanılarak elde edilen kenar sayısının daha çok olduğu ve pikseller arası boşlukların (kenarlara ait kayıp piksellerin) daha az olduğu gözlenmektedir. Prewitt ve Sobel işleçleri katsayılarındaki farklılık haricinde birbirine benzeyen kenar bulma yöntemleridir. Bu nedenle standart Sobel işleci ve Prewitt kenar işleci kullanılarak elde edilen sonuçlar Şekil 7'de üçüncü ve beşinci sütunda verilmiştir.

Bu çalışmada, renkli görüntüler için geliştirilen algoritma, Matlab programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu program çalıştırılarak, altı farklı renkli görüntü için elde edilen sonuçlar Şekil 7'de verilmiştir.

5. SONUÇ

Bu çalışmada, renkli görüntüler için genişletilmiş Sobel kenar işleci elde edilmesi sunulmuştur. Geliştirilen program kullanılarak, renkli görüntüler için kenarların algılanması sağlanmıştır. Aynı renkli görüntüler için Sobel 5x5, Sobel 3x3 ve Prewitt 3x3 işleçlerine ait sonuçlar verilmiştir.

Sobel 3x3 ve Prewitt 3x3'lük kenar işleçlerine ait sonuçların birbirine yakın olduğu görülmüştür. Yine de Sobel 3x3'lük işlecine ait maskede yer alan değerler katsayı olarak farklı olmaları nedeni ile kenar olan pikselleri Prewitt maskelerinde yer alan değerlere göre daha iyi vurgulamaktadır. 3x3'lük işleçlerle karşılaştırıldığında Sobel 5x5'lik işleç kullanılarak elde edilen görüntüler işlecin boyutu büyüdüğünde algılanan kenar bilgisinin de arttığını göstermiştir.

Gri seviyeli görüntüde Sobel 5x5 işleç kullanılarak elde edilen kenarlar ve renkli görüntüde Sobel 5x5 işleç kullanılarak algılanan kenarlar karşılaştırıldığında, gri seviyeli görüntüdeki kenar bilgisine ek olarak gerçek kenarlara daha yakın kenar bilgisi renkli görüntü kullanıldığında elde edilmiştir.

Gelecekte, gri seviyeli görüntüler için geliştirilen diğer algoritmalar ile renkli görüntüler için çalışmalar yapılabilir ve sonuçları karşılaştırılabilir.



Şekil 7. (a) renkli orijinal görüntü, (b) Sobel 5x5'lik işleç kullanılarak renkli görüntülerde elde edilen sonuçlar, (c) Sobel 3x3'lük işleç kullanılarak renkli görüntülerde elde edilen sonuçlar.



(a)

(d)

(e)

Şekil 7 (devamı). (a) renkli orijinal görüntü, (d) Sobel 5x5'lik işleç kullanılarak gri seviyeli görüntülerde elde edilen sonuçlar, (e) Prewitt 3x3'lük işleç kullanılarak renkli görüntülerde elde edilen sonuçlar.

6. KAYNAKLAR

1. Wesolkowski, S., Jerigan, M. E., Dony, R. D., “Comparison of Color Image Edge Detectors in Multiple Color Spaces”, Proc. IEEE Int. Conf. Image Process, Vol. II, 796-799, 2000.
2. Prewitt, J., “*Object Enhancement and Extraction*”, Picture Processing and Psychopictorics (B. Lipkin ve A. Rosenfeld, editör), NY, Academic Pres, 1970.
3. Sobel, I., “Camera Models and Perception”, Ph.D. thesis, Stanford University, CA, 1970.
4. Canny, J., “*A Computational Approach to Edge Detection*”, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 8, 679-700, 1986.
5. Hildreth, E. C., “*Edge Detection*”, A. I. Memo No. 858, Artificial Intelligence Laboratory, Massachusetts Institute of Technology, September, 1985.
6. Basu, M., ”*Gaussian - Based Edge – Detection Methods – A Survey*”, IEEE Transactions on Systems, Man, Cybernetics – Part C: Applications and Reviews, 32 (3), (2002).
7. Shieru, A., “*Consistent Gradient Operators*”, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 22 (3), (2000).
8. Wei G. W. ve Jia Y. Q., “*Synchronization – Based Image Edge Detection*”, Europhysics Letters, 59 (6), 814-819, (2002).
9. Koschan, A., Abidi, M., “Detection and Classification of Edges in Color Images”, Signal Processing Magazine, Special Issue on Color Image Processing, Vol. 22, No. 1, 64-73, 2005.
10. Wesolkowski, S., Jernigan, E., “Color Edge Detection in RGB Using Jointly Euclidean Distance and Vector Angle”, Vision Interfaca’99, Trois-Rivieres, Canada, 1999.
11. Schlemmer, M., Hagen, H., Hotz, I., Hamann, B.,”Clifford Pattern Matching for Color Image Edge Detection”, GI- Edition Lecture Notes in Informatics, Vol. S-4, 2006.
12. Bellaire, G., Talmi, K., Oezguer, E., Koschan, A., “Object Recognition: Obtaining 2-D Reconstructions From Color Edges”, IEEE SSIAP’98, Tuscon, USA, 1998.

13. Evans, A. N., Liu, X. U., “A Morphological Gradient Approach to Color Edge Detection”, IEEE Trans. on Image Processing, 15(6), 1454-1463, 2006.
14. Tao, H., Huang, T. S., “Color Image Edge Detection Using Cluster Analysis”, Proc. Int. Conf. Image Proc., Washington, Vol. I, 834-837, 1997.
15. Scharcanski, J., Venetsanopoulos, “Edge Detection of Color Images Using Directional Operators”, IEEE Trans. On Circuit and Systems for Video Technology, Vol. 7, No. 2, 1997.
16. Roberts, L. G., “*Machine Perception of Three- Dimensional Solids*”, in Optical and Electro-Optical Information Processing (J. Tippett, ed.), 159-197, MIT Pres, (1965).
17. Sobel, I., “*An Isotropic 3×3 Gradient Operator*”, Machine Vision for Three – Dimensional Scenes, Freeman, H., Academic Pres, NY, 376-379, (1990).
18. Duda, R. O. ve Hart, P. E., “*Pattern Classification and Scene Analysis*”, John Wiley and Sons, NY, 271-273, (1973).
19. Aybar, E., “Topolojik Kenar İşleçleri”, Doktora Tezi, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, 2003.
20. Gonzalez R. ve Wintz P., “*Digital Image Processing*”, Addison – Wesley, (1987).
21. <http://ftp.anadolu.edu.tr/Multimedia/Grafik/iview280.zip>

