

# Watershed Dönüşümü Kullanılarak Corpus Callosumun Bölütlenmesi

Mevlüt Topaloğlu, Ali Gangal  
Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü  
Trabzon  
[mevlut@ktu.edu.tr](mailto:mevlut@ktu.edu.tr), [ali.gangal@ktu.edu.tr](mailto:ali.gangal@ktu.edu.tr)

**Özet:** *Corpus callosumun şekli ve genişliği, insanın cinsiyeti, yaşı ve sinirsel hastalıkları ile ilişkili olduğu için, corpus callosumun manyetik rezonans (MR) görüntülemeyle elde edilmiş görüntüsünün otomatik olarak bölütlenmesi ve alanının veya hacminin hesaplanması nöroloji alanında oldukça önemli bir uygulamadır. MR görüntülerinden corpus callosum sınırlarının belirlenmesi için bugüne kadar kullanılan yöntemlerin çoğu yarı otomatik yöntemlerdir. Bu çalışmada watershed dönüşümü kullanan bir sınır belirleme algoritmasıyla corpus callosumun alanı tam otomatik olarak hesaplanmaya çalışılmıştır*

## 1. Giriş

Çeşitli çalışmalar, insan beynindeki corpus callosumun şekil ve genişliğinin, cinsiyet, yaş, beyin gelişimi ve çeşitli beyin rahatsızlıkları ile ilişkili olduğunu göstermektedir. Canlı insan beyinlerinde bu ilişkileri araştırabilmek için, manyetik rezonans görüntüleme, corpus callosumun şekil bilgisini elde etmede en etkili yoldur. MR imgelerinden corpus callosum sınırlarının belirlenmesi için bu çalışmada watershed dönüşümü kullanılmıştır. Watershed dönüşümü matematiksel morfoloji alanında imge bölütleme uygulamalarında faydalı olan ilginç özelliklere sahiptir [1]. Bu dönüşümün sezgisel olarak anlaşılması kolaydır. Hızlı sonuç üretir ve üretilen sonuçlar daima kapalı eğri formunda olur. Bununla birlikte, aşırı bölütleme gibi bir dezavantaja sahiptir. Bu çalışmada, aşırı bölütlemeyi önlemek için, öncelikle morfolojik operatörler yardımıyla işaretçiler elde edilmiştir ve daha sonra işaretçilerin içerildiği imgeye watershed dönüşümü uygulanmıştır. Sonuçlar, kullanılan yöntemin, özellikle düşük gürültülü corpus callosum görüntüleri için etkin bir yöntem olabileceğini göstermektedir.

## 2. Morfolojik Operatörler

Watershed dönüşümü ile birlikte kullandığımız morfolojik operatörler, ikili morfoloji, gri ölçek morfoloji ve morfolojik gradyandır. Matematiksel morfolojide imgeler, ayrık  $E^2$  düzleminde tanımlanan bir noktalar kümesidir.

**İkili Morfoloji:** İkili genişleme işlemi, vektörel toplamayı kullanarak iki kümeyi birleştirir.  $A \oplus B$ ,  $A$  ve  $B$  kümelerinin her birinin eleman çiftlerinin bütün olası vektörel toplamalarının sonucudur [2]. Nesne üzerindeki küçük boşlukları ve dar girintileri doldurmak için kullanılır ve nesne genişliğini artırır:

$$A \oplus B = \{d \in E^2 : d = a + b; \forall a \in A, \forall b \in B\} \quad (1)$$

İkili aşınma işlemi, küme elemanlarının vektörel farkını kullanarak iki kümeyi birleştirir ve genişleme işleminin çiftidir. Yapı elementinden daha küçük olan nesnelere ortadan kaldırmak için kullanılır:

$$A \ominus B = \{d \in E^2 : (d + b) \in A; \forall b \in B\} \quad (2)$$

Genleşme ve aşınma, tersine çevrilemez dönüşümlerdir. Yani bir imge önce aşınma, daha sonrada genişleme işlemine tabi tutulursa orijinal imge elde edilemez. Genleşme ile takip edilen bir aşınma işlemi, açma işlemini oluşturur. Bir  $A$  imgesinin  $B$  yapı elementi ile açma işlemine tabi tutulması  $A \circ B = (A \ominus B) \oplus B$  ile gösterilir. Aşınma ile takip edilen bir genişleme ise kapama işlemi olarak adlandırılır. Bir  $A$  imgesinin  $B$  yapı elementi ile kapama işlemine tabi tutulması  $A \bullet B = (A \oplus B) \ominus B$  ile gösterilir.

İzotropik bir yapı elementi ile açma ve kapama, yapı elementinden daha küçük olan belirli imge ayrıntılarını ortadan kaldırmak için kullanılır. İmgedeki nesnelerin genel şekli bozulmaz. Açma işlemi küçük nesnelere ve bir nesnenin çok ince parçalarını ortadan kaldırırken, ince köprülerle birbirine bağlanmış nesnelere ayırır. Kapama işlemi ise, birbirine yakın olan nesnelere birleştirir, küçük boşlukları ve dar girintileri doldurarak nesne hatlarını yumuşatır.

**Gri Ölçek Morfoloji:** İkili morfolojideki işlemler, “minimum” ve “maksimum” işlemleri kullanılarak, kolaylıkla gri ölçek imgelere genelleştirilebilirler. İkili morfolojideki yapı elementi kavramı, gri ölçek morfolojide yerini komşuluk kavramına bırakır. Gri ölçek genişleme işleminde, çıkış imgesindeki her bir piksele, giriş imgesinde o piksele karşılık gelen pikselin belirli bir komşuluğundaki en büyük değerli pikselin değeri verilir. Böylece imge daha aydınlık olur ve karanlık detaylar azaltılır. Gri ölçek aşınma işleminde, çıkış imgesindeki her bir piksele, giriş imgesinde o piksele karşılık gelen pikselin belirli bir komşuluğundaki en küçük değerli pikselin değeri verilir. İmge üzerinde yaptığı genel etki, aydınlık detayları ortadan kaldırmaktır. Gri ölçek açma işlemi, yapı elementine uymayan parlak bileşenleri ortadan kaldırarak imgeyi basitleştirir. Kapama işlemi ise, yapı elementine uymayan karanlık bileşenleri ortadan kaldırarak imgeyi basitleştirir. Eğer imgedeki hem parlak hem de karanlık bileşenleri ortadan kaldırmak istiyorsak, kapama işleminden sonra açma işlemi (kapama-açma işlemi) ya da açma işleminden sonra kapama işlemi (açma-kapama işlemi) kullanılabilir.

**Morfolojik Gradyan:** Morfolojik gradyan, genişleme ve aşınma işlemleri arasındaki farktır ve  $g(f)$  ile gösterilir:

$$g(f) = (f \oplus B) - (f \ominus B) \quad (3)$$

### 3. Watershed Dönüşümü

Yerel minimumlarından delinmiş bir yüzeyin suya batırıldığı hayal edilirse, en düşük yükseklikli minimumdan başlayarak su adım adım farklı havzalara dolacaktır. İki farklı havzadan gelen suların birleştiği noktalara barajlar inşa edilirse, bu batırma işleminin sonunda her bir minimum, bu minimumla ilişkili havzayı sınırlayacak şekilde tamamen barajlarla çevrilir. Su seviyesi yüzeyin en yüksek tepesine ulaştığı zaman bu işleme son verilir. Sonuç olarak, yüzeyi farklı bölgelere ya da havzalara ayıran barajlar watershed çizgileri ya da sadece watershedler olarak adlandırılır. Watershed dönüşümünün suya batırma benzetimine dayalı algoritmik bir tanımı, Vincent ve Soille tarafından geliştirilmiştir [3].  $I$ , gri düzeyli bir imge olsun.  $h_{\min}$  ve  $h_{\max}$  sırasıyla  $I$ 'nin en küçük ve en büyük değerleridir.  $h_{\min}$ 'den  $h_{\max}$ 'a değişen  $h$  gri seviyesi ile bir özyineleme tanımlanır. Özyineleme başlangıcında  $X_h$  havza kümesi,  $h_{\min}$  değerine sahip noktalar kümesine ( $T_{h_{\min}}$ ) eşit olarak alınır. Daha sonra  $X_h$  havza kümesinin,  $T_{h+1}$  eşik kümesi içerisindeki etki alanı ( $\mathbf{IZ}_{T_{h+1}}(I)(X_h)$ ) ardışıl olarak genişletilir:

$$X_{h+1} = \mathbf{MIN}_{h+1} \cup \mathbf{IZ}_{T_{h+1}}(f)(X_h), \forall h \in [h_{\min}, h_{\max} - 1] \quad (4)$$

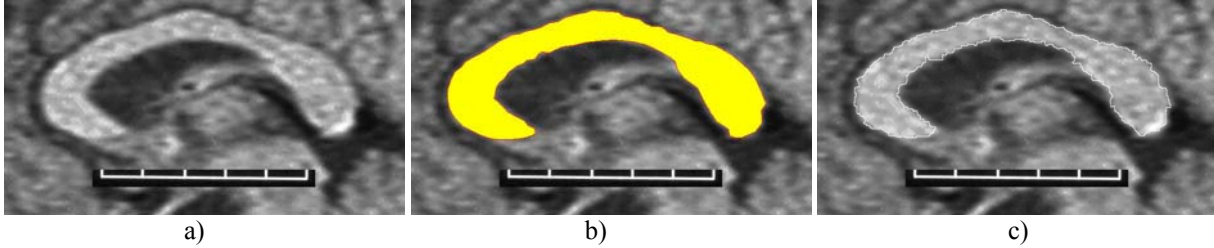
Burada  $\mathbf{MIN}_h$ ,  $h$  yüksekliğindeki minimuma ait noktalar kümesidir. Bu özyineleme işleminden elde edilen  $X_{h_{\max}}$ ,  $I$  imgesinin havzalar kümesidir. Watershed dönüşümü de  $X_{h_{\max}}$  havzalar kümesinin  $I$  imgesi içerisindeki tümleyeni olarak bulunur.

Aşırı bölütleme, watershed dönüşümünün en büyük dezavantajıdır. Aşırı bölütleme, bir imgenin çok fazla bölgeye ayrılması olayıdır. Gürültülü imgelerde bu problem daha fazla ortaya çıkmaktadır. Aşırı bölütleme problemini ortadan kaldırmanın bir yolu işaretçi kullanmaktır. Bu problemin üstesinden gelebilmek için Meyer ve Beucher tarafından bir yöntem geliştirilmiştir [4]. Bu yöntem işaretçi kontrollü bölütleme olarak adlandırılır. Önce nesnelere işaretlemek için gerekli özellikler tanımlanır ve bunlar nesne işaretçileri olarak adlandırılır. Herhangi bir nesneye ait olmadığı kesin olarak bilinen bir imge parçası da işaretlenir ve bunlar da arka plan işaretçileri olarak adlandırılır. Geri kalan bölümler bütün uygulamalar için aynıdır. İşaretçiler arasında kalan ilgilenilen bölümün sınırları muhafaza edilecek şekilde, gradyan imgesi değiştirilir. Daha sonra değiştirilmiş gradyan imgesi üzerinde watershed dönüşümü kullanılarak son sınır belirlemesi gerçekleştirilir. Son bölüt aşamasında, ne parametreye, ne denetlemeye nede

sezgisel anlamaya ihtiyaç yoktur. Sadece belli minimumlar seçilir ve bu minimumlara ait havzalar genişletilir. Bu yöntem anlaması kolay fakat gerçekleşmesi zor bir yöntemdir. Çünkü işaretçi belirleme gibi ilave bilgiler ya da işaretçileri el ile belirlemek için uzman bir kullanıcı gerektirir.

#### 4. Sonuçlar

Watershed dönüşümü, gri düzeylerin homojenliğine dayalı olarak bölütleme işlemi yaptığı için, direk olarak orijinal imgeye değil onun gradyanına uygulanır. Gradyan imgesi çok sayıda bölgesel minimum içerdiği için, watershed dönüşümü gradyan imgesine uygulandığında çok sayıda havzadan oluşan aşırı bölütlenmiş bir imge ortaya çıkar.



Şekil 1.a) Bir corpus callosum imgesi, b) el ile sınırları belirlenmiş corpus callosum, c) Watershed dönüşümüyle sınırları belirlenmiş corpus callosum.

Corpus callosum yüksek gri düzeye sahip olduğu için, uygun yapı elementi kullanılarak yeniden oluşturma ile açma işlemi sayesinde, corpus callosum içerisinde daha yüksek gri düzey elde edilir ve nesne işaretçilerini belirlemek için bu imge uygun eşik değeriyle eşiklenerek ikili bir imge elde edilir. Elde edilen nesne işaretçilerinin corpus callosum sınırlarına fazla yakın olmasını engellemek için aşınma işlemi ile nesne işaretçisi küçültülür. Arka plan işaretçilerini elde etmek için, nesne işaretçisi uygun yapı elementi ile genişleme işlemine tabi tutulur ve elde edilen imgenin sınırları bulunur. İşaretçiler belirlendikten sonra, gradyan imgesi sadece işaretçilerin bulunduğu bölgelerde bölgesel minimumlara sahip olacak şekilde değiştirilir. Elde edilen imgeye watershed dönüşümü uygulanır.

Bir corpus callosum imgesinden sınırların ve alanın el ile hesaplanması ortalama 3,5 dakika sürmektedir. Watershed dönüşümü ile P4 3GHz bir bilgisayarda ortalama 1,6 saniye sürmektedir. Şekildeki corpus callosum alanı el ile 8,359 cm<sup>2</sup>, önerdiğimiz yöntemde 8,366 cm<sup>2</sup> bulunmuştur. El ile yapılan hesaplamada C++ kullanılmakta, imge ekrana alındıktan sonra el yardımıyla corpus callosumun sınırları çizilmekte, boyama yapılmakta ve ilgili ölçüğe göre boyanmış bölgenin alanı hesaplanmaktadır. Watershed dönüşümü kullanan önerdiğimiz yöntemde ise imgedeki corpus callosum sınırları ve alanı tam otomatik olarak hesaplanmaktadır. İmge ölçeğindeki 1 cm nin kaç piksel olduğunun hesaplanmasında, ölçek üzerinde alınan uygun bir kesitteki iki çentik arasındaki piksel sayısı kullanılmaktadır.

#### Kaynaklar

- [1]. Laurent Najman ve Michel Schmitt, "Geodesic saliency of watershed contours and hierarchical segmentation", Trans. Patt. Anal. Machine Intell., 18(12), s.1163-1173, 1996.
- [2]. Sonka, M., Hlavac, V. ve Boyle, R., Image Processing and Machine Vision, Second Edition, PWS Publishing, London, 1999.
- [3]. Soille P. ve Vincent, L., "Determining Watersheds in Digital Pictures via Flooding Simulations", Visual Communications and Image Processing, Vol. 1360, (1990)
- [4]. Meyer F. ve Beucher S., "Morphological Segmentation", Journal of Visual Communication and Representation, 1, s.21-46, 1990.