

Korpus Kallozum Morfolojisindeki Farklılıkların Tanımlanmasına Şekil Grameri Tabanlı Yaklaşım

Describing Morphological Changes of Corpus Callosum via Shape Grammar Based Approach

Umut Orçun Turgut¹, Didem Gökçay¹

¹ Enformatik Enstitüsü
ODTÜ

umut.turgut@gmail.com, dgokcay@metu.edu.tr

Özet

Modern görüntüleme teknolojilerindeki ilerlemeye rağmen hala beyin morfolojisindeki niceliksel çalışmalarda zorluklarla karşılaşmaktadır. İnsan beyninin yapısal ve fonksiyonel organizasyonunun karmaşık olması gelişmiş yöntemlerin gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır. Mevcut yöntemler, şekil aykırılıklarını eksiksiz bir biçimde tespit etmede yetersiz kalmaktadır. Ek olarak hızla artan görüntü verisi hacmi de, bu verileri hızlı ve bölgesel bir şekilde işleyebilecek görüntü analiz yöntemlerinin geliştirilmesini mecburi kılmaktadır. Tüm bu gereklilikler beyin morfolojisinin tanımlanması için yeni bir ileri şekil analizi yöntemine olan ihtiyacı doğurmuştur. Bu çalışmada, nörodejeneratif rahatsızlıkların Korpus Kallozum (KK) morfolojisi üzerindeki etkilerinin gözlenmesinde tanımlanmış sorunlara, şekil gramerleri yaklaşımıyla çözüm aradık.

Anahtar Kelimeler – parametrik şekil grameri; korpus kallozum morfolojisi; sematik tanım; radyal temelli fonksiyonlar.

Abstract

Despite modern imaging technologies, problems are faced in quantitative brain morphology studies. Since the structural and functional organization of the human brain is complex, advanced methods are needed. Current methods are incapable of detecting complete shape anomalies. Moreover, the rapidly increasing volume of image data forces development of image analysis methodologies that can be processed fast and locally. All of these requirements create the need for an advanced shape analysis technique to characterize brain morphology. Solutions to the defined problems while monitoring the effects of neurodegenerative diseases on the Corpus Callosum morphology are being investigated in this study via shape grammars.

Keywords – parametric shape grammar; corpus callosum morphology; semantic definition; radial basis functions.

1. Giriş

Korpus Kallozum (KK), beynin iki hemisferindeki eş bölgeler arasında duyuşsal, motor ve bilişsel bilgiyi taşıyan majör komisürdür. Kortikal bölgeyi etkileyen rahatsızlıklarda ya da bu bölgedeki nöronların hasarı durumunda, KK morfolojisi de bu durumdan olumsuz bir şekilde etkilenmektedir. Yapılan pek çok çalışmayla otizm hastalığında KK'nın farklı bölgelerinin boyutlarında azalma olduğu tespit edilmiştir [10][3]. Yine aynı şekilde [13], [4] no'lu çalışmalarda, otizm hastalarının KK'larında anterior ve posterior bölgelerin daha içe doğru bir yapıda olduğu bulunmuştur. Minör depresif bozukluğu teşhisi konulmuş hastaların kontrollere göre KK'larındaki genu ve posterior midbody bölgelerinin daha küçük olduğu gösterilmiş [8], şizofreni hastalarında da anterior genu, anterior midbody, isthmus, anterior splenium bölgeleriyle toplamda tüm KK'nın kontrollere göre daha küçük olduğu raporlanmıştır [6]. Bu deneyimler ışığında KK morfolojisindeki değişimlerin bölgesel tanımlarını yapabilmek, böylelikle nörodejeneratif hastalıkların KK üzerindeki lokal etkilerini tanımlayabilmek için etkin bir yöntem geliştirmek ana hedefimiz olmuştur.

2. Yöntem

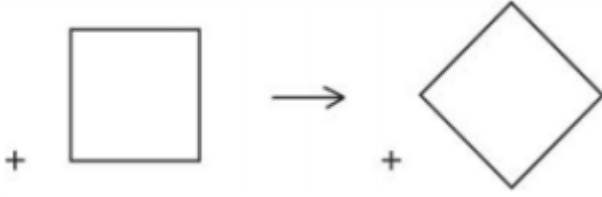
Çalışmanın amacı KK'daki nörofizyolojik ve anatomik çeşitliliği sınıflandırmak ve bu çeşitlilikleri tanımlayabilmek için ileri şekil morfoloji tanımları geliştirmektir. Bu amaçla öncelikle aşağıda yazılan tanımların gerçekleşmesi gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

- Anatomik yapıdan semantik tanım elde edilmesi
- Anatomik çeşitlilik tanımı için çeşitli örneklerin benzerliklerinin (ya da tersinden söyleyecek olursak varyasyonlarının) ölçülmesi

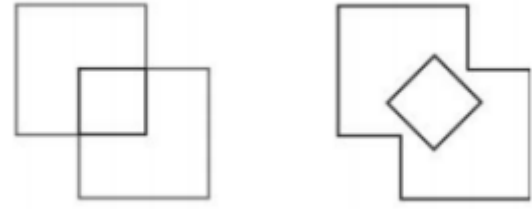
Şekil gramerleri istenilen kısıtlamalara uygun olarak hızlı bir şekilde pek çok nöroanatomik yapının oluşturulmasına imkân vermektedir. Başarılı bir şekilde geliştirilmiş olan şekil dağarcığıyla sonsuz sayıda model oluşturulması mümkün olmaktadır. Dolayısıyla Manyetik Rezonans Görüntüleme (MRG) veri evreninden elde edilen doğru bir örnekleme oluşturulan şekil grameriyle, hem gramerin oluşturulmasında

Beyin Görüntüleme

3. Gün / 17 Ekim 2015, Cumartesi



Şekil 2.1: Örnek Kural [12]



(a) İlk şekil

(b) Kural uygulama

Şekil 2.2: Şekil 2.1'deki kuralın a'daki şekle 1 kere uygulanması ve sonucunda b'deki şeklin elde edilmesi [12]

kullanılan KK'ların oluşumu sağlanabilecek hem de ek pek çok farklı yapıdaki KK'nın tanımlanması söz konusu olabilecektir.

Bu çalışma için geliştirilen yazılımla şekilsel gramerin oluşturulması ve bu gramerin kullanılarak bir şablon KK'dan (kullanıcı tarafından tanımlanan başlangıç KK'dan) sonuçta elde edilmek istenen KK'ya ulaşım mümkün olmaktadır. Diğer şekilsel yaklaşımlara göre bu yaklaşımın güçlü bir yanı, şekil gramerinde uygulanan adımlara göre, ulaşılan KK'ya ait semantik tanımların elde edilebilmesidir. Böylelikle anatomik yapılarıdaki farklılıklar için lokal tanımlara ulaşılmış olacaktır. Ek olarak benzer kurallar uygulanarak elde edilen KK'ların sınıflanması ve bu sınıflama bilgisinin gelecek araştırmalarda kullanılması mümkün olabilecektir.

Bu çalışmada kullanılmakta olan yöntem, şu temel bileşenlerden oluşmaktadır; kural tanımlama, model oluşturma ve kural uygulama. Bu bileşenler kısaca şöyle açıklanabilir. **Kural Tanımlama bileşeni:** Gramerdeki tüm kuralların tanımlanması ve sonrasındaki kural uygulama adımında kullanılmak üzere hazır hale getirilmesi. **Model Oluşturma bileşeni:** MRG verilerinden elde edilen görüntüleri kullanarak KK'nın saptanması ve modellenmesi. **Kural Uygulama bileşeni:** Oluşturulan ilk modelden gramerdeki kuralları uygulamak suretiyle son modele akıllı bir yöntemle ulaşılması.

2.1. Şekil Gramerleri

Şekil gramerleri bütünüyle görsel hesaplamayı mümkün kılmak için geliştirilmiş bir tekniktir. Gramerdeki yapı ünitesi sembollerden ziyade şekillerdir. Şekiller arasındaki ilişkiler ve işlemlerle sembolik olmaktan ziyade uzamsaldır.

Şekil gramerleri dil geliştirmek için şekil evreninden elde edilen örneklem kullanılarak yaratılan üretim sistemleridir [11] ve 20 yıldan uzun bir süredir sayısal tasarım aracı olarak kullanılmaktadırlar. Bu örneklem kullanılarak örneklem tüm temel formlarını temsil eden bir şekil dağarcığı oluşturulur ve bu formlar arasındaki uzamsal ilişkiler tanımlanarak şekil kuralları yazılır. Şekil kuralı, alfa (sol) ve beta (sağ) olmak üzere 2 bileşenden oluşmaktadır ve şekil 2.1'de gösterildiği gibi A \rightarrow B formatında tanımlanmaktadır. Eğer çizim üzerinde A şeklinin eşleşebileceği bir bölge varsa, şekil kuralı sayesinde A yerine B geçebilmektedir. Örnek bir işlem şekil 2.2'de gösterilmektedir. Üretilen tüm şekil kuralları, başlangıç şekliyle birlikte, tasarımın dilini tanımlayan şekil gramerini oluşturur [11].

2.2. Eğri Şekiller Üzerinde Parametrik Şekil Gramerleri Uygulanması

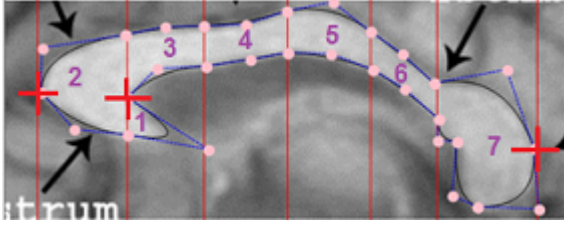
Şekil gramerlerinin uygulanması, çizim üzerinde kuralın uygulanabileceği şekillerin tespiti ve onların kurallar doğrultusunda güncellenmesini içeren tekrarlı bir görevler bütünüdür. Bu görevdeki en büyük zorluk, çizimde kuralın uygulanabileceği alt şeklin tespitidir.

Günümüze kadar bu işlemi otomatize etmek için çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bu alanda düz çizgiler için yapılan ilk başarılı çalışma, şekillerin en büyük temsil özelliklerini kullanarak, Krishnamurti tarafından gerçekleştirilmiştir [7]. Chau ve çalışma arkadaşları tarafından Krishnamurti'nin çalışması eğri şekillerde de uygulanabilecek şekilde genişletilmiştir [2]. Fakat bu çalışma serbest eğrilerle şekillendirilmiş çizimler için neler yapılabileceği hususunda bilgi vermemektedir. Bu çizimleri de kapsayacak bir çalışma sonrasında McCormack ve Cagan tarafından yayınlanmıştır [9]. Çalışmada serbest eğrilerle şekillendirilmiş çizimlerdeki her bir alt şekil, düz çizgilerle çizilmiş başka bir şekle dönüştürülmüş ve şekil grameri işlemleri bu düz çizgileri ihtiva eden şekiller üzerinde gerçekleştirilmiştir. Ancak bu dönüşüm serbest eğrilerle şekillendirilmiş çizimlerin bazı özelliklerinin kaybolmasına neden olduğu için Jowers tarafından yeni bir yöntem önerilmiştir [5]. Çalışmada, eğrilerin içsel özellikleri olan eğrilik ve bükülme özelliklerini dikkate alan diferansiyel geometri yöntemlerinin, uzay eğrilerine uygulanması konu edilmiştir. Yay uzunluğuna göre tanımlanan eğrilik ve bükülme, serbest eğrilerle şekillendirilmiş çizimlerin en önemli özelliklerinden biri olup, eğrinin şeklini, uzamsal pozisyonundan bağımsız olarak tanımlamaktadır [1]. Böylelikle şekil işlemlerinin icrası için gereken şekil kıyaslama probleminin karmaşıklığı, eğrilerin içsel özellikleri dikkate alınarak işlem yapılma basitliğine indirgenmiştir. Çalışmamıza, uzamsal pozisyonlardan bağımsız olarak eğri özelliklerine göre kıyaslamaların yapıldığı şekil eşleştirmesini kullanan kural uygulama yöntemi dâhil edilmiştir.

2.2.1. Bézier Eğrileri

Çalışma için geliştirilen yazılımda, Dr. Pierre Bézier tarafından 1960'lı yıllarda geliştirilmiş olan ikinci derece Bézier eğrileri kullanılmıştır. Eğriler 3 kontrol noktasına sahip olup bu noktaların uzamsal pozisyonlarıyla oluşturulmaktadır. Witelson tarafından yapılan çalışmayla [14] anatomik bağlantı durumuna göre 7 alt bölgeye ayrılan KK üzerindeki her bölge için Bézier

Beyin Görüntüleme



Şekil 2.3: Örnek bir KK tanımlaması

eğrileri kullanılarak KK çizilmekte ve sonrasındaki işlemler, bu eğriler kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Kural uygulama adımındaki alt şekil arama işleminde, şeklin eğrilik özelliği kullanılmakta, ikinci derece olduğu için bükülme özelliği kullanılmamaktadır. Kuralın uygulanabilmesi için kuraldaki alfa şekliyle çizimdeki şekil arasında yapılan kıyaslamada, her iki şekli de oluşturan eğrilerin tüm segmentlerinin eğrilik değerlerinin birbiriyle aynı ya da birbirlerine çok yakın olması beklenmektedir. Kıyaslama işlemi, eşleştirilmekte olan şekillerin konum, rotasyon ve büyüklük farklılıklarından bağımsız olarak icra edilmektedir.

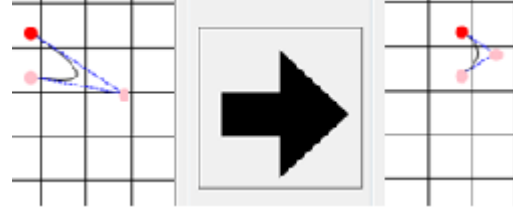
2.2.2. Kural Tanımlama

Kurallar KK geneline ya da anatomik bölgesine özgü olacak şekilde oluşturulabilmektedir. Dolayısıyla kural uygulama esnasında ilgili bölge için hem genel kurallar hem de bölgeye has diğer kurallar dikkate alınabilmektedir. Kural tanımlama işleminde kural adı yazılıp, tipi seçildikten sonra kuralın alfa ve beta şekilleri kullanıcı ara yüzü aracılığıyla kullanıcı tarafından tanımlanmaktadır. Kuraldaki alfa şeklinin beta şekline dönüşüm modelinin hesaplanması için Gauss tipi radyal temelli fonksiyon kullanılmaktadır. Hesaplanan bu matematiksel model, kuralın uygulanması sırasında çizimdeki eş eğrilik değerlerine sahip şekillere uygulanarak dönüşümler gerçekleştirilecektir.

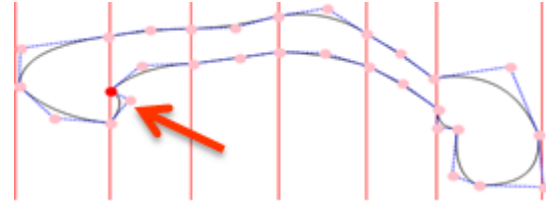
2.2.3. Model Oluşturma

Şekil tanımlama işleminin ilk adımı KK'sı tanımlanacak MRG verisinin orta sagittal kesitinin uygulamaya yüklenmesidir. Görüntünün yüklenmesini müteakip, [14] nolu çalışmada belirtilen alt bölgelerin uygulama tarafından tespit edilebilmesi için 3 noktanın (KK'nın anterior ve posterior uç noktalarıyla anteriordaki konveksliğin en iç noktası) kullanıcı tarafından şekil üzerinde tanımlanması gerekmektedir. Bu 3 nokta şekil 2.3'te + işaretiyle gösterilmektedir. Noktalar tanımlandıktan sonra uygulama bu noktaların pozisyonlarına göre KK'yi, rostrum (1), genu (2), rostral body (3), anterior midbody (4), posterior midbody (5), isthmus (6) ve splenium (7) olmak üzere 7 alt bölgeye ayırmaktadır. Ayırım yapıldıktan sonra her alt bölge kullanıcı tarafından Bézier eğrileriyle tanımlanmaktadır. Her eğri segmentinin başlangıcı bir sonraki eğri segmentinin bitişi olacak şekilde uygulama tarafından otomatik olarak bağlanmakta ve en son bölgenin son eğri segmentinin bitiş noktası ilk bölgede çizilmiş olan ilk eğri segmentinin başlangıç noktasına çivilenmekte ve kapalı bir KK çizimi elde edilmektedir.

3. Gün / 17 Ekim 2015, Cumartesi



Şekil 3.1: Rostrum bölgesi kural tanımı



Şekil 3.2: Kural uygulama sonrasında ulaşılan şekil

2.2.4. Kural Uygulama

Kuralları içeren gramer oluşturulduktan sonra şablondan verilen ve modellenen son KK'ya ulaşacak şekilde kurallar ilk KK modelinin her bölgesi özelinde otomatik olarak uygulanır. Gramerdeki tüm kuralların alfa şekilleri ilk model üzerindeki şekillerle kıyaslanır, eşleşme bulunmasını müteakip alfa şekli çizimden çıkarılarak beta şekli çizime dâhil edilir. Her uygulama sonrasında yeni çizimle ulaşılmak istenen son model arasında Procrustes mesafe ölçümü yapılır ve elde edilen mesafe bir önceki mesafeyle kıyaslanır. Eğer mesafe azalıyorsa kural uygulaması uygundur; mesafe artıyorsa varılacak nihai şekilden uzaklaşıldığı anlaşılmış olur; dolayısıyla bir önceki yapıya geri dönülerek işleme buradan devam edilir. Uygulama için tespit edilmiş maksimum iterasyon sayısına ulaşıldığında ya da iki mesafe ölçümü arasındaki fark belirlenmiş eşik değerinin altında olduğunda döngü sonlandırılır.

3. Sonuçlar

Şekil 2.3'te KK çizimi yapılmış olan örnek modele, şekil 3.1'de gösterimi yapılan rostrum bölgesi için özelleştirilmiş kural tanımının uygulanması sonrasında şekil 3.2'deki sonuç elde edilmiştir. Farklılaşan kısım ok işaretiyle gösterilmiştir. Böylelikle kurala yüklenmiş olan bilgiden, rostrum bölgesi için semantik tanıma ulaşılabilmektedir. Kural 'Dışbükey Zarfın Dar Açılı Üçgene Dönüşmesi' olarak adlandırılacak olursa, rostrum bölgesinin yatay düzlemde daha simetrik bir yapıya dönüştüğünden söz edilebilir. Şekil 2.3'te gösterilen KK'da rostrum tek eğriden oluşmaktadır. Bu Bézier eğrisinin kontrol noktaları düz çizgilerle birleştirildiğinde, eğrinin dışbükey zarfı elde edilmektedir. İlk modelde bu zarfın geniş açılı bir üçgen oluşturduğu görülmektedir. Bu üçgenin KK üzerindeki noktaları sabit kalmak üzere dışındaki noktası yer değiştirilip dar açılı bir üçgene dönüştürüldüğünde, eğri de pozisyonu değiştirilen kontrol noktasına göre yeniden biçimlenmekte ve ilk duruma göre yatay eksene göre daha simetrik bir yapıya bürünmektedir.



4. Tartışma

KK için önerilen bu yaklaşım genellenerek Heschl girus, Sylvian fissür, anterior singulat korteks ve benzeri nöroanatomik yapılara da uygulanabilecek durumdadır. Bu çalışmanın en büyük katkısı belirli nöroanatomik yapılar için otomatik bir şekilde semantik tanımlara ulaşabiliyor olmasıdır. Hâlihazırda bir anatomist tarafından yapılabilen bu değerlendirmelere, uygun şekil gramerinin tanımlanması koşuluyla, uygulama tarafından da hızlı bir şekilde ulaşılabilir.

5. Kaynaklar

- [1] Fred Attneave. Some informational aspects of visual perception. *Psychological review*, 61(3):183, 1954.
- [2] Hau Hing Chau, Xiaojuan Chen, Alison Mckay, and Alan de Pennington. Evaluation of a 3d shape grammar implementation. In *Design Computing and Cognition'04*, pages 357–376. Springer, 2004.
- [3] AY Hardan, NJ Minshew, and MS Keshavan. Corpus callosum size in autism. *Neurology*, 55(7):1033–1036, 2000.
- [4] Qing He, Ye Duan, Judith Miles, and Nicole Takahashi. Abnormalities of the corpus callosum in autism subtype. *International Journal of Functional Informatics and Personalised Medicine*, 1(1):103–110, 2008.
- [5] Iestyn Jowers. *Computation with curved shapes: towards freeform shape generation in design*. PhD thesis, The Open University, 2006.
- [6] MS Keshavan, VA Diwadkar, K Harenski, DR Rosenberg, JA Sweeney, and Jeff W Pettegrew. Abnormalities of the corpus callosum in first episode, treatment naive schizophrenia. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, 72(6):757–760, 2002.
- [7] Ramesh Krishnamurti. The maximal representation of shape. *School of Architecture*, page 6, 1992.
- [8] In Kyoon Lyoo, Jun Soo Kwon, Soo Jin Lee, Moon Hee Han, Chang-Gok Chang, Cheon Seok Seo, Sang Ik Lee, and Perry F Renshaw. Decrease in genu of the corpus callosum in medication-naive, early-onset dysthymia and depressive personality disorder. *Biological psychiatry*, 52(12):1134–1143, 2002.
- [9] Jay P McCormack and Jonathan Cagan. Supporting designers' hierarchies through parametric shape recognition. *Environment and Planning B*, 29(6):913–932, 2002.
- [10] Joseph Piven, James Bailey, Bonnie J Ranson, and Stephan Arndt. An mri study of the corpus callosum in autism. *American Journal of Psychiatry*, 154(8):1051–1056, 1997.
- [11] George Stiny. Introduction to shape and shape grammars. *Environment and planning B*, 7(3):343–351, 1980.
- [12] George Stiny. *Shape: talking about seeing and doing*. The MIT Press, 2008.
- [13] Christine N Vidal, Rob Nicolson, Timothy J DeVito, Kiraalee M Hayashi, Jennifer A Geaga, Dick J Drost, Peter C Williamson, Nagalingam Rajakumar, Yihong Sui, Rebecca A Dutton, et al. Mapping corpus callosum deficits in autism: an index of aberrant cortical connectivity. *Biological psychiatry*, 60(3):218–225, 2006.
- [14] Sandra F Witelson. Hand and sex differences in the isthmus and genu of the human corpus callosum. *Brain*, 112(3):799–835, 1989.