

Diz MR Görüntülerinde Menisküs Bölgelerinin Otomatik Tespiti

Automatic Detection of Meniscal Area in the Knee MR Images

Ahmet SAYGILI¹, Heysem KAYA¹, Songül ALBAYRAK²

¹ Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ, Türkiye
{asaygili, hkaya}@nku.edu.tr

² Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
songul@ce.yildiz.edu.tr

Özetçe—Günümüzde medikal anlamda gerçekleştirilen bilgisayar destekli sistemler oldukça yaygınlaşmıştır. Bu sistemler tıp alanındaki bilim insanlarına teşhis ve tedavide yardımcı olmaktadır. Bu çalışmada da aynı amaçlar doğrultusunda diz MR görüntülerinden iç (medial) menisküs bölgesi tespiti otomatik olarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan diz MR görüntüleri Osteoartrite girişiminden elde edilmiştir. MR görüntülerinin %75'i eğitim geriye kalan kısmı ise test için kullanılmıştır. Eğitim ve test işleminde kullanılacak olan özellikler Histogram of Oriented Gradients (HOG) yöntemi ile elde edilmiştir. Eğitim işleminde regresyon yaklaşımı kullanılmış ve farklı büyüklüklerdeki çerçeveler için korelasyon ve ortalama karesel hata değerleri bulunmuştur. Tespit edilen en yüksek korelasyon değeri %91 civarındadır. Çalışmanın ilerleyen aşamalarındaki hedefi mevcut sistemi daha da hızlandırarak tedavi süresini minimuma indirmekte fayda sağlamak ve işlevsel bir karar destek sistemi ortaya koymak olacaktır.

Anahtar Kelimeler — Diz MR; HOG; Medikal Görüntü İşleme.

Abstract— Nowadays computer-aided medical systems has become widespread. These systems assist the scientists in the medical field with diagnosis and treatment. In the same vein, in this study detection of medial meniscus from MR images of the knee is performed automatically. Knee MR images used in this study were obtained from Osteoarthritis initiative. 75% of MR images were used for training, while the remainder was used for the test. Attributes to be used in the training and test process were obtained by the Histogram of Oriented Gradients (HOG) method. The regression approach used in the training process and found correlation and mean square error value for patch in different sizes. The maximum correlation value detected is about 91%. The objective of the study will be to accelerate the current system for minimizing the time for treatment in the later stages and to provide a functional decision support system.

Keywords — Knee MR; HOG; medical image processing.

978-1-5090-1679-2/16/\$31.00 ©2016 IEEE

I. GİRİŞ

Bu çalışmada diz eklem MR görüntülerindeki menisküs dokularına ait bölgelerin tamamen otomatik olarak tespit edilmesi amaçlanmaktadır. Böylece bu çalışmanın daha da geliştirilmesiyle elde edilecek ürünün menisküs doku tespiti ile ilgili olarak radyoloji ve ortopedi doktorları için bir karar destek sistemi şeklinde çalışması veya farmakolojik ve klinik araştırmalarda bu hastalıkların seyrinin izlenmesinde kullanılabilmesi mümkün olacaktır.

Çalışmada Osteoartrite Girişimi (OAI) veri tabanından elde edilmiş 88 hastaya ait 3-B DESS standardında, (384×384×160) boyutunda ve satır, sütun ve kesitte (0.36 mm, 0.36 mm, 0.7 mm) çözünürlüklerindeki sağıtal yüksek alan diz MR görüntüleri kullanılmaktadır. Veri seti içerisinde hastalığı ilerlemiş katılımcılar (1390 kişi), hastalığa yakalanmış katılımcılar (3284 kişi) ve kontrol grubundan (122 kişi) oluşmak üzere 4796 katılımcı yer almaktadır. Tablo 1'de bu katılımcıların yaşa göre dağılımları görülmektedir.

	Yaş				Toplam
	45-49	50-59	60-69	70-79	
Erkek	259	739	495	499	1992
Kadın	290	923	968	623	2804
Toplam	549	1662	1463	1122	4796

Tablo 1 Yaş ve cinsiyete göre dağılım

Literatürde menisküslerin tespiti ve teşhisi üzerine birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalardan ilki T1 ve T2 ağırlıklı MR görüntülerinden oluşturulan 3-B MR diz görüntüleri üzerinde bulanık eğer-değilse kuralları (fuzzy if-then rules) metoduyla menisküs yırtıklarının teşhisine yöneliktir [1]. Çalışmanın en büyük dezavantajı menisküslerin tespiti esnasında çok fazla manuel işlem gerçekleştirilmesidir. Zhang vd. yaptıkları çalışmada farklı ağırlıklandırma yöntemleri ile elde edilmiş MR görüntüleri için iyi bir genelleme performansına sahip ve uygulaması

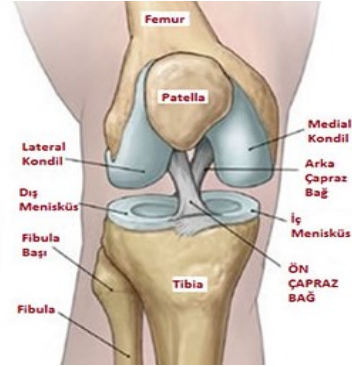
kolay olan tek gizli katmanlı ileri beslemeli yapay sinir ağlarının bir modeli olan Uçta Öğrenme Makinasını (Extreme Learning Machine) ve Ayrımsayıcı Rassal Alanlar (Discriminative Random Fields) yöntemlerini bir arada kullanarak hem kırıkdağ hem de menisküs dokuları için tam otomatik bir bölütleme işlemi gerçekleştirmişlerdir [2]. Menisküslerle alakalı bir diğer çalışmada istatistiksel yöntemleri kullanarak sağıtal diz MR görüntülerinden menisküs bölgelerinin bulunması, bölütlenmesi ve menisküs yırtıklarının tespiti gerçekleştirilmektedir [3]. Çalışmada histogram temelli yöntem gerçekleştirilmiş ve yırtıkların tespiti içinde şablon eşleştirme (template matching) yöntemi kullanılmıştır. Diz MR görüntüleri üzerine birçok çalışması bulunan Fripp vd. sağıtal düzlemde 14 farklı MR görüntü üzerinde otomatik menisküs bölütlemeyi geliştirmiştir. Lateral menisküsler için 0.75, medial menisküsler için 0.77'lik başarı oranı elde etmişlerdir [4]. Çalışma sağlıklı insanlar üzerinde uygulanmıştır. Normal menisküs ve bozulmuş (dejenere) menisküsler arasındaki ayrımı ortaya çıkarmaya çalışan bir diğer çalışmada T1 ağırlıklı sağıtal düzlemde elde edilmiş 55 farklı MR görüntüsü üzerinde gerçekleştirilmiştir [5]. Bölge büyütme (region growing) yaklaşımı kullanılarak tespit edilen menisküslerden bir dizi dokusal özellik (açısal momentum, entropi vb.) çıkartılmış ve bu dokusal özellikler ile Bayes sınıflayıcı ile yapılan sınıflandırma işlemi sonunda %89 'luk doğruluk oranı elde edilmiştir. Benzer şekilde hastalıklı ve sağlıklı menisküslerin incelenmesi üzerine kurgulanmış bir diğer çalışma ise dış (lateral) menisküslerin yarı otomatik bir yöntemle tespit edilmesi üzerine kurgulanmıştır [6]. Çalışmanın öncelikli hedefi bölütleme zamanını ve MR okuyucu farklılıklarından kaynaklanan hataları azaltmak olmuştur. Sistemin bölütleme başarısı sağlıklı görüntüler için 0.80, hastalıklı görüntüler için ise hastalığın seviyesine göre 0.75 (0. seviye), 0.67 (1.seviye) ve 0.64 (2.seviye) olarak belirlenmiştir.

Bu çalışmada ise 88 farklı MR görüntüsü üzerinde menisküs bölgesi tespiti yapmak için HOG yöntemi ile özellikler çıkartılmış, 10 ağaçlı ve metot olarak da regresyonu kullanan bir karar ormanı (tree bagging) ile sistem eğitilmiştir. Veri setinin %75'i eğitim için kullanılmış ve en yüksek korelasyon değerine %91'lik bir başarı ile 160 x 40'lık çerçeve büyüklüğünde ulaşılmıştır.

Çalışmanın ikinci bölümünde menisküs yapıları, üçüncü bölümde manyetik rezonans görüntüleme, dördüncü bölümde uygulama ve son bölümde sonuç yer almaktadır.

II. MENİSKÜS YAPILARI

Menisküs Şekil 1'de görüldüğü gibi diz eklemi içerisinde, uyluk ve kaval kemikleri arasında yarımay şeklinde biri iç kısımda diğeri dış kısımda olmak üzere her diz eklemine iki adet bulunan kırıkdağ yastıkçıklardır. Menisküsün birincil görevi eklem sürtünmesini azaltarak hareket kabiliyetini arttırmaktır. Uyluk ve kaval kemiklerinin başlarını sararak oluşturduğu yuva içerisinde eklem hareketine de katkıda bulunur [7].



Şekil 1 Sağ dizin önden görünümü [8]

Uyluk ve kaval kemikleri arasında yerleşen menisküsler eklem kırıkdağını anormal yüklerden korurlar. Diz üzerine yapılan baskı sonucunda oluşan yüklerin taşınmasında ve aktarılmasında çok önemli görevleri vardır. Bunların yanı sıra eklem yüzlerinin uyumluluğunu artırmak ve eklem sıvısının eklem içi dolaşımına katkıda bulunmak gibi görevleri de vardır [9]. Menisküsler olmadığında diz eklemine yapılan aşırı yüklenmeler sonucunda eklem kırıkdağında aşınmalar oluşur ve osteoartrite rahatsızlığı meydana gelir. İç (medial) menisküs dış (lateral) menisküse göre daha az hareketli olduğu için yırtılmaların % 67 'si iç menisküste, % 33 'ü de dış menisküste meydana gelir [10].

III. MANYETİK REZONANS GÖRÜNTÜLEME

Günümüzde Manyetik Rezonans Görüntüleme (MRG) birçok hastalığın teşhisinde, klinik araştırmalarda, cerrahi karar süreçlerinde faydalı olan, anatomik görüntüler üretmede kullanılan en önemli tekniklerden birisidir. MRG'nin yaygın olarak tercih edilme sebepleri arasında invaziv olmaması, doku ayırt etmedeki yüksek kalitesi ve dokulara zarar verebilecek molekül iyonlaştırıcı enerjiden yoksun olan radyo frekans (RF) sinyallerine bağlı olarak zararsız çalışması sayılabilir.

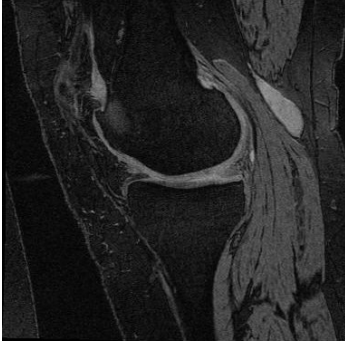
Manyetikleme yeteneği 1.5 Tesla'dan 9 Tesla'ya kadar olan manyetik rezonans (MR) tarayıcılar yüksek alanlı tarayıcılar olarak, manyetikleme yeteneği 1.5 Tesla'dan düşük olan MR tarayıcılar ise düşük alanlı tarayıcılar olarak adlandırılır.

IV. UYGULAMA

Gerçekleştirdiğimiz çalışmanın amacı MR görüntülerinden menisküs içeren bölgelerin tespit edilmesidir. Bu amaç doğrultusunda Osteoartrite girişimi tarafından sağlanmış toplam 88 MR görüntüsü kullanılmıştır. Her bir MR görüntüsünde toplam da 160 kesit görüntüsü yer almaktadır. Şekil 2'de veri setinde yer alan bu kesit görüntülerinden bir örnek yer almaktadır.

Kesit görüntülerinin tamamında menisküs bölgeleri görünmediği için öncelikle menisküs bölgelerinin yer aldığı kesit görüntülerinin tespit edilmesi amaçlanmıştır. Bunun için referans gerçeklik (ground truth) verileri kullanılarak menisküsün belirgin olduğu kesitler seçilmiş ve çalışmalar bu kesitler üzerinde başlamıştır. Toplamda 88 MR

görüntüsü, her bir MR'da 160 kesit ve her kesitte 384 x 384 pikselin bulunması, gerçekleştirilecek işlemler açısından hafıza ve hesaplama ile ilgili problemler yaşanılmasını olası kılmaktadır. Bu yüzden kesit görüntülerinin tamamında işlem yapmak yerine daha özelleşmiş bir alanda menisküs araması yapmanın daha az maliyetli ve daha başarılı olacağı kanısına varılmıştır.



Şekil 2 Örnek bir MR kesit görüntüsü

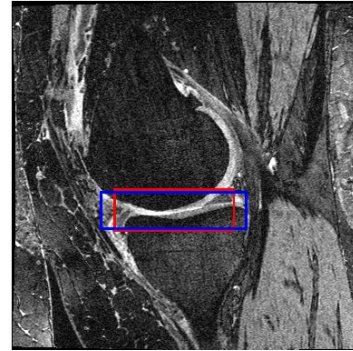
Referans gerçeklik verileri içerisinde menisküslerin hangi kesitlerde ve hangi koordinatlarda olduğu radyoloji uzmanları tarafından belirlenmiş ve kullanıcılara sunulmuştur. Bu veriler yardımıyla menisküslerin kesit üzerinde hangi bölgelerde olduğuna bakılmış ve menisküsler için bütün MR ve kesitler üzerinden global minimum ve global maksimum noktaları belirlenerek menisküs araması yapmak için Şekil 3'te görüldüğü gibi bir *bounding box* elde edilmiştir. *Bounding Box*'ın tespit edilmesi işlemi ihtiyaç duyulan hafızanın yaklaşık %75 oranında azalmasını sağlamıştır. Devam eden aşamada tespit edilmiş olan *Bounding box*'ın içerisinde özelliklerin çıkarılması işlemi gelmektedir. Kesitler üzerinde yer alan menisküslerin çerçeve büyüklükleri farklı ölçülerde olabildiği için özellik çıkarımı aşamasında da 3 farklı çerçeve büyüklüğüne göre özellik çıkarma işlemi gerçekleştirilmiş ve *bounding box* içerisinde 2 piksel kaydırarak her bir çerçeve için özellikler elde edilmiştir. Özellik çıkarımı için Histogram of Oriented Gradient (HOG) görünüm betimleyici kullanılmıştır. HOG genel anlamda görüntüde yer alan piksellerin yönelim açılarının ve gradyan değerlerinin karakteristiği ile özellik çıkarımı yapar. Buradaki temel amaç görüntüyü yerel histogramlar şeklinde ifade etmektir [11].



Şekil 3 Bounding Box

Özellik çıkarma işlemi esnasında hedef değişken (*target variable*) olarak kullanmak için *bounding box* içerisinde özelliği çıkarılan her bir parça (*patch*) için gerçek menisküs çerçevesi ile olan örtüşmesine yani iki çerçevenin birbiri üzerine ne oranda alansal olarak keşiştiğine bakılarak bu iki çerçeve arasında o kadar görünüşsel benzerlik vardır şeklinde sezgisel bir yol izlenmiştir. Bu sayede her bir parçanın gerçek parçaya olan benzerliğinin ve özelliklerinin ne olduğu belirlenmiştir. Bundan sonraki aşamada 66 MR görüntüsü (%75) eğitim, 22 MR görüntüsü (%25) test için ayrılmıştır. MR görüntülerinden elde edilen özelliklerin hafızada işlenmesinin mümkün olmayışı sebebi ile rassal alt örnekleme ile örnek seçimi yapılmıştır. Örnek seçimi sonucunda mevcut örneklerin %80'lik bölümü elenmiştir. Bu indirgemenin ardından yaklaşık 600 bin örnek eğitim için, 150 bin örnek test için kullanılmaya hazır hale getirilmiştir.

Eğitim için hazırlanmış örnekler karar ormanı (*Tree Bagging*) yöntemi ile eğitilmiştir. Bu yöntem sınıflandırma veya regresyon işlemlerinden birisiyle eğitime işlemi için bir grup karar ağacını bir araya toplar. Toplulukta yer alan ağaçlar giriş verilerinin yinelenmesi sayesinde bağımsız bir şekilde büyüeyebilen ağaçlardır. Bilinmeyen bir veri için ağaç topluluğu tahmininde, bu metot toplam ağaç sayısına göre her bir ağaç tahmininin ortalamasını alır. Çalışmada karar ormanı için ağaç sayısı 10 olarak belirlenmiş ve metot olarak da regresyon kullanılmıştır. Karar ormanı ile eğitime işleminden önce eğitim için kullanılacak özelliklere temel bileşen analizi uygulanmış ve en yüksek öz değere karşılık gelen ilk 100 özellik seçilmiş ve kullanılmıştır. Şekil 4'te uygulanan sistemin 160 x 40'lık parça için elde ettiği menisküs bölgesi mavi çerçeveyle, referans gerçeklik verileri ile elde edilmiş menisküs bölgesi ise kırmızı çerçeveyle gösterilmektedir.



Şekil 4 Gerçek menisküs bölgesi (Kırmızı) ve sistem tarafından tahmin edilen menisküs bölgesi (mavi)

Tablo 2'de gerçekleştirilen çalışmanın sonuçlarından örnek bir kısım görülmektedir. Şekle bakıldığında 160 x 40 piksellik çerçeve kullanılarak elde edilen 79 numaralı MR görüntüsünün içerisinde menisküsün yer aldığı kesitler için elde edilmiş tahmin skorları ve gerçek skorlar yer almaktadır. Tahmin skoru (*predScore*) regresyon analizi

tarafından elde edilen skoru gösterirken, referans gerçeklik skoru (gtScore) kullanılan çerçeve için en iyi örtüşmeyi veren değerdir.

MR No	Kesit No	Kesitteki En Yüksek Skorlu Çerçeve [x, y, w, h]	Gerçek Çerçeve [x, y, w, h]	predScore	gtScore
79	90	[130, 228, 160, 40]	[126, 232, 139, 40]	0.85	0.92
79	91	[120, 228, 160, 40]	[129, 232, 143, 37]	0.85	0.90
79	92	[122, 229, 160, 40]	[127, 234, 148, 40]	0.84	0.94
79	93	[121, 231, 160, 40]	[131, 235, 145, 36]	0.85	0.89
79	94	[119, 231, 160, 40]	[127, 233, 150, 39]	0.88	0.95

Tablo 2 Sistemin elde ettiği skorlardan bir kesit

Farklı çerçeve büyüklükleri için elde edilmiş korelasyon ve ortalama karesel hata değerleri aşağıdaki tabloda görülmektedir.

Çerçeve (Patch) Büyüklüğü	Ortalama	
	Karesel Hata	Korelasyon
90 x 30 piksel	0.01212	% 88.410
140 x 35 piksel	0.01487	% 90.604
160 x 40 piksel	0.01459	% 91.009

Tablo 3 Korelasyon ve karesel hata değerleri

V. SONUÇ

Manyetik rezonans görüntülemenin tıp alanında sıklıkla kullanılan bir yöntem olması çalışmamızda da kullanılmasına vesile olmuştur. Spesifik olarak diz MR görüntüleri üzerine odaklanan bu çalışma iç menisküs bölgelerinin tespiti için yeni bir yöntem önermiş ve en yüksek başarıyı üç farklı çerçeve büyüklüğü içerisinde 160x40 piksel genişliğindeki çerçeve büyüklüğü için %91'lik bir başarı oranı ile elde etmiştir. Bu çalışma geçmişte yapılan çalışmalarla mukayese edildiğinde elde edilen başarının yüksek olması bir avantaj iken zamansal karmaşıklığın yüksek olması bir dezavantaj olarak gözükmemektedir.

Gerçekleştirilmesi planlanan çalışmalarımızın ilk basamağı olan bu çalışmanın ardından menisküs bölgelerinin yer aldığı çerçeveler içerisinde menisküs dokularını olduğu gibi, yani arka plan verilerinden ve gereksiz verilerden arınmış olarak tespit edebilmek için morfolojik işlemler, kümeleme ve segmentasyon gibi işlemlerle çalışmalara devam edilecektir. Sistem başarısı başka görünüşsel betimleyici türleri ile değişken ve karar tümlleştirme alternatifleri kullanılarak geliştirilebilir. Ayrıca mevcut sistemin hızlandırılması ve 3 boyutlu olarak analiz işlemlerinin gerçekleştirilmesi de yapılması planlanan çalışmalar arasındadır.

TEŞEKKÜR

OAI, National Institutes of Health (NIH) sermayesiyle beş sözleşmeden (N01-AR-2-2258; N01-AR-2-2259; N01-AR-

2- 2260; N01-AR-2-2261; N01-AR-2-2262) oluşan bir kamu-özel ortaklığıdır. Özel sermaye ortakları arasında Novartis şirketi, Merck Araştırma Laboratuvarları, GlaxoSmithKline ve Pfizer A.Ş. bulunmaktadır. OAI'nin kamu kullanımına açık veri setini kullanarak hazırlanan bu metin OAI araştırmacılarının, NIH'in veya özel sermaye ortaklarının fikir ya da görüşlerini yansıtmamaktadır. Kamu kullanımına açık olan bu veri setini sağlayan kuruluşlara teşekkürlerimizi sunarız.

KAYNAKÇA

- [1] Hata, Y., Kobashi, S., Tokimoto, Y., Ishikawa, M., Ishikawa, H. 2001. "Computer aided diagnosis system of meniscal tears with T1 and T2 weighted MR images based on fuzzy inference", Computational Intelligence. Theory and Applications. Fuzzy Days 2001, 55-58.
- [2] Zhang, K., Lu, W., Marziliano, P. 2013. "The unified extreme learning machines and discriminative random fields for automatic knee cartilage and meniscus segmentation from multi-contrast MR images". Machine vision and applications, 24(7), 1459-1472.
- [3] Köse, C., Gençalioglu, O., Şevik, U. 2009. "An automatic diagnosis method for the knee meniscus tears in MR images" Expert Systems with Applications, 36.2, 1208-1216.
- [4] Fripp, J., Bourgeat, P., Engstrom, C., Ourselin, S., Croizer, S., Salvado, O. 2009. "Automated segmentation of the menisci from MR images", InBiomedical Imaging: From Nano to Macro, ISBI'09. IEEE International Symposium, 510-513.
- [5] Boniatis, I., Panayiotakis, G., Panagiotopoulos, E. 2008. "A computer-based system for the discrimination between normal and degenerated menisci from Magnetic Resonance Images." Imaging Systems and Techniques, IEEE International Workshop, 335-339.
- [6] Swanson, M. S., Prescott, J. W., Best, T. M., Powell, K., Jackson, R. D., Haq, F., & Gurcan, M. N. 2010. "Semi-automated segmentation to assess the lateral meniscus in normal and osteoarthritic knees". Osteoarthritis and Cartilage, 18(3), 344-353.
- [7] Us, A. K. "Diz Menisküs Yaralanmaları", Artroskopi. <http://www.artroskopi.us/dizmeniskusyaranlama.htm>, Son Erişim Tarihi: 21 Ağustos 2015.
- [8] Uysal, Ö. S. "Ön Çapraz Bağ Yaralanmaları". Op. Dr. Özgür Selim Uysal, http://www.drozguruysal.com/?page_id=2958, Son Erişim Tarihi: 22 Ağustos 2015.
- [9] Tandoğan, N. R. "Menisküs yırtıklarında tedavi seçenekleri". Ortopedi Kliniği, <http://www.ortoklinik.com/hastalar-icin/meniskus-yirtiklari>, Son Erişim Tarihi: 26 Ağustos 2015.
- [10] Ordu, S. Bayram, E., Çetinus, E., Kaya, İ., Yılmaz, M. 2014. "Elli Yaş Altındaki Hastalarda Menisküs Yırtık Tiplerinin Ön Çapraz Bağ ve Osteokondral Lezyonlarla İlişkisi", Haseki Tıp Bülteni, 52, 177-180.
- [11] Dalal, N., Triggs, B., 2005. "Histograms of oriented gradients for human detection". In IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR '05), volume 1, 886-893.