

BİLGİSAYARLI GÖRMEYE DAYALI ELEKTROAKTİF POLİMER HAREKETLERİNDEN ELEKTRİK GERİLİMİ TAHMİNİ

Mustafa Hakan BOZKURT*¹, Eyüp GEDİKLİ¹, Mehmet İTİK²

¹ Karadeniz Teknik Üniversitesi, Yazılım Mühendisliği, 61830, Trabzon, Türkiye

² Karadeniz Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği, 61080, Trabzon, Türkiye

Anahtar Kelimeler	Özet
Bilgisayarla Görme Hareket Analizi Yapay Sinir Ağları Elektro Aktif Polimer Hareketinin Analizi Biyomekanik Robot Kolu	Bu çalışmada, elektroaktif polimer hareketleri izlenerek, polimere uygulanan elektrik gerilimi tahmin edilmiştir. Elektroaktif polimerler, düşük seviyeli elektrik gerilimleriyle şekilsel ve boyutsal değişime uğrayan, son zamanlarda biyomedikal alanlarda yapay kas üretimi için kullanılan maddelerdir. Düşük gerilimlerle değişimler gösterebildiğinden polimerlerin biyomedikal uygulamalarda daha çok kullanılması beklenmektedir. Biyomedikal uygulamalarda polimer maddenin kullanımındaki en büyük problem polimerin otomatik kontrolüdür. Bu nedenle polimer maddenin konumsal izlenimi ve gerçek zamanlı kontrolü gerekmektedir. Bu çalışmada, polimerin olduğu görüntülerde arkaplana dayalı olarak polimer maddenin belirlenmesi ve hareketine dayalı olarak verilen gerilimin tahmin edilmesine çalışılmıştır. Böylece elektroaktif polimer malzemenin istenilen hedefe gönderilmesi otomatik olarak sağlanabilmektedir. Bu sistem ile mikroinjeksiyon gibi elle yapıldığında pek çok hatalı işlemler elektroaktif polimer kullanılarak minimuma indirgenecek ve otomatikleştirilebilecektir. Çalışmada ilk olarak, arkaplan görüntüsüne dayalı olarak polimer malzemenin görüntülerdeki tespiti yapılmış ve morfolojik işlemlerle belirlenen nesne netleştirilmiştir. Ardından polimer maddenin öznelikleri HU'nun değişmez momentler yaklaşımı ile belirlenmiştir. Daha sonra değişmez momentlerden oluşan özellik veritabanından, o anda verilen gerilim değerinin yapay sinir ağları ile tahminine çalışılmıştır. 2 katmanlı ve geri yayımlı YSA ile elde edilen başarılı sonuçlardan daha çok hassasiyet gerektiren biyomekanik alanlarda polimerlerin kullanılabileceği görülmektedir.

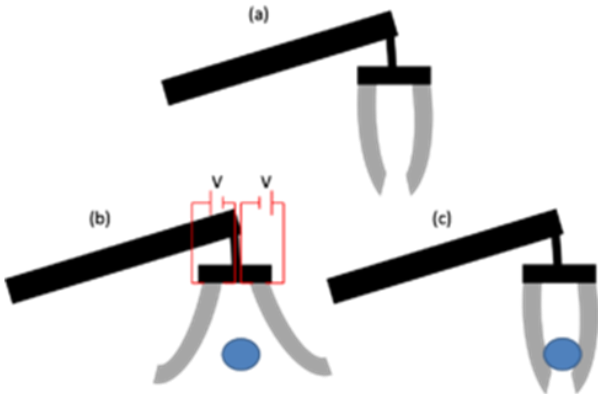
INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF THE BAFFLES ON THE HEAT TRANSFER COEFFICIENT AND PRESSURE DROP IN A SHELL AND TUBE HEAT EXCHANGER

Keywords	Abstract:
Computer Vision Movement Analysis Artificial Neural Networks Movement Analysis Of Electro Active Polymers Biomechanical Robot Arm	In this study, electroactive polymer motions were tracked, and the electric voltage applied to the polymer was estimated. Electroactive polymers are the materials that undergo formal and dimensional change as a result of low-level electric voltages. They have been used for producing artificial muscle in biomedical fields recently. Since they may show changes in low voltages, polymers are more likely to be used in biomedical applications. The biggest problem in the use of polymer material in biomedical applications is the automatic control of polymer. Thus, the positional tracking and the real-time control of the polymer material are needed. In this study, an attempt was made to identify the polymer material in the images containing polymer based on the background and to estimate the given voltage through its motion. By this means, it would be automatically possible to send the electroactive polymer material to the intended target. Thanks to this system, such operations yielding many errors when conducted manually as microinjection may be minimized and automated by use of electroactive polymer.

* İlgili yazar:mhakanbozkurt@ktu.edu.tr

1. Giriş

Teknoloji geliştikçe, insanların yeteneklerine bağlı olan işlerin daha kontrollü ve daha az hata ile yapılabilmesi için hassas duyarlı malzemelerin insan yeteneklerinden bağımsız olarak kontrollü bir şekilde kullanılabilmesi gündeme gelmektedir. Bu malzemelerden biri olan elektroaktif polimer malzemeler (EAP), bir elektrik alanına maruz kaldığında boyutsal ve şekilsel değişimler göstermektedir. Elektroaktif polimerlerin tipik özelliği, üzerine güç uygulandığında yüksek deformasyonu kaldırabilmeleridir (Bar-Cohen, 2005). Yani güç kalktığında elektroaktif polimer eski şekline dönmektedir. Elektroaktif polimerler genelde çalıştırıcı ve sensör olarak kullanılmaktadır (Bar-Cohen, 2005). Literatürde çok çeşitli kullanım şekilleri bulunmakla birlikte, elektroaktif polimerlerin en çok tercih edildiği alanlar robotik biliminde yapay kas oluşturma olduğundan, sık sık yapay kaslar olarak da adlandırılmaktadırlar. Verilen gerilim değerine göre hassas olarak konumlandırılabilmesi elektroaktif polimer malzemeleri çeşitli uygulamalar için elverişli kılmaktadır.



Şekil 1. Elektro Aktif Polimer Kullanım Örneği

Bu çalışmanın temelinde, elektroaktif polimer ile bilgisayarla görmeye dayalı bir mikro enjeksiyon düzeneğinin geliştirilmesi hedeflenmektedir. Bu amaçla, ilk olarak çalışma alanında elektroaktif polimerin belirlenmesi ve üzerine düşürülen gerilimin polimerin aldığı şekilden tahmin edilmesine çalışılmıştır. Elle yapılan mikro enjeksiyon işlemlerinde, uygulanan gücün fazla olması veya kontrolsüz odaklanma nedeniyle hücre çeperinin yırtılması, hatalı enjeksiyon gibi pek çok hata yapılmakta ve işlemin maliyeti artmaktadır. Oluşturulacak olan düzenek kullanımıyla daha az hata ile mikro enjeksiyon işlemi yapılabilecektir. Şekil 1'de elektroaktif polimer kullanılarak eklemi olmayan ama eklemli gibi hareket edebilen bir tutamaç ve Şekil 2'de sensörler ve elektroaktif polimer kullanılarak sinek hücrelerine uygulanan bir mikro enjeksiyon örneği görülmektedir (Chen vd., 2007).



Şekil 2. Polimer ile mikro enjeksiyon örneği

Oluşturulacak olan deney düzeneği; kamera ile işlem bölgesinin izlenmesi, elektroaktif polimerin belirlenmesi ve takibi, uygulanması gereken elektriksel gerilimin belirlenmesi, "xPC target" ile gerekli bilgilerin düzeneğe alınması ve kontrol setinde kameradan gelen bilgilerle değerlendirilip polimere yeni komutların aktarılması şeklinde olacaktır. Bu çalışma da bu düzenek için ilk aşama olup, polimerin algılanması ve karakteristiklerinin incelenmesi için şekilsel yapısından hareketini oluşturan gerilim değerinin tahminine çalışılmıştır. Bu amaçla ilk olarak elektroaktif polimer malzeme adaptif eşikleme yaklaşımıyla ayrıştırılıp öznelikleri belirlenmiş ve YSA kullanılarak oluşturulan eğitim setlerinden öğrenme gerçekleştirilmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Videolarda elektroaktif polimerin belirlenmesi

Çalışmada ilk olarak doğru bir şekilde elektroaktif polimerin ayrıştırılması gerekmektedir. Kullanılan kamera sabit ve arkaplan ile nesnelere farklı parlaklıkta olduğundan yerel adaptif eşikleme yöntemi ile malzeme ayrıştırılabilmektedir. Yerel adaptif eşikleme yaklaşımı daha küçük alanlarda ışık değişiminin daha az olacağını varsayar. Seçilen penceredeki parlaklıkları inceler ve mean veya median değeri belirlenerek pencere bölgesinin eşik değeri belirlenir. Burada büyük pencere seçimi yerelliği kaybettireceğinden tercih edilmez. Pencere küçük ise pencere tamamen nesne üzerinde kalabilir. Bu yüzden pencere boyutu seçilirken aranan nesnenin ebatlarının bilinmesinde fayda vardır (Fisher vd., 2003).

Yerel adaptif eşikleme sonrasında elde edilen ikili görüntüde polimerin netleştirilmesi, kopuklukların tamir edilmesi ve gürültüden arındırma için genişleme ve daraltma morfolojik işlemleri gerçekleştirilir. Daha sonra, ışık, gürültü gibi nedenlerden ötürü nesne üzerinde oluşan boşlukların giderilmesine çalışılır. Bunun için belirlenen görüntü

ile aynı ebatlardaki bir matris kullanılır. Belirlenen boşluktan itibaren boşlukların doldurulması sağlanır (Soille, 1999). Son aşamada etiketleme işlemi ile gruplama yapılır. Etiketleme işleminde her bir nesne farklı bir grup numarası ile etiketlenir. Deney düzeneğinde polimerin ebatları belirli olduğundan belirli bir büyüklük seviyesindeki nesne polimer olarak atfedilir. Sonraki aşamalarda bu etiketlenmiş nesne özellik vektörlerinin çıkarılması ve sınıflandırmada kullanılır.

2.2. Özneliklerin çıkarılması

$$m_{pq} = \iint x^p y^q f(x, y) \cdot \partial x \cdot \partial y, \quad p, q = 0, 1, 2, \dots \quad (1)$$

Merkez momentleri aşağıdaki gibi ifade edilir;

$$\mu_{pq} = \iint (x - \bar{x})^p (y - \bar{y})^q f(x, y) \cdot \partial(x - \bar{x}) \cdot \partial(y - \bar{y}), \quad \bar{x} = \frac{m_{10}}{m_{00}}, \quad \bar{y} = \frac{m_{01}}{m_{00}} \quad (2)$$

Merkez momentleri, dönüşüm altında değişmezlerdir. Boyutsal sabitlik için de 3. Denklem uygulanır.

$$\eta_{pq} = \frac{\mu_{pq}}{\mu_{00}^r}, \quad r = 1 + \frac{(p+q)}{2} \quad (3)$$

Hu, normalize merkez momentlerini kullanarak yedi adet değişmez moment geliştirmiştir. Hu'nun geliştirdiği momentler şöyledir;

$$\begin{aligned} \varphi_1 &= \eta_{20} + \eta_{02} \\ \varphi_2 &= (\eta_{20} - \eta_{02})^2 + 4\eta_{11} \\ \varphi_3 &= (\eta_{30} - 3\eta_{12})^2 + (3\eta_{21} - \eta_{03})^2 \\ \varphi_4 &= (\eta_{30} + \eta_{12})^2 + (\eta_{03} + \eta_{21})^2 \\ \varphi_5 &= (\eta_{30} - 3\eta_{12})(\eta_{30} + \eta_{12})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2] \\ &+ (3\eta_{21} - \eta_{03})(\eta_{21} + \eta_{03})[3(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2] \\ \varphi_6 &= (\eta_{20} - \eta_{02})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2] + 4\eta_{11}(\eta_{30} + \eta_{12})(\eta_{21} + \eta_{03}) \\ \varphi_7 &= (3\eta_{21} - \eta_{03})(\eta_{30} + \eta_{12})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - 3(\eta_{21} + \eta_{03})^2] \\ &- (\eta_{30} - 3\eta_{12})(\eta_{03} + \eta_{12})[3(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2] \end{aligned} \quad (4)$$

Uygulamada bu formüllere göre moment değişmez değerleri çıkarılmıştır. Özellik olarak her görüntü karesi için bu yedi değer kullanılmıştır.

2.3. Yapay sinir ağları ile sınıflandırma

Sınıflandırma işleminde yukarıda belirlenen veriler kullanılarak o anki görüntünün hangi gerilim seviyesine ait olduğu tahmin edilmeye çalışılmaktadır. Sınıflandırma işlemi için sezgisel bir yöntem olan Yapay Sinir Ağları (YSA) kullanılmıştır (Graupe, 2007). Kullanılan yapay sinir ağında giriş değerlerinin verildiği 16 nöronluk 1. Katman, 1. Katman çıkışı ile çıkış katmanı arasında 10 nöronluk 2. Katman ve çıkış katmanı bulunmaktadır. Ağ yapısı olarak çok katmanlı

Bu çalışmada, elektroaktif polimerin ikili görüntüsünden özellik çıkarımı yapılmıştır. Bu amaçla elektroaktif polimerin ikili görüntüsünün Hu momentleri çıkarılmıştır. Hu'nun 7 momentleri ile şekilsel değişiminden faydalanılmaya çalışılmıştır (Hu, 1962). Hu'nun momentleri, ölçeklendirme, döndürme ve dönüşüm işlemleri altında değişmemekte ve karakter tanıma gibi iki boyutlu örüntü tanıma problemlerinin çözümünde gözle görülür başarı sağlamaktadır. Klasik mekanikte tanımlanan momentlere benzer olarak iki boyutlu (p+q) dereceli ve f(x,y) dağılımlı bir görüntü için moment şöyle tanımlanır (Şengür, Türkoğlu, 2004).

ileri beslemeli ağ kullanılmıştır (Zurada, 1992). Başlangıç değerleri için belirlenmiş değerler kullanılmamakta, rastgele olarak seçilmektedir. YSA' da çok katmanlı ileri beslemeli ve geri yayımlı algoritma kullanılmıştır.

3. Araştırma Bulguları

Bu çalışmada Elektro Aktif Polimerlerin kontrolüne yönelik gerilim değerinin görsel olarak tahmin edilebilmesi araştırılmıştır. Bunun için Matlab ortamında bir program geliştirilmiştir. Bu program aracılığı ile yukarıda belirtilen görüntü işleme teknikleri uygulanmış, polimer nesnesi alınmış ve her polimer nesnesi için özellik vektörü üretilmiştir.

Üretilen özellik vektörleri uygun beklenen verilerle eşleştirilerek yukarıda ifade edilmiş özellikteki yapıyı

sinir ağına verilmiştir. Özellik vektörü üretilirken bir veya birden fazla görüntü çerçevesi kullanılmıştır.

Tablo 1. Polimerin stabil durumdaki tek bir görüntüsünün YSA ile kullanılmasıyla elde edilen sonuçlar

Eğitim Örnek Sayısı / Test örnek Sayısı	TESTLER										Ortalama Başarı
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
7 / 1	100	100	100	80	100	100	80	60	100	100	92
6 / 2	100	100	90	100	70	80	80	100	90	100	91
5 / 3	73,3	73,3	80	93,3	73,3	93,3	86,6	93,3	100	100	86,6
4 / 4	80	75	75	85	90	85	65	100	85	100	84
3 / 5	84	76	84	92	76	96	60	72	88	84	81,2

Tablo 1'de, polimerin stabil duruma geçtiği son çerçeve kullanılarak yapılan testin sonuçları görülmektedir. Toplamda 5 sınıf ve her sınıfa ait 8 örnek vardır. Herbir satırda eğitimde kullanılan örnek sayısı ile test sayısı değiştirilmektedir. Beklendiği gibi eğitimde kullanılan örnek sayısı azaldıkça başarı düşmektedir. Herbir sınıftan kullanılan eğitim örnek sayısı 7 ve geriye kalan tek örnek test olarak kullanıldığında genelde %100 doğru sınıflandırma yapılmaktadır. Tablodaki son sütunda yapılan 10

bağımsız testin ortalaması verilmiştir. Testlerde kullanılan örnekler, sınıflardan rastgele seçilmiştir.

Tablo 2'de polimer stabil duruma geçmeden önceki son 5 çerçeve kullanılarak yapılan testin sonuçları verilmiştir. Son 5 çerçeve birbirine yakın olduğundan ayrı ayrı verilmiştir. Böylece her sınıfta 40 görüntü deney için kullanılmıştır. Tablo 2, Tablo 1'e benzer şekilde düzenlenmiştir. Benzer şekilde başarı, kullanılan eğitim örnek sayısı ile doğru orantılıdır.

Tablo 2. Polimerin stabil duruma geçmeden önceki son 5 görüntü çerçevesinin YSA ya verilerek elde edilen sonuçlar

Eğitim Örnek Sayısı / Test Örnek Sayısı	TESTLER										Ortalama Başarı
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
35 / 5	100	100	100	80	92	80	100	80	60	100	89,2
30 / 10	98	90	100	98	100	100	100	100	80	100	96,6
25 / 15	100	86,6	86,6	100	93,3	93,3	80	89,3	100	98,6	92,7
20 / 20	85	70	95	90	100	90	95	92	90	90	89,7
15 / 25	96	88	87,2	78,4	91,2	96	88	92	72	68	85,68

Tablo 3. de her gerilime ait 8 video kaydının 5 ve 25. çerçeveleri tek bir çerçeve şeklinde düşünülerek özellik vektörü olarak kullanılmıştır. Burada, polimerin hareket halinde iken gösterdiği

karakteristikten sınıflandırma yapılması amaçlanmıştır. bu testte yine her sınıfta 8 tane örnek mevcuttur. Her bir örneğin özellik vektörü için 5. ve 25. çerçeveler kullanılmıştır.

Tablo 3. Polimere gerilim verildikten sonraki 5. ve 25. görüntü çerçevelerinin YSA ya verilerek elde edilen sonuçlar

Eğitim Örnek Sayısı / Test Örnek Sayısı	TESTLER										Ortalama Başarı
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
7 / 1	100	100	100	80	80	100	80	80	80	100	90
6 / 2	90	70	90	70	80	90	90	70	70	80	80
5 / 3	53,3	86,6	73,3	80	80	80	80	86,6	80	93,3	79,3
4 / 4	85	75	60	85	85	90	40	90	80	60	75
3 / 5	76	56	76	40	48	64	64	68	36	52	58

Tablo 3. de her gerilime ait 8 video kaydının 5 ve 25. çerçeveleri tek bir çerçeve şeklinde düşünülerek

özellik vektörü olarak kullanılmıştır. Burada, polimerin hareket halinde iken gösterdiği

karakteristikten sınıflandırma yapılması amaçlanmıştır. bu testte yine her sınıfta 8 tane örnek mevcuttur. Her bir örneğin özellik vektörü için 5. ve 25. çerçeveler kullanılmıştır. Deneylerde her bir testte eğitim ve test için rastgele örnek seçildiğinden test sonuçları farklı çıkmaktadır ancak sonuçlar yaklaşıktır. Bunun sebebi YSA eğitilirken kullanılan örneklerin farklı olmasıdır. Bu nedenle verilen 10 test sonucunun ortalaması da hesaplanmıştır.

4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada elektroaktif polimerlere gerilim düşürüldüğünde düşürülen gerilim değerinin polimerin şekilsel değişiminden belirlenmesine çalışılmış ve %90 seviyesinde sınıflandırma sağlanmıştır. Bu yaklaşım, elektroaktif polimerin otomatik bir şekilde odaklanmasında kullanılabilir.

Teşekkür

Bu çalışma Karadeniz Teknik Üniversitesi, Of Teknoloji Fakültesi Yazılım Mühendisliği ve Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Laboratuvarlarından faydalanılarak gerçekleştirilmiştir. Laboratuvarların oluşturulmasına ve kullanımına izin veren kurum ve kişilere teşekkür ederiz.

Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar

Bar-Cohen, Y., 2005., Artificial muscles using electroactive polymers (EAP): capabilities, challenges and potential.

Boztoprak, H., Çağlar, M. F., Merdan, M., 2007. Alternatif Morfolojik Bir Yöntemle Plaka Yerini Saptama.

Chen, Z., Shen, Y., Xi, N., Tan, X., 2007., Integrated sensing for ionic polymer-metal composite actuators using PVDF thin films, Smart materials and structures.

Fisher R., Perkins S., Walker A., Wolfart E., 2003., Adaptive Thresholding, <http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/HIPR2/adpthrsh.htm>

Graupe, D., 2007., Principles of Artificial Neural Net., Vol. 6., World Scientific.

Hu, M. K., 1962., Visual Pattern Recognition by Moment Invariants., *Information Theory., IRE Transactions on., 8.2., 179-187.*

Soille, P., 1999., *Morphological Image Analysis: Principles and Applications.*, Springer-Verlag.

Şengür, A., Türkoğlu, İ., 2004., Değişmez Momentlerle Türkçe Karakter Tanıma

Zurada, J. M., 1992., *Introduction to artificial neural systems.*, Vol. 8., St. Paul: West publishing company.