

Görüntü İşleme ve Bulanık Mantık Tabanlı Pantograf Geometrik Modelin Tespiti Detection of Pantograph Geometric Model Based on Fuzzy Logic and Image Processing

Orhan Yaman¹, Mehmet Karaköse², İlhan Aydın³, Erhan Akın⁴
Bilgisayar Mühendisliği Bölümü
FIRAT Üniversitesi
Elazığ, Türkiye
orhanyamantc@gmail.com¹, {mkarakose, iaydin, eakin}@firat.edu.tr^{2,3,4}

Özetçe—Bu çalışmada elektrikli trenlerde kullanılan pantograf türünün belirlenmesi için model tabanlı bir yaklaşım önerilmektedir. Elektrikli trenlerin kullanım şartlarına göre pantograf katener sistemin yapısı değişmektedir. Pantograf katener sistemlerinden alınan görüntüler kullanılarak pantograf sisteminin geometrik modeli oluşturulmaktadır. Oluşturulan modelin hangi tür pantografa ait olduğu tespit edilmektedir. İlk olarak kenar çıkarımı ve Hough dönüşümü ile pantografda bulunan bütün doğrular tespit edilmektedir. Tespit edilen doğrulardan alınan bazı bilgiler bulanık mantık işleminde kullanılarak pantografin türü belirlenmektedir. Pantograf türünün belirlenmesi pantografin yüksekliğini tahmin etmek ve katener ile pantograf arasındaki temas noktasını analiz etmek için uygundur. Böylece ark oluşumu ve aşırı temas kuvveti gibi temas noktası problemleri tespit edilebilecektir.

Anahtar Kelimeler — *pantograf katener sistemler; görüntü işleme; bulanık mantık; modelleme.*

Abstract— In this study, a model based approach is proposed for the recognition of the pantograph type used in electric trains. The shape of the pantograph-catenary changes according to usage conditions of electric trains. A geometric model of the pantograph is constructed by using images taken from the pantograph-catenary system. The pantograph type is determined by using the constructed model. First, all straight lines are extracted from the image by applying the edge detection and Hough transform to the image. Some knowledge obtained from straight lines are given to fuzzy logic and type of pantograph is determined. The determination of pantograph type is useful to estimate the pantograph height and to analyze of contact point between pantograph and catenary. Therefore, contact point problems such as arcing and excessive contact force can be detected.

Keywords — *pantograph catenary systems; image processing; fuzzy logic; modeling.*

Bu çalışma TÜBİTAK (Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu) tarafından desteklenmiştir. Proje No: 112E067

978-1-4799-4874-1/14/\$31.00 ©2014 IEEE

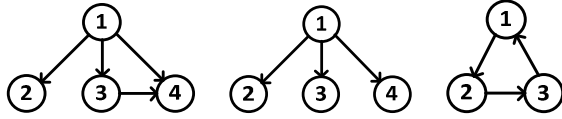
I. GİRİŞ

Günümüzde demiryolu ulaşımında elektrikli trenlerin geliştirilmesiyle bu ulaşım türü daha avantajlı duruma gelmiştir. Elektrikli trenlerde yaygın olarak oluşan problemlerden biri de pantograf katener sistemlerinde oluşan arızalardır [1]. Pantograf sistemi, katener sisteminden aldığı elektriği lokomotiflere ileten kritik bir sistemdir. Katener sistemi ise, trafo merkezinden alınan elektriğin pantograf sistemine iletilmesini sağlayan bir sistemdir. Bu sistemlerde oluşan arızaların önlenmesi demiryolu ulaşımı için oldukça önemlidir.

Pantograf katener sistemleri, kullanılan demiryolu araçlarına göre farklılık göstermekte ve farklı arızalar oluşmaktadır. Sistemin yanlış konumlanması, aerodinamik yapısı, pantograf katener sisteminde temas noktasında oluşan temassızlık, aşırı ısınma ve ark oluşumlarından dolayı birçok arıza oluşmaktadır [2].

Pantograf katener sistemlerde erken teşhis yapılarak büyük arızalar engellendiği için bakım maliyeti düşmektedir. Erken arıza teşhisi bütün sistemlerde önemli olduğu gibi pantograf katener sistemlerde de önemlidir [3, 4]. Bu sistemlerde arıza teşhis sistemi genel olarak iki farklı şekilde gerçekleştirilmektedir. Elektrikli trenin kullandığı elektrik enerjisinin akım ve gerilim değerleri kontrol edilerek yapılan arıza teşhis yöntemi, bilinen arıza teşhis yöntemlerinden biridir [5-9]. Midya ve diğ. [7] pantograf katener sistemlerinde oluşan ark arızalarının tespiti için akım ve gerilim değerlerini analiz etmiştir. Pantograf ve katener sistemini temsil eden bir model yapı oluşturarak modelde oluşan ark türleri, akım ve gerilim değerleriyle tespit edilebilmesi için akım ve gerilim sinyallerini incelemiştir. Ocoleanu ve diğ. [9] pantograf ile katener arasındaki temas noktasında aşırı ısınma ve sürtünmeden dolayı oluşan arızaları analiz etmiştir. Bu arıza teşhisinin gerçekleştirilmesi için oluşturulan yapı oldukça maliyetli olup pantograf katener sistemlerinde kullanılması zor bir işlemdir. Bu nedenle bu arıza teşhis

yöntemi gerçek zamanlı analiz için uygun değildir. Bu arıza teşhisinin yanı sıra görüntü işleme tabanlı arıza teşhis yöntemi bulunmaktadır [10-11]. Boguslavskii ve diğ. [10] gerçek zamanlı görüntü işleme algoritmaları ile pantograf sisteminin görüntüsünü, geometrik model ve graf yapıları kullanarak tespit etmektedir. Pantograf türünü belirlemek için kullandığı modellerin graf yapıları Şekil 1’ de verilmiştir.



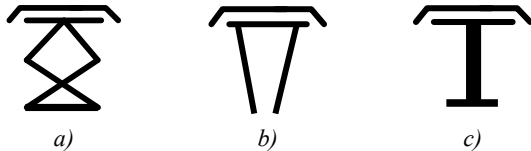
Şekil 1. Literatürde kullanılan graf yapıları [10]

Verilen graf yapılarında her üç graf için de öncelikle pantograf üst bölgesi tespit edilmektedir. Daha sonra pantograf yan bölgeleri tespit edilerek pantograf bölgelerini belirlemektedir.

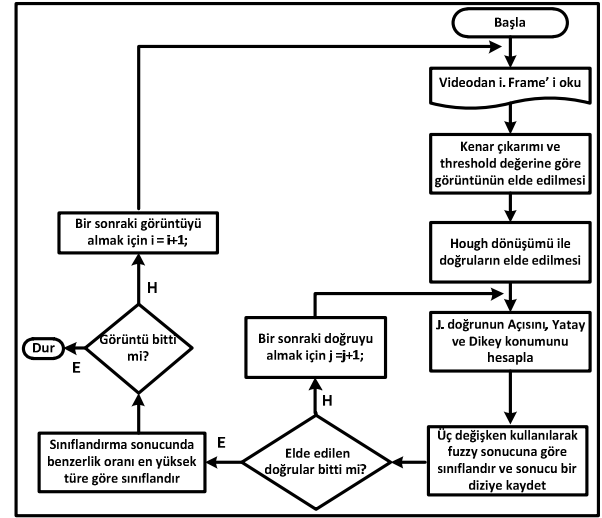
Bu çalışmada pantograf katener sistemlerinde oluşan arızaların daha kesin tespit edilebilmesi için görüntü işleme ile bulanık mantık tabanlı yeni bir yöntem önerilmektedir. Önerilen yöntemde pantograf sisteminin modeli oluşturularak elde edilen modelin özellikleri pantograf türünü belirlemektedir. Pantograf görüntüleri alınarak kenar çıkarımı ve Hough dönüşümü ile görüntüde bulunan doğrular tespit edilmektedir. Tespit edilen doğrulardan alınan açı değeri, yatay ve dikey eksenindeki konumları dikkate alınarak pantograf modeli belirlenmektedir. Pantograf modelinin belirlenmesinde bulanık mantık tabanlı bir yöntem önerilmektedir. Pantograf geometrik modeli belirlenerek pantograf üst bölgesi ve yan bölgeleri kolaylıkla tespit edilmektedir. Pantograf üzerinde oluşan arızaların tespitinde bu model kullanılarak oluşan arızalar daha erken sürede tespit edilebilir.

II. ÖNERİLEN YÖNTEM

Pantograf katener sistemlerde farklı türlerde pantograf modelleri bulunmaktadır. Bu pantograf modelleri bulundukları trenin özelliklerine göre farklılık göstermektedir. Genel olarak kullanılan üç farklı pantograf modeli Şekil 2’de verilmektedir. Şekil 3’te ise önerilen yöntemin genel akış şeması verilmektedir.



Şekil 2. Pantograf türleri a) Chs-200 b) TGV c) VL-80

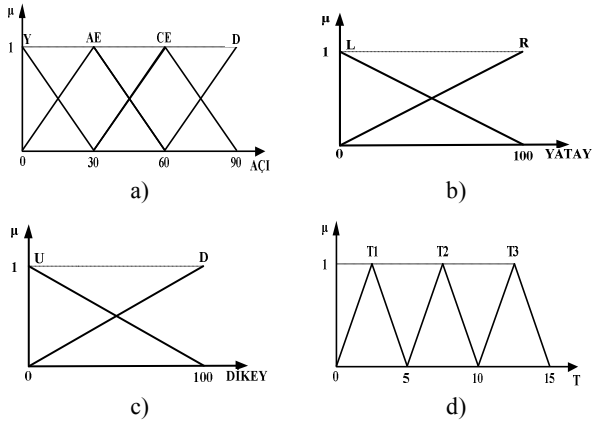


Şekil 3. Önerilen yöntemin genel akış şeması

Şekil 3’te görüldüğü gibi pantograf modelinin belirlenmesi için pantograf görüntüsünden bazı özellik çıkarım yapılmıştır. Görüntü işleme tekniklerinde özellik çıkarımı için yaygın olarak kullanılan kenar çıkarımı yöntemleri bulunmaktadır. Bu kenar çıkarım yöntemleri görüntü üzerinde bulunan kenarları elde ederek görüntü üzerinde bulunan nesnelerin tespit edilmesi için kullanılmaktadır. Birçok kenar çıkarım yöntemi bulunmaktadır. Bu yöntemlerden yaygın olarak kullanılan Canny, Sobel, Prewitt ve Robert kenar çıkarım algoritmaları mevcuttur. Bu çalışmada Canny kenar çıkarım algoritması kullanılmaktadır. Canny kenar çıkarım algoritması görüntüde kenar çıkarımı yapmadan önce Gauss filtresini kullandığı için kenar çıkarım işlemi daha başarılı bir şekilde elde edilmektedir. Canny kenar çıkarım algoritması diğer kenar çıkarım algoritmalarına göre daha iyi sonuç vermektedir.

Kenar çıkarım adımından sonra görüntüdeki doğruların tespit edilmesi için Hough dönüşümü kullanılmaktadır. Hough dönüşümü, kenar bilgisi elde edilmiş gri-seviye imgeler üzerine uygulanmaktadır. Hough dönüşümü, istenilen şekli tespit edebilmek için görüntü üzerindeki noktaların yan yana veya bağlantılı olmalarını gerektirmemektedir [12].

Hough dönüşümünden elde edilen doğrulardan özellik çıkarımı yapılarak her doğrunun açı değeri, yatay ve dikey eksenindeki konumları elde edilmektedir. Elde edilen özellikler bulanık mantık sisteminde giriş üyelik fonksiyon değerleri olarak kullanılmaktadır. Kullanılan giriş değerleri kural tabanından geçtikten sonra pantograf modelinin hangi tür modele ait olduğu belirlenmektedir. Bulanık mantık sistemleri sınıflandırma, arıza teşhisi ve daha birçok uygulamalarda veya problemlerde kullanılmaktadır [13-15].



Şekil 4. Bulanık sistemde kullanılan üyelik fonksiyonları a) Açık değeri (Y: Yatay, AE: Az Eğik, CE: Çok Eğik, D: Dikey) b) Yatay konum (L: Sol, R: Sağ) c) Dikey konum (U: Yukarı, D: Aşağı) d) Çıkış üyelik fonksiyonu

Numara	Kural
Kural-1	$Açık = Y \& Dikey = U \rightarrow TUR = T3$
Kural-2	$Açık = Y \& Dikey = D \rightarrow TUR = T1$
Kural-3	$Açık = AE \rightarrow TUR = T1$
Kural-4	$Açık = CE \& Yatay = L \& Dikey = U \rightarrow TUR = T3$
Kural-5	$Açık = CE \& Yatay = L \& Dikey = D \rightarrow TUR = T1$
Kural-6	$Açık = CE \& Yatay = R \& Dikey = U \rightarrow TUR = T3$
Kural-7	$Açık = CE \& Yatay = R \& Dikey = D \rightarrow TUR = T1$
Kural-8	$Açık = D \& Yatay = L \& Dikey = U \rightarrow TUR = T3$
Kural-9	$Açık = D \& Yatay = L \& Dikey = D \rightarrow TUR = T2$
Kural-10	$Açık = D \& Yatay = R \& Dikey = U \rightarrow TUR = T3$
Kural-11	$Açık = D \& Yatay = R \& Dikey = D \rightarrow TUR = T2$

Tablo 1. Önerilen yöntemde kullanılan kural tablosu

Pantograf görüntüsünde bulunan her bir doğru için hesaplanan bu değerleri bulanık sistemde kullanılması için net giriş değerleri olarak kullanılmaktadır. Elde edilen özelliklerin kullanılması için bulanık sistemde üyelik fonksiyonları oluşturulmuştur. Bulanık sistem için oluşturulan üyelik fonksiyonları Şekil 4'te verilmektedir.

Şekil 4'te verilen giriş üyelik fonksiyonları kullanılarak net giriş değerleri bulanık giriş değerlerine dönüştürülmektedir. Elde edilen bulanık giriş değerleri bir kural tablosuyla birlikte kullanılarak çıkarım yapılmaktadır. Önerilen yöntem için kullanılan kural tablosu Tablo 1'de verilmektedir.

Tablo 1'de verilen kural tablosu kullanılarak çıkarım yapılmaktadır. Çıkarım sonucunda elde edilen çıkış değerleri pantograf görüntülerinde tespit edilen doğruların hangi pantograf türüne ait olduğunu belirlemektedir. Ayrıca her pantograf modelini oluşturan pantograf üst çubuğu, alt ve yanal çubukları tespit edilmektedir.

III. DENEYSEL SONUÇLAR

Bu çalışmada üç farklı türe ait pantografin gerçek zamanlı video görüntüleri kullanılmıştır. Lokomotifin üzerine sabit bir bölgeye yerleştirilen sabit kameralar ile

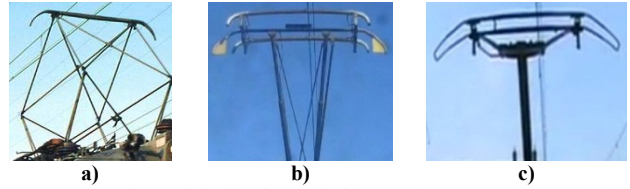
görüntü alınmıştır. Video görüntülerinden alınan bir dizi çerçeve için önerilen yöntem uygulanmaktadır. Kullanılan üç farklı türe ait pantograf görüntüleri Şekil 5'te verilmektedir.

Şekil 5'te verilen görüntüler üç farklı türe ait pantograf videolarından alınan birer görüntü karesidir. Bu görüntüler öncelikle gri seviyeli görüntüye dönüştürüldükten sonra Canny kenar çıkarımı yapılmaktadır. Her bir pantograf türüne ait kenar çıkarım sonuçları Şekil 6'da verilmektedir.

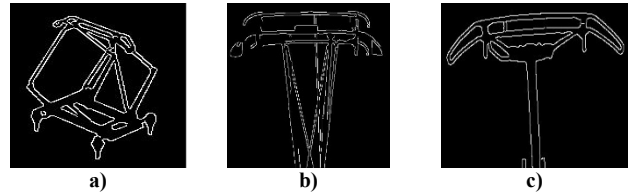
Kenar çıkarımı elde edilen görüntülere Hough dönüşümü uygulanarak görüntüde bulunan doğrular tespit edilmektedir. Elde edilen doğrular uzunluk ve doğruların yoğunluğu gibi değerlere göre seçilmektedir. Hough dönüşümü sonucunda elde edilen doğrular üç ayrı pantograf türüne ait görüntüler için Şekil 7'de verilmektedir.

Şekil 7'de verilen görüntülerde elde edilen doğrular için açı değeri, yatay ve dikey eksenindeki konumu hesaplanmaktadır.

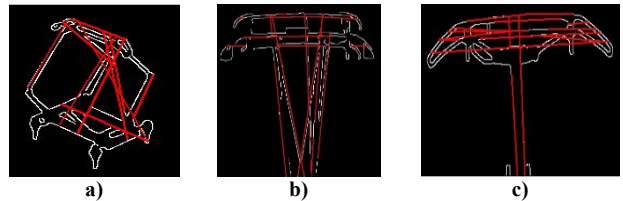
Bir görüntüde 10 doğru oluşturularak her bir doğru için bulanık sistem kullanılmaktadır. Bulanık sistem sonucunda bir görüntüye ait 10 doğruların sınıflandırma sonucunda en fazla benzerlik gösteren model türü pantografin türünü belirlenmektedir. Bu sistem Matlab/Simulink ortamında simülasyonu oluşturularak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5. Bu çalışmada kullanılan üç farklı türe ait pantograf görüntüleri a) Chs-200 b) TGV c) VL-80



Şekil 6. Pantograf türlerinin kenar çıkarımı ile elde edilen görüntüleri a) Chs-200 b) TGV c) VL-80



Şekil 7. Pantograf görüntülerinin hough dönüşümü ile doğruların gösterilmesi a) Chs-200 b) TGV c) VL-80

	Ortalama Süre, ms	Standart Sapma, ms	Oran %
Başarılı işleme	9.6	1.06	94
Başarısız işleme	9.6	1.06	6

Tablo 2. Önerilen yöntemin performans analizi

	Ortalama Süre, ms	Standart Sapma, ms	Oran %
Başarılı işleme	3.1	0.87	83
Başarısız işleme	3.0	1.43	17

Tablo 3. Literatürde yapılan çalışmanın performans analizi

Gerçekleştirilen simülasyonda üç farklı pantograf türüne ait video için uygulanmıştır. Önerilen yöntemin uygulaması “Intel Core 2 Duo T6600 ve 2.2GHz” özelliklerine sahip bir bilgisayarda gerçekleştirilmiştir. Kullanılan görüntüler için simülasyon sonucunun performansı gözlemlenmiştir. Önerilen yöntemin performans sonuçları Tablo 2’ de verilmektedir.

Tablo 2’ de önerilen yöntemin performans tablosundaki değerler, literatürde yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Literatürde yapılan örnek bir çalışmada pantograf doğrularının tespiti için graf model tabanlı bir yöntem önermiştir. Literatürde ki çalışmada “Intel Pentium 4 ve 2.4 MHz” özelliklerine sahip bir bilgisayarda gerçekleştirilmiştir [10]. Literatürde yapılan çalışmanın performansı Tablo 3’ te verilmiştir

Tablo 3’ te literatürde yapılan çalışmanın başarılı ve başarısız sonuç vermesi durumunda ortalama geçen zamanı, standart sapması ve oranı verilmektedir. Literatürde yapılan çalışmanın önerilen yöntem ile karşılaştırıldığında, literatürde yapılan çalışmanın daha hızlı sonuç verdiği görülmektedir. Fakat önerilen yöntemde yapılan çalışmanın başarı oranı literatürde yapılan çalışmanın başarı oranından yüksektir.

IV. SONUÇLAR

Bu çalışmada pantograf katener sistemleri için görüntü işleme teknikleri ve bulanık mantık tabanlı yeni bir yöntem önerilmiştir. Üç farklı pantograf türüne ait sistemlerden alınan videolar kullanılarak pantografin modeli tespit edilmiştir. Pantograf görüntüsüne uygulanan kenar çıkarımı ve Hough dönüşümünün ardından elde edilen doğruların özellikleri bulanık mantık ile birlikte sınıflandırılmıştır. Önerilen yöntem Matlab/simulink ortamında gerçekleştirilmiştir. Simülasyon işlemi her bir pantograf modeli için çalıştırılarak uygulamanın kullandığı zaman ve elde edilen başarı oranı verilmiştir. Elde edilen performans değerleri ile literatürde yapılan çalışmaların sonuçları karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda literatürde yapılan çalışmanın önerilen yöntemden daha hızlı sonuç vermesi ve önerilen yöntemin ise literatürde yapılan çalışmadan başarı oranının daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

KAYNAKÇA

- [1] Ambrosio, J., Pombo, J., Pereira, M., Antunes, P., Mosca, A., “A computational procedure for the dynamic analysis of the catenary-Pantograph Interaction in High-Speed Trains,” *Journal of Theoretical and Applied Mechanics*, Vol. 50, 2012, 681-699.
- [2] Aydin, I., Karakose, M., Akin, E., “A New Contactless Fault Diagnosis Approach for Pantograph-Catenary System”, *IEEE International Conference On Mechatronika*, 5 – 7, 2012.
- [3] Aydin, I., Karakose, E., Karakose, M., Gencoglu, M.T., Akin, E., “A new computer vision approach for active pantograph control”, *Innovations in Intelligent Systems and Applications*, 1-5, 2013.
- [4] Aydin, I., Karakose, M., Akin, E., “A Robust Anomaly Detection in Pantograph-Catenary System Based on Mean-Shift Tracking and Foreground Detection,” *IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, 4444-4449, 2013.
- [5] Abdullah M.A., Michitsuji Y., Nagai M., Miyajima N., “Integrated Simulation Between Flexible Body of Catenary and Active Control Pantograph for Contact Force Variation Control”, *Journal of Mechanical Systems*, 166-77, 2010.
- [6] Kia S.H., Bartolini F., Mpanda-Mabwe A., Ceschi R., “Pantograph-Catenary Interaction Model Comparison”, *36th Annual Conference On IEEE Industrial Electronics Society*, 1584-1589, 2010.
- [7] Midya, S., Bormann, D., Schütte, T., Thottappillil, R., “Pantograph Arcing in Electrified Railways—Mechanism and Influence of Various Parameters—Part I: With DC Traction Power Supply”, *IEEE Transactions on Power Delivery*, 1931- 1939, 2009.
- [8] Luna Vázquez C.A.L., Quintas M.M., Romera M.M., “Non-Contact Sensor for Monitoring Catenary Pantograph Interaction”, *IEEE International Symposium on Industrial Electronics*, 482-487, 2010.
- [9] Ocoleanu C.F., Popa I., Manolea G., Dolan A.I., Vlase S., “Temperature Investigation in Contact Pantograph - AC Contact Line”, *International Journal Of Circuits, Systems and Signal Processing*, 154-163, 2009.
- [10] Boguslavskii A. A., Sokolov S. M., “Detecting Objects in Images in Real-Time Computer Vision Systems Using Structured Geometric Models”, *Pleiades Publishing*, Vol. 32, 2006, 177-187.
- [11] Li M., Ze-yong W., Xiao-rong G., Li W., Kai Y., “Edge Detection on Pantograph Slide Image”, *International Congress on Image and Signal Processing*, 1 – 3, 2009.
- [12] Landi, A., Menconi, L., Sani, L., “Hough transform and thermovision for monitoring pantograph-catenary system”, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, Vol. 220, 2006, 435-447.
- [13] Karakose, E., Gencoglu, M.T., “Adaptive fuzzy control approach for dynamic pantograph-catenary interaction,” *IEEE International Symposium on Mechatronika*, 1-5, 2012.
- [14] Karakose, M., Aydin, I., Akin, E., “The intelligent fault diagnosis frameworks based on fuzzy integral,” *International Symposium on Power Electronics Electrical Drives Automation and Motion (SPEEDAM)*, 1634-1639, 2010.
- [15] Aydin, I., Karakose, M., Akin, E., “An adaptive artificial immune system for fault classification,” *Journal of Intelligent Manufacturing*, 1489-1499, 2012.