

Pantograf Katener Sistemlerde Görüntü İşleme ve Model Tabanlı Ark Tespiti

Image Processing and Model Based Arc Detection in Pantograph Catenary Systems

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— Pantograf katener sistemi, elektrikli trenin ihtiyaç duyduğu elektrik enerjisini trafo merkezinden trene iletilmesini sağlamaktadır. Bu işlemin kesintisiz bir şekilde gerçekleştirilmesi için pantograf katener sistemler oldukça önemlidir. Bu çalışmada, pantograf katener sistemi için görüntü işleme ve model tabanlı yeni bir ark tespit yöntemi önerilmektedir. Görüntü işleme yöntemleri kullanılarak videodan alınan bir görüntü çerçevesinde oluşan arklar tespit edilmektedir. Bir dizi görüntüden elde edilen veriler ark modellemesinde kullanılmıştır. Bu modelleme sonucunda pantograf katener sistemin, normal ve ark oluşmuş durumlarına ait akım ve gerilim sinyalleri elde edilmektedir. Elde edilen akım gerilim sinyallerinde normal ve ark oluşmuş durumlar incelenmiştir. Akım, gerilim sinyalleri kullanılarak S dönüşümü yapılmıştır. S dönüşümü ile sinyallerin frekans zaman analizi yapılmaktadır.

Anahtar Kelimeler — pantograf katener sistemler; görüntü işleme; Mayr ark model; S dönüşümü; ark tespiti.

Abstract— A pantograph-catenary system transmits the electric energy that an electrified train needs from electric power substation to train. Pantograph catenary system is extremely important in order to carry out continuous of the transmission. In this study, a model and image processing based arc detection system is proposed. Arcs occurred in a video frame are detected by using image processing techniques. Data obtained from a sequence of frames are used to model the arc. Arcs occurred in image sequences are modelled during modeling stage. As consequence of the modeling, current and voltage signals, which belong to healthy and arc occurred conditions, are obtained. These signals are analyzed to detect the condition of the pantograph-catenary system as healthy or faulty. S-transform is applied to these signals and occurred arcs are detected.

Keywords — pantograph catenary systems; image processing; Mayr arc model; S transforms; arc detection.

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

Elektrikli trenler günümüzde yaygın olarak kullanılan ulaşım araçlarından biridir. Elektrikli trenler az enerji tüketmesi, düşük maliyetli olması ve ulaşım güvenliği yönünden diğer ulaşım türlerinden avantajlıdır [1]. Günümüzde elektrikli trenlerde, elektriksel besleme ünitesi olarak pantograf katener sistemi daha çok tercih edilmektedir. Pantograf katener sistemi, trafo merkezlerinden alınan elektrik enerjisinin trenin içerisindeki güç ünitelerine aktarılmasını sağlayan sistemdir [2]. Katener sistemi demiryolu hattı boyunca sabit olup trafo merkezindeki elektriği pantograf sistemine iletmektedir. Pantograf sistemi ise lokomotifin üzerinde bulunan ve katener sisteminden aldığı elektriği lokomotifin içerisindeki güç ünitelerine aktaran sistemdir. Elektrik iletiminin sağlanması için katener temas teli ile pantograf üst bölgesinin sürekli teması sağlanmalıdır. Bu temas işleminin aksaması sonucunda arızalar oluşmaktadır.

Pantograf katener sistemlerde birçok nedenden dolayı arızalar oluşmaktadır. Yanlış statik temas kuvveti, aşırı sürtünme, yanlış şekilde kurulmuş aerodinamik yapı, bileşenlerin aşınması, zayıf geometrik ayarlamalar ve temas telinde oluşan su ve buz tabakasının oluşmasından dolayı arızalar oluşmaktadır [3]. Ark oluşumu sırasında pantograf üst bölgesinin aşırı ısınması sonucunda daha büyük arızalar meydana gelmektedir.

Pantograf katener sistemlerde oluşan arızaların erken teşhis edilmesi sonucunda daha büyük arızalar önlenerek yüksek maliyetli onarımlar ve ulaşımın aksaması gibi durumlar engellenmektedir [3, 4]. Günümüzde pantograf katener sistemi için birçok arıza teşhis yöntemi bulunmaktadır [5-10]. Bu arıza teşhis yöntemleri akım gerilim, model ve görüntü işleme tabanlıdır. Pantograf katener sistemin akım gerilim değerleri analiz edilerek sistemde oluşan arızalar teşhis edilmektedir [5-8]. Midya ve diğ. [6] pantograf katener sistemlerinde oluşan ark arızaları için akım ve gerilim tabanlı bir yöntem önermiştir.

Matvejevs ve diğ. [7] pantograf katener sistemi için Matlab-Simulink ile aktif ve pasif pantograf modeli geliştirmiştir. Facchinetti ve diğ. [8] pantograf katener sistem için model geliştirmiştir. Geliştirilen bu model gerçek zamanlı çalıştırılarak pantograf katener sisteminde oluşabilecek ark arızalarının teşhisi için bir yöntem önermiştir. Görüntü işleme tabanlı arıza teşhis yöntemleri ise pantograf katener sisteminin gerçek zamanlı normal ve termal görüntüleri incelenerek arıza teşhisi yapılmaktadır [9,10]. Boguslavskii ve diğ. [9] görüntü işleme tabanlı pantograf sisteminin görüntüsünü ve geometrik yapısını tespit etmektedir. Canny kenar çıkarım algoritması kullanılarak farklı türde pantografların modelini belirleyerek pantograf bölgelerini tespit etmektedir.

Bu çalışmada pantograf katener sistemi için görüntü işleme ve model tabanlı arıza teşhis yöntemi sunulmaktadır. Pantograf katener sistemden alınan görüntüler kullanılarak görüntüde ark tespiti yapılmaktadır. Daha sonra bir dizi görüntüde elde edilen veriler bir sinyal haline dönüştürülmektedir. Görüntü işleme sonucunda elde edilen özellik sinyali bu modelde giriş sinyali olarak kullanılmaktadır. Görüntüde tespit edilen arklar oluşturulan modellemede kullanılarak sistemin gerilim sinyali incelenmektedir. Gerilim sinyali S dönüşümü ile birlikte kullanılarak sistemin frekans zaman analizi yapılmaktadır. Görüntü işleme ile ark tespiti işlemi geliştirilen bir model sonucunda elde edilen gerilim sinyalleri ile doğrulanmaktadır.

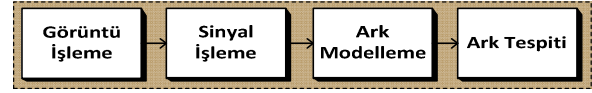
II. ÖNERİLEN YÖNTEM

Önerilen bu yöntemde görüntü işleme ve model tabanlı bir sistem kullanılmaktadır. Pantograf katener sistemde oluşan arkın modellenmesi için bir model yapı oluşturulmuştur. Görüntüde oluşan arkların sistemin gerilimine etkisi gözlemlenmektedir. Önerilen yöntem genel olarak dört bölümden oluşmaktadır. Sistemin blok yapısı Şekil 1'de verilmektedir.

Şekil 1'de görüldüğü gibi önerilen yöntem dört farklı bölümden oluşmaktadır. Görüntü işleme bölümünde pantograf katener sistemden alınan bir dizi görüntü incelenmiştir. Her bir görüntüye bir eşik değeri uygulanarak görüntü ikili tabandaki bir görüntüye dönüştürülmüştür [11]. Eşik değerin her bir piksel için uygulanması (1)'de verilmektedir.

$$f(x, y, p) = \begin{cases} p = 0, & p < T \\ p = 1, & p \geq T \end{cases} \quad (1)$$

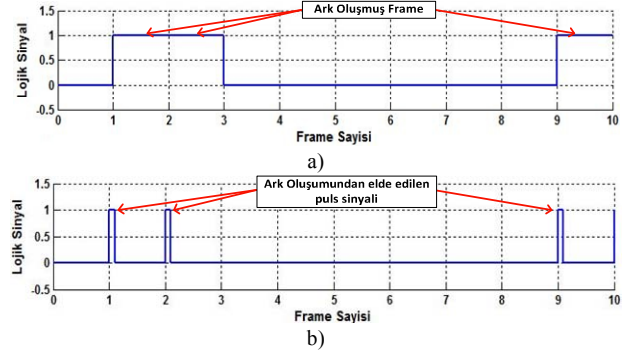
Denklemler (1)'de verilen fonksiyonda x ve y değerleri görüntü pikselinin yatay ve dikey eksenindeki konumunu, p değeri pikselin değerini ve T değeri ise eşik değerini temsil etmektedir. Görüntüde ark oluşan bölge beyaz diğer tüm bölgeler siyah olarak belirlenmektedir.



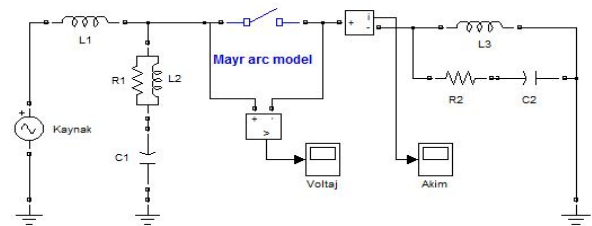
Şekil 1. Önerilen yöntemin blok şeması

Önerilen yöntemde, bir görüntüde ark oluşmuşsa sonuç "1" eğer ark oluşmamışsa sonuç "0" olarak kaydedilmektedir. Bir dizi görüntü için bu işlem gerçekleştirilerek özellikler elde edilmektedir. Pantograf katener sistemde ark oluşumu anlık bir olaydır. Bu nedenle görüntüde elde edilen özelliklerin ark modelde kullanılabilmesi için uyarlanmalıdır. Ark oluşan bir görüntüde diğer görüntüden özellik çıkarımı yapılabileceği kadar sonuç "1" olarak iletilmektedir. Bu işlem model için uygun olmadığından ark oluşan bir görüntüde sadece bir anlık "1" sinyali gönderilmeli, yeni bir özellik çıkarımı yapılabileceği kadar sonuç tekrar "0" olmalıdır. Bu şekilde bir sonuç alınabilmesi için görüntü işleme bloğunun ardından sinyal işleme bloğu kullanılmıştır. Şekil 2'de görüntü işleme bloğu ve sinyal işleme bloğu çıkışlarından alınan örnek sinyaller verilmektedir.

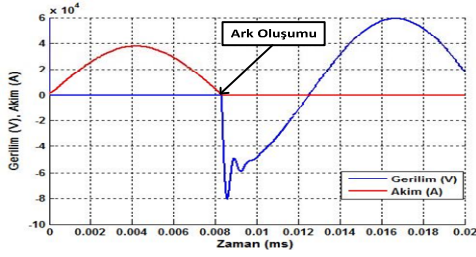
Önerilen yöntemde kullanılan Mayr ark modeli Şekil 3'te verilmiştir. Mayr ark modelin çalışması sırasında oluşan akım gerilim eğrisi Şekil 4'te verilmiştir. Şekil 4'te gerilim eğrisinde açma olana kadar kontaklar arasındaki gerilimin sıfır olduğu, açma gerçekleştiğinden sonra arkın geriliminin kaynak ile aynı hareketi yaptığı görülmüştür. Aynı zamanda akım eğrisinde akım açma zamanı $t = 0$ ms 'den sonra $t = 0.008$ ms'ye kadar kaynak gibi sinüzoidal hareket yaptığı, açma anından sonra kontaklar arasında bir akım akmadığından akım değeri sıfır olarak görülmüştür.



Şekil 2. Görüntü işleme ve sinyal işleme bloğu çıkışları a) Görüntü işleme bloğu çıkışı b) Sinyal işleme bloğu çıkışı



Şekil 3. Mayr ark modeli



Şekil 4. Mayr ark modelinin açma anındaki gerilim ve akım eğrisi

Bir dizi görüntüden elde edilen özellik sinyali, Mayr ark model ile birlikte kullanılarak ark oluşumu sırasında gerilim ve akım sinyalleri elde edilmektedir. Elde edilen gerilim sinyallerinin analizi için S dönüşümü kullanılmaktadır. S-dönüşümü bir sinyali zaman ve frekans bileşenleri ile incelemek için kullanılan bir yöntemdir [14]. S dönüşümü birçok arıza teşhisinde kullanılabilir bir yöntemdir [15]. Bir $x(t)$ sinyalinin S dönüşümü (2)'de verilmiştir.

$$S(\tau, f) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \frac{|f|}{\sqrt{2\pi}} e^{-((\tau-t)^2 f^2)} e^{-i2\pi ft} dt \quad (2)$$

Ayrık S- dönüşümü ise $f \rightarrow n/NT$ ve $\tau \rightarrow jT$ dönüşümü ile (3)'te elde edilmektedir.

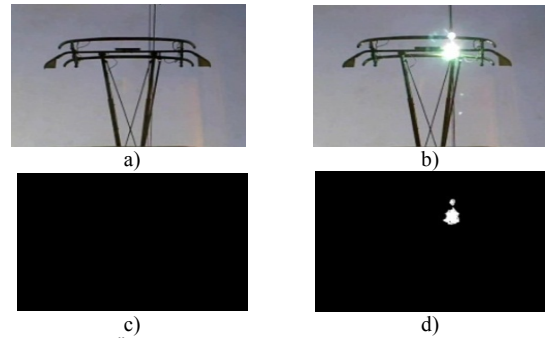
$$S(jT, \frac{n}{NT}) = \sum_{m=0}^{N-1} H(\frac{m+n}{NT}) G(m, n) e^{i2m\pi j/N} \quad (3)$$

Denklemden $G(m, n) = e^{-2\pi^2 m^2 / n^2}$ ile ifade edilir. Denklemlerdeki m , n ve i değerleri 0 ile $N-1$ arasında değer alır. S dönüşümünün çıkışı satır ve sütunları zaman ve frekansı gösterecek şekilde karmaşık bir matristir. Her sütun zamanda yerel spektrumu gösterir.

III. DENEYSEL SONUÇLAR

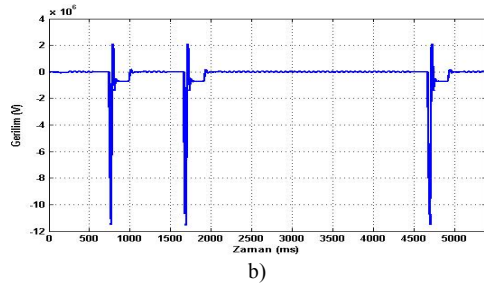
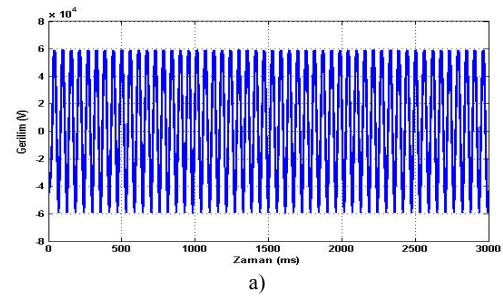
Bu çalışmada pantograf katener sistemi için görüntü işleme ve model tabanlı bir yöntem önerilmiştir. Pantograf videosundan alınan görüntüler kullanılarak görüntü işleme yapılmıştır. Görüntü işleme sonucunda ark oluşan görüntü çerçeveleri tespit edilmiştir. Görüntü işleme adımından sonra elde edilen özellik sinyali bir sinyal işleme adımından geçirilerek ark modelinde kullanılabilir duruma getirilmiştir. Ark modeli sonucunda elde edilen gerilim sinyali S dönüşümü kullanılarak frekans zaman analizi yapılmıştır. Önerilen yöntemde kullanılan pantograf katener sisteminin örnek görüntüleri ve ikili görüntüleri Şekil 5'te verilmiştir. Şekil 5.a'da ark oluşmamış normal bir görüntü verilirken Şekil 5.b'de ise ark oluşmuş bir görüntü verilmiştir. Bu görüntülerin ikili görüntüleri sırasıyla Şekil 5.c ve Şekil 5.d'de verilmiştir. Bu çalışmada iki farklı görüntü dizisi için önerilen yöntem uygulanmıştır. Hiç ark oluşmamış 10 frameden alınan

görüntü sinyalleri sinyal işleme adımından sonra Mayr ark modelde kullanılmıştır. Mayr ark model sonucunda elde edilen gerilim sinyali Şekil 6.a'da verilmiştir. Ayrıca içerisinde 3 framede ark meydana gelen ve toplamda 10 frameden oluşan bir görüntü dizisi daha kullanılmıştır. Bu görüntü dizisinde görüntü işleme adımından sonra elde edilen sinyal Şekil 2.a'da, sinyal işleme adımından sonra elde edilen sinyal ise Şekil 2.b'de verilmiştir. Mayr ark modelde kullanılarak anlık bir darbe üretmek için Şekil 2.a'da ki sinyal Şekil 2.b' de ki forma dönüştürülmüştür. Böylece bu sinyal ark modelinde kullanılması için uygun hale getirilmiştir. Önerilen yöntemde elde edilen gerilim sinyali Şekil 6.b' de verilmiştir.

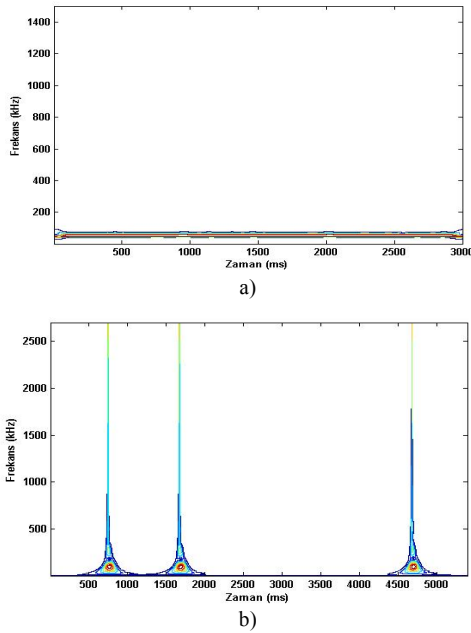


Şekil 5. Önerilen yöntemde kullanılan pantograf katener görüntüsü ve eşik değeri sonucu elde edilen ikili görüntü a) Normal görüntü b) Ark oluşmuş görüntü c) Normal görüntünün ikili görüntüsü d) Ark oluşmuş görüntünün ikili görüntüsü

Şekil 6'da verilen Mayr ark modelinde elde edilen gerilim sinyallerinde oluşan arkların tespit edilmesi için S dönüşümü kullanılmıştır. Elde edilen S dönüşümünün sonuçları Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 6. Önerilen yöntemde elde edilen gerilim sinyalleri a) Hiç ark oluşmamış görüntü dizisi b) 3 framede ark oluşmuş görüntü dizisi



Şekil 7. S dönüşümünden elde edilen sonuçlar a) Hiç ark oluşmamış görüntü dizisi b) 3 framede ark oluşmuş görüntü dizisi

Şekil 7’de verilen S dönüşümü sonuçları incelendiğinde Şekil 7.a’da hiç ark oluşmadığı ve Şekil 7.b’de ise 3 farklı noktada ark oluştuğu görülmektedir.

IV. SONUÇLAR

Bu çalışmada pantograf katener sistemlerinde kullanılacak görüntü işleme ve model tabanlı bir model oluşturularak S dönüşümü ile ark tespiti yapılmaktadır. Pantograf katener sistemlerde oluşan ark arızalarının gerilim ve akım sinyallerinde oluşan değişimlerin gözlemlenebilmesi için bu yöntem önerilmektedir. Yapılan bütün çalışmalarda ark modellenmelerde arklar rastgele oluşturulmaktadır. Bu çalışmada ise gerçek zamanlı çalışan bir sistemden alınan görüntüler kullanılarak ark tespiti yapılmıştır. Bu ark tespiti sonucunda elde edilen sinyaller Mayr ark modeli ile birlikte kullanılarak pantograf katener sistemleri için ark oluşumu modellenmiştir. Bu modelleme sonucunda iki farklı durum için gerilim sinyalleri alınmıştır. Gerilim sinyallerinde ark oluşan bölgeler görülmektedir. Ayrıca gerilim sinyalleri S dönüşümü kullanılarak ark tespiti gözlemlenmektedir. Elde edilen gerilim sinyallerinin S dönüşümü sonucunda frekans zaman analizi yapılmıştır. Ark oluşumu sırasında gerilim sinyallerinde oluşan değişimler görüntü işleme sonucu ile benzerdir. Fakat görüntü alımı sırasında çevresel ışıklar ark bölgesi olarak tespit edilebilir. Bu nedenle gerilim sinyalleri kullanılarak ark tespiti doğrulanabilir. Böylelikle yapılan arıza tespitinin doğruluk oranı artırılmıştır.

KAYNAKÇA

- [1] 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 (SMC)*, 4444-4449, 2013.
- [2] Aydin, I., Karakose, E., Karakose, M., Gencoglu, M. T., Akin, E., “A New Computer Vision Approach for Active Pantograph Control”, *IEEE International Symposium on INnovations in Intelligent SysTems and Applications*, 1-5, 2013.
- [3] Aydin, I., Karakose, M., Akin, E., “A New Contactless Fault Diagnosis Approach for Pantograph-Catenary System”, *IEEE International Conference On Mechatronika*, 1-6, 2012.
- [4] Kiessling, F., Puschmann, R., Schmieder, A., Schneider, E., *Contact Lines for Electric Railways: Planning, Design, Implementation, Maintenance*, Publicis Corporate Publishing, 2009.
- [5] Midya, S., Bormann, D., Schütte, T., Thottappillil, R., “DC Component From Pantograph Arcing in AC Traction System—Influencing Parameters, Impact, and Mitigation Techniques”, *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, 53(1): 18-27, 2011.
- [6] 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*, 24(4): 1931 - 1939, 2009.
- [7] Matvejevs A., Matvejevs A., “Pantograph-Catenary System Modeling Using Matlab-Simulink Algorithms”, *Scientific Journal of Riga Technical University Computer Science Information Technology and Management Science*, Vol. 44, 2010, 38-44.
- [8] Facchinetti, A., Bruni, S., “Hardware-in-the-loop hybrid simulation of pantograph–catenary interaction”, *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 331, 2012, 2783-2797.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] Chen, Q., Zhao, L., Lu, J., Kuang, G., Wang, N., Jiang, Y., “Modified two-dimensional otsu image segmentation algorithm and fast realisation”, *IET Image Processing*, 6(4): 426-433, 2012.
- [12] Yu-Jen Liu, Chang, G.W., Huang, H.M., “Mayr’s Equation-Based Model for Pantograph Arc of High-Speed Railway Traction System”, *IEEE Transactions on Power Delivery*, 25(3): 2025-2027, 2010.
- [13] Walters, S., Rachid, A., Mpanda, A., “On Modelling and Control of Pantograph Catenary Systems”, *Int. Conf. on Pantograph Catenary Interaction Framework for Intelligent Control PACIFIC*, 2011.
- [14] Aydin, I., Karakose, M., Akin, E., “A Simple and Efficient Method for Fault Diagnosis Using Time Series Data Mining”, *International Electric Machines & Drives Conference*, 596-600, 2007.
- [15] 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.