



El Hareketini Takip Eden Vinç Sisteminin Giriş Şekillendirici Denetimi

Hand Motion Input Shaping Control of a Crane System

Sırrı Sunay Gürleyük^{1*}, Kelvin Chen Chih Peng², William Singhose²

¹Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 48000, Muğla, Türkiye

²Georgia Institute of Technology, Woodruff School of Mechanical Engineering, Atlanta, GA, 30332, USA

Özet

Bu çalışmada el hareketini takip eden bir vinç sisteminin çalışması incelenmiştir. Vinç sisteminde yönetme kolu veya tuşlu bir kumanda sistemi bulunmamaktadır. Araba üzerine yerleştirilen kamera ve eldiven üzerindeki yansıtıcı sayesinde vincin yapacağı hareket belirlenmektedir. Yükün salınımı giriş şekillendirme yöntemi ile azaltılmaktadır. Vinç sisteminin çeşitli hareket senaryoları karşısındaki davranışı yapılan denetimin etkinliğini göstermektedir.

Anahtar Sözcükler: Vinç kontrolü, Giriş şekillendirme, Titreşim, Kameralı takip sistemi

Abstract

In this study a hand-motion controlled crane system is analyzed. In this system there is no joystick or push button pendent control. A camera vision mounted on the trolley searches the reflector on the glove. Thus the crane tracks the movement of hand of the user. Vibration of the load at the end of the crane is eliminated using Input Shaping technique. The effectiveness of the system is tested under the various motion scenarios.

Keywords: Crane control, Input shaping, Vibration, Camera vision track

1. Giriş

Günümüzde vinçler endüstrinin vazgeçilmez araçlarından birisidir. Limanlarda, tersanelerde, fabrikalarda, inşaat alanlarında ve birçok kaldırma-taşıma işinde kullanılırlar. Endüstriyel süreçlerde verimliliği artırmanın yanı sıra üretim maliyetlerinin düşmesine ve iş güvenliğinin artmasına katkı sağlar.

Bu olumlu katkılarına rağmen geçici salınım üretirler. Uç kütlelerin salınımı tek serbestlik dereceli, çift serbestlik dereceli ve hatta daha karmaşık bir dinamik yapıda olabilir. Yükün bağlı olduğu uç kütlelerin salınmasını azaltmak için birçok çalışma yapılmıştır (Singhose vd. 2008, Gürleyük ve Cinal 2005, Star 1985). Vinç çalışmasında hareket her zaman basit ve düz değildir. Dönülmesi gereken köşeler, aşılması gereken engeller ve beklemesi gereken geçiş öncelikli diğer sistemler vinçlerin çalışmasını daha da karmaşık hale getirmektedir (Kapucu vd. 2001, Masoud ve Daqaq 2006, Parker 1999, Kim ve Singhose 2010). Operatör vinç hareketini klasik mantıkla yönetme kolu veya tuşlu kumanda sistemi ile yönetir. Vincin yönetim

kısmı genellikle kapalı bir kabin içerisinde ve yükün taşındığı yerden uzaktadır. Operatör vinci kontrol ederken bozucu etkenleri görebilmeli, yükü istenen noktaya ulaştırabilmeli ve bunları taşıyıcı kafanın (araba) hareketi ile yapmaya çalışmalıdır. Yük taşınırken, ani durum değişiklikleri durumunda operatör hızlı karar vermeli ve vinç sistemi bu kararları gecikme olmadan operatörün hedeflediği şekilde yerine getirmelidir (Vaughan vd. 2011, Sorensen vd. 2007).

Bu çalışmada kullanılan vinç üzerine kamera yerleştirilmiştir. Kamerayı çalıştıran program alan içindeki bölgeyi tarar. Eldiven üzerindeki reflektörü ve bulunduğu konumu belirler. Haritalama sayesinde vincin hareket edeceği yön belirlenir. Eldivenin algılanmadığı durumda sistem işini bitirir ve durur (Peng vd. 2009, Peng ve Singhose 2009). Kamera takip sistemli geri besleme kullanan çalışmalar bir süredir yapılmaktadır (Peng vd. 2012). Burada diğer çalışmalardan farklı olarak düz ve L tipi hareket eden bir vinç sistemi için hareket kontrol tekniği uygulanmıştır. Operatör elini yükseğe kaldırarak veya aşağı indirerek vincin düşey hareketlerini de kontrol eder. Böylece herhangi bir tuşa basmak veya yönetme kolu ile hassas ayarlar yapma ihtiyaç duyulmaz. Sistemde açık

*Sorumlu yazarın e-posta adresi: sgurleyuk@yahoo.com

çevrimli bir kontrol yöntemi olan Giriş Şekillendirme (Input Shaping) yöntemi kullanılmakla basit ve geri beslemesiz bir çalışma özelliği kazandırılmıştır.

II. Bölümde sistem ve ara yüz, III. Bölümde kontrol algoritması ile sonuçlar, IV. Bölümde ise sonuçların değerlendirilmesi ve tartışma verilmiştir.

2. El Hareketini Takip Eden Vinç Sistemi

Bu çalışmada tek serbestlik dereceli, nokta kütleli uç yükü olan kren türü vinç kullanılmıştır. Deneysel çalışmalarda kullanılan 10 ton taşıma kapasiteli vinç sistemi Şekil 1'de görülmektedir. Sistem sabit bir yol üzerinde x-yönünde hareket eden köprü, y-yönünde hareket eden araba ve arabada z-yönünde hareket eden kancadan oluşmaktadır, Şekil 2. Lazer ölçme sistemi ile arabanın yol ve köprü üzerindeki pozisyonu ölçülmektedir. PLC ile kontrol edilen kancaya bağlı noktasal bir yük incelenmektedir. Vinç üzerindeki iki kameradan biri sayesinde kancadaki yükün düşey konumu ölçülmekte ve diğeri ise eldiven üzerindeki yansıtıcıyı belirlemekte kullanılmaktadır.

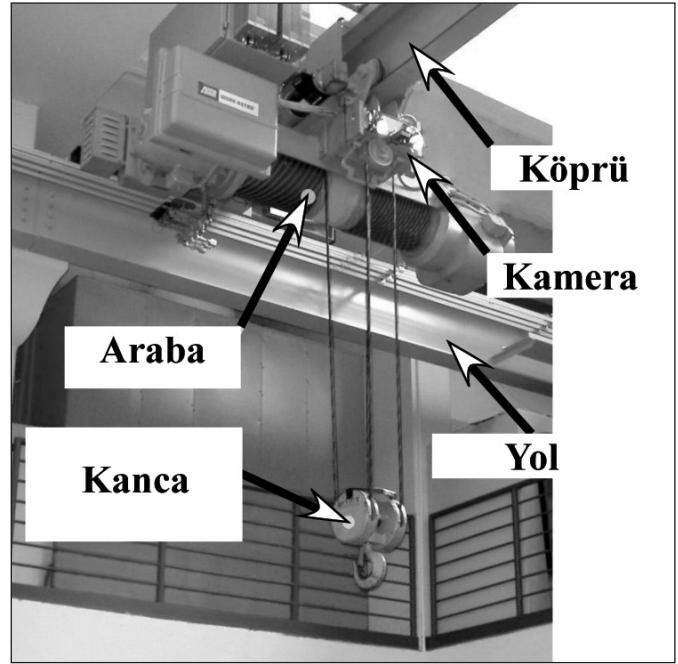
Kamera yenilenme hızı 140 ms civarında seçilmiştir. Eldivenin vinç konumu ile arasındaki fark, hareketi sağlayacak hata miktarını belirlemektedir. Bu çalışmada kullanım kolaylığı bakımından vinç hareket komutu eldivenin hareketiyle sağlanmaktadır.

Şekil 3 sistemin çalışma prensibini ve Şekil 4 deneysel sistemi göstermektedir. Sistem kameranın referans konumu ile eldiven konumu arasındaki mesafeyi hata (e) olarak kabul etme ve bu hatayı gidermeye çalışma mantığı ile tasarlanmıştır. Eldeki reflektör kamera tarafından algılandığı sürece, vinç hatanın olduğu yöne doğru hareket etmektedir. Eğer operatör durur veya elini gizlerse bu durumda kontrolör hatayı 0 kabul edip sistemi kontrollü bir şekilde yavaşlatıp durduracaktır (Singhose vd. 2008, Peng ve Singhose 2009).

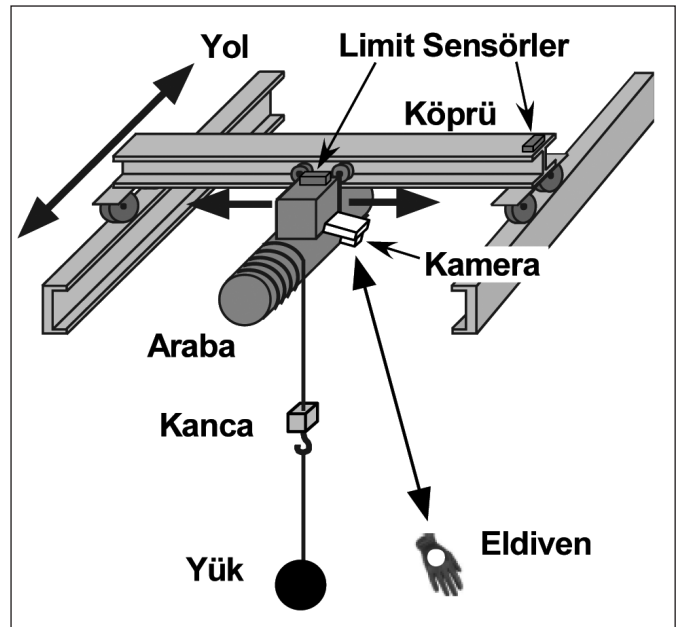
3. Giriş Şekillendirici Kontrol

Dinamik sistemlerin çoğunda PID temelli kontrol uygulanır. PID kontrol salınımların azaltılmasında etkin bir yöntem olmasına rağmen parametre ayarlaması oldukça zahmetli ve karmaşıktır. Salınım genliğini düşük tutmak için kontrolör kazancı küçük seçilir. Bu durum vincin yavaş hareket etmesine neden olur. Eğer hızlı hareket istenirse kazancı artırmak gerekir ki bu da salınımın yeniden artması demektir.

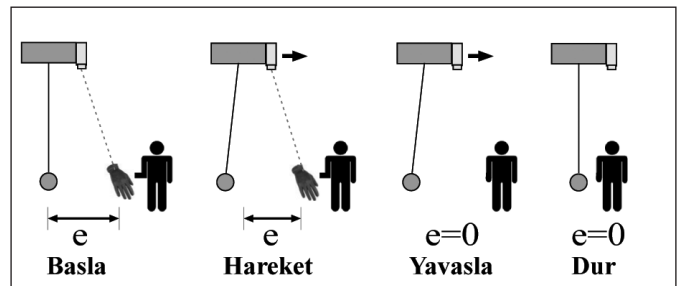
Giriş şekillendirici dinamik bir sistemin kontrol girişini şekillendirerek salınımını azaltan bir tekniktir. Böylece sistemin çalışma performansı önemli ölçüde geliştirilebilir (Gürleyük 2011). Sistem girişi daha önceden hesaplanarak belirlenmiş bir darbe dizisi ile katlanarak giriş



Şekil 1. Gezer köprülü vinç sistemi.



Şekil 2. El hareketini algılama kamerası ve vinç sistemi.



Şekil 3. El hareketinin vinç hareketinde kullanılması.



Şekil 4. Deneysel el hareketini takip eden vinç sistemi.

şekillendirici elde edilmiş olur. Darbelerin büyüklüğü ve uygulanma zamanları sistemin matematiksel modeli kullanılarak belirlenir. Sistemin kontrol sonucunda titreşim üretmemesi başlıca tasarım kısıttır. Bu amaçla normalize edilmiş yüzde titreşimden (%T) yararlanır. %T bir dinamik sistemin şekillendirilmiş titreşim ifadesinin şekillendirilmemiş olana oranının % ifadesidir. Sıralı olarak n adet darbe uygulanmış sönümlü ikinci mertebeden bir dinamik sistemin %T değeri şu şekilde verilir:

$$\%T = V_{(\zeta, \omega)} = e^{-\zeta \omega t_n} \sqrt{C_{(\zeta, \omega)}^2 + S_{(\zeta, \omega)}^2} \quad (1)$$

burada

$$C_{(\zeta, \omega)} = \sum_{j=1}^n A_j e^{\zeta \omega t_j} \cos(\omega \sqrt{1 - \zeta^2} t_j) \quad (2)$$

$$S_{(\zeta, \omega)} = \sum_{j=1}^n A_j e^{\zeta \omega t_j} \sin(\omega \sqrt{1 - \zeta^2} t_j) \quad (3)$$

ω sistemin doğal frekansı ve ζ ise sönüm oranıdır. A_j ve t_j ise j 'inci darbenin genlik ve uygulanma zamanıdır. t_n ise son darbenin uygulanma zamanıdır. Sistemin denetim sonucunda titreşim üretmemesi için Denklem.1

sıfıra eşitlenerek çözülür (Singhose vd. 2008, Gürleyük ve Cinal 2005, Peng ve Singhose 2009, Peng vd. 2012). Denklem çözümü için diğer bir kısıtlama da darbe genliklerinin toplamının birim olmasıdır.

$$\sum_{j=1}^n A_j = 1 \quad (4)$$

Denklemler 1-4 kullanılarak, iki darbe ve sıfır titreşim (%T=0) için çözüm yapıldığında Sıfır Titreşimli (ST) şekillendirici elde edilir. ST için darbe genlikleri ve uygulanma süreleri:

$$ST = \begin{bmatrix} A_j \\ t_j \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{1+K} & \frac{K}{1+K} \\ 0 & \frac{\pi}{\omega \sqrt{1 - \zeta^2}} \end{bmatrix} \quad (5)$$

burada

$$K = e^{-\zeta \pi / \sqrt{1 - \zeta^2}}$$

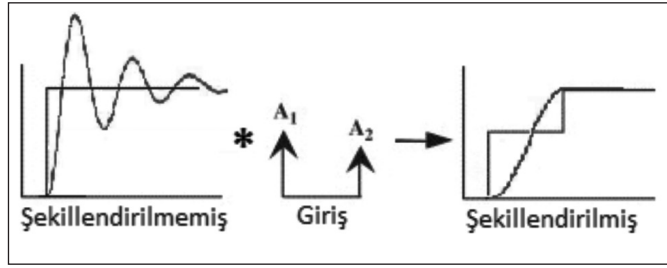
olarak hesaplanır.

Vincin kontrolünün ST giriş şekillendirici ile yapılmasının nedeni sisteme istenen performans özelliklerinin kazandırılması içindir. Dinamik bir sistemin kontrolünde en büyük hedef mümkün olan en yüksek hızda hareket ederken ve en düşük salınım sağlamaktır. ST giriş şekillendirici tasarımı itibarıyla sistemi neredeyse normal çalışma hızında hareket ettirirken titreşimi tamamen ortadan kaldıran bir yöntemdir. Şekil.5'de sönümlü salınım hareketi yapan bir dinamik sistem için giriş şekillendiricinin uygulanması görülmektedir. Basamak giriş için salınımlı sistem cevabı şekillendirildikten sonra tamamen salınımsız olmaktadır.

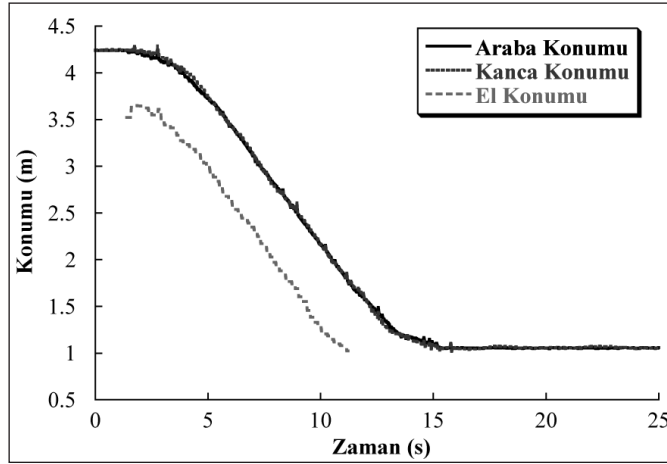
Ayrıca kontrol yöntemi sistemi her türlü yol senaryosu ve engeller arasında ilerlerken de en iyi şekilde kontrol etmelidir. Kontrol altındaki bir vinç, engellere çarpmamalı, köşeleri savrulma olmadan dönebilmeli ve bunları salınımsız olarak en hızlı şekilde yapabilmelidir.

Şekil 6 ve Şekil 7 el hareketini takip eden ve ST giriş şekillendirici ile kontrol edilen vinç sisteminin düz bir hat boyunca ve köşe dönen yol senaryolarına karşı ölçülen deneysel davranışını göstermektedir. Şekil 6'daki doğrusal hareket sadece x veya y ekseninde değil, her iki eksen de çapraz bir düz hareketi göstermektedir. Şekil 7'deki L hareketi de yine tek eksenli değil iki eksenli hareketlerdir.

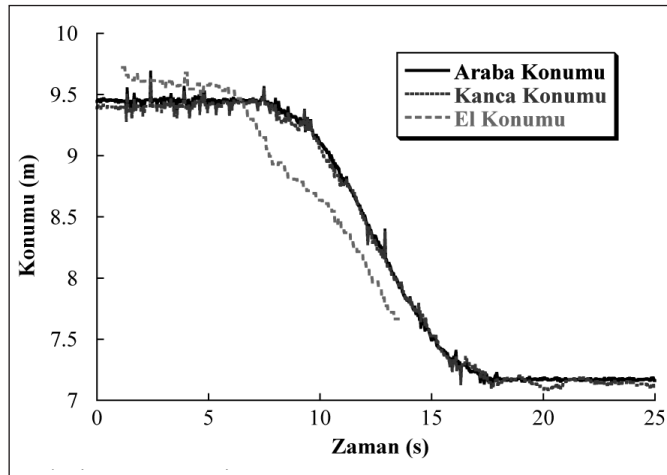
Bu şekillerdeki el konumu ile arabanın veya kancanın konumu arasındaki fark yaklaşık olarak sabittir. Bu fark kameranın kanca ekseninden belli bir mesafe ile yerleştirilmesindedir. Tasarım aşamasında güvenlik



Şekil 5. Giriş şekillendirme ve sistem cevabı.



Şekil 6. Doğrusal hareket.



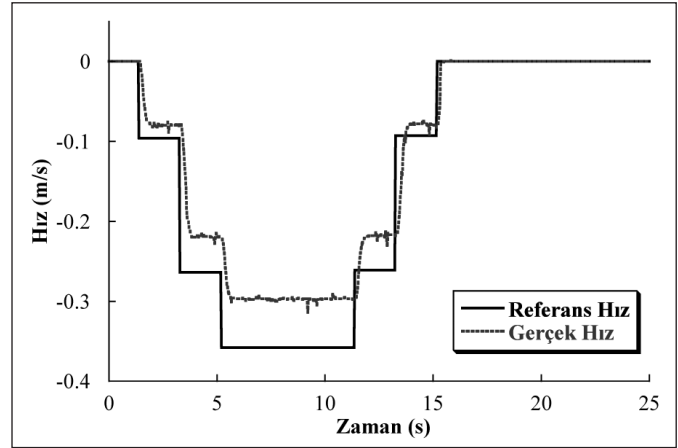
Şekil 7. L hareket.

açısından böyle bir fark seçilmiştir. Çünkü kontrol sırasında operatörün eli vincin taşıdığı yükten belli bir güvenlik mesafesinden daha yakın olmamalıdır.

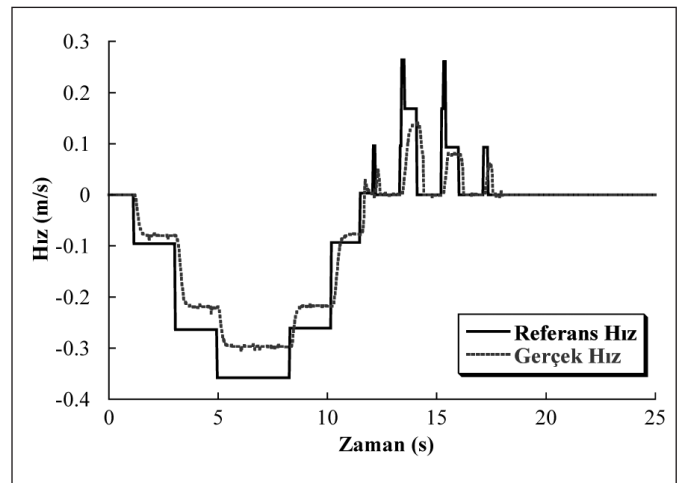
Şekil 8 ve Şekil 9 ise doğrusal ve L hareketin ST giriş şekillendirici kontrol için hesaplananla gerçek hızlarını göstermektedir.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada operatör eli ile hareket eden bir vincin ST giriş şekillendirici denetimi yapılmıştır. Vinç üzerine



Şekil 8. Doğrusal hareket için hızlanma-yavaşlama.



Şekil 9. L hareket için hızlanma-yavaşlama.

yerleştirilmiş bir kamera eldivendeki yansıtıcı cismi algılamaktadır. Kullanıcı elini istenen yol senaryosuna göre hareket ettirir. Vincin taşıdığı yük ise el ile arasında bir güvenlik mesafesine dikkat ederek el hareketini izlemektedir. Hareket sonucunda sistemden salınım üretmeden ve engellere çarpmadan yükü taşıması beklenir. Bu amaçla ST giriş şekillendirme yöntemi kullanılmıştır. Sonuçlardan görüldüğü gibi sistem düz bir hat boyunca ve köşeli hareket sonucunda salınım üretmeden yükü taşımaktadır.

5. Teşekkür

Bu çalışma, Georgia Institute of Technology, Atlanta, USA, Makine Mühendisliği Bölümü, Advanced Crane Control Laboratuvarında yapılmıştır.

6. Kaynaklar

Gürleyük, SS. 2011. Designing unity magnitude input shaping by using PWM technique. *Mechatronics*, 21/1: 125-131.

- Gürleyük, SS., Cinal, Ş. 2005.** Dinamik Sistemlerde Titreşimi Azaltmak İçin Yöntemler ve Sistem Parametre Değişiminin Çalışma Verimine Etkisi. *Elektrik Mühendisliği 11. Ulusal Kongresi*, Cilt II, s. 504-507, İstanbul.
- Kapucu, S., Alici, G., Bayseç, S. 2001.** Esnek eklemli ve tek uzuvlu bir manipülatörün artık titreşimlerinin azaltılması. 10. Ulusal Makine Teorisi Sempozyumu, s. 489-498, Konya.
- Kim, D., Singhose, W. 2010.** Performance studies of human operators driving double-pendulum bridge cranes. *Control Engineering Practice*, 18/6: 567-576.
- Masoud, Z., Daqaq, M. 2006.** A graphical approach to input-shaping control design for container cranes with hoist. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 14/6: 1070-1077.
- Parker, G., Groom, K., Hurtado, J., Feddema, J., Robinett, R., Leban, F. 1999.** Experimental verification of a command shaping boom crane control system. *American Control Conference*, s. 86-90, San Diego, CA, USA.
- Peng, KCC., Singhose, W. 2009.** Crane control using machine vision and wand following. *IEEE International Conference on Mechatronics*, Malaga, Spain.
- Peng, KCC., Singhose, W., Bhaumik, P. 2012.** Using Machine Vision and Hand-Motion Control to Improve Crane Operator Performance., *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part A: Systems and Humans*, 42/6: 1496-1503.
- Peng, KCC., Singhose, W., Fonseca, J. 2009.** Crane operation using hand motion and machine vision. *ASME Dynamic Systems and Control Conference*, Hollywood, CA, USA.
- Singhose, W., Kim D., Kenison, M. 2008.** Input shaping control of double-pendulum bridge crane oscillations, *ASME Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control*, 130/3: 034504-7.
- Sorensen, KL., Spiers, JB., Singhose, WE. 2007.** Operational effects of crane interface devices. *IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications*, Harbin, China.
- Starr, GP. 1985.** Swing-free transport of suspended objects with a pathcontrolled robot manipulator. *J. Dynamic Sys., Measurement Cont.*, 107: 97-100.
- Vaughan, J., Smith, A., Kang, SJ., Singhose, W. 2011.** Predictive graphical user interface elements to improve crane operator performance. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part A: Systems and Humans*, 41/2: 323-330.