

Röle geri-beslemeli sistemlerde genetik algoritma ile modelleme

İbrahim KAYA* , Mustafa NALBANTOĞLU

Dicle Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, 21280, Diyarbakır

Özet

Röle geri-beslemeli kontrol sistemi kullanarak bir süreci ifade eden transfer fonksiyonun bilinmeyen parametrelerinin belirlenmesi son zamanlarda oldukça popüler olmuştur. Yüksek dereceli gerçek süreç transfer fonksiyonları, genellikle, birinci dereceden veya ikinci dereceden kararlı, kararsız ve integratör içeren model transfer fonksiyonları cinsinden modellenir. Bu tür model transfer fonksiyonlarının röle geri-beslemeli kontrol sistemleri kullanılarak elde edilmesine yönelik literatürde çok sayıda yayın bulunabilir. Ancak, süreç kontrolünde, bazen süreçler ters cevaplı bir karakteristik gösterebilir. Bu durumda model transfer fonksiyonu sıfır içerecek şekilde seçilmelidir. Artan model parametre sayısının nedeniyle literatürdeki yaklaşımlar ile modelleme işleminde bir takım sıkıntılar ortaya çıkmaktadır. Ayrıca, literatürde ters cevaplı süreçler için, röle geri-beslemeli kontrol sistemi ile modelleme için önerilen çalışma çok azdır. Bu yüzden, bu bildiri de genetik algoritma ile röle geri-beslemeli kontrol sisteminde ters cevapların modellenmesi verilecektir. Elde edilen modellerin uygunluğu, gerçek ve model transfer fonksiyonların frekans cevap karakteristikleri ve sistemin çıkışında elde edilen osilasyonlar karşılaştırılarak denenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Röle geri-besleme, Transfer fonksiyonu, Genetik algoritma, Modelleme.

*Yazışmaların yapılacağı yazar: İbrahim KAYA. ikaya@dicle.edu.tr; Tel: (412) 248 80 30 (3537/3565)

Modeling in relay feedback systems using genetic algorithm

Extended abstract

In a control system the controller parameters have to be chosen so that the system behaves in the desired way. There are two approaches to find proper values of the controller parameters. The first approach is to assume a mathematical model of the process and then find the controller parameters based on the assumed model. The second approach is to choose some controller parameters, observe the behavior of the feedback loop and modify the controller parameters until the desired behavior is achieved.

Model-based controller design is becoming more popular in engineering research studies. Many advanced control strategies incorporate various aspects of the internal model principle, which requires a model of the system. Some proportional-integral-derivative (PID) controllers also include an implicit process model in their design. For some controller design approaches, such as a Smith predictor scheme, a process model is a requirement. Therefore, being able to obtain an accurate process model is an important task.

Recently, the relay feedback control (Aström and Hagglund, 1984) has been widely used for the identification of an assumed model. The method was originally proposed for autotuning of a process by using limit cycle information, K_c and ω_c , directly, but later was also suggested for use in for parameter estimation of a plant transfer function (Luyben, 1987).

There are several reasons behind the success of the relay feedback method. First, the relay feedback method, as normally used, gives important information about the process frequency response at the critical gain and frequency, which are the essential data required for controller design. Second, the relay feedback method is performed under closed loop control. If appropriate values of the relay parameters are chosen, the process may be kept in the linear region where the frequency response is of interest. Third, the relay feedback method eliminates the need for a careful choice of frequency. Finally, the method is so simple that operators understand how it works.

In the literature, the use relay feedback method for open loop stable, unstable and integrating processes can be found. However, in practice it is possible to encounter processes with inverse response as well. There are only a few studies considering the use of relay feedback control system for identification of such processes. Also, the numbers of unknown coefficients in model transfer function of inverse response processes are increased; hence identification approaches existing in literature may become ineffective.

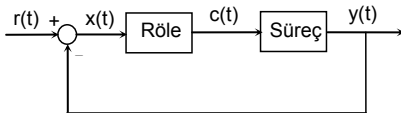
Therefore, to overcome the difficulty in identifying model parameters of processes with inverse response, this paper a genetic based identification method using relay feedback control system for inverse response processes is given. Obtained model transfer function and the real process transfer function frequency response characteristics and limit cycle oscillations are compared to illustrate the effectiveness of the proposed identification method.

Keywords: *Relay feedback, Modeling, Genetic algorithm, Transfer function, Inverse response.*

Giriş

Günümüzde model-bağımlı denetleyici tasarımı gittikçe popüler olmaktadır. Bunun nedeni birçok gelişmiş denetleyici stratejisinin bir süreç modeline ihtiyaç duymasındır. Hatta bazı basit PID (Proportional-Integral-Derivative) denetleyici tasarımı da sürecin bir modeline ihtiyaç duyar. Bazı denetleyici tasarımları için, örneğin Smith predictor da olduğu gibi, sürecin modeli bir gerekliliktir. Süreç modeli bilgisayarlar ile benzetimlerde değişik denetleyici stratejilerinin bulunması, denenmesi ve denetleyicilerin ilk değerlerinin bulunmasında da faydalı olabilir. Bu yüzden süreci ifade eden uygun bir modelin bulunabilmesi oldukça önemlidir.

Son zamanlarda, röle geri-beslemeli kontrol (Şekil.1) ile süreç transfer fonksiyonun bilinmeyen parametrelerinin tahmini oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu metod ile, kararlı veya kararsız, first order plus dead time (FOPDT) (birinci dereceden artı zaman gecikmeli), $Ke^{-\theta s} / (Ts+1)$, veya second order plus dead time (SOPDT) (ikinci derecen artı zaman gecikmeli), $Ke^{-\theta s} / (T_1s+1)(T_2s+1)$, transfer fonksiyonları ile modellenebilecek süreçlerin bilinmeyen parametrelerinin tahmini için farklı yayınlar literatürde bulunmaktadır. FOPDT için bilinmeyen parametreler K , T ve θ , SOPDT için ise K , T_1 , T_2 ve θ 'dan oluşur. Metod ilk olarak Aström ve Hägglund (1984) tarafından kritik kazanç değeri K_c ve kritik frekans değeri ω_c değerlerinin bulunması ve bu değerler ile denetleyici tasarımı için kullanılmıştır. Ancak sonraları süreç transfer fonksiyonun bilinmeyen parametrelerinin bulunması için de kullanılmıştır (Luyben, 1987).



Şekil 1: Röle Geri-Beslemeli Kontrol Sistemi

Literatürde, genelde tanım fonksiyonları (Describing Function, DF) metodu kullanılarak bir sürecin bilinmeyen parametrelerinin bulunması önerilmiştir. Ancak tanım fonksiyonları yaklaşık bir analiz ve tasarım metodu olduğundan hesaplanan parametrelerin değeri de yaklaşık olmaktadır. Kaya ve Atherton (2001) röle tipi lineer olmayan bir eleman içeren kapalı çevrim bir sistemde oluşacak osilasyonların genlik ve frekans değerlerinin tam olarak bulunmasına imkan veren A-Fonksiyon ile, ölçme hatalarını ihmal ederek, FOPDT veya SOPDT ile modellenebilecek bir sürecin bilinmeyen parametrelerinin tam olarak hesaplanmasını önermişlerdir. Ayrıca, Kaya (1999) röle geri beslemeli kontrol ile, IFOPDT, $Ke^{-\theta s} / s(Ts+1)$, ile modellenebilecek bir sürecin parametrelerinin bulunmasını önermiştir. Ancak, sürecin kazanç değerinin bilindiği varsayılmıştır.

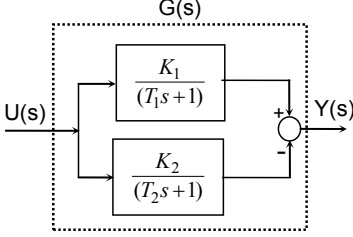
Transfer fonksiyonunda sıfır içeren süreç denetim problemi ile de karşılaşılmaktadır (Waller ve Nygardas, 1975; Luyben, 2000). Bu tip süreçler, ters cevaplı süreçler olarak da adlandırılmaktadır. Genel bir ters cevaplı süreç transfer fonksiyonunda bilinmeyen sayısı beş olmaktadır. Bu durumda yukarıda bahsedilen analitik metodlar ile parametre tahmininde çok iyi başlangıç değerlerinin verilmesi gerekmektedir. Bu her zaman mümkün olmayabilir. Son yıllarda Genetik Algoritmalar'ın (GA) kontrol alanında eniyileme ve modelleme için kullanımı oldukça yaygındır (Alander, 2008). Dolayısıyla bu bildiride GA ile bu problemin giderilmesi araştırılmıştır.

Ters cevaplı süreçler

Şekil 2'de verilen iki birinci dereceden sistemi ele alalım. Sistemin girişi ile çıkışı arasındaki transfer fonksiyonu

$$G(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{(K_1 - K_2) \left[\frac{K_1 T_2 - K_2 T_1}{K_1 - K_2} s + 1 \right]}{(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)} \quad (1)$$

ile verilir. $T_2 \ll T_1$ ve $K_2 < K_1$ olduğu zaman sistem başlangıçta uygulanan giriş sinyalinin tersi yönünde bir cevap verir. Ancak kısa süre sonra uygulanan giriş sinyali yönünde bir cevap verir ve kalıcı duruma ulaşır.



Şekil 2: Ters cevaplı süreç

Transfer fonksiyonu denklem (1) ile ifade edilen bir süreç

$$\frac{K_1 T_2 - K_2 T_1}{K_1 - K_2} < 0 \quad (2)$$

şartını sağlıyorsa, ters cevaplı süreç olarak adlandırılır. Dolayısıyla, genel bir ters cevaplı sürecin transfer fonksiyonu

$$G(s) = \frac{K(-T_0 s + 1)e^{-\theta s}}{(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)} \quad (3)$$

olarak seçilir. Burada, K , T_0 , T_1 , T_2 ve θ belirlenmesi gereken parametrelerdir.

Genetik algoritma

Genetik algoritmalar (GA), gerçek yaşamdaki doğal seçim ve doğal üreme kurallarına dayanır. Doğanın zorlu koşullarına uyum sağlayabilen türün yaşamlarını sürdürmesi ve uyum sağlayamamış olan türlerin ise elenmesi bir doğal seçimdir (Holland, 1975). Seçilen bu türün bireyleri çiftleşerek yeni bir nesil meydana getirir böylece doğal üreme gerçekleşir. Bu süreçte bireylerin genleri, başka bireyin genleri ile birleşip yeni genleri oluştururlar.

Genetik algoritmalar, hayatın bu iki olgusunu birleştirerek optimal noktayı arama yöntemidir. GA, karmaşık ve çok boyutlu arama uzayında daha iyinin hayatta kalması ilkesine dayanan bir

arama yöntemidir ve arama uzayının bir çok noktasında aynı anda optimal çözümü arar (Holland, 1975; Karr ve Freeman, 1999). Bir GA, bizim kendi DNA (deoxyribonucleic acid) yapıımızdaki genetik kodlara benzeyen, birçok genden oluşturulan kodlanmış kromozoma (birey) dayandırılır. GA'lar, karakter veya sayı dizileri ile temsil edilen bireylere ait bir nesil gerektirir (Goldenberg, 1989).

Genetik algoritmaların temel özellikleri, aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- GA parametrelerin kendileri ile değil parametrelerin kodlanmış karşılıklarını kullanır.
- GA arama işlemini tek bir nokta ile değil noktalar topluluğu ile yürütür.
- GA türev ve daha farklı bilgileri değil sadece uygunluk fonksiyonunu kullanır.
- Çok fazla sayıda değişkenle en iyiyi arama işlemi yapılabilir.
- Paralel hesaplamalara uygundur.
- GA deterministik kuralı değil, olasılık kuralıdır.

Ancak Genetik algoritmalar geniş arama algoritmalarının aksine, en iyiyi seçmek için tüm farklı durumları üretmez. Bundan dolayı, mükemmel çözüme ulaşamayabilir. Fakat zaman kısıtlamalarını hesaba katan en yakın çözümlerden biridir (Şen, 2004).

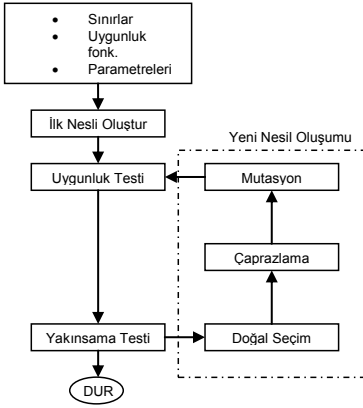
GA'nın kullanım alanlarından bazıları: Atölye Çizelgeleme, Yapay Sinir Ağları, Tasarım, Görüntü Kontrolü, Elektronik Devre Tasarımı, Optimizasyon, Uzman Sistemler, Paketleme Problemleri, Makine ve Robot Öğrenmesi, Ekonomik Model Çıkarma v.b sayılabilir (Alander, 2008; Karr ve Freeman, 1999).

Bir GA'nın temel akış diyagramı şekil 3'de verilmiştir. Öncelikle arama uzayının sınırları, bireylerin çözüm için uygunluk seviyesinin belirleneceği uygunluk fonksiyonu ve optimize edilecek parametreler tanımlanır. Ardından, ilk nesil rastgele olarak üretilir. Nesildeki her birey için uygunluk testi sonrasında, programın

yakınsama testine göre yeni nesil işlemine veya programın sonlandırılmasına geçilmektedir.

Yeni nesil oluşturulması için farklı uygulamalarda farklı operatörler kullanılmakla birlikte genel olarak 3 standart operatör kullanılır. Bunlar:

- Doğal Seçim (Natural Selection)
 - Çaprazlama (Crossover)
 - Mutasyon (Mutation)
- olarak ifade edilebilir (Goldenberg,1989).



Şekil 3: Bir genetik algoritmanın temel döngüsü.

Nesli oluşturan her bireyin problemin çözümündeki seviyesi bir uygunluk fonksiyonu ile belirlenmektedir. Uygunluk fonksiyonu yüksek değere sahip olan bireylere, nüfustaki diğer bireyler ile çoğalma şanslarını yüksek tutulur. Yapılan çalışmada kullanılan uygunluk fonksiyonu, elde edilen modelin cevap hatasının mutlak değerinin integrali (*IAE*) ile aşağıdaki gibi ilişkilendirilmiştir.

$$f = \frac{1}{1 + a \cdot (IAE)} \quad (4)$$

$$IAE = \int_{t_1}^{t_2} |y(t) - y_m(t)| \cdot dt \quad (5)$$

Burada, $y(t)$ modellenecek röle geri-beslemeli sistemin cevabı ve $y_m(t)$ ise araştırılan modelin cevabıdır. Denklem (4)'de f uygunluk fonksiyonu, bir a katsayısı ve IAE ile ilişkilendirilmiştir. Bu a katsayısı, uygunluk

fonsiyonu 1'e yakın değerler verecek şekilde ve IAE 'nin öngörülen büyüklüğü dikkate alınarak seçilir.

Yapılan bu çalışmada K , T_0 , T_1 , T_2 ve θ katsayılarının arama uzayı K , T_0 , T_1 ve T_2 için 0,01 ile 10 arasında alınır iken θ 'nın arama uzayı ise 0.01 ile 0.5 arasında alınmıştır. Kullanılan algoritmada tek noktalı çaprazlama oranı (crossover rate) 0,9 olarak, mutasyon oranı (mutation rate) 0,08 olarak ve nüfus büyüklüğü (population size) 40 olarak seçilmiştir.

Örnek: Transfer fonksiyonu

$$G(s) = \frac{(-0.2s + 1)e^{-0.2s}}{(s + 1)(s + 1)}$$

ile verilen ters cevaplı transfer fonksiyonunu ele alalım. Bu transfer fonksiyonu şekil 1'de verilen konfigürasyonu kullanılarak *SIMULINK*'ten elde edilen simülasyon sonuçları bu bölümde verilmiştir. Simülasyonda kullanılan röle parametreleri, $h_1=1.0$, $h_2=-0.8$ ve $\Delta=0.00001$ olarak seçilmiştir. Ayrıca $r=0$ alınmıştır.

Bu çalışmada, röle geri-beslemeli sistemin modelinin elde edilmesi için 3 farklı yaklaşım yapılmıştır. İlk yaklaşım için modellenecek olan röle geri-beslemeli sistem cevabında salınımın periyodikleştiği 2.5 saniyeden sonrası zaman aralığı için IAE değeri dikkate alınmıştır. İkinci yaklaşımda ise salınımları henüz periyodikleşmediği ilk 2.5 saniye zaman aralığı için IAE değerinin dikkate alınmıştır. Üçüncü yaklaşımda ise benzetim süresinin tümüne ait IAE değeri dikkate alınmıştır. Benzetim çalışmaları sonuçları Tablo 1'de sunulmuştur.

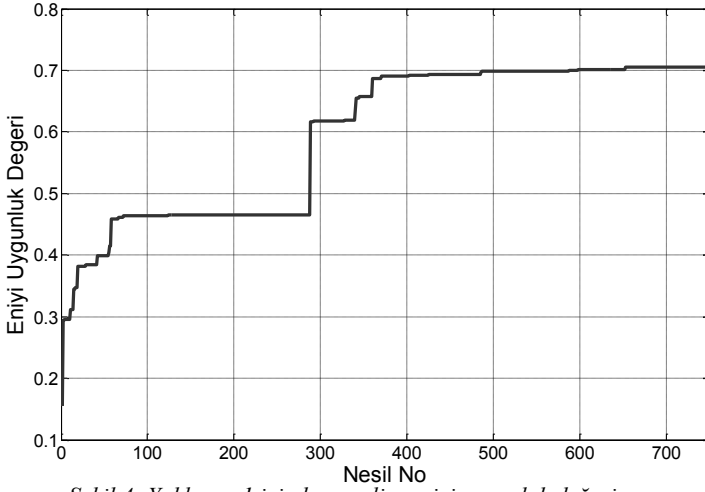
GA ile eniyileme aşamasında her neslin en iyi uygunluk değeri Yaklaşım 1, Yaklaşım 2 ve Yaklaşım 3 için, sırasıyla, şekil 4, şekil 6 ve şekil 8'de sunulmuştur.

Her üç yaklaşım ile elde edilen modeller ve gerçek sistemin röle geri beslemeli kontrol yapısında simülasyonu sonucu elde edilen salınımlar, şekil 5, şekil 7 ve şekil 9'da verilmiştir.

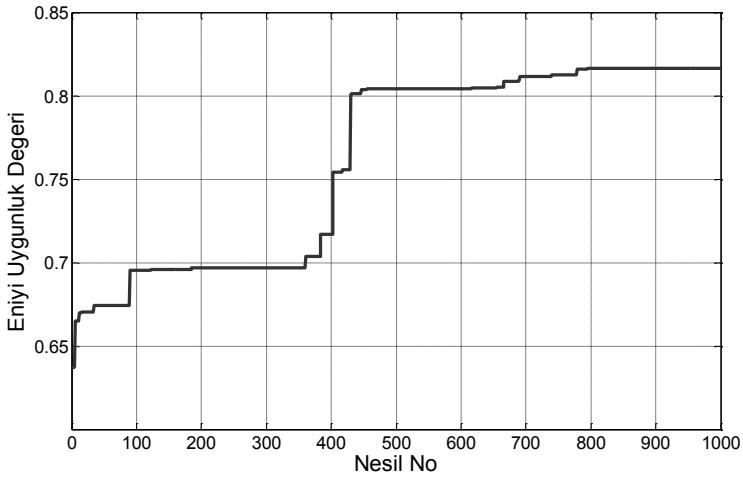
Her üç yaklaşım ile elde edilen modellerin gerçek sistem ile olan uyumları şekil 10'da Nyquist eğrileri karşılaştırılarak test edilmiştir.

Tablo 1. Farklı yaklaşımlar ile elde edilen model parametreleri

Yaklaşım	a	K	T_0	T_1	T_2	θ
1	2.5	1.088	0.010	2.000	0.400	0.500
2	20	1.500	0.111	2.765	0.428	0.320
3	10	1.199	0.377	2.711	0.420	0.140

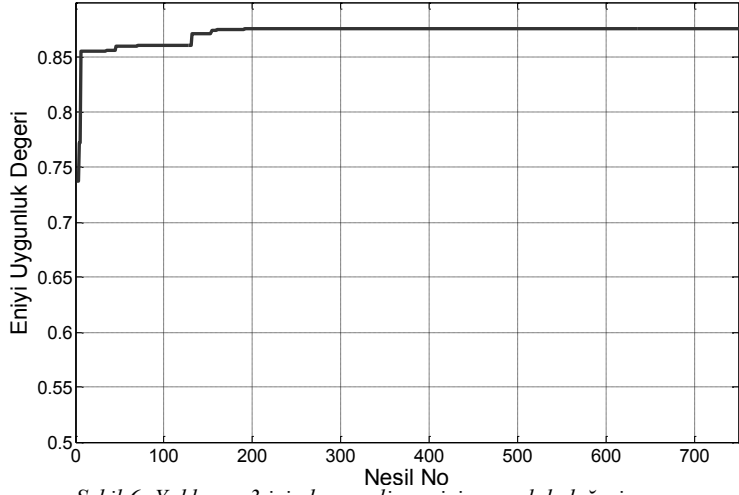


Şekil 4: Yaklaşım 1 için her neslin en iyi uygunluk değeri

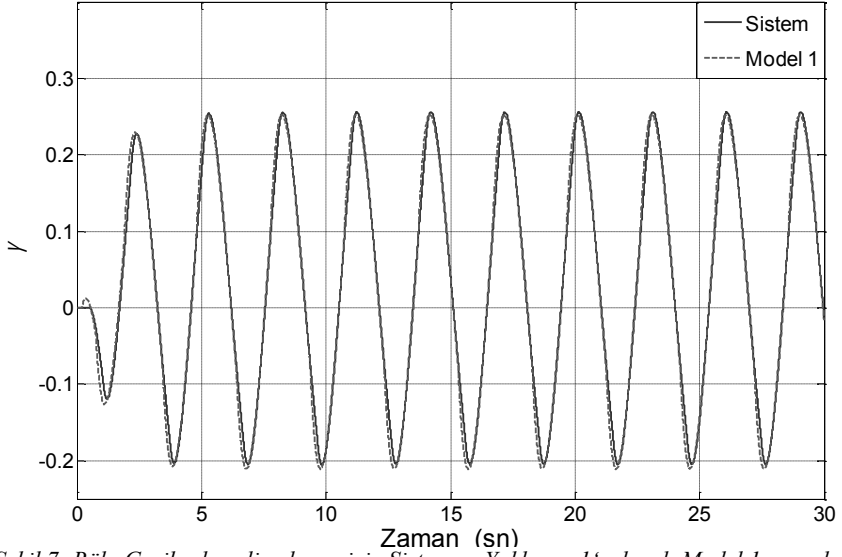


Şekil 5: Yaklaşım 2 için her neslin en iyi uygunluk değeri

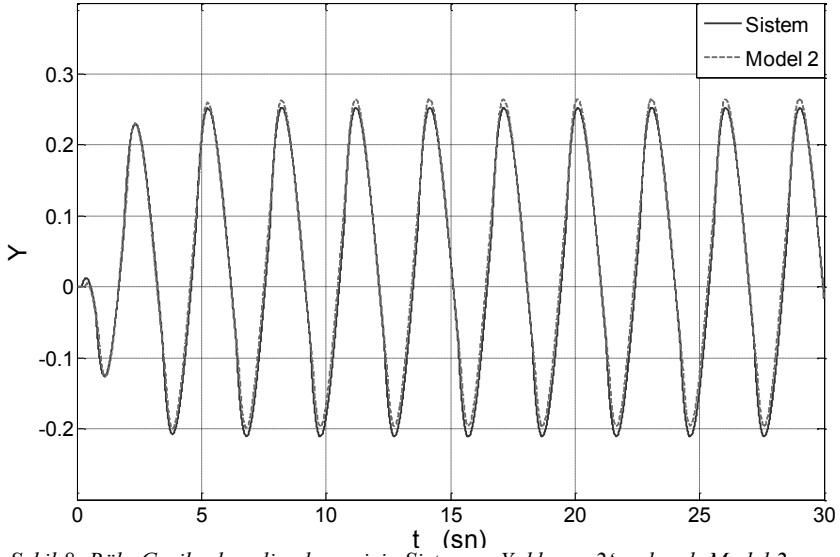
Röle geri-beslemeli sistemlerde genetik algoritma ile modelleme



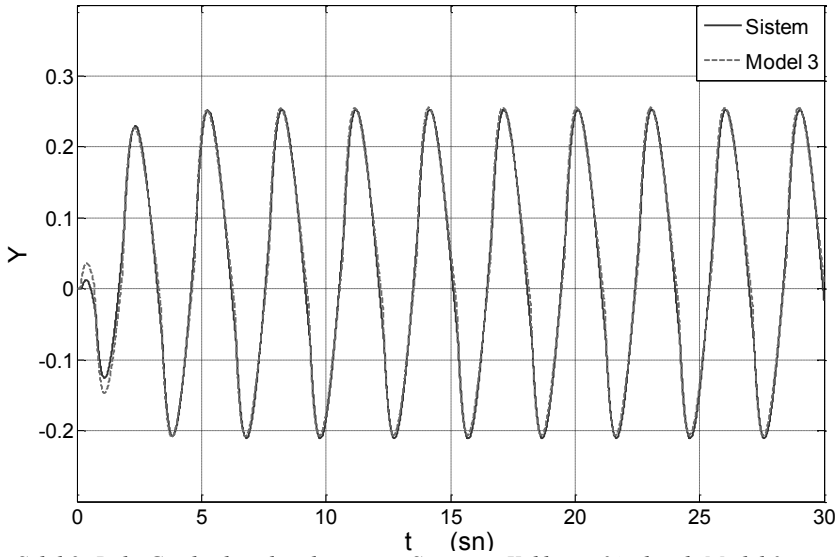
Şekil 6: Yaklaşım 3 için her neslin en iyi uygunluk değeri



Şekil 7: Röle-Geribeslemeli çalışma için Sistem ve Yaklaşım 1'e dayalı Model 1 cevapları



Şekil 8: Röle-Geribeslemeli çalışma için Sistem ve Yaklaşım 2'ye dayalı Model 2 cevapları



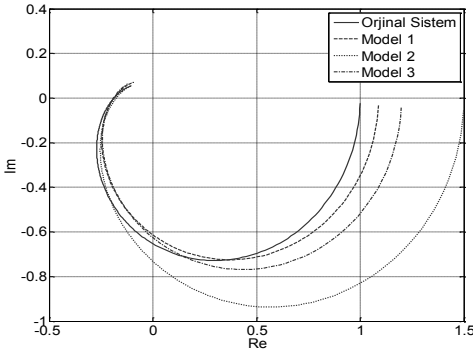
Şekil 9: Röle-Geribeslemeli çalışma için Sistem ve Yaklaşım 3'e dayalı Model 3 cevapları

Yaklaşım 1 durumunda, sistemin K değeri gerçek değerine en iyi yakınsama yaparken, θ gecikme süresi ise gerçek değerden sapmaktadır. Sistem ve model, salınımların periyodikleştiği evrede örtüşür iken, benzetim sürecinin ilk evresinde örtüşmediği gözlemlenmektedir.

Yaklaşım 2 durumunda, benzetim çalışmasının ilk zamanlarında model cevabı sistem cevabı ile daha iyi örtüşmekte ancak ileri zamanlarda iyi bir örtüşme olmadığı gözlemlenmektedir.

Yaklaşım 3 durumunda ise sistem ve model cevaplarının en uygun örtüşümünü veren parametreler elde edilmiştir. Ancak elde edilen parametreler gerçek değerlerden bir miktar farklı olmaktadır.

Şekil 10'dan görüleceği gibi, kontrol tasarımı için önemli olan Nyquist eğrisinin negatif gerçel eksenini -180° 'de kestiği noktada bütün modeller ile gerçek sistemin Nyquist eğrileri oldukça iyi bir şekilde örtüşmektedir. Dolayısıyla, elde edilen modellerin kontrol amaçlı olarak rahatlıkla kullanılabilmesi görülmektedir.



Şekil. 10: Orijinal Sistem ve Modellerin Nyquist eğrileri

Sonuç

Bu çalışmada, ters cevaplı süreçler için röle geri-beslemeli kontrol kullanılarak model transfer fonksiyonu parametrelerinin GA ile bulunması sunulmuştur. Parametre tahmininde kullanılan uygunluk fonksiyonunda model cevap hatasının IAE değerinin minimize edilmesi hedeflenmiştir. Uygunluk fonksiyonundaki IAE değeri için üç farklı yaklaşım yapılarak model parametrelerinin eniyilemesine çalışılmıştır. Her üç yaklaşım metodunda da kabul edilebilir sonuçlar gözlemlenmiştir.

Kaynaklar

- Åström, K.J. ve Hägglund, T., (1984). Automatic tuning of simple regulators with specifications on phase and gain margins, *Automatica*, **20**,5,645-651.
- Luyben, W.L., (1987). Derivation of transfer functions for highly nonlinear distillation columns, *Ind. Eng. Chem. Res.*, **26**, 2490-249.
- Kaya, I. ve Atherton, D.P., (2001). Parameter Estimation from Relay Autotuning with Asymmetric Limit Cycle Data, *J. Process Control*, **11**, 429-439.
- Kaya, I., (1999). Relay feedback Identification and Model Based Controller Design, Doktora Tezi, Sussex University, U.K.
- Waller, K.V.T. ve Nygardas, C.G., (1975). On inverse response in process control, *Ind. Eng. Chem. Fundam.*, **14**,3, 221-223.
- Luyben, W.L., (2000). Tuning Proportional-Integral controllers for processes with both inverse response and deadtime, *Ind. Eng. Chem. Res.*, **39**, 973-976.
- Alander, J.T., (2008). An indexed bibliography of genetic algorithms in control, Report Series No. 94-1-CONTROL, ftp.uwasa.fi directory cs/report94-1 file gaCONTROLbib.pdf.
- Holland, J.H., (1975). *Adaptation in Natural and Artificial System* Ann Arbor, The University of Michigan, USA.
- Karr, C.L. ve Freeman, M., (1999). *Industrial Applications of Genetic Algorithms*, CRC Press, New York.
- Goldenberg, D.E., (1989). *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*, Addison-Wesley Longman.
- Şen, Z., (2004.). *Genetik Algoritmalar ve En İyileme Yöntemleri*, Su Vakfı, İstanbul.