

TABU ARAŞTIRMA ALGORİTMASINA DAYALI SİSTEM KİMLİKLENDİRME İŞLEMİNDE KONTROL PARAMETRELERİNİN ÇÖZÜME ETKİSİ

Aytekin BAĞIŞ

Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektronik Müh. Bölümü, 38039 Kayseri
e-posta: bagis@erciyes.edu.tr

Anahtar Sözcükler: Tabu Araştırma Algoritması, Sistem Kimliklendirme, Parametre Tahmini

ABSTRACT

In this paper we used tabu search algorithm to solve a system identification problem. Application results on different control parameters of the optimisation algorithm are presented, and effects of these factors are examined for solution.

1. GİRİŞ

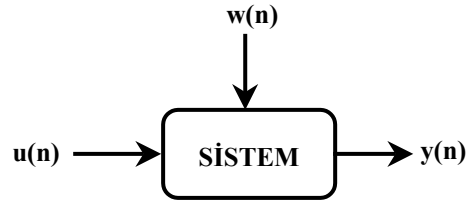
Dinamik bir sistemin önceki bilgilerden ve gözlemlerden faydalanılarak bir çeşit matematiksel modelinin oluşturulması işlemi sistem kimliklendirme (system identification) olarak adlandırılır [1,2]. Böylece, bir dinamik sistemin matematik modelinde yer alan ancak bilinmeyen parametreler deneysel verilerden faydalanılarak tahmin edilir. Dikkate alınan sistemin etkin biçimde denetlenebilmesi, çıkış değeri hakkında her zaman güvenilir bilgiye sahip olunabilmesi ve sistemin geliştirilebilir olması bakımından sistem modelinin ve tahmin edilen parametre değerlerinin mümkün olan en az hata ile elde edilmesi gerekir. Sistemi etkileyen istenmeyen bozucu girişlerin varlığı ve değişken sayısının çokluğu, parametre değerlerinin güvenilir doğrulukta belirlenmesini güçleştirir.

Bu çalışmada, tipik bir sistem kimliklendirme probleminin çözümü için tabu araştırma (tabu search) algoritması (TAA) kullanılmış, algoritmanın esas aldığı kontrol parametrelerinin çözüme olan katkıları incelenmiştir. İlk kısımda örnek bir sistem kimliklendirme problemi ele alınmıştır. Daha sonra TAA'nın yapısı kısaca tanıtılmış ve problemin çözümüne yönelik olarak algoritmaya ait kontrol parametrelerinin ne şekilde seçildiği anlatılmıştır. Bu parametrelerin farklı değerlerde seçilmesi durumunda çözümün nasıl etkilendiğine ilişkin sonuçlar yine bu bölümde sunulmuştur. Son bölümde sonuçlar ele alınmıştır.

2. PROBLEMİN TANIMI

Dinamik bir sistem, giriş değişkenleri ve bozucular tarafından sürülür. Sistem girişleri kontrol edilebilir ancak bozucular genelde kontrol edilemez. Bir dinamik sistemin temel şeması Şekil 1'de gösterilmiştir [1, 2]. Tipik bir dinamik sistem, $u(n)$

giriş işareti ile $w(n)$ bozucu işaretinden etkilenecek $y(n)$ gibi bir çıkış işareti üretir. Böyle bir sistemin kontrol edilebilmesi için, $u(n)$ ve $y(n)$ işaretlerinden yararlanılarak istenilen $d(n)$ işaretinin elde edilebilmesi gerekir. Bu yüzden sistemin matematik modelinin bilinmesi zorunludur. Böylece sistemin modeli kullanılarak sistem çıkışı arzu edilen şekilde düzenlenebilir.



Şekil 1. Dinamik Sistem

Modelleme işleminin temel basamaklarını aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür [1]:

- (1) Sistem girişine bir kontrol işareti uygulanır ve sistemi etkileyen gürültü işareti de dikkate alınarak sisteme ait çıkış işareti üretilir.
- (2) Sisteme uygun (doğrusal ya da doğrusal olmayan) bir model yapısı belirlenir.
- (3) Elde edilen model parametreleri belirlenir. Modelleme işleminin en önemli aşaması, bu parametrelerin doğru şekilde belirlenmesidir.
- (4) Parametrelerin doğruluk derecesi test edilir. Eğer parametrelerin doğruluk derecesi istenilenden küçük ise başka bir model yapısı ya da yeni bir parametre tespit etme yönteminin belirlenmesi için 2. adıma geri dönlür. Elde edilen doğruluk derecesi istenilen düzeyde ise, bu model sistemin tanımlanması ve kontrol edilmesi için kullanılabilir.

Bu çalışmada ARMAX (Autoregressive moving average with exogenous variables) model yapısı ile modellenen bir sisteme ait parametreler, TAA kullanılarak belirlenmeye çalışılmıştır. Bu modele ait

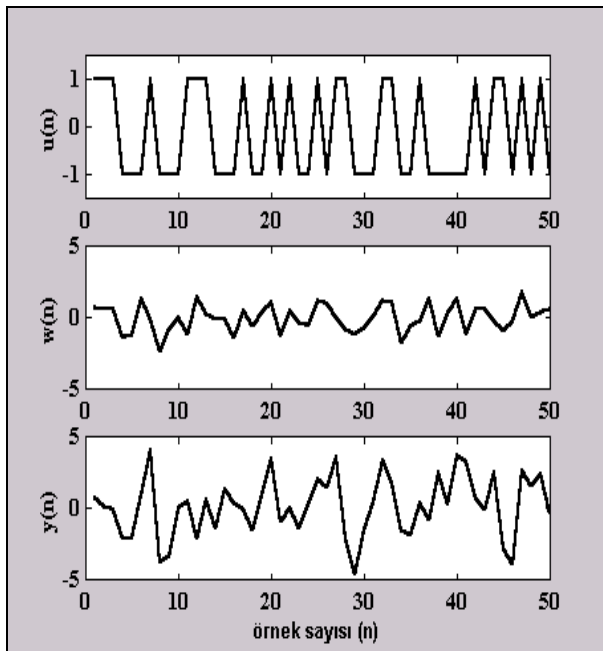
doğrusal fark denklemini Denklem 1'deki gibi yazmak mümkündür [3, 4].

$$y(n) = \sum_{k=1}^p a_k \cdot y(n-k) + \sum_{k=0}^q b_k \cdot u(n-k) + \sum_{k=0}^r c_k \cdot w(n-k) \quad (1)$$

Bu eşitlikte; $y(n)$, istenilen sistem çıkışı; $u(n)$, sistem girişi; $w(n)$, sistemi etkileyen gürültü; a , b ve c ise sabit parametre değerleridir.

Parametreleri TAA kullanılarak belirlenecek olan model Denklem 2'de, sisteme ait giriş, gürültü ve çıkış değerleri ise grafik olarak Şekil 2'de verilmiştir.

$$y(n) = a \cdot y(n-1) + b \cdot u(n-1) + c \cdot w(n-1) + w(n) \quad (2)$$



Şekil 2. Dikkate Alınan Sisteme Ait Giriş, Gürültü ve Çıkış Değerleri

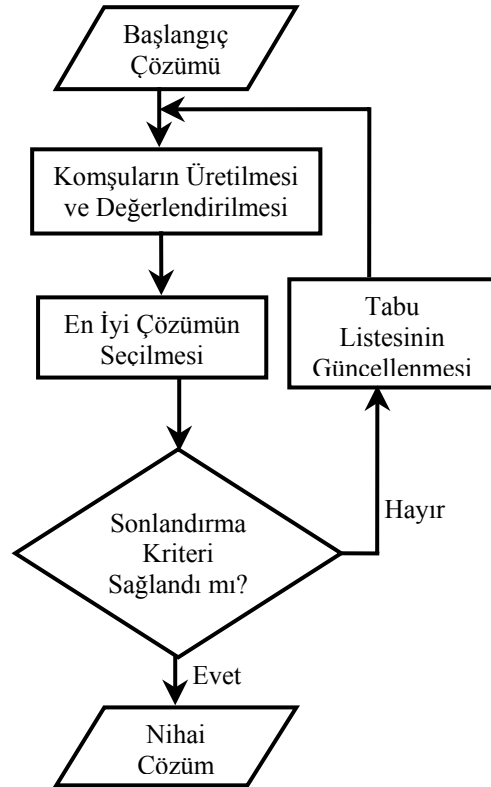
3. TABU ARAŞTIRMA ALGORİTMASI VE PROBLEME UYGULANMASI

TAA, zor optimizasyon problemlerinin çözümü için ortaya konulmuş olan iteratif bir optimizasyon yöntemidir (Şekil 3) [3, 5-7]. Problemlere kolay uygulanabilir olması ve hızlı şekilde çözümlerin elde edilmesini sağlaması, sistem kimliklendirme problemi için bu algoritmanın seçilmesinde önemli rol oynamıştır.

Yöntemin esası bir çeşit komşuluk (neighbourhood) araştırma mekanizmasına dayalıdır [5-7]. Bir çözümün komşuluğu, bu çözümden bir hareket (move) tarzıyla elde edilebilecek olan tüm olası çözümlerin kümesini ifade eder. Böylece mevcut çözümün bulunduğu araştırma bölgesi etrafında yeni ve daha iyi

çözümlerin elde edilebilmesi için sistematik bir incelemeye imkan sağlanır. İkilik düzende verilen örnek bir çözüm için yaygın şekilde kullanılan komşuluk yapısı Tablo 1'de gösterilmiştir.

TAA'nın en önemli özelliklerinden biri, benzer çözümlerin tekrarlı şekilde yeniden incelenmesini önlemek üzere oluşturulan bir tabu listesine (tabu list) sahip olmasıdır [5-7]. Belirli kriterleri sağlamayan ve diğerlerine göre kalitesi düşük olan çözümler bu liste içine dahil edilir ve araştırmanın yeniden bu çözümler üzerine yönelmesi engellenmiş olur. Tabu listesinin kullanımını sayesinde algoritma, aynı kalitesiz çözümleri yeniden değerlendirmeye almayacağından, önemli bir zaman kazanımı sağlar.



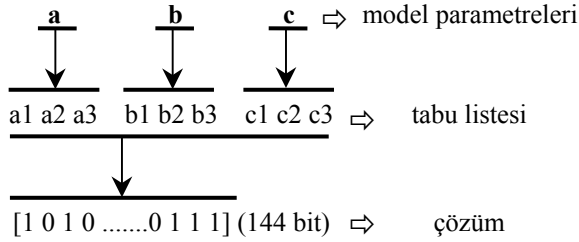
Şekil 3. TAA Akış Diyagramı

Tablo 1. Komşuluk Yapısı

ÇÖZÜM ⇔	1	0	1	1	0
1. KOMŞU	0	0	1	1	0
2. KOMŞU	1	1	1	1	0
3. KOMŞU	1	0	0	1	0
4. KOMŞU	1	0	1	0	0
5. KOMŞU	1	0	1	1	1

Çözüme hızlı şekilde ulaşmak için önemli payı olan etkenlerden birisi de tabu listesinin büyüklüğüdür. Üzerinde araştırma yapılacak olan bir çözümün tanımlanma biçimi bu listenin büyüklüğünü doğrudan

etkiler. Bu çalışmada a, b ve c parametrelerini temsil etmek üzere [0, 1] aralığında yer alan 9 adet nümerik değerden yararlanılmıştır (Şekil 4). Bu nümerik değerlerin 3 tanesi bir parametreye karşılık olarak kullanılmıştır. Her bir nümerik değer ise 16 bit ile tanımlanmıştır. Böylece, bulunması istenilen a, b ve c parametreleri için ikilik düzende toplam 144 bit (9x16bit) kullanılmıştır. Bu şekilde yapılan bir tanımlama sayesinde tabu listesinin büyüklüğünün sadece 9 olması sağlanmıştır. Böylece, tabu listesinin aşırı büyük tanımlı olması önlenmiş ve çözümlerin değerlendirilmesinde zaman kazancı sağlanmıştır.



Tabu listesine dahil edilecek olan çözümlerin belirlenmesi bazı tabu şartlarına (tabu conditions) göre yapılır. Bu şartlar iki önemli faktöre dayalıdır. Bunlar, yakınlık hafızası (recency memory) ve sıklık hafızasıdır (frequency memory) [5-7]. Yakınlık ve sıklık hafızaları sırasıyla bir çözümün en son ne zaman ve hangi sıklıkla denendiğine ilişkin bilgileri saklarlar. Bu bilgiler, problemin yapısına göre oluşturulan bazı şartlar doğrultusunda değerlendirilir ve ilgili çözümün tabu listesine alınıp alınmayacağına karar verilir. Böylece, kullanılan hafıza kriterleri yardımıyla, araştırma sırasında çözüm vektörüne ait elemanların belirli bir disipline bağlı olarak değişim göstermeleri sağlanır.

Bu çalışmada, çözüm vektörünün n. elemanı için iki tabu şartı dikkate alınmıştır. Bunlar;

- (1) yakınlık(n) < y.K,
- (2) sıklık(n) > s.s_{ort}.r

şekindedir. Burada y ve s, sırasıyla yakınlık ve sıklık faktörleri, K çözüm vektöründeki eleman sayısı, s_{ort} sıklık tabanlı hafızanın ortalama değeri ve r ise sabit değerli bir ayarlama katsayısıdır (r=10). Verilen bu şartlara göre, çözüm vektöründeki bir eleman bu şartlardan birini sağladığında tabu olarak değerlendirilir ve tabu listesine dahil edilir.

Yakınlık ve sıklık faktörleri TAA'nın performansını doğrudan etkileyen unsurlardır. Hızlı ve etkili bir algoritmanın ortaya konulabilmesi için bu faktörlerin dikkatli biçimde seçilmesi gerekir. Bu çalışmada yakınlık ve sıklık faktörlerinin [0,1] aralığındaki farklı değerleri kullanılmış ve çözümün bu değişimden nasıl etkilendiği incelenmiştir.

TAA, araştırma sırasında elde edilmiş olan çok iyi çözümlerin kaybedilmesini önlemek amacıyla serbest bırakma (aspiration) kriteri adı verilen bir mekanizmadan yararlanır. Bu mekanizma, mevcutlar arasındaki en iyi çözümün tabu listesinde yer alması durumunda bu çözümün tabu listesinden ayrılmasına izin verir. Bütün olası çözümlerin tabu listesinde bulunması halinde ise en az tabu olan çözüm bir sonraki çözüm olarak belirlenir.

TAA genelde 3 farklı durdurma kriteri (stopping criterion) kullanır. Bunlar, maksimum iterasyon sayısı, mevcut çözümün daha kaliteli değerlere ulaşmaması durumu ve problemin çözümü için izin verilen zaman sınırlamasıdır. Bu çalışmada ilk durdurma kriteri kullanılmış ve yapılan çeşitli denemelerden sonra iterasyon sayısı 30 olarak belirlenmiştir.

TAA tarafından yapılan parametre belirleme işlemi için aşağıda verilen amaç fonksiyonu (objective function) kullanılmıştır.

$$e = \left\{ \left(\sum_{k=1}^t |y_d(t) - y(t)|^2 \right) / t \right\}^{(1/2)} \quad (3)$$

Bu ifadede n örnek sayısı, y_d ve y sırasıyla istenilen ve gerçek sistem çıkışlarıdır.

TAA'na dayalı olarak ve yakınlık ve sıklık faktörleri farklı değerlerde seçilerek yapılan sistem kimliklendirme işleminde elde edilen benzetim çalışması sonuçları Tablo 2'de sunulmuştur. Tabloda verilen değerler rms (root mean square) cinsinden hata değerleridir.

Tablo 2. Benzetim Çalışması Sonuçları

yakınlık faktörü (y)	sıklık faktörü (s)	hata (rms) x 10 ⁽⁻⁴⁾
0.2	0.2	137.2600
	0.4	0.4700
	0.6	146.4300
	0.8	0.4900
	1.0	0.6100
0.4	0.2	147.0100
	0.4	0.5200
	0.6	134.0400
	0.8	142.3400
	1.0	0.5000
0.6	0.2	0.2500
	0.4	0.9900
	0.6	12.4600
	0.8	0.5400
	1.0	15.0300
0.8	0.2	11.9200
	0.4	0.5200
	0.6	177.9100

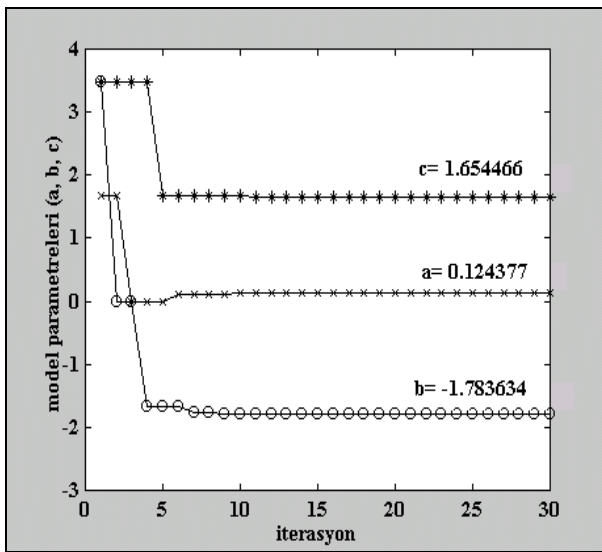
Tablo 2.(Devam) Benzetim Çalışması Sonuçları

yakınlık faktörü (y)	sıklık faktörü (s)	hata (rms) $\times 10^{-4}$
0.8	0.8	0.6400
	1.0	10.6800
1.0	0.2	10.7700
	0.4	11.1400
	0.6	139.1000
	0.8	10.4900
	1.0	12.4600

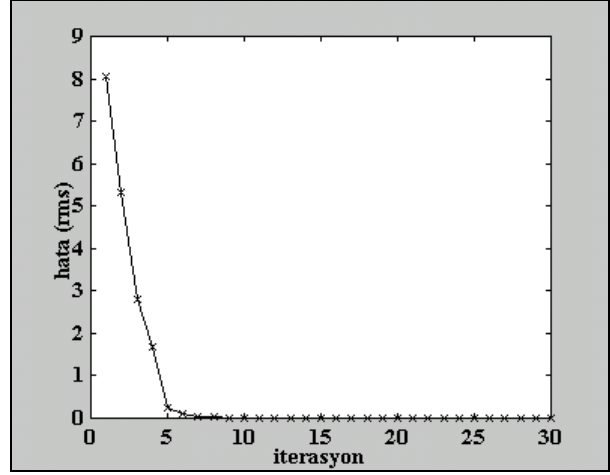
Tablo 2’de verilen hata değerleri incelendiğinde, TAA’nın dikkate alınan problem için genel olarak iyi sonuçlar verdiğini gözlemek mümkündür. Çünkü, gözlenen en yüksek rms hata değeri dahi 177.91×10^{-4} olarak gerçekleşmektedir. Bu sonucun ortaya çıkmasında tabu şartlarının dikkatli biçimde oluşturulmasının etkisi büyüktür. Tablo 2’ye göre TAA en iyi performansını yakınlık faktörü (y) 0.6 ve sıklık faktörü (s) 0.2 olduğunda göstermektedir. Bu durumda hata değeri 0.25×10^{-4} olarak gerçekleşmektedir.

Bulunması istenilen sistem parametrelerinin iterasyonlara göre değişimi Şekil 5’de verilmiştir. Bu sırada hatanın değeri de Şekil 6’daki değişimi sergilemektedir.

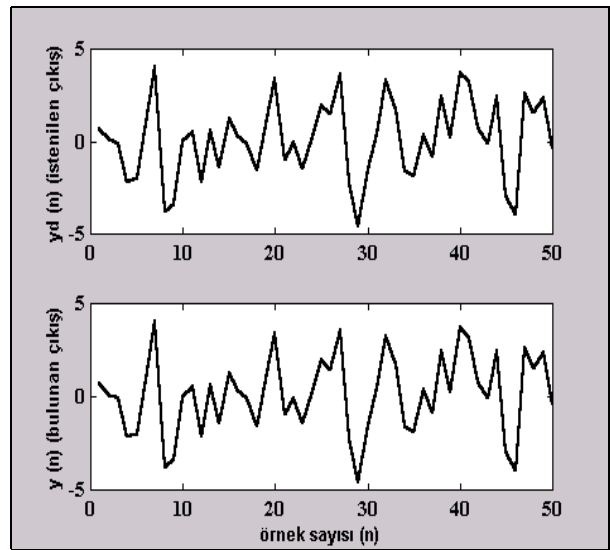
TAA yardımıyla elde edilen en iyi model parametreleri $a=0.124377$, $b=-1.783634$ ve $c=1.654466$ ’dır. Bu parametreler kullanılarak bulunan sistem çıkışı ($y(n)$) ve istenilen sistem çıkışı ($yd(n)$) karşılaştırmalı olarak Şekil 7’de sunulmuştur.



Şekil 5. Model Parametrelerinin Değişimi



Şekil 6. Hatanın Değişimi



Şekil 7. İstenilen ve Bulunan Sistem Çıkışları

Şekil 7’den açıkça görüleceği gibi, iki sistem çıkışı arasındaki hata oldukça küçüktür. Şekildeki eğrisel değişimlerin bu dikkat çekici uyumu, TAA’nın bu tip sistem kimliklendirme problemlerinde güvenli biçimde kullanılabileceğini de kanıtlamaktadır. Şekil 5’e bakılarak, istenilen model parametrelerinin çok kısa sürede bulunabilmesini mümkün kılması, bu kanıtı daha da güçlendirmektedir.

4. SONUÇ

Bu çalışmada tipik bir sistem kimliklendirme probleminin çözümü için tabu araştırma algoritması kullanılmıştır. Algoritma performansını doğrudan etkileyen tabu şartlarını oluşturan iki temel kontrol parametresi farklı değerlerde alınarak model parametreleri elde edilmiştir. Yapılan benzetim çalışmalarına ait sonuçlar karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Elde edilen sonuçlar, parametre tahminine dayalı sistem kimliklendirme problemlerinde tabu araştırma algoritmasının etkin ve güvenilir biçimde kullanılabileceğini açıkça ortaya koymuştur.

KAYNAKLAR

- [1] Ljung, L., SYSTEM IDENTIFICATION: THEORY FOR THE USER, Prentice Hall, 1987.
- [2] Ogata K., SYSTEM DYNAMICS, Prentice Hall, New Jersey, 1992.
- [3] Bağış A., Karaboğa N. & Karaboğa D., System Identification Using Tabu Search Algorithm, THE 9TH TURKISH SYMPOSIUM ON ARTİFİCİAL INTELLIGENCE and NEURAL NETWORKS (TAINN'2000), pp. 421-424, 2000.
- [4] Bağış A., Genetik Algoritma Kullanılarak Gerçekleştirilen Sistem Kimliklendirme İşleminde Çaprazlama Ve Mutasyon Operatörlerinin Etkisi, 5. BİLGİSAYAR-HABERLEŞME SEMPOZYUMU, s. 222-225, 1998.
- [5] Glover F., Tabu Search-Part I, ORSA JOURNAL ON COMPUTING, Vol 1, No.3, pp. 190-206, 1989.
- [6] Glover F., A user's guide to tabu search, ANNALS OF OPERATIONS RESEARCH, Vol.41, pp.3-28, 1993.
- [7] Pham D. T. and Karaboga D., INTELLIGENT OPTIMISATION TECHNIQUES, Springer-Verlag, London, 2000.