

Toplam Elektron Niceliği Öngörümünde Ardışık Benzeleme Tekniği

Erdem Türker Şenalp, Ersin Tulunay, Yurdanur Tulunay*

Orta Doğu Teknik Üniversitesi
Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü
06531, Balgat, Ankara
senalp@metu.edu.tr , ersintul@metu.edu.tr ,

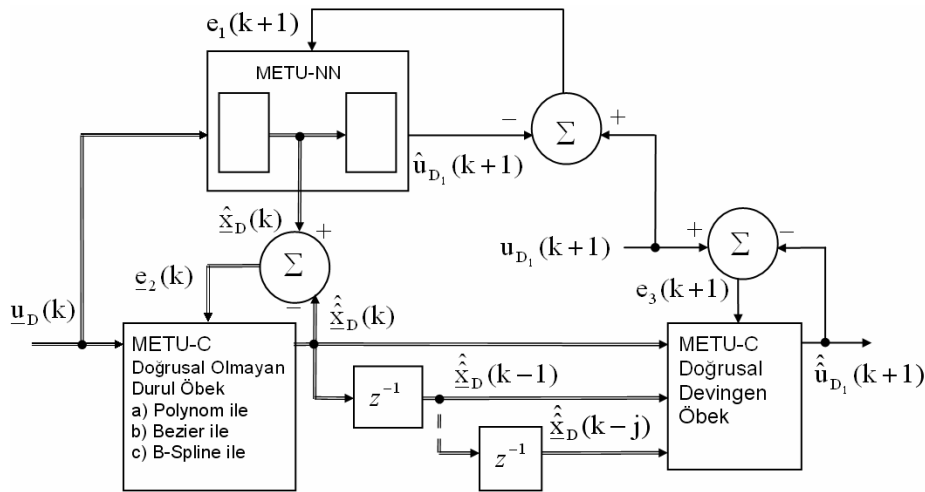
*Orta Doğu Teknik Üniversitesi
Havacılık ve Uzay Mühendisliği Bölümü
06531, Balgat, Ankara
ytulunay@metu.edu.tr

Özet: Toplam Elektron Niceliği (TEC), iyonuyarsal radyo yayılımı uygulamaları için öngörülmesi gereken değişirgenlerden biridir. TEC öngörümü gibi iyonuyarsal süreçlerin tanınması için Hammerstein dizge benzelemesine dayalı “Orta Doğu Teknik Üniversitesi Sinirsel Ağlar ve Ardışık Benzeği”, (METU-NN-C), geliştirilmiştir. METU-C, ardışık iki öbekten oluşmaktadır. İlki duruk doğrusal olmayan öbek, ikincisi devingen doğrusal öbeğdir. Benzeğin duruk doğrusal olmayan öbeğinde B-spline ve Bezier özel eğrilerinin gösterimleri geliştirilmiştir. Dizge tanımada yüksek kesinlik ve duyarlılık amacıyla, akıllı teknikler kullanarak, öbeklerin değişirgenleri hesaplanmıştır. Gerçekleştirilen durum çalışmasında, METU-C benzeğiyle TEC öngörü sonuçları tartışılmıştır. Ek olarak, sonuçlar, ODTÜ Sinirsel Ağ benzeğiyle (METU-NN) elde edilen TEC öngörülerıyla karşılaştırılmıştır [1]-[2].

1. Giriş

Yer’e yakın uzay’da, hem iyonuyardan yansımali iletişim programlaması, hem de iyonuyardan geçen işaretlerle uydu iletişimi ile sefer uygulamaları ve programlamalarını etkileyen TEC değerlerin öngörüsü, savunmaya ilişkin ve sivil iletişim planlaması için önemlidir. ODTÜ’de bir grup havacılık ve elektrik mühendisleri, 1990’dan beri AB-COST-TIST Eylemlerinin parçası olarak Yer’e yakın uzay süreçlerinde ve dizge belirlenmesinde Sinirsel Ağlar gibi veri sürüşlü benzeği geliştirmektedir [1]-[2]-[3]-[4]-[5]-[6]-[7]-[8].

Bu çalışmada, karmaşık ve doğrusal olmayan süreçleri tanımak için Hammerstein dizge benzelemesine dayalı ardışık iki öbekli METU-C benzeğini ve ara değişirgenleri kestiren öbek olarak kullanılan METU-NN benzeğini içeren Şekil 1’deki METU-NN-C benzeği geliştirilmiştir. METU-NN-C benzeğindeki ardışık METU-C öbeklerinden ilki duruk doğrusal olmayan öbek, ikincisi devingen doğrusal öbeğdir.



Şekil 1. METU-NN-C Benzeği

METU-C öbeklerinin arasındaki durum değiştirgenine benzeyen ara değiştirgenler ayrı bir METU-NN öbeği ile kestirilir. Bu çalışmada, duruk doğrusal olmayanlığı tanımlamada B-Spline eğrilerinin kullanılması ve Bezier eğrilerinin kullanılması Hammerstein dizge benzeklemesi için iki yeni tekniktir [7]-[9]. Her iki teknik yerel denetim sağlar. Doğrusal olmayan öbeğinde B-Spline eğrilerinin geliştirildiği ardışık benzek, METU-NN-C, bir konumdaki TEC öngörülerini için, yazarların araştırmasına göre ilk kez, bu çalışmada gösterilmiştir.

Hammerstein dizge benzeklemesine dayalı bir ardışık benzek dizge belirlenmesinde yeterli bir yaklaşım olarak görölmektedir [2]-[7]-[10]-[11]-[12]-[13]. Devingenlik doğrusal öbekte benzeklendiğinden, veri girişi ve devingen dizge özömlenmesi basittir. Doğrusal olmayan öbek durul olduğundan dizge belirlemede bağımsızlık derecesi düşüktür. Benzek uygulamaları yüksek kesinlik ve duyarlılığa sahiptir [2]-[7].

2. Girdi Verilerinin Hazırlanışı

METU-NN-C benzeğini eğitmek için 1 Nisan – 31 Mayıs 2000 ve 2001 tarihlerinde GPS ölçümlerinden elde edilmiş olan 10 dk. aralıklı Chilbolton (51.8° N; 1.26° W) istasyon TEC verileri kullanılmıştır. Benzeğin kullanılmasında ise 2002'deki aynı ayları içeren 10 dk. Aralıklı Hailsham (50.9° N; 0.3° E) istasyon TEC verileri kullanılmıştır [1]-[14]. Bu şekilde mevsimsel bağımlılık ve benzer Güneş etkinlik etkileri benzeğe girmiştir [1].

3. B-Spline Eğrilerinin Kullanıldığı METU-NN-C Benzeği

METU-C benzeği girdileri: güncel TEC, dakikanın ve günün sinüs ve kosinüs bileşenleridir. Bu girdiler B-Spline eğrileri ile ara değiştirgenleri, $x_q(k)$, gösterir [9]. Ara değiştirgenlerin, 1 ve 2 saat öncelerinin doğrusal ilişkisinden benzek çıktısı, $y(k)$, elde edilir. Benzek ıktısı 1 saat ileri TEC öngörüsüdür.

$$x_q(k) = \sum_{p=1}^R f[u_p(k)] = \sum_{p=1}^R \sum_{i=0}^m B_{pi} \cdot N_{i,s} \{u_p(k)\} \quad , \quad y(k) = \sum_{q=1}^S \sum_{j=0}^n h_q(j) \cdot x_q(k-j) \quad (1)$$

ıktı için: S=6 durul ara değiştirgen sayısı, n=2 kullanılan geçmiştir. Ara değiştirgenler için: R = 5, girdi sayısı; m+1=4, tanımlayıcı poligon sayısı; s=4, ilgili esas fonksiyon sınıfı; $u_p(k)$, normallenmiş girdiler; B_{pi} , belirlenecek katsayılar; $N_{i,s} \{u_p(k)\}$, normallenmiş B-Spline esas fonksiyonlarıdır [9]:

$$N_{i,s} \{u_p\} = \frac{(u_p - z_i) N_{i,s-1} \{u_p\}}{z_{i+s-1} - z_i} + \frac{(z_{i+s} - u_p) N_{i+1,s-1} \{u_p\}}{z_{i+s} - z_{i+1}} \quad , \quad N_{i,1} \{u_p\} = \begin{cases} 1, & \text{eger } z_i \leq u_p \leq z_{i+1} \\ 0, & \text{diğer} \end{cases} \quad (2)$$

$$z_i = 0, \quad \text{eger } i < s; \quad z_i = i - s + 1, \quad \text{eger } s \leq i \leq m; \quad z_i = m - s + 2, \quad \text{eger } i > m \quad (3)$$

METU-C katsayılarının, B_{pi} ve $h_q(j)$, bulunması için öncelikle ara değiştirgenler METU-NN'le kestirilmiştir.

Sonra, METU-C parametreleri belirlenmiştir. Kullanılan METU-NN, 6 nöronlu bir gizli katmana sahip ileri besleme yapısındadır ve ilk katmanda hiperbolik tanjant, ikinci katmanda doğrusal taşıma fonksiyonlarına sahiptir. Eğitim ve optimizasyonda Levenberg-Marquardt algoritması kullanılmıştır [15]-[16]-[17].

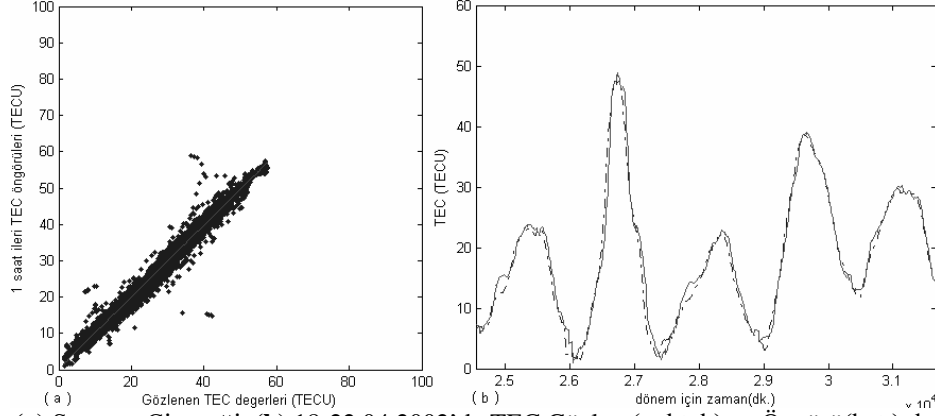
4. Sonuçlar ve Yorum

METU-C benzekleri aynı konum ve zamandaki TEC verileri ile eğitildikten sonra tek tek aynı uygulama konum ve zamandaki TEC verileri ile çalıştırılmış ve durum çalışmaları sonucunda 1 saat ileri öngörü performans sonuçları elde edilmiştir. Tablo 1'de TEC gözlemleriyle, geliştirilen METU-NN benzeği ve duruk doğrusal olmayan öbeğinde Polinom, Bezier, ve B-Spline eğri gösterimleri olan üç ayrı METU-NN-C benzeği kullanarak elde edilen TEC öngörülerini arasındaki hatalar ve ilinti katsayıları verilmiştir. Tüm benzekler uygulama toleranslarındadır [18]. Yeni geliştirilen Bezier ve B-Spline ile TEC öngörülerini performansları önceki benzeklerden de üstündür. şekil 2-a'da B-Spline kullanılarak geliştirilen METU-C kullanılarak elde edilen öngörülerini saçınım izeneği ve şekil 2-b'de Güneş olayı zamanındaki öngörü ve gözlem değişimleri verilmiştir.

Düşük hata değerleri ve saçınım izeneğindeki uyum doğrusunun eğiminin 1'e yakın olması dizge belirlemede hata değer fonksiyonunun evrensel en küçüklüğe geldiğini; yüksek ilinti katsayı ve saçınım izeneğindeki noktaların uyum doğrusuna olan uzaklıklarının düşüklüğü ise benzeğin doğrusal olmayanlığı öğrendiğini göstermektedir. Sonuç olarak, Bezier ve B-Spline eğrileri kullanılarak doğrusal olmayanlığın betimlenmesi METU-NN-C ardışık benzeklerinde başarıyla gerçekleştirilmiştir. Bu benzekler, gelecekte diğer doğrusal olmayan karmaşık süreçlerin belirlenmesinde ve veri boşluklarının doldurulmasında da kullanılabilir.

Tablo 1. METU-NN ve METU-NN-C Benzekleri için Hata ve İlinti Tablosu

Öngörü Benzeği	METU-NN	Polinom ile METU-C	Bezier ile METU-C	B-Spline ile METU-C
RMS Hata (TECU)	1.8379	1.7908	1.7539	1.7529
Normallenen Hata	0.0695	0.0639	0.0551	0.0551
Mutlak Hata (TECU)	1.2200	1.1708	1.1054	1.1041
Çapraz İlinti Katsayısı	0.9858	0.9863	0.9869	0.9869

**Şekil 2.** (a) Şaçınım Çizeneği, (b) 18-22.04.2002'de TEC Gözlem(noktalı) ve Öngörü(katı) değişimleri

Referanslar

- [1]. Tulunay E., Senalp E.T., Cander Lj. R., Tulunay Y., Bilge A.H., Mizrahi E., Kouris S.S., ve Jakowski N., Development of algorithms and software for forecasting, nowcasting and variability of TEC, *Annals of Geophysics*, 47(2/3), s. 1201-1214, 2004.
- [2]. Senalp E.T., Tulunay E., ve Tulunay Y., Neural Networks and Cascade Modeling Technique in System Identification, TAINN'2005, 16-17 Haz. 2005, Çesme, İzmir, Türkiye, s.286-293; LNAI, 3949 (basımda), 2006.
- [3]. Tulunay Y., Tulunay E., Kutay A.T., ve Senalp E.T., Neural Network Based Approaches for Some Nonlinear Processes, URSI-TÜRKİYE'2002, 18-20 Eylül 2002, İTÜ – İstanbul, Türkiye, s. 403-406
- [4]. Tulunay Y., Tulunay E., ve Senalp E.T., An Attempt to Model the Influence of the Trough on HF Communication by Using Neural Network, *Radio Science*, 36(5), s.1027-1041, 2001.
- [5]. Tulunay Y., Tulunay E., ve Senalp E.T., The Neural Network Technique-2: An Ionospheric Example Illustrating its Application, *Adv. Space Res.*, 33(6), s.988-992, 2004.
- [6]. Tulunay Y., Sibeck D.G., Senalp E.T., ve Tulunay E., Forecasting magnetopause crossing locations by using Neural Networks, *Adv. Space Res.*, 36(12), s.2378-2383, 2005.
- [7]. Senalp E.T., Tulunay E., ve Tulunay Y., System Identification by using Cascade Modeling Technique with Bezier Curve Nonlinearity Representations, TAINN'2006, 21-23 Haz. 2006, Akyaka, Muğla, Türkiye, s.75-82.
- [8]. Tulunay E., Senalp E.T., Radicella S.M., ve Tulunay Y., Forecasting TEC Maps by Neural Network technique, *Radio Science*, (basımda), 2006.
- [9]. Rogers D.F., ve Adams J.A., *Mathematical Elements for Computer Graphics*, 2nd ed., McGraw-Hill, Inc., New York, ABD., s.289-308, s.379-477, 1990.
- [10]. Ikonen E., ve Najim K., Learning control and modelling of complex industrial processes, Overview report of the activities within the ESF's programme on COSY Theme 3: Learning control, Şubat 1999.
- [11]. Narendra K.S., ve Gallman P.G., An Iterative Method for the Identification of Nonlinear Systems Using a Hammerstein Model, *IEEE T Automat Contr*, s.546-550, 1966.
- [12]. Fruzzetti, K.P., Palazoglu A., ve McDonald K.A., Nonlinear model predictive control using Hammerstein models, *J. Proc. Cont.*, 7(1), s.31-41, 1997.
- [13]. Bai E.W., ve Fu M., A Blind Approach to Hammerstein Model Identification, *IEEE T Signal Proces*, 50(7), s.1610-1619, 2002.
- [14]. Senalp E.T., AB COST271, Cander L. ile kısa süreli bilimsel görev, 30 Haz. - 7 Tem. 2002, RAL, İngiltere.
- [15]. Hagan M.T., ve Menhaj M.B., Training Feedforward Networks with the Marquard Algorithm, *IEEE T Neural Networ*, 5(6), s.989-993, 1994.
- [16]. Haykin, S., *Neural Networks: A Comprehensive Foundation*, 2. bs., Prentice-Hall, Inc., New Jersey, ABD, s.2, 10, 21-22, 83-84, 169, 215, 1999.
- [17]. Tulunay Y., Tulunay E., ve Senalp E.T., The Neural Network Technique-1: A General Exposition, *Adv. Space Res.*, 33(6), s.983-987, 2004.
- [18]. Ciralo G., ve Radicella S.M., özel iletişim, 2004.