

DF Tabanlı İşbirlikli Haberleşme Sisteminde YSA Kullanarak Kanal Kestirimi

Channel Estimation by Using ANN in DF Based Cooperative Communication System

Muhammet Ali Karabulut, Hüseyin Çukur, Hacı İlhan, Tülay Yıldırım

Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği
Yıldız Teknik Üniversitesi
{mali, hcukur, ilhanh, tulay}@yildiz.edu.tr

Özet

İnsan beyninin bilgi işleme tekniğinden esinlenerek geliştirilmiş olan yapay sinir ağları (YSA), son zamanlarda birçok farklı mühendislik uygulamasında kendine yer bulmuştur. Özellikle, sınıflandırma, modelleme ve tahmin uygulamalarında sağladığı yüksek başarımla sebebiyle YSA önemli derecede ilgi görmüştür. Telsiz işbirlikli haberleşme sistemleri ise, bir kullanıcının bir hedefe bir röle üzerinden haberleştiği iletişim sistemlerdir. Bu çalışmada, kanal durum bilgisi ihtiyacını ortadan kaldıran ve sistem karmaşıklığını azaltan YSA teknikleri için işbirlikli haberleşme modelinin performansı incelenmiştir. BPSK modülasyonu kullanılan bu sistemde, hızlı sönmülemeli Rayleigh kanallar üzerinde elde edilen nümerik sonuçlar ile tam çeşitleme kazancı sağlandığı gösterilmiştir.

Abstract

Artificial neural networks (ANN) have been inspired by the human brain information processing techniques has recently found its place in many engineering applications. In particular, classification, modeling and prediction applications of ANN have attracted quite attention because ANN provides high performance. The wireless cooperative communication, a communication system in which users are communicating through a relay destination. In this paper, error performance of ANN based cooperative communication technique is studied. This technique, which employs training sequences, is a prominent approach for decreasing the system complexity and cost by eliminating the need for channel estimation. The numerical results for Rayleigh fast fading channels over BPSK modulation have shown that proposed approach provides full diversity gain.

1. Giriş

İşaret gücünün çeşitli etkenler sebebi ile düşmesine sönmüleme denir. Sönmüleme, kablosuz haberleşme sistemlerinde oluşan çok önemli sorunlardan biridir. Bu sorunu ortadan kaldırmak ya da etkisini azaltmak için literatürde birçok yöntem önerilmiştir. Bu yöntemlerden birisi çeşitlemedir. Çeşitleme uzay, zaman ve frekans gibi birkaç boyutta yapılabilir [1]. Bu yaklaşımlardan uzay (anten) çeşitlemesi, özellikle çok girdili çok çıktılı (Multiple Input

Multiple Output, MIMO) haberleşme sistemlerinde kullanılmaktadır. Sağladığı üstün performans artışı ve diğer çeşitleme teknikleri ile birlikte kullanıma elverişli olması MIMO'yu öne çıkarmaktadır.

Son yıllarda yapılan araştırmalar, yeni nesil iletişim sistemlerinin gerektirdiği veri hızı seviyelerine ulaşmada, daha geniş bir kapsama alanı ihtiyacını karşılamada ve daha iyi bir servis kalitesine ulaşmada yeni bir anten çeşitleme yaklaşımı olan işbirlikli çeşitlemenin önemli bir yere sahip olduğunu göstermektedir. İşbirlikli kablosuz iletişim sistemlerinde, kaynakların sanal bir anten dizisi (röle) oluşturularak çeşitleme kazancı elde etmek üzere paylaşılan bir grup kablosuz terminal söz konusudur [2]. İşbirlikli iletişimin temelleri bir kaynak, bir röle ve bir hedef terminalinden oluşan röleli bir kanalın incelendiği [2-4]'de verilen çalışmalara dayanmaktadır.

İşbirlikli iletişim sistemlerinin üzerine yapılmış çalışmaların büyük çoğunluğunda alıcı terminalerde kanal durum bilgisinin (CSI) mükemmel bir şekilde bulunduğu ve evre uyumlu (coherent) algılama yapıldığı varsayılmaktadır. İşbirlikli iletişim sistemlerinde terminal sayısının artması pilot işaretleşme ile sönmüleme katsayılarının belirlenmesi suretiyle evre uyumlu (coherent) iletişim yapmak ve aynı zamanda kanalın hızlı değiştiği ve taşıyıcı frekansının hatalı kullanıldığı bazı durumlarda kanal kestirim maliyeti oldukça artabilmektedir [5]. Senkronizasyon tekniklerinin kullanışlı olmamasından dolayı evre uyumsuz sistemlerin kullanılması daha pratiktir. Evre uyumsuz sistemlerin bir diğer avantajı ise taşıyıcı bileşenler alıcı tarafta tekrar ihtiyaç duyulmadığı için devre yapıları evre uyumlu olanlara göre daha basittir [5]. Kanal kestirim gereksinimini ortadan kaldıran bir teknik olan evre uyumsuz modülasyon için bazı önemli çalışmalar [6-10] de sunulmuştur. Hedef terminalinde en büyük olabilirlikli (Maximum Likelihood, ML) kestirim yapılması halinde farksal PSK (Differential PSK, DPSK) modülasyonunun ortalama bit hata oranı analizleri (Bit Error Rate, BER) [6]'da incelenmiştir. LAR tekniğinin performansı işbirlikli ağlarda, kaskat Nakagami-m sönmülemeli kanallarda evre uyumsuz algılama durumlarında incelenerek klasik yöntemlere göre üstünlükleri [7]'de gösterilmiştir. İşbirlikli iletişime evre uyumsuz ve evre uyumlu sistemlerin ikili frekans kaydırmalı anahtarlama (binary frequency shift keying, BFSK)

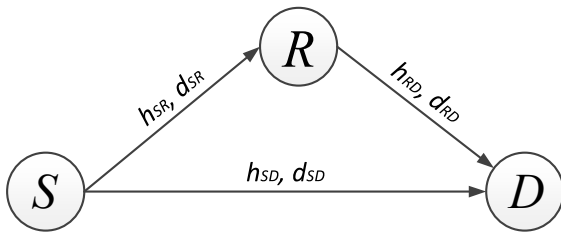
modülasyonu üzerindeki karşılaştırılması incelenmiştir [8]. [9]'da evre uyumsuz ağ kodlamalı işbirlikli iletişim incelenmiştir. [10]'da evre uyumsuz FSK modülasyonu kullanan iki yönlü bir işbirlikli iletişim sisteminin Rayleigh sönümleme kanallarındaki performansı incelenmiştir.

YSA, olayların örneklerine bakıp onlardan ilgili olay hakkında genellemeler yapmakta, bilgiler toplamakta ve daha sonra hiç görmediği örnekler ile karşılaştınca öğrendiği bilgileri kullanarak o örnekler hakkında karar verebilmemizi sağlar. Günümüzde YSA hemen hemen tüm uygulamalara kolayca uygulanabilmektedir. Bu sayede duruma göre maliyet, donanım karmaşıklığı ve süre anlamında oldukça yüksek kazanç sağlanabilmektedir. Bu sebeple bu çalışmada YSA sisteminin kanal kestirimi için alternatif olduğunu göstermek amaçlanmıştır.

Bu çalışmada YSA kullanarak işbirlikli iletişim sistemlerinin hata performansı hızlı sönümlemeli Rayleigh kanallarda kanal kestirimi yapılarak incelenmiştir. Bölüm 2'de sistem modeli sunulmuştur. Bölüm 3'te bu çalışmada kullanılan yapay sinir ağları modellerinden kısaca bahsedilmiştir. Bölüm 4'de ML kestirim karar kuralı verilmiştir. Nümerik sonuçlar Bölüm 5'te sunulmuştur. Elde edilen sonuçlar Bölüm 6'da açıklanmıştır.

2. Sistem Modeli

Bu çalışmada Şekil 1'de gösterilmiş olan işbirlikli iletişim sistem yapısı incelenmiştir. Modülasyon türü olarak BPSK kullanılmış ve sistemdeki bütün terminallerin tek antenli ve yarı-çift yönlü çalışma modunda oldukları varsayılmıştır. Çöz ve aktar (decode and forward, DF) tabanlı bir sistem ele alınmıştır. Kaynak verilerini ardışıl olarak ilk N zaman diliminde yayımlar. N+1 zaman dilimi ise rölenin iletimine tahsis edilmiştir. Ele alınan sistemdeki kaynak, röle ve hedef terminalleri arasında girişim gibi etkenlerin olmadığı ve kaynak ile hedef terminalleri arasındaki mesafenin normalize edildiği varsayılmıştır.



Şekil 1. İşbirlikli haberleşme sistem modeli.

Kanal katsayıları ve gürültü terimleri ortalaması sıfır ve boyut başına varyansları sırasıyla $\sigma_{ij}^2/2$ ve $N_0/2$ olan kompleks Gauss rastlantı değişkenleri biçiminde modellenerek hızlı Rayleigh sönümlemeli durum için incelenmiştir. E_S sembol iletim enerjisi olmak üzere i - j terminalleri arası işaret-gürültü oranının (Signal to Noise Ratio, SNR) anlık değeri $\gamma_{ij} = E_S |h_{ij}|^2 / N_0$ ve ortalama değeri $\bar{\gamma}_{ij} = E_S \sigma_{ij}^2 / N_0$ şeklinde tanımlanmıştır. Burada h_{ij} i - j terminalleri arasındaki sönümleme katsayısını göstermektedir $\{i \in \{S, R\}, j \in \{R, D\}, i \neq j\}$. i ve j düğümleri arasındaki kanal varyansı $\sigma_{ij}^2 = d_{ij}^{-\alpha}$ olarak modellenebilir [8]. Burada

d , i terminalinden j terminaline olan mesafeyi α ise yol kaybı katsayısını belirtmektedir. α yeryüzündeki kayıplı ortamlar için genelde 4 alınarak işleme katılır.

Kaynağın $i = 1, 2, \dots, N$ zaman fazlarındaki iletimi sonucunda röle ve hedefte görülen gürültülü işaretler

$$y_{SD}^i(n) = h_{SD} \sqrt{E_S} x(n) + z_D^i(n) \quad (1)$$

$$y_{SR}^i(n) = h_{SR} \sqrt{E_S} x(n) + z_R^i(n) \quad (2)$$

biçimindedir. Burada $u(n)$ terimi S kullanıcısının veri bitini,

$x(n)$ terimi S kullanıcısının modülasyonlu sembolünü

$x(n) = (-1)^{u(n)}$, $z_D^i(n)$ ve $z_R^i(n)$ ise gürültü terimlerini göstermektedir. Röle aldığı işaretleri

$$\hat{u}(n) = 0$$

$$\text{sign}(\text{Re}\{h_{SR}(n)^* y_{SR}(n)\}) \begin{matrix} > \\ < \end{matrix} 0 \quad (3)$$

$$\hat{u}(n) = 1$$

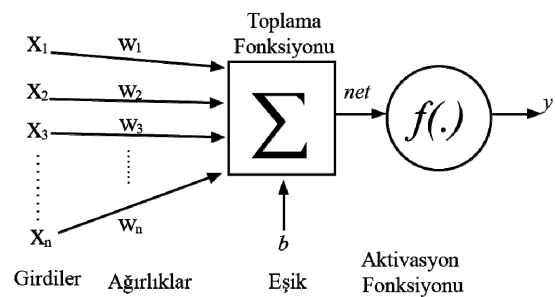
karar kuralı ile demodüle eder. (3) ifadesinde $\hat{u}(n)$ terimi, S kullanıcısının rölede sezilen veri bitini göstermektedir. Röle, karar kuralı işlemi ile elde ettiği kullanıcı verisini tekrar $x_R(n) = (-1)^{\hat{u}(n)}$ işlemi ile modüle ederek hedefe iletir. Son fazda röle iletimi sonucu hedefte oluşan gürültülü işaret ise,

$$y_{RD}^{N+1}(n) = h_{RD} \sqrt{E_S} x_R(n) + z_D^{N+1}(n) \quad (4)$$

olarak belirtilebilir.

3. Yapay Sinir Ağları

Yapay sinir ağları (YSA), biyolojik sinir ağlarından esinlenilerek ortaya çıkarılan ve veriden öğrenebilme, genelleme yapabilme, sınırsız sayıda değişkenle çalışabilme vb. birçok önemli özelliğe sahip olan bir bilgi işleme sistemidir [11]. YSA'nın çalışmasına esas teşkil eden en küçük temel bilgi işleme birimi yapay sinir hücresi (nöron) ya da işlem elemanı olarak isimlendirilir. Şekil 2'den de görüleceği üzere girdiler, ağırlıklar, birleştirme fonksiyonu, aktivasyon fonksiyonu ve çıkış basit bir yapay sinir hücresini oluşturan 5 temel bileşendir.

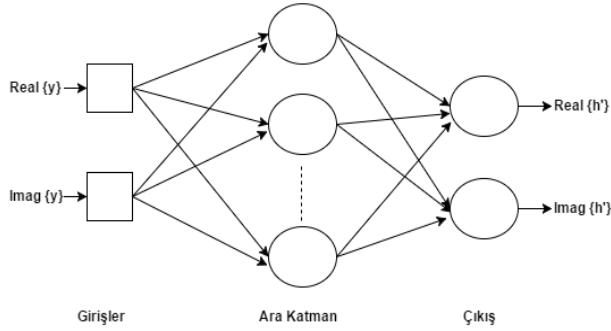


Şekil 2. Yapay sinir hücresi.

YSA'nın en temel görevi, örnek veri setindeki yapıyı öğrenerek, istenilen görevi yerine getirecek şekilde genelleştirmeler yapabilmesidir. Bu amaçla yapay sinir ağlarında, çok çeşitli ağ yapıları ve modelleri geliştirilmiştir [11]. Çok Katmanlı Algılayıcı (ÇKA, MLP), Radyal Temelli

Fonksiyon Ağları (RTFA, RBF), Öğrenmeli Vektör Nicemleme (ÖVN, LVQ), Hopfield Ağları, SOM Ağları ve Adaptif Rezonans Teorisi Ağları (ART) değişik alanlarda kullanılan yapay sinir ağı modellerinden birkaçıdır. Bu çalışmada ise YSA'nın en yaygın kullanılan iki ağ yapısından MLP ve RBF kullanılmış ve işbirlikli haberleşme sistemine uyarlanmıştır.

Bu çalışmada Şekil 3'de görüldüğü gibi tasarladığımız girişlerin hem reel hem de imajiner kısımları sisteme uygulanarak çıkışında da kanal katsayısının reel ve imajiner kısımlarından oluşan bir YSA sistemi tasarımı amaçlanmıştır.



Şekil 3. Kanal kestirimi için YSA modeli.

3.1. Çok Katmanlı Algılayıcı

Yapay sinir ağlarının günümüzde en yaygın olarak kullanılan modeli MLP'dir [11]. Giriş katmanı, ara katman ve çıkış katmanı olmak üzere 3 katmandan oluşan ileri beslemeli ve geri yayımlı bir ağ olan MLP modelinde temelde, ağı beklenen çıktısı ile ürettiği çıktı arasındaki hatayı en aza indirmek amaçlanır. Giriş katmanına uygulanan girdiler, ara katmanlarda işlenir ve çıkış katmanından da çıkışlar elde edilir. Kullanılan eğitime algoritmasına göre, ağı çıkışı ile arzu edilen çıkış arasındaki hata geriye doğru yayılım prensibine göre minimuma düşünceye kadar ağı ağırlıkları güncellenir.

3.2. Radyal Temelli Fonksiyon Ağları

Moody ve Darken (1989) tarafından popüler hale getirilen RBF, eğitici öğrenme kapsamında değerlendirilen ileri beslemeli bir YSA modelidir [12]. Ağ mimarisinin basitliği nedeniyle çok katmanlı YSA modellerine göre birçok avantajı bulunmaktadır ve bu avantajlardan birisi de, diğer geri yayılım algoritmalarına göre daha hızlı eğitilebilmeleridir. Ayrıca, gizli katman aktivasyon fonksiyonlarının sigmoid ve S-türü fonksiyonlar yerine, çekirdek fonksiyon olarak da adlandırılan Radyal Tabanlı Fonksiyonlar kullanılması da RBF'i diğer YSA'ndan ayıran en önemli özellik olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu özelliği ile RBF, farklı bölgelerinde farklı davranışlar gösteren girdi uzayları üzerinde çalışırken etkin bir araç olarak öne çıkmaktadır.

4. ML Kestirim Kuralı

Hedef, kullanıcıdan gelen işaret ile röleden gelen işareti çeşitleme kazancı elde edilecek şekilde birleştirmelidir. Bu çalışmada bu amaca ulaşmak üzere

$$\bar{u}(n) = \arg \max_{u(n), u_R(n) \in \{0,1\}} P[u(n), u_R(n)] \quad (5)$$

şeklinde ifade edilebilecek olan ML karar kuralı kullanılmıştır. Burada $\bar{u}(n)$, S kullanıcısına ait hedefte karar verilen veri bitini, $P[u(n), u_R(n)]$ ifadesi ise kaynağa ait veri biti ile röledeki veri bitinin ortak olasılığını göstermektedir ve

$$P[u(n), u_R(n)] = P[u(n)] \times P[u_R(n) | u(n)] \quad (6)$$

ile belirlenir. (6) ifadesinde

$$P[u_R(n) | u(n)] = \begin{cases} 1 - \varepsilon_R, & \hat{u}(n) = \hat{u}_R(n) \\ \varepsilon_R, & \hat{u}(n) \neq \hat{u}_R(n) \end{cases} \quad (7)$$

biçiminde hesaplanır. (6)'daki diğer olasılık terimleri,

$$P[u(n) = 0] \approx (1 + e^{L_S(n)})^{-1}, \quad (8)$$

$$P[u(n) = 1] \approx 1 - (1 + e^{L_S(n)})^{-1}, \quad (9)$$

$$P[u_R(n) = 0] \approx (1 + e^{L_R(n)})^{-1}, \quad (10)$$

$$P[u_R(n) = 1] \approx 1 - (1 + e^{L_R(n)})^{-1} \quad (11)$$

ile belirlenir. Yukarıdaki ifadelerde geçen olabirlik terimleri

$$L_S(n) = \frac{4\sqrt{E_S} \operatorname{Re}\{h_{SD}'(n)^* y_{SD}^i(n)\}}{N_0} \quad (12)$$

$$L_R(n) = \frac{4\sqrt{E_S} \operatorname{Re}\{h_{RD}'(n)^* y_{RD}^i(n)\}}{N_0} \quad (13)$$

şeklinde ifade edilebilir. (7)'de verilen ε_R terimi röleden hatalı iletim yapma olasılığıdır ve

$$\varepsilon_R = Q(\sqrt{2\gamma_{SR}}) \quad (14)$$

ile bulunur [7].

5. Simülasyon Sonuçları

Bu bölümde, ML tabanlı işbirlikli haberleşme sistem modelinin hızlı sönmlemeli Rayleigh kanallardaki hata performansı Monte-Carlo bilgisayar simülasyonları ile BPSK modülasyonu kullanılarak elde edilmiştir. Performans karşılaştırmaları $BER = 10^{-3}$ için gerçekleştirilmiştir. Elde edilen tüm eğrilerde $S \rightarrow D$ linkine ilişkin varyans değerleri 1 kabul edilmiştir ($\sigma_{SD}^2 = 1$). Rölenin hedef ile kaynak arasında olduğu durum ($d_{RD} = 0.5$) seçilmiştir.

Kanal durum bilgisi için yapay sinir ağı 15 adet ara katman kullanılarak 1000 adet veriyle eğitilmiştir. Ağı eğitilmesinden sonra haberleşme sistemindeki anlık işaretlere göre kanal katsayıları elde edilerek demodüle işlemi gerçekleştirilmiştir.

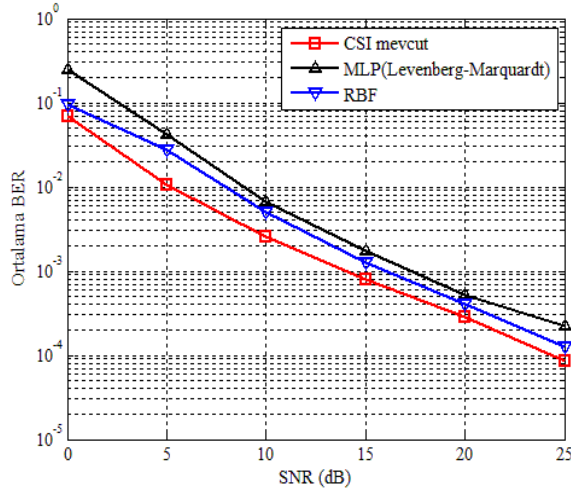
Şekil 3 ve Şekil 4'te kullanıcı için hızlı sönmlemeli Rayleigh kanallardaki hata performans eğrileri verilmiştir. Şekil 3'te kanal durum bilgisinin mevcut olduğu durum, MLP (Levenberg-Marquardt) ile kestirim yapıldığı durum ve RBF ile kestirim yapıldığı durum karşılaştırılmıştır. Şekil 4'de ise çeşitli yayılma (spread) değerleri için elde edilen RBF sonuçlarının karşılaştırılmıştır. Yapılan değerlendirmede en

iyi başarımlı yayılma faktör değerinin 1 olduğu durumda gözlemlenmiştir.

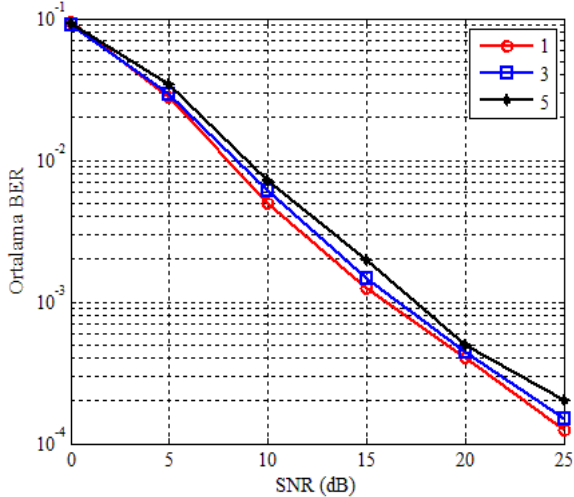
Elde edilen eğrilerin eğimlerinden ele alınan tüm durumlarda tam çeşitleme kazancı elde edildiği ve en iyi başarımın kanal durum bilgisinin mevcut olduğu modelde sağlandığı görülmektedir. Bunun yanında sistemin RBF tabanlı olması evre uyumsuz sistemlere daha yakın alternatif olduğunu da göstermektedir.

6. Sonuçlar

Bu çalışmada, yapay sinir ağları kullanılarak işbirlikli telsiz iletişimde kanal kestirimi modeli BPSK modülasyonu durumu için ortalama BER performansı incelenmiştir. Hata yayılımı problemi ile mücadelede ML kestirim kuralından faydalanılmıştır. Farklı ağ konfigürasyonlarında tam çeşitleme kazancının elde edilebildiği ortaya çıkan nümerik sonuçlarla da gösterilmiştir. Buna ek olarak evre uyumlu sistemlere alternatif olarak spektral verimliliği yüksek, alıcı karmaşıklığı düşük bir işbirlikli haberleşme sistem yapısı sunulmuştur.



Şekil 3. YSA sistemlerinin karşılaştırılması.



Şekil 4. RBF spread faktör değerlerinin karşılaştırılması.

7. Kaynaklar

- [1] Proakis J. G., Digital communications, McGraw-Hill, New York, 2000.
- [2] Meulen V. D., "Three-terminal communication", *Advances in Applied Probability*, Vol. 3, No. 1, pp 120 - 154, 1971.
- [3] Sendonaris, Erkip E., Aazhang B., "User cooperation diversity - Part I and Part II: System description", *IEEE Transactions on Communication*, pp 1927 - 1938, 2003.
- [4] Laneman J.N., Tse D.N.C., ve Wornell G.W., "Cooperative diversity in wireless networks: Efficient protocols and outage behaviour", *IEEE Trans. Inf. Theory*, pp 3062 - 3080, 2004.
- [5] Geza K. ve Michael P. K., "The role of synchronization in digital communications," *IEEE Transactions on Circuits and Systems-II: Fundamental Theory and Applications*, Vol. 45, No. 11, pp 927 - 936, 1998.
- [6] Karabulut M. A., Özdemir Ö. ve İlhan H., "Differential modulation based network coded cooperative communications," *23rd Signal Processing and Commun. Applications Conference (SIU)*, pp. 1-4, May 2015.
- [7] Karabulut M. A., Özdemir Ö. ve İlhan H., "Link adaptive relaying with noncoherent BFSK and DPSK modulations in multiple access relay channels", *IEEE 14th Wireless Telecommunications Symposium (WTS)*, pp. 1-5, 2015.
- [8] Chen D. ve Laneman J. N., "Modulation and demodulation for cooperative diversity in wireless systems," *IEEE Trans. Wireless Communication*, Vol. 5, No. 7, pp 1785-1794, 2006.
- [9] Karabulut M. A., Özdemir Ö. and İlhan H., "Network coded noncoherent cooperative communication," *22nd Signal Processing and Commun. Applications Conference (SIU)*, pp. 1-4, April 2014.
- [10] Tian J., Zhao Q. ve Yu F. Q., "Non-coherent detection for two-way AF cooperative communications in fast Rayleigh fading channels," *IEEE Trans. Communication*, Vol. 59, No. 10, pp 2753-2762, 2011.
- [11] Öztemel E., "Yapay Sinir Ağları", 3rd ed., Papatya Yayıncılık, 2012.
- [12] Delican Y., Özyılmaz L. ve Yıldırım T., "Evolutionary algorithms based RBF neural networks for Parkinson's disease diagnosis", *7th International Electrical and Electronics Engineering Conference (ELECO)*, pp II-311, 2011.