

YAPAY SİNİR AĞLARININ KOD BÖLMELİ ÇOKLU ERİŞİMDE ÇOK KULLANICILI SEZME İÇİN KULLANILMASI

Necmi TAŞPINAR¹, Yalçın IŞIK²

¹ Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektronik Mühendisliği Bölümü, 38039 KAYSERİ

² Erciyes Üniversitesi, Kayseri Meslek Yüksek Okulu, 38039 KAYSERİ

Özet:Bu çalışmada literatürde bulunan, kod bölmeli çoklu erişimde çok kullanıcıli sezme işleminde yapay sinir ağları (YSA)'nın kullanıldığı çalışmalar tanıtılmıştır. Yapay sinir ağlarını kullanan çok kullanıcıli alıcılar ile geleneksel yöntemlerle gerçekleştirilen çok kullanıcıli alıcıların performansları karşılaştırılmıştır. Geleneksel yöntemlerde sinyal gücü önemli olurken, YSA'nın kullanıldığı alıcılarda sinyal gücünün önemli olmadığı,böylece yakın-uzak probleminin etkilenmediği görülmüştür. Ayrıca,daha düşük bit hata oranı elde edilmekte ve hesaplamalar da kısa sürmektedir.

Anahtar Kelimeler: Kod Bölmeli Çoklu Erişim, Çok kullanıcıli sezme,Yapay sinir ağları.

THE USE OF NEURAL NETWORK TECHNIQUES FOR MULTIUSER DETECTION IN CODE DIVISION MULTIPLE ACCESS

Abstract:In this study, multiuser detection in CDMA using artificial neural networks (ANN),which are found in the literature,are introduced. The performances of the multiuser detectors using artificial neural networks are compared with the classical multiuser detectors. It is seen that signal power in receivers that use ANN is not important while signal power in classical receivers is important, so they are not effected by the near-far problem. Furthermore, lower bit error rate is obtained and the calculations take shorter time.

Key words: Code Division Multiple Access, Multiuser detection, Neural networks.

1. Giriş

Bir hat üzerinden, özellikle hava ortamında birden çok bilginin birbirine karışmadan iletilebilmesi için zaman bölmeli çoklu erişim (TDMA) ve frekans bölmeli çoklu erişim (FDMA) yöntemleri çok eskiden beri kullanılmaktadır. Son on yıl içinde ise, özellikle gezgin iletişimin yaygınlaşmasıyla yayılmış spektrum teknikleri de tercih edilir olmuştur. Bu tekniğin bir türü olan kod bölmeli çoklu erişim (CDMA)'de bütün kullanıcılar, aynı anda geniş bir spektrumu ortaklaşa kullanmaktadır [5]. Bu yöntemde kullanıcı bilgilerinin birbirine karışmadan ve bozulmadan alınabilmesi için her kullanıcıya ait farklı bir kod kullanılmaktadır. Bilgilerin uygun şekilde güvenle iletimi için değişik alıcı yöntemleri kullanılmaktadır. Bilginin en az hatayla iletimini sağlayan ve mümkün olduğunca az karmaşıklığa sahip olan alıcı yöntemleri elde etmek için çalışmalar yapılmaktadır.

Alıcının tek kullanıcıli olarak yapılması durumunda, gezgin kullanıcıların baz istasyonuna olan uzaklık farklılıklarının önemli olması , yakın-uzak problemi olarak adlandırılır. Yani, istasyona daha yakın bir kullanıcı , uzak olanın sinyalinde çoklu erişim girişimi (Multiple Access Interference (MAI)) olarak adlandırılan büyük bir bozucu etki yapmaktadır. Bu problem genellikle otomatik güç kontroluyla çözülür. Güç kontrolünde, baz istasyonu gönderdiği sinyallerle gezgin istasyonların güç seviyelerini ayarlayarak , hepsinin de baz istasyonu tarafından aynı şiddette alınmasını sağlar [12]. Bu problemin etkisini azaltmak için çok kullanıcıli alıcı yapıları oluşturulmuştur. Bu

alıcılarda bir kullanıcının sinyali sezilirken, diğer aktif kullanıcıların sinyalleri de dikkate alınmaktadır. Verdu [14] 1985 yılında optimal çok kullanıcı alıcı için formülasyonlar geliştirmiştir. Ancak, optimal çok kullanıcı alıcının pratik olarak gerçekleştirilmesi zor olduğundan, değişik altoptimal çok kullanıcı alıcı yapıları oluşturulmuştur. Çok kullanıcı altoptimal alıcılar pek çok farklı klasik yollarla oluşturulabilirken, yapay sinir ağı kullanarak da oluşturulabilirler [1,6,8,10,11,13]. Yapay sinir ağı kullanıldığında özellikle yakın-uzak problemi ve sistem karmaşıklığı azalmaktadır.

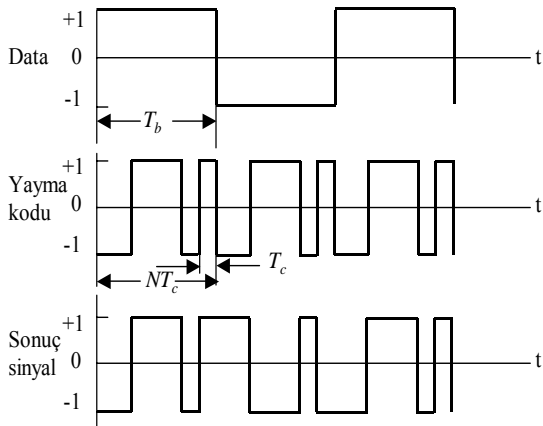
Çalışmanın ikinci bölümünde temel CDMA yapısı ve çok kullanıcı yapı tanıtılmıştır. Üçüncü bölümde yapay sinir ağları hakkında kısa bilgi verilmiştir. Dördüncü bölümde literatürde bulunan, yapay sinir ağı kullanarak yapılan çok kullanıcı alıcılar tanıtılarak performansları incelenmiştir. Beşinci bölümde sonuçlar verilmiştir.

2. Kod Bölmeli Çoklu Erişim ve Çok Kullanıcı Sezme

2.1 Temel CDMA Yapısı

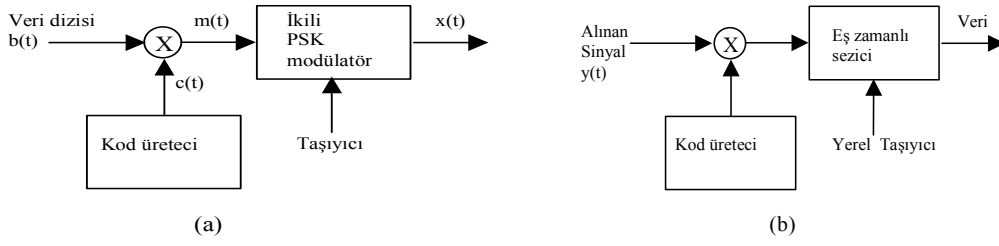
CDMA'da bilgiyi oluşturan düşük hızlı veri bitleri, yüksek çip oranlı (düşük periyodlu) yayma kodu $c(t)$ ile çarpılırlar. Böylece dar bantlı bilgi sinyali geniş kanal bandgenişliğini doldurur. Yayma oranı, gönderilen bandgenişliğinin veri bandgenişliğine oranı, genellikle 100 ile 10000 arasındadır [3]. Yayma oranı işlem kazancı olarak da anılır. Her biri farklı bir ortogonal yayma kodu kullanmak üzere, pek çok verici aynı spektrumu kullanır. Bütün sinyaller kanalda gürültü gibi toplanır. CDMA sinyalinin elde edilmesi Şekil 1'de görülmektedir [5].

Alıcıda istenen sinyalin algılanması ilişki fonksiyonuyla sağlanır. Vericide kullanılan yayma kodu kullanılarak, alıcıda tekrar bilgi elde edilir. Ortogonallik özelliğinden dolayı, ilişki cihazı çıkışı, istenen sinyal dışında sıfırdır. Şekil 2a'da verici b'de alıcı bloğu görülmektedir. Vericide veri yayma koduyla çarpılarak yayılmış spektrumlu sinyal elde edilir. Alıcıda, yayılmış spektrumlu sinyal yayma koduyla çarpılır ve yayılmış sinyal eski haline getirilir [5].

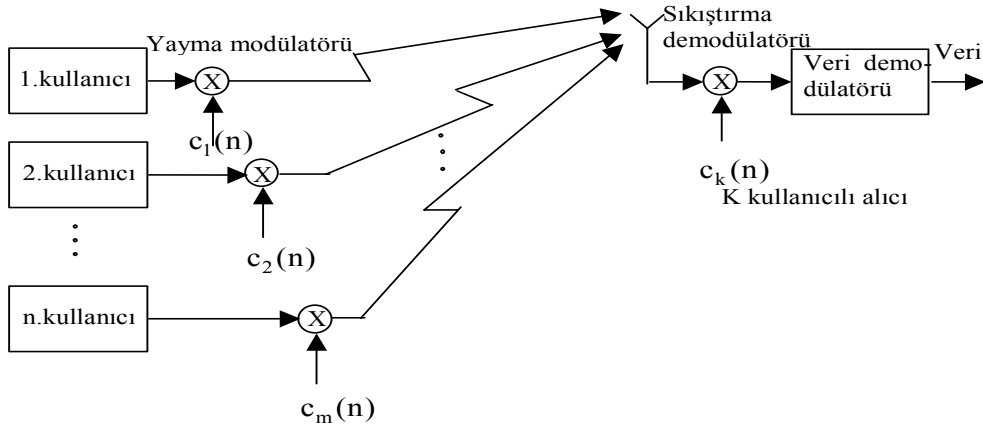


Şekil 1. CDMA sinyalinin elde edilişi [5]

Pek çok kullanıcı aynı zaman ve aynı frekans bandında bilgi göndermesine rağmen, alıcı her bir kullanıcıya ait kodu kullanarak bilgiyi elde eder. Her bir kullanıcıya ait kod arasındaki çapraz ilişkinin düşük olması sebebiyle kanallar arası girişim az olur. Pek çok farklı kullanıcının baz istasyonu ile haberleşmesi Şekil 3'de görülmektedir. Her bir kullanıcı bilgisini farklı kod ile çarparak göndermekte, baz istasyonu da her bir kullanıcıya ait kodu kullanarak, onun bilgisini almaktadır [3].



Şekil 2. CDMA sistemi (a) Verici (b) Alıcı [5]



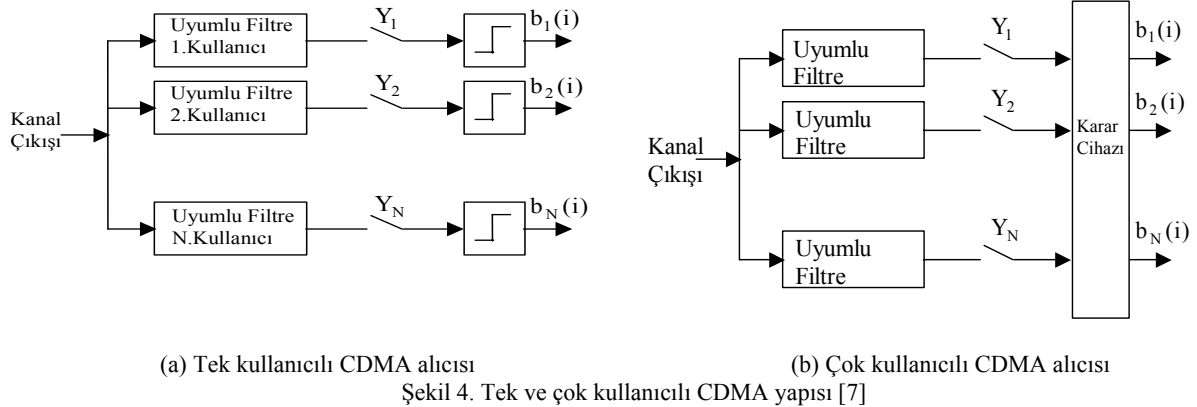
Şekil 3. Çok kullanıcılı CDMA prensibi [3]

CDMA, çok yollu iletimden kaynaklanan girişime karşı da daha dayanıklıdır. Alıcıya farklı yollardan gelen sinyaller arasında genlik, faz, gecikme ve varış açısı farklılıkları vardır. Bunların çoğunluğu çip periyodu dışında kalacağından gürültü gibi işlem görecekler ve alıcıda bozucu etki oluşturamayacaklardır. Ayrıca tırmık (RAKE) alıcı yapısıyla da çok yollu iletimden kaynaklanan bozulma önlenir. Bu yöntemde, aynı kullanıcı için yayma kodunu zaman gecikmesiyle kullanan birden çok alıcı çıkışı birleştirilir. Böylece, farklı yollardan gelen aynı kullanıcıya ait sinyaller birleştirilmiş olur. CDMA sisteminde Hertz başına içerilen güç düşük olacağından istenmeyen kişiler tarafından bilginin alınması da çok zordur. Gönderilen sinyale ait kod bilinmediği sürece sinyalin bozulması ya da alınması çok güç olacağından, son derece güvenlidir [12].

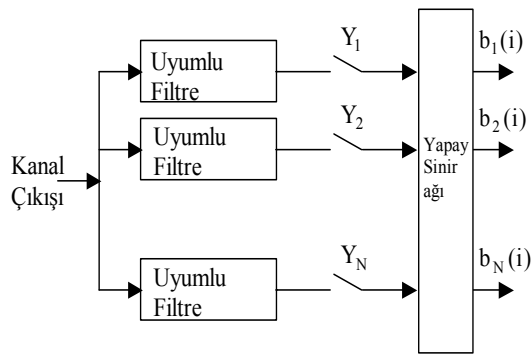
CDMA sisteminin olumsuz yönlerinden biri, baz istasyonuna yakın olan kullanıcının uzak olan üzerindeki, yakın-uzak problemi olarak adlandırılan bozucu etkisidir. Bu problemin çözümü, bütün gezgin istasyonlarda güç kontrolü yaparak, hepsinin baz istasyonu tarafından aynı şiddette alınmasını sağlamaktır. Bu problemten daha az etkilenmenin bir yöntemi de tek kullanıcılı alıcı yerine, çok kullanıcılı alıcı kullanmaktır.

2.2 Çok Kullanıcılı Sezme

Tek kullanıcılı sezme işleminde, kendine ait uyumlu filtre vasıtasıyla her bir kullanıcı ayrı ayrı işlem görür, diğer kullanıcılar gürültü olarak kabul edilir. Şekil 4.a'da tek kullanıcılı CDMA alıcısı görülmektedir. Çok kullanıcılı sezmede ise, bir kullanıcı sezilirken, diğer bütün aktif kullanıcılar da dikkate alınır. Tek kullanıcılı yapıda, aktif kullanıcı sayısı arttıkça sistem performansı azalır. Çok kullanıcılı yapıda ise, kullanıcı sayısındaki artışın sisteme getirdiği olumsuz etki fazla değildir. Şekil 4.b'de çok kullanıcılı CDMA alıcısı görülmektedir. Şekilde görülen karar cihazı farklı şekillerde oluşturulabilmektedir. Çok kullanıcılı alıcı, kullanılan karar cihazı tipine bağlı olarak değişik isimler alır [7,9].



Şekil 4. Tek ve çok kullanıcı CDMA yapısı [7]



Şekil 5. Yapay sinir ağı kullanan CDMA alıcısının blok diagramı [7]

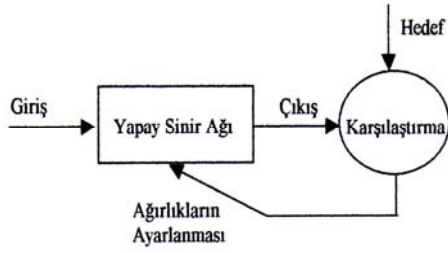
Optimal çok kullanıcı alıcı için formülasyonu Verdu gerçekleştirmiştir [14]. Ancak optimal alıcı pratik olarak gerçekleştirmek için fazla karmaşıktır. Bu sebeple, değişik altoptimal alıcılar oluşturulmuştur. Altoptimal alıcılar doğrusal ve doğrusal olmayan olmak üzere iki grupta ele alınabilir. Doğrusal olanların en yaygın ilişki çözücü ve MMSE (Minimum Mean Square Error: Minimum Ortalamalı Karesel Hata) alıcısıdır. Doğrusal olmayanlar ise, çok katlı girişim bastırma tekniklerini, yapay sinir ağı ve karar geri beslemeli algoritmaları kullanan alıcılardır [4].

Yapay sinir ağı kullanarak gerçekleştirilen alıcıda, Şekil 5'de görüldüğü gibi karar cihazı olarak yapay sinir ağı kullanılmaktadır. Yapay sinir ağlarının paralel çalışma özelliğinden dolayı hesaplamalar daha az zaman almakta ve sistem daha az karmaşıklığa sahip olmaktadır. Yapay sinir ağı kullanan alıcıda sinyal gücü önemli olmadığından, yakın-uzak problemi de fazla önem taşımamaktadır [7].

3. Yapay Sinir Ağları

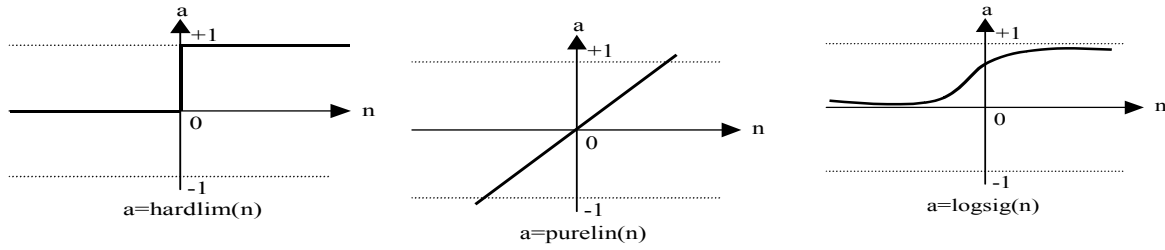
Yapay Sinir Ağları (YSA) paralel çalışan basit elemanlardan oluşmaktadır. Bu elemanlar biyolojik sinir sisteminden esinlenerek oluşturulmuştur. Ağ fonksiyonu büyük oranda elemanlar arasındaki bağlantılarla belirlenir. Ağın elemanları arasındaki ağırlıkların ayarlanmasıyla, ağa belirli bir işlem yaptırılabilir. Ağırlıkların ayarlanma işlemi ağın eğitilmesi olarak adlandırılır. Böylece, ağın belirli bir girişe karşılık belirli bir çıkış vermesi sağlanır. Bu durum Şekil 6'da görülmektedir. Söz konusu giriş için gerekli çıkış elde edilene kadar ağırlıklar değiştirilir. Bu şekildeki eğitime işlemine danışmanlı eğitime denmektedir. Hedef çıkışın belirtilmediği yöntem ise, danışmansız eğitmedir ve genellikle doğrudan tasarım işlemlerinde kullanılır [2].

YSA içinde probleme bağlı olarak, istenen miktarda giriş, girişlerin bağlandığı nöronlar ve gerekli miktarda ara katmanlar oluşturulur. Çıkış sayısı da bir olabileceği gibi birden fazla da olabilir. Ağırlıkların etkisiyle birlikte çıkışı

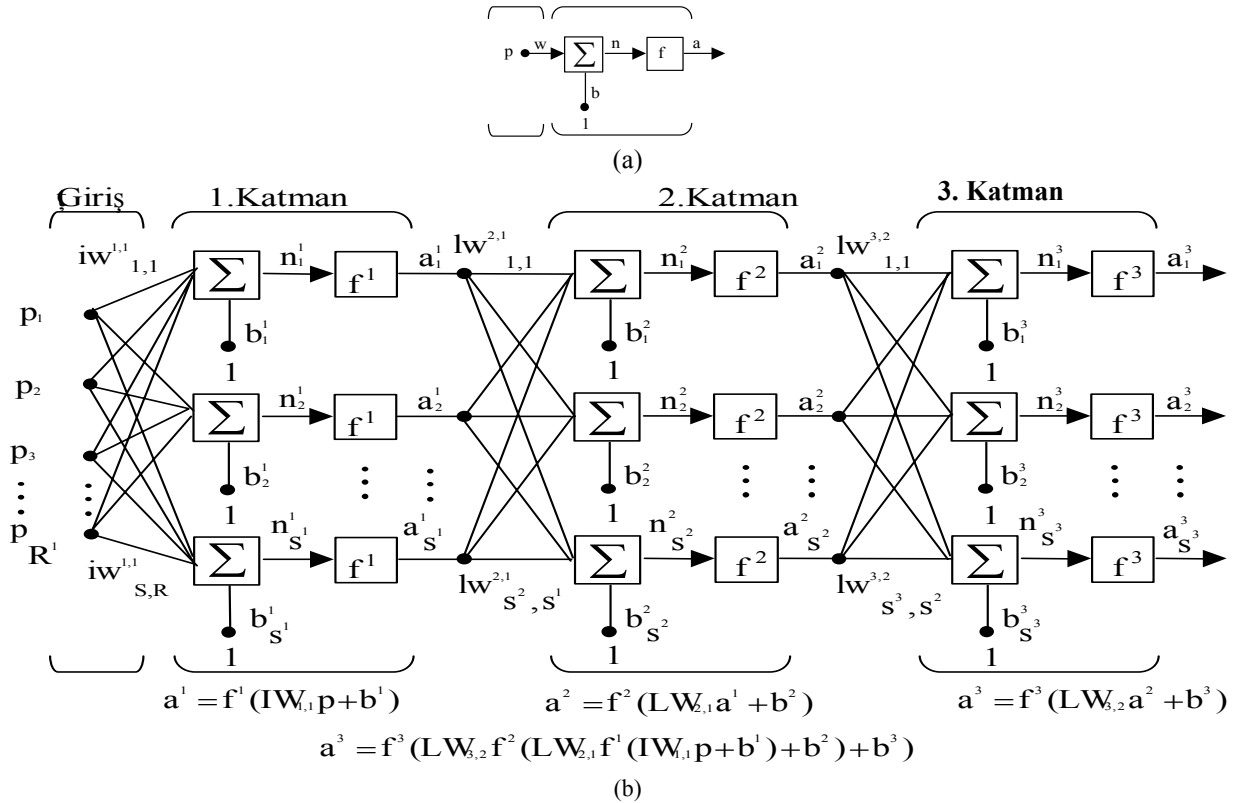


Şekil.6: Yapay sinir ağı yapısı [2]

değişik problemlerde farklı performanslar göstermektedirler. Dolayısıyla, probleme uygun YSA modelinin seçilmesi büyük önem taşımaktadır. CDMA'daki çok kullanıcılı sezme işleminde pek çok farklı algoritmalar denenmiştir.



Şekil 7. Aktivasyon fonksiyonları [2].



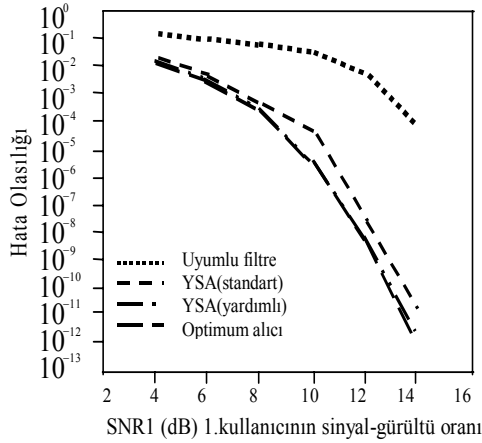
Şekil 8. YSA yapısı (a) Tek nöronlu. (b) Çok nöronlu ve çok katmanlı [2]

belirleyen, Şekil 7'de görülen keskin sınırlayıcı, doğrusal, sigmoid gibi değişik aktivasyon fonksiyonları kullanılır. Bir nöronlu YSA ile çok nöronlu ve çok katmanlı YSA yapısı Şekil 8'de görülmektedir. YSA'lar kullanılan aktivasyon fonksiyonuna, yapılan nöron ve bağlantı düzenlemesine, kullanılan eğitime algoritmasına bağlı olarak değişik isimler almaktadırlar. En yaygın YSA yapı ve algoritmaları olarak, geri yayılım, radial basis, self organizing, recurrent, Hopfield, Elman sayılabilir [2]. Bütün bu farklı YSA'lar

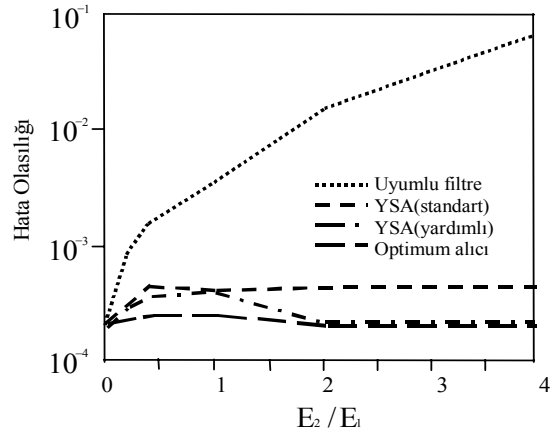
4. CDMA'da Çok Kullanıcılı Sezme İşleminde Yapay Sinir Ağlarının Kullanılması

CDMA alıcıda, genellikle Gaussian olarak kabul edilen kanal gürültüsünün ve çoklu erişim girişimi (Multiple Access Interference (MAI))'nin alınması gereken sinyalden ayıklanması gerekmektedir. Tek kullanıcılı alıcıda MAI dikkate alınmaz. Çok kullanıcılı alıcıda ise, diğer bütün aktif kullanıcıların da kodu dikkate alınarak MAI engellenir. Son yıllarda çok kullanıcılı alıcıda YSA'lar sahip oldukları bir takım özelliklerden dolayı denenmeye değer bulunmuştur. YSA adaptif olduğundan dolayı değişen ortam şartlarına, bilinmeyen kullanıcı parametrelerine ve bilinmeyen yayma kodlarına kolaylıkla uyum sağlayabilir. YSA doğrusal olmayan karar bölgesinde çalışabilir. YSA kullanan alıcılar daha az hesap karmaşıklığına sahiptir ve yakın-uzak problemine karşı etkilidir. Yapılan çalışmalar, YSA'nın optimale yakın sonuç verdiğini göstermiştir.

Bu konuda en temel çalışma 1992 yılında yapılmıştır. Aazhang, Paris ve Orsak'ın [1] bu çalışması, bu konuda çalışan hemen hemen herkesin birinci kaynağı olmuştur. Bu çalışmada, senkron ve asenkron Gaussian kanalda çok kullanıcılı algılama için çok katlı perseptronları kullanan iki basit yapı kullanılmış, optimum ve klasik alıcı ile kıyaslama yapılmıştır. Geri yayılım algoritması ile eğitime yapılarak Monte Carlo simülasyonu yapılmıştır.



Şekil 9. $N=3$ ve $E_2 / E_1 = 6$ dB olan bir senkron iki kullanıcılı Gaussian kanal için 1. kullanıcının sinyal-gürültü oranına karşılık ortalama hata olasılığı [1]

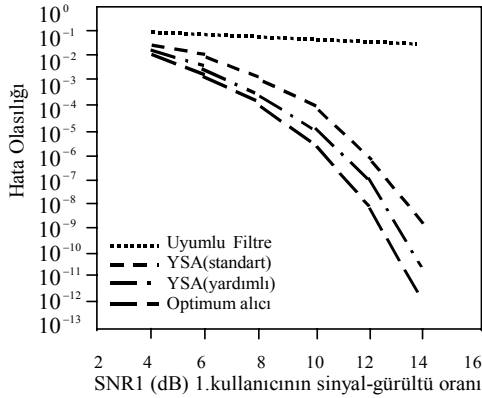


Şekil 10. $N=3$, $K=2$ ve $SNR_1=8$ dB olan bir senkron iki kullanıcılı Gaussian kanal için bağıl sinyal enerjilerine karşılık ortalama hata olasılığı [1]

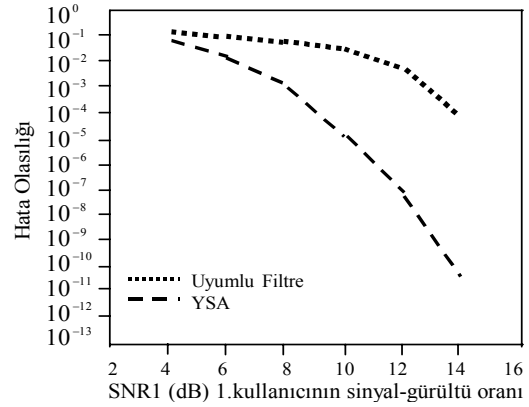
[1] nolu çalışmada öncelikle senkron iki kullanıcılı Gaussian kanalda tek kullanıcı demodülasyonu ele alınmıştır. Burada yakın-uzak problemi $E_2 / E_1 = 6$ dB olarak, yayma dizileri $a^{(1)} = (1,1,1)$, $a^{(2)} = (1,-1,1)$ ve N boyutu 3 olarak alınmıştır. YSA'da üç giriş düğümü, üç gizli katman düğümü ve bir çıkış düğümü olan iki katmanlı perseptron kullanılmıştır. Şekil 9'da ilk kullanıcının sinyal-gürültü oranına karşılık dört alıcının (klasik, optimum, YSA standart ve YSA yardımcı) bit hata olasılıkları çizilmiştir. Şekil 9'dan YSA alıcıların iyi bir performans gösterdiği görülmektedir. Şekil 10'da da sabit 8 dB sinyal-gürültü oranı için iki kullanıcının relatif enerjilerine karşılık ortalama hata olasılıkları verilmiştir. Burada da YSA alıcının sinyal gücünden etkilenmeyerek optimale yakın sonuç verdiği görülmektedir.

Aynı şartlarda sistem bir de üç kullanıcılı olarak incelenmiştir. Yayma dizileri $a^{(1)} = (1,1,1)$, $a^{(2)} = (1,-1,1)$ ve $a^{(3)} = (1,1,-1)$ olarak alınmıştır. Birinci ve üçüncü kullanıcıların enerjileri eşit, ikincinin ise onların dört katı olarak alınmıştır. YSA'nın gizli katmanında yedi düğüme sahip perseptron kullanılmıştır. Sinyal-gürültü oranına karşılık dört kullanıcının da ortalama bit hata olasılıkları Şekil 11'de verilmiştir. Yine YSA alıcının optimale yakın sonuç verdiği görülmektedir. İki kullanıcılı durum örneği bir kez de

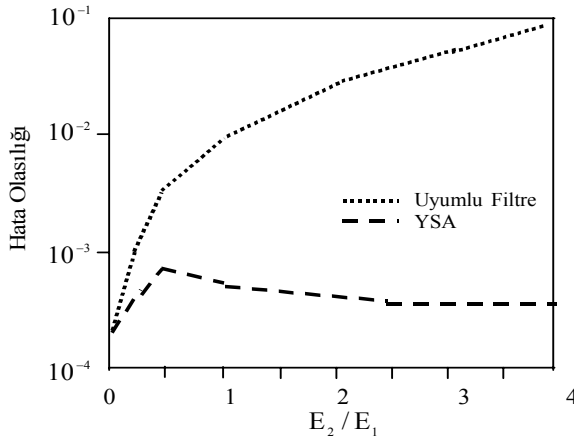
asenkron kanal için ele alınmıştır. Relatif enerjiler 6 dB olarak sabit iken, sinyal-gürültü oranına karşılık ortalama hata olasılıkları Şekil 12'de verilmiştir. Şekil 12'den YSA alıcının klasik uyumlu filtreliliğe göre çok iyi sonuç verdiği görülmektedir. Şekil 13'de de sabit 8 dB sinyal-gürültü oranı için iki kullanıcının relatif enerjilerine karşılık hata olasılıkları verilmiştir. Burada da YSA alıcının yakın-uzak probleminde etkilenmeden iyi sonuç verdiği görülmektedir. Benzer bir çalışma da $N=31$ için yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, Şekil 14 ve Şekil 15'de verilmiştir. Bütün bu denemelerden, YSA alıcının yakın-uzak probleminde fazla etkilenmeksizin optimal alıcıya yakın performans gösterdiği görülmektedir.



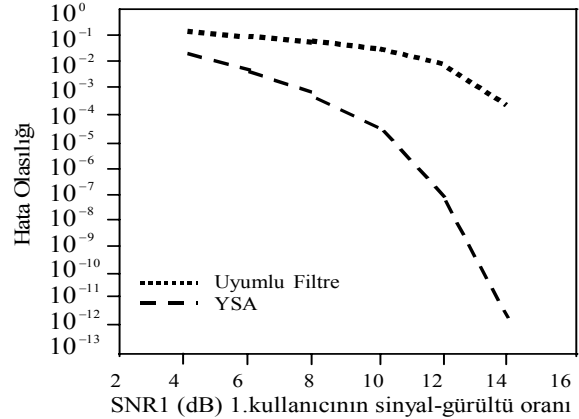
Şekil 11. $N=3$ ve $E_2/E_1 = 6$ dB, $E_3/E_1 = 0$ dB olan bir senkron üç kullanıcı Gaussian kanal için 1. kullanıcının sinyal-gürültü oranına karşılık ortalama hata olasılığı [1]



Şekil 12. $N=3$ ve $E_2/E_1 = 6$ dB olan bir asenkron iki kullanıcı Gaussian kanal için 1. kullanıcının sinyal-gürültü oranına karşılık ortalama hata olasılığı [1]

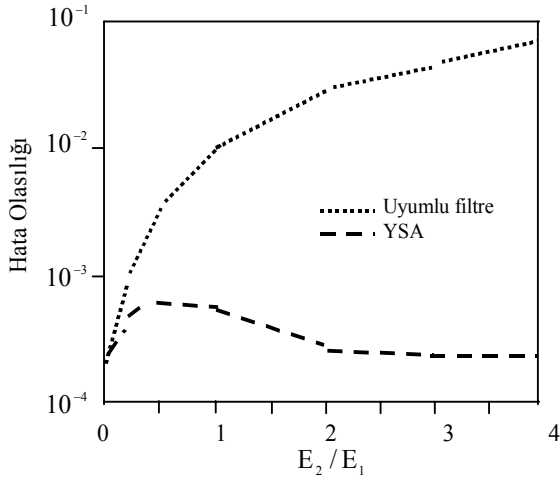


Şekil 13. $N=3$ ve $SNR_1 = 8$ dB olan bir asenkron iki kullanıcı Gaussian kanal için bağıl sinyal enerjilerine karşılık ortalama hata olasılığı [1]

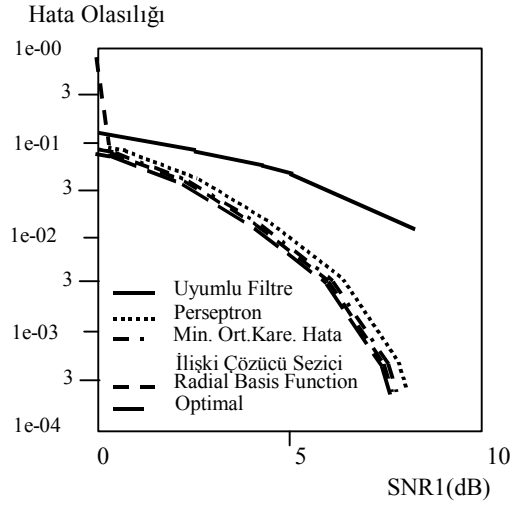


Şekil 14. $N=31$ ve $E_2/E_1 = 6$ dB olan bir asenkron iki kullanıcı Gaussian kanal için 1. kullanıcının sinyal-gürültü oranına karşılık ortalama hata olasılığı [1]

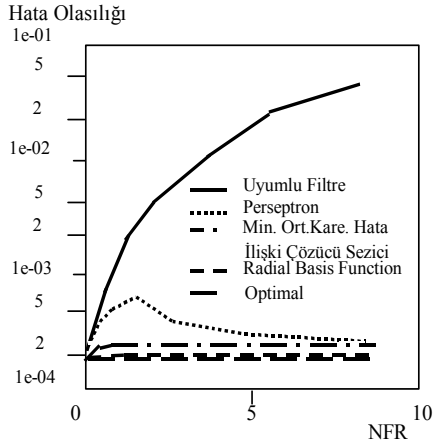
Mitra ve Poor [10] da 1993 yılında yaptıkları çalışmada adaptif RBF (Radial Basis Function) YSA kullanarak çok kullanıcı sezme işlemini gerçekleştirmişlerdir. Bu yöntemle, sistem parametrelerinin bir alt kümesi bilinirken işlem yapılmaktadır. Bütün sistem parametreleri bilinirken RBF uygulanırsa, optimal alıcı elde edilmiş olur. RBF ağ performansı diğer çok kullanıcıli detektörlerle karşılaştırılmıştır. Sistem parametrelerinin tamamı bilinmediğinde, RBF nöronlarının merkezleri gruplama teknikleriyle belirlenir. Şekil 16'da RBF ile elde edilen, sinyal-gürültü oranına karşılık hata olasılığı, diğer yöntemler ile karşılaştırılmaktadır.



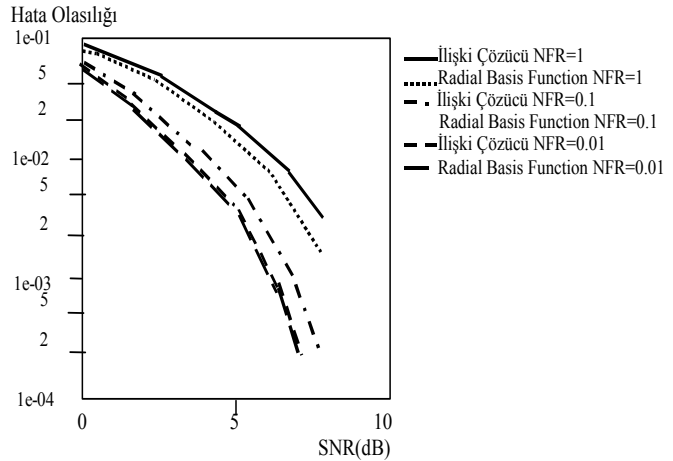
Şekil 15. $N=31$ ve $SNR_1 = 8$ dB olan bir asenkron iki kullanıcı Gaussian kanal için bağıl sinyal enerjilerine karşılık ortalama hata olasılığı [1]



Şekil 16. $N=31$ ve $NFR=4$ olan iki kullanıcı senkron Gaussian kanalda değişik seziciler için SNR_1 'e göre hata olasılığının değişimi [10]

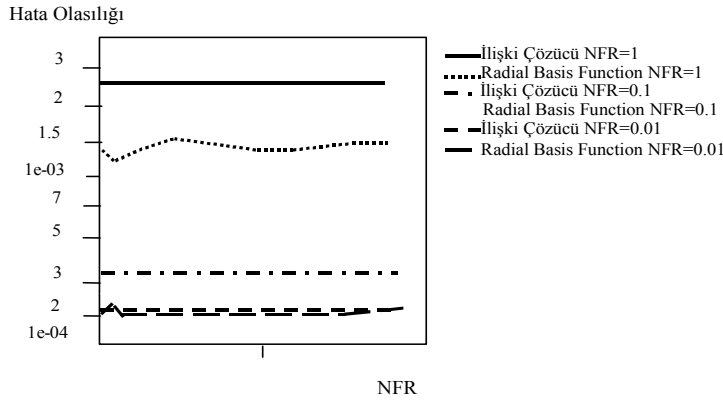


Şekil 17. $N=31$ ve $SNR_1=8$ dB değerleri için iki kullanıcı senkron Gaussian kanalda değişik sezicilerin NFR'ye karşılık hata olasılığı [10]



Şekil 18. $N=31$ ve $NFR=4$ değerleri için üç kullanıcı senkron Gaussian kanalda değişik sezicilerin SNR_1 'e karşılık hata olasılığı [10]

Bu uygulamada yakın-uzak oranı sabit olmak üzere RBF, uyumlu filtre, tek katlı perseptron, minimum karesel ortalamalı hata sezici, ilişki çözücü sezici ve optimal alıcı ile karşılaştırılmaktadır. Görüldüğü gibi optimale en yakın sonuç RBF ile elde edilmektedir. Şekil 17'de de yine $N=31$ ve $SNR_1=8$ dB değerleri için iki kullanıcı senkron Gaussian kanalda değişik sezicilerin yakın-uzak oranına göre hata olasılığının değişimi görülmektedir. Yine optimale en yakın sonuçların RBF ile alındığı görülmektedir.



Şekil 19. N=31 ve SNR=8 dB değerleri için üç kullanıcı için senkron Gaussian kanalda değişik sezicilerin NFR'ye karşılık hata olasılığı [10]

Aynı işlemler bir kez de üç kullanıcı için incelenmiştir. Şekil 18'de yakın-uzak oranı sabit olmak üzere sinyal-gürültü oranına karşılık hata olasılıkları, Şekil 19'da da sabit sinyal-gürültü oranı için yakın-uzak oranına karşılık hata olasılıkları görülmektedir. Her iki çalışmada da RBF ve ilişki çözücü sezici, üçüncü alıcı ile olan değişik yakın-uzak oranları için karşılaştırılmaktadır. Her durumda da RBF'nin daha iyi sonuç verdiği görülmektedir. Tabii ki üçüncü alıcı ile olan yakın-uzak oranı büyüdükçe de hata

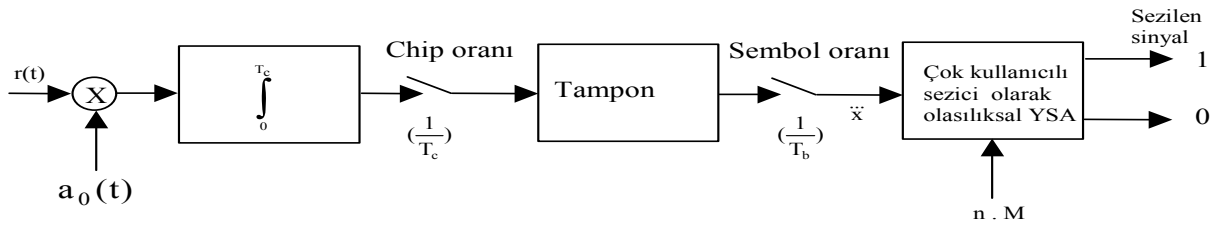
oranlarının arttığı grafiklerden açıkça görülmektedir. Sistem parametrelerinin tamamı bilinirse, daha küçük güçteki kullanıcılar ihmal edileceğinden, sistem karmaşıklığı azalacaktır. Büyük güçlü istenmeyen kullanıcıların bilinmesi durumunda da sistem karmaşıklığı azalacaktır.

Poor ve Mitra 1995 yılında yaptıkları bir çalışmada da uyarlanabilir algoritmalar üzerinde durmuşlar ve bu kez de perseptron ile YSA uygulaması yapmışlardır [11]. Aazhang, Paris ve Orsak'ın [1] nolu çalışmada uyguladığı benzer şartlarda simülasyonlar yapmışlar ve benzer sonuçları bulmuşlardır.

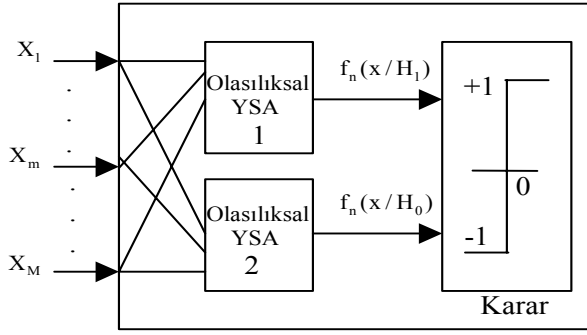
RBF algoritmasında nöron merkezlerinin bulunmasıyla ilgili değişik gruplama ve ön işlem algoritmaları uygulanmaktadır. Tanner ve Cruickshank 1998 yılında yaptıkları çalışmada, değişik ön işlem algoritmalarıyla çok kullanıcı sezme işleminde RBF kullanmışlar ve farklı ön işlem ile aldıkları hata oranlarını karşılaştırmışlardır [13].

Tanner ve Cruickshank kullanıcı sayısı ile artan sistem karmaşıklığını azaltmaya çalışmışlardır. Euclidian uzaklık ölçümü yerine Mahalanobis uzaklık ölçümüyle daha iyi sonuçlar alınmıştır. Özellikle uzun yayma koduyla, artan kullanıcı sayısına rağmen çok az performans düşüklüğü ile sistem karmaşıklığında kayda değer azalma sağlanmıştır.

Ibikunle ve Zhong 1998 yılında yaptıkları çalışmada çok kullanıcı sezme için Olasılıksal YSA (Probabilistic Neural Network)'yi maksimum olasılık ve sınıflayıcı mekanizması olarak kullanmışlardır [6]. Bu amaçla oluşturulan olasılıksal YSA kullanan alıcı yapısı Şekil 20'de görülmektedir. Kullanılan olasılıksal YSA yapısı ise Şekil 21'de görülmektedir. İki ayrı olasılıksal YSA işaretin 1 ya da 0 olma olasılığını belirlemekte, karar cihazı da olasılığa göre karar vermektedir. Çok katlı perseptronlar ayrık zamanlı işaret girişine müsaade ettiğinden, giriş örnekleme yapılarak ayrık zamanlı işaret haline getirilir. Genel yapı üç katlı geri yayılım YSA modelidir, ancak aktivasyon fonksiyonu olarak sigmoid değil, farklı bir exponansiyel fonksiyon kullanılmıştır.



Şekil 20 YSA ile yapılan çok kullanıcı alıcı [6]



Şekil 21. Olasılıksal YSA sezici [6]

[6] nolu çalışmada Gaussian kanalda $N=63$ alınarak 6 ve 10 kullanıcı için simülasyonlar yapılarak sistem performansı incelenmiştir. Farklı gürültü varyansları üzerinde sinyal enerjisinin gürültü varyansına oranı için eğitim örnekleri üretilmiştir. Yapılan simülasyonda, gürültü artırılması durumunda performans düşmesiyle birlikte, artan kullanıcı sayısına rağmen iyi sonuçlar alınmıştır. Sonuçlar 6 ve 10 kullanıcı için Tablo 1de görülmektedir.

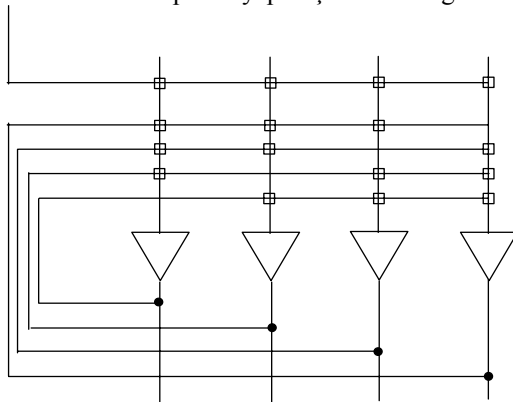
Tablo 1. PNN sınıflama hataları [6]

	Kullanıcı (K)	Optimum sınıflayıcı için sınıflama hatası	Gürültüsüz eğitilen YSA için sınıflama hatası	Gürültülü eğitilen YSA için sınıflama hatası
Sinyal enerjisinin gürültü varyansına oranı=10	6	0.0370	0.0421	0.0820
	10	0.0821	0.0950	0.2150
Sinyal enerjisinin gürültü varyansına oranı=1	6	0.4190	0.4120	0.4910
	10	0.4500	0.4721	0.7880

[6] nolu çalışmada diğer YSA alıcılara oranla düşük hesap karmaşıklığı, yüksek işlem hızı ve düşük sınıflama hatası elde edilmiş ve değişen sistem parametrelerine iyi uyum sağlanabilmiştir. Sonuçta, yakın-uzak problemine dayanıklı bir yapı oluşturulmuştur. Belirtilen sebeplerle, özellikle YSA'nın donanım olarak gerçekleştirilmesinde tercih edilecek bir yapı elde edildiği görülmektedir.

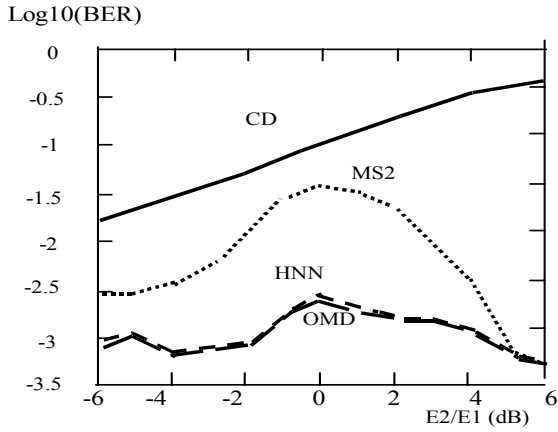
Kechriotis ve Manolakos da 1996 yılında yaptıkları çalışmada çok kullanıcı sezme için Hopfield YSA (HNN) yapısını kullanmışlardır [8]. Optimal çok kullanıcı sezicinin amaç fonksiyonunun minimizasyonu problemi, HNN'nin enerji fonksiyonu minimizasyonuna dönüştürülmüştür. Böylece, HNN'nin analog donanımlarda ve gerçek zaman uygulamalarında hızlı dereceli azaltma algoritmasını kullanma avantajından faydalanılmış olmaktadır. [8] nolu çalışmada senkron ve asenkron kanal için simülasyonlar yapılmıştır.

Hopfield YSA'da genel yapı geri beslemelerle oluşturulmaktadır. Her çıkış noktasından girişe geri beslemeler yapılır. Enerji minimizasyonu yapmak üzere eğitilir ve eğitilmesi bir adımda gerçekleştirilir, bu sebeple eğitim zamanı azdır. Hopfield yapısı Şekil 22'de görülmektedir.

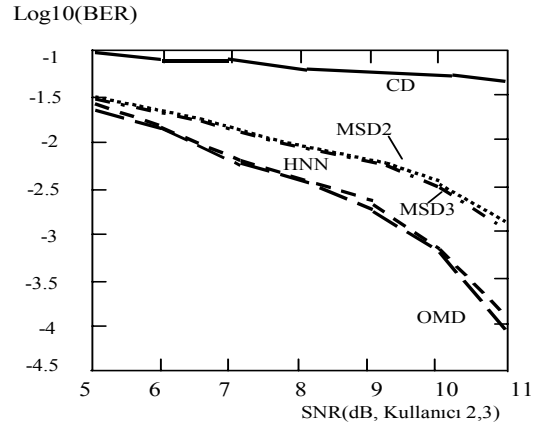


Şekil 22. Hopfield YSA modeli [8]

İki kullanıcı senkron Gaussian kanalda, CD (klasik sezici), MS2(iki katlı sezici), OMD (optimal çok kullanıcı sezici) ve HNN (Hopfield YSA) için [8] nolu çalışmada elde edilen simülasyon sonuçları Şekil 23'de görülmektedir. Birinci kullanıcının sinyal-gürültü oranı 8 dB olarak sabit alınmıştır. Kullanıcıların enerjileri yakın değerlerde iken, MSD ve klasik sezici oldukça kötü performans göstermektedirler. Ancak, enerjileri farklı değerlere geldiğinde, MSD, HNN ve OMD seziciler benzer performans göstermektedirler. HNN, görüldüğü gibi, OMD'ye yakın sonuç göstererek, yakın-uzak probleminden etkilenmemektedir.



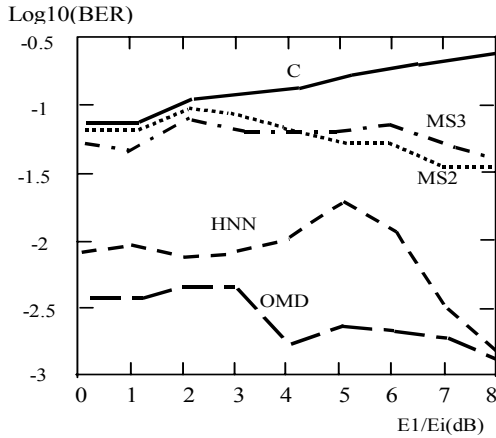
Şekil 23. Senkron kanalda 3 kullanıcı durumunda değişik sezicilerin hata olasılıklarının karşılaştırması [8]



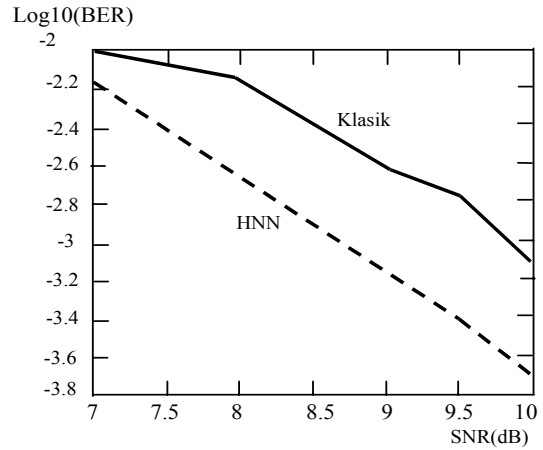
Şekil 24. Senkron kanalda 3 kullanıcı durumunda 2. ve 3. alıcının sinyal-gürültü oranlarına karşılık farklı sezicilerin hata olasılıklarının karşılaştırması [8]

Üç kullanıcı ve $N=7$ olan senkron Gaussian kanalda, değişik seziciler için elde edilen simülasyon sonuçları [8] da Şekil 24'de görülmektedir. İlk kullanıcının gücü diğer kullanıcılardan 2 dB daha büyük alınmıştır. Zayıf kullanıcıların sinyal-gürültü oranına karşılık değişik sezicilerin bit hata oranları incelenmiştir. Kullanıcıların enerjileri yakın değerde olduğundan, MSD sezici oldukça kötü performans göstermiştir.

Şekil 25'de $K=5$, $N=7$ alınarak, yine değişik seziciler için yakın-uzak oranına karşılık bit hata oranının değişimi verilmiştir [8]. Birinci kullanıcının enerjisi değişirken, 2-5 arası kullanıcıların sinyal-gürültü oranı 8 dB sabit alınmıştır. Şekil 25'den, HNN sezicinin MSD sezicilerden daha iyi olduğu ve OMD'ye yakın performans gösterdiği görülmektedir.

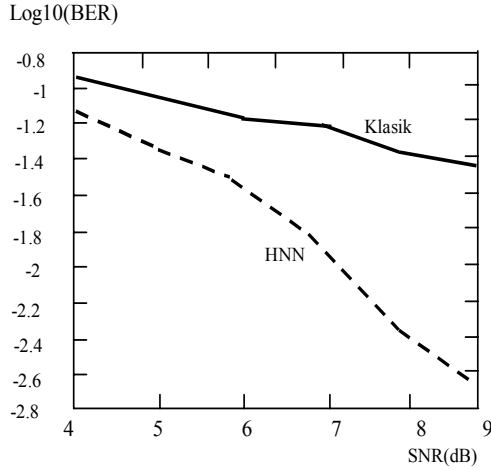


Şekil 25. Senkron kanalda 5 kullanıcı durumunda değişik sezicilerin hata olasılıklarının karşılaştırması [8]



Şekil 26. Asenkron Gaussian kanalda 3 kullanıcı durumunda $N=127$ ve yakın-uzak oranı=10 değerleri için sinyal-gürültü oranına karşılık hata olasılığının değişimi [8]

Asenkron Gaussian kanalda $K=3$ ve $N=127$ alınarak, klasik alıcı ve HNN için simülasyon sonuçları [8] Şekil 26'da görülmektedir. Kullanıcılardan birinin enerjisi diğer ikisinin 10 katı olarak alınmıştır. Dolayısıyla yakın-uzak oranı 10 ve paket boyu 31 bit alınmıştır. Her bir sinyal-gürültü oranı için 1 milyon sembol seti gönderilmiştir. Kullanıcıda semboller arasındaki gecikmeler her 500 sembolde rasgele değiştirilmiştir. HNN, görüldüğü gibi, klasik alıcıya göre çok daha iyi sonuç göstermektedir.



Şekil 27. Asenkron kanalda, K=3, N=4 için sinyal-gürültü oranına karşılık hata olasılığının değişimi [8]

Diğer bir incelemede de K=3, N=4 alınarak sinyal-gürültü oranına göre bit hata oranı bulunmuştur [8]. Bu örnekte kullanıcıların yayma kodları $a^{(1)}=(1,1,1,1)$, $a^{(2)}=(1,1,-1,-1)$, $a^{(3)}=(-1,1,-1,1)$, onların relatif gecikmeleri, $\tau_1 = 0.0$, $\tau_2 = 0.5T$ $\tau_3 = 0.75T$ ve bütün kullanıcıların güçleri eşit alınmıştır. [8]'de elde edilen simülasyon sonuçları Şekil 27'de görülmektedir. Şekilden, HNN alıcının klasik alıcıya göre daha iyi performans gösterdiği anlaşılmaktadır.

Kechriotis ve Manolagos [8] çok kullanıcı CDMA alıcıda Hopfield algoritmasını kullanarak verimli bir optimizasyon elde etmişler, senkron ve asenkron iletimde de optimuma yakın sonuçlar almışlardır. Ayrıca bu algoritmanın kullanılmasıyla, devre karmaşıklığı kullanıcı sayısı ile lineer olarak artmakta, böylece alıcı pratik olarak daha kolay gerçekleştirilebilmektedir.

5. Sonuç

Bu çalışmada, literatürde bulunan, CDMA'da çok kullanıcı sezme işleminde YSA kullanan alıcılar tanıtılmıştır. Değişik çalışmalarda YSA'nın değişik yapı ve algoritmaları kullanılmış, hepsinde de diğer klasik çok kullanıcı sezicilere göre daha iyi sonuçlar alınarak, optimal detektöre yakın performans elde edildiği görülmüştür. YSA kullanan alıcılar özellikle yakın-uzak probleminin aşılmasında etkili olmaktadır. [1] nolu çalışmada kullanılan çok katlı perseptron başarılı olmasına rağmen, yavaş yakınsama ve eğitime esnasında tahmin edilemeyen sonuçlar çıkması gibi kötü yanlara sahiptir. Daha sonraları tercih edilmeye başlanan radial basis function da bir çok katlı perseptron olmakla birlikte, yakınsama kabiliyeti artırılmıştır. YSA kullanan alıcılar hesap karmaşıklığı yönünden de klasik yöntemlere göre daha avantajlı olabilmektedirler. Özellikle Hopfield YSA eğitime zamanının kısıllığı ve sistem basitliği yönünden VLSI olarak gerçekleştirmeye oldukça uygundur.

Kaynaklar

1. Aazhang, B., Paris, B. P. ve Orsak, G. C., Neural networks for Multiuser detection in Code-Division Multiple-Access Communications, IEEE Transactions on Communications, **40**, 7, pp.1212-1222, 1992.
2. Demuth, H. ve Beale, M., Neural Network Toolbox For Use With MATLAB, 2001.
3. Glover, I., ve Grant, P., Digital Communications, Prentice Hall, 1997.
4. Guoqiang, X., Weng, J., Ngoc, T. L. ve Tahar, S., Multiuser Detection Techniques (An Overview), Technical Report, Department of Electrical and Computer Engineering, Concordia University, 1998.
5. Haykin, S., Digital Communications, John Wiley and Sons, 1988.
6. Ibikunle, F. ve Zhong, Y. X., Probabilistic neural networks for multi-user detection in code divisional multiple access communication channels, The 1998 IEEE International Joint Conference on Neural Networks Proceedings, IEEE World Congress on Computational Intelligence, **3**, pp. 2557-2560, 1998.
7. Ibenkahla, M., Applications of Neural Networks to Digital Communications, A Survey, Signal Processing, **80**, pp. 1185-1215, 2000.
8. Kechriotis, G. I. ve Manolagos, E. S., Hopfield neural network implementation of the optimal CDMA multiuser detector, IEEE Transactions on Neural Networks, **7**, Iss. 1, pp.131-14, 1996.

9. Kovintavewat, P. ve Kiranantawat ,T. A. , MMSE Linear Multiuser Detection for a DS-CDMA System, Technical Report , Georgia Institute of Technology, Atlanta, 2000.
10. Mitra,U. ve Poor, H. V., Neural network Techniques for Multi-user Demodulation , IEEE International Conference on Neural Networks, **3** , pp. 1538-1543, 1993.
11. Mitra,U. ve Poor, H. V., Adaptive receiver algorithms for near-far resistant *CDMA*, IEEE Transactions on Communications, **43**, Iss. 2 Part. 3, pp. 1713 –1724, 1995.
12. Prasad, R., Ojanpera , T.,. An Overview of CDMA Evolution Toward Wideband CDMA , IEEE Communications survey, **1**, 1, 1998.
13. Tanner, R. Ve Cruickshank , D. G. M.,. RBF Based receiver for DS-CDMA with reduced Complexity, Proceedings of IEEE 5th International Symposium on Spread Spectrum Techniques and Applications, **2**, pp .647-65, 1998.
14. Verdu , S., Multiuser Detection, Cambridge University Press, 1998.