

ÇOK GİRİŞLİ ÇOK ÇIKIŞLI (MIMO) OFDM SİSTEMLERİNDE KANAL KESTİRİMİ

E. Seza ÖRTLEK¹

Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektronik Mühendisliği Bölümü, 38039 Kayseri
¹ebruseza@erciyes.edu.tr

Necmi TAŞPINAR²

²taspinar@erciyes.edu.tr

Anahtar sözcükler: MIMO, OFDM, Kanal Kestirme, MAP, EM

ABSTRACT

Multiple transmit-and-receive antennas can be used in orthogonal frequency division multiplexing (OFDM) systems to improve communication quality. Channel parameters are required for diversity combining, coherent detection, and decoding. For OFDM systems with multiple transmit antennas, such as permutation and space-time coding based transmit diversity, different signals are transmitted from different transmit antennas simultaneously. Consequently, the received signal is the superposition of these signals, which gives rise to challenges for channel estimation. In this paper, we compile Multiple Input Multiple Output (MIMO) systems and parameter estimation simplification techniques for OFDM with multiple transmit antennas.

1.GİRİŞ

Geniş bantlı kablosuz iletişimde iletişimin hızını artırması yeni nesil iletişim sistemleri için ana hedefi oluşturmaktadır. Frekans izgesinin azlığına rağmen yüksek hızda bilgi iletiminin sağlanması, araştırmacıları kablosuz iletişimin izge verimliliğini ve kalitesini artırmaya yöneltmiş, etkin kodlama ve modülasyon teknikleri geliştirmeye motive etmiştir. Buna rağmen bu gelişmeler kanaldaki sönmleme etkileri, çoklu kullanıcı karışımı mobil cihazın büyüklüğü ve güç kısıtlaması ile sınırlanmıştır. Kanaldaki olumsuz etkiler kablosuz iletişimin performansını oldukça etkilemekte ve yüksek iletim hızlarına çıkılmasını engellemektedir. Kablosuz iletişimde genellikle baz istasyonu ile mobil cihaz arasında direk görüş (LOS) yoktur, bunun sonucu olarak iletilen sinyal birçok yoldan geçerek alıcıda toplanır. Birçok yoldan geçerek alıcıya gelen sinyalin çoklu yolda, rasgele genlik, faz ve geliş açılarına sahip kopyaları oluşur. Bu yüzden çoklu yoldan gelen sinyallerin alıcıdaki toplamı alınan sinyalin gücünde dalgalanmalara sebep olur. Bu dalgalanmalar sönmleme olarak adlandırılır. Çoklu yol sönmlemesine ek olarak çoklu yol yayınımlı iletilen sinyalin alıcıya ulaşması için gerekli olan zamanı

uzatır. Zamanındaki bu dağılım gecikme yayınımlı olarak adlandırılır.

Teorik olarak çoklu yol etkisini azaltmak için en etkili metot verici güç kontrolüdür. Eğer kanal durumu verici tarafından alıcıyla iletim kurularak biliniyorsa sinyale gelen gürültü etkisini yok etmek için sinyal vericide bozunmaya uğratarak kanalda meydana gelen gürültü yok edilir. Ancak bu yaklaşımda iki problem vardır. Birincisi vericinin dinamik aralığının artırılmasıdır. Verici sönmleme etkisini yok etmek için aynı şekilde verici gücünün artırılması gerekmektedir. Pratikte birçok durumda güç artırımı gerek yayılan güç sınırlaması, gerekse kullanılan güçlendiricilerin maliyeti ve büyüklüğü açısından istenmemektedir. İkinci problem ise verici ile alıcı arasında çift yönlü bir iletişimin olmadığı sistemlerde kanal bilgisinin bilinmemesidir. Bu ise çift yönlü (kapalı) sistemler kullanılarak yapılsa da sistemin karmaşıklığını artırdığı ve sisteme yük getirdiğinden istenmemektedir.

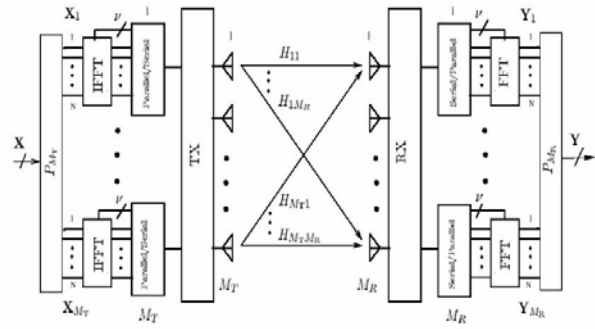
Diğer bir etkili yöntem ise zaman, frekans veya uzayda çeşitlilik sağlayan sistemlerdir. Kablosuz iletişimde hata başarımını iyileştirmek için birçok alıcı ve verici anten kullanımını benimseyen bu kodlama teknikleri, farklı antenlerden iletilen sinyallere geçici ve uzaya ait ilinti eklenmesini öngörürler. Böylece alıcıda çeşitlilik sağlanır ve bant genişliğinden taviz vermeksizin kodlanmış sistem üzerinde kodlama kazancı artırılmış olur.Pratik açıdan gerçekleşmesi kolay, etkili bu kodların geçici ve uzaya ait yapısı basit bir alıcıyla kablosuz sistemin kapasitesini artırır.

Çoklu anten kullanımı alıcıda ve vericide kullanıldığı durumlara göre alıcı çeşitleme ve verici çeşitleme yöntemleri olarak ikiye ayrılabilir.Verici anten çeşitlemesinin baz istasyonundan mobil cihaza giden sinyal için kullanılması baz istasyonun büyüklük ve güç sıkıntısı olmadığı için uygundur. Alıcı anten çeşitleme sistemlerinin genelde kullanılmasına rağmen iletilen çeşitleme sistemleri iki temel sebep yüzünden kullanılmamaktadır. Bu sebeplerden birincisi, sönmlemeli kanalın anlık bilgisine sahip olmaması ve iletilen sinyalin alıcıya gelmeden uzaysal olarak

karışmasıdır. Bu problemler verici çeşitleme metotlarında ek işlemler yapılması gerektiğini göstermektedir. Verici çeşitleme metotları açık ve kapalı çevrim metotları olarak verilmiştir. Kapalı sistemler; verici ile alıcı arasında bir geri dönüşüm olduğu ve bu geri dönüşüm sayesinde vericinin kanal bilgisine sahip olduğu sistemlerdir. Bir çok güç kontrol amaçlı kablosuz sistem geri dönüşüm yoluna sahip kapalı sistemler olmasına rağmen, mobil cihazların hareketliliğinin kanaldaki değişim hızını artırdığını ve mobil cihazın baz istasyonundan uzak mesafede olabileceği göz önüne alınırsa, açık çevrim sistemlerin yeni nesil kablosuz iletişim sistemleri için daha uygun olduğu görülür. Geniş bantlı kablosuz iletişimde kanal modeli çift-sönümlenmeli düşünülürse bu kodların frekans-seçici kanal üzerinde çalışmasını sağlayacak başka bir sisteme ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sistem dik frekans bölmeli çoğullama (OFDM) şeklinde adlandırılan, mevcut bant genişliğini birbirine dik alt bantlara bölen bir sistemdir. OFDM toplam iletim hızını düşürmeyecek şekilde alt bantlarda iletim hızını düşüren, böylece sembol süresini uzatarak frekans seçici kanalı düz sönümlenmeli kanal haline getiren bir sistemdir. Tümleşik verici çeşitlemeli OFDM sistemleri frekans seçici kanallarda iyi bir performans sergilemektedir. Ancak sistem alıcıda kod çözümünde kanal parametrelerine ihtiyaç duymaktadır.

Kablosuz iletişim sistemlerinde, kanalda meydana gelen sönümlenmenin etkisini azaltmanın en iyi yolu çeşitleme tekniklerinden yararlanmaktır. İletilecek sinyalin uzay, zaman veya frekansta çeşitlemesini ön gören iletim çeşitleme sistemlerinin amacı, iletim ortamında bağımsız kanallar ortaya çıkartarak aynı bilgiye sahip çeşitlenmiş işaretlerin alıcıya ulaştırılmasıdır. Bant genişliğinden taviz vermeksizin kodlanan işaretler çeşitleme sayesinde bağımsız kanallardan birinde derin sönümlenmeye maruz kalsa bile diğer kanaldan alıcıya ulaşacak ve sistemin başarımı artacaktır.

Yüksek hızlı iletimde kanaldaki gecikmenin, azalan sembol süresinden fazla olması semboller arası karışıma sebep olacaktır. Bunun sonucunda kanalın frekans seçiciliği artacak ve sistemin başarımı oldukça düşecektir. Kanalda meydana gelen sinyaldeki bu bozulma kanal dengeleyici diye adlandırılan sistemlerle düzeltilebilse de, bu sistemlerin karmaşıklığı ve getirdiği işlem yükü açısından benimsenmemektedir. Bunun yerine kanaldaki semboller arasındaki karışımı engelleyerek frekans seçiciliği kaldıran, frekans-seçici bir kanalı düz-sönümlenmeli bir kanal haline getiren bir sistem kullanılabilir. Bu sistem mevcut bant genişliğini birbirine dik alt bantlara bölerek sinyali bu alt bantlardan paralel olarak gönderen OFDM sistemleridir. Şekil-1'de bir MIMO OFDM sisteminin temel yapısı gösterilmektedir.



Şekil-1. Bir MIMO Sistemi [20].

2. MIMO OFDM VE KANAL KESTİRİMİ

Önümüzdeki yıllarda telsiz haberleşme sistemlerinde yüksek haberleşme hızı ihtiyacının en üst seviyeye çıkacağı oldukça kabul gören bir düşüncedir. Elde edilen büyük gelişmelere karşın arzu edilen en üst seviye veri hızları, telsiz haberleşme sistemlerinin doğası gereği ortaya çıkan çok yollu yayılım ve istenmeyen hücre içi ve hücreler arası karışma nedeniyle sınırlandırılmaktadır. Çok taşıyıcılı ya da ayrık çok tonlu modülasyon olarak da adlandırılan OFDM bir kullanıcıdan başka bir kullanıcıya bilgi iletmek için çok sayıda alt taşıyıcıdan yararlanır.

Bir OFDM sisteminin, zaman değişkenli ya da frekans seçici kanallar üzerindeki sistem kapasitesini geliştirmek ve çeşitlilik kazancını artırmak için alıcı ve verici katlarında anten dizileri ile birleştirilmesi sonucunda Çoklu -Giriş Çoklu -Çıkış (MIMO) sistemleri elde edilmektedir. Bir OFDM iletiminde ters hızlı Fourier dönüşümü (IFFT) işlemi vericide gerçekleştirilmekte ve bunu IFFT bloğunun paralelden seriye dönüştürülmüş çıkışının ilk L örneğinin kopyasını içeren L uzunluklu CP (cyclic Prefix) öneki izlemektedir. Alıcıda CP kaldırılmakta, ardından alınan işaret dizisi üzerinde N uzunluklu FFT uygulanmaktadır. Sonuçta frekans seçici sönümlenmeli kanalı, her birinin band genişliği B/N olan N tane paralel frekans düz sönümlenmeli kanala ayırılmaktadır. Herbir verici ve alıcı antende IFFT/FFT ve CP işlemlerinin gerçekleştirilmesiyle OFDM, doğrudan MIMO kanallara genişletilebilmektedir. Çeşitlilik kazancı ya da sistem kapasitesini artırmak için OFDM çoklu giriş çoklu çıkış alıcı vericisi ile birleştirilebilmektedir.

Haberleşme teorisinde MIMO, verici ve alıcı taraftaki çoklu antenlerle radyo bağları kurmaktadır. Verilen çoklu antenlerde uzamsal boyut kablosuz bağlantının performansını geliştirmek için kullanılabilir. Performans çoğunlukla kablosuz bağın sağlayabildiği ortalama bit hızı (bit/s) ya da ortalama bit hata oranı (BER) olarak ölçülmektedir. Hangisinin daha önemli olduğu uygulamaya bağlıdır. Çift yönlü metot ve iletim

bandgenişliği ile verilen bir MIMO kanalda, bir sistem;

- Düz ya da frekans seçici sönümleme
- Sınırsız ya da kanal durum bilgisi olmaksızın (tüm CSI)

biçiminde sınıflandırılmaktadır.

Tüm CSI tam bir MIMO kanalı aktarım işlevi bilgisi anlamına gelmektedir. Çift yönlü zamanı kanalın evre uyumlu zamanından daha az olan bir zaman bölmeli çoğullama sisteminde tüm CSI vericide mevcut olduğu için kanal karşılıklıdır. Frekans bölmeli çoğullama sistemlerinde çoğunlukla alıcıdan vericiye bir geribesleme kanalı söz konusu olup, bu kanal vericiye kısmi CSI sağlamaktadır. Bu, antenlerin hangi alt grubunun kullanılacağı ya da kanalın hangi öz modunun en güçlü olduğu bilgisi olabilmektedir. İletim çeşitliliğinin kullanılmasıyla, vericide herhangi bir CSI olmaksızın da yüksek sağlamlıkta kablosuz bir bağ gerçekleştirmek mümkündür. Çeşitlilik, iki verici anten için kullanılan Alamouti kodu gibi uzay zaman kodları vasıtasıyla gerçekleştirilebilmekte ve yüksek bit hızları da BLAST olarak kısaltılan öncü sistem gibi uzamsal çoğullama sistemleri ile gerçekleştirilmektedir.

Eğer genişband bir kablosuz haberleşme sistemi tasarlanıyorsa bu durumda frekans seçici kanala öncülük edecek bir noktaya kadar sembol hızı daha da artırılmalıdır. Bunun ardından devam etmek için iki yol vardır; Birincisi ya kanalın ön ya da son dengelemesinin kullanılması; ikincisi OFDM'nin kullanıldığı tekniği uygulayarak kanalın birçok dar bantlı düz sönümlemeli alt kanallara bölünmesi ve kanal dengelemesine ihtiyaç duyulmaksızın verinin bu alt akışlar üzerinde iletilmesidir. Bu nedenle OFDM'i kullanarak frekans seçici bir kanalı her zaman için birçok düz sönümlemeli kanallara dönüştürmek ve bu alt kanalların her birine geliştirilmiş düz sönümlemeli MIMO işaretleme teknikleri uygulamak mümkündür. MIMO sistemleri üzerine yapılan bu araştırma, vericide CSI'lı ya da CSI'sız düz sönümlemeli MIMO kanalları içindir [1].

Bir MIMO sistemi, çok yollu saçılım ortamlarındaki antenlerin uzamsal olarak ayrıştırılması ile elde edilen uzamsal çeşitlilik avantajına sahiptir. MIMO sistemleri, çeşitlilik kazancı veya kapasite kazancı sağlamak ya da işaret sönümlemesinin üstesinden gelmek gibi birçok farklı uygulama için gerçekleştirilebilmektedir. Genel olarak MIMO tekniklerinin üç kategorisi bulunmaktadır. Bunlardan ilki uzamsal çeşitliliğin maksimize edilmesi ile güç verimliliğinin geliştirilmesini hedeflemektedir. Bu teknikler, gecikme çeşitliliği, uzay zaman blok kodları, uzay zaman kafes kodlarını içermektedir. İkinci kategori kapasiteyi artırmak için katmanlı

yaklaşımı kullanmaktadır. Buna örnek olarak Foschini'nin V-BLAST tipi [2] verilebilir. Üçüncü tip ise, vericideki kanal bilgisini kullanmakta ve tekil değer ayrıştırmasını kullanarak kanal katsayı matrislerini ayrıştırmakta ve yaklaşık kapasiteyi elde etmek amacıyla bu matrisleri verici ve alıcıda ön ya da son filtre olarak kullanmaktadır.

Bütün MIMO OFDM alıcılarının, zaman senkronizasyonu, frekans dengeleme tahmini ve düzeltmesi ile parametre kestirimini gerçekleştirmesi gerekmektedir. Bu da genellikle bir ya da daha fazla eğitim dizileri içeren eşzamanlama (başlama) ekinin kullanılmasıyla mümkün olabilmektedir.

MIMO sistemlerinin kullanılmasıyla dizi kazancı, çeşitlilik kazancı, uzamsal çoğullama kazancı ve girişimin azaltılması gibi performans iyileştirmeleri sağlanmaktadır. Ayrıca bir MIMO sistemi bu tür performans kazançları için ekstra bir iletim gücü ya da SNR gerektirmemektedir. [3]'te gigabit hızındaki kablosuz sistemlerin gerçekleştirilmesinde MIMO teknolojisinin önemi üzerinde durulmuş ve bu teknoloji incelenmiştir. Yapılan çalışmada MIMO sistemlerinin spektral verimliliğinin klasik haberleşme sistemlerinden daha iyi olduğu gözlenmiş, MIMO sistemlerinin hem kapasite hem de çeşitlilik kazancı sağladığı sonucuna ulaşılmıştır.

2.1 Kanal Kestirimi

Kanal kestirmenin amacı, her bir verici ve alıcı anten çifti arasındaki kanalı tanımlamaktır. Her bir antenden iletilen eğitim tonları birbirlerine göre ortogonal olduklarından her bir verici anten kanalı tek olarak tanımlanabilmektedir. Eğitim tonları, kanalın frekans evre uyumluluğundan daha küçük aralıklarla frekansta yerleştirildiklerinden, kanal eğitim tonları arasında aradeğerlenebilmektedir. Kanal aradeğerleme, kanal gecikme yayılımına bağlı olarak optimize edilebilmekte ve zaman domeni filtrelemeyle daha da geliştirilebilmektedir. Uydu yer bağlantısında, özellenmiş kanal tanıma dilimi bütün kullanıcılara çerçeveden çerçeveye temelli olarak yayınlanmaktadır. Yer-uydu bağlantısında ise, CPE'den gelen trafik çoğuşmalı olabileceği ve kanal çoğuşmalar arasında değişebileceğinden herbir dilim, eğitim ve veri tonlarının her ikisini de içermektedir.

Bir MIMO-OFDM sisteminde alınan işareti evreyuymulu biçimde tespit edip çeşitlilik birleşimini gerçekleştirmek ya da uzamsal girişimi bastırmak için alıcıda kanal durum bilgisi zorunludur. Alıcıda anlık CSI'ya erişmek amacıyla pilot sembol destekli ya da doğrudan karar kanal tahmini frekans seçici sönümleme kanalının değişimlerini izlemek için kullanılmalıdır. Pilot semboller kanal kestirimini kolaylaştırıp band genişliğini azaltmalarının yanı sıra, toplam iletim gücünün sabit olduğu koşulda OFDM sembolü başına veri sembollerinin iletim gücünü azaltmaktadır. Toplam iletim gücü sabit olduğuunda bu

durum, veri sembollerine ayrılan güç ile kanal kestiriminin doğruluğu arasında bir ödünleşim olarak ortaya çıkmaktadır. MIMO OFDM sistemlerindeki pilot sembole bağımsız (zaman çoğullanmış), saçılmış(frekans çoğullanmış) ya da ortogonal (kod çoğullanmış) pilot desenleri gibi farklı yollar kullanılarak iletilebilmektedir.

OFDM sistemlerinde iletilen işaretler ile kanal parametrelerinin gözü kapalı kestirimi oldukça önemli bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu problemin çözümü için koşullu işaret modeline dayalı kestirim algoritmaları (örneğin; sayısal işaretleri, deterministik dizgiler gibi ele almak) [4] ileri sürülmüştür. Koşullu işaret modeline dayalı kestirim yöntemine karşılık, iletilen işaretlerin olasılıksal bağımsız özdeşçe dağılımı (IID) olduğu varsayılan koşulsuz en büyük olabilirlik yaklaşımı sunulmuştur. Ortaya çıkan koşulsuz en büyük maliyet işleminin etkin çözümü ise özyineli sabit nokta algoritması ile elde edilmiştir. Ayrıca bu yöntem kanal parametrelerinin en büyük olabilirlik kestirimi ile, modüleli işaretlerin en büyük sonsal ortak kestirimini vermektedir.

OFDM sistemlerinde evre uyumlu kod çözümü için verici ve alıcı anten çiftlerinin arasındaki kanal durum bilgisi gereklidir. Bu amaçla kanal parametresi kestirimi için farklı teknikler önerilmiş bulunmaktadır; tekil değer ayrıştırması veya frekans bölgesi süzgeçlemesine dayalı kanal kestirim teknikleri ve zaman bölgesi süzgeçleme bunlara örnek olarak verilebilir. Son yıllarda kanal kestirimcisinin performansını daha iyiye götürmek için, zamanla değişen kanalın zaman frekans ilintisini en iyi kullanan en küçük ortalama karesel hata (MMSE) kanal kestirimcisi önerilmiştir [5]. Bu teknik, sonradan verici çeşitlemeli ve uzay zaman kodlaması kullanan OFDM sistemleri için genişletilmiştir.

Tek giriş tek çıkış OFDM sistemleri için, kanal kestiriminde ortalama karesel hatayı minimize etmek amacıyla eğitim tonlarının en iyilenmesi [6]'da önerilmektedir. Optimal yerleştirme ve kapasitenin maksimize edilmesi için pilot işaretlerinin gücü [7]'de analiz edilirken, [8]'de OFDM sistemlerinin BER'ini minimize eden pilot tonlar sunulmaktadır. Tek taşıyıcılı MIMO sistemleri için pilot destekli kanal kestiriminin etkileri [9]'da analiz edilmekte, optimal eğitim işareti ise [10]'da geliştirilmektedir. Her iki çalışma kapasiteyi maksimize etmek için eğitim işaretini minimize etmektedir. [11]'deki çalışmada pilot işaret, MIMO sistemlerinde kapasiteyi maksimize etmek amacıyla blok iletiminde optimize edilirken, MIMO OFDM sistemlerinde eğitim tonlarının optimize edilmesi problemi [12-13]'te incelenmektedir. [12]'deki optimizasyon için metrik kanal kestiriminin MSE'si olmuştur. Yan bilgi mevcut olduğunda evrişimli bir MIMO ortamında kanal ve kaynak tahmini için Cramer-Rao sınırları [14]'de

geliştirilmiştir. Kaynaklar ve kanallar için belirli bir modelin kullanılmasıyla eşitlik kısıtı altında bu yapı sınırların değerlendirilmesine imkan vermektedir. [15]'de kablosuz ağlara dayanan bir MIMO OFDM sistemi için zaman domeni kanal kestirimi incelenmektedir. İlk olarak eşzamanlı hüresel yapılarda zaman domeni eğitim dizileri için optimizasyon koşulları belirlenmiş ve pratik bir uygulama için eğitim dizilerinin uygun bir alt optimal kümesi sunulmuştur. Ardından ortak kanal etkileşimini (CCI) bastırmak amacıyla bir kanal kestirim algoritması geliştirilmiştir. [16]'da önerilen metod zaman domeninde karesel hatayı minimize eden kanal darbe cevaplarını kestirmektedir. Darbe cevaplarına FFT uygulandığında bütün alt taşıyıcılar için kanal cevapları elde edilmektedir. Güvenlik aralığından daha büyük olan gecikme durumunda kanalların kestirimi Suyame tarafından önerilmektedir [16]. Başlangıç kanal tahmini için farklı zaman domeni ve frekans domeni teknikleri ile güncellenen uyarlanması, performans ve karmaşıklık bakımından [17]'de değerlendirilmektedir. [18]'de, vericide kanal bilinmezken alıcıda tam olarak bilindiğinde geniş band sönümlemeli ortamlarda uzamsal çoğullama sistemlerine dayanan kablosuz OFDM'nin kapasite davranışları incelenmektedir.

Verici çeşitlemesi, gezgin ve çok yollu telsiz kanallardaki sönümleme ile başa çıkmak için etkili bir yöntemdir. Son dönemlerde yüksek veri hızında telsiz iletişimi için uzay zaman kodlaması geliştirilmiş ve OFDM sistemlerine uygulanmıştır. Bununla birlikte, uzay zaman kodlarının çözümü elde edilmesi güç olan kanal bilgisini gerektirir. [5]'deki çalışmada ideal kanal durum bilgisine sahip olunduğu varsayılmıştır. Alamouti, iletim için iki verici antenin kullanıldığı dikkate değer bir verici çeşitleme yöntemi önermiştir. Bu yöntem daha sonradan herhangi sayıda verici anteni için genelleştirilmiş ve verici-alıcı anten çifti ile elde edilebilen en başarılı çeşitlemeyi gerçekleştirdiği görülmüştür [5]. Uzay zaman kodlarının dik yapısı, en büyük olabilirlik kod çözümünün sinyalin birleşik algılanmasından daha basit olarak, farklı antenlerden iletilen sinyali ayrıştırılması yolu ile uygulanmasını mümkün kılmaktadır.

İlk defa Alamouti tarafından önerilmiş olan iki verici çeşitlemeli OFDM sistemleri için çok yollu sönümlemeli kanal kestirimine Siala'nın yöntemi uygulanmıştır [5]. Algoritma, veri yardimsız, beklenti en büyükleme yöntemini kullanarak özyineli kanal kestirimi yapılmasına dayanmakta ve kanal kestiriminin en iyilenmesi sırasında pilot simgelerin yanında bilgi taşıyan simgelerden de faydalanılmaktadır. Kanal kestirimcisi farklı frekanslardaki kanal frekans yanıtlarının birbirleri ile ilintisinden en yüksek düzeyde yararlanmaktadır.

Frekans seçici kanallarda uzay frekans kodlanmış OFDM sistemleri için MAP kanal kestirim algoritması sunulmuştur [19]. MAP kanal kestiriminde karşılaşılan en büyükleme işlemi doğrudan yapılamadığından, bilinmeyen kanal parametrelerini doğru MAP değerine yakınsayan, tekrarlamalı, hesaplama yönünden etkin bir çözüm olan beklenti en büyükleme (EM) algoritması kullanılmıştır. Bu algoritmanın kullanılabilmesi için ayrık çok yollu kanalın gösterimi Karhunen Loeve açılımı ile ifade edilmiştir. Böylece algoritma, EM metodunu kullanarak ilişkisiz karmaşık açılım katsayılarını kestirmiştir.

3. SONUÇ:

Kablosuz iletişimde çoklu yola sahip sönümlemeli kanalın iletim hızı ve kanalda meydana gelen gecikme süresine göre zamanda veya frekansta seçici olduğu gözlenmektedir. Sönümlemeli bir kanal sinyal üzerinde bozunumlar meydana getirmekte, bu bozunumlar da iletim çeşitlemeli OFDM sistemleri ile düzeltilebilmektedir. Bu sistemlerin alıcılarında sinyalin tekrar elde edilebilmesi için kanal parametrelerine ihtiyaç duyulmaktadır. Kanal parametresi kestirimi için bir çok algoritma kullanılabilir.

KAYNAKLAR:

- [1] Cimini L. J., Jr., Analysis and simulation of a digital mobile channel using orthogonal frequency division multiplexing, IEEE TRANSACTIONS ON COMMUNICATIONS, Vol. COM-33, pp. 665-675, July 1985.
- [2] Wolniansky P.W., Foschini G. J., Golden G. D., and Valenzuela R. A., V-Blast: An architecture for realizing very high data rates over the rich-scattering channel, PROC. INT. SYMP. SIGNALS, SYSTEMS AND ELECTRONICS (ISSE 1998), pp. 295-300.
- [3] Arogyaswami J. P., Dhananjay A. G., Rohit U. N., Helmut B., An Overview of MIMO Communications-A Key to Gigabit WIRELESS, PROCEEDINGS OF THE IEEE, Vol. 92, No. 2, pp. 198-218, February 2004.
- [4] Çevik M., Çırpan H. A., Panayırıcı E., OFDM Sistemlerinde Kanal Kestirimi İçin Koşulsuz En Büyük Olabilirlik Yaklaşımı, 10. SİNYAL İŞLEME VE İLETİŞİM UYGULAMALARI (SİU 2002) KURULTAYI BİLDİRİ KİTABI, S. 1279-1282, Pamukkale, Haziran 2002.
- [5] Panayırıcı E., Çırpan H. A., Oğuz O., Çokyollu Sönümlemenin Varlığında Uzay-Zaman Blok Kodlanmış OFDM Sistemler için Kanal Kestirimi, 10. SİNYAL İŞLEME VE İLETİŞİM UYGULAMALARI (SİU 2002) KURULTAYI BİLDİRİ KİTABI, s. 1289-1294, Pamukkale, Haziran 2002.
- [6] Negi R., Cioffi J., Pilot Tone Selection For Channel Estimation in a Mobile OFDM System, IEEE TRANSACTIONS ON CONSUMER ELECTRONICS, 44, pp. 1122-1128, 1998
- [7] Adireddy S., Tong L., Viswanathan H., Optimal Placement of training for frequency-selective block-fading channels, IEEE TRANSACTIONS ON INFORMATION THEORY, Vol. 48, pp. 2338-2353, Aug. 2002.
- [8] Onho S., Giannakis G.B. Capacity maximizing MMSE-optimal pilots for wireless OFDM over frequency-selective block Rayleigh fading channel IEEE TRANSACTIONS ON INFORMATION THEORY, Vol. 50, pp 2138-2145, Sept. 2004.
- [9] Cai X., Giannakis G.B., Error probability minimizing pilots for OFDM with M-PSK modulation over Rayleigh-fading channels, IEEE TRANSACTIONS ON VEHICULAR TECHNOLOGY, Vol.53, pp. 146-155, Jan. 2004.
- [10] Samardzija D., Mandayam N., Pilot-assisted estimation of MIMO fading channel response and achievable data rates, IEEE TRANSACTIONS ON SIGNAL PROCESSING, Vol. 51, pp. 2882-2890, Nov. 2003.
- [11] Hassibi B., Hochwald B.M., How much training is needed in multiple antenna wireless links, IEEE TRANSACTION ON INFORMATION THEORY, Vol.49, pp. 951-963, April 2003.
- [12] Ma X., Yang L., Giannakis G.B., Optimal training for MIMO frequency-selective fading channels, THE 36TH ASILOMAR CONFERENCE ON SIGNALS, SYSTEMS, AND COMPUTERS, Vol. 2, pp. 1107-1111, Nov. 2002.
- [13] Barhumi I., Geert L., Moonen M., Optimal training Design for MIMO OFDM Systems in Mobile Wireless Channels, IEEE TRANSACTIONS ON SIGNAL PROCESSING, vol.51, No. 6, pp. 1615-1624, June 2003.
- [14] Sadler M.B., Kozick R.J., Moore T., Swami A., Bounds on SIMO and MIMO Channel Estimation and Equalization with Side Information, JOURNAL OF VLSI SIGNAL PROCESSING 30, pp. 107-126, 2002.
- [15] Hou X., Xu Y., Zheng B., Luo H., A Time-Domain Approach for Channel Estimation in MIMO-OFDM-Based Wireless Networks, IEICE TRANS. COMMUNICATIONS, vol. E88-B, pp. 3-18, 2005.
- [16] Ogawa Y., Nishio K., Nishimura T., Ohgane T., Channel Estimation and Signal Detection for Space Division Multiplexing in a MIMO-OFDM System, IEEE TRANSACTIONS ON COMMUNICATIONS, vol. E88-B, no. 1, pp. 10-18, January 2005.
- [17] Zhang Q., Le-Ngoc T., Channel-estimate-based frequency-domain equalization (CE-FDE) for broadband single-carrier transmission,

WIRELESS COMMUN. AND MOBILE COMPUTING, 4, pp. 449-461, 2004.

- [18] Bölcskei H., David G., Arogyaswami J. P., On the Capacity of OFDM-Based Spatial Multiplexing Systems, IEEE TRANSACTIONS ON COMMUNICATIONS, Oct. 2001.
- [19] Doğan H., Panayırıcı E., Çırpan H.A., Uzay-Frekans Kodlanmış OFDM Sistemlerinde EM Algoritmasıyla MAP Kanal Kestirimi, 11. SİNYAL İŞLEME VE İLETİŞİM UYGULAMALARI KURULTAYI (SIU 2003) BİLDİRİLER KİTABI, pp.285-288, 2003.
- [20] Tehrani, A.,M., Hassibi, A., Cioffi, J., Boyd, S., An Implementation of Discrete Multi-Tone over Slowly Time-varying Mutiple-Input/Mutiple-Out Channels, Research Report, Information Systems Lab. Department of Electrical Engineering, STANFORD UNİVERSİTY, 5 Feb. 1998.