

STBC-OFDM Sistemler için EM Tabanlı Kanal Kestirim Başarımı

Performance of EM-based Channel Estimation for STBC-OFDM Systems

İlhan BAŞTÜRK, Berna ÖZBEK

Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü
İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü
{ilhanbasturk,bernaozbek}@iyte.edu.tr

Özetçe

Bu çalışmada Uzay-zaman blok kodlu dikgen frekans bölmeli çoğullama sistemleri için Beklenti- Enbüyükleme algoritması yardımıyla frekans alanında her bir alttaşıyıcı için ayrı ayrı kanal katsayılarının kestirildiği bir algoritma önerilmiştir. Başlangıç kanal kestirimi olarak pilot sembollerden yararlanılmış ve bant genişliğinin verimli kullanılması için az sayıda pilotla ardışıl kanal kestirimi yapılmıştır. Önerilen algoritma zaman alanında kanal katsayılarını Beklenti-Enbüyükleme algoritmasıyla kestiren ve hesaplama sırasında matris tersi işlemine ihtiyaç duyan algoritma ile karşılaştırılmış ve herhangi bir performans kaybı olmadan karmaşıklığı azalttığı gözlenmiştir. Her iki algoritma için bilgisayar benzetimleri yapılarak, başarımları bit hata oranı, en küçük karesel hata ve Beklenti-Enbüyükleme algoritmasında kullandıkları döngü sayıları ile incelenmiştir.

Abstract

In this study, a frequency domain Expectation-Maximization (EM) based channel estimation which estimates the channel coefficients subcarrier by subcarrier is proposed for Space Time Block Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing (STBC-OFDM) systems. As initial channel estimation pilot symbols are used and sequential channel estimation is performed with few pilot symbols in order to use bandwidth efficiently. It is compared to the time domain EM based channel estimation algorithm which needs matrix inversion and seen that the proposed algorithm decreased the complexity without any performance loss. The performance comparison of these algorithms are studied in terms of bit-error rate (BER), minimum-squared error (MSE) and the number of iterations used in the EM algorithm.

1. Giriş

OFDM, semboller arası girişimi engelleyen ve kanalın çok yönlü yayılımının etkisini en aza indirerek yüksek veri hızlarında iletişime olanak veren çok taşıyıcılı bir iletişim sistemidir. OFDM sistemleri verici anten çeşitleme teknikleriyle birlikte kullanılarak sistemin veri hızı ve sönümlenmeli kanallara karşı dayanımı artırılmıştır. Verici anten çeşitleme tekniklerinden en basit ve güçlü olanı iki alıcı ve bir verici antenden oluşur ve Alamouti tarafından önerilmiştir [1].

OFDM sistemlerde kanal kestirimi iletilen verilerin alıcıda doğru alınabilmesi için çok büyük önem taşımaktadır. Tek

girişli tek çıkışlı (Single Input Single Output, SISO)-OFDM sistemleri için bu konuda bir çok çalışma yapılmıştır [2][3]. Fakat bu yöntemler direk olarak çoklu anten içeren sistemlere uygulanamaz çünkü alıcıdaki sinyal birçok verici antenden gelen sinyallerin üstüste binmesiyle oluşur. Dolayısıyla bu sinyalin içerisinde birçok antene ait kanal bilgisi vardır. STBC-OFDM sistemleri için pilot sembol tabanlı kanal kestirim teknikleri önerilmiştir [4]. Bu tekniklerin sınırlı performansa sahip olmalarından dolayı performansı arttırmak için EM algoritması [5] kanal kestiriminde kullanılmıştır.

[6]'da zaman alanında EM algoritması Uzay-zaman Trellis Kodlu (STTC)-OFDM sistemler için kullanılmıştır. Bu algoritma değiştirilerek [7]'de STBC-OFDM ve Uzay-Frekans Blok Kodlu (SFBC)-OFDM sistemler için önerilmiştir. Bu uzay-zaman kodlarıyla kullanılan EM tabanlı algoritmalarda üstüste binen sinyallerin ayrıştırılmasından faydalanılmıştır [8]. Alınan sinyallerin ayrıştırılması esnasında gürültü de keyfi bir katsayı seçilerek ayrıştırılmaktadır [6][7]. İyi bir performans için bu katsayının düzgün seçilmesi gerekmektedir. Ayrıca bu algoritmalarda kanal katsayılarının güncelleştirilmesi esnasında karmaşıklığın artmasına sebep olan matris tersi alınması gerekmektedir.

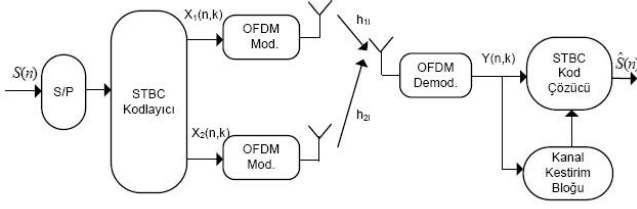
Zaman alanında kanal kestirim yapan bu algoritmaların dezavantajlarının giderilmesi için biz STBC-OFDM sistemler için frekans alanında EM tabanlı bir kanal kestirim algoritması önerdik [9]. Önerilen algoritmada alttaşıyıcıların kanal katsayıları ayrı ayrı kestirildiği için matris tersi işlemi kullanılmadı. Herhangi bir ayrıştırma işlemi söz konusu olmadığından keyfi bir ayrıştırma katsayısı seçilmedi. Böylece, sistemin hesaplama karmaşıklığı herhangi bir performans kaybı olmadan düşürüldü. Bu bildiride ise önerdiğimiz bu algoritma için başlangıç kanal kestiriminde pilot sembol sayısı düşürülerek ardışıl bir kanal kestirim tekniği kullanılması önerildi. Böylece bant genişliğinin daha verimli kullanılması sağlandı.

2. STBC-OFDM Sistem Modeli

Bu bölümde, bu çalışmada kullanmış olduğumuz iki verici ve bir alıcı antenden oluşan Alamouti STBC-OFDM sistem modeli incelenecek. Öncelikle Şekil 1'de görüldüğü gibi n 'inci zamanda bir veri bloğu $S(n, k)$, $k=0,1,2,\dots,K-1$ k : alttaşıyıcı indisi) iki farklı sembol bloğuna, $X_i(n, k)$ kodlanıyor. Bu sembol blokları iki art arda zamanda aşağıdaki gibi gösterilebilir:

$$\begin{aligned} X_1(n, k) &= S(n, k), & X_1(n+1, k) &= -S(n+1, k)^* \\ X_2(n, k) &= S(n+1, k), & X_2(n+1, k) &= S(n, k)^* \end{aligned} \quad (1)$$

burada $(.)^*$ karmaşık eşleşme ifade eder ve $n=0,2,4,\dots,N-1$.



Şekil 1: Alamouti STBC-OFDM Sistem Modeli.

K uzunluklu bir Ters Hızlı Fourier Dönüşümü (Inverse Fast Fourier Transform, IFFT) uygulanan veri sembolleri aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$x_i(n, m) = \frac{1}{K} \sum_{k=0}^{K-1} X_i(n, k) e^{j\frac{2\pi m k}{K}}, \quad i = 1, 2. \quad (2)$$

IFFT işleminden sonra verici kısmında semboller arası girişimi engellemek için çevrimsel öntakı eklenir. Daha sonra aynı anda iki farklı OFDM sembolü farklı antenlerden gönderilir. Birinci ve ikinci antenden sırasıyla n 'inci zamanda $x_1(n, m)$ ve $x_2(n, m)$, $(n+1)$ 'inci zamanda $-x_2^*(n, m)$ ve $x_1^*(n, m)$ sembolleri gönderilir. Alıcı kısmında çevrimsel öntakı çıkarılır ve Hızlı Fourier Dönüşümü (Fast Fourier Transform, FFT) uygulanır. Frekans ortamında elde edilen veri:

$$Y(n, k) = \sum_{i=1}^2 X_i(n, k) H_i(n, k) + N(n, k), \quad (3)$$

yukarıda verilen formülle ifade edilebilir. Burada $H_i(n, k)$, frekans ortamında k 'inci alttaşıyıcı ve n 'inci OFDM sembol için i 'inci verici anten ve alıcı anten arasındaki karmaşık kanal katsayılarını, $N(n, k)$ ise beklenen değeri sıfır, varyansı σ_N^2 olan toplanabilir beyaz Gauss gürültüsünü ifade etmektedir. Kanalın hemen hemen durağan olduğu kabul edilerek, $H_i(n, k) = H_i(n+1, k) = H_i(k)$, ($n = 0, 2, 4, \dots$) eşitliği elde edilir. Alıcıda demodüle edilen $Y(n, k)$ ve $Y(n+1, k)$ sembolleri kod çözme bloğundan geçirilerek,

$$\begin{aligned} \tilde{S}(n, k) &= H_1^*(k)Y(n, k) + H_2(k)Y^*(n+1, k) \\ \tilde{S}(n+1, k) &= H_2^*(k)Y(n, k) - H_1(k)Y^*(n+1, k) \end{aligned} \quad (4)$$

yumuşak karar sembolleri elde edilir. Daha sonra bu elde edilen semboller sabit karar sembollerine çevrilererek gönderilen veri sembolleri elde edilmiş olur. Gönderilen verilerin düzgün elde edilebilmesi için doğru kanal bilgisine ihtiyaç vardır. Bu nedenle bundan sonraki bölümlerde kanal kestirim algoritmaları üzerinde durulacaktır.

3. Pilot Sembollerle Kanal Kestirimi

Pilot semboller yardımıyla kanal kestirimi çok kullanılan ve iyi sonuçlar veren güvenilir bir kanal kestirim yöntemidir. Bu yöntemde frekans-zaman örgüsünde belli noktalara pilot semboller yerleştirilir ve bu semboller kullanılarak çeşitli

algoritmalarla kanal katsayıları kestirilir. STBC-OFDM sistemlerde pilotlarla kanal kestirimi ayrı antenlerden aynı frekansta pilot semboller gönderilerek yapılabilir. Bu sebeple alıcı kısmında alınan sinyal iki farklı antenden gelen sembollerin üstüste binmesiyle oluşur. Bu durum kanal kestirim işlemini SISO sistemlere göre daha karmaşık bir hale dönüştürür. Bu problemi kolaylaştırmak için pilot semboller uzay-zaman blok kodları şeklinde gönderilirler [4]. Biz bu çalışmada Şekil 2'de görüldüğü gibi bant genişliğini daha verimli kullanmak amacıyla sadece frekans ekseninde pilot semboller yerleştirdik ve ardışıl bir kanal kestirim tekniği kullandık. Şekilden de anlaşıldığı gibi birinci ve ikinci antenlerden sırasıyla n 'inci zamanda *pilot1* ve *pilot2*, $n+1$ 'inci zamanda ise $-pilot2^*$ ve *pilot1** gönderilmektedir. Alıcıda alınan sinyal modeli matris formunda yazılacak olursa;

$$\underline{Y}_{pilot} = \underline{X}_{pilot} \underline{H}_{pilot} + \underline{N}_{pilot} \quad (5)$$

burada

$$\begin{aligned} \underline{Y}_{pilot} &= [Y(n, k_p) \quad Y(n+1, k_p)]^T \\ \underline{X}_{pilot} &= \begin{bmatrix} X_1(n, k_p) & X_2(n, k_p) \\ -X_2^*(n, k_p) & X_1^*(n, k_p) \end{bmatrix} \\ \underline{H}_{pilot} &= [H_1(k_p) \quad H_2(k_p)]^T \\ \underline{N}_{pilot} &= [N_1(n, k_p) \quad N_2(n+1, k_p)]^T. \end{aligned}$$

Denklem (5)'te, k_p pilot sembollerin bulunduğu alttaşıyıcı indisini, $Y(n, k_p)$ ve $Y(n+1, k_p)$ ise n 'inci ve $n+1$ 'inci zamanlarda alınan sinyali temsil etmektedir. Daha öncede bahsedildiği gibi STBC-OFDM sisteminde i 'inci verici anten ve alıcı anten arasındaki kanal katsayıları iki peşpeşe zamanda $H_i(n, k_p) = H_i(n+1, k_p) = H_i(k_p)$, ($n=0,2,4,\dots$ ve $i=1,2$) olarak varsayılmıştır. Yukarıdaki denklem ifadeleri peşpeşe iki zaman için daha basitleştirilerek yazılacak olursa:

Zaman n :

$$Y(k_p) = X_1(k_p)H_1(k_p) + X_2(k_p)H_2(k_p) + N(k_p) \quad (6)$$

Zaman $n+1$:

$$Y(k_p) = -X_2^*(k_p)H_1(k_p) + X_1^*(k_p)H_2(k_p) + N(k_p). \quad (7)$$

Pilotların bulunduğu yerlerdeki kanal katsayıları denklem (6) ve (7) kullanılarak aşağıdaki gibi kestirilebilir:

$$\begin{aligned} \hat{H}_1(k_p) &= \frac{1}{2}(Y(n, k_p)X_1^*(n, k_p) - Y(n+1, k_p)X_2(n, k_p)) \\ \hat{H}_2(k_p) &= \frac{1}{2}(Y(n, k_p)X_2^*(n, k_p) + Y(n+1, k_p)X_1(n, k_p)) \end{aligned} \quad (8)$$

bu ifadelerde sinyal gücünün 1'e normalize edildiği varsayılmıştır. Her iki antene ait kestirilen kanal katsayılarını frekans eksenini boyunca vektör şeklinde yazacak olursak:

$$\begin{aligned} \underline{\hat{H}}_1 &= [\hat{H}_1(1), \hat{H}_1(D_f+1), \dots, \hat{H}_1((N_f-1)D_f+1)]^T \\ \underline{\hat{H}}_2 &= [\hat{H}_2(1), \hat{H}_2(D_f+1), \dots, \hat{H}_2((N_f-1)D_f+1)]^T \end{aligned} \quad (9)$$

burada D_f pilot sembollerin frekans eksenini boyunca aralarındaki mesafeyi, N_f ise frekans eksenini boyunca kullanılan toplam pilot sayısını göstermektedir. Pilotların olduğu yerlerdeki kanal katsayıları kestirildikten sonra frekans eksenini boyunca Ayrık Zamanlı Fourier Dönüşümü (Discrete Fourier Transform, DFT) tabanlı aradeğerleme tekniği kullanılarak tüm alttaşıyıcılar için kanal katsayıları elde edilir. Öncelikle frekans alanındaki kanal katsayıları aşağıdaki gibi zaman alanına dönüştürülür:

$$\hat{h}_1 = \mathbf{F}^{-1} \hat{H}_1, \quad \hat{h}_2 = \mathbf{F}^{-1} \hat{H}_2 \quad (10)$$

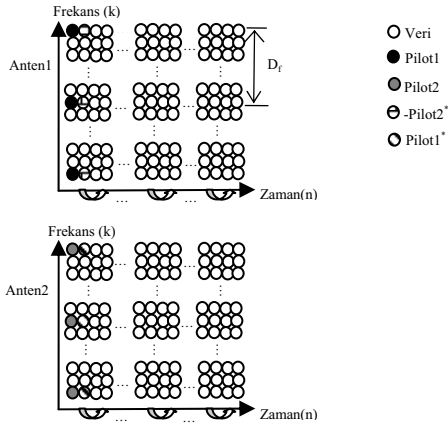
burada \mathbf{F} , $N_f \times N_f$ boyutundaki DFT matrisini temsil etmektedir. Kanalin dal sayısının L_f ile sınırlı olduğunu varsayarak, filtrelenmiş bir kanal cevabı elde etmek için \hat{h}_1 ve \hat{h}_2 bir filtreden geçirilir:

$$\hat{h}_1^{(0)} = \mathbf{W} \hat{h}_1, \quad \hat{h}_2^{(0)} = \mathbf{W} \hat{h}_2. \quad (11)$$

Yukarıdaki denklemde \mathbf{W} , $L_f \times N_f$ boyutlu filtreleme matrisidir. Daha sonra elde edilen ifadeler DFT uygulanarak n 'inci OFDM sembol için başlangıç kanal kestirimleri elde edilir:

$$\hat{H}_1^{(0)} = \mathbf{V} \hat{h}_1^{(0)}, \quad \hat{H}_2^{(0)} = \mathbf{V} \hat{h}_2^{(0)}, \quad (12)$$

bu formüle \mathbf{V} , $K \times K$ 'lık DFT matrisinin ilk L_f kolonundan oluşan $K \times L_f$ boyutlu bir matristir.



Şekil 2: STBC-OFDM için Önerilen Ardışıl Pilot Yerleşimi.

4. Önerilen Algoritma

Biz bu çalışmada [9]'da önerdiğimiz, STBC-OFDM sistemlerinde kanal katsayılarını EM algoritması kullanarak frekans alanında yinelemeli olarak kestiren algoritmanın başlangıç kanal kestiriminde farklı bir pilot yerleşimi kullanılarak pilot sayısının düşürüldüğü bir yöntem önerdik. Şekil 2' deki gibi pilot semboller sadece frekans alanında yerleştirildi ve başlangıç kanal kestirimi tüm bir çerçeve boyunca ardışıl olarak elde edildi. Daha sonra da elde edilen bu kanal katsayılarının iyileştirilmesi için [9]'da önerilen algoritma uygulandı. Bu algoritmada kestirim işlemi her bir alttaşıyıcıya ayrı ayrı uygulandı. Sinyal ve gürültü için bir ayırıştırma işlemi yapılmadı. Bunun dışında karşılaştırma yaptığımız STBC-OFDM sistemler için zaman alanındaki EM kanal kestirim algoritmasında [7] tüm kanal katsayılarını bulmak için gönderilen verilerin bilinmesi gerekiyorken bizim önerdiğimiz algoritmada böyle bir gereklilik bulunmamaktadır. Birinci ve ikinci antenden gelen ve bilinmeyen bu veri sembollerinin ikişerli olasılıkları hesaplanarak bu sembolere karar verilmektedir. Gauss'un gürültü varsayımı kullanılarak verilen \mathbf{X} ve \underline{H} değerleri için \underline{Y} 'nin olasılık yoğunluk fonksiyonu (pdf) iki peşpeşe zaman için aşağıdaki gibi hesaplanır.

Zaman n :

$$f(Y(n, k)|\mathbf{X}, \underline{H}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp \left\{ -\frac{1}{2\sigma^2} |\Phi(1)|^2 \right\} \quad (13)$$

Zaman $n+1$:

$$f(Y(n+1, k)|\mathbf{X}, \underline{H}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp \left\{ -\frac{1}{2\sigma^2} |\Phi(2)|^2 \right\}. \quad (14)$$

Burada $\underline{\Phi} = \underline{Y} - \mathbf{X}\underline{H}$ ve $\underline{Y} = [Y(n, k) \ Y(n+1, k)]^T$, $\underline{H} = [H_1(k) \ H_2(k)]^T$, $\mathbf{X} = \begin{bmatrix} X_1(n, k) & X_2(n, k) \\ -X_2^*(n, k) & X_1^*(n, k) \end{bmatrix}$.

Denklem (13) ve (14)'te birinci ve ikinci antenden gelen veri sembollerini içeren \mathbf{X} matrisi bilinmelidir. Birinci ve ikinci antenden aynı anda gönderilen bu semboller C adet farklı değer alırlar. Bu C değeri modüleli sembollerin ikişerli tüm olasılıklarını kapsayan bir küme olup kullanılan modülasyon tipine göre değişmektedir. Örneğin QPSK modülasyon kullanıldığında işaret kümesi büyüklüğü 4 ve $C=16$ 'dır.

Her iki antenden gönderilen olası tüm semboller kullanılarak verilen \underline{H} değeri için $Y(n, k)$ ve $Y(n+1, k)$ 'nın pdf'leri aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

Zaman n :

$$f(Y(n, k)|\underline{H}) = \sum_{l=1}^C \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2} C} \exp \left\{ -\frac{1}{2\sigma^2} |\Phi_l(1)|^2 \right\} \quad (15)$$

Zaman $n+1$:

$$f(Y(n+1, k)|\underline{H}) = \sum_{l=1}^C \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2} C} \exp \left\{ -\frac{1}{2\sigma^2} |\Phi_l(2)|^2 \right\} \quad (16)$$

bu formüllerde $\underline{\Phi}_l = \underline{Y} - \mathbf{X}_l \underline{H}$ ve \mathbf{X}_l tüm olası sembollerini içeren l adet farklı değer alan bir matristir. ($l = 1, \dots, C$)

Kanal kestirim performansını arttırmak için başlangıçta kestirilen kanal katsayılarına EM algoritması uygulayabiliriz. EM algoritması uygulandıktan sonra elde edilen güncel kanal katsayıları:

$$\hat{H}^{(p+1)} = \left[\sum_{l=1}^C \mathbf{X}_l^* \mathbf{X}_l \alpha_l \right]^{-1} \left[\sum_{l=1}^C \mathbf{X}_l^* \underline{Y} \alpha_l \right] \quad (17)$$

denklemleri ile verilebilir. Burada α_l skalar bir değer, p yineleme değeri ve $\hat{H}^{(p+1)} = [\hat{H}_1^{(p+1)} \ \hat{H}_2^{(p+1)}]^T$ 'dir. (17) denklemindeki α_l değerinin seçilmesi kanal katsayılarının gerçek değerlere yakınsaması için çok önemlidir. Bu değer normalize edilmiş pdf'lerin oluşturduğu \underline{G}_l vektöründen seçilir. Bu vektör (13-16) denklemleri kullanılarak:

$$\underline{G}_l = \begin{bmatrix} \frac{f(Y(n, k)|\underline{H}^{(p)}, \mathbf{X}_l)}{f(Y(n, k)|\underline{H}^{(p)})} & \frac{f(Y(n+1, k)|\underline{H}^{(p)}, \mathbf{X}_l)}{f(Y(n+1, k)|\underline{H}^{(p)})} \end{bmatrix}^T \quad (18)$$

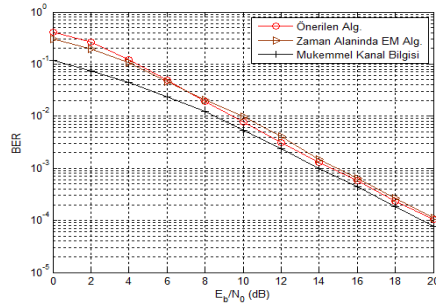
şeklinde bulunur. Bu vektörden α_l değerini seçmek için biz aşağıdaki eşitliği öneriyoruz [9]:

$$\alpha_l = \min\{G_l(1), G_l(2)\} \quad l = 1, \dots, C. \quad (19)$$

Denklem (17)'de kanal katsayıları güncellendikten sonra gürültüden arındırılmak için (10-12)'de açıklandığı gibi bir alçak geçiren filtreden geçirilir ve böylece gerçek değerlere yakın güncel kanal katsayıları elde edilmiş olur.

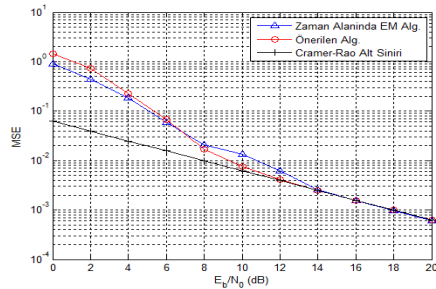
5. Bilgisayar Benzetim Sonuçları

Bu bölümde başlangıç kanal kestiriminde düşük pilot sayılarının kullanıldığı STBC-OFDM sistemleri için önerilen frekans alanındaki ve varolan zaman alanındaki EM kanal kestirim algoritmaları [7] BER, MSE ve EM algoritmasındaki döngü sayıları incelenerek karşılaştırıldı. Benzetimde iki verici bir alıcı antenden oluşan Alamouti STBC-OFDM sistemi kullanıldı. Kanal olarak 8 dallı, zamanla değişen ve Doppler frekansı 100Hz olan çok yollu bir kanal kullanılmıştır. Her bir OFDM sembolünde kullanılan alttaşıyıcı birbirine dik olmasını sağlamak amacıyla 20 μ s öntaki süresi ile birlikte toplam OFDM sembol süresi 100 μ s alınmıştır. Sistemde modülasyon tipi olarak QPSK kullanılmıştır. Bir OFDM çerçevesinde kullanılan OFDM sembol sayısı 64 olarak seçilmiştir. Başlangıç kanal kestiriminde sadece ilk OFDM sembollere pilot yerleştirilmiş ve ardışıl bir kanal kestirim tekniği uygulanmıştır. Frekans alanında pilotlar arasındaki mesafe $D_f = 8$ olarak seçilmiştir. Bu bildiride başlangıç kanal kestiriminde kullanılan pilot sayısının [9]'dakine oranı 1/8' dir.



Şekil 3: Karşılaştırılan yöntemlerin Bit Hata Oranları.

Şekil 3'te algoritmaların bit hata olasılıkları karşılaştırılmış ve önerilen algoritmanın zaman alanındaki EM algoritmasıyla aynı sonucu verdiği ve yüksek E_bN_o değerlerinde mükemmel kanal bilgisine yaklaştığı gözlenmiştir.

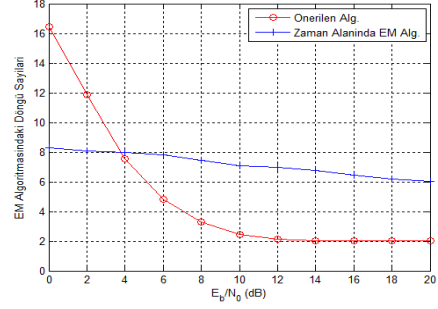


Şekil 4: Kanal Kestirim Başarım Sonuçları.

Şekil 4'te kanal kestirim başarımlarını gösteren MSE değerleri karşılaştırılmış ve önerilen algoritmanın yine zaman alanındaki algoritma ile aynı başarıma sahip olduğu ve yüksek E_bN_o değerlerinde Cramer-Rao Alt Sınırına yaklaştığı gösterilmiştir.

Şekil 5'te ise her iki algoritmanın da EM içerisindeki döngü sayıları karşılaştırılmıştır. Görüldüğü gibi önerilen algoritma düşük E_bN_o değerlerinde daha fazla yinelemeye ihtiyaç duymuş fakat $E_bN_o=4dB$ 'den sonra önerilen algoritmanın ihtiyaç duyduğu yineleme sayısı azalmıştır. Mesela zaman alanındaki algoritmanın $E_bN_o=10dB$ 'de ihtiyaç

duyduğu yineleme sayısı yaklaşık 7, önerilen algoritmanın ise yaklaşık 3'tür. Buda bize önerilen algoritmanın karmaşıklığının daha az olduğunu göstermiştir.



Şekil 5: EM Algoritması'ndaki Döngü Sayıları.

6. Sonuçlar

STBC-OFDM sistemler için önerdiğimiz, frekans alanında EM yardımıyla kanal katsayılarını kestiren algoritmada başlangıç kanal kestiriminde kullanılan pilot sembol sayısı düşürülerek ardışıl bir kanal kestirim tekniği önerildi. Böylece bant genişliğinin daha verimli kullanılması sağlandı. Ayrıca, varolan zaman alanındaki EM algoritmasıyla karşılaştırıldı ve performans kaybı olmadan karmaşıklığı azalttığı bilgisayar benzetimleriyle gösterildi.

7. Kaynakça

- [1] S. M. Alamouti, "A simple transmit diversity technique for wireless communications", *IEEE Journal on Select Areas in Communications*, cilt. 16, n. 08, s. 1451-1458, Ekim 1998.
- [2] J. J. Van de Beek ve diğ. "On channel estimation in OFDM systems.", *Proceedings of IEEE VTC95, Chicago*, cilt. 2, s. 815-819, 1995.
- [3] S. Coleri, M. Ergen, A. Puri, A. Bahai, "Channel estimation techniques based on pilot arrangement in OFDM systems", *IEEE Transactions on Broadcasting*, cilt. 48, n. 03, s. 223-229, 2002.
- [4] J. Guo, D. Wang, C. Ran, "Simple channel estimator for STBC-based OFDM systems", *Electronics letters*, cilt. 39 s. 445-447, 2003.
- [5] A. P. Dempster ve diğerleri, "Maximum likelihood from incomplete data via the EM algorithm", *J. Royal Statistical Soc., Ser. R.*, cilt. 39, n. 1, s. 1-38, 1977.
- [6] Y. Xie and C. N. Georghiadis, "An EM-based channel estimation algorithm for OFDM with transmitter diversity", in *Proc. of Globecom'01*, s. 871-875, 2001.
- [7] X. Ma, Kobayashi, H., Schwartz, S.C., "An EM-based channel estimation algorithm for space-time and space-frequency block coded OFDM", *ICASSP*, cilt. 4, s. 389-392, Nisan 2003.
- [8] M. Feder and E. Weinstein, "Parameter estimation of superimposed signals using the EM algorithm", *IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing*, cilt. 36, n:4, s. 477-489, Nisan 1988.
- [9] Baştürk İ. , Özbek B. , " Iterative EM-Based Channel Estimation for STBC-OFDM" *IEEE Wireless Communications & Networking Conference (WCNC)*, Budapeşte, Nisan 2009.