



Alamouti Uzay-Zaman Kodlu ve Kuvvetlendir-Aktar Röleli Çeşitlemelerin OFDM İşaretleri için Başarım Karşılaştırması

Ahmet Oturak¹, Hakan Kaya², Ertan Öztürk^{2*}

¹Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Alaplı MYO, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Alaplı, Zonguldak

²Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Müh. Bölümü, Zonguldak

Özet

İletişim sistemlerinde çeşitleme uygulanması, hata oranı başarımını iyileştirmektedir. Farklı çeşitleme tekniklerinden ikisi; uzay-zaman çeşitleme ve işbirlikli çeşitlemedir. Bu çalışmada Dik Frekans Bölmeli Çoğullama (Orthogonal Frequency Division Multiplexing-OFDM) uygulanmış işaretlerin bu iki çeşitleme yöntemiyle sembol hata oranı başarımları hesaplanıp karşılaştırılmıştır. Uzay-zaman kodlu çeşitleme için iki verici bir alıcı antenli Alamouti yapısı ve işbirlikli çeşitleme için tek röleli kuvvetlendir-aktar yapı göz önüne alınmıştır. Her iki sistemin de verici çeşitleme derecesi ikidir. Kanal modelinin, iletilen işaretin dar bant çoklu taşıyıcılı işaret olmasından dolayı, her bir taşıyıcı frekansı için Rayleigh düz sönümlenmeli olduğu kabul edilmiştir. Kullanılan modülasyon tekniği faz kaydırmalı anahtarlamadır. Farklı modülasyon seviyeleri (4, 16 ve 64) için her iki çeşitleme tekniği kullanılarak başarımlar teorik olarak ve benzetimle elde edilmiştir. Sonuçlar Alamouti yapısının, tek röleli işbirlikli iletişime göre daha iyi başarımlar verdiğini göstermektedir.

Anahtar kelimeler: İşbirlikli çeşitleme, Uzay-zaman çeşitleme, Alamouti, OFDM.

Performance Comparison of Alamouti Space-Time Coded and Amplify-Forward Relay Diversities for OFDM Signals

Abstract

Diversity implementation improves the error rate performance of communication systems. Two diversity techniques among various of them are space-time diversity and cooperative diversity. In this study, symbol error rate performances of space-time and cooperative diversities for Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) signals are compared. A simple space-time diversity, Alamouti scheme with two transmitter and one receiver antennas, and a cooperative diversity with single relay amplify-and-forward structure are considered. Both can achieve a transmit diversity order of 2. The considered channel model is a Rayleigh flat fading per carrier frequency due to narrow-band multi-carrier transmitted signal. For modulation technique, phase shift keying (PSK) modulation is used. By using both of diversity techniques, performance results are obtained by theoretically and by simulation for different modulation levels (4, 16 ve 64) of PSK. Results show that the Alamouti scheme achieves better symbol error performance than the single relay cooperative diversity.

Keywords: Cooperative Diversity, Space Time Diversity, Alamouti, OFDM.

1. Giriş

Dik Frekans Bölmeli Çoğullama (Orthogonal Frequency Division Multiplexing-OFDM) tekniği geniş bant verilerin, birbirine dik dar-bant alt

taşıyıcılarla iletiildiği, böylece kanalın frekans seçiciliğinin yok edilerek semboller arası karışımın oluşmasının engellendiği, dolayısıyla alıcı karmaşıklığının azaltılmasının sağlandığı bir tekniktir. OFDM'in Ayırık Fourier Dönüşümü (Discrete Fourier Transform-DFT) ve ters DFT

*Sorumlu yazarın e-mail adresi: eozturk@karaelmas.edu.tr

(inverse DFT-IDFT) ile gerçekleşmesi, OFDM'in sayısal olarak kolay ve ucuz bir şekilde uygulanabilmesine imkan vermektedir. Her ne kadar OFDM 90'lı yıllardan itibaren geliştirilen bazı teknolojilerde (ADSL, DAB gibi) kullanılsa da, özellikle son yıllarda yukarıda bir kısmından bahsedilen avantajlarından dolayı yeni nesil iletişim sistemlerinde de sıklıkla kullanılmaktadır. Örneğin LTE ve dördüncü nesil hücresel sistem, kablosuz LAN (802.11a/g/n), gezgin geniş-bant kablosuz teknoloji WiMAX (802.16e) sistemlerde OFDM kullanılmaktadır (Fazel and Kaiser 2008).

Günümüzde iletişim sistemlerinin başarımı çeşitleme (diversity) teknikleri kullanılarak da artırılmaktadır. Çeşitleme tekniği ile verilerin bağımsız kopyaları yollanarak kanalın bozucu etkisi azaltılabilmektedir. Frekans, zaman ve uzay çeşitleme en çok uygulananlarıdır. Uzay çeşitlemesi ile verinin bağımsız kopyaları farklı antenler ile yollar. Bu sayede veriler bağımsız yollardan ve her bir yola bağlı farklı sönümlenmeye maruz kalmış olarak alıcıya ulaşır. Bu yöntem uzay çeşitlemesinin altında, verici çeşitlemesi olarak bilinir. Ayrıca alıcıda da birden fazla anten kullanılarak, alıcı anten çeşitlemesi de uygulanabilir. Hem verici hem alıcı anten çeşitlemesinin birlikte var olduğu sistemler çoklu giriş çoklu çıkış (Multiple input multiple output- MIMO) sistemler olarak bilinirler. Uzay çeşitlemesinin, zaman çeşitlemesi (kodlama) ile birlikte kullanılması uzay-zaman kodlama tekniği olarak isimlendirilir. Zaman kodlama olarak Blok kodlar veya kafes kodlar kullanılır (Goldsmith 2005). Uzay-zaman kodlar hem çeşitleme kazancından hem de kod kazancından birlikte faydalanan bir tekniktir. Bu tekniğin basit bir yapısı, Alamouti kodlamadır (Alamouti 1998). Alamouti kodlama iki verici ve bir/birden fazla alıcı anten yapısının Blok kodlama ile birlikte kullanıldığı bir tekniktir.

Diğer yandan uzay çeşitleme yönteminin gezgin cihaz-baz istasyonu (uplink) yönünde uygulanabilirliği fiziksel kısıtlamalardan dolayı düşüktür, çünkü çeşitlemenin sağlanabilmesi için gezgin cihazda antenler arası mesafenin en az iletilen işaretin yarım dalga boyu kadar olması gerekmektedir (Goldsmith 2005). Bu sorunu aşmak ve çeşitleme kazancı sağlamak için hücre içerisindeki gezgin cihazların işbirliği yapılmaktadır. Bu yöntemde hücre içerisindeki tek antenli her bir cihaz sadece kendi verilerini değil, işbirliği içerisinde olduğu cihazın verilerini alıp yollamakla da

sorumludur (Sendonaris et al. 2003). Aktarma yapan cihaz röle (relay) olarak adlandırılır. Verici ve röleler iletim işaretlerini alıcıya ileterek, Alamouti kodlamada olduğu gibi verici çeşitlemesi sağlanır. Ana başlık olarak, iki tür işbirlik yöntemi vardır; Kuvvetlendir-Aktar Röleli (Amplify and Forward-AF) ve Çöz ve Aktar Röleli (Decode and Forward-DF). Her iki işbirlik yöntemi de tam çeşitleme sağlar (Laneman et al. 2004). Birincisinde, röle aldığı işareti kuvvetlendirir ve alıcıya aktarır; ikincisinde röle aldığı işareti önce çözer ve karar verir, sonra alıcıya aktarır.

Literatürde, genellikle Alamouti kodlama ve işbirlikli çeşitleme birlikte kullanılarak başarıma olan etkileri incelenmektedir (Li and Xia 2007, 2008, Abdaoui et. al. 2010). Yukarıdaki ilk iki çalışmada iki röleli ve DF işbirlikli çeşitleme OFDM işaretler için Alamouti kodlamaya uygulanmıştır (Li and Xia 2007, 2008, Abdaoui et al. 2010)' de tek röleli ve AF işbirlikli çeşitleme uygulanmıştır, ancak iletilen işaret OFDM' sizdir. Bir diğer çalışmada çoklu röleli AF işbirlikli ve Alamouti çeşitlemeler ayrı ayrı OFDM' siz uygulanmıştır ve işbirlikli iletişim için üst ve alt sınır bit hata oranı ifadeleri türetilmiştir (Xia et al. 2009).

Bu çalışmada yukarıda anlatılan iki çeşitleme tekniği OFDM işaretlerin iletimine ayrı ayrı uygulanmıştır. Birincisinde OFDM işaretlerin iki verici bir alıcı antenli (2x1) Alamouti yapısında alıcıya iletimi, diğerinde ise OFDM işaretlerin bir röleli AF işbirliği ile alıcıya iletimi göz önüne alınmıştır. Birincisinde uzay çeşitlemesi, ikincisinde işbirlikli çeşitleme mevcuttur ve her iki sistemde de verici çeşitleme derecesi ikidir. Günümüzde çok yüksek veri iletim hızları beklendiği için bu sistemde kullanılan faz kaydırmalı anahtarlama (Phase Shift Keying-PSK) modülasyon tekniğinde modülasyon seviyesi (M) 4, 16 ve 64 değerlerinde alınmıştır. İki çeşitleme tekniğinin OFDM işaretleri için Rayleigh düz sönümlenmeli kanalda sembol hata oranlarının (SHO) teorik olarak ve benzetimle elde edilip, birbirleriyle karşılaştırılması çalışmanın özgün yönlerindenidir.

Makalenin ikinci bölümünde OFDM tekniği kısaca anlatılmıştır, üçüncü bölümünde Alamouti uzay-zaman blok kodlama tekniği ve OFDM'e uygulanması, başarımla ifadesiyle kısaca anlatılmışlardır. Dördüncü bölümünde kuvvetlendir aktar röleli işbirlikli iletişim ve başarımla ifadesi verilmiştir. Beşinci bölümde, teorik ifadelerle elde edilen nümerik başarımla sonuçları ile benzetimle elde

edilen nümerik başarımlar sonuçları karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Altıncı bölümde elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır.

2. OFDM İşaret Yapısı

Çoklu taşıyıcı olan OFDM işaretler; temel bant modülasyonlu (karmaşık) verilerin seri/paralel dönüşümle veri iletim hızlarının dolayısıyla bant genişliklerinin taşıyıcı sayısıyla orantılı olarak azaltılması ve sonra IDFT uygulanmasıyla elde edilir. Aşağıdaki ifadede $\{X_i\}$ karmaşık sembollerine N boyutlu IDFT uygulanmasıyla elde edilen N taşıyıcı, bir ayrık zaman OFDM sembolü verilmiştir;

$$x_n = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{i=0}^{N-1} X_i \exp(j2\pi ni / N), \quad 0 \leq n \leq N-1 \quad (\text{IDFT}) \quad (1)$$

Daha sonra verici çıkışında OFDM sembolleri RF taşıyıcı ile modüle edilirler. Alıcıda ise, önce RF frekansla de-modülasyona tabi tutulan OFDM semboller, aşağıda verilen ayrık Fourier dönüşümü uygulanarak karmaşık sembollere geri dönüştürülürler;

$$X_i = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{n=0}^{N-1} x_n \exp(-j2\pi ni / N), \quad 0 \leq i \leq N-1 \quad (\text{DFT}) \quad (2)$$

$\{X_i\}$ karmaşık sembollerinden temel bant de-modülasyonla veri bitleri geri elde edilirler (Öztürk, 2010).

OFDM' in en önemli özelliği geniş bant işareti, çok sayıda alt taşıyıcılarla dar bant işaret olarak iletilmesidir, taşıyıcı sayısının yeterince büyük seçilmesiyle, taşıyıcı bant genişlikleri kanalın uyumlu-bant genişliğinden daha küçük yapılar (veya taşıyıcı sembol süresi, kanal gecikme yayılımından büyük yapılar) kanalın düz sönümlemeli olması sağlanır. Yani alıcıda frekans secicilik, dolayısıyla da semboller arası karışım oluşmaz. Ancak kanalın sönümleme yapısından dolayı her bir alt taşıyıcı frekansı düz sönümlemeye maruz kalır. Kanalın alıcıda bilinmesi durumunda, her bir alt taşıyıcı frekans tek sönümleme katsayısıyla denkleştirilir.

3. Alamouti Uzay-Zaman Blok Kodlama

Uzay-zaman blok kodlamada kod iletim matrisiyle tanımlanır. Kod matrisi $n \times p$ boyutludur, burada n , girişte bir sembolü iletmek için kullanılan zaman dilimi sayısı ve p , verici anten sayısıdır (Tarokh, 1999). Uzay-zaman blok kodlarının en basit şekli Alamouti tarafından tasarlanmıştır. Basit Alamouti yapısında iki verici, bir alıcı anten (2×1) bulunur. Aşağıda Alamouti uzay-zaman blok kodlama verilmiştir (Alamouti 1998);

$$X = \begin{pmatrix} x_1 & x_2 \\ -x_2^* & x_1^* \end{pmatrix} \quad (3)$$

* sembolü eşleniği ifade eder. X matrisinde görüldüğü gibi sütunların sayısı $p=2$ olduğundan iki adet verici anten vardır, bir kod içinde iletilen sembol sayısı iki olup bunlar x_1 ve x_2 'dir. Satırların sayısı da iki olduğundan ($n=2$) her bir kod iki zaman diliminde iletilir. Verilen her hangi bir t anında x_1 ve x_2 sembolleri sırasıyla birinci ve ikinci antenlerden eş zamanlı olarak iletilirken, bir sonraki zaman diliminde de $-x_2^*$ ve x_1^* sembolleri sırasıyla birinci ve ikinci antenlerden eş zamanlı olarak iletilirler.

Alamouti uzay-zaman blok kod yapısı OFDM işaretlere uygulandığında, eşitlik (3)'teki X matrisinde x_1 ve x_2 sembolleri, $x_1 = x_{2i+1,j}^1$ ve $x_2 = x_{2i,j}^2$ biçiminde oluşturulur (Wang et. al, 2006). Bu ifadede $j=1,2,\dots,N$ 'dir ve N alt taşıyıcı sayısını gösterir. $x_1 = x_{2i+1,j}^1$ ifadesi birinci antenden $2i+1$ 'nci OFDM sembolünün j 'nci alt taşıyıcısında iletilen sembolü gösterirken, $x_2 = x_{2i,j}^2$ ifadesi ikinci antenden birinciyle eş zamanlı olarak $2i$ 'nci OFDM sembolünün j 'nci alt taşıyıcısında iletilen sembolü gösterir. Aynı şekilde $-x_2^*$ sembolü, bir sonraki zaman diliminde yine birinci antenden $2i+1$ 'inci OFDM sembolünün j 'nci alt taşıyıcısında iletilen sembolü gösterirken, x_1^* sembolü, ikinci antenden eş zamanlı olarak $2i$ 'nci OFDM sembolünün j 'nci alt taşıyıcısında iletilen sembolü gösterir.

Şekil 1'de 2×1 uzay-zaman Alamouti kodlu OFDM sistemin verici ve alıcı yapısı görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi h_1 ve h_2 , sırasıyla birinci verici-alıcı

ve ikinci verici-alıcı arasındaki karmaşık kanal katsayılarıdır. Kanalin yavaş sönmülemeli kanal olduğu varsayımıyla, karmaşık sönmüleme zarfının iki ardışık zaman diliminde sabit olduğu varsayılabilir. Bu nedenle,

$$h_1 = h_1(t) = h_1(t+T) \quad (4)$$

$$h_2 = h_2(t) = h_2(t+T) \quad (5)$$

dir. Her bir zaman diliminde alınan işarete bağımsız beyaz Gauss gürültü eklenir. Böylece alınan işaretler aşağıdaki ifadeyle verilirler (Alamouti, 1998),

$$r_1 = h_1x_1 + h_2x_2 + n_1 \quad (6)$$

$$r_2 = -h_1x_2^* + h_2x_1^* + n_2 \quad (7)$$

Burada r_1 ilk zaman diliminde alınan işaret iken r_2 , ikinci zaman diliminde alınır. Denklemlerde görüldüğü gibi r_1 orijinal sembollerden oluşurken r_2 bu sembollerin karmaşık eşleniklerinden oluşmaktadır. h_1 ve h_2 'nin kanal kestirimci tarafından hatasız belirlendiği varsayılmaktadır. Birleştirici çıkışından alınan \tilde{x}_1 ve \tilde{x}_2 sembolleri en büyük olabilirlikli seziciye verilir ve orijinal gönderilen \hat{x}_1 ve \hat{x}_2 sembolleri elde edilir. Burada birleştirici çıkışında \tilde{x}_1 ve \tilde{x}_2 sembolleri aşağıdaki gibidirler (Alamouti 1998),

$$\tilde{x}_1 = h_1^* r_1 + h_2 r_2^* \quad (8)$$

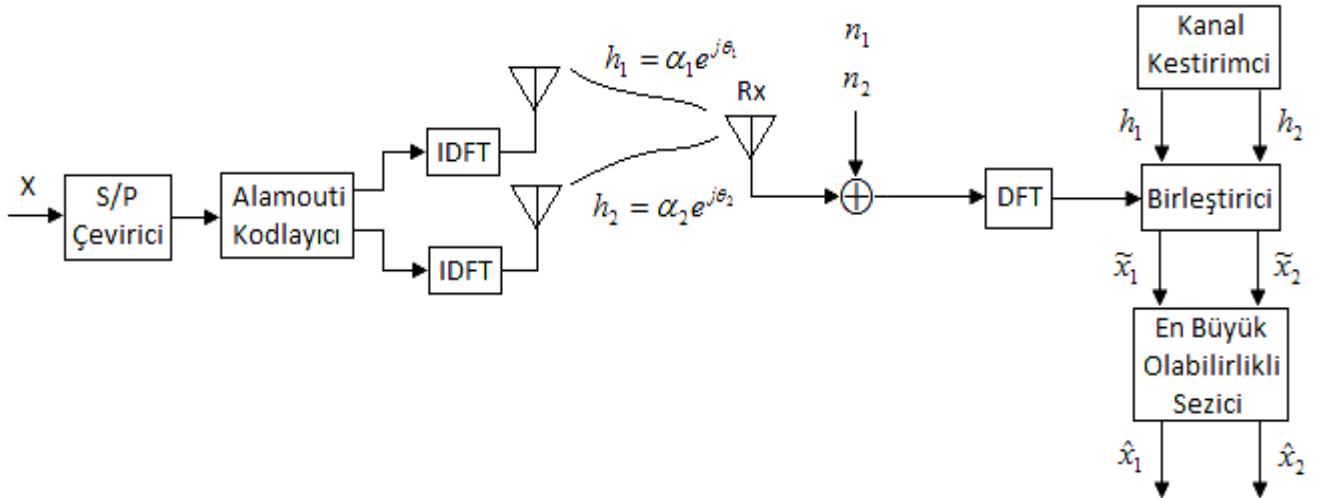
$$\tilde{x}_2 = h_2^* r_1 - h_1 r_2^* \quad (9)$$

En büyük olabilirlikli sezici, birleştirici çıkışındaki \tilde{x}_1 ve \tilde{x}_2 sembolleri ve orijinal gönderilen semboller arasındaki Euclidean mesafesine bağlı olarak en muhtemel sembollere karar verir. Birinci ve ikinci zaman dilimindeki semboller için işaret gürültü oranı (Signal to Noise Ratio-SNR) aşağıdaki ifadeyle verilir (Goldsmith 2005).

$$\gamma_i = \frac{(|h_1|^2 + |h_2|^2)kE_b}{2N_0}, \quad i=1,2 \quad (10)$$

burada E_b bit enerjisi ve k sembol başına bit sayısıdır ($k=\log_2M$), işaret gücü ise $P=kE_b/T_s$ dir (T_s sembol süresi).

Eşitlik (10)'da paydadaki 2 çarpanı, iki vericili Alamouti yapısında her bir sembolün toplam sembol enerjisi E_s 'nin yarısını kullanarak iletilmesinden kaynaklanmaktadır (Goldsmith 2005). Eşitlik (10)'daki SNR ifadesi kullanılarak, teorik sembol hata oranı ifadesi iki verici çeşitlemeli işaret için aşağıdaki gibi hesaplanabilir (Simon and Alouini 2005).



Şekil 1. 2x1 Uzay-Zaman Alamouti Yapısının OFDM 'e Uygulanması

$$SHO = \frac{1}{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \prod_{i=1}^2 M_{\gamma_i} \left(\frac{-a^2}{2 \sin^2(\phi)} \right) d\phi \quad (11)$$

burada $M_{\gamma_i}(\cdot)$ moment üreten fonksiyondur ve Rayleigh sönümlemeli kanal için

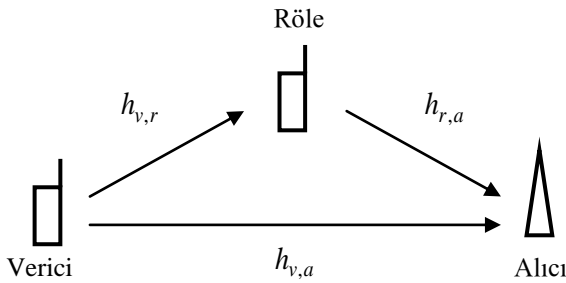
$$M_{\gamma_i} \left(\frac{-a^2}{2 \sin^2(\phi)} \right) = \left(1 + \frac{a^2 \gamma_i}{2 \sin^2(\phi)} \right)^{-1} \quad (12)$$

dır, MPSK modülasyonu için a^2 parametresi aşağıdaki gibidir,

$$a^2 = 2 \sin^2 \left(\frac{\pi}{M} \right). \quad (13)$$

4. Tek Röleli İşbirlikli İletişim

İşbirlikli haberleşmede, verici ve alıcı arasındaki bağımsız yollar röleler vasıtasıyla oluşturulur. Bu çalışmada tek röleli dolayısıyla iki atlamalı (hoplamalı) yapı göz önüne alınmıştır. Buradaki temel düşünce, direk yol haricinde vericiden gelen işaretin bir kopyasını röle aracılığıyla alıcıya Şekil 2'de görüldüğü gibi iletmektir.



Şekil 2. Tek Röleli İşbirlikli Haberleşme

İşbirlikli haberleşmenin gerçekleştirilmesi için giriş bölümünde anlatılan iki farklı yöntem mevcuttur, AF ve DF. DF yönteminde vericiden gelen işaretin yanlış çözülme olasılığı vardır ve yanlış çözülen bu bilgi alıcıya yanlış olarak gittiğinden bu bilginin bir anlamı yoktur. Bu durumda DF için çeşitleme derecesi birdir. Bu sorunun çözümü için Seçmeli Çöz ve Aktar metodunda geliştirilmiştir (Laneman et al, 2004). Bu yöntemde röleye gelen tüm işaretler alıcıya yollanmaz. Sadece belli bir işaret gürültü oranı üstündeki işaretler alıcıya çözüldükten sonra yollanır.

Bu çalışmada, basitliği ve etkinliğinden dolayı tek röleli AF işbirlik kullanılmıştır. AF işbirlik iki fazda incelenebilir. Birinci fazda veri işareti vericiden aynı anda hem alıcıya hem de röleye gönderilir. Bu fazda alıcı ve röle tarafından alınan işaretler sırasıyla aşağıdaki gibi gösterilirler (Weifeng Su et al. 2008),

$$y_{v,a} = \sqrt{P_v} h_{v,a} x + n_{v,a} \quad (14)$$

$$y_{v,r} = \sqrt{P_v} h_{v,r} x + n_{v,r} \quad (15)$$

burada x vericiden gönderilen işaret (bu çalışmada OFDM işareti), P_v verici gücü, P_r röle gücü; $h_{v,a}$ verici-alıcı, $h_{v,r}$ verici-röle arasındaki $\delta_{v,a}^2$ ve $\delta_{v,r}^2$ varyanslı kanal katsayıları ve $n_{v,a}$ $n_{v,r}$ sıfır ortalamalı N_0 varyanslı toplanır beyaz Gauss gürültüleridir.

İkinci fazda ise röleye gelen veri işareti, verici ve röle arasındaki kanalın etkisini dengelemek için β_r katsayısı ile çarpılarak kuvvetlendirilir ve alıcıya gönderilir (Weifeng Su et al., 2008);

$$y_{r,a} = \beta_r h_{r,a} y_{v,r} + n_{r,a} \quad (16)$$

burada kuvvetlendirme katsayısı

$$\beta_r = \frac{\sqrt{P_r}}{\sqrt{P_v |h_{v,r}|^2 + N_0}} \quad (17)$$

dır ve $h_{r,a}$ röle-alıcı arasındaki $\delta_{r,a}^2$ varyanslı kanal katsayısını, $n_{r,a}$ sıfır ortalamalı N_0 varyanslı toplanır beyaz Gauss gürültüsünü gösterir.

Alıcıya, vericiden gönderilen işaretin Eşitlikler (14) ve (16)'da görülen $y_{v,a}$ ve $y_{r,a}$ olmak üzere iki kopyası ulaşmaktadır. Bu iki işareti alıcıda birleştirmek için kullanılan tekniklerden birisi de Maksimum oran birleştirici (Maximal Ratio Combiner-MRC)'dir. Kanalin alıcıda bilindiği (hatasız kestirildiği) varsayımıyla MRC çıkışındaki işaret gürültü oranını maksimize etmek için $y_{v,a}$ ve $y_{r,a}$ sırasıyla a_1 ve a_2 katsayılarıyla çarpılarak çıkış işareti aşağıdaki gibi yazılabilir (Weifeng Su et al., 2008);

$$y = a_1 y_{v,a} + a_2 y_{r,a} \quad (18)$$

burada a_1 ve a_2 katsayıları sırasıyla aşağıdaki gibidirler;

$$a_1 = \frac{\sqrt{P_v} h_{v,a}^*}{N_0} \quad (19)$$

$$a_2 = \frac{\sqrt{\frac{P_v P_r}{P_v |h_{v,r}|^2 + N_0}} h_{v,r}^* h_{r,a}^*}{\left(\frac{P_r |h_{r,a}|^2}{P_v |h_{v,r}|^2 + N_0} + 1 \right) N_0} \quad (20)$$

Toplam güç verici ve röle güçlerinin toplamıdır:

$$P = P_v + P_r \quad (21)$$

Son olarak başarımlı ölçütü SHO ifadesi MPSK modülasyonu için aşağıda verilmiştir (Weifeng Su et al., 2008);

$$SHO = \frac{1}{\pi} \int_0^{(M-1)\pi/M} \exp\left(-\frac{b(\gamma_1 + \gamma_2)}{\sin^2(\theta)}\right) d\theta \quad (22)$$

bu ifade M modülasyon derecesidir. γ_1 ve γ_2 MRC girişinde işaret gürültü oranları ve b parametresi MPSK modülasyonu için sırasıyla;

$$\gamma_1 = \frac{P_v |h_{v,a}|^2}{N_0} \quad (23)$$

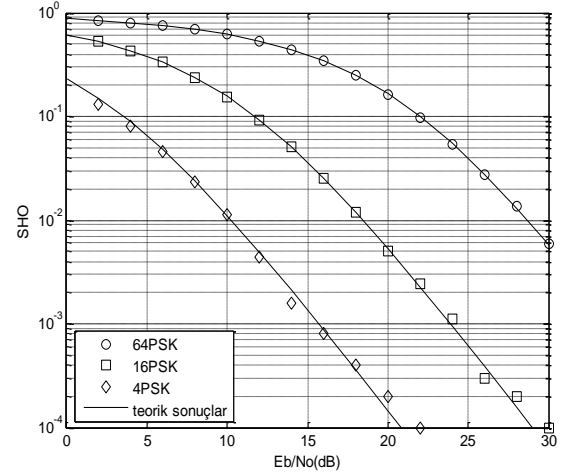
$$\gamma_2 = \frac{1}{N_0} \frac{P_v P_r |h_{v,r}|^2 |h_{r,a}|^2}{P_v |h_{v,r}|^2 + P_r |h_{r,a}|^2 + N_0} \quad (24)$$

$$b = \sin^2(\pi/M) \quad (25)$$

dırlar. İşaret gürültü oranları γ_1 ve γ_2 'deki güçler, bit enerjisi (E_b) cinsinden yazılarak (yani $P=E_b k/T_s$) eşitlik (22)'deki SHO ifadesi bit başına SNR (E_b/N_0) cinsinden olur.

5. Nümerik Sonuçlar

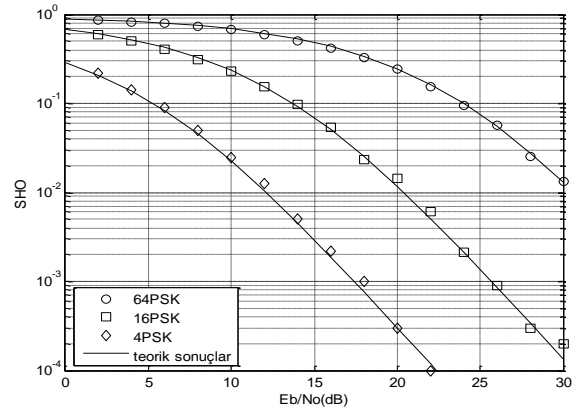
Öncelikle 2×1 Alamouti kodlu OFDM işaretlerin teorik ve benzetimle elde edilen SHO sonuçları hesaplanmıştır. Bölüm 3'te verilen eşitlik(11) ifadesi kullanılarak M= 4, 16 ve 64 seviyeli PSK modülasyonu için Rayleigh düz sönümlenmeli kanalda teorik SHO hesaplanmıştır. SNR olarak E_b/N_0 kullanılmıştır. Rayleigh kanalların varyans değerleri bir alınmıştır. Benzetimde 128 taşıyıcılı OFDM işareti kullanılmıştır. Şekil 3'te Alamouti yapı için elde edilen teorik ve benzetim sonuçları görülmektedir.



Şekil 3. 2×1 Alamouti Kodlu OFDM Sistem İçin Benzetim ve Teorik Sonuçlar

Bir sonraki adımda kuvvetlendir-aktar röleli sistem için Bölüm 4'te verilen eşitlik(22) ifadesi kullanılarak yine M= 4, 16 ve 64 seviyeli PSK modülasyonu için Rayleigh düz sönümlenmeli kanalda teorik SHO hesaplanmıştır. SNR yine E_b/N_0 'dır. Önceki yapıyla karşılaştırmak için Rayleigh kanalların varyans değerleri bir alınmıştır. Toplam güç verici ve röle arasında eşit olarak (%50) paylaştırılmıştır. Benzetimde 128 taşıyıcılı OFDM işareti kullanılmıştır. Şekil 4'te tek röleli AF sistem için elde edilen teorik ve benzetim sonuçları görülmektedir. Şekil 3 ve Şekil 4'te görüldüğü gibi benzetim sonuçları ve teorik sonuçlar birbirleriyle uyumludur.

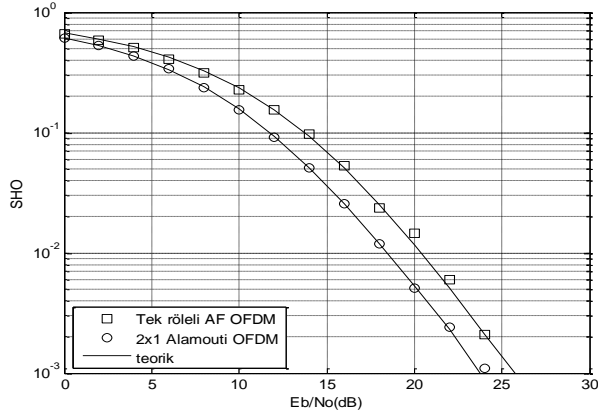
Şekil 3 ve Şekil 4'ü karşılaştırdığımızda Alamouti kodlu yapının tek röleli AF işbirlikli sisteme göre biraz daha iyi başarımlı sonucunu verdiğini görebiliriz.



Şekil 4. Tek Röle Kuvvetlendir-Aktar OFDM Sistem İçin Benzetim ve Teorik Sonuçlar

Son olarak daha iyi bir karşılaştırma için 16PSK modülasyonlu OFDM işaretlerin Rayleigh kanalda, iki çeşitleme yöntemiyle iletiminde elde edilen sonuçlar Şekil 5'te verilmiştir.

Şekil 5'te görüldüğü gibi 16PSK OFDM için Alamouti yapı tek röleli AF işbirlikli yapıya göre aynı SHO için yaklaşık 1.5 dB daha iyi sonuç vermiştir.



Şekil 5. 16PSK OFDM İşaret İçin İki Çeşitleme Türünün Karşılaştırması

6. Yorumlar

İki verici bir alıcı antenli Alamouti yapı ve tek röleli kuvvetlendir-aktar işbirlikli yapı iki verici çeşitlemesine sahiptirler. Her iki yapıda da iletilen işaret olarak MPSK modülasyonlu OFDM'i göz önüne aldığımızda, kanallar düz sönümlenmeli Rayleigh kabul edilebilir. OFDM' li ve OFDM' siz teorik başarımlarını ifade ederler, iletilen işaret frekans kayması gibi bozucu etkiye maruz kalmadığı sürece aynıdır. Nümerik sonuçlar, aynı SHO için Alamouti yapının, işbirlikli yapıya göre 1.5 dB daha iyi başarıma sahip olduğunu göstermektedir. Diğer yandan işbirlikli iletişim, özellikle çoklu anten yapısının uygulanmadığı gezgin cihazlarda verici anten çeşitlemesinin elde edilmesini sağlamaktadır.

7. Kaynaklar

Abdaoui, A., Ikki, SS., Ahmed, MH., Châtelet, E. 2010. On The Performance Analysis of A MIMO-Relaying Scheme With Space-Time Block Codes, *IEEE T. Vehicul. Technol.*, 59: 3604-3609.

Alamouti, SM. 1998. A Simple Transmit Diversity Technique for Wireless Communications, *IEEE J. Sel. Area. Comm.*, 16:1451-1458.

Anghel, PA., Leus, G., Kaveh, M. 2003. Multi-user space-time coding in cooperative networks. *Proceedings of the IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*, 4:73-76, Hong Kong, China.

Fazel, K., Kaiser, S. 2008. Multi-Carrier and Spread Spectrum Systems, Second Edition, John Wiley and Sons Ltd, West Southwestern Gate, Chichester, West Sussex, PO19 8SQ, UK, 360 pp.

Goldsmith, A. 2005. Wireless Communications, Cambridge University Press. 644 pp.

Laneman, JN., Tse, DNC., Wornell, GW. 2004. Cooperative Diversity in Wireless Networks: Efficient Protocols and Outage Behavior, *IEEE T. Inform. Theory*, 50: 3062-3080.

Li Z., Xia XG., 2007. A Simple Alamouti Space-Time Transmission Scheme For Asynchronous Cooperative Systems, *IEEE Signal Proc. Let.*, 14:804-807.

Li Z., Xia X.G., 2008. An Alamouti Coded OFDM Transmission For Cooperative Systems Robust To Both Timing Errors And Frequency Offsets, *IEEE T. Wirel. Commun.*, 7:1839-1844.

Öztürk, E., Tunçkaya, Y., 2010. M-FaKA ve M-DöGM modülasyonlu DFBC İşaretlerin EBG ve Rayleigh Sönümlenmeli Kanallarda Başarımları, *IEEE 18. Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı (SİU 2010)*, Diyarbakır.

Sendonaris, A., Erkip, E., Aazhang, B. 2003. User Cooperation Diversity-Part I: System Description, *IEEE T. Commun.*, 51: 1927-1938.

Simon, MK., Alouini, MS. 2005. Digital Communication over Fading Channel, Second Edition, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 936 pp.

Tarokh, V., Jafarkhani, H., Calderbank, A. R. 1999. Space-Time Block Codes For Orthogonal Designs, *IEEE T. Inform. Theory*, 45: 1456-1467.

Wang, J., Wen, OY., Li, S., Shu, R., Cheng, K. 2006. Capacity of Alamouti Coded OFDM Systems in Time-Varying Multipath Rayleigh Fading Channels, *IEEE Vehicular Technology Conference*, pp.1923-1927, Melbourne, Vic.

Weifeng, Su, Sadek, AK., Liu, KJR. 2008. Cooperative communication protocols in wireless networks: performance analysis and optimum power allocation, *Wireless Pers. Commun.*, 44: 181-217.

Xia, C., Zhu, B., Cheng, W. 2009. The Upper and Lower Bound for Amplify-and-Forward Cooperative Communication, *WiCOM'09 Proceedings of the 5th International Conference on Wireless communications, networking and mobile computing*. pp. 1-4 Beijing, China.

