

Cdma2000 Yukarı Bağlantı için Akıllı Anten Algoritmalarının Değerlendirilmesi

Mustafa Karakoç, Adnan Kavak*

Kocaeli Üniversitesi
Elektronik Bilgisayar Eğitimi Bölümü
İzmit, Kocaeli
mkarakoc@kou.edu.tr

* Kocaeli Üniversitesi
Bilgisayar Mühendisliği Bölümü,
İzmit, Kocaeli
akavak@kou.edu.tr

Özet: Bu çalışmada cdma2000 yukarı bağlantı sistemleri için kör-olmayan (Least Mean Square–LMS, Recursive Least Square–RLS), kör (Constant Modulus–CM) ve yarı-kör (Code Filtering Approach–CFA) tip algoritmalar performans, hesaplama karmaşıklığı ve yakınsama zamanları açısından değerlendirildi. Simülasyonlar istenilen sinyal, o sinyale ait çoklu yol sinyalleri ve parazit sinyali içeren kablosuz vektör kanal ortamında çalışan 5 elemanlı düzgün doğrusal anten dizisi kullanılarak gerçekleştirildi. Sonuçta farklı ortam zayıflama koşulları altında CFA en yüksek SINR (Signal to Interference Noise Ratio) değerine minimum sapma ile sahip olmaktadır. CM kör yapıda olmasından dolayı en düşük SINR değerine sahiptir. Fakat hesaplama yoğunluğu LMS algoritması ile aynı ve $O(M)$ 'dir. RLS algoritması CFA ile karşılaştırılabilir bir SINR değerinin yanı sıra en hızlı yakınsayan algoritmadır.

1. Giriş

Üçüncü nesil (3. Generation–3G) kablosuz sistemlerin baş döndürücü gelişimi akıllı anten sistemlerini (Smart Antenna System–SAS) cazip bir teknoloji haline getirmiştir. SAS'nin en önemli özelliği temel bant seviyesinde avantajlı bir sinyal işleme kabiliyetine sahip olmasıdır. Böylece istenilir yönde ışıma örüntüsünü uyarlamalı olarak ayarlar. 3G sistemlerde SAS'nin kullanılması ile istenilir sistem performansı düşük hesaplama yoğunluğu ile gerçek zamanlı olarak oluşturulabilir. Bu çalışmada, kör olmayan LMS ve RLS [1,2], kör CM [3] ve yarı-kör CFA [4] uyarlamalı ışıma şekillendirici algoritmalar, değişken kanal yayılım koşulları altında cdma2000 yukarı bağlantı kanalı için modellenmiştir. Tüm algoritmalar için ortak maliyet fonksiyonu, ışıma şekillendirici çıkışındaki istenilen sinyalin SINR değerini maksimize etmektir. Bununla beraber bu algoritmalar için ışıma şekillendirici ağırlık vektörünün hesaplanmasında farklılık gösterirler. LMS, RLS ve CM algoritmaları optimum ağırlık vektörünü elde etmek için tekrarlamalı yaklaşımları kullanırken, CFA anten dizisi çıkışının ortak değişinti matrisi ve son ilinti vektörünün kestirimine dayanan genelleştirilmiş özdeğer problemini çözerek optimum ağırlık vektörünü hesaplar. Kör olmayan uyarlamalı tip algoritmalar hem alıcı hem verici tarafından bilinen bir pilot sinyali, eğitim sinyali olarak alırlar. Diğer yandan kör tip uyarlamalı algoritmalar bir eğitim sinyali kullanmazlar, bununla beraber istenilen sinyalin sabit zarf yapısı yada geliş açısı bilgileri gibi bilinen özelliklerden faydalanırlar. Simülasyonlar, cdma2000 yukarı bağlantı için değişken çoklu yol ve çoklu erişim parazit sinyalleri altında gerçekleştirilmiştir.

2. Yukarı Bağlantı Sinyal Modeli

cdma2000, mevcut IS-95 CDMA [5] sistemine dayanan ve ITU (International Telecommunication Union) tarafından onaylanan bir 3G standardıdır. Şekil 1'de simülasyonlarımızda kullanılan cdma2000 yukarı bağlantı temel bant sinyal modeli radyo konfigürasyon 1 (RC–1) görülmektedir. Gezin kullanıcıdan iletilen temel bant sinyal $s(t)$,

$$s(t) = \sum_{k=1}^{\infty} d(k, t) \otimes c(k, t) \quad (1)$$

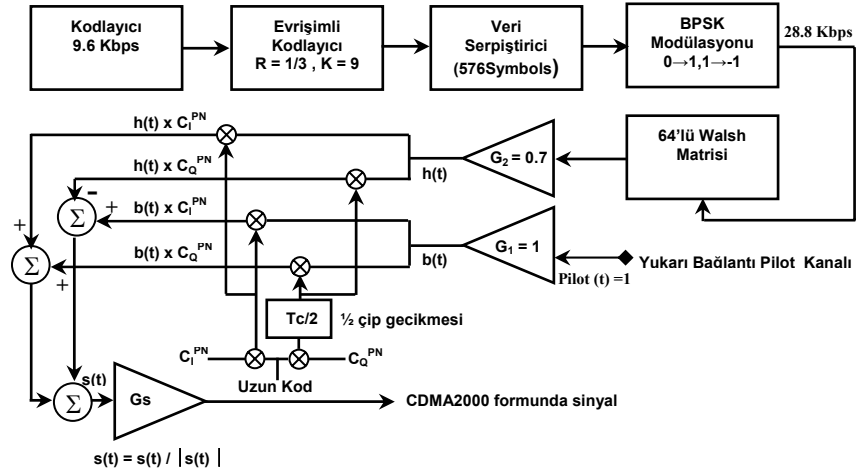
burada, k slot indeksi, $d(k, t)$ karmaşık yayılımdan önceki dalga formu, $c(k, t)$ karmaşık PN yayılım dizisi ve $\otimes$ karmaşık yayılım fonksiyonunu temsil etmektedir. $d(k, t)$, trafik ve pilot kanal bilgi sembollerinden oluşur.

$$d(k, t) = d_I(k, t) + jd_Q(k, t) \quad (2)$$

$$d_I(k, t) = \sum_{i=1}^{N_C} G_1 b((k-1)N_C + i) \quad (3)$$

$$d_Q(k, t) = \sum_{i=1}^{N_C} G_2 h((k-1)N_C + i) \quad (4)$$

Burada, $b(\cdot)$ sadece “1”lerden oluşan pilot kanalın bit dizisi, $d(\cdot)$ trafik kanalın bit dizisi, N_C her bir slot için yayılım kodunun uzunluğudur. Karmaşık PN yayılım dizisi dalga formu



Şekil 1. cdma2000 RC-1 yukarı bağlantı sinyal modeli.

$$c(k, t) = \sum_{j=0}^{N_c-1} C^{PN} p(t - [(k-1)N_c + j]T_c) \quad (5)$$

burada, T_c çip periyodu, C^{PN} reel ve sanal bileşenlere sahip karmaşık yayılım kodudur. İletilen sinyal $s(t)$, çoklu yol yayılım ortamının etkisinde kalmaktadır. Her bir çoklu yol için karmaşık yayılım yol zayıflaması, $\alpha_l = \beta_l e^{j\phi_l}$ ve zaman gecikmesi τ_l 'dir. Baz istasyonunda M elemanlı anten dizisi tarafından alınan sinyal

$$\mathbf{X}(t) = \sum_{\ell=1}^L \alpha_{\ell} s(t - \tau_{\ell}) \mathbf{a}(\theta_{\ell}) + \mathbf{I}(t) + \mathbf{N}(t) \quad (6)$$

ile yazılır. Burada, $\mathbf{I}(t)$ parazit kullanıcı sinyali ve

$$\mathbf{I}(t) = \sum_{q=1}^{N-1} \sum_{\ell=1}^{L_q} \alpha_{q,\ell} s(t - \tau_{q,\ell}) \mathbf{a}(\theta_{q,\ell}) \quad (7)$$

olarak tanımlanır. $\mathbf{N}(t)$ $M \times 1$ boyutlu karmaşık Gaussian gürültü vektörü, $\mathbf{a}(\theta_i)$ $M \times 1$ boyutlu anten dizisi doğrultu vektörüdür. Son olarak anten dizisine gelen $\mathbf{X}(t)$ sinyali, $\mathbf{W}$ ağırlık vektörü ile çarpılarak istenilir çıkışın elde edilmesine çalışır. Burada H karmaşık eşlenik ve transpoze işlemidir.

$$\mathbf{z}(t) = \mathbf{w}^H(t) \mathbf{X}(t) \quad (8)$$

3. SINR Hesabı

Işın şekillendirici çıkışından alınan sinyalin SINR değeri, [4]'de tanımlanan yaklaşıma benzer bir hesaplamanın yapılması ile gerçekleştirilmiştir. İstenilir kullanıcının çoklu yol sinyalleri için son ilinti sinyal vektörü

$$\mathbf{y}_1(t) = \frac{1}{\sqrt{T_b}} \int_{(t-1)T_c}^{tT_c} \mathbf{X}(t) c_1^*(t - \tau_1) dt \quad (9)$$

ile yazılır. Burada, T_b sembol zamanı, c_1 istenilir kullanıcının kodu, τ_1 istenilir çoklu yol sinyali için zaman gecikmesidir. SINR değerini bulmak için ilk olarak (6) ve (9) nolu eşitliklerde sırasıyla verilen $\mathbf{X}(t)$ ve $\mathbf{y}_1(t)$ sinyallerinin R_{xx} ön ilinti ve $R_{yy,1}$ son ilinti matrislerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu matrislerin kullanılmasıyla parazit ve gürültü ortak değişinti matrisi

$$\mathbf{R}_{uu,1} = \frac{G}{G-1} \left(\mathbf{R}_{xx} - \frac{1}{G} \mathbf{R}_{yy,1} \right) \quad (10)$$

ile belirlenir. Burada G , T_b/T_c ile tanımlanan işlemci kazancıdır. Daha sonra istenilir sinyal bileşenine ait ortak değişinti matrisi

$$\mathbf{R}_{ss} = \mathbf{R}_{yy,1} - \mathbf{R}_{uu,1} \quad (11)$$

kestiriminin yapılması ile belirlenir. Son olarak, her bir ışın şekillendirici algoritma çıkışında elde edilen optimum karmaşık ağırlık vektörünün de kullanılmasıyla SINR değeri hesaplanabilir.

$$\text{SINR} = \frac{\mathbf{w}_{\text{opt}}^* \mathbf{R}_{ss,1} \mathbf{w}_{\text{opt}}}{\mathbf{w}_{\text{opt}}^* \mathbf{R}_{uu,1} \mathbf{w}_{\text{opt}}} \quad (12)$$

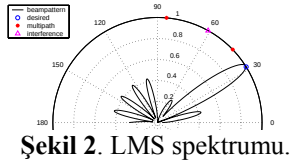
4. Simülasyonlar ve Sonuçlar

Simülasyonlarda istenilir kullanıcıya ait 32° 'de direk yol, 44° ve 85° 'de iki çoklu yol ve 61° 'de parazit kullanıcı sinyaline sahip bir çoklu yol yayılım senaryosu ele alınmıştır. Baz istasyonu anten topolojisi 5 elemanlı düzgün doğrusal anten dizisidir (ULA). Algoritmalar değişken kanal zayıflama koşulları altında istatistiksel SINR değerini

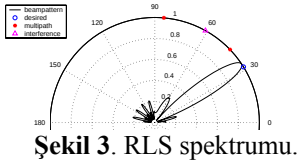
hesaplamak için 100 defa tekrarlamalı simülasyona tabi tutuldu. Bu simülasyonlarda, gezgin kullanıcının belirtilen doğrultularda çok küçük zaman aralıkları ile değiştiğini varsayıyoruz. Bu nedenle [6]'da belirtildiği gibi, bu küçük değişimler boyunca geliş doğrultu (DOA) açılarının değişmediğini varsayıyoruz. Tekrarlamalı simülasyonların her birinde anten dizisi 1000 sinyal örneğini alır ve uyarlamalı algoritmada kullanmak üzere işler. İstenilir sinyale ait çoklu yollardan kaynaklanan genlik zayıflaması (β_l) Rayleigh rasgele değişkeni ile modellenmiştir. Aynı şekilde çoklu yolun karmaşık yol zayıflamasının (ϕ_l) faz bileşeninin, yayılım ortamında Doppler kayması ve yol uzunluk farkı ile temsil edilen düzgün dağılımlı rasgele değişken olduğu varsayılır. Kanal için zayıflama parametreleri istenilir kullanıcının direk sinyali temel alındığında, çoklu yol sinyaller için minimum 3 dB, parazit sinyal için de minimum 5 dB aşağıda olacak şekilde modellenmiştir. Çoklu yol zaman gecikmeleri 85° için bir chip periyodu (T_c), 44° için yarım chip periyodu ($T_c/2$) alınmıştır. LMS, RLS ve CM algoritmaları için yakınsama kriteri ağırlık vektörleri arasındaki hatanın normu ile ifade edilmektedir ve bu değer 0,0001'dir.

$$\|\Delta \mathbf{w}\| = \|\mathbf{w}(t+1) - \mathbf{w}(t)\| \quad (13)$$

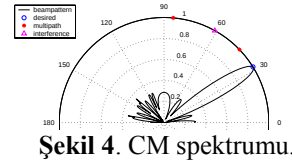
Simülasyonlar için seçilen diğer parametreler şöyledir: LMS ve CM için adım aralığı $\mu=0,01$; CM için ağırlık faktörü $\psi=0,99$; RLS için unutma faktörü $\delta=0,99$; CFA için kod parametresi $\eta=1,5$ ve yayılım kazancı $G=4$ 'dür. Simülasyonlar boyunca LMS, RLS, CM ve CFA algoritmalarının paralel çalıştığı ve her birinin verilen hesaplamalarla [1,2,3,4] ağırlık vektörünü belirlediği varsayılmıştır. Bu algoritmaların belirlediği ağırlık vektörleri tarafından oluşturulan uzaysal spektrumlar Şekil 2, 3, 4 ve 5'de sırasıyla verilmiştir. Her bir şekilde görüyoruz ki ana ışınma örüntüsünün doğrultusu istenilir kullanıcıya ait direk yola yönelmiştir. Direk yol sinyali en güçlü olduğundan, algoritmalar bu en büyük güçlü sinyale doğru kilitletir.



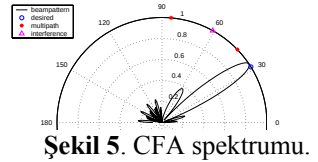
Şekil 2. LMS spektrumu.



Şekil 3. RLS spektrumu.



Şekil 4. CM spektrumu.



Simülasyonlara ait diğer sonuçlar Tablo 1'de verilmiştir. SINR'nın ortalama (%50) ve standart sapma değerleri birikimli dağılımlardan oluşturulmuştur. Burada, CFA'nın en büyük SINR değerine sahip olduğu görülmüştür. Ayrıca en küçük standart sapmaya sahip olması da farklı kanal koşullarına karşı en az değişim ile yanıt verdiğini belirtmektedir. RLS algoritması, SINR cinsinden baktığımızda CFA algoritmasına yakın bir sonuç vermektedir. Bununla beraber RLS en hızlı yakınsama karakteristiğine sahip algoritmadır. CFA, matrisin tersini alma işlemi gerektirdiğinden en yüksek hesaplama yoğunluğuna sahiptir ($O(M^3)$). CM algoritmasının SINR performansı diğer algoritmalarla göre daha küçüktür. Bunun nedeni CM algoritmasının kör yapıda olması ve pilot dizisini eğitim sinyali olarak kullanmamasıdır. CM algoritmasının tek avantajı, LMS gibi en düşük hesaplama yoğunluğuna sahip olmasıdır ($O(M)$).

Uyarlamalı Algoritmalar		LMS	RLS	CM	CFA
Hesaplama Yoğunluğu	Toplama	$2M+1$	$2M^2+M$	$2M+4$	M^3+2M^2-1
	Çarpma	$2M$	$5M^2+3M+1$	$2M$	M^3+3M^2+2M+3
DOA kestirim hatası (%)		1,5625	6,250	0,6250	3,125
Yakınsama zamanı		283	24	546	-----(*)
SINR (dB)	Ortalama	7,4565	11,8799	4,6018	12,056
	std. sapma	0,57	0,65	3,08	0,05

(*) CFA algoritması tekrarlamalı olarak yakınsamamaktadır.

Tablo 1. Simülasyon sonuçları.

5. Yorumlar

Bu çalışmada, farklı kanal koşullarında cdma2000 için farklı yukarı bağlantı ışın şekillendirici algoritmalar incelenmiştir. CFA'nın diğer algoritmalarla göre en yüksek SINR değerine (~ 12.1 dB) sahip olduğu ve bununla beraber minimum standart sapma ile değişken kanal koşullarına rağmen en uyumlu algoritma olduğu görülmüştür. Yakınsama zamanı açısından en hızlı yaklaşımı RLS algoritması sergiler. Aynı zamanda CFA algoritmasına yakın (~ 11.9 dB) bir SINR değerine sahiptir. Kör yapıda olmasından dolayı CM algoritması ise en düşük SINR değerine (~ 4.6 dB) sahiptir.

Kaynaklar

- [1]. Veen A. J., Paulraj A., "An analytical constant modulus algorithm", IEEE Trans. of Signal Proc., 44(5) s.1-19, 1996.
- [2]. Naguib A. F., Adaptive antennas for CDMA wireless networks. Doktora Tezi, Stanford Univ., Amerika, 1996.
- [3]. Rong Z., Simulation of adaptive array algorithms for CDMA systems. Master tezi, Virginia PI & S Univ., Amerika, 1996.
- [4]. Godara L., "Application of antenna arrays to mobile communications, Part II: beamforming and direction-of-arrival considerations", Proc. IEEE, 85 s.1195-1245, 1997.
- [5]. TIA/EIA Interim Standard, Physical Layer Standard for cdma2000 spread spectrum systems, TIA/EIA/S-2000-2.
- [6]. Kavak A., Yang W., Xu G., Vogel W. J., "Characteristics of vector propagation channels in dynamic mobile scenarios", IEEE Trans. on Antennas and Prop., 49(12) s.1695-1703, 2001.