

ÜÇÜNCÜ NESİL CDMA SİSTEMLER İÇİN YENİ BİR AKILLI ANTEN ALGORİTMASI GERÇEKLEŞTİRİLMESİ VE PERFORMANS ANALİZİ

Kerem KUCUK, Mustafa KARAKOC, Adnan KAVAK* ve Halil YIGIT

Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Bölümü, Teknik Eğitim Fakültesi, Kocaeli Üniversitesi, 41380, Kocaeli

* Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Kocaeli Üniversitesi, 41040, Kocaeli

kkucuk@kou.edu.tr, mkarakoc@kou.edu.tr, akavak@kou.edu.tr, halilyigit@kou.edu.tr

(Geliş/Received: 11.10.2005; Kabul/Accepted: 18.04.2006)

ÖZET

Üçüncü nesil (Third Generation, 3G) haberleşme sistemleri tüm dünyada yaygın olarak kullanılmaktadır ve hızla gelişmektedir. Işın şekillendirme yeteneğine sahip akıllı anten algoritması üçüncü nesil haberleşme sistemleri için ortaya atılmıştır. Bu çalışmada, uzay kod korelatörü (Space Code Correlator, SCC) olarak isimlendirilen yeni bir akıllı anten algoritması tasarımı ve gerçekleştirmesini öneren bir çalışma sunulmaktadır. Önerilen algoritma önceden belirlenmiş doğrultu vektörleri ve istenilir kullanıcı kodu ile kod korelasyonu ve depolanmış doğrultu vektörleri ile genişletilmiş sinyalin uzaysal korelasyonu temeline dayanmaktadır. Tasarımdaki amaç, yakınsama problemini ortadan kaldırarak sabit gerçekleştirme zamanına sahip, yeterli sinyal girişim gürültü oranı (SINR) performansını sağlayan ışın şekillendirme ağırlık vektörlerinin bulunmasıdır. Bu çalışmada, SCC algoritması çoklu yol yayılım koşullarında, farklı Texas Instruments (TI) TMS320C67x kayan nokta dijital sinyal işlemcileri (Digital Signal Processor, DSP) üzerinde gerçekleştirilmekte ve en küçük ortalama kareler (Least Mean Square, LMS) ve sabit modül (Constant Modulus, CM) olarak bilinen uyarlanabilir algoritmalarla karşılaştırılmaktadır. Gerçekleştirme adımları, ağırlık vektörü hesaplama zamanı ve SINR performansı ile ilgili sonuçların detaylı analizi sunulmaktadır. Sonuçlar göstermektedir ki, uygun geliş açısı arama çözünürlüğü ve çoklu yol sinyal gürültü oranı (SNR) seviyelerinin seçilmesi ile SCC algoritması CDMA2000 sistemi için 10 ms olan çerçeve aralığından daha az bir sürede gerçekleştirme zamanı sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Uyarlanabilir diziler, kod bölümlü çoklu erişim, dijital sinyal işlemciler, geliş açısı tahmini, akıllı anten sistemleri, yazılım tanımlı radyo.

IMPLEMENTATION AND PERFORMANCE ANALYSIS OF A NOVEL SMART ANTENNA ALGORITHM FOR 3G CDMA SYSTEMS

ABSTRACT

3G communication systems have been growing exponentially and used widely around the world. A smart antenna algorithm with adaptive beamforming capability is introduced for 3G communications systems. This paper presents design and implementation of a novel smart antenna algorithm referred as space code correlator (SCC). The algorithm is based on storing predetermined array response vectors, and performing code correlation with the desired user's code and then spatial correlation of despread signal with stored array response vectors. The design methodology aims to find a beamforming weight vector that provides satisfactory SINR performance with fixed execution time so that convergence problem is avoided. SCC algorithm is implemented and compared to some other adaptive algorithms such as least mean square (LMS) and constant modulus (CM) algorithms on the different Texas Instruments (TI) TMS320C67x floating-point digital signal processors (DSP) taking into account multipath propagation conditions. The implementation steps and results pertaining weight vector estimation time and SINR performance are presented. Results show that with careful selection of DOA search window and multipath SNR level, the SCC algorithm provides implementation time less than 10 ms frame interval of CDMA2000 system.

Keywords: Adaptive arrays, code division multiple access, digital signal processor, direction of arrival estimation, smart antenna systems, software defined radio.

1. GİRİŞ

Üçüncü nesil gezgin haberleşme sistemleri tüm dünyada yaygın olarak kullanılmakta ve hızla gelişmektedir. Global bazlı gezgin haberleşmenin, sağlaması planlanan ve geniş bant kod bölmeli çoklu erişim (Wideband Code Division Multiple Access, WCDMA) tekniğine dayanan üçüncü nesil standartlar, kullanıcılara mümkün olduğunca yüksek hızda ve değişik sayıda servisler (ses, veri, video, mesaj) sunmaktadır. Bununla birlikte, karışık trafik sinyallerinin kablosuz yayılım ortamından yüksek hızda ve kalitede iletilmesi, sınırlı sistem kapasitesi ve kapsama alanı yetersizliği gibi problemleri beraberinde getirmektedir. Bu problemlerin çözümünde, araştırmalar son zamanlarda özellikle yazılım radyo, gelişmiş anten sistemleri ve sinyal işleme teknikleri üzerine yoğunlaşmaktadır. Yazılım tanımlı radyo (Software Defined Radio, SDR) [1], fonksiyonların yazılım ile belirtilip değiştirilebildiği bir ortam olarak tanımlanmaktadır. SDR, sinyal işleminin gerekliliklerinden olan radyo frekansındaki temel bant bilgisinin alınması ve yollanması için programlanabilir dijital cihazlar kullanmaktadır. Bu teknoloji, radyonun yazılım ile verimli bir şekilde geliştirilmesi sebebiyle çok yüksek esneklik ve uzun bir ürün ömrü sağlamaktadır. Anten dizileri ile birlikte temel banttaki ileri sinyal işleme tekniklerini kullanan akıllı anten sistemi (Smart Antenna System, SAS), farklı konumlardaki gezgin kullanıcılardan gelen sinyalleri uzaysal filtreleme yapar ya da diğer bir deyişle yayılım kanalı dinamiklerine göre anten ışınımını uyarlamalı olarak değiştirir [2]. Baz istasyonunda önemli kapasite ve performans artımı sağlayan SAS 3. nesil CDMA sistemleri için önde gelen bir teknolojidir. Bu anten sistemlerinde uyarlanabilir ışın şekillendirme algoritmaları, sinyali tanımak, izini bulmak ve parazitli bastırmak için kullanılır [3]. Ayrıca, işaret işleme yeteneğiyle donatılmış yazılım ve donanım nesnelerini de içermektedir.

3G CDMA sistemlerdeki baz istasyonlarına SAS'nin entegre edilebilmesi için, frekans bölmeli çift yönlü (Frequency Division Duplex, FDD) moda uyumlu çalışan, işlem yükü az olan ve istenilen performansı sağlayabilen akıllı anten algoritmalarının geliştirilmesine ihtiyaç vardır [4,5]. Çünkü bu tür algoritmalar programlanabilir işlemciler üzerinde SDR ile gerçekleştirilebilirler ve dolayısıyla mevcut 3G baz istasyonlarının fazla değişiklik gerektirmeden SAS yeteneği olan baz istasyonlarına güncellenmesini kolaylaştırır [6]. Bu amaçla, çalışmada CDMA-FDD uyumlu akıllı anten algoritmalarının SDR ile sayısal işaret işleyici kullanılarak gerçekleştirilmesi üzerinde durulmuştur. DSP olarak Texas Instruments (TI)'ın en son ve en yüksek performansa sahip kayan nokta işlem yapabilen C67x ailesindeki işlemciler (TI TMS320C6701 EVM, TI TMS320C6711 DSK ve TI TMS320C6713 DSK) seçilmiştir [7]. SCC algoritması bu işlemcilerde assembly dili kullanarak gerçekleştirilmiştir. Baz istasyonundaki anten dizisi olarak ise düzgün doğrusal

dizi (Uniform Linear Array, ULA) ve düzgün dairesel dizi (Uniform Circular Array, UCA) antenler seçilmiştir. Anten dizisinden alınan sinyalin, gezgin kullanıcı tarafından CDMA2000 [8] formatında gönderildiği ve bu sinyalin değişen çoklu yol koşullarına maruz kaldığı varsayılmıştır. Önerdiğimiz SCC algoritmasının avantajı diğer uyarlanabilir algoritmalar gibi önceden belirlenmiş herhangi bir parametreye ihtiyaç duymaması ve ağırlık vektörü hesaplama zamanının anten topolojisi ve çoklu yol yayılım koşullarından etkilenmemesidir. SCC algoritmasının sahip olduğu bu avantajları göstermek için, literatürdeki mevcut en basit yapıdaki uyarlanabilir algoritmalarından en küçük ortalamalı kareler (Least Mean Square, LMS) [9] ve sabit modül (Constant Modulus, CM) [10] algoritmaları ile performans karşılaştırılması yapılmıştır. Her iki algoritma da gradyan tabanlı en uygun ağırlık vektörünün elde edilmesi için iteratif yaklaşımı kullanırlar. Kullanıcı bilgisine ihtiyaç duyan, en geniş kullanıma sahip olan LMS algoritması CDMA2000 sisteminde, eğitim sinyali olarak hem alıcı hem de vericide yukarı bağlantı pilot sinyalini kullanmaktadır. Ancak, kullanıcı bilgisine ihtiyaç duymayan CM algoritması sadece iletilen sinyalin zarf yapısı hakkındaki önbilgiyi kullanır.

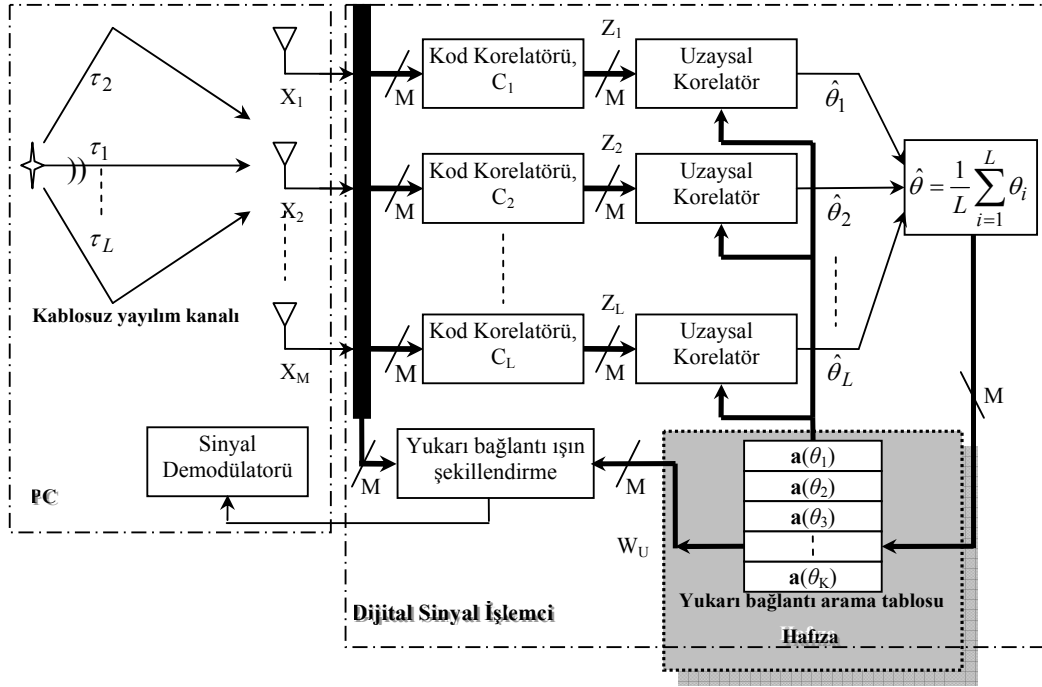
Bu çalışmada, CDMA sistemleri için FDD moda uyumlu akıllı anten algoritmalarının yazılım radyo olarak sayısal işaret işleyici kullanılarak gerçekleştirilmesi üzerinde durulmaktadır. Bölüm 2'de uzay kod korelatörü algoritmasının ana hatları belirtilmiştir. TI TMS320C67x kayan nokta DSP platformu kısaca Bölüm 3'te özetlenmektedir. SCC algoritmasının gerçekleştirilmesi Bölüm 4'te açıklanmaktadır. Ağırlık vektörü hesaplama zamanı, geliş açısı çözünürlüğü etkisi, anten konfigürasyonu, alınan SINR performansı ve diğer algoritmaların karşılaştırılmasını kapsayan ayrıntılı sonuçlar Bölüm 5'te sunulmaktadır. Son olarak, Bölüm 6'da sonuçlar verilmektedir.

2. UZAY KOD KORELATÖR ALGORİTMASI

Anten girişine gelen sinyallerin istenir kullanıcı kodu ile korelasyonu ve elde edilen kod korelatör çıkışının hangi açılarda maksimum olduğunun belirlenmesi mantığına dayanan SCC algoritmasının blok diyagramı Şekil 1'de verilmektedir. Burada öncelikle, anten dizisi tarafından alınan istenir kullanıcıya ait çoklu yol bileşenleri $X(t)$ o kullanıcının kodu ile genişletilir [11]. Daha sonra genişletilmiş olan her bir çoklu yol sinyali 0° ile 180° aralığında dağıtılmış dizi yanıt vektörleri ile korele edilir. Algoritma bu işlemleri L adet çoklu yol hesabı için gerçekleştirmektedir. Çoklu yol bileşeni orijinal sinyalin zamanda kaydırılmış versiyonudur ve onun genişletilmiş olan kodu da aynı zamanda seçilmiş kullanıcı kodu ile ilişkili olan kısmının zamanda kaydırılmış kısmıdır. Burada kullanıcı kodu,

$$C_l(t) = C(t - \tau_l) \quad (1)$$

ile ifade edilir.



Şekil 1. Uzak kod korelatör algoritması sistem modeli

CDMA2000 yukarı bağlantı temel bant sinyal modeli radyo konfigürasyonu 1 (Radio configuration 1, RC1) kullanarak elde edilmiş $s(t)$ sinyali çoklu yol yayılım ortamına maruz kalmıştır [12]. Çoklu yol kanalı karmaşık yol kayıplarına $\alpha_l = \beta_l e^{j\phi_l}$ ve zaman gecikmesine τ_l neden olmaktadır. Baz istasyonundaki M elemanlı anten dizisinden alınan sinyal,

$$\mathbf{X}(t) = \sum_{l=1}^L \alpha_l s(t - \tau_l) \mathbf{a}(\theta_l) + \mathbf{i}(t) + \mathbf{n}(t) \quad (2)$$

ile ifade edilir. Burada, $\mathbf{i}(t)$ çoklu erişim paraziti (Multiple access interference, MAI), $\mathbf{n}(t)$, $M \times 1$ boyutlu beyaz gürültü (White Gaussian Noise) vektörü, $\mathbf{a}(\theta_l)$ geliş açısı formundaki θ_l çoklu yoldan etkilenen $M \times 1$ boyutlu doğrultu vektörüdür. Her bir çoklu yol bileşeni $\mathbf{X}_l(t)$ için genişletilmiş sinyal,

$$Z_l^k(t) = \frac{1}{N_c} \sum_{j=0}^{N_c-1} x_l(t - [(k-1)N_c + j]T_c) C_l^*(t - [(k-1)N_c + j]T_c) \quad (3)$$

formülü ile elde edilir. Burada T_c çip periyodunu, N_c çip sayısını ve k sembol aralığını temsil etmektedir. SCC algoritmasında, genişletme işlemi için gereken her bir çoklu yol zaman gecikmesinin (τ_l), başka bir zaman gecikmesi tarayıcı (Time Delay Search) algoritması tarafından hesaplandığı varsayılmaktadır. Böylece zamansal bölgede yayılmış olan sinyaldeki örneklem sayısı yayılım faktörü oranında küçültülür.

Kod korelasyon işleminden sonra, $\mathbf{Z}_l(t)$ ile doğrultu vektörleri arasındaki uzaysal korelasyon işlemi yerine

getirilir. Bu amaçla, $[0^\circ \ 180^\circ]$ arası $\theta^K = 180^\circ/K$ formülüyle hesaplanan $\Delta\theta^\circ$ aralıklı K adet açı aralığına bölünür. Bu nedenle, K adet doğrultu vektörünü yukarı bağlantı arama tablosunda saklamaya ihtiyaç vardır. Uzaysal korelatör çıkışı doğrultu vektörü ve kod korelatör çıkışının iç çarpımının sonucundan maksimum geliş açısını her bir çoklu yol için bulmaya çalışır. Bu işlem de,

$$\hat{\theta}_l = \arg \max_{\theta} \left\{ \mathbf{a}(\theta_l)^H \mathbf{Z}_l(t) \right\}^2 \quad (4)$$

formülüyle hesaplanır. Elde edilen açılar hem yukarı hem de kullanıcının konumunun farklı sembol periyotlarında çok yavaş değiştiği durumlarda aşağı bağlantı için kullanılabilir. SCC algoritmasının performansı DOA arama çözünürlüğüne ve çoklu yolların korelasyon seviyesine dayanmaktadır. Düşük çoklu yol korelasyon seviyeleri ve küçük DOA çözünürlüğünde algoritmanın kullanıcı yönünü bulması beklenmektedir.

3. SAYISAL İŞARET İŞLEMÇİ

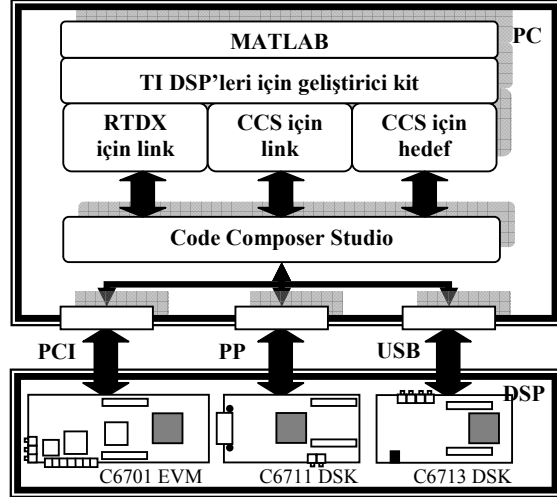
Uyarlanabilir algoritmaların DSP üzerinde gerçekleştirilmesi akıllı anten sistemlerinin SDR baz istasyonlarına entegrasyonunda anahtar rol oynayacaktır [13]. Dolayısıyla, önerilen algoritmanın performansını belirlemek için DSP üzerinde gerçekleştirmeye karar verilmiştir. SCC algoritmasının gerçekleştirilmesi için TI TMS320C67xx yüksek performans kayan nokta DSP nesili seçilmiştir [14]. Bu nesile üye, geliştirme modülü üzerinde TMS320C6701 EVM (Evaluation Module), başlatıcı kit üzerinde TMS320C6711 DSK (DSP Starter Kit) ve yine başlatıcı kit üzerinde TMS320C6713 DSK'leri simülasyonlarda kullanılmıştır.

Her üç DSP’de yüksek performans ve gelişmiş çok-uzun-komut-kelime mimarisine [15] dayanmaktadır. C67x işlemcileri üç temel bölümden oluşmaktadır: CPU, çevresel birimler ve hafıza. CPU işlemlerin yapıldığı A ve B olarak adlandırılan iki veri yoluna sahiptir. Her bir veri yolu dört tane fonksiyonel birime ve 16 tane 32 bitlik yazmaca sahiptir. C6701 EVM dört farklı saat frekansını destekleyen ara yüz kullanmaktadır. Bu ara yüzün OSC Bx4 oranında olanını kullanarak işlemcinin saat frekansı 133 MHz olarak ayarlanmıştır. C6701 EVM, kartın optimum kullanımını sağlayabilecek yan bileşen bağlantısı içermektedir [16]. 150 MHz’lık çalışma frekansıyla C6711 DSK, saniyede 1200 MIPS ve 600 MFLOPS işlemi icra edebilmektedir. C6711 DSK bilgisayar ile haberleşmesini paralel port üzerinden sağlar [17]. C6713 DSK ise 225 MHz saat frekansı ile saniyede 1350 MFLOPS ve 1800 MIPS işlem gerçekleştirebilmektedir. DSK tak ve çalıştır fonksiyonu için evrensel seri veri yolu haberleşmesini kullanır [18]. Sırasıyla, C6701 DSP 128 KB, C6711 DSP 72 KB ve C6713 DSP 264 KB’lık çip hafızalarına sahiptir. C6701 EVM 256 KB SBRAM ve 8 MB SDRAM’e sahiptir. C6711 DSK 16 MB’lık harici SDRAM ve 128 KB’lık harici Flash bellek kullanmaktadır. C6713 DSK 512 KB Flash ve 8 MB SDRAM hafıza ünitelerine sahiptir.

4. SCC ALGORİTMASININ GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

Yazılan koddaki karakök ve bölme gerektiren işlemler sabit nokta işlemciler için uygun olmadığından SCC algoritmasını TI TMS320C67x kayan nokta geliştirme cihazları üzerinde gerçekleştirmeye karar verilmiştir. TI C67x kayan nokta işlemcileri 32 bitlik tam sayı çarpımı, çift kelime yükleme ve kayan nokta işlemleri gibi bazı özel komutları kullanmaktadırlar. Bu nedenle, algoritmanın kodunda kayan nokta işlemleri tek duyarlı formatta kullanılmıştır. Tek duyarlı kayan nokta sayılar tek bir yazmaçta 32 bit olarak saklanabilmektedirler. SCC algoritmasının gerçekleştirilmesinde kullanılan genel donanım yapısı Şekil 2’de gösterilmektedir. Algoritmanın assembly kod yazımı TI’nın Code Composer Studio (CCS) yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir [19]. Antenden alınan sinyalin giriş olarak verilmesi, DSP hafızasının kullanılır hale getirilmesi, yazılan kodun DSP hafızasına yüklenmesi ve DSP’de işlenen verilerin geri alınması gibi işlemlerin hepsi Matlab link for CCS yazılımı ile yürütülmüştür [20]. CCS’nun Matlab ile birlikte oluşturduğu bu ortak çalışma yazılımı DSP’nin içine doğrudan makine dili ile erişime izin vermekte ve DSP’den CCS’ya veya ters yönlü gerçek zamanlı veri alışverişi sağlayabilmektedir.

Algoritmanın performansı CDMA2000 RC1 sinyal modeli kullanılarak test edilmiştir. Anten dizisi konfigürasyonu için 5 elemanlı ULA ve UCA anten topolojileri kullanılmıştır. Antenden alınan sinyal DSP kartının harici hafızasına transfer edildi. Çünkü DSP’ler çok kısıtlı miktarda hafıza olanağı sağlayabilmektedirler. Böylelikle, DSP algoritmayı çalıştırarak hesaplanan istenir kullanıcı yönünü ve ağırlık vektörlerini

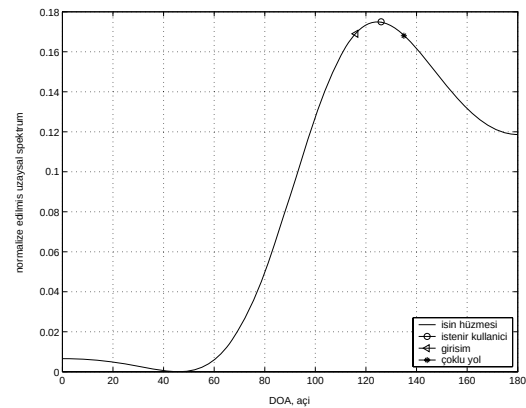


Şekil 2. Tanımlanan sistemin donanım yapısı konfigürasyonu

bilgisayara geri göndermiştir. Bu gerçekleştirme için, anten tarafından CDMA2000 formatında alınan veri bilgisayarda üretilip, DSP kartına kaydedilmiştir. Sinyal modellenmesinde, kablosuz vektör kanalında istenir kullanıcı için bir direk, bir çoklu yol bileşeni, parazit sinyali ve gürültü sinyali göz önüne alınmıştır. Kullanılan diğer parametreler şunlardır: İstenir kullanıcının direk yolu, çoklu yol ve parazit sinyalleri her çalışmada düzgün dağılım kullanılarak rastgele seçilmiştir. Çoklu yol zayıflamasının genlik ve faz bileşenleri sırasıyla Rayleigh ve düzgün rastgele değişkenler olarak temsil edilmiştir.

5. SİMÜLASYON SONUÇLARI

Simülasyonların gerçekleştirilmesi ile SCC algoritmasının DOA tahmin hatası, yakınsama zamanı (ağırlık vektörü hesaplama zamanı), gereken saat çevrimi ve alınan SINR değerleri DSP assembly gerçekleştirimi için elde edilmiştir. Şekil 3 SCC algoritmasının ışın şekillendirme spektrumunu göstermektedir. Görlmektedir ki, SCC algoritması istenir kullanıcı yönünü bulmayı gerek çoklu yol, gerekse de parazit sinyallerinden ayırt ederek başarmaktadır.



Şekil 3. C6713 DSK üzerinde gerçekleştirilen SCC algoritmasının ışın şekillendirme spektrumu

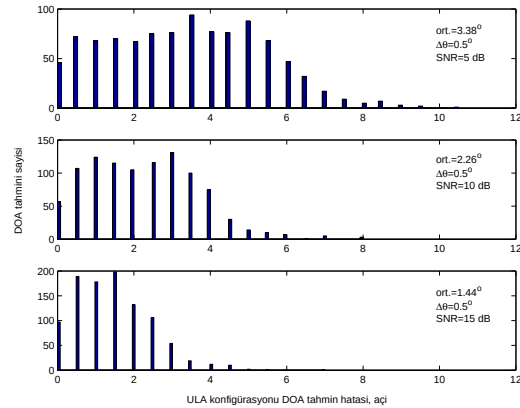
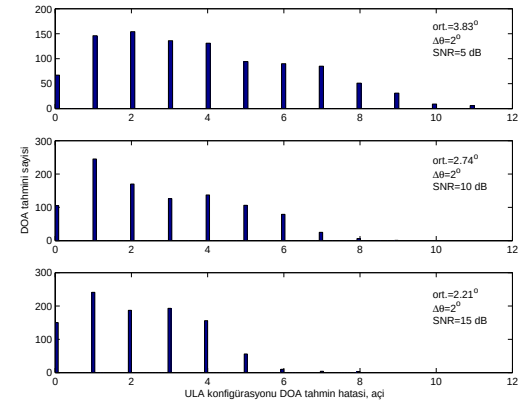
Tablo 1. SCC algoritması çevrim süreleri ve yakınsama zamanları

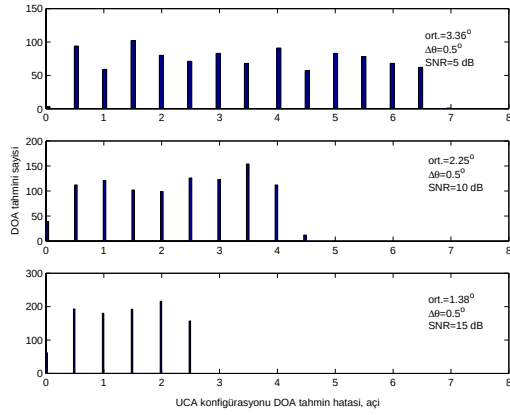
DOA çözünürlüğü ($\Delta\theta$)	C6701		C6711		C6713	
	0.5°	2°	0.5°	2°	0.5°	2°
Başlangıç koşulu çevrimi	17	17	29	29	24	24
Kod korelatör çevrimi	1741760	435442	2265904	566483	2619004	654866
Uzaysal korelatör çevrimi	4006002	1001647	5040307	1260324	5768802	1442049
Tepe bulucu çevrimi	13008	3250	19702	4918	20925	5456
Toplam çevrim	5760787	1440356	7325942	1831754	8409654	2102395
Toplam zaman (ms)	43.31	10.83	48.83	12.21	37.37	9.34

Algoritma yakınsama zamanı CCS'nun Profiler menüsü kullanılarak hesaplanmıştır. Bu menü performansı olumsuz etkileyen noktaların belirlenmesi ve elenmesi işlemini sağlamaktadır. Profiler menü, oluşturulan programın yürütme analizini ve programın hangi bölgelelerinde ne kadar zaman harcadığını göstermektedir. DOA arama çözünürlüğünün 0.5° ve 2° olduğu durumlar için gereken saat çevrimleri Tablo 1'de gösterilmektedir. Bu sürelerin belirlenmesi için assembly programında kesmeler kullanılmıştır. DSP'lerde gerçekleştirme zamanını etkileyen CPU saat hızı, harici hafızanın genişliği, harici hafızanın dahili hafızaya göre hangi sıklıkla kullanıldığı gibi birçok faktör bulunmaktadır. Tablo 1'den görülmektedir ki, DOA arama çözünürlüğünün $\Delta\theta=2^\circ$ kullanılması durumunda algoritmanın yakınsama zamanı DOA arama çözünürlüğü $\Delta\theta=0.5^\circ$ olduğu duruma göre yaklaşık olarak dört kat daha hızlıdır. Bununla birlikte C6713 DSP ağırlık vektörü hesaplama zamanını yaklaşık 10 ms'lik zaman dilimi içerisinde DOA arama çözünürlüğünün $\Delta\theta=2^\circ$ olduğu durumda gerçekleştirebilmektedir. Ayrıca görülmektedir ki, algoritmanın gerçekleştirimi için en çok saat çevrimi gereksinimi uzaysal korelatörü için gerekmektedir. Çünkü burada belirli çip kayması ile her bir açı değeri için uzaysal çarpma işlemi gerçekleştirilmektedir.

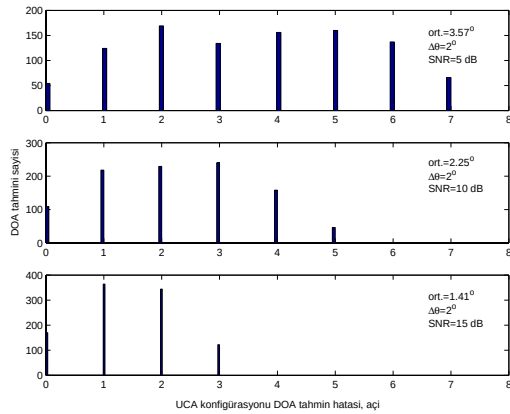
Bununla birlikte, SCC algoritması için çoklu yol sinyali SNR değerinin DOA tahmin hatası üzerindeki etkisini incelenmiştir. Bu amacı gerçekleştirmek için Monte Carlo simülasyonlarını dinamik çoklu yol şartlarında (farklı DOA ve sönümleme katsayıları) 1000 kez tekrarlayarak çalıştırılmıştır. Dinamik çoklu yol şartları ve DOA arama çözünürlüğünün $\Delta\theta=0.5^\circ$ olduğu durum altında SCC algoritmasının ULA konfigürasyonu için DOA tahmin hatası histogramı ve ortalama değerleri Şekil 4'te gösterilmektedir. Şekilden görülmektedir ki, DOA arama çözünürlüğü $\Delta\theta=0.5^\circ$ ve çoklu yol SNR değerinin 15 dB olduğu durum diğer çoklu yol seviyelerindeki tahmin hatalarından daha küçük bir değerdedir. Şekil 5'te ise aynı koşullarda yalnızca DOA arama çözünürlüğünün $\Delta\theta=2^\circ$ olduğu durumdaki sonuçları resmetmektedir. DOA arama çözünürlüğünün $\Delta\theta=2^\circ$ ve çoklu yol SNR değerinin 15 dB olduğu durum diğer SNR seviyelerine göre daha iyi sonuçlar vermesine rağmen, DOA tahmin hataları karşılaştırıldığında DOA arama çözünürlüğünün $\Delta\theta=0.5^\circ$ olduğu durum tüm çoklu yol seviyeleri ve ULA konfigüras-

yonda en küçük DOA tahmin hatalarına sahiptir. Şekil 6 ve 7 sırasıyla $\Delta\theta=0.5^\circ$ ve $\Delta\theta=2^\circ$ DOA arama çözünürlüğü için dinamik çoklu yol şartlarında SCC algoritmasının UCA konfigürasyonundan elde edilen DOA tahmin hatası histogramlarını ve ortalama değerlerini göstermektedir. Şekillerden de görüleceği gibi, DOA arama çözünürlüğü $\Delta\theta=0.5^\circ$ tüm çoklu yol seviyeleri için DOA arama çözünürlüğü $\Delta\theta=2^\circ$ 'den daha küçük DOA tahmin hatasına sahiptir. Diğer taraftan, anten konfigürasyonu olarak bir karşılaştırma yapıldığında DOA arama çözünürlüğü $\Delta\theta=0.5^\circ$ ve UCA konfigürasyonu tüm çoklu yol seviyeleri için

**Şekil 4.** Dinamik çoklu yol koşulları ve DOA çözünürlüğü $\Delta\theta=0.5^\circ$ için SCC algoritması ULA konfigürasyonu DOA tahmin hataları**Şekil 5.** Dinamik çoklu yol koşulları ve DOA çözünürlüğü $\Delta\theta=2^\circ$ için SCC algoritması ULA konfigürasyonu DOA tahmin hataları



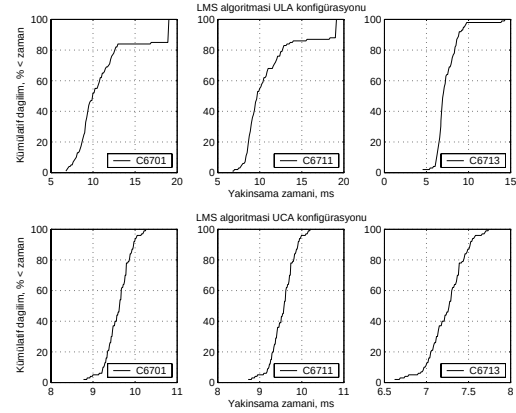
Şekil 6. Dinamik çoklu yol koşulları ve DOA çözünürlüğü $\Delta\theta=0.5^\circ$ için SCC algoritması UCA konfigürasyonu DOA tahmin hataları



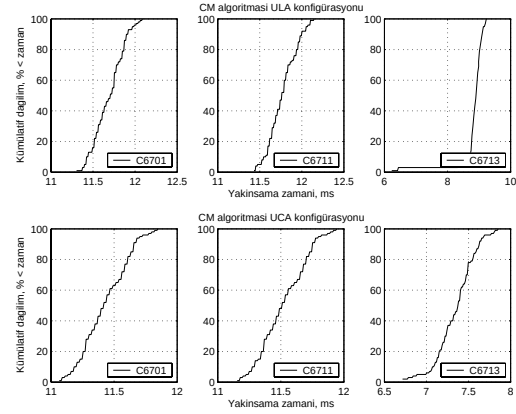
Şekil 7. Dinamik çoklu yol koşulları ve DOA çözünürlüğü $\Delta\theta=2^\circ$ için SCC algoritması UCA konfigürasyonu DOA tahmin hataları

optimum tahmin hatasına sahiptir. Dolayısıyla sonuçlardan, çoklu yolların SNR seviyesi yükseldiğinde DOA tahmin hatası azalmaktadır. Ayrıca, SCC algoritması DOA arama çözünürlüğü $\Delta\theta=0.5^\circ$ gerçekleştirme zamanı cdma2000 sisteminin 10 ms'lik çerçeve aralığı için uygun bir süre değildir.

SCC algoritmasının avantajlarını göstermek için literatürde bulunan ve en çok kullanılan LMS [9] ve CM [10] uyarlanabilir algoritmaları ile performans karşılaştırılması yapılmıştır. Bu amaç için, verilen anten konfigürasyonları (ULA ve UCA) ve DSP'ler (C6701, C6711 ve C6713) kullanılarak dinamik çoklu yol şartlarında uyarlanabilir algoritmaların SINR performansları ve gerçekleştirme zamanlarının değişimi Monte Carlo simülasyonları 100 kez tekrarlanarak belirlenmiştir. Karşılaştırma için bu algoritmaları seçilmesinin nedeni ise basit ve hesaplama karmaşıklığı az olan algoritmalar olmalarıdır. Bu algoritmaların simülasyonları için istenir kullanıcı için bir direkt ve çoklu yol, parazit sinyali ve gürültü içeren kablosuz yayılım kanalı ele alınmıştır. Her bir simülasyon için kullanılan diğer parametreler ise şu şekildedir: İstenir kullanıcının direkt yolu 32° olarak ayarlanmıştır.



Şekil 8. Farklı DSP'ler üzerinde LMS algoritması ULA ve UCA konfigürasyonları için yakınsama zamanı toplam dağılımları



Şekil 9. Farklı DSP'ler üzerinde CM algoritması ULA ve UCA konfigürasyonları için yakınsama zamanı toplam dağılımları

Çoklu yol ve parazit sinyalleri için açılar düzgün dağılım kullanılarak rasgele seçildi. Çoklu yol sönmülme parametrelerinin genlik ve faz bileşenleri sırasıyla Rayleigh ve düzgün dağılımlı değişkenlerle temsil edilmiştir. LMS algoritması için adım aralığı 0.001 seçilirken, CM algoritması için ağırlık faktörü 0.98 olarak seçilmiştir. Algoritmalar için yakınsama kriteri olarak seçilmiştir. Algoritmalar için ağırlık vektörleri arasındaki ağırlık hatasının normu olarak belirlenmiştir. Simülasyonlar sonunda yakınsama zamanının ve alınan SINR değerinin istatistikleri elde edilmiştir. Şekil 8 ve 9 sırasıyla 5 elemanlı ULA ve UCA konfigürasyonları için DSP'ler üzerinde gerçekleştirilen algoritmaların yakınsama zamanlarının toplam dağılımlarını göstermektedir. Şekillerden de görüleceği gibi, C6713 DSP tüm anten ve algoritma seçimlerine göre toplam dağılımların %50'lik dilimi için 7.5 ms'lik en hızlı ağırlık vektörü hesaplama zamanı sunmaktadır. Aynı zamanda, LMS ve CM algoritmalarının ağırlık vektörü hesaplama zamanı çoklu yol yayılım kanalı tarafından etkilenebilmektedir ve algoritmalar değişen hesaplama zamanlarına sahiptir.

Toplam dağılımlardan elde edilen yakınsama zamanının ortalama ve standart sapmaları Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Akıllı anten algoritmaları yakınsama zamanları

Yakınsama zamanı (ms)		LMS		CM		SCC	
		UCA		ULA		UCA	
		UCA	ULA	UCA	ULA	UCA	ULA
Ort	C6701	9.605	11.302	11.433	11.692	10.831	10.831
	C6711	9.550	11.167	11.535	11.773	12.202	12.214
	C6713	7.248	7.433	7.352	8.841	9.344	9.344
Std. Sapma	C6701	0.301	3.661	0.186	0.181	0	0
	C6711	0.297	3.471	0.188	0.170	0	0
	C6713	0.227	1.421	0.231	0.463	0	0

SCC algoritması DOA arama çözünürlüğü değiştirilmediğinde çoklu yol şartlarına bakılmaksızın sabit gerçekleştirme zamanına sahip olduğu tablodan görülmektedir.

Algoritmaların SINR performanslarına bakıldığında ise, Şekil 10'da ışın şekillendirme algoritmaların alınan SINR değerlerinin toplam dağılımları ve ortalama değerleri gösterilmektedir. Buradan algoritmaların SINR çıkışlarında da SCC algoritmasının diğer algoritmalarla göre yaklaşık 5 dB daha iyi sonuç verdiği görülmektedir.

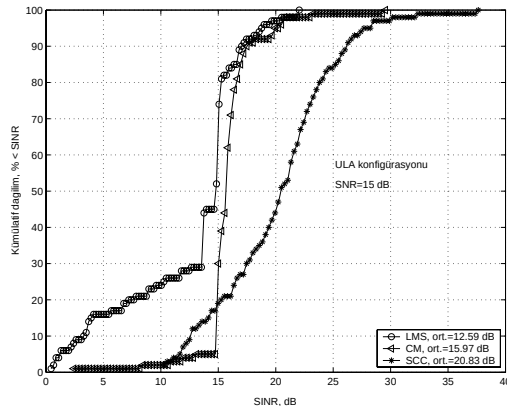
6. SONUÇ

Bu çalışmada, akıllı anten sistemlerinde cdma2000 yukarı bağlantı kanalı için kullanılabilecek olan yeni bir algoritma gerçekleştirilmesi ve performans analizi yapılmıştır. Önerilen SCC algoritması için performans değerlendirmesi dinamik çoklu yol sönümlmesi koşullarında ağırlık vektörü hesaplama zamanı, DOA arama çözünürlüğü etkisi ve alınan SINR cinsinden gerçekleştirilmiştir. Görülmektedir ki, önerilen SCC algoritması LMS ve CM algoritmaları gibi herhangi bir ön bilgi ve parametreye ihtiyaç duymadan ve ağırlık vektörü hesaplama zamanı çoklu yol yayılım koşullarından etkilenmeden gerçekleştirilebilmektedir. Diğer taraftan, yakınsama zamanı kritik parametre olarak ele alınırsa, C6713 işlemcisi tüm anten konfigürasyonları ve algo-

ritmalar için en iyi performansı vermektedir. Ayrıca gösterildi ki SCC, LMS ve CM algoritmalarının SDR gerçekleştirimi cdma2000 sistemi çerçeve aralığı olarak belirlenen 10 ms'den daha az bir zamanda gerçekleştirilebilmektedir.

KAYNAKLAR

1. Patti, J.J., Husnay, R.M., Pintar, J., "A Smart Software Radio: Concept Development and Demonstration", **IEEE Selected Areas in Communications**, Cilt17, No 4, 631-649, 1999.
2. Rappaport, T. S. ve Liberti, J. C., **Smart Antennas for Wireless Communication**, Prentice Hall, A.B.D., 1999.
3. Winters, J. H., "Smart Antennas for Wireless Systems," **IEEE Personal Commun. Mag.**, Cilt 5, 23-27, 1998.
4. Im, H. ve Choi, S., "Implementation of a Smart Antenna Test-Bed," **IEEE AP-S International Symposium & URSI Radio Science Meeting**, 83-88, 2000.
5. Ogose, S., "Application of Software Radio to the Third Generation Mobile", **IEEE VTC'99**, Cilt 2, 1212-1216, 1999.
6. Jeon, S. S., Wang, Y., Qian, Y. ve Itoh T., "A Novel Smart Antenna System Implementation for Broadband Wireless Communication," **IEEE Trans. on Antennas and Propagation**, Cilt 50, No 5, 600-606, 2002.
7. Dahnoun, N., **DSP Implementation using the TMS320C6000 DSP Platform**, Prentice Hall, A.B.D., 2000.
8. "Physical Layer Standard for cdma2000 Spread Spectrum Systems", **TIA/EIA Interim Standard**, TIA/EIA/S-2000-2.
9. Godara, L., "Application of Antenna Arrays to Mobile Communications, Part II: Beamforming and Direction-of-Arrival Considerations," **Proceedings of the IEEE**, Cilt 85, No 8, 1195-1245, 1997.
10. Veen, A.J. ve Paulraj, A., "An analytical constant modulus algorithm," **IEEE Trans. of Signal Proc.**, Cilt 44, No 5, 1136-1155, 1996.
11. Kucuk, K., Karakoc, M., Kavak, A. ve Yigit, H., "Design and Hardware Implementation of A Novel Smart Antenna Algorithm With Using TI DSPs", **2nd International Symposium on Wireless Communication Systems 2005**, 596-600, 2005.



Şekil 10. C6701 EVM üzerinde gerçekleştirilen uyarlanabilir algoritmalar için alınan SINR'ların toplam dağılımları

12. Karakoc, M. ve Kavak A., "Evaluation of Smart Antenna Algorithms for cdma2000 Reverse Link," **Springer-Verlag, Lecture Notes in Computer Science**, Cilt 3042, 1360-1365, 2004.
13. Perez-Neira, A., Mestre, X., ve Fonollosa J.R., "Smart Antennas in Software Base Stations", **IEEE Communications Magazine**, Cilt 39, No 2, 66-173, 2001.
14. Texas Instruments, **TMS320C6000 Technical Brief**, Literatür No: SPRU197D, Texas, A.B.D, 1999.
15. Seshan, N., "High Velocity processing [Texas Instruments VLIW DSP Architecture]," **IEEE Signal Proc. Magazine**, Cilt 15, No 2, 86-101, 117, 1998.
16. Texas Instruments, **TMS320C6201/6701 Evaluation Module Technical Reference**, Literatür No: SPRU305, Texas, USA, 1998.
17. Texas Instruments, **TMS320C6711, TMS320C6711B, TMS320C6711C Floating-Point DSPs**, Literatür No: SPRS088D, A.B.D., 2002.
18. Spectrum Digital Inc., **TMS320C6713 DSK Technical Reference**, 506735-0001 Rev. A, Stafford, A.B.D., 2003.
19. Texas Instruments, **Code Composer Studio Getting Started Guide**, Literatür No: SPRU509C, A.B.D., 2001. The MathWorks Inc., MATLAB Link for Code Composer Studio Development Tools Release Notes, 2005.