

UYARLANABİLİR AKILLI ANTEN ALGORİTMALARININ YUVARLANIR NOKTA DSP ÜZERİNDE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ VE KARŞILAŞTIRILMASI

Kerem Küçük, Mustafa Karakoç ve Adnan Kavak*
Kocaeli Üniversitesi
Elektronik-Bilgisayar Eğitimi Bölümü
İzmit, Kocaeli
kkucuk@kou.edu.tr, mkarakoc@kou.edu.tr

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

Özet: Baz istasyonunda önemli kapasite artışı ve performans artırımını sağlayan akıllı anten sistemleri (Smart Antenna System, SAS) 3. nesil tabanlı CDMA sistemleri için önde gelen teknoloji olarak görülmektedir. SAS’inde kullanılan uyarlanabilir akıllı anten algoritmalarının tamamına yakını dijital sinyal işlemci’lerinde (Digital Signal Processor, DSP) gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmada cdma2000 yukarı bağlantı kanalı için uyarlanabilir ışın şekillendirici algoritmalarının Texas Instruments (TI) TMS320C6000 ailesi DSP’lerinin kullanılmasıyla gerçekleştirilmesi incelenmektedir. Simülasyonlar 5 elemanlı düzgün doğrusal dizi (Uniform Linear Array, ULA) ve düzgün dairesel anten dizisi (Uniform Circular Array, UCA) şeklindeki alıcılarının kullanılmasıyla gerçekleştirilmiştir. Sistemde ağırlık vektörü hesabı için DSP sabit modül (Constant Modulus, CM) algoritması ve en küçük ortalamalı kareler (Least Mean Square, LMS) algoritmasını kullanmaktadır.

1. Giriş

Akıllı anten sistemleri (Smart Antenna Systems, SAS) [1], baz istasyonunda önemli kapasite ve performans artımı sağlayan 3. nesil CDMA sistemleri için önde gelen bir teknolojidir. Bu anten sistemleri uyarlanabilir ışın şekillendirme algoritmalarında sinyali tanımak, izini bulmak ve paraziti bastırmak için kullanılır. Dijital sinyal işlemci (Digital Signal Processor, DSP) kablosuz haberleşme sistemleri içinde, temel banttaki kanal işlemcilerinin içine uyarlanabilir ışın şekillendirme özelliğinin entegrasyonuna büyük ölçüde olanak sağlayabilen bir teknolojidir. Gelişmekte olan bu teknolojilerin birlikte kullanılmasıyla birlikte 3. nesil baz istasyonlarının içine SAS’ nin eklenmesi yeni nesil haberleşme sistemleri için anahtar rol oynamaktadır [2]-[3].

Bu çalışmada, cdma2000 yukarı bağlantı kanalı için uyarlanabilir algoritmalarının DSP tabanlı gerçekleştiriminin uygulanabilirliği ve değişen vektör kanal yayılım ortamında farklı DSP ve anten tiplerinin bu algoritmaların performanslarına olan etkileri gözlemlendi. Bu amaçla, Texas Instruments (TI) TMS320C67xx yuvarlanırlı nokta DSP (C6701, C6711 ve C6713) nesili üzerinde cdma2000 sistemi için kullanıcı bilgisine ihtiyaç duymayan sabit modül (Constant Modulus, CM) algoritması ve kullanıcı bilgisine ihtiyaç duyan en küçük ortalamalı kareler (Least Mean Square, LMS) algoritmasının DSP gerçekleştirilmesi gösterilmektedir. 5 elemanlı düzgün doğrusal dizi (Uniform Linear Array, ULA) ve düzgün dairesel dizi (Uniform Circular Array, UCA) anten topolojilerinde, değişen çoklu yol azalması ve açılal yayılımın kullanılmasıyla algoritmaların ağırlık vektörü hesaplama zamanının Monte Carlo Simülasyonları için ortalama ve standart sapma değerlerinin tablolandırılması, algoritmaların sonucunda elde edilen ağırlık ve sinyal hataları ve oluşturulan uzaysal spektrumların istenir kullanıcıya yakınsaması cinsinden performans değişiminin karşılaştırması incelendi.

2. Sinyal Modeli

cdma2000, uluslararası haberleşme birliği tarafından tanımlanmış bir 3. nesil standardı olarak kabul görmektedir. cdma2000 yukarı bağlantı sinyal modeli, simülasyonlarda radyo düzeni 1’e (Radio Configuration, RC1) göre kullanılmıştır [4]. Hareketli birimden alınan temel bant sinyali şöyle açıklanabilir,

Bu çalışma TÜBİTAK tarafından EEEAG / 102E015 proje numarası ile desteklenmektedir.

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

burada k slot indeksi, $d(k,t)$ karmaşık yayılım öncesi dalga formu, $c(k,t)$ karmaşık PN yayılım dizisi, \otimes karmaşık yayılım fonksiyonu olarak adlandırılır. İletilen sinyal $S(t)$ çoklu yol yayılım ortamında meydana gelmektedir ki, bunun sonucu olarak $\alpha_i = \beta_i e^{j\phi}$ karmaşık yol zayıflaması ve her bir çoklu yol sinyali için τ_i zaman gecikmesi oluşmaktadır. Farz edelim ki bir hücre yada sektörde N adet abone olsun. Baz istasyonunda M elemanlı anten dizisi tarafından kaydedilen sinyal

$$\mathbf{X}(t) = \sum_{\ell=1}^L \alpha_{\ell} s(t - \tau_{\ell}) \mathbf{a}(\theta_{\ell}) + \mathbf{I}(t) + \mathbf{N}(t), \quad (2)$$

şeklinde ifade edilir ki burada $\mathbf{I}(t)$ çoklu erişim parazit sinyalidir ve

$$\mathbf{I}(t) = \sum_{q=1}^{N-1} \sum_{\ell=1}^{L_q} \alpha_{q,\ell} s(t - \tau_{q,\ell}) \mathbf{a}(\theta_{q,\ell}) \quad (3)$$

ile belirtilir. $\mathbf{N}(t)$ karmaşık değerli beyaz gürültü olarak adlandırılan gürültü bileşeni, farklı θ_i çoklu yol açıları için $\mathbf{a}(\theta_i)$ ise doğrultu vektörüdür. \mathbf{W} ağırlık vektörü bazı optimizasyon yada ışın şekillendirici algoritmaları vasıtasıyla optimum SINR güç oranını yada kriter olarak alınan objektif fonksiyona göre belirlenir.

$$\mathbf{z}(t) = \mathbf{W}^H(t) \mathbf{X}(t) \quad (4)$$

3. Dijital Sinyal İşlemci

Yazılan koddaki karakök ve bölme gerektiren işlemler sabit nokta işlemciler için uygun olmadığından uyarlanabilir algoritmaların gerçekleştirilmesi için TI TMS320C67xx yuvarlanır nokta DSP nesili seçildi [5]. Bu nesile üye, geliştirme modülü üzerinde C6701 DSP, başlatıcı kit üzerinde C6711 DSP ve yine başlatıcı kit üzerinde C6713 DSP'leri simülasyonlarda kullanıldı. Her üç DSP'de yüksek performans ve gelişmiş çok-uzun-komut-kelime mimarisine dayanmaktadır. C6700 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 (.L, .S, .M ve .D) ve 16 tane 32 bitlik yazmaca sahiptir. C6701 DSP 133 MHz'lik saat hızına sahiptir. C6711 DSP, 150 MHz çalışma frekansında saniyede 900 mega yuvarlanır sayı işlemi, C6713 DSP, 225 MHz çalışma frekansında 1350 mega yuvarlanır sayı işlemi gerçekleştirebilmektedir.

4. DSP Gerçekleştirilmesi ve Simülasyon Sistemi

DSP emülasyonu aşağıdaki adımlara göre gerçekleştirilmektedir: Anten tarafından cdma2000 formatında alınan veri bilgisayarda üretilip veri dosyası olarak kaydedildi. Sinyal modellenmesinde, kablosuz vektör kanalında istenen kullanıcı için bir direk, bir çoklu yol bileşeni, parazit sinyali ve gürültü sinyali göz önüne alındı. Uyarlanabilir algoritmalar TI Code Composer Studio (CCS) assembly dilinde kodlandı. Yazılan bu kod yine CCS tarafından derlenip DSP'nin program hafızasına yüklendi. Yüklenen bu program vasıtasıyla DSP ışın şekillendirici ağırlık vektörünü hesapladı. DSP'lerin tanımlanmış olduğu sınırlı hafıza kullanımından dolayı kullanılan RC1 formatındaki veri harici hafızaya yerleştirildi. Monte Carlo simülasyonlarını belirlenmiş anten düzenleri, algoritmalar ve seçilen DSP işlemcileri için farklı kanal şartlarında etkin ışın şekillendiricinin yakınsama zamanındaki değişimini ve elde edilen ağırlık vektörlerinin istenir kullanıcıya yakınsamasını belirlemek için 100 kez tekrarlayarak çalıştırıldı. Simülasyonlarda kullanılan diğer parametreler şunlardır: istenir kullanıcının direk yolu 32° , çoklu yol ve parazit sinyalleri her çalışmada düzgün dağılım kullanılarak rastgele seçildi. Çoklu yol zayıflamasının genlik ve faz bileşenleri sırasıyla Rayleigh ve düzgün rastgele değişkenler olarak temsil edildi. Her iki algoritma için örnekleme sayısı 1000, LMS algoritması için adım aralığı 0,01 ve CM algoritması için ağırlık faktörü 0,99 olarak kabul edildi. Algoritmalar için yakınsama kriteri ardarda sıralanmış iki ağırlık vektörü arasındaki hatanın normu ile belirlendi.

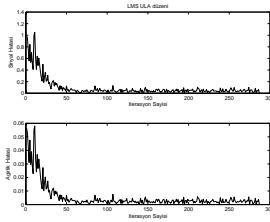
5. Sonuçlar

Monte Carlo simülasyonlarının 100 kez çalıştırılmasıyla yakınsama zamanının ortalama ve standart sapma değerleri elde edildi. Şekil 1'den 4'e kadar simülasyonların her bir algoritma ve anten düzeni için bir kez çalıştırılmasıyla elde edilen sinyal ve ağırlık hataları görülmektedir. LMS algoritmasının yakınsama zamanı aynı anten düzeni için CM algoritmasına göre daha hızlıdır. Ancak Tablo 1'de verilen ortalama ve standart sapma değerlerine bakıldığında CM algoritmasının yayılımı daha azdır. Çünkü CM algoritması çoklu yol zayıflamalarından ve açısal yayılımdaki değişimlerden daha az etkilenmektedir. Bununla birlikte şekil 5'ten 8'e

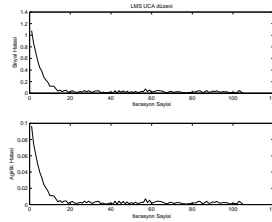
kadar algoritmaların DSP gerçekleştirilmesinden elde edilen uzaysal spektrumları verilmiştir. Şekillerden de görüleceği gibi CM algoritması LMS algoritmasına göre ışın huzmesini istenir kullanıcı yönüne daha doğru bir şekilde yönlendirmektedir.

Tablo 1. Yakınsama zamanının ortalama ve standart sapma (ms) değerleri.

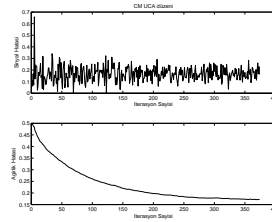
| | | DSP | LMS | | CM | |
|-----------------------|------|-------|------|------|------|------|
| | | | ULA | UCA | ULA | UCA |
| Yakınsama zamanı (ms) | Ort. | C6701 | 5,84 | 5,30 | 9,54 | 9,12 |
| | | C6711 | 5,32 | 5,22 | 9,61 | 9,13 |
| | | C6713 | 4,47 | 3,85 | 7,25 | 6,98 |
| | Std. | C6701 | 4,66 | 4,20 | 1,07 | 0,61 |
| | | C6711 | 4,32 | 4,48 | 0,94 | 0,70 |
| | | C6713 | 3,06 | 2,87 | 0,69 | 0,59 |



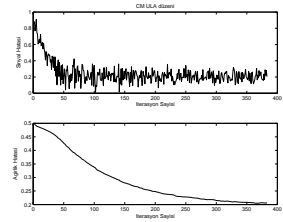
Şekil 1. LMS algoritması ULA düzeni ağırlık ve sinyal hataları.



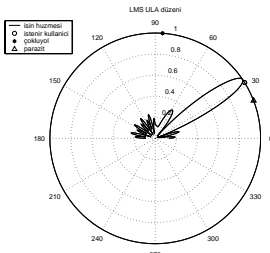
Şekil 2. LMS algoritması UCA düzeni ağırlık ve sinyal hataları.



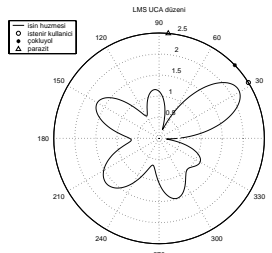
Şekil 3. CM algoritması ULA düzeni ağırlık ve sinyal hataları.



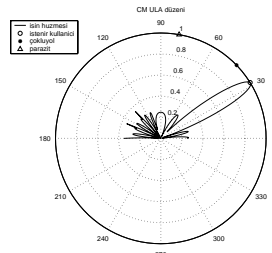
Şekil 4. CM algoritması UCA düzeni ağırlık ve sinyal hataları.



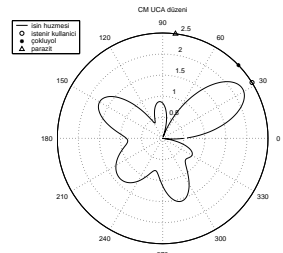
Şekil 5. LMS algoritması ULA düzeni uzaysal spektrumu.



Şekil 6. LMS algoritması UCA düzeni uzaysal spektrumu.



Şekil 7. CM algoritması ULA düzeni uzaysal spektrumu.



Şekil 8. CM algoritması UCA düzeni uzaysal spektrumu.

Sonuç olarak bu çalışmada, uyarlanabilir akıllı anten algoritmalarının cdma2000 yukarı bağlantı kanalı için yuvarlanırlar sayı DSP'lerinde gerçekleştirilmesinin uygulanabilirliği gösterilmiş oldu. Bu algoritmaların performans değerlendirilmesi yakınsama zamanı ve uzaysal spektrumların istenir kullanıcıya yakınsaması cinsinden farklı DSP'ler ve anten düzenleri için farklı kanal yayılım ortamında yapıldı. Uzaysal spektrumların kullanıcıya yakınsaması cinsinden performans karşılaştırılmasında CM algoritmasının LMS algoritmasına göre daha iyi sonuç verdiği gösterildi. Diğer taraftan yakınsama zamanı performans karşılaştırılması için ise C6713 işlemcisinin tüm algoritmalar ve anten düzenlerinde en iyi sonuç verdiği ve akıllı anten algoritmalarının DSP üzerinde gerçekleştiriminin C6713 işlemcisi üzerinde gerçekleştirilebileceği gösterilmiş oldu.

Kaynaklar

- [1]. Rappaport T. S. ve Liberti J. C., Smart Antennas for Wireless Communication, Prentice Hall , Newjersey, A.B.D., 1999.
- [2]. 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, 50(5), s. 600-606, 2002.
- [3]. Küçük K., Karakoc M., ve Kavak A., "Real Time Implementantion of LMS Beamformer for cdma2000 3G System Using TI TMS320C6701," International Conference on Electrical and Electronics Engineering, Aralık 2003, Bursa, Türkiye, s.360-365.
- [4]. Karakoc M., Kavak, A., "Evaluation of Smart Antenna Algorithms for cdma2000 reverse link", Lecture Notes in Computer Science, 3042, s.1360-1365, 2004.
- [5]. Texas Instruments, TMS320C6000 Technical Brief, Texas, A.B.D., 1999.