

Üçüncü Nesil Kablosuz CDMA için Uyarlamalı Anten Dizilerinin Aşağı Bağlantı Parazit Analizi ve Sistem Kapasitesi

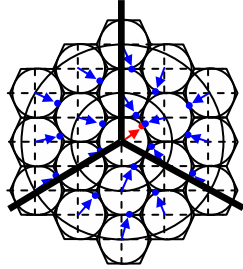
Mustafa Karakoç, Adnan Kavak*
Kocaeli Üniversitesi
Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Bölümü
İzmit, Kocaeli
mkarakoc@kou.edu.tr,

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

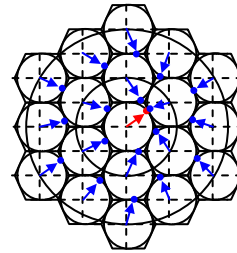
Özet: Bu çalışmada, sabit ses ve veri kullanıcılarından oluşan trafik senaryolarını içeren CDMA hücresel sisteminin aşağı bağlantı kapasite artışı sağlayan etkenler üzerinde duracağız. Bu amaçla, düzgün doğrusal anten dizisi (Uniform Linear Array – ULA) için anten elemanları arası mesafe (Δ) ve düzgün dairesel anten dizisi (Uniform Circular Array – UCA) için yarıçap parametreleri (R) en iyi sonucu vermek için değiştirilmiştir. Çalışmada sistem performansının anten dizisi parametreleri ve topolojisine bağlı olarak değiştiği görülmüştür.

1. Giriş

Üçüncü nesil (3.Generation – 3G) kablosuz sistemler için gezgin kullanıcı yönünde aşağı bağlantı haberleşmesinin kapasitesi, ortamdaki parazit etkisinden dolayı sınırlıdır. Bu sınırlamalarla baş edebilmek için uyarlamalı anten dizileri (Adaptive Antenna Array – AAA), aynı hücre içinde istenilir yöndeki kullanıcıya doğru iletilen gücü maksimize edip, diğer yöndeki parazit kullanıcılara doğru iletilen gücü minimize ederler. CDMA sistemler için AAA'nın aşağı bağlantı kapasitesi çeşitli araştırmacılar [1,2,3] tarafından incelenmiştir. AAA, çoklu yol aşağı bağlantı ağırlık vektörleri için ortalama DOA ışın şekillendirici algoritmayı [4] kullanmıştır. Baz istasyonunda ULA ve UCA topolojilerinin kullanıldığı AAA, gezgin kullanıcılarda ise yönsüz anten elemanları kullanılmıştır. Monte Carlo simülasyonu (10000 adım) farklı anten topolojileri için aşağı bağlantı sistem kapasitesini belirlemek amacıyla kullanılmıştır. Hızlı sönmüleme ve gölgeleme etkileri Rayleigh ve log-normal dağılımları ile modellenmiştir.



Şekil 1. Üç sektöre ayrılmış ULA topolojisi.



Şekil 2. Sektörlere ayrılmamış UCA topolojisi.

2. Sinyal ve Parazit Modeli, Sistem Çıkış Olasılığı

İki katmanlı hücresel ağdaki baz istasyonları, Şekil 1 ve 2'de gösterildiği gibi ULA ve UCA ile oluşturulmuştur. Burada, dar bant kanal modelini göz önüne aldığımızda istenilir gezgin kullanıcı tarafından alınan temel bant sinyal

$$\begin{aligned} X(t) = & \sum_{i_1=0}^{N_1} \psi_{i_1,0} \sum_{f=1}^{F_0} \sqrt{P_{1,0}} b_{i_1,0} \left(\frac{t - \tau_{i_1,0,f}}{T} \right) c_{i_1,0} (t - \tau_{i_1,0,f}) \beta_{0,f} \mathbf{w}_{i_1,0}^H \mathbf{a}(\theta_{0,f}) \\ & + \sum_{i_2=0}^{N_2} \psi_{i_2,0} \sum_{f=1}^{F_0} \sqrt{P_{2,0}} \sum_{q=1}^Q b_{i_2,0,q} \left(\frac{t - \tau_{i_2,0,q,f}}{T} \right) c_{i_2,0,q} (t - \tau_{i_2,0,q,f}) \beta_{0,f} \mathbf{w}_{i_2,0}^H \mathbf{a}(\theta_{0,f}) \\ & + \sum_{k=1}^K \sum_{i_1,k=1}^{N_1} \psi_{i_1,k} \sum_{f=1}^{F_k} \sqrt{P_{1,k}} b_{i_1,k} \left(\frac{t - \tau_{i_1,k,f}}{T} \right) c_{i_1,k} (t - \tau_{i_1,k,f}) \beta_{k,f} \mathbf{w}_{i_1,k}^H \mathbf{a}(\theta_{k,f}) \\ & + \sum_{k=1}^K \sum_{i_2,k=1}^{N_2} \psi_{i_2,k} \sum_{f=1}^{F_k} \sqrt{P_{2,k}} \sum_{q=1}^Q b_{i_2,k,q} \left(\frac{t - \tau_{i_2,k,q,f}}{T} \right) c_{i_2,k,q} (t - \tau_{i_2,k,q,f}) \beta_{k,f} \mathbf{w}_{i_2,k}^H \mathbf{a}(\theta_{k,f}) \\ & + \mathbf{n}(t) \end{aligned} \quad (1)$$

ile verilir. Burada, $\mathbf{a}(\theta_{k,f})$, k . hücre, f . çoklu yol için doğrultu vektörü, $b_{ij,k}(\cdot)$ bilgi sembolü, $c_{ij,k}$ ilgili kullanıcı için PN yayılım ve Walsh matrisini temsil eden ifade, $\tau_{ij,k}$ yayılım gecikmesi, $\mathbf{n}(t)$ ortam gürültü etkisi ve $\psi_{ij,k}$ ses etkinlik faktörüdür ki Bernoulli değişkeni ile modellenir. N_1 ve N_2 sırasıyla R_1 ve R_2 veri iletim hızına sahip ses ve veri kullanıcısıdır. Tüm kullanıcılar, ULA ve UCA topolojileri için $[30^\circ 150^\circ]$ ve $[0^\circ 360^\circ]$ arasında düzgün dağılımlıdır.

Gezgin kullanıcı tarafından alınan $\mathbf{X}(t)$ temel bant sinyali, istenilir kullanıcı kodu $c_{j,o}$ ile RAKE alıcı vasıtasıyla ilintilendirilir ve her bir çoklu yol için hesaplanıp toplanır. Verilen zaman aralığında istenilir kullanıcının ses yada veri kullanıcısı olduğunu varsayalım. İstenilir kullanıcı ses kullanıcısı olduğunda

$$Z_{1,0}(l) = \sum_{\gamma=1}^{F_0} \frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} \mathbf{X}(t) c_{1,0}^*(t - \tau_{1,0,\gamma}) dt \quad (2)$$

$$= S_{1,0}(l) + n_{1,0}^1(l) + n_{1,0}^2(l) + n_{1,k}^1(l) + n_{1,k}^2(l) + n_T(l)$$

burada, $S_{1,0}(l)$ istenilir ses kullanıcısının çoklu yol sinyali içeren bileşeni, $n_{1,0}^1(l)$ ve $n_{1,0}^2(l)$ sırasıyla aynı hücredeki ses ve veri kullanıcılarının parazit etkisi, $n_{1,k}^1(l)$ ve $n_{1,k}^2(l)$ sırasıyla aynı hücredeki ses ve veri kullanıcılarının parazit etkisi, $n_T(l)$ gürültü bileşenidir. Sistem çıkışı bu bileşenlerin varyanslarının alınması ile belirlenir.

$$\text{var}\{S_{1,0}(l)\} = \Psi_{1,0} \bar{P}_{1,0} L^2 R_{1,0} \quad (3) \quad g_{1,k}^1 = \text{var}\{n_{1,k}^1\} = L \sum_{k=1}^K \bar{P}_{1,k} \sum_{i_{1,k}=1}^{N_1} \Psi_{i_{1,k}} \sum_{f=1}^{F_0} F_0 |\beta_{k,f}|^2 \left\| \mathbf{w}_{i_{1,k}}^H \mathbf{a}(\theta_{k,f}) \right\|^2 \quad (6)$$

$$g_{1,0}^1 = \text{var}\{n_{1,0}^1\} = \bar{P}_{1,0} L \sum_{i_{1,0}=2}^{N_1} \Psi_{i_{1,0}} \sum_{f=1}^{F_0} F_0 |\beta_{0,f}|^2 \left\| \mathbf{w}_{i_{1,0}}^H \mathbf{a}(\theta_{0,f}) \right\|^2 \quad (4) \quad g_{1,k}^2 = \text{var}\{n_{1,k}^2\} = LQ \sum_{k=1}^K \bar{P}_{2,k} \sum_{i_{2,k}=1}^{N_2} \Psi_{i_{2,k}} \sum_{f=1}^{F_0} F_0 |\beta_{k,f}|^2 \left\| \mathbf{w}_{i_{2,k}}^H \mathbf{a}(\theta_{k,f}) \right\|^2 \quad (7)$$

$$g_{1,0}^2 = \text{var}\{n_{1,0}^2\} = \bar{P}_{2,0} LQ \sum_{i_{2,0}=1}^{N_2} \Psi_{i_{2,0}} \sum_{f=1}^{F_0} F_0 |\beta_{0,f}|^2 \left\| \mathbf{w}_{i_{2,0}}^H \mathbf{a}(\theta_{0,f}) \right\|^2 \quad (5) \quad g_{n_T} = L\sigma_n^2 \quad (8)$$

Sinyal bit enerjisinin gürültü bileşenine oranı şu şekilde verilir.

$$\left[\frac{E_b}{N_0 + I_0} \right]_1 = \frac{\text{var}\{S_{1,0}(l)\}}{g_{1,0}^1 + g_{1,0}^2 + g_{1,k}^1 + g_{1,k}^2 + g_{n_T}} \quad (9) \quad \left(\frac{E_b}{N_0 + I_0} \right)_1 = \frac{L}{G_{1,0}^1 + G_{1,0}^2 + G_{1,k}^1 + G_{1,k}^2 + \frac{L\sigma_n^2 F_0^2}{R_{1,0}}} \quad (10)$$

Benzer şekilde, veri kullanıcısının her bir paralel kanalı istenilir kullanıcı olarak dikkate alındığında

$$Z_{2,0} = \sum_{\gamma=1}^{F_0} \sum_{h=1}^Q \frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} \mathbf{X}(t) c_{2,0}^*(t - \tau_{2,0,h,\gamma}) dt \quad (11)$$

$$= S_{2,0}(l) + n_{2,0,q}^1(l) + n_{2,0,q}^2(l) + n_{2,k,q}^1(l) + n_{2,k,q}^2(l) + n_T(l)$$

şeklinde verilir. Burada, $S_{2,0}(l)$ istenilir veri kullanıcısının çoklu yol sinyali içeren bileşeni, $n_{2,0}^1(l)$ ve $n_{2,0}^2(l)$ sırasıyla aynı hücredeki ses ve veri kullanıcılarının parazit etkisi, $n_{2,k}^1(l)$ ve $n_{2,k}^2(l)$ sırasıyla aynı hücredeki ses ve veri kullanıcılarının parazit etkisi, $n_T(l)$ gürültü bileşenidir. Yine sistem çıkışı için varyansları aldığımızda

$$\text{var}\{S_{2,0}(l)\} = \Psi_{2,0} \bar{P}_{2,0} L^2 Q^2 R_{2,0} \quad (12) \quad g_{2,k}^1 = \text{var}\{n_{2,k}^1\} = L \sum_{k=1}^K \bar{P}_{1,k} \sum_{i_{1,k}=1}^{N_1} \Psi_{i_{1,k}} \sum_{f=1}^{F_0} F_0 |\beta_{k,f}|^2 \left\| \mathbf{w}_{i_{1,k}}^H \mathbf{a}(\theta_{k,f}) \right\|^2 \quad (15)$$

$$g_{2,0}^1 = \text{var}\{n_{2,0}^1\} = \bar{P}_{1,0} L \sum_{i_{1,0}=1}^{N_1} \Psi_{i_{1,0}} \sum_{f=1}^{F_0} F_0 |\beta_{0,f}|^2 \left\| \mathbf{w}_{i_{1,0}}^H \mathbf{a}(\theta_{0,f}) \right\|^2 \quad (13) \quad g_{2,k}^2 = \text{var}\{n_{2,k}^2\} = LQ \sum_{k=1}^K \bar{P}_{2,k} \sum_{i_{2,k}=1}^{N_2} \Psi_{i_{2,k}} \sum_{f=1}^{F_0} F_0 |\beta_{k,f}|^2 \left\| \mathbf{w}_{i_{2,k}}^H \mathbf{a}(\theta_{k,f}) \right\|^2 \quad (16)$$

$$g_{2,0}^2 = \text{var}\{n_{2,0}^2\} = \bar{P}_{2,0} LQ \sum_{i_{2,0}=2}^{N_2} \Psi_{i_{2,0}} \sum_{f=1}^{F_0} F_0 |\beta_{0,f}|^2 \left\| \mathbf{w}_{i_{2,0}}^H \mathbf{a}(\theta_{0,f}) \right\|^2 \quad (14) \quad g_{n_T} = F_0 L \sigma_n^2 \quad (17)$$

Bu varyanslar, rasgele değişkenlerdir ve değeri ses yada veri kullanıcısının etkinlik faktörüne, ışın şekillendirici vektörlere ve gölgeleme, zayıflama etkilerine bağlıdır.

$$\left[\frac{E_b}{N_0 + I_0} \right]_2 = \frac{\text{var}\{S_{2,0}(l)\}}{g_{2,0}^1 + g_{2,0}^2 + g_{2,k}^1 + g_{2,k}^2 + g_{n_T}} \quad (18) \quad \left(\frac{E_b}{N_0 + I_0} \right)_2 = \frac{QL}{G_{2,0}^1 + G_{2,0}^2 + G_{2,k}^1 + G_{2,k}^2 + \frac{L\sigma_n^2 F_0^2}{R_{2,0}}} \quad (19)$$

Sistem çıkış olasılığı, bit hata oranı (BER) cinsinden yazılabilir.

$$P_{\text{out}} = Pr(\text{BER}_1 > p_{0,1} \text{ or } \text{BER}_2 > p_{0,2}) \quad (20)$$

$$= 1 - Pr(\text{BER}_1 \leq p_{0,1} \text{ and } \text{BER}_2 \leq p_{0,2})$$

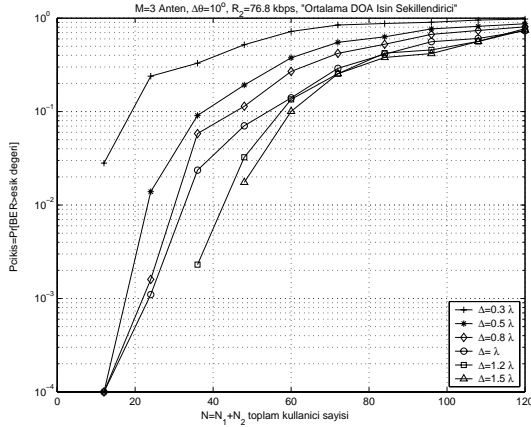
Burada, $p_{0,1}$ ve $p_{0,2}$ istenilir ses ve veri kullanıcısının ulaşmak zorunda olduğu minimum performans eşik seviyesidir.

$$P_{\text{out}} = 1 - Pr \left\{ \begin{array}{l} \left(G_{1,0}^1 + G_{1,0}^2 + G_{1,k}^1 + G_{1,k}^2 + \frac{L\sigma_n^2 F_0^2}{R_{1,0}} \right) \leq \frac{L}{P_{0,1}} \\ \text{and} \\ \left(G_{2,0}^1 + G_{2,0}^2 + G_{2,k}^1 + G_{2,k}^2 + \frac{L\sigma_n^2 F_0^2}{R_{2,0}} \right) \leq \frac{QL}{P_{0,2}} \end{array} \right. \quad (21)$$

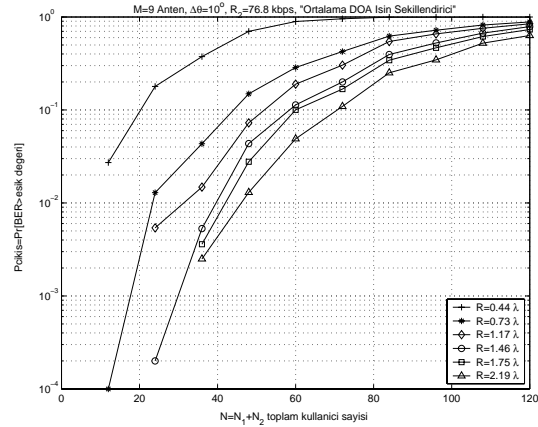
3. Simülasyon Sonuçları

Simülasyonlar, farklı anten dizi topolojileri, sabit ses ve veri trafiği ile CDMA sisteminin aşağı bağlantı sistem performansını belirlemek için gerçekleştirilmiştir. İhtiyaç duyulan eşik seviyesi, ses için 5,5 dB, veri için 3,6 dB'dir [5]. AAA için anten elemanları arasındaki mesafe önemli bir parametredir. Bu amaçla, farklı elemanlar arası uzaklıklar (Δ) ve yarıçap (R) değerleri karşılaştırılmıştır. Şekil 3, 3 elemanlı bir ULA için farklı Δ bilgileri ışığında sistem performansını sergilemektedir. Görülmektedir ki, istenilir sistem performansının sağlanması için Δ en az

$\lambda/2=7,93$ cm olmalıdır. Δ değerinin artması sistem performansını az da olsa artırmaktadır. 9 elemanlı UCA için de benzer sonuçlar Şekil 4’de verilmektedir. UCA’nın elemanlar arası mesafesi ULA’ya eşit olacak şekilde UCA’nın yarıçapı ayarlanmıştır. UCA için optimum sistem performansı $R=11,6$ cm’de elde edilmiştir ki bu değer $\Delta=\lambda/2$ değerine eşittir. Durumu sistem performansı cinsinden değerlendirdiğimizde %10 çıkış seviyesinde 9 elemanlı UCA yaklaşık 50 kullanıcıya bloklanmadan hizmet verirken, bu değer 3 elemanlı ULA için 35 kullanıcı civarındadır.

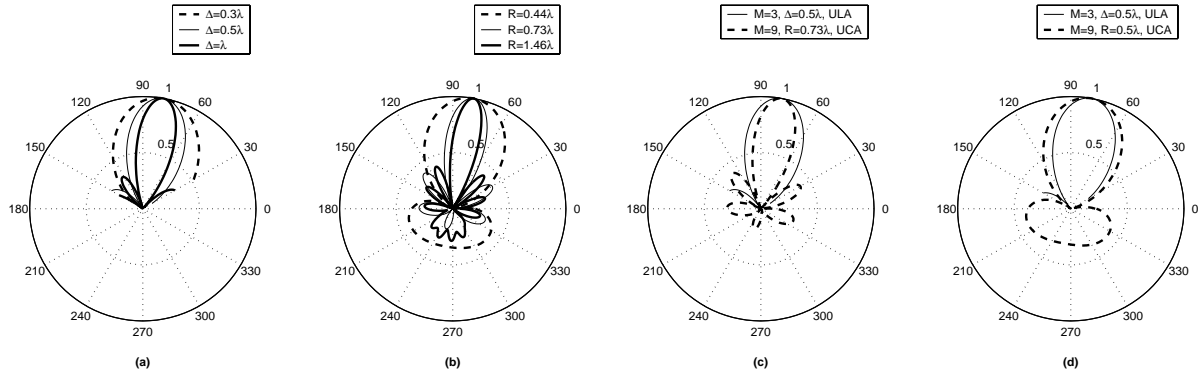


Şekil 3. 3 elemanlı ULA topolojisi için Δ etkisi.



Şekil 4. 9 elemanlı UCA topolojisi için R etkisi.

Farklı Δ ve R değerlerinin polar diyagramlarda ışına örüntüsü cinsinden karşılaştırması Şekil 5’de verilmiştir. ULA ve UCA için, farklı elemanlar arası mesafe ve yarıçap etkileri sırasıyla alt şekil (a) ve (b)’de verilmektedir. Her iki şekil bize gösterir ki, elemanlar arası mesafe ve yarıçap boyutları ana ışına örüntüsünün genişliği ile ters orantılıdır. Aynı zamanda ana ışına örüntüsünün genişliği daraldıkça yan ışına örüntülerinin sayısında artış görülmektedir. Sonuçta daha fazla parazit etkisinin oluşumuna neden olur. Alt şekil (c)’de $\Delta=0,5\lambda$ ’ya sahip üç sektöre ayrılmış ULA ile $R=0,73\lambda$ ’ya sahip sektörlere ayrılmamış UCA karşılaştırılmıştır ki, burada UCA’nın da elemanlar arası mesafesi yaklaşık olarak ULA’ya eşit olacak şekilde ayarlanmıştır. Işıma örüntüsü genişliği cinsinden incelediğimizde görürüz ki, UCA, ULA’dan daha dar ana ışına örüntüsüne sahiptir. Aynı durum alt şekil (d)’de verilmiştir. Ancak burada UCA için yarıçap $R=0,5\lambda$ alınmıştır, ULA’nın değeri değişmemektedir. Burada ULA’nın anten sayısı, UCA’dan daha az olsa da, ULA, UCA’dan daha dar bir ışına örüntüsü gösterir.



Şekil 5. 3 elemanlı ULA ve 9 elemanlı UCA topolojileri için 80° ’de yayılım spektrumu.

4. Yorumlar

Bu çalışmada 3G CDMA hüresel sistemler için aşağı bağlantı kapasite artışı ele alınmıştır. Sistemin bloklanmaması, verilen zaman anında ses yada veri kullanıcılarından en az birinin bloklanmamasına bağlıdır. İlk olarak farklı anten topolojilerinden UCA’nın daha fazla kullanıcıya bloklanmadan çıkış verebildiği görülmüştür. Elemanlar arası mesafe cinsinden baktığımızda, $\Delta=0,5\lambda$ ve ona karşılık gelen $R=0,73\lambda$ değerinin optimum çözüm olduğu görülmüştür. Bu değerlerin artması parazit miktarını artıracığından sistem performansını olumsuz etkiler.

Kaynaklar

- [1]. Naguib A. F., Paulraj A., Kailath T., “Capacity improvement with base station antenna arrays in cellular CDMA”, IEEE Trans. on Veh. Technol., 43(3), s.691–698, 1994.
- [2]. Chin F., Lan B., Liang Y. C., Ko C. C., “Downlink capacity of multi-rate CDMA with base station antenna array,” Proceedings IEEE Vehicular Technology Conference, VTC’99, s.2626–2630.
- [3]. Czulwik A., “Comparison and optimization of antenna concepts for downlink beamforming,” Proceedings IEEE International Conference on Telecommunications, ICT’03, s.192–197.
- [4]. Kavak A., Lim J. D., Cleveland J. R., “Forward Link Capacity of 3G CDMA Wireless Systems with Adaptive Antenna Arrays,” Proceedings IEEE Vehicular Technology Conference, VTC’01, s.2063–2066.
- [5]. CDG Evaluation Study Report, Rev. 4.01, Lucent, Motorola, Nokia, Nortel, Qualcomm, and Samsung, January 2000.