

Çoklu-antenli çoklu-taşıyıcı kablosuz iletişim sistemleri için verimli çok-kullanıcı öz kaynak yerleşim algoritması tasarımı

Proje No: 107E092

Yrd. Doç. Dr. Berna ÖZBEK

ŞUBAT 2010
İZMİR

Önsöz

Bu sonuç raporu, TÜBİTAK ile Fransa Dışışleri Bakanlığı arasında ikili işbirliği projesi olarak 1 Ocak 2008 – 01 Ocak 2010 tarihleri arasında PIA-Bosphorus protokolü kapsamında desteklenen “Çoklu-antenli çoklu-taşıyıcı kablosuz iletişim sistemleri için verimli çok-kullanıcı öz kaynak yerleşim algoritması tasarımı” başlıklı projede yürütölen çalışmaları içermektedir.

TÜBİTAK Elektrik-Elektronik ve Enformasyon Araştırma Grubu'na projeye verdiği destekten dolayı teşekkür ederiz.

İçindekiler

Tablo Listesi	4
Şekil Listesi	5
Özet.....	6
Abstract	7
1 Giriş.....	8
2 Çoklu kullanıcılı DFBC için özkaynak yerleşimi	10
2.1 Özkaynak yerleşim optimizasyon modeli.....	10
2.1.1 Güç optimizasyonu	11
2.1.2 Veri hızı optimizasyonu.....	12
2.2 Özkaynak yerleşim algoritmaları.....	13
2.2.1 Dinamik alttaşıyıcı ataması.....	14
2.2.2 Uyarlanırlı güç yerleşimi algoritması.....	17
2.2.3 Çoklu kullanıcılı DFBC için Genetik Algoritma.....	20
3 Çoklu kullanıcılı çoklu antenli DFBC sistemleri için özkaynak yerleşimi	26
3.1 Genetik algoritma ile Çoklu hüzmeli DFBC özkaynak yerleşimi	27
4 Çoklu antenli çoklu kullanıcılı DFBC için geri besleme kanal tasarımı.....	32
4.1 Geri Besleme Kanal Modeli	32
4.2 Düşük hızlı geri besleme kanal tasarımı.....	33
4.3 Kanal Bilgisinin Kuantalaması	34
5 Çoğa Gönderim DFBC için özkaynak yerleşimi	38
6 Çoğa gönderim çoklu antenli sistemler için hüzmleme teknikleri	40
6.1 Tekli hüzm algoritması.....	40
6.2 Çoklu hüzm algoritması	41
7 Sonuçlar ve Değerlendirme.....	44

Tablo Listesi

Tablo 1. Çoklu kullanıcılı DFBÇ sistemlerinde benzetim parametreleri	18
Tablo 2. Çoklu kullanıcılı DFBÇ için GA parametreleri.....	21
Tablo 3. GA için çoklu kullanıcılı DFBÇ sistemleri için benzetim parametreleri	22
Tablo 4. Düşük hızlı geri besleme kanal parametreleri	35
Tablo 5. Çoklu kullanıcılı DFBÇ için çoğa gönderim GA parametreleri.....	38

Şekil Listesi

Şekil 1. Çoklu kullanıcılı DFBC sistemi verici blok şeması	10
Şekil 2. $K=10$ için kullanıcı veri hızı başarımı	19
Şekil 3. Servis kalitesi kısıtlamalı özkaynak yerleşimi için toplam veri hızı başarımı	19
Şekil 4. Servis kalitesi kısıtlamalı özkaynak yerleşimi için eşitlik göstergesi	20
Şekil 5. $K=4$ ve 16 için farklı GA parametrelerinde toplam veri hızı performansı	22
Şekil 6. Farklı kullanıcı sayıları için algoritmaların toplam veri hızı performanslarının karşılaştırılması	23
Şekil 7. $K=4$ ve 16 için önerilen GA'nın farklı parametrelerinde toplam veri hızı	24
Şekil 8. Kullanıcı sayılarına göre farklı GA parametrelerinde yakınsama döngü sayısı	24
Şekil 9. Farklı kullanıcı sayılarında klasik ve önerilen GA için toplam veri hızı karşılaştırılması	25
Şekil 10. Çoklu-antenli çoklu-kullanıcılı DFBC sistem modeli	26
Şekil 11. $K=4$ ve 8 için klasik ve önerilen GA'nın yakınsama döngü sayısının çoklu antenli DFBC ($N_t=2$) için karşılaştırılması	29
Şekil 12. Farklı kullanıcı sayıları için tekli hüzmeli çoklu antenli DFBC ($N_t=2$, $B=1$) için toplam veri hızı başarımı	30
Şekil 13. Önerilen ve klasik GA için çoklu hüzmeye ($B=2$) teknikleri ile toplam veri hızı başarımı	30
Şekil 14. Farklı hüzmeye sayıları için yakınsama döngü sayısı karşılaştırılması	31
Şekil 15. Geri besleme kanalına sahip çoklu kullanıcılı çoklu antenli DFBC sistem modeli	32
Şekil 16. $K=5$ ve 10 için S parametresine göre P_1 kriteri	35
Şekil 17. $K=20$ ve 30 için S parametresine göre P_1 kriteri	36
Şekil 18. Kuantalanmış V1 algoritması için toplam veri hızı	36
Şekil 19. Kuantalanmış önerilen V2 algoritması için toplam veri hızı	37
Şekil 20. Kuantalanmış önerilen V2 algoritması için toplam veri hızı	37
Şekil 21. Çoğa gönderim uygulamalarında tekli antenli DFBC sistemleri için toplam veri hızı karşılaştırılması	39
Şekil 22. Çoğa gönderim uygulamalarında tekli antenli DFBC sistemleri için minimum veri hızı karşılaştırılması	39
Şekil 23. Çoğa gönderim uygulamalarında $N_t=2$ için toplam veri hızı karşılaştırılması	42
Şekil 24. Çoğa gönderim uygulamalarında $N_t=2$ için minimum kullanıcı veri hızı karşılaştırılması	43
Şekil 25. Çoğa gönderim uygulamalarında $N_t=4$ ve 6 için minimum kullanıcı veri hızı karşılaştırılması	43

Özet

Gelecek nesil kablosuz iletişim sistemlerinin artan veri iletim hızlarına olan taleplerinin limitli bantgenişliğine ve çokyollu iletimden kaynaklanan semboller arası karışıma sahip olan gezgin iletişim kanallarında güvenilir bir şekilde sağlaması hedeflenmektedir. Uyarlanır özkaynak yerleşimi, kablosuz iletişim sistemlerinde hem servis kalitesininin hem de spektral verimliliğin arttırması açısından önemlidir. Baz istasyonuna göre farklı konumlarda olan kullanıcılar için gerçekleştirilen özkaynak yerleşiminin çoklu kullanıcı, çoklu antenli ve çokyollu gibi çeşitleme kazançlarını ortaya çıkarması beklenmektedir. Dikgen frekans bölmeli çoğullama (DFBÇ) hem yüksek veri hızlarını hem de çoklu kullanıcı uygulamalarını desteklediği için çoklu-taşıyıcılı teknikler arasında ön plana çıkmaktadır. DFBÇ ile kullanıcılar farklı zaman aralıklarına ve farklı frekans bantlarına yerleştirilerek çoklu-yollu ve çoklu-kullanıcı çeşitleme kazançları elde edilebilir. Ayrıca, DFBÇ tabanlı sistemlerin performansları çoklu anten teknikleri kullanılarak arttırılabilir.

Bu projenin amacı, kullanıcıların talepleri doğrultusunda tüme gönderim ya da çoğa gönderim uygulamaları için özkaynak yerleşimini çoklu-antenli çoklu-taşıyıcılı sistemler için verimli bir şekilde gerçekleştirmektir. Bu amacın gerçekleştirilmesi için, çoklu kullanıcı çoklu antenli özkaynak yerleşiminin kuramsal kazançları elde edilmiş; DFBÇ tabanlı sistemlerde verimli özkaynak yerleşim algoritmaları tasarlanmış; çoğa gönderim uygulamaları için verimli önkodlama teknikleri geliştirilmiş; özkaynak yerleşiminin yapılabilmesi için gerekli bilgilerin baz istasyonuna iletilmesi için düşük veri hızında geri besleme kanalı tasarlanmıştır. Geliştirilen algoritmaların performansları kablosuz ağ standartları gözönünde bulundurularak gösterilmiş ve elde edilen kazançlar çeşitli özkaynak yerleşim algoritmalarının sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Anahtar kelimeler: Kablosuz iletişim, DFBÇ, çoklu anten teknikleri, özkaynak yerleşimi, tüme gönderim, çoğa gönderim, önkodlama teknikleri, Genetik algoritma, geri besleme kanalı.

Abstract

The next generation wireless communication systems will support the requirements towards to higher data rates in the bandlimited wireless channels which cause intersymbol interference because of multipath transmission. The adaptive resource allocation techniques have important role to improve both quality of service and spectral efficiency in wireless communication systems. The adaptive resource allocation techniques are achieved many diversity gains such as multiuser, multiantenna and multipath for the users in the different locations. Orthogonal frequency division multiplexing is a promising multicarrier transmission technique since it supports high data rates and multiuser applications in wireless communications. Besides, the performance of the OFDM based systems can be improved by employing multi antenna techniques. OFDM extracts different diversities by allocating the users in time, frequency and space.

The purpose of this project is to perform efficient resource allocation for the multi-antenna, multi-carrier, multi-user systems for both multicasting and broadcasting applications. In the project, the optimization problem of resource allocation is defined with different constraints; the theoretical capacity gains are achieved; the reduced complexity resource allocation techniques are investigated for OFDM based wireless networks; the efficient beamforming techniques are developed for multicasting applications; a reduced rate feedback channel is designed. Besides, the performance of the designed algorithms is obtained and compared with the existing resource allocation algorithm by considering the properties of wireless network standards.

Keywords: Wireless communications, OFDM, multiple antenna techniques, resource allocation, multiuser systems, multicasting, beamforming techniques, Genetic algorithm, feedback channel.

1 Giriş

Kablosuz iletişim sistemlerin internet erişimi gibi genişbantlı uygulamaları desteklemesi hedeflenmektedir. Bu amaç doğrultusunda yüksek veri hızlarında, uyarlanırlık, güvenilir ve verimli kablosuz iletişim sistemleri tasarlamak oldukça önemlidir. Kablosuz iletişim sistemleri limitli bantgenişliğine sahip ve çokyollu iletimden dolayı semboller arası karışıma sebep olan iletişim kanallarına sahiptirler. Dikgen frekans bölmeli çoğullama (DFBÇ) semboller arası karışım etkisinin üstesinden gelme özelliğine sahip olduğundan ve çoklu kullanıcı uygulamalarını da desteklediğinden çoklu taşıyıcılı teknikler arasında ön plana çıkmaktadır. DFBÇ sistemleri yüksek veri hızlarında ses ve video gibi çoklu yayılım uygulamalarında ve birçok kablosuz ağ standartlarında kullanılmaktadır.

Çoklu kullanıcılı DFBÇ sistemlerinde her kullanıcı birbirinden farklı kanal sönmlemelerine sahiptir ve aynı anda aynı frekansta tüm kullanıcıların kanal kazançlarının düşük olması olasılığı azdır. Belirli bir frekans için kullanıcılardan bazılarının kanal katsayısı düşük ise bile kanal durumları iyi olan diğer kullanıcılara veri aktarımı yapılarak çoklu kullanıcı çeşitleme kazancı elde edilebilir (WONG,1999). İlaveten, çeşitleme kazançlarını ortaya çıkartılabilmesi için her bir kullanıcı ve her bir frekans için kullanıcıların kanal durumlarına göre verici gücünün de uyarlanması gerekir.

Çoklu kullanıcılı DFBÇ tabanlı kablosuz ağların sistem kapasitesi ve verimliliği çoklu anten teknikleri kullanılarak daha da artırılabilir (KOUTSOPOULOS, 2002). Çoklu antenli çoklu kullanıcılı sistemlerde vericide önkodlama yapılarak birden fazla hüzmeye oluşturulur ve aynı frekansta birden fazla kullanıcıya aynı anda iletim yapılabilir. Baz istasyonunda her kullanıcıya ait kanal katsayılarının bilindiği varsayılarak alttaşıyıcı/bit yerleşimi ve antenler için önkodlama yapılarak çeşitleme kazançları elde edilebilir. Bu durumda hem frekans hem de anten bazında kullanıcı yerleşimi ve önkodlama, alttaşıyıcı ve bit/güç optimizasyonu yapılması gerekmektedir.

Çoklu antenli çoklu kullanıcılı DFBÇ sistemlerinde uyarlanırlık özkaynak yerleşimi optimizasyonunu gerçekleştirmek için tüm kullanıcılara ait tüm antenler için her alttaşıyıcının kanal genlik ve yön bilgisinin baz istasyonunda bilinmesi gerekmektedir. Geri besleme kanalının veri yükü kullanıcı, alttaşıyıcı ve anten sayısı ile artar. Hem geri besleme kanal yükünü hem de baz istasyonunda özkaynak yerleşimi probleminin karmaşıklığını azaltmak için düşük veri hızına sahip geri besleme kanal tasarımının yapılması oldukça önemlidir (LOVE, 2008).

Bir grup kullanıcının aynı bilgiyi talep ettiği video konferansı, film ve dosya paylaşımı gibi çoğa gönderim uygulamalarının gelecek nesil kablosuz iletişim sistemlerinde tüme gönderim uygulamalarına göre daha az kaynağa ihtiyaç duyduğu için kullanılması avantajlıdır (VARSHNEY,2002). Bu uygulamalardaki amaç aynı veriyi talep eden kullanıcıların oluşturduğu gruba gönderilen veriyi tüm kullanıcıların hızlı bir şekilde almasını sağlamaktır. Çoğa gönderim sistemlerinde gruptaki her kullanıcının veri hızı kullanıcının konumuna bağlı olarak aynı değildir. Grubun veri hızını, veri hızı en düşük olan kullanıcıya göre sınırlandırıldığında sistem performansında kayıplar meydana gelmektedir. Çoklu antenli çoğa gönderim uygulamalarının sistem performansını arttırmak için DFBÇ sistemlerinde uyarlanırlık özkaynak yerleşimi yapılabilir.

Bu projede, çoklu-taşıyıcılı, çoklu-kullanıcı, çoklu-antenli, kablosuz iletişim sistemlerinde hem çoğa gönderim hem de tüme gönderim uygulamaları için uyarlanırlık özkaynak yerleşim algoritmaları ve geri besleme kanalı üzerine çalışmalar yapılmıştır. Bölüm 2'de tüme gönderim uygulamalarında özkaynak yerleşim optimizasyon problemi DFBÇ sistemleri için çeşitli kısıtlamalar gözönüne alınarak tanımlanmış, kuramsal kazançları elde etmek için

optimizasyon probleminin çözüm yöntemleri araştırılmış ve çeşitli yarı-optimal algoritmalar incelenmiştir. Çoklu kullanıcılı çoklu antenli DFBC sistemlerin uyarlanırlık öz kaynak yerleşimi Bölüm 3'de tanımlanmış ve sistem kazançları Genetik algoritma kullanılarak elde edilmiştir. Bölüm 4'de ise çoklu kullanıcılı çoklu antenli DFBC sistemlerinde uyarlanırlık öz kaynak yerleşiminin verimli bir şekilde gerçekleştirilmesi için baz istasyonuna iletilmesi gereken geri besleme bilgisinin azaltılması yönünde çalışmalar yapılmıştır. Bölüm 5'de çoğa gönderim uygulamalarında DFBC tabanlı sistemlerde öz kaynak yerleşim problemi tanımlanmış ve çözüm yöntemleri irdelenerek Genetik algoritma kullanılarak kuramsal kazançlar elde edilmiştir. Bölüm 6'da çoklu antenli çoğa gönderim kablosuz iletişim sistemlerinde performansın artırılması için tekli ve çoklu verici hüzmleme teknikleri araştırılmıştır. Sonuç bölümünde ise projeden elde edilen sonuçlar özetlenerek projenin genel değerlendirilmesi yapılmıştır.

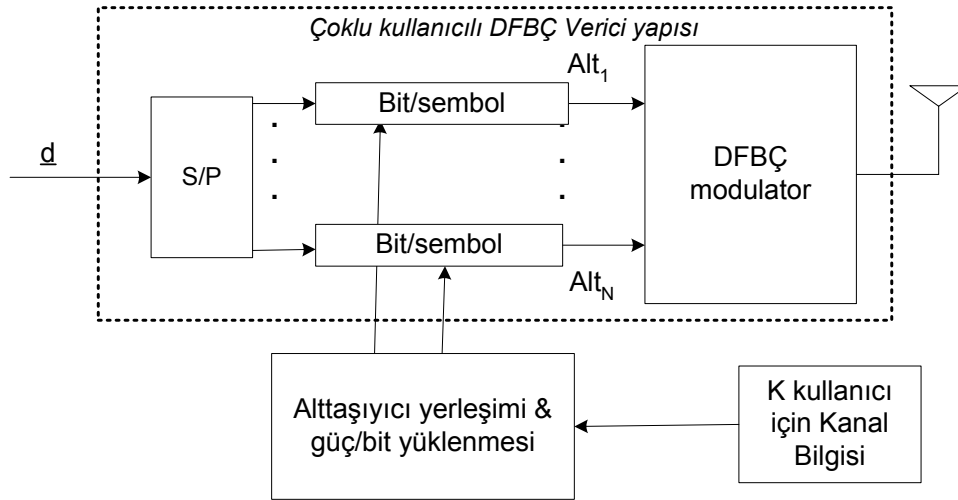
2 Çoklu kullanıcılı DFBC için özkaynak yerleşimi

Tek kullanıcılı DFBC sistemlerinde alttarıyıcılar aıt kanal katsayılarının bilindiği varsayılarak talep edilen gücü enaza indirmek ya da toplam veri hızını enbüyüklemek amacıyla uyarlanır bit/güç yerleşimi Greedy algoritması kullanılarak optimum şekilde yapılır. Fakat, çoklu kullanıcılı DFBC sistemlerinde bu yerleşimin belirlenen kriterler doğrultusunda eniyi şekilde yapılması çok daha karmaşıktır. Çoklu kullanıcılı DFBC sistemleri için uyarlanır özkaynak yerleşimi veri hızını en büyükleme ve talep edilen gücü en aza indirme hedefleri doğrultusunda genel olarak alttarıyıcı ataması ve uyarlanır bit/güç yerleşimi şeklinde gerçekleştirilebilir.

Bu bölümde çoklu kullanıcılı DFBC sistemleri için önce özkaynak yerleşim optimizasyon problemi farklı kriterler ve kısıtlamalar gözönüne alınarak tanımlanacak ve çözüme ulaşmak için başarılı uygulama alanlarına sahip olan Genetik Algoritma (GA) kullanılacaktır. Tüme gönderim uygulamalarında GA'nın çözüme ulaşma süresini kısaltmak için algoritma önerilecektir. İlaveten, bu optimizasyon probleminin çözümlü için literatürdeki yarı optimal algoritmalar incelenecektir.

2.1 Özkaynak yerleşim optimizasyon modeli

Bu bölümde incelenecek K kullanıcılı, tekli antenli N alttarıyıcıya sahip DFBC sistemi için verici blok şeması Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Çoklu kullanıcılı DFBC sistemi verici blok şeması

Verici ve kullanıcılar arasındaki kanalın frekans seçici ve bir DFBC çerçevesi boyunca değişmediği ve çerçeveden çerçeveye bağımsız olarak değiştii varsayılmıştır. Tüm kullanıcılara ait tüm alttarıyıcıların kanal durum bilgilerinin mükemmel bir şekilde vericide bilindiği durum incelenmiştir. Uyarlanır özkaynak yerleşimi optimizasyon problemi, verilen toplam güç kısıtlaması için tüm kullanıcılar tarafından alınan veri hızını en büyükleme ya da verilen kullanıcı hızı kısıtlamaları doğrultusunda talep edilen toplam güç tüketimini en aza indirmek için tanımlanacaktır.

Verici ile k. kullanıcı arasındaki frekans seçici kanalın frekans tepkisi (1)'de verilmiştir.

$$H_k = [H_{k,1} \ H_{k,2} \ \dots \ H_{k,N}]^T \quad (2.1)$$

Burada $H_{k,n}$ verici ile k. kullanıcı arasındaki n. alttarıyıcıya ait karmaşık kanal katsayısıdır.

Altaşıyıcı/bit yerleşim bilgisinin ayrı bir kontrol kanalından kullanıcılara ulaştırıldığı varsayılır. Özkaynak yerleşimi kanalın değişim süresine göre tekrar yenilenir. Fakat kullanıcılar arasındaki eşitliği sağlamak için daha sık da gerçekleştirilebilir.

Özkaynak yerleşimi kısıtlamalı optimizasyon problemi olarak belirlenir ve iki farklı yaklaşım ile tanımlamak mümkündür:

- Talep edilen gücü en az indirmek (Güç optimizasyonu): Toplam verici gücünü her kullanıcıya ait servis kalitesi bilgisi kısıtlamasına karşı en aza indirmektir. (WONG,1999) (KIVANC,2003), (ZHANG,2004).
- Veri hızı en büyükmek (Veri hızı optimizasyonu): Toplam veri hızını verilen toplam güç kısıtlamasına karşı en büyükmektir (SHEN, 2003) (RHEE, 2000) (JANG,2003).

2.1.1 Güç optimizasyonu

Güç optimizasyonu problemi (2.2)'deki gibi modellenebilir:

$$\min_{c;\rho} P_T = \sum_{k=1}^K \sum_{n=1}^N \rho_{k,n} \rho_{k,n} = \sum_{k=1}^K \sum_{n=1}^N \left(\frac{f(c_{k,n}) \rho_{k,n}}{|H_{k,n}|^2} \right) \quad (2.2)$$

Kısıtlamalar:

$$\begin{aligned} r_k = \frac{B}{N} \sum_{n=1}^N c_{k,n} \rho_{k,n} &\geq R_k \quad \forall k \in \{1, \dots, K\} & \mathbf{(C_1)} \\ \rho_{k,n} &\geq 0 \quad \forall k, n & \mathbf{(C_2)} \\ \sum_{k=1}^K \rho_{k,n} &= 1 \quad \forall n & \mathbf{(C_3)} \end{aligned} \quad (2.3)$$

Burada B toplam bantgenişliğini gösterir ve orthogonal altaşıyıcılar arasında eşit olarak paylaştırılmıştır.

$\rho_{k,n}$ ise k. kullanıcı tarafından n. altaşıyıcının kullanıp kullanmadığını gösteren ikili bir değerdir.

$$\rho_{k,n} = \begin{cases} 1 & \text{Eğer } k. \text{ kullanıcı } n. \text{ altaşıyıcıyı kullanıyor ise} \\ 0 & \text{Diğer durumlarda} \end{cases} \quad (2.4)$$

$f(c_{k,n})$ kanal katsayısı 1 olduğunda $c_{k,n}$ bitinin güvenilir bir şekilde sezinlenebilmesi için istenen sembol başına enerji cinsinden alıcı gücüdür.

$\mathbf{C_1}$ kısıtlaması, her kullanıcıya sahip olması gereken minimum veri hızı, R_k , tanımlar.

$\mathbf{C_2}$ kısıtlaması, her altaşıyıcı, n, için güç yerleşimini belirler.

$\mathbf{C_3}$ kısıtlaması, her altaşıyıcının tüme gönderim uygulamaları için sadece tek bir kullanıcı tarafından kullanılmasını sağlar.

Seçilen uygulamaya göre $c_{k,n}$ ve $f(c_{k,n})$ arasındaki bağıntı farklı şekillerde tanımlanabilir. Örneğin Shannon kapasitesi için:

$$f(c_{k,n}) = \frac{BN_0}{N} (2^{c_{k,n}} - 1) \quad (2.5)$$

Diğer bir bağıntı ise modülasyon ve kodlama şemaları gözönüne alınarak, $c_{k,n}$ 'nin sonlu setten $c = [c_1 c_2 \dots c_m]$ seçilmesi olarak tanımlanır. Burada c_m herbir altaşıyıcı için sembol başına düşen en büyük bit sayısıdır. En yaygın kullanılan M-QAM şemaları için, p_e , bit hata olasılığında, $c_{k,n}$ (sembol başına bit) desteklenmesi için talep edilen ortalama güç, $f(c_{k,n})$, aşağıdaki şekilde ifade edilebilir (PROAKIS,1995):

$$f(c_{k,n}) = \frac{N_0}{3} [Q^{-1}(p_e/4)]^2 (2^{c_{k,n}} - 1) \quad (2.6)$$

burada N_0 toplamsal beyaz Gaussian gürültüsünün varyansdır ve

$$Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^{\infty} e^{-t^2/2} dt \quad (2.7)$$

2.1.2 Veri hızı optimizasyonu

Toplam gücün P_T olduğu varsayılarak toplam veri hızı optimizasyon problemi (2.8)'deki gibi gösterilir:

$$\max_{c, \rho} r = \sum_{k=1}^K r_k = \frac{B}{N} \sum_{k=1}^K \sum_{n=1}^N c_{k,n} \rho_{k,n} \quad (2.8)$$

Kısıtlamalar:

$$\begin{aligned} r_k &= \frac{B}{N} \sum_{n=1}^N c_{k,n} \rho_{k,n} \geq R_k \quad \forall k \in \{1, \dots, K\} & \text{(C}_1\text{)} \\ p_{k,n} &\geq 0 \quad \forall k, n & \text{(C}_2\text{)} \\ \sum_{k=1}^K \rho_{k,n} &= 1 \quad \forall n & \text{(C}_3\text{)} \\ \sum_{k=1}^K \sum_{n=1}^N \left(\frac{f(c_{k,n}) \rho_{k,n}}{|H_{k,n}|^2} \right) &\leq P_T & \text{(C}_4\text{)} \end{aligned} \quad (2.9)$$

Çoklu kullanıcı DFBC sistemlerinde toplam veri hızı aynı zamanda aşağıdaki gibi de ifade edilebilir:

$$\max_{c, \rho} r = \sum_{k=1}^K r_k = \frac{B}{N} \sum_{k=1}^K \sum_{n=1}^N \log_2 \left(1 + \frac{SNR_{k,n}}{\Gamma} \right) \rho_{k,n} \quad (2.10)$$

Burada, Sinyal gürültü oranı (SNR) parametresi (2.11)'deki gibi hesaplanır:

$$SNR_{k,n} = \frac{\rho_{k,n} |H_{k,n}|}{N_0(B/N)} \quad (2.11)$$

Burada $\Gamma = \frac{2 \log(5p_e)}{3}$, dir ve toplam güç tüm alttaşıyıcılar arasında $\rho_{k,n} = P_T / N$ şeklinde eşit olarak paylaştırılabilir.

2.2 Özkaynak yerleşim algoritmaları

Ayrık optimizasyon ailesine bağlı optimizasyon problemleri NP-hard olarak bilinir ve oldukça karmaşık problemlerdir. Bu problemin çözümünde bazı kısıtlamalara esneklik sağlanarak çeşitli algoritma çözümleri sunulmuştur. Fakat alttaşıyıcı sayısı arttıkça bu algoritmaların çözümü de oldukça karmaşıklaşmaktadır. Özkaynak yerleşim optimizasyonuna getirilen en yaygın çözüm tüm problemi iki ana bölüme ayırmaktır:

- *Dinamik alttaşıyıcı ataması algoritmaları:* Kullanıcıların talep ettikleri veri hızını ya da toplam veri hızını en büyükmek hedefleri doğrultusunda kullanıcılara alttaşıyıcı atama işleminin toplam verici gücünün P_T olduğu durum için yapılmasıdır. Burada toplam gücün alttaşıyıcılar arasında eşit olarak bölündüğü varsayımı da yapılabilmektedir.
- *Uyarlanır güç yerleşimi algoritmaları:* Kullanıcılara alttaşıyıcı ataması yapıldıktan sonra toplam veri hızını en büyükmek ya da toplam gücü en aza indirmek için her alttaşıyıcı için güç yerleşimi yapılmasıdır.

Eğer kullanıcılar arasında özkaynakların adil bir şekilde paylaşımı söz konusu değil ise, vericiden uzakta olan kullanıcının yol kaybı çok yüksek olacağından bu kullanıcıya alttaşıyıcı ataması yeterince yapılamaz. Kullanıcılar arasında bantgenişliğinin adil bir şekilde paylaşılması için uygunluk katsayısının belirlenmesi, her bir kullanıcı için hesaplanması ve kullanıcıların sadece sinyal-gürültü oranlarına göre değil aynı zamanda uygunluk katsayısının tersi oranında özkaynaklardan yararlanması sağlanabilir.

Özkaynak yerleşim algoritmalarının eşitlik göstergesi (2.12) verildiği gibi hesaplanabilir(JAIN, 84):

$$FI = \frac{\left(\sum_{k=1}^K x_k \right)^2}{K \sum_{k=1}^K x_k^2} \quad (2.12)$$

Burada x_k kullanıcının veri hızını belirler ve r_k ya da $r_k - R_k$ şeklinde hesaplanır. ($R_k > r_k$ olduğu durumda $x_k = 0$ kabul edilerek hesaplama yapılır.)

FI göstergesi, 0 (adalet yok) ve 1 (mükemmel adalet) arasında bir değer alır.

2.2.1 Dinamik alttaşıyıcı ataması

Veri hızı en büyükleme problemlerinde dinamik alttaşıyıcı ataması minimum kullanıcı veri hızı kısıtlamasını gösteren C_1 'e bağlıdır.

Eğer minimum kullanıcı veri hızı kısıtlaması mevcut değil ise optimizasyon problemi toplam veri hızı en büyükleme şeklinde çözüme ulaştırılır. En basit optimum çözüme ulaşan algoritma alttaşıyıcılar arasındaki güç dağılımının eşit olduğunu varsayarak her bir alttaşıyıcıya kanal kazancı en yüksek kullanıcı atamasının yapılmasıdır.

En yüksek kanal kazancına dayalı algoritma

En yüksek kanal kazancına göre alttaşıyıcı ataması yapılmasına dayalı Jang & Lee algoritması (JANG,2003) şu şekilde betimlenir:

Başlangıç: Herbir kullanıcı, k , için, sahip olduğu alttaşıyıcı seti başlangıç değeri boş küme seçilir:

$$C_k = \emptyset$$

İterasyon: Herbir alttaşıyıcı için alttaşıyıcı n , k' kullanıcıasına atanır ve o kullanıcının alttaşıyıcı seti güncellenir.

$$\begin{aligned} n &= 1 : N \\ k' &= \underset{k}{\operatorname{argmax}} |H_{k,n}| \\ C_{k'} &= C_{k'} \cup \{n\} \end{aligned}$$

Eğer kullanıcılar arasında adalet isteniyorsa ve C_1 koşulu yok ise alttaşıyıcılar arasında toplam güç eşit olarak paylaşılırak dinamik alttaşıyıcı ataması en düşük veri hızına sahip kullanıcının veri hızını en büyükleme şeklinde gerçekleştirilebilir.

En düşük veri hızına sahip kullanıcının veri hızını en büyükleme algoritması

En düşük veri hızına sahip kullanıcının veri hızını en büyükleme ilkesine dayalı Rhee & Cioffi algoritması (RHEE, 2000) şu şekilde betimlenir:

Başlangıç: Herbir kullanıcı, k , için başlangıç veri hızı ve alttaşıyıcı seti ataması yapılır:

$$\begin{aligned} r_k &= 0; k = 1, 2, \dots, K \\ A &= \{1, 2, \dots, N\} \end{aligned}$$

İterasyon: Her kullanıcıya en büyük kanal katsayısına sahip olduğu alttaşıyıcı atanır, atama yapılan alttaşıyıcı seti güncellenir ve her kullanıcının sahip olduğu veri hızı hesaplanır. Daha sonra eğer hala atama yapılacak alttaşıyıcı var ise, veri hızı en düşük kullanıcıya sırasıyla tahsis edilir.

$$k = 1: K$$

$$n' = \operatorname{argmax}_{n \in A} |H_{k,n}|$$

$$r_k = r_k + \frac{B}{N} \log_2(1 + \operatorname{SNR}_{k,n'})$$

$$A = A - \{n'\}$$

$$A \neq \emptyset$$

$$k' = \operatorname{argmin}_k r_k$$

$$n' = \operatorname{argmax}_{n \in A} |H_{k',n}|$$

$$r_{k'} = r_{k'} + \frac{B}{N} \log_2(1 + \operatorname{SNR}_{k',n'})$$

$$A = A - \{n'\}$$

Eğer optimizasyon probleminde \mathbf{C}_1 kısıtlaması mevcut ise, dinamik alttaşıyıcı ataması iki bölüme ayrılarak yapılabilir: 1) Bantgenişliği ataması ve 2) Alttaşıyıcı ataması.

T1. Bantgenişliği Ataması

Sinyal-gürültü-oranına göre bantgenişliği ataması (BABS) algoritması gücü en aza indirmek (KIVANC, 2003) ve veri hızını en büyükmek (YIN, 2000) hedefleri doğrultusunda gerçekleştirilebilir.

Bu bölümde her bir kullanıcı için N_k adet alttaşıyıcı ataması yapılır. BABS algoritmasında her bir kullanıcıya ait tek bir alttaşıyıcı kazancı olduğu varsayılır ve bu ortalama kanal katsayısı aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$|\bar{H}_k|^2 = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N |H_{k,n}|^2$$

Başlangıç: Her kullanıcıya tek alttaşıyıcı ataması yapılarak, $N_k = 1$, toplam atanan alttaşıyıcı sayısı $N_u = \sum_{k=1}^K N_k$ ve her bir kullanıcının talep ettiği minimum veri hızına göre gereken güç hesaplanır:

$$P_k(N_k) = \frac{N_k}{|\bar{H}_k|^2} f\left(\frac{R_k}{N_k(B/N)}\right)$$

İterasyon: Toplam gücü azaltacak şekilde kullanıcılara alttaşıyıcı atamasına devam edilir ve her kullanıcı için minimum veri hızı kriteri gerçekleştirildiğinde algoritma görevini tamamlamış olur.

$$\frac{\sum_{k=1}^K P_k(N_k)}{N_a} > \frac{P_T}{N}$$

$$\Delta P_k = P_k(N_k) - P_k(N_k + 1) \quad k = 1, 2, \dots, K$$

$$k' = \operatorname{argmax}_k \Delta P_k$$

$$N_{k'} = N_{k'} + 1$$

$$N_a = \sum_{k'=1}^K N_{k'}$$

$$\frac{\sum_{k=1}^K P_k(N_k)}{N_a} \leq \frac{P_T}{N} \quad \text{Algoritma sona erer.}$$

BABS algoritması hem her kullanıcı için gerekli alttaşıyıcı sayısını, N_k , ve hem de kullanıcı bazında paylaşılması gereken güç değerini, P_k , verir.

T2. Alttaşıyıcı Ataması

Herbir kullanıcı için gerekli alttaşıyıcı sayısı belirlenmiştir. Bu aşamadan sonra alttaşıyıcı ataması yapılır. Alttaşıyıcı ataması için optimum çözüm 1955'de H. W. Kuhn tarafından sunulan Hungarian algoritması kullanılarak elde edilebilir. Fakat bu algoritmanın karmaşık bir yapısı olduğundan alttaşıyıcı ataması için çeşitli yarı optimal algoritma çözümleri geliştirilmiştir. Çözüm yöntemleri arasında "rate craving greedy (RCG)" ve "accumative craving greedy (ACG)" algoritmaları ön plana çıkmaktadır.

RGC algoritması (KIVANC, 2003), önce en yüksek veri hızına sahip alttaşıyıcıya atama yapar ve daha sonra eğer bazı kullanıcılar kendileri için yeterli olan N_k alttaşıyıcısından daha fazla alttaşıyıcıya sahip iseler sahip olmayan kullanıcılarla aralarında yerdeğiştirme işlemi gerçekleştirir.

RCG algoritmasının çalışma prensibi:

Başlangıç: Herbir kullanıcı, k , için, sahip olduğu alttaşıyıcı seti başlangıç değeri boş küme seçilir:

$$C_k = \emptyset$$

İlk atama: Alttaşıyıcı n , k' kullanıcılarına atanır ve o kullanıcının alttaşıyıcı seti güncellenir.

$$n = 1: N$$

$$k' = \operatorname{argmax}_k |r_{k,n}|$$

$$C_{k'} = C_{k'} \cup \{n\}$$

Yerdeğiştirme işlemi:

$$\begin{aligned}
 & \text{card}(C_{k'}) > N_{k'} \quad \text{ise} \\
 & l' = \arg \min_{l: \text{card}(C_l) < N_l} \min_{n: C_{k'}} -r_{k',n} + r_{l,n} \\
 & n' = \arg \min_{n: C_{k'}} -r_{k',n} + r_{l',n} \\
 & C_k = C_k - \{n'\} \\
 & C_{l'} = C_{l'} \cup \{n'\}
 \end{aligned}$$

ACG algoritması ilk olarak (KIVANC, 2003)'da sunulmuş ve daha gelişmiş versiyonu (ZHEN, 2003)'da betimlenmiştir.

Gelişmiş ACG algoritmasının çalışma prensibi:

Başlangıç:

$$C_k = \emptyset \quad A = \{1, 2, \dots, N\}$$

İterasyon:

$$\begin{aligned}
 & n = 1: N \\
 & k', n' = \arg \max_{n \in A, k: \text{card}(C_k) < N_k} r_{k,n} \\
 & A = A - \{n'\} \\
 & C_{k'} = C_{k'} \cup \{n'\}
 \end{aligned}$$

2.2.2 Uyarlanır güç yerleşimi algoritması

Altaşıyıcı yerleşimi yapıldıktan sonra toplam veri hızını arttırmak (ya da talep edilen gücü azaltmak) için herbir altaşıyıcıya güç yerleşimi yapılır. Çoklu kullanıcılı DFBC sistemleri C_1 kısıtlaması olmadığı durumda tek kullanıcılı DFBC gibi davranır ve güç yerleşim optimizasyon problemi aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$\max_c \sum_{n=1}^N c_n \quad (2.13)$$

Kısıtlamalar:

$$\begin{aligned}
 & \sum_{n=1}^N p_n \leq P_T \\
 & p_n \geq 0 \quad \forall n
 \end{aligned} \quad (2.14)$$

Ayrık modülasyon seviyeleri için, Greedy güç yerleşim algoritması kullanılabilir. Greedy algoritması, her iterasyonda bit yerleşimi ve bunun için gerekli güç yerleşimini toplam veri hızını en büyükmek için yapmaktadır. Greedy güç yerleşim algoritması pratik uygulamalarda ön plana çıkan değiştirilmiş Levin-Campello (CAMPELLO, 1999) bit ve güç yerleşim algoritması olarak kullanılabilir:

Başlangıç: Her alttaşıyıcı için atanabilecek bit sayısı için gerekli güç değeri hesaplanır:

$$\Delta P_n(c) = (f(c+1) - f(c)) / |H_n|^2$$

$$c_n = 0$$

$$P_T^* = 0$$

İterasyon: Toplam güç kısıtlaması gözönüne alınarak güç yerleşimi yapılır:

$$n^* = \arg \min_n \Delta P_n(c_n)$$

$$P_T^* = P_T^* + \Delta P_{n^*}(c_{n^*})$$

$$c_{n^*} = c_{n^*} + 1$$

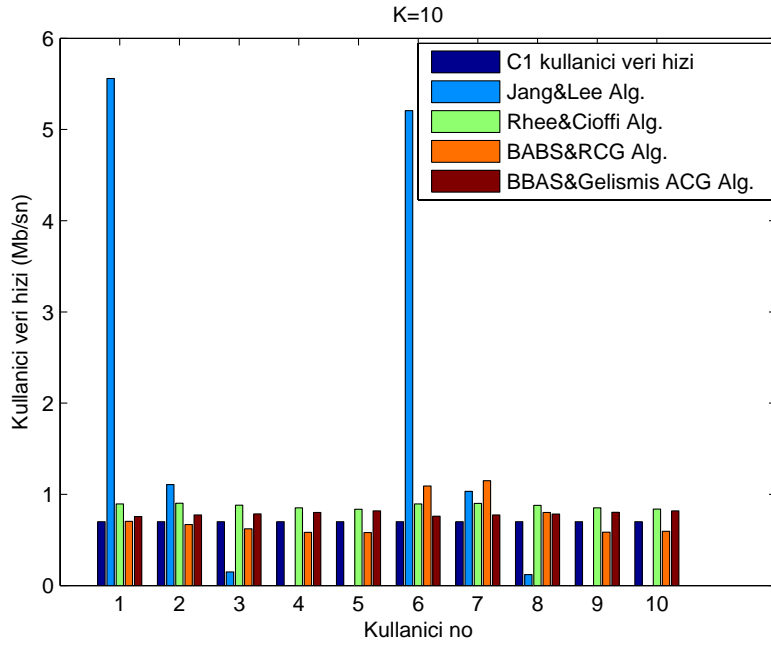
Başarım Sonuçları

Yarı-optimal algoritmaların performans sonuçları Tablo 1'deki benzetim parametreleri kullanılarak elde edilmiştir. Benzerim çalışmalarında kullanılan kullanıcı servis kalitesi değerleri [1.4 0.7 0.3 0.1] Mb/sn olarak belirlenmiş ve kullanıcıların baz istasyonundan uzaklıklarının [0.3 0.4 0.5 0.7 1] km olduğu varsayılmıştır.

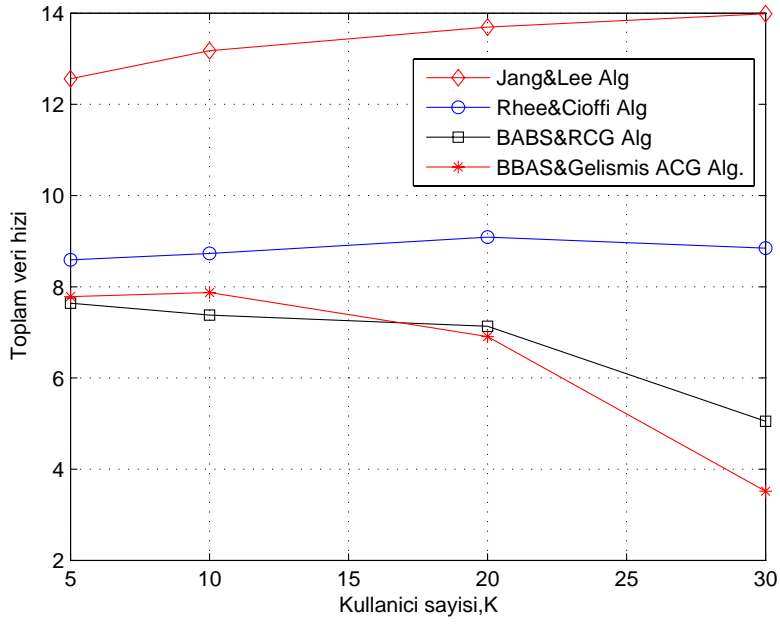
Tablo 1. Çoklu kullanıcı DFBC sistemlerinde benzetim parametreleri

Benzetim parametreleri	Değerler
Hücre çapı	1km
Verici gücü	43.10dBm
Gürültü gücü	-174dBm
Yol kaybı	128.1+37.6log ₁₀ (d)dB
DFBC sembol süresi	116μs
Alttaşıyıcı küme sayısı	Q=48
Bantgenişliği	10MHz
Taşıyıcı frekansı	2.4GHz
Kanal modeli	3GPP, tipik şehir

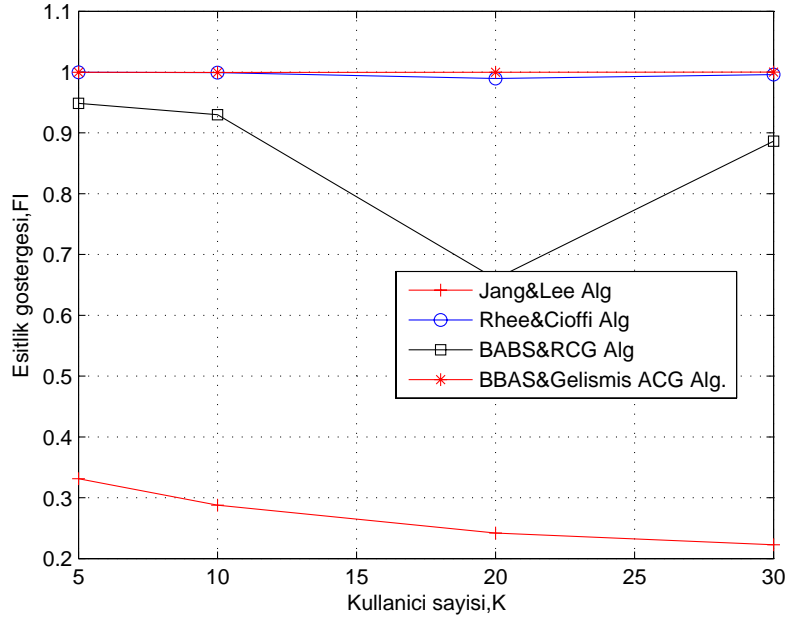
Şekil 2'de çeşitli yarı-optimal algoritmalar kullanılarak her kullanıcı için veri hızları elde edilmiştir. En büyük kanal kazancına dayalı Jang&Lee algoritması dışında tüm algoritmaların C₁ kısıtlamasına göre talep edilen kullanıcı veri hızını gerçekleştirdikleri gözlemlenmiştir. Şekil 3'de ve 4'de ise tüm bu algoritmaların toplam veri hızı ve eşitlik göstergesi karşılaştırmaları yapılmıştır. Jang&Lee algoritması toplam veri hızı en büyükleme açısından en iyi performansa sahip olsa bile bazı kullanıcılar için servis kalitesi kriterini gerçekleştirmesinin mümkün olmadığı görülmektedir. Başarım sonuçlarına göre BABS&RCG algoritmasına göre daha az karmaşıklığa sahip olan BABS& Gelişmiş ACG algoritmasının C₁ kısıtlamasını başardığı ve bunun sonucunda eşitlik göstergesi açısından iyi bir performansa sahip olduğu gözlemlenmiştir (LE RUYET, 2010).



Şekil 2. K=10 için kullanıcı veri hızı başarımı



Şekil 3. Servis kalitesi kısıtlanmalı özkaynak yerleşimi için toplam veri hızı başarımı



Şekil 4. Servis kalitesi kısıtlamalı özkaynak yerleşimi için eşitlik göstergesi

2.2.3 Çoklu kullanıcılı DFBC için Genetik Algoritma

Altaşıyıcı ve bit yerleşimi tamsayı değişkenli doğrusal olmayan eniyileme problemi olarak (WONG,1999)'da modellenmiş ve yüksek karmaşıklık düzeyine sahip algoritma önerilerek eniyi çözüme yakın sonuçlar elde etmiştir. Bu optimizasyon problemini çözmek oldukça karmaşık bir problemdir ve yaklaşımlar ile eniyi çözüme ulaşmaya çalışılmaktadır. Tüme gönderim uygulamalarında minimum kullanıcı veri hızı kısıtlaması olmadığı durumda çoklu-kullanıcı DFBC sistemleri için özkaynak yerleşiminin global çözümüne genetik algoritma (GA) ile ulaşılarak ortaya çıkarılabilecek kazançlar tespit edilmiştir (OZBEK, 2008a).

Genetik algoritma temel olarak güçlü bireylerin hayatta kalması felsefesi üzerine kurulmuştur (MAN, 1996). Bu modelde, herbir altaşıyıcı gen olarak ve herbir DFBC sembolü birey olarak tanımlanmıştır. Bireydeki gen sayısı altaşıyıcı sayısına eşittir. Özkaynak yerleşimi için kullanılan algoritma aşağıdaki şekilde modellenebilir:

Adım 1) Başlangıç popülasyonu: W adet bireyden oluşur. Her birey için gen değerleri (altaşıyıcı yerleşimi) rastgele atanmıştır. Herbir genin değeri 1 ile kullanıcı sayısı olan K arasında tamsayı olarak değişmektedir. Bu, o altaşıyıcının o kullanıcıya yerleşiminin yapıldığını gösterir.

Adım 2) Uygunluk: Popülasyondaki her birey için uyarlanır güç yerleşimi algoritması uygulanarak seçilen uygunluk fonksiyonuna göre, bireyin uygunluk katsayısı belirlenir. Bireyin uygunluk katsayısı ne kadar yüksek ise yeni popülasyona seçilme şansı o kadar yüksektir.

Adım 3)Yeni popülasyon:

Seçim: Uygunluk katsayısı en düşük P birey popülasyondan tamamen çıkarılmıştır. Kalan $W-P$ birey ise çaprazlama ve mutasyon işlemleri sonucunda yeni popülasyona eklenecektir.

En yüksek uygunluk katsayısına sahip P birey ise hiçbir işlem uygulanmadan yeni popülasyona direk aktarılmıştır.

Çaprazlama: Çaprazlama işlem olasılığı P_c olarak belirlenmiş ve $(W-P) \times P_c$ adet bireye iki nokta çaprazlama işlemi uygulanmıştır. Geriye kalan $(W-P) \times (1-P_c)$ bireye ise hiçbir işlem uygulanmamıştır.

Mutasyon: Mutasyon işlem olasılığı P_m olarak belirlenmiş ve çaprazlama işleminden gelen $(W-P) \times P_m$ bireyin G_m genine mutasyon işlemi uygulanmış ve yeni popülasyona eklenmiştir. Geriye kalan $(W-P) \times (1-P_m)$ birey mutasyon işlemine tabii tutulmadan yeni popülasyona aktarılmıştır. Eğer ardarda D_1 , D_2 ve D_3 döngüde daha iyi bir birey bulunmaması durumunda mutasyon işlem olasılığı sırasıyla P_{m1} , P_{m2} ve P_{m3} olarak arttırılacaktır. Buradaki amaç, bireylerin lokal çözümlerde takılı kalmasını önleyerek global çözüme ulaşılmasını sağlamaktır.

Adım 4) Adım 2'den itibaren işlemler tekrarlanır. Döngü sayısı D tamamlanınca ya da ardarda D_3 döngüde daha iyi birey bulunamaması durumunda işlem sonlandırılır.

Çoklu-kullanıcıli DFBÇ sistemlerinde özkaynak yerleşimi için uygunluk fonksiyonu güç tüketimi, toplam veri hızı, minimum kullanıcı veri hızı gibi fonksiyonlar seçilebilir.

Genetik algoritma ile toplam talep edilen gücü enaza indirmek amacıyla alttaşıyıcı ve bit yerleşimi yapılmıştır (WANG,2005), (REEDY,2007). Genetik algoritmanın yakınsama süresini düşürmek için verimlilik (yerleşim yapılırken yüksek kanal katsayılarına ait kullanıcılar düşük güç talep edecekleri için tercih sebebi olması) ve adil olma (herbir kullanıcı için kanal katsayılarından bağımsız olarak belli sayıda alttaşıyıcıya yerleşimlerinin yapılması) koşullarını sağlayan başlangıç şartları gözönünde bulundurulmuş ve böylece yakınsama süresinin azaltılması sağlanmıştır (WANG,2005). (REEDY,2007)'de ise GA parametreleri yaklaşım süreci boyunca uyarlanır bir şekilde değiştirilerek yakınsama süresinin kısaltılması sağlanmıştır.

Özkaynak yerleşimi yaparken GA için uygunluk fonksiyonu olarak toplam veri hızı enbüyükleme seçildi. Bu amaç doğrultusunda (2.8)'de verilen özkaynak yerleşimi, (2.9)'da tanımlanan kısıtlamalar gözönünde bulundurularak alttaşıyıcı ve bit yerleşimi ($\rho_{k,n}$ ve $c_{k,n}$ değerlerinin tespiti) yapılmıştır.

GA ile elde edilen benzetim sonuçları için kullanılan GA ve sistem parametreleri sırasıyla Tablo 2 ve Tablo 3'de verilmiştir.

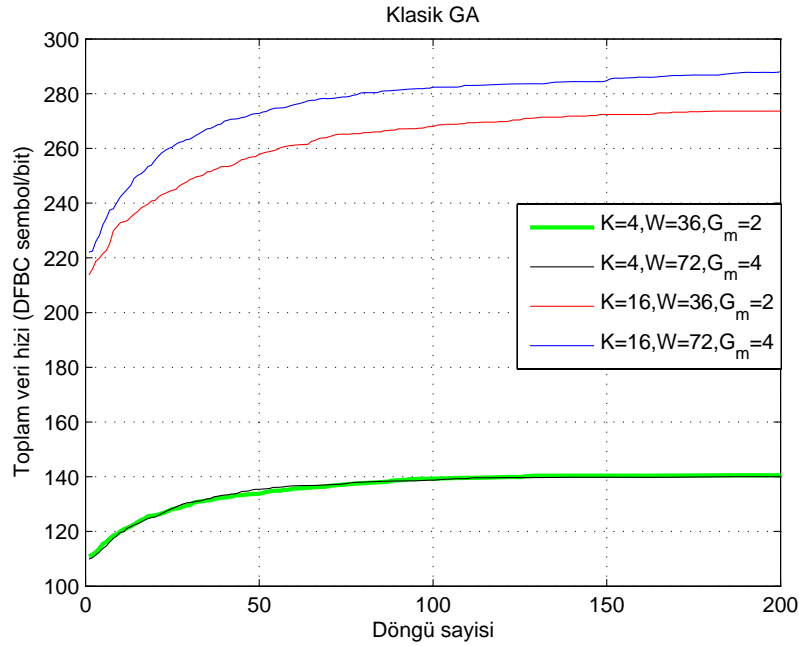
Tablo 2. Çoklu kullanıcıli DFBÇ için GA parametreleri

GA parametreleri	Değerler
W	36 ve 72
P	6 ve 12
P_c	0.8
$P_m, P_{m1}, P_{m2}, P_{m3}$	0.1, 0.2, 0.4, 0.5
G_m	2 ve 4
D_1, D_2, D_3, D_4	5, 10, 15, 20
D	200

Tablo 3. GA için çoklu kullanıcılı DFBC sistemleri için benzetim parametreleri

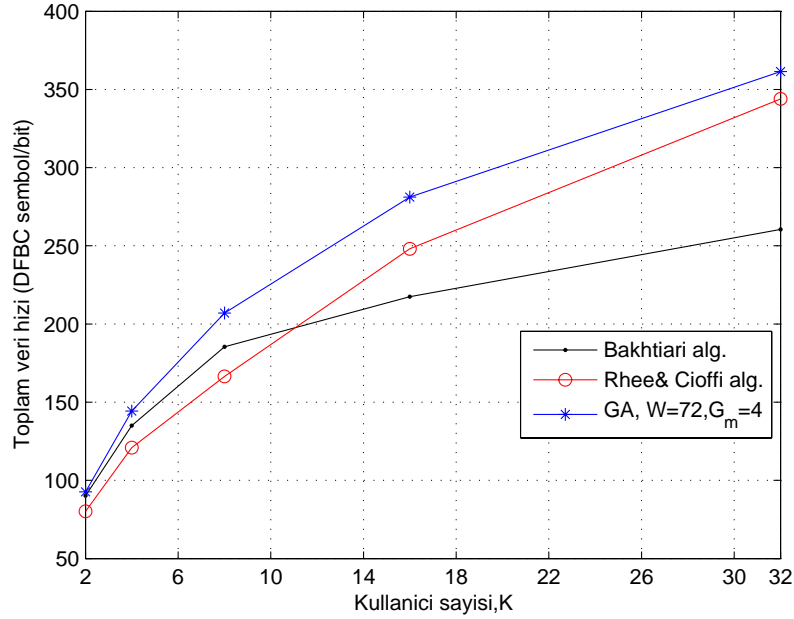
Benzetim parametreleri	Değerler
DFBC sembol süresi	$3.2\mu s$
Çevrimsel öntakı süresi	$0.8\mu s$
Alttaşıyıcı sayısı	$N=64$
Verici gücü	$P_T=20W$
Gürültü gücü	$N_0=1$
Minimum bit hata olasılığı	$P_e=10^{-3}$
Modülasyon tipleri	$M=0,1,2,4,6,8$
Kanal tipi	9 dallı

GA için en kritik noktalardan birisi yakınsama süresidir. Bu yüzden öncelikle GA döngü sayısına karşılık toplam veri hızını farklı kullanıcı değerleri için Şekil 5'deki gibi elde edilmiştir. Sonuçlardan görüldüğü üzere, kullanıcı sayısı yüksek olduğunda popülasyon ve mutasyona uğrayan gen sayısındaki artışın yakınsama döngü sayısı ve toplam veri hızı üzerindeki etkisi artmaktadır.



Şekil 5. K=4 ve 16 için farklı GA parametrelerinde toplam veri hızı performansı

Farklı kullanıcı sayıları için GA ile elde edilen özkaynak yerleşim sonuçları en düşük veri hızına sahip kullanıcının veri hızını en büyükleme ilkesine dayalı Rhee & Cioffi (RHEE, 2000) ve alttaşıyıcı ve güç atamasının beraber yapılmasına dayalı Bakhtiari (BAKHTIARI,2003) algoritmalarıyla karşılaştırılmış ve Şekil 6'de GA'nın en iyi performansı verdiği gözlemlenmiştir. Karşılaştırmaların adil şekilde yapılması için alttaşıyıcı ve güç yerleşimini ayrı yapan algoritmalar için alttaşıyıcı ataması yapıldıktan sonra uyarlanır güç yerleşim algoritması da uygulanmıştır.



Şekil 6. Farklı kullanıcı sayıları için algoritmaların toplam veri hızı performanslarının karşılaştırılması

Önerilen Algoritma

GA için döngü sayısını azaltarak hızlı bir şekilde sonuca ulaşmak önemli hedeflerden birisidir. (WANG,2005) ve (REEDY,2007)'de gücü en az indiren çoklu kullanıcı DFBC sistemlerinde döngü sayısının azaltılması için başlangıç koşullarını düzenlenen algoritmalar incelenmiştir. GA parametrelerinin uygun belirlenmesinin yanı sıra başlangıç popülasyonunun uygun ve iyi bireylerden oluşturulması sağlanarak döngü sayısı azaltılabilir. Klasik genetik algoritmada başlangıç popülasyonu rastgele üretilmektedir. Fakat, toplam veri hızı enbüyüklemeli çoklu kullanıcı DFBC sistemleri için döngü sayısını azalmak ve en kısa sürede optimum sonuca ulaşmak için (OZBEK, 2008a)'da sunulan başlangıç popülasyonu kullanılabilir.

Değiştirilmiş Adım 1)

Başlangıç popülasyonunu oluştururken W-1 tanesi yine rastgele oluşturulan bireylerden meydana getirilmiştir. Geriye kalan 1 tanesi ise her bir alttaşıyıcı için en büyük kanal kazancına sahip kullanıcıyı o alttaşıyıcıya yerleştiren algoritma sonucunda (RHEE,2000) oluşturulan bireydir.

Bu bireyin genleri şu şekilde oluşturulmuştur:

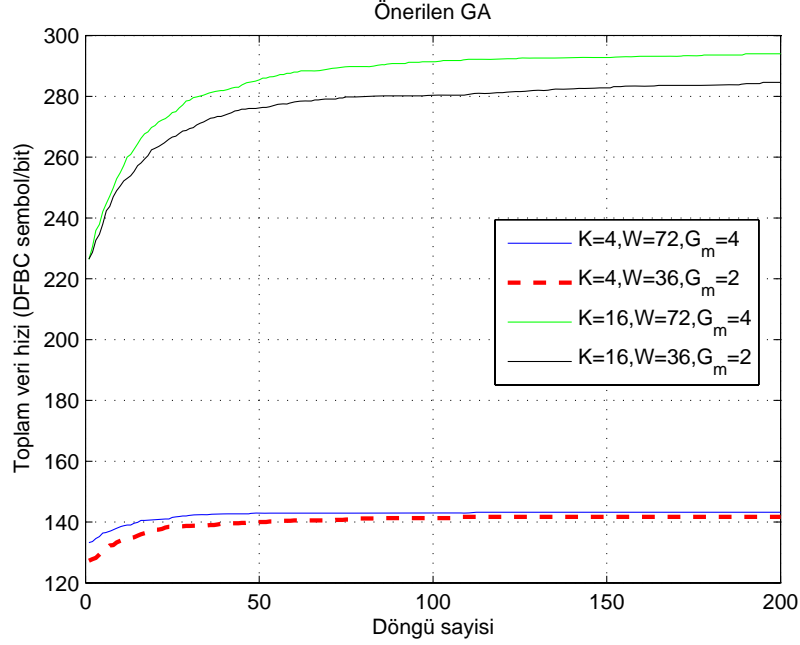
Her bir alttaşıyıcı için en büyük kanal kazancına sahip kullanıcının seçilmesi:

$$s_n = \arg \max_n |H_{k,n}|; \quad n = 1, 2, \dots, N \quad (2.15)$$

Her bir alttaşıyıcıya seçilen bu kullanıcıların yerleşimi:

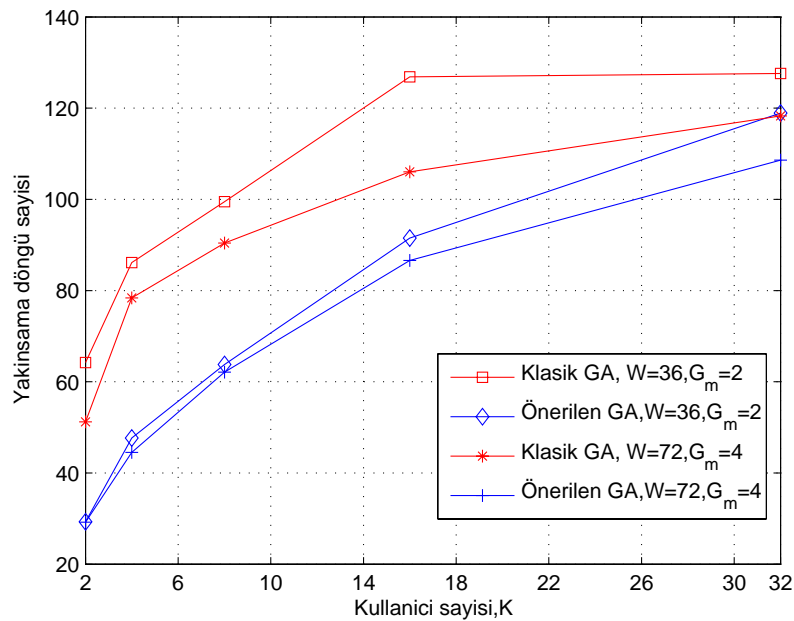
$$\rho_{s_n, n} = 1 \quad (2.16)$$

Önerilen başlangıç koşullu GA ile klasik GA karşılaştırılırken aynı W-1 başlangıç popülasyonu kullanılmış ve kalan bir birey *Değiştirilmiş Adım 1*'de önerildiği şekilde üretilerek başlangıç popülasyonuna ilave edilmiştir. Döngü sayısına karşılık toplam veri hızı Şekil 7'de gösterilmiştir. Benzetim sonuçlarına göre popülasyon ve mutasyona uğrayan gen sayısı arttığında klasik GA benzer şekilde davranış sergilediği ve kullanıcı sayısı arttıkça parametre seçiminin performans üzerinde daha etkin olduğu görülmüştür.



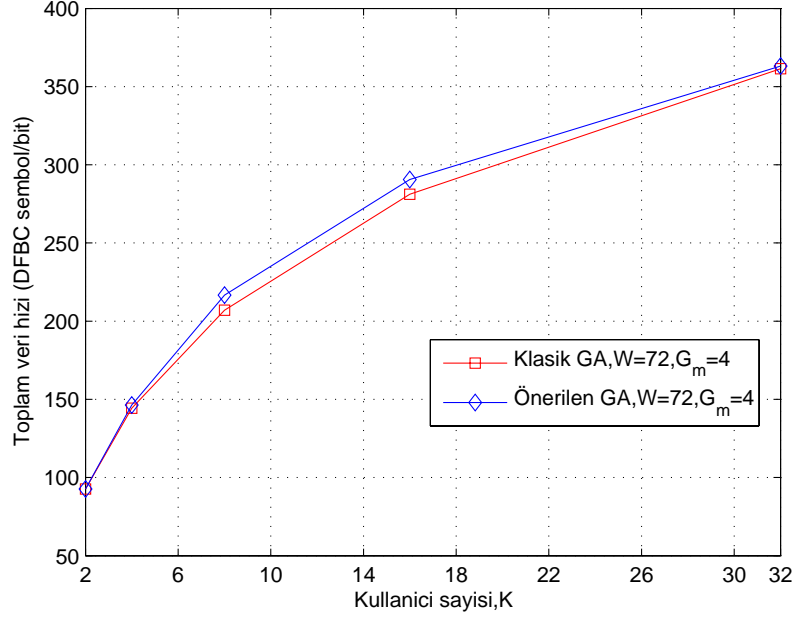
Şekil 7. K=4 ve 16 için önerilen GA'nın farklı parametrelerinde toplam veri hızı

Şekil 8'de ise farklı kullanıcı sayıları için ortalama yakınsama döngü sayıları önerilen ve klasik GA için verilmiş ve önerilen algoritmanın çok daha kısa sürelerde sonuca ulaştığı gözlemlenmiştir. Bununla beraber, popülasyon ve mutasyon işlemi uygulanan gen sayısı ve kullanıcı sayısı arttığında önerilen GA'nın daha etkili olduğu görülmüştür.



Şekil 8. Kullanıcı sayılarına göre farklı GA parametrelerinde yakınsama döngü sayısı

Önerilen GA için yakınsama döngü sayısı ve süresi klasik GA'ya göre belirgin bir şekilde azaltılmış ve Şekil 9'da gösterildiği üzere toplam veri hızı performansından ödün verilmemiştir.

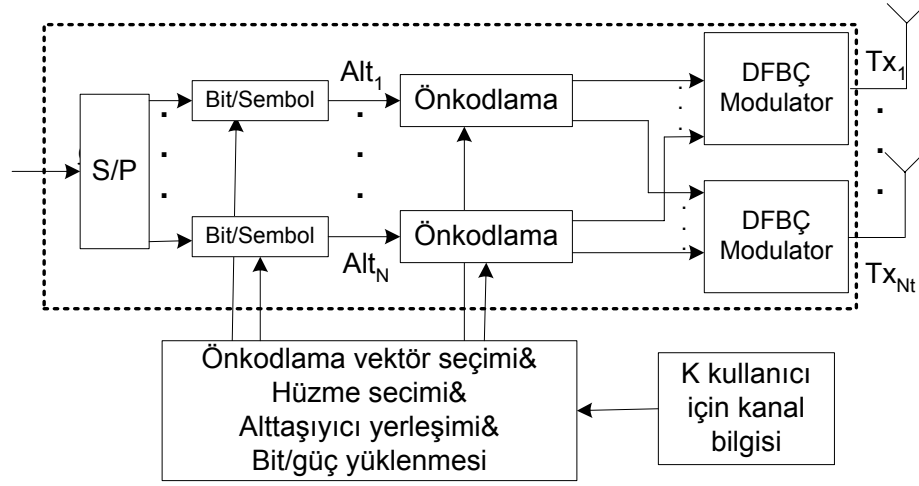


Şekil 9. Farklı kullanıcı sayılarında klasik ve önerilen GA için toplam veri hızı karşılaştırılması

3 Çoklu kullanıcılı çoklu antenli DFBC sistemleri için özkaynak yerleşimi

Çoklu kullanıcılı çoklu antenli DFBC sistemlerinde özkaynak yerleşimi, tüm kazançların ortaya çıkarılabilmesi için çözülmesi gereken oldukça karmaşık bir eniyileme problemidir (KOUTSOPOULOS, 2002)(PETERMANN, 2007) .

Şekil 10'de gösterilen çoklu-antenli çoklu-kullanıcı DFBC sistem modelinde herbiri N alttaşıyıcıya sahip K kullanıcı bulunmaktadır. Verici N_t ve alıcı tek bir antene sahiptir. Bu sistemde, tüm kullanıcılara ait tüm kanal bilgisinin (kanal kazancı ve yönü) vericide mükemmel bilindiği varsayılmaktadır.



Şekil 10. Çoklu-antenli çoklu-kullanıcı DFBC sistem modeli

Toplam veri hızı en büyükleme problemi, verilen toplam verici güç kısıtlamasına göre (sembol başına enerji cinsinden) aşağıdaki şekilde tanımlanabilir:

$$\max_{W; c; \rho} r = \max_{W_{n,b}; c_{n,b}; \rho_{k,n,b}} \sum_{b=1}^{N_t} \sum_{n=1}^N \sum_{k=1}^K c_{n,b} \rho_{k,n,b} \quad (3.1)$$

Kısıtlamalar:

$$\sum_{b=1}^{N_t} \sum_{k=1}^K \left(\frac{f(c_{n,b}) \rho_{k,n,b}}{|H_{k,n} W_b(S_n)|^2} \right) \leq \frac{P_T}{N} \quad (3.2)$$

$$\sum_{k=1}^K \rho_{k,n,b} = 1 \quad \forall n, \forall b$$

Burada $\rho_{k,n,b}$ k. kullanıcı tarafından b. hüzmenin ve n. alttaşıyıcının kullanıp kullanmadığını gösteren ikili bir değerdir ve ρ_n 'nin tüm alttaşıyıcılar için 1 olması herbir alttaşıyıcının ve herbir hüzmenin tek bir kullanıcı tarafından kullanıldığını gösterir.

$f(c_{n,b})$ kanal katsayısı 1 olduğunda $c_{n,b}$ bitinin güvenilir bir şekilde sezilenebilmesi için istenen sembol başına enerji cinsinden alıcı gücüdür. M-QAM şemaları için, p_e bit hata olasılığında $c_{n,b}$ (sembol başına bit) desteklenmesi için $f(c_{n,b})$ istenen güç ifadeleri (2.6)'de belirtilmiştir.

3.1 Genetik algoritma ile Çoklu hüzmeli DFBÇ özkaynak yerleşimi

Özkaynak yerleşimi, tanımlanan kısıtlamalar gözönünde bulundurularak önkodlama vektörünün seçimi, hüzmeye, alttaşıyıcı ve bit yerleşimi ($\rho_{k,n,b}$ ve $c_{k,n,b}$ değerlerinin tespiti) toplam veri hızı en büyükleme amacıyla yapılacaktır.

Bu optimizasyon problemine (WONG,2005)'de linear programlamaya dayalı oldukça karmaşık çözümler önerilmiş ve eniyi sonuca yakın başarımlar elde edilmiştir. Fakat birden fazla hüzmeye yerleşimi için herhangi bir yaklaşım öngörülmemiştir. (OZBEK,2009a)'da çoklu hüzmeye yerleşimine imkan veren özkaynak yerleşiminin global çözümüne genetik algoritma ile ulaşılarak ortaya çıkarılabilecek kazançlar tespit edilmiştir.

Tüme gönderim için çoklu-antenli çoklu-kullanıcı DFBÇ sisteminde özkaynak yerleşimi yapılırken GA için uygunluk fonksiyonu olarak toplam veri hızı enbüyükleme seçilmiştir. Bu modelde, herbir hüzmeye için alttaşıyıcı gen olarak ve herbir DFBÇ sembolü birey olarak tanımlanmıştır. Bireydeki gen sayısı alttaşıyıcı hüzmeye sayısına eşittir. Burada, herbir genin değeri 1 ile kullanıcı sayısı olan K arasında tamsayı olarak değişmektedir. Bu, o alttaşıyıcının o kullanıcıya ve o hüzmeye yerleşiminin yapıldığını gösterir.

Özkaynak yerleşimi için GA algoritması aşağıdaki şekilde modellenmiştir:

Adım 1) Başlangıç popülasyonu: W adet bireyden oluşur. Her birey için gen değerleri (alttaşıyıcı ve hüzmeye yerleşimi) rastgele atanmıştır.

Adım 2) Uygunluk: Seçilen uygunluk fonksiyonuna göre, bireyin uygunluk katsayısı belirlenir. Bireyin uygunluk katsayısı ne kadar yüksek ise bireyin yeni popülasyonda olma şansı o kadar yüksektir.

Alınan sinyal ile gönderilen sinyal arasındaki bağıntı şu şekilde verilebilir:

$$Y_{k,n} = H_{k,n} W(S_n) P(S_n) + N_{k,n} \quad (3.3)$$

Burada P her hüzmeye için ayrılan güç değerini gösterir ve her hüzmeye için güç (3.4) gösterildiği gibi eşit dağıtılmıştır.

$$P = \text{diag} \left(\sqrt{P_T / (N N_t)}, \dots, \sqrt{P_T / (N N_t)} \right) \quad (3.4)$$

Önkodlama vektörü zero forcing (ZF) yöntemi kullanılarak belirlenmiştir:

$$W(S_n) = \alpha H(S_n)^H \left(H(S_n)^H H(S_n) \right)^{-1} \quad (3.5)$$

Bu önkodlama vektörü $N_t \times 1$ boyutundaki b. hüzmeye ve n. alttaşıyıcıya ait $W_b(S_n)$ vektörlerinden oluşur.

$$W(S_n) = [W_1(S_n) \quad W_2(S_n) \quad \dots \quad W_{N_t}(S_n)] \quad (3.6)$$

Burada, kanal vektörü (3.7)'daki gibi ifade edilebilir.

$$H_{k,n} = [H_{k,n,1} \quad H_{k,n,2} \quad \dots \quad H_{k,n,N_t}] \quad (3.7)$$

Ani gücü sabit tutmak için α (3.8)'daki gibi seçilebilir.

$$\alpha = \frac{1}{\sqrt{\text{tr}(H(S_n)^H H(S_n))^{-1}}} \quad (3.8)$$

Adım 3) Yeni popülasyon:

Seçim: Uygunluk katsayısı en düşük P birey popülasyondan tamamen çıkarılmıştır. Kalan W-P birey ise çarpazlama ve mutasyon işlemleri sonucunda yeni popülasyona eklenecektir. En yüksek uygunluk katsayısına sahip P birey ise hiçbir işlem uygulanmadan yeni popülasyona direk aktarılmıştır.

Çarpazlama: Çarpazlama işlem olasılığı P_c olarak belirlenmiş ve $(W-P) \times P_c$ adet bireye iki nokta çarpazlama işlemi uygulanmıştır. Geriye kalan $(W-P) \times (1-P_c)$ bireye ise hiçbir işlem uygulanmamıştır.

Mutasyon: Mutasyon işlem olasılığı P_m olarak belirlenmiş ve çarpazlama işleminden gelen $(W-P) \times P_m$ bireyin G_m genine mutasyon işlemi uygulanmış ve yeni popülasyona eklenmiştir. Geriye kalan $(W-P) \times (1-P_m)$ birey mutasyon işlemine tabii tutulmadan yeni popülasyona aktarılmıştır. Eğer ardarda D_1 , D_2 ve D_3 döngüde daha iyi bir birey bulunmaması durumunda mutasyon işlem olasılığı sırasıyla P_{m1} , P_{m2} ve P_{m3} olarak arttırılacaktır. Buradaki amaç, bireylerin lokal çözümlerde takılı kalmasını önleyerek global çözüme ulaşılmasını sağlamaktır.

Adım 4) Adım 2'den itibaren işlemler tekrarlanır. Döngü sayısı D tamamlanınca ya da ardarda D_3 döngüde daha iyi birey bulunamaması durumunda işlem sonlandırılır.

Önerilen Algoritma

Genetik algoritmada hızlı bir şekilde sonuca ulaşmak için döngü sayısını azaltmak önemli hedeflerden birisidir. Tek antenli çoklu-kullanıcı DFBC sistemleri için geliştirilen yöntemle dayanılarak çoklu-antenli çoklu-kullanıcı DFBC sistemleri için de başlangıç popülasyonunun uygun ve iyi bireylerden oluşturulması sağlanarak döngü sayısı azaltılmıştır. Bu amaç ile önerilen yöntem (OZBEK,2009a) sunulmuştur.

Değiştirilmiş Adım 1)

Başlangıç popülasyonunu oluştururken W-1 tanesi yine rastgele oluşturulan bireylerden meydana getirilmiştir. Geriye kalan bir tanesi ise herbir alttaşıyıcı için en büyük önkodlama kazancına sahip olan kullanıcıyı o alttaşıyıcıya yerleştirerek oluşturulan bireydir. Bu bireyin genleri şu şekilde oluşturulmuştur.

Herbir alttaşıyıcı ve herbir hüzmeye için en büyük önkodlama kazancına sahip kullanıcı bulunur:

$$\kappa_n, \beta_n = \arg \max_{k,b} |H_{k,n} W_b(S_n)|^2 \quad (3.9)$$

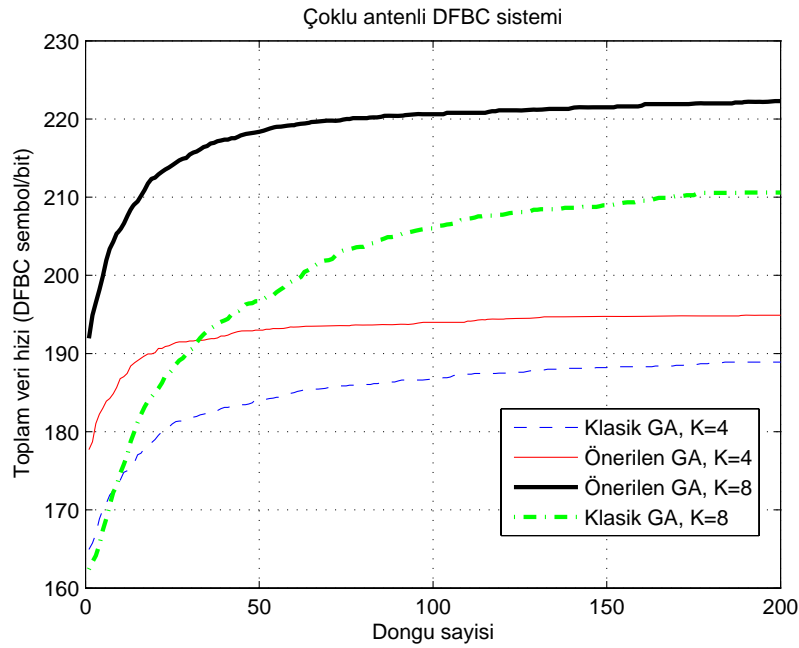
Herbir alttaşıyıcı ve herbir hüzmeye için seçilen bu kullanıcıların yerleşimi yapılır:

$$\rho_{\kappa_n, \beta_n} = 1 \quad (3.10)$$

Başarım Sonuçları

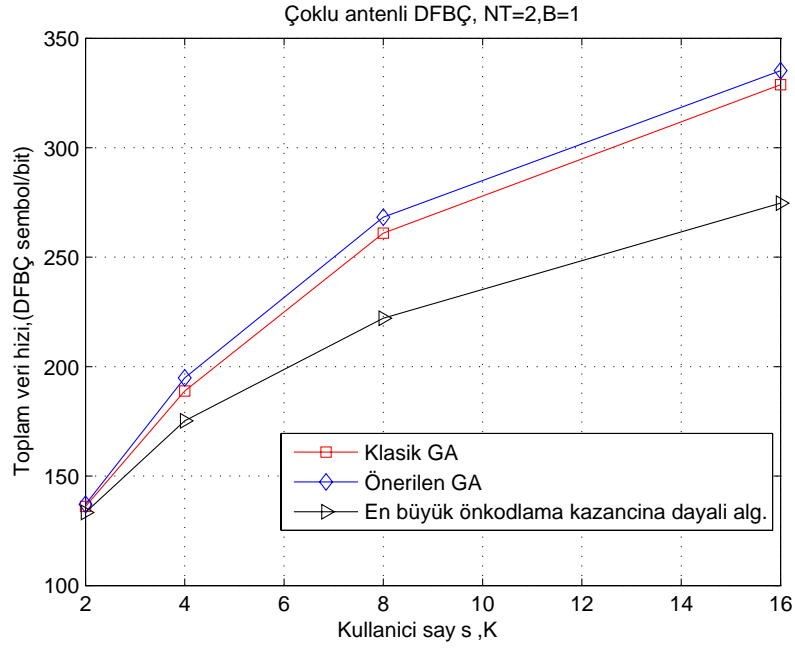
Bu bölümde çoklu antenli çoklu kullanıcıli DFBC sistemleri için tüme gönderim uygulamalarında GA ile elde edilen benzetim sonuçları tekli ve çoklu hüzme teknikleri için elde edilmiştir. Benzetim sonuçlarını için kullanılan sistem ve GA parametreleri sırasıyla Tablo 1 ve Tablo 2'deki gibi $W=36$, $P=6$ ve $G_m=2$ opsiyonları gözönüne alınarak seçilmiştir.

GA için en önemli kriterlerden birisi yakınsama süresidir. Bu yüzden öncelikle GA döngü sayısına karşılık toplam veri hızını farklı kullanıcı sayıları için Şekil 11'deki gibi elde ettik. Sonuçlardan görüldüğü üzere, kullanıcı sayısı yüksek olduğunda popülasyon ve mutasyona uğrayan gen sayısındaki artışın yakınsama döngü sayısı ve toplam veri hızı üzerindeki etkisi artmaktadır. Önerilen GA hem hızlı yakınsamakta ve hem de daha yüksek veri hızı performansı göstermektedir.



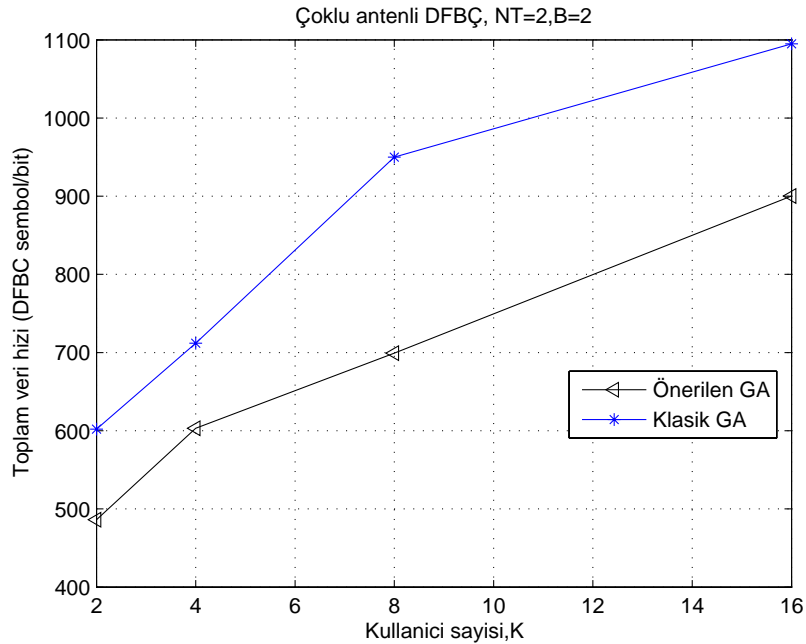
Şekil 11. K=4 ve 8 için klasik ve önerilen GA'nın yakınsama döngü sayısının çoklu antenli DFBC ($N_r=2$) için karşılaştırılması

GA ile elde edilen başarımların en büyük önkodlama kazancına dayalı algoritma ile karşılaştırılmış ve Şekil 12'de gözlemlendiği üzere önerilen GA'nın en iyi toplam veri hızı performansını daha hızlı bir şekilde elde ettiği gözlemlenmiştir.

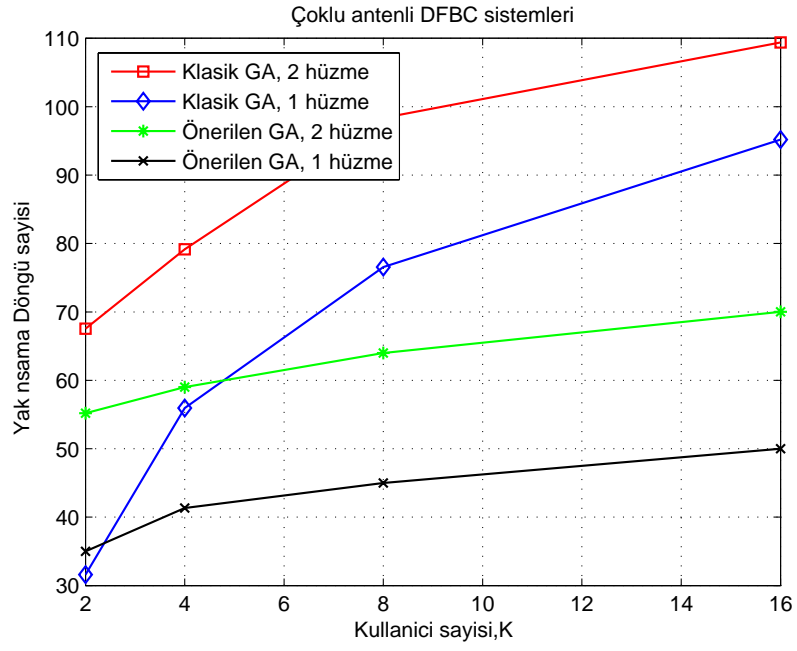


Şekil 12. Farklı kullanıcı sayıları için tekli hüzmeli çoklu antenli DFBÇ ($N_t=2$, $B=1$) için toplam veri hızı başarıımı

Çoklu antenli OFDM sistemlerinde tekli hüzmelerin yanısıra çoklu hüzmeye teknikleri kullanılarak toplam veri hızında Şekil 13'de gösterildiği gibi önerilen GA ile belirgin bir performans artışı sağlanabilir. Fakat çoklu hüzmeli sistemler için döngü sayısı tekli hüzmeli sistemlere göre Şekil 14'da gösterildiği üzere artmaktadır.



Şekil 13. Önerilen ve klasik GA için çoklu hüzmeye ($B=2$) teknikleri ile toplam veri hızı başarıımı



Şekil 14. Farklı hüzmeye sayıları için yakınsama döngü sayısı karşılaştırılması

4 Çoklu antenli çoklu kullanıcılı DFBC için geri besleme kanal tasarımı

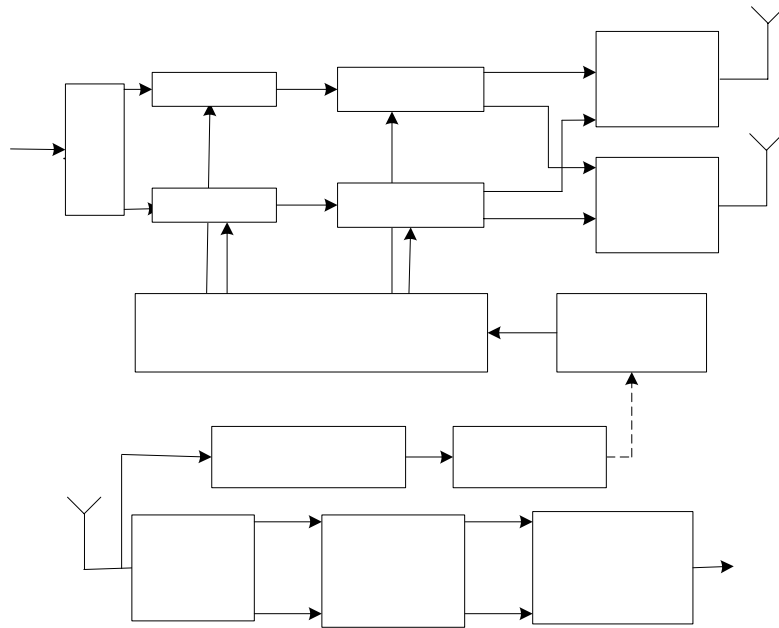
Çoklu antenli DFBC sistemlerinde uzamsal bölmeli çoğullama erişim yapılabilmesi için gerekli kanal durum bilgisinin iletildiği geri besleme kanalının tasarımı özkaynak yerleşiminin performansını etkileyen önemli bir konudur. Geri besleme kanalının yükünün azaltılması için kullanıcı tarafında verimli kullanıcı seçim algoritması ve bu algoritma sonucunda seçilen kullanıcıların kanal bilgilerinin (kanal kalite ve yön) iletilebilmesi için kuantalama yöntemi önerilmiştir(OZBEK,2009b).

Tekli antenli çoklu kullanıcı DFBC sistemleri için tek hüzmeye oluşturularak yönlendirme ve performans artışı sağlanabilir. Bunun için tüm kullanıcıların tüm altt taşıyıcı gruplarına ait kanal bilgilerinin baz istasyonuna ulaştırılarak kullanıcı seçiminin yapılması gerekir. Bu bilgi miktarı anten sayısı, kullanıcı sayısı ve altt taşıyıcı sayısı arttıkça artmaktadır. Tekli antenli DFBC sistemleri için her kullanıcının en iyi S altt taşıyıcısından oluşturduğu bir altt taşıyıcı kümesi için kanal bilgisinin iletilmesi yönünde çalışmalar yapılmıştır (SVEDMAN, 2007). Çoklu antenli tek taşıyıcılı sistemler için yarı-dik kullanıcı seçim algoritması (LE RUYET, 2008)'da önerilmiştir

Bu bölümde, klasik norm algoritması ile yarı-dikgenlik prensibine dayalı algoritma birleştirilerek sadece birbirine yarı dik kullanıcıların S adet en iyi altt taşıyıcısının kanal bilgilerinin baz istasyonuna iletilmesi ve önerilen kullanıcı seçim algoritmasına göre seçilen kullanıcıların kanal bilgilerinin iletilmesi için kuantalama yöntemi geliştirilerek kod tablosu tasarımı yapılmıştır (OZBEK, 2009b).

4.1 Geri Besleme Kanal Modeli

Geri besleme kanalına sahip çoklu kullanıcılı çoklu antenli DFBC sistem modeli Şekil 15'de gösterilmiştir. Bu sistemde herbiri N altt taşıyıcıya sahip K adet kullanıcı bulunmaktadır. Verici N_t anten ve alıcılarda tek bir anten vardır.



Şekil 15. Geri besleme kanalına sahip çoklu kullanıcılı çoklu antenli DFBC sistem modeli

Bu sistemde baz istasyonundan k.kullanıcı arasındaki n.alttaşıyıcıya ait kanal vektörü (4.1)'deki gibi yazılabilir:

$$\bar{H}_{k,n} = [\bar{H}_{k,n,1} \quad \bar{H}_{k,n,2} \quad \dots \quad \bar{H}_{k,n,N_t}] \quad (4.1)$$

Sistemde $N_t \leq K$ sağlandığı koşullarda, S_n n.alttaşıyıcıya çizelgelenmiş N_t adet kullanıcıdan oluşan set olarak tanımlanır. Bu kullanıcılar ZF hüzme tekniği kullanılarak iletilirler. Geri besleme kanalının veri hızını azaltmak ve baz istasyonundaki özkaynak yerleşimi algoritmasının karmaşıklığını azaltmak için N_q komşu alttaşıyıcı bir küme içinde gruplandırılmıştır. Böylece N_q alttaşıyıcı için tek bir önkodlama yapılır. Bu durumda bu sistem için $Q=N/N_q$ adet küme bulunmaktadır.

Burada kümeler oluşturulurken gruptaki en düşük önkodlama kazancına sahip kullanıcının kanal vektörü kümeyi temsil etmesi için aşağıdaki gibi seçilmiştir:

$$n' = \underset{1 \leq i \leq N}{\operatorname{argmin}} \left\{ \left\| \bar{H}_{k,(i-1)N_q+i} \right\|^2 \right\} \quad (4.2)$$

$$H_{k,q} = \bar{H}_{k,n'}$$

Burada tanımlanan optimizasyon probleminin hedefi, kullanıcıların alttaşıyıcı küme ve hüzme yerleşimi için, gücü alttaşıyıcı kümeleri ve hüzmeler için eşit olarak dağıtarak ZF önkodlaması ile toplam veri hızını en büyükmektir.

Bu optimizasyon problemi şu şekilde tanımlanabilir:

$$\max_{\rho_{k,q,b}} r = \max_{W_{n,b}; \rho_{k,q,b}} \sum_{b=1}^{N_t} \sum_{q=1}^Q \sum_{k=1}^K \frac{\rho_{k,q,b}}{Q} \log_2 (1 + \operatorname{SINR}_{k,q,b}) \quad (4.3)$$

Kısıtlama:

$$\sum_{k=1}^K \rho_{k,q,b} = 1 \quad \forall q, \forall b \quad (4.4)$$

Sinyal-gürültü-karışım oranı (SINR) denklem (4.5)'de tanımlanmıştır:

$$\operatorname{SINR}_{k,q,b} = \frac{\frac{P_T}{N_t} |H_{k,q} W_b(S_q)|^2}{N_0 B_w + \frac{P_T}{N_t} \sum_{j=1, j \neq b}^{N_t} |H_{k,q} W_j(S_q)|^2} \quad (4.5)$$

Burada B_w toplam bantgenişliğini tanımlar ve önkodlama matrisi (4.6)'daki gibi ifade edilir:

$$W(S_q) = [W_1(S_q) \quad W_2(S_q) \quad \dots \quad W_{N_t}(S_q)]^T \quad (4.6)$$

4.2 Düşük hızlı geri besleme kanal tasarımı

Gerçek besleme kanalının veri hızını düşürmek için tüm kullanıcıların tüm alttaşıyıcı kümelerine ait kanal kalite ve yön bilgilerini gönderilmesi yerine her kullanıcının belli sayıda

alttaşıyıcı kümelerine ait bilgilerini baz istasyonuna geri iletmesi sağlanabilir. Bu amaç ile iki farklı seçim kriteri incelenmiştir.

V1:En iyi S alttaşıyıcı kümesi seçimi: (SVEDMAN,2007)'daki algoritma çoklu antenli DFBÇ sistemleri için uyarlanmıştır. Bu kriter, her kullanıcı her alttaşıyıcı kümesine ait kanal normuna, $\|H_{k,q}\|$ göre bu kümelerin sıralanmasına ve en iyi S kümenin geri besleme kanalından iletilmesine dayanır. Burada S parametresi kullanıcı sayısına bağlı olarak farklı kriterler gözönünde bulundurularak seçilebilir. Örneğin, toplam veri hızının %y'sine ulaşılabilmesi için veya tüm alttaşıyıcı kümelerinin %x adedinin en az 1 ya da N_t adet kullanıcı kanal bilgisine sahip olması için gerekli S değeri:

$$\Pr\left(\sum_{q=1}^Q I_q^{N_t} \leq \alpha Q\right) = P_{target} \quad (4.7)$$

Burada:

$$I_q^{N_t} = \begin{cases} 1 & \text{Eğer } |T_q| \geq N_t \\ 0 & \text{Diğer durumlarda} \end{cases} \quad (4.8)$$

V2:Önerilen kullanıcı seçim algoritması: Bu algoritmada, alttaşıyıcı kümeleri hem kanal normlarına hem de kanal yönlerine göre seçilir. Her bir alttaşıyıcı kümesi için $\phi_{i,q}$ rastgele hüzme oluşturulur ve her kullanıcı kordal uzaklık tanımına göre bu hüzme ile arasındaki dikgenlik ölçütünü belirler:

$$d^2(H_{k,q}^{norm}, \phi_{i,q}) = 1 - \left| (H_{k,q}^{norm})^H \phi_{i,q} \right|^2 \quad (4.9)$$

Burada, $H_{k,q}^{norm} = \frac{H_{k,q}}{\|H_{k,q}\|}$ şeklinde hesaplanır.

Kullanıcılara ait herbir alttaşıyıcı kümesi bu rastgele hüzmeler ile ε_{th} komşuluğunda iseler bu kullanıcılar yarı-dikgen kriteri açısından seçilirler. Daha sonra seçilen bu alttaşıyıcı kümelerinin kanal normları sıralanır ve en iyi S tanesi seçilerek geri besleme kanalından baz istasyonuna gönderilir. Burada S parametreleri kullanıcı sayısı oranına göre belirlenir ve en azından S alttaşıyıcı kümesinin seçilebilmesine olarak verecek şekilde ε_{th} değeri belirlenir.

4.3 Kanal Bilgisinin Kuantalaması

Seçilen kullanıcı kümeleri baz istasyonuna kanal yön ve kanal kalite bilgilerinin kuantalanması sonucunda iletilebilirler. Gerekli kodlama tablosu klasik yöntemlerden Lloyd algoritmasını kullanılarak (NARULA, 1998) normalize edilmiş kanalların bağımsız ve her yöne dağıldığı varsayılarak elde edilebilir. Fakat, önerilen kullanıcı seçimi algoritması ile kanal yönünün silindirik bir yapı etrafında toplandığı gözlemlenmiştir. Bu özellik ile kuantalama kod tablosu daha dar bir bölge gözönünde bulundurularak oluşturulması ve böylece kuantalama hatalarının azaltılmasını mümkün olmaktadır. Bu durumda, N_t , α , ε_{th} ve N_c parametrelerine sahip lokal Grassmannian packing kullanılarak kod tablosu tasarımı yapılabilir. Daha sonra rotasyon vektörü kullanılarak rastgele seçilen orthogonal vektör yönünde döndürme yapılarak önerilen algoritma için kod tablosu tasarlanır:

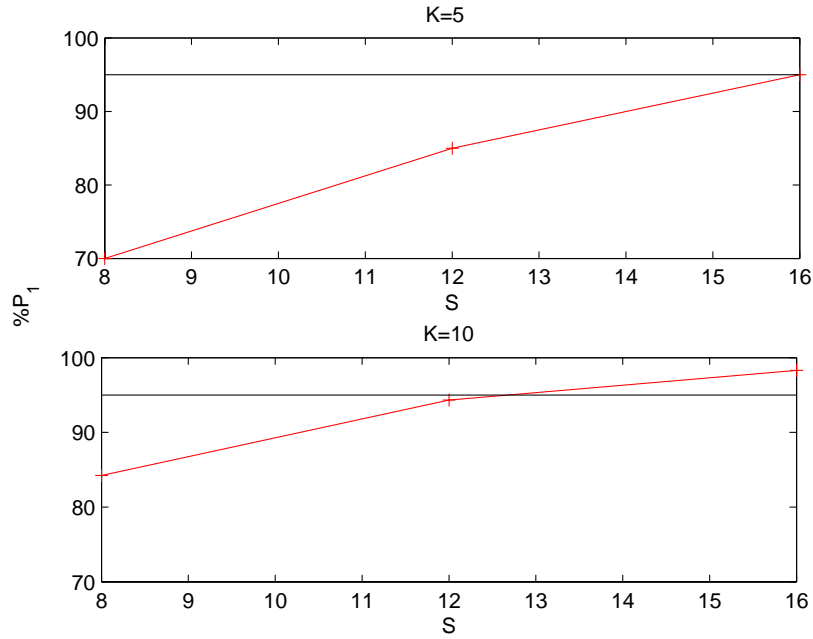
$$\phi_{i,q} = U_{rot} \mathbf{o} \quad (4.10)$$

Kanal yön bilgisi için kod tablosunun büyüklüğü N_c olarak seçildiğinde geri besleme kanalında her bir alttaşıyıcı kümesi için $\log_2(N_c \times N_t)$ bit iletilmesi gereklidir.

Başarım Sonuçları

Bu bölümde, çoklu kullanıcılu çoklu hüzmeli DFBÇ sistemleri için kullanıcıların hücre içinde uniform bir şekilde dağıldığı varsayılarak performans sonuçları elde edilmiştir. Kullanılan benzetim parametreleri Tablo 3'de verilmiştir.

Öncelikle çoklu antenli DFBÇ sistemleri kullanıcı seçim algoritmaları için verilen kriterler için S ve ε_{th} parametrelerinin belirlenmesi gerekir. Şekil 16 ve 17'de farklı kullanıcı sayıları için S parametresinin değişimini göstermektedir.



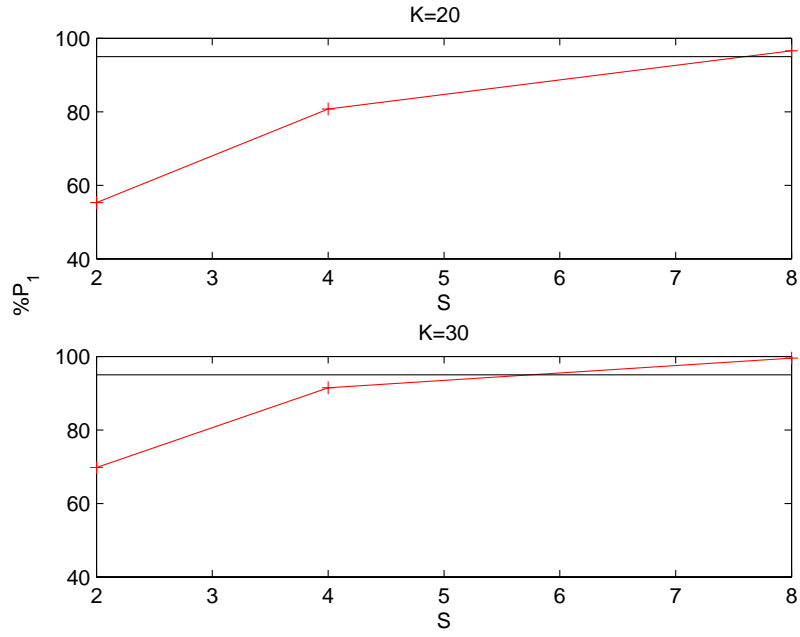
Şekil 16. K=5 ve 10 için S parametresine göre P_1 kriteri

En az 1 kullanıcıya ($\%P_1$) ve en az 2 kullanıcıya ($\%P_2$) ait kanal durum bilgisine sahip alttaşıyıcı kümelerin toplam alttaşıyıcı kümesine oranı sonuçlarına göre seçilmesi gereken S ve ε_{th} parametreleri Tablo 4'de listelenmiştir.

S ve ε_{th} parametrelerin $\%P_1$ ve $\%P_2$ değerlerine göre analitik olarak belirlenmesi (OZBEK,2009c)'da sunulmuştur.

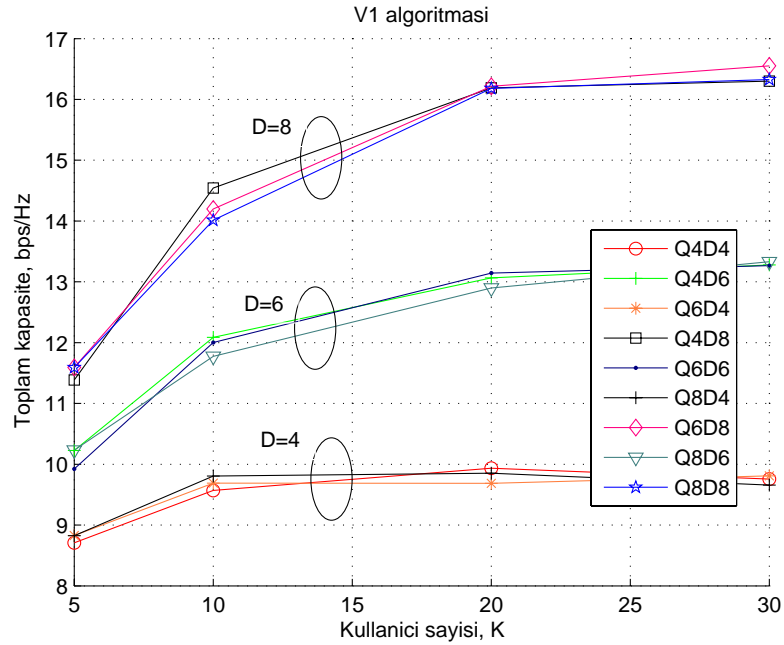
Tablo 4. Düşük hızlı geri besleme kanal parametreleri

K	5	10	20	30
S_x	16	12	8	6
ε_{th}	0.25	0.2	0.15	0.125
($\%P_1$ $\%P_2$)	(86,54)	(94,75)	(96,85)	(98,87)

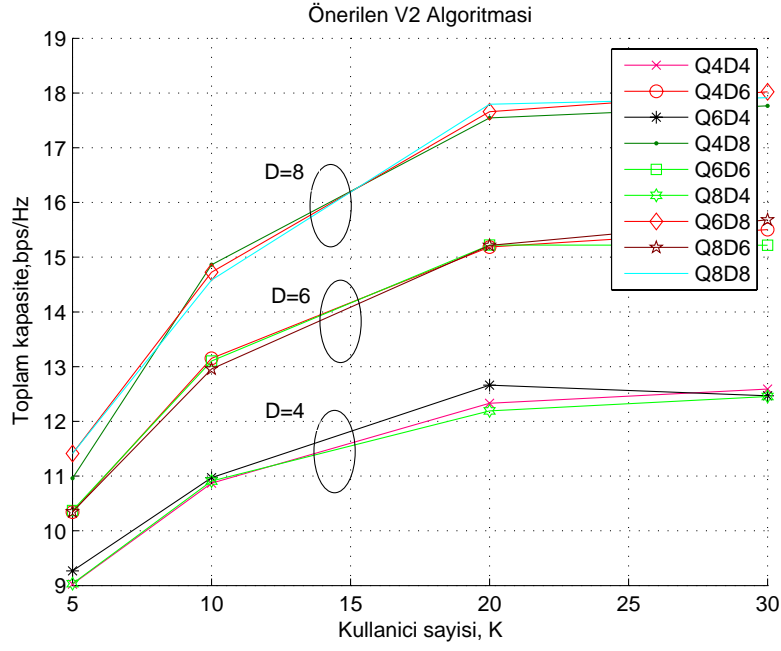


Şekil 17. K=20 ve 30 için S parametresine göre P₁ kriteri

Şekil 18 ve 19'da sırasıyla V1 ve önerilen V2 kullanıcı seçim algoritmaları için aynı hızda geri besleme kanalı kullanıldığında elde edilen toplam veri hızı performansları gösterilmiştir. Burada, kanal kalite bilgilerinin kuantalaması için kullanılan bit sayısını Q ve kanal yön bilgilerinin kuantalaması için gerekli bit sayısını D temsil eder ve $Q+D=B'$ 'dir. Bu sonuçlara göre, yüksek sinyal-gürültü-karışım oranında ve ZF tekniği kullanıldığı çoklu antenli DFBC sistemlerinde kanal kalite bilgisinin kuantalanmasının etkisi ihmal edilecek kadar azdır.

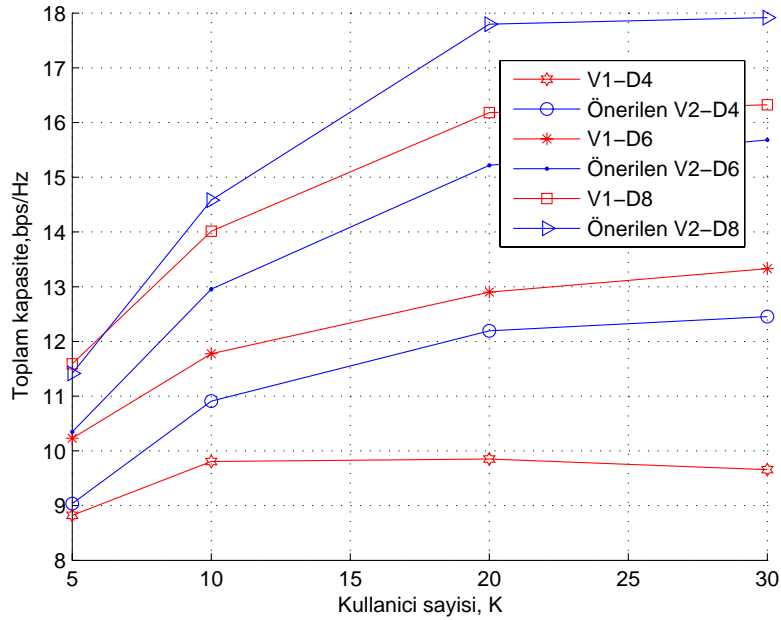


Şekil 18. Kuantalanmış V1 algoritması için toplam veri hızı



Şekil 19. Kuantalanmış önerilen V2 algoritması için toplam veri hızı

Şekil 20'de ise V1 ve önerilen V2 kullanıcı seçim algoritmalarının karşılaştırılması uzamsal olarak birbirinden bağımsız kanallar varsayımı için gösterilmiş ve önerilen algoritmanın daha iyi performansa sahip olduğu gözlemlenmiştir. Geri besleme kanalının hızı azaltıldığında önerilen V2 algoritmasının toplam kapasite üzerindeki etkisi belirgin bir şekilde yüksektir.



Şekil 20. Kuantalanmış önerilen V2 algoritması için toplam veri hızı

İlaveten önerilen kullanıcı seçim algoritmanın ilintili kanallardaki başarımları sonuçları (OZBEK,2009c)'da sunulmuştur.

5 Çoğa Gönderim DFBC için özkaynak yerleşimi

Bu uygulamalardaki amaç aynı veriyi talep eden kullanıcıların oluşturduğu grubun gönderilen veriyi hızlı bir şekilde almasını sağlamaktır. Çoğa gönderim uygulamaları için çoklu-kullanıcı DFBC sistemlerinde toplam veri hızı en büyüklemeli veya en düşük kullanıcı hızını en büyüklemeli özkaynak yerleşim problemi aşağıdaki şekilde modellenenir:

$$\max_{c_n, \rho_{k,n}} r = \max_{c_n, \rho_{k,n}} \sum_{n=1}^N \sum_{k=1}^K c_n \rho_{k,n} \quad (5.1)$$

veya

$$\max_{c_n, \rho_{k,n}} \min_k r_k = \max_{c_n, \rho_{k,n}} \min_{c_n, \rho_{k,n}} \sum_{n=1}^N c_n \rho_{k,n} \quad (5.2)$$

Güç kısıtlaması:

$$\sum_{n=1}^N \max_k \left(\frac{f(c_n) \rho_{k,n}}{|H_{k,n}|^2} \right) \leq P_T \quad (5.3)$$

Burada alttasıyıcıya yerleştirilen tüm kullanıcılar aynı bilgiyi aldıkları için c_n biti sadece alttasıyıcıya bağlıdır ve güç hesaplaması yapılırken alttasıyıcıya yerleştirilen tüm kullanıcılar arasında en küçük kanal katsayısına sahip kullanıcının talep edeceği güç dikkate alınır.

Çoğa gönderim uygulamalarında tüm kullanıcıların aynı bilgiye aynı kalitede ulaşması hedeflendiğinden toplam veri hızının yanısıra minimum kullanıcı veri hızı da oldukça önemlidir. Amacımız öncelikle çoğa gönderim çoklu kullanıcı DFBC sistemlerinin açığa çıkarabileceği maksimum kazancı elde etmektir. Başarım sonuçlarını elde etmek için Tablo 3'deki sistem parametreleri ve Tablo 5'de verilen GA parametreleri kullanılmıştır.

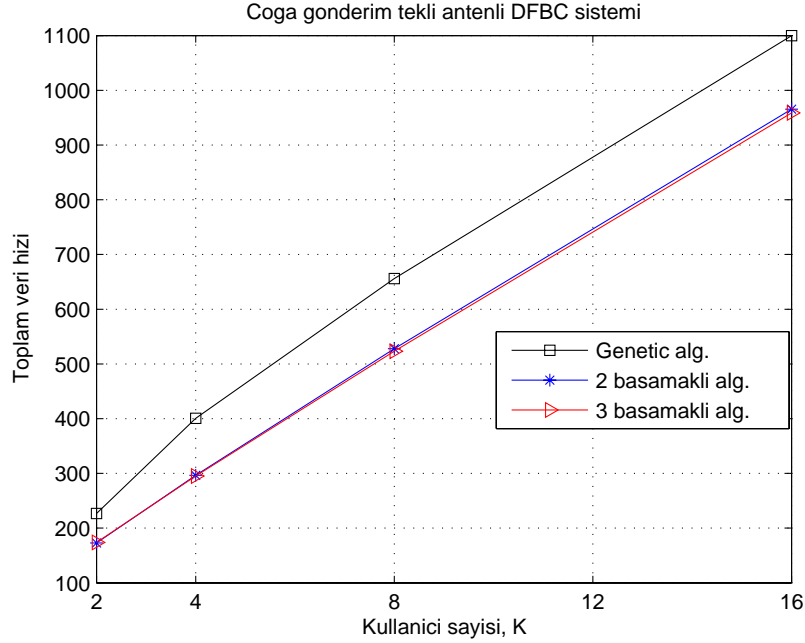
Her alttasıyıcı için ataması yapılacak olası kullanıcı grupları çok farklı olabileceği için popülasyon sayısı oldukça yüksek seçilmiştir. Uygunluk fonksiyonu toplam veri hızı enbüyükleme ya da en düşük kullanıcı veri hızı enbüyükleme yönünden bireylerin seçilmesi şeklinde belirlenebilir.

Tablo 5. Çoklu kullanıcı DFBC için çoğa gönderim GA parametreleri

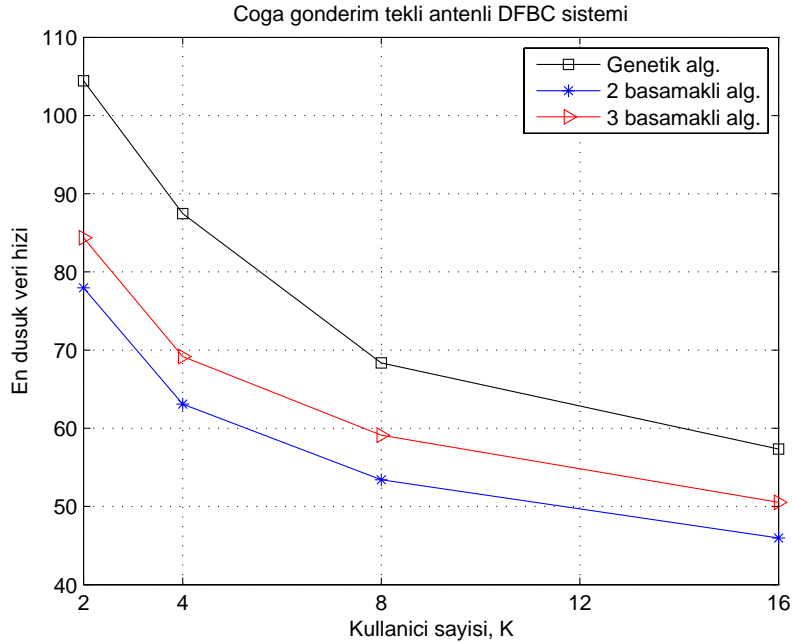
GA parametreleri	Değerler
W	1152
P	192
P_c	0.8
$P_m, P_{m1}, P_{m2}, P_{m3}$	0.1, 0.2, 0.4, 0.5
G_m	4
D_1, D_2, D_3, D_4	5, 10, 15, 20
D	200

GA ile elde edilen başarım sonuçlarını alttasıyıcı ve bit yerleşimini iki aşamada yapan (SUH, 2004)'daki algoritma ile karşılaştırdık. Bu iki-basamaklı algoritma, önce toplam gücü alttasıyıcılar arasında eşit bir şekilde paylaştırarak toplam veri hızını en büyükleyen alttasıyıcı yerleşimi yaptıktan sonra uyarlamalı bit yerleşimi yapar. Buna ilaveten, önce toplam veri hızını sonra en küçük kullanıcı hızını en büyüklemek için alttasıyıcı yerleşimi

yapan ve daha sonra bit yerleşimi uygulayan üç-basamaklı algoritma (OZBEK, 2008b) ile de karşılaştırarak performans sonuçlarını elde ettik. Toplam veri hızı ve minimum veri hızı başarımları Şekil 21 ve Şekil 22’de gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, çoğa gönderim uygulamalarında kritik olan minimum veri hızı açısından GA en iyi sonucu vermektedir.



Şekil 21. Çoğa gönderim uygulamalarında tekli antenli DFBC sistemleri için toplam veri hızı karşılaştırılması



Şekil 22. Çoğa gönderim uygulamalarında tekli antenli DFBC sistemleri için minimum veri hızı karşılaştırılması

6 Çoğa gönderim çoklu antenli sistemler için hüzmeleme teknikleri

Çoklu antenli çoğa gönderim kablosuz iletişim sistemlerinde en düşük SGO'ya ve dolayısıyla en düşük veri hızına sahip kullanıcının veri hızını arttırmak için verici hüzmeleme teknikleri kullanılabilir (JINDAL, 2006). Çoklu verici antenli sistemlerin çoğa gönderim uygulamaları için optimizasyon problemi (CHEN,2005)'de incelenmiştir. Tüm kullanıcıların durumları gözönünde bulundurularak tek verici için hüzme optimizasyonu ise (SIDIROPOULOS, 2006)'te gerçekleştirilmiştir. Bu yöntem en düşük SGO'ya göre iletim hızını ayarlayan sisteme göre oldukça iyi sonuçlar vermektedir. Fakat optimizasyon işleminin karmaşıklığı özellikle kullanıcı sayısı arttığında artmaktadır. Verici hüzme algoritmasının karmaşıklığını azaltan algoritmalar (DU, 2006) (WANG, 2005)'da incelenmiştir. İlaveten (KIM,2008)'de, çoklu hüzme teknikleri düşük önkodlama kazancına sahip kullanıcılara yönelik olarak ortak değişinti matrisinin tasarımına yönelik olarak gerçekleştirilmiştir.

Bizim bu bölümdeki hedefimiz en iyi ve en kötü durumdaki kullanıcıya yönelik hüzmeler gerçekleştirerek kablosuz çoğa gönderim sisteminin performansını arttırmaktır (OZBEK,2009d). Tasarlanan hüzmelerden tüm kullanıcılara aynı veri paketlerinin gönderildiği varsayılmıştır. Önerilen algoritmalar tekli ve çoklu hüzme tasarımına olanak vermektedir.

Çoğa gönderim uygulamalarında çoklu hüzme yöntemlerinin kullanılması (KIM,2008)'de incelenmiştir. Bu çalışma, kullanıcı sayısı kadar birbirine mümkün olduğu kadar dik hüzme oluşturulmasına izin vermekte ve veri farklı kullanıcı gruplarına farklı hüzmelerden, farklı veri hızlarında iletilmektedir. Bu çalışmada önkodlayıcı matrisi yerine ortak değişinti matrisi üzerinde tasarım yapılmıştır. Önerilen algoritmadaki hedef N_t adet hüzme oluşturmak ve her hüzmelerden aynı hızda ve aynı veri paketlerini göndermektir. Böylece hüzmeler arasında karışım olması önlenecektir.

Önerilen modele göre çoğa gönderim kablosuz sistemlerinin açığa çıkarabileceği veri hızı (6.1)'deki gibi tanımlanır. Amacımız veri hızı R 'yi en büyükleyen W önkodlama matrisini seçmektir.

$$r = \log_2 \left(1 + \rho \min_{1 \leq k \leq K} H_k W W^H H_k^H \right) \quad (6.1)$$

Burada ρ sinyal-gürültü oranıdır (SGO).

6.1 Tekli hüzme algoritması

Her $k=1,2,\dots,K$ için başlangıç hüzme önkodlama vektörü oluşturulur:

$$W_k^{init} = \frac{H_k^H}{\sqrt{\text{tr}(H_k^H H_k)}} \quad (6.2)$$

Burada kanal vektörü:

$$H_k = [H_{k,1} \quad H_{k,2} \quad \dots \quad H_{k,N_t}]^T \quad (6.3)$$

Her önkodlama vektörü için hüzme kazancı:

$$G_{i,k} = \|H_i W_k\|^2, \quad i = 1,2,\dots,K \quad (6.4)$$

Çoğa gönderim iletim hızı en düşük veri hızına sahip kullanıcının veri hızı olacağı için en düşük kazanç değeri seçilir:

$$\gamma = \underset{i}{\operatorname{argmin}} G_{i,k} \quad (6.5)$$

Amacımız en düşük veri hızını en büyükmek olduğu için önkodlama vektörü aşağıdaki şekilde bulunur:

$$\eta = \underset{k}{\operatorname{argmax}} G_{\gamma,k} \quad (6.6)$$

Böylece önkodlama vektörü ve hüzme kazancı (6.7)'deki gibi belirlenir:

$$\begin{aligned} W &= W_{\gamma}^{init} \\ G_{\gamma,\eta} &= \|H_{\gamma} W_{\eta}\|^2 \end{aligned} \quad (6.7)$$

Çoğa gönderim sistemlerinde açığa çıkarılabilecek veri hızı (6.8)'deki gibi hesaplanır:

$$r = \log_2(1 + \rho G_{\gamma,\eta}) \quad (6.8)$$

6.2 Çoklu hüzme algoritması

Çoklu hüzme algoritmasının ilk üç basamağı (6.2), (6.4) ve (6.5) ile tanımlanan tekli hüzme algoritması ile aynıdır. Amacımız en düşük veri hızını en büyükmek olduğu için bu kullanıcıya doğru bir hüzme daha oluşturulması için önkodlama vektörü değiştirilir ve ZF hüzme tekniği uygulanır:

$$W_k^{new} = \alpha (H^{new})^H \left[H^{new} (H^{new})^H \right]^{-1} \quad (6.9)$$

Burada kanal matrisi ve güç kısıtlaması sırasıyla,

$$\begin{aligned} H^{new} &= \begin{bmatrix} H_k & H_{\gamma} \end{bmatrix} \\ \alpha &= \frac{1}{\sqrt{\operatorname{tr} \left(H^{new} (H^{new})^H \right)^{-1}}} \end{aligned} \quad (6.10)$$

olarak tanımlanır.

Önkodlama matrisi oluşturulduktan sonra tüm kullanıcılara ait hüzme kazançları tekrar hesaplanır:

$$G_{i,k} = \|H_i W_k^{new}\|^2, \quad i = 1, 2, \dots, K \quad (6.11)$$

Önce en düşük kazanç belirlenir:

$$\gamma = \underset{i}{\operatorname{argmin}} G_{i,k} \quad (6.12)$$

Daha sonra ise en düşük kazancı en büyükmek için bu kazançlardan en büyük olanı önkodlama kazancı olarak seçilir:

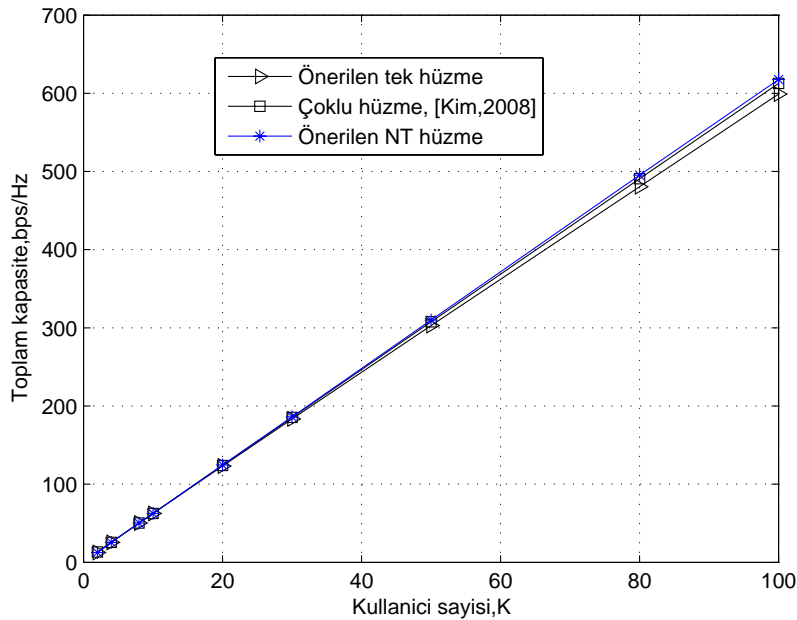
$$\eta = \underset{k}{\operatorname{argmax}} G_{\gamma,k} \quad (6.13)$$

Böylece önkodlama vektörü $W = W_{\gamma}^{new}$ ve hüzme kazancı $G_{\gamma,\eta}$ belirlendikten sonra kablosuz çoğa gönderim sisteminin veri hızı (6.8)'deki gibi hesaplanır.

Başarım Sonuçları

Önerilen tekli ve çoklu hüzme algoritmasını (KIM,2008)'deki çoklu hüzme algoritması ile karşılaştırdık. Başarım sonuçlarını elde etmek amacıyla, tek dallı Rayleigh kanal kullanılmıştır ve sinyal-gürültü oranı (SGO) 20dB olarak seçilmiştir.

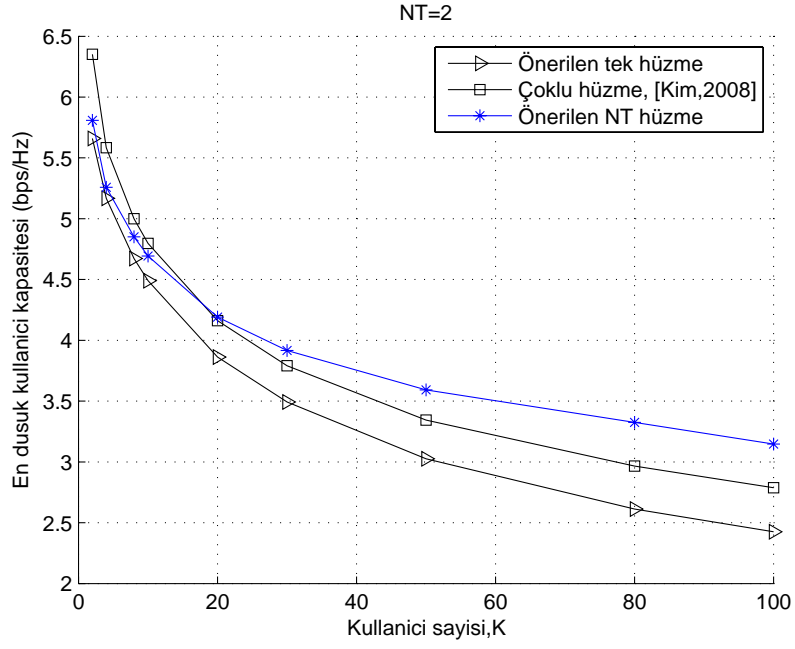
Şekil 23'de sistemin başarımı toplam veri hızı için gösterilmiş ve algoritmanın performansları arasında farkların oldukça az olduğu gözlemlenmiştir. Çoğa gönderim algoritmalarının hedefi tüm kullanıcıların aynı veriyi ulaştırmak olduğu için en düşük kullanıcının veri hızı daha önemli bir kriterdir.



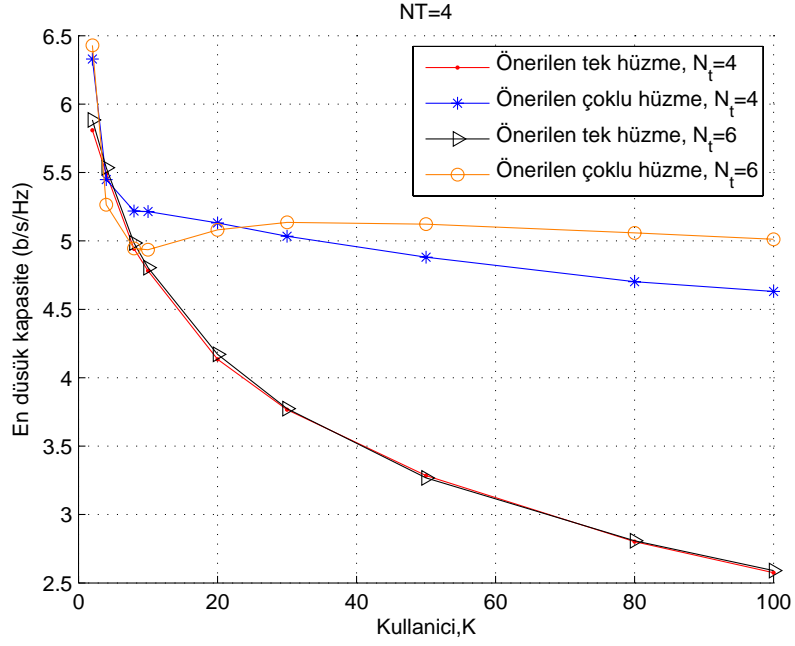
Şekil 23. Çoğa gönderim uygulamalarında $N_t=2$ için toplam veri hızı karşılaştırması

Şekil 24'de ise $N_t = 2$ için en düşük kullanıcı veri hızları gösterilmiştir. Tekli hüzme ile çoklu hüzme arasındaki farkın verimlilik açısından önemli olduğunu göstermektedir. Ayrıca, önerilen çoklu hüzme algoritması (KIM,2008)'de sunulan ve karmaşıklığı daha yüksek olan algoritmaya göre sistem başarımını arttırmıştır. Özellikle kullanıcı sayısı arttığında sistem performansı hızlı bir şekilde artmaktadır.

Şekil 25'de ise verici anten sayıları $N_t = 4$ ve $N_t = 6$ gözönüne alınarak tekli ve çoklu hüzme teknikleri için sistemin en düşük veri hızı performansı gösterilmiştir. Önerilen algoritma, verici anten sayısı 4'ten 6'ya çıkarıldığında çoklu hüzme teknikleri ile oldukça yüksek kazançlar elde etmektedir.



Şekil 24. Çoğa gönderim uygulamalarında $N_t=2$ için minimum kullanıcı veri hızı karşılaştırması



Şekil 25. Çoğa gönderim uygulamalarında $N_t=4$ ve 6 için minimum kullanıcı veri hızı karşılaştırması

7 Sonuçlar ve Değerlendirme

Projede ele alınan çalışmalardan elde edilenler işiğinde şu sonuçlara varılmıştır:

Bölüm 2’de tüme gönderim DFBÇ sistemleri için özkaynak yerleşim modeli oluşturulmuş ve optimizasyon problemi alttaşıyıcı ve bit yerleşimi olarak tanımlanmıştır. Tanımlanan modelin ortaya çıkarabileceği teorik kazançları elde etmek için genetik algoritma kullanılmış ve bu sonuçlar literatürdeki özkaynak yerleşim algoritmaları ile karşılaştırılmıştır. Tüme gönderim DFBÇ sistemleri için genetik algoritmanın döngü sayısının azaltılması ve yakınsama süresinin kısaltılabilmesi için algoritma önerisinde bulunulmuştur (OZBEK, 2008a).

Tüme gönderim uygulamaları için tekli antenli çoklu kullanıcı DFBÇ sistemleri için servis kalitesi kriterini gözönünde bulunduran özkaynak yerleşim modeli oluşturulmuş ve optimizasyon problemi alttaşıyıcı ve bit yerleşimi olarak tanımlanmıştır. Bu optimizasyon probleminin çözümüne yönelik farklı ve yarı-optimal algoritmalar karşılaştırılmıştır (LE RUYET, 2009a).

Bölüm 3’de tüme gönderim uygulamaları için çoklu antenli çoklu kullanıcı DFBÇ sistemleri için özkaynak yerleşim modeli oluşturulmuş ve optimizasyon problemi hüzmeye, alttaşıyıcı ve bit yerleşimi olarak tanımlanmıştır. Tanımlanan modelin ortaya çıkarabileceği teorik kazançları elde etmek için genetik algoritma kullanılmıştır. Çoklu ve tekli hüzmeye oluşturmaya olanak sağlayan bu modelin genetik algoritma çözümü için döngü sayısının azaltılması ve algoritmanın hızlandırılması için başlangıç koşulu önerisinde bulunulmuştur(OZBEK, 2009a).

Bölüm 4’de tüme gönderim uygulamalarında çoklu antenli DFBÇ sistemlerinde çoklu hüzmeye teknikleri oluşturularak uzamsal bölmeli oğullama için geri besleme kanal yapısı tasarlanmıştır. Tasarlanan düşük veri hızlı geri besleme kanal için önerilen kullanıcı seçim algoritmasının iyi performans sonuçlarına sahip olduğu gösterilmiştir (OZBEK,2009b). Geri besleme kanal bilgisinin miktarının azaltılması ile performanstan ödün vermeden özkaynak yerleşiminin karmaşıklılığı da azaltılmıştır. Ayrıca düşük veri hızında geri besleme kanalı için gerekli parametrelerin seçimleri için kuramsal sonuçlar üretilmiştir ve ilintili kanallardaki performansları da (OZBEK,2009c)’da elde edilmiştir.

Bölüm 5’de çoğa gönderim DFBÇ sistemleri için özkaynak yerleşim modeli oluşturulmuş ve optimizasyon problemi alttaşıyıcı ve bit yerleşimi olarak tanımlanmıştır. Tanımlanan modelin teorik aşarımını elde etmek için genetik algoritma kullanılmış ve elde edilen sonuçlar literatürdeki çoğa gönderim özkaynak yerleşim algoritmalarının performansları ile karşılaştırılmıştır.

Bölüm 6’da çoğa gönderim uygulamaları için çoklu anten teknikleri tasarlanmıştır. Çoklu antenli sistemler kullanılarak çoğa gönderim uygulamalarında karmaşıklılığı az algoritma ile çoklu hüzmeye oluşturulduğunda ortaya çıkan aşarım sonuçları irdelenmiştir. oğa gönderim uygulamaları için çoklu antenli çoklu kullanıcı sistemlerde önerilen algoritma ile çoklu hüzmeye oluşturularak sistem aşarımının artırılabilmesi gösterilmiştir (OZBEK,2009d). oğa gönderim uygulamalarında ikiden fazla verici anten sayısına sahip sistemler için çoklu hüzmeye teknikleri de tasarlanmıştır. Verici anten sayısı artırıldığında, önerilen çoklu hüzmeye algoritması ile en düşük kullanıcı verici hız performansı iyileştirilmiştir.

Projede ele alınan araştırma konularında, komşu hücrelerde farklı frekansların kullanıldığı ve karışım etkisinin olmadığı durum gözönüne alınarak özkaynak yerleşim algoritmaları incelenmiş ve çoklu antenli çoklu kullanıcılı DFBC sistemlerinin teorik kazançları açığa çıkarmak için verimli özkaynak algoritmaları tasarlanmıştır. Ortaya çıkan sonuçlar ve algoritmalar oldukça ümit vericidir. Projenin sonuçlarının, komşu hücrelerde aynı frekansın kullanıldığı ve karışımın ortaya çıktığı çoklu-hücreli ağlar için karışım önleme/yok etme algoritma tasarımlarında kullanılması mümkündür.

Kaynaklar

BAKHITIARI, E., Khalaj, B.H., A new joint power and subcarrier allocation scheme for multiuser OFDM systems, IEEE PIMRC, China, (2003).

CAMPELLO, J., Practical Bit Loading for DMT, IEEE International Conference on Communications (ICC), 2, 6-10, (1999).

CHEN, B., Gans, M. J., Beaconing in MIMO broadcast channels, IEEE International Conference Acoustic, Speech and Signal Processing (ICASSP), 769-772, (2005).

DU, Q., Zhang, X., Shen, X., On transmit-diversity based multicast in mobile wireless networks, IEEE International Conference on Communication, 1772-1777, (2006)

JANG, J., Lee, K. B., Transmit Power Adaptation for Multiuser OFDM Systems, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 21, 2, 171-178, (2003).

JAIN, R., Chiu, D.M., Hawe, W.R., A Quantitative Measure of Fairness and Discrimination for Resource Allocation Shared Computer Systems, Digital Equipment Corporation Technical Report, TR-301, (1984).

JINDAL, N., Luo, Z., Capacity limits of multiple antenna multicast, IEEE International Symposium Information Theory, 1841-1845, (2006).

KIVANC, D., Li, G., Liu, H., Computationally efficient bandwidth allocation and power control for OFDMA, IEEE Transactions on Wireless Communications, 2, 1150-1158, (2003).

KIM, I. H., Love, D. J., Park, S. Y., Recursive covariance design for multiple antenna physical layer multicasting, Proc. RWC, (2008).

KOUTSOPOULOS, I., Tassiulas, L., Adaptive resource allocation in SDMA based wireless broadband networks with OFDM signaling, IEEE INFOCOM, 1376-1385, (2002).

LE RUYET, D., Khanfir, H., Özbek, B., Performance of Semi-orthogonal user selection for Multiuser MISO systems, IEEE Signal Processing for Wireless Communications (SPAWC), Brazil, (2008).

LE RUYET, D., Özbek, Resource Management in OFDMA Wireless Systems (Kitap bölümü), Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA): Fundamentals and Applications Auerbach Publications, CRC Press, Taylor & Francis Group, (2010).

LOVE, D. J., Heath, Jr., R. W., Lau, V. K. N., Gesbert, D., Rao, B. D., Andrews, M., An Overview of Limited Feedback in Wireless Communication Systems, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 26, 1341-1365, (2008).

MAN, K.F., Tang, K.S., Kwong, S., Genetic algorithms: concept and applications, IEEE Transaction on Industrial Electronics, 23, 519-534, (1996).

NARULA, A., Lopez, M. J., Trott, M. D., Wornell, G. W., Efficient use of side information in multiple antenna data transmission over fading channels, IEEE Journal on Selected Areas in Communication (JSAC), 1423-1436, (1998).

PROAKIS, J. G., Digital Communications, McGraw-Hill, 1995.

PETERMANN, M., Bockelmann, C., Kammeyer, K. D., On allocation strategies for dynamic MIMO-OFDMA with multi-user beamforming, 12th International OFDM-Workshop, (InOWo07), Germany, (2007).

REEDY, Y.B., Gajendar, Evolutionary approach for efficient resource allocation in multiuser OFDM systems, Journal of Communications, 2, 42-48, (2007).

RHEE, W., Cioffi, J. M., Increase in capacity of multiuser OFDM system using dynamic subchannel allocation, IEEE Vehicular Technology Conference (VTC), 1085-1089, Tokyo (2000).

SVEDMAN, P., Wilson, S. K., Cimini, L. J., Ottersten, B., Opportunistic Beamforming and Scheduling for OFDMA systems, IEEE Transaction on Communications (ICC), 55, 941-952, (2007).

SHEN, Z., Andrews, J. G., Evans, B. L., Adaptive Resource Allocation in Multiuser OFDM Systems with Proportional Fairness, IEEE Transactions on Wireless Communications, 4, 2726-2737, (2003).

SUH, C., Hwang, C. S., Dynamic subchannel and bit allocation for multicast OFDM Systems, IEEE PIMRC, Barcelone, Spain, (2004).

SIDIROPOULOS, N. D., Davidson, T. N., Luo, Z. Q., Transmit beamforming for physical layer multicasting, IEEE Transaction on Signal Processing, 54, (2006).

OZBEK, B., Le Ruyet, D., Sum-rate maximized adaptive subcarrier and bit allocation for multiuser OFDM systems with genetic algorithm, IEEE 16. Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları (SIU), Didim, (2008a).

OZBEK, B., Le Ruyet, D., Khanfir, H., Performance Evaluation of Multicast MISO-OFDM Systems, Annals of Telecommunications, 52, 5-6, 295-306, (2008b).

OZBEK, B., Le Ruyet, D., Adaptive resource allocation for multiuser SDMA-OFDM systems with genetic algorithm, IEEE Sixth International Symposium on Wireless Communication Systems (ISWCS), Italy, (2009a).

OZBEK, B., Le Ruyet, D., Reduced feedback designs for SDMA-OFDMA systems, IEEE International Communication Conference (ICC), Germany, (2009b).

OZBEK, B., Le Ruyet, D., Reduced rate feedback channel designs for MISO-OFDMA systems, Submitted to IET Communications, (2009c).

OZBEK, B., Le Ruyet, Didier, Transmit beamforming techniques for multicast wireless communication systems, IEEE 17. Sinyal İşleme, İletişim ve Uygulamaları Kurultayı, SIU'09, Antalya, (2009d).

VARSHNEY, U., Multicast over Wireless Networks, Communications of the ACM, 45, 31-37, (2002).

WANG, Y., Chen, F., Wei, G., Adaptive subcarrier and bit allocation for multiuser OFDM system based on genetic algorithm, IEEE ICCAS, (2005).

WANG, J., Zoltowski, M. D., Love, D. J., Improved space-time coding for multiple antenna multicasting, IEEE International Waveform Diversity Design Conference, (2006).

WONG, C. Y., Cheng, R. S. , Letaief, K. B., Murch, R.D., Multiuser OFDM with adaptive subcarrier, bit and power allocation, IEEE Journal on Selected Areas Communications, 17, 1747-1758, (1999).

YIN, H. , Liu, H., An Efficient multiuser Loading Algorithm for OFDM-based Broadband Wireless Systems, IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBECOM), 103-107, USA, (2000).

ZHANG, Y. J. , Letaief, K. B., Multiuser adaptive subcarrier-and-bit allocation with adaptive cell selection for OFDM systems, IEEE Transactions on Wireless Communications, 3, 1566-1575, (2004).

ZHEN, L. , Geqing, Z. , Weihua, W. , Junde, S. , Improved algorithm of multiuser dynamic subcarrier allocation in OFDM system, International Conference on Communication Technology Proceedings (ICCT), 1144-1147, (2003).

TÜBİTAK
PROJE ÖZET BİLGİ FORMU

Proje No: 107E092
Proje Başlığı: Çoklu-antenli çoklu-taşıyıcılı kablosuz iletişim sistemleri için verimli çok-kullanıcılı özkaynak yerleşim algoritması tasarımı
Proje Yürütücüsü ve Araştırmacılar: Yrd.Doç.Dr. Berna ÖZBEK
Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi: İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Müh. Böl. Urla-İzmir.
Destekleyen Kuruluş(ların) Adı ve Adresi: TÜBİTAK ve Fransa Dışişleri Bakanlığı.
Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri: 01 Ocak 2008 - 01 Ocak 2010
Öz (en çok 70 kelime) Bu proje kapsamında, çoklu-antenli çoklu-kullanıcılı DFBÇ tabanlı kablosuz ağlarda spektral verimliliği arttırmak için özkaynak yerleşim problemi üzerine araştırmalar yapılmıştır. Sistemin açığa çıkarabileceği kuramsal kazançlar Genetik algoritma kullanılarak elde edilmiş ve çeşitli özkaynak yerleşim algoritmaları incelenmiştir. Özkaynak yerleşiminin verimli ve düşük karmaşıklıkta gerçekleştirilmesinde önemli olan geri besleme kanalı için kullanıcı seçim algoritmaları geliştirilmiş ve kuantalanmış kanal bilgisi için kod tablosu tasarımı yapılmıştır. Çoğa gönderim uygulamaları için düşük karmaşıklıkta tekli ve çoklu hüzmleme teknikleri geliştirilmiştir. Geliştirilen tüm algoritmaların başarımları çeşitli kablosuz ağ standartları için elde edilmiştir.
Anahtar Kelimeler: Kablosuz iletişim, DFBÇ, çoklu anten teknikleri, özkaynak yerleşimi, tüme gönderim, çoğa gönderim, önkodlama teknikleri, Genetik algoritma, geri besleme kanalı.
Fikri Ürün Bildirim Formu Sunuldu mu? Evet <input type="checkbox"/> Gerekli Değil <input checked="" type="checkbox"/> Fikri Ürün Bildirim Formu'nun tesliminden sonra 3 ay içerisinde patent başvurusu yapılmalıdır.
Projeden Yapılan Yayınlar: <ul style="list-style-type: none">• Özbek, B., Le Ruyet, D., Reduced rate feedback channel designs for MISO-OFDMA systems, IET Communications, (Gönderildi).• Le Ruyet, D., Özbek, B., Resource Management in OFDMA Wireless Systems (Kitap bölümü), Orthogonal Frequency Division Multiple Access: Fundamentals and Applications, Auerbach Publications, CRC Press, Taylor&Francis Group, Nisan, 2010.

- Özbek, B., Le Ruyet, D., Adaptive resource allocation for multiuser SDMA-OFDM systems with genetic algorithm, IEEE Sixth International Symposium on Wireless Communication Systems (ISWCS), s. 438-442, İtalya, Eylül, 2009.
- Özbek, B., Le Ruyet, D., Reduced feedback designs for SDMA-OFDMA systems, IEEE International Communication Conference (ICC), s.1-6, Almanya, Haziran, 2009.
- Özbek, B., Le Ruyet, D., Transmit beamforming techniques for multicast wireless communication systems, IEEE 17. Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Sempozyumu (SIU), s.241-244, Antalya, Nisan, 2009.
- Özbek, B., Le Ruyet, D., Sum-rate maximized adaptive subcarrier and bit allocation for multiuser OFDM systems with genetic algorithm, IEEE 16. Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Sempozyumu (SIU), s.1-4, Didim, Nisan, 2008.

Adaptive resource allocation for SDMA-OFDMA systems with genetic algorithm

Berna Özbek #, Didier Le Ruyet *

*Electrical and Electronics Engineering Department, Izmir Institute of Technology
Urla, Izmir, 35430, Turkey
bernaozbek@iyte.edu.tr*

* *Electronics and Communications Laboratory, Conservatoire National des Arts et Métiers (CNAM)
292 rue Saint Martin, 75141, Paris, France
didier.le_ruyet@cnam.fr*

Abstract—In this paper, we propose an adaptive resource allocation algorithm to maximize the sum data rate for spatial division multiplexing access (SDMA) orthogonal division multiple access (OFDMA) systems using genetic algorithm. We perform Zero forcing (ZF) beamforming at the transmitter constructing single and multiple beams for OFDMA systems with multiple transmit antennas. In order to reduce the complexity and convergence time of genetic algorithm (GA), we present an initial condition obtained by allocating the user to the subcarrier with maximum precoding gain. The proposed algorithm reduces the complexity without sacrificing the performance. We obtain the simulation results and compare them with the classical static and adaptive allocation methods. We show that the GA with the proposed initial condition increases the sum data rate compared to classical GA and reduces the convergence time significantly for SDMA-OFDMA systems.¹

I. INTRODUCTION

For next generation wireless communication systems, the wireless systems in the bandlimited channels and with intersymbol interference (ISI) could support the high data rate broadband applications such as wireless internet access, wireless multimedia and future mobile systems. For these applications, orthogonal frequency division multiplexing (OFDM) that is already involved in many wireless communication standards is one of the promising modulation technique because of its ability to combat ISI over multipath fading channels. Combining OFDM systems with multiple antenna techniques, the performance of communication systems in frequency selective channels improves significantly.

For single user OFDM systems, the Greedy algorithm (adaptive bit and subcarrier allocation) gives the optimal solution to minimize the overall power allocation when the channel coefficients of each subcarrier are known at the transmitter. However, for the multiuser OFDM systems, it is much more difficult to find the optimal solution since a subcarrier allocated to a user can also be the best for other users.

The subcarrier and bit allocation for OFDMA systems can be separated into static and dynamic allocation. The static subcarrier allocation schemes use fixed resource allocation schemes namely time division multiple access division

(TDMA) and frequency division multiple access (FDMA) [1]. In these schemes, the channel state information is ignored and each user is allocated for a predefined time slot or frequency band.

For dynamic subcarrier and bit allocation algorithms, it is assumed that the channel coefficient for each subcarrier is available at the transmitter. In [2], iterative searching algorithm applying Lagrangian relaxation for optimum multiuser bit, subcarrier and power is proposed. This algorithm gives a solution close to the optimum solution but the computation complexity is high. In order to simplify the allocation problem, each subcarrier is allocated to the user that has the maximum channel gain for this subcarrier [3]. This algorithm is very simple but cannot achieve all the multiuser diversity gain. A low complexity solution for the problem described in [2] is presented in [4] and it is shown that the performance results approaches the optimum solution. In [5], a resource allocation solution that reaches the optimum solution with reduced complexity to maximize sum data rate is described by considering capacity calculations. Furthermore, a subcarrier and bit allocation by using genetic algorithm (GA) is presented in [6] and [7] for the problem of the total transmit power minimization with fixed rate constraints. In order to reduce to convergence time of GA, an initial condition is proposed in [6] considering efficiency (when allocating, the users that have the highest channel gain are preferred since they demand less power) and fairness (a number of subcarriers are allocated to each user without considering their channel gains) criteria. In [7], the GA parameters are adapted during the iteration process to reduce the convergence time.

For OFDMA systems with multiple transmit antennas, the resource allocation includes precoding vector selection, subcarrier allocation and bit loading [8]. The Space Division Multiple Access (SDMA) uses a beamforming technique in a multiple-antenna system and multiplexes multiple users on the same subcarrier to increase the spectral efficiency.

In this paper, we propose to allocate precoding vector, subcarrier and bit/power by using GA to maximize sum data rate for OFDMA systems with multiple transmit antennas. In this scheme, we perform Zero forcing (ZF) beamforming at the

¹The work was partially supported by the Tubitak-PIA Bosphorus Project.

transmitter constructing single and multiple beams. In order to reduce the complexity and convergence time of GA, we propose an initial condition which is obtained by allocating the user to the subcarrier having maximum precoding gain.

First, we describe the system model of SDMA-OFDMA systems over wireless channels in section 2. Then, we present the adaptive resource allocation algorithm for describing GA in section 3. Finally, in section 4, we present the simulation results by evaluating the sum data rate and the convergence time.

II. SYSTEM MODEL FOR SDMA-OFDMA

We consider a SDMA-OFDMA system with N_t transmit antennas, K users with single antenna and N subcarriers as drawn in Figure 1. In this model, the channel vector between the base station and the k th user for the n th subcarrier is described by

$$\mathbf{H}_{k,n} = [H_{k,n,1} \quad H_{k,n,2} \quad \dots \quad H_{k,n,N_t}] \quad (1)$$

where $H_{k,n,t}$ is the channel information from the t th transmit antenna to the k th user for the n th subcarrier.

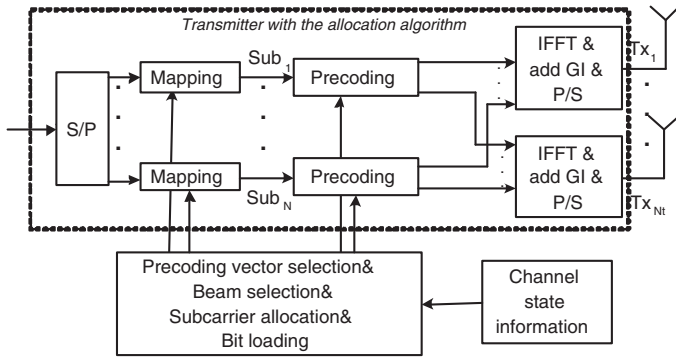


Fig. 1. The transmitter structure for OFDMA system with multiple transmit antennas.

For a system where $N_t \leq K$, let \mathcal{S}_n be the set of N_t users scheduled at subcarrier n and the associated users' data are transmitted using ZF precoding. Then $\mathbf{H}(\mathcal{S}_n)$ denotes the matrix consisting of N_t channel vectors of the selected users at subcarrier n . The relation between the data vector $\mathbf{S}_n(\mathcal{S}_n)$ and the received signal for k th user and n th subcarrier can be written as:

$$Y_{k,n} = \mathbf{H}_{k,n} \mathbf{X}(\mathcal{S}_n) + N_{k,n} \quad (2)$$

$$= \mathbf{H}_{k,n} \mathbf{W}(\mathcal{S}_n) \mathbf{P} \mathbf{S}(\mathcal{S}_n) + N_{k,n} \quad (3)$$

where \mathbf{P} is a diagonal matrix consists of power allocation between the subcarriers and the beams, $\mathbf{X}(\mathcal{S}_n) \in \mathcal{C}^{N_t \times 1}$ is the transmitted symbol from the base station antennas.

The ZF transmit beamforming matrix is given by

$$\mathbf{W}(\mathcal{S}_n) = \alpha \mathbf{H}(\mathcal{S}_n)^H (\mathbf{H}(\mathcal{S}_n)^H \mathbf{H}(\mathcal{S}_n))^{-1} \quad (4)$$

In order to keep the short term power constant, we have:

$$\alpha = \frac{1}{\sqrt{\text{tr}((\mathbf{H}(\mathcal{S}_n)^H \mathbf{H}(\mathcal{S}_n))^{-1})}} \quad (5)$$

The precoding matrix, $\mathbf{W}(\mathcal{S}_n)$ is defined by,

$$\mathbf{W}(\mathcal{S}_n) = [\mathbf{W}_1(\mathcal{S}_n) \quad \mathbf{W}_2(\mathcal{S}_n) \quad \dots \quad \mathbf{W}_{N_t}(\mathcal{S}_n)] \quad (6)$$

where $\mathbf{W}_b(\mathcal{S}_n)$ is the precoding vector for the b th beam and the n th subcarrier with the dimension of $N_t \times 1$. In order to maximize the sum data rate, the optimization problem can be given as

$$\max_{\mathbf{W}_n; c_n; \rho_n} R = \max_{\mathbf{W}_n, b; c_n, b; \rho_n, b} \sum_{b=1}^{N_t} \sum_{k=1}^K \sum_{n=1}^N c_{n,b} \rho_{k,n,b} \quad (7)$$

subject to

$$\sum_{b=1}^{N_t} \sum_{k=1}^K \sum_{n=1}^N \left(\frac{f(c_{n,b}) \rho_{k,n,b}}{|\mathbf{H}_{k,n} \mathbf{W}_b(\mathcal{S}_n)|^2} \right) \leq P_T \quad (8)$$

and

$$\sum_{k=1}^K \rho_{k,n,b} = 1 \quad \text{for each } n, b \quad (9)$$

where P_T is the total transmit power and

$$\rho_{k,n,b} = \begin{cases} 1 & k\text{th user is allocated to the beam } b \text{ for subcarrier } n \\ 0 & \text{else} \end{cases}$$

Consequently, only one user is allocated to each subcarrier and each beam.

For M-ary quadrature amplitude modulation (M-QAM) schemes, the bit error probability is upper bounded by the symbol error probability, which is tightly approximated by $4Q(\sqrt{d^2}/(2N_0))$ [9] where d is the minimum distance between the points in the signal constellation. Since the average energy of a M-QAM symbol is equal to $(M-1)d^2/6$, then the required power (in energy per symbol) $f(c_{n,b})$ for supporting $c_{n,b}$ bits per symbol at a required bit-error-rate (BER) p_e can be represented by

$$f(c_{n,b}) = \frac{N_0}{3} [Q^{-1}(p_e/4)]^2 (2^{c_{n,b}} - 1) \quad (10)$$

where $N_0/2$ denotes the variance of the additive white Gaussian noise (AWGN) and $Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^\infty e^{-t^2/2} dt$.

III. ADAPTIVE RESOURCE ALLOCATION WITH GENETIC ALGORITHM

GA is based on the mechanism of natural selection of stronger individuals. GA is an attractive algorithm for some types of optimizations by improving the computational performance [6]. In this work, we propose to use the GA to optimize the precoding, subcarrier and bit allocation for SDMA-OFDMA systems to maximize the sum data rate. This optimization problem is a difficult non-convex optimization problem. In this algorithm, each subcarrier and each OFDM symbol is modeled as a gene and chromosome respectively. The number of genes in a chromosome is equal to the number of multiplication of subcarriers and number of transmit antennas in an OFDM symbol. The value of each gene is confined to the integer from 1 to K . For example, if the first

gene of the chromosome is k for beam b , then the subcarrier is allocated to the user k for beam b .

The algorithm is described as follows:

Step 1)Initial population:

It includes W chromosomes.

Step 2)Evaluate:

Fitness function is chosen as the sum data rate. The higher the sum data rate, the better is the fitness of the chromosome. For each chromosome, after applying bit allocation to the given subcarrier and beam allocation, the sum data rate is calculated using (7) considering the constraints defined in (8) and (9). The precoding vector is determined using the ZF beamforming.

Step 3)Generate the new population:

Selection: The P chromosomes that have the lowest fitness are discarded. The remaining $W - P$ chromosomes are applied to the crossover and mutation processes and are then selected for the new population. The best P chromosomes are directly added to the new population without applying any process.

Crossover: The probability of crossover is set to P_c and $(W - P) * P_c$ chromosomes are applied to the two-point crossover and then passed to the new population. The remaining $(W - P) * (1 - P_c)$ chromosomes are directly passed to the new population.

Mutation: The probability of mutation is set to P_m and after the crossover process $(W - P) * P_m$ chromosomes are applied to the mutation and added to the new population. The remaining $(W - P) * (1 - P_m)$ chromosomes are directly added to the new population without any mutation. In order to avoid the convergence of the algorithm to a local maximum solution, the probability of mutation is changed to P_{m1} when no better individuals is found in 5 consecutive generations, to P_{m2} when no better individuals is found in 10 consecutive generations and to P_{m3} when no better individuals is found in 15 consecutive generations. G_m among the N gene of the selected chromosomes are applied to the mutation.

Step 4)

Repeat the **Step 2-4** until the predefined generation number (assumed to be D) is reached or no better array is found after 20 consecutive generations. The best array in the population is the final solution.

A. The Proposed Algorithm

The reduction of the number of iterations to reach the final solution is one of the important issue in the GA in order to reduce the convergence time and the complexity of the algorithm. For this purpose, the parameters should be determined properly and the initial population should include the good chromosomes to accelerate the process. In the classical GA, the initial population is generated randomly. In [6] and [7], for multiuser OFDM systems, a chromosome that minimizes the transmit power is added to the initial population in order to reduce the number of iterations. In this paper, we propose to reduce the number of iteration and consequently the convergence time by adding a special chromosome that maximize the sum data rate to the initial population.

Modified Step 1) While reconstructing the initial population, $W - 1$ chromosomes are generated randomly as in classical GA and the last chromosome is obtained by allocating the subcarriers to the beam and the user with the maximum precoding gain.

For each subcarrier, the user index that has maximum precoding gain is selected for each beam as,

$$\kappa_n, \beta_n = \max_{k,b} |\mathbf{H}_{k,n} \mathbf{W}_b(S_n)|^2 \quad (11)$$

where $n = 1, 2, \dots, N$, $b = 1, \dots, N_t$.

Then, for each subcarrier and each beam, the users are allocated as,

$$\rho_{\kappa_n, \beta_n} = 1 \quad (12)$$

IV. SIMULATION RESULTS

In this section, considering the sum data rate performance, we compare the proposed GA with with TDMA, FDMA, maximum user selection and the classical GA algorithms. Furthermore, we obtain the performance results of convergence time for GA with modified Step 1 and classical GA.

We perform the simulation results using a typical office environment with 9 channel taps. The total OFDM symbol duration is $4\mu s$ including $0.8\mu s$ guard interval. It consists of $N = 64$ subcarriers. The Doppler frequency is set to 50Hz. The required BER and the noise variance are chosen as $p_e = 10^{-3}$ and $N_0 = 1$ respectively. The number of bits per symbol is selected as $M = 0, 1, 2, 4, 6$ that corresponds to modulation types BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM. The transmitted power is fixed at $P_T = 20$ dBW. The average data rates are calculated for one OFDM symbol to obtain results independent from the frame length. The number of transmit antennas is chosen as $N_t = 2$.

The parameters for GA is listed in Table I as following:

TABLE I
PARAMETERS FOR GENETIC ALGORITHM

Parameters	Values
W	36
P	6
P_c	0.8
P_m	0.1
P_{m1}	0.2
P_{m2}	0.4
P_{m3}	0.5
G_m	2
D	200

For TDMA, each user is assigned a predetermined time slot and can use all the subcarriers within that time slot. For FDMA, each user is assigned a predetermined band of subcarriers and can only use those subcarriers in every OFDM symbol. In order to compare static allocation techniques to dynamic resource allocation techniques fairly, the bit loading is also applied to TDMA and FDMA. The maximum user selection algorithm is performed by exhaustive search considering all combination of the user pairs for beams for each subcarrier.

In Figure 2, the sum data rate values is shown for the classical and proposed GA at each iteration for $K = 4$ and 8 users respectively constructing only one beam. It is observed we obtain a lower average convergence time for the proposed GA than the classical one by only adding one good chromosome to the initial population.

For different users, the average iteration number is drawn in Figure 3 and it is shown that the proposed algorithm has a better convergence performance than the classical one.

In Figure 4, the sum data rate results with one beam OFDMA systems are compared to existing algorithms and it is shown that the proposed algorithm gives the best performance.

In Figure 5, according to the results for two beams, the better sum data rate results are obtained compared to classical one.

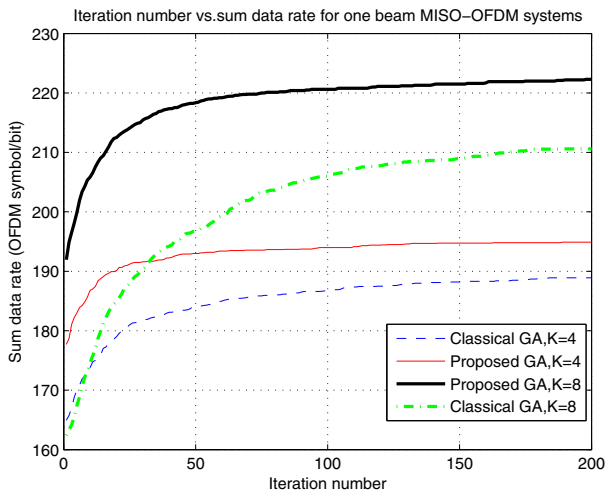


Fig. 2. Iteration number versus sum data rate for $K = 4$ and 8 for one beam OFDMA systems.

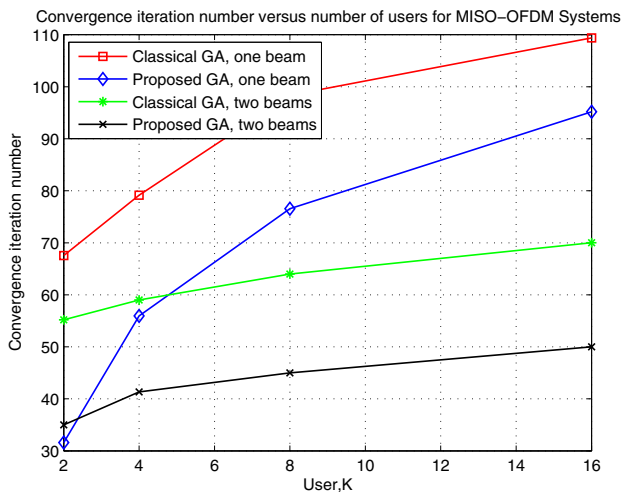


Fig. 3. Convergence iteration versus number of users for SDMA-OFDMA systems.

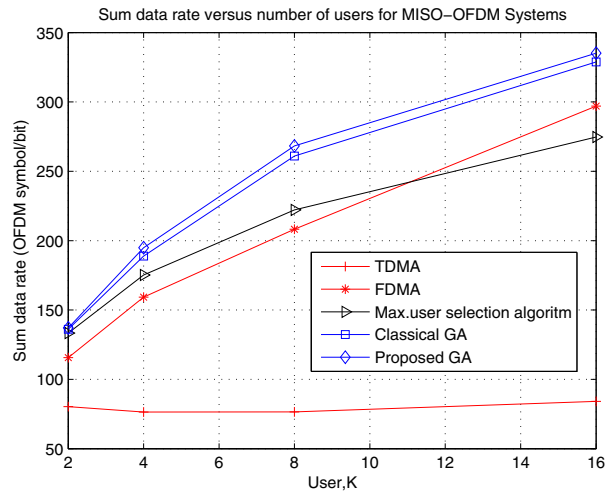


Fig. 4. Average sum data rate versus number of users for OFDMA systems with one beam.

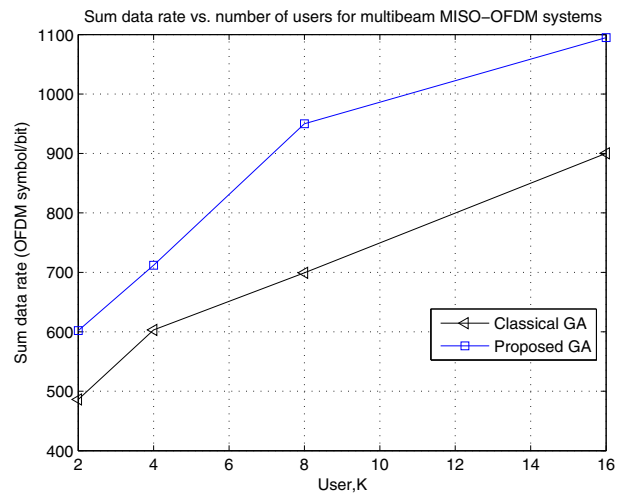


Fig. 5. Average sum data rate versus number of users for SDMA-OFDMA systems with two beams.

V. CONCLUSION

In this paper, we have proposed a resource allocation for SDMA-OFDMA systems with ZF beamforming by using the genetic algorithm for the multiple antennas case. The aim was to maximize the sum data rate however the proposed algorithm can also be used to minimize the transmit power. The proposed algorithm allocates more than one beam when it increases the sum data rate. Furthermore, in order to accelerate the convergence time of the GA, we have added a good chromosome to the initial population. This chromosome is obtained by allocating users to the beams with a maximum precoding gain. The performance results shown that using two beams increase the sum data rate while the required convergence time is reduced significantly with proposed solution.

REFERENCES

- [1] R. Prasad, *OFDM Wireless Multimedia Communications*. Artech House, 2000.
- [2] C. Y. Wong, R. Cheng, K. B. Letaif, and R. D. Murch, "Multiuser ofdm with adaptive subcarrier, bit and power allocation," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 17, pp. 1747–1758, 1999.
- [3] E. Bakhtiari and B. Khalaj, "A new joint power and subcarrier allocation scheme for multiuser ofdm systems," in *Proc. IEEE PIMRC'03*, 2003, pp. 1959–1963.
- [4] G. Zhang, "Subcarrier and bit allocation for real-time services in multiuser ofdm services," in *Proc. ICC'04*, 2004, pp. 2985–2989.
- [5] W. Rhee and M. J. Cioffi, "Increase in capacity of multiuser ofdm system using dynamic subchannel allocation," in *Proc. VTC'00*, 2000, pp. 1085–1089.
- [6] Y. Wang, F. Chen, and G. Wei, "Adaptive subcarrier and bit allocation for multiuser ofdm system based on genetic algorithm," in *Proc. ICCAS'05*, 2005, pp. 242–246.
- [7] Y. Reedy and N. Gajendar, "Evolutionary approach for efficient resource allocation in multiuser ofdm systems," *Journal of Communications*, vol. 2, pp. 42–48, 2007.
- [8] Y. J. Zhang and K. Letaief, "An efficient resource-allocation scheme for spatial multiuser access in mimo/ofdm systems," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 53, pp. 107–116, 2005.
- [9] J. G. Proakis, *Digital Communication*. New York:McGrawHill, 1995.

Reduced feedback designs for SDMA-OFDMA systems

Berna Özbek^{*}, Didier Le Ruyet[†]

^{*}Electrical and Electronics Engineering Department, Izmir Institute of Technology, Izmir, Turkey

Email: bernaozbek@iyte.edu.tr

[†]Electronics and Communications Laboratory, CNAM, Paris, France

Email: leruyet@cnam.fr

Abstract—In SDMA-OFDMA wireless communication systems, the feedback load increases with the number of users, subcarriers and antennas in the cell. In this paper, we propose two efficient reduced feedback algorithms by selecting the clusters at the user side. For each cluster, we select the users according to their norm and their orthogonality. We evaluate the performance of the user selection algorithms considering the quantization effect. We also design a specific codebook design to quantize CSI for the proposed criterion.¹

I. INTRODUCTION

Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA) and Space Division Multiple Access (SDMA) are promising technologies for the flexible high-rate services in future mobile radio networks since the large number of degrees of freedom in space, frequency, and time can be provided using channel state information (CSI) at the transmitter side [1]. The OFDMA is based on orthogonal frequency division multiplexing (OFDM) and inherits its superiority of mitigating multipath fading and maximizing throughput. The SDMA uses a beamforming technique in a multiple-antenna system and multiplexes multiple users on the same subcarrier to increase the spectral efficiency. For OFDMA systems, the sum data rate can be maximized when each subcarrier is assigned to the user with the best channel gain. For SDMA-OFDMA systems, the sum data rate can be maximized when the optimal set of co-channel users is selected for each subcarrier [2].

In order to exploit the full gain of the SDMA-OFDMA systems, the transmitter needs to know the CSI of all subcarriers, users and antennas. In time division duplexing (TDD) systems, CSI may be estimated at the transmitter using channel reciprocity, however, frequency division duplexing (FDD) systems lack of channel reciprocity. This problem can be overcome by sending the CSI from the receiver to the transmitter over a limited rate feedback channel. In this case, it is possible to use quantized CSI using a codebook that is known to both the transmitter and the receiver side [4]. The codebook design for narrowband single user communication system is a well studied problem[3]. The extension to the OFDM case has been considered in [5] [6]. In SDMA-OFDMA systems, the rate of the feedback link is high when all the users send their CSI. Besides that, a sophisticated resource allocation (RA)

algorithm is needed to efficiently assign the resources to all the users.

For OFDMA systems, Svedman and et al. [7] have proposed to reduce the feedback load using the so-called clustered S-best criterion where adjacent subcarriers are grouped into clusters and only the CSI related to the strongest S clusters of each user are feedback to the transmitter.

For multiuser multiple-input single-output (MU-MISO) systems with linear precoding, we have proposed in [8] a semi-orthogonal user selection algorithm to reduce the feedback load by combining the classical norm criterion with a criterion based on the orthogonality between the co-channel users.

In this paper, we propose an efficient algorithm to reduce the feedback load for SDMA-OFDMA systems. We firstly extend the clustered S-best criterion for SDMA-OFDMA systems supporting up to N_t beams with adaptive feedback rate schemes. We use the cluster structure where the correlation is high between the subcarriers within the cluster so that the feedback of only one value is sufficient, e.g. CSI values belong to the weakest subcarrier of each antenna or the minimum subcarrier in terms of channel vector gain. Since the amount of feedback information needed from each user depends on the number of users in the system, we define the number of clusters for which each user will feedback their CSI adaptively according to the clustered S-best criterion. We propose to combine the clustered S-best and the semi-orthogonal user selection criterion for SDMA-OFDMA systems using zero-forcing (ZF) precoding. We propose a codebook design by quantizing CSI for the proposed criterion considering the properties of the clustered S-best and the semi-orthogonal criterion.

This paper is organized as follows. In section II, we describe the system model of SDMA-OFDMA over multipath wireless channels including the resource allocation algorithm. Then, we present the reduced feedback designs for SDMA-OFDMA systems considering clustered S-best and the proposed combined criterion in section III. The quantization of CSI for the proposed criterion is broached in section IV. In section V, we show the performance and comparison results. Section VI draws the concluding remarks of this paper.

¹The work was partially supported by the Tubitak-PIA Bosphorus Project.

II. SDMA-OFDMA SYSTEM MODEL

We consider a SDMA-OFDMA system with N_t transmit antennas, K users and N subcarriers. In this model, the channel vector between the base station and the k th user for the n th subcarrier is described by

$$\bar{\mathbf{H}}_{k,n} = [\bar{H}_{k,n,1} \quad \bar{H}_{k,n,2} \quad \dots \quad \bar{H}_{k,n,N_t}] \quad (1)$$

where $\bar{H}_{k,n,t}$ is the channel information from the t th transmit antenna to the k th user for the n th subcarrier.

For a system where $N_t \leq K$, let \mathcal{S}_n be the set of N_t users scheduled at subcarrier n . The associated users' data are transmitted using ZF precoding [9]. Then $\bar{\mathbf{H}}(\mathcal{S}_n)$ denotes the matrix consisting of N_t channel vectors of the selected users at subcarrier n . The relation between the data vector $\mathbf{S}_n(\mathcal{S}_n)$ and the received signal for k th user and n th subcarrier can be written as:

$$Y_{k,n} = \bar{\mathbf{H}}_{k,n} \mathbf{X}(\mathcal{S}_n) + N_{k,n} \quad (2)$$

$$= \bar{\mathbf{H}}_{k,n} \bar{\mathbf{W}}(\mathcal{S}_n) \mathbf{P} \mathbf{S}(\mathcal{S}_n) + N_{k,n} \quad (3)$$

where $\mathbf{P} = \text{diag}(\sqrt{P_T/(NN_t)}, \dots, \sqrt{P_T/(NN_t)})$ where the total transmit power P_T is equally shared between the subcarriers and the beams, $\mathbf{X}(\mathcal{S}_n) \in \mathcal{C}^{N_t \times 1}$ is the transmitted symbol from the base station antennas, subject to a short-term power constraint (the transmitted signal must satisfy the power constraint $\mathbf{X}(\mathcal{S}_n)^H \mathbf{X}(\mathcal{S}_n) \leq P_T/(NN_t)$). The ZF transmit beamforming matrix is given by

$$\bar{\mathbf{W}}(\mathcal{S}_n) = \alpha \bar{\mathbf{H}}(\mathcal{S}_n)^H (\bar{\mathbf{H}}(\mathcal{S}_n)^H \bar{\mathbf{H}}(\mathcal{S}_n))^{-1} \quad (4)$$

In order to keep the short term power constant, we have:

$$\alpha = \frac{1}{\sqrt{\text{tr}((\bar{\mathbf{H}}(\mathcal{S}_n)^H \bar{\mathbf{H}}(\mathcal{S}_n))^{-1})}} \quad (5)$$

In order to reduce the amount of feedback information and simplify the RA algorithm, we will group N_q adjacent subcarriers in a cluster. Then, the precoding vector will be identical within a cluster of N_q subcarriers. The SDMA-OFDMA system with N_t transmit antennas, K users and $Q = N/N_q$ clusters is drawn in Figure 1.

Our first objective is to optimize the cluster and beam allocation in order to maximize the sum capacity under the total power constraint equally shared between the clusters and the beams applying ZF precoding. Mathematically, the optimization problem considered in this paper is formulated as,

$$\max_{\rho_{k,q,b}} R = \max_{\rho_{k,q,b}} \sum_{b=1}^{N_t} \sum_{k=1}^K \sum_{q=1}^Q \frac{\rho_{k,q,b}}{Q} \log_2(1 + \text{SINR}_{k,q,b}) \quad (6)$$

subject to

$$\sum_{k=1}^K \rho_{k,q,b} = 1 \quad \text{for each } q, b \quad (7)$$

where

$$\rho_{k,q,b} = \begin{cases} 1 & k\text{th user is allocated to the beam } b \text{ for cluster } q \\ 0 & \text{else} \end{cases}$$

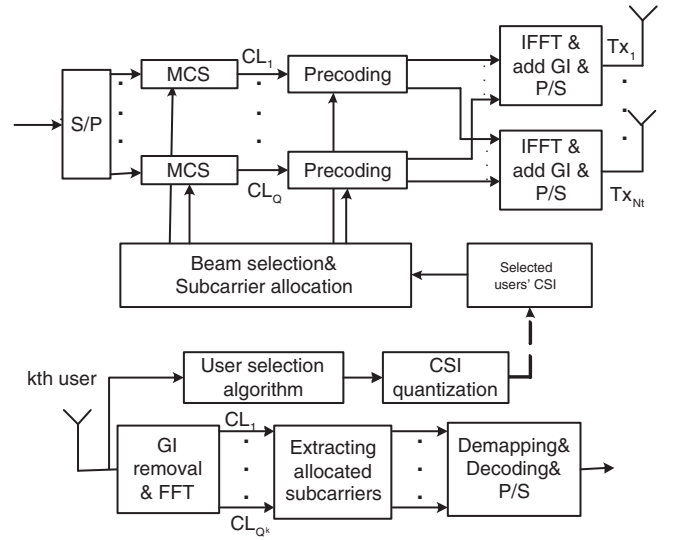


Fig. 1. The transmitter and k th receiver structure for SDMA-OFDMA system.

Consequently, only one user is allocated to each cluster and each beam.

The signal-to-interference-plus-noise-ratio (SINR) at user k on b th beam for q th cluster can be calculated as:

$$\text{SINR}_{k,q,b} = \frac{\frac{P_T}{N_t} |\mathbf{H}_{k,q} \mathbf{W}_b(\mathcal{S}_q)|^2}{N_0 B_w + \frac{P_T}{N_t} \sum_{j=1; j \neq b}^{N_t} |\mathbf{H}_{k,q} \mathbf{W}_j(\mathcal{S}_q)|^2} \quad (8)$$

where N_0 is the power spectral density of additive white Gaussian noise (AWGN) and B_w is the total available bandwidth.

The precoding matrix, $\mathbf{W}(\mathcal{S}_q)$ calculated according to Equation (4), is defined by,

$$\mathbf{W}(\mathcal{S}_q) = [\mathbf{W}_1(\mathcal{S}_q) \quad \mathbf{W}_2(\mathcal{S}_q) \quad \dots \quad \mathbf{W}_{N_t}(\mathcal{S}_q)]^T \quad (9)$$

where $\mathbf{W}_b(\mathcal{S}_q)$ is the precoding vector for the b th beam and the q th subcarrier with the dimension of $N_t \times 1$.

The channel cluster vector $\mathbf{H}_{k,q}$ associated to the k th user for the q th cluster is given by:

$$\mathbf{H}_{k,q} = [H_{k,q,1} \quad H_{k,q,2} \quad \dots \quad H_{k,q,N_t}] \quad (10)$$

where $H_{k,q,t}$ is the channel information from the t th transmit antenna to the k th user for the q th cluster. $\mathbf{H}_{k,q}$ can be calculated as follows:

$$\mathbf{H}_{k,q} = \bar{\mathbf{H}}_{k,n'} \quad (11)$$

where

$$n' = \arg \min_{1 \leq i \leq Q} \{ \|\bar{\mathbf{H}}_{k,(q-1)N_q+i}\|^2 \} \quad (12)$$

III. REDUCED FEEDBACK DESIGNS

In order to exploit the multiuser diversity and maximize the sum capacity, the users with the highest supportable rate should be selected. However, this approach is unfair since the users with the lowest SINR will never be scheduled. To guaranty fairness, all the users should feedback the same

amount of CSI. Nevertheless, the feedback rate can be reduced by letting each user sending their CSI to the base station associated only to a subset of clusters. In this paper, we will consider two criteria for the selection of these subsets for SDMA-OFDMA systems.

A. V1: Clustered S-best Criterion

For the Clustered S-best criterion, each user k selects independently a set \mathcal{S}_k composed of the S_x clusters with the highest channel norm $\|\mathbf{H}_{k,q}\|$ as a extension of the work presented in [7] to the SDMA-OFDMA case. Then, each user feedbacks the CSI associated to the selected clusters to the base station. Let \mathcal{T}_q be the set of users that have feedback their CSI associated to the cluster q :

$$\mathcal{T}_q = \{k \in \{1, 2, \dots, K\} : k \in \mathcal{S}_k\} \quad (13)$$

Then, for each cluster q , the base station selects the set \mathcal{S}_q to maximize the data rate. Since the total feedback rate is proportional to $K S_x$, it is reasonable to adjust S_x in function of K according to a desired function $S_x = f(K)$. This function is calculated offline according to a given target. In [7], the authors proposed to compute the function in order that the probability of less than $\alpha\%$ of the cluster can be assigned as P_{target} . This criterion can be extend to the multibeam case as follows:

Let introduce the indicator function $I_q^{N_t}$:

$$I_q^{N_t} = \begin{cases} 1 & \text{if } |\mathcal{T}_q| \geq N_t \\ 0 & \text{else} \end{cases}$$

The criterion becomes

$$\Pr\left(\sum_{q=1}^Q I_q^{N_t} \leq \alpha Q\right) = P_{\text{target}} \quad (14)$$

Another criterion can be to compute the desired function in order to reach 90% of the full CSI sum capacity.

B. V2: Proposed Combined Criterion

We propose to select the clusters according to the information on both the channel norm/quality and channel direction. For each cluster, firstly, we will select users whose channel directions are semi-orthogonal. Therefore, for each cluster we generate N_t random orthonormal vectors $\phi_{i,q}$ ($N_t \times 1$), $i = 1, \dots, N_t$. These vectors are the same for all the users but are independent between the clusters.

The users measure the orthogonality between their channels and the random vectors $\phi_{i,q}$ for each cluster using the chordal distance as:

$$d^2(\mathbf{H}_{k,q}^{\text{norm}}, \phi_{i,q}) = 1 - |\mathbf{H}_{k,q}^{\text{norm}H} \phi_{i,q}|^2 \quad (15)$$

where $\mathbf{H}_{k,q}^{\text{norm}} = \frac{\mathbf{H}_{k,q}}{\|\mathbf{H}_{k,q}\|}$ is the normalized channel vector of the user k and cluster q .

Let \mathcal{O}^{N_t} be the unit sphere lying in \mathcal{C}^{N_t} and centered at the origin. Using the chordal distance metric, we can define a spherical cap on \mathcal{O}^{N_t} with center \mathbf{o} and square radius ϵ_{th} as the open set:

$$\mathcal{B}_\epsilon(\mathbf{o}) = \{\mathbf{g} \in \mathcal{O}^{N_t} : d^2(\mathbf{g}, \mathbf{o}) \leq \epsilon_{th}\} \quad (16)$$

For the semi-orthogonal criterion, we have:

$$\mathcal{T}'_q = \{k \in \{1, 2, \dots, K\} : \mathbf{H}_{k,q} \in \bigcup_{i=1}^{N_t} \mathcal{B}_\epsilon(\phi_{i,q})\} \quad (17)$$

where \mathcal{T}'_q is the set of near orthogonal users for cluster q .

\mathcal{T}'_k is the set of the selected clusters by user k :

$$\mathcal{T}'_k = \{q \in \{1, 2, \dots, Q\} : k \in \mathcal{T}'_q\} \quad (18)$$

Then, each user k selects a set \mathcal{S}_k of the S_x best clusters from \mathcal{T}'_k in terms of channel norm. From the sets $\mathcal{S}_k, k = 1, 2, \dots, K$, we can construct the set \mathcal{T}_q using Equation (13) for each q .

The choice of ϵ is critical since it directly effects the number of users for each cluster. The percentage of clusters that are semi-orthogonal according to proposed criterion is approximately calculated as $(2\epsilon 100)\%$. Therefore, for each user, it is guaranteed that the proposed criterion is fulfilled by at least S_x clusters when properly selecting the ϵ parameter.

IV. QUANTIZATION OF THE CSI

In order to transmit the CSI from the users to the base station, a classical solution is to quantize the channel direction information (CDI) and the channel quality information (CQI) before transmission over the finite rate feedback link. In [10], the Lloyd algorithm was suggested for the design of the vector codebook. The codebook should be constructed by minimizing the maximum inner product between codewords and this results in the Grassmannian line packing solution when the channel vector is independent identically distributed (i.i.d).

The quantized normalized channel vector $\mathbf{H}_b^{\text{norm}}(\mathcal{S}_q)$ associated to the b th beam and q th cluster is taken from a set of 2^F vectors where F is the number of feedback bits.

A. Proposed codebook design

In contrast to the normalized i.i.d channel isotropically distributed in \mathcal{O}^{N_t} , when we are using the semi-orthogonal criterion, the clusters are selected according to a spherical cap region. Consequently, it is important to build the codebook using a quantization of the localized region or local packing. A local Grassmannian packing with parameters $N_t, \mathbf{o}, \epsilon_{th}$ is a set of N_c vectors, where N_c is the codebook size, $\mathbf{g}_i, i = 1, \dots, N_c$, constrained to a spherical cap $\mathcal{F}_\epsilon(\mathbf{o})$ in \mathcal{O}^{N_t} such that

$$\min_{1 \leq i < j \leq N} d^2(\mathbf{g}_i, \mathbf{g}_j)$$

is maximized. As in the i.i.d. case, we use vector quantization to design these local packings.

For the semi-orthogonal criterion, the codebook must be adapted according to the orthogonal vectors $\phi_{i,q}$. From the local packing associated to the spherical cap $\mathcal{F}_\epsilon(\mathbf{o})$, it is possible to compute the local packing associated to the spherical cap $\mathcal{F}_\epsilon(\mathbf{o})$ using the rotation matrix.

$$\phi_{i,q} = \mathbf{U}_{rot} \mathbf{o} \quad (19)$$

where \mathbf{U}_{rot} is the unitary rotation matrix.

When the user CDI is inside the spherical cap region, the user will feedback $\log_2(N_c)$ bits corresponding to the codebook index. In addition to that, it will be necessary to feedback $\log_2(N_t)$ bits corresponding to the index of the vector ϕ_i . Consequently, for a codebook size N_c , $\log_2(N_c \times N_t)$ bits will be necessary to quantify the CDI.

Although the selection of clusters using the semi-orthogonal criterion doesn't offer any gain when the CSI is not quantized, thank to the spherical cap, the quantization error of the CDI is much lower than using the classical quantization.

V. PROPORTIONAL FAIRNESS FOR SDMA-OFDMA

Since we assume that the users are distributed heterogeneously, we choose to use the proportional fairness (PF) algorithm to allocate users by adding a set of nonlinear constraints. This scheduler brings a compromise between the sum capacity and the fairness. The fairness index (FI) is calculated by using Jain index [11] given as:

$$FI = \frac{\left(\sum_{k=1}^K R_k\right)^2}{K \sum_{k=1}^K R_k^2} \quad (20)$$

where R_k is the user capacity. The FI ranges between 0 (no fairness) and 1 (perfect fairness) in which all users would achieve the same data rate.

In order to allocate the users to the clusters and beams fairly, we propose PF algorithm as following:

For each cluster q :

We can construct $\left(\frac{|T_q|}{N_t}\right)$ set of S_q^i of size N_t from the set of T_q .

For each set S_q^i :

- Calculate the capacity of each user $k'(b)$ associated to the b th beam within the set S_q^i obtaining from the set T_q :
For each b :

$$C_{k'(b),q,i} = \log_2 \left(1 + \frac{(P_T/N_t) |\mathbf{H}_{k',q} \mathbf{W}_b(S_q^i)|^2}{N_0 B_w} \right) \quad (21)$$

End.

- Choose the S_q user set to transmit from the q th cluster as

$$j = \arg \max_i \sum_{b=1}^{N_t} \frac{C_{k'(b),q,i}}{T_{p,k'(b)}} \quad (22)$$

Then, we obtain $S_q = S_q^j$.

- Update the capacity of the selected users given in S_q .

End.

Then, update the filtered capacity, $T_{p,k}$ at time p , for each user k :

$$T_{p,k} = \left(1 - \frac{1}{t_c}\right) T_{p-1,k} + \frac{1}{t_c} \bar{C}(p,k) \quad (23)$$

where $\bar{C}(p,k)$ is the effectively allocated capacity to user k at time p .

VI. PERFORMANCE EVALUATION

We perform the simulation results to illustrate the benefits of the reduced feedback user selection algorithms in a single-cell SDMA-OFDMA system. The users are uniformly distributed in the cell area and the simulation parameters are presented in the Table I.

TABLE I
THE SYSTEM PARAMETERS FOR SIMULATION PERFORMANCE

Parameter	Value
Cell radius	1600m
BS Transmit Power	43.10dBm
Noise Power	-174dBm
Path Loss L_p	$128.1 + 37.6 \log_{10}(d)$ dB
Channel Model	3GPP, TU
Number of clusters	48
Bandwidth	10MHz
Carrier frequency	2.4GHz
Velocity	3km/h
Simulation Time	10s

In order to compare the performance of the proposed designs, we show the sum capacity results of the quantized reduced feedback based on V1 and proposed V2 criterion. Before that, to define the feedback load, we should show the effect of number of selected clusters on the performance to adjust the sufficient adaptive feedback rate based on the number of users in the system.

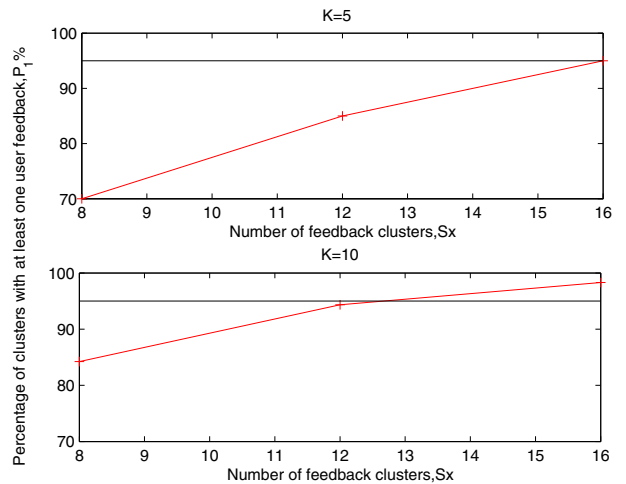


Fig. 2. Percentage of clusters with at least one user feedback, $P_1\%$ versus the number of feedback clusters S_x for $K = 5$ and 10 .

According to the percentage of clusters with at least one user feedback shown in Figure 2 and 3, the number of selected clusters is chosen to satisfy the 95% of the fulfilled ratio for different K values. Then, the corresponding ϵ value is defined as $2\epsilon Q$ is equal or higher than S_x to guarantee that at least S_x clusters are selected for each user. All these parameters required for the SDMA-OFDMA reduced feedback designs are listed in Table II.

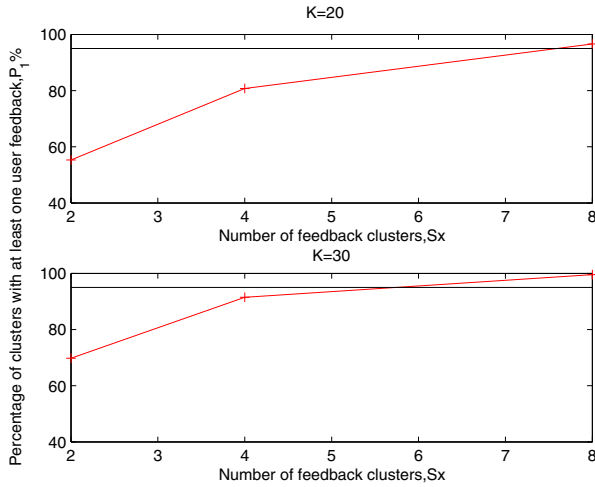


Fig. 3. Percentage of clusters with at least one user feedback, $P_1\%$ versus the number of feedback clusters S_x for $K = 20$ and 30 .

TABLE II
THE PARAMETERS OF THE REDUCED FEEDBACK DESIGNS

K	5	10	20	30
S_x	16	12	8	6
ϵ	0.25	0.2	0.15	0.125
$(P_1\%, P_2\%)$	(86, 54)	(94, 75)	(96, 85)	(98, 87)

In the Table II, P_1 and P_2 are the parameters that indicate the percentages of the number of the clusters with at least one and two users respectively feedback the CSI to the base station for a given S_x .

According to the parameters given in Table I and II, the performance results for the V1 criterion and the proposed V2 criterion are shown in Figure 4 and 5, respectively. Q and D represent the number of feedback bits for CQI and CDI respectively. We can observe that the quantization of the channel quality information (CQI) has no impact on the performance for both criteria since $Q4D4$, $Q6D4$ and $Q8D4$ give almost the same sum capacity performances. The similar behavior is also observed for the case of $CQI = 6$ and 8 . Therefore, we can conclude that only feedback of CDI to the base station is enough.

In Figure 6, the proposed V2 criterion and the V1 criterion are compared for SDMA-OFDMA systems. According to the results, the proposed algorithm outperforms the clustered S-best criterion. Since the SDMA-OFDMA systems are sensitive to interference, it is important to minimize the CDI quantization error. We can reduce the quantization error of the CDI using the proposed codebook design. Consequently the sum capacity performance of proposed V2 algorithm is much higher than V1 criterion. Moreover, when the number of CDI quantization bits decreases, the performance difference between the two criteria increases.

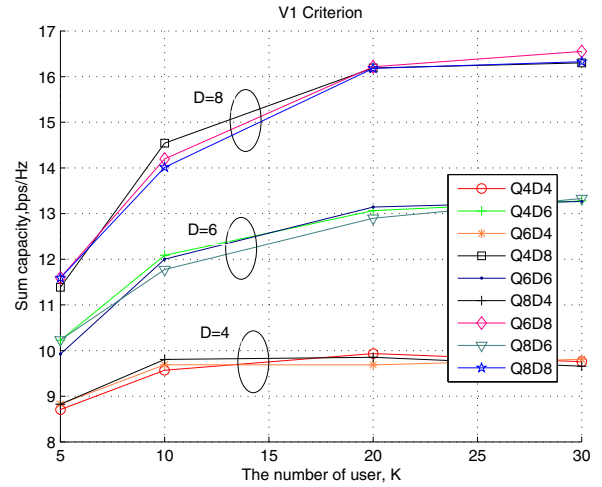


Fig. 4. Sum data rate versus number of users for Clustered S-best with quantized feedback.

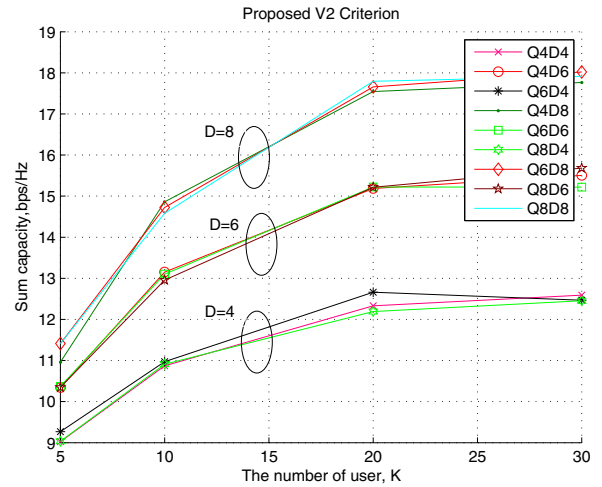


Fig. 5. Sum data rate versus number of users for proposed algorithm with quantized feedback.

VII. CONCLUSION

In this paper, we have proposed and evaluated two efficient algorithms to reduce the feedback load for SDMA-OFDMA systems considering quantization. The first one is the clustered S-best criterion that selects the feedback cluster according to their norm. The second one is the proposed combined method that selects the users according to their orthogonality and norm. For both criteria, the amount of feedback information is fixed. For the proposed criterion, since the users are selected according to a main direction, it is possible to build the CDI codebooks using a local packing. Thanks to the smaller CDI quantization error obtaining proposed codebook design, we have shown that the proposed scheme outperforms the clustered S-best criterion. Indeed, in an interference limited system, it is quite important to minimize the CDI quantization error.

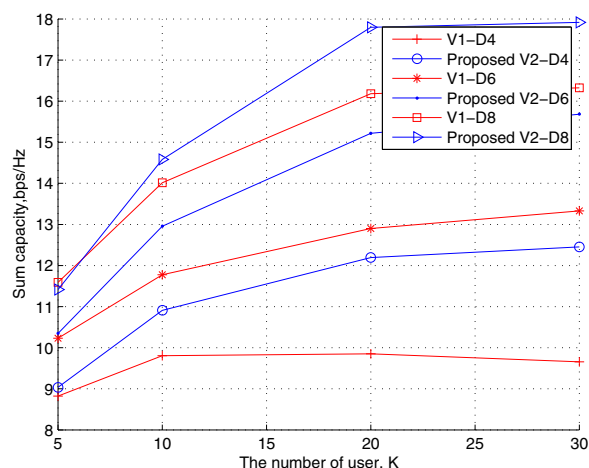


Fig. 6. Sum rate versus number of users for comparison with quantized feedback.

REFERENCES

- [1] Y.J. Zhang and K. B. Letaif, "An efficient resource allocation scheme for spatial multiuser access in MIMO/OFDM systems", *IEEE Trans. on Communications*, vol. 53, pp.107-116, Jan. 2005.
- [2] T.F. Maciel and A.Klein, "A resource allocation strategy for SDMA/OFDMA systems", *Proc. of 16th IST Mobile and Wireless Communications Summit*, pp.1-5, July 2007.
- [3] S. Zhou, Z. Wang, and G. Giannakis, "Performance Analysis for Transmit-Beamforming with Finite-Rate Feedback", *Proc. of 38th Conf. on Info. Sciences and Systems*, Princeton Univ., NJ, March 17-19, 2004.
- [4] D. J. Love, R. W. Heath, Jr., V. K. N. Lau, D. Gesbert, B. D. Rao, and M. Andrews, "An Overview of Limited Feedback in Wireless Communication Systems", accepted to *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 2008.
- [5] J. Choi and R. W. Heath, Jr., "Interpolation based transmit beamforming for MIMO- OFDM with limited feedback," *IEEE Trans. Sig. Proc.*, vol. 53, pp. 4125-4135, Nov. 2005.
- [6] T. Pande, D. J. Love, J. V. Krogmeier, "Reduced Feedback MIMO-OFDM Precoding and Antenna Selection", *IEEE Transactions on Signal Processing* vol. 55(5-2), pp. 2284-2293, may 2007.
- [7] P. Svedman, S. K. Wilson, L. J. Cimini and B. Ottersten, "Opportunistic Beamforming and Scheduling for OFDMA systems", *IEEE Trans. on Communications*, vol. 55, pp.941-952, May 2007.
- [8] D. Le Ruyet, H. Khanfir and B. Ozbek, "Performance of Semi-orthogonal user selection for Multiuser MISO systems", *Proc. of IEEE Spawc*, pp.-, June 2008, Brazil.
- [9] T. Yoo and A. Goldsmith, "On the optimality of multiantenna broadcast scheduling using zero-forcing beamforming", *IEEE Journal on Sel. Areas in Commun. (JSAC)*, vol. 24, no. 3, pp.528-541, Mar. 2006.
- [10] A. Narula, M. J. Lopez, M. D. Trott, G. W. Wornell, "Efficient use of side information in multiple antenna data transmission over fading channels", *IEEE Journal on Sel. Areas in Commun. (JSAC)*, pp.1423-1436, Oct. 1998.
- [11] R. Jain, D.M. Chiu, W.R. Hawe, "A Quantitative Measure of Fairness and Discrimination for Resource Allocation Shared Computer Systems", *Digital Equipment Corporation technical report TR-301*, 1984.

Çoğa Gönderim Kablosuz İletişim Sistemleri için Verici Hüzme Teknikleri Transmit Beamforming Techniques for Multicast Wireless Communication Systems

Berna Özbek¹, Didier Le Ruyet²

1. Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü
İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, İzmir

bernaozbek@iyte.edu.tr

2. Elektronik ve Haberleşme Laboratuvarı
Conservatoire National des Arts et Métiers (CNAM), Paris

leruyet@cnam.fr

Özetçe

Bu çalışmada, kablosuz çoğa gönderim sistemleri için tekli ve çoklu hüzme tekniklerine olanak veren algoritma tasarımı yapılmıştır. Önerilen karmaşıklığı az algoritmalar ile çoğa gönderim sistemlerinde verici hüzme teknikleri kullanarak sistem performansı arttırılmıştır.

Abstract

In this paper, transmit beamforming algorithm is designed for multicast wireless communication providing only one beam and multiple beams. The reduced complexity algorithms are improved the system performance with multiple transmit beamforming techniques.

1. Giriş

Gelecek nesil kablosuz iletişim sistemlerinde bir grup kullanıcının aynı bilgiyi talep ettiği video konferansı, film ve dosya paylaşımı gibi çoğa gönderim uygulamaları yaygın olarak kullanılacaktır [1]. Çoğa gönderim uygulamaları tüme gönderim uygulamalarına göre daha az kaynak kullandığı için tercih edilmektedirler. Bu uygulamalardaki amaç aynı veriyi talep eden kullanıcıların oluşturduğu grubun gönderilen veriyi en hızlı bir şekilde almasını sağlamaktır. Çoğa gönderim sistemlerinde gruptaki alıcının sinyal-gürültü-oranı (SGO) kullanıcının konumuna bağlı olarak aynı değildir. Gruptaki en düşük SGO'ya göre veri hızını belirleyerek yapılan iletimde tüm kullanıcılar aynı veri paketlerini aynı anda almakta ancak iletim hızı düşmektedir.

Çoklu antenli çoğa gönderim kablosuz iletişim sistemlerinde en düşük SGO'ya ve dolayısıyla en düşük veri hızına sahip kullanıcının veri hızını arttırmak için kanal bilgisinin vericide bulunduğu durumda verici hüzme teknikleri kullanılabilir [2]. Çoklu verici ve alıcı anten sistemleri için optimizasyon [3]'de incelenmiştir. Tüm kullanıcıların durumları gözönünde bulundurularak tek verici için hüzme optimizasyonu ise [4]'te gerçekleştirilmiştir. Bu yöntem en düşük SGO'ya göre iletim hızını ayarlayan sisteme göre oldukça iyi sonuçlar vermektedir. Fakat optimizasyon işleminin karmaşıklığı özellikle

kullanıcı sayısı arttığında artmaktadır. Verici hüzme algoritmasının karmaşıklığını azaltan algoritmalar tekli hüzme teknikleri için incelenmiştir [5, 6, 7]. Ayrıca [8]'de, çoklu hüzme teknikleri düşük önkodlama kazancına sahip kullanıcılara yönelik olarak ortak değişinti matrisinin tasarımına yönelik olarak gerçekleştirilmiştir.

Bizim bu makaledeki hedefimiz en iyi ve en kötü durumdaki kullanıcıya yönelik hüzmeler gerçekleştirerek kablosuz çoğa gönderim sisteminin performansını arttırmaktır. Önerilen algoritmalar hüzmelerden tüm kullanıcılara aynı veri paketlerini gönderildiği, tek ve çoklu hüzme tasarımına olanak vermektedir.

İlk bölümde kablosuz çoğa gönderim sistem modeli tanıtılacaktır. İzleyen bölümde, tekli ve çoklu hüzmeye olanak veren karmaşıklığı az önerilen algoritma sunulacaktır. En son bölümde ise başarımlar sonuçları önerilen algoritma için elde edilecek ve varolan çoklu hüzme teknikleri ile karşılaştırılacaktır.

2. Kablosuz çoğa gönderim sistem modeli

Şekil 1'de N_t verici antenli ve aynı veriyi talep eden K kullanıcı sistem modeli gösterilmiştir. Bu sistemde Rayleigh sönümlenmeli tek yöllü kanal yapısı kullanılmıştır. k . kullanıcı tarafından alınan sinyal

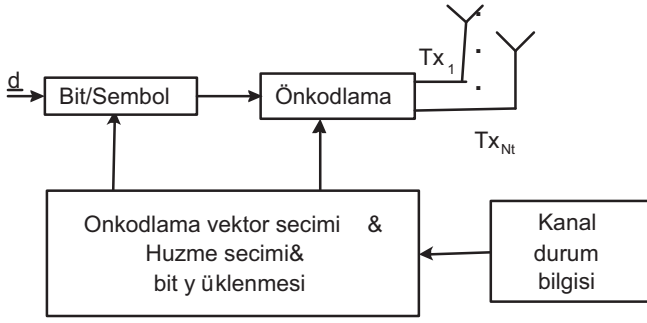
$$r_k = \mathbf{h}_k^* \mathbf{W} \mathbf{s} + n_k \quad (1)$$

ile verilir. Burada \mathbf{h}_k , $N_t \times 1$ 'lik rastgele üretilmiş vektördür ve bir çerçeve süresinde değişmez. n_k ise toplamsal beyaz Gauss gürültüsüdür. \mathbf{W} önkodlama vektörüdür ve $\text{tr}(\mathbf{W} \mathbf{W}^H) = 1$ ile verilen güç kısıtlamasına uygun olarak tanımlanır.

Verilen modele göre çoğa gönderim kablosuz sisteminin açığa çıkarabileceği veri hızı

$$R = \log_2 \left(1 + \rho \min_{1 \leq k \leq K} \mathbf{H}_k \mathbf{W} \mathbf{W}^H \mathbf{H}_k^H \right) \quad (2)$$

ile ifade edilir. Burada ρ sinyal-gürültü oranıdır (SGO). Amacımız veri hızı R 'yi en büyükleyen uygun bir \mathbf{W} önkodlama matrisini seçmektir.



Şekil 1: Sistem yapısı.

3. Kablosuz çoğa gönderim için verici hüzme teknikleri

Bu bölümde sistem başarımını arttırmak için tekli ve çoklu hüzme geliştirilmesine olanak tanıyan algoritmalar verilecektir.

3.1. Önerilen tekli hüzme algoritması

Kullanıcı $k = 1, \dots, K$ için önkodlama matrisi

$$\mathbf{W}_k^{init} = \frac{\mathbf{H}_k^H}{\sqrt{\text{tr}(\mathbf{H}_k^H \mathbf{H}_k)}} \quad (3)$$

ile verilir. Burada, kanal vektörü

$$\mathbf{H}_k = [H_{k,1} \ H_{k,2} \ \dots \ H_{k,N_t}]^T \quad (4)$$

olarak tanımlanır. Öncelikle, her önkodlama vektörü için hüzme kazancı hesaplanır.

$$G_{i,k} = \|\mathbf{H}_i \mathbf{W}_k\|^2, \quad i = 1, \dots, K \quad (5)$$

Çoğa gönderim iletim hızı en düşük veri hızına sahip kullanıcının veri hızı olacağı için en düşük kazanç değeri seçilir.

$$\gamma = \arg \min_i G_{i,k} \quad (6)$$

Amacımız en düşük veri hızını en büyükmek olduğu için önkodlama vektörü aşağıdaki şekilde bulunur.

$$\eta = \arg \max_k G_{\gamma,k} \quad (7)$$

Böylece önkodlama vektörü $\mathbf{W} = \mathbf{W}_\gamma^{init}$ ve hüzme kazancı $G_{\gamma,\eta}$ olarak belirlenir. Bu durumda Denklem (2)'ye göre kablosuz çoğa gönderim sisteminin veri hızı

$$R = \log_2(1 + \rho G_{\gamma,\eta}) \quad (8)$$

olarak elde edilir.

3.2. Önerilen çoklu hüzme algoritması

Kullanıcı $k = 1, \dots, K$ için önkodlama matrisi

$$\mathbf{W}_k^{init} = \frac{\mathbf{H}_k^H}{\sqrt{\text{tr}(\mathbf{H}_k^H \mathbf{H}_k)}} \quad (9)$$

ile verilir ve her önkodlama vektörü için hüzme kazancı

$$G_{i,k} = \|\mathbf{H}_i \mathbf{W}_k\|^2, \quad i = 1, \dots, K \quad (10)$$

olarak hesaplanır. Benzer şekilde çoğa gönderim iletim hızı en düşük kullanıcının veri hızı olacağı için en düşük kazanç değeri seçilir.

$$\gamma = \arg \min_i G_{i,k} \quad (11)$$

Amacımız endüşük veri hızını en büyükmek olduğu için bu kullanıcıya doğru bir hüzme daha oluşturulması için önkodlama vektörü değiştirilir ve ZF hüzme tekniği uygulanır.

$$\mathbf{W}_k^{new} = \alpha [\mathbf{H}^{new}]^H (\mathbf{H}^{new} [\mathbf{H}^{new}]^H)^{-1} \quad (12)$$

Burada kanal matrisi

$$\mathbf{H}^{new} = [\mathbf{H}_k \ \mathbf{H}_\gamma] \quad (13)$$

ve güç kısıtlaması

$$\alpha = \frac{1}{\sqrt{\text{tr}((\mathbf{H}^{new} [\mathbf{H}^{new}]^H)^{-1})}} \quad (14)$$

olarak tanımlanır. Önkodlama matrisi tekrar oluşturulduktan sonra tüm kullanıcılara ait hüzme kazançları tekrar hesaplanır.

$$G_{i,k} = \|\mathbf{H}_i \mathbf{W}_k^{new}\|^2, \quad i = 1, \dots, K \quad (15)$$

Önce en düşük kazanç

$$\gamma = \arg \min_i G_{i,k} \quad (16)$$

kullanılarak belirlenir, daha sonra ise en düşük kazancı en büyükmek için bu kazançlardan en büyük olanı önkodlama kazancı olarak seçilir.

$$\eta = \arg \max_k G_{\gamma,k} \quad (17)$$

Böylece önkodlama vektörü $\mathbf{W} = \mathbf{W}_\gamma^{new}$ ve hüzme kazancı $G_{\gamma,\eta}$ olarak belirlenir. Bu durumda Denklem (2)'ye göre kablosuz çoğa gönderim sisteminin veri hızı

$$R = \log_2(1 + \rho G_{\gamma,\eta}) \quad (18)$$

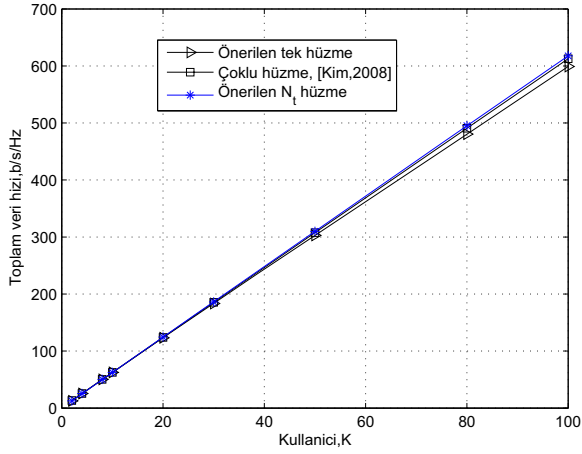
olarak elde edilir.

Önerilen tekli hüzme algoritmasında önkodlama vektörü kullanıcı kanal vektörlerinden oluşturulmuş ve olası en büyük kazancı sağlayan önkodlama vektörü seçilmiştir. Önerilen çoklu hüzme algoritmasında ise tekli hüzme oluşturulduktan sonra en düşük kazanca sahip kullanıcı yönünde güç paylaşımı yapılarak yeni bir hüzme oluşturulmuştur. Böylece, en az veri hızına sahip kullanıcının veri hızı ve dolayısıyla sistemin veri hızı artırılmıştır.

4. Başarım Sonuçları

Bu bölümde, önerilen tekli ve çoklu hüzme algoritmasını [8]'deki çoklu hüzme algoritması ile karşılaştırdık. Başarım sonuçlarını elde etmek amacıyla, tek dalı Rayleigh kanal kullanılmıştır. Sinyal-gürültü oranı (SGO) 20dB seçilmiştir.

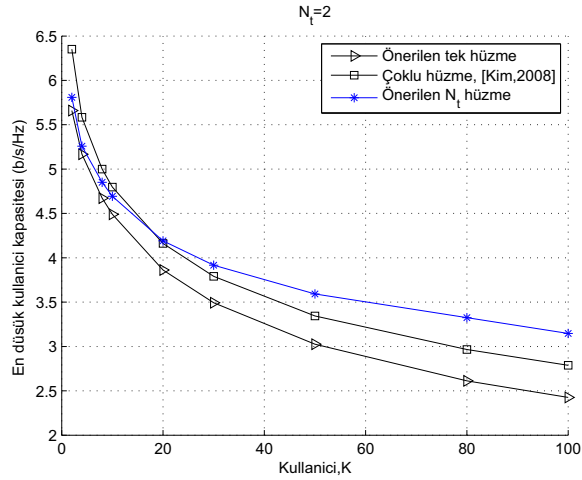
Şekil 2'de sistem başarımı toplam veri hızı için gösterilmiş ve algoritmanın performansları arasında farkların oldukça az



Şekil 2: Sistemdeki farklı kullanıcı sayılarına göre toplam veri hızı karşılaştırması, $N_t = 2$.

olduğu gözlemlenmiştir. Çoğa gönderim algoritmalarında tüm kullanıcıların aynı verilere ulaşmasını sağlamak olduğu için önemli kriter en düşük kullanıcının veri hızıdır.

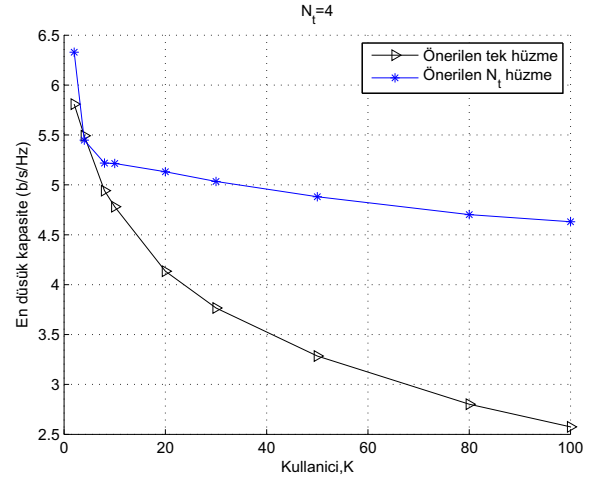
Şekil 3'de ise $N_t = 2$ için en düşük kullanıcı veri hızları gösterilmiştir. Tekli hüzmeye ile çoklu hüzmeye olanak veren algoritmalar karşılaştırıldığında çoklu hüzmeye kullanıldığında sistem performansının artırıldığı gözlemlenmiştir. Ayrıca, önerilen çoklu hüzmeye algoritması [8]'de sunulan ve karmaşıklığı daha yüksek olan algoritmaya göre sistem başarımını arttırmıştır. Özellikle kullanıcı sayısı arttığında sistem performansı hızlı bir şekilde artmaktadır.



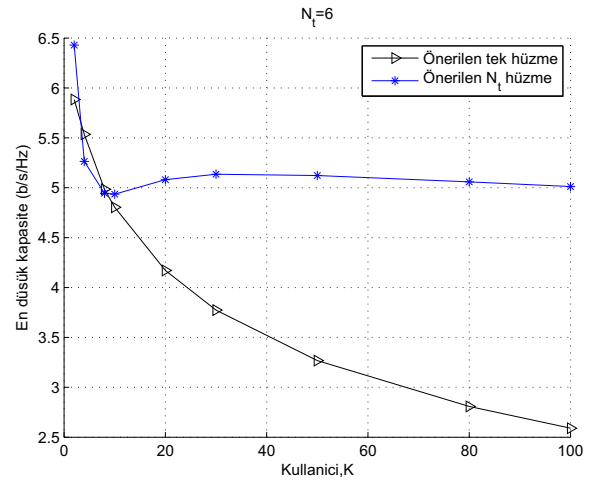
Şekil 3: Sistemdeki farklı kullanıcı sayılarına göre en düşük veri hızı karşılaştırması, $N_t = 2$.

Şekil 4 ve Şekil 5'te sırasıyla verici anten sayıları $N_t = 4$ ve $N_t = 6$ gözönüne alınarak tekli ve çoklu hüzmeye teknikleri için sistemin en düşük veri hızı performansı

gösterilmiştir. Önerilen algoritmalar verici anten sayısı 2'den 4'e artırıldığında oldukça büyük kazanç sağlamıştır. Fakat verici anten sayısı 4'ten 6'ya çıkarıldığı zaman elde edilen kazanç göreceli olarak daha düşüktür. Verici anten sayısı arttıkça önerilen çoklu hüzmeye teknikleri ile sistemdeki kullanıcı sayısı artsa da en düşük veri hızının azalması yavaşlatılmıştır.



Şekil 4: Sistemdeki farklı kullanıcı sayılarına göre en düşük veri hızı karşılaştırması, $N_t = 4$.



Şekil 5: Sistemdeki farklı kullanıcı sayılarına göre en düşük veri hızı karşılaştırması, $N_t = 6$.

5. Değerlendirme

Biz bu makalede çoğa gönderim kablosuz iletişim sistemlerinde verici hüzmeye tekniklerini kullanarak sistem başarımını arttıran ve karmaşıklığı daha az olan algoritmalar tasarladık. Önerilen algoritmalar ile sistemdeki verici anten sayısı artışıyla hüzmeye sayısını da arttırarak sistemin performansını iyileştirdik. Bu

çalışmanın devamı olarak, önerilen algoritmaların ve çoklu hüzme tekniklerinin dikgen frekans bölmeli çoğullamalı sistemlerde kullanılması için geliştirilmesi planlanmaktadır.

6. Teşekkür

Bu çalışma kısmen 2007IYTE10 Bilimsel Araştırma Projesi ve kısmen 107E092 nolu Tübitak-PIA Bosphorus Projesi tarafından desteklenmiştir.

7. Kaynakça

- [1] U. Varshney, Multicast over Wireless Networks, *Communications of the ACM*, c.45, s.31-37, Aralık 2002.
- [2] N. Jindal, Z. Luo, Capacity limits of multiple antenna multicast, *Proc. IEEE International Symposium Information Theory*, Temmuz 2006, s.1841-1845.
- [3] B. Chen, M. J. Gans, Beaconing in MIMO broadcast channels, *Proc. IEEE International Conference Acoustic, Speech and Signal Processing*, Mart 2005, s.769-772.
- [4] N. D. Sidiropoulos, T. N. Davidson, Z. Q. Luo, Transmit beamforming for physical layer multicasting, *IEEE Transactions on Signal Processing*, c.54, Haziran 2006.
- [5] B. Özbek, D. Le Ruyet, H. Khanfir, Performance evaluation of multicast MISO-OFDM systems, *Annals of Telecommunications*, no.5-6, s.295-305, Haziran 2008.
- [6] Q. Du, X. Zhang, X. Shen, On transmit-diversity based multicast in mobile wireless networks, *Proc. IEEE International Conference on Communication*, Haziran 2006, s.1772-1777.
- [7] J. Wang, M. D. Zoltowski, D. J. Love, Improved space-time coding for multiple antenna multicasting, *Proc. IEEE International Waveform Diversity Design Conference*, Ocak 2006.
- [8] I. H. Kim, D. J. Love, S. Y. Park, Recursive covariance design for multiple antenna physical layer multicasting, *Proc. RWC*, 2008.

Genetik Algoritma ile çok kullanıcı DFBC sistemleri için toplam veri hızı enbüyüklemeli uyarlanırlı alttaşıyıcı ve bit yerleşimi

Sum-rate maximized adaptive subcarrier and bit allocation for multiuser OFDM systems with genetic algorithm

Berna Özbek*, Didier Le Ruyet†

*Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü
İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, İzmir

bernaozbek@iyte.edu.tr

†Elektronik ve Haberleşme Laboratuvarı
Conservatoire National des Arts et Métiers (CNAM), Paris

leruyet@cnam.fr

Özetçe

Bu çalışmada, genetik algoritma kullanılarak çoklu kullanıcı dikgen frekans bölmeli çoğullamalı sistemler için toplam veri hızı enbüyüklemeli uyarlanırlı alttaşıyıcı ve bit yerleşimi yapılmıştır. Genetik algoritmanın yakınsama süresini kısaltmak için genetik algoritmanın karmaşıklığı arttırmayan ve sistem performansını etkilemeyen başlangıç koşulu kriteri önerilmiştir. Başarım sonuçları elde edilmiş ve klasik metodlar ile karşılaştırılmıştır. Önerilen başlangıç koşullu genetik algoritmanın toplam veri hızı enbüyüklemeli yerleşim için klasik algoritmalarından daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.¹

Abstract

In this work, we perform the adaptive subcarrier and bit allocation to maximize the sum data rate for multiuser OFDM systems using genetic algorithm. Since the convergence time of the genetic algorithm could be slow, we propose to use a different initial condition to accelerate it without increasing the complexity of genetic algorithm and sacrificing the performance of the system. We obtain the simulation results and compare them with the classical methods. We show that the genetic algorithm with proposed initial condition gives better performances than the classical ones for sum data rate maximized allocation.

1. Giriş

Gelecek nesil kablosuz iletişim sistemleri, limitli bantgenişliğine ve çokyollu iletimden kaynaklanan semboller arası karışımına sahip gezgin iletişim kanallarında yüksek veri hızlarında ve güvenilir bir şekilde internet erişimi gibi genişbantlı uygulamaları destekleyecektir. Bu uygulamalarda, semboller arası karışımın üstesinden gelen ve dijital ses ve video çoklu yayılım sistemleri ile kablosuz ağ standartlarında da kullanılan dikgen frekans bölmeli çoğullama (DFBC) yöntemi önemli bir yer tutmaktadır.

¹Bu çalışma 107E092 nolu Tübitak-PIA Bosphorus Projesi tarafından desteklenmektedir.

Tek kullanıcı DFBC sistemlerinde alttaşıyıcılara ait kanal katsayılarının bilindiği varsayılarak talep edilen gücü enaza indirmek ya da toplam veri hızını enbüyüklemek amacıyla uyarlanırlı bit yerleşimi Greedy algoritması kullanılarak eniyi (optimum) şekilde yapılır. Fakat, çoklu kullanıcı DFBC sistemlerinde bu yerleşimin belirlenen kriter doğrultusunda eniyi şekilde yapılması çok daha karmaşıktır. Çünkü, bir alttaşıyıcı bir kullanıcı için yüksek diğer bir kullanıcı için düşük kanal kat-sayısına sahip olabilir.

Çok kullanıcı DFBC sistemlerinde alttaşıyıcı ve bit yerleşim algoritmaları durağan ve uyarlanırlı olmak üzere iki ana gruba ayrılabilir. Zaman bölmeli çoğullamalı erişim (ZBÇE) ve frekans bölmeli çoğullama erişim (FBÇE) olarak iki tip durağan alttaşıyıcı yerleşim algoritması vardır [1][2]. ZBÇE-DFBC sistemlerinde her kullanıcıya ait zaman periyodu önceden belirlenmiştir ve kullanıcı kendisine ait zaman periyodunda tüm alttaşıyıcıları kullanır. FBÇE-DFBC sistemlerinde ise, her kullanıcı tüm zaman periyodlarında kendilerine tahsis edilmiş alttaşıyıcı bloklarını kullanırlar. Statik alttaşıyıcı yerleşim algoritmaları kullanıcılara ait kanal katsayıları bilgisini kullanamazlar. Bu yüzden vericilerde bit yerleşimi de yapılamaz ve önceden belirlenmiş veri hızlarında iletişim yapılır.

Uyarlanırlı alttaşıyıcı ve bit yerleşimi algoritmaları ise vericinin her kullanıcıya ait kanal bilgisine sahip olduğu varsayımı yapılır. [3]'de alttaşıyıcı ve bit yerleşimi tam-sayı değişkenli doğrusal olmayan eniyileme problemi olarak modellenmiş ve yüksek karmaşıklık düzeyine sahip algoritma önerilerek eniyi çözüme yakın sonuçlar elde etmiştir. Bu tip bir optimizasyonu çözmek oldukça karmaşık bir problemdir ve yaklaşımlar eniyi çözüme ulaşamamaktadırlar. [4]'de bu problemi basitleştirmek için her kullanıcıya ait kanal kazancı en yüksek olan kullanıcıya tahsis edilmiştir. Bu yöntemi uygulamak oldukça kolaydır fakat çoklu kullanıcı çeşitleme kazancını tümüyle ortaya çıkaramamaktadır. [5]'de, [3]'de tanımlanan problem için karmaşıklığı azaltılmış algoritma çözümü önerilmiş ve eniyi sonuca yakın başarım sonuçları elde edilmiştir. [6]'da toplam veri hızı enbüyüklemeli sis-

temler için eniyi çözüme ulaşan, karmaşıklığı az ve kapasite hesabına dayalı algoritma önerilmiştir. Genetik algoritma kullanılarak altaşıyıcı ve bit yerleşimi toplam talep edilen gücü enaza indirmek amacıyla [7] and [8]'de yapılmıştır. [7]'de ise genetik algoritmanın yakınsama süresini düşürmek için verimlilik (yerleşim yapılırken yüksek kanal katsayılarına ait kullanıcılar düşük güç talep edecekleri için tercih sebebi olması) ve adil olma (herbir kullanıcı için kanal katsayılarından bağımsız olarak belli sayıda altaşıyıcıya yerleşimlerinin yapılması) koşullarını sağlayan başlangıç şartları gözönünde bulundurulmuş ve böylece yakınsama süresinin azaltılması sağlanmıştır. [8]'de ise genetik algoritma parametreleri yaklaşım süreci boyunca uyarlanırlar bir şekilde değiştirilerek yakınsama süresinin kısaltılması sağlanmıştır.

Bu çalışmada ise, çoklu kullanıcı DFBC sistemleri için genetik algoritma kullanarak toplam veri hızı enbüyüklemeli uyarlanırlar altaşıyıcı ve bit yerleşimi gerçekleştirilmiştir. Genetik algoritmanın yakınsama süresinin azaltılması amacıyla başlangıç koşullarının iyi bir şekilde oluşturulması için başlangıç koşullarına [4]'de elde edilen yerleşimin ilave edilmesi önerilmiştir.

İlk bölümde çoklu kullanıcı DFBC sistem modeli toplam veri hızı enbüyükleme kriteri gözönüne alınarak tanımlanmıştır. İzleyen bölümde, çoklu kullanıcı altaşıyıcı ve bit yerleşim algoritmaları incelenmiştir. Üçüncü bölümde, genetik algoritma ile yerleşim algoritması anlatıldıktan sonra önerilen başlangıç koşullu yerleşim algoritması sunulmuştur. En son bölümde ise başarımlar sonuçları klasik genetik algoritma, durağan ve uyarlanırlar yerleşim algoritmaları ve varolan enbüyüklemeli yerleşim algoritmaları için elde edilmiş ve önerilen algoritma ile karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

2. Çoklu kullanıcı DFBC Sistem Modeli

Şekil 1'de gösterilen herbiri K altaşıyıcıya sahip N kullanıcı DFBC sistemi kullanılmıştır. Eniyileme problemi verilen toplam verici güç kısıtlamasına göre (sembol başına enerji cinsinden) toplam veri hızı enbüyüklemeli olarak aşağıdaki şekilde tanımlanabilir:

$$\max_{c_{k,n}; \rho_{k,n}} R = \max_{c_{k,n}; \rho_{k,n}} \sum_{k=1}^K \sum_{n=1}^N c_{k,n} \rho_{k,n} \quad (1)$$

Kısıtlamalar:

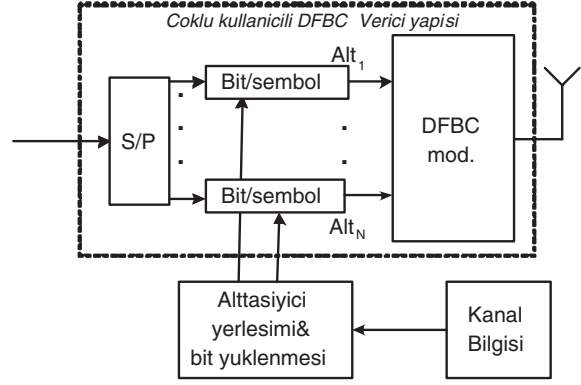
$$\sum_{n=1}^N \max_k \left(\frac{f(c_{k,n}) \rho_{k,n}}{|H_{k,n}|^2} \right) \leq P_T \quad (2)$$

ve

$$\rho_n = \sum_{k=1}^K \rho_{k,n} = 1 \quad (3)$$

Burada $\rho_{k,n}$ k nci kullanıcı tarafından n inci altaşıyıcının kullanılıp kullanılmadığını gösteren binary bir değerdir ve ρ_n 'nin tüm altaşıyıcılar için 1 olması herbiri altaşıyıcının tek bir kullanıcı tarafından kullanıldığını gösterir.

$$\rho_{k,n} = \begin{cases} 1 & \text{Eğer } k. \text{ kullanıcı } n. \text{ altaşıyıcı kullanıyor ise} \\ 0 & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (4)$$



Şekil 1: Sistem Yapısı

$f(c_{k,n})$ kanal katsayısı 1 olduğunda $c_{k,n}$ bitinin güvenilir bir şekilde sezinlenebilmesi için istenen sembol başına enerji cinsinden alıcı gücüdür. M-QAM şemaları için, p_e bit hata olasılığında $c_{p,n}$ sembol başına bit desteklenmesi için $f(c_{k,n})$ istenen güç aşağıdaki şekilde ifade edilebilir [9]:

$$f(c_{p,n}) = \frac{N_0}{3} [Q^{-1}(p_e/4)]^2 (2^{c_{p,n}} - 1) \quad (5)$$

burada $N_0/2$ toplamsal beyaz Gaussian gürültüsünün varyansdır ve $Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^\infty e^{-t^2/2} dt$.

3. Genetik Algoritma ile Altaşıyıcı ve Bit Yerleşimi

Genetik algoritma temel olarak güçlü bireylerin hayatta kalması felsefesi üzerine kurulmuştur [10]. Birçok optimizasyon probleminin çözüme ulaşılmasında etkin bir yöntemdir. Biz bu çalışmada genetik algoritmayı toplam veri hızı enbüyüklemeli çoklu kullanıcı DFBC sistemlerinde altaşıyıcı ve bit yerleşim optimizasyonu için kullandık.

Bu modelde, herbiri altaşıyıcı gen olarak ve herbiri DFBC sembolü birey olarak tanımlanmıştır. Bireydeki gen sayısı altaşıyıcı sayısına eşittir. Herbir genin değeri 1 ile K arasında tamsayı olarak değişmektedir. Bu ise o altaşıyıcının o kullanıcıya yerleşiminin yapıldığını gösterir. Kullanılan algoritma aşağıdaki şekilde modellenmiştir:

Adım 1)Başlangıç popülasyonu: W adet bireyden oluşur. Her birey için gen değerleri (altaşıyıcı yerleşimi) rastgele atanmıştır.

Adım 2)Uygunluk: Uygunluk fonksiyonu olarak toplam veri hızı seçilmiştir. Toplam veri hızı ne kadar yüksek ise bireyin uygunluk katsayısı o kadar yüksektir. Popülasyondaki her birey için bit yerleşimi denklem 2'deki güç kısıtlaması gözönünde bulundurularak yapılmış ve bu bit yerleşimi sonucunda denklem 1'de verilen toplam veri hızı hesaplanmıştır.

Adım 3)Yeni popülasyon:

Seçim: Uygunluk katsayısı en düşük P birey popülasyondan tamamen çıkarılmıştır. Kalan $W - P$ birey ise çaprazlama ve mutasyon işlemleri sonucunda yeni popülasyona eklenecektir. En yüksek uygunluk katsayısına sahip P birey ise hiçbir işlem uygulanmadan yeni popülasyona direk aktarılmıştır.

Çaprazlama: Çaprazlama işlem olasılığı P_c olarak belirlenmiş ve $(W - P) * P_c$ adet bireye iki nokta çaprazlama işlemi uygulanmıştır. Geriye kalan $(W - P) * (1 - P_c)$ bireye ise hiçbir işlem uygulanmamıştır.

Mutasyon: Mutasyon işlem olasılığı P_m olarak belirlenmiş ve çaprazlama işleminden gelen $(W - P) * P_m$ bireyin G_m genine mutasyon işlemi uygulanmış ve yeni popülasyona eklenmiştir. Geriye kalan $(W - P) * (1 - P_m)$ birey mutasyon işlemine tabii tutulmadan yeni popülasyona aktarılmıştır. Eğer ardarda 5, 10 ve 15 döngüde daha iyi bir birey bulunmaması durumunda mutasyon işlem olasılığı sırasıyla P_{m1}, P_{m2} ve P_{m3} olarak arttırılacaktır. Buradaki amaç, bireylerin lokal çözümlerde takılı kalmasını önleyerek global çözüme ulaşmasını sağlamaktır.

Adım 4) Adım 2'den itibaren işlemler tekrarlanır. Döngü sayısı D tamamlandınca ya da ardarda 20 döngüde daha iyi birey bulunmaması durumunda işlem sonlandırılır.

4. Önerilen Algoritma

Genetik algoritmada hızlı bir şekilde sonuca ulaşmak için döngü sayısını azaltmak önemli hedeflerden birisidir. Bu amaçla algoritma parametrelerinin uygun belirlenmesinin yanı sıra başlangıç popülasyonunun uygun ve iyi bireylerden oluşturulması sağlanarak döngü sayısı azaltılabilir. Klasik genetik algoritmada başlangıç popülasyonu rastgele üretilmektedir. [7] ve [8]'de ise gücü en küçükleyen çoklu kullanıcı DFBC sistemleri için döngü sayısının azaltılması için başlangıç koşulları düzenlenen genetik algoritmalar verilmiştir. Biz bu çalışmada ise toplam veri hızı enbüyüklemeli çoklu kullanıcı DFBC sistemleri için bir başlangıç popülasyonu önereceğiz.

Değiştirilmiş Adım 1) Başlangıç popülasyonunu oluştururken $W - 1$ tanesi yine rastgele oluşturulan bireylerden meydana getirilmiştir. Geriye kalan bir tanesi ise herbir altaşıyıcı için en büyük kanal kazancına sahip kullanıcıyı o altaşıyıcıya yerleştirerek [4] oluşturulan bireydir. Bu bireyin genleri şu şekilde oluşturulmuştur.

Herbir altaşıyıcı için en büyük kanal kazancına sahip kullanıcının seçilmesi

$$s_n = \max_k |H_{k,n}|; n = 1, 2, \dots, N \quad (6)$$

ve herbir altaşıyıcı için seçilen bu kullanıcıların yerleşimi

$$\rho_{s_n,n} = 1 \quad (7)$$

olarak yapılır.

5. Başarım Sonuçları

Bu bölümde, önerilen başlangıç koşullu genetik algoritma toplam veri hızı sonuçlarını, ZBÇE, FBÇE, her altaşıyıcıya en yüksek kanal kazancına sahip kullanıcı yerleşimi algoritma [4], kapasiteye göre toplam veri hızı enbüyükleme algoritması [6] ve klasik genetik algoritma sonuçları ile karşılaştırdık. Buna ilaveten, önerilen algoritma ile yakınsama süresinin kısaltıldığını göstermek amacıyla, değiştirilmiş başlangıç koşullu genetik algoritma ile klasik genetik algoritmanın döngü sayısını karşılaştırdık.

Başarım sonuçlarını elde etmek amacıyla, 9 dallı çokyollu kanal kullanılmış, ve DFBC sembol süresi $0.8\mu s$ çevrimsel öntaki süresi olmak üzere $4\mu s$ ve $N = 64$ seçilmiştir. Verici gücü $20W$, gürültü gücü $N_0 = 1$ ve minimum bit hata olasılığı 10^{-3} olarak tanımlanmıştır. DFBC sembolünde $M = 0, 1, 2, 4, 6, 8$ seçilerek modülasyon tipleri BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM ve 256QAM olarak belirlenmiştir.

Statik yerleşim algoritmaları ZBÇE için sırasıyla bir DFBC süresi her kullanıcıya ayrılmış ve FBÇE için ise altaşıyıcı grupları sırasıyla belirli kullanıcılara ayrılmıştır. Dinamik yerleşim algoritmaları ile adil şartlarda karşılaştırma yapabilmek için statik yerleşim algoritmalarına da bit yerleşim algoritması uygulanmıştır. Genetik algoritma için seçilen parametreler ise Tablo 1'de özetlenmiştir. Önerilen başlangıç koşullu genetik

Tablo 1: GA Parametreleri

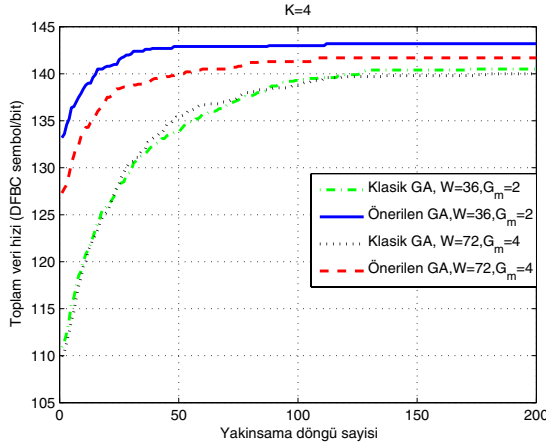
Parametreler	Değerler
W	36 ve 72
P	6 ve 12
P_c	0.8
$P_m, P_{m1}, P_{m2}, P_{m3}$	0.1, 0.2, 0.4, 0.5
G_m	2 ve 4
D	200

algoritma ile klasik genetik algoritma karşılaştırılırken aynı $W - 1$ başlangıç popülasyonu kullanılmış ve kalan bir birey **değiştirilmiş Adım 1**'de önerildiği şekilde üretilerek başlangıç popülasyonuna ilave edilmiştir.

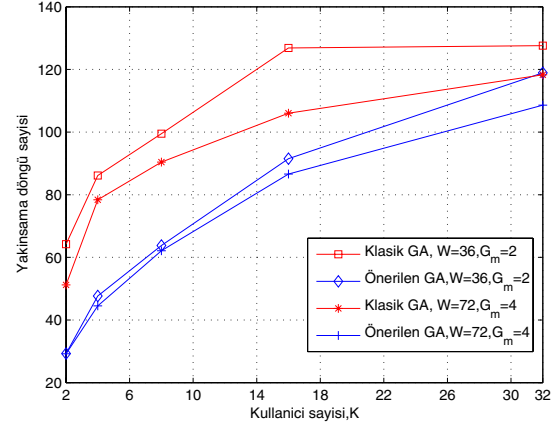
Şekil 2'de önerilen başlangıç popülasyonlu genetik algoritma ile klasik genetik algoritmanın her döngüde elde ettiği ortalama toplam veri hızı $K = 4$ için farklı GA parametreleri gözönüne alınarak gösterilmiş ve ortalama yakınsama süresinin daha kısa olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 3'de ise $K = 16$ için aynı sonuçlar verilmiş ve benzer davranışa sahip olduğu gösterilmiştir. Şekil 4'de ise farklı kullanıcı sayıları için ortalama yakınsama döngü sayısı çizilmiş ve önerilen algoritmanın çok daha kısa sürelerde sonuca ulaştığı gözlemlenmiştir. Diğer yönden popülasyon sayısı ve mutasyon işlemi uygulanan gen sayısı arttırıldığında yakınsama süresinin azaldığı ve bu etkinin kullanıcı sayısı fazla olduğunda daha da yüksek olduğu görülmüştür. Şekil 5'de de farklı kullanıcı sayıları için elde edilen toplam veri hızı değerleri (DFBC başına bit sayısı olarak) statik yerleşim algoritmaları ve varolan toplam veri hızı enbüyüklemeli uyarlanı yerleşim algoritmaları ile karşılaştırılmış ve önerilen algoritmanın en iyi sonucu verdiği gösterilmiştir.

6. Değerlendirme

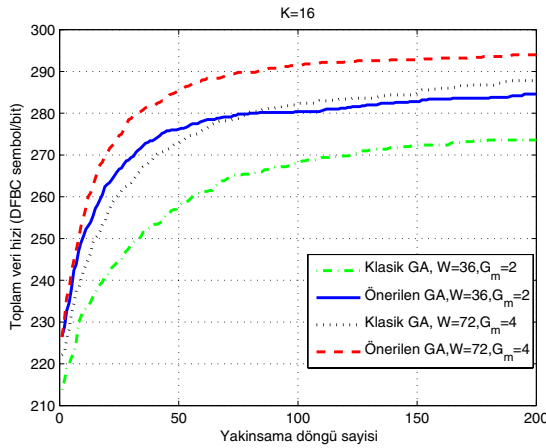
Biz bu makalede genetik algoritma ile çoklu kullanıcı DFBC sistemleri için toplam veri hızını enbüyüklemek amacıyla altaşıyıcı ve bit yerleşimi yaptık. Genetik algoritmaya ait başlangıç popülasyonuna iyi bir birey ilave ederek yakınsama süresi düşürdük. Elde edilen sonuçlar, önerilen yerleşim algoritmasının az döngü sayısına ve iyi başarım sonuçlarına sahip olması açısından oldukça önemlidir.



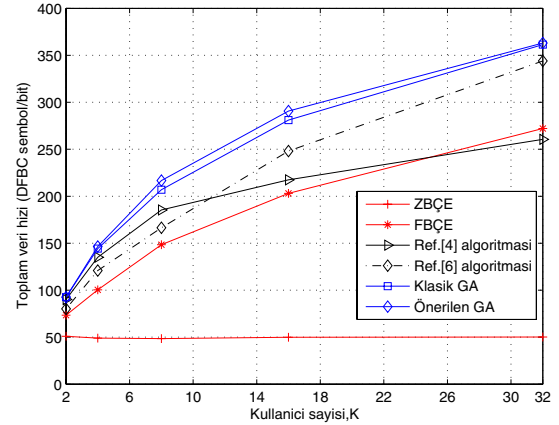
Şekil 2: $K = 4$ için farklı GA parametrelerinde döngü sayısına karşılık toplam veri hızı karşılaştırılması



Şekil 4: Farklı kullanıcı sayıları için farklı GA parametrelerinde ortalama yakınsama döngü sayısı karşılaştırılması



Şekil 3: $K = 16$ için farklı GA parametrelerinde döngü sayısına karşılık toplam veri hızı karşılaştırılması



Şekil 5: Farklı kullanıcı sayıları için ortalama toplam veri hızı karşılaştırılması

7. Kaynakça

- [1] Rohling, H., Grunheid, R., "Performance Comparison of different Multiple Access Schemes for the Downlink of OFDM Communications", *Proc. IEEE VTC*, Phoenix, AZ, 1997.
- [2] Prasad, R., "OFDM Wireless Multimedia Communications", *Artech House 2000*, 2000.
- [3] Wong, C. Y., Cheng, R.S., Letaif, K. B., Murch, R. D., "Multiuser OFDM with Adaptive Subcarrier, Bit and Power Allocation", *IEEE JSAC*, 17(10):1747-1758, 1999.
- [4] Bakhtiari, E., Khalaj, B.H., "A new joint power and subcarrier allocation scheme for multiuser OFDM systems", *Proc. IEEE PIMRC*, China, 2003.
- [5] Zhang, G., "Subcarrier and bit allocation for real-time services in multiuser OFDM services", *Proc. IEEE ICC*, Paris, France, 2004.

- [6] Rhee, W., Cioffi, M. J., "Increase in Capacity of Multiuser OFDM system using dynamic subchannel allocation", *Proc. IEEE VTC*, v.2, 1085-1089, 2000.
- [7] Wang, Y., Chen, F., Wei, G., "Adaptive subcarrier and bit allocation for multiuser OFDM system based on genetic algorithm", *Proc. IEEE ICCAS*, 2005.
- [8] Reedy, Y.B., Gajendar, "Evolutionary approach for efficient resource allocation in multiuser OFDM systems", *Journal of Communications*, v.2, s.42-48, 2007.
- [9] J. G. Proakis "Digital Communication 3rd edition". *New York: McGrawHill*, 1995.
- [10] Man, K.F., Tang, K.S., Kwong, S., "Genetic algorithms: concept and applications", *IEEE Trans. on Industrial Electronics*, v.23, s.519-534, 1996.

**TÜBİTAK
PROJE ÖZET BİLGİ FORMU**

Proje No: 107E092
Proje Başlığı: Çoklu-antenli çoklu-taşıyıcı kablosuz iletişim sistemleri için verimli çok-kullanıcı özkaynak yerleşim algoritması tasarımı
Proje Yürütücüsü ve Araştırmacılar: Yrd.Doç.Dr. Berna ÖZBEK
Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi: İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Müh. Böl. Urla-İzmir.
Destekleyen Kuruluş(ların) Adı ve Adresi: TÜBİTAK ve Fransa Dışişleri Bakanlığı.
Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri: 01 Ocak 2008 - 01 Ocak 2010
Öz (en çok 70 kelime) Bu proje kapsamında, çoklu-antenli çoklu-kullanıcı DFBC tabanlı kablosuz ağlarda spektral verimliliği arttırmak için özkaynak yerleşim problemi üzerine araştırmalar yapılmıştır. Sistemin açığa çıkarılabileceği kuramsal kazançlar Genetik algoritma kullanılarak elde edilmiş ve çeşitli özkaynak yerleşim algoritmaları incelenmiştir. Özkaynak yerleşiminin verimli ve düşük karmaşıklıkta gerçekleştirilmesinde önemli olan geri besleme kanalı için kullanıcı seçim algoritmaları geliştirilmiş ve kuantalanmış kanal bilgisi için kod tablosu tasarımı yapılmıştır. Çoğa gönderim uygulamaları için düşük karmaşıklıkta tekli ve çoklu hümeleme teknikleri geliştirilmiştir. Geliştirilen tüm algoritmaların başarımları çeşitli kablosuz ağ standartları için elde edilmiştir.
Anahtar Kelimeler: Kablosuz iletişim, DFBC, çoklu anten teknikleri, özkaynak yerleşimi, tüme gönderim, çoğa gönderim, önkodlama teknikleri, Genetik algoritma, geri besleme kanalı.
Fikri Ürün Bildirim Formu Sunuldu mu? Evet <input type="checkbox"/> Gerekli Değil <input checked="" type="checkbox"/> Fikri Ürün Bildirim Formu'nun tesliminden sonra 3 ay içerisinde patent başvurusu yapılmalıdır.
Projeden Yapılan Yayınlar: <ul style="list-style-type: none">• Özbek, B., Le Ruyet, D., Reduced rate feedback channel designs for MISO-OFDMA systems, IET Communications, (Gönderildi).• Le Ruyet, D., Özbek, B., Resource Management in OFDMA Wireless Systems (Kitap bölümü), Orthogonal Frequency Division Multiple Access: Fundamentals and Applications, Auerbach Publications, CRC Press, Taylor&Francis Group, Nisan, 2010.

-  zbek, B., Le Ruyet, D., Adaptive resource allocation for multiuser SDMA-OFDM systems with genetic algorithm, IEEE Sixth International Symposium on Wireless Communication Systems (ISWCS), s. 438-442, Italya, Eylül, 2009.
-  zbek, B., Le Ruyet, D., Reduced feedback designs for SDMA-OFDMA systems, IEEE International Communication Conference (ICC), s.1-6, Almanya, Haziran, 2009.
-  zbek, B., Le Ruyet, D., Transmit beamforming techniques for multicast wireless communication systems, IEEE 17. Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Sempozyumu (SIU), s.241-244, Antalya, Nisan, 2009.
-  zbek, B., Le Ruyet, D., Sum-rate maximized adaptive subcarrier and bit allocation for multiuser OFDM systems with genetic algorithm, IEEE 16. Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Sempozyumu (SIU), s.1-4, Didim, Nisan, 2008.