

HETEROJEN KULLANICILAR İÇİN ÇOK KULLANICI ÇEŞİTLİLİĞİNİN SERVİS KALİTESİ İLE BİRLİKTE KULLANILMASI (EXPLOITING MULTIUSER DIVERSITY WITH QUALITY OF SERVICE FOR HETEROGENEOUS USERS)

Yusuf SOYDAN

Çağatay CANDAN

ASELSAN A.Ş.
ANKARA

ysoydan@aselsan.com.tr

Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü
Orta Doğu Teknik Üniversitesi, ANKARA

ccandan@metu.edu.tr

ÖZETÇE

Fırsatçı erişim yöntemleri çok kullanıcı çeşitliliğini (ÇKÇ) kullanarak sistem kapasitesini büyümeyi amaçlar. Zaman paylaşımli bir kanalın herbir zaman diliminde anlık en yüksek sinyal-gürültü oranına (SGO) sahip kullanıcı servisi almaya hak kazanır. Tüm kullanıcıların ortalama SGO'larının eşit olduğu homojen bir sistemde servis zamanı tüm kullanıcılara eşit şekilde paylaşılır. Heterojen (kullanıcıların farklı ortalama SGO'ya sahip olduğu) sistemlerde ise servis ağırlıklı olarak yüksek SGO değerli kullanıcılara verilecektir. Bu bildiride, heterojen sistemlerde ÇKÇ kullanarak belirlenen kullanıcı kanal erişim oranları ile yayım kanalını paylaşımaya amaçlayan bir yöntem sunulmuştur. Bu yöntem, "A Feedback Quantization Scheme Leveraging Fairness and Throughput for Heterogeneous Multi-User Diversity Systems," IEEE Trans. Vehicular Technology, Volume 59, Issue 5, p. 2610-2614, 2010'da sunulan yöntem geliştirilerek elde edilmiştir. Önerilen yöntemle, kullanıcılara belirlenen servis kalitesi koşulu altında sistem kapasitesi enbüyütülmüş olur.

ABSTRACT

Opportunistic scheduling schemes maximizes the aggregate capacity by using multiuser diversity. Users are chosen to serve according to their signal-to-noise ratios (SNR) for a particular time slot and the user with the highest SNR is selected. Typically, a homogeneous system, in which every user has the same mean SNR, allocates time slots to all users with equal channel utilization. On the other hand, a heterogeneous system, in which every user can have different mean SNRs, frequently chooses users with the highest mean SNR to maximize the aggregate capacity. In this paper, we present a user scheduling method on the broadcast channels for heterogeneous systems exploiting multiuser diversity according to predefined user channel access probabilities. This work is the improved version given in "A Feedback Quantization Scheme Leveraging Fairness and Throughput for Heterogeneous Multi-User Diversity Systems," IEEE Trans. Vehicular Technology, Volume 59, Issue 5, p. 2610-2614, 2010. Thus, the users access to the channel according to the predefined quality of service while the aggregate capacity is maximized.

KISALTMALAR

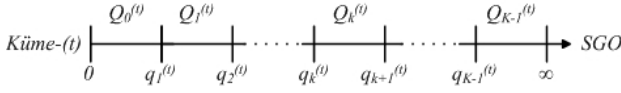
ÇKÇ	:	Çok Kullanıcı Çeşitliliği
MSGO	:	Maksimum Sinyal-Gürültü Oranı (yöntemi)
SGO	:	Sinyal-Gürültü Oranı
SKY	:	Servis Kalitesi Yöntemi
SNR	:	"Signal-to-Noise Ratio"
SSD	:	Sıralı Servis Dağıtımı ("round robin")

1. GİRİŞ

Çok kullanıcı çeşitliliği (ÇKÇ) zorlu kanal koşullarında, sistem çapında belirgin kapasite değerlerini ortaya çıkarmaktadır [1]-[3]. Kanaldaki dalgalanmalar, Rayleigh sönümlenmeli kanalda kanal karakteristiğinden kaynaklanabildiği gibi gönderme tarafından da bu durum sağlanabilir [3]. Kanal dalgalanmaları nasıl oluşuyorsa oluşsun ÇKÇ her durumda en iyi kullanıcıya servis için öncelik tanımaktadır.

ÇKÇ'nin kullanılabilmesi için kullanıcının gördüğü kanalın durum bilgisinin servis sağlayıcı tarafından bilinmesi gerekmektedir. Bu sebeple sistem mimarisinde, kullanıcı ile servis sağlayıcı arasında bir geri besleme kanalının kurulması, kullanıcının kanal durumlarının alınması gereği ortaya çıkmaktadır. Artan kullanıcı sayısı ile geri besleme yükü de artacaktır. Bunun azaltılması ve geri besleme kanalının pratikte kullanılabilmesi için geri besleme bilgisinin eşik değerlerine göre (Şekil-1) nicemlenerek gönderilmesi gerekmektedir. Nicemlenmiş kanal durum değeri, nicemlenmemiş kanal durum değerine göre kayıplar içermekte, böylece sistem kapasitesini düşürmektedir. Literatürde bu konu üzerine yapılan çalışmalarda çözünürlüğü en düşük nicemleme durumunda dahi ortalama nicemlenmemiş durumdakine çok yakın sistem kapasitesi elde edildiği görülmüştür [5]. Bu kayıpların az olması nicemleme yönteminin kullanılabilirliğini artırmaktadır.

Temel olarak, fırsatçı erişim yöntemleri ÇKÇ ile birlikte kullanılır ve zamanda paylaşımli bir sistemde o an ki zaman dilimine anlık SGO değeri en yüksek kullanıcıya kanal atanır (bu yöntem bundan sonra maksimum SGO (MSGO) olarak anılacaktır). Homojen kullanıcı sistemde hem kullanıcılar eşit oranda kanala erişim sağlar hem de sistem kapasitesi enbüyütülür. Fakat heterojen kullanıcı sistemde, MSGO

Şekil 1: Eşik değerleri (q) ve nicemleme seviyeleri (Q)

yöntemi sistem kapasitesini enbüyütmek isteyeceği için ortalama en iyi kullanıcıyı seçecektir. Böylece ortalama SGO değeri en yüksek kullanıcı sistemde baskın olacak ve kanal erişimi diğer kullanıcılardan daha fazla olacaktır. Heterojen kullanıcı bir sistemde, adil erişim sağlanması için mutlaka uyumlandırma ihtiyacı ortaya çıkmaktadır [6]. İyi kullanıcıların sistemde baskın olmalarını engellemeye yönelik bir çalışma [7]'de yapılmış, heterojen kullanıcı sistemde aynı kanal istatistiğine sahip kullanıcılar bir mantıksal kümede toplanarak kullanıcı çeşiti kadar kümeler oluşturulmuş, bu kümeler bazında adil kullanım isteri (eşit oranda servisin verilmesi) sağlanmıştır. Bu bildiriye ise [7]'de belirtilen yapı kullanılarak kullanıcılar için belirlenecek oranda kanala erişim sağlanarak hem ÇKÇ kullanımının zorunluluğu olan geri besleme yükü azaltılmış hem de geri besleme nicemlemesi için kullanılan eşik seviyeleri bu koşullar altında sistem kapasitesini enbüyütmüş olacaktır.

2. SİSTEM MODELİ

Bu çalışmada aynı sistem içinde yer alan kullanıcıların Rayleigh sönümlenmeli kanala sahip olduğu kabul edilmiştir. Anlık SGO rassal değişkendir (Γ) ve $F_{\Gamma}(\gamma) = 1 - e^{-\gamma/\bar{\gamma}}$ ile tanımlı kümülatif dağıtım fonksiyonuna sahiptir. Burada ortalama SGO, $\bar{\gamma}$ ile gösterilmiştir. Sistem içinde T adet küme vardır ve küme-(t) ortalama SGO'ları birbirine eşit $M^{(t)}$ adet kullanıcıya sahiptir.

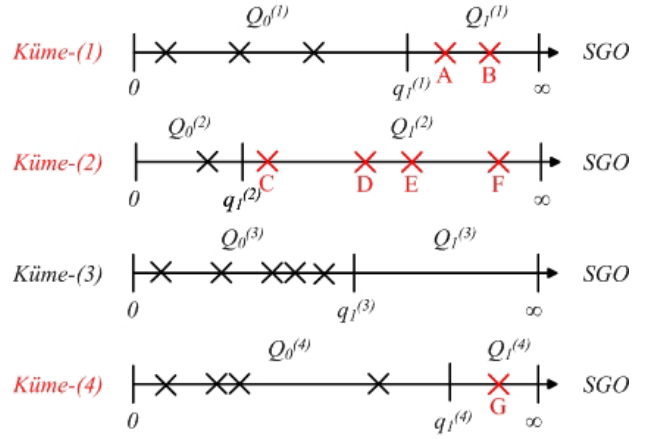
Sistem Şekil-1'de görüldüğü gibi her küme için $K - 1$ tane eşik değeri atar. Kümelerin içindeki kullanıcılar bu eşik değerlerine (q_k) göre anlık SGO'larını nicemler ve sonuç servis sağlayıcıya geri bildirilir.

Şekil-2'de dört kümeden oluşan bir sistem örnek olarak verilmiştir. Sistemdeki A'dan G'ye kadar alfabetik olarak sıralanan kullanıcılar en iyi kullanıcılar listesini, dolayısıyla yayım kanalına erişme adaylarını oluşturur. Sistem önce eşit olasılıkla küme-(1), küme-(2) ve küme-(4) arasından bir tanesini, daha sonra seçilen küme içinden eşit olasılıkla bir kullanıcı seçer (eğer küme-(4) seçilirse başka kullanıcı olmadığı için G kullanıcılarına yayım kanalı atanacağı kesindir). Bu yöntemde kullanıcılar hangi kümeye ait olduklarını bilmemektedir. Kullanıcıların sadece belirlenen eşik değerlerini bilmeleri yöntemin çalışması için yeterlidir.

Bu bildiriye sunulan servis sağlama yöntemi kümeleme ve kullanıcı seçimi açısından [7]'de belirtilen yöntemi kullanılmaktadır. [7]'den farklı olarak eşik değerlerinin bulunması aşamasında 2.2'de belirtilen eniyileme problemi ve kısıtları, istenilen kullanıcı erişim oranları için geliştirilmiştir.

2.1. Sistem Kapasitesi ve Kanal Kullanımı

Kullanıcı başına düşen kapasite değeri [7]'de belirtildiği gibi tüm nicemleme seviyeleri için aşağıdaki denklem kullanılarak



Şekil 2: Örnek sistem: dört küme ve her küme için bir eşik değeri (iki nicemleme seviyesi)

bulunur:

$$C_{kullanici}^{(r)} = \sum_{k=0}^{K-1} \Pr \left(A | \Gamma^{(r)} \in Q_k^{(r)} \right) \times \int_{Q_k^{(r)}} \frac{1}{2} \log_2 (1 + \gamma) f_{\Gamma^{(r)}}(\gamma) d\gamma \quad (1)$$

Burada, servisin referans kullanıcı tarafından alınması olasılığı A olduğu farz edilerek kullanıcının anlık SGO'sunun k . nicemleme seviyesinde olduğu bilindiğinde A 'nın olasılığı $\Pr \left(A | \Gamma^{(r)} \in Q_k^{(r)} \right)$ ile gösterilmiştir. Denklem (1)'deki kapasite birimi *bit/kanal kullanımı/kullanıcı*'dir. Aynı kümedeki kullanıcılar kanal durumu açısından özdeş olduğu için o kümenin toplam servis kapasitesi,

$$C_{kume}^{(t)} = M^{(t)} C_{kullanici}^{(t)} \quad (2)$$

ile bulunur. Sistem kapasitesi ise tüm kümelerin elde ettiği kapasite değerlerinin toplamına eşittir,

$$C_{sistem} = \sum_{t=1}^T C_{kume}^{(t)} \quad (3)$$

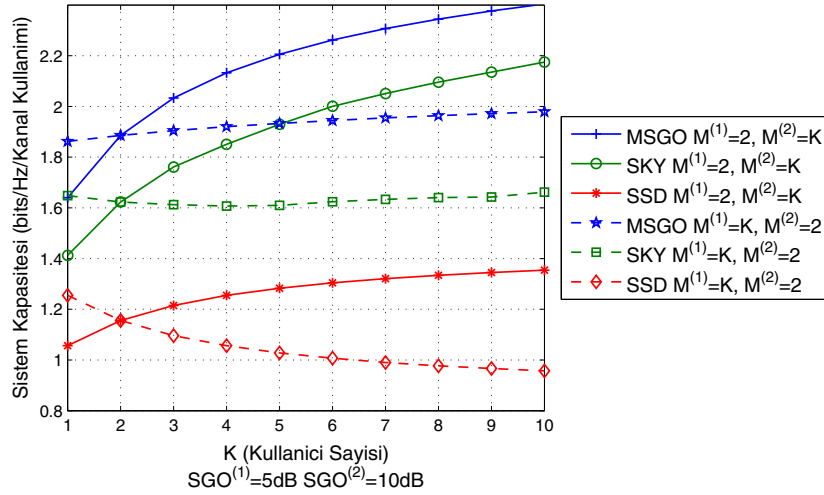
Kanal kullanımı, referans kullanıcının kanala erişme olasılığı

$$P_{erisim-kullanici}^{(r)} = \sum_{k=0}^{K-1} \Pr \left(A | \Gamma^{(r)} \in Q_k^{(r)} \right) \times \int_{Q_k^{(r)}} f_{\Gamma^{(r)}}(\gamma) d\gamma \quad (4)$$

hesaplanarak bulunur. Kapasite ve erişim olasılığı hesapları için gerekli olan $\Pr \left(A | \Gamma^{(r)} \in Q_k^{(r)} \right)$ ifadesi [7]'de verilmiştir.

2.2. Eşik Değerlerinin Belirlenmesi

Küme-(t) içindeki tüm kullanıcılara ait anlık SGO ($\Gamma^{(t)}$) değerlerinin küme-(t)'ye ait ($k + 1$). eşik değerinin ($q_{k+1}^{(t)}$) altında olma olasılığı aşağıda tanımlanmıştır:



Şekil 3: MSGO, SKY ve SSD için sistem kapasite eğrileri

$$P_k^{(t)} = \Pr \left\{ \Gamma^{(t)} \leq q_{k+1}^{(t)} \right\},$$

$$k = 0, 1, \dots, K-2$$

$$t = 1, 2, \dots, T \quad (5)$$

P_k , eşik değerlerinin bir fonksiyonudur:

$$P_k^{(t)} = \left[F_{\Gamma^{(t)}} \left(q_{k+1}^{(t)} \right) \right]^{M^{(t)}}$$

$$= \left[1 - e^{-q_{k+1}^{(t)}/\bar{\gamma}^{(t)}} \right]^{M^{(t)}} \quad (6)$$

Denklem (6)'den eşik değeri çekilirse,

$$q_{k+1}^{(t)} = -\bar{\gamma}^{(t)} \ln \left(1 - \left(P_k^{(t)} \right)^{1/M^{(t)}} \right) \quad (7)$$

olarak bulunur.

Bu bildiride önerilen yöntem, kullanıcıların kanal kullanımını istenilen seviyede tutarken, sistem kapasitesini enbüyüten eşik değerlerinin bulunmasıdır.

T adet küme ve her kümede $K-1$ adet eşik değeri olduğu kabul edilirse, $P_k^{(t)}$ 'leri içeren matris,

$$\mathbf{P} = \begin{bmatrix} P_0^{(1)} & P_0^{(2)} & \dots & P_0^{(T)} \\ P_1^{(1)} & P_1^{(2)} & \dots & P_1^{(T)} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ P_{K-2}^{(1)} & P_{K-2}^{(2)} & \dots & P_{K-2}^{(T)} \end{bmatrix} \text{ dir.} \quad (8)$$

Servis kalitesinin belirlenmesinde, her kullanıcının kanal kullanımının sistem tarafından belirlenmesi gerekmektedir. Bu sayede en iyi \mathbf{P} 'yi bulmak için eniyileme işlemi şu şekilde

tanımlanır:

$$\hat{\mathbf{P}} = \arg \max_{\mathbf{P}} C_{sistem}$$

koşulu

$$\sum_{t=1}^T M^{(t)} P_{erisim-kullanici}^{(t)} = 1 \quad (9)$$

$\hat{\mathbf{P}}$ problem (9) çözülerek, sistemin kullanıcılara geri besleyeceği sistem kapasitesini (dolayısıyla kullanıcı kapasitelerini) enbüyüten, en iyi eşik değerleri elde edilir.

[7]'de belirtilen eniyileme problemi, tüm kümelerin kanal kullanımını eşitlemek amacıyla her küme için aynı $P_k^{(t)}$ değeri bulunmasıyla çözülür. Bu çalışmada ise (9) ile tanımlanan eniyileme problemi, servis kalitesiyle belirlenen kullanıcıların kanal kullanım oranları koşuluna göre çözülür. Böylece, enbüyütülen sistem kapasitesinde her küme için ayrı $P_k^{(t)}$ değerleri bulunur.

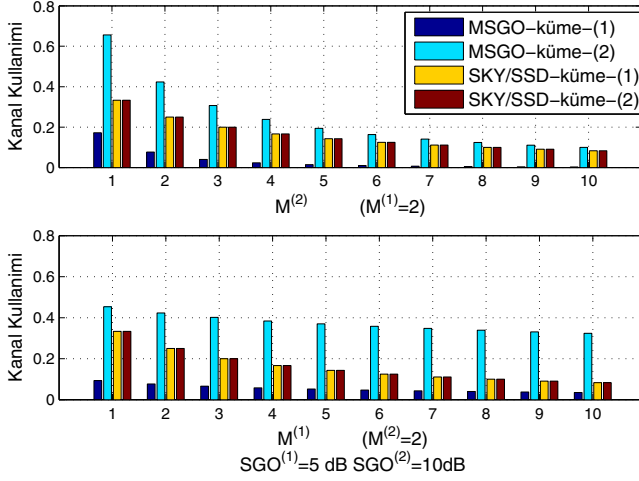
3. KARŞILAŞTIRMALAR

Sıralı servis dağıtımı (SSD) yöntemi, kullanıcıların servisi zamanda paylaşımlı bir şekilde eşit oranda almasını sağlayan bir yöntemdir. Böylece tüm kullanıcılar bir yayım kanalı döngüsünde sırayla servisi elde edebilirler. Bu yöntem tüm kullanıcılara eşit servis süresi veren basit bir yöntemdir.

Bölüm 1'de belirtildiği gibi MSGO yöntemi ile heterojen kullanıcı bir sistemde adil kullanıcı erişim oranları elde edilemez. Ama bu yöntem ÇKÇ kullanılarak erişilebilecek en büyük sistem kapasitesini verir.

Eşit kullanıcı erişim oranı koşulu ile servis kalitesi yöntemi (SKY), SSD ve MSGO yöntemleri ile iki farklı küme ve tek eşik değeri için karşılaştırılmıştır. Şekil-3 ve Şekil-4'de iki farklı durum için kapasite eğrileri ve kanal kullanımı gösterilmektedir. İki durumda da toplam iki küme vardır ve bu kümelere ait $SGO^{(1)} = 5$ dB ve $SGO^{(2)} = 10$ dB'dir.

Birinci durum Şekil-3'de sürekli çizgili kapasite eğrileri ile gösterilmiş ve $M^{(1)} = 2$ iken $M^{(2)}$ 'nin sistem kapasitesi üzer-



Şekil 4: MSGO, SKY ve SSD için kanal kullanımı

ine etkileri MSGO, SKY ve SSD yöntemleri için görülmektedir. MSGO her zaman en iyi kullanıcıyı seçeceği için bu yöntem ile elde edilen sistem kapasitesi her zaman üst limiti oluşturur. $SGO^{(2)}$ 'nin yüksek olmasından dolayı artan küme-2 kullanıcı sayısı SSD'de de sistem kapasitesini artırmaktadır. Tüm kullanıcıların servise erişimi açısından SSD, MSGO'nun aksine eşit oran sağlar (Şekil-4). Fakat sistem kapasitesi üzerine herhangi bir koşul SSD'de bulunmadığı için elde edilen sistem kapasitesi MSGO'dakine göre düşüktür. SKY, SSD gibi kullanıcılara eşit erişim sağlarken aynı zamanda sistem kapasitesinin enbüyütür. Bu yüzden SSD'den daha iyi performans sahiptir. Eşit erişim oranı kısıtı, SKY'nin MSGO'ya göre daha az kapasite elde etmesine sebep olmaktadır. Buna rağmen tek eşik değeri ile bile ortalama MSGO'nun %88'i kadar bir kapasite elde edilmiştir.

Şekil-3'de kesikli kapasite eğrileri ile belirtilen ikinci durumda ise $M^{(2)} = 2$ iken $M^{(1)}$ değeri değişmektedir. MSGO birinci durumda olduğu gibi elde edilen kapasite eğrisi bu durumda da üst limiti oluşturmaktadır. Artan kullanıcı sayısı, küme-(1) SGO'su düşük olmasından dolayı sistem kapasitesini birinci durumdaki kadar artırmamakla birlikte küme-(2) kullanıcılarının daha da baskın olmalarına sebep olmaktadır (Şekil-4). SKY'de ise MSGO ve SSD karışımı bir etki görülmektedir. Artan $M^{(1)}$ sistem kapasitesini belirli bir $M^{(1)}$ değerine kadar SSD gibi düşürürken, bu değerden sonra sistem kapasitesi MSGO'da olduğu gibi artmaktadır. Bu durumda da SSD ile SKY'nin kullanıcı kanal paylaşımları ilk durumdaki gibi birbirine eşittir. SKY kullanılarak MSGO'nun ortalama %84'ü kadar kapasite elde edilmiştir.

4. SONUÇ

Bölüm 3'de yapılan karşılaştırmada SKY, kullanıcı erişim oranları açısından SSD ile aynı olmakla birlikte ÇKÇ kullanılması sebebiyle SSD'den çok daha iyi hatta MSGO'ya yakın bir performans sağlamaktadır. Tek eşik değerinin kullanılması ile bile tatminar kapasite değerleri elde edilmiştir. Eşik değerinin sayısının artırılması, nicemleme seviyelerinin artırılması an-

lamına geldiği için SKY'nin performansının MSGO'ya daha da yaklaşacağı beklenmektedir. Artan eşik değeri sistem performansını olumlu etkilerken aynı zamanda sistemin işlem yükünü de artırmaktadır. SKY, SSD gibi eşit kullanıcı erişim oranları sağladığı gibi farklı kullanıcı erişim oranları için de kullanılabilir. SKY kullanan heterojen bir sistem, aynı ortalama SGO'ya sahip kullanıcıları bir mantıksal kümede toplar. Fakat sistem bünyesinde farklı kümeler içindeki kullanıcılar aynı servis kalitesine sahip servis almak istediklerinde ise servis sağlayıcı tarafında yapılacak düzenlemeler ile (uyarlamalı ışın şekillendirmesi vb.) kullanıcılar talep ettikleri servis kalitesine göre tekrar kümelenebilirler. Bu sayede farklı ortalama SGO'lara sahip kullanıcılar, servis çeşiti açısından aynı kümede bulunabilir; bu kullanıcılar için sistem SKY'yi servis paylaşımı için kullanabilmektedir.

5. KAYNAKÇA

- [1] R. Knopp and P. Humblet, "Information capacity and power control in single-cell multiuser communications," *Proc. IEEE Int. Computer Conf. (ICC'95)*, vol. 1, pp. 331–335, June 1995.
- [2] D. N. C. Tse, "Optimal power allocation over parallel gaussian broadcast channels," *Proc. IEEE Int. Symp. Information Theory*, p. 27, 1997.
- [3] P. Viswanath, D. N. C. Tse, and R. Laroia, "Opportunistic beamforming using dumb antennas," *IEEE Trans. Information Theory*, pp. 1277–1294, June 2002.
- [4] D. Gesbert and M. Alouini, "How much feedback is multiuser diversity really worth," *Proc. Int. Conference on Communications*, June 2004.
- [5] F. Floren, O. Edfors, and B. A. Molin, "The effect of feedback quantization on the throughput of a multiuser diversity scheme," *Proc. IEEE GLOBECOM*, vol. 1, pp. 497–501, December 2003.
- [6] Y. Soydan, "Cluster based user scheduling schemes to exploit multiuser diversity in wireless broadcast channels," M.S. thesis, Dept. Elect. Electron. Eng., Middle East Tech. Univ., Ankara, Turkey, 2008.
- [7] Y. Soydan and C. Candan, "A Feedback Quantization Scheme Leveraging Fairness and Throughput for Heterogeneous Multi-User Diversity Systems," *IEEE Trans. Vehicular Technology*, Volume 59, Issue 5, p. 2610-2614, 2010.