

DİKGEN FREKANS BÖLMELİ ÇOKLU ERİŞİM TABANLI GEZGİN RÖLELİ HÜCRESEL AĞLARDA KAYNAK YÖNETİMİ

İlhan BAŞTÜRK, Berna ÖZBEK

**Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü
{ilhanbasturk, bernaozbek} @iyte.edu.tr**

ÖZET

Hücresel ağlarda, özellikle hücre kenarlarındaki kullanıcıların veri hızlarında baz istasyonuna yakın olan kullanıcıların veri hızları ile karşılaştırıldığında bir düşme görülür. Bunun nedeni hücre kenarlarına yerleşmiş bu kullanıcıların kanal kazançlarının ve buna bağlı olarak ta sinyal gürültü oranlarının, baz istasyonuna daha yakın olan kullanıcılara oranla daha düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Bu kullanıcılar bulundukları konumdan dolayı bir anlamda cezalandırılırlar ve istedikleri servis kalitesinde haberleşme olanağına sahip olamazlar. Bu adil bir uygulama değildir ve bu kullanıcıların servis kalitelerinin bulundukları konum gözetilmeksizin iyileştirilmesi bir gerekliliktir. Bu sorun ortamdaki baz istasyonlarının sayısı artırılarak çözülebilir fakat bu servis sağlayıcılara maliyet açısından aşırı bir yük getirmektedir. Bu nedenle, daha düşük maliyete sahip olan sabit veya gezgin röleler bu problemin çözümü için tercih edilmektedir.

Düşük kurulum maliyetine ve geniş kapsama alanına sahip gezgin rölelerle geliştirilmiş dikgen frekans bölmeli çoklu erişim (DFBÇE) tabanlı hücresel ağlar, yüksek veri hızlarında iletişime olanak sağlamaları açısından gelecek nesil iletişim sistemleri için önemli bir yer tutmaktadır. Fakat, bu avantajların açığa çıkarılması için etkin kaynak yönetimi algoritmalarının geliştirilmesi gerekmektedir. Bu nedenle, bu çalışmada gezgin rölelerle geliştirilmiş ağlar için röle seçimi ve kaynak tahsisi gibi sezgisel kaynak yönetimi algoritmaları önerilmiştir. Önerilen algoritmalarla gezgin rölelerin, baz istasyonundan uzakta ve kötü kanal koşullarına sahip olan hücre kenarlarındaki kullanıcıların veri hızlarında önemli artış sağladığı ve sistemdeki tatmin olmuş kullanıcı sayısının arttırıldığı benzetim sonuçlarıyla açığa çıkarılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Dikgen Frekans Bölmeli Çoklu Erişim, Gezgin Röle, Kaynak Yönetimi

GİRİŞ

Gelecek nesil iletişim sistemlerindeki en büyük beklentilerden biri tüm kullanıcıları memnun edecek şekilde geniş bir kapsama alanında yüksek veri hızlarında haberleşme olanağı sağlamasıdır. Son yıllarda, frekans seçici kanallara karşı dayanıklılığı ve bant genişliğini verimli kullanması gibi avantajları nedeniyle DFBÇE teknolojisi araştırmacıların yoğun ilgisini çekmiştir. DFBÇE sistemlerde her alt taşıyıcı farklı bir kullanıcıya tahsis edilebilir ve böylece kullanıcılar iyi kanal kazancına sahip oldukları alt

taşıyıcılara tahsis edilerek sistem kapasitesi arttırılabilir. Kapasite artışını geniş alanlar boyunca sağlamak için geleneksel hücresel ağlarda çok sayıda baz istasyonuna (BS) ihtiyaç duyulmaktadır ve bu durum servis sağlayıcıları için ekonomik değildir. Fakat, röleler daha düşük maliyetlerle bu problemin çözümüne önemli katkı sağlamaktadırlar [1]. Literatürde, sabit ve gezgin röleler olmak üzere iki tip röle üzerinde çalışılmıştır [2]. Gezgin röleler bir araç üzerine monte edilebilir yada hareket halindeki bir kullanıcı baz istasyondan uzaktaki başka bir kullanıcı için röle olabilir. Sabit röleler ağ altyapısının bir parçasıdır ve nerede, ne kadar yerleştirileceği servis sağlayıcılar tarafından optimum şekilde yapılmalıdır. Fakat, gezgin röleler için bu tarz bir yerleşime gerek duyulmamaktadır. Gezgin röleler sabit rölelerin birebir alternatifi değil, onu tamamlayıcı bir çözüm önerisi olarak düşünülebilir.

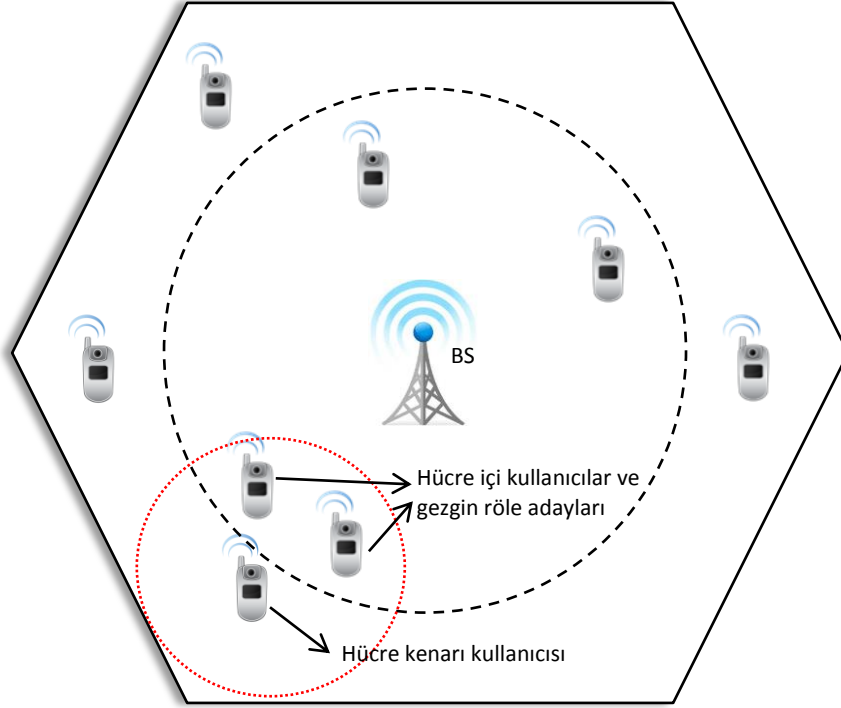
Röle ile geliştirilmiş ağlarda, kapsama ve kapasite kazancı büyük oranda, son yıllarda çok dikkat çekici bir araştırma alanı haline gelen kaynak yönetim stratejilerine bağlıdır [3][4]. DFBÇE tabanlı röle ile geliştirilmiş sistemlerde elde edilen kapsama ve kapasite kazançlarına rağmen, kaynak yönetim problemi artan link sayısı dikkate alındığında daha karmaşık bir hal alır. Literatüre baktığımızda, DFBÇE sistemlerde kaynak yönetimi problemi adillik, yük dengeleme, trafik farkındalığı gibi farklı kısıtlar altında aşağı link/yukarı link, tek hücreli/çok hücreli gibi farklı senaryolar için sabit röle kullanan sistemlerde [5]-[11] arasında çalışılmıştır. Gezgin röle kullanan sistemler için çalışma sayısı sabit röle kullanan sistemler kadar zengin olmamakla birlikte [12] ve [13]'te bu problem incelenmiştir.

Bu çalışmada, DFBÇE tabanlı gezgin röle ile geliştirilmiş hücresel ağlarda kaynak yönetimi problemi üzerine odaklanılmış ve problemin çözümü için röle seçme ve kaynak tahsisi algoritmaları geliştirilmiştir. Gezgin röle olarak bir kullanıcının diğer bir kullanıcı için röle olabileceği senaryo üzerinde durulmuştur. Sabit röleli sistemlerle karşılaştırıldığında, bu senaryoda rölelerin yerleştirilmesi için herhangi bir kurulum maliyeti bulunmamaktadır ve röle aday sayısı sistemdeki kullanıcı sayısına paralel olarak artmaktadır. Ayrıca, sabit rölelerin kurulumunun zor olması veya operatörlerin planlama yaparken tahmin edememesi sonucu kapsanamayan bazı noktalar bu senaryoda kullanıcıların her yerde olabileceği düşünüldüğünde rahatlıkla kapsama alanı içine girmektedir. [13]'te yaptığımız çalışmadan farklı olarak bu çalışmada gerçek hayata daha uygun olması açısından kullanıcıların farklı servisleri talep ettiği düşünülmüş ve her kullanıcının talep ettiği veri hızı değeri farklı seçilmiştir. Gezgin röleli senaryolar için önerilen kaynak yönetimi çözümlerinin, sistemde farklı veri hızı ihtiyaçları olan kullanıcıların memnuniyet oranlarını daha üst seviyelere taşıdığı ve özellikle baz istasyonuna uzak olmalarından dolayı kanal kazançları düşük olan hücre kenarlarındaki kullanıcıların veri hızları üzerindeki olumlu etkisi benzetim sonuçlarıyla açığa çıkartılmıştır.

SİSTEM MODELİ

Bu çalışmada, tek hücreli, aşağı link, DFBÇE tabanlı gezgin rölelerle geliştirilmiş hücresel ağ topolojisi kullanılmıştır. Şekil 1'de görüldüğü gibi hücrenin tam merkezine bir adet baz istasyonu, etrafına da K adet kullanıcı yerleştirilmiştir. Hücre alanı hücre içi ve hücre kenarı olmak üzere iki bölgeye ayrılmıştır. Hücre içi, R hücre yarıçapı olmak üzere $(0 - 2R/3)$ aralığında, hücre kenarı ise $(2R/3 - R)$ aralığında kalan bölgelerdir. Hücre

içinde kalan kullanıcılar baz istasyonu ile doğrudan haberleşebilirlerken, hücre kenarındaki kullanıcılar doğrudan yada direkt linkte sorun varsa başka bir kullanıcı üzerinden yani gezgin röle yardımıyla haberleşebilirler. Hücre içinde kalan kullanıcılar aynı zamanda hücre kenarındaki kullanıcıların gezgin röle adaylarıdır. Hücre kenarındaki kullanıcılar için $R/2$ 'lik yarıçapa sahip kapsama alanı içinde kalan hücre içi kullanıcılar gezgin röle adayları olarak kabul edilmektedir.



Şekil 1. Gezgin Röleler ile Geliştirilmiş Hücresel Ağ Topolojisi

Tüm DFBÇE bandı her biri komşu alt taşıyıcıların birleşmesi ile oluşan N tane alt kanala bölünmüştür. Bu alt kanalların kullanıcılara tahsis edilmesi işlemini BS gerçekleştirir ve tüm kullanıcıların kanal bilgilerinin BS tarafından bilindiği varsayılmaktadır. Röle ile geliştirilmiş hücresel ağlarda kaynak tahsisi probleminde Tam Çift Yönlü ve Yarı Çift Yönlü olmak üzere iki farklı iletim yapısı kullanılmaktadır. Tam Çift Yönlü iletim yapısında röle aynı zamanda ve aynı alt kanalda veri alma ve gönderme işlemini gerçekleştirir. Fakat, bu yapıda girişim söz konusu olduğu için pratik sistemlerde gerçekleştirilmesi zordur. Bu nedenle, biz çalışmamızda iletim çerçevesini iki alt çerçeveye bölerek rölenin iki farklı zamanda veri alıp göndermesini sağlayan ve böylece girişim etkisini yok eden Yarı Çift Yönlü iletim yapısını kullandık. Bu yapıda, birinci zaman anında baz istasyonu kullanıcı ve rölelere veri gönderiyor, ikinci zaman anında ise kullanıcılar baz istasyonu ve rölelerden veri alıyor.

ÖNERİLEN KAYNAK YÖNETİM ALGORİTMALARI

Gelişen haberleşme teknolojilerine paralel olarak kullanıcıların servis kalitesi ihtiyaçları da her geçen gün artmaktadır. Kullanıcılar konumları ne olursa olsun istedikleri veri hızlarına ulaşmak istemektedirler. Bu da sistemdeki kaynakların etkin kaynak yönetim algoritmaları ile tüm kullanıcıların ihtiyaçlarını karşılayacak bir biçimde paylaşılması anlamına gelmektedir.

Biz bu çalışmada, bu ihtiyaçları göz önünde bulundurarak, gezgin röleler kullanılmasından dolayı hem röle seçimi hem de kaynak tahsisi algoritmalarını içeren aşağıdaki kaynak yönetim algoritmalarını öneriyoruz.

1-Röle Seçme Algoritması

- $\mathbb{O}$ ve $\mathbb{I}$, sırasıyla hücre içindeki ve hücre kenarındaki kullanıcıların kümeleri olsun,

for $\forall i \in \mathbb{O}$ **do**

- Eğer varsa kullanıcı i için röle adaylarını bul.

$$\zeta_i = \{j \mid d_{i,j} \leq d_{th}, j \in \mathbb{I}\},$$

- Eğer $\zeta_i \neq \emptyset$, kullanıcı i için en uygun röleyi minimum toplam yol kaybını kullanarak bul [14],

$$röle_i = \arg \min_{j \in \zeta_i} (PL_{BS \rightarrow j} + PL_{j \rightarrow i})$$

end for

Yukarıdaki algoritmada j , herhangi bir hücre içi kullanıcıyı, ζ_i hücre kenarındaki i kullanıcısının röle aday kümesini, $d_{i,j}$ kullanıcı i ve j arasındaki mesafeyi ve d_{th} ise röle adaylarını belirlemede kullanılan eşik uzaklığını temsil etmektedir. $PL_{BS \rightarrow j}$ ve $PL_{j \rightarrow i}$ ise sırasıyla, dB cinsinden BS-röle adayı j ve röle adayı j -hücre içi kullanıcı i arasındaki yol kaybı değerlerine karşılık gelmektedir. Seçilen röle adayları hücre kenarlarındaki kullanıcılar tarafından BS' na gönderilir ve daha sonra BS bu verileri de kullanarak kaynakları aşağıda önerilen iki adımlı algoritma yardımıyla paylaşır.

2-Kaynak Tahsisi Algoritması

- $\mathbb{N}_1$, $\mathbb{N}_2$ sırasıyla, birinci ve ikinci zaman anında alt kanalların kümesi, K sistemdeki toplam kullanıcı sayısı ve $\mathbb{U}$ minimum veri hızı ihtiyacını karşılayamamış yani tatmin olmamış kullanıcıların kümesidir.
- Başlangıçta, $\mathbb{U} = \{1, 2, \dots, K\}$, $R_k = 0$, $\forall k \in \mathbb{U}$, $\mathbb{N}_1 = \{1, 2, \dots, N\}$, $\mathbb{N}_2 = \{1, 2, \dots, N\}$, $n = 1$.

Adım 1

while $\mathbb{U} \neq \emptyset$ **do**

- $CQI_{k,n}$, Channel Quality Indicator (CQI) değerini hesapla, $\forall k \in \mathbb{U}$
if $k \in \mathbb{O}$ ve $röle_k \neq \emptyset$ **do**

$$CQI_{BS \rightarrow röle_k \rightarrow k,n} = \min\{CQI_{BS \rightarrow röle_k,n}, CQI_{röle_k \rightarrow k,n}\}$$

$$CQI_{k,n} = \max\{CQI_{BS \rightarrow k,n}, CQI_{BS \rightarrow röle_k \rightarrow k,n}\}$$

else do

$$CQI_{k,n} = CQI_{BS \rightarrow k,n}$$

end if

- n . alt kanalda maksimum CQI değerine sahip kullanıcıyı bul

$$k'' = \arg \max_{k \in \mathbb{U}} (CQI_{k,n})$$

- CQI tablosu kullanarak bu kullanıcıya ait veri hızı değerini $R_{k''}$ güncelle.
- Eğer $R_{k''} \geq R_{th}$, bu kullanıcı istediği veri hızına ulaştı. Bu nedenle tatmin olmayan kullanıcı kümesinden bu kullanıcıyı çıkar $\mathbb{U} \leftarrow \mathbb{U} \setminus \{k''\}$.
- Eğer k'' röle yardımıyla haberleşiyorsa, ikinci zamandaki alt kanal kümesinden n . alt kanalı çıkar. Çünkü biz birinci ve ikinci zamanda kullanıcının aynı alt kanal üzerinden haberleştiğini varsayıyoruz, $\mathbb{N}_2 \leftarrow \mathbb{N}_2 \setminus \{n\}$
- $n = N$ oluncaya kadar $n = n + 1$

end while

Adım 2

while $\mathbb{U} \neq \emptyset$ ve $\mathbb{N}_2 \neq \emptyset$ **do**

- $\mathbb{N}_2$ kümesinde kalan alt kanallardan bir alt kanal seç, n' .
- Tatmin olmayan kullanıcıların n' . alt kanaldaki CQI değerlerini hesapla, $\forall k \in \mathbb{U}$

$$CQI_{k,n'} = CQI_{BS \rightarrow k,n'}$$

- n' . alt kanalda maksimum CQI değerine sahip kullanıcıyı bul

$$k^* = \arg \max_{k \in \mathbb{U}} (CQI_{k,n'})$$

- CQI tablosu kullanarak bu kullanıcıya ait veri hızı değerini, R_{k^*} güncelle.

- Eğer $R_{k^*} \geq R_{th}$, bu kullanıcı istediği veri hızına ulaştı. Bu nedenle tatmin olmayan kullanıcı kümesinden bu kullanıcıyı çıkar $\mathbb{U} \leftarrow \mathbb{U} \setminus \{k^*\}$.
- $\mathbb{N}_2 \leftarrow \mathbb{N}_2 \setminus \{n'\}$.

end while

Yukarıdaki algoritmalarda CQI değerleri [15]'de tanımlanan LTE-CQI tablosu kullanılarak hesaplanmaktadır. Kaynakların kullanıcılara tahsis edilmesinde CQI değerlerinden faydalanılmıştır ve en yüksek CQI değerine sahip kullanıcı ilgili alt kanala atanmıştır. Kullanıcılar arasında bir adalet sağlamak amacıyla her kullanıcının ulaşmak istediği bir eşik veri hızı, R_{th} değerinden faydalanılmıştır. Bu değere ulaşan kullanıcı istediği veri hızını aldığı için tatmin olmuş kullanıcı olarak adlandırılmaktadır.

PERFORMANS SONUÇLARI

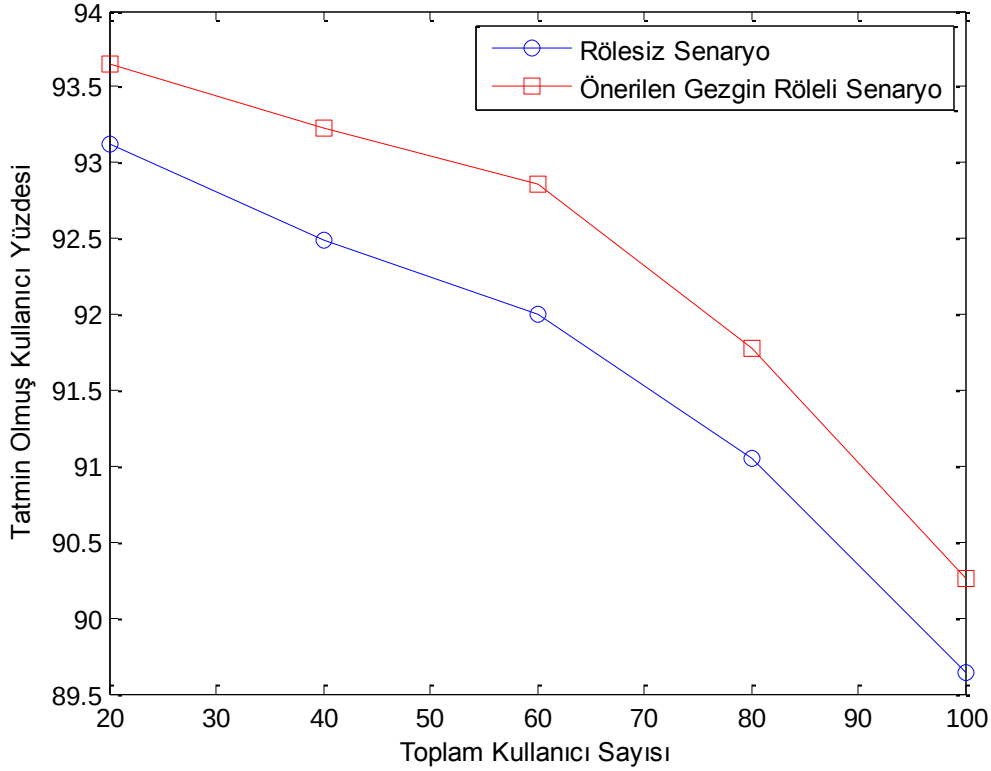
Bu çalışmada 3GPP-LTE standardına ait benzetim parametreleri kullanılmıştır ve bu parametreler Tablo 1'de özet halinde verilmiştir.

Tablo 1: Benzetim Parametreleri

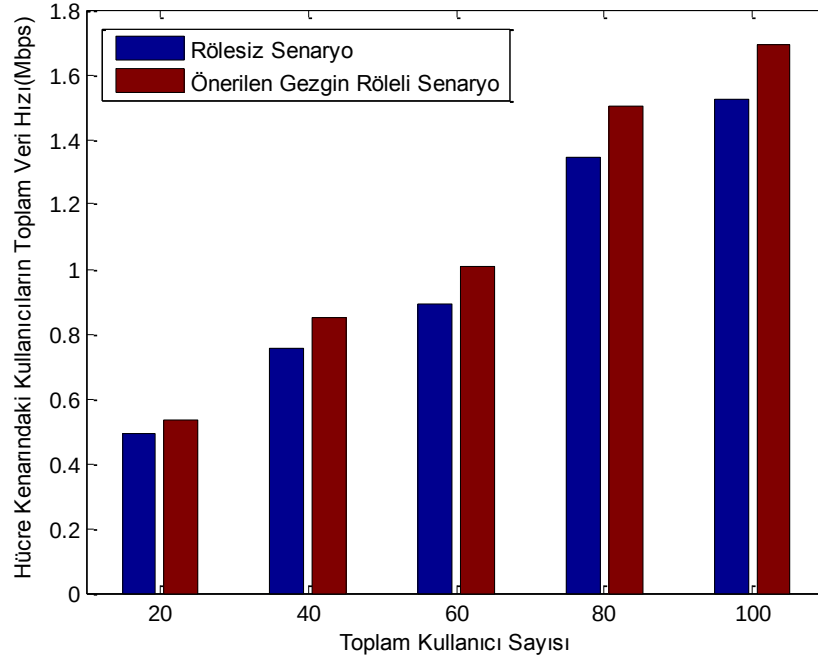
Parametre	Değer
Frekans	2 GHz
Bant genişliği	20MHz
Termal Gürültü Yoğunluğu	-134.89dBm/Hz
nTX x nRX	1 x 1
eNodeB verici gücü	49dBm
Gezgin röle verici gücü	23dBm
Hücre yarıçapı	500m
Yol kaybı modeli	BS→MS, BS→RS ve RS→MS 128.1 +37.6* log10 (d)
Gölgeleme modeli	Lognormal distribution, $\mu=0$, $\sigma=10$ (dB)
Çok yollu kanal modeli	Extended Pedestrian A (EPA)

Bu çalışmada hücre yarıçapı, $R = 500m$ olarak alınmıştır ve baz istasyonundan $(2R/3)$ uzaklıktaki kullanıcılar hücre kenarlarındaki kullanıcılar olarak kabul edilmiştir. Hücre kenarlarındaki kullanıcı sayısı toplam kullanıcı sayısının %10'u olarak seçilmiştir. Bu kullanıcıların röle adayı bulmaları için gerekli eşik uzaklığı $d_{th} = R/2$ olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada gerçek hayata daha uygun olması nedeniyle tüm kullanıcılar farklı bir hizmet talebinde bulunabilirler. Bir başka deyişle her kullanıcı için belirlenen eşik veri hızı değerleri, R_{th} farklıdır. Bu değer, kullanıcıların %50'si için $R_{th} = 168kbps$, %30'u için $R_{th} = 336kbps$ ve %20'si için $R_{th} = 504kbps$ olarak seçilmiştir.

Benzetim sonuçlarında önerdiğimiz röle seçme ve kaynak tahsisi algoritmaları kullanılarak röle içermeyen ve gezgin röleler kullanan iki farklı senaryo tatmin olmuş kullanıcı yüzdeleri ve hücre kenarlarındaki kullanıcıların toplam veri hızları göz önünde bulundurularak karşılaştırılmıştır.



Şekil 2. Tatmin Olmuş Kullanıcı Yüzdesi



Şekil 3. Hücre Kenarındaki Kullanıcıların Toplam Veri Hızı

Şekil 2’de sistemdeki tatmin olmuş kullanıcı yüzdesi verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi gezgin rölelerin kullanılmış olduğu senaryo röle kullanılmayan senaryoya göre istedikleri veri hızlarına ulaşan kullanıcı sayısını arttırmıştır.

Şekil 3’te ise hücre kenarındaki kullanıcıların toplam veri hızları her iki senaryo için karşılaştırılmıştır. Gezgın röleler kullanıldığında hücre kenarındaki kullanıcıların veri hızlarında %8 ile %12 arasında bir yükselme gözlenmiştir.

SONUÇLAR

Bu çalışmada DFBÇE tabanlı gezgın röleler ile geliştirilmiş hücresel ağlar için röle seçme ve kaynak tahsisi gibi kaynak yönetim çözümleri önerilmiştir. Önerilen etkin kaynak yönetim algoritmalarının yardımıyla düşük kurulum maliyetine ve geniş kapsama alanına sahip gezgın rölelerin özellikle hücre kenarlarındaki kullanıcıların veri hızları ve sistemdeki tatmin olmuş kullanıcı sayılarını arttırdığı benzetim sonuçlarıyla açığa çıkarılmıştır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Türk Telekom tarafından 7707-01 anlaşması kapsamında desteklenmiştir.

KAYNAKÇA

[1] R. Pabst ve diğerleri, “Relay-Based Deployment Concepts for Wireless and Mobile Broadband Radio,” IEEE Wireless Comm. Mag., cilt: 42, s: 80-89, Eylül 2004.

- [2] H. Nourizadeh, S. Nourizadeh ve R. Tafazolli, "Performance evaluation of Cellular Networks with Mobile and Fixed Relay Station," IEEE VTC, s: 1-5, Eylül 2006.
- [3] M. Salem, A. Adinoyi, H. Yanikomeroglu, ve D. Falconer, "Opportunities and challenges in OFDMA-based cellular relay networks: A radio resource management perspective," IEEE Trans. Veh. Technol., cilt: 59, s: 2496-2510, 2010.
- [4] M. Salem ve diğerleri, "An Overview of Radio Resource Management in Relay-Enhanced OFDMA-Based Networks," IEEE Comm. Surveys Tutorials, cilt:12, sayı: 3, s: 422-438, 2010.
- [5] M. Kaneko ve P. Popovski, "Radio resource allocation algorithm for relay-aided cellular OFDMA system," IEEE ICC, s: 4831-4836, Haziran 2007.
- [6] W. Nam, W. Chang, S.-Y. Chung, ve Y. Lee, "Transmit optimization for relay-based cellular OFDMA systems," IEEE ICC, s: 5714-5719, Haziran 2007.
- [7] C. Bae ve D.H. Cho, "Fairness-aware adaptive resource allocation scheme in multi-hop OFDMA systems," IEEE Commun. Lett., cilt:11, sayı:2, s:134-136, Şubat 2007.
- [8] R. Kwak ve J. M. Cioffi, "Resource-allocation for OFDMA multihop relaying downlink systems," IEEE GLOBECOM, s: 3225-3229, Kasım 2007.
- [9] L. Huang, M. Rong, L. Wang, Y. Xue, ve E. Schulz, "Resource allocation for OFDMA based relay enhanced cellular networks," IEEE VTC, s: 3160-3164, Nisan 2007.
- [10] M. Salem, A. Adinoyi, M. Rahman, H. Yanikomeroglu, D. Falconer, Y.- D. Kim, ve E. Kim, "Fairness-aware joint routing and scheduling in OFDMA-based multi-cellular fixed relay networks," IEEE ICC, s:1-6, Haziran 2009.
- [11] M. Salem, A. Adinoyi, H. Yanikomeroglu ve diğerleri "A Fair Radio Resource Allocation Scheme for Ubiquitous High-data-rate Coverage in OFDMA based Cellular Relay Networks," IEEE GLOBECOM, s: 1-6, 2009.
- [12] Xiao Han, Huifang Chen, Lei Xie ve Kuang Wang, "Resource Allocation Schemes for the Heterogeneous OFDMA System with Multiple Ad Hoc Relays", Wireless Personal Communications, cilt :69, s: 487-508, Mart 2013.
- [13] İ. Baştürk, B. Özbek, Ç. Edemen, A. S. Tan, E. Zeydan ve S. Ergut, "Radio Resource Management for OFDMA-Based Mobile Relay Enhanced Heterogeneous Cellular Networks", IEEE VTC, Haziran 2013.
- [14] V. Sreng, H. Yanikomeroglu, ve D. D. Falconer, "Relay selection strategies in cellular networks with peer-to-peer relaying," IEEE VTC, s:1949-1953, Ekim 2003.
- [15] 3GPP TS 36.213, "Physical layer procedures," v.8.6.0, Mart 2009.