

DFBÇE Tabanlı Kablosuz Ağlarda Kullanıcı Röleler için Uzaklık Bazlı Seçim

Distance Based Selection for User-Relaying in OFDMA-Based Wireless Networks

İlhan Baştürk¹, Berna Özbek²

¹Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü, Adnan Menderes Üniversitesi, Aydın, Türkiye
{ilhan.basturk}@adu.edu.tr

²Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, İzmir, Türkiye
{bernaozbek}@iyte.edu.tr

Özetçe —Düşük kurulum maliyetine ve geniş kapsama alanına sahip kullanıcı-rölelerle geliştirilmiş dikgen frekans bölmeli çoklu erişim (DFBÇE) tabanlı kablosuz ağlar, yüksek veri hızlarında iletişime olanak sağlamaları açısından gelecek nesil iletişim sistemlerinde önemli bir yer tutmaktadır. Kullanıcı-röleli sistemlerde kullanıcı sayısına paralel olarak artan röle sayısı performansı arttırmaktadır. Tüm kullanıcıların röle olma durumu performans açısından olumlu bir durum olmasına rağmen sinyalleşme yükünü ve dolayısıyla karmaşıklığı çok artırdığı için pratik sistemlere uygun olmayabilir. Bu nedenle, bu çalışmada performans ve sinyalleşme yükü arasındaki ödünleşimi dengelemek için kullanıcı-röle adayları belirli bir alanda uzaklığa dayalı olarak seçilmiş ve sonuçlar benzetimler yapılarak değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler—DFBÇE, kullanıcı-röleler.

Abstract—OFDMA-based user-relay assisted wireless networks which have lower infrastructure cost and larger coverage areas are important technologies for the next generation communication systems since they allow to communicate at higher data rates. The performance of the system is increased with user-relaying since the number of user-relays scales with the number of mobile users. Although, it is good to assume all mobile users are the user-relay candidates, it is not suitable for the practical systems because of the rising signalling overhead and complexity. Thus, in this study, the user-relay candidates are selected in a limited area based on a distance parameter in order to balance the trade-off between the system performance and the signalling overhead and the results are evaluated by performing simulations.

Keywords—OFDMA, user-relaying.

I. GİRİŞ

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

alt taşıyıcılara tahsis edilerek sistem kapasitesi artırılabilir. Geleneksel hücreli ağlarda kapasite ve kapsama alanı sınırlıdır ve bunu arttırmak için farklı yöntemler araştırılmıştır. Bunlardan bir tanesi baz istasyonu sayısını arttırmaktır ama bu yöntem maliyet açısından verimli değildir. Fakat, röle teknolojileri daha düşük maliyetlerle bu problemin çözümüne önemli katkı sağlamaktadırlar [1]. DFBÇE ve röle teknolojilerinin birlikte kullanılması ile geniş bir kapsama alanında yüksek veri hızlarında, güvenilir ve daha düşük maliyetli iletişim olanağı sağlanmış olur.

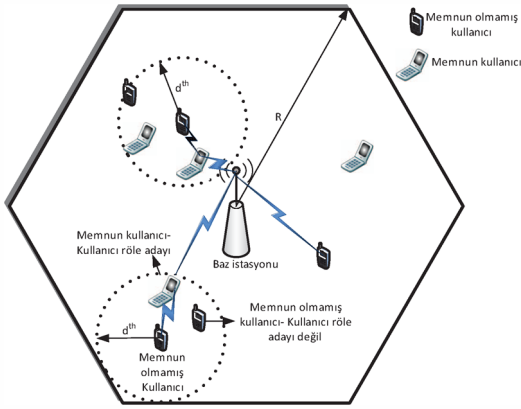
Literatürde, sabit ve gezgin röleler olmak üzere iki tip röle üzerinde çalışılmıştır. Sabit röleler ağ altyapısının bir parçasıdır ve nerede, ne kadar yerleştirileceği servis sağlayıcılar tarafından optimum şekilde yapılmalıdır. Sabit röleler üzerine birçok çalışma yapılmıştır ve 4G Long Term Evolution (LTE)-Advanced standardı içinde yer almıştır. Gezgin röleler bir araç üzerine monte edilebilir yada hareket halindeki bir kullanıcı baz istasyonundan uzaktaki başka bir kullanıcı için röle olabilir. Özellikle kullanıcıların birbirleri için röle bildiği senaryo 5G standardında yer bulabilecek en etkili teknolojilerden biri olarak tanımlanmış ve bu nedenle de son yıllarda çok dikkat çekici bir araştırma alanı haline gelmiştir [2]. Kullanıcı röleler ile geliştirilmiş DFBÇE-tabanlı kablosuz ağlarda, kapsama ve kapasite kazancını açığa çıkarmak için iyi bir kaynak yönetimi şarttır. 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 incelenmiştir [3]-[9]. Kullanıcı-röleler ile geliştirilmiş kablosuz ağların en önemli avantajlarından bir tanesi kullanıcı sayısı ile birlikte röle sayısının da artması ve bu durumun da sistem performansını arttırmasıdır. Sistemdeki röle sayısını arttırmak adına tüm kullanıcıları röle adayı olarak düşünmek de [3][4] her zaman doğru bir yaklaşım olmayabilir, çünkü sistemdeki sinyalleşme yükü ve karmaşıklık bu durumlarda çokça artar. Dolayısıyla sistem performansı ve sinyalleşme yükü arasında bir ödünleşim söz konusudur. Kullanıcı-röleler sınırlı alanlarda seçilerek performans ve sinyalleşme yükü arasında bir dengeleme yapılabilir.

Bu çalışmada, kullanıcı röleler ile geliştirilmiş DFBÇE tabanlı kablosuz ağlarda röle adayları yarıçap uzaklığı değişen

farklı alanlardan seçilerek memnun kullanıcı yüzdesi ve sinyalleşme yükü arasındaki ödünleşim değerlendirilmiştir. Çalışmamız temel olarak [9]'de önermiş olduğumuz model üzerine oturtularak benzetim sonuçları elde edilmiştir.

II. SİSTEM MODELİ

Bu çalışma Şekil 1'de gösterildiği gibi tek hücreli, kullanıcı röleler ile geliştirilmiş DFBÇE tabanlı kablosuz bir ağ topolojisi üzerinde gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan sistem aşağı link bir sistemdir. R yarıçaplı hücrenin tam ortasında tek antene sahip bir adet baz istasyonu ve etrafında da rasgele dağıtılmış K adet tek antenli kullanıcı bulunmaktadır. Baz istasyonu kullanıcılar ile direkt olarak ya da direkt iletişimin kötü olduğu durumlarda bir başka kullanıcının yardımıyla (kullanıcı-röle) haberleşebilir.



Şekil 1: DFBÇE Tabanlı Kablosuz Ağ Topolojisi

Bu çalışmada çöz ve ilet röle modeli, yarı çift yönlü iletim yapısı ve iki atlamalı röle sistemi tercih edilmiştir. Tüm DFBÇE bandı, B , her biri komşu alt taşıyıcıların birleşmesi ile oluşan N tane alt kanala bölünmüştür. Her bir alt kanal için iki nokta arasındaki veri hızı aşağıdaki şekilde hesaplanabilir,

$$R_{i \rightarrow j, n} = \frac{B}{N} \log_2(1 + \gamma_{i \rightarrow j, n}). \quad (1)$$

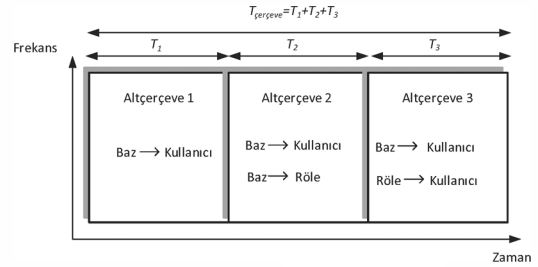
Burada n . alt kanalda i ve j arasındaki sinyal gürültü oranı $\gamma_{i \rightarrow j, n} = \frac{P_{i, n} |H_{i \rightarrow j, n}|^2}{N_0 (B/N)}$ ile verilmektedir. $P_{i, n}$ iletilen gücü, $H_{i \rightarrow j, n}$ yol kaybı, gölgeleme ve çokyol etkilerini içeren kanal kazancını ve N_0 ise gürültü spektral yoğunluğunu temsil etmektedir. Toplam güç altbandlar arasında eşit olarak dağıtılmıştır.

Literatürdeki birçok çalışmada olduğu gibi, baz istasyonu ile kullanıcılar arasındaki ve kullanıcılar ile kullanıcı-röleler arasındaki gereken tüm kanal kazancı bilgilerinin baz istasyonu tarafından bilindiği varsayımı yapılmıştır. Baz istasyonu ile kullanıcı-röle ve kullanıcı-röle ile kullanıcı arasındaki iletişim için farklı zamanlardaki aynı altbandlar kullanılmıştır. Bu linkler arasındaki iletişim farklı altbandlar üzerinden de gerçekleştirilebilir fakat bu durumda sistemin hesaplama karmaşıklığı çok artar. Çalışmamızda, her kullanıcının talep ettiği bir eşik veri hızı değeri R_k^{th} vardır. Şekil 1'de de gösterildiği üzere, talep ettiği veri hızına ulaşan kullanıcılar memnun kullanıcılar, ulaşamayanlar ise memnun olmayan kullanıcılar olarak adlandırılırlar.

III. KULLANICI RÖLELER İÇİN UZAKLIK BAZLI SEÇİM

Kullanıcı rölelerin var olan sabit rölelere göre en büyük avantajlarından biri, sayıca fazla olmaları nedeniyle kullanıcıların röle bulma olasılıklarını ve dolayısıyla da sistem performansını arttırmalarıdır. Kullanıcının etrafındaki kullanıcı röle sayısının artışı sistem performansını arttırmamın yanı sıra sistemin sinyalleşme yükünü de artırır. Eğer hücre içindeki tüm kullanıcılar herhangi bir kullanıcının röle adayı olarak belirlenirse bu durumda sistem maksimum sinyalleşme yüküne ulaşır ve bu durum da sistem karmaşıklığı çok artar. Sistem karmaşıklığı ve sinyalleşme yükü, kullanıcı-rölelerin sınırlı bir alan içerisinde seçilmesi ile düşürülebilir. Bu sınırlı alanın yarıçapı Şekil 1'de de gösterildiği gibi d^{th} olarak belirlenmiştir.

Bu bölümde, rölelerin uzaklık bazlı seçimleri [9]'da önermiş olduğumuz ve Şekil 2'de verilen yeni çerçeve modeli kullanılarak incelenecektir. Önerdiğimiz yeni çerçeve yapısı, literatürde sık kullanılan klasik çerçeve yapısının aksine bir çerçeve boyunca toplam süreyi iki değil üç altçerçeveye bölmektedir. Bu çerçeve yapısı ile kullanıcıların aynı anda hem röle hem de kullanıcı olmaları engellenmiştir. Önerilen model şu anki alıcı-verici teknolojileri düşünüldüğünde pratik sistemlere daha uygundur çünkü kullanıcının aynı anda hem kendi verisini alması, hem de başkalarının verilerini iletmesi gerekmemektedir.



Şekil 2: Önerilen Çerçeve Modeli.

Önerilen çerçeve modeli baz alınarak kullanıcı-röleli sistemlerde uzaklık bazlı yapılan röle seçimi ve sonrasında kaynakların etkin bir şekilde kullanıcı ve rölelere atanmasına ilişkin kaynak paylaşım algoritmaları aşağıda ayrıntılı şekilde verilmiştir. Kaynak paylaşımı başlamadan önce, her çerçevenin başlangıcında baz istasyonu (2)'de tanımlanan her kullanıcıya ait olası röle adaylarının bilgisine sahiptir.

$$\mathbb{M}_k = \{r | d_{k \rightarrow r} \leq d^{th}; r = 1, 2, \dots, K, r \neq k\}, \quad k = 1, 2, \dots, K \quad (2)$$

burada $d_{k \rightarrow r}$ kullanıcı k ve röle adayı r arasındaki mesafeyi ve d^{th} ise röle adaylarını belirlemede kullanılan eşik uzaklığını temsil etmektedir.

Baz istasyonu birinci altçerçeve boyunca kullanıcıların sadece kendisiyle direkt olarak haberleşmesine izin verir ve kaynakları tüm kullanıcılara maksimum veri hızı kriterine göre paylaşır. Altçerçeve 1 için bu işlem gerçekleştiikten sonra, kullanıcılar memnun ve memnun olmayan kullanıcılar olarak sınıflandırılırlar. Bundan sonraki süreçte, memnun kullanıcılar

kendileri için veri alış-verişinde bulunmayacakları için memnun olmayan kullanıcıların röle adayları olarak atanacaklardır. Altçerçeve 1 için uzaklık bazlı röle seçimi ve kaynak paylaşma algoritması aşağıda verilmiştir.

Algoritma 1

- \mathbb{N}^* birinci altçerçevedeki alt kanalların kümesi, \mathbb{U} ve \mathbb{S} sırasıyla memnun olmamış ve memnun olmuş kullanıcıların kümesidir. R_k ise kullanıcı k 'nin toplam veri hızını göstermektedir.
- Başlangıçta, $\mathbb{U} = \{1, 2, \dots, K\}$, $\mathbb{S} = \{\emptyset\}$, $R_k = 0$, $\forall k \in \mathbb{U}$, $\mathbb{N}^* = \{1, 2, \dots, N\}$, $n = 1$.

Adım1.1

while $\mathbb{U} \neq \emptyset$ and $n \leq N$ **do**

- * Veri hızı değerlerini hesapla, $R_{k,n} = R_{Baz \rightarrow k,n}$, $\forall k \in \mathbb{U}$.
- * $k^* = \arg \max_{k \in \mathbb{U}} R_{k,n}$ eşitliğini sağlayan kullanıcıyı bul.
- * Bu kullanıcının veri hızını güncelle, $R_{k^*} = R_{k^*} + R_{k^*,n}$.
- * Eğer $R_{k^*} \geq R_{k^*}^{th}$ ise, kullanıcı k^* memnun oldu. Dolayısıyla $\mathbb{U} \leftarrow \mathbb{U} \setminus \{k^*\}$, $\mathbb{S} \leftarrow \mathbb{S} \cup \{k^*\}$.
- * $n = n + 1$.

end while

Adım1.2

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

for her $k \in \mathbb{U}$ **do**

- * Eğer kullanıcı k 'nin röle aday seti kümesinde memnun olmayan kullanıcılar varsa, bu kullanıcıları kümeden çıkar

for each $m \in \mathbb{M}_k$ **do**

- * Eğer $m \in \mathbb{U}$ ise $\mathbb{M}_k \leftarrow \mathbb{M}_k \setminus \{m\}$

end for

- * Eğer $\mathbb{M}_k \neq \emptyset$, kullanıcı k için, en iyi röle adayını bul:

$$r_k = \arg \max_{j \in \mathbb{M}_k} (\min(\bar{\gamma}_{Baz \rightarrow j}, \bar{\gamma}_{j \rightarrow k}))$$

burada $\bar{\gamma}_{i \rightarrow j} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \gamma_{i \rightarrow j,n}$ iki nokta arasındaki ortalama sinyal gürültü oranı değeridir. $\bar{\gamma}_{Baz \rightarrow j}$ ve $\bar{\gamma}_{j \rightarrow k}$ ise sırasıyla baz istasyonu-röle adayı j ve röle adayı j -kullanıcı k arasındaki sinyal gürültü oranlarıdır.

end for

end if

Algoritma 1 sonunda memnun olmayan kullanıcılar artık baz istasyonu ile sadece direkt olarak değil, direkt iletişimin kötü olduğu yerlerde memnun kullanıcılar arasından seçilen röle adayları üzerinden haberleşebileceklerdir. Altçerçeve 2 ve 3'te baz istasyonu kaynakları sadece memnun olmayan kullanıcılara değil aynı zamanda rölelere de paylaşmaktadır. Bu altçerçeveler için kaynak paylaşma algoritması aşağıda detaylı olarak verilmiştir.

Algoritma 2

- \mathbb{N}, \mathbb{N}' sırasıyla, ikinci ve üçüncü alt çerçevedeki alt kanalların kümesi. \mathbb{U}, \mathbb{S} ve $R_k, \forall k$ Algoritma 1'in sonunda güncellenerek elde edilen değerler.
- Başlangıçta, $\mathbb{N} = \{1, 2, \dots, N\}$, $\mathbb{N}' = \{1, 2, \dots, N\}$, $n = 1$.

Adım2.1

while $\mathbb{U} \neq \emptyset$ and $n \leq N$ **do**

- * Veri hızı değerlerini hesapla, $R_{k,n} \forall k \in \mathbb{U}$.

if $r_k \neq \emptyset$ **do**

$$R_{Baz \rightarrow r_k \rightarrow k,n} = \min\{R_{Baz \rightarrow r_k,n}, R_{r_k \rightarrow k,n}\}$$

$$R_{k,n} = \max\{R_{Baz \rightarrow k,n}, R_{Baz \rightarrow r_k \rightarrow k,n}\}$$

else do

$$R_{k,n} = R_{Baz \rightarrow k,n}$$

end if

- * n . alt kanalda maksimum veri hızı değerine sahip kullanıcıyı bul, $k' = \arg \max_{k \in \mathbb{U}} (R_{k,n})$
- * Bu kullanıcının veri hızını güncelle, $R_{k'} = R_{k'} + R_{k',n}$
- * Eğer $R_{k'} \geq R_{k'}^{th}$, bu kullanıcıyı memnun olmayan kullanıcı kümesinden çıkar, $\mathbb{U} \leftarrow \mathbb{U} \setminus \{k'\}$ ve memnun kullanıcı kümesine ekle, $\mathbb{S} \leftarrow \mathbb{S} \cup \{k'\}$
- * Eğer k' röle yardımıyla haberleşiyorsa, üçüncü alt çerçevedeki alt kanal kümesinden n . alt kanalı çıkar, $\mathbb{N}' \leftarrow \mathbb{N}' \setminus n$. Çünkü biz ikinci ve üçüncü alt çerçevede kullanıcının aynı alt kanal üzerinden haberleştiğini varsayıyoruz.
- * $n = n + 1$.

end while

Adım2.2

while $\mathbb{U} \neq \emptyset$ and $\mathbb{N}' \neq \emptyset$ **do**

- * \mathbb{N}' kümesinde kalan alt kanallardan sırasıyla bir alt kanal seç, n^*
- * Memnun olmayan kullanıcıların n^* . alt kanaldaki veri hızı değerlerini hesapla, $R_{k,n^*} = R_{Baz \rightarrow k,n^*}$, $\forall k \in \mathbb{U}$.
- * $k^* = \arg \max_{k \in \mathbb{U}} (R_{k,n^*})$, ifadesini sağlayan kullanıcıyı seç.
- * Bu kullanıcının veri hızını güncelle, $R_{k^*} = R_{k^*} + R_{k^*,n^*}$.
- * Eğer $R_{k^*} \geq R_{k^*}^{th}$ ise $\mathbb{U} \leftarrow \mathbb{U} \setminus \{k^*\}$, $\mathbb{S} \leftarrow \mathbb{S} \cup \{k^*\}$.
- * $\mathbb{N}' \leftarrow \mathbb{N}' \setminus n^*$

end while

Algoritma 2, iki adımlı bir algoritmadır ve birinci adımda altkanallar baz istasyonu ile doğrudan haberleşen kullanıcılara yada röle üzerinden haberleşen kullanıcılara atanır. İkinci adımda ise sadece doğrudan haberleşen kullanıcılara atama işlemi gerçekleştirilir. Kaynakların kullanıcılara tahsis edilmesinde veri hızı değerlerinden faydalanılmıştır ve en yüksek veri hızı değerine sahip kullanıcı ilgili alt kanala atanmıştır. Eğer birinci adımda atama yapılan kullanıcı röle üzerinden haberleşen bir kullanıcıysa, haberleşme iki altkanalda gerçekleşeceği için hem ikinci hem de üçüncü altçerçevedeki altkanal kümesinden altkanallar azaltılır. Böylece bu kullanıcıya atanan altkanal ikinci adımda tekrar kullanılamaz. Algoritma tüm kullanıcılar memnun olduğunda yada tüm altkanallar kullanıldığında sonlandırılır.

IV. BENZETİM SONUÇLARI

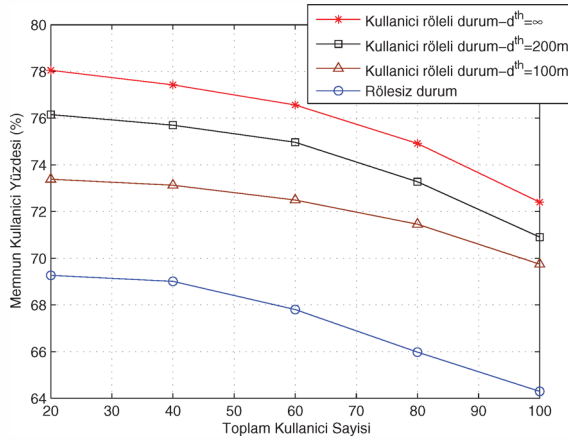
Bu bölümde, önerilen çerçeve yapısının kullanıldığı kullanıcı-röleler ile geliştirilmiş DFBÇE tabanlı kablosuz ağlarda kullanıcı-rölelerin sınırlı bir alanda seçilmesi durumunda sistem performansı ve sistem karmaşıklığı benzetim sonuçlarıyla değerlendirilecektir. Benzetim sonuçlarını elde ederken kullandığımız parametreler Tablo I'de özet olarak verilmiştir. Önerilen çerçeve modeli için çerçeve süreleri sırasıyla $T_1 = 4\text{ms}$ ve $T_2 = T_3 = 3\text{ms}$ olarak seçilmiştir [9].

Benzetim sonuçlarımızda iki temel senaryomuz bulunmaktadır. Bunlardan birincisi *rölesiz durum* olarak adlandırdığımız hiçbir rölenin bulunmadığı ve baz istasyonunun tüm bir çerçeve süresi boyunca kullanıcılarla direkt olarak haberleştiği senaryodur. İkincisi ise kullanıcı-rölelerin bulunduğu ve önerdiğimiz üç fazlı çerçeve modelinin kullanıldığı senaryodur. Bu çalışmadaki temel amacımız kullanıcı röle seçiminde kullanılan

Tablo I: Benzetim Parametreleri

Parametre	Değer
Frekans	2GHz
Bandgenişliği	20MHz
Termal Gürültü Yoğunluğu	-134.89dBm/Hz
Baz istasyonu verici gücü	46dBm
Kullanıcı-röle verici gücü	23dBm
Hücre yarıçapı (R)	750m
Baz istasyonuna en yakın kullanıcı mesafesi	35m
Çerçeve süresi ($T_{cerçeve}$)	10ms
Yol kaybı modeli	Tüm linkler için $128.1 + 37.6 \log_{10} d(km)$
Gölgeleme modeli	Lognormal distribution, $\mu = 0, \sigma = 10dB$
Çokluyol modeli	Extended Pedestrian A (EPA)

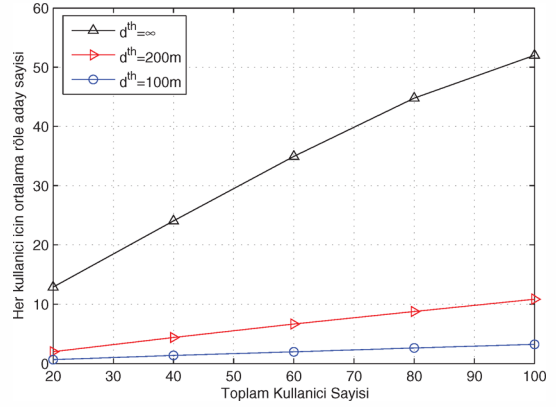
eşik uzaklığının performans ve sinyalleşme yükü üzerine olan etkilerini değerlendirmektedir. Bu nedenle önerdiğimiz çerçeve yapısının kullanıldığı ikinci senaryo için farklı d^{th} değerleri karşılaştırılmıştır. Benzetim sonuçlarımızda tüm kullanıcıların eşik veri hızı değeri $R_k^{th} = 168kbps$ olarak seçilmiştir.



Şekil 3: Memnun kullanıcı yüzdesinin karşılaştırılması.

Şekil 3'de rölesiz durum senaryosu ve kullanıcı-rölelerin kullanıldığı ve üç farklı d^{th} kullanılarak elde edilen senaryo memnun kullanıcı yüzdesi açısından karşılaştırılmıştır. Buradan da gözüktüğü gibi kullanıcı rölelerin kullanılması memnun kullanıcı yüzdesini arttırmıştır. Daha önce de bahsettiğimiz gibi sistemdeki röle adayları herhangi bir eşik değeri kullanmadan ($d^{th} = \infty$) ya da bir eşik değeri kullanılarak sınırlı bir alandan seçilebilir. Şekilde d^{th} sırasıyla 100m, 200m ve ∞ durumları karşılaştırılmış ve bu değerlerin artması ile memnun kullanıcı yüzdesinde de bir artış sağlanmıştır. Fakat d^{th} performans artışının yanı sıra sistemde sinyalleşme yükü artışı da sağlamaktadır. Çünkü d^{th} uzaklığının artması Şekil 4'te gösterildiği gibi kullanıcıların röle aday sayılarının artmasını sağlamakta, bu durum ise sinyalleşme yükünü ve dolayısıyla sistem karmaşıklığını arttırmaktadır. Şekil 3'e bakıldığında d^{th} değerini sonsuza götürmek yani hesaba katmamak memnun kullanıcı yüzdesini $d^{th} = 200m$ durumuna göre %2 oranında arttırmaktadır. Fakat bu durum sinyalleşme yükünü de Şekil 4'e baktığımızda çok yüksek oranda arttırmaktadır. Röle aday sayıları, farklı kullanıcı sayıları için $d^{th} = 100m$ 'de 1-3, $d^{th} = 200m$ için 2-11 ve $d^{th} = \infty$ için 13-52 aralığında

değişmektedir.



Şekil 4: Ortalama röle aday sayılarının karşılaştırılması.

V. SONUÇLAR

Bu çalışmada, DFBÇE tabanlı kullanıcı-röleler ile geliştirilmiş kablosuz ağlarda kullanıcı-röle adaylarının sınırlı bir alanda uzaklık bazlı olarak seçimleri yapılmıştır. Kullanıcı-röle senaryolarındaki röle aday sayılarına bağlı olarak değişen sistem performansı ve sinyalleşme yükü ile oluşan sistem karmaşıklığı arasındaki ödünleşim elde edilen benzetim sonuçları ile ortaya koyularak değerlendirilmeler yapılmıştır. Bu değerlendirmeler sonucunda, kullanıcı-rölelerin sınırlı bir alanda seçilmesinin sistemdeki sinyalleşme yükünü ve dolayısıyla sistem karmaşıklığını çok fazla performans düşümüne yol açmadan azalttığı gözlemlenmiştir.

KAYNAKÇA

- [1] Pabst R. ve diğerleri, "Relay-Based Deployment Concepts for Wireless and Mobile Broadband Radio", IEEE Wireless Communication Magazine, cilt.42, s.80-89, 2004.
- [2] Tehrani M, Uysal M, Yanikomeroglu H. "Device-to-device communication in 5G cellular networks: challenges, solutions, and future directions", IEEE Communications Magazine, cilt. 52, s.86-92, 2014.
- [3] Ng TCY, Yu W. "Joint optimization of relay strategies and resource allocations in cooperative cellular networks", IEEE Journal on Selected Areas in Communications, cilt.25, s.328-339, 2007.
- [4] Han Z, Himsoon T, Siriwongpairat WP, Liu KJR. "Resource allocation for multiuser cooperative OFDM networks: who helps whom and how to cooperate". IEEE Transactions on Vehicular Technology, cilt.58, s.2378-2391, 2009.
- [5] Weng L, Murch RD. "Cooperation strategies and resource allocations in multiuser OFDMA systems", IEEE Transactions on Vehicular Technology, cilt.58, s.2331-2342, 2009.
- [6] Shenghong L, Murch RD. "Realizing Cooperative Multiuser OFDMA Systems with Subcarrier Resource Allocation", IEEE Transactions on Wireless Communications, cilt.12, s.1923-1935, 2013.
- [7] Baştürk İ., Özbek B., Edemen Ç., Tan A. S., Zeydan E. and Ergut S., "Radio Resource Management for OFDMA-Based Mobile Relay Enhanced Heterogenous Cellular Networks", IEEE VTC-Spring, s.1-5, Dresden, 2013.
- [8] Baştürk, İ., Özbek B., Le Ruyet D., "Queue Aware Resource Allocation for OFDMA-Based Mobile Relay Enhanced Networks", ISWCS, s.1-5, Ilmenau, 2013.
- [9] Baştürk, İ., Özbek B., "Radio Resource Management for User-Relay Assisted OFDMA-Based Wireless Networks", International Journal of Electronics and Communications (AEÜ), cilt. 70, s. 643-651, 2016.