

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

(YÜKSEK LİSANS TEZİ)

**CİHAZDAN CİHAZA HABERLEŞME TEKNİĞİNDE
KAYNAK PAYLAŞIM YÖNTEMLERİNİN AĞ
HİZMET KALİTESİ BAKIMINDAN İNCELENMESİ**

Yasemin MİNGAN

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Bilge KARTAL ÇETİN

Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Sunuş Tarihi : 26.12.2018

Bornova-İZMİR

2018

Yasemin MİNGAN tarafından yüksek lisans tezi olarak sunulan "Cihazdan Cihaza Haberleşme Tekniğinde Kaynak Paylaşım Yöntemlerinin Ağ Hizmet Kalitesi Bakımından İncelenmesi" başlıklı bu çalışma EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile EÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesi'nin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve 26.12.2018 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği/oyçokluğu ile başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri:

İmza

Jüri Başkanı

: Dr. Bilge Kartal Çetin




Raportör Üye

: Dr. İlhan BASTIÖZK



Üye

: Prof. Dr. Karim Yeğin



EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Cihazdan Cihaza Haberleşme Tekniğinde Kaynak Paylaşım Yöntemlerinin Ağ Hizmet Kalitesi Bakımından İncelenmesi” başlıklı bu tezin kendi çalışmam olduğunu, sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi, tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını, bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı, bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

26 / 12/ 2018



Yasemin MINGAN

ÖZET**CİHAZDAN CİHAZA HABERLEŞME TEKNİĞİNDE KAYNAK
PAYLAŞIM YÖNTEMLERİNİN AĞ HİZMET KALİTESİ
BAKIMINDAN İNCELENMESİ**

MINGAN, Yasemin

Yüksek Lisans Tezi, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Bilge KARTAL ÇETİN

Aralık 2018, 57 sayfa

Cihazdan Cihaza haberleşme, cihazların baz istasyonu olmadan kaynak paylaşımı yaparak doğrudan haberleşmesidir. Cihazdan Cihaza haberleşme geleneksel haberleşmeye göre yüksek veri hızı ve düşük gecikme sağlamaktadır. Kullanıcılar aynı kaynağı paylaştığından mevcut spektrum daha etkili kullanır fakat kullanıcılar arasında girişim gürültüsü ve güç tahsisi problemi meydana gelir. Kaynak paylaşımı dikgen ve dikgen olmayan kaynak paylaşımı olarak iki şekilde yapılmaktadır. Bu çalışmada, iki kaynak paylaşım yöntemi de incelenecek ve kaynak paylaşım yöntemlerinin spektral verim ve veri hızı açısından karşılaştırılması yapılacaktır. Kaynak paylaşım yöntemlerinin karşılaştırılması doğrusal olmayan optimizasyon yöntemiyle yapılacaktır. Daha sonra elde edilen veriler doğrultusunda daha iyi veri hızı ve spektral verim sağlayan kaynak paylaşım yöntemi için algoritma sunulacaktır. Önerilen algoritma matematiksel modele en yakın optimal değer sağlaması amacıyla iki aşamalı olarak oluşturulmuştur. İlk aşamada Cihazdan Cihaza kullanıcılarının en uygun hücreli kullanıcıyı seçmesi sağlanmıştır. İkinci aşamada ise kaynak paylaşımından dolayı meydana gelen girişim gürültüsünün giderilmesi için kullanıcı güç tahsisi yapılmaktadır. Ayrıca, Cihazdan Cihaza haberleşme yöntemi veri gecikmesi bakımından incelenmiştir. Veri gecikmesi Büyük sapma teorisi, Olasılıksal Lyapunov sapması ve eşleştirme algoritması kullanılarak incelenmiştir. Elde edilen tüm veriler benzetim sonuçlarıyla MATLAB yazılımı ile gösterilmiştir.

Anahtar sözcükler: Cihazdan Cihaza haberleşme, D2D, kaynak paylaşımı, hücreli ağlar, spektrum paylaşımı



ABSTRACT**INVESTIGATION OF RESOURCE SHARING METHODS IN REGARDS
OF NETWORK QUALITY OF SERVICE IN DEVICE TO DEVICE
TECHNIQUE**

MİNGAN, Yasemin

MSc in Department of Electrical and Electronic Engineering

Supervisor: Ass. Prof. Bilge KARTAL ÇETİN

December 2018, 57 pages

Device to Device communication is the direct communication of devices by sharing resources without base station. Device to Device communication provides higher data rate and lower latency than traditional communication. Because of users share the same resource, the current spectrum is more effective but interference noise and power allocation problems occur between users. Resource sharing is done in two ways as orthogonal and non-orthogonal resource sharing. In this study, two resource sharing methods will be examined and the comparison of source sharing methods in terms of spectral efficient and data rate will be compared. Comparison of resource sharing methods will be done by nonlinear optimization method. Then, according to the obtained data, the algorithm will be presented for the source sharing method which better data rate and provides spectral efficiency. The proposed algorithm was created in two stages to provide the optimal value closest to the mathematical model. In the second phase, user power allocation is made to eliminate interference noise caused by resource sharing. In the second phase, user power allocation is made to eliminate interference noise from resource sharing. In addition, Device to Device communication method has been examined for data delay. Data delay was investigated using Large deviation theory, Probability Lyapunov deviation theory and Matching algorithm. All obtained data are shown by MATLAB software with simulation results.

Keywords: Device to Device communication, D2D, resource sharing, cellular networks, spectrum sharing

TEŞEKKÜR

Bu tezi yazmamda bana her daim desteğini esirgemeyen ayrıca birçok noktada verdiği destekten dolayı Bilge KARTAL ÇETİN'e, yüksek lisans sürecinde iş hayatımda sorun yaşatmayan Rafet ÖNGÖÇMEN'e ve değerli TÜBİTAK kurumuna, bu günlere gelmemde her türlü beni destekleyen aileme ve Burak GÜZELCE'ye, bu tezi yazmamda bana ışık tutan değerli bilim adamlarına ve akademisyenlere sonsuz teşekkürler.



İÇİNDEKİLER

| | <u>Sayfa</u> |
|---|--------------|
| ÖZET | vii |
| ABSTRACT | ix |
| TEŞEKKÜR | xi |
| İÇİNDEKİLER | xiii |
| ŞEKİLLER DİZİNİ | xv |
| TABLolar VE ÇİZELGELER DİZİNİ | xvii |
| KISALTMALAR DİZİNİ | xix |
| SİMGELER DİZİNİ | xxi |
| 1 GİRİŞ | 1 |
| 2 YAPILAN ÇALIŞMALAR | 5 |
| 2.1 Spektrum Paylaşımı..... | 5 |
| 2.1.1 İç Bant (Inband) Spektrum Paylaşımı | 5 |
| 2.1.2 Dış Bant (Outband) Spektrum Paylaşımı | 8 |
| 2.2 Kaynak Paylaşım Yöntemleri | 10 |
| 2.3 Veri Gecikme Yaklaşım Türleri..... | 14 |
| 3 CİHAZDAN CİHAZA HABERLEŞME | 17 |
| 3.1 Kaynak Paylaşım Yöntemlerinin Tanımlanması..... | 17 |
| 3.1.1 Dikgen Kaynak Paylaşım Yöntemi..... | 17 |
| 3.1.2 Dikgen Olmayan Kaynak Paylaşım Yöntemi | 18 |
| 3.1.3 Matematiksel Formülasyon ve Sistem Modeli | 18 |
| 3.2 Veri Gecikme Yaklaşım Türlerinin Tanımlanması | 22 |
| 3.2.1 Büyük Sapma Teorisi..... | 24 |
| 3.2.2 Olasılıksal Lyapunov Sapması | 26 |
| 3.3 Kanal Modelleri | 28 |
| 3.3.1 Yol Kaybı (Pathloss)..... | 28 |

İÇİNDEKİLER (devam)

| | | |
|-------|--|----|
| 3.3.2 | Gölgeleme(Shadowing)..... | 29 |
| 3.3.3 | Çoklu Yol Kaybı (Multipath) | 30 |
| 4 | PERFORMANS ANALİZİ | 33 |
| 4.1 | Kaynak Paylaşım Yöntemlerinde Güç Tahsisi ve Verim | 33 |
| 4.2 | Olasılık Temelli Model ve Hazırlanan Algoritma | 36 |
| 4.3 | Kaynak Paylaşım Yöntemlerinin Karşılaştırılması | 38 |
| 4.4 | Hazırlanan Algoritma ve Olasılık Temelli Modelin Karşılaştırılması | 43 |
| 4.5 | Veri Yaklaşım Türlerinin Karşılaştırılması | 47 |
| 5 | SONUÇ | 51 |
| 6 | KAYNAKÇA | 53 |
| | ÖZGEÇMİŞ | 57 |

ŞEKİLLER DİZİNİ

| <u>Şekil</u> | <u>Sayfa</u> |
|---|--------------|
| 2.1 Spektrum paylaşmaları | 5 |
| 3.1 Kaynak paylaşım yöntemleri | 17 |
| 3.2 Dikgen kaynak paylaşım yöntemi | 18 |
| 3.3 Dikgen olmayan kaynak paylaşım yöntemi | 18 |
| 3.4 D2D haberleşme ağ topolojisi | 19 |
| 3.5 D2D haberleşme durumunda oluşan bölgeler | 21 |
| 3.6 Gecikme sistem modeli (Junchao et al., 2017) | 23 |
| 3.7 İki ağ düğümü (alıcı ve verici) arasındaki radyo kanalı (Raj, 2018) | 29 |
| 3.8 Gölgeleme (Raj, 2018)..... | 30 |
| 3.9 Çoklu yol kaybı (Raj, 2018) | 30 |
| 3.10 Yol kaybı, gölgeleme ve çoklu yol (Goldsmith2005, Raj, 2018) | 31 |
| 4.1 CU ve D2D kullanıcıları için optimal güç tahsisi (Daquan et al., 2013) | 34 |
| 4.2 Aşağı yönlü iletişim modunda kullanıcıların rastgele dağılımı | 39 |
| 4.3 CU sayısına göre NOS ve OS yöntemleri..... | 40 |
| 4.4 D2D çiftleri arasındaki mesafeye göre NOS ve OS yöntemleri | 41 |
| 4.5 D2D çifti sayısına göre NOS ve OS yöntemleri | 41 |
| 4.6 D2D çifti veri hızı için NOS ve OS yöntemleri..... | 42 |
| 4.7 Hücreli kullanıcı veri hızı için NOS ve OS yöntemleri..... | 43 |
| 4.8 CU sayısına göre olasılık temelli model ve hazırlanan model..... | 44 |
| 4.9 D2D çiftleri arasındaki mesafeye göre olasılık temelli model ve hazırlanan model .. | 45 |

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

| <u>Şekil</u> | <u>Sayfa</u> |
|--|--------------|
| 4.10 D2D çifti sayısına göre olasılık temelli model ve hazırlanan model | 45 |
| 4.11 D2D çifti veri hızı için olasılık temelli model ve hazırlanan model | 46 |
| 4.12 Hücresele kullanıcı veri hızı için olasılık temelli model ve hazırlanan model | 47 |
| 4.13 Ortalama paket gecikmesi | 48 |



TABLULAR VE ÇİZELGELER DİZİNİ

| <u>Tablo</u> | <u>Sayfa</u> |
|--|--------------|
| 4.1: Olasılık temelli model için kullanıcıların eşleştirilmesi | 37 |
| 4.2: Hazırlanan Algoritma için kullanıcıların eşleştirilmesi..... | 38 |
| 4.3: Benzetim parametreleri..... | 39 |





KISALTMALAR DİZİNİ

| <u>Kısaltmalar</u> | <u>Açıklama</u> |
|--------------------|-----------------------------------|
| D2D | : Cihazdan Cihaza haberleşme |
| QoS | : Hizmet Kalitesi |
| CU | : Hücresel kullanıcılar |
| BS | : Bas istasyonu |
| SINR | : Sinyal gürültü ve girişim oranı |
| AWGN | : Toplanır Beyaz Gaussian gürültü |
| OS | : Dikgen kaynak |
| NOS | : Dikgen olmayan kaynak |
| QSI | : Kuyruk durum bilgisi |
| CSI | : Kanal durumu bilgisi |
| MDP | : Markov karar süreci |
| CMDP | : Kısıtlı Markov karar süreci |
| LOS | : Görüş alanı |



SİMGELER DİZİNİ

| Simgeler | Açıklama |
|-------------------|--|
| $g_{i,BS}$ | : BS ile CU kullanıcısının kanal kazancı |
| $\xi_{i,BS}$ | : Exponensiyel dağılım ile hızlı solma kazancı |
| $\delta_{i,BS}$ | : Log-normal dağılım ile yavaş solma kazancı |
| $L_{i,BS}$ | : CU ve BS arasındaki mesafe |
| g_j | : D2D çiftleri arasındaki kanal kazancı |
| $h_{j,BS}$ | : BS ile D2D kullanıcısının kanal kazancı |
| $h_{i,j}$ | : D2D kullanıcısı ile CU kullanıcısının arasındaki kanal kazancı |
| σ^2 | : Her kanal için Toplanır Beyaz Gaussian gürültü |
| P_{max}^c | : CU kullanıcısının alabileceği maksimum iletilen güç |
| P_{max}^d | : D2D kullanıcısının alabileceği maksimum iletilen güç |
| ε_i^c | : Hücresel kullanıcı için SINR |
| ε_j^d | : D2D çifti için SINR |
| α_k | : ON durumunda Poission varış oranı |
| A_k | : k kuyruklu sistemde kuyruk miktarı |
| C_k | : Kümülatif servis paketi |
| W_k^{max} | : En kötü gecikme için sınır |
| P_t | : İletilen gücü |
| P_r | : Alınan gücü |
| G_r | : Alıcı antenin kazancı |
| G_t | : İleten antenin kazancı |



1 GİRİŞ

Günümüzde yüksek miktarda trafiğin oluşmasına neden olan internet, hücresel ağ, kablosuz ağ gibi iletişim ağları kullanılmaktadır. 2020 yılından itibaren çok fazla hücresel kullanıcının ve hücresel ağlarda kullanıcı veri trafiğinin çok fazla olacağı tahmin edilmektedir. Çok fazla hücresel kullanıcının olması daha yüksek veri hızları, daha az gecikme, gelişmiş sistem kapasitesi ve yüksek verim ihtiyaçlarını karşılayacak yeni teknolojilerin gelişmesine yol açmaktadır. Ayrıca bu teknolojilerin daha yüksek veri oranı ve daha iyi bir Hizmet Kalitesi (QoS - Quality of service) sağlaması beklenmektedir.

Mevcut teknolojiler hücresel ağlarda iyi bir hizmet kalitesi sunmaktadır. Fakat gelecekte git gide artan kapasiteyi karşılayamayacaktır. 2020' de hayata geçirilmesi planlanan beşinci nesil (5G) hücresel iletişim ağ teknolojisi için yeni yöntemler araştırılmaktadır. Bu arayışın bir sonucu olarak yüksek veri hızı ihtiyacını karşılayacak olan Cihazdan Cihaza (D2D – Device to Device) haberleşme tekniği ortaya çıkmıştır.

Cihazdan Cihaza haberleşme, hücresel kullanıcıların BS olmadan birbiriyle doğrudan haberleşmesidir. D2D haberleşme, yakın mesafedeki hücresel kullanıcılar arasında doğrudan iletişime izin vereceğinden geleneksel haberleşmeye göre daha yüksek verim ve daha düşük bir gecikme sağlar.

D2D haberleşme tekniği, hücresel ağ şebekesinde yükün azalmasına ve genel ağ kapasitesinin iyileştirmesinde de etkili olmaktadır. D2D kullanıcıları hücresel kullanıcılar (CU – Cellular user) ile aynı kaynağı paylaşacağından mevcut spektrum daha etkili kullanılmış olunacaktır. Cihazlar arasındaki haberleşme daha düşük iletim gücü ile elde edilebilmekte ve iletim gücünde daha iyi bir enerji verimliliğine yol açmaktadır. Bunların yanı sıra D2D haberleşme kullanıcı hakkaniyeti (fairness), daha iyi bir hizmet kalitesi (QoS) gibi birçok avantaj sağlamaktadır.

D2D haberleşmenin kullanılması, hücresel ağda bu teknolojinin sağladığı avantajlardan yararlanılmasını mümkün kılacaktır. Ancak, D2D haberleşme güç kontrolü, kaynak tahsisinin optimizasyonu ve hücresel ağda kullanıcıların nasıl bir yerleşim yapması gerektiği gibi yeni sorunları ortaya çıkaracaktır. D2D haberleşme

için bir diğer önemli dezavantaj ise hücrel kullanıcılarının ve D2D kullanıcılarının kaynak paylaşımı yapmasından dolayı kullanıcılar arasında girişim gürültüsü probleminin oluşmasıdır. Kanal kapasitesinin ve spektral verimliliğin artırılması için oluşan bu girişim gürültüsünün belli bir eşik değerinde tutulması gerekmektedir. Böylelikle hücrel kullanıcıların ve D2D kullanıcılarının birlikte çalışması sağlanır. D2D haberleşmede oluşan bu problemlere rağmen hücrel haberleşmeye göre daha düşük iletim gücü, daha iyi spektral etkinlik ve kanal kapasitesi sağladığı literatürdeki birçok çalışmada ortaya konulmuştur (Asadi et al., 2014; Jiajia et al., 2015; Furqan et al., 2018; Rawan et al., 2014).

Bu çalışmada, D2D haberleşme teknolojisi kullanılarak spektral verimlilik, kanal kapasitesi ve gecikme hassasiyeti bakımından ağın iyileştirilmesi amaçlanmıştır. D2D haberleşme bu iyileştirmeleri sağlamak için hücrel kullanıcılar ve Cihazdan Cihaza kullanıcıları arasında kaynak paylaşım yöntemlerini kullanmaktadır. Yaptığımız çalışmada, bu haberleşmede kullanılan hem dikgen kaynak paylaşımı yöntemi hem de dikgen olmayan kaynak paylaşım yöntemi incelenecektir. Ağ senaryosu için birden fazla kullanıcının yer aldığı ve girişim gürültüsünün daha az etkilenmesini sağlamak amacıyla hücrel kullanıcılar ile Cihazdan Cihaza kullanıcılarının bire bir eşleşmesinin sağlandığı senaryo ele alınacaktır. Ayrıca gecikme hassasiyetinin iyileştirilmesi için Büyük Sapma Teorisi (Large Deviation Theory), Olasılıksal Lyapunov Sapması (Stochastic Lyapunov Drift) ve eşleştirme algoritması sunulacaktır.

D2D haberleşme teknolojisinde kaynak paylaşımı yapıldığından ortaya çıkan güç kontrolü ve girişim gürültüsü problemleri ele alınarak kaynak tahsisi yapılacaktır. En iyi veri hızını veren uygun iletilici güç değerlerini bulmak amacıyla problem doğrusal olmayan optimizasyon programı olarak (nonliner optimizastion programming) formüle edilecektir. Daha sonra, yüksek spektral etkinlik elde etmek amacıyla hücrel kullanıcıların ve Cihazdan Cihaza kullanıcıların en iyi şekilde eşleştirilmesi yapılarak girişim gürültüsünün azaltılması sağlanacaktır. Kaynak paylaşım yöntemlerinin karşılaştırılması matematiksel modelleme yardımı ile benzetim sonuçları ile gösterilecektir. Elde edilen benzetim sonuçları ile spektral etkinlik bakımından daha iyi sonuç veren kaynak paylaşım yöntemi için iki aşamalı bir algoritma sunulacaktır. Algoritmanın ilk aşamasında kullanıcıların eşleştirme problemi ele alınırken, ikinci aşamasında optimal kullanıcı güç tahsisi yapılacaktır.

Bunun yanı sıra önerilen algoritma üzerinden gecikme hassasiyeti incelenecektir. Ayrıca, yapılan tüm benzetim çalışmaları MATLAB yazılımı ile elde edilmiştir.

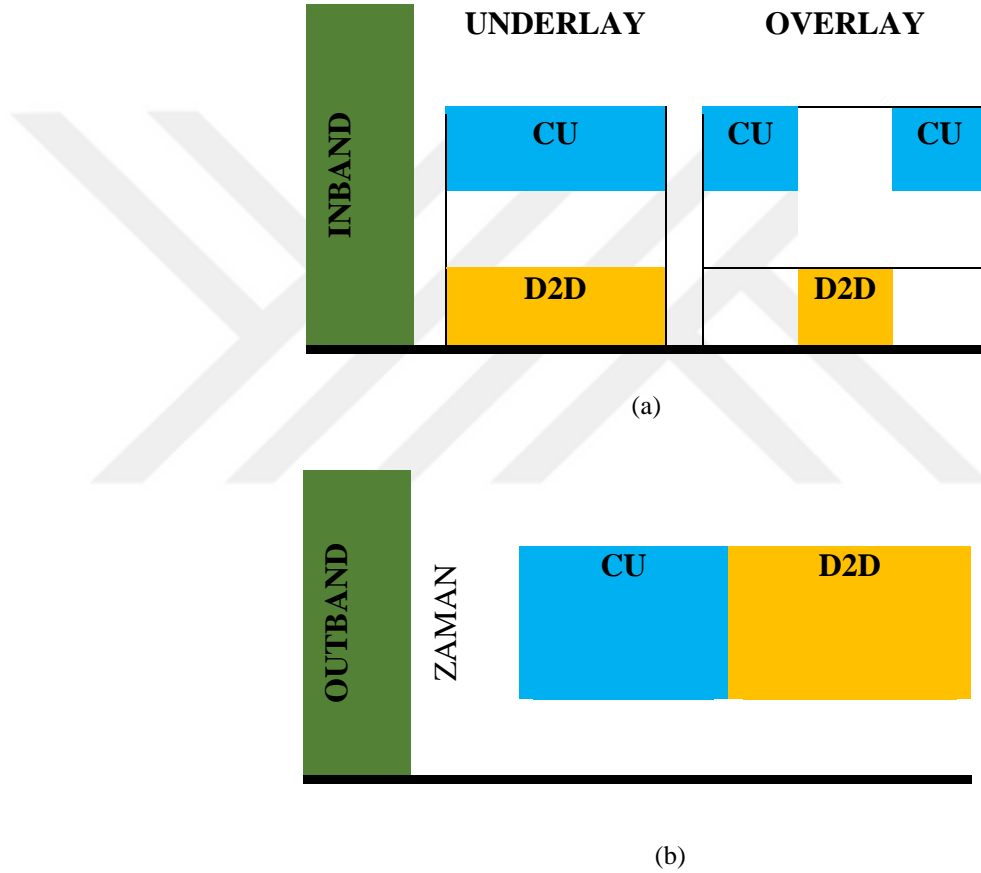
Bu çalışma aşağıdaki gibi şekillendirilmiştir. 2. bölümde D2D haberleşme ile ilgili daha önce yapılan çalışmalar incelenmiştir. 3. bölümde D2D haberleşme kaynak paylaşım yöntemleri ve veri gecikme yaklaşım türleri hakkında detaylı açıklamalar yapılacaktır. 4. bölümde, D2D haberleşme senaryosu ve tanımlanan optimizasyon problemi sunulmuştur. Optimizasyon probleminin çözümlenmesi sonucu elde edilen sonuçlar yardımıyla D2D senaryosu benzetim yöntemiyle ağ hizmet kalitesi bakımından incelenmiş ve farklı kriterler için performans analizi gerçekleştirilmiştir. Ve son olarak 5. bölümde yapılan çalışmalarla ilgili sonuçlar ve gelecek çalışmalar hakkında bilgiler sunulmuştur.



2 YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1 Spektrum Paylaşımı

Cihazdan-cihaza haberleşme sistemi için kaynak paylaşım spektrumları kullanılmaktadır. Bu spektrum paylaşımları, iç bant (inband) ve dış bant (outband) olmak üzere iki şekilde sınıflandırılmakta ve iç bant ve dış bant spektrum paylaşımı Şekil 2.1’de gösterildiği gibidir.



Şekil 2.1 Spektrum paylaşımları (a) İç bant spektrum paylaşımı (b) Dış bant spektrum paylaşımı

2.1.1 İç Bant (Inband) Spektrum Paylaşımı

İç bant, bir kullanıcının iletişim yapmak istediğinde baz istasyonundan izin alması gerekmekte olduğu (licensed) bir spektrum paylaşımıdır (Asadi et al., 2014; Doppler et al., 2009). İç bant spektrum paylaşımında, hücresel spektrum baz istasyonu tarafından rahatlıkla kontrol edilebilmektedir. Ayrıca, iç bant spektrum

paylaşımı yüksek spektral etkinlik sağlamaktadır. İç bant sağladığı bu avantajlarından dolayı genellikle tercih edilmektedir.

İç bant, aynı kanalın eşzamanlı paylaşımı (underlay) ve kaynağın belli oranda zaman bölgesinde veya frekans bölgesinde paylaşımı (overlay) olarak ikiye ayrılmaktadır. Kaynağın eşzamanlı paylaşımında, CU ile D2D kullanıcısı spektrum paylaşımı için aynı kaynağı kullanırken, kaynağın oransal paylaşımında D2D kullanıcısına alıcı ve verici arasında doğrudan iletişimi sağlayacak şekilde hücrel kaynaklar ayrılmış olarak verilir. Eşzamanlı paylaşımli sistemlerde hücrel kullanıcılar kaynağı aynı anda kullandığından oransal paylaşımli sistemlere göre daha fazla spektral verimlilik sağlamaktadır. Eşzamanlı paylaşımli sistemlerde hücrel kullanıcılar kaynağı aynı anda kullandığından girişim gürültüsü problemi oluşurken, oransal paylaşımli sistemlerde ise hücrel kaynaklar boşa harcanabilmektedir (Asadi et al., 2014).

Eşzamanlı paylaşımli sistemlerde hücrel kullanıcılar kaynağı aynı anda kullandığından girişim gürültüsü problemi ortaya çıkmaktadır. Girişim gürültüsü problemin çözümü için kaynak paylaşım yöntemleri kullanılmaktadır. Daha önce yapılan birçok çalışmada, girişim gürültüsünün giderilmesi ile hücrel spektral etkinliğin artırıldığı nümerik ve benzetim sonuçları ile gösterilmiştir (Xu et al., 2010; Zhang et al., 2012; Min et al., 2011; Doppler et al., 2010).

Xu et al. (2010) yaptıkları çalışmada, girişim gürültüsünün azaltılması için kullanıcıların yerleşim düzeni ele almışlardır. Bunun için yazarlar hücrel kullanıcıların kanalını dinlemiş ve kullanıcıların SINR değerlerini ölçmüşlerdir. Eğer ölçülen SINR değeri daha önce belirlenen bir eşik (threshold) değerinden daha büyükse BS rapor vermektedir. BS tarafından verilen rapor sayesinde, işgal edilen kaynak bloklarında hücrel kullanıcılarının planlanması engellenmiş olunur. Böylece, D2D kullanıcıları ile CU arasındaki kaynak bloklarında oluşan girişim gürültüsü azaltılmış olunur. Elde edilen benzetim sonuçları ile girişim gürültüsünün azaltılması ile kazancın arttığı gösterilmiştir.

Zhang et al. (2012) yaptıkları çalışmada, D2D iletişim için grafik-tabanlı (graph-based) bir kaynak paylaşım yöntemini önermişlerdir. Yazarlar, kaynak paylaşımını NP-Hard olarak tanımlanan doğrusal olmayan bir problem şeklinde formüle etmişlerdir. Grafik-tabanlı kaynak paylaşım yönteminde, her köşe bir

bağlantıyı (D2D veya hücrese) temsil ederken, her bir kenar iki bağlantı arasındaki potansiyel etkileşimi göstermektedir. Ayrıca grafik-tabanlı kaynak paylaşım yöntemi ile ağı girişim gürültüsü ve kapasitesi hesaplanmaktadır. Yapılan benzetim sonuçları ile grafik tabanlı sistemin verimi artırdığı gösterilmektedir.

Min et al. (2011) yaptıkları çalışmada, girişim gürültüsünün giderilmesi için iletişim gücünü sınırlandırma yöntemini işlemişlerdir. Bu yöntemde, D2D kullanıcılarının girişim gürültüsü kontrol edilmeden D2D kullanıcılarının iletişim gücünün sınırlandırılması ele alınmıştır. Böylece, CU ile D2D kullanıcısı arasındaki girişim gürültüsünden kaçınılmıştır. Ayrıca hiçbir CU'nun D2D çifti ile aynı kaynağı kullanmadığı ve girişim gürültüsünün sınırlı olduğu bir alan tanımlanmıştır. Bu sistemde, kullanıcılar arasında girişim gürültüsü olmamasına rağmen kullanıcıların BS'na yerleşimi zor olduğundan çok kullanıcıli sistemler için dezavantajdır.

Doppler et al. (2010) yaptıkları çalışmada, girişim gürültüsünün giderilmesi için LTE-A hücrese ağlarında CU veya D2D kullanıcılarının seçim problemini ele almışlardır. Bunun için kullanıcıların her durumdaki ulaşılabilir iletim hızını tahmin eden kanal ölçümleri kullanılmıştır. Böylelikle tahmin edilen bu iletim hızından sonra, her kullanıcı bir sonraki seçimde iletim hızı daha yüksek olan modu seçecektir. Böylece mod seçim yöntemi ile girişim gürültüsü kontrol edilerek spektral etkinlik artırılmış olur.

Kaynağın belli oranda paylaşımı olan sistemlerde, CU ve D2D kullanıcılarına kaynaklar belli oranda ayrılmış şekilde verilir. Kullanıcılara kaynaklar ayrılmış şekilde verildiğinden, girişim gürültüsü problemi oluşmamakta fakat hücrese iletişim için ulaşılabilir kaynak miktarı azdır. Ayrıca kaynağın belli oranda paylaşımli sistemler, kaynağın eş zamanlı olarak paylaşımli olan sistemlere göre daha düşük spektral etkinlik sağlamaktadır. Fakat kaynağın belli oranda paylaşımli sistemler, geleneksel iletişime göre daha fazla spektral etkinlik sağlamaktadır. Zhou et al., (2013) Li et al. (2012) ve Fodor et al.'da (2010) yapılan çalışmalarda kaynağın belli oranda paylaşımı olan sistemlerdeki spektral etkinliğin iyileştirilmesi ile ilgili çalışmalar yapılmıştır.

Fodor et al. (2010) yaptıkları çalışmada, hücrese ağlardaki iletişim için D2D iletişimi önermekte ve D2D iletişimde meydana gelen zorluklar için öneriler

sunmuşlardır. Onlar düşük spektral etkinlik probleminin kullanıcıların eşleştirilmesi, mod seçimi, kanal kalitesinin tahmini ve güç kontrolü ile çözülebileceğini iddia etmektedirler. Geleneksel bir kullanıcıların eşleştirilmesi yönteminde, D2D kullanıcıları kısa aralıklarla işaretler göndermeli ve çok enerji tüketen çoklu kanalları takip etmelidir. Kullanıcıların eşleştirilmesi yönteminin daha verimli hale gelmesi için D2D kullanıcıları tarafından gönderilen işaretler BS tarafından düzenlemeli ve yönetmelidir. Böylece, D2D kullanıcıları güç tüketen rastgele algılama prosedürünü takip etmek zorunda kalmayacaktır. Aynı zamanda BS yardımı, D2D parazitini azaltan programı ve güç kontrolünü geliştirir.

Li et al. (2012) yaptıkları çalışmada, D2D iletişimi için yayın artırımı geçiş modunu (incremental relay mode) ele almışlardır. Bu yayın artırımı geçiş modunda, D2D vericileri hem D2D alıcısına hem de BS' na çoklu yayın göndermektedir. Eğer D2D iletiminde başarısızlık olursa, BS çoklu yayın mesajını D2D alıcısına geri iletir. Bu nedenle, yayın artırımı geçiş modu D2D iletişimdeki kesinti olasılığını azaltır. Bu çalışmada yazarlar, D2D iletişimin başarısız olması durumunda BS çoklu yayın mesajını D2D alıcısına geri ilettiği için yayın artırımı geçiş modunun verimi arttırdığını iddia etmişlerdir. Yayın artırımı geçiş modu yeniden iletimde, aşağı yönlü (dowlink) kaynaklarının bir kısmını tüketmekte fakat benzetim sonuçları verimin arttığını göstermektedir.

Zhou et al. (2013) yaptıkları çalışmada, hücresele ağlarda çoklu yayın performansını artırmak için D2D iletişimi ele almışlardır. Çoklu yayındaki bazı kullanıcılar bazı verileri kablosuz ağlardaki kanal çeşitliliğinden dolayı doğru olarak almayabilir. Bu problemden dolayı yazarlar, çoklu yayındaki kümeleme için D2D iletişimi önermişlerdir. Çoklu iletimin yapılmasından sonra mesaj ileti kodunu çözmeyi başaran bazı kullanıcılar, ileti kodunu çözemeyen bazı kullanıcılara yeniden iletir. Benzetim sonuçları D2D iletişimin hücresele iletişime göre daha iyi bir spektral etkinlik sağladığı görülmüştür.

2.1.2 Dış Bant (Outband) Spektrum Paylaşımı

Dış bant, bir kullanıcının iletişim yapmak istediğinde baz istasyonundan izin alması gerekmekte olmadığı (unlicensed) spektrum paylaşımıdır (Asadi et al., 2014). Dış bant spektrum paylaşımında, D2D kullanıcıları ve CU arasında girişim gürültüsü oluşmamaktadır. Kullanıcılar arasında girişim gürültüsü oluşmadığından

genellikle tercih edilmektedir. Fakat dış bantın kullanımında ekstra bir ara yüz gerekir ve genellikle WiFi Direct (Alliance W., 2010), ZigBee (Alliance Z., 2006) veya Bluetooth (Bluetooth S., 2001) gibi diğer kablosuz teknolojiler kullanılır. Dış bant spektrum paylaşımı, hücrel ağ tarafından yönetilebilen (controlled) ve kendi başına çalışabilen (autonomous) olarak iki ana grupta sınıflandırılır.

Hücrel ağ tarafından yönetilebilen spektrum paylaşımında, spektral etkinin artırılması için bazı çalışmalar yapılmıştır (Zhou B et al., 2013; Ji M et al., 2013).

Zhou B et al. (2013) yaptıkları çalışmada, LTE sistemlerdeki D2D iletişim için ISM bant kullanımını önermişlerdir. Yazarlar hem D2D hem de WLAN kullanıcılarını içeren eşzamanlı kanallarda, ağ performansının önemli ölçüde azalabileceğini belirtmektedirler. Bu yüzden, D2D kullanıcılarını QoS gereksinimlerine göre gruplandırmışlar ve her bir WiFi kanalında sadece bir tane kullanıcının yer almasına izin verilecek şekilde oluşturmuşlardır. Ayrıca, gruplar arasında algılanan kanalın, aynı anda grupların aynı kanalı algılamayacak şekilde olmasını sağlamışlardır. Yazarlar, yaptıkları benzetim çalışmaları ile önerilen sisteminin verimi artırdığını göstermişlerdir.

Ji M et al. (2013) yaptıkları çalışmada, video iletiminin iyileştirilmesi için hücrel ağlarda D2D iletişim kullanılan bir yöntem önermişler. Bu yöntem, mobil cihazlardaki video önbelleğini ve D2D iletişimi birleştirerek eş zamansız içeriğin yeniden kullanımından yararlanmaktadır. Buradaki amaç, kesinti olasılığı ile sınırlandırılmış kullanıcıların verimini en üst düzeye çıkarmaktır. Burada cihazların birbirleriyle belirli bir veri hızı ile iletişim kurduğu ve D2D iletişimde güç kontrolünün olmadığı varsayılmaktadır. Yaptıkları çalışmanın benzetim sonuçlarında önerdikleri yöntemin verimi artırdığı gösterilmiştir.

Kendi başına çalışabilen spektrum paylaşımında, D2D iletişimi kullanıldığında hücrel kullanıcı ağlarının yükü azalmaktadır. Ayrıca, bu spektrum paylaşımında BS'da herhangi bir değişiklik gerektirmemektedir. Kendi başına çalışabilen spektrum paylaşımı ile ilgili Wang Q et al'da (2013) çalışmalar yapılmıştır.

Wang Q et al (2013) yaptıkları çalışmada, bir aşağı yönlü (downlink) BS-geçirgen gönderim politikası önermişler. Bu politikada, kullanıcılar BS' da

oluşan birikimleri dengelemek için birbirleri arasında trafik talepleri yaymaktadır. Burada kullanıcıların trafiğinin dinamik olduğu varsayılmaktadır. Gönderim politikası için iki kullanıcı bir sistem düşünülmüştür. Yapılan benzetim sonuçları ile oluşturulan politikanın geleneksel hücresele iletişime göre daha iyi verim elde ettiği gösterilmiştir.

İç bant spektrum paylaşımında, kullanıcılar arasında girişim gürültüsü oluşmasına rağmen dış bantta göre daha iyi spektral verim sağlamaktadır. Ayrıca, iç bant spektrum paylaşımı BS tarafından rahatlıkla kontrol edilmekte ve dış bant spektrum paylaşımında olduğu gibi ekstra bir ara yüze gerek duymamaktadır. Bu yüzden, bu çalışmada kaynağın eşzamanlı spektrum paylaşımı ele alınmıştır.

2.2 Kaynak Paylaşım Yöntemleri

Son dönemlerde hücresele ağlarda daha yüksek veri oranı, artan spektrum tıkanıklığı ve daha iyi spektral verimlilik gibi ihtiyaçlarının ortaya çıkmasından dolayı yeni bir teknoloji olan D2D haberleşme teknolojisinin önemi artmıştır. D2D haberleşme teknolojisi, yer alan senaryodaki hizmetleri iyileştirmek ve daha iyi bir spektral kullanım sağlamak için kullanıcılar arasında kaynak paylaşım yöntemlerini kullanmaktadır. D2D haberleşme kaynak paylaşım yöntemi, dikgen kaynak paylaşımı ve dikgen olmayan olarak ikiye ayrılmaktadır. Her iki kaynak paylaşım yönteminde de D2D çifti, BS üzerinden iletişim sağlayan hücresele kullanıcının kaynağını kullanmaktadır.

Dikgen kaynak (OS) paylaşım yönteminde, kaynağın belli bir kısmı D2D çiftine ve kaynağın geri kalan kısmı CU için ayrılmaktadır. Dikgen olmayan kaynak (NOS) paylaşım yönteminde ise D2D çifti ile CU kaynağı eşzamanlı olarak paylaşmaktadır (Klaus et al., 2013). OS yönteminde kullanıcılara kaynaklar ayrılmış şekilde verildiğinden kullanıcılar arasında girişim gürültüsü meydana gelmemekte, NOS yönteminde ise kullanıcılar kaynağı eş zamanlı olarak paylaştığından kullanıcılar arasında girişim gürültüsü oluşmaktadır. NOS yönteminde kullanıcılara arasında girişim gürültüsü oluşmasına rağmen OS yöntemine göre daha iyi spektral verimlilik sağlamaktadır (Klaus et al., 2013). D2D haberleşme kaynak paylaşım yöntemleriyle ilgili daha önce birçok çalışma yapılmıştır (Klaus et al., 2011; Daquan et al., 2013, 2016; Haitham et al., 2016; Xue

et al., 2015; Ajay and Samar, 2016; Li et al., 2017; MD. Yeaku et al., 2017; Ruhallah et al., 2018).

Klaus et al. (2011) yaptıkları çalışmada, D2D haberleşmedeki dikgen ve dikgen olmayan kaynak paylaşım yöntemlerini ele almışlar. Güç ve spektral verimlilik kısıtlamalarının yerine getirildiği, kaynak paylaşım yöntemlerinin optimize edilmesi amaçlanmıştır. Maksimum optimizasyon için güç ve enerji kısıtlamaların olduğu, minimum iletim hızını garanti eden hücresele kullanıcılar seçilmiştir. Optimum güç kontrolü hem tek hücreli hem de çok hücreli bir senaryoda değerlendirilmiş olup, çok hücreli senaryo için WINNER II A1 ofis binaları ve Manhattan ızgarası uygulanmıştır. Yapılan benzetim sonuçlarına göre kaynak paylaşım yöntemlerinin geleneksel iletişime göre daha iyi verim elde ettiği ve dikgen olmayan kaynak paylaşım yönteminin dikgen olan kaynak paylaşım yöntemine göre daha yüksek spektral verimlilik sağladığı gösterilmiştir.

Daquan et al. (2013) yaptıkları çalışmada, ağ verimini artırmak için hem CU hem de D2D kullanıcısının QoS gereksinimlerini garanti eden kaynak paylaşım yöntemi üzerinde durmuşlar. Bunun için yazarlar üç aşamalı algoritma önermişlerdir. Öncelikle QoS gerekliliklerine duyarlı giriş kontrol durumları belirlenmiş ve CU ile D2D çiftleri için optimal güç kontrolü yapılmıştır. Daha sonra ağ veriminin en üst seviyeye çıkarılması için D2D çiftinin en uygun CU ile eşleşmesi sağlanmıştır. Ayrıca kaynak paylaşımından dolayı meydana gelen girişim gürültüsü kontrolü de yapılmıştır. Benzetim sonuçlarında önerilen planın ağ verimi ve D2D erişim hızı açısından iyi performans sağladığı gösterilmiştir.

Haitham et al. (2016) yaptıkları çalışmada, D2D haberleşme yöntemini kullanarak hücresele ağlarda spektral verimin ve erişim oranının (Access rate) iyileştirilmesini amaçlamışlar. Bu amaç doğrultusunda QoS kontrolünün dikkate alınması, güç kontrolünün yapılması ve kullanıcılarının maksimum eşleştirmesinde optimum sonuç sağlayan iki aşamalı bir algoritma önerilmiştir. Algoritmanın ilk aşamasında CU'nun birden fazla D2D çiftiyle eşleşmesini mümkün kılan bir kanal seti oluşturulmuş ve ikinci aşamasında Lagrangian çift ayrışma yöntemiyle güç kontrolü yapılmıştır. Hücresele ağda daha yüksek verim sağlamak için oluşturulan algoritmalar eş zamanlı olarak tasarlanmıştır. Yapılan çalışmalar benzetim sonuçlarıyla gösterilmiş olup, elde edilen verilerde hücresele ağda iyileştirme sağlandığı gösterilmiştir.

Daquan et al. (2016) yaptıkları çalışmada, D2D haberleşme teknolojisinde ağ verimini iyileştirmek ve QoS gereksinimlerini sağlamak amacıyla kaynak paylaşım yöntemi üzerinde durmuşlar. D2D çifti ve CU'ya ayrılacak olan kaynak tahsisi için kanal istatistikleri kullanılan olasılık temelli bir yöntem izlenmiştir. Öncelikle kanal istatistikleri ile D2D çifti ve CU arasındaki mesafenin artırılması sağlanmıştır. Daha sonra, hücrel kullanıcılar da meydana gelen girişim gürültüsünün daha az olması için en fazla bir tane D2D çiftinin bir tane CU ile eşleşmesine izin verilmiştir. Ayrıca, D2D haberleşmede kanal belirsizliğinin giderilebilmesi için kanal durum bilgisi (CSI) geri bildirim şemasıyla ilgili çalışmışlardır. CSI, D2D çiftleri ile CU arasındaki haberleşmeyi yönetebilmek ve ağ performansının iyileştirmesini sağlayabilmek için kullanılır. Bu sebeple, CSI geri bildirimdeki aşırı yükü azaltılabilmek için geri bildirim algoritması önerilmiştir. Yüksek ağ performansı elde etmek amacıyla önerilen olasılıksal kaynak tahsisi yöntemi ve CSI geri bildirim şeması birlikte kullanılmıştır. Elde edilen verilerin sayısal sonuçlarında hücrel ağda yüksek performans iyileştirilmesinin sağlandığı gösterilmiştir.

Xue et al. (2015) yaptıkları çalışmada, D2D haberleşme için kaynak paylaşım ve mod seçim algoritmaları oluşturmuşlar. Algoritmada, D2D kullanıcılarının kanal durumuna göre kullanıcıların doğrudan veya BS üzerinden iletişim sağlayabilme seçeneği sunulmaktadır. Ayrıca, bu algoritmada kullanıcı güçleri ve QoS gereklilikleri dikkate alınıp hem D2D kullanıcılarının hem de CU'nun verimi iyileştirilmeye çalışılmıştır. Yazarlar yaptıkları çalışmanın kaynak paylaşımı açısından daha düşük hesaplama karmaşıklığına sahip olduğunu iddia etmekte ve yapılan çalışmalar benzetim sonuçlarıyla gösterilmiştir.

Ajay and Samar (2016) yaptıkları çalışmada, çoklu D2D çiftlerinin ve çoklu CU'nun QoS gerekliliklerini garanti eden kaynak paylaşım stratejisi üzerine çalışmışlar. Kaynak paylaşımı yapıldığında D2D kullanıcısı ve CU arasında girişim gürültüsü meydana gelmektedir. Yazarlar, kullanıcılar arasından oluşan bu girişim gürültüsü sorununu iki bölümlü grafik tabanlı eşleşme ile gidermeye çalışmışlardır. Grafik tabanlı eşleşmede D2D çiftlerine en az girişim gürültüsü etkisi oluşturacak optimal CU'nun seçilmesi esas almışlardır. Elde edilen verilerde çoklu kullanıcı sistemine ağ verimini ve spektral etkinliği artırdığı gösterilmiştir.

Li et al. (2017) yaptıkları çalışmada, D2D çiftleri ve CU'nun hücrel kaynakları eş zamanlı olarak paylaştığı kaynak paylaşım yöntemini ve güç kontrolü ele almışlar. Yapılan çalışmada, ağ veriminin en üst seviyede çıkarılması için kullanıcı güç kısıtlamalarının dikkate alınıp D2D kullanıcısının en iyi CU ile eşleştirilmesi sağlanmıştır. Kullanıcılarının eşleştirilmesinde tam olarak CSI bilgisine ihtiyaç duyulmadığı iki tabanlı grafik yöntemi oluşturulmuştur. Ayrıca, kanal modelinde istatistiksel CSI ve Rayleigh solma kanalı modeli birlikte ele alınmıştır. Yazarlar, bu yönteminin hesaplama karmaşıklığını önemli ölçüde azalttığını söylemekte ve elde ettikleri sayısal sonuçlarda yöntemin iyi bir verim sağladığı gösterilmiştir.

MD. Yeaku et al (2017) yaptıkları çalışmada, D2D haberleşmede kullanıcılar arasında oluşan girişim gürültüsünü azaltmak için kaynak tahsisi problemini işlemişler. Bunun için ağ adaletini ve kullanıcı kısıtlarının dikkate alındığı iki aşamalı bir kaynak ayrıştırma algoritmasını önermişlerdir. Algoritmanın ilk aşamasında ağ girişiminin en düşük seviyede tutabilmek için D2D çiftinin herhangi bir CU ile eşleştirilmesini iki taraflı eşleştirme problemi olarak formüle edilmiştir. İkinci aşamasında ise, güç gibi kullanıcı kısıtlamalarının dikkate alındığı kaynak ayrıştırma problemini ele alınmıştır. Benzetim sonuçlarında önerilen algoritmanın optimal sonuç sağladığı ve iyi performans sergilediği gösterilmiştir.

Ruhallah et al. (2018) yaptıkları çalışmada, hem iç bant hem de dış bant spektrum paylaşımında uygulanabilecek bir optimizasyon yöntemi önermişler. Öncelikle, D2D çiftleri için birden fazla kaynak bloğunun atanabileceği optimal güç tahsisi problemini formüle etmişler. Daha sonra kullanıcı güç ve minimum sinyal gürültü ve girişim oranı (SINR) kısıtlamaları altında D2D çiftleri ve hücrel kullanıcı verimlerinin maksimize edilmesi amaçlanmıştır. Yazarlar, D2D çiftlerinin birden fazla kaynak bloğunda kullanılmasının çoklu ağın genişlemesine sebep olduğunu söylemektedirler. Ayrıca, her bir hücrede birden fazla D2D çiftinin güç tahsisine uygulanabileceğini göstermektedirler. Çoklu hücreli bir senaryo için oluşturulan güç ve kaynak optimizasyonun spektrum paylaşımında iyi verim sağladığı benzetim programıyla gösterilmiştir.

2.3 Veri Gecikme Yaklaşım Türleri

Veri ağlarında bir paketin kablosuz ağlar üzerinde uçtan uca aktarırken beklediği süreye gecikme denir. Veri gecikmesi bilgi kuramı tarafından adreslememekte olup, kuyruk teorisi ile analiz edilebilmektedir. Bu yüzden gecikmenin bilgi kuramının kullanabileceği parametrelere dönüştürülmesi gerekmektedir.

Hücresele ağlarda git gide artan kullanıcı sayısı ile birlikte kullanıcı ağ trafiği de artmaktadır. D2D haberleşme, kullanıcılarının kaynak paylaşmasından dolayı ağ trafiğinin iyileştirilmesinde etkili olmaktadır. D2D haberleşme gecikme hassasiyetiyle ilgili daha önce yapılan çalışmalarda iyi performans sağlandığı gösterilmiştir (Junchao et al., 2017; Xiang et al., 2015; Fauzun et al., 2017; Sheng et al., 2017).

Junchao et al. (2017) yaptıkları çalışmada, D2D haberleşmede gecikmeli kaynak paylaşımı üzerinde çalışmışlar. Kaynak tahisisi için stokastik optimizasyon problemi formüle edilmiş ve en kötü durum gecikmesini garanti eden kaynak kontrol algoritmaları oluşturulmuştur. Gecikme hassasiyeti için Büyük Sapma Teorisi (Large Deviation Theory) ve Olasılıksal Lyapunov Sapması (Stochastic Lyapunov Drift) yaklaşımı ele alınmıştır. Burada yazarlar, kullanıcıların iletişimi durumunda hücresele ağın veya D2D iletişimin seçilmesine izin vermektedirler. QSI, gecikme ve girişim gereksinimleri dikkate alınarak bu seçim seçeneğine izin verilmiştir. Yapılan çalışmada iletişim mod seçeneğinin sunulmasının ağ verimini iyileştirdiği benzetim sonuçlarıyla gösterilmiştir. Ayrıca yapılan çalışmada, gecikme hassasiyeti için ele alınan büyük sapma yaklaşımı ile Lyapunov sapması yaklaşımlarının performansları karşılaştırılmıştır.

Xiang et al. (2015) yaptıkları çalışmada, D2D haberleşmede gecikmeye duyarlı kaynak yönetimi ve güç kontrol algoritmaları üzerinde çalışmışlar. Kaynak paylaşımından dolayı meydana gelen girişim gürültüsünü en aza indirmek için optimizasyon problemini Markov Karar Süreci (MDP) olarak formüle etmişlerdir. Gecikme hassasiyeti için oluşturulan optimizasyon problemi iki aşamalı olarak ele alınmıştır. Problemin ilk aşamasında, optimizasyon yöntemini alt parametrelere ayıran sezgisel bir kaynak paylaşırma algoritması önerilmiştir. İkinci aşamasında ise Bellman denkleminde değer yineleme yöntemi kullanılarak optimal güç kontrol

politikasını oluşturmuşlardır. Elde edilen veriler benzetim programıyla sunulmuş ve sonuçlarda sezgisel optimizasyon yönteminin gecikme performansını iyileştirebileceği gösterilmiştir.

Fauzun et al. (2017) yaptıkları çalışmada, D2D haberleşmede kuyruk durumlarını dikkate alan gecikme hassasiyeti için algoritma oluşturmuşlardır. Gecikme hassasiyeti için oluşturulan optimizasyon problemi kısıtlı bir Markov karar süreci (CMDP) olarak formüle edilmiştir. CMDP probleminde optimal sonuç elde etmek için optimizasyon yöntemi doğrusal olarak tanımlanmıştır.

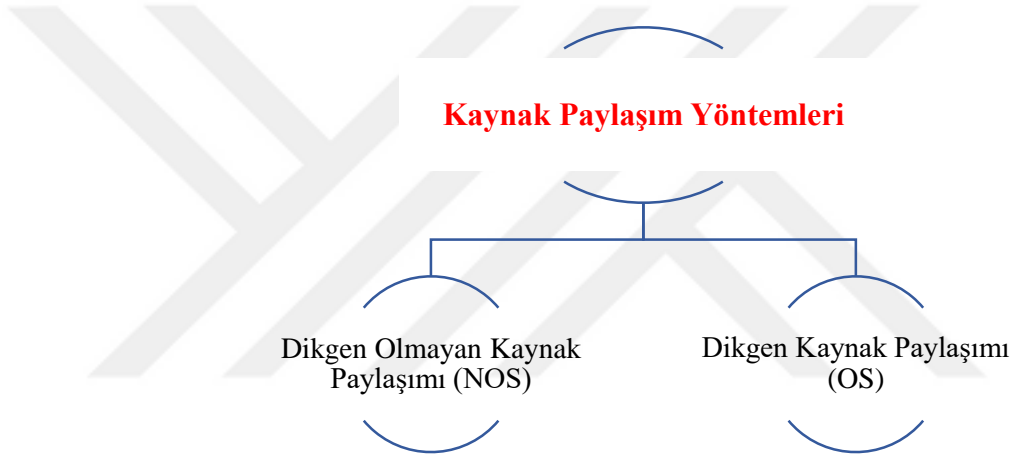
Sheng et al. (2017) yaptıkları çalışmada, gecikmeli D2D haberleşme için kaynak tahsisi ve güç kontrolü üzerine çalışmışlardır. D2D iletişimde verimi en iyi seviyeye getirmek için D2D çiftlerinin kuyruk durumuna bağlı olarak stokastik optimizasyon problemini formüle etmişlerdir. Gecikme hassasiyetini iyileştirmek amacıyla Lyapunov optimizasyonuna dayalı olarak güç kontrolünü yapmışlardır. Ayrıca CSI yükünü hafifletmek ve eşzamanlı olarak güç tahsisi kolaylaştırmak amacıyla D2D çiftleri için dört tane girişim tahmin metodu tasarlanmıştır. Yazarların önerdikleri yöntemin, uyarlamalı girişim tahminiyle verim performansının iyileştirildiği benzetim yoluyla göstermişlerdir.



3 CİHAZDAN CİHAZA HABERLEŞME

3.1 Kaynak Paylaşım Yöntemlerinin Tanımlanması

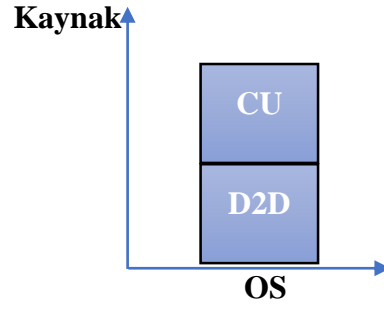
D2D haberleşmede CU ve D2D kullanıcıları arasındaki kaynak paylaşımı BS tarafından belirlenmektedir. Kaynak paylaşımı, dikgen kaynak (OS) paylaşımı ve dikgen olmayan kaynak (NOS) paylaşım yöntemi olarak iki şekilde yapılmaktadır (Şekil 3.1). Dikgen kaynak paylaşım yönteminde kullanıcılara arasında herhangi bir girişim gürültüsü oluşmaz ve analizi daha basittir. Dikgen olmayan kaynak paylaşım yönteminde ise dikgen kaynak paylaşım yöntemine göre spektral etkinlik daha yüksektir. Bu çalışmada iki kaynak paylaşım yöntemi de ele alınacaktır.



Şekil 3.1 Kaynak paylaşım yöntemleri

3.1.1 Dikgen Kaynak Paylaşım Yöntemi

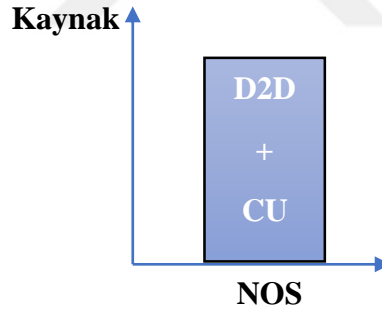
Dikgen kaynak paylaşım yönteminde D2D çiftine ve CU'ya kaynaklar ayrılmış olarak verilir (Şekil 3.2). Yani kaynağın belli bir kısmı D2D kullanıcılarına ve geri kalanı CU'ya ayrılmaktadır. Kullanıcılara kaynaklar ayrılmış olarak verildiğinden kullanıcılar arasında bir girişim gürültüsü oluşmamaktadır.



Şekil 3.2 Dikgen kaynak paylaşım yöntemi

3.1.2 Dikgen Olmayan Kaynak Paylaşım Yöntemi

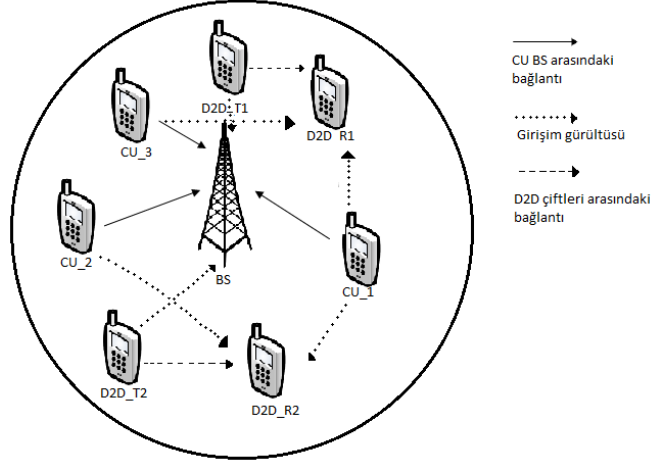
D2D çiftleri ve CU aynı kaynağı eş zamanlı olarak paylaştığı kaynak paylaşım yöntemidir (Şekil 3.3). Kaynaklar kullanıcılar tarafından eş zamanlı olarak paylaşıldığından kullanıcılar arasında girişim gürültüsü oluşmaktadır. Hem D2D çifti hem CU güç değerleri BS tarafından koordine edilmektedir. Dikgen olmayan kaynak paylaşım yönteminde kaynaklar eşzamanlı olarak paylaşıldığından dikgen kaynak paylaşım yöntemine göre daha iyi bir spektral etkinlik sağlamaktadır.



Şekil 3.3 Dikgen olmayan kaynak paylaşım yöntemi

3.1.3 Matematiksel Formülasyon ve Sistem Modeli

Kaynak paylaşımı, hücrenin aşağı yönlü ve yukarı yönlü iletişimde gerçekleşir. Bu çalışmada aşağı yönlü iletişim modu ele alınacaktır. Kullanıcılar kaynak paylaşımı yaptığında (Şekil 3.4) hem CU hem D2D çiftlerinin iyi bir hizmet kalitesine (QoS) sahip olması sağlanmalıdır. Bu yüzden sinyal gürültü ve girişim oranı (SINR-Signal to Interference Noise Ratio) değerinin belli bir eşik (threshold) altında tutulması sağlanmıştır.



Şekil 3.4 D2D haberleşme ağ topolojisi

C aktif CU sayısını, D aktif D2D çifti sayısını gösterirken, $K=\{1,\dots,C\}$ CU kümesini ve $L=\{1,\dots,D\}$ D2D çiftinin kümesini oluşturmaktadır. CU ve D2D kullanıcı indeksleri için sırasıyla i ve j parametreleri kullanılmıştır. Kanal modelinde, BS ile CU i kullanıcısının kanal kazancı aşağıdaki gibidir;

$$g_{i,BS} = K\xi_{i,BS}\bar{\zeta}_{i,BS}L_{i,BS}^{-\alpha} \quad (1)$$

Burada, K ve α yol kaybı üstel fonksiyonunu, $\xi_{i,BS}$ exponensiyel dağılım ile hızlı solma (fast fading) kazancı, $\bar{\zeta}_{i,BS}$ log-normal dağılım ile yavaş solma (slow fading) kazancı ve $L_{i,BS}$ CU i ve BS arasındaki mesafeyi göstermektedir. $g_{i,BS}$ BS ile CU i kullanıcısının, g_j D2D çiftleri arasındakini, $h_{j,BS}$ BS ile D2D j kullanıcısının ve $h_{i,j}$ D2D j kullanıcısı ile CU i kullanıcısının arasındaki kanal kazancını göstermektedir. Ayrıca, σ^2 her kanal için Toplanır Beyaz Gaussian gürültü (AWGN - Add white Gaussian noise to signal) gücüdür.

Shannon kapasite formülünden yola çıkarak, dikgen kaynak paylaşım yöntemi ve dikgen olmayan kaynak paylaşım yöntemi için maksimum verim sağlayacak matematiksel denklemler aşağıda belirtilen şekildedir;

$$R_{NOS} = \max_{a_{i,j}, P_i^c, P_j^d} \left\{ \sum_{i \in K} \sum_{j \in L} \left[\log_2(1 + \varepsilon_i^c) + a_{i,j} \log_2(1 + \varepsilon_j^d) \right] \right\} \quad (2)$$

$$R_{OS} = \max_{w, P_i^c, P_j^d} \left\{ \sum_{i \in K} \sum_{j \in L} \left[w * \log_2\left(1 + \frac{P_i^c g_{i,BS}}{\sigma^2}\right) + w' * \log_2\left(1 + \frac{P_j^d g_j}{\sigma^2}\right) \right] \right\} \quad (2a)$$

$$\varepsilon_i^c = \frac{P_i^c g_{i,BS}}{\sigma^2 + a_{i,j} P_j^d h_{j,BS}} \geq \varepsilon_{i,min}^c, \forall i \in K, \quad (2b)$$

$$\varepsilon_j^d = \frac{P_j^d g_j}{\sigma^2 + a_{i,j} P_i^c h_{i,j}} \geq \varepsilon_{j,min}^d, \forall j \in A, \quad (2c)$$

$$\sum_i a_{i,j} \leq 1, \rho_{i,j} \in \{0,1\}, \forall i \in K, \quad (2d)$$

$$\sum_j a_{i,j} \leq 1, \rho_{i,j} \in \{0,1\}, \forall j \in A, \quad (2e)$$

$$P_i^c \leq P_{max}^c, \forall i \in K, \quad (2f)$$

$$P_j^d \leq P_{max}^d, \forall j \in A. \quad (2g)$$

$A \subseteq L$ geçerli D2D çiftinin kümesini belirtmektedir. Burada $a_{i,j}$; D2D çifti j ile CU i kullanıcısının kaynağını paylaştığı durumda $a_{i,j} = 1$, D2D çifti j CU'nun kaynağını paylaşmadığı durumda ise $a_{i,j} = 0$ olmaktadır. K , Cu i kullanıcılarının, A ise D2D j çifti kullanıcılarının kümesini göstermektedir. Denklem (2a) da dikgen olan sistemler için kaynak paylaşım oranı w değişkeniyle belirlenmektedir ve değer aralığı $0 \leq w \leq 1$ olacak şekildedir. Dolayısıyla kaynağın geri kalanı $w' = 1 - w$ eşitliği temsil edilmektedir. P_{max}^c ve P_{max}^d sırasıyla CU i kullanıcısının ve D2D j çifti için alabileceği maksimum iletilen güçlerini göstermektedir.

Daha önce yapılan çalışmalarda (Klaus et al., 2011; Daquan et al., 2013) belirtildiği gibi D2D haberleşmede kullanıcı güç değerlerinin belli bir aralıkta olması gerekmektedir. CU i kullanıcısının kaynağını D2D j kullanıcısı ile paylaşması durumunda Şekil 3.5 (a)' deki alan oluşmakta ve tam tersi olan durum yani CU i kullanıcısının D2D j çifti ile paylaşmadığı durumda Şekil 3.5 (b)' deki bölge elde edilmektedir.

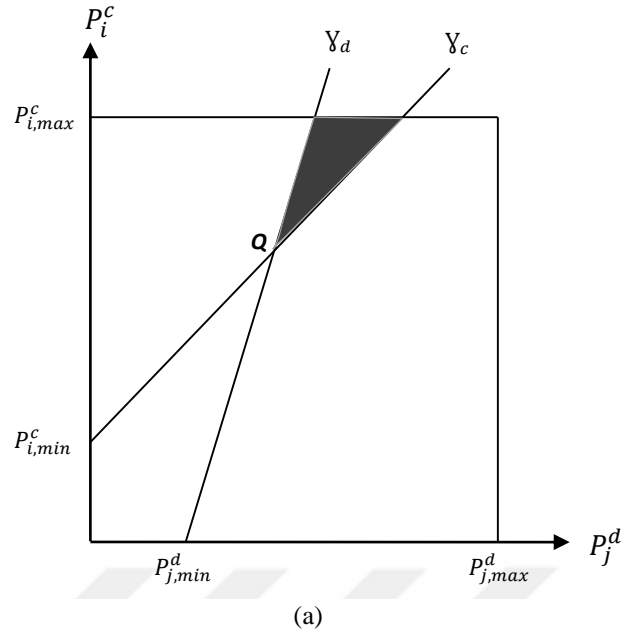
$$\varepsilon_i^c = \frac{P_i^c g_{i,BS}}{\sigma^2 + P_j^d h_{j,BS}} \geq \varepsilon_{i,min}^c \quad (3)$$

$$\varepsilon_j^d = \frac{P_j^d g_j}{\sigma^2 + a_{i,j} P_i^c h_{i,j}} \geq \varepsilon_{j,min}^d \quad (3a)$$

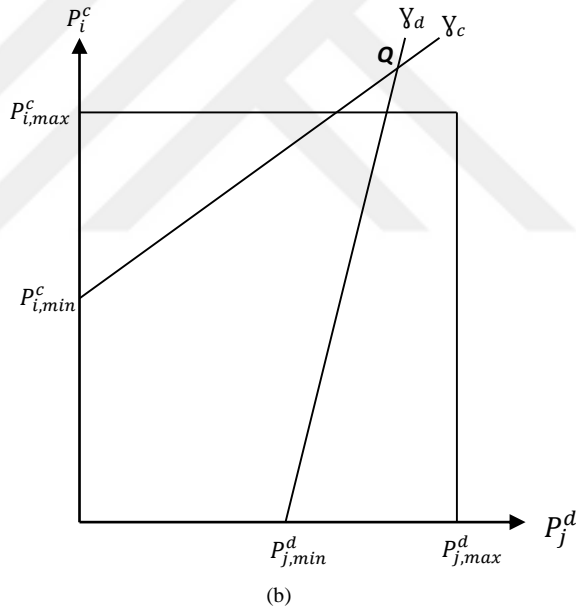
$$P_i^c \leq P_{max}^c, P_j^d \leq P_{max}^d \quad (3b)$$

$$P_{i,min}^c = \frac{\varepsilon_{i,min}^c \sigma^2}{g_{i,B}} \quad (4)$$

$$P_{j,min}^d = \frac{\varepsilon_{j,min}^d \sigma^2}{g_j} \quad (5)$$



(a)



(b)

Şekil 3.5 D2D haberleşme durumunda oluşan bölgeler (a) İzin verilen bölge (b) İzin verilmeyen bölge

Şekil 3.5’de görülen taralı olan, kaynak paylaşımı olduğu durumda kullanıcılarının alabileceği maksimum ve minimum güç değer aralığını göstermektedir. Şekil 3.5’de, γ_c , γ_d CU i ve D2D j kullanıcılarının minimum SINR kısıtlaması altında oluşan denklem 4 ve 5’in doğrularıdır. γ_d ’ in sağındaki alan D2D j çiftinin minimum SINR değerinin yerine getirdiği alandır. γ_c ’ in üstündeki alan CU i kullanıcılarının minimum SINR değerinin yerine getirdiği alandır. Kare alan maksimum güç kısıtlamalarını ifade etmektedir.

Q , Υ_c ve Υ_d 'nin kesişim noktasını belirtmektedir. Denklem 3'in kısıtlamalarının hepsini sağlamak için denklem 6' da gösterildiği gibi Υ_d eğiminin Υ_c eğiminden daha büyük olmalıdır (Daquan et al., 2013).

$$\frac{\varepsilon_i^c h_{j,BS}}{g_{i,BS}} < \frac{g_j}{\varepsilon_j^d h_{i,j}} \quad (6)$$

Maksimum güç kısıtlamaları dikkate alınmazsa D2D j çifti ve CU i kullanıcısı minimum iletim güçleri aşağıdaki gibidir (Daquan et al., 2013).

$$\begin{cases} P_{i,Q}^c = \frac{(g_j \varepsilon_{i,min}^c + h_{j,BS} \varepsilon_{i,min}^c \varepsilon_{j,min}^d) \sigma^2}{g_j g_{i,BS} - \varepsilon_{i,min}^c \varepsilon_{j,min}^d h_{i,j} h_{j,BS}} \\ P_{j,Q}^d = \frac{(h_{i,j} \varepsilon_{i,min}^c \varepsilon_{j,min}^d + g_{i,BS} \varepsilon_{j,min}^d) \sigma^2}{g_j g_{i,BS} - \varepsilon_{i,min}^c \varepsilon_{j,min}^d h_{i,j} h_{j,BS}} \end{cases} \quad (7)$$

Şekil 3.5 (a), tüm kısıtlamalarının karşılandığı ve CU i kullanıcısının ve D2D j çifti ile kaynağının paylaşmasına izin verdiği bölgedir. Şekil 3.5 (b) ise maksimum güç değerinin karşılanmamasından dolayı CU i kullanıcısının kaynağının paylaşmasına izin vermediği bölgedir.

Kısacası, D2D haberleşmede CU i kullanıcısı ve D2D j kullanıcısı güç değerleri denklem 8'deki aralıkta olmalıdır (Daquan et al., 2013). Aşağıdaki denklem, minimum SINR kısıtlaması altında doğrusal denklem çözülme yöntemiyle güç değerlerinin olması gereken aralığı belirtmektedir (Daquan et al., 2013).

$$\begin{cases} 0 < \frac{(g_j \varepsilon_{i,min}^c + h_{j,BS} \varepsilon_{i,min}^c \varepsilon_{j,min}^d) \sigma^2}{g_j g_{i,BS} - \varepsilon_{i,min}^c \varepsilon_{j,min}^d h_{i,j} h_{j,BS}} \leq P_{max}^c, \\ 0 < \frac{(h_{i,j} \varepsilon_{i,min}^c \varepsilon_{j,min}^d + g_{i,BS} \varepsilon_{j,min}^d) \sigma^2}{g_j g_{i,BS} - \varepsilon_{i,min}^c \varepsilon_{j,min}^d h_{i,j} h_{j,BS}} \leq P_{max}^d. \end{cases} \quad (8)$$

3.2 Veri Gecikme Yaklaşım Türlerinin Tanımlanması

D2D haberleşme kaynak optimizasyonu için geliştirilen algoritmaların verim ve gecikme hassasiyeti bakımından iyileştirme sağlaması beklenmektedir. D2D haberleşme için gecikme sistem modeli Şekil 3.6'da gösterildiği gibidir. Gecikme hassasiyeti için Büyük Sapma Teorisi (Large Deviation Theory) ve Olasılıksal Lyapunov Sapması (Stochastic Lyapunov Drift) teoremleri kullanılmaktadır. İstatiksel olan bu yöntemlerin amacı, gecikme sınırlarını fiziksel

göstermekte olup, $Q(t) = [Q_1(t), Q_2(t), \dots, Q_L(t)]^T$ kuyruk sıra vektörünü temsil etmektedir. Böylece kuyruk dinamiği aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır.

$$Q_k(t+1) = [Q_L(t) - d_L(t) - \lambda_L(t)]^+ + \delta_L(t), \forall l \in L \quad (9)$$

Burada $\mu(t) = [\mu_1(t), \mu_2(t), \dots, \mu_L(t)]$, iletim hız vektörünü göstermekte ve $[x]^+ \stackrel{\text{def}}{=} \{0, \max\}$ olarak tanımlanmaktadır.

3.2.1 Büyük Sapma Teorisi

Büyük sapma teorisi, D2D haberleşmedeki gecikme hassasiyetinin iyileştirilmesi için kullanılan bir teoridir. İstatiksel olan bu yöntemde gecikme sınırlarının fiziksel parametrelere dönüştürülmesi amacıyla, gecikme sınırı veri hızı sınırına dönüştürülmektedir. Orta ve hafif verili trafikler için iyi olan bu teoride kontrol politikaları yalnızca CSI'nın işlevleridir (Ying et al., 2012). Ayrıca, bu teoride kaynakların paket uzunluğu ve paketler arası varış dağılımları gibi trafik modellenmesi hakkında önceden bilgi sahibi olunması gerekmektedir. Bu yüzden kuyruk k için iki durumlu ON-OFF Markov modülasyonlu Poission süreci ele alınmıştır (Junchao et al., 2017).

İki durumlu ON-OFF Markov modülasyon sürecinde, iletim matrisi $U_k = [u_{k,1} \ 1 - u_{k,1}; \ 1 - u_{k,2} \ u_{k,2}]$ olarak ve ON durumunda ortalama Poission varış oranı α_k olarak tanımlanmıştır.

Burada giriş yükü, sistem kapasitesi ve gecikme gereksinimleri arasında bir bağlantı sağlanması gerekmektedir. Bu yüzden trafiğin geliş ve veriş süreçleri için Gärtner-Ellis limiti kullanılmıştır. k kuyruklu sistemde kuyruk miktarı $A_k = \sum_{\tau=0}^{t-1} \lambda_k(\tau)$ ve $[0, t)$ aralığında kümülatif servis paketi $C_k(0, t) = \sum_{\tau=0}^{t-1} \mu_k(\tau)$ olarak tanımlanmaktadır. Gärtner-Ellis limiti aşağıdaki gibidir (Junchao et al., 2017):

$$\theta_k^{(A)}(z_k) \stackrel{\text{def}}{=} \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{1}{t} \log \mathbb{E}^X \{ \exp(z_k A_k(0, t)) \}, \forall k \in L \quad (10)$$

$$\theta_k^{(C)}(z_k) \stackrel{\text{def}}{=} \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{1}{t} \log \mathbb{E}^X \{ \exp(z_k C_k(0, t)) \}, \forall k \in L \quad (10a)$$

Burada z_k sınırlı bir gerçek değer ve \mathbb{E}^X tam sistem durum uzayından alınan beklenti operatörüdür. Solma kanal modeline göre varış süreci $\{\lambda_k, t=0,1,\dots\}$ ve oran dizisi $\{\mu_k, t=0,1,\dots\}$ ilişkisiz süreçlerdir. Bu yüzden, yukardaki denklem

yeniden düzenlendiğinde 11 ve 12 denklemleri elde edilmektedir (Junchao et al., 2017).

$$\theta_k^{(A)}(z_k) \stackrel{\text{def}}{=} \log \left[\frac{1}{2} (a_k(z_k)) + \sqrt{a_k^2(z_k) + 4e_k(z_k)} \right], \forall k \in L \quad (11)$$

$$\theta_k^{(C)}(z_k) \stackrel{\text{def}}{=} \log \mathbb{E}^X \{ \exp(z_k \mu_k(t)) \}, \forall k \in L \quad (12)$$

Burada a_k , ortalama Poission hızı ve $G_k(z_k) = \exp(\alpha_k(\exp(z_k) - 1))$ olmak üzere, $a_k(z) = u_{k,1} + u_{k,2}G_k(z_k)$ ve $e_k(z_k) = (1 - u_{k,1} - u_{k,2})G_k(z_k)$ eşittir.

Sonsuz arabellek boyutlarına (buffer) sahip kuyruklarda, pozitif bir z_k^* mevcut olursa aşağıdaki denklem meydana gelmekte ((Junchao et al., 2017)).

$$\theta_k^{(A)}(z_k^*) + \theta_k^{(C)}(-z_k) = 0, \forall k \in L \quad (13)$$

Denklem 13'ten yola çıkarak kuyruk olasılığı yaklaşık olarak aşağıdaki şekildedir (Junchao et al., 2017):

$$\sup_t P_r[W_k(t) \geq W_k^{max}] \approx P_r(W_k(t) > 0) \exp(\theta_k^{(C)}(-z_k^*)) W_k^{max} \quad (14)$$

Burada $P_r(W_k(t) > 0)$, arabellek boyutlarına sahip k kuyruğunun boş olma olasılığıdır. Sistemin varış oranlarının yeterince büyük olduğu varsayılmaktadır. Bu yüzden $P_r(W_k(t) > 0) = 1$ olmakta, yani kuyrukta her zaman paket bulunmaktadır.

$\theta_k^{(C)}$ nin hesaplanması için $\mathbb{E}^Q\{.\}$ beklenti operatörünün bilinmesi gerekmektedir. Bu yüzden hesaplama karmaşıklığının azaltılması için gecikme kısıtlamaları oran kısıtlamalarına dönüştürülebilir (Junchao et al., 2017).

$$\mu_k(t) \geq \frac{1}{z_k^* W_k^{max}} \log e_k \stackrel{\text{def}}{=} g_k, \forall k \in L \quad (15)$$

g_k , k kuyruğu için eşdeğer oran gereksinimi olarak adlandırılmaktadır. Ve z_k^* nin kökleri aşağıdaki gibidir (Junchao et al., 2017).

$$\theta_k^{(A)}(z_k) + \frac{1}{W_k^{max}} \log e_k = 0 \quad (16)$$

Sonsuz kuyruk uzunluğun varsayımında tüm $k \in L$ ve $t \in \{0,1,2, \dots\}$ için $\delta_k(t) = \lambda_k(t)$ ve $d_k(t) = 0$ dir.

3.2.2 Olasılıksal Lyapunov Sapması

D2D haberleşme gecikme hassasiyeti için kullanılan diğer bir teoride Olasılıksal Lyapunov Sapmasıdır. İstatiksel olan bu yöntemde gecikme sınırlarının fiziksel parametrelere dönüştürülmesi amacıyla, veri hızları referans alınarak bir ceza fonksiyonu belirlenip kararlılık analizi yapılmaktadır. Olasılıksal Lyapunov Sapması, Orta ve hafifi verili trafiklerde iyi bir performans sağlamayabilir fakat yüksek verili trafiklerde iyi performans sağlamaktadır (Ying et al., 2012). Olasılıksal Lyapunov Sapması, Büyük Sapma Teorisinden farklı olarak trafik modellenme bilgisi gerektirmez. Genellikle, ağ denetleyicinin bilinmediği varsayılmakta ya da her kaynağın trafiği genel bir model olarak tasarlanmaktadır (Junchao et al., 2017).

Herhangi bir k kuyruklu bir gecikme için en kötü gecikme (W_k^{max}) $W_k(t) \leq W_k^{max}, \forall k \in L$ olmalıdır. Bu nedenle, ξ - kalıcı servis kuyruğu olarak tanımlanan bir sanal kuyruk oluşturulmuştur. Bu kalıcı servis kuyruğu en kötü gecikmeyi garanti etmektedir. Her $k \in L$ kuyruk için başlangıç değeri $Z_k(t) = 0$ olan bir $Z_k(t)$ sanal kuyruk belirlenmiştir. Bu sanal kuyruğun tanımlanması aşağıdaki gibidir (Junchao et al., 2017).

$$Z_k(t+1) = \left[Z_k(t) - d_k(t) + I_k(t) \times (\xi_k - \mu_k(t)) - J_k(t) \mu_k^{max} \right]^+, \forall k \in L \quad (17)$$

Burada ξ_k ($\xi_k > 0, \forall k \in L$) önceden belirlenen bir değer ve I_k gösterge fonksiyonudur. Gösterge fonksiyonu 1 veya 0 değerini almaktadır. Eğer $Q_k(t) > 0$ ise gösterge fonksiyonu 1 değerini ve diğer durumlarda 0 değerini almaktadır. Bu yüzden, $Q_k(t) > 0$ olduğunda $I_k = 1$ değerini alacağından sanal kuyruk $Z_k(t) = \mu_k(t) + d_k(t)$ olmaktadır (Junchao et al., 2017).

Tüm zaman dilimleri için $\{t=0,1,\dots\}$ en kötü gecikmeyi garanti eden algoritma aşağıdaki gibidir (Junchao et al., 2017):

$$Q_k(t) \leq Q_k^{max}, Z_k(t) \leq Z_k^{max}, \forall k \in L \quad (18)$$

Burada Q_k^{max} ve Z_k^{max} gerçek ve sanal kuyruk uzunluğunun maksimum değerleridir. Daha sonra k uzunluğundaki en kötü gecikmenin sınırlandırılması W_k^{max} ile belirlenmektedir (Junchao et al., 2017).

$$W_k^{max} \stackrel{\text{def}}{=} \left\lceil \frac{(Q_k^{max} + Z_k^{max})}{\xi_k} \right\rceil, \forall k \in L \quad (19)$$

Burada $\lceil x \rceil$, x 'den büyük veya eşit olan en küçük tamsayıyı belirlemektedir. Yani tüm k kuyrukları W_k^{max} zaman dilimi ile oluşturulur.

Önerilen algoritma optimal değere en yakın değeri sağlamaktadır. Bu değer $\phi(\bar{\xi}_k - \bar{d}_k)$ olarak tanımlanmakta ve tüm k değerleri için $\bar{\mu}_k + \bar{d}_k \geq \bar{\xi}_k$ aralığındadır. Yardımcı değişkenler $\eta_k(t) \in [0, \lambda_k^{max}]$ ve durum kuyrukları $Y_k(t), \forall k \in L$ olarak tanımlanmaktadır. Böylelikle sanal kuyruk dinamiği aşağıdaki gibidir (Junchao et al., 2017).

$$Y_k(t+1) = [Y_k(t) - \delta_k(t)]^+ + \eta_k(t), \forall k \in L \quad (20)$$

Burada $\bar{\eta}_k = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \sum_{t=0}^{T-1} \mathbb{E}^\Omega \{\eta_k(t)\}$ eşittir. Yardımcı değişken $\eta_k(t)$, her zaman dilimi için $Y_k(t)$ 'nin maksimum değerinde seçilir. Yani $Y_k(t) = \sum_{k \in L} [\phi_k(\bar{\eta}_k) - \beta \bar{\phi}_k(0) \bar{d}_k]$ eşittir. Bu yüzden $\eta_k(t), \delta_k(t)$ fonksiyonun alt sınıridir (Junchao et al., 2017).

$Y(t) = [Y_1(t), Y_2(t), \dots, Y_L(t)]$ ve $Z(t) = [Z_1(t), Z_2(t), \dots, Z_L(t)]$ olarak tanımlanmaktadır. Tüm gerçek ve sanal kuyrukların toplanması $\Psi(t) = \{Q(t), Y(t), Z(t)\}$ eşittir. Lyapunov fonksiyonu $L(\Psi(t))$ olarak tanımlanmakta ve aşağıda denkleme eşittir (Junchao et al., 2017).

$$L(\Psi(t)) = \frac{1}{2} \sum_{k \in L} \{Q(t)^2, Y(t)^2, Z(t)^2\} \quad (21)$$

T örneğinde Lyapunov sapması $\Delta_T(\Psi(t)) = L(\Psi(t+T)) - L(\Psi(t))$ eşittir. Lyapunov sapmasında 'drift-plus-penalty (sapma cezası)' olarak adlandırılan 1-zaman diliminde $T=1$ değerini almakta. Bu yüzden 'ceza (penalty)' $-\sum_{k \in L} \{\phi_k(\eta_k(t)) - \beta \phi_k'(0) d_k(t)\}$ kullanıcı tanımlı bir pozitif sabit $V > 0$ sabiti ile çarpılır (Junchao et al., 2017).

Oluşturulan algoritma $Q_k^{max}, Y_k^{max}, Z_k^{max}$ gerçek ve sanal kuyrukların üst sınırlarını garanti etmektedir. Bu üst sınırlar yaklaşık olarak aşağıdaki gibidir (Junchao et al., 2017).

$$Q_k^{max} \stackrel{\text{def}}{=} V + 2\lambda_k^{max} \quad (22)$$

$$Y_k^{max} \stackrel{\text{def}}{=} V + \lambda_k^{max} \quad (22a)$$

$$Z_k^{max} \stackrel{\text{def}}{=} V + \xi_k \quad (22c)$$

Burada Q_k^{max} , Y_k^{max} ve Z_k^{max} sırasıyla $Q_k(t)$, $Y_k(t)$ ve $Z_k(t)$ kuyruklarının üst sınırlarıdır. Yani $Q_k(t) \leq Q_k^{max}$, $Y_k(t) \leq Y_k^{max}$ ve $Z_k(t) \leq Z_k^{max}$ dir.

Optimal çözüm için $\eta_k(t)$, $\delta_k(t)$ aşağıdaki şekilde hesaplanır (Junchao et al., 2017).

$$\eta_k^*(t) = \max \left\{ \min \left\{ \left(\frac{Y_k(t)}{V} \right), \lambda_k^{max} \right\}, 0 \right\} \quad (23)$$

$$\delta_k^*(t) = \begin{cases} \lambda_k, & Y_k(t) > Q_k(t) \\ 0, & \text{diğer} \end{cases} \quad (23a)$$

Burada $\phi_k'^{-1}$, ϕ_k' fonksiyonun tersidir.

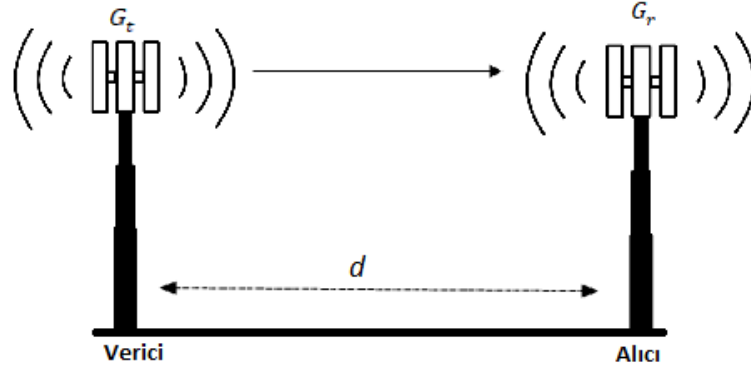
3.3 Kanal Modelleri

3.3.1 Yol Kaybı (Pathloss)

Serbest uzay, alıcı ile verici arasında ya da yol ile bunlar arasında herhangi bir engelin bulunmadığı görüş alanı (LOS, line-of-sight) boşluktur (Raj, 2018). Bu durumda, vericiden iletilen gücün alıcıya ulaşana kadar mesafeye bağlı olarak sinyal zayıflar. Bu görüş alanı (LOS) için A-alıcı güç değeri aşağıdaki gibidir;

$$P_r = P_t \left[\frac{\sqrt{G_l \lambda}}{4\pi d} \right]^2 \quad (24)$$

Burada P_t iletilen gücü, λ ($\lambda=c/f$, c -ışık hızı, f -frekans) dalga boyunu, d mesafeyi ve G_l anten alanı radyasyonunun alıcı ile vericide üretilmesini göstermektedir. Teorik olarak güç mesafenin karesiyle doğru orantılı olarak düşer fakat pratikte güç daha hızlı düşer.



Şekil 3.7 İki ağ düğümü (alıcı ve verici) arasındaki radyo kanalı (Raj, 2018)

İletilen bir sinyalin alıcıya yansiyarak ulaşmasından dolayı net olarak alınan güç azalabilir. Yol kaybı için iki ağ düğümü (alıcı ve verici) arasındaki radyo kanalı (Şekil 3.7) aşağıdaki gibidir;

$$P_r = P_t \frac{G_t G_r h_t^2 h_r^2}{d^4} \quad (25)$$

Burada P_r alınan gücü, P_t iletilen gücü, G_r alıcı antenin kazancını, G_t ileten antenin kazancını göstermektedir.

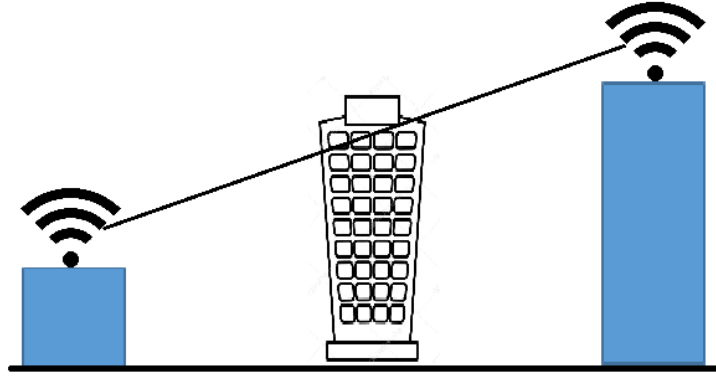
Yol kaybı, efektif iletilen güç ile alınan güç arasındaki sinyal zayıflamasını göstermekte ve birimi dB' dir.

$$PL(d)dB = \overline{PL}(d_0) + 10\alpha \log\left(\frac{d}{d_0}\right) \quad (26)$$

Burada d_0 , P_0 gücündeki mesafeyi, α yol kaybı üssünü ve $\overline{PL}(d_0)$, d_0 mesafesindeki dB olarak ortalama yol kaybını göstermektedir.

3.3.2 Gölgeleme(Shadowing)

İletilen sinyal yolu boyunca herhangi bir nesne (bina, ağaç vb.) bulunabilir. Bu yüzden, iletilen sinyalin bir kısmının emilim, yansıma, saçılma gibi durumlarda kaybolmasına gölgeleme denir (Raj, 2018). Şekil 3.8'de gösterildiği gibi iletilen sinyal ile alıcı sinyal arasında bir nesne bulunmaktadır. Bu sebeple sinyal iletilirken bir gölge oluşacaktır.



Şekil 3.8 Gölgeleme (Raj, 2018)

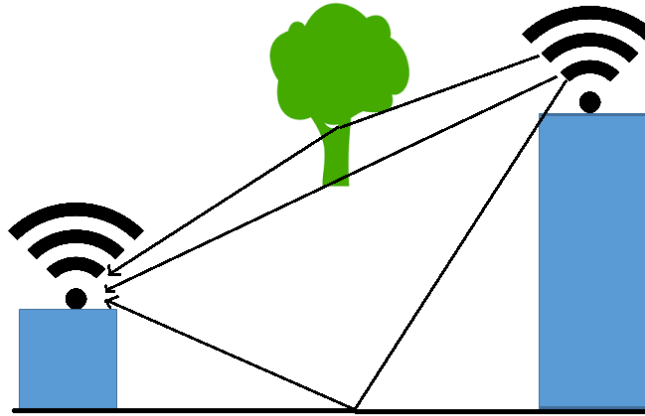
Gölgeleme için log-normal denklemi aşağıdaki gibidir;

$$PL(d)dB = \overline{PL}(d_0) + 10\alpha \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + \chi \quad (27)$$

Burada χ gölgeleme etkisini göstermekte ve σ standart sapma olan normal (Gaussian) dağıtılmış rasgele değişken (dB cinsinden) şeklindedir.

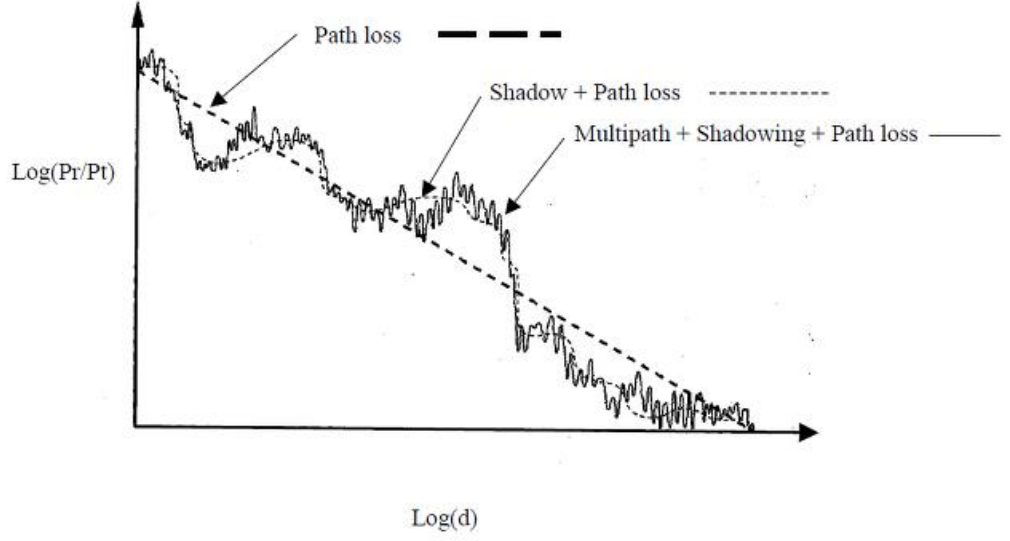
3.3.3 Çoklu Yol Kaybı (Multipath)

Alıcı ve verici arasında bulunan herhangi bir nesneden dolayı kablosuz sinyalde yansıma, kırınım ve saçılma gibi etkiler olmaktadır (Raj, 2018). Bu etkilerden dolayı sinyallerin bazıları farklı güçlerde ve birden fazla yolda alıcıya ulaşır (Şekil 3.9). Alınan sinyalin fazında, genliğinde ve geliş açısında değişimler vardır.



Şekil 3.9 Çoklu yol kaybı (Raj, 2018)

Yol kaybı, gölgelenme ve çoklu yol kanal modellerinin birlikte olduğu durum Şekil 3.10'da görülmektedir. . Kalın kesikli çizgi yol kaybını, ince kesikli çizgi Lognormal gölgelemeyi ve yol kaybını göstermektedir. Ayrıca, tüm bileşenlerin olduğu durum kalın düz çizgi ile gösterilmiştir.



Şekil 3.10 Yol kaybı, gölgeleme ve çoklu yol (Goldsmith2005, Raj, 2018)



4 PERFORMANS ANALİZİ

4.1 Kaynak Paylaşım Yöntemlerinde Güç Tahsisi ve Verim

Kaynak paylaşım yöntemlerinde kullanıcı veriminin iyi bir hizmet kalitesine (QoS) sahip olması için girişim gürültüsünün giderilmesi gerekmektedir. Kullanıcılar arasında oluşan bu girişim gürültüsünün giderilmesi için kullanıcı güç tahsisinin optimal değerinde seçilmesi sağlanmalıdır. Bu çalışmada kullanıcı güç tahsisi problemi için Daquan et al. (2013) daha önce yaptıkları çalışma referans alınmıştır.

Güç tahsisi probleminde öncelikle D2D çiftinin ve CU'nun alabileceği maksimum ve minimum değer aralığındaki bölgeler belirlenmiştir (Şekil 4.1). Daha sonra bu bölgelerin kesişim noktaları belirlenip, D2D çifti ve CU'nun güç tahsisi için optimal değerinin bu aralıkta seçilmesi sağlanmıştır

D2D çifti ve CU için güç tahsisi denklemleri aşağıdaki gibidir;

$$(P_i^{c*}, P_j^{d*}) = \arg \max_{P_i^{c*}, P_j^{d*}} \{\log(1 + \varepsilon_i^c) + \log(1 + \varepsilon_j^d)\}, \quad (28)$$

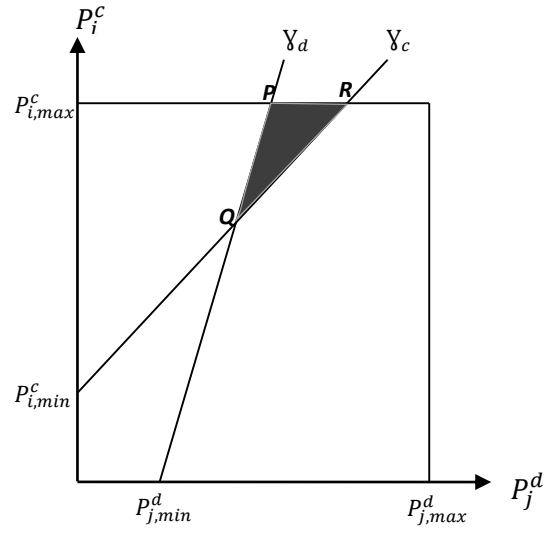
$$\varepsilon_i^c = \frac{P_i^c g_{i,BS}}{\sigma^2 + P_j^d h_{j,BS}} \geq \varepsilon_{i,min} \quad (28a)$$

$$\varepsilon_j^d = \frac{P_j^d g_j}{\sigma^2 + P_i^c h_{i,j}} \geq \varepsilon_{j,min} \quad (28b)$$

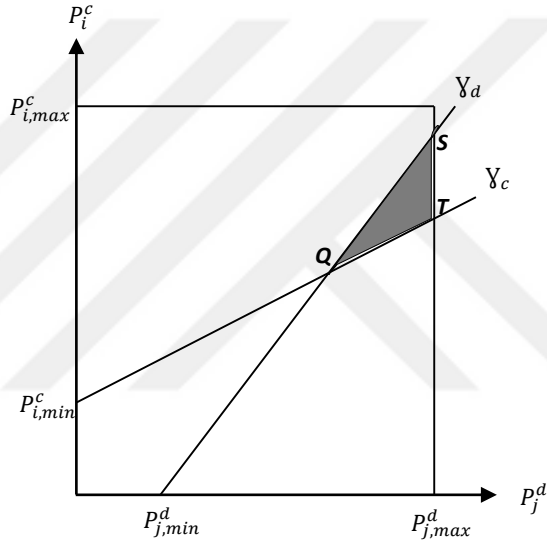
$$P_i^c \leq P_{max}^c, P_j^d \leq P_{max}^d \quad (28c)$$

Burada $f(P_i^c, P_j^d)$ güç fonksiyonu göstermekte ve fonksiyonun tanımlanması aşağıda gösterilmiştir (Daquan et al., 2013).

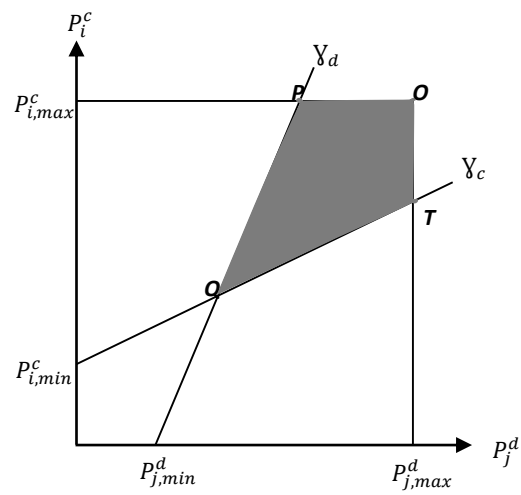
$$f(P_i^c, P_j^d) \triangleq \log(1 + \varepsilon_i^c) + \log(1 + \varepsilon_j^d) \quad (29)$$



(a)



(b)



(c)

Şekil 4.1 CU ve D2D kullanıcıları için optimal güç tahsisi (Daquan et al., 2013)

$$(P_i^{c*}, P_j^{d*}) = \begin{cases} \arg \max_{P_i^c, P_j^d \in P_1} f(P_i^c, P_j^d) \\ \text{eğer } \frac{P_{max}^c g_{i,BS}}{\sigma^2 + P_{max}^d h_{j,BS}} \leq \varepsilon_{i,min}^c \\ \arg \max_{P_i^c, P_j^d \in P_2} f(P_i^c, P_j^d) \\ \text{eğer } \frac{P_{max}^c g_{i,BS}}{\sigma^2 + P_{max}^d h_{j,BS}} > \varepsilon_{i,min}^c \\ \frac{P_{max}^c g_j}{\sigma^2 + P_{max}^d h_{i,j}} < \varepsilon_{j,min}^d \\ \arg \max_{P_i^c, P_j^d \in P_3} f(P_i^c, P_j^d) \\ \text{eğer } \frac{P_{max}^c g_{i,BS}}{\sigma^2 + P_{max}^d h_{j,BS}} > \varepsilon_{i,min}^c \\ \frac{P_{max}^c g_j}{\sigma^2 + P_{max}^d h_{i,j}} \geq \varepsilon_{j,min}^d \end{cases} \quad (30)$$

Burada P_i^{c*}, P_j^{d*} optimal güç vektörlerini göstermekte olup, optimal güç tahsisi için aşağıdaki aralıklar kullanılmalıdır (Daquan et al., 2013).

$$P_1 = \{(P_{max}^c, \mathcal{P}_1), (P_{max}^d, \mathcal{P}_2)\} \quad (31)$$

$$P_2 = \{(\mathcal{P}_3, P_{max}^d), (\mathcal{P}_4, P_{max}^d)\} \quad (31a)$$

$$P_3 = \{(P_{max}^c, \mathcal{P}_1), (P_{max}^c, P_{max}^d), (\mathcal{P}_4, P_{max}^d)\} \quad (31b)$$

$$\mathcal{P}_1 = \frac{(P_{max}^c h_{i,j} + \sigma^2) \varepsilon_{j,min}^d}{g_j} \quad (31c)$$

$$\mathcal{P}_2 = \frac{P_{max}^c g_{i,BS} - \varepsilon_{i,min}^c \sigma^2}{\varepsilon_{i,min}^c h_{j,BS}} \quad (31d)$$

$$\mathcal{P}_3 = \frac{P_{max}^d g_j - \varepsilon_{j,min}^d \sigma^2}{\varepsilon_{j,min}^d h_{i,j}} \quad (31e)$$

$$\mathcal{P}_4 = \frac{(P_{max}^d h_{j,BS} + \sigma^2) \varepsilon_{i,min}^c}{g_{i,BS}} \quad (31f)$$

Maksimum verim için D2D çifti ve CU'nun güç aralığı yukardaki fonksiyon durumuna göre Şekil 4.1'de gösterilen O,P,R,T ve S noktalarının oluşturduğu alanın içinde olmalıdır.

D2D haberleşme veri hızının hesaplanması için öncelikle spektrum da hiçbir D2D çiftinin olmadığı durumdaki tüm CU i kullanıcılarının alabileceği maksimum veri hızı hesaplanır. Daha sonra CU i kullanıcılarının ve D2D j çiftlerinin spektrum

paylaşımı yaptığı durumdaki toplam veri hızı bulunur. Son olarak toplam veri hızından maksimum veri hızı çıkarılarak ağ verimi elde edilir.

Hiçbir D2D çiftinin olmadığı durumdaki tüm CU i kullanıcılarının alabileceği maksimum veri hızı, $T_{i,max}$;

$$T_{i,max} = \log_2\left(1 + \frac{P_i^c g_{i,BS}}{\sigma_n^2}\right) \quad (32)$$

CU i kullanıcısının ve D2D j çiftinin kaynak paylaşımı yaptığı durumdaki toplam veri hızı;

$$T_{NOS,i,j}^{top} = \log_2\left(1 + \frac{P_i^c g_{i,BS}}{\sigma^2 + P_j^d h_{j,BS}}\right) + \log_2\left(1 + \frac{P_j^d g_j}{\sigma^2 + P_i^c h_{i,j}}\right) \quad (33)$$

$$T_{OS,i,j}^{top} = w * \log_2\left(1 + \frac{P_i^c g_{i,BS}}{\sigma^2}\right) + w' * \log_2\left(1 + \frac{P_j^d g_j}{\sigma^2}\right) \quad (33a)$$

Burada $T_{NOS,i,j}^{top}$, $T_{OS,i,j}^{top}$ sırasıyla dikgen olmayan kaynak paylaşımı ve dikgen olan kaynak paylaşımı yapıldığı durumdaki toplam veri hızlarını göstermektedir.

D2D iletişim olduğunda ağ veri hızı aşağıdaki gibidir;

$$T_{NOS,i,j}^{ver} = T_{NOS,i,j}^{top} - T_{i,max} \quad (34)$$

$$T_{OS,i,j}^{ver} = T_{OS,i,j}^{top} - T_{i,max} \quad (34a)$$

Burada $T_{NOS,i,j}^{ver}$, $T_{OS,i,j}^{ver}$ sırasıyla dikgen olmayan ve dikgen olan kaynak paylaşım yöntemlerinin ağ veri hızını göstermektedir.

4.2 Olasılık Temelli Model ve Hazırlanan Algoritma

Bu bölümde NOS paylaşım yöntemi ve OS paylaşım yöntemleri için olasılık temelli model sunulacaktır. Ayrıca, daha önce yapılan çalışmalarda NOS paylaşım yönteminin OS paylaşım yöntemine göre daha iyi performans sağladığı gösterilmiştir (Klaus et al., 2011). Bu yüzden NOS paylaşım yöntemi için iki aşamalı bir algoritma önerilecektir.

Kaynak paylaşım yöntemleri için önerilen olasılık temelli model, karmaşık tamsayı doğrusal olmayan optimizasyon (mixed integer nonlinear optimization) olarak tanımlanmış ve problem MATLAB yazılımında bulunan “fmincon” fonksiyonu ile çözülmüştür. Burada karmaşık tamsayı problemi çözmek için tüm

olasılıklar denenerek tamsayı değişkenleri manuel olarak hesaplanmaktadır. Daha sonra “fmincon” fonksiyonun bulduğu kullanıcı güç değerleri ve maksimum toplam veri hızına göre kullanıcıların eşleştirilmesi sağlanmaktadır (Tablo 4.1). Maksimum toplam veri hızına göre yapılan kullanıcıların eşleştirilme probleminde CU i kullanıcısının sadece bir tane D2D j çifti ile eşleştirilmesine izin verilmiştir.

Tablo 4.1: Olasılık temelli model için kullanıcıların eşleştirilmesi

| Olasılık Temelli Model | |
|-------------------------------|---|
| 1. | $C=CU$ sayısı, |
| 2. | $D=D2D$ çifti sayısı, |
| 3. | for $i=1:C$ |
| 4. | for $j=1:D$ |
| 5. | $P_i^c(i)$ ve $P_j^d(j)$ bul /* Kullanıcı güç değerlerinin “fmincon” ile bulunması */ |
| 6. | $R_{NOS}(i,j)$ ya da $R_{OS}(i,j)$ hesapla /*Maksimum toplam veri hızının hesaplanması*/ |
| 7. | end |
| 8. | for $k=1:D$ |
| 9. | $\max R_{NOS}(i,j)$ ya da $R_{OS}(i,j)$ bul |
| 10. | $I_{col} = \max R_{NOS}(k)$ ya da $R_{OS}(k)$ sütunu bul |
| 11. | $I_{row} = \max R_{NOS}(k)$ ya da $R_{OS}(k)$ satırı bul |
| 12. | $CU(k) = I_{row}$; |
| 13. | $D2D(k) = I_{col}$; |
| 14. | Sil I_{col} ve I_{row} |
| 15. | end |

Hazırlanan algoritma, en iyi eşleşmeyi ve optimal güç tahsisi sağlamak amacıyla iki aşamada oluşturulmuştur. İlk aşamada iyi bir spektral verim sağlamak amacıyla kullanıcıların eşleştirme problemi ve ikinci aşamasında kullanıcı güç tahsisi problemi ele alınmıştır. Eşleştirme problemi, CU i kullanıcısı ve D2D j çifti arasındaki mesafe farkına göre oluşturulmuştur. Öncelikle, CU i kullanıcısı ile D2D j çifti arasındaki tüm mesafeler hesaplanmaktadır. Daha sonra D2D j çiftinin en yakın CU i kullanıcısının seçmesi sağlanmaktadır (Tablo 4.2). Böylelikle D2D j çifti en yakın CU i kullanıcısının kaynağını paylaşacaktır.

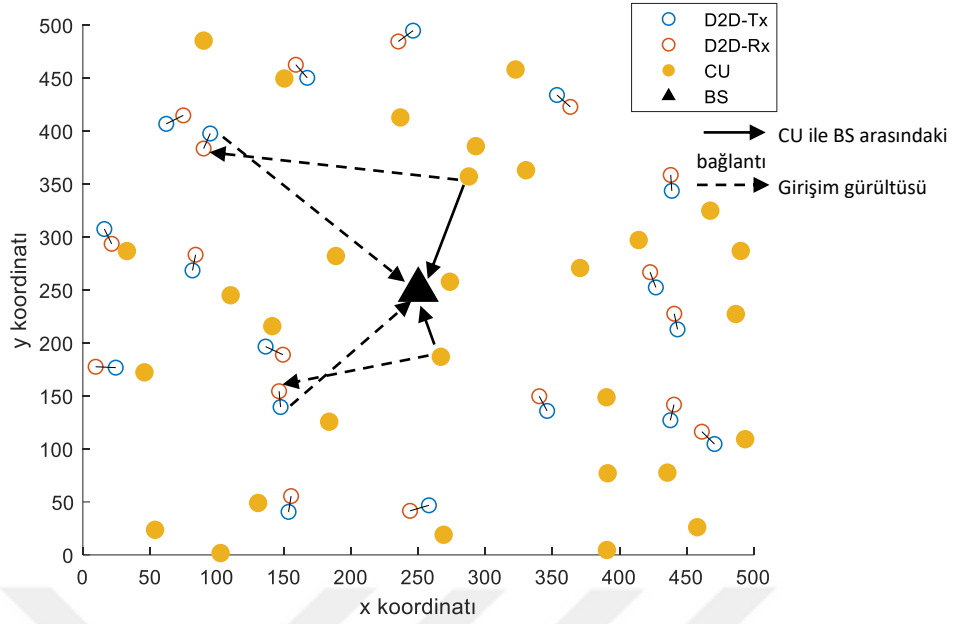
Tablo 4.2: Hazırlanan Algoritma için kullanıcıların eşleştirilmesi

| Hazırlanan Algoritma | |
|-----------------------------|---|
| 1. | $C = \text{CU sayısı,}$ |
| 2. | $D = \text{D2D çifti sayısı,}$ |
| 3. | for $i=1:C$ |
| 4. | for $j=1:D$ |
| 5. | $L(i,j)=L_{c,i}-L_{d,j};$ |
| 6. | // $L_{c,i} = \text{CU } i \text{ kullanıcı mesafesi}$ |
| 7. | // $L_{d,j} = \text{D2D } j \text{ kullanıcı mesafesi}$ |
| 8. | end |
| 9. | end |
| 10. | for $k=1:D$ |
| 11. | $\min L$ 'yi bul |
| 12. | $I_{col} = \min L(k)$ sütunu bul |
| 13. | $I_{row} = \min L(k)$ satırı bul |
| 14. | $\text{CU}(k) = I_{row};$ |
| 15. | $\text{D2D}(k) = I_{col};$ |
| 16. | Sil I_{col} ve I_{row} |
| 17. | end |

Güç tahsisi probleminde en iyi veri hızını veren uygun kullanıcı güç değerlerini bulmak amacıyla problem doğrusal olmayan optimizasyon olarak tanımlanmıştır. Olasılık temelli modelde kullanıcı güç değerleri “fmincon” fonksiyonu ile hesaplanmaktadır. Hazırlanan algoritmada ise güç tahsisi problemi Bölüm 4.1’de yer alan optimal güç tahsisine göre yapılmaktadır.

4.3 Kaynak Paylaşım Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Aşağı yönlü iletişim modunda dikgen kaynak paylaşım yöntemi ve dikgen olmayan kaynak paylaşım yöntemleri incelenmiştir. Kaynak paylaşım yöntemleri için birden fazla kullanıcının iletişim yaptığı ağ senaryosu ele alınmıştır. Kanal modelinde yol kaybı, çoklu yol, gölgelenme gibi bileşenler dikkate alınmış olup, kullanıcıların yerleşimi rastgele dağılımlı şekilde oluşturulmuştur (Şekil 4.2). Kaynak paylaşım yöntemleri için elde edilen benzetim sonuçları rastgele 100 senaryonun ortalaması alınarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.2 Aşağı yönlü iletişim modunda kullanıcıların rastgele dağılımı

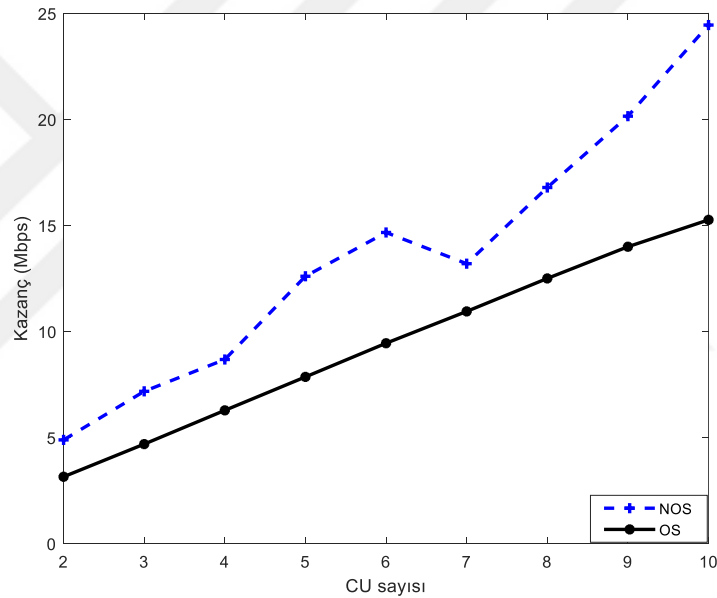
Güç tahsisi probleminde en iyi veri hızını veren uygun kullanıcı güç değerlerini bulmak amacıyla problem doğrusal olmayan optimizasyon olarak tanımlanmıştır. Doğrusal olmayan optimizasyon problemi Tablo 4.3’ deki değerler kullanılarak Matlab programında bulunan ‘fmincon’ çözüm fonksiyonu ile çözülmüştür.

Tablo 4.3: Benzetim parametreleri

| Parametre | Değer |
|---|---|
| Hücre yarıçapı (R) | 0.5, 1 km |
| Bantgenişliği | 5 MHz |
| Gürültü gücü (σ_n^2) | -114 dBm |
| Kanal kayıp üsteli (α) | 4 |
| Kanal kayıp sabiti (K) | 10^{-2} |
| Maksimum CU gücü (P_{max}^c) | 24 dBm |
| Maksimum D2D gücü (P_{max}^d) | 24 dBm |
| CU için SINR ($\epsilon_{i,min}^c$) | [0,25] dBm |
| D2D çiftleri için SINR ($\epsilon_{j,min}^d$) | [0,25] dBm |
| D2D çiftleri arasındaki mesafe (r) | 10,20,...,100 (m) |
| CU sayısı | 1,2,...,20 |
| D2D çiftlerinin sayısı | 2,4,...,20 |
| Çoklu yol- yol kaybı solma | Birim ortalama ile üstel dağılım |
| Gölgeleme | 8dB standart sapmayla log normal dağılımı |

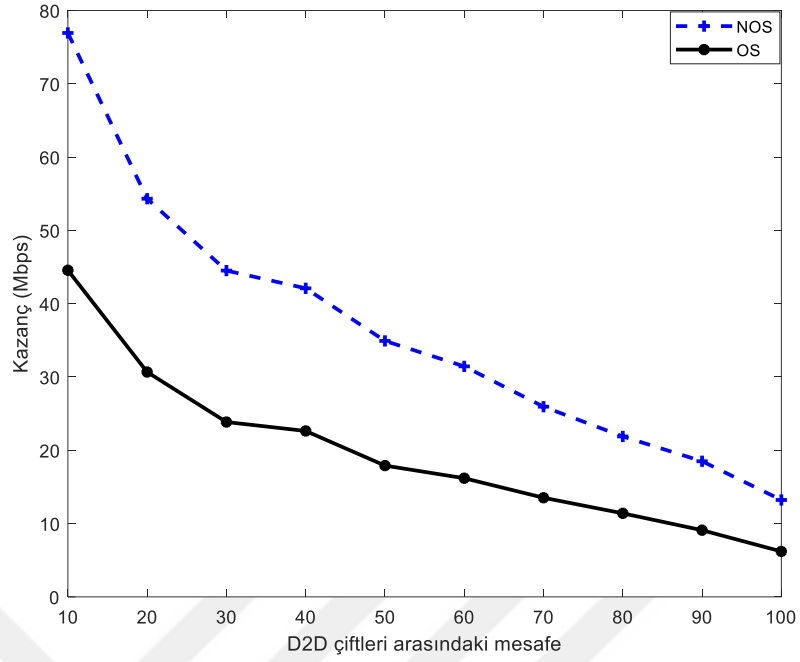
Kaynak paylaşım yöntemlerinin karşılaştırılması kazanç ve veri hızı açısından yapılmıştır. Ayrıca CU sayısı, D2D çifti sayısı ve D2D çiftlerinin arasındaki mesafenin performansı nasıl etkilediği ele alınmıştır. Burada kullanıcı maksimum güç değerleri yani P_{max}^c ve P_{max}^d 24 dBm olarak alınmıştır.

Şekil 4.3'te CU sayısına göre NOS VE OS paylaşım yöntemlerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Burada D2D çifti sayısı 2 ve D2D çiftleri arasındaki mesafe yani $r=60$ alınmıştır. Elde edilen sonuçlarda CU sayısının artması kazancında artmasına neden olmuştur. Spektral verim her iki kaynak paylaşım yönteminde de artmaktadır. Ayrıca, NOS kaynak paylaşım yöntemi OS kaynak paylaşım yöntemine göre daha iyi bir kazançta sahip olduğu görülmüştür.

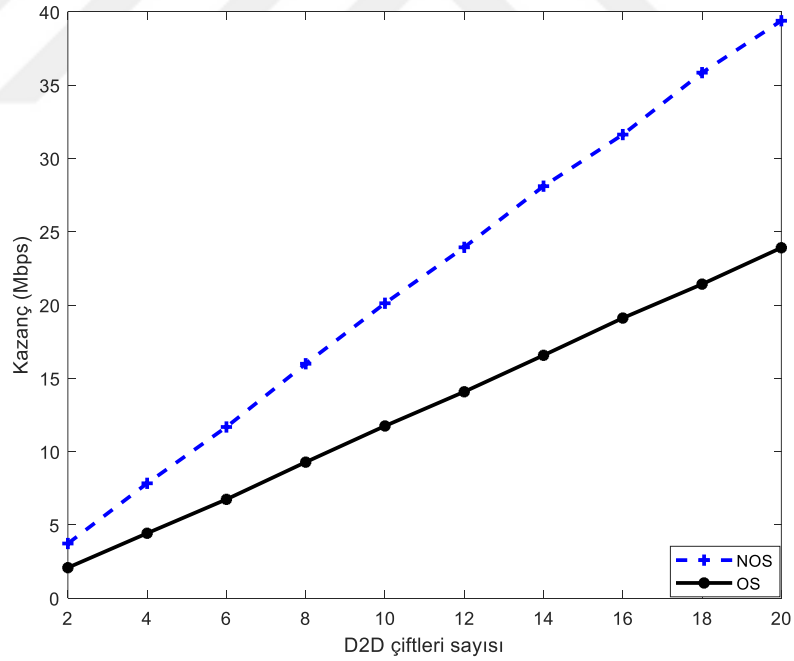


Şekil 4.3 CU sayısına göre NOS ve OS yöntemleri

Şekil 4.4'te D2D çiftleri arasındaki mesafe değişimine göre NOS VE OS paylaşım yöntemlerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Burada D2D çifti sayısı 2 ve CU sayısı 20 alınmıştır. Mesafe ile kanal kazancı ters orantılı olmasından dolayı mesafe arttıkça kanal kazancı azalmaktadır. D2D çiftleri arasındaki kanal kazancının azalması toplam veri hızının da azalmasını sağlayacaktır. Bu yüzden elde edilen sonuçlarda D2D çiftleri arasındaki mesafenin artması kazancın azalmasına neden olmaktadır. Burada NOS paylaşım yöntemi OS paylaşım yöntemine göre daha iyi bir kazanç sağlamıştır.



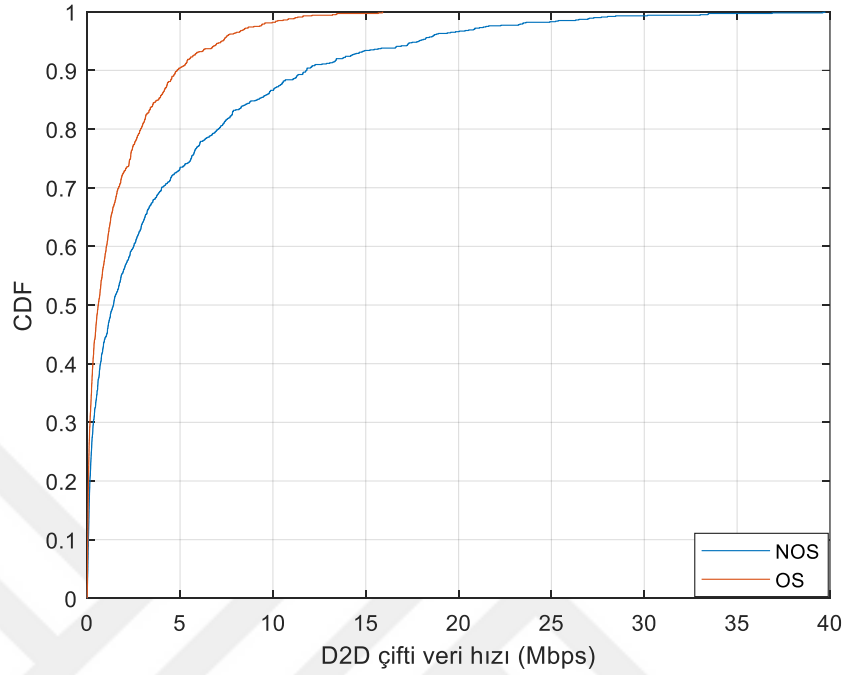
Şekil 4.4 D2D çiftleri arasındaki mesafeye göre NOS ve OS yöntemleri



Şekil 4.5 D2D çifti sayısına göre NOS ve OS yöntemleri

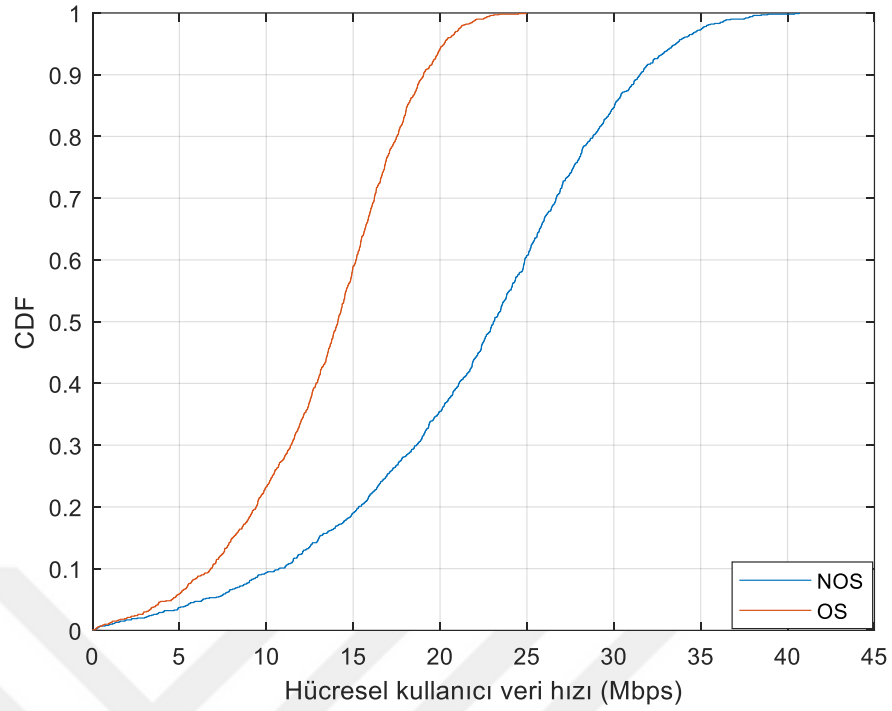
Şekil 4.5'te D2D çiftleri sayısının artışına göre NOS VE OS paylaşım yöntemlerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Burada D2D çifti arasındaki mesafe yani $r=60$ ve CU sayısı 20 alınmıştır. D2D sayısının artması toplam veri hızını artırmakta yani ağ veri hızını artırmaktadır. Bu yüzden Şekil 4.5'te D2D kullanıcı

sayısı artıkça kazançta artmıştır. Burada NOS paylaşım yöntemi OS paylaşım yöntemine göre daha iyi bir kazanç sağlamıştır.



Şekil 4.6 D2D çifti veri hızı için NOS ve OS yöntemleri

NOS ve OS paylaşım yöntemleri D2D çifti sayısı 2, CU kullanıcı sayısı 20 ve D2D çiftleri arasındaki mesafenin yani $r=60$ olan bir hücrel ağ için incelenmiştir. D2D çifti ve hücrel kullanıcı veri hızı için kümülatif dağılım fonksiyonu Şekil 4.6 ve Şekil 4.7’de gösterilmiştir. Bu iki grafik 1000 farklı rastgele seçilen veri hızı değeri kullanılarak elde edilmiştir. OS paylaşım yönteminde 0.9 olasılıkla D2D çifti veri hızı yaklaşık 5 Mbps’den büyükken, hücrel kullanıcı veri hızı yine 0.9 olasılıkla 10 Mbps’den büyüktür. NOS paylaşım yönteminde ise 0.9 olasılıkla D2D çifti veri hızı yaklaşık 15 Mbps’den büyükken, hücrel kullanıcı veri hızı yine 0.9 olasılıkla 30 Mbps’den büyüktür. D2D çiftleri veri hızında NOS ve OS paylaşım yöntemlerinde çok az fark varken hücrel kullanıcı veri hızında NOS paylaşım yöntemi OS paylaşım yöntemine göre 2 kat daha fazladır. Elde edilen sonuçlardan da görüldüğü gibi NOS paylaşım yönteminde girişim gürültüsü olmasına rağmen OS paylaşım yöntemine göre veri hızı ve kazanç açısından daha iyi performans sağlamaktadır.



Şekil 4.7 Hücresel kullanıcı veri hızı için NOS ve OS yöntemleri

4.4 Hazırlanan Algoritma ve Olasılık Temelli Modelin Karşılaştırılması

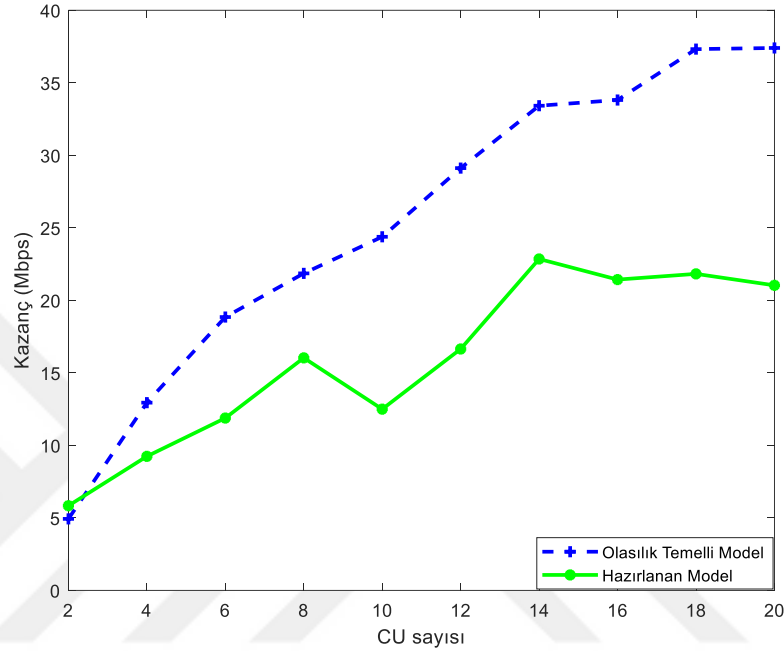
Bir önceki bölümde dikgen olmayan kaynak paylaşım yönteminin dikgen kaynak paylaşım yönteminden daha iyi performans sağladığı benzetim sonuçları ile gösterilmiştir. Bu yüzden bu bölümde sadece dikgen olmayan kaynak paylaşım yöntemi ele alınacaktır.

Dikgen olmayan kaynak paylaşım yöntemi için oluşturulan algoritma ve olasılık temelli model karşılaştırılması MATLAB benzetim programı kullanılarak yapılmıştır. D2D j çiftinin ile CU i kullanıcısının dağılımı rastgele olduğundan elde edilen sonuçlar rastgele 100 senaryonun ortalaması alınarak hesaplanmıştır.

Oluşturulan algoritma ve olasılık temelli model karşılaştırılması kazanç ve veri hızı açısından yapılmıştır. Benzetim sonuçları için kullanıcı maksimum güç değerleri yani P_{max}^c ve P_{max}^d 24 dBm değeri alınmış ve performans CU sayısı, D2D çifti sayısı ve D2D çiftlerinin arasındaki mesafeye göre incelenmiştir.

Şekil 4.8’de CU sayısına göre spektral verimin hazırlanan ve olasılık temelli model açısından nasıl değiştiği ele alınmıştır. Burada D2D çiftlerinin sayısı 2 ve

D2D çiftlerinin arasındaki mesafe 60 olarak alınmıştır. Bir önceki bölümde NOS paylaşım yönteminde kullanıcı sayısının artması spektral verimi artırdığı gösterilmiştir. Aynı şekilde hazırlanan algoritma içinde CU sayısının artması performansı iyileştirmiştir. Şekil 4.8’de görüldüğü gibi hazırlanan algoritma kullanılarak olasılık temelli modele en yakın optimal değer elde edilmiştir.

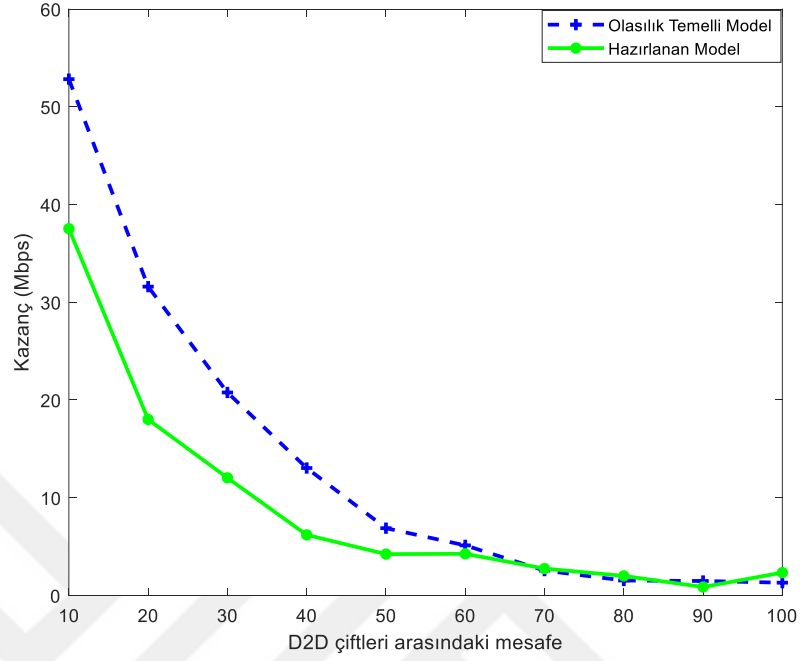


Şekil 4.8 CU sayısına göre olasılık temelli model ve hazırlanan model

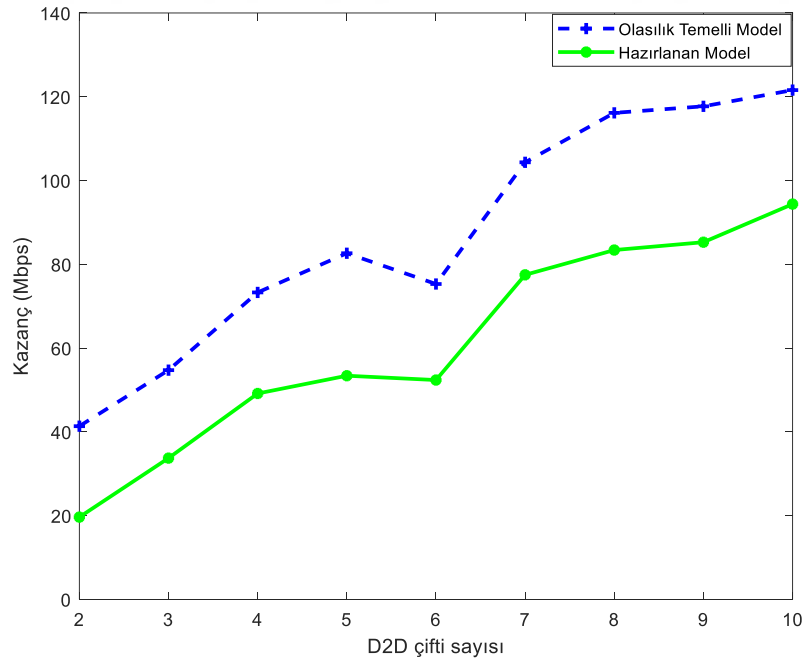
Şekil 4.9’da D2D çiftleri arasındaki mesafe değişimine göre spektral verimin hazırlanan ve olasılık temelli model açısından nasıl değiştiği ele alınmıştır. Burada D2D çiftlerinin sayısı 2 ve CU sayısı 20 olarak alınmıştır. D2D çiftlerinin arasındaki mesafe artışının kanal kazancını azalttığından NOS paylaşım yönteminde kazancın azaldığı Şekil 4.4’te gösterilmiştir. D2D çiftlerinin arasındaki mesafe değişimine göre elde edilen sonuçlarda hazırlanan algoritmanın olasılık temelli modele en yakın optimal değer sağladığı görülmüştür. Ayrıca D2D çiftleri arasındaki yani $r=60$ ’dan büyük olduğunda hazırlanan modelin olasılık temelli modelle aynı kazancı sağladığı görülmüştür.

Şekil 4.10’da D2D çiftlerinin sayısındaki değişime göre kazancın hazırlanan ve olasılık temelli model açısından nasıl değiştiği ele alınmıştır. Burada CU sayısı 20 ve D2D çiftleri arasındaki mesafe 60 olarak alınmıştır. D2D çift sayısının

artması toplam verimi artırmakta bu yüzden ağ verimini de artırmaktadır. Şekil 4.4'te NOS paylaşım yöntemi için uygulanan olasılık temelli model gösterilmiştir.

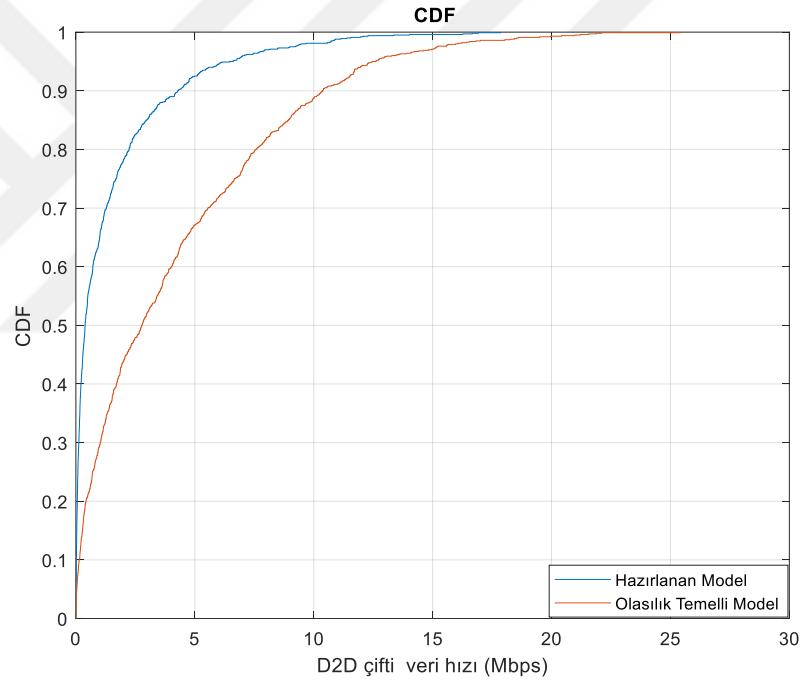


Şekil 4.9 D2D çiftleri arasındaki mesafeye göre olasılık temelli model ve hazırlanan model

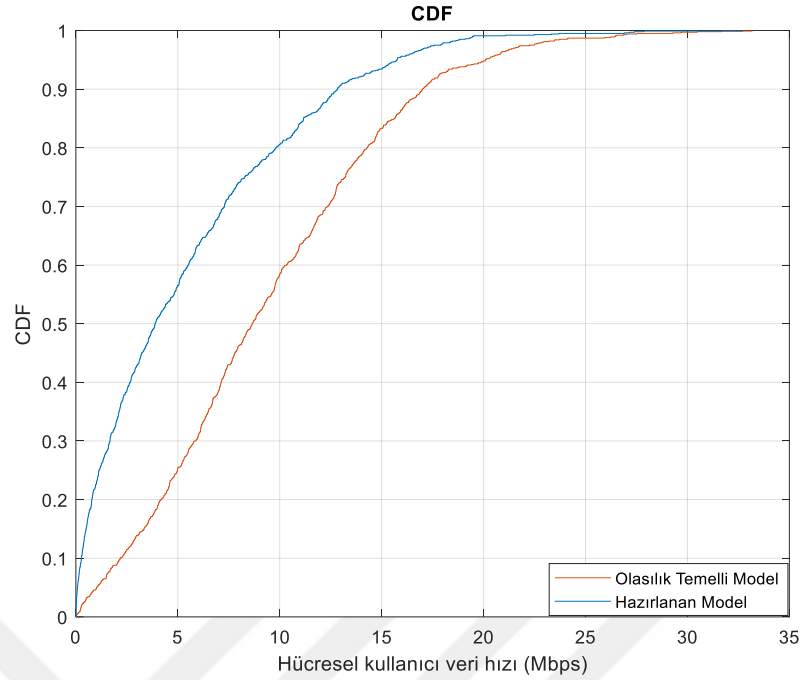


Şekil 4.10 D2D çifti sayısına göre olasılık temelli model ve hazırlanan model

Olasılık temelli model ve hazırlanan model için D2D çifti sayısı 2, CU kullanıcı sayısı 20 ve D2D çiftleri arasındaki mesafenin yani $r=60$ değerleri kullanılarak veri hızı açısından incelenmiştir. D2D çifti ve hücresele kullanıcı veri hızı için kümülatif dağılım fonksiyonu Şekil 4.12 ve Şekil 4.13’de gösterilmiş olup, sonuçlar 1000 farklı rastgele seçilen veri hızı değeri kullanılarak elde edilmiştir. Olasılık temelli model ve hazırlanan model için D2D çifti veri hızı yaklaşık olarak 0.9 olasılıkla sırasıyla 10 ve 5 Mbps’den büyüktür. Hücresele kullanıcı veri hızında ise olasılık temelli model yaklaşık olarak 0.9 olasılıkla 15 Mbps’den ve hazırlanan modelde yaklaşık olarak 0.9 olasılıkla 10 Mbps’den büyüktür. Bu verilere göre hazırlanan modelin olasılık temelli modele en yakın optimal sonuç sağladığı görülmüştür.



Şekil 4.11 D2D çifti veri hızı için olasılık temelli model ve hazırlanan model



Şekil 4.12 Hücresel kullanıcı veri hızı için olasılık temelli model ve hazırlanan model

4.5 Veri Yaklaşım Türlerinin Karşılaştırılması

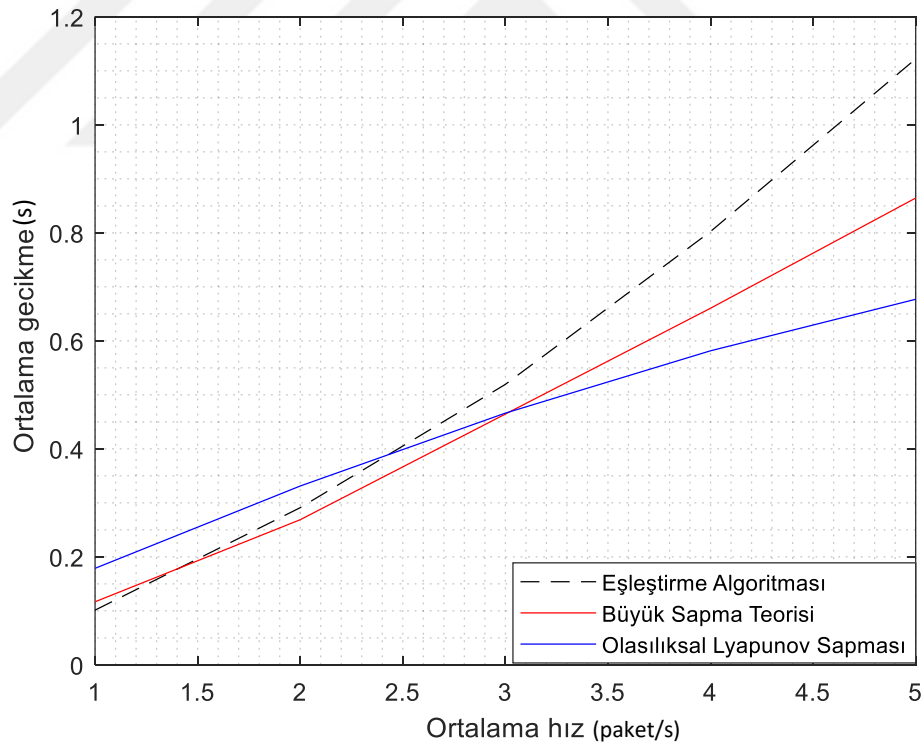
D2D haberleşme gecikmeli kaynak paylaşımı için Büyük Sapma Teorisi, Olasılıksal Lyapunov Sapması ve eşleştirme algoritma yöntemleri incelenmiştir. Veri yaklaşım türlerinin karşılaştırılması dikgen olmayan kaynak paylaşım yöntemi için yapılmıştır. Optimizasyon yönteminde kullanıcıların maksimum verim sağlayacak şekilde eşleştirilmesi esas alınmıştır. Kuyruk modeli için Poission süreçli Little's teoremi kullanılmıştır. L D2D sayısı (sistemdeki ortalama paket sayısı), T sistemdeki bir paket için geçen ortalama süre ve λ ortalama Poission varış hızıdır.

Little's teoremi;

$$L = \lambda T. \quad (35)$$

Benzetim sonuçları için D2D çifti sayısı 10 ve D2D kullanıcılarının arasındaki mesafe 60 olarak alınmıştır. Ayrıca algoritmalar için $u_{k,1} = 0.95$, $u_{k,2} = 0.9$, gecikme sınırı $W_k^{max} = 15$ ve gecikme sınırı hata olasılığı $e_k = 0.05$ ve $\lambda_k^{max} = 15$ olarak alınmıştır. Ayrıca $V = 75$ olarak alınmıştır çünkü bu değerde ortalama düşüş değeri 0 ve ortalama geliş değeri 1 olmaktadır (Junchao et al., 2017).

Şekil 4.14’de Olasılıksal Lyapunov sapması, Büyük sapma teorisi ve eşleştirme algoritmasının ortalama paket gecikmesi açısından karşılaştırılması yapılmıştır. Üç yaklaşım türü içinde ortalama Poission varış hızı artıkça ortalama paket gecikmesi de artmaktadır. Çünkü ortalama Poission hızının artması daha fazla veri paketin kabul edilmesine izin vermektedir. Şekil 4.14’te de görüldüğü gibi ortalama veri hızı düşük olduğunda Büyük sapma teorisi ve eşleştirme algoritması daha iyi performans göstermektedir. Fakat ortalama veri hızı yüksek olduğu değerlerde Olasılıksal Lyapunov sapması daha iyi performans sağlamaktadır. Ortalama veri hızı artıkça Olasılıksal Lyapunov sapması, Büyük sapma teorisi ve eşleştirme algoritmasına göre daha yavaş artmaktadır. Çünkü Olasılıksal Lyapunov sapmasında kontrol politikası hem CSI hem de QSI tarafından belirlenmektedir. Ayrıca, Büyük sapma teorisinde sistem eşzamanlı olarak tanımlanmadığından ve gecikme kısıtlamaları daha sıkı olduğundan Olasılıksal Lyapunov sapmasına göre daha hızlı kötüleşmektedir.



Şekil 4.13 Ortalama paket gecikmesi

Büyük sapma teorisi ile Eşleştirme algoritması veri hızı orta ve düşük olduğunda iyi performans göstermektedir. Fakat Büyük sapma teorisinde gecikmenin bilgi kuramının kullanabileceği parametrelere dönüştürülmesi gerekmektedir. Ayrıca Büyük sapma teorisinde gecikme gereksinimleri ve sistem kapasitesi arasında bir bağlantı sağlayabilmek için karmaşık denklemler kullanılmaktadır. Bu yüzden düşük ve orta veri hızlarında Eşleştirme algoritması daha fazla avantaj sağlayabilecektir.





5 SONUÇ

Bu çalışmada, aynı kanalın eşzamanlı paylaşımı olan Cihazdan Cihaza haberleşme sistemi ele alınmıştır. D2D haberleşme teknolojisi kullanılarak spektral verimlilik, kanal kapasitesi ve gecikme hassasiyeti incelenmiştir. Bu performans ölçütleri öncelikle dikgen ve dikgen olmayan kaynak paylaşım yöntemleri açısından olasılık temelli model olarak karşılaştırılmıştır. Olasılık temelli model doğrusal olmayan optimizasyon problemi olarak tanımlanıp, MATLAB “fmincon” ile çözülmüştür. Kaynak paylaşım yöntemleri spektral verimlilik ve kanal kapasitesi açısından karşılaştırılmasında hücrel kullanıcı sayısı, Cihazdan Cihaza kullanıcı sayısı ve Cihazdan Cihaza kullanıcılarının arasındaki mesafe ölçütleri kullanılmıştır. Dikgen olmayan kaynak paylaşım yönteminin dikgen kaynak paylaşım yöntemine göre daha iyi spektral verimlilik ve veri hızı sağladığı benzetim sonuçları ile gösterilmiştir. Cihazdan Cihaza kullanıcı sayısının ve hücrel kullanıcı sayısının artmasının ağ verimini artırdığı fakat Cihazdan Cihaza kullanıcılarının arasındaki mesafenin artmasının ağ veriminin azalttığı görülmüştür.

Olasılık temelli model incelendikten sonra bu modele en optimal değeri sağlayan bir algoritma önerilmiştir. Hazırlanan algoritmanın olasılık temelli model ile karşılaştırılması sadece dikgen olmayan kaynak paylaşım yöntemi için yapılmıştır. Çünkü dikgen olmayan kaynak paylaşım yönteminde kullanıcılar arasında girişim gürültüsü oluşmasına rağmen dikgen kaynak paylaşım yöntemine göre daha iyi spektral etkinlik sağlamıştır. Hazırlanan algoritmanın iyi bir spektral etkinlik sağlaması amacıyla iki aşamalı olarak yapılmıştır. Algoritmanın ilk aşamasında kullanıcılarının eşleştirme problemi ele alınmıştır. Kullanıcılarının en iyi şekilde eşleşmesi, mesafenin kanal kazancı ile ters orantılı olmasından dolayı minimum mesafe prensibine göre yapılmıştır. Öncelikle tüm Cihazdan Cihaza kullanıcılarının tüm hücrel kullanıcılar ile arasındaki mesafeler ölçülmüştür. Daha sonra en yakın mesafe değerleri seçilip kullanıcıların en iyi kanal kazancı sağlayacak şekilde eşleşmesi sağlanmıştır. Algoritmanın ikinci aşamasında kullanıcılar arasında oluşan girişim gürültüsünün giderilmesi için güç tahsisi problemi ele alınmıştır. Güç tahsisi problemi için kullanıcı güç sınır değerlerine göre bölgeler oluşturulup, kullanıcı güç değerlerinin bu bölgede alması sağlanmıştır. Sonuç olarak elde edilen benzetim sonuçlarında hazırlanan

algoritmanın spektral verimlilik ve veri hızı açısından olasılık temelli modele en yakın optimal değeri sağladığı gösterilmiştir.

D2D haberleşme gecikmeli dikgen olmayan kaynak paylaşımı için Büyük Sapma Teorisi, Olasılıksal Lyapunov Sapması ve eşleştirme algoritma yöntemleri incelenmiştir. Optimizasyon yönteminde kullanıcıların maksimum verim sağlayacak şekilde eşleştirilmesi esas alınmıştır. Performans karşılaştırması için ortalama veri hızına karşı ortalama gecikmenin nasıl değiştiği incelenmiştir. Elde edilen benzetim sonuçlarında ortalama veri hızı artıkça ortalama gecikmenin de arttığı gözlemlenmiştir. Bu veriler kapsamında veri hızı düşük olduğunda Büyük sapma teorisi ve eşleştirme algoritması daha iyi performans gösterirken, yüksek veri hızında Olasılıksal Lyapunov sapması daha iyi performans sağlamıştır. Ayrıca ortalama veri hızı artıkça Olasılıksal Lyapunov sapması diğer iki yaklaşıma göre daha yavaş artmaktadır. Çünkü kontrol politikası hem hem CSI hem de QSI tarafından belirlenmektedir.

Bu çalışmada daha önce yapılan diğer çalışmalardan farklı olarak D2D haberleşme spektral verim, veri hızı ve gecikme hassasiyeti açısından incelenmiştir. Daha önce yapılan çalışmalarda genellikle spektral verim ve veri hızı üzerinden durulmuş, gecikme hassasiyeti ele alınmamış ve kullanıcılarının sonsuz veri depoladığı varsayılmıştır. Ayrıca dikgen kaynak paylaşımı için önerilen algoritmanın olasılık temelli modele en yakın optimum değer sağladığı benzetim sonuçlarıyla gösterilmiştir.

6 KAYNAKÇA

Asadi, A., Wang, Q. and Mancuso V., 2014, A Survey on Device-to-Device Communication in Cellular Networks, IEEE Communications Surveys & Tutorials, 1801 – 1819pp

Jiajia, L., Nei, K., Jianfeng, M. and Naoto K., 2015, Device-to-Device Communication in LTE-Advanced Networks: A Survey, IEEE Communication Surveys & Tutorials, 1923-1940pp

Furqan, J., Zara, H., Farhana, J., Sherali, Z. and Muhammad, A. J., 2018, A Survey of Device-to-Device Communications: Research Issues and Challenges, IEEE Communication Surveys & Tutorials, 2133-2167pp

Rawan, A., Raed, M. S. and Ibrahim, A., 2014, Survey on Device-to-Device Dommunications: Challenges and Design Issues, IEEE International New Circuits and Systems Conference (NEWCAS), 361-364pp

Doppler, K., Rinne, M. P., Janis, P., Riberio, C. and Hugl K., 2009, Device-to-device communications; functional prospects for LTE-Advanced networks, in Proceedings IEEE ICC Workshops, 1-6pp

Xu, S., Wang, H., Chen, T., Huang, Q. and Peng, T., 2010, Effective Interference Cancellation Scheme for Device-to-Device Communications Underlying Cellular Networks, in Proceedings of IEEE VTC-Fall, 1-5pp

Zhang, R., Cheng, X., Yang, L. and Jiao B., 2013, Interference-Aware Graph Based Resource Sharing for Device-to-Device Communications Underlying Cellular Networks, in Proceedings of IEEE WCNC, 140-145pp

Min, H., Lee, J., Park, S. and Hong, D., 2011, Capacity Enhancement Using an Interference Limited Area for Device-to-Device Uplink Underlying Cellular Networks, IEEE Transactions on Wireless Communications, 3995-4000pp

Doppler, K., Yu, C.H., Riberio, C.B. and Janis, P., 2010, Mode Selection for Device-to-Device Communication Underlying an LTE-Advanced Network, in Proceedings IEEE WCNC, 1-6pp

Zhou, B., Hu, H., Huang, S.Q. and Chen, H.H., 2013, Intracluster Device-to-Device Relay Algorithm with Optimal Resource Utilization, IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2315-2326pp

Li, J.C., Lei, M. and Gao, F., 2012, Device-to-Device (D2D) Communication MU-MIMO Cellular Networks, in Proceedings of IEEE GLOBECOM, 3583-3587pp

Fodor, G., Dahlman, E., Mildh, G., Parkvall, S., Reider, N., Mikls, G., and Turnyi, Z., 2012, Design Aspects of Network Assisted Device-to-Device Communications, IEEE Communications Magazine, 170-177pp

Alliance W., 2010, Wi-Fi Peer-to-Peer (P2P) Specification v1.1, WI-FI ALLIANCE SPECIFICATION, 1-159 pp

Bluetooth S., 2001, Bluetooth Specification Version 1.1, www.bluetooth.com

Alliance Z., 2006, Zigbee Specification, www.zigbee.org (Document 053474r06), 1-622 pp

Zhou B., Ma S., Xu J. and Li Z., 2013, Group-Wise Channel Sensing and Resource Pre-Allocation for LTE D2D on ISM Band, in Proceedings of IEEE WCNC, 118-122 pp

Ji M., Caire G. and Molisch A. F., 2013, Wireless Device-to-Device Caching Networks: Basic principles and system performance, arXiv: 1305.5216

Wang Q. and Rengarajan B., 2013, Recouping Opportunistic Gain in Dense Base Station Layouts Through Energy-Aware User Cooperation, in Proceedings of IEEE WoW Mom, 1-9 pp

Klaus D., Chia-Hao Y., C'assio B. R., and Olav T., 2011, Device-to-Device Communications Underlying Cellular Network, IEEE Transactions on Wireless Communications, 2752-2763 pp

Daquan F., Lu L., Yuan-Wu Y., Geoffrey Y. L., Gang F., and Shaoqian L., 2013, QoS-Aware Resource Allocation for Device-to-Device Communications With Channel Uncertainty, IEEE Transactions on Communications, 3541-3551 pp

Haitham H. E., Mahmoud M. E. and Ibrahim I. I., 2016, Adaptive Resource Sharing Algorithm for Device-to-Device Communications Underlying Cellular Networks, IEEE Communications Letters, 530-533 pp

Daquan F., Lu L., Yuan-Wu Y., Geoffrey Y. L., Gang F., and Shaoqian L., 2016, QoS-Aware Resource Allocation for Device-to-Device Communications With Channel Uncertainty, IEEE Transactions on Vehicular Technology, 6051-6062 pp

Xue C., Rose Qingyang H., Jeongho J. And Geng W., 2015, Optimal Resource Allocation and Mode Selection for D2D Communication Underlying Cellular Networks, 978-1-4799-5952-5/15/\$31.00 ©2015 IEE

Ajay B. and Samar A., 2016, A Resource Allocation Scheme for Multiple Device-to-Device Multicasts in Cellular Networks, IEEE Wireless Communications and Networking Conference

Li W., Huan T., Huaqing W., and Gordon L. S., 2017, Resource Allocation for D2D Communications Underlay in Rayleigh Fading Channels, IEEE Transactions on Vehicular Technology, 1159-1170 pp

MD. Yeakub H., Faisal H. and MD. Sakhawat H., 2017, Interference Minimization in D2D Communication Underlying Cellular Networks, IEEE Access, 22471- 22484 pp

Ruhallah A., Ben L., Min D., Gary B., and S. Hossein S., 2018, Power Allocation for Underlay Device-to-Device Communication Over Multiple Channels, IEEE Transactions on Signal and Information Processing over Networks, 467- 480 pp

Junchao L., Weiwei X. and Lianfeng S., 2017, Delay-Aware Resource Control for Device-to-Device Underlay Communication Systems, Transactions on Emerging Telecommunications Technologies

Ying C., Vincent K. N. L., Rui W., Huang H. and Shunqing Z., 2012, A Survey on Delay-Aware Resource Control for Wireless Systems—Large Deviation Theory, Stochastic Lyapunov Drift, and Distributed Stochastic Learning, IEEE Transactions on Information Theory, 1677-1701 pp

Xiang M., Ming Z., Limin X., Shidong Z. and Jing W., 2015, Delay-Aware Resource Allocation and Power Control for Device-to-Device Communications, IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), 311-316 pp

Fauzun A. A., João P. B. N., Muhammad A. I., 2017, Delay-Optimal Mode Selection in Device-to-Device Communications for Smart Grid, IEEE International Conference on Smart Grid Communications, 26-31 pp

Sheng H., Ben Li. and Jiandong L., 2017, Distributed Interference and Delay Aware Design for D2D Communication in Large Wireless Networks With Adaptive Interference Estimation, IEEE Transactions on Wireless Communications 3924-3939 pp

Raj J., 2018, Channel Models A Tutorial, https://www.cse.wustl.edu/~jain/cse574-08/ftp/channel_model_tutorial.pdf

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı : YASEMİN
Soyadı : MİNGAN
Doğum Tarihi : 17.03.1993
Medeni Durumu : Bekâr

Eğitim Bilgileri

Lise : Naci Şensoy Anadolu Lisesi (2006-2010)
Lisans : Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi – Elektrik Elektronik Mühendisliği – 3.57/4 (2010-2015)
Yüksek Lisans : Ege Üniversitesi – Elektrik Elektronik Mühendisliği – 3.28/4 (2016-Halen)

İş Deneyimleri

TÜBİTAK– Bilimsel Programlar Uzman Yardımcısı (Araştırmacı)– (2017-Halen)

Yayın

Yasemin M. ve Bilge K. Ç., 2017, Hücresel Ağlarda Cihaz-Cihaz Haberleşmesi Kaynak Paylaşım Yöntemlerinin Karşılaştırılması, Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)

