



**T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**5G VE ÖTESİ SİSTEMLERDE HİBRİT BİR YÖNTEMLE ETKİN
PİLOT KİRLİLİĞİ AZALTMA YAKLAŞIMI**

ESRA CANSU KÖSE

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
DR. ÖĞR. ÜYESİ SELMAN KULAÇ**

DÜZCE, 2019

T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

5G VE ÖTESİ SİSTEMLERDE HİBRİT BİR YÖNTEMLE ETKİN
PİLOT KİRLİLİĞİ AZALTMA YAKLAŞIMI

Esra Cansu KÖSE tarafından hazırlanan tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Dr. Öğr. Üyesi Selman KULAÇ

Düzce Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Dr. Öğr. Üyesi Selman KULAÇ

Düzce Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet UÇAR

Düzce Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Hakan KAYA

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi:26/07/2019

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumları kaynak olarak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

26 Temmuz 2019

Esra Cansu KÖSE

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimimde ve bu tezin hazırlanmasında gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı çok değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi. Selman KULAÇ 'a en içten dileklerle teşekkür ederim. Bu çalışma boyunca yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen sevgili aileme, çalışma arkadaşlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

26 Temmuz 2019

Esra Cansu KÖSE

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

| | |
|---|----------|
| ŞEKİL LİSTESİ..... | vii |
| ÇİZELGE LİSTESİ..... | viii |
| KISALTMALAR..... | ix |
| SİMGELER | x |
| ÖZET | xii |
| ABSTRACT | xiii |
| 1. GİRİŞ..... | 1 |
| 2. LİTERATÜR TARAMASI..... | 2 |
| 2.1. BEŞİNCİ NESİL HÜCRESEL İLETİŞİM SİSTEMLERİ | 2 |
| 2.1.1. Beşinci Nesil Hücresel İletişim Sistemlerinin Avantajları..... | 3 |
| 2.1.1.1. <i>Veri Hızı</i> | 3 |
| 2.1.1.2. <i>Enerji Verimliliği</i> | 4 |
| 2.1.1.3. <i>Gecikme</i> | 4 |
| 2.1.1.4. <i>Maliyet</i> | 4 |
| 2.1.1.5. <i>Spektrum Verimliliği</i> | 5 |
| 2.1.2. Beşinci Nesil Hücresel İletişim Sistemlerinin Dezavantajları..... | 6 |
| 3. MATERYAL VE YÖNTEM | 7 |
| 3.1. BÜYÜK ÖLÇEKLİ MIMO SİSTEMİN ÇALIŞMA PRENSİBİ VE TEORİK DEĞERLENDİRMESİ..... | 8 |
| 3.1.1. Büyük Ölçekli MIMO Sistem Modelinde İletim Şemaları..... | 8 |
| 3.1.1.1. <i>TDD (Zaman Bölmeli Çiftleme) Şeması</i> | 8 |
| 3.1.1.2. <i>FDD (Frekans Bölmeli Çiftleme) Şeması</i> | 8 |
| 3.1.1.3. <i>TDD Şeması ile FDD Şemasının Kıyası</i> | 8 |
| 3.1.2. Büyük Ölçekli MIMO Sisteminde Bağlantılar | 9 |
| 3.1.2.1. <i>Yaygın Olarak Kullanılan Sistem Modeli</i> | 10 |
| 3.1.2.2. <i>Yukarı Bağlantı (Uplink, UL)</i> | 11 |

| | |
|---|-----------|
| 3.1.2.3. Aşağı Bağlantı (Downlink, DL)..... | 11 |
| 3.2. BÜYÜK ÖLÇEKLİ MIMO SİSTEMİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ..... | 12 |
| 3.2.1. Büyük Ölçekli MIMO Sisteminin Avantajları | 12 |
| 3.2.2. Büyük Ölçekli MIMO Sisteminin Dezavantajları..... | 13 |
| 3.2.3. Büyük Ölçekli MIMO Sisteminin 5G Teknolojisindeki Yeri..... | 13 |
| 3.3. TEK KULLANICILI MIMO SİSTEM (SU-MIMO, SINGLE USER | |
|MULTIPLE INPUT MULTIPLE OUTPUT)..... | 14 |
| 3.4. ÇOK KULLANICILI MIMO SİSTEM (MU-MIMO, MULTI USER MULTIPLE INPUT | |
|MULTIPLE OUTPUT)..... | 15 |
| 3.5. KANAL DURUM BİLGİSİ | 15 |
| 3.6. PİLOT KİRLİLİĞİ PROBLEMİ ANALİZİ..... | 16 |
| 3.6.1. Pilot Kirliliği Probleminin Tanımı | 16 |
| 3.6.2. Pilot Kirliliği Probleminin Kaynakları | 17 |
| 3.6.2.1. Ortogonal Olmayan Pilot Şemaları | 17 |
| 3.6.2.2. Donanım Bozuklukları | 17 |
| 3.6.2.3. Karşılıklı Olmayan Alıcı ve Vericiler..... | 17 |
| 3.6.3. Pilot Kirliliği Probleminin Sisteme Etkisi..... | 18 |
| 3.6.4. Pilot Kirliliği Probleminin Azaltılmasına Yönelik Yapılan Çalışmalar.. | 18 |
| 4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA..... | 28 |
| 4.1. MUNKRES (HUNGARIAN) ALGORİTMASI | 28 |
| 4.1.1. Munkres Algoritmasının Çalışma Prensibi | 29 |
| 4.1.1.1. Birinci Adım | 29 |
| 4.1.1.2. İkinci Adım | 29 |
| 4.1.1.3. Üçüncü Adım..... | 30 |
| 4.1.1.4. Dördüncü Adım..... | 30 |
| 4.2. YUMUŞAK PİLOT TEKRAR ŞEMASI (SOFT PİLOT REUSE SCHEME)31 | |
| 4.3. ÖNERİLEN HİBRİT YÖNTEM..... | 31 |
| 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER..... | 36 |
| 6. KAYNAKLAR..... | 37 |
| ÖZGEÇMİŞ..... | 43 |

ŞEKİL LİSTESİ

| | <u>Sayfa No</u> |
|--|-----------------|
| Şekil 2.1. Genel 5G hücresel ağlar mimarisi [61]..... | 3 |
| Şekil 2.2. Popüler frekans bantları [62]. | 5 |
| Şekil 3.1. TDD iletim protokolü. | 8 |
| Şekil 3.2. Büyük Ölçekli MIMO sisteminde bağlantılar. | 9 |
| Şekil 3.3. Büyük Ölçekli MIMO sistemde yukarı bağlantının ve aşağı bağlantının gösterimi. | 10 |
| Şekil 3.4. SU-MIMO sistem modeli. | 14 |
| Şekil 3.5. MU-MIMO sistem modeli. | 15 |
| Şekil 3.6. Çok hücreli Büyük Ölçekli MIMO sistemlerde pilot kirliliği problemi (Pilot Tekrarlama Faktörü:1) [23]. | 16 |
| Şekil 3.7. Noktadan noktaya karşılıklılık modeli [55]. | 18 |
| Şekil 3.8. APT ve FPR yöntemleri kullanılarak önerilen şema [18]. | 19 |
| Şekil 3.9. Bencil oyun için Nash dengesinin bulunmadığı bir senaryo [14]. | 20 |
| Şekil 3.10. Dinamik Atama yöntemine göre hücre ve pilotların ayırım şeması [31]. | 21 |
| Şekil 3.11. Karmaşık Gauss sistemi modeli [33]. | 22 |
| Şekil 3.12. Önerilen APA Algoritması örneği [35]. | 23 |
| Şekil 3.13. Farklı hücrelerdeki kullanıcıların farklı iletim protokolleri [36]. | 24 |
| Şekil 3.14. Set B ile çok hücreli kullanıcının pilot iletim alanı tahsisi [37]. | 25 |
| Şekil 3.15. Pilot güç kontrolü ile çerçeve yapısı [38]. | 25 |
| Şekil 3.16. [38]'de önerilen yöntem ile çerçeve yapısı. | 26 |
| Şekil 3.17. Zaman kaydırmalı pilotların aşağı bağlantı verilerinin örtüşmesi [40]. | 26 |
| Şekil 3.18. [43]'te önerilen hibrit sistemin iletim yapısı. | 27 |
| Şekil 4.1. Hücrelerin grupsal olarak ayrımı [53]. | 31 |
| Şekil 4.2. Önerilen yöntem ile bir hücredeki aktif kullanıcıların ayrımı. | 32 |
| Şekil 4.3. Atama yöntemlerinin kümülatif dağılım fonksiyonuna (CDF) göre SINR (dB) değerleri. | 34 |
| Şekil 4.4. Atanan farklı pilot şemalarının ortalama yukarı bağlantı başarımlarının gönderim gücüne göre kıyası. | 35 |
| Şekil 4.5. Yukarı bağlantıdaki ortalama başarımların baz istasyonundaki anten sayısına göre değişimi. | 35 |

ÇİZELGE LİSTESİ

| | <u>Sayfa No</u> |
|--|------------------------|
| Çizelge 4.1. Önerilen yöntemin sözde kodu..... | 33 |
| Çizelge 4.2. Kullanılan parametreler..... | 34 |



KISALTMALAR

| | |
|---------|--|
| 4G | Fourth generation (Dördüncü nesil) |
| 5G | Fifth generation (Beşinci nesil) |
| APA | Adaptive pilot allocation (Adaptif pilot ataması) |
| AP | Affinity propagation (Yakınlık yayılımı) |
| APT | Asynchronous pilot transmission (Eş zamanlı olmayan pilot iletimi) |
| BF | Beamforming (Hüzmeleme) |
| BS | Base station (Baz istasyonu) |
| CDF | Cumulative distribution function (Yığılımlı dağılım fonksiyonu) |
| CE | Channel estimation (Kanal kestirimi) |
| CIR | Channel impulse response (Kanal dürtü cevabı) |
| CPA | Kümelemeye dayalı pilot ataması |
| CSI | Channel state information (Kanal durum bilgisi) |
| D2D | Device to device (Araçtan araca) |
| DL | Downlink (Aşağı bağlantı) |
| FDD | Frequency division duplex (Frekans bölmeli çiftleme) |
| FPR | Fractional pilot reuse (Kısmi pilot tekrarı) |
| IoT | Internet of things (Nesnelerin interneti) |
| MAP | Maximum a-posteriori (En Büyük Sonsal Olasılık) |
| MIMO | Multiple input multiple output (Çoklu giriş çoklu çıkış) |
| MSE | Mean square error (Ortalama karesel hata) |
| MU-MIMO | Multi user multiple input multiple output (Çok kullanıcılı çoklu giriş çoklu çıkış) |
| PC | Pilot contamination (Pilot kirliliği) |
| RF | Radio frequency (Radyo dalgaları) |
| SINR | Signal to interference and noise ratio (Sinyal girişim-gürültü oranı) |
| SPA | A smart pilot assignment (Akıllı pilot ataması) |
| SPR | Soft pilot reuse (Yumuşak pilot tekrarı) |
| SPRS | Soft pilot reuse scheme (Yumuşak pilot tekrarı şeması) |
| SU-MIMO | Single user multiple input multiple output (Tek kullanıcılı çoklu giriş çoklu çıkış) |
| TDD | Time division duplex (Zaman bölmeli çiftleme) |
| TS | Time shift (Zaman kaydırma) |
| UL | Uplink (Yukarı bağlantı) |
| UT | User terminal (Kullanıcı terminali) |

SİMGELER

| | |
|-------------------|---|
| $(.)^T$ | Transpoz işareti |
| $\beta_{a,b,k}$ | Büyük ölçekli sönümlleme faktörü |
| T | Pilot dizileri uzunluğu |
| Φ_b | Pilot dizisi |
| $\hat{h}_{i,k}^l$ | Kanal tahmini |
| $h_{i,k}^l$ | Gerçek kanal tepkisi |
| n_d | Ek gürültü |
| x_d | BS tarafından iletilen sinyal vektörü |
| x_u | Tüm kullanıcıların sinyal vektörü |
| C^M | m boyutlu sayılar kümesi |
| $h_{a,b,k,m}$ | Küçük ölçekli sönümlleme faktörü |
| $g_{i,k,l,n}$ | Karmaşık küçük ölçekli sönümlleme katsayısı |
| p_d | Aşağı bağlantı iletim gücü |
| p_u | Yukarı bağlantı iletim gücü |
| γ^{DL} | Aşağı bağlantı yük iletimi |
| γ^{UL} | Yukarı bağlantı yük iletimi |
| $\Phi_{i,K}$ | i. hücredeki k kullanıcısı tarafından kullanılan pilot matrisi |
| H | Kanal matrisi |
| K | Kullanıcı sayısı |
| L | Hücre sayısı |
| M | Anten sayısı |
| A_l | Ön kodlama matrisi |
| $Cov\{\dots\}$ | Kovaryans |
| f | Pilot yeniden kullanım faktörü |
| N_b | Toplanabilir beyaz gauss gürültü matrisi |
| $g_{a,b,k,m}$ | Hücre b'deki k. kullanıcıdan hücre a'daki baz istasyonuna m. antenine doğru yayılma faktörü |
| Y_b | b. hücredeki baz istasyonundan alınan sinyal |
| p_u | Yukarı bağlantıdaki her bir kullanıcının ortalama gönderme gücü |
| Z_b | a. hücrede bulunan baz istasyonundan (BS) k. kullanıcıya gönderilen sinyal |
| p_d | Aşağı bağlantı üzerindeki BS'nin k. kullanıcıya iletilen ortalama gücü |
| \hat{H}_l | Kanal kestirimi |
| s_a | a. hücredeki baz istasyonundan k kullanıcısına gönderilen bilgi sinyali |
| $c_{k,l}$ | Pilot kirliliği katsayıları |
| K_1 | Bir hücredeki kullanıcı sayısı |
| J | Hücre sayısı |
| Q | Pilot dizisi sayısı |
| μ_0 | Kaybedilen spektral etki değeri |
| N | Baz istasyonundaki anten sayısı |
| θ | Eşik (Threshold) parametresi |
| δ_p | Gönderme gücü |

σ

Gölgeleme sönümlenmesi



ÖZET

5G VE ÖTESİ SİSTEMLERDE HİBRİT BİR YÖNTEMLE ETKİN PİLOT KİRLİLİĞİ AZALTMA YAKLAŞIMI

Esra Cansu KÖSE

Düzce Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Selman KULAÇ

Temmuz 2019, 42 sayfa

Kablosuz iletişimdeki ilerlemelerle birlikte gelişen teknoloji ve bunun getirmiş olduğu eksiklikleri tamamlayarak iyileştirme çabaları artmış, yeni teknikler geliştirilerek yüksek veri iletim hızı, iletişimin kesintisiz ve en iyi başarımının yakalandığı birçok çalışma yapılmıştır. Kablosuz iletişimde kullanılan ortamın hava olmasının olumsuz etkileri vs. nedenlerden ötürü bazı zorluklar ortaya çıkmıştır. Bu zorluklardan biri de pilot kirliliğidir. Bu kirlilik Büyük Ölçekli MIMO sisteminde iki terminal arasında referans sinyali olarak bilinen aynı pilot dizisinin kullanılması ile ortaya çıkmaktadır. Ayrıca birkaç eş kanallı hücrenin pilot dizilerinin yeniden kullanılması da pilot kirliliğine sebep olmaktadır. Bu da sistemde başarımın düşmesine ve hatta bazen iletişimin etkin gerçekleşmemesine neden olmaktadır. Bu etkinin azaltılması için gerçekleştirilen teknikler arasında çok sayıda pilot dizisinin olması ve aralarında rastgele geçiş yapılması yer almaktadır. Başka bir iyileştirme olabilecek olan metot kör veya yarı-kör tekniklerin kullanılmasıdır. Ön kodlama tasarımının gerçekleştirilmesi ve buna uygun algoritmaların geliştirilmesi de pilot kirliliğinin giderilmeye çalışılmasında etkin olabilmektedir. Ayrıca pilotların kullanımına koordineli bir şekilde izin verilmesiyle birlikte, ortaya çıkan kirliliğin engellenmesi de muhtemeldir. Bunun yanı sıra, izin verilen pilot dizilerinin optimize edilmesi için geliştirilecek yöntemler de bu etkiyi azaltmaya yardımcı olmaktadır. Genel olarak, bu tez çalışmasında sistemlerin performansını sınırlayan pilot kirliliği etkisinin giderilmesine yönelik teknikler üzerine çalışmalar incelenmiştir. Bu çalışmada önerilen hibrit yöntemle hücrede yüksek girişime sebep olan kullanıcılar için yeni pilot atama yöntemi yapılmaktadır. Referans hücre kullanıcıları, kenar ve merkez kullanıcıları olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Böylece pilot kirliliği problemi azaltılmaktadır. Bu ihtiyaçların giderilmesinin gerçek zamanda uygulanıp uygulanamayacağını belirlenmesi açısından uygun görülen benzetim programı ile ilgili benzetim çalışmaları da yapılarak, performans değerlendirmesi yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Büyük ölçekli çok girişli çok çıkışlı sistemler, Kanal kestirimi, Pilot kirliliği, 5.Nesil (5G).

ABSTRACT

EFFICIENT PILOT CONTAMINATION MITIGATION APPROACH WITH A HYBRID METHOD IN 5G AND BEYOND SYSTEMS

Esra Cansu KÖSE

Düzce University

Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Electrical and

Electronics Engineering

Master's Thesis

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Selman KULAÇ

July 2019, 42 pages

As a result of wireless communication advancements, efforts have been made to improve the technology by completing the developing technology and the shortcomings it has brought, and by means of developing new techniques, many studies have been carried out in order to achieve high data transmission speed, uninterrupted communication and best performance. The negative effects of interferences (as an air medium) in wireless communication is due to some reasons. One of those challenges is pilot contamination. Pilot contamination occurs between two terminals using the same pilot sequence known as the reference signal. In addition, reuse of pilot sequences of several co-channel cells also causes pilot contamination. Therefore, the performance of the system is reduced and sometimes even in effective communication. Techniques for reducing this effect, include having a large number of pilot sequences and random switching between them. Another method that may be improved is the use of Blind or Semi-Blind techniques. The realization of the pre-coding design and the development of appropriate algorithms can also be effective in trying to eliminate pilot contamination. It is also possible to prevent interference caused by coordinated permission for the use of pilots. In addition, methods for optimizing the permitted pilot sequences will help to reduce this impact. In general, in this thesis, the research is being carried out on techniques to eliminate the effect of pilot contamination, which limits the performance of the systems. In this study, a new pilot assignment method is used for the users who cause high interference in the cell by the hybrid method proposed. Reference cell users are divided into the edge and the center users. Thus, the problem of pilot contamination is reduced. In order to determine whether these requirements can be implemented in real time or not, simulations will be conducted through the simulation program, according to which performance evaluation will be made.

Keywords: Massive MIMO systems, Channel estimation, Pilot contamination, 5.Generation (5G).

1. GİRİŞ

Kablosuz iletişim, radyo dalgalarının (RF) keşfedilmesi ile ortaya çıkmıştır. Kablosuz iletişim kısaca, bir noktadan diğer bir noktaya veya bir ağ yapısı biçiminde bağlantı sağlamakta olan bir teknolojidir. Günümüzde artan ihtiyaçlara, taleplere göre şekillenmiş ve halen şekillenmektedir. Bu iletişim teknolojisini, diğer haberleşme teknolojilerinden ayıran bir başka noktaysa, iletim ortamı olarak havanın kullanılmasıdır. Kablosuz iletişimin doğasından kaynaklanan birçok teknik zorluk mevcuttur. Bu zorluklardan biri de pilot kirliliği problemi. Verici, paketler halinde verileri gönderirken bu dizilere önceden tanımlanmış değerler içeren özel semboller eklemektedir. Bu sembolere pilot sembolleri denir. Alıcı, her konumda pilot dizilerini diğer alınan simgelerin faz ve genliklerinin doğru bir şekilde çözülmesi için kullanmaktadır. Pilot kirliliği problemi, iki terminal arasında referans sinyali olarak aynı pilot dizisinin kullanılmasından kaynaklanmakta olan bir iletişim problemidir. Aynı zamanda komşu hücrelerden gelen pilot dizilerinin yeniden kullanılması da pilot kirliliği probleminin sebeplerindedir.

Pilot kirliliği problemi sebebiyle sistem başarımının düşmesi, etkin bir iletişimin gerçekleşmemesine neden olmaktadır. Bundan dolayı pilot kirliliği probleminin azaltılması gerekmektedir. Bu olumsuz etkinin giderilmesi için literatürde birçok yapılmış çalışma mevcuttur. Bu çalışmalardan bazıları: Zaman kaydırmalı bir yöntemle iletimin farklı zamanlarda yapılmasını sağlayarak girişimi azaltmak, kanal kestirim aşamasında farklı metot ve algoritmaların önerilmesi, hücrelerin ya da kullanıcıların gruplanması adına yapılmış çalışmalar, güvenlik açısından inceleyen çalışmaların yanı sıra pilot sinyallerinin dalga formlarının optimize edilmesi gibi birçok çalışma bulunmaktadır. Genel olarak, bu tez çalışmasında sistemlerin performansını sınırlayan pilot kirliliği etkisinin giderilmesine yönelik teknikler üzerinde yapılmış olan çalışmalar incelenmiştir. Bu ihtiyaçların giderilmesinin, gerçek zamanda uygulanıp uygulanamayacağını belirlemek açısından uygun görülen benzetim programıyla çalışmalar yapılarak performans değerlendirmesi yapılmıştır. Önerilen yöntemin etkin olarak pilot kirliliği problemini azalttığı görülmüştür.

2. LİTERATÜR TARAMASI

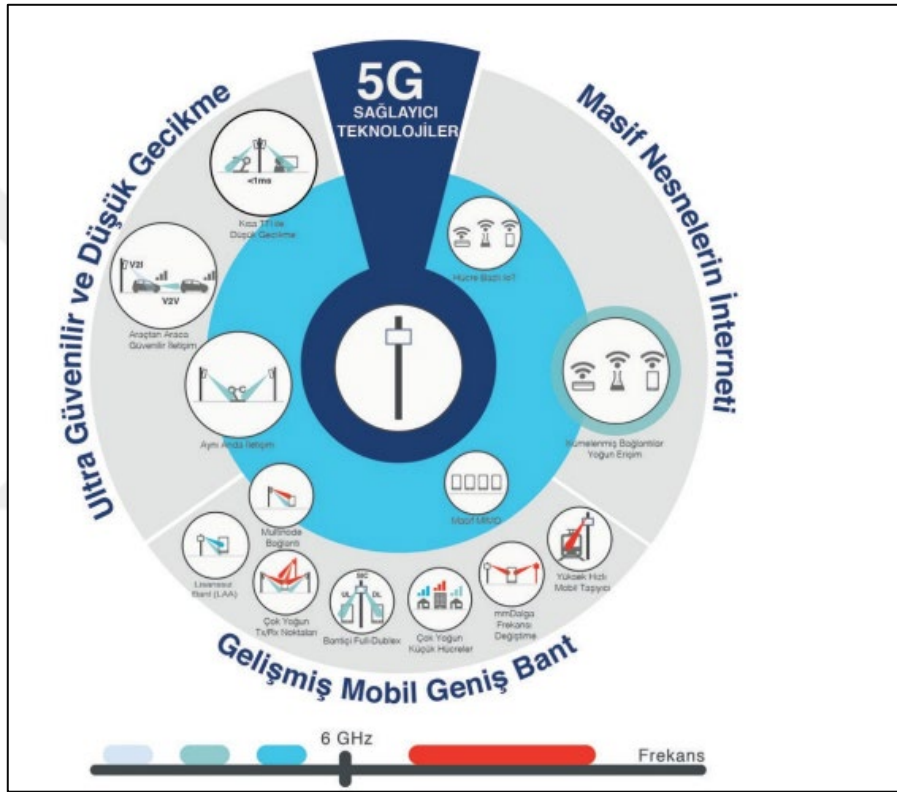
“Bilgi Çağı” olarak adlandırılan ve “Bilgi Toplumu” gibi kavramları, artık günlük konuşmalarda dahi sıklıkla duymakta olduğumuz yirmi birinci yüzyılda, kuşkusuz iletişim sistemlerinin önemi aşikârdır. “Bilgi bağımlılığının” her geçen gün artmasıyla birlikte iletişim sektöründen beklenen performansın da artması gerekmektedir. Bu sebeptendir ki, iletişim sektöründe doyurulamaz bir teknolojik açlık mevcuttur.

Haberleşme sistemlerinin son iki yüzyıl içerisinde gelişimiyle birlikte Oersted, Faraday, Gauss, Maxwell ve Hertz yapmış oldukları çalışmalarla, kablosuz haberleşme sistemlerinin geliştirilmesinde önemli temellerin atılmasını sağlamışlardır. Kablosuz iletişim sistemleri ile birlikte kullanım kolaylığı, maliyette indirimler, kurulum kolaylığı gibi birçok avantajı beraberinde getirmiştir. Bu kolaylıkların yanı sıra birçok zorluk da mevcuttur. Bu çalışmada Büyük Ölçekli MIMO sisteminde pilot kirliliği probleminin azaltılması için yapılan çalışmalar incelenmiştir. Çalışmalar neticesinde pilot kirliliği problemini etkin bir şekilde azaltacak bir yöntem sunulmuştur.

2.1. BEŞİNCİ NESİL HÜCRESEL İLETİŞİM SİSTEMLERİ

5G (Beşinci nesil) olarak bilinen ve burada “G” harfinin “generation”, yani nesil anlamını taşıdığı hücresel iletişim sistemlerinde, diğer nesillere göre yüksek radyo frekansları kullanılmaktadır. Her geçen yıl bir öncekine nazaran kullanıcı talepleri artmakta ve bu artış haberleşme sistemlerinde iyileşme yapılmasını zorunlu hale getirmektedir. Beşinci nesil hücresel iletişim sistemleri ile sağlanabilecek avantajların yanı sıra, beraberinde getirebileceği dezavantajların da çözümüne yönelik çalışmalar hala devam etmektedir. Dördüncü nesil haberleşme sistemlerine kıyasla beşinci nesil haberleşme sistemlerinde bu bant 6 GHz’e kadar çıkarılmıştır. Yüksek frekansların kullanılmasının birincil sebebi ise verileri daha hızlı taşıyabilmeleridir. 5G ile vaat edilmekte olan birçok avantaj bulunmakta olup, bunlardan en önemlisi yüksek hızlı veri iletiminin yapılmasıdır. Yüksek frekanslı sinyallerin kullanılmasının dezavantajı ise düşük frekanslı sinyallere kıyasla daha kısa mesafelere erişim sağlayabilmeleridir. Bu sebepten dolayı 5G hizmetinin sunulduğu yerlerde çok girişli çok çıkışlı (MIMO)

antenlerin kullanılması beklenmektedir. 5G teknolojisinin mimarisi hakkında belirli standartlar oluşturulmasa da üzerinde çalışmalar halen devam etmektedir. Belirli standartlar belirlemek için ise METIS [1], 5GNOW [2], EARTH [3], MOTO [4] gibi projelere başlanmıştır. 5G teknolojisinin kullanılmasıyla birlikte, araştırmaların üzerinde yoğunlaşacağı bazı alanlar [8]'de verilmiştir. 5G teknolojisi ile birlikte sağlanan avantajlar ve bunun yanı sıra oluşabilecek dezavantajlar aşağıda açıklanmıştır. Şekil 2.1'de Beşinci nesil hücresel ağlar mimarisi görülmektedir. Bu mimaride yer alabilecek teknolojiler gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Genel 5G hücresel ağlar mimarisi [61].

2.1.1. Beşinci Nesil Hücresel İletişim Sistemlerinin Avantajları

2.1.1.1. Veri Hızı

5G teknolojisi ile vaat edilen en önemli beklenti yüksek hızda verilerin iletilebilmesidir. Burada kullanıcının hareket halinde olmadığı bir durumda 5G teknolojisinin, 4G teknolojisine oranla 30 kat daha hızlı bir veri iletiminden söz edilmektedir [5]. Fakat cihaz hareket halinde olduğunda bu durum değişecektir. 5G teknolojisi için gigabayt seviyesinde yüksek veri hızlarına ulaşılabileceği düşünülmektedir. Aslında bu durum, cihaz sayısının arttığı, kablosuz bir iletişimde ortamın hava olduğu düşünüldüğü ve

artan taleplerin karşılanması ve sistemin karmaşıklığının artması durumları göz önüne alındığında, 5G teknolojisi umut verici bir teknolojidir.

2.1.1.2. Enerji Verimliliği

Tüm dünya hükümetleri, enerjinin verimli bir şekilde kullanılması için önemli çalışmalar yapmaktadır. Enerjinin verimli bir şekilde kullanılması maliyetlerde de indirime sebep olacaktır. Kablosuz bir iletişim sisteminde ise baz istasyonlarının ve sistem kullanıcılarının tükettiği enerji dikkate alındığında, bu konunun ehemmiyeti ortaya çıkmaktadır. Bu durumda, burada baz istasyonlarının tükettiği enerji ve kullanıcı cihazlarının tükettiği enerji olarak iki taraflı bir inceleme yapılmalıdır. Yol kaybı, çok yönlü yayılım gibi sebeplerle sinyal, alıcıda zayıflamakta ve bu zayıflamanın giderilmesi için sinyal iletim gücünün artırılması gerekmektedir. Sistem kullanıcılarının cihazları donanımsal olarak daha az güç tüketecek şekilde tasarlanmalıdır. [6]'daki çalışmada; eğer donanımsal bileşenlerin enerji tüketimi dikkate alındığı takdirde, enerji verimliliğinin iyileştirilmesine ve geliştirilmesine katkı yapacak bir konu olduğu vurgulanmıştır.

2.1.1.3. Gecikme

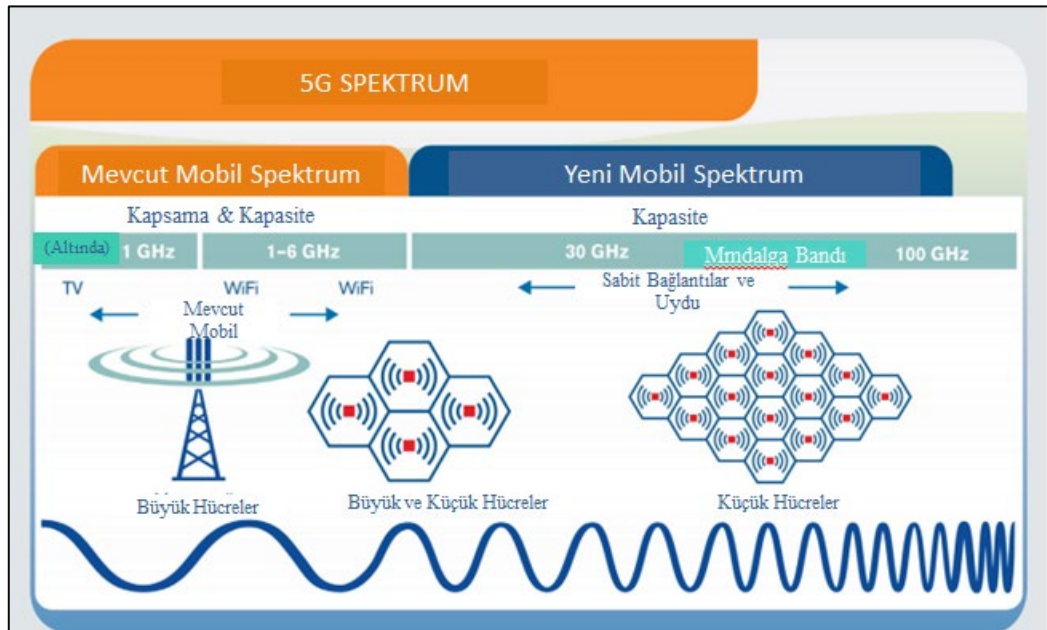
Kablosuz bir iletişimde bir sinyal, vericiden iletilirken kanal üzerinde birçok yolla alıcıya ulaşabilmektedir. Bu durum literatürde çok yönlü yayılım olarak adlandırılmaktadır. Kablosuz iletişimde ortamın hava olmasının getirmiş olduğu zorluklardan biri de, gönderilen sinyalin alıcısına ulaşırken, insan yapıları veya doğa yapılarına çarparak belirli bir gecikmeye uğramasıdır. Bu gecikmeler alıcı antende toplanarak sinyalin zayıflamasına, bozulmasına ve hatta sönümlenmesine neden olmaktadır. İlk nesillerde bu durumun göz çarpcı bir etmen olmadığı ve bir dezavantaj olması ile ilgili olarak, gelişen teknoloji ile 5G teknolojisinde ele alınması gerekmektedir. IOT (Nesnelerin interneti), D2D (Araçtan araca) gibi çalışmalar dikkate alındığında, gecikmenin sebep olabileceği ciddi problemler ön görülmektedir. Bu nedenlerden ötürü 4G (Dördüncü nesil) teknolojisinde gecikme 15ms iken, bu gecikmenin 5G için yaklaşık olarak 1ms olması istenmektedir [7].

2.1.1.4. Maliyet

Harcanan enerji miktarları düşünüldüğünde, iki şekilde maliyet azaltma yoluna gidileceği aşikârdır. Bunlardan biri baz istasyonlarının harcadığı enerji miktarının azaltılması yönünde olurken diğeri ise kullanıcı cihazlarının harcadığı enerji miktarının

azaltılması şeklindedir. Yeni nesil haberleşme sistemlerinde, cihazların sabit bir konumdaki durumu için yüksek iletim hızlarından bahsedilmiştir fakat kullanıcı hareket halindeyse ve aradaki mesafenin fazla olduğu durumlarda veya baz istasyonunun sinyal gücünü arttırması gerekebildiği durumlar göz önüne alındığında, kullanıcı cihazlarının artması ve artan taleplerin karşılanması durumunda kompleksleşen sistem için enerji sarfiyatının artacağı öngörülmektedir. Kullanıcı cihazlarının batarya sarfiyatını azaltmak adına donanımsal yapılacak değişiklikler maliyeti etkileyecektir. Gelecek yıllarda insan gücünün azalacağı ve birbiriyle sürekli haberleşme halinde olacak bir sistemden bahsedilmektedir. Bu noktada maliyet ve enerji sarfiyatının optimum seviyelerde olması, ele alınması gereken önemli konulardan biridir.

2.1.1.5. Spektrum Verimliliği



Şekil 2.2. Popüler frekans bantları [62].

Kablosuz iletişim veri hacmi talebi artarken, kullanılacak elektromanyetik spektrumların asla artmayacağı ve işlenebilecek bant aralıkları belirli olup, yeni spektrumlar üretmek yerine kullanılan spektrumda iyileştirmeler yapılmasının daha uygun olabileceği anlatılmıştır [9]. [8]'deki çalışmada belirtildiği üzere; Spektrum kullanımı, kullanılan senaryo dikkate alındığında eksiksiz bir sistem kavramı sağlamak ve yeni spektrum rejimi için geniş spektrumlu çalışma bandının yanı sıra, yeni spektrum rejimlerindeki çalışmaların da dikkatle ele alınmasını içerdiğinden bahsedilmektedir. Şekil 2.2'de belirtildiği üzere frekans bant tahsisi görülmektedir. 5G teknolojisi için

frekans bantları yeterli olmayacağından [10], bu konu hakkında yapılan çalışmalarda bazı çözüm önerilerinde bulunulmuştur. [11]'de spektrum paylaşımından bahsedilmiştir. [11]'de yapılan çalışmada, hibrit teknikler ile spektrum verimliliği arttırılmaya çalışılmıştır.

2.1.2. Beşinci Nesil Hücreli İletişim Sistemlerinin Dezavantajları

5G teknolojisi ile elde edilecek bazı avantajların yanı sıra dezavantajların da olduğu unutulmamalıdır. Burada en önemli noktanın radyasyon yayılımı olacağı düşünülmektedir. 5G teknolojisi ile hayatımıza girecek olan IoT [58], D2D [59] gibi çalışmalarla oluşturulan akıllı evler, şoförsüz arabalar, akıllı şehirler birbirlerine bağlı olacak ve bütün bunlar kullanıcılar tarafından kontrol edilecektir. Yani cihazlar sürekli sinyal etkileşimine açık olacağından, elektromanyetik alanların artması ile radyasyon riskinin de artacağından bahsedilmektedir. İkinci bir risk ise siber güvenliği tehdit ettiği yönündedir. Dünya Ekonomik Forumu 2018 Yılı Küresel Risk Raporunda, siber güvenlik konusu en büyük risklerden biri olarak ilan edilmiştir. Güvenlik konusunda yeterli tedbir olmazsa, tıbbi cihazların uzaktan etkilenmesi, kişisel bilgilerin erişilebilirliğinin kolaylaşması gibi olumsuz ve istenmeyen sonuçları da beraberinde getirecektir. Kablosuz iletişim için kullanılan ortamın hava olması, bununla birlikte 5G teknolojisinin birden fazla alt mimarilere sahip olması düşünüldüğünde, sinyal parazit oranının da artacağı düşünülmektedir. Bu noktadaysa, bu problemler için çözümler üretilmeli ve bu alanda çalışmalar arttırılmalıdır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Büyük Ölçekli MIMO sistemleri çok kullanıcıya hitap eden, alıcı ve vericide birçok antene sahip olan bir teknolojidir. 5G sistemlerinde iyileştirilmelerin sağlanabilmesi adına umut vaat eden Büyük Ölçekli MIMO sistemleri, son zamanlarda üzerinde çalışmaların arttığı bir alandır. Çok sayıda antenlerin mevcut olduğu Büyük Ölçekli MIMO sistemi ile çeşitlilik sağlanırken aynı zamanda anten elemanlarının yakınlığı mekânsal korelasyona neden olarak, alıcı-verici arasında kalibrasyon ihtiyacını da doğurmaktadır. Anten sayısında bir sınırlamanın olmayışı; artan enerji ve tayfsal verimlilik, azaltılmış maliyet, hava ara yüzünde gecikmenin azaltılması, basitleştirilmiş çoklu erişim katmanı, kablosuz iletişim sağlamlığı, BS (Baz istasyonu) antenlerinin sayısı UT'lerden (Kullanıcı terminalleri) daha basit olduğundan, basit RF doğrusal ön decoder ve dedektörler optimalliği gibi avantajları mevcutken bunun yanı sıra alıcı-verici kalibrasyon ihtiyacı, zamanında bir kanal durum bilgisinin elde edilmesi, pilot kirliliği ve RF zincirleri için hızlı işleme algoritmaları, radyo yayılımı ve yanıtların ortogonallığı gibi dezavantajları da beraberinde getirmektedir [12]. Kablosuz kanallar genellikle çok sönümlü kanallar olduğundan burada büyük ölçekli sönümlenmeler ve küçük ölçekli sönümlenmelerden bahsedilir. Büyük ölçekli sönümlenmeler gölge sönümlenmeleri ve yol kaybından kaynaklanırken, küçük ölçekli sönümlenmeler ise kanalın değişken dalga boyunun belirlenmesine yardımcı olmaktadır [15]. Aynı zamanda anten sayısındaki sınırın olmayışı basit doğrusal hüzme biçimlendirme ve ön kodlamaları da mümkün kılmaktadır. Büyük Ölçekli MIMO 'da faz kaydırıcılar yerine anahtarlar kullanılarak güç tasarrufu sağlanmış ve RF zincirinin tek bir antene bağlı olduğu varsayılarak az anten kullanıldığından dizi kazancı elde edilmiştir [16]. Büyük Ölçekli MIMO sistemlerinde kanal durum bilgisinin elde edilmesi çok önemli bir husustur [13]. Yapılan bazı çalışmalar ile bu dezavantajlar hafifletilmeye çalışılmaktadır. [14]'de yapılan çalışma ile oyun teorisi kullanılarak kanal durum bilgisinin elde edilmesini zorlaştıran pilot kirliliği problemini azaltmaya çalışmıştır. [15] 'teki çalışmada ise ceket (Jacket) matrisleri kullanılarak sistem karmaşıklığı azaltılmaya çalışılmış, pilot kirliliği problemine müdahale edilmiştir.

3.1. BÜYÜK ÖLÇEKLİ MIMO SİSTEMİN ÇALIŞMA PRENSİBİ VE TEORİK DEĞERLENDİRMESİ

3.1.1. Büyük Ölçekli MIMO Sistem Modelinde İletim Şemaları

Büyük Ölçekli MIMO Sistem modelinde baz istasyonunda kanal durum bilgisine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle burada iki çeşit iletim şemasından bahsedilmektedir.

3.1.1.1. TDD (Zaman Bölmeli Çiftleme) Şeması



Şekil 3.1 TDD iletim protokolü.

TDD sistemde, baz istasyonu (BS) ve kullanıcı (UT) arasında aynı frekans bandında, farklı zaman dilimlerinde veri iletimi yapılmaktadır. TDD sistemde, veri iletim yukarı bağlantı ve aşağı bağlantı olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Yukarı bağlantı (UL) ve aşağı bağlantıda (DL), veri iletimleri farklı zamanlarda aynı frekans bandını kullanmaktadır. Böylelikle TDD sistem veri sinyalleri FDD (Frekans bölmeli çiftleme) sistemin yarı periyodunda iletim yapmaktadır. Ayrıca TDD sistemlerde çoklayıcıya ihtiyaç duyulmamaktadır. Şekil 3.1'de kanal tutarlılık zamanında yukarı ve aşağı bağlantılarda yapılan iletim tahsisleri görülmektedir.

3.1.1.2. FDD (Frekans Bölmeli Çiftleme) Şeması

FDD baz istasyonu, kullanıcılar arasındaki yukarı bağlantı ve aşağı bağlantı verilerinin aynı zaman dilimlerinde farklı frekans bantlarında iletimini sağlamaktadır. Yukarı bağlantı ve aşağı bağlantı veri sinyalleri iletilirken birbirine müdahale etmemektedir ve çoklayıcıya ihtiyaç duyulmaktadır [27].

3.1.1.3. TDD Şeması ile FDD Şemasının Kıyası

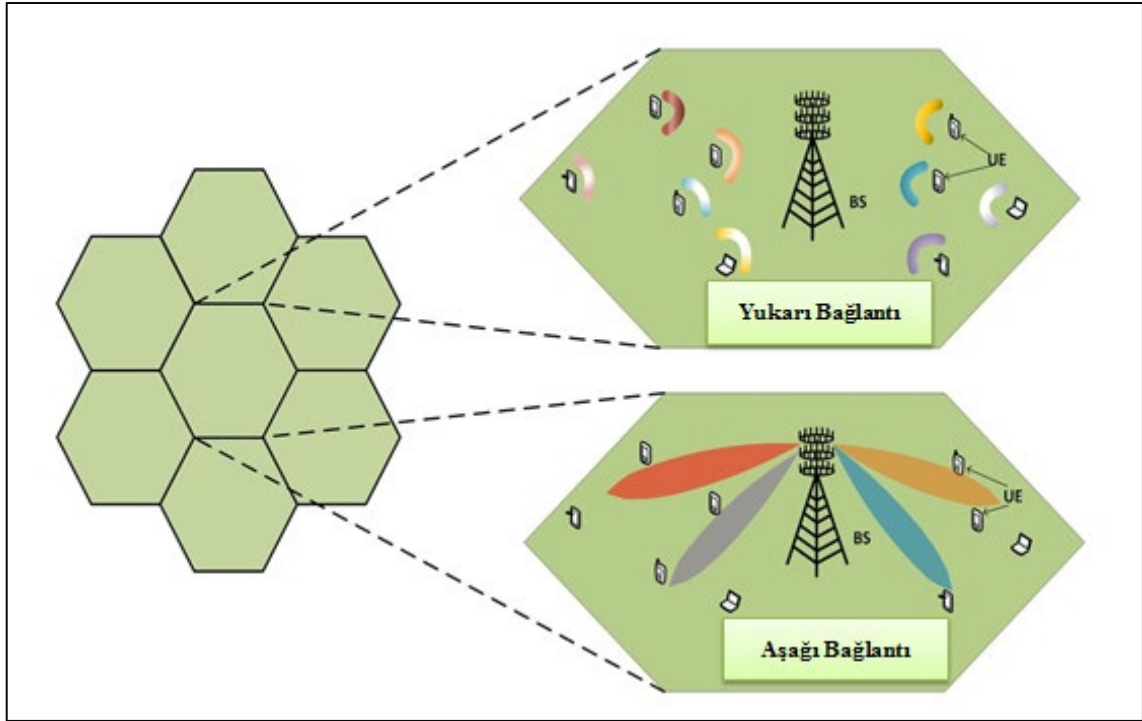
Kanal kestirim aşamasının yapılması sırasında TDD ya da FDD modları kullanılabilir. Her iki modun da sağladığı [17]'de yapılan detaylı bir çalışmada TDD ve FDD şemalarının avantajlarından ve dezavantajlarından bahsedilmiştir. Büyük Ölçekli MIMO

sistemlerde TDD şeması, FDD iletim şemasına göre kanal durum bilgisi (CSI) elde etmek için çok daha iyi bir yöntemdir. Yukarı bağlantı için elde edilen kanal durum bilgisi ile aşağı bağlantı için elde edilen kanal durum bilgisinin farklı olması Büyük Ölçekli MIMO sistemler için işlem yükünü arttıracaktır. Aşağı bağlantı için geri bildirim ihtiyacı duymaktadır [18]. Fakat bu geri bildirim yükü, kaynak sınırlılığından dolayı pratikte uygulamakta zorluklar ile karşılaşmaktadır.

3.1.2. Büyük Ölçekli MIMO Sisteminde Bağlantılar

Büyük Ölçekli MIMO sistemlerinde iki iletimden söz etmek mümkündür. Şekil 3.2'de gösterilen iki bağlantı aşağıdaki gibidir.

- Yukarı Bağlantı
- Aşağı Bağlantı



Şekil 3.2. Büyük Ölçekli MIMO sisteminde bağlantılar.

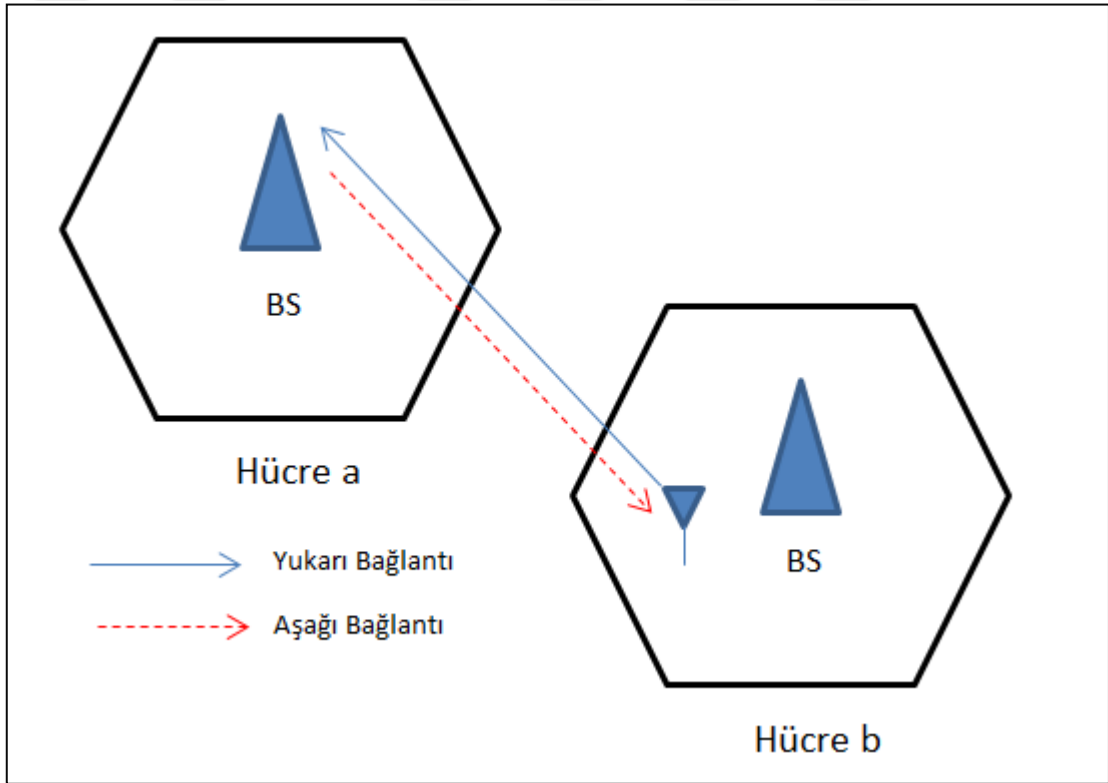
Yukarı bağlantı fazında iletim, kullanıcı terminalinden baz istasyonu yönündeyken, aşağı bağlantı fazında ise iletim baz istasyonundan kullanıcı terminali yönündedir. Yukarı bağlantı kısmında, kanal durum bilgisinin elde edilmesi ve pilot dizilerinin iletilmesi gibi işlemler yapılmaktadır. Aşağı bağlantıda ise veri (data) gönderimi, kanal kestirimi işlemi gerçekleştirilmektedir.

3.1.2.1. Yaygın Olarak Kullanılan Sistem Modeli

Bu bölümde literatürlerde yaygın olarak kullanılan sistem modelleri sunulacaktır. Kolay anlaşılması için en yaygın semboller kullanılacaktır. L hücre sayısı ve $M \geq K$ anten sayısından oluşan bir Büyük Ölçekli MIMO sistemi düşünüldüğünde, K tek antenli kullanıcı sayısıdır.

Şekil 3.3'te görüldüğü gibi hücre b'deki k. kullanıcıdan hücre a'da baz istasyonuna m. antenine doğru yayılma faktörü aşağıdaki gibi verilmektedir [13].

$$g_{a,b,k,m} = \sqrt{\beta_{a,b,k}} h_{a,b,k,m} \quad (3.1)$$



Şekil 3.3. Büyük Ölçekli MIMO sistemde yukarı bağlantının ve aşağı bağlantının gösterimi.

Burada $h_{a,b,k,m}$ küçük ölçekli sönümlenme faktörüdür ve birbirinden bağımsız ve aynı dağılıma sahip (i.i.d) ve simetrik Complex Gaussian CN (0,1) rastgele değişkenlerdir.

$\beta_{a,b,k}$ Büyük Ölçekli Sönümlenme Faktörüdür. a. hücre BS'lerindeki tüm antenlerin ve b. Hücredeki tüm K kullanıcılarının kanal matrisleri gösterimi şu şekilde ifade edilmektedir [13].

$$\mathbf{G}_{a,b} = \sqrt{\mathbf{D}_{a,b}} \mathbf{H}_{a,b} = \begin{pmatrix} g_{a,b,1,1} & \cdots & g_{a,b,k,1} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ g_{a,b,1,m} & \cdots & g_{a,b,k,m} \end{pmatrix} \quad (3.2)$$

Burada;

$$\mathbf{H}_{a,b} = \begin{pmatrix} h_{a,b,1,1} & \cdots & h_{a,b,k,1} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{a,b,1,m} & \cdots & h_{a,b,k,m} \end{pmatrix} \quad (3.3)$$

$$\mathbf{D}_{a,b} = \begin{pmatrix} \beta_{a,b,1} & & \\ & \ddots & \\ & & \beta_{a,b,k} \end{pmatrix} \quad (3.4)$$

3.1.2.2. Yukarı Bağlantı (Uplink, UL)

Kanal durum bilgisi, kullanıcılardan (UTs) alınan baz istasyonuna (BS) yukarı bağlantı yoluyla gönderilen τ uzunluğundaki pilot dizileri sayesinde elde edilir. $\phi_b H \phi_b^T = \tau I$ olacak şekildedir. Burada ϕ_b pilot dizisi ve ortogonal matris $\phi_b = [\phi_{b,1} \ \phi_{b,2} \ \dots \ \phi_{b,K}]$ ($\tau \times K$)

b. hücresindeki baz istasyonundan alınan sinyal,

$$Y_b = \sqrt{p_u} \sum_{j=1}^L D_{b,j}^{1/2} H_{b,j} \phi_{b,j}^T + N_b \quad (3.5)$$

N_b , Toplanabilir Beyaz Gauss Gürültü matrisidir ve bu matrisin elemanları CN(0,1) rastgele değişken değerleri belirtmektedir. ($M \times \tau$) p_u yukarı bağlantıdaki her bir kullanıcının ortalama gönderme gücüdür.

3.1.2.3. Aşağı Bağlantı (Downlink, DL)

a. hücrede bulunan baz istasyonundan (BS) k. kullanıcıya gönderilen sinyal aşağıdaki gibi şekilde ifade edilmektedir.

$$Z_b = \sum_{l=1}^L \sqrt{p_d} D_{b,l}^{1/2} H_{b,l} A_l s_l + n_b \quad (3.6)$$

p_d , aşağı bağlantı üzerindeki BS'nin k. kullanıcıya iletilen ortalama gücü belirtmektedir. $A_l = f(\widehat{H})$ ön kodlama matrisi (MxK) olmak üzere, \widehat{H}_l kanal kestirimini ifade etmektedir. s_a , a. hücredeki baz istasyonundan k kullanıcıya gönderilen bilgi sinyalini ve $s_a = [s_{a,1} s_{a,2} \dots s_{a,k}]^T$ transpozisini gösterir. n_b ise toplanabilir beyaz gauss gürültü vektörünü belirtir. CN(0,1) rastgele değişken ve $n_b = [n_{b,1} n_{b,2} \dots n_{b,k}]$ olarak gösterilir.

3.2. BÜYÜK ÖLÇEKLİ MIMO SİSTEMİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

3.2.1. Büyük Ölçekli MIMO Sisteminin Avantajları

Büyük Ölçekli MIMO sisteminin anten sayısında sınırlamanın olmayışından dolayı, yukarı bağlantı ve aşağı bağlantı haberleşmesinde kapasite, spektrum verimliliğinin artmasını sağlamaktadır. Büyük Ölçekli MIMO sistemlerinde kapasiteyi arttırmak için uzamsal çoğullama kullanılmaktadır. Anten sayısı sonsuza yakınsarken basit doğrusal hüzmeye biçimlendirme (BF) ya da ön kodlama ile sistemin spektral verimliliğinde ve kapasitesinde artış gözlenmektedir [19]. Güç tüketimini azaltmak ve enerjide verimliliğe gidilmek adına çeşitli hibrit analog ya da dijital ön kodlama mimarileri önerilmiştir. Hibrit mimarilerde faz kaydırıcılar yerine anahtarlamalar kullanılarak güç tüketiminin azaltılacağı görülmüştür [16]. Sadece RF zincirinin tek bir antene bağlandığı varsayımına dayanarak, aktif olan anten sayısının azaltılması ile dizi kazancı elde edilmiştir [21]. Kablosuz iletişim kanalları sönümlü kanallar olduğundan, anten sayısında sınırlamanın olmaması çoklu erişim katmanı sağlarken; çok yolluluktan kaynaklanan sinyal kayıplarını da önlemiş olmaktadır. Böylece bu sistemde kablosuz iletişim sağlamlığı da artmaktadır.

Genel olarak Büyük Ölçekli MIMO sisteminin avantajları aşağıda belirtilmektedir.

- Artan Enerji ve Tayfsal Verimlilik
- Azaltılmış Maliyet
- Hava Ara Yüzünde Gecikmenin Azaltılması
- Basitleştirilmiş Çoklu Erişim Katmanı
- Kablosuz İletişim Sağlamlığı

- Basit RF Doğrusal Ön Kodlayıcı ve Dedektörlerin Optimallığı

3.2.2. Büyük Ölçekli MIMO Sisteminin Dezavantajları

Sinyal kaynakları ve elektriksel bileşenler olan antenlerin, çok sayıda olmasına bağlı olarak ortaya çıkan bir problem olan anten elemanlarının yakınlığı, mekânsal korelasyona ve anten kalibrasyon ihtiyacına neden olmaktadır. Kanal durum bilgisinin zamanında elde edilmesi işlemi Büyük Ölçekli MIMO sistemlerinde yukarı bağlantıda gerçekleşmektedir. Burada en iyi kanal durum bilgisinin elde edilmesi, doğru kanal kestirimlerinin yapılmasını sağlamaktadır. Fakat iki referans terminal arasında aynı pilot dizisinin kullanılmasıyla pilot kirliliği problemi oluşmaktadır. Bu problem, kanal durum bilgisinin zamanında kestirilememesine neden olur ve hatta bazen kanal durum bilgisi elde edilememesine neden olmaktadır. Belirli bir bant genişliğinde çalışması gerektiğinden, sınırsız sayıda bir pilot ataması gerçekleştirilememektedir. Gelecek teknolojilerden olan D2D ve IoT gibi çalışmalarla uzaktan ve bir kullanıcı kontrolü olmadan aygıttan aygıtaya yahut kullanıcı birimler arasındaki iletişimin hızlı olması beklenmektedir. Bu noktada en iyi kanal durum bilgisi en hızlı şekilde elde edilmelidir, bu sebepten ötürü hızlı işleme algoritmalarına ihtiyaç duyulmaktadır. Radyo yayılımı ve yanıtların ortogonalitesi, gelen verilerin özel sembollerden ayrılmasını sağlayacağından üzerinde çalışılması gereken başka bir çalışmadan sadece biridir [12].

Genel olarak Büyük Ölçekli MIMO sisteminin dezavantajları aşağıda belirtilmektedir [12].

- Alıcı-Verici Kalibrasyon İhtiyacı
- Zamanında Kanal Durum Bilgisinin Elde Edilememesi
- Pilot Kirliliği
- RF Zincirleri İçin Hızlı İşleme Algoritmaları
- Radyo Yayılımı ve Yanıtların Ortogonalitesi

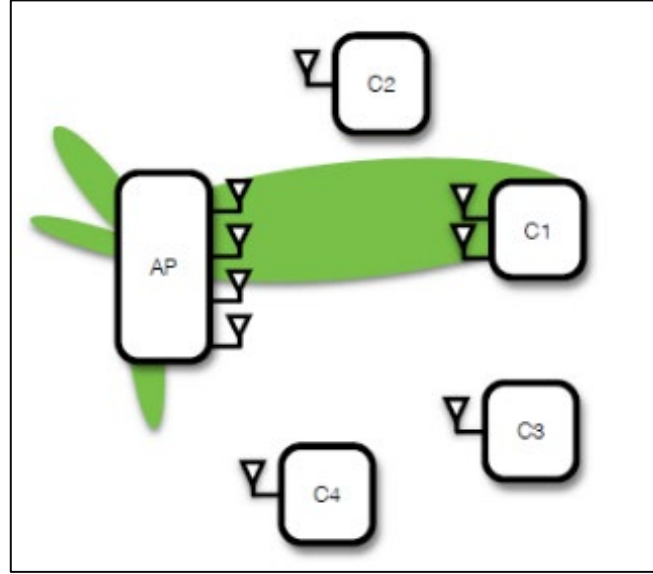
3.2.3. Büyük Ölçekli MIMO Sisteminin 5G Teknolojisindeki Yeri

5G teknolojisinden beklenen en önemli gelişmelerin veri hızı, enerji verimliliği ve spektral verimlilik olacağı aşikâr bir durumdur. [11]'de belirtildiği gibi, 5G teknolojisine büyük katkı yapacak en önemli üç teknoloji Heterojen Ağlar, Milimetrik Dalgalar ve Büyük Ölçek MIMO sistemidir. Dolayısıyla, Büyük Ölçek MIMO 5G teknolojisinde önemli bir rol oynayacaktır.

Bu çıkarımı destekleyen gelişmeler aşağıda belirtilmiş olan Büyük Ölçek MIMO özellikleridir [20].

- Büyük Ölçek MIMO kapasiteyi 10 veya daha fazla kez artırabilmesinin yanında enerji verimliliğini de 100 kata kadarda iyileştirebilmektedir.
- Büyük Ölçek MIMO ile birlikte daha az güç tüketen ve daha az maliyetle sistemler kurulabilir.
- Havada oluşan sinyal gecikmesi bu sistem ile azaltılabilir.
- Büyük Ölçek MIMO güvenlik açıklarına karşı sağlamlığı arttırabilir.

3.3. TEK KULLANICILI MIMO SİSTEM (SU-MIMO, SINGLE USER MULTIPLE INPUT MULTIPLE OUTPUT)

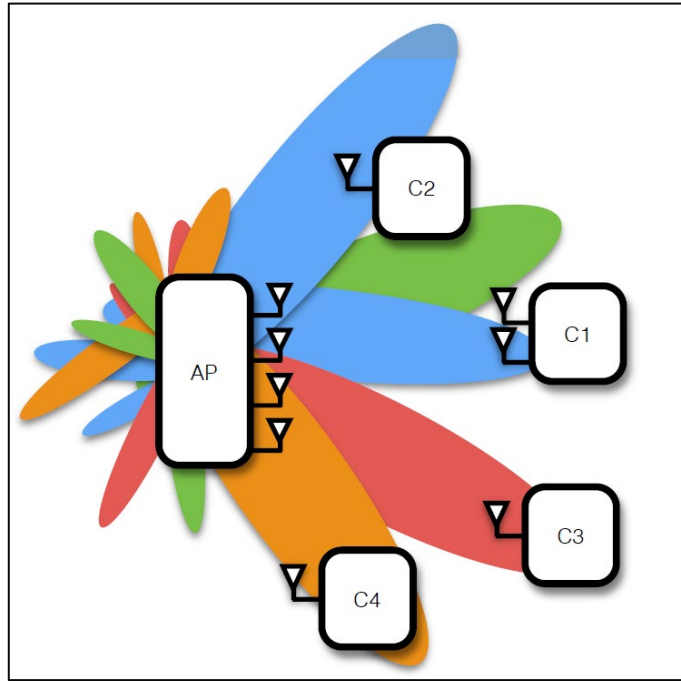


Şekil 3.4. SU-MIMO sistem modeli.

Tek kullanıcılı MIMO (SU-MIMO) sistem aynı zamanda noktadan noktaya MIMO olarak da bilinmektedir [60]. Şekil 3.4'te görüldüğü gibi bu sistem yalnızca bir kullanıcı terminali ile iletişim kurmaktadır. Bu sistemdeki kullanıcılar veri gönderip alırken kendi sırasını beklemek zorundadır. Bu sebeple sisteme bağlı kullanıcı sayısındaki artış sistemin ağ hızını da yavaşlatacaktır. Burada ağ akışı bölünüp hızlı bir şekilde sıralamaya konulmaktadır. Fakat düzenli veri akışına ihtiyaç duyulduğunda sistem performansı olumsuz olarak etkilenmektedir.

3.4. ÇOK KULLANICILI MIMO SİSTEM (MU-MIMO, MULTI USER MULTIPLE INPUT MULTIPLE OUTPUT)

Çok kullanıcılı MIMO sistem, SU-MIMO sisteme göre daha fazla kullanıcıya hitap etmektedir [60]. Şekil 3.5'te görüldüğü gibi bu sistem birden fazla kullanıcının aynı anda iletişim kurmasına ve veri alışverişinin yapılmasına olanak sağlamaktadır. Ağ akışı her kullanıcı için ayrı akımlara bölünür ve bant genişliğinin ikiye ayrılması ile sıra beklemeden talep edilen performansı göstermektedir.



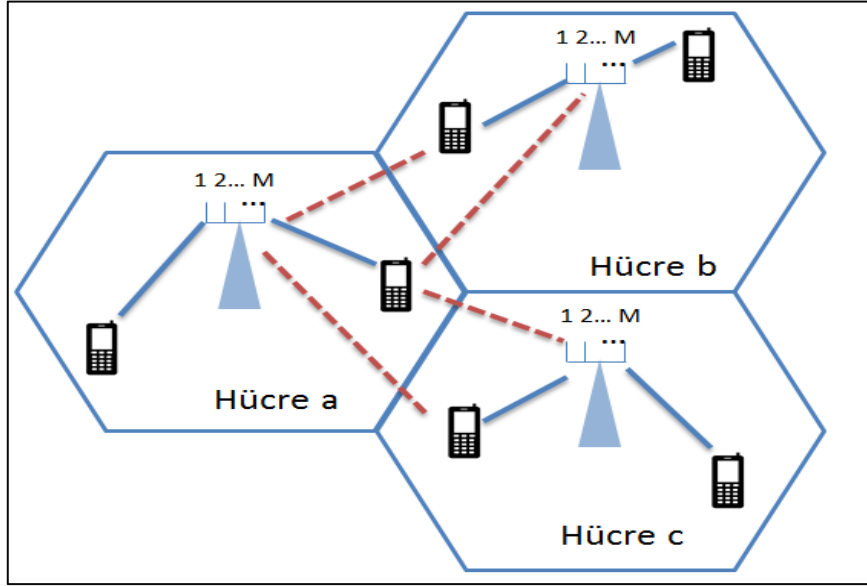
Şekil 3.5. MU-MIMO sistem modeli.

3.5. KANAL DURUM BİLGİSİ

Kanal kestirimi (CE) kanal katsayılarının belirlenmesi ve doğru bir kanal durum bilgisinin elde edilmesi için burada büyük önem arz etmektedir. Doğru bir CSI bilgisinin elde edilmesi kanal kestirimi aşamasında da önemli olacağı gibi yüksek ağ verimliliği sağlamaktadır. Anten sayısında sınırlamanın olmamasından kaynaklı olarak kanal durum bilgisinin elde edilmesi zordur ve sistem sınırlı bir kanal durum bilgisi ile çalışmalıdır. BS kısmi kanal durum bilgisini kullanarak kestirim yapabilir ve tam kanal durum bilgisini tahmin edebilir. Bu nedenle kestirimi kısmi olarak sağlanmış bir kanal durum bilgisine dayalı ön kodlama şemaları tasarlamak mümkün olacağı gibi diğer bir yöntem kanal durum bilgisinin sıkıştırmasıdır.

Zaman Bölmeli Çiftleme (TDD), Büyük Ölçekli MIMO sistemlerinde kanal durum bilgisini elde etmekte iyi bir yoldur. Kanal durum bilgisinin (CSI) bulunması kanal kestirimi aşamasında pilot dizileri kullanılır bu da kanal durum bilgisinin bulunmasında pilot yükünü artırır. TDD modunda kanalların karşılıklı olmasına dayanarak yalnızca terminal sayısı ile orantılı bağlantı için CSI gereklidir. Her iki bağlantı içinde kullanılabilir ve işlem yükünün azaltılmasını sağlamaktadır [18].

3.6. PİLOT KİRLİLİĞİ PROBLEMİ ANALİZİ



Şekil 3.6. Çok hücreli Büyük Ölçekli MIMO sistemlerde pilot kirliliği problemi (Pilot Tekrarlama Faktörü:1) [23].

Şekil 3.6’da belirtildiği üzere kenar kullanıcısının kendi hücresi dışında diğer hücre baz istasyonlarına müdahale ederek girişim yaptığı görülmektedir.

3.6.1. Pilot Kirliliği Probleminin Tanımı

Çok sayıda antene sahip Büyük Ölçekli MIMO sistemleri kullanmanın getireceği avantajlar olmasına rağmen bazı zorluklar da bu sistemle ortaya çıkmaktadır. Bunlardan biri de pilot kirliliğidir. Verici alıcıya verileri paketler halinde gönderirken bazı özel semboller kullanmaktadır bu sembolere pilot sembolleri denmektedir. Pilot kirliliği problemi, iki terminal için referans sinyali olarak aynı pilot dizisinin kullanılmasından kaynaklanmaktadır [13].

3.6.2. Pilot Kirliliği Probleminin Kaynakları

Pilot kirliliğinin kaynaklanma nedenleri sonraki başlıklarda anlatılmaktadır [13].

3.6.2.1. *Ortogonal Olmayan Pilot Şemaları*

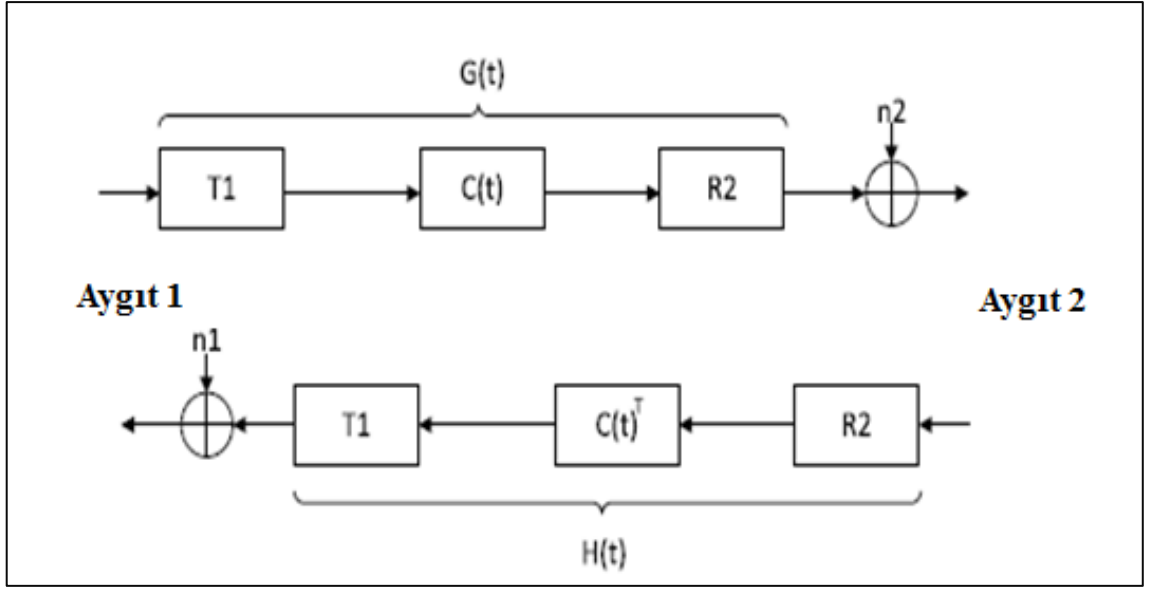
Yukarı bağlantı sırasında her bir kullanıcı baz istasyonuna τ uzunluğunda pilot dizileri gönderir. Sistem terminal sayısı ile orantılı olan bu ortogonal pilot dizileri kanal tutarlılık aralığı nedeniyle büyük uzunluktaki pilot dizileri veri hızını etkiler. Daha fazla terminale hizmet vermek ve sistemin verimliliğini arttırmak için pilot dizilerin tekrar kullanılması gereklidir. Sınırlı sayıda bir bant genişliği ve zaman tutarlılık aralığı gibi sınırlamalar olduğundan sınırsız sayıda pilot dizileri atamaları gerçekleştirilememektedir (Pilot tekrar faktörü 1 olarak alınmıştır). En kötü senaryo düşünüldüğü zaman L hücreleri aynı pilot dizilerini baz istasyonlarına tüm kullanıcılar tarafından aynı anda gönderirler. Gönderilen pilot sinyalleri baz istasyonundaki sinyali kirlendirir. Lakin hücre içindeki pilot sinyalleri birbirine dik olacağından ihmal edilir. Buna karşın komşu hücrelerden baz istasyonuna gelen sinyaller birbiriyle diklik özelliği göstermemesinden dolayı sistemde pilot kirliliği oluşur.

3.6.2.2. *Donanım Bozuklukları*

İdeal bir Büyük Ölçekli MIMO sisteminde alıcı-verici donanımları iyi bir performansta çalışmaları beklenir. Fakat pratik bu durum böyle değildir. Pratikte alıcı-verici donanımları bozulmayla karşı karşıyadır. Bu durumda iletilen sinyal ile alıcı-verici tarafından alınan sinyal birbirinden farklı görünmektedir [24]. Faz gürültüsü, yükselticinin doğrusal olmaması, karesel dengesizlik ve niceleme hataları gibi donanım bozuklukları kanal kestirimini etkileyerek sistem çalışma performansını düşürür. Bu her donanım bozulması göz önüne alınarak her bileşen için sistem performansını düzelmesini sağlayacak telafi algoritmaları geliştirilmektedir [24-25].

3.6.2.3. *Karşılıklı Olmayan Alıcı ve Vericiler*

TDD sistemde ileri ve geri kanalın aynı taşıyıcı frekansta çalışmaları bilinmektedir. Bu nedenle karşılıklı oldukları kabul edilmektedir. Genel olarak yapılan çalışmalar incelendiğinde sistemin ideal durumda olduğu varsayılmaktadır. Fakat [54] ve [55]'de yapılan çalışmalarda iki cihazı içeren noktadan noktaya TDD modeli gösterilmiştir. Şekil 3.7'de görülmektedir.



Şekil 3.7. Noktadan noktaya karşılıklık modeli [55].

Güç yükselticileri (T1 ve T2), düşük gürültülü yükselticiler (R1 ve R2) ve etkili elektromanyetik kanal (C (t)) ile gösterilmektedir. İdeal olmayan bir durumda, [54], [56] 'deki çalışmalar ofset frekansının varlığının, kanal karşılıklılığının kullanılması üzerinde büyük bir etkiye sahip olduğu gösterilmiştir. Birkaç Hz'lik en küçük ofset birikecek ve UL ve DL kanallarını karşılıksız duruma getirecektir. Darbe tepkisi birinci cihazdan ikinci cihaza [55]'da modellenmiştir.

3.6.3. Pilot Kirliliği Probleminin Sisteme Etkisi

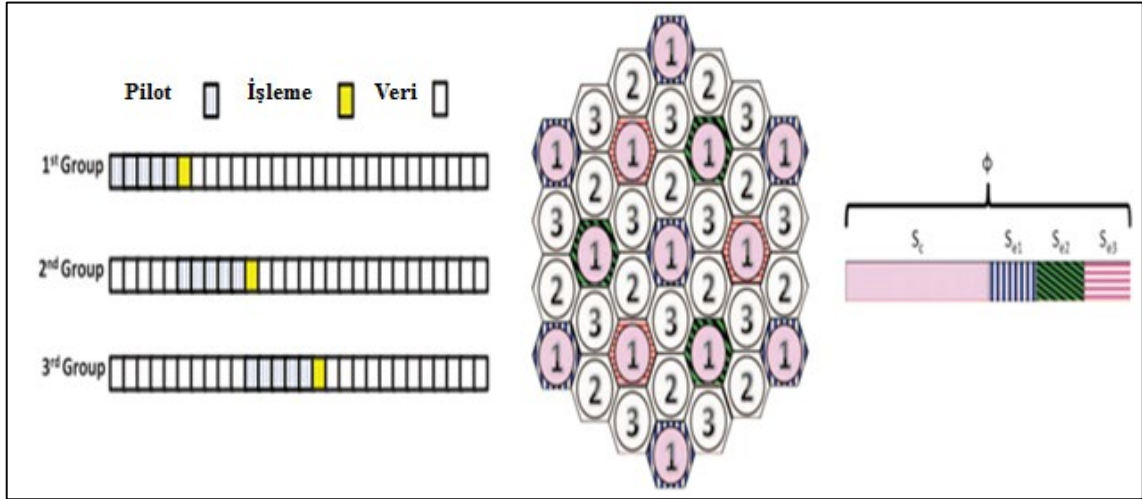
Pilot kirliliği olan sistemdeki baz istasyonunda kanal durum bilgisini bulunmasını etkileyerek kanal kestirimini yanlış hesaplamaya neden olur. Pilot kirliliği sistem performansını etkileyerek verimliliğin düşmesine neden olmaktadır [26].

3.6.4. Pilot Kirliliği Probleminin Azaltılmasına Yönelik Yapılan Çalışmalar

Büyük Ölçekli MIMO sistemlerde kullanılan anten sayısının sonsuz olduğu düşünüldüğünde farklı kanalların terminallerin kanal vektörlerinin ortogonal olduğu düşünülebilir. Gürültü vektörleri de kanal vektörleriyle ilişkisizdir.

Pilot kirliliğini azaltmaya ya da yok etmeye yönelik birçok çalışma mevcuttur. Bununla birlikte bu çalışmalarda kullanılan yöntemler birbiriyle karşılaştırılmış, dezavantajları ve avantajları bakımından incelenmesi sağlanmıştır.

[18]'te pilot kirliliği etkisinin sistem performansını olumsuz yönde etkilediği düşünüldüğünde aynı pilot dizisinin kanal kestirim aşamasında kullanılan sistem terminalini azaltma fikrine de dayanarak hücreler kenar ve merkez olarak iki bölüme ayrılmıştır. APT (Eş zamanlı olmayan pilot iletimi) ve FPR (Kısmi pilot tekrarı) yöntemleri avantajları kullanılarak Şekil 3.8'deki şema önerilmiştir. Böylece veri iletim fazına müdahale eden terminal sayısını azaltmış, sistem performansı artırılmış, SINR (Sinyal girişim-gürültü oranı) ve kapasite yönünden iyileştirmeler yapılmıştır.



Şekil 3.8. APT ve FPR yöntemleri kullanılarak önerilen şema [18].

[28]'teki çalışmada kullanıcı kanallarını tamamen ayıran bir yöntemin elde edilmesi bazı durumlarda zor ve hatta mümkün olmayabilir. Bu nedenle bu makalede istenen kullanıcıyı eşleştirmek için önceden belirlenmiş bir açısız ayarlama, bir giriş desenini kullanan bir optimal uzaysal alan yöntemi önerilmiştir. Pilot kirliliği burada önerilen şema ile bastırılrsa da temel pilot kirliliği ile sınırlı kalmış önerilen yöntem burada geliştirilebilir. Bu çalışmada sistem performansını arttırmaya yönelik çalışmalar yapılmıştır.

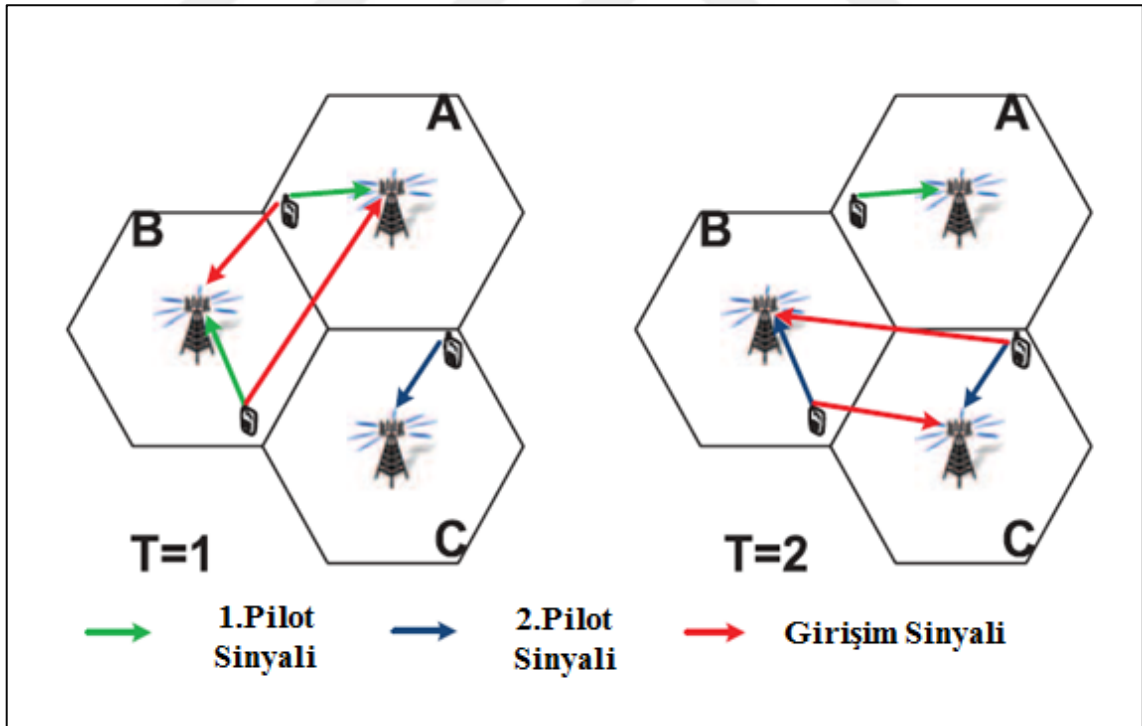
[15]'te yapılan çalışmada hızlı kanal kestirimi ve diyagonal ceket matrislerine dayalı bir yöntem kullanılarak pilot kirliliğini azaltmaya yönelik çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada pilot kirliliği problemiyle güvenlik konusu işlenmektedir.

[29]'ta pilot kirliliği durumunda ön kodlayıcı tasarımı için ters pilot iletimi kullanarak yeni bir güvenlik saldırısı geliştirmektedir. Ters pilot iletim fazında, gizli dinleme cihazı, tahmin edilecek doğru kanal vericisini taklit etmek için aynı pilot diziyi iletir; böylece alıcı ile kulak misafiri arasında senkronizasyon yapmak da önemlidir.

Bu nedenle, ters eğitim aşamasında, gizli alıcı, hedeflenen alıcı iletirken pilotları aynı anda iletir. Ayrıca, [29]'ta senkronizasyonun ne zaman ve nasıl gerçekleştiğine dair bilgi bulunmamaktadır.

[30]'da koordine edilmiş bir pilot atama stratejisi önerilmiştir. Girişimsiz senaryoların yakınında kanal kestirim performansının gösterilmesine yardımcı olduğu görülmektedir. Önerilen eşgüdümlü kanal kestirim yöntemi BS arasında bilgi alışverişinde bulunacak her ne kadar ikinci dereceden istatistik anlık CSI den yavaş değişse de performansı korumak için BS kovaryans bilgilerini güncellemek zorundadır.

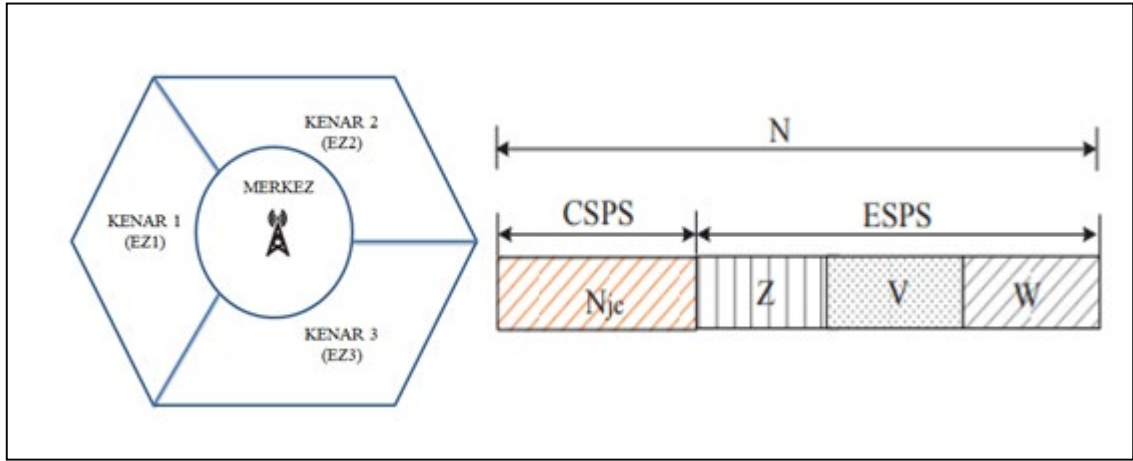
[14]'te Büyük Ölçekli MIMO sistemlerinde pilot atama yöntemlerini (Baz istasyonlarının pilot seçimi etkileşimlerini) modelleyen oyun-kuramsal yaklaşımı önerilmiştir. Problem bir optimizasyon problemi gibi modellenmiştir. Burada Büyük Ölçekli MIMO sistemlerinde kanal kestirim aşamasında işlemlerin doğruluğunu arttırarak bu oyun teorili pilot seçimi yöntemiyle sistem toplam kirlenmesinin önemli bir ölçüde azaltıldığı gösterilmiştir. Şekil 3.9'da bencil oyun için Nash dengesinin bulunmadığı bir senaryo görülmektedir.



Şekil 3.9. Bencil oyun için Nash dengesinin bulunmadığı bir senaryo [14].

[31]'de anten sayısı arttıkça pilot kirliliği problemi de artmaktadır. Bu çalışmada daha az karmaşık yapıya sahip bir yöntem önerilmiştir. Şekil 3.10'da açıkça görülmektedir ki hücre kenar ve merkez olmak üzere ikiye ayrılmıştır.

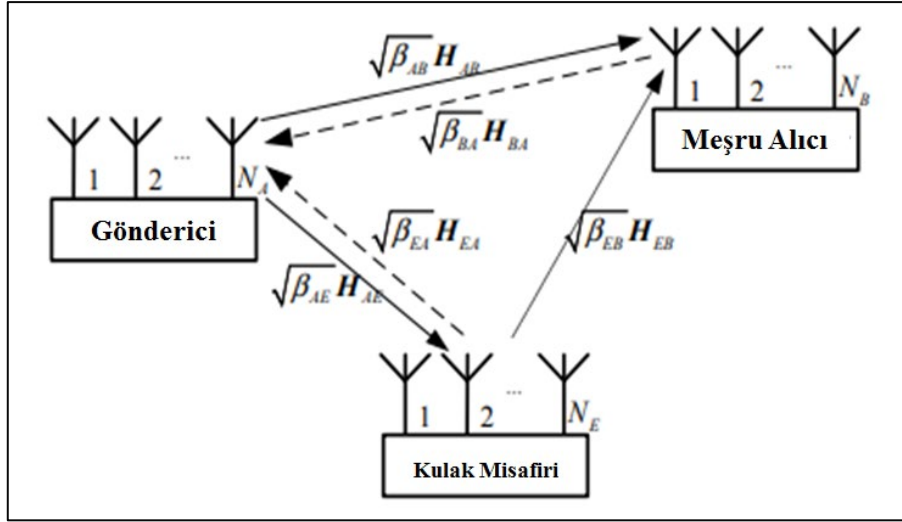
Dinamik atama yöntemi ile kenar kullanıcıları için pilotlarının komşu hücrelerde pilot tekrarını azaltmıştır.



Şekil 3.10. Dinamik Atama yöntemine göre hücre ve pilotların ayırım şeması [31].

[32]'de elde edilen bilgileri izleyerek hedef hücrede ulaşılabilir en düşük seviyeyi en üst düzeye çıkarabilecek bir pilot atama tahsisi algoritması önerilmiştir. Rastgele pilot tahsisi atamalarına ve SPA (Akıllı pilot ataması) algoritmasına kıyasla müdahale eden hücrenin sayısı büyüdükçe bu çalışmada önerilen algoritma ile daha üstün olduğu gösterilmiştir.

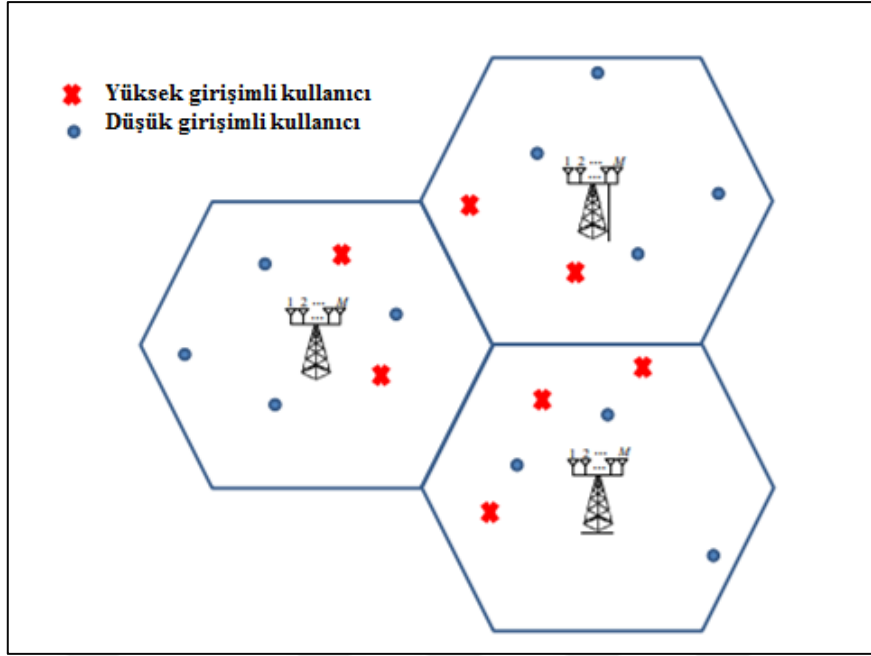
[33]'te çalışmaya değer olan ve araştırmacıların üzerinde fazla durmadığı pilot kirliliği etkisine farklı bir bakış açısı getirilerek, pilot kirliliği yapay gürültüsünün güvenlik performansı üzerindeki etkileri incelenmiştir Şekil 3.11'de kurulan senaryoda iletişime bir kulak misafiri eklenmektedir. Pilot kirliliği ve gürültü sıkışması için güç tahsisi şemalarını incelemiştir. MIMO sistemlerinde güvenlik konularına değinilmiş ve oluşan pilot kirliliğini azaltmak için sıkıştırma gücünün azaltılması ile gürültüyü giderme performansı iyileşirken pilot kirliliğinde gizlilik oranının artmasına neden olmakta olduğu belirtilmiştir.



Şekil 3.11. Karmaşık Gauss sistemi modeli [33].

[34]'te kullanıcı kanallarının izole edilmesinin bazı durumlarda çok zor ve ya mümkün olmayacağından etkin kanal bilgisi olarak en güçlü tepki cevabı (CIR) olan koordinasyonsuz pratik bir zamansal alan tabanlı bir yöntem önerilerek pilot kirliliğine karşı daha düşük karmaşıklık ile sistem performansının iyileştirildiği gösterilmiştir. Pilot kirliliğine karşı eşgüdüm temelli planlarla karşılaştırıldığında önerilen yöntemin esnekliği görülmektedir.

[35]'te pilot dizilerinin tekrar farklı bir hücrede kullanılarak pilot kirliliği problemi oluşturmasına karşı APA (Adaptif pilot ataması) algoritması önerilmiştir. Şekil 3.12'de önerilen bu algoritmayla sistem kullanıcıları ikiye bölünmüş ve yüksek girişime sebep olan kullanıcılara ortogonal pilot tahsisi yapılırken düşük girişim yapan kullanıcılara normal pilot tahsisi gerçekleştirilmiştir. Bu algoritma sayesinde kullanılan pilot sembolleri sayısı kullanıcı sayısının altı olduğu bir senaryo için normalde kullanılması gereken ortogonal pilot sayısı on sekiz iken bu algoritma sayesinde on bire düşürülmüştür. APA algoritması sayesinde kanal kestirim süresi için daha fazla sistem performansı sağladığı ve aynı zamanda zamanın 0,5'i için konvansiyonel ayırma yöntemine kıyasla asgari erişebilir hızın yaklaşık olarak üç katına çıkarılması sağlanmıştır.

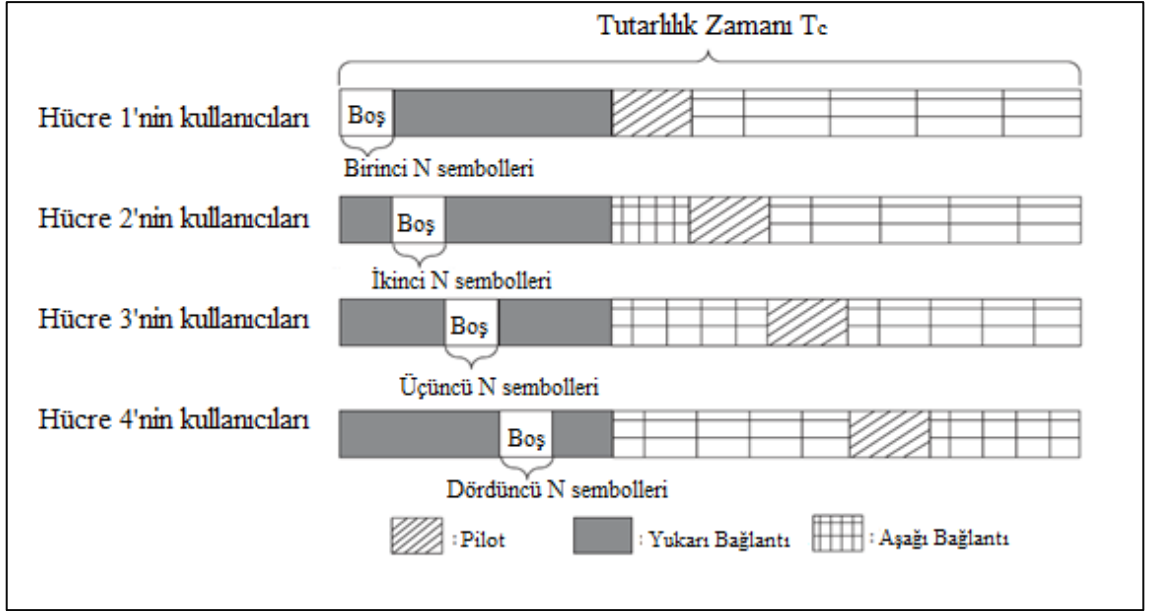


Şekil 3.12. Önerilen APA Algoritması örneği [35].

[22]'de önerilen yöntem ile kümelemeye dayalı pilot ataması (CPA) ile APA algoritması kıyaslanmaktadır. Kullanıcıları yüksek ve düşük girişim yapan kullanıcılar olmak üzere ikiye gruplandırılmıştır.

Düşük girişim yapan kullanıcılar rastgele pilotları kullanırken yüksek girişime sebep olan kullanıcılar yakınlık yayılımı (AP) yöntemini kullanmaktadır. APA algoritması ve random atamaya göre kıyaslanma yapılarak önerilen yöntemin daha verimli çalıştığı görülmektedir.

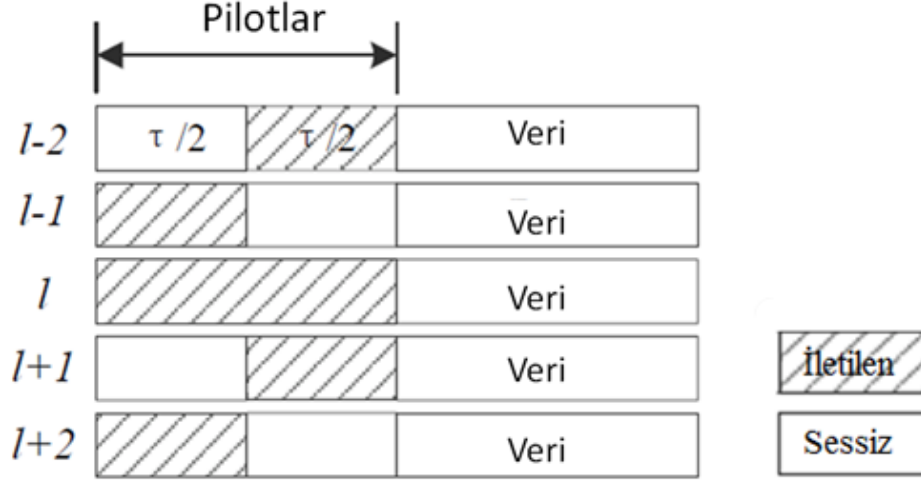
[36]'daki çalışmada pilot etkisini azaltmak için zaman kaydırmalı pilot temelli iki aşamalı kanal kestirimi algoritmasıdır. Şekil 3.13'te birinci aşamada i. hücredeki kullanıcılar belirli bir N simgesi boyunca sessiz kalacaklar ve pilot girişimini azaltmak için alınan hüzme şekillendirme vektörleri belirlenecektir. Ardından alınan hüzme şekillendirme gerçekleştirilir. İkinci aşamada zaman tahsis edilmiş pilotlara dayalı olarak kanal kestirimi gerçekleştirilir. Tüm kullanıcıların ortogonal olması için pilotların uzunluğu KL olacak şekildedir. Bu şekilde pilot yükü tutarlılık zamanında büyük bir bölümü kaplar ve veri hızı azalır.



Şekil 3.13. Farklı hücrelerdeki kullanıcıların farklı iletim protokolleri [36].

[37]'de önerilen şema pilot aşamasında bazı parçalara bölünmesi ve pilot dizisini kademeli olarak iletir. BS'ler arasında koordinasyon yaparak, tüm baz istasyonların kanal tahminin MSE (Ortalama karesel hata) toplamını en aza indirgeyerek pilot dizisinin neredeyse en uygun uzunluğunu bulur. İletim iki konum anı şeklinde olur. Şekil 3.14'te birinci konum anında kullanıcı hücre 2'de pilot a kullanmaktadır ve kullanıcılar hücre 1 ve hücre 3 pilot b sırasıyla aynı anda pilot iletilir. İkinci konum anında, kullanıcılar hücre 1 ve hücre 3'deki pilot a sırasıyla ve kullanıcı hücre 2'de pilot b kullanarak aynı anda iletilir. Her baz istasyonu tüm kullanıcıların B faktörlerini bildiğini varsaymaktadır.

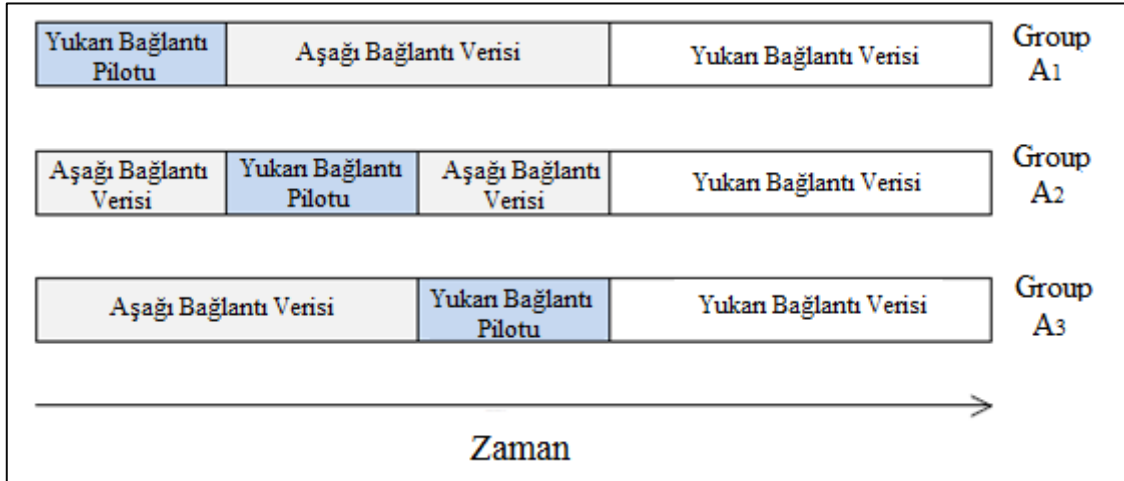
Her baz istasyonu farklı τ bölümü ayarlayarak MSE hesaplamaktadır. Bu işlemler baz istasyonunda işlem karmaşıklığı yaratmaktadır.



Şekil 3.16. [38]'de önerilen yöntem ile çerçeve yapısı.

[39], [40] 'da hedef hücre ile girişim yapan hücre pilotların birbiriyle örtüşmediği zaman kaydırmalı pilot tabanlı bir şema önerilmiştir. Bir kontrolör tarafından hücrelerdeki pilot çerçevelerinin yerleri değiştirilir. [39] ve [40]'daki yöntemler [36]'daki yöntemle karşılaştırıldığında pilot dizisi uzunluğunda hiçbir değişiklik yok sadece pilot dizisi çerçevesi Şekil 3.17'de görüldüğü üzere yer değiştirilmiştir.

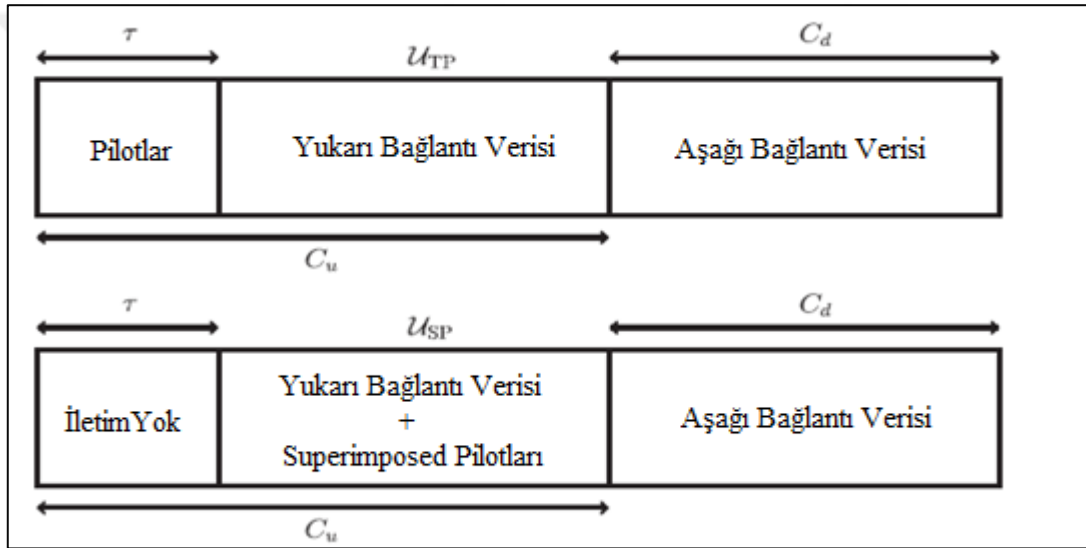
Dolayısıyla bir hücrede pilot sinyali iletilirken diğer hücre aşağı bağlantı verisi iletimi yapılır. Bu girişim yapan hücrelerdeki aşağı bağlantı verisi kısmen hedef hücrelerinde pilot kirliliği yapabilir. Bu durumdan dolayı pilot kirliliği tamamen ortadan kaldırılamaz ve ayrıca kontrolör olduğu için çok daha fazla maliyet oluşur.



Şekil 3.17. Zaman kaydırmalı pilotların aşağı bağlantı verilerinin örtüşmesi [40].

[41]'de ardışık pilot iletim fazlarından oluşur. $L+1$ adet iletim fazı vardır ve her baz istasyonları bir fazda sessiz kalıyor diğer fazlarda ise pilot sinyalleri tekrar tekrar gönderilir. Bu önerilen şemada L hücreleri pilotların birbiriyle ortogonal olması için pilot uzunluğundan feda eder ve veri hızında düşmeye neden olur.

[42], [43]'te önerilen şema zaman bağımlı pilot ve veri sembollerine bir alternatif olarak gösterilmektedir. Bu makalede baz istasyonda kanal vektörlerinin kestirimini yapmak için sistemdeki her kullanıcıya özel bir pilot dizisi atamaktadır. Şekil 3.18'deki bu önerilen yöntemde pilot ve veri sembolleri tüm yukarı bağlantı veri süresi boyunca yan yana aktarılır. Ayrıca zaman çoğullamalı ve birleştirilmiş (superimposed) pilotların ikisini birden kullanan birde "hibrit sistem" önermektedir.



Şekil 3.18. [43]'te önerilen hibrit sistemin iletim yapısı.

[44]'te önerilen yöntem az sayıda yukarı bağlantı veri örneği ve sınırlı sayıda bir baz istasyonu antenleri varsa alt uzay kestirimi hatalı olduğunu ve bu durumda MAP (En Büyük Sonsal Olasılık) kriterlerine dayalı daha sistematik bir yöntem önerilmektedir.

[45]'te önerilen yöntem ile pilot kirliliği sorununu en etkili şekilde hafifletecek hiyerarşik pilot yeniden kullanım şemaları önerilmiştir. Bu yöntem ile sistem performansının iyileştirilmesi amaçlanmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Büyük Ölçekli MIMO, baz istasyonu (BS) tarafında bulunan kanal durum bilgisi (CSI) enerji tasarrufu ve spektrum verimliliğindeki üstün başarımı literatürlerde gösterilmiştir.

Kanal durum bilgisi ile yüksek ağ verimliliği sağlanabilmektedir fakat anten sayısının fazla olması, pilot kirliliği problemi gibi sebeplerle kanal durum bilgisinin elde edilmesi zorlaşır. Doğru olarak kestirim yapılamayan kanal durum bilgileri, sistem performansında ciddi düşüşlere neden olmaktadır. Büyük Ölçekli MIMO sistemde yukarı bağlantı aşamasında vericiden alıcıya veriler paket halinde gönderilirken içerisine özel semboller eklemektedir. Bu sembollere pilot sembolleri denmektedir. Pilot semboller kanal durum bilgisinin doğru olarak tespit edilmesinde kullanılmaktadır. İki referans terminal arasında aynı pilot dizisinin kullanılması pilot kirliliği problemini oluşturmaktadır. Bu problem sebebiyle kanal durum bilgisi doğru kestirilemez. Bu tezde pilot kirliliği probleminin azaltılması için hibrit bir yöntem önerilmektedir. Tezin bu bölümünde; pilot kirliliği probleminin tanımından, bu problemin sebep olduğu sonuçlar, kaynaklanma sebeplerinden, önerilen hibrit yöntemin benzetim sonuçlarını ve önerilen hibrit yöntem hakkında bilgileri içermektedir.

4.1. MUNKRES (HUNGARIAN) ALGORİTMASI

Munkres algoritması J.Munkres tarafından 1957 yılında önerilmiştir [46]. Bu algoritma Hungarian algoritması olarak da bilinmektedir [47]. Bu algoritma genel olarak atama problemleri ve ulaştırma problemlerinin çözümünde tercih edilmektedir. Munkres algoritması polinomsal atama problemini çözebilen ve ilkel ikili yöntemleri öngörebilen birleşimsel bir optimizasyon algoritması olup atama problemlerinin çözümüne yönelik son yapılan çalışmalarda sıkça kullanıldığı görülmektedir. Munkres algoritması $x \times x$ 'lik problemleri çözebilir. Dikdörtgensel $x \times y$ 'lik matrisleri çözmek için 1971 yılında F.Bourgeois ve J.C. Lasalle tarafından bir algoritma önerilmiştir [48]. SINR değerlerinin β^2 ile ilgili olduğu görüldüğünde Munkres algoritması minimum değer hesaplaması için kullanılabilir. Bu algoritma iki nokta modeli arasındaki eşleşmeyi hesaplamak için kullanılır [49].

[50]'de önerilen yöntem ile hungarian algoritması kullanılarak problem optimize edilmiş ve pilot kirliliği azaltılmıştır.

4.1.1. Munkres Algoritmasının Çalışma Prensibi

$$A = \begin{bmatrix} 9 & 7 & 5 & 8 & 4 \\ 3 & 6 & 8 & 7 & 9 \\ 7 & 5 & 6 & 3 & 8 \\ 4 & 8 & 3 & 9 & 6 \\ 6 & 2 & 9 & 5 & 7 \end{bmatrix}$$

Küçük ölçekli numerik 5x5 bir kare matris [A] tanımlanmıştır. Bu matris ile adım adım munkres algoritmasının çalışması incelenmektedir. [51]'deki çalışmada munkres algoritmasının çalışma prensibi her bir aşama için anlatılmıştır.

4.1.1.1. Birinci Adım

Üzerinde çalışılan matris m adet satırdan ve n adet sütundan oluşan mxn matris yapısına sahipse yalancı satır ya da sütunlar eklenerek kare matris yapısı elde edilmeye çalışılmaktadır.

4.1.1.2. İkinci Adım

Bu aşamada her bir satır için en küçük sayısal değere sahip olan elemanlar işaretlenmektedir.

$$A = \begin{bmatrix} 9 & 7 & 5 & 8 & 4 \\ 3 & 6 & 8 & 7 & 9 \\ 7 & 5 & 6 & 3 & 8 \\ 4 & 8 & 3 & 9 & 6 \\ 6 & 2 & 9 & 5 & 7 \end{bmatrix}$$

Her satır için bulunan en küçük değerler ait olduğu satırdaki tüm elemanlarından çıkarılır.

$$A = \begin{bmatrix} 5 & 3 & 1 & 4 & 0 \\ 0 & 3 & 5 & 4 & 6 \\ 4 & 2 & 3 & 0 & 5 \\ 1 & 5 & 0 & 6 & 3 \\ 4 & 0 & 7 & 3 & 5 \end{bmatrix}$$

4.1.1.3. Üçüncü Adım

Bu adımda ise her sütun için en küçük sayısal değerler belirlenmektedir. Her sütun için bulunan en küçük değerler ait olduğu sütundaki tüm elemanlarından çıkarılır.

$$A = \begin{bmatrix} 5 & 3 & 1 & 4 & 0 \\ 0 & 3 & 5 & 4 & 6 \\ 4 & 2 & 3 & 0 & 5 \\ 1 & 5 & 0 & 6 & 3 \\ 4 & 0 & 7 & 3 & 5 \end{bmatrix}$$

4.1.1.4. Dördüncü Adım

Her satır ve sütun için en küçük değerler seçildikten sonra 0 elde edilen satırlar kaydedilir. Her satır ve sütundaki kaydedilen değerler için atama yapılır.

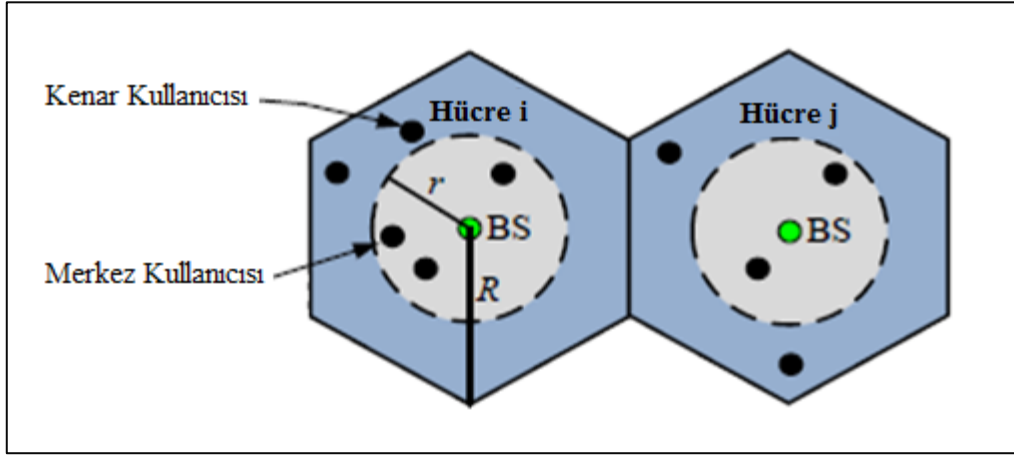
$$A_{atama} = [5 \quad 1 \quad 4 \quad 3 \quad 2]$$

Munkres (Hungarian) algoritması kullanılarak atama dizisi ve optimal çıktı hesabı yapılmaktadır. Atama dizisine bakılarak asıl matriste karşılık gelen sayısal ifadeler toplanarak minimal çıktı bulunmuştur.

$$A = \begin{bmatrix} 9 & 7 & 5 & 8 & 4 \\ 3 & 6 & 8 & 7 & 9 \\ 7 & 5 & 6 & 3 & 8 \\ 4 & 8 & 3 & 9 & 6 \\ 6 & 2 & 9 & 5 & 7 \end{bmatrix}$$

$$A_{minimal \text{ çıktı}} = 4 + 3 + 3 + 3 + 2 = 15$$

4.2. YUMUŞAK PİLOT TEKRAR ŞEMASI (SOFT PİLOT REUSE SCHEME)



Şekil 4.1. Hücrelerin grupsal olarak ayrımı [53].

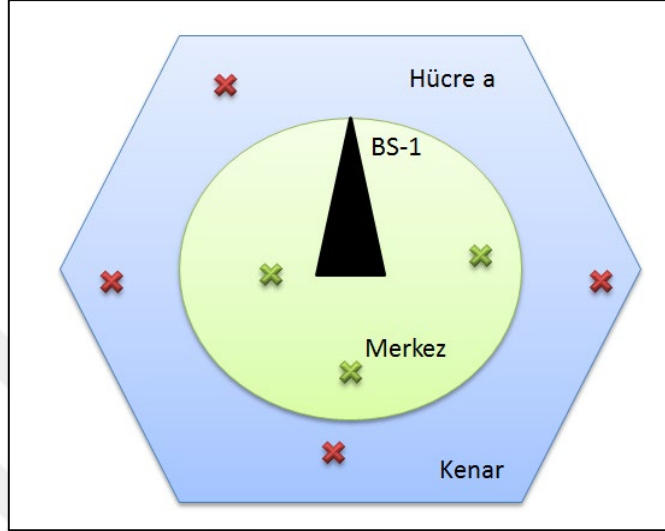
Büyük Ölçekli MIMO sisteminde pilot kirliliği probleminin azaltılmasına yönelik birçok çalışma yapılmıştır. Pilot kirliliği problemi büyük ölçekli sönümlenme kat sayılarına bağlı olarak değiştiğinden mesafeye bağlı olarak da değişim göstermektedir. Bunlardan biri olan [52]'de önerilen çalışmada hücre kenar ve merkez olarak hücre sistemi iki gruba ayrılmıştır. [40]'da yapılan çalışma ile hücreler üç gruba ayrılarak SPR (Yumuşak pilot tekrarı) ve zaman kaydırmalı bir yöntem kullanarak pilot kirliliği probleminin azaltılmasını sağlamıştır. [53]'te önerilmiş olan yöntemde SPR ve TS (Time Shift-Zaman Kaydırmalı) birleştirilerek hibrit bir çalışma yapılmış olup Şekil 4.1'de hücre kenar ve merkez olmak üzere ayrılmış ve merkez kullanıcılarına işlemler yapmaktadır. Bununla birlikte büyük ölçekli sönümlenme kat sayılarına duyulan ihtiyacı ve baz istasyonlarında oluşan karmaşıklığı azaltmıştır.

4.3. ÖNERİLEN HİBRİT YÖNTEM

Hedef UL fazında pilot kirliliği problemini minimize etmektir. Burada büyük ölçekli sönümlenme katsayılarının yavaş değiştiği varsayılmaktadır. Büyük ölçekli sönümlenme blok sönümlenmedir [54].

$$\min_A \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^K \frac{1}{SINR_{i,k}} \quad (4.1)$$

Bu çalışmada atama yapılırken ve optimize edilirken hedeflenen denklem 4.1'deki minimizasyon işlemidir. Bu değerin minimize olması için SINR değerlerini arttırmak gerekmektedir. Burada önerdiğimiz şema, SPRS (Soft Pilot Reuse Scheme- Yumuşak pilot tekrarı şeması) ve Munkres pilot atama yöntemlerinin birleştirilmesi ile oluşturulmuştur.



Şekil 4.2. Önerilen yöntem ile bir hücredeki aktif kullanıcıların ayrımı.

Bu çalışmada Şekil 4.2'de gösterildiği gibi hücre kenar ve merkez olmak üzere ikiye ayrılmıştır. Hücre merkezinde bulunan kullanıcıların kenarda olan kullanıcılara oranla pilot kirliliği yapma olasılığı daha az olduğu düşünülmüştür. Genel olarak literatür de kenarda bulunan kullanıcılar için atama yöntemleri yapılmıştır. Burada yaptığımız çalışma ile kullanıcıların yukarı bağlantıda başarımların oranlarını göz önünde bulundurarak bir atama yöntemi geliştirmiş bulunmaktayız. Merkez kullanıcılar için uzun pilotlar atanırken kenar kullanıcıları içinse kısa pilotlar atanmıştır.

İki hücreli bir senaryo için pilot atama problemi [50]'de de belirtildiği üzere aşağıdaki gibidir.

$$\min_{s_{k,l}, l \in K} \sum_{k \in K} \sum_{l \in K} c_{k,l} s_{k,l} \quad (4.2)$$

$$\sum_{l \in K} s_{k,l} = 1, \forall k \in K; \quad (4.3)$$

$$\sum_{k \in K} s_{k,l} = 1, \forall l \in K; \quad (4.4)$$

$$s_{k,l} \in \{0,1\}, \forall k \in K, \forall l \in K; \quad (4.5)$$

Elde edilecek $c_{k,l}$ değerleri ise aşağıdaki gibidir.

$$c_{k,l} = \frac{\beta_{1,2,l}^2}{\beta_{1,1,k}^2} + \frac{\beta_{2,1,k}^2}{\beta_{2,2,l}^2}; \quad (4.6)$$

$c_{k,l}$ değerleri l. hücre, k. kullanıcı için SINR değerlerinin ölçülmesini sağlamaktadır. Bu problem minimum-ağırlıklı iki parçalı bir karşılaştırma problemidir [54]. Bu çalışmada denklem 4.1'de gösterilen minimizasyonunu sağlamak için gereken kombinasyonel bir atama probleminin çözümü gerekmektedir. Bu çözüm için Munkres algoritması kullanılmaktadır. Önerilen çalışmada ise yumuşak pilot atama yöntemi ile munkres algoritması birleştirilmiş hibrit bir yöntem önerilmiştir. Sistem işleyiş algoritması Çizelge 4.1'de sunulmuştur.

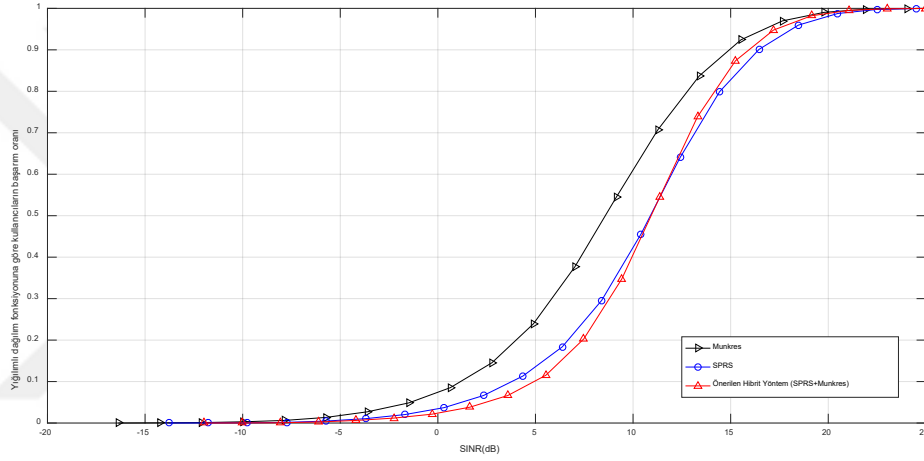
Çizelge 4.1. Önerilen yöntemin sözde kodu.

| Algoritma 1 : Önerilen Hibrit (SPRS+Munkres) Pilot Atama Yöntemi |
|---|
| Girdiler: Sistem parametreleri: K, L, s |
| Büyük ölçekli sönümlenme katsayıları: $\beta_{a,b,k}$ |
| Çıktılar: Pilot atamalar $\{s_{a,k}\}$ |
| 1: $S_k = \{k^{(1)}\}, \forall k \in K;$ |
| 2: for n:=2 'den N |
| 3: $\{s_{a,k}\}=0, \Omega \neq 0$, hesapla $c_{k,l}$ |
| 4: while $\exists s(b, k) = 0$ hesapla. |
| 5: Munkres algoritması (Optimal $s_{a,k}$ bul). |
| 6: $S_k := S_k \cup \{l^{(n)}\}$, if $s_{a,k} = 1, \forall k \in K;$ |
| 7: SPRS ile kenar merkez kullanıcılarını ata. |
| 8: end while |
| 9: end |

Bu çalışmada iki farklı metot birleştirilerek hibrit bir pilot ataması yapılmış olup, pilot kirliliği sadece munkres algoritması kullanılmış olunan atamalara kıyasla azaltılmıştır. Kullanılan parametreler Çizelge 4.2'de gösterilmiştir.

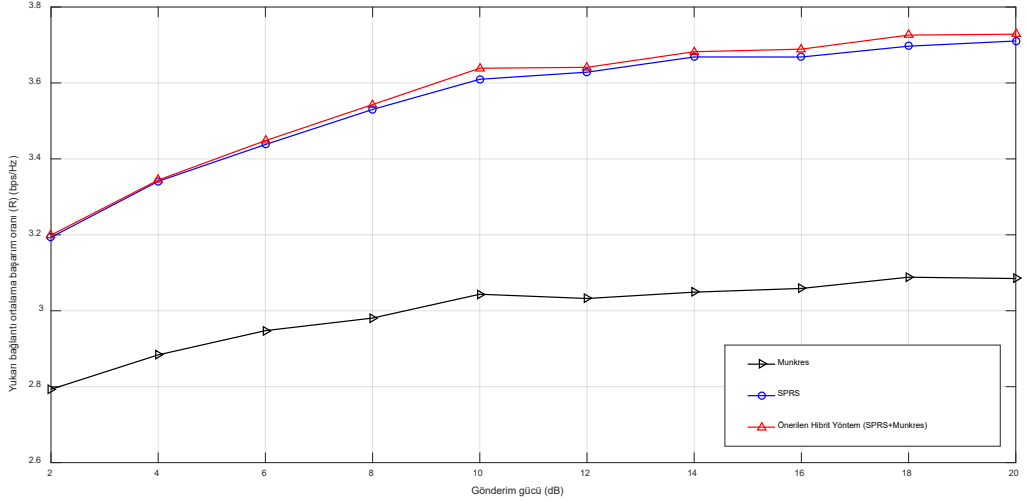
Çizelge 4.2. Kullanılan parametreler.

| | |
|---|----------------------------------|
| Bir hücredeki kullanıcı sayısı K_1 | 10 |
| Hücre sayısı J | 10 |
| Pilot dizisi sayısı Q | $K \leq Q \leq KJ$ 10 |
| Kaybedilen spektral etki değeri μ_0 | 0,05 |
| Baz istasyonundaki anten sayısı N | 32~2048 512 |
| Threshold parametresi θ | $0,05 \leq \theta \leq 1$ 0,1 |
| Gönderme gücü δ_p | 5~30 dB 15 dB |
| Gölgeleme sönümlenmesi σ | 8 dB |

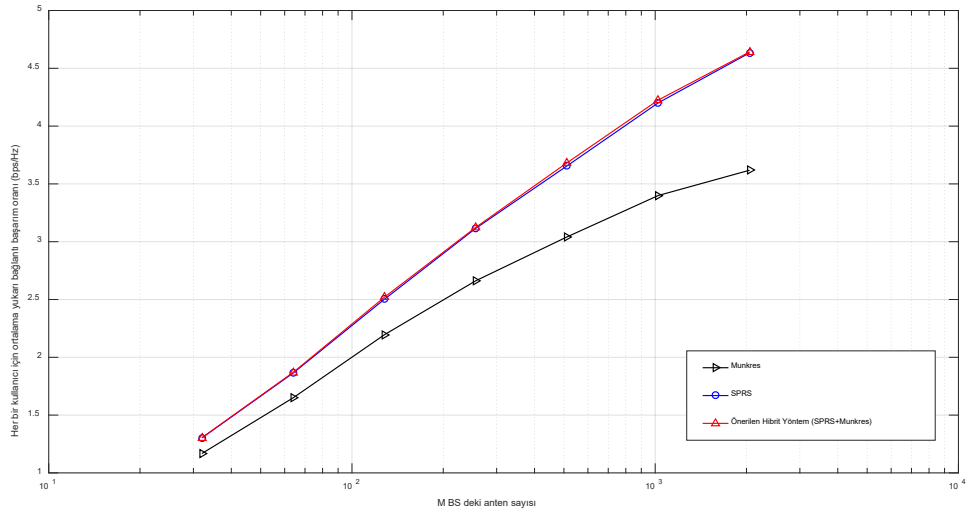


Şekil 4.3. Atama yöntemlerinin kümülatif dağılım fonksiyonuna (CDF) göre SINR (dB) değerleri.

Şekil 4.3'te Munkres yöntemi ve bu yöntemlerin sentezlemesiyle önerilen hibrit (SPRS ve Munkres) pilot atama şemasının diğer yöntemlere göre kullanıcıların başarımlarının, yığılımlı dağılım fonksiyonuna (CDF) karşılık SINR değerlerinin kıyaslanması ile hücrede başarımlar sağlayan kullanıcı sayısının eşit olduğu durumlarda daha iyi SINR değeri elde edilmiştir. Bu da açıkça göstermektedir ki iyileştirme yapılamayan kullanıcı sayısı diğer yöntemlere göre daha azdır. Çok hücreli Büyük Ölçekli MIMO sistemde enerji verimliliği önemli bir konudur. Şekil 4.4'de Ortalama UL fazında kullanıcı başarımlarını gönderim gücü ile birlikte incelediğinde hibrit yöntemin diğer sadece munkres yönteminden biraz daha iyi olduğu görülmektedir.



Şekil 4.4. Atanan farklı pilot şemalarının ortalama yukarı bağlantı başarımlarının gönderim gücüne göre kıyası.



Şekil 4.5. Yukarı bağlantıdaki ortalama başarımların baz istasyonundaki anten sayısına göre değişimi.

Şekil 4.5'te baz istasyonunda anten sayısına göre yukarı bağlantı da her kullanıcı için ortalama başarımları incelenmiş ve anten sayısındaki artış ile önerilen hibrit yöntemin yalnızca munkres algoritması kullanılan yöntemle göre biraz daha verimli sonuçlar elde edildiğini göstermektedir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çok hücreli Büyük Ölçekli MIMO sistemde pilot kirliliği problemi sistem performansını sınırlamaktadır. Pilot kirliliği problemi değişen ve gelişen teknoloji ile birlikte daha sık karşılaşılan konulardandır. IoT [58] ve D2D [59] gibi çalışmalarla cihazdan cihaza iletişimlerin sağlanma ihtiyacı ile birlikte trafiğin yoğunlaşıyor olmasından kaynaklı olarak pilot kirliliği probleminin azaltılması gerekmektedir. Bu noktada çalışmalar arttırılmalıdır. Pilot iletim aşamasında, batarya ömrünü arttırmak ve frekans yeniden kullanım faktörünü ve dolayısıyla pilot kirliliği sorununu azaltmak için güç kontrol şeması araştırılmalıdır [25]. Pilot kirliliği problemi stokastik bir metot kullanılarak sistem performansında oluşturabileceği olumsuz etkiler azaltılabilir. Genel olarak büyük ölçekli sönümlenme katsayılarının hızlı değişmediği varsayımına dayanarak bir yöntem önermek yerine daha dinamik bir sistemde çalışılabilir. Bu çalışmada pilot kirliliği problemini azaltmak aynı zamanda hedef hücredeki performansın arttırılarak, erişilebilir oranları maksimum yapmak için kullanıcılarla baz istasyonları arasındaki büyük ölçekli sönümlenme katsayılarını elde etmek için bu veriler kullanılarak bir hibrit metot ile pilot kirliliği azaltım başarımı elde edilmiştir. Son zamanlarda atama problemlerinin çözümünde kullanılmakta olan munkres algoritması ve daha önceden çok kez kullanılmış olan SPRS algoritması birleştirilerek sistem verimli hale getirilmiştir.

6. KAYNAKLAR

- [1] H. Tullberg, P. Popovski, D. Gozalvez-Serrano, P. Fertl, Z. Li, A. Höglund, M. A. Uusitalo, H. Droste, Ö. Bulakci, J. Eichinger and K. Pawlak, “METIS system concept: The shape of 5G to come”, *IEEE Communications Magazine*, 2015.
- [2] G. Wunder, P. Jung, M. Kasparick, T. Wild, F. Schaich, Y. Chen, S. Ten Brink, I. Gaspar, N. Michailow, A. Festag, L. Mendes, N. Cassiau, D. Kténas, M. Dryjanski, S. Pietrzyk, B. Eged, P. Vago and F. Wiedmann, “5GNOW: Non-orthogonal, asynchronous waveforms for future mobile applications”, *IEEE Communications Magazine*, c.52, sayı 2, ss. 97-105, 2014.
- [3] G. Auer and O. Blume, “Energy efficiency analysis of the reference systems, areas of improvements and target breakdown”, *EARTH Project D2.3*, 2012
- [4] H. Woesner and S. Azodolmolky, “Openflow extensions towards multi-layer and multi-domain networks: OFELIA”, *37th European Conference and Exhibition. Optical Communication (ECOC)*, ss. 1-1, 2011.
- [5] W. Paper, “Dawn of the 5G Era Internet of Things 5G Service Vision”, 2015.
- [6] D. Zhang, K. Yu, Z. Zhou and T. Sato, “Energy efficiency scheme with cellular partition zooming for massive MIMO Systems”, *IEEE Twelfth*, 2015.
- [7] J. G. J. G. Andrews, S. Buzzi, W. Choi, S. V. S. V. Hanly, A. Lozano, A. C. K. A. C. K. Soong, and J. C. J. C. Zhang, “What will 5G be?”, *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, c.32, sayı 6, ss. 1065-1082, 2014.
- [8] R. Q. Hu and Y. Qian, “An energy efficient and spectrum efficient wireless heterogeneous network framework for 5G systems”, *IEEE Communications Magazine*, c.52, sayı 5, ss. 94-101, 2014.
- [9] O.Dikmen and S.Kulaç, “5. Nesil ve ötesi teknolojiler için çok girişli çok çıkışlı sistemler ile spektral verimliliğin gerçekleştirilmesi”, *DergiPark*, ss. 349-356, 2018.
- [10] D. Choudhury, I. Labs, and I. Corporation, “5G Wireless and Millimeter Wave Technology Evolution : An Overview”,*IEEE*, ss. 0–3, 2015.
- [11] V. Jungnickel, K. Manolakis, W. Zirwas, B. Panzner, V. Braun, M. Lossow, M. Sternad, R. Apelfrojd and T. Svensson, “The role of small cells, coordinated multipoint, and massive MIMO in 5G”, *IEEE Communications Magazine* , c.52, sayı 5, ss. 44 - 51, 2014.
- [12] O. Elijah, Chee Y. Leow, Abdul Rahman Tharek, Solomon Nunoo and S. Z. Iliya, “Mitigating pilot contamination in massive MIMO System - 5G: An Overview”,

10th Asian Control Conference (ASCC), Kota Kinabalu, Malaysia, 2015.

- [13] O. Elijah, C. Y. Leow, A. R. Tharek, S. Nunoo and S. Z. Iliya, "A comprehensive survey of pilot contamination in massive MIMO—5G System", *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, c.18, sayı 2, ss. 905 - 923, 2016.
- [14] H. Ahmadi, A. Farhang, N. Marchetti and A. MacKenzie, "A game theoretic approach for pilot contamination avoidance in massive MIMO", *IEEE Wireless Communications Letters*, c.5, sayı 1, ss. 12 - 15, 2016.
- [15] Md. A. L. Sarker and M. H. Lee, "A fast channel estimation and the reduction of pilot contamination problem for massive MIMO based on a diagonal jacket matrix", *4th International Workshop on Fiber Optics in Access Network (FOAN)*, Almaty, Kazakhstan, 2013.
- [16] A. Alkhateeb, G. Leus and R. W. Heath, "Limited feedback hybrid precoding for multi-user Millimeter Wave Systems", *IEEE Transactions on Wireless Communications*, c.14, sayı 11, ss. 6481 - 6494, 2015.
- [17] O. Dikmen and S. Kulaç, "5G ve ötesi teknolojilerde kullanılacak olan Büyük Ölçek MIMO sistemi için TDD-FDD yaklaşımları", *ISITES 2017*, Baku - Azerbaijan, 2017.
- [18] M. M. Badr., M. M. Fouda and A. S. T. Eldien, "A novel vision to mitigate pilot contamination in massive MIMO-based 5G networks", *11th International Conference on Computer Engineering & Systems (ICCES)*, Cairo, Egypt, 2016.
- [19] S. T. Brink, J. Hoydis and M. Debbah, "massive MIMO in the UL/DL of cellular networks: How many antennas do we need?", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, c.31, sayı 2, ss. 160 - 171, 2013.
- [20] E. Larsson, O. Edfors, F. Tufvesson and T. Marzetta, "Massive MIMO for next generation wireless systems", *IEEE Communications Magazine*, c.52, sayı 2, ss. 186-195, 2014.
- [21] A. Alkhateeb, Y. H. Nam, J. C. Zhang, and R. W. Heath, "Massive MIMO combining with switches", *IEEE Wireless Communications Letters*, c.5, sayı 3, ss. 232-235, 2016.
- [22] H. Gao, T. Zhang, C. Feng and Y. Wang, "Clustering based pilot allocation algorithm for mitigating pilot contamination in massive MIMO Systems", *Asia-Pacific Microwave Conference (APMC)*, Kyoto, Japan, 2018.
- [23] M. Alkhaled, E. Alsusa and K. A. Hamdi, "A new allocation algorithm for pilot contamination mitigation in TDD massive MIMO Systems", *IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*, San Francisco, CA, USA, 2017.
- [24] E. Björnson, J. Hoydis, M. Kountouris and M. Debbah, "Massive MIMO Systems

- with Sn-Ideal hardware: energy efficiency, estimation, and capacity limits”, *IEEE Transactions on Information Theory*, c.60, sayı 11, ss. 7112-7139, 2014.
- [25] A. H. Alqahtani, A. I. Sulyman and A. Alsanie, “Rateless space–time block code for mitigating pilot contamination effects in multi-cell massive MIMO system with lossy links”, *IET Communications*, c.10, sayı 16, ss. 2252-2259, 2016.
- [26] A. Ahmad, “Interference mitigation in 5G mobile networks uplink pilot contamination in TDD massive MIMO scheme”, PhD Thesis, Département C2S2: Composants Circuits Signaux et Systèmes Hautes Fréquences, Université de Limoges, Limoges - France, 2017.
- [27] N. Bandırmalı, C. Çeken, C. Bayılmış ve İ. Ertürk, “Kablosuz erişim yöntemlerinin karşılaştırmalı incelenmesi”, *Kocaeli Üniversitesi*, Kocaeli.
- [28] H. Wang, Z. Pan, J. Ni and Chih-Lin I, “A spatial domain based method against pilot contamination for multi-cell massive MIMO systems”, *8th International Conference on Communications and Networking in China (CHINACOM)*, Guilin, China, 2013.
- [29] X. Zhou., B. Maham and A. Hjørungnes, “Pilot contamination for active eavesdropping”, *IEEE Transactions on Wireless Communications*, c.11, sayı 3, ss. 903-907, 2012.
- [30] H. Yin, D. Gesbert, M. Filippou and Y. Liu, “A Coordinated approach to channel estimation in large-scale multiple-antenna systems,” *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, c.31, sayı 2, ss. 264-273, 2013.
- [31] X. Zhang, J. Xu and X. Tao, “A dynamic pilot allocation scheme in massive MIMO systems”, *24th Asia-Pacific Conference on Communications (APCC)*, Ningbo, China, 2018.
- [32] M. Alkhaled, E. Alsusa and K. A. Hamdi, “A new allocation algorithm for pilot contamination mitigation in TDD massive MIMO systems”, *IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*, San Francisco, CA, USA, 2017.
- [33] S. Lin, K. Huang, W. Luo and Y. Zou, “Analysis of pilot contamination on the security performance of artificial noise in MIMO systems”, *IEEE 81st Vehicular Technology Conference (VTC Spring)*, Glasgow, UK, 2015.
- [34] H. Wang, Z. Pan, J. Ni, S. Wang and Chih-Lin I, “A temporal domain based method against pilot contamination for multi-cell massive MIMO systems”, *IEEE 79th Vehicular Technology Conference (VTC Spring)*, Seoul, South Korea, 2014.
- [35] M. Alkhaled, E. Alsusa and K. A. Hamdi, “Adaptive pilot allocation algorithm for pilot contamination mitigation in TDD massive MIMO systems”, *IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*, San Francisco, CA, USA, 2017.

- [36] L. Wu, Z. Zhang, J. Dang and H. Liu, "Enhanced time-shifted pilot based channel estimation in massive MIMO systems with finite number of antennas", *IEEE International Conference on Communications Workshops (ICC Workshops)*, Paris, France, 2017.
- [37] H. Wang, L. Yang, H. Zhu and Y. Fu, "Pilot contamination reduction based on MSE performance of channel estimation", *International Conference on Wireless Communications & Signal Processing (WCSP)*, Nanjing, China, 2015.
- [38] S. Ma, S. Jiang and T. Long, "Pilot contamination reduction based on improved power control in M-MIMO systems", *11th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing (WiCOM 2015)*, Shanghai, China, 2015.
- [39] K. Appaiah, A. Ashikhmin and T. L. Marzetta, "Pilot contamination reduction in multi-user TDD systems", *IEEE International Conference on Communications*, Cape Town, South Africa, 2010.
- [40] W. A. W. M. Mahyiddin, P. A. Martin and P. J. Smith, "Pilot contamination reduction using time-shifted pilots infinite massive MIMO systems", *IEEE 80th Vehicular Technology Conference (VTC2014-Fall)*, Vancouver, BC, Canada, 2014.
- [41] T. X. Vu, T. A. Vu and T. Q. S. Quek, "Successive pilot contamination elimination in multiantenna multicell networks", *IEEE Wireless Communications Letters*, c.3, sayı 6, ss. 617 - 620, 2014.
- [42] K. Upadhyaya, S. A. Vorobyov and M. Vehkaperä, "Superimposed pilots: An alternative pilot structure to mitigate pilot contamination in massive MIMO", *IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*, Shanghai, China, 2016.
- [43] K. Upadhyaya, S. A. Vorobyov and M. Vehkaperä, "Superimposed pilots are superior for mitigating pilot contamination in massive MIMO", *IEEE Transactions on Signal Processing*, c.65, sayı 11, ss. 2917 - 2932, 2017.
- [44] D. Neumann, M. Joham and W. Utschick, "Suppression of pilot-contamination in massive MIMO systems", *IEEE 15th International Workshop on Signal Processing Advances in Wireless Communications (SPAWC)*, Toronto, ON, Canada, 2014.
- [45] J. Y. Sohn, S.W. Yoon and J. Moon, "On reusing pilots among interfering cells in massive MIMO", *IEEE Transactions on Wireless Communications*, c.16, sayı 12, ss. 8092 - 8104, 2017.
- [46] J. Munkres, "Algorithms for the assignment and transportation problems," *Journal of the Society for Industrial and Applied Mathematics*, ss. 32-38, 1957.
- [47] H. Kuhn, "The Hungarian Method for the assignment problem," *Naval Research Logistics Quarterly*, ss. 83-97, 1955,.

- [48] F. Burgeoi and J. C. Lasalle, "An extension of the Munkres algorithm for the assignment problem to rectangular matrices," *Communications of the ACM*, 1971.
- [49] Y. Zhou, W. Wei, C. Yu, Y. Sun, C. Xing, W. Shen and X. Shi, "A Munkres Particle Swarm optimization algorithm for point pattern matching", *Proceedings 2011 International Conference on Human Health and Biomedical Engineering*, Jilin, China, 2011.
- [50] S. Ma, E. L. Xu, A. Salimi and S. Cui, "A novel pilot assignment scheme in massive MIMO networks", *IEEE Wireless Communications Letters*, c.7, sayı 2, ss. 262 - 265, 2018.
- [51] I. Makohan, M. Cetin, D. T. Nguyen and M. W. Ng, "Hungarian Optimum Assignment Algorithm with Java Computer Animation", *SoutheastCon 2016*, Norfolk, VA, USA, 2016.
- [52] X. Zhu, Z. Wang, C. Qian, L. Dai, J. Chen, S. Chen, and L. Hanzo, "Soft pilot reuse and multicell block diagonalization precoding for massive MIMO systems", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, c.65, sayı 5, ss. 3285 - 3298, 2016.
- [53] X. Jin, J. Wang and Y. Wang, "Improved soft pilot reuse combined with time-shifted pilots in massive MIMO systems", *IEEE 87th Vehicular Technology Conference (VTC Spring)*, Porto, Portugal, 2018.
- [54] W. Yuan, X. Yang and R. Xu, "A novel pilot decontamination scheme for uplink massive MIMO systems", *Elsevier*, c.131, ss. 72-79, 2018.
- [55] F. Kaltenberger, H. Jiang, M. Guillaud and R. Kspp, "Relative channel reciprocity calibration in MIMO/TDD systems", *IEEE Future Network & Mobile Summit, Florence, Italy*, 2010.
- [56] M. Guillaud and F. Kaltenberger, "Towards practical channel reciprocity exploitation: Relative calibration in the presence of frequency offset", *IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*, Shanghai, China, 2013.
- [57] E. Björnson and E. Jorswieck, "Optimal resource allocation in coordinated multi-cell systems", *Foundations and Trends in Communications and Information Theory*, c.9, sayı 2, ss. 381, 2013.
- [58] J. M. Khurpade, D. Rao and P. D. Sanghavi, "A Survey on IOT and 5G network", *International Conference on Smart City and Emerging Technology (ICSCET)*, Mumbai, India, 2018.
- [59] R. I. Ansari, C. Chrysostomou, S. A. Hassan, M. Guizani, S. Mumtaz, J. Rodriguez and J. J. P. C. Rodrigues, "5G D2D Networks: Techniques, challenges, and future prospects", *IEEE Systems Journal*, c.12, sayı 4, ss. 970 - 3984, 2018.

- [60] B. Z. Maha and R. Kosai, “Multi-User MIMO Communication: Basic aspects, benefits and challenges”, *Recent Trends in Multi-user MIMO Communications*, Rijeka, Croatia, InTech, 2013, ss. 3-24.
- [61] Türk Telekom, (2018, Ağustos). [Online]. Erişim,: <https://www.turktelekom.com.tr/hakkimizda/duyurular/Documents/tt-5g-final-version-03082018.pdf>. [2019].
- [62] M.-. M. W. Forum, (2019,19 Temmuz). “5G and EMF Explained”. [Online]. Available: http://www.mwfai.org/docs/eng/2018_05_MWF_5G-EMF%20Explained%20final.pdf.



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Esra Cansu KÖSE
Doğum Tarihi ve Yeri : 07.10.1993-ANKARA
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : esracansukose06@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

| Derece | Alan | Okul/Üniversite | Mezuniyet Yılı |
|-----------|--------------------------|--------------------|----------------|
| Y. Lisans | Elektrik Elektronik Müh. | Düzce Üniversitesi | 2019 |
| Lisans | Elektronik Müh. | Düzce Üniversitesi | 2016 |
| Lise | | Gülveren Lisesi | 2011 |