

5G-UYDU İLETİŞİM AĞLARINDA KULLANILAN DİKGİN OLMAYAN ÇOKLU ERİŞİM METODU İÇİN BİT HATA ORANI KARŞILAŞTIRMASI

Seda ÇALIK¹, Remzi Erkam YİĞİTTÜRK² ve Şule ŞAHİN³
TÜRKSAT A.Ş., Ankara

ÖZET

5G ağları için entegre bir tamamlayıcı olan uydu iletişim ağları, hedeflenen erişilebilirliğin elde edebilmesi ve her yerde kapsama alanı sağlaması için son zamanlarda 5G'nin önemli bir parçası olarak görülmüştür. Uydu iletişimi ile birlikte özellikle daha yüksek verim ve daha düşük gecikme süresi gibi gereksinimleri karşılayacak olan 5G sistemleri, daha gelişmiş iletişim teknolojileri kullanılmasını teşvik etmiştir. Artan bu talebe cevap verebilmek için Frekans Bölmeli Çoklu Erişim(Frequency Division Multiple Access, FDMA), Kod Bölmeli Çoklu Erişim(Code Division Multiple Access, CDMA), Zaman Bölmeli Çoklu Erişim(Time Division Multiple Access, TDMA) gibi teknikler günümüzde sıkça kullanılmaktadır. Fakat artan talebe karşın bu teknikler günümüzde yetersiz kalmaya başlamıştır. Yeni tekniklerden birisi olan Dikgen Olmayan Çoklu Erişim(Non Orthogonal Multiple Access, NOMA) metoduyla talep artışına gerekli kapasite artış yanıtının verilebileceği yapılan çalışmalarda görülmektedir. 5G haberleşme sistemlerinde yoğun olarak kullanılması hedeflenen bu teknik yazımda farklı yönleriyle incelenmiştir. FDMA tekniğiyle NOMA yöntemi toplam kapasite hesabı gösterilmiştir. İki farklı kullanıcı için NOMA için bit hata oranları(Bit Error Rate, BER) karşılaştırması yapılmış ve sunulmuştur.

GİRİŞ

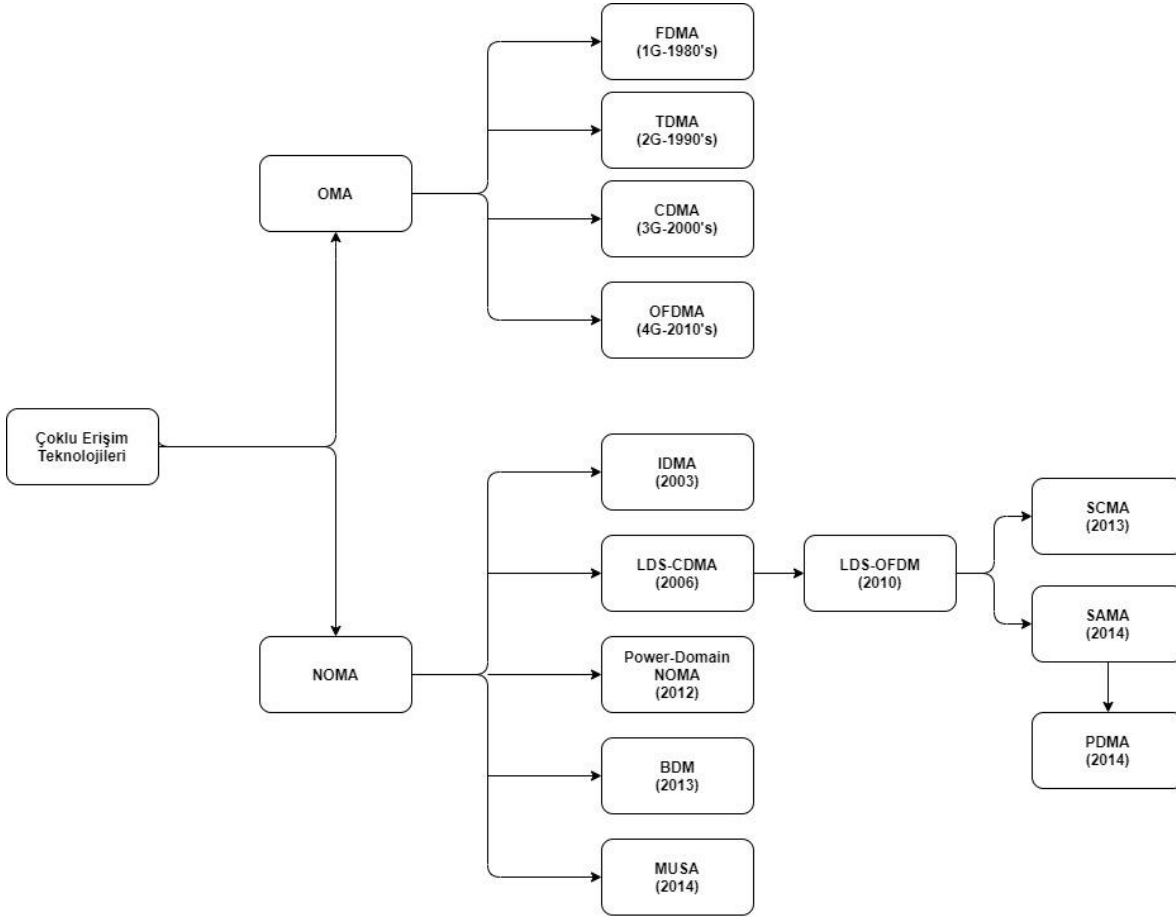
Önümüzdeki yıllarda 1.000 katına ulaşacağı tahmin edilen veri trafiğinin hızlı büyümesiyle, kablosuz ağ, yeni nesil kablosuz iletişim ağlarında çok daha fazla zorlukla karşılaşacağı öngörülmektedir. Bununla birlikte yakın zamanda hayatımıza girecek olan, sürücüsüz, yüksek internet hızı kullanan, birbiriyle sürekli iletişim halinde olan araçlar (Connected Cars), Nesnelerin İnterneti(Internet of Things, IoT) ve geniş bant internet ihtiyaçlarının ortaya çıkmasıyla birlikte 5G'ye duyulan ihtiyaç artmıştır. Her gelen yeni nesil hücreli ağ, bir öncekinden farklı kılan yeni standartlar, teknikler ve özelliklerle birlikte gelir. Buna paralel olarak, 5G ve sonraki nesil hücreli sistemlerinin bu yenilikçi kullanım alanları için, mobil trafiğin devasa büyümesine öncülük etmesiyle beraber sisteminin uğraşması gereken en kritik zorluklardan biri olarak radyo spektrum kıtlığını ortaya çıkarmaktadır. Uydu sektörü son on yıl C ve Ka-bandında spektrumun yeniden tahsis üzerine mobil telekom topluluğu ile spektrum rekabetine katılmışken, Kasım 2019'da yapılan ITU WRC-19'dan sonra uydulara tahsis edilen spektrum 5G servislerine tahsis edilmeye başlanmıştır, 5G'nin uydu endüstrisi için de önemli iş fırsatları getireceği fark edilmiştir. 5G, mobil iletişimin geleceğinde uydulara tamamen entegre bir çözüm olma fırsatı vermektedir. Buna paralel olarak kablosuz

¹ Teknik Personel, E-posta: scalik@turksat.com.tr

² Teknik Personel, E-posta: reyigitturk@turksat.com.tr

³ Teknik Personel, E-posta: sules@turksat.com.tr

iletişim sistemlerindeki temel yapı taşlarından biri olan çoklu erişim(Multiple Access, MA), mevcut spektrumun, sistem veriminin ve gecikme süresinin kullanımı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. MA teknikleri Şekil 1’de görüldüğü üzere, 1G’den 4G’ye kadar kablosuz haberleşme sistemlerinin tanımlanmasında en büyük etken olmuştur.



Şekil 1: Çoklu erişim teknolojilerinin ayrımları

Son on yılda, kablosuz iletişim sistemleri MA teknikleri bakımından birçok yeniliği birlikte getirdi. Mevcut kablosuz sistemlerde ortogonal çoklu erişim(Orthogonal Multiple Access, OMA), 1G mobil iletişim sisteminden 4G'ye kadar yaygın şekilde kullanılmaktadır. 1G için FDMA, 2G için TDMA, 3G için CDMA ve 4G için dikgen frekans bölmeli çoklu erişim(Orthogonal Frequency Division Multiple Access, OFDMA) kullanılır ve hepsi esas olarak OMA şemalarıdır. Bu OMA şemalarında, kullanıcılar frekans, zaman veya kod alanında dikgen olarak çoğaltılır, böylece karışık sinyal düşük karmaşıklıkta alıcıda ayrılabilir. FDMA, TDMA, CDMA ve OFDMA gibi geleneksel OMA şemalarında, birden fazla kullanıcı zaman, frekans, kod alanı veya kombinasyonlarında dikgen radyoya atanır. Daha spesifik olarak, her kullanıcı benzersiz bir ileti gönderir, içindeki benzersiz frekans kaynağı üzerinden kullanıcıya özel FDMA sinyalini alıcı tüm kullanıcıların verilerini sırasıyla ilgili frekans bantları içindeki kolayca algılayabilir. Benzer şekilde, TDMA'da, her kullanıcıya özel bir zaman dilimi tahsis edilmiştir, bu nedenle farklı kullanıcıların sinyallerini farklı noktadaki zaman alanındaki alıcılardan ayırt etmek kolaydır. CDMA'da farklı kullanıcıların iletilen sembolleri yayılan dizilerde dikgen olarak eşlenebilirken, çoklu kullanıcılar aynı zaman-frekans kaynaklarını paylaşabilir. OFDMA, FDMA ve TDMA radyo kaynaklarının entegrasyonu ile dikgen olarak zaman-frekans izgarasında bölümlendiğinden akıllı olarak kabul edilebilir.

Teorik olarak, OMA sistemlerindeki dikgen kaynak tahsisinin bir yararı, kullanıcılar arasında parazit oluşturmaz ancak azami desteklenebilir kullanıcı sayısı dikgen kaynakların sayısı ile sınırlıdır. 5G için çok fazla bağlantı olduğunda zor bir limit haline gelecektir. Ayrıca, NOMA gerektiğinde zaman paylaşımı veya oranların bölünmesi yardımı ile çok kullanıcıli kapasiteye ulaşma yeteneğine sahipken, teorik olarak OMA her zaman çok kullanıcıli kablosuz sistemlerin maksimum ulaşılabilir toplam oranını yakalayamaz.[Zhang ve Hanzo, 2011]

NOMA, aynı zaman ve sıklığı kullanarak birden fazla kullanıcıya hizmet verme kabiliyetine sahiptir. İki ana NOMA tekniği vardır: Güç-alanlı (Power-Domain) ve Kod-Alanlı (Code-Domain). Güç-alanlı NOMA güç alanında çoğullama yaparken, kod alanı NOMA kod etki alanında çoğullama yapmaktadır. [Dai, Wang, Yuan, Han ve Wang, 2015]

Güç alanı çoğullama; araçları farklı kullanıcılara farklı güç tahsis edildiği kanal şartlarına göre sistem performansında maksimum kazanç elde etmeyi amaçlar. Bu tür güç tahsisatı farklı kullanıcıları ayırmak için çok kullanıcıli girişi iptal eden (SIC) kullanıldığı zaman faydalıdır. Benzer olarak CDMA veya çoklu taşıyıcı CDMA'ya, farklı kullanıcılara farklı kodlar atanır, daha sonra aynı zaman-frekans kaynakları üzerinde çoğullandır. Güç alanı ve kod alanı çoğullama arasındaki fark; kod alanı çoğullamada artan sinyal bant genişliği pahasına belli bir yayılma ve şekillendirme kazancı elde edilmesidir. Dikgen olmayan MA teknikleri kullanılarak dikgen erişim tekniklerine göre daha yüksek spektral etkinlik sağlanabilmektedir.[Saito, Benjebbour, Kishiyama ve Nakamura, 2013]

Spesifik olarak, NOMA'nın klasik OMA ile karşılaştırılması aşağıdaki gibi özetlenebilir [Dai, Wang, Yuan, Han ve Wang, 2015]:

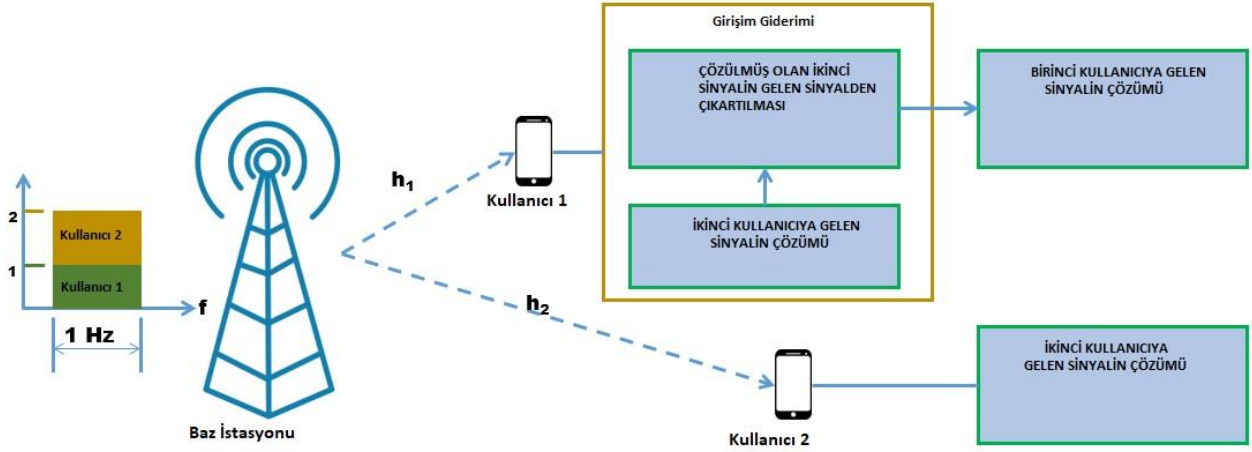
- Geliştirilmiş spektral verimlilik ve hücre kenarı verimliliği: Zaman frekans kaynakları hem güç alanı NOMA hem kod alanı NOMA için kaynakları kullanıcılar arasında dikgen olmayan bir şekilde paylaşılır. Kanalların yukarı bağlantısında hem OMA hem NOMA en yüksek toplam kapasiteye ulaşabiliyor, NOMA ise daha fazla eşit kullanıcı adaleti sağlıyor. Ek olarak, NOMA'nın kapasite sınır değeri, aşağı bağlantılı OMA'ninkinden daha yüksektir.
- Büyük miktarda bağlantı: NOMA'da dikgen olmayan kaynak ayırma, desteklenebilir kullanıcı/cihaz sayısının mevcut dikgen kaynak sayısı ile sınırlı olmadığını gösterir. Kitlesel bağlantıyı destekleme potansiyeli sebebiyle NOMA, düzey eksikliği senaryolarında eşzamanlı bağlantı sayısını artırma yeteneğine sahiptir. Belirtmek gerekir ki, NOMA sistemlerindeki donanım kusurları ve hesaplama karmaşıklığı gibi bazı pratik uygulama konuları, büyük bağlantıların gerçekleşmesini engelleyebilir.
- Düşük iletim gecikmesi ve sinyal maliyeti: Onay bazlı iletime sahip geleneksel OMA'da, bir kullanıcı ilk önce baz istasyonuna bir programlama isteği göndermek zorundadır. Daha sonra, alınan onay talebine göre uplink iletimi için planlama yapar ve downlink kanalı üzerinden onay gönderir. Bu prosedür kitlesele bağlantı senaryosu beklenen 5G için yüksek gecikme süresi ve yüksek sinyal maliyeti ile sonuçlanır, hatta kabul edilemez hale gelecek kadar kötüleşir. Buna karşılık, NOMA'nın bazı yukarı bağlantı şemalarında böyle dinamik zamanlama gerekli değildir, onaysız bir uplink iletimi sağlamak iletim gecikmesini önemli ölçüde azaltabilir.
- Rahat kanal geri bildirimi: Kanal geri bildirim gereksinimi güç-alanlı NOMA'da rahat olacaktır, çünkü geri bildirimi sadece güç tahsisi için kullanılmaktadır. Dolayısıyla, anlık kanal durum bilgisine gerek yoktur. Bu nedenle, sabit veya mobil kullanıcılar desteklenir sınırlı doğruluk düzeyine sahip geçmiş zamanlı olan geri bildirimler ve kanal hızla değişmediği sürece meydana gelecek gecikme sistem performansını ciddi bir şekilde etkilemeyecektir.

NOMA'nın ayırt edici özelliği, dikgen olmayan kaynak tahsisi yardımıyla dikgen kaynak sayısından daha fazla kullanıcı sayısını desteklemesidir. Bu avantajlar göz önüne alındığında 5G sistemleri için kullanılması hedeflenmektedir.[Dai, Wang, Ding, Wang, Chen ve Hanzo, 2018]

YÖNTEM

Tek baz istasyonu ve iki kullanıcı bir yapıyı NOMA için incelediğimizde dikgen erişim yöntemlerine göre daha avantajlı olduğunu görmekteyiz. Baz istasyonundan yayımlanan iki farklı sinyali h_1 ve h_2 olarak adlandırdık. Baz istasyonundan çıkan sinyalin eriştikleri kullanıcılar “kullanıcı 1” ve “kullanıcı 2” olarak adlandırılmıştır. Sinyallerin üst üste toplanmış halleri (1)’deki formülde gösterilmiştir.

$$s = \sqrt{g_1}h_1 + \sqrt{g_2}h_2 \quad (1)$$



Şekil 2: NOMA Şematiği[İslam, Zeng, Dobre ve Kwak, 2019]

Gelen sinyal farklı kullanıcılara ulaştıklarında öncelikle çözülmektedir. Çözülen sinyaldeki kullanıcıya ait olmayan kısım girişim giderimi yöntemi kullanılarak ayrıştırılmaktadır. Çözme işleminde öncelikli olarak yüksek güçlü olan sinyal çözülür ve çözülen sinyal alıcıdaki sinyalden çıkartılarak diğer bileşenlerin çözülmesi işlemine geçilir. Hangi kullanıcının sinyalinin çözüleceğini belirleyebilmek için $(h_1)^2/NF_1$ kullanılarak belirlenir. Bu sayede diğer sinyallerden kaynaklanabilecek olan girişimler giderilmiş olur. Ayrıca girişim giderilmesinin dışında tüm bant genişliği (Bandwidth, B) aynı kullanıcı için kullanıma sunulmuş olur. Dikgen olmayan erişim tekniklerinde dikgen erişim tekniklerinde olduğu gibi bant genişliği veya zaman gibi parametreler sistemin veri hacmini etkilemez. [İslam, Zeng, Dobre ve Kwak, 2019].

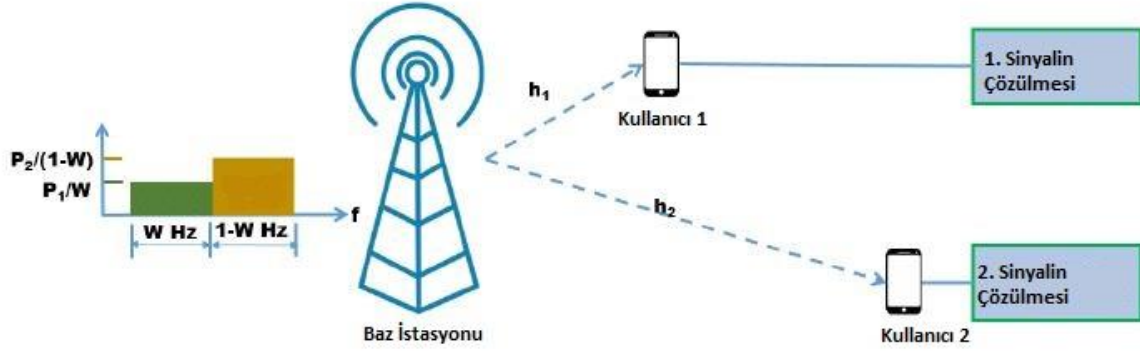
$$R_1^{NOMA} = \log_2\left(1 + \frac{g_1 * |(h_1)^2|}{NF_1}\right) \quad (2)$$

$$R_2^{NOMA} = \log_2\left(1 + \frac{g_2 * |(h_2)^2|}{g_1 * |(h_2)^2| + NF_2}\right) \quad (3)$$

Dikgen olmayan erişim metodlarıyla dikgen olan erişim metodları arasındaki farkları anlayabilmek 2 kullanıcı için frekans bölmeli erişim tekniği anlatılmıştır. (4) ve (5)'te verilen formüller dikgen çoklu erişimde kullanıcılar için kapasitelerin hesaplanmasında kullanılmaktadır. Toplam kapasite miktarı ise her kullanıcı için yapılan hesapların toplamına eşittir. Denklemden kullanılan (B) ve (1-B) katsayıları dikgen çoklu erişim yöntemlerinde performansı düşürmektedir. Bant genişliğinin farklı kullanıcılar için paylaşılması nedeniyle veri hacimleri bant genişliğine bağlı olarak değişmektedir.

$$R_1^{OMA} = \log_2\left(1 + \frac{g_1 * |(h_1)^2|}{B * NF_1}\right) \quad (4)$$

$$R_1^{OMA} = (1 - B) * \log_2\left(1 + \frac{g_2 * |(h_2)^2|}{(1 - B) * NF_2}\right) \quad (5)$$



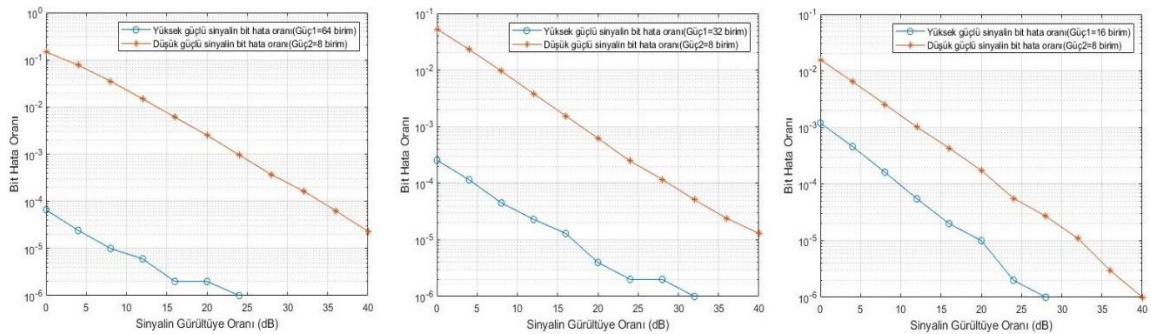
Şekil 2: Dikgen Çoklu Erişim Şematığı[İslam, Zeng, Dobre ve Kwak, 2019]

Şekil 2’de görülebileceği gibi bant genişliği paylaşımı yapılması kullanıcıların ayrılmış olan belli bantları kullanmalarına neden olur. Sınırlanmış bant genişliği nedeniyle kullanıcıların ihtiyacı olabilecek yüksek veri hızı sağlanamaz.

1,2,3,4 ve 5 numaralı formüllerde görüldüğü üzere NOMA tekniği ile daha yüksek veri akış hızı sağlanabildiği anlaşılmaktadır. Çalışmamızda NOMA tekniği kullanarak çalışan ve sonucunda iki kullanıcı için bit hata oranlarının karşılaştırılması yapılmıştır.

UYGULAMALAR ve DEĞERLENDİRME

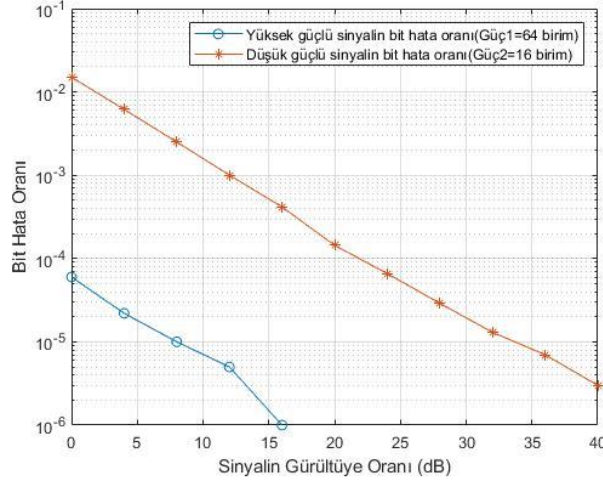
NOMA tekniğinde giriş sinyalinde farklı kullanıcılara ait sinyallerin bulunduğunu gördük. Çalışmamızda iki kullanıcı için kurguladığımız simülasyonda farklı güçlerdeki iki sinyalin gömülü olduğu alışı sinyali üzerinde çalıştık. Alınan sinyal içerisinde gömülü olan iki farklı sinyalden, çözme işlemine ilk tabi olacak olan gücü daha yüksek sinyaldir. Ana sinyalin çözülmesi işleminin ardından çözülen sinyal alınan orijinal sinyalden çıkartılacaktır. Çıkartma işleminden sonra elimizde ikinci kullanıcıya ait olan sinyal kalır. İkinci kullanıcı sinyali de hangi modülasyonla şifreleniyse çözülür. İki farklı kullanıcı için gerekli olan sinyallerin çözümü tamamlanmış olur. Sinyalleri dörtlü faz kaydırmalı anahtarlamasına(Quadrature Phase-shift Keying, QPSK) göre anahtarladık ve sinyallerin çözümlerini yine aynı anahtarlamayı kullanarak gerçekleştirdik. Çalışmamızda farklı güçlerdeki kullanıcı sinyalleri için bit hata oranlarını karşılaştırdık.



Şekil 3: Farklı Güçlerdeki Sinyaller Bit Hata Oranları

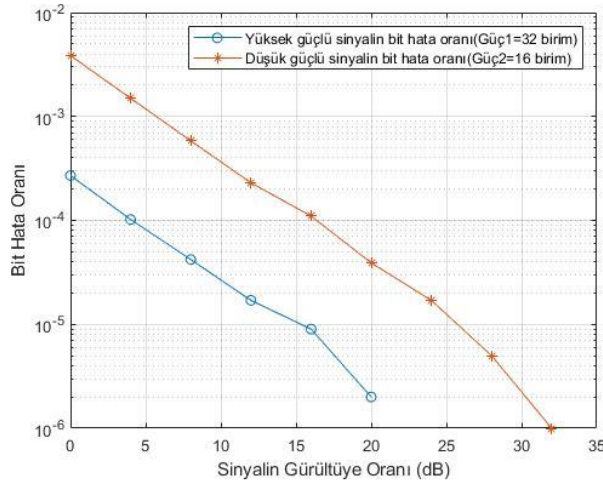
Şekil 3'te görülen benzetim sonuçları 3 farklı orandaki sinyal için bit hata oranlarını temsil etmektedir. Grafikte görüldüğü gibi yüksek güçlü sinyalin bit hata oranlarının farklı sinyal güçleri için daha düşük seviyelerde olduğu anlaşılmıştır. Sinyal gücü fazla olan bit hata oranının düşmesine olan etkisi gözlemlenmiştir. Güçlü sinyal 16 birim, düşük güçlü sinyal 8 birim olarak belirlendiğinde bit hata oranı olasılıkları sinyalin gücü arttıkça 10^{-6} seviyesine doğru düşmektedir. Bit hata oranına ayrıca etki eden diğer bir parametre de sinyalin gürültüye olan oranıdır.

Faydalı sinyalin gücünün gürültü sinyaline oranla 25 dB seviyelerinde olduğu bölgelerde bit hata oranının çok daha düşük olduğu görülmüştür.



Şekil 4: Farklı Güçlerdeki Sinyaller Bit Hata Oranları

Şekil 4 ve Şekil 5'i incelediğimizde kullanıcılardan birine giden sinyalin aynı güçte olduğu görülmektedir. Gücü aynı olarak korunan sinyal düşük güçlü sinyaldir. Şekil 4'te görülen düşük güçlü sinyalin gürültüye oranla gücü arttıkça bit hata oranının düştüğü görülmektedir. Yüksek güçlü sinyalin ise seviyesi 32 ve 64 birim şeklinde iki farklı grafikte gösterilmiştir. Şekil 4'te yüksek güçlü sinyalin BER 10^{-4} ile 10^{-5} arasındadır. Şekil 5'te ise BER'in 10^{-3} ile 10^{-4} arasına çıktığı gözlemlenmiştir.



Şekil 5: Farklı Güçlerdeki Sinyaller Bit Hata Oranları

SONUÇ

5G ağları için bir tamamlayıcının bir parçası olarak uydu iletişim ağlarının vazgeçilmez olması beklenmektedir. Çalışmamızda 5G'nin hedeflediği kullanılabilirlik, kapsama alanı ve verimlilik gereksinimlerini karşılamak için kullanılacak olan NOMA yöntemi sunulmuştur. Aynı zaman, frekans bloğu içinde aynı anda birden fazla kullanıcıya hizmet verebilen güç etki alanlı NOMA, 5G

ağında yüksek spektral verimlilik ve kaynak kullanımı sağlamak için kullanılan bir başka umut verici strateji olarak görülmüştür. NOMA erişim metoduyla çalışan ve QPSK ile modülasyon edilmiş iki kullanıcıyla çalışan benzetim için bit hata oranlarının analizleri sunulmuştur. Yapılan çalışmalar sonucu bit hata oranlarının sinyal gücüne bağlı olduğu görülmüştür. Bit hata oranını düşük seviyede kalması için sinyalin gürültüye oranının da ayrıca yüksek seviyede olması gerekmektedir.

Kaynaklar

- L. Dai, B. Wang, Y. Yuan, S. Han ve Z. Wang, 2015. *Non-Orthogonal Multiple Access For 5G: Solutions, Challenges, Opportunities, And Future Research Trends*, IEEE Communications Magazine, vol. 53, no. 9, pp. 74-81
- L. Dai, B. Wang, Z. Ding, Z. Wang, S. Chen ve L. Hanzo, 2018. *A Survey Of Non-Orthogonal Multiple Access for 5G*, IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 20, no. 3, pp. 2294-2323
- S. Islam, M. Zeng, O. Dobre ve K. Kwak, 2019. *Non-Orthogonal Multiple Access(NOMA): How It Meets 5G and Beyond*, Wiley 5G Ref, pp. 1-28
- R. Zhang ve L. Hanzo, 2011. *A Unified Treatment Of Superposition Coding Aided Communications: Theory and Practice*, IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 13, no. 3, pp. 503-520
- X. Zhu, C. Jiang, L. Kuang, N. Ge ve J. Lu, J., 2018. *NOMA-Based Integrated Terrestrial-Satellite Networks. Multiple Access Techniques for 5G Wireless Networks and Beyond*, Multiple Access Techniques for 5G Wireless Networks and Beyond, pp. 639-668
- Y. Saito, A. Benjebbour, Y. Kishiyama ve T. Nakamura, 2013. *System Level Performance Evaluation Of Downlink Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA)*, IEEE 24th Annual International Symposium on Personal, Indoor, and Mobile Radio Communications (PIMRC), s. 611-615