



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

5. Nesil ve Ötesi Teknolojiler için Çok Girişli Çok Çıkışlı Sistemler ile Spektral Verimliliğin Gerçekleştirilmesi

Osman DİKMEN ^{a,*}, Selman KULAÇ ^a

^a *Elektronik Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE*

* *Sorumlu yazarın e-posta adresi: osmandikmen@duzce.edu.tr*

ÖZET

Günümüzde, kablosuz iletişim sistemleri hem verimlilik hem de maliyet açısından büyük bir ilerleme göstermiştir. Çok Girişli Çok Çıkışlı (ÇGÇÇ) sistem 5. Nesil ve ötesi teknolojiler için gelişmiş bir sistemdir. ÇGÇÇ, 2X2, 3X3, 4X4 vb. gibi farklı binlerce antenlerle aynı anda çok yüksek veriyle iletişimin sağlanabileceği konudur. Kablosuz sistemin verimini, kapasitesini ve kapsamını iyileştirmek için kullanılan ÇGÇÇ ile 10 kata kadar spektral verimlilikte artış gözlenebilmektedir. Bu çalışmada, 5. Nesil ve ötesi teknolojilerde Çok Girişli Çok Çıkışlı sistemlerle spektral verimliliğin bit/s/Hz/Hücre bakımından literatürde elde edilen simülasyon çalışmaları hakkında bilgiler verilerek çeşitli değerlendirmeler yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: *Spektral verimlilik, 5. Nesil ve ötesi teknolojiler, Çok Girişli Çok Çıkışlı sistem*

Realization of Spectral Efficiency with Multiple Input Multiple Output Systems for 5G and Beyond Technologies

ABSTRACT

Today, wireless communication systems have made great progress both in terms of efficiency and cost. Multiple Input Multiple Output (MIMO) system is an advanced system for 5th generation and beyond technologies. MIMO, 2X2, 3X3, 4X4 and so on. which can be achieved by communicating with very high data at the same time as thousands of different antennas. An increase of up to 10 times spectrum efficiency can be observed with MIMO, which is used to improve the efficiency, capacity and coverage of the wireless system. In this study, various evaluations were carried out by giving information about simulation activities obtained in the literature about bit rate / s / Hz / cell of spectral efficiency with Multiple Input Multiple Output systems in 5th generation and beyond technologies.

Keywords: *Spectral efficiency, 5th Generation and beyond technologies, Multiple Input Multiple Output*

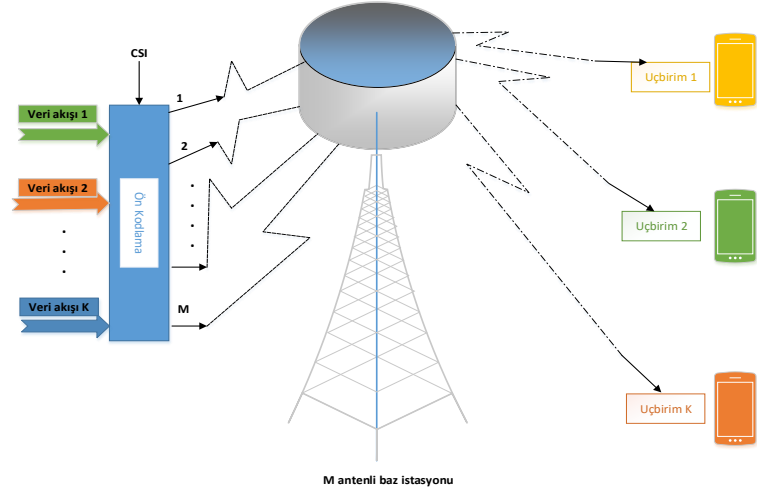
I. GİRİŞ

Kablosuz iletişim teknolojilerinin ilerlemesi gün geçtikçe gelişmektedir. Mobil iletişim sistemlerinin geliştirilmesinin en önemli nedeni ise sürekli gelişen ihtiyaçlardır. Bu ihtiyaçlar nedeniyle, mobil iletişimlerden beklenen talepler artmıştır. 2020 yılında kullanılması planlanan 5G'nin bu taleplere cevap vermesi için çalışmalar yapılmaktadır [1]. Bu çalışmalar gerçekleştirilirken karşılaşılan sorunlardan birisi elektromanyetik spektrumdur. Çünkü kullanılan spektrum artmayacak olmasına rağmen kablosuz iletişimdeki veri hacmi sürekli artmaktadır [2]. Bu durum göz önüne alındığında spektrum verimliliğinde (SV) iyileştirme yapılması düşünülen çalışmalar arasında olmalıdır. SV iyileştirmesine katkıda bulunabilecek olan sistem Çok Girişli Çok Çıkışlı olarak tabir edilen MIMO sistemidir. Bu sistem, çok sayıda antenlerin kullanıldığı Büyük Ölçek MIMO halini almış olup Büyük Ölçek MIMO hakkındaki avantajlara [3]'te yer verilmiştir. Bu bilgiler ışığında bu makalede, Büyük Ölçek MIMO teknolojisi kullanılarak çeşitli yöntemler aracılığıyla 5G için spektrum verimliliğinde iyileştirme oluşturabilecek çalışmaya yer verilmiştir.

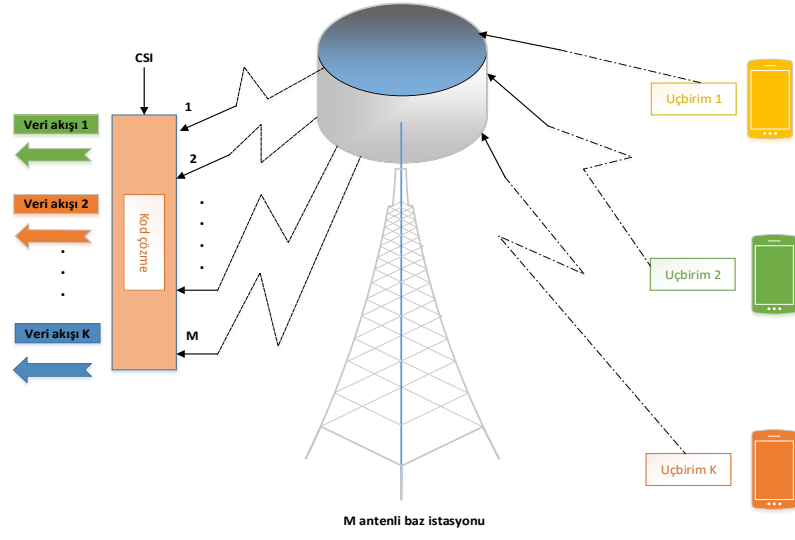
Makalenin devamında ise Büyük Ölçek MIMO sistemlerine yer verilmiştir. Daha sonrasında 5G için spektral verimlilik hakkındaki yöntemler anlatılarak simülasyon sonuçları gösterilmiştir. Makalenin değerlendirmesine sonuç bölümünde değinilerek geleceğe yönelik çalışmalar bu bölümde bahsedilmiştir.

II. BÜYÜK ÖLÇEK MIMO

Kablosuz haberleşme teknolojilerinde son dönemlerde kullanımı artan Büyük Ölçek MIMO, alıcı ve verici kısımdaki çoklu antenler aracılığıyla iletişimin gerçekleştirildiği sistem olarak bilinmektedir. Birden çok anten kullanmanın başlıca faydaları arasında çeşitlilik ile elde edilen daha yüksek performans ve mekansal çoğullama yoluyla daha fazla veri hızıdır. Antenlerin sayısı hakkında bir sınırlama söz konusu değildir. Hatta bu durum alıcı ve vericideki anten sayılarının farklılıklarındaki karşılaştırmalar konusunda çalışmaların yapılmasına da olanak sağlamıştır. Büyük Ölçek MIMO'nun tasarımı, analizi ve işlevi gibi konularda çeşitli araştırmaların hız kazandığı görülmektedir. Bu araştırmalardan biri olan [4]'te Büyük Ölçek MIMO sistemi için ağ tasarımı ve sinyal işleme ve sinyal kodlama üzerine teorik çalışmalar sunulmuştur. Ayrıca bu sistemin zorluklarından, performans limitlerinden ve bu sistem için bazı algoritmalarından bahsedilmiştir. Diğer bir çalışmada, çoklu kullanıcı MIMO için yüksek hareketlilik ve düşük SNR şartlarındaki bazı eksikliklerin sebep olduğu kavramları gidermeye yönelik çalışma mevcuttur [5]. Bunun yanında, Büyük Ölçek MIMO'nun mm-dalga ile birleştirilmesiyle oluşan bir HetNet sisteminin faydalarından da bahsedilmiştir [6]. Yukarı bağlantı ve Aşağı bağlantı hücreli ağlarda Büyük Ölçek MIMO için kaç adet antene ihtiyaç duyulduğunu belirleyebilmek adına çeşitli analizler yardımıyla bir çalışma yapılmıştır [7]. Büyük Ölçek MIMO sisteminin aşağı bağlantı ve yukarı bağlantı durumlarındaki genel olarak gösterimi [2]'deki çalışmada sırasıyla Şekil 1 (a) ve (b)'deki gibi belirtilmiştir.



(a)



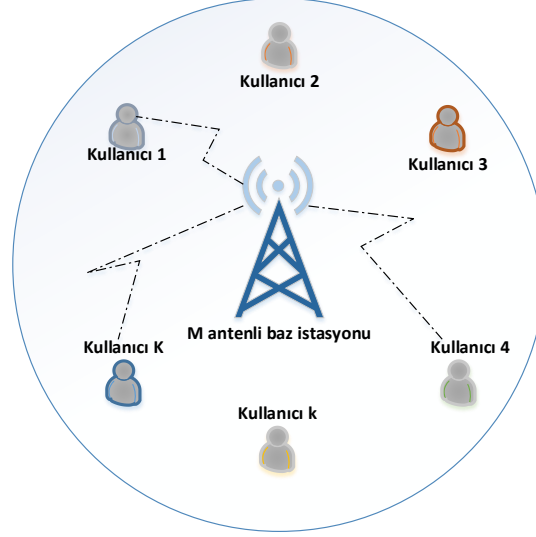
(b)

Şekil 1. (a) Büyük Ölçek MIMO Aşağı bağlantı ve (b) Büyük Ölçek MIMO Yukarı bağlantı [2]

A. BÜYÜK ÖLÇEK MIMO'NUN TEORİK YAKLAŞIMI

Çok büyük MIMO veya büyük ölçekli anten sistemi olarak da bilinen Büyük Ölçek MIMO, iletimde yüzlerce anten kullanılabilir. Bu fikrin arkasındaki mantık, BS antenlerinin sayısı arttıkça, farklı UE'ler arasındaki mekânsal imza daha az korelasyona neden olur [4]. Rayleigh sönmüleme durumunda [8] BS antenlerinin sayısı yaklaştığında aynı hücrenin farklı kullanıcıları arasındaki kanal asimptotik olarak ortogonal hale gelecektir. Bunun nedeni, anten sayısı arttıkça rasgele matris teorisinin asimptotik oluşumuna başlamasıdır. Kanal ortogonallığı, gönderilen verilerin çoklu paralel akışlarının minimum hata ile ayrılmasını sağlar.

Bu bölümde ayrıca genel olarak Büyük Ölçek MIMO sistemleri teorik bakış açısı ile incelenmiştir. Birden fazla tek antenli kullanıcıların birçok antenle iletişim kurduğu MU-MIMO sistemlerin analizi gerçekleştirilmiştir. Büyük Ölçek MIMO, BS anten sayısı ve kullanıcı sayısı büyük olan bir MU-MIMO hücrenel sistemdir. Şekil 2’de MU-MIMO sisteminin genel bir hali gösterilmektedir.



Şekil 2. MU-MIMO Sistemi

III. GELECEK NESİL KABLOSUZ İLETİŞİM TEKNOLOJİLERİ İÇİN SPEKTRUM VERİMLİLİĞİ

Kablosuz iletişim veri hacmi talebi sürekli olarak müthiş bir şekilde artarken, buna karşılık kullanılacak elektromanyetik spektrum asla artmayacaktır [2]. Üzerinde işlem yapılabilecek bant aralıkları belirli olup yeni spektrumlar üretmek yerine kullanılan spektrumda iyileştirmeler yapılması daha uygundur. Ayrıca birbiriyle bağlantılı cihazların sayısının artmasıyla birlikte spektrum kullanımının geliştirilmesi daha da bir önem kazanmaktadır [1]. Mobil sistemlerin erişim imkânına sahip olduğu tüm frekans bantları 6 GHz’in altındadır ve tüm ilerlemeler bu bantlarda yapılmaktadır. Fakat diğer kablosuz teknolojilerin de kullanmış oldukları bu frekans bantları aşırı derecede dolmuş olduğundan dolayı 5G haberleşmesi için yeterli olmayacaktır [9]. Bu sebepten dolayı yeni spektrum tekniklerinin geliştirilmesi gerekmektedir. Hatta 5G için spektrum paylaşımının gerçekleştirilmesi önemli bir konu olmuştur [10]. Bu noktada yüksek kaliteli multimedya için bant genişliği tahsisi açısından milimetre dalgaları 5G haberleşmede gelecek vadeden konudur [11]. Spektral verimliliğin artırılması 5G için zorunlu bir durum olduğu vurgulanmıştır. Bu amaca yönelik yeni bir tasarım sunulmuş olup bu yeni tasarımın 5G’de spektral verimliliği önemli ölçüde iyileştirmesi beklenildiği belirtilmektedir [12]. Çok yüksek çözünürlüklü mobil uygulamaların hızlı bir şekilde yaygınlaşması nedeniyle, 5G haberleşmesi için daha fazla spektral kaynaklara ihtiyaç olduğu ayrıca belirtilmiştir [13]. 5G’de spektral verimliliği artırmaya yönelik olarak bazı tekniklerin birleşimi ile oluşturulmuş sistem sunulmaktadır [14]. 5G için spektrum konusunda bir standart oluşturmak için çalışmalar devam etmektedir ve gelecek çalışmalar için araştırmacıların bu konu üzerine çalışma yapmaları önem arz etmektedir.

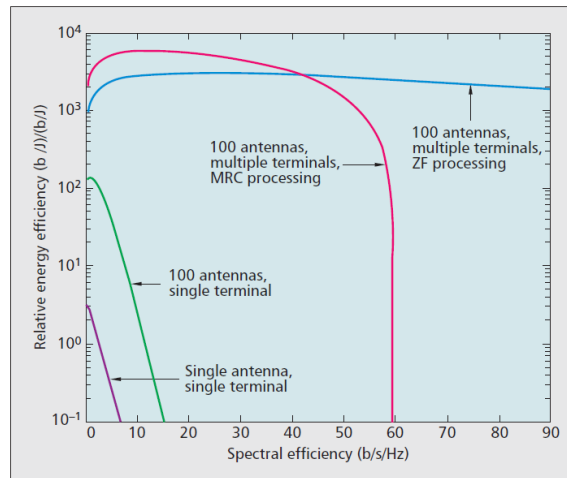
A. MRT ÖNKODLAMA/HÜZME ŞEKİLLENDİRME KULLANILARAK SPEKTRUM VERİMLİLİĞİ

Silindirik ve doğrusal bir diziye sahip olan RUSK Lund test yatakları Lund Üniversitesi'nde oluşturulmuştur [15]. Oluşturulmuş olan bu sistemde spektral verimliliğin büyüklüğünü anlayabilmek adına toplam alanı 40m² olacak şekilde anten dizileri kullanılmıştır. 2.6 GHz merkez frekansında çalışılmıştır. Elde edilen ilk sonuçlara göre doğrusal dizi ve silindirik dizi için spektrum verimlilikleri elde etmişlerdir. Bu sistemde, aşağı bağlantı verisi, güç kontrolü ile birlikte maksimum oran iletimi (MRT)/hüzme şekillendirme ile iletilir ve burada etkisi kötü kanalların yüzde 5'inin hizmet dışı kalması sağlanır. Ayrıca tüm terminallerin her birindeki sinyal gürültü oranına eşit sinyal veren en uygun maksimum-minimum güç kontrolü uygulanmıştır. Bu sayede eşit verimlilik sağlanmıştır. Yapılan bu çalışmanın sonuçları Şekil 3'te gösterilmiştir [15]. Şekilden de görüleceği üzere tek antenli tek terminalli, çok antenli çok terminalli sistemler için belirli tekniklerle enerji verimliliğine göre spektrum verimliliklerinin kıyaslanması gösterilmektedir.

Bu kıyaslama gerçekleştirilirken büyük ölçek sönümlenme etkisinin göz ardı edildiği gözlemlenmektedir. Ayrıca enerji verimliliğinin, yukarı bağlantı gücünün $p_u = 10$ dB olduğu tekli anten kullanıcılarına hizmet eden tekli anten BS'ye karşılık gelen bir referans moduna karşı normalize edildiği anlaşılmaktadır [16]. Bu referans modu için, MRC, ZF ve MMSE için spektral etkinlikler ve enerji verimliliği eşit olduğu belirtilerek aşağıdaki Eş.1 oluşturulmuştur [16].

$$R_{IP}^0 = \frac{T - \tau}{T} \mathbb{E} \left\{ \log_2 \left(1 + \frac{\tau p_u^2 |z|^2}{1 + p_u(1 + \tau)} \right) \right\} \quad (1)$$
$$n_{IP}^0 = R_{IP}^0 / p_u$$

Burada z , sıfır ortalamalı ve birim varyansa sahip bir Gauss rastgele değişkenidir. Referans modu için, spektral etkinlik, R_{IP}^0 'yi maksimize etmek için yukarı bağlantı pilot dizisinin τ süresi seçilerek elde edilir. Nümerik olarak, $R_{IP}^0 = 2.65$ bit/s/Hz ve $n_{IP}^0 = 0.265$ bit/J bulunmuştur [16].



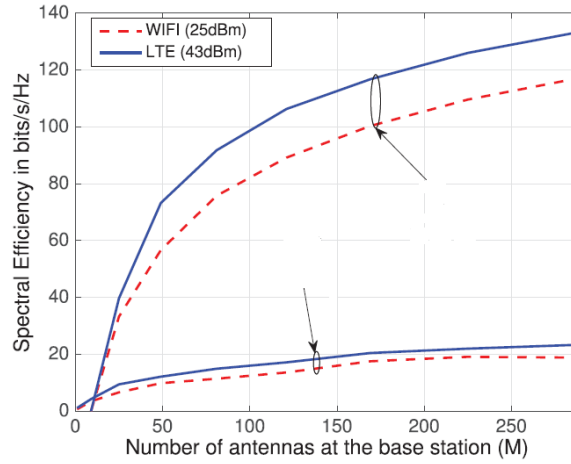
Şekil 3. MRT Önkodlama/Hüzme şekillendirme Kullanılarak Spektrum Verimlilik [15]

B. WIFI VE LTE SİSTEMLERDE SPEKTRUM VERİMLİLİĞİ

Büyük Ölçek MIMO sistemlerin bir özelliği olan baz istasyonlarındaki anten sayısına bağlı olarak spektral verimliliği iyileştirmeye yönelik bir başka çalışma [17] ile gerçekleştirilmiştir. Burada WIFI ve LTE bantlarında 10 kullanıcıya hizmet verebilen anten sayısının 250'ye kadar arttığı 2-D dikdörtgen anten dizisi kullanılarak ilgili benzetimler gerçekleştirilmiştir. İlgili önkodlama ve tespit algoritmaları ile gerçekleştirilen bu çalışmanın sonuçları LTE ve WIFI için Şekil 4'te gösterilmiştir [17]. Şeklin üst tarafında kalan kısmı ZF tespit tekniğinin, altta kalan kısmı ise MRC tespit tekniğinin sonucudur. Anten sayısının artmasıyla birlikte spektrum verimlilikte artışın olduğu gözlemlenmektedir.

Verilmiş olan aşağıdaki grafikler için matematiksel ifadeler ve varsayılan sistem modeli için gerekli bilgiler [17]'deki çalışmada yer almaktadır.

Ayrıca aşağıdaki şekilde, sabit bir fiziksel alana sahip önerilen sistemin SV'si gösterilmektedir ve değişimi M 'nin bir fonksiyonu olarak ifade edilmiştir. Antenler arasındaki boşluk, karşılıklı bağlanma matrisini etkileyen antenlerin sayısına bağlı olarak değiştiği saptanmıştır. Burada elde edilebilir SV'yi, BS'deki MRSC/MRT ve ZF algılama ve ön kodlama göz önüne alınarak, kuplajlı büyük bir MIMO sistemi için gösterilmektedir.



Şekil 4. WIFI ve LTE Sistemlerde Spektrum Verimlilik [17]

IV. SONUÇ

Bu çalışmada Büyük Ölçek MIMO sistemlerin spektral verimliliği noktasındaki avantajlarının göz önüne konulabileceği çalışmalardan bahsedilmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen ölçümlerin gerekli kodlama ve tespit işlemleri neticesinde elde edildiği anlaşılmaktadır.

Sonuç olarak, Büyük Ölçek MIMO, teorik olarak spektrum verimlilikte iyileştirmeler sağlayabilir. Büyük Ölçek MIMO ile gerçekleştirilen bu iyileştirmeler hem 4G gibi hala kullanılan sistemler için mümkün olmakla birlikte hem de 5G gibi gelecek nesil kablosuz teknolojilerde de geçerlidir. Tüm bu muazzam iyileştirmelere rağmen karmaşıklığın artması, reel zamanda uygulama algoritmalarının

gerçekleştirilmesi, anten birimlerini eş zamanlı olabilmesi gibi çeşitli zorluklar da mevcuttur. Bu durumlar araştırmacılar için öncelikli çalışma alanları olacaktır.

TEŞEKKÜR: Bu çalışma Düzce Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından desteklenmiştir (Proje no: 2017.06.03.530).

V. KAYNAKLAR

- [1] A. Gupta, R. K. Jha, “A Survey of 5G Network: Architecture and Emerging Technologies,” *IEEE Access*, c. 3, ss. 1206-1232, 2015.
- [2] T. L. Marzetta, “Massive MIMO: An Introduction,” *Bell Labs Technical Journal*, c. 20, ss. 11-22, 2015.
- [3] L. Lui, G. Y. Li, A. L. Swindlehurst, A. Ashikhmin ve R. Zhang, “An Overview of Massive MIMO: Benefits and Challenges,” *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing*, c. 8, s. 5, ss. 742-758, 2014.
- [4] F. Rusek, D. Persson, B. K. Lau, E. G. Larsson, T. L. Marzetta, O. Edfors ve F. Tufvesson, “Scaling up MIMO: Opportunities and challenges with very large arrays,” *IEEE Signal Processing Magazine*, c. 30, s. 1, ss. 40-60, 2013.
- [5] T. L. Marzetta, “How Much Training is Required for Multiuser MIMO?,” Fortieth Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers, Pacific Grove, USA, 2006, ss. 359-363.
- [6] T. E. Bogale, L. B. Le, “Performance analysis of large multiuser MIMO systems with space-constrained 2-D antenna arrays,” *IEEE Vehicular Technology Magazine*, c. 11, s. 1, ss. 64-75, 2016.
- [7] J. Hoydis, M. Debbah, S. t. Brink, “Massive MIMO in the UL/DL of Cellular Networks: How Many Antennas Do We Need,” *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, c. 31, s. 2, ss. 160-171, 2013.
- [8] A. J. Paulraj, C. B. Papadias, “Space-time processing for wireless communications,” *IEEE Signal Processing Magazine*, c. 14, s. 6, ss. 49-83, 1997.
- [9] D. Choudhury, “How Much Training is Required for Multiuser MIMO?,” IEEE MTT-S International Microwave Symposium (IMS), Phoenix, USA, 2015, ss. 1-4.
- [10] J. G. Andrews, S. Buzzi, W. Choi, S. V. Hanly, A. Lozano, A. C. K. Soong ve J. C. Zhang, “What will 5G be,” *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, c. 32, s. 6, ss. 1065-1082, 2014.
- [11] A. Abrol, R. K. Jha, “Power Optimization in 5G Networks: A Step Towards Green Communication,” *IEEE Access*, c. 4, ss. 1355-1374, 2016.
- [12] R. Q. Hu, Y. Qian, “An energy efficient and spectrum efficient wireless heterogeneous network framework for 5G systems,” *IEEE Communications Magazine*, c. 52, s. 5, ss. 94-101, 2014.

- [13] M. ElKashlan, T. Q. Duong, H. H. Chen, “Millimeter-wave communications for 5G: Fundamentals: Part i [Guest Editorial],” *IEEE Communications Magazine*, c. 52, s. 9, ss. 52-54, 2014.
- [14] V. Jungnickel, K. Manolakis, W. Zirwas, B. Panzner, V. Braun, M. Lossow ve T. Svensson “The role of small cells, coordinated multipoint, and massive MIMO in 5G,” *IEEE Communications Magazine*, c. 52, s. 5, ss. 44-51, 2014.
- [15] E. Larsson, O. Edfors, F. Tufvesson, T. L. Marzetta, “Massive MIMO for next generation wireless systems,” *IEEE Communications Magazine*, c. 52, s. 2, ss. 186-195, 2014.
- [16] H. Q. Ngo, E. G. Larsson, T. L. Marzetta, “Energy and Spectral Efficiency of Very Large Multiuser MIMO Systems,” *IEEE Transactions on Communications*, c. 61, s. 4, ss. 1436-1449, 2013.
- [17] S. Biswas, C. Masouros, T. Ratnarajah, “Performance analysis of large multiuser MIMO systems with space-constrained 2-D antenna arrays,” *IEEE Transactions on Wireless Communications*, c. 15, s. 5, ss. 3492-3505, 2016.