

Heterojen Ağlarda İyileştirilmiş Veri Katarı Seçimi ile Girişim Hizalama Interference Alignment with Improved Stream Selection in Heterogeneous Networks

Esra Aycan Beyazıt, Berna Özbek
Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü
İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü
İzmir, Türkiye
{esraaycan,bernaozbek}@iyte.edu.tr

Didier Le Ruyet
Elektronik ve Haberleşme Laboratuvarı
Conservatoire National des Arts et Métiers (CNAM)
Paris, Fransa
leruyet@cnam.fr

Özetçe—Bu bildiri, heterojen ağlarda oluşan girişim için yeni bir veri katarı seçme yaklaşımı ile çözüm sunulmuştur. Önerilen algoritmada veri katarı seçimi, piko kullanıcıları ile başlar ve daha sonra veri hızını artıran en güçlü veri katarı ile seçime devam eder. Her bir veri katarının gücü, ön kodlama ve son kodlama vektörleriyle birlikte tekil değer ayrıştırma (SVD) yöntemi kullanılarak belirlenir. Belirlenen ön kodlama ve son kodlama vektörleri ile seçilen veri katarlarına ait sanal kanallar hesaplanır. Seçim işleminden sonra, seçilen veri katarı ile diğerleri arasında oluşan girişimleri önlemek için seçilmeyen veri katarlarına ait kanallar, hesaplanan sanal kanallara ortogonal olarak projekte yapılarak bu girişimler önlenir.

Anahtar Kelimeler—heterojen ağlar, girişim hizalama, veri katarı seçimi

Abstract—In this article, interference that occurs in heterogeneous networks is studied and a new stream selection approach with an interference alignment solution is presented. In the proposed algorithm, stream selection starts with the streams that belongs to the pico cell users and continues to select the strongest streams that increase the total sum rate. The power of each stream with the precoding and the postcoding vectors are calculated by performing singular value decomposition (SVD). Virtual channels that belong to the selected stream are calculated by using precoding and postcoding vectors. After the selection procedure, the interferences between the selected stream and the remaining streams are mitigated by orthogonally projecting the channel matrices of the remaining streams to the virtual channels of the selected stream.

Keywords—heterogeneous networks, interference alignment, stream selection

I. GİRİŞ

Günümüz gelişen teknolojiyle birlikte, mobil kullanıcı sayısı da giderek artmaktadır. Buna bağlı olarak, kablosuz haberleşme alanında da beklentiler yükselmektedir. Daha yüksek hızlarda veri alış verişi ve kesintisiz servis kalitesi gibi talepleri karşılayabilme ve bu doğrultudaki rekabetleri sürdürebilme odaklı çalışmalar yoğunlaştırılmıştır. Bu amaçlar

doğrultusunda, farklı iletim güçlerine sahip küçük hücreler, örneğin mikro, piko veya femto, makro hücrelerinin kapsama alanına yerleştirilmeye başlanmıştır.

Çoklu antenli çok kullanıcı heterojen ağlar, gelecek iletişim teknolojisinin temel yapısını oluştursa da beraberinde 'sinyal girişimi' gibi bazı problemler de getirmektedir. Girişim hizalama (Interference Alignment (IA)) tekniğinin girişim kanal (Interference Channel (IC)) modeli üzerinde, yüksek sinyal-gürültü oranlarında (Signal to Noise Ratio (SNR)) sistemdeki toplam hızın, kullanıcı sayısı ile doğru orantılı olarak artırdığı kanıtlanmıştır [1]. Girişim hizalama, bir doğrusal ön-kodlama tekniğidir. Girişimi oluşturan sinyaller, zaman, frekans veya uzay alanlarında aynı boyutta hizalanarak istenilen sinyalden ayrıştırılır. MIMO ağlarda, baz istasyonu ve kullanıcılar arası iletişim sürdürülürken diğer baz istasyonlardan gelen istenmeyen sinyaller, her bir alıcı tarafında daha küçük boyutlardaki alt uzayda çakıştırılarak istenilen sinyal girişim sinyallerinden ayrıştırılır.

Girişim hizalamada kilit nokta istenmeyen sinyallerin doğru bir biçimde aynı boyutta çakıştırılmasıdır. Çalışma [2]'de girişim sinyallerinin etkisini en düşüğe indirebilme için tekrarlı bir yaklaşım olan girişim kaçığı yöntemi üzerinde çalışılmıştır ve literatürde "minimum girişim kaçığı" (minimum interference leakage (min-Leak)) yöntemi olarak bilinir. Aynı çalışmada verilen bir diğer algoritma ise girişimin minimize edilmesinden farklı olarak sinyal-girişim-gürültü oranının (Signal to Interference plus Noise Ratio (SINR)) alıcılar tarafında maksimize edilmesi amaçlanmıştır ve bu algoritmaya maksimum SINR (maximum-SINR (max-SINR)) yöntemi adı verilmiştir.

Özinelemeli veri katarı seçimi yaklaşımları ise IA yöntemlerinden bir tanesidir. Yeni seçilen veri katarı daha önce seçilen veri katarlarının sıfır uzaylarında olacak şekilde seçilmektedir [3].

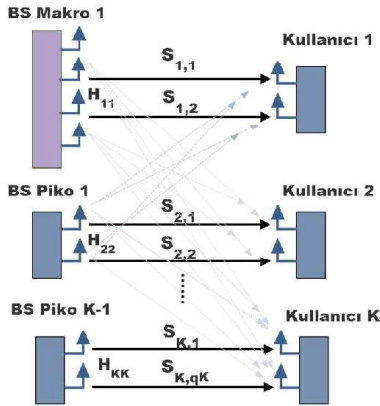
Hücresele ağlarda IA tekniği ilk olarak, alt uzay hizalama tekniği ile çalışılmıştır [6]. max-SINR IA tekniği ise hücresele ağlar için adapte edilerek performansı bir çok çalışmada araştırılmıştır [4], [5]. Heterojen hücresele kablosuz ağlarda ise spektral verimliliği sağlamak amacıyla makro baz istasyonları

ile aynı frekansı kullanan düşük güçlü baz istasyonlarına bağlı kullanıcılar, kapsama alanlarındaki konumlarına bağlı olarak karışım etkisine maruz kalırlar. Çalışma [7], belirli bir sistem modeli için ön kodlama vektörlerini sırasıyla önce küçük hücrelerden başlayıp sonra da makro hücrelerden devam ederek tasarlanmaktadır. Çalışma [8]'de ise bir piko ve bir makro hücreden meydana gelen heterojen bir ağda oluşan girişim, veri katarı seçimi sırasında bir dizi ortogonal projeksiyonlar uygulanarak önlenmektedir.

Bu çalışmada ise, birden fazla piko hücreden oluşan heterojen ağlarda meydana gelen girişimler, farklı veri katarı seçimi yöntemiyle ele alınmaktadır. Veri katarları öncelikli olarak piko kullanıcılarından seçilip daha sonra toplam veri hızını artırarak ve aynı zamanda en yüksek kazançla sahip olanlarla devam ederek veri katarı dizileri oluşturulur. Her bir seçilen veri katarının diğerlerine yaptığı ve aynı zamanda diğerlerinden gelen girişim, ortogonal projeksiyonlarla önlenmektedir.

II. SİSTEM MODELİ

Bu çalışmada, Şekil 1'de de görüldüğü gibi K-çiftli, N_{T_k} verici anten sayılı ve N_{R_k} alıcı anten sayılı piko ve makro hücrelerden oluşan karışık bir ağ ele alınmıştır. Kanal durum bilgisinin (Channel State Information (CSI)) bütün alıcı ve verici taraflarında olduğu varsayılmaktadır. İletim kanal matrisi,



Şekil 1: MIMO Karışık Ağ Sistem Modeli

$N_{R_k} \times N_{T_k}$ boyutlu \mathbf{H}_{kk} matrisidir ve j . vericiden k . alıcıya olan girişim matrisi ise \mathbf{H}_{kj} matrisidir. Kullanıcı k tarafından alınan sinyal ise aşağıda verildiği gibidir.

$$\mathbf{y}_k = \mathbf{H}_{kk} \mathbf{T}_k \mathbf{s}_k + \sum_{j=1, j \neq k}^K \mathbf{H}_{kj} \mathbf{T}_j \mathbf{s}_j + \mathbf{n}_k \quad (1)$$

Burada \mathbf{n}_k , kullanıcı k tarafındaki 0 ortalamalı, σ^2 varyanslı ve $N_{R_k} \times 1$ boyutlu toplam beyaz Gauss dağılımlı (AWGN) gürültü vektörüdür. \mathbf{T}_k ise k . kullanıcıya ait $N_{T_k} \times q_k$ boyutlu ön-kodlama matrisidir. Verici k , $q_k \leq \min(N_{R_k}, N_{T_k})$ kadar q_k bağımsız veri katarı iletebilmektedir. \mathbf{s}_k , $q_k \times 1$ boyutlu sembol vektörüdür ve $\mathbf{s}_k = [s_{k,1} \dots s_{k,q_k}]^T$ olarak ifade edilir. Sistemdeki toplam veri katarı sayısı ise $r = \sum_{k=1}^K q_k$ 'dir.

İstenilen sinyaller, $q_k \times N_{R_k}$ boyutlu \mathbf{D}_k son kodlama vektörleri ile çarpılarak elde edilir. Elde edilen veri sembolleri

aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$\hat{\mathbf{y}}_k = \mathbf{D}_k \mathbf{y}_k \quad (2)$$

Alıcı k 'ya ait i . veri katarının sinyal girişim gürültü oranı (SINR) ise aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$SINR_{ki} = \frac{(\mathbf{d}_k^i)^H \mathbf{H}_{kk} \mathbf{t}_k^i (\mathbf{t}_k^i)^H \mathbf{H}_{kk}^H \mathbf{d}_k^i}{(\mathbf{d}_k^i)^H \mathbf{B}_{ki} \mathbf{d}_k^i} \quad (3)$$

$$\forall k = 1, \dots, K, \quad \forall i = 1, \dots, q_k$$

Burada \mathbf{t}_k , \mathbf{T}_k ön kodlama matrisinin $N_{T_k} \times 1$ boyutlu kolon vektörü ve \mathbf{d}_k ise \mathbf{D}_k son kodlama matrisinin $N_{R_k} \times 1$ boyutlu kolon vektörüdür. Alıcı k 'ya ait i . veri katarının girişim artı gürültü kovaryans matrisi, \mathbf{B}_{ki} , aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$\mathbf{B}_{ki} = \sum_{j=1}^K \sum_{q=1}^{q_j} \mathbf{H}_{kj} \mathbf{t}_j^q (\mathbf{t}_j^q)^H (\mathbf{H}_{kj})^H + \sigma^2 \mathbf{I}_{N_{R_k}}, \quad \forall k = 1, \dots, K, \quad \forall i = 1, \dots, q_k \quad (4)$$

SINR değerlerine bağlı olarak toplam veri hızı (SR) aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$SR = \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^{q_k} \log_2(1 + SINR_{ki}) \quad (5)$$

Bu çalışmanın temel amacı ağdaki girişimi önlerken toplam veri hızını artırmaktır. Bu amaç doğrultusunda her bir baz istasyonu (BS) ve kullanıcı çiftine en az bir veri katarı sağlanırken sistem performansı maksimize edilir. Bu problem aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

$$\{(\mathbf{T}_k^*, \mathbf{D}_k^*)\}_{k \in [1, \dots, K]} = \underset{\mathbf{T}_k, \mathbf{D}_k}{argmax} (SR) \quad (6)$$

III. GİRİŞİM HİZALAMA YÖNTEMİ

Veri katarı seçimi algoritmalarında girişim hizalama, veri katarı seçimi sonrasında gerçekleşir. Veri katarları arasında, seçilen veri katarının diğerlerine yaptığı girişim ile seçilene diğerlerinden gelen girişim olmak üzere iki farklı girişim oluşmaktadır. Bu girişimleri önlemek için öncelikle tekil değer ayrışımı (Singular Value Decomposition (SVD)) yöntemi ile elde edilen ön kodlama ve son kodlama vektörleriyle sanal alım ((Virtual Receive Channel (VRC)), $\mathbf{u}_{k^*}^H \mathbf{H}_{k^*k}$, ve sanal iletim ((Virtual Transmit Channel (VTC)), $\mathbf{H}_{kk^*} \mathbf{v}_{k^*}^T$, kanalları hesaplanır [3].

Kullanıcı k 'ya ait seçilen veri katarına göre sanal kanallar hesaplandıktan sonra veri katarları arasında oluşan girişim iki aşamalı projeksiyonlarla önlenir. Birinci aşamada diğer veri katarlarından seçilen veri katarına olan girişim, her bir iterasyonda kanal matrislerini $\mathbf{H}_{kk^*}^{\perp}$ hesaplanan VRC'ye, VRC, ortogonal olarak projekte edilerek giderilir. İkinci aşamada ise seçilen veri katarının diğerlerine yaptığı girişim, her bir iterasyonda kanal matrislerini \mathbf{H}_{kk}^{\perp} hesaplanan VTC'ye, ortogonal olarak projekte edilerek giderilir. Projeksiyon hesapları, Algoritma 1'de detaylı olarak gösterilmektedir. Algoritmadaki \mathbf{x} vektörüne paralel \mathbf{P}_x^{\perp} projeksiyon matrisi aşağıdaki gibi ifade

edilir.

$$\mathbf{P}_x = \mathbf{I} - \frac{(\mathbf{x})(\mathbf{x})^H}{\|(\mathbf{x})\|^2}. \quad (7)$$

Algorithm 1 Girişim Hizalama Algoritması

Kanallar, VRC'ye ortogonal projekte yapılır.
 $\mathbf{H}_{kk}^\perp = \mathbf{H}_{kk}^\perp \mathbf{P}_{\mathbf{u}_{k^*}^H \mathbf{H}_{k^*k}}^\perp$, $k = 1, \dots, K$ ve $k \neq k^*$
 Kanallar, VTC'ye ortogonal projekte yapılır.
 $\mathbf{H}_{kk}^\perp = \mathbf{P}_{\mathbf{H}_{kk^*} \mathbf{v}_{k^*}^H}^\perp \mathbf{H}_{kk}^\perp$, $k = 1, \dots, K$ ve $k \neq k^*$
 Projekte edilen matrislere SVD uygulanır.
 $\mathbf{H}_{kk}^\perp = \mathbf{U}_k \mathbf{S}_k \mathbf{V}_k^H$ for $k = 1, \dots, K$
 Matrisler güncellenir.
 $\mathbf{T}_{k^*} = [\mathbf{T}_{k^*} \ \mathbf{v}_{k^*}^*]$
 $\mathbf{D}_{k^*}^H = [\mathbf{D}_{k^*}^H \ \mathbf{u}_{k^*}^*]$

IV. İYİLEŞTİRİLMİŞ ARDIŞIK VERİ KATARI SEÇİMİ YÖNTEMİ

Veri katari seçiminde, güçlü veri katarları arasından toplam veri hızına en fazla katkı sağlama kriterine bakılır. Bu aşamadaki kilit nokta, bu kriteri sağlayan piko veri katarları ile başlayan veri katari dizisi oluşturmaktır. Seçime başlamadan önce, bütün kanallara SVD uygulanarak veri katarlarının güçleri belirlenir. Daha sonra bütün elemanları piko veri katarlarından oluşan Ξ başlangıç kümesi oluşturulur.

İlk veri katari, piko kullanıcılarından seçildikten ve IA uygulandıktan sonra seçime, toplam veri hızını artıran en güçlü veri katariyle devam edilir. Bu veri katari Ω kümesinden seçilir. Bu küme bütün seçilebilecek tüm veri katarlarını içerir ve seçme işlemi, bu küme boş küme olana kadar devam eder. Seçilen veri katarları, Ω kümesinden seçilmiş katarları içeren Ψ kümesine aktarılır. Önerilen algoritmada, İyileştirilmiş Ardışık Veri Katari Seçimi Algoritması (ISNSSS), her bir seçimden sonra Ω ve Ψ kümeleri güncellenir. Bütün bu işlemler, Algorithm 2 ile özetlenmektedir. Bu algoritmanın karmaşıklığı ise aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$(s_{piko} \times K_{piko}) \times ((s_{makro} \times K_{makro}) + (s_{piko} \times K_{piko})) \quad (8)$$

Burada s_{piko} ve s_{makro} sırasıyla toplam piko ve makro kullanıcılarına ait veri katari sayıları, K_{piko} ve K_{makro} ise sırasıyla piko ve makro kullanıcı sayısıdır.

V. PERFORMANS SONUÇLARI

Simulasyon ortamı olarak Şekil 2'deki gibi 2 verici antenli iki piko hücre ve 4 verici antenli bir makro hücreden oluşan heterojen bir ağ gerçekleştirilmiştir. Simulasyonlarda, kullanıcılar kendi hücre kapsama alanlarında rastgele konumlandırılmaktadır. Piko hücrenin makro hücreye göre konumunu en iyi şekilde belirleyebilmek için piko hücreler başlangıçta sırasıyla (500, 0) ve (-500, 0) koordinatlarına yerleştirilmiştir ve daha sonra kendi piko kullanıcıları ile X-ekseni boyunca makro hücrenin kapsama alanı sınırlarına doğru kaydırılmaktadır. Makro hücre ise (0, 0) koordinatında sabit bulunmaktadır. Çalışmada, piko hücrelerin konumu d/R oranı olarak ifade edilmektedir. Burada R , makro hücrenin yarıçapı ve d ise makro baz istasyonu ile piko baz istasyonu arasındaki uzaklıktır. Simulasyonlarda kullanılan sistem parametreleri Tablo 1'de verilmektedir. Veri katari seçimi algoritmalarını analiz edebilmek için bütün veri

Algorithm 2 İyileştirilmiş Ardışık Veri Katari Seçimi (ISNSSS)

Elemanları piko veri katarlarından oluşan başlangıç kümesi olan Ξ kümesini oluştur.

$\Xi = \{(k, l) | k = 1, \dots, K \text{ ve } l = 1, \dots, \text{rank}(\mathbf{H}_{kk})\}$
 öyleki k piko kullanıcısı olsun}

for veri katari $(k^*, l^*) \in \Xi$ **do**

Değerleri ilk seçilen veri katari, (k^*, l^*) , ile başlat.

$\Psi = \emptyset$; $i = 1$; $q_k = 0$ ve

$\mathbf{H}_{kk}^\perp = \mathbf{H}_{kk}$, $k = 1, \dots, K$

Bütün baz istasyonu ve kullanıcı arasındaki kanallara SVD uygula.

$\mathbf{H}_{kk} = \mathbf{U}_k \mathbf{S}_k \mathbf{V}_k^H$, $k = 1, \dots, K$

İlk seçilen veri katarını, seçilmiş veri katari (k^*, l^*) olarak ayarla.

$\Psi = \Psi \cup (k^*, l^*)$

$q_{k^*} = q_{k^*} + 1$

Algoritma 1'i uygula.

Projekte edilen kanallara SVD uygula.

$\alpha_k^i \mathbf{H}_{kk}^\perp = \mathbf{U}_k \mathbf{S}_k \mathbf{V}_k^H$, $k = 1, \dots, K$

$\Omega = \{(\mathbf{S}_k)(l, l) | k = 1, \dots, K \text{ ve } l = 1, \dots, \text{rank}(\mathbf{H}_{kk}^\perp)\}$ kümesini oluştur.

$i = i + 1$

while $\{s | s \in \Omega\} = \emptyset$ **do**

Toplam veri hızını artıran en güçlü veri katarını bul.

$(k', l') = \text{argmax } \Omega \text{ ve } SR_i > SR_{i-1}$

Güncelle

$\Psi = \Psi \cup (k', l')$

$q_{k'} = q_{k'} + 1$

Algoritma 1'i uygula.

Projekte edilen kanallara SVD uygula.

$\alpha_k^i \mathbf{H}_{kk}^\perp = \mathbf{U}_k \mathbf{S}_k \mathbf{V}_k^H$, $k = 1, \dots, K$

Ω kümesini güncelle

$\Omega = \{(\mathbf{S}_k)(l, l) | k = 1, \dots, K \text{ ve } l = 1, \dots, \text{rank}(\mathbf{H}_{kk}^\perp)\}$

$i = i + 1$

end while

Seçilen veri katarlarının güçlerini ayarla.

$\mathbf{T}_k = (P_k/q_k) \mathbf{T}_k$, $k = 1, \dots, K$

Toplam veri hızından daha yükseği sağlandığını kontrol et.

Seçilen her bir veri katari için SR 'yi hesapla.

if $SR > SR_{max}$ **then**

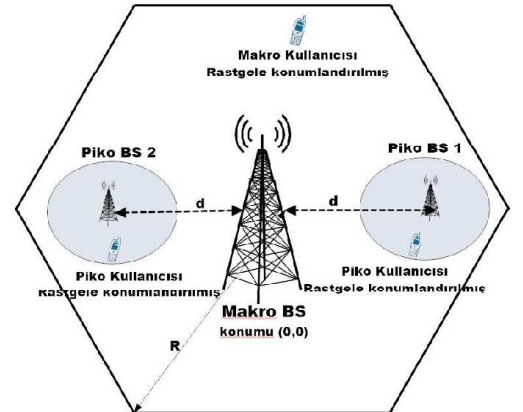
$\Psi^* = \Psi$

$\mathbf{T}_{k^*} = \mathbf{T}_k$, $\mathbf{D}_{k^*} = \mathbf{D}_k$, $k = 1, \dots, K$

$SR_{max} = SR$

end if

end for



Şekil 2: Piko hücrelerin makro hücreye göre konumları.

Tablo I: Sistem Parametreleri

Parametre	Değer
Makro Hücre Gücü	43dBm
Pico Hücre	24dBm
Bant Genişliği	10MHz
Taşıyıcı Frekansı	2.1GHz
Gürültü Gücü	-174dBm/Hz
Makro Hücre Yarıçapı	1000m
Piko Hücre Yarıçapı	100m
Makro Hücre Yol Kaybı	$L_p = 128.1 + 37.6 \log_{10}(R(km))$ dB
Piko Hücre Yol Kaybı	$L_p = 140.7 + 36.7 \log_{10}(R(km))$ dB

katari permütasyonlarını deneyen ve bütün permütasyonlar arasından en iyi veri katari dizisini bulan kapsamlı arama yöntemi (exhaustive search, ExSNSSS) uygulanmıştır. Bu kapsamlı arama sonucunda elde edilen her bir veri katarının oluşturulan dizilerdeki sıralarına göre seçim olasılıkları Tablo II’de verilmektedir. Ayrıca bu yaklaşımın karmaşıklığı Algoritma 1’i uygulama sayısına göre şu şekilde hesaplanabilir:

$$\sum_{i=1}^r P(r, i) \times i = \sum_{i=1}^r \frac{r!}{(r-i)!} \times i \quad (9)$$

Önerilen algoritmada da ilk veri katarlarını piko kullanıcıları

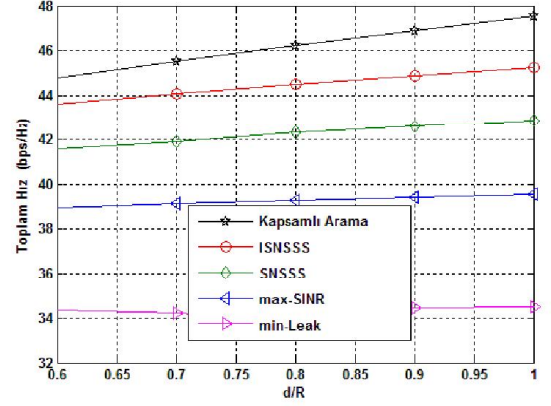
Tablo II: Veri Katarlarının Seçilme Sıralarına göre Olasılıkları

d/R	Veri Katari	1	2	3	4	5	6
0.6	Makro-(M1-1)	—	0.28	0.32	0.03	—	—
	Makro-(M1-2)	—	—	—	—	—	—
	Piko1-(P1-1)	0.3	0.21	0.27	0.22	—	—
	Piko1-(P1-2)	0.2	0.14	0.02	—	—	—
	Piko2-(P2-1)	0.25	0.26	0.38	0.1	—	—
	Piko2-(P2-2)	0.25	0.11	0.01	—	—	—
0.7	Makro-(M1-1)	—	0.26	0.39	0.03	—	—
	Makro-(M1-2)	—	—	—	—	—	—
	Piko1-(P1-1)	0.31	0.19	0.24	0.26	—	—
	Piko1-(P1-2)	0.216	0.19	0.15	0.03	—	—
	Piko2-(P2-1)	0.23	0.29	0.34	0.13	—	—
	Piko2-(P2-2)	0.27	0.11	—	—	—	—
0.8	Makro-(M1-1)	—	0.26	0.41	0.05	—	—
	Makro-(M1-2)	—	—	—	—	—	—
	Piko1-(P1-1)	0.3	0.19	0.25	0.26	—	—
	Piko1-(P1-2)	0.19	0.16	0.2	—	—	—
	Piko2-(P2-1)	0.24	0.28	0.32	0.15	—	—
	Piko2-(P2-2)	0.27	0.11	—	—	—	—
0.9	Makro-(M1-1)	—	0.24	0.46	0.09	—	—
	Makro-(M1-2)	—	—	—	—	—	—
	Piko1-(P1-1)	0.27	0.23	0.23	0.27	—	—
	Piko1-(P1-2)	0.22	0.16	0.01	—	—	—
	Piko2-(P2-1)	0.23	0.28	0.3	0.18	—	—
	Piko2-(P2-2)	0.28	0.09	—	—	—	—

cılarından seçilmektedir. Bu yaklaşımın heterojen ağlar için uygunluğu, Tablo II’de verilen olasılık değerleri ile de gösterilmektedir. Piko kullanıcılarına ait veri katarları, $\Delta \geq 0.5$ uzaklıklarında daha yüksek olasılıkla seçilmektedir. Söz konusu senaryoda toplam 4 tane piko kullanıcısı veri katari olduğu için, Algoritma 2 bu veri katarlarının her biriyle başlatılan 4 farklı dizi oluşturmaktadır. Elde edilen bu diziler arasından toplam veri hızını en fazla artıranı seçilmektedir.

ISNSSS algoritması ile elde edilen performans sonuçları, çalışma [2]’de verilen max-SINR, min-Leak yöntemleriyle ve çalışma [3]’de verilen arışik sıfır uzayı veri katari seçimi (SNSSS) ve kapsamlı arama yöntemleriyle karşılaştırılmıştır ve Şekil 3’te verilmektedir. Verilen sonuçlardan da görüldüğü gibi ISNSSS, SNSSS’e göre yaklaşık 2.5 bps/Hz ExSNSSS’e daha da yaklaşmaktadır.

Önerilen algoritma karmaşıklık açısından incelendiğinde, ExSNSSS’e göre çok daha az karmaşıklığa sahip olduğu

Şekil 3: d/R oranlarına göre ortalama veri hızları

Denklem 8 ve 9 karşılaştırıldığında görülebilir. Bu çalışmadaki senaryoya göre Algoritma 1’in uygulanma sayısı ISNSSS yaklaşımında 80 iken, ExSNSSS’te 614226’dır.

VI. SONUÇLAR

Bu bildiriye heterojen ağlarda farklı iletim güçlü istasyonların arasındaki girişim ele alınmış ve veri katari seçimi yöntemi ile IA çözümü sunulmuştur. Önerilen algoritma veri katari seçimine öncelikle piko kullanıcılarından başlar ve daha sonra toplam veri hızını artıran en güçlü veri katarlarıyla seçime devam eder. Seçimler sırasında veri katarları arasındaki girişimler, ortogonal projeksiyonlarla seçilen veri katarının önceki seçilenlerin sıfır uzaylarında olması sağlanarak önlenir. Performans sonuçları, önerilen yaklaşımın var olan IA yöntemlerinden daha yüksek performansa sahip olduğunu göstermektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Cadambe, V.R.; Jafar, S.A., Interference Alignment and Degrees of Freedom of the K-User Interference Channel, Information Theory, IEEE Transactions on , vol.54, no.8, pp.3425,3441 (2008).
- [2] Gomadam K., Cadambe V. R. , Jafar S. A., A distributed numerical approach to interference alignment and applications to wireless interference networks, IEEE Transactions on Information Theory, Cilt: 57, No: 6, pp: 3309–3322 (2011).
- [3] Amara M., Pischella M., Le Ruyet D., Enhanced Stream Selection for Sum-Rate Maximization on the Interference Channel, Proc. 9th International Symposium on Wireless Communication Systems (ISWCS), pp: 151 - 155, (2012).
- [4] Schreck J., Wunder G., Distributed interference alignment in cellular systems: Analysis and algorithms, Wireless Conference, (2011) pp: 1 - 8.
- [5] Zhao Y., Diggavi S., Goldsmith A., Poor H., Convex optimization for precoder design in mimo interference networks, Proc. 50th Annual Allerton Conference on in Communication, Control, and Computing, pp: 1213-1219, (2012).
- [6] Suh C., Ho M., and Tse D. N. C., Downlink interference alignment, IEEE Transactions on Communications, Cilt 59, No: 9, (2011) pp: 2616–2626.
- [7] Shin W., Noh W., Jang K., Choi H.-H., Hierarchical interference alignment for downlink heterogeneous networks, IEEE Transactions on Wireless Communications, Cilt: 11, No: 12, pp: 4549–4559, (2012).
- [8] Aycan, E.; Ozbek, B.; Le Ruyet, D., "Hierarchical successive stream selection for heterogeneous network interference," Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), 2014 IEEE , vol., no., pp.1143,1148, 6-9, (2014).