

# Heterojen Ağlarda Veri Katarı Seçimi Tabanlı Girişim Hizalama için Uyarlamalı Sınırlı Geri Besleme Yöntemi

## Adaptive Limited Feedback Scheme for Stream Selection Based Interference Alignment 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 bildiriye, sınırlı geri beslemeli heterojen ağlar için veri katarı seçimi tabanlı bir girişim hizalama yöntemi sunulmuştur. Sunulan veri katarı seçimi yöntemi, veri katarlarını ilk olarak piko kullanıcılarından seçmeye başlar, daha sonra veri hızını artıran en güçlü veri katarı ile seçim işlemi devam eder ve tüm kullanıcıların en az bir veri katarının olması sağlanır. Seçim işleminden sonra, seçilen veri katarı ile diğerleri arasında oluşan girişimler ortogonal projeksiyonlarla önlenir. Sınırlı geri beslemeli kanalda toplam kapasite, uyarlanır bit paylaşımıyla iyileştirilmektedir.

**Anahtar Kelimeler**—heterojen ağlar, girişim hizalama, sınırlı geri besleme

**Özet**—In this paper, a stream selection based interference alignment method is presented for heterogeneous networks with limited feedback. The presented stream selection approach initially selects streams from the user of the pico cell, continuing with the strongest streams among the unselected streams that increase the sum rate while each user receives at least one stream. After the selection procedure, the interferences between the selected stream and the unselected streams are mitigated by orthogonal projections. The sum capacity is improved by adaptive bit allocation in limited feedback channel.

**Keywords**—heterogeneous networks, interference alignment, limited feedback

### I. GİRİŞ

Gelecek nesil ağlarda gün geçtikçe artan mobil kullanıcıların beklentileri karşılanabilmelidir. Bu amaçla, farklı iletim güçlerine sahip küçük hücreler, örneğin mikro, piko veya femto, makro hücrelerinin kapsama alanına yerleştirilmeye başlanmıştır ve böylece makro hücrelerdeki yoğun trafik küçük hücrelere aktırılarak spektral verimlilik artırılabilir [1].

Küçük hücreli ağlardan oluşan heterojen ağların avantajlarının yanısıra hücreler arası sinyal girişimini de artırmaktadır. Girişim hizalama (Interference Alignment, IA) yöntemi, farklı girişim önleme tekniklerinden bir tanesidir. IA bir doğrusal ön-kodlama tekniğidir. Girişimi oluşturan sinyaller, zaman, frekans veya uzay alanlarında aynı boyutta hizalanarak istenilen sinyalden ayrıştırılır. IA üzerine çalışılan analitik çözümlerin büyük ölçekli ağlar için elde edilmesi zordur. Bundan dolayı, çalışma [2]'de “minimum girişim kaçağı” (minimum interference leakage (min-Leak)) ve “maksimum sinyal-girişim-gürültü oranı” (maximum-SINR (max-SINR)) gibi dağıtık ve tekrarlamalı IA yöntemleri geliştirilmiştir. Özyinelemeli veri katarı seçimi tabanlı IA yönteminde ise yeni seçilen veri katarı daha önce seçilen veri katarlarının sıfır uzaylarında olacak şekilde seçilmektedir [3]. IA yöntemleri homojen ve heterojen ağlar için de geliştirilmiştir [4] [5] [6].

Bahsi geçen IA çalışmalarında kanal durum bilgisinin (Channel State Information, CSI) tüm alıcı ve verici taraflarında olduğu varsayılmaktadır. Ancak bu varsayım gerçekçi olmadığı için, CSI'ı elde etmek için karşılıklık (reciprocity) ve geri besleme (feedback) yöntemleri kullanılmaktadır. Karşılıklık yöntemi, frekans bölmeli çoklama (Frequency Division Duplex, FDD)) sistemlerinde uygulanmadığı için, geri besleme ile CSI elde etmek hücresele ağlarda daha yaygındır.

Bazı çalışmalarda, her kanal için eşit sayıda bit kullanılmaktadır, ancak farklı yol kayıpları ve gölgeleme etkilerinden kaynaklanan farklı kanal durumlarından dolayı her kanala göre bit sayısı optimize edilmelidir.  $K$  çiftli çok girişli çok çıkışlı (Multiple Input Multiple Output, (MIMO)) sistemlerde IA çalışmaları için farklı geri besleme bit paylaşımı yöntemleri uygulanmaktadır. Hücresele ağlarda kuantalama hatalarını en aza indirmek için, her bir alıcı-verici kanalına göre uyarlanır olarak bit paylaşımı yapılmaktadır [7] [8]. Heterojen ağlarda ise farklı hücrelerin farklı özelliklerini de göz önünde bulundurarak IA yöntemi için bit paylaşımı problemi üzerine

çalışmalar sürmektedir [9] [10].

Çalışma [11]'de heterojen ağlarda IA için önerilen çalışma CSI bilgisinin hem alıcı hem de verici tarafında olduğu varsayılmıştır. İyileştirilmiş veri katarı yöntemi (Improved Successive Null Space Stream Selection, (ISNSSS)) ile birden fazla piko hücreden oluşan heterojen ağlarda meydana gelen girişimler, her bir veri katarı seçiminde uygulanan ortogonal projeksiyonlarla önlenmektedir. Çalışma [12]'de ise ISNSSS algoritması için CSI'nin verici tarafında bilinmediği durum incelemiş ve farklı kuantalama yöntemlerini eşit bit paylaşımı için karşılaştırmıştır.

Bu makalede ise ISNSSS algoritması [12] kullanılarak uyarlanı geri besleme yöntemi ile heterojen ağlarda bit paylaşımı optimizasyonu yapılmıştır.

## II. SİSTEM MODELİ

### A. İletim Modeli

Bu çalışmada,  $K - 1$  tane piko baz istasyonu (Bİ) ve bir tane makro baz istasyonundan oluşan  $K$  kullanıcı-Bİ çiftli heterojen ağı ele alınmıştır. Verici anten sayısı  $N_{T_k}$  ve alıcı anten sayısı  $N_{R_k}$ 'dir.

Kullanıcı  $k$  tarafından alınan sinyal aşağıda verildiği gibidir.

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

Burada  $\mathbf{H}_{kj}$  matrisi, sönmüleme etkisini içeren  $N_{R_k} \times N_{T_j}$  boyutlu iletim kanal matrisidir. Sönmüleme etkisi, bağımsız-özdeş dağılımlı, kompleks Gauss  $\mathcal{CN}(0, 1)$  rassal değişkenleriyle modellenmektedir. Yol kayıpları ve sönmüleme etkisi ise  $\alpha_{kj}$  ile ifade edilir.  $\mathbf{n}_k$ , kullanıcı  $k$  tarafındaki 0 ortalamalı,  $\sigma^2$  varyanslı ve  $N_{R_k} \times 1$  boyutlu toplam beyaz Gauss dağılımlı (AWGN) gürültü vektörüdür.  $\tilde{\mathbf{T}}_k$  ise  $k$ . kullanıcıya ait  $N_{T_k} \times q_k$  boyutlu ön-kodlama matrisidir ve çalışma [11]'de uygulanan algoritmaya göre kuantalanmış kanal baz alınarak elde edilir.  $P_k$ ,  $k$ . Bİ'nin iletim gücüdür. Verici  $k$ ,  $q_k \leq d_k$  kadar bağımsız veri katarı iletebilmektedir. Burada  $d_k = \min(N_{R_k}, N_{T_k})$ 'dir.  $\mathbf{s}_k$ ,  $q_k \times 1$  boyutlu, gücü ise  $\mathbb{E}[\|\mathbf{s}_k\|^2] = 1$  olan sembol vektörüdür ve  $\mathbf{s}_k = [s_{k,1} \dots s_{k,q_k}]^T$  olarak ifade edilir.

İstenilen sinyaller, çalışma [11]'de uygulanan algoritmaya göre kuantalanmış kanal baz alınarak elde edilen  $N_{R_k} \times q_k$  boyutlu  $\tilde{\mathbf{D}}_k$  son kodlama vektörleri ile çarpılarak elde edilir. Elde edilen veri sembolleri  $\hat{\mathbf{y}}_k = \tilde{\mathbf{D}}_k^H \mathbf{y}_k$  ile ifade edilir. Kullanıcı  $k$  için veri hızı aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$\tilde{R}_k = \log_2(1 + \tilde{\gamma}_{ki}) \quad (2)$$

Burada  $\tilde{\gamma}_{ki}$ ,  $k$  kullanıcısının  $i$ . veri katarına ait SINR değeridir ve aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\tilde{\gamma}_{ki} = \frac{(P_k/q_k) \alpha_{kk}^2 \tilde{\mathbf{d}}_k^{iH} \mathbf{H}_{kk} \tilde{\mathbf{t}}_k^i \mathbf{H}_{kk}^H \tilde{\mathbf{d}}_k^i}{\tilde{\mathbf{d}}_k^{iH} \tilde{\mathbf{B}}_{ki} \tilde{\mathbf{d}}_k^i} \quad (3)$$

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

$\tilde{\mathbf{t}}_k^i$ ,  $\tilde{\mathbf{T}}_k$  ön kodlama matrisinin  $N_{T_k} \times 1$  boyutlu  $i$ . kolon vektörü ve  $\tilde{\mathbf{d}}_k^i$  ise  $\tilde{\mathbf{D}}_k$  son kodlama matrisinin  $N_{R_k} \times 1$  boyutlu  $i$ . kolon

vektörüdür.

$$\tilde{\mathbf{B}}_{ki} = \sum_{\substack{l=1, \\ l \neq i}}^{q_k} \frac{P_k}{q_k} \alpha_{kk}^2 \mathbf{H}_{kk} \tilde{\mathbf{t}}_k^l \mathbf{H}_{kk}^H + \quad (4)$$

$$\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^K \sum_{q=1}^{q_j} \frac{P_j}{q_j} \alpha_{kj}^2 \mathbf{H}_{kj} \tilde{\mathbf{t}}_j^q \mathbf{H}_{kj}^H + \sigma^2 \mathbf{I}_{N_{R_k}}, \quad k = 1, \dots, K, \quad i = 1, \dots, q_k$$

Toplam veri hızı ise şöyle hesaplanır:

$$\tilde{S}R = \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^{q_k} \tilde{R}_{ki} = \sum_{k=1}^K \tilde{R}_k \quad (5)$$

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

$$\left\{ (\tilde{\mathbf{T}}_k^*, \tilde{\mathbf{D}}_k^*) \right\}_{k=1, \dots, K} = \underset{\tilde{\mathbf{T}}_k, \tilde{\mathbf{D}}_k}{\operatorname{argmax}} \tilde{S}R \quad (6a)$$

$$s.t. \quad q_k \geq 1 \quad k = 1, \dots, K \quad (6b)$$

### B. Kanal Kuantalama Modeli

Önerilen algoritmada, önkodlama ve sonkodlama vektörlerini elde etmek için tüm verici ve alıcı arasındaki kanal durumu bilgisinin bilinmesi gerekmektedir. Bu nedenle, çalışmamızda merkezi geri besleme modeli ele alınmıştır. Makro Bİ, merkezi ünite olarak hatasız ve gecikmesiz bağlantılardan piko Bİ'lerden tüm CSI'ları toplar ve ISNSSS algoritması ile önkodlama ve sonkodlama vektörlerini hesaplar. Daha sonra hesaplanan vektörler piko Bİ'lere gönderilir ve piko Bİ de kendi kullanıcılarına son kodlama vektörlerini iletir.

Kanal yön bilgisi (CDI), verici  $j$  ile alıcı  $k$  arasındaki kanal Frobenius normu kullanılarak şu şekilde elde edilir:  $\bar{\mathbf{H}}_{kj} = \frac{\mathbf{H}_{kj}}{\|\mathbf{H}_{kj}\|_F}$ . Kanal kazancının,  $\|\mathbf{H}_{kj}\|_F$  mükemmel bilindiği varsayılmaktadır. CDI rasgele vektör kodlama (Random Vector Quantization, (RVQ)) kullanılarak kuantalanmaktadır. Kuantalama işlemi aşağıdaki gibi özetlenebilir.

Kanal matrisi  $\bar{\mathbf{H}}_{kj}$ ,  $\forall k, \forall j$ ,  $\bar{\mathbf{h}}_{kj} \in \mathbb{C}^{N_{T_k} N_{R_k} \times 1}$  olarak  $\bar{\mathbf{h}}_{kj} = \operatorname{vec}(\bar{\mathbf{H}}_{kj})$  vektör haline getirilir. Kod tablosu aşağıdaki gibi oluşturulur.

$$\mathbf{C}_k = \left\{ \mathbf{c}_k^1 \dots \mathbf{c}_k^i \dots \mathbf{c}_k^{2^{B_{kj}}} \right\}, \quad \|\mathbf{c}_k^i\| = 1 \text{ ve } \mathbf{c}_k^i \in \mathbb{C}^{N_{T_k} N_{R_k} \times 1} \quad (7)$$

Burada  $B_{kj}$  bit sayısıdır. Kod sözcüklerinin her biri birim küre üzerinde bağımsız ve izotropik dağılımlıdır.

Kod tablosundaki kod sözcüklerinden, CDI'ya en yakın olanı,  $\mathbf{c}_k^{i*} = \min d(\bar{\mathbf{h}}_{kj}, \mathbf{c}_k^i)$  yay uzaklık (Chordal Distance) hesabına göre seçilir. Uzaklık ise  $d(\bar{\mathbf{h}}_{kj}, \mathbf{c}_k^i) = \sqrt{1 - \left| \bar{\mathbf{h}}_{kj}^H \mathbf{c}_k^i \right|^2}$  formülü ile hesaplanır.

Kod sözcüğü vektörü seçildikten sonra  $\mathbf{C}_k^{i*} \in \mathbb{C}^{N_{R_k} \times N_{T_k}}$  olarak matris formuna dönüştürülür. Son olarak, kuantalanan kanal,  $\bar{\mathbf{H}}_{kj}$ ,  $\bar{\mathbf{H}}_{kj} = \mathbf{C}_k^{i*} \times \|\mathbf{H}_{kj}\|_F$  ile elde edilir.

RVQ'dan dolayı kaynaklanan kuantalama hatası aşağıdaki gibi modellenebilir [13].

$$\bar{\mathbf{h}}_{kk} = \sqrt{1 - e_{kk}} \tilde{\bar{\mathbf{h}}}_{kk} + \sqrt{e_{kk}} \mathbf{z}_{kk} \quad (8)$$

Burada  $\mathbf{z}_{kk}$  kuantalama hatasının yönünü temsil eden ve  $\tilde{\mathbf{h}}_{kk}$ 'nin sıfır uzayında izotropik dağılımlı birim vektördür.  $e_{kk}$  ise  $2^{B_{kj}}$  tane bağımsız  $\beta((N_{T_k} N_{R_k} - 1), 1)$  rassal değişkenlerinin minimumudur [14].

Matris formunda ise  $\tilde{\mathbf{H}}_{kk} = \sqrt{1 - e_{kk}} \tilde{\tilde{\mathbf{H}}}_{kk} + \sqrt{e_{kk}} \mathbf{Z}_{kk}$  olarak modellenir. Burada  $\mathbf{Z}_{kk} \in \mathbb{C}^{N_{R_k} \times N_{T_k}}$ ,  $\mathbf{z}_{kk} \in \mathbb{C}^{N_{R_k} \times N_{T_k} \times 1}$ 'nin matris formuna getirilmiş halidir.

### III. BIT PAYLAŞIM METODU

Bu bölümde, heterojen ağlarda kuantalama hatasını azaltarak ortalama veri hızını artırabilmek için makro ve piko kullanıcıları için bit paylaşımı yapılmaktadır. Toplam bit sayısı kısıtı altında makro ve piko CDI'larını kuantalayabilmek için optimum bit paylaşımı problemi tanımlanmaktadır. Veri hızı kaybı, Denklem (2) ile hesaplanan veri hızının maksimize edilerek minimize edilebilir. ISNSSS algoritması ile bit paylaşımı problemi kullanıcı  $k$  için aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

$$\begin{aligned} & \max \mathbb{E} [\tilde{R}_k] \\ & \text{s.t.} \sum_{j=1}^K B_{kj} \leq B_k \end{aligned} \quad (9)$$

Burada  $B_{kj}$   $j$ . Bİ ile  $k$ . kullanıcı arasındaki kanala paylaştırılan bit sayısı ve  $B_k$  ise kullanıcı  $k$  için toplam bit sayısıdır.

Denklem (9)'da verilen bit paylaşımı problemi yüksek SINR bölgeleri için değerlendirildiğinden dolayı  $\log_2(1+x) \approx \log_2(x)$  varsayımı yapılmaktadır. Böylece, Denklem (9), Denklem (2)'yi de kullanarak aşağıdaki gibi tekrar yazılabilir.

$$\begin{aligned} & \mathbb{E} \left[ \underbrace{\log_2 \left( (P_{kk}/q_k) \left( \tilde{\mathbf{d}}_k^i \right)^H \mathbf{H}_{kk} \tilde{\mathbf{t}}_k^i \mathbf{H}_{kk}^H \tilde{\mathbf{d}}_k^i \right)}_a \right] - \\ & \mathbb{E} \left[ \underbrace{\log_2 \left( \sum_{\substack{l=1, \\ l \neq i}}^{q_k} (P_{kk}/q_k) \left( \tilde{\mathbf{d}}_k^l \right)^H \mathbf{H}_{kk} \tilde{\mathbf{t}}_k^l \mathbf{H}_{kk}^H \tilde{\mathbf{d}}_k^l \right)}_b \right] + \\ & \underbrace{\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^K \sum_{q=1}^{q_j} (P_{kj}/q_j) \left( \tilde{\mathbf{d}}_j^q \right)^H \mathbf{H}_{kj} \tilde{\mathbf{t}}_j^q \mathbf{H}_{kj}^H \tilde{\mathbf{d}}_j^q}_c \end{aligned} \quad (10)$$

Burada  $P_{kj}$ ,  $k$ . kullanıcının  $j$ . Bİ'dan aldığı sinyal gücüdür ve  $P_{kj} = P_j \alpha_{kj}^2$ ,  $\forall k, \forall j$  olarak hesaplanır. Denklem (10)'un ilk terimi aşağıdaki gibi yazılabilir [7].

$$a = \log_2 \left( (P_{kk}/q_k) \|\mathbf{H}_{kk}\|_F^2 \left( (1 - e_{kk}) \left| \left( \tilde{\mathbf{d}}_k^i \right)^H \tilde{\mathbf{H}}_{kk} \tilde{\mathbf{t}}_k^i \right|^2 \right) \right) \quad (11)$$

Denklem (10)'in ikinci terimi ise aşağıdaki gibi yazılabilir [7].

$$\begin{aligned} b \leq & \log_2 \left( \sum_{\substack{l=1, \\ l \neq i}}^{q_k} (P_{kk}/q_k) \|\mathbf{H}_{kk}\|_F^2 \left( e_{kk} \left| \left( \tilde{\mathbf{d}}_k^i \right)^H \mathbf{Z}_{kk} \tilde{\mathbf{t}}_k^l \right|^2 \right) \right) + \\ & \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^K \sum_{q=1}^{q_j} (P_{kj}/q_j) \|\mathbf{H}_{kj}\|_F^2 \left( e_{kj} \left| \left( \tilde{\mathbf{d}}_k^i \right)^H \mathbf{Z}_{kj} \tilde{\mathbf{t}}_j^q \right|^2 \right) \end{aligned} \quad (12)$$

Denklem (10) için Jensen eşitsizliğini kullanarak aşağıdaki gibi bir üst sınır yazılabilir.

$$\begin{aligned} & \mathbb{E}[a] - \mathbb{E}[b] \leq \\ & \underbrace{\log_2 \left( \mathbb{E} \left[ (P_{kk}/q_k) \|\mathbf{H}_{kk}\|_F^2 \left( (1 - e_{kk}) \left| \left( \tilde{\mathbf{d}}_k^i \right)^H \tilde{\mathbf{H}}_{kk} \tilde{\mathbf{t}}_k^i \right|^2 \right) \right] \right)}_{T1} - \\ & \underbrace{\log_2 \left( \sum_{\substack{l=1, \\ l \neq i}}^{q_k} \mathbb{E} \left[ (P_{kk}/q_k) \|\mathbf{H}_{kk}\|_F^2 \left( e_{kk} \left| \left( \tilde{\mathbf{d}}_k^i \right)^H \mathbf{Z}_{kk} \tilde{\mathbf{t}}_k^l \right|^2 \right) \right] \right)}_{T2} + \\ & \underbrace{\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^K \sum_{q=1}^{q_j} \mathbb{E} \left[ (P_{kj}/q_j) \|\mathbf{H}_{kj}\|_F^2 \left( e_{kj} \left| \left( \tilde{\mathbf{d}}_k^i \right)^H \mathbf{Z}_{kj} \tilde{\mathbf{t}}_j^q \right|^2 \right) \right]}_{T3} \end{aligned} \quad (13)$$

$\mathbb{E} \left[ \|\mathbf{H}_{kk}\|_F^2 \right] = N_{T_k} N_{R_k}$  olduğundan [7],  $T1$  için aşağıdaki gibi üst sınır yazılabilir [8].

$$\begin{aligned} T1 &= (P_{kk}/q_k) 2^{B_{kk}} \beta(2^{B_{kk}}, \frac{N_{T_k} N_{R_k}}{N_{R_k} N_{R_k} - 1}) \leq \\ & (P_{kk}/q_k) \left( 1 - 2^{-\frac{B_{kk}}{N_{R_k} N_{R_k} - 1}} \right) \end{aligned} \quad (14)$$

$T2$  ve  $T3$  ise aşağıdaki gibi yazılabilir [13] [14].

$$T2 + T3 \leq \sum_{\substack{l=1, \\ l \neq i}}^{q_k} (P_{kk}/q_k) 2^{-\frac{B_{kk}}{N_{T_k} N_{R_k} - 1}} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^K P_{kj} 2^{-\frac{B_{kj}}{N_{T_j} N_{R_k} - 1}} \quad (15)$$

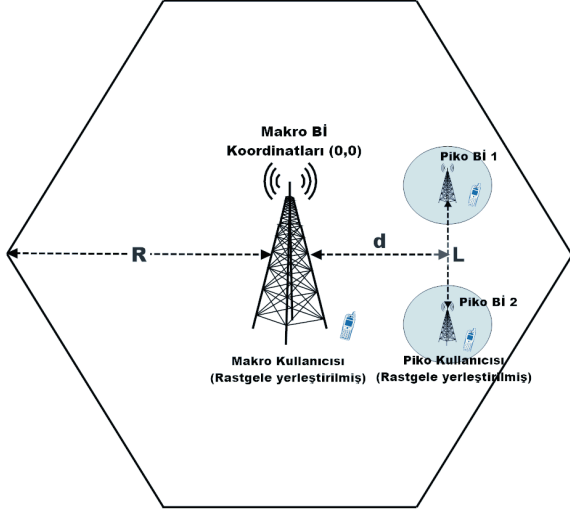
Denklem (14) ve Denklem (15)'i Denklem (10)'de kullanarak optimizasyon problemi aşağıdaki gibi tekrar yazılabilir.

$$\begin{aligned} & \max \left[ \log_2 \left( (P_{kk}/q_k) \left( 1 - 2^{-\frac{B_{kk}}{N_{T_k} N_{R_k} - 1}} \right) \right) - \right. \\ & \left. \log_2 \left( \sum_{\substack{l=1, \\ l \neq i}}^{q_k} (P_{kk}/q_k) 2^{-\frac{B_{kk}}{N_{T_k} N_{R_k} - 1}} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^K P_{kj} 2^{-\frac{B_{kj}}{N_{T_j} N_{R_k} - 1}} \right) \right] \\ & \text{s.t.} \sum_{j=1}^K B_{kj} \leq B_k \end{aligned} \quad (16)$$

Denklem (16)'de, optimizasyon problemlerinin çözümüne yönelik Matlab tabanlı yazılım kullanılmıştır.

### IV. PERFORMANS SONUÇLARI

Simulasyon ortamı olarak Şekil 1'deki gibi 2 verici antenli iki piko hücre ve 4 verici antenli bir makro hücreden oluşan heterojen bir ağ gerçekleştirilmiştir. Makro hücre (0,0) koordinatında sabit bulunmaktadır. Piko hücreler, kullanıcıları ile birlikte makro hücrenin kapsama alanının sınırlarına doğru  $d/R$  oranı ile kaydırılır. Burada  $R$ , makro hücrenin yarıçapı ve  $d$  ise makro Bİ ile piko Bİ arasındaki uzaklıktır ve iki piko hücre arası  $L = 200\text{m}$  olarak sabit tutulmaktadır. Simulasyonlarda kullanılan sistem parametreleri Tablo 1'de verilmektedir. Toplam  $B_T = \sum_{k=1}^K B_k = 63$  bit için farklı bit paylaşımının performans karşılaştırmaları Şekil 2'te verilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi uyarlanabilir bit paylaşımı, eşit bit paylaşımından daha iyidir. Ayrıca, piko kullanıcıları için  $B_2$  ve  $B_3$ 'e daha çok bit paylaştırılması daha yüksek

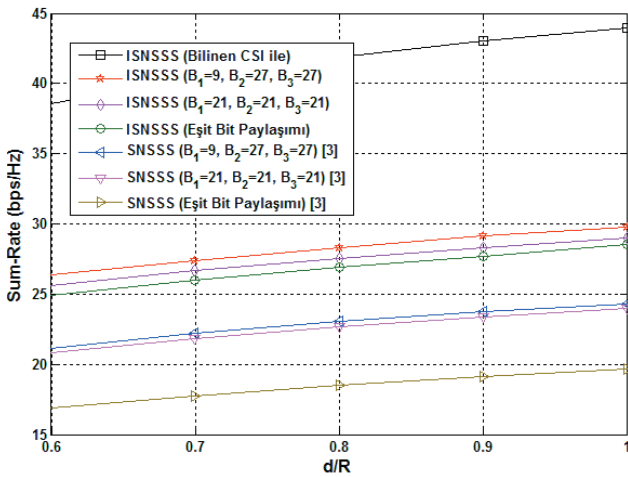


Şekil 1. Piko hücrelerin makro hücreye göre konumları.

Tablo I. SİSTEM PARAMETRELERİ

Parametre	Değer
Makro Hücre Gücü	43dBm (makro), 24dBm (piko)
Bant Genişliği	10MHz
Taşıyıcı Frekansı	2.1GHz
Gürültü Gücü	-174dBm/Hz
Makro Hücre Yarıçapı	1000m (makro), 100m (piko)
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
Gölgeleme std. sapma (makro)	8dB (makro), 10dB (piko)

performans sağlamaktadır. Bunun nedeni, makro B1'nin piko kullanıcılarına daha çok sinyal girişimi yapmasıdır. Bundan dolayı, piko kullanıcıları ile makro B1 arasındaki girişim kanallarına paylaştırılan bit sayısı,  $B_{21}$  and  $B_{31}$ , diğer kanallara göre daha fazladır ve bu sonuç Tablo II'de de görülmektedir.



Şekil 2. Toplam  $B_T = 63$  ile farklı bit paylaşımları için ortalama veri hızları

## V. SONUÇLAR

Bu bildiride heterojen ağlarda veri katmanı seçimi tabanlı IA yöntemi olan ISN-SSS algoritması için uyarlanırlı sınırlı geri-

Tablo II.  $d/R = 0.8$  KONUMUNDA TOPLAM  $B_T = 63$  İLE PAYLAŞTIRILAN ORTALAMA BIT SAYILARI

$B_1 = 9$	$B_2 = 27$	$B_3 = 27$
$B_{11} = 7$	$B_{21} = 10$	$B_{31} = 10$
$B_{12} = 1$	$B_{22} = 16$	$B_{32} = 1$
$B_{13} = 1$	$B_{23} = 1$	$B_{33} = 16$

besleme yöntemi üzerine çalışılmıştır. Performans sonuçları, önerilen yaklaşımın eşit bit paylaşımından daha iyi olduğunu göstermektedir. Bunun nedeni makro B1'den piko kullanıcılarına gelen girişimin çok yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Uyarlanırlı bit paylaşımı ile bu girişim kanallarına daha çok bit paylaştırılarak daha yüksek performans elde edilmiştir.

## KAYNAKLAR

- [1] H. Tao; M. Guoqiang; L. Qiang; W. Lijun and Z. Jing. "Interference Minimization in 5G Heterogeneous Networks." *Mobile Networks and Applications* 2015, no. 6: pp. 756-762.
- [2] K. Gomadam; V.R. Cadambe; S. A. Jafar, "A Distributed Numerical Approach to Interference Alignment and Applications to Wireless Interference Networks," *IEEE Transactions on Information Theory* 2011, vol.57, no.6, pp.3309-3322.
- [3] M. Amara; M. Pischella; D. Le Ruyet, "Enhanced stream selection for sum-rate maximization on the interference channel," *International Symposium on Wireless Communication Systems (ISWCS)* 2012, pp.151-155.
- [4] L. Ruan; V. K. N. Lau and X. Rao, "Interference Alignment for Partially Connected MIMO Cellular Networks," *IEEE Transactions on Signal Processing* 2012, vol.60, no.7, pp.3692-3701.
- [5] G. Liu; M. Sheng; X. Wang; W. Jiao; Y. Li; J. Li, "Interference Alignment for Partially Connected Downlink MIMO Heterogeneous Networks," *IEEE Transactions on Communications* 2015, vol.63, no.2, pp.551-564.
- [6] E. Aycan; B. Özbek; D. Le Ruyet, "Hierarchical successive stream selection for heterogeneous network interference," *IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)* 2014, vol., no., pp.1143-1148.
- [7] K. Anand; E. Gunawan; Y.L. Guan, "Beamformer Design for the MIMO Interference Channels under Limited Channel Feedback," in *Communications*, *IEEE Transactions on*, vol.61, no.8, pp.3246-3258, August 2013
- [8] B. Özbek; D. Le Ruyet, "Adaptive limited feedback links for cooperative multi-antenna multicell networks," *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking* 2014, vol. 2014, p. 193.
- [9] M. Rihan; M. Elsabrouty; O. Muta; H. Furukawa, "Interference Alignment with Limited Feedback for Macrocell-Femtocell Heterogeneous Networks," *IEEE Vehicular Technology Conference (VTC)* 2015, vol., no., pp.1-5.
- [10] Q. Niu; Z. Zeng; T. Zhang; Q. Gao; S. Sun, "Interference alignment and bit allocation in heterogeneous networks with limited feedback," *IEEE International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC)* 2014, vol., no., pp.514-519.
- [11] E. Aycan Bayazit; B. Ozbek; D. Le Ruyet, D., "Interference alignment with improved stream selection in heterogeneous networks," in *Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)* 2015, vol., no., pp.1054-1057.
- [12] E. Aycan; B. Özbek; D. Le Ruyet, "Improved Successive Stream Selection with Quantized Channel in Heterogeneous Networks," in *International Symposium on Wireless Communication Systems ISWCS* 2015, pp. 1-5.
- [13] N. Ravindran; N. Jindal, "Limited feedback-based block diagonalization for the MIMO broadcast channel," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications* 2008, vol.26, no.8, pp.1473-1482.
- [14] N. Jindal, "MIMO Broadcast Channels With Finite-Rate Feedback," *IEEE Transactions on Information Theory* 2006, vol.52, no.11, pp.5045-5060.