İki Düğümlü Çok Röleli Tam-Zamanlı İki Yönlü Kablosuz Röleli Ağlarda Eş-Kanal Etkileşimlerin Toplam-Oran Tabanlı Fırsatçı Röle Seçim (TO-FRS) Metodu Üzerine Etkileri

Impact of Co-Channel Interference on Sum-Rate Based Opportunistic Relay Selection (SR-ORS) Method for A Dual-Hop Multiple Full-Duplex Bi-directional Wireless Relaying Networks

Volkan Özduran[1], Ehsan Soleimani-Nasab[2], B. Sıddık Yarman[1]

[1] İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Avcılar Kampüsü, Avcılar, Istanbul, Türkiye
volkan@istanbul.edu.tr, yarman@istanbul.edu.tr
[2] Graduate University of Advanced Technology
Faculty of Electrical and Computer Engineering
7631133131, Kerman, Iran
ehsan.soleimani@kgut.ac.ir

Özet

Bu makale eş-kanal etkileşimlerin toplam-oran tabanlı röle seçim tekniği üzerine etkilerini incelemektedir. İnceleme, ikili tam-zamanlı kablosuz çok röleli sistem modelini kullanmaktadır. Analitik, asimptotik ve Monte-Carlo benzetim sonuçlarına göre, toplam-oran tabanlı röle seçim tekniği maksmin tabanlı röle seçim tekniğine göre daha iyi performans sağlamaktadır. Sonuçlar aynı zamanda eş-kanal etkileşimin başarılabilir çeşitlilik oranı değerini N'den 0'a indirgediğini ve sistem kodlama kazancında da kayıpların oluşmasına sebep olduğunu göstermektedir.

Abstract

This paper investigates the co-channel interference effects on sum-rate based relay selection strategy. The investigation considers a dual-hop multiple full-duplex bi-directional wireless relay in the system model. According to analytical, asymptotic and the Monte-Carlo simulation results, sum-rate based relay section strategy outperforms the max-min based strategy. Results also show that the co-channel interference degrades the achievable diversity order from N to 0 and also causes system coding gain losses.

1. Giriş

Kablosuz tekrarlayıcı ağlar yardımıyla yapılan haberleşme birçok yönden avantaj sağlamaktadır. Bu avantajlardan öne çıkanı ise sinyal sönümleme etkilerine karşı yaptığı iyileştirmedir. Son yıllarda hareketli kullanıcı sayısının hızla artmasıyla beraber hücresel kapsama alanı içerisindeki kablosuz tekrarlayıcı sayısı da artmaktadır. N sayıdaki kablosuz tekrarlayıcının aktif halde olması sistem genel giderlerinin artmasına yol açmaktadır. Bu durum kullanıcılar için en uygun tekrarlayıcının seçilimi ile minimize edilebilmektedir. Uygun tekrarlayıcı seçim stratejisi söz konusu veri alışverişi sürecinin düşük sinyal gürültü oranı (SGO) değerlerinde yapılmasına da olanak sağlamaktadır. Kullanılan rölenin yarı veya tam-zamanlı (TZ) olarak çalışması da bu sürece etki etmektedir. Röle istasyonunun yarı-zamanlı olarak çalışması durumunda bilgi alışverişi toplamda iki fazda, çoklu erişim ve yayın fazları, gerçekleşirken röle istasyonun TZ çalışması durumunda ise bu işlem tek fazda gerçekleşmektedir. TZ rölelerde sinyal alım ve iletim işleminin aynı anda yapılmasından kaynaklı döngü etkileşimi oluşmaktadır. Döngü etkileşimi etkin anten tasarımı ve/veya sinyal işleme teknikleri ile minimize edilebilmektedir. Sistem performansını etkiyen bir diğer etmen ise eş-kanal etkileşimleridir. Eş-kanal etkileşimi aynı frekans bandında çalışan cihazların birbiri üzerine yaptığı etki olarak tanımlanabilmektedir. Bu etkileşimin çok yüksek seviyelerde olması veri alışverişi sürecini ciddi seviyelerde etkileyebilmektedir.

Literatürde bu kapsamdaki öne çıkan çalışmalar şöyle sıralanabilir: [1] kaynak istasyonun hedef istasyon ile TZ N adet tek yönlü yükselt-ve-gönder tabanlı röle içinden seçilen röle aracılığı ile veri alışverişi yaptığı bir sistem modelini ele almaktadır. [1] TZ röle seçim tekniği olarak çeşitli röle seçim metodlarını incelemektedir. [1] aynı zamanda sistem modelinde kullanılan rölelerin iki adet antene sahip olduğunu varsaymaktadır. [2], [1] ile benzer sistem modelini ele almaktadır. [2], [1]'den farklı olarak çöz-ve-gönder tabanlı röle modelini ve sistem performans analizinde de Nakagami-m sönümlemeli kanal modelini kullanmaktadır. [2] aynı zamanda kaynak ve hedef istasyon arasında direkt bir hattın olduğunu varsaymaktadır. [2] aynı zamanda TZ röle seçimi için iki adet röle seçim tekniği önermektedir. [3], [1, 2]'den farklı bir sistem modelini ele almaktadır. M adet kaynak istasyonunun N adet yükselt-ve-gönder tabanlı TZ röle vasıtasıyla hedef istasyon ile haberleştiği bir sistem modelini incelemektedir. [3] aynı zamanda sistem modelinde ortak kaynak ve röle seçim tekniğini kullanmaktadır. [3]

aynı zamanda kaynak ve hedef istasyonları arasında direkt bir hattın olduğunu varsaymaktadır. [3]'ün önerdiği ortak kaynak ve röle seçim tekniği kaynak hedef arasındaki hattın maksimum anlık SGO değerine ve röle seçim tekniğide klasik maks-min (MM) tekniğine dayanmaktadır. [4], [1, 2] ile benzer sistem modelini kullanmaktadır. [4], [1, 2]'den farklı olarak röle istasyonlarının *N* adet alıcı ve verici antene sahip olduğunu varsaymaktadır. [4] aynı zamanda, sistem modelinde ortak röle ve anten seçim tekniğinin sistem performansına etkilerini incelemektedir. [4] sistem performans analizinde Rayleigh sönümlemeli kanal modelini kullanmaktadır. [5], [1] ile benzer sistem modelini kullanmaktadır. [5], [1]'den farklı olarak TZ röle istasyonlarının iki yönlü olarak çalıştığını varsaymaktadır. [5] aynı zamanda, etkin SGO değerine bağlı en iyi röle seçim tekniğinin sistem performansına olan etkilerini incelemektedir. [6, 7] hedef ve kaynak istasyonlarının TZ röle vasıtasıyla veri alışverişi yaptığı sistem modelini incelemektedir. [6, 7] aynı zamanda sistem performansına eş-kanal etkileşimlerin sistem performansına olan etkilerini de incelemektedir. [7] performans analizinde Rayleigh sönümlemeli kanal modelini kullanırken [6] Nakagami-*m* sönümlemeli kanal modelini kullanmaktadır.

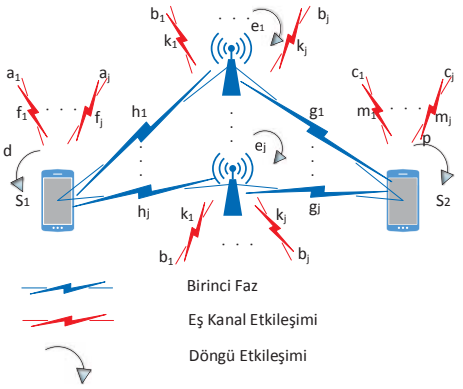
Yukarıda bahsedilen literatur incelemesine kısaca bir bakıldığında sistem genel giderlerini minimize etmek ve daha düşük SGO değerlerinde veri alışverişine olanak sağlamak amacıyla farklı türde TZ röle seçim teknikleri kulanılmaktadır. Daha önceki çalışmalarımızdan [8], yukarıda bahsedilen çalışmalardan farklı olarak iki düğümlü çoklu tam/yarı zamanlı sistem modelinde röle seçimini toplam-oran (TO) tabanlı bir teknik kullanarak gerçekleştirmektedir. Bu çalışma, [8]'i genişleterek eş-kanal etkileşimlerin sistem performansına olan etkilerini incelemektedir. Bu çalışma aynı zamanda, TO tabanlı TZ röle seçimi ile MM tabanlı TZ röle seçiminin performans karşılaştırmasına da yer vermektedir.

Bu makale sırasıyla şu şekilde organize edilmektedir. İkinci bölüm sistem modeline ve kanal istatistiklerine yer vermektedir. Üçüncü bölüm ise sistem performans analizine yer vermektedir. Dördüncü bölüm performans analiz sonuçlarına yer vermektedir. Son olarak beşinci bölüm tartışma ve sonuca yer vermektedir.

Notasyonlar: Bu makalede $f_h(.)$ ve $F_h(.)$ ifadeleri sırasıyla rastgele değişken *h*'nin olasılık yoğunluk fonksiyonunu ve kümülatif dağılım fonksiyonu'nu ifade etmektedir. $\mathbb{E}[.]$ beklenen değeri, P_r ise olasılığı ifade etmektedir.

2. Sistem Modeli ve Kanal İstatistikleri

Şekil 1 eş-kanal etkileşimlerin etkisi altındaki iki düğümlü çok röleli TZ iki yönlü kablosuz röleli ağ modelini göstermektedir. S_1 ve S_2 N adet TZ röle arasından seçilen $j'inci$ röle vasıtasıyla veri alışverişi yapmaktadır. Veri alışverişi süreci toplamda bir fazda tamamlanmaktadır. S_1 ve S_2 arasında herhangi bir direkt hattın olmadığı ve veri alışverişi sürecinin tamamının seçilen röle vasıtasıyla gerçekleştiği varsayılmaktadır. Sistem modelindeki herbir istasyon tek bir çok yönlü antene sahiptir. h_j, g_j, f_j, k_j ve m_j, $\forall_j = 1, ..., N$, sırasıyla, $S_1 \rightarrow R$, $S_2 \rightarrow R$, $a_j \rightarrow S_1$, $b_j \rightarrow R$ ve $c_j \rightarrow S_2$ arasındaki kanal durum bilgisini ifade etmektedir. h_j sıfır ortalamalı ve $\sigma^2_{h_j}$ varyansına sahip kompleks Gauss rasgele değişkenidir. (i.e. $h_j \sim \mathcal{CN}(0, \sigma^2_{h_j})$) Benzer şekilde, $g_j \sim \mathcal{CN}(0, \sigma^2_{g_j})$, $f_j \sim \mathcal{CN}(0, \sigma^2_{f_j})$, $k_j \sim \mathcal{CN}(0, \sigma^2_{k_j})$ ve $m_j \sim \mathcal{CN}(0, \sigma^2_{m_j})$. d, e_j ve p, $d \sim \mathcal{CN}(0, \sigma^2_d)$, $e_j \sim \mathcal{CN}(0, \sigma^2_{e_j})$ ve $p \sim \mathcal{CN}(0, \sigma^2_p)$, sırasıyla S_1, R ve S_2'deki döngü etkileşimlerini ifade etmektedir. Bütün kanalların genliklerinin kareleri Rayleigh dağılımına sahiptir.



Şekil 1. Eş-kanal etkileşimlerin etkisi altında iki düğümlü çok röleli tam-zamanlı iki yönlü kablosuz röleli ağ modeli

İlk fazda röle istasyonunda alınan sinyal, (1) ile ifade edilir.

$$Z_{r_j} = \sqrt{P_s} x h_j + \sqrt{P_s} y g_j + \sum_{j=1}^{N} b_j \sqrt{p_j} k_j + \sqrt{P_r} e_j + n_{r_j} \tag{1}$$

Eşitliğin sağ tarafındaki ilk ve ikinci ifadeler S_1 ve S_2 kullanıcılarına ait verileri ifade etmektedir. Üçüncü ifade röle istasyonuna etki eden eş-kanal etkileşimini ifade etmektedir. Dördüncü ve beşinci ifadeler röle istasyonunda oluşan döngü etkileşimini ve rölede oluşan ısıl gürültüyü ifade etmektedir. Röle istasyonun yükselt-ve-gönder tabanlı çalışmasından dolayı, G yükseltme katsayısı (2) ile ifade edilir.

$$G_j = \sqrt{\frac{p_r}{\left[p_s |h_j|^2 + p_s |g_j|^2 + \sum_{j=1}^{N} p_j |k_j|^2 + p_r |e_j|^2 + N_0\right]}} \tag{2}$$

Sözkonusu yükseltme süreci sonrasında S_1 ve S_2 kullanıcılarında alınan sinyaller sırasıyla (3) ve (4) ile ifade edilir.

$$S_1 = G_j \sqrt{P_s} x h_j^2 + G_j \sqrt{P_s} y g_j h_j + G_j \sum_{j=1}^{N} b_j \sqrt{p_j} k_j h_j + G_j \sqrt{P_r} e_j h_j + G n_{r_j} h_j + \sum_{j=1}^{N} a_j \sqrt{p_j} f_j + \sqrt{P_s} d + n_{S_1} \tag{3}$$

$$S_2 = G_j \sqrt{P_s} x h_j g_j + G_j \sqrt{P_s} y g_j^2 + G_j \sum_{j=1}^{N} b_j \sqrt{p_j} k_j g_j + G_j \sqrt{P_r} e_j g_j + G_j n_{r_j} g_j + \sum_{j=1}^{N} c_j \sqrt{p_j} m_j + \sqrt{P_s} p + n_{S_2} \tag{4}$$

(3) ve (4) ifadelerinde eşitliğin sağ tarafındaki birinci ifadeler S_1 ve S_2 kullanıcılarının kendi gönderdikleri sinyallerin geri yansımasıdır. Bu ifadeler yankı iptali yöntemi ile toplam ifade içerisinden çıkarılabilir. İkinci ve üçüncü

ifadeler, eş-kullanıcıdan beklenen veriyi ve eş-kanal etkileşimin yükseltilmiş halini ifade etmektedir. Benzer şekilde ikinci satırdaki ifadeler sırasıyla, kullanıcılara etkiyen eş-kanal etkileşimlerini, röle istasyonunda oluşan döngü etkileşimin yükseltilmiş hali, rölede oluşan ısıl gürültünün yükseltilmiş hali, S_1 ve S_2 kullanıcılarında oluşan döngü etkileşimlerini ve son ifadelerde S_1 ve S_2 kullanıcılarında oluşan ısıl gürültüleri ifade etmektedir. (3) ve (4) yardımı ile S_1 ve S_2 kullanıcılarındaki alınan sinyal etkileşim gürültü oranı (SEGO) değerleri (5) ve (6) ile ifade edilir.

$$\gamma_{S_1} = \frac{G_j^2 P_s |g_j|^2 |h_j|^2}{\left[G_j^2 \sum_{j=1}^{N} p_j |k_j|^2 |h_j|^2 + G_j^2 P_r |e_j|^2 |h_j|^2 + G_j^2 N_0 |h_j|^2 + \sum_{j=1}^{N} p_j |f_j|^2 + P_s |d|^2 + N_0 \right]} \quad (5)$$

$$\gamma_{S_2} = \frac{G_j^2 P_s |g_j|^2 |h_j|^2}{\left[G_j^2 \sum_{j=1}^{N} p_j |k_j|^2 |g_j|^2 + G_j^2 P_r |e_j|^2 |g_j|^2 + G_j^2 N_0 |g_j|^2 + \sum_{j=1}^{N} p_j |m_j|^2 + P_s |p|^2 + N_0 \right]} \quad (6)$$

G_j, (2), ifadesi (5) ve (6) ifadelerinde yerine yazıldığında ve basit düzeyde matematiksel işlemler sonucunda γ_{S_1} ve γ_{S_2}, (7) ve (8) ile ifade edilir.

$$\gamma_{S_1} = \frac{\frac{P_r P_s |g_j|^2 |h_j|^2}{\left[\sum_{j=1}^{N} p_j |k_j|^2 + \sigma^2\right]\left[\sum_{j=1}^{N} p_j |f_j|^2 + \sigma^2\right]\left[P_r |e_j|^2 + \sigma^2\right]\left[P_s |d|^2 + \sigma^2\right]}}{\left[\frac{P_r |h_j|^2}{\left[\sum_{j=1}^{N} p_j |f_j|^2 + \sigma^2\right]\left[P_r |e_j|^2 + \sigma^2\right]\left[P_s |d|^2 + \sigma^2\right]} + \frac{P_r |h_j|^2}{\left[\sum_{j=1}^{N} p_j |f_j|^2 + \sigma^2\right]\left[\sum_{j=1}^{N} p_j |k_j|^2 + \sigma^2\right]\left[P_s |d|^2 + \sigma^2\right]} + \frac{P_r |h_j|^2}{\left[\sum_{j=1}^{N} p_j |f_j|^2 + \sigma^2\right]\left[\sum_{j=1}^{N} p_j |k_j|^2 + \sigma^2\right]\left[P_r |e_j|^2 + \sigma^2\right]\left[P_s |d|^2 + \sigma^2\right]} + \frac{P_s |h_j|^2 + P_s |g_j|^2}{\left[\sum_{j=1}^{N} p_j |k_j|^2 + \sigma^2\right]\left[P_r |e_j|^2 + \sigma^2\right]\left[P_s |d|^2 + \sigma^2\right]} + \frac{P_s |h_j|^2 + P_s |g_j|^2}{\left[\sum_{j=1}^{N} p_j |f_j|^2 + \sigma^2\right]\left[\sum_{j=1}^{N} p_j |k_j|^2 + \sigma^2\right]\left[P_r |e_j|^2 + \sigma^2\right]} + 1 \right]} \quad (7)$$

$$\gamma_{S_2} = \frac{\frac{P_r P_s |g_j|^2 |h_j|^2}{\left[\sum_{j=1}^{N} p_j |k_j|^2 + \sigma^2\right]\left[\sum_{j=1}^{N} p_j |m_j|^2 + \sigma^2\right]\left[P_r |e_j|^2 + \sigma^2\right]\left[P_s |p|^2 + \sigma^2\right]}}{\left[\frac{P_r |g_j|^2}{\left[\sum_{j=1}^{N} p_j |m_j|^2 + \sigma^2\right]\left[P_r |e_j|^2 + \sigma^2\right]\left[P_s |p|^2 + \sigma^2\right]} + \frac{P_r |g_j|^2}{\left[\sum_{j=1}^{N} p_j |m_j|^2 + \sigma^2\right]\left[\sum_{j=1}^{N} p_j |k_j|^2 + \sigma^2\right]\left[P_s |p|^2 + \sigma^2\right]} + \frac{P_r |g_j|^2}{\left[\sum_{j=1}^{N} p_j |m_j|^2 + \sigma^2\right]\left[\sum_{j=1}^{N} p_j |k_j|^2 + \sigma^2\right]\left[P_r |e_j|^2 + \sigma^2\right]\left[P_s |p|^2 + \sigma^2\right]} + \frac{P_s |h_j|^2 + P_s |g_j|^2}{\left[\sum_{j=1}^{N} p_j |k_j|^2 + \sigma^2\right]\left[P_r |e_j|^2 + \sigma^2\right]\left[P_s |p|^2 + \sigma^2\right]} + \frac{P_s |h_j|^2 + P_s |g_j|^2}{\left[\sum_{j=1}^{N} p_j |k_j|^2 + \sigma^2\right]\left[\sum_{j=1}^{N} p_j |m_j|^2 + \sigma^2\right]\left[P_r |e_j|^2 + \sigma^2\right]} + 1 \right]} \quad (8)$$

Burada, $\varphi = \frac{P_r}{P_s}$ [9], $\gamma_x = \frac{P_s |h_j|^2}{\sigma^2}$, $\gamma_y = \frac{P_s |g_j|^2}{\sigma^2}$, $\gamma_{k_j} = \frac{P_j |k_j|^2}{\sigma^2}$, $\gamma_{f_j} = \frac{P_j |f_j|^2}{\sigma^2}$, $\gamma_{m_j} = \frac{P_j |m_j|^2}{\sigma^2}$, $\gamma_{e_j} = \frac{P_r |e_j|^2}{\sigma^2}$, $\gamma_d = \frac{P_s |d|^2}{\sigma^2}$ ve $\gamma_p = \frac{P_s |p|^2}{\sigma^2}$ tanımlamaları sonrasında (7) ve (8) ifadeleri basitleştirilmiş olarak (9) ve (10) ile ifade edilir.

$$\gamma_{S_1} = \frac{\frac{\varphi \gamma_x \gamma_y}{\left[\sum_{j=1}^{N} \gamma_{k_j} + 1\right]\left[\sum_{j=1}^{N} \gamma_{f_j} + 1\right]\left[\gamma_{e_j} + 1\right]\left[\gamma_d + 1\right]}}{\left[\frac{\varphi \gamma_x}{\left[\sum_{j=1}^{N} \gamma_{f_j} + 1\right]\left[\gamma_{e_j} + 1\right]\left[\gamma_d + 1\right]} + \frac{\varphi \gamma_x}{\left[\sum_{j=1}^{N} \gamma_{f_j} + 1\right]\left[\sum_{j=1}^{N} \gamma_{k_j} + 1\right]\left[\gamma_d + 1\right]} + \frac{\varphi \gamma_x}{\left[\sum_{j=1}^{N} \gamma_{f_j} + 1\right]\left[\sum_{j=1}^{N} \gamma_{k_j} + 1\right]\left[\gamma_{e_j} + 1\right]\left[\gamma_d + 1\right]} + \frac{\gamma_x + \gamma_y}{\left[\sum_{j=1}^{N} \gamma_{k_j} + 1\right]\left[\gamma_{e_j} + 1\right]\left[\gamma_d + 1\right]} + \frac{\gamma_x + \gamma_y}{\left[\sum_{j=1}^{N} \gamma_{f_j} + 1\right]\left[\sum_{j=1}^{N} \gamma_{k_j} + 1\right]\left[\gamma_{e_j} + 1\right]} + 1 \right]} \quad (9)$$

$$\gamma_{S_2} = \frac{\frac{\varphi \gamma_x \gamma_y}{\left[\sum_{j=1}^{N} \gamma_{k_j} + 1\right]\left[\sum_{j=1}^{N} \gamma_{m_j} + 1\right]\left[\gamma_{e_j} + 1\right]\left[\gamma_p + 1\right]}}{\left[\frac{\varphi \gamma_y}{\left[\sum_{j=1}^{N} \gamma_{m_j} + 1\right]\left[\gamma_{e_j} + 1\right]\left[\gamma_p + 1\right]} + \frac{\varphi \gamma_y}{\left[\sum_{j=1}^{N} \gamma_{m_j} + 1\right]\left[\sum_{j=1}^{N} \gamma_{k_j} + 1\right]\left[\gamma_p + 1\right]} + \frac{\varphi \gamma_y}{\left[\sum_{j=1}^{N} \gamma_{m_j} + 1\right]\left[\sum_{j=1}^{N} \gamma_{k_j} + 1\right]\left[\gamma_{e_j} + 1\right]\left[\gamma_p + 1\right]} + \frac{\gamma_x + \gamma_y}{\left[\sum_{j=1}^{N} \gamma_{k_j} + 1\right]\left[\gamma_{e_j} + 1\right]\left[\gamma_p + 1\right]} + \frac{\gamma_x + \gamma_y}{\left[\sum_{j=1}^{N} \gamma_{k_j} + 1\right]\left[\sum_{j=1}^{N} \gamma_{m_j} + 1\right]\left[\gamma_{e_j} + 1\right]} + 1 \right]} \quad (10)$$

3. Performans Analizi

Bu bölüm sistem performans analizine yer vermektedir. Performans analizinde sistem servis dışı kalma olasılığı performans ölçütünü kullanmaktadır.

3.1. Servis Dışı Kalma Olasılığı

Bu alt bölüm sistem modelinin servis dışı kalma olasılığını incelemektedir. Servis dışı kalma olasılığı kanal kapasitesinin önceden belirlenen oran değerini destekleyememe olasılığını vermektedir. Bir başka ifade ile servis dışı kalma olasılığı SGO/SEGO ifadelerinin toplamsal dağılım fonksiyonun γ_{th}'daki değerine eşittir. Bu kapsamda, (9) ve (10) ifadeleri $\frac{XY}{X+Y} \leq \min(\mathrm{X}, \mathrm{Y})$ yardımıyla (11) ve (12) ile üst sınır yapılır.

$$\gamma_{S_1} \leq \frac{\frac{\varphi \gamma_x \gamma_y}{(\gamma_C + \gamma_E)(\varphi \gamma_A + \varphi \gamma_B + \gamma_C + \gamma_E + \varphi)}}{\frac{\gamma_x}{\gamma_C + \gamma_E} + \frac{\gamma_y}{(\varphi \gamma_A + \varphi \gamma_B + \gamma_C + \gamma_E + \varphi)}} = \gamma_{S_1}^{\mathrm{ust}} = \varphi \min\left(\frac{\gamma_{\mathrm{x}}}{\gamma_{\mathrm{C}} + \gamma_{\mathrm{E}}}, \frac{\gamma_{\mathrm{y}}}{(\varphi \gamma_{\mathrm{A}} + \varphi \gamma_{\mathrm{B}} + \gamma_{\mathrm{C}} + \gamma_{\mathrm{E}} + \varphi)} \right) \quad (11)$$

$$\gamma_{S_2} \leq \frac{\frac{\varphi \gamma_x \gamma_y}{(\gamma_D + \gamma_F)(\varphi \gamma_A + \varphi \gamma_B + \gamma_D + \gamma_F + \varphi)}}{\frac{\gamma_y}{\gamma_D + \gamma_F} + \frac{\gamma_x}{(\varphi \gamma_A + \varphi \gamma_B + \gamma_D + \gamma_F + \varphi)}} = \gamma_{S_2}^{\mathrm{ust}} = \varphi \min\left(\frac{\gamma_{\mathrm{y}}}{\gamma_{\mathrm{D}} + \gamma_{\mathrm{F}}}, \frac{\gamma_{\mathrm{x}}}{(\varphi \gamma_{\mathrm{A}} + \varphi \gamma_{\mathrm{B}} + \gamma_{\mathrm{D}} + \gamma_{\mathrm{F}} + \varphi)} \right) \quad (12)$$

Burada, $\gamma_A = \underbrace{\sum_{j=1}^{N} \gamma_{k_j}}_{\gamma_R} + 1$, $\gamma_B = \gamma_{e_j} + 1$, $\gamma_C = \gamma_d + 1$ ve

$\gamma_D = \gamma_p + 1$,$\gamma_E = \underbrace{\sum_{j=1}^{N} \gamma_{f_j}}_{\gamma_S} + 1$,$\gamma_F = \underbrace{\sum_{j=1}^{N} \gamma_{m_j}}_{\gamma_K} + 1$, (11) ve

(12) yardımıyla sistem modelinin sondan-sona (SS) SEGO değeri (13) ile hesaplanır.

$$\gamma_{SS} = \varphi \min\left(\gamma_{\mathrm{S}_1}^{\mathrm{ust}}, \gamma_{\mathrm{S}_2}^{\mathrm{ust}}\right) \tag{13}$$

En iyi TZ röle seçim işlemi TO tabanlı olmasından dolayı TO ifadesi (14) ile ifade edilir ve [10, 11] yardımıyla $\min(\mathrm{X}, \mathrm{Y})$, (15), ifadesine dönüştürülür.

$$TO^{TZ} = \left[log_2(1+\gamma_{S_1}^{TZ}) + log_2(1+\gamma_{S_2}^{TZ})\right] \leq R \tag{14}$$

$$\approx \frac{\gamma_{S_1}^{TZ}\gamma_{S_2}^{TZ}}{\gamma_{S_1}^{TZ}+\gamma_{S_2}^{FD}} \leq \underbrace{\frac{2^{\frac{R}{2}}-1}{2}}_{\gamma_{th}^{TZ}} \tag{15}$$

TO^{TZ} ifadesinin toplamsal dağılım fonksiyonu (TDF) ifadesi aşağıdaki önermede verilmiştir.

Önerme 1 *$F_{TO-FRS}^{ust(TZ)}$ ifadesi aşağıdaki gibi hesaplanır.*

$$F_{\mathrm{TO-FRS}}^{\mathrm{ust(TZ)}}\left(\gamma_{\mathrm{th}}^{\mathrm{TZ}}\right) = \prod_{i=1}^{N}\left[1 - e^{-\gamma_{\mathrm{th}}^{(\mathrm{TZ})}\left(\frac{\varphi^{-1}(3\varphi+1)}{P_s\Omega_{g_i}} + \frac{\varphi^{-1}(3\varphi+1)}{P_s\Omega_{h_i}}\right)}\right.$$
$$\times\left[\left(\frac{1}{P_j\Omega_{k_j}}\right)^{M}\left(\frac{\gamma_{\mathrm{th}}^{(\mathrm{TZ})}}{P_s\Omega_{g_i}} + \frac{\gamma_{\mathrm{th}}^{(\mathrm{TZ})}}{P_s\Omega_{h_i}} + \frac{1}{P_j\Omega_{k_j}}\right)^{-M}\right.$$
$$\times\left(\frac{1}{P_r\Omega_{e_j}}\right)\left(\frac{\gamma_{\mathrm{th}}^{(\mathrm{TZ})}}{P_s\Omega_{h_i}} + \frac{\gamma_{\mathrm{th}}^{(\mathrm{TZ})}}{P_s\Omega_{g_i}} + \frac{1}{P_r\Omega_{c_j}}\right)^{-1}$$
$$\times\left(\frac{1}{P_s\Omega_d}\right)\left(\frac{\varphi^{-1}\gamma_{\mathrm{th}}^{(\mathrm{TZ})}}{P_s\Omega_{g_i}} + \frac{1}{P_s\Omega_d}\right)^{-1}\left(\frac{1}{P_s\Omega_p}\right)\left(\frac{\varphi^{-1}\gamma_{\mathrm{th}}^{(\mathrm{TZ})}}{P_s\Omega_{h_i}} + \frac{1}{P_s\Omega_p}\right)^{-1}$$
$$\left.\left.\times\left(\frac{1}{P_j\Omega_{f_j}}\right)^{M}\left(\frac{\gamma_{\mathrm{th}}^{(\mathrm{TZ})}}{P_s\Omega_{g_i}} + \frac{1}{P_j\Omega_{f_j}}\right)^{-M}\left(\frac{1}{P_j\Omega_{m_j}}\right)^{M}\left(\frac{\gamma_{\mathrm{th}}^{(\mathrm{TZ})}}{P_s\Omega_{h_i}} + \frac{1}{P_j\Omega_{m_j}}\right)^{-M}\right]\right] \tag{16}$$

Burada, Ω_h, Ω_g, Ω_{k_j},Ω_{f_j},Ω_{m_j}, Ω_{e_j}, Ω_{c_j},Ω_d ve Ω_p, sırasıyla $|h|^2$, $|g|^2$, $|k_j|^2$,$|f_j|^2$, $|m_j|^2$, $|e_j|^2$, $|c_j|^2$, $|d|^2$ ve $|p|^2$'nin ortalamalarını ifade etmektedir. Sistem modelinde MM tabanlı röle seçim tekniği kullanıldığında hedef eşik değeri: $\gamma_{th}^{MM} = 2^R - 1$ olarak hesaplanır.

3.2. Asimptotik Analiz

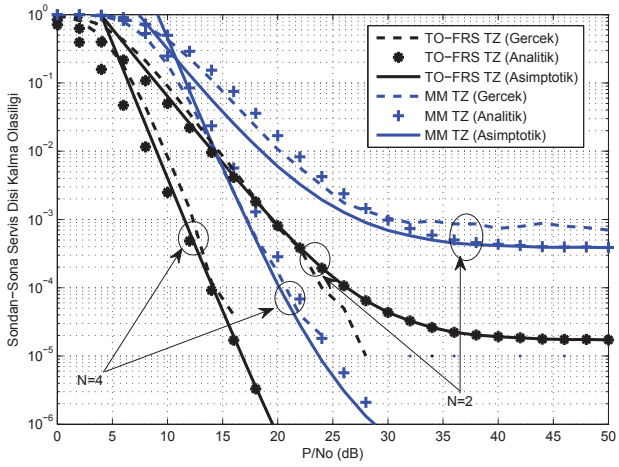
Taylor serileri açılımı yardımıyla, $exp(x) = 1 + x$ [12]. (16) ifadesinde gerekli yer değişimlerinin yapılmasından sonra (17) elde edilir.

$$F_{\mathrm{TO-FRS}}^{\mathrm{ust(TZ)}\infty}\left(\gamma_{\mathrm{th}}^{\mathrm{TZ}}\right) = \prod_{i=1}^{N}\left[1 - (1-\gamma_{\mathrm{th}}^{(\mathrm{TZ})}\left(\frac{\varphi^{-1}(3\varphi+1)}{P_s\Omega_{g_i}} + \frac{\varphi^{-1}(3\varphi+1)}{P_s\Omega_{h_i}}\right)\right.$$
$$\times\left[\left(\frac{1}{P_j\Omega_{k_j}}\right)^{M}\left(\frac{\gamma_{\mathrm{th}}^{(\mathrm{TZ})}}{P_s\Omega_{g_i}} + \frac{\gamma_{\mathrm{th}}^{(\mathrm{TZ})}}{P_s\Omega_{h_i}} + \frac{1}{P_j\Omega_{k_j}}\right)^{-M}\right.$$
$$\times\left(\frac{1}{P_r\Omega_{e_j}}\right)\left(\frac{\gamma_{\mathrm{th}}^{(\mathrm{TZ})}}{P_s\Omega_{h_i}} + \frac{\gamma_{\mathrm{th}}^{(\mathrm{TZ})}}{P_s\Omega_{g_i}} + \frac{1}{P_r\Omega_{c_j}}\right)^{-1}$$
$$\times\left(\frac{1}{P_s\Omega_d}\right)\left(\frac{\varphi^{-1}\gamma_{\mathrm{th}}^{(\mathrm{TZ})}}{P_s\Omega_{g_i}} + \frac{1}{P_s\Omega_d}\right)^{-1}\left(\frac{1}{P_s\Omega_p}\right)\left(\frac{\varphi^{-1}\gamma_{\mathrm{th}}^{(\mathrm{TZ})}}{P_s\Omega_{h_i}} + \frac{1}{P_s\Omega_p}\right)^{-1}$$
$$\left.\left.\times\left(\frac{1}{P_j\Omega_{f_j}}\right)^{M}\left(\frac{\gamma_{\mathrm{th}}^{(\mathrm{TZ})}}{P_s\Omega_{g_i}} + \frac{1}{P_j\Omega_{f_j}}\right)^{-M}\left(\frac{1}{P_j\Omega_{m_j}}\right)^{M}\left(\frac{\gamma_{\mathrm{th}}^{(\mathrm{TZ})}}{P_s\Omega_{h_i}} + \frac{1}{P_j\Omega_{m_j}}\right)^{-M}\right]\right] \tag{17}$$

4. Ana Sonuçlar

Bu bölüm teorik analizlerin doğruluğunu Monte-Carlo benzetimleri aracılığı ile yapmaktadır. Şekil 2 iki tip bilgi sağlamaktadır: birincisi, siyah renkli eğriler, toplam-oran tabanlı röle seçimine, diğeri de, mavi renkli eğriler, MM tabanlı röle seçimine aittir. Döngü etkileşimlerinin varyansları, σ_d^2, $\sigma_{e_j}^2$ ve σ_p^2, birbirine eşit ve 10^{-3} olarak seçilmiştir. Bu değerlerin düşük seçilmesinin sebebi döngü etkileşimleri, sinyal işleme teknikleri ve etkin anten tasarımı ile minimize edilebilmesidir. Hedef iletim değeri, *R*, 1.00 bps/Hz. olarak seçilmiştir. Sistem modelinde *M* değeri 1 olarak seçilmiştir. Eş-kanal etkileşimlerin iletim güçleri, $P_j = P_s/100$ olarak seçilmiştir. Bu değerin yüksek seçilmesi durumunda kulanıcıların bilgi alışverişi yapmasına izin vermeyebilmektedir.

Şekil 2 bu varsayımlar ışığında değerlendirildiğinde, düşük SGO bölgesinde toplam-oran tabanlı seçim tekniği MM tabanlı seçim tekniğine göre daha iyi başarım sağlamaktadır. Yüksek SGO bölgesinde, her iki röle tekniğinde de en iyi röle seçiminden kaynaklı başarılabilir çeşitlilik ölçütü oluşmaktadır. TO-FRS tekniği MM tabanlı röle seçim tekniğine göre sistem kodlama kazancı bakımından daha iyi başarım sağlamaktadır. Diğer taraftan, eş-kanal etkileşimleri her iki seçim tekniğinde de başarılabilir çeşitlilik ölçütü değerini *N*'den 0 değerine indirgemektedir ve sistem kodlama kazancında kayıpların oluşmasına sebep olmaktadır. Her iki teknikte de kullanıcı sayısının fazla olduğu sistem modeli az kullanıcılı sistem modeline göre daha iyi başarım sağlamaktadır.



Şekil 2. TO-FRS ve MM tabanlı röle seçiminin servis dışı kalma olasılığı başarım karşılaştırması

5. Tartışma ve Sonuç

Bu makale, eş-kanal etkileşimlerin iki düğümlü çok röleli tam-zamanlı iki yönlü kablosuz röleli ağlarda eş-kanal etkileşimlerin TO-FRS metodu üzerine etkilerini incelemiştir. İnceleme aynı zamanda MM tabanlı röle seçimine ait analizlere de yer vermiş ve TO-FRS tekniği ile sondan-sona servis dışı kalma olasılığı başarım karşılaştırmasına da yer vermiştir. İnceleme sonuçlarına göre, eş-kanal etkileşimlerin olduğu ortamda TO-FRS tekniği MM tabanlı tekniğine göre daha iyi servis dışı kalma olasılığı başarımı sağlamaktadır. Eş-kanal etkileşimleri sistem perfromansını ciddi düzeylerde etkileyerek sistem başarılabilir çeşitlilik değerini *N* den 0'a indirgemektedir. Bu

durum aynı zamanda sistem kodlama kazancında kayıpların oluşmasına sebep olmaktadır.

6. Önerme 1 İspatı

(14) ifadesini kullanarak ve aynı zamanda degişkenlerin birbirinden bağımsız olduğunu varsayılarak ve [9] Ek-3'teki prosedürleri kullanarak aşağıdaki eşitlikler elde edilir.

$$
\begin{aligned}
&F_{\mathrm{TO-FRS}}^{\mathrm{ust(TZ)}}\left(\gamma_{\mathrm{th}}^{\mathrm{TZ}}\right)=\left(\min\left(\gamma_{S_1}^{\mathrm{ust(TZ)}},\gamma_{S_2}^{\mathrm{ust(TZ)}}\right)\leq\gamma_{\mathrm{th}}^{(\mathrm{TZ})}\right)\\
&=1-\Pr\left(\gamma_{S_1}^{\mathrm{ust(TZ)}}\geq\gamma_{\mathrm{th}}^{(\mathrm{TZ})},\gamma_{S_2}^{\mathrm{ust(TZ)}}\geq\gamma_{\mathrm{th}}^{(\mathrm{TZ})}\right)\\
&=1-\Pr\Bigg(\min\left(\frac{\varphi\gamma_x}{(\gamma_C+\gamma_E)},\frac{\varphi\gamma_y}{(\varphi\gamma_A+\varphi\gamma_B+\gamma_C+\gamma_E+\varphi)}\right)\geq\gamma_{\mathrm{th}}^{(\mathrm{TZ})},\\
&\quad\min\left(\frac{\varphi\gamma_y}{(\gamma_D+\gamma_F)},\frac{\varphi\gamma_x}{(\varphi\gamma_A+\varphi\gamma_B+\gamma_D+\gamma_F+\varphi)}\right)\geq\gamma_{\mathrm{th}}^{(\mathrm{TZ})}\Bigg)\\
&=1-\mathbb{E}_{\gamma_R,\gamma_S,\gamma_K,\gamma_{e_j},\gamma_d,\gamma_p}\Bigg[\Pr\Big(\varphi\gamma_y\geq\gamma_{\mathrm{th}}^{(TZ)}\left(\varphi\gamma_R+\varphi\gamma_{e_j}+\gamma_d+\gamma_S+3\varphi+2\right),\\
&\quad\varphi\gamma_x\geq\gamma_{\mathrm{th}}^{(TZ)}\left(\varphi\gamma_R+\varphi\gamma_{e_j}+\gamma_p+\gamma_K+3\varphi+2\right)\Big)|\gamma_R,\gamma_S,\gamma_K,\gamma_{e_j},\gamma_d,\gamma_p\Bigg]\\
&=1-\mathbb{E}_{\gamma_R,\gamma_S,\gamma_K,\gamma_{e_j},\gamma_d,\gamma_p}\left[e^{-\gamma_{\mathrm{th}}^{(\mathrm{TZ})}\left(\frac{\varphi^{-1}(\varphi\gamma_R+\varphi\gamma_{e_j}+\gamma_d+\gamma_S+3\varphi+2)}{P_s\Omega_g}+\frac{\varphi^{-1}(\varphi\gamma_R+\varphi\gamma_{e_j}+\gamma_p+\gamma_K+3\varphi+2)}{P_s\Omega_h}\right)}\right]\\
&=1-e^{-\gamma_{\mathrm{th}}^{(\mathrm{TZ})}\left(\frac{\varphi^{-1}(3\varphi+2)}{P_s\Omega_g}+\frac{\varphi^{-1}(3\varphi+2)}{P_s\Omega_h}\right)}\mathbb{E}_{\gamma_R}\left[e^{-\gamma_R\left(\frac{\gamma_{\mathrm{th}}^{(\mathrm{TZ})}}{P_s\Omega_g}+\frac{\gamma_{\mathrm{th}}^{(\mathrm{TZ})}}{P_s\Omega_h}\right)}f_{\gamma_R}\left(\gamma_R\right)d_{\gamma_R}\right]\\
&\times\mathbb{E}_{\gamma_{e_j}}\left[e^{-\gamma_{e_j}\left(\frac{\gamma_{\mathrm{th}}^{(\mathrm{TZ})}}{P_s\Omega_g}+\frac{\gamma_{\mathrm{th}}^{(\mathrm{TZ})}}{P_s\Omega_h}\right)}f_{\gamma_{e_j}}\left(\gamma_{e_j}\right)d_{\gamma_{e_j}}\right]\mathbb{E}_{\gamma_d}\left[e^{-\gamma_d\left(\frac{\varphi^{-1}\gamma_{\mathrm{th}}^{(\mathrm{TZ})}}{P_s\Omega_g}\right)}f_{\gamma_d}\left(\gamma_d\right)d_{\gamma_d}\right]\\
&\times\mathbb{E}_{\gamma_p}\left[e^{-\gamma_p\left(\frac{\varphi^{-1}\gamma_{\mathrm{th}}^{(\mathrm{TZ})}}{P_s\Omega_h}\right)}f_{\gamma_p}\left(\gamma_p\right)d_{\gamma_p}\right]\mathbb{E}_{\gamma_S}\left[e^{-\gamma_S\left(\frac{\varphi^{-1}\gamma_{\mathrm{th}}^{(\mathrm{TZ})}}{P_s\Omega_g}\right)}f_{\gamma_S}\left(\gamma_S\right)d_{\gamma_S}\right]\\
&\times\mathbb{E}_{\gamma_K}\left[e^{-\gamma_K\left(\frac{\varphi^{-1}\gamma_{\mathrm{th}}^{(\mathrm{TZ})}}{P_s\Omega_h}\right)}f_{\gamma_K}\left(\gamma_K\right)d_{\gamma_K}\right]\\
&=1-e^{-\gamma_{\mathrm{th}}^{(\mathrm{TZ})}\left(\frac{\varphi^{-1}(3\varphi+1)}{P_s\Omega_g}+\frac{\varphi^{-1}(3\varphi+1)}{P_s\Omega_h}\right)}\left[\int_0^\infty e^{-\gamma_R\left(\frac{\gamma_{\mathrm{th}}^{(TZ)}}{P_s\Omega_g}+\frac{\gamma_{\mathrm{th}}^{(TZ)}}{P_s\Omega_h}\right)}f_{\gamma_R}\left(\gamma_R\right)d_{\gamma_R}\right]\\
&\times\left[\int_0^\infty e^{-\gamma_{e_j}\left(\frac{\gamma_{\mathrm{th}}^{TZ}}{P_s\Omega_h}+\frac{\gamma_{\mathrm{th}}^{\mathrm{TZ}}}{P_s\Omega_g}\right)}f_{\gamma_{e_j}}\left(\gamma_{e_j}\right)d_{\gamma_{e_j}}\right]\left[\int_0^\infty e^{-\gamma_d\left(\frac{\varphi^{-1}\gamma_{\mathrm{th}}^{TZ}}{P_s\Omega_g}\right)}f_{\gamma_d}\left(\gamma_d\right)d_{\gamma_d}\right]\\
&\times\left[\int_0^\infty e^{-\gamma_p\left(\frac{\varphi^{-1}\gamma_{\mathrm{th}}^{TZ}}{P_s\Omega_h}\right)}f_{\gamma_p}\left(\gamma_p\right)d_{\gamma_p}\right]\left[\int_0^\infty e^{-\gamma_S\left(\frac{\varphi^{-1}\gamma_{\mathrm{th}}^{TZ}}{P_s\Omega_g}\right)}f_{\gamma_S}\left(\gamma_S\right)d_{\gamma_S}\right]\\
&\times\left[\int_0^\infty e^{-\gamma_K\left(\frac{\varphi^{-1}\gamma_{\mathrm{th}}^{TZ}}{P_s\Omega_h}\right)}f_{\gamma_K}\left(\gamma_K\right)d_{\gamma_K}\right]\\
&=1-e^{-\gamma_{\mathrm{th}}^{(\mathrm{TZ})}\left(\frac{\varphi^{-1}(3\varphi+2)}{P_s\Omega_g}+\frac{\varphi^{-1}(3\varphi+2)}{P_s\Omega_h}\right)}\\
&\times\left[\left(\frac{1}{P_j\Omega_{k_j}}\right)^M\frac{1}{(M-1)!}\int_0^\infty\gamma_R^{M-1}e^{-\gamma_R\left(\frac{\gamma_{\mathrm{th}}^{(\mathrm{TZ})}}{P_s\Omega_g}+\frac{\gamma_{\mathrm{th}}^{(\mathrm{TZ})}}{P_s\Omega_h}+\frac{1}{P_j\Omega_{k_j}}\right)}d\gamma_R\right]\\
&\times\left[\left(\frac{1}{P_r\Omega_{e_j}}\right)\int_0^\infty e^{-\gamma_{e_j}\left(\frac{\gamma_{\mathrm{th}}^{(\mathrm{TZ})}}{P_s\Omega_h}+\frac{\gamma_{\mathrm{th}}^{(\mathrm{TZ})}}{P_s\Omega_g}+\frac{1}{P_r\Omega_{c_j}}\right)}d\gamma_{c_j}\right]\\
&\times\left[\left(\frac{1}{P_s\Omega_d}\right)\int_0^\infty e^{-\gamma_d\left(\frac{\varphi^{-1}\gamma_{\mathrm{th}}^{(\mathrm{TZ})}}{P_s\Omega_g}+\frac{1}{P_s\Omega_d}\right)}d\gamma_d\right]\\
&\times\left[\left(\frac{1}{P_s\Omega_p}\right)\int_0^\infty e^{-\gamma_p\left(\frac{\varphi^{-1}\gamma_{\mathrm{th}}^{(\mathrm{TZ})}}{P_s\Omega_h}+\frac{1}{P_s\Omega_p}\right)}d\gamma_p\right]\\
&\times\left[\left(\frac{1}{P_j\Omega_{f_j}}\right)^M\frac{1}{(M-1)!}\int_0^\infty\gamma_S^{M-1}e^{-\gamma_S\left(\frac{\gamma_{\mathrm{th}}^{(\mathrm{TZ})}}{P_s\Omega_g}+\frac{1}{P_j\Omega f_j}\right)}d\gamma_S\right]\\
&\times\left[\left(\frac{1}{P_j\Omega_{m_j}}\right)^M\frac{1}{(M-1)!}\int_0^\infty\gamma_K^{M-1}e^{-\gamma_K\left(\frac{\gamma_{\mathrm{th}}^{(\mathrm{TZ})}}{P_s\Omega_h}+\frac{1}{P_j\Omega_{m_j}}\right)}d\gamma_K\right]
\end{aligned}
\tag{18}
$$

(18) ifadesindeki integraller [12, Eq. (3.310^{11}, 3.351^3)] yardımıyla çözülür ve sıralı istatistikler [13] yardımıyla (16) ifadesi elde edilir.

7. Kaynaklar

[1] I. Krikidis, H. A. Suraweera, P. J. Smith ve C. Yuen, "Full-Duplex Relay Selection for Amplify-and-Forward Cooperative Networks,", vol. 11, no. 12, sf. 4381-4393, December 2012. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, Aralık 2016., doi: 10.1109/TWC.2012.101912.111944

[2] Y. Wang, Y. Xu, N. Li, W. Xie, K. Xu ve X. Xia, "Relay selection of full-duplex decode-and-forward relaying over Nakagami-m fading channels,", vol. 10, no. 2, sf. 170-179, *IET Communications*, 21 Ocak 2016., doi: 10.1049/iet-com.2015.0524

[3] Yanan Tang, Hui Gao, Xin Su ve Tiejun Lv, "Joint source-relay selection in two-way full-duplex relay network,", 2016, pp. 577-582. *2016 IEEE International Conference on Communications Workshops (ICC)*,Kuala Lumpur, doi: 10.1109/ICCW.2016.7503849

[4] M. Toka, O. Kucur ve B. S. Tezekici, "Performance of joint relay and antenna selection in the Full-Duplex Amplify-and-Forward relay networks,", 2015, pp. 661-664. *2015 23nd Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), Malatya, doi: 10.1109/SIU.2015.7129911*

[5] H. Cui, M. Ma, L. Song ve B. Jiao, "Relay Selection for Two-Way Full Duplex Relay Networks With Amplify-and-Forward Protocol,", vol. 13, no. 7, sf. 3768-3777, Temmuz 2014. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, doi: 10.1109/TWC.2014.2322607

[6] H. Alves, R. D. Souza, D. B. da Costa ve M. Latva-aho, "Full-Duplex Relaying Systems Subject to Co-Channel Interference and Noise in Nakagami-m Fading,", vol. 13, no. 7, sf. 3768-3777, Temmuz 2014. *2015 IEEE 81st Vehicular Technology Conference (VTC Spring)*, Glasgow, 2015, sf. 1-5. doi: 10.1109/VTC-Spring.2015.7145847

[7] M. Toka ve O. Kucur, "Outage probability of full-duplex MIMO relay networks with co-channel interference over Rayleigh fading channels,", vol. 13, no. 7, sf. 3768-3777, Temmuz 2014. *2016 24th Signal Processing and Communication Application Conference (SIU), Zonguldak, 2015, sf. 1181-1184. doi: 10.1109/SIU.2016.7495956*

[8] V. Ozduran, E. Soleimani-Nasab ve B. S. Yarman, "Sum-Rate Based Opportunistic Relay Selection (SR-ORS) Method For A Dual-Hop Multiple Half/Full-Duplex Bi-directional Wireless Relaying Networks," *24th Telecommunications Forum TELFOR 2016, SAVA Center, Belgrade, Serbia*

[9] Soleimani-Nasab, E., Matthaiou, M., Ardebilipour, M., ve Karagiannidis, G. K., "Two-Way AF Relaying in the Presence of Co-Channel Interference", *IEEE Transactions on Communications,*, cilt no. 61, sf: 3156-3169, 2013.

[10] Gong Y. ve Zhu, Y., "A relay selection scheme based on the harmonic mean in two-way relay networks with physical layer network coding", *Proc. Global Mobile Congress,Shanghai, China*, sf: 1-5, Ekim 2011. Doi:10.1109/GMC.2011.6103932.

[11] Ozduran, V., Soleimani-Nasab, E., ve Yarman, B.S., "Opportunistic Source-Pair Selection for Multi-user Two-Way AF Wireless Relaying Networks", *IET Communications*, Haziran 2016., http://digital-library.theiet.org/content/journals/10.1049/iet-com.2016.0218

[12] Gradshteyn, I. S. ve Ryzhik, I. M., "Tables of Integrals, Series and Products", Elsevier Inc., 7th edition,2007.

[13] David, H. A. ve Nagaraja, H. N., "Order Statistics", John Wiley& Sons, 3. Basım, 2003.