

Çok Atlamalı Kısmi Röle Seçimli Uzay Kaydırmalı Anahtarlama

Multi-Hop Space Shift Keying with Partial Relay Selection

Ferhat Yarkin, Ibrahim Altunbas ve Ertugrul Basar
Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü
İstanbul Teknik Üniversitesi
İstanbul, Türkiye 34469
E-mail: {yarkinf,ibraltunbas,basarer}@itu.edu.tr

Özetçe—Bu bildiri, çok atlamalı çok yollu uzay kaydırmalı anahtarlama (space shift keying, SSK) için iki farklı kısmi röle seçim tekniği önerilmektedir. Ele alınan çok atlamalı çok yollu yapıda, her bir röle kendinden bir önceki aktarıcıdan aldığı işareti çöz-ve-aktar ilkesine göre çözmektedir. Kaynaktaki ve her atlamada seçilen rölelerdeki verici antenler üzerinden ise SSK tekniği uygulanmaktadır. Önerilen sistem için, yaklaşık ve asimptotik simge hata olasılığı kapalı formda hesaplanarak elde edilen sonuçlar bilgisayar benzetimleriyle desteklenmiştir. Önerilen sistemin çok atlamalı röle seçimsiz SSK sisteminden, çok atlamalı yol seçimli SSK sisteminden, yüksek alıcı anten sayısı ve veri hızları için ise çok yollu yol seçimli M -PSK sistemden daha iyi hata başarımı sağladığı gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler—Çok atlama, kısmi röle seçimi, uzay kaydırmalı anahtarlama, çöz-ve-aktar.

Abstract—In this paper, two different partial relay selection techniques are proposed for multi-hop multi-branch space shift keying (SSK). In this scheme, each relay in each branch follows the decode-and-forward principle. Moreover, source and all relays employ SSK modulation to transmit information bits using their transmit antennas. Closed-form approximate and asymptotic symbol error probability expressions for the proposed SSK system are derived and the analytical results are verified through computer simulations. It is shown that the proposed multi-hop SSK system outperforms the conventional multihop SSK system, the multi-hop SSK system with path selection and conventional multi-hop M -PSK system with path selection in terms of error performance for especially high data rates and sufficient number of receive antennas.

Keywords—Multi-hop, partial relay selection, space shift keying, decode-and-forward.

I. GİRİŞ

İdeal olarak tek bir radyo-frekans devresi ile gerçekleştirilebilen MIMO tekniklerden olan uzaysal modülasyon (spatial modulation, SM) ve onun özel bir hali olan uzay kaydırmalı anahtarlama (space shift keying, SSK), bilgi bitleri ve anten indisleri arasındaki birebir eşlemeye bağlı olarak bir zaman aralığında yalnızca bir anten iletimdedir [1], [2]. Bu nedenle SM ve SSK, kanalararası girişimi ve antenler arası senkronizasyon gereksinimini tamamen ortadan kaldırmaktadır. Ayrıca,

SM ve SSK sayesinde alıcı-verici karmaşıklığı azalmaktadır [3]. SSK’da bilgi bitleri yalnızca verici anten indisine eşlendiği için alıcı-verici karmaşıklığı SM’ye göre daha azdır [2]. Bununla birlikte, klasik SM ve SSK vericide çeşitleme kazancı sağlayamamaktadır. Dolayısıyla, alıcı anten sayısı az olduğu durumda kötü hata başarımı gözlenmektedir. Öte yandan, son yıllarda SM/SSK üzerine yapılan çalışmalarda, iki atlamalı [4], [5] ve/veya çok atlamalı [6], [7] ağların SM/SSK sistemlerinin hata başarımını iyileştirdiği ve iletişim güvenilirliğini arttırdığı gözlenmiştir. [4]’te kuvvetlendir-ve-aktar (amplify-and-forward, AF) ve çöz-ve-aktar (decode-and-forward, DF) ilkesine göre çalışan iki ayrı SSK sistemi önerilmiştir. [5]’te DF ilkesine göre çalışan işbirlikli SSK sisteme verici anten seçimi uygulanmıştır. [6]’da DF ilkesine göre çalışan çok atlamalı çeşitlemeli SSK ve çok atlamalı çok yollu SSK sistemlerinin, [7]’de ise, DF ilkesine göre çalışan çok atlamalı yol seçimli SSK sisteminin hata başarımı incelenmiştir.

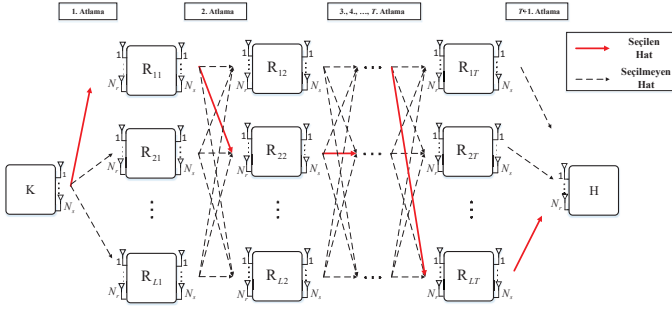
Bu çalışmada, SSK ve çok atlamalı sistemlerin sağladığı üstünlüklerden yararlanmak amacıyla, her atlamada SSK uygulanan çok atlamalı bir yapı ele alınmaktadır. Ele alınan yapı için, iki farklı kısmi röle seçim tekniği önerilmektedir. Bu yapıda, kaynak ile hedef arasında doğrudan görüş hattı bulunmamaktadır ve kaynaktan gönderilen işaret her atlamada seçilen röleler üzerinden hedefe ulaşmaktadır. Ayrıca, her atlamanın verici kısmında SSK tekniği uygulanmaktadır ve her atlamada işarete DF prensibine göre karar verilmektedir. Önerilen röle seçim teknikleri için yaklaşık ve asimptotik simge hata olasılığı (symbol error probability, SEP) analizi yapılmaktadır. Önerilen sistemin [7]’deki çok atlamalı yol seçimli SSK sisteminden ve [8]’deki çok atlamalı yol seçimli M -PSK sisteminden daha iyi hata başarımı sağladığı gösterilmiştir.

II. SİSTEM MODELİ

Çalışmada ele alınan çok atlamalı ve kısmi röle seçimli SSK sistem modeli Şekil 1’de verilmektedir. Burada, kaynak (K) ile hedef (H), doğrudan görüş hattı olmaksızın, aralarındaki çok atlamalı ve çok yollu yapı sayesinde haberleşmektedir. K’da ve H’de sırasıyla N_s verici ve N_r alıcı anten bulunmaktadır. Ayrıca, K ile H arasındaki iletişim $T + 1$ atlamada gerçekleşmekte ve her atlamada L adet röle bulunmaktadır. Her bir rölede, $R_{t,j}$ ($1 \leq t \leq T, 1 \leq j \leq L$), N_s verici ve N_r alıcı anten bulunmaktadır.

Bu yapıda K ile H arasındaki iletişim, her atlamada seçilen röleler üzerinden toplam $T + 1$ atlamada gerçekleşir (bir

Bu çalışma 114E607 numaralı TÜBİTAK projesi tarafından desteklenmektedir. E. Başar’ın çalışmaları TÜBA-GEBİP programı kapsamında da desteklenmektedir.



Şekil 1: Çok atlamalı kısmi röle seçimli SSK sistem modeli.

senaryo kırmızı renk ile gösterilmektedir). Son atlamada, bilgi işareti bir önceki atlamada seçilen röleden H'ye gönderildiği için röle seçimi söz konusu değildir. İlk atlamada, K'da bilgi biti dizisi SSK tekniğine göre verici anten indisine eşlenir. Dolayısıyla, bir iletim aralığı boyunca yalnızca bir verici anten iletimdedir ve iletimde olan anten ortalama olarak E_K enerjisi harcamaktadır. İlk atlamadan sonraki $T - 1$ atlamada, her bir atlamada seçilen röle kendisine gelen işareti en büyük olabilirlik (maximum likelihood, ML) tekniğine göre çözerek bilgi bitlerine karar verir ve karar verilen bilgi bitleri kaynaktaki gibi verici antenlerin indislerine eşlenir. Rölelerde de SSK tekniği uygulandığı için röleler tarafından gerçekleştirilen her atlamada da yalnızca bir anten iletimdedir ve iletimde olan anten ortalama olarak E_K enerjisi harcar. Dolayısıyla, bilgi işareti her bir atlamada seçilen röleler üzerinden atlaya atlaya H'ye ulaşır. l_t ve l_{T+1} sırasıyla t . ve $(T+1)$. atlamada iletimde olan anten indislerini göstermek üzere, t . atlamada seçilen rölede, R_{t,δ_t} ($1 \leq \delta_t \leq L$), alınan ve $(T+1)$. atlamada H'de alınan işaret vektörleri sırasıyla $\mathbf{y}_{t,\delta_t} = \sqrt{E_K} \mathbf{h}_{t,\delta_t}^{l_t} + \mathbf{n}_{t,\delta_t}$ ve $\mathbf{y}_{T+1,j} = \sqrt{E_K} \mathbf{h}_{T+1,j}^{l_{T+1}} + \mathbf{n}_{T+1,j}$ ile gösterilsin. Burada, $\mathbf{H}_{t,j} \in \mathbb{C}^{N_r \times N_s}$ t . atlamadaki j . röle ile aynı atlamada j . röleye işaret gönderen terminal arasındaki kanal matrisi ve $\mathbf{H}_{t,\delta_t} \in \mathbb{C}^{N_r \times N_s}$ t . atlamada seçilen röle ile aynı atlamada seçilen röleye işaret gönderen terminal arasındaki kanal matrisi olmak üzere, $\mathbf{h}_{t,\delta_t}^{l_t}$, \mathbf{H}_{t,δ_t} matrisinin l_t . sütunudur. Dahası, $\mathbf{H}_{T+1,j} \in \mathbb{C}^{N_r \times N_s}$ matrisi $(T+1)$. atlamada H ve aynı atlamada H'ye işaret gönderen terminal arasındaki kanal matrisi olmak üzere, $\mathbf{h}_{T+1,j}^{l_{T+1}}$, $\mathbf{H}_{T+1,j}$ matrisinin l_{T+1} . sütunudur. $\mathbf{H}_{t,j}$ ve $\mathbf{H}_{T+1,j}$ matrislerinin elemanları $\mathcal{CN}(0, 1)$ dağılımlıdır. \mathbf{n}_{t,δ_t} ve $\mathbf{n}_{T+1,j}$ ise, sırasıyla t . atlamada seçilen röledeki ve H'deki toplamsal Gauss gürültü (additive Gaussian noise, AGN) vektörüdür. \mathbf{n}_{t,δ_t} ve $\mathbf{n}_{T+1,j}$ vektörlerinin elemanları $\mathcal{CN}(0, N_0)$ dağılımlıdır. Röleler DF prensibine göre çalıştığı için, her bir röle tarafından gönderilen işaret bir önceki atlamada röle tarafından alınıp karar verilen işarete göre oluşturulur. Dolayısıyla, hata yayılımı göz önüne alındığı için her atlamada gönderilen işaret farklı olabilir. Her bir rölede ve hedefte iletimde olan anten indisine ML sezim tekniğine göre karar verilmektedir.

A. Röle Seçim Tekniği - I (RST-I)

Bu teknikte, bir atlamada L adet röleye ilişkin kanal katsayıları göz önünde bulundurularak, L adet röleden en kötü durumdaki çiftsel hata olasılığını (pairwise error probability, PEP) minimum yapan röle seçilir. Dolayısıyla, t . atlamada seçilen rölenin indisi

$$\delta_t = \arg \max_{j=1, \dots, L} \left\{ \min_{l_t, \hat{l}_t=1, \dots, N_s, l_t \neq \hat{l}_t} \gamma_{t,j}^{l_t, \hat{l}_t} \right\} \quad (1)$$

şeklinde ifade edilir. Burada, $\gamma_{t,j}^{l_t, \hat{l}_t} = \frac{E_K \|\mathbf{h}_{t,j}^{l_t} - \mathbf{h}_{t,j}^{\hat{l}_t}\|^2}{2N_0}$ şeklindedir. $\mathbf{h}_{t,j}^{l_t}$ ve $\mathbf{h}_{t,j}^{\hat{l}_t}$, $\mathbf{H}_{t,j}$ matrisinin sırasıyla l_t . ve \hat{l}_t . sütunudur.

B. Röle Seçim Tekniği - II (RST-II)

Bir önceki alt bölümde anlatılan RST-I'de, K'dan gönderilen bilgi işareti her bir atlamada seçilen röleler üzerinden H'ye ulaşır. Ancak RST-I'de, $(T+1)$. atlamada yani $R_{\delta_t, T}$ ile H arasındaki iletişim sırasında röle seçimi söz konusu olmadığı için bu atlamada, daha sonra başarımlı analizi ve nümerik sonuçlar bölümünde de gösterileceği üzere, röle seçiminden kaynaklanan çeşitleme kazancı elde edilemez. Dahası, sistem başarımlı en zayıf atlama yani en kötü çeşitleme derecesine sahip atlama tarafından belirleneceği için RST-I'in sağladığı başarımlı sınırlıdır. Bu durumu göz önüne alarak, röle seçim tekniği - II (RST-II)'de son iki atlamaya kadar $(T, T+1)$ seçilen röleye RST-I'deki gibi (1) ile karar verilir. Son atlamada seçilen röle indisi ise

$$\delta_T = \arg \max_{j=1, \dots, L} \left\{ \min_{i=T, T+1} \left\{ \min_{l_t, \hat{l}_t=1, \dots, N_s, l_t \neq \hat{l}_t} \gamma_{i,j}^{l_t, \hat{l}_t} \right\} \right\} \quad (2)$$

biçimindedir. Burada, $\gamma_{T+1,j}^{l_{T+1}, \hat{l}_{T+1}} = \frac{E_K \|\mathbf{h}_{T+1,j}^{l_{T+1}} - \mathbf{h}_{T+1,j}^{\hat{l}_{T+1}}\|^2}{2N_0}$ ve $\mathbf{h}_{T+1,j}^{l_{T+1}}$, $\mathbf{H}_{T+1,j}$ matrisinin l_{T+1} . sütunudur.

III. BAŞARIM ANALİZİ

Bu bölümde, önerilen röle seçimi teknikleri için yaklaşık ve asimptotik SEP ifadeleri kapalı formda elde edilmektedir.

A. Yaklaşık Simge Hata Olasılığı Analizi

Önerilen sistemde her atlamada işarete DF prensibine göre karar verildiği için sistemin uçtan-uca hata olasılığını hesaplamak her terminaldeki hata olayları göz önünde bulundurulmalıdır. Ayrıca, SSK sistemlerin hata olasılığı kanal katsayıları arasındaki Öklid uzaklıklarına bağlıdır. Verici anten sayısı ikiden fazla olduğunda, bu Öklid uzaklıkları aynı rastlantı değişkenlerini içerdikleri için istatistiksel olarak bağımlıdır. Dolayısıyla, önerilen sistem için tam hata olasılığını hesaplamak oldukça zordur. Bu nedenle, bu bölümde yaklaşık SEP hesaplanmaktadır.

1) Röle Seçim Tekniği - I: $R_{t,j}$ 'deki l_t . ve \hat{l}_t . verici antenlere karşılık gelen karesel Öklid uzaklıkları şu şekilde tanımlanabilir: $\Delta_{t,j}^{l_t, \hat{l}_t} = \|\mathbf{h}_{t,j}^{l_t} - \mathbf{h}_{t,j}^{\hat{l}_t}\|^2$. $\mathbf{h}_{t,j}^{l_t}$ ve $\mathbf{h}_{t,j}^{\hat{l}_t}$ 'nin elemanları karmaşık Gauss dağılımına sahip olduğu için $\Delta_{t,j}^{l_t, \hat{l}_t}$ ki-kare dağılımına sahiptir.

$R_{t,j}$ 'deki minimum karesel Öklid uzaklığı şu şekilde tanımlanabilir: $\Delta_{t,j} = \min_{l_t, \hat{l}_t=1, \dots, N_s, l_t \neq \hat{l}_t} \Delta_{t,j}^{l_t, \hat{l}_t}$. Burada l_t ve \hat{l}_t , $\binom{N_s}{2}$ adet farklı değer alabileceği için $\Delta_{t,j}$ rastlantı değişkenine ait birikimli dağılım fonksiyonu (cumulative distribution function, CDF), sıra istatistiği yardımıyla,

$$F_{\Delta_{t,j}}(x) = 1 - \left[1 - F_{\Delta_{t,j}^{l_t, \hat{l}_t}}(x) \right]^{\binom{N_s}{2}} = 1 - \left[e^{-\frac{x}{2}} \sum_{z=0}^{N_r-1} \frac{1}{z!} \left(\frac{x}{2} \right)^z \right]^{\binom{N_s}{2}} \quad (3)$$

biçiminde elde edilir [9, (2.1.2)]. Burada $F_{\Delta_{t,j}^{l_t, \hat{l}_t}}(x)$, $\Delta_{t,j}^{l_t, \hat{l}_t}$ rastlantı değişkenine ait CDF'dir.

(1) denklemini göz önüne alırsak, t . atlamada seçilen röleye $(\mathbf{R}_{t,\delta_t})$ ilişkin minimum karesel Öklid uzaklığı şu şekilde tanımlanabilir: $\Delta_{t,\delta_t} = \max_{j=1,\dots,L} \Delta_{t,j}$. Buradan, sıra istatistiği yardımıyla, Δ_{t,δ_t} rastlantı değişkenine ait CDF

$$F_{\Delta_{t,\delta_t}}(x) = \left[1 - \left[e^{-\frac{x}{2}} \sum_{z=0}^{N_r-1} \frac{1}{z!} \left(\frac{x}{2}\right)^z \right]^{(N_s)} \right]^L \quad (4)$$

biçiminde elde edilir [9, (2.1.1)]. (4)'teki ifadeye binom açılımı uygulanarak bu ifadenin türevi alınır, Δ_{t,δ_t} rastlantı değişkenine ait olasılık yoğunluk fonksiyonu (probability density function, PDF)

$$f_{\Delta_{t,\delta_t}}(x) = \sum_{q=0}^L \sum_{u=0}^{N_q} \binom{L}{q} (-1)^q C_u(N_r, N_s, q) e^{-\frac{x}{2} (N_s)^q} \times \left[-\binom{N_s}{2} \frac{q}{2} x^u + u x^{u-1} \right] \quad (5)$$

biçiminde elde edilir. Burada, $N_q = (N_r - 1) \binom{N_s}{2} q$ ve $C_u(N_r, N_s, q) \left[\sum_{z=0}^{N_r-1} \frac{1}{z!} \left(\frac{x}{2}\right)^z \right]^{Tq}$ ifadesinin açılımındaki x^u teriminin katsayısını ifade etmektedir. Ayrıca, $T_q = \binom{N_s}{2} q$ 'dir.

En yakın komşu yaklaşımını (nearest neighbor approach) [10] kullanarak, t . atlamadaki yaklaşık SEP şu şekilde ifade edilebilir: $P_t \approx \frac{2}{N_s} \int_0^\infty Q \left(\sqrt{\frac{E_K x}{2N_0}} \right) f_{\Delta_{t,\delta_t}}(x) dx$. (5)'teki PDF ifadesi yerine konularak ve bu ifadedeki integral için de [11, (3.63)]'teki eşitlik kullanılarak, t . atlamadaki yaklaşık SEP ifadesi kapalı formda şu şekilde elde edilir:

$$P_t \approx \frac{2}{N_s} \sum_{q=1}^L \sum_{u=0}^{N_q} \binom{L}{q} (-1)^q C_u(N_r, N_s, q) \frac{u!}{T_q^u} \times \left[1 - \left(\frac{2T_q}{E_K/N_0} + 1 \right)^{-1/2} \right]^u - \frac{1}{2} \left[1 - \left(\frac{2T_q}{E_K/N_0} + 1 \right)^{-1/2} \right] \times \sum_{p=0}^u 2^{-p} \binom{u+p}{p} \left[1 + \left(\frac{2T_q}{E_K/N_0} + 1 \right)^{-1/2} \right]^p \times \sum_{p=0}^{u-1} 2^{-p} \binom{u-1+p}{p} \left[1 + \left(\frac{2T_q}{E_K/N_0} + 1 \right)^{-1/2} \right]^p. \quad (6)$$

Her atlama birbirinden bağımsız olduğu için çok atlamalı kısmı röle seçimli sistemin SEP ifadesi

$$P_{RST_1} \approx 1 - (1 - P_{T+1}) \prod_t (1 - P_t) \quad (7)$$

şekindedir. Burada, P_{T+1} son atlamadaki SEP ifadesidir ve son atlamada röle seçimi yapılmadığı için (6)'daki ifadede $L = 1$ yazılarak elde edilir.

2) *Röle Seçim Tekniği - II*: Bu teknikte daha önce de söz edildiği üzere son iki atlamaya kadar RST-I uygulanır. Dolayısıyla, son iki atlamaya kadar (6)'da bulunan SEP ifadesi geçerlidir. (2) denklemini göz önüne alırsak, son iki atlama için seçilen röleye ait en büyük minimum karesel Öklid uzaklığı $\Delta_{T,\delta_T} = \max_{j=1,\dots,L} \left\{ \min_{i=T,T+1} \left\{ \min_{l_t, \hat{l}_t=1,\dots,N_s, l_t \neq \hat{l}_t} \Delta_{i,j}^{l_t, \hat{l}_t} \right\} \right\}$ şeklinde tanımlanabilir. Burada, $i \in \{T, T+1\}$ olmak üzere $\Delta_{i,j}^{l_t, \hat{l}_t} = \|\mathbf{h}_{i,j}^{l_t} - \mathbf{h}_{i,j}^{\hat{l}_t}\|^2$ biçimindedir. Bir önceki alt bölümüne benzer adımlar izlenerek Δ_{T,δ_T} rastlantı değişkenine ait CDF

$$F_{\Delta_{T,\delta_T}}(x) = \left[1 - \left[e^{-\frac{x}{2}} \sum_{z=0}^{N_r-1} \frac{1}{z!} \left(\frac{x}{2}\right)^z \right]^{2(N_s)} \right]^L \quad (8)$$

biçiminde elde edilir. (8) ile (4) arasındaki tek fark, (8)'de en dıştaki parantezin içinde bulunan ifadenin üssünde iki katsayısının da olmasıdır. Dolayısıyla, RST-II için son iki atlamadaki SEP ifadesi $(P_{T,T+1})$ (6) denkleminde N_q ve T_q yerine sırasıyla $2N_q$ ve $2T_q$ konularak elde edilir. Bu sistem için uçtan-uca yaklaşık SEP ifadesi aşağıdaki gibi elde edilir:

$$P_{RST_2} \approx 1 - (1 - P_{T,T+1}) \prod_t^{T-1} (1 - P_t). \quad (9)$$

B. Asimptotik Hata Olasılığı Analizi

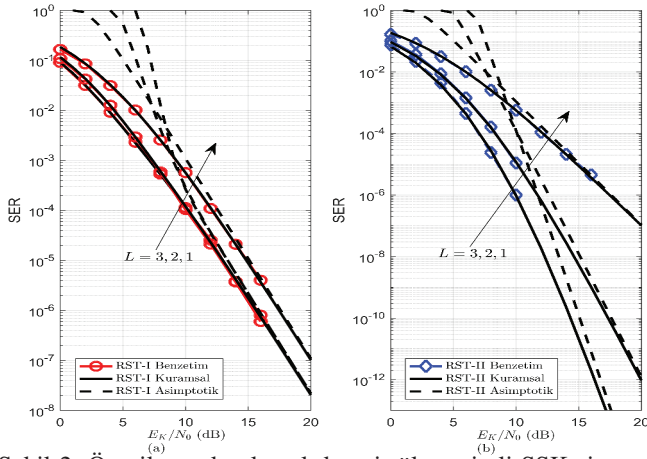
1) *Röle Seçim Tekniği - I*: Herhangi bir atlamadaki kanal katsayılarının Öklid uzaklıklarına ilişkin PDF'lerin sıfır (origin) etrafındaki davranışları göz önüne alınır [12], o atlamaya ilişkin çeşitleme ve kodlama kazançları (G_d^t ve G_c^t) bulunabilir. Röle seçimsiz durumda, çeşitleme ve kodlama kazançları, sırasıyla $G_d^{T+1} = N_r$ ve $G_c^{T+1} = \frac{1}{2} \left[\binom{N_s}{2} \frac{\Gamma(N_r+1/2)}{2\sqrt{\pi}(N_r!)} \right]^{-\frac{1}{N_r}}$ biçiminde bulunur [12]. Burada, çeşitleme ve kodlama kazançları için $(T+1)$ üst indisinin kullanılmasının sebebi son atlamada yani $(T+1)$. atlamada röle seçiminin uygulanmamasıdır. Dolayısıyla, burada elde edilen çeşitleme ve kodlama kazançları son atlamadaki iletime ilişkin çeşitleme ve kodlama kazançlarını gösterir ve yüksek işaret-gürültü oranı (signal-to-noise ratio, SNR) değerlerinde son atlamadaki yaklaşık SEP $\bar{P}_{T+1} = (G_d^{T+1} E_K/N_0)^{-G_c^{T+1}}$ biçiminde elde edilir [12].

[12, (15)] yardımıyla, röle seçimli durumda t . atlamadaki çeşitleme ve kodlama kazançları, sırasıyla $G_d^t = \sum_{j=1}^L G_d^{T+1} = \sum_{j=1}^L N_r = LN_r$ ve $G_c^t = \left[\frac{2^{L-1} \pi^{(L-1)/2} \Gamma(LN_r+1/2)}{(G_c^{T+1})^{LN_r} (N_r+1/2)^L} \right]^{-\frac{1}{LN_r}}$ biçiminde bulunur. Buradan da yüksek SNR değerlerinde t . atlamadaki yaklaşık SEP $\bar{P}_t = (G_d^t E_K/N_0)^{-G_c^t}$ biçiminde elde edilir [12]. Burada bulunan \bar{P}_{T+1} ve \bar{P}_t ifadeleri (7)'de yerine konularsa RST-I uygulanan sistem için uçtan-uca asimptotik SEP ifadesi elde edilir. Yüksek SNR değerlerinde sistemin SEP başarımı en zayıf atlama yani en kötü çeşitleme derecesine sahip atlama tarafından belirleneceği için bu sistemin çeşitleme derecesi $d_{RST_1} = N_r$ biçimindedir.

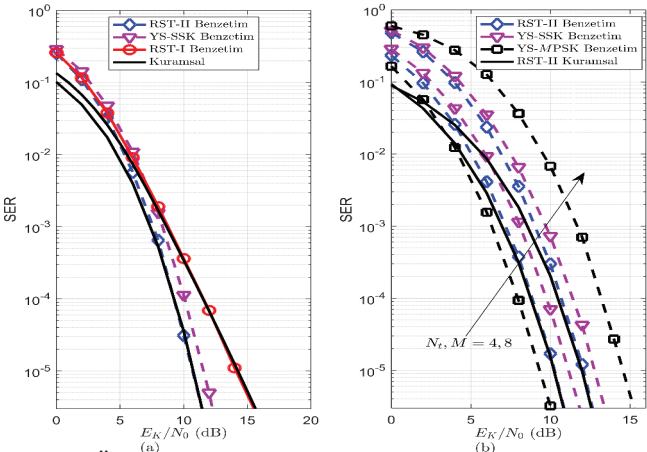
2) *Röle Seçim Tekniği - II*: Burada son iki atlamaya kadar, $1 \leq t \leq T-1$, bir önceki alt bölümde bulunan \bar{P}_t ifadesi t . atlamadaki asimptotik SEP ifadesini verir. Öte yandan, [12, (15)] yardımıyla, son iki atlama için çeşitleme ve kodlama kazançları sırasıyla $G_d^{T,T+1} = \sum_{j=1}^L G_d^{T+1} = \sum_{j=1}^L N_r = LN_r$ ve $G_c^{T,T+1} = \left[\frac{2^{2L-1} \pi^{(L-1)/2} \Gamma(LN_r+1/2)}{(G_c^{T+1})^{LN_r} (N_r+1/2)^L} \right]^{-\frac{1}{LN_r}}$ biçiminde bulunur. Buradan da yüksek SNR değerlerinde son iki atlama için yaklaşık SEP $\bar{P}_{T,T+1} = (G_d^{T,T+1} E_K/N_0)^{-G_c^{T,T+1}}$ biçiminde elde edilir [12]. Burada bulunan $\bar{P}_{T,T+1}$ ve \bar{P}_t ifadeleri (9)'da yerine konularsa RST-II uygulanan sistem için uçtan-uca asimptotik SEP ifadesi elde edilir. RST-II için son iki atlama da dahil bütün atlamalarda çeşitleme derecesi LN_r olduğu için sistemin çeşitleme derecesi $d_{RST_2} = LN_r$ biçimindedir.

IV. NÜMERİK SONUÇLAR

Bu bölümde, önerilen SSK sistemlerinin kuramsal yaklaşık ve asimptotik SEP analizleri bilgisayar benzetimleriyle simge hata oranı (symbol error rate, SER) cinsinden bulunarak doğrulanmaktadır. Ayrıca, karşılaştırma amacıyla, [7]'de önerilen



Şekil 2: Önerilen çok atlamalı kısmi röle seçimli SSK sistemlerin SER başarımı.



Şekil 3: Önerilen SSK sistemler ile YS-SSK ve YS-MPSK sistemlerin SER başarımının karşılaştırılması.

çok atlamalı yol seçimli SSK (YS-SSK) ve [8]'de önerilen çok atlamalı yol seçimli M -PSK (YS-MPSK) sistemine ait SER sonuçları ilgili şekillerde verilmektedir.

Şekil 2'de önerilen çok atlamalı kısmi röle seçimli SSK sistemlerinin SER başarım eğrileri görülmektedir. Şekil 2 (a) ve Şekil 2 (b)'de verilen eğriler, sırasıyla RST-I ve RST-II sistemlerine ait olup, $N_s = 2$, $T = 4$, $N_r = 4$ ve $L \in \{1, 2, 3\}$ için elde edilmiştir. Şekil 2'den görüldüğü üzere, her iki sistem için de kuramsal ve asimptotik sonuçlar benzetim sonuçlarıyla oldukça uyumludur. Her iki sistem için de röle sayısı arttıkça sistem başarımı iyileşmektedir. Ancak, Şekil 2 (a)'dan görüldüğü üzere RST-I için her atlamadaki röle sayısını arttırmak sistem başarımını arttırmasına rağmen çeşitleme kazancı sağlamamaktadır. Şekil 2 (b)'den görüldüğü üzere, röle sayısının artırılması sisteme çeşitleme kazancı getirerek sistem başarımını önemli oranda iyileştirmektedir.

Şekil 3'te önerilen kısmi röle seçimli sistemler (RST-I ve RST-II), yol seçimi yapılan YS-SSK ve YS-MPSK sistemler ile karşılaştırılmaktadır. Önerilen sistemlerden farklı olarak, YS-SSK ve YS-MPSK sistemlerinde L adet yoldan bir tanesi seçilir ve K ile H seçilen yolun T adet rölesi üzerinden haberleşir. YS-SSK sistemde K 'dan ve her röleden SSK, YS-MPSK

sistemden K 'dan ve her röleden M -PSK işaret gönderilir. Şekil 3 (a)'daki eğriler $N_s = 2$, $T = 3$, $N_r = 3$ ve $L = 4$ için; Şekil 3 (b)'deki eğriler ise $N_s, M \in \{4, 8\}$, $T = 3$, $N_r = 4$, ve $L = 4$ için verilmiştir. Şekil 3 (a) ve Şekil 3 (b)'den görüldüğü üzere, (7) ve (9)'de verilen yaklaşık SEP ifadesi benzetim sonuçları ile uyumludur ve YS-SSK sistem RST-I uygulanan sistemden daha iyi SER başarımı sağlamasına rağmen, RST-II uygulanan sistem diğer iki sistemden (YS-SSK, RST-I) de daha iyi SER başarımı sağlamaktadır. Öte yandan, Şekil 3 (b)'den görüldüğü üzere, önerilen RST-II sistemin YS-MPSK sisteme karşı üstünlüğü veri hızı arttıkça ortaya çıkmaktadır. $N_s = M = 4$ için YS-MPSK sistemi RST-II uygulanan sistemden yaklaşık 0.9 dB daha iyi SER başarımı sağlamasına rağmen, $N_s = M = 8$ için RST-II uygulanan sistem YS-MPSK sisteminden yaklaşık 2.5 dB daha iyi SER başarımı sağlamaktadır. Elde edilen bu sonuçlar, SSK tekniğinin çok sayıda alıcı/verici anten ve atlama içerebilecek olan gelecek nesil iletişim sistemleri için güçlü bir aday olduğunu ve RST-II'nin de bu sistemlerin hata başarımını iyileştirmek için önemli bir teknik olduğunu göstermektedir.

V. SONUÇLAR

Bu çalışmada, çok atlamalı SSK sistemine ilişkin yaklaşık ve asimptotik SEP ifadeleri iki farklı kısmi röle seçimi için kapalı formda elde edilmiştir. Önerilen çok atlamalı röle seçimli yapının (RST-II), klasik çok atlamalı SSK yapısından ve çok atlamalı yol seçimli SSK yapısından daha iyi hata başarımı sağladığı gösterilmiştir. Öte yandan, önerilen sistemin yeterince yüksek veri hızları ve alıcı anten sayıları için, çok atlamalı röle seçimli M -PSK sisteminden daha iyi hata başarımı sağladığı gösterilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] R. Y. Mesleh, H. Haas, S. Sinanovic, C. W. Ahn, and S. Yun, "Spatial modulation," *IEEE Trans. Veh. Tech.*, vol. 57, no. 4, pp. 2228–2241, Jul. 2008.
- [2] J. Jeganathan, A. Ghrayeb, L. Szczecinski, and A. Ceron, "Space shift keying modulation for MIMO channels," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 8, no. 7, pp. 3692–3703, July 2009.
- [3] E. Basar, "Index modulation techniques for 5G wireless networks," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 54, no. 7, pp. 168–175, July 2016.
- [4] R. Mesleh, S. S. Ikki, E.-H. M. Aggoune, and A. Mansour, "Performance analysis of space shift keying (ssk) modulation with multiple cooperative relays," *EURASIP J. Adv. Signal Process.*, vol. 2012, no. 1, pp. 201–210, Sep. 2012.
- [5] F. Yarkin, I. Altunbas, and E. Basar, "Source transmit antenna selection for space shift keying with cooperative relays," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 21, no. 5, pp. 1211–1214, May 2017.
- [6] P. Som and A. Chockalingam, "Performance analysis of space-shift keying in decode-and-forward multihop mimo networks," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 64, no. 1, pp. 132–146, Jan. 2015.
- [7] F. Yarkin, I. Altunbas, and E. Basar, "Multi-hop space shift keying with path selection," in *2017 Adv. Wireless Optic. Commun. (RTUWO)*, Nov. 2017, pp. 40–44.
- [8] M. R. Bhatnagar, R. K. Mallik, and O. Tirkkonen, "Performance evaluation of best-path selection in a multihop decode-and-forward cooperative system," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 65, no. 4, pp. 2722–2728, Apr. 2016.
- [9] H. David and H. Nagaraja, *Order Statistics*. Wiley, 2004.
- [10] A. Goldsmith, *Wireless Communications*. New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2005.
- [11] S. Verdu, *Multuser Detection*. Cambridge, U.K.: Cambridge Univ. Press, 1998.
- [12] Z. Wang and G. B. Giannakis, "A simple and general parameterization quantifying performance in fading channels," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 51, no. 8, pp. 1389–1398, Aug. 2003.