

Alternatif Rician sönümlenmesi için genelleştirilmiş Gauss gürültüsünün hata analizi

Error analyse of generalized Gaussian noise for alternate Rician fading

Mehmet Bilim^{1,*} 

¹ Nuh Naci Yazgan Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 38090, Kayseri Türkiye

Özet

Bu çalışmada bir tek-giriş tek-çıkışlı sistemin alternatif Rician sönümlenmesi durumunda genelleştirilmiş Gauss gürültüsü ile birlikte hata olasılığı analizi sunulmaktadır. Yapılan analizlerde olasılık yoğunluk fonksiyonu temelli yaklaşım kullanılmıştır. Önerilen analitik ifadelerin, literatürdeki matematiksel çalışmalarda gibi asimptotik analiz de sunulmuştur. Bu sayede ele alınan sistem modelinin orta ve yüksek ortalama işaret gürültü oranı şartlarındaki davranışları gösterilmiştir. Yapılan performans çalışmalarında farklı modülasyon türlerinin, gölgeleme parametre değerlerinin, Rician faktörü değerlerinin ve gürültü tiplerinin etkileri gözlemlenmiştir. Son olarak, yapılan analitik çalışmaların doğruluğu tam nümerik simülasyon sonuçları ile kıyaslanarak onaylanmıştır.

Anahtar kelimeler: Alternatif Rician sönümlenmesi, Genelleştirilmiş Gauss gürültüsü, Hata olasılığı analizi

Abstract

In this study, error probability analysis of a single-input single-output system with generalized Gaussian noise over alternative Rician fading channels is presented. The proposed analytical study is based on the probability density function approach. In addition to the proposed analytical expressions, asymptotic analysis is also presented, as in mathematical studies in the literature. In this way, the behavior of the considered system model in medium and high average signal to noise ratio conditions is shown. In the error performance studies, the effects of different modulation types, shadowing parameter values, Rician factor values, and noise types are observed. Finally, the accuracy of the analytical studies performed was confirmed by comparing it with the exact numerical simulation results.

Keywords: Alternate Rician fading, Generalized Gaussian noise, Error probability analysis

1 Giriş

Kablosuz haberleşme sistemlerinde sönümlenme ve gürültü etkisi çok önemli bir yere sahiptir. İletilmek istenilen işaretin sönümlenmeye ve gürültüye maruz kalması kaçınılmazdır. Bu nedenle, kablosuz ortamlar için çeşitli deneysel ölçümler yapılarak kanal ortamının anlık işaret gürültü oranına (signal noise ratio, SNR) bağlı temel istatistikî formülasyonlar geliştirilmiştir [1]. Önerilen matematiksel modeller sayesinde kablosuz ortamlarının gerçek tasarımları yapılmadan teorik hesaplamaları ve simülasyon çalışmaları kolaylıkla yapılabilmekte, maliyet açısından oldukça verimli çalışmalar oluşturulabilmektedir. Böylelikle, gerçek uygulamalar yapılmadan önce tasarlanan sistemlerin performansları ölçülebilmektedir. Önerilen kanal modelleri incelendiğinde genel olarak bina-dışı ortamları ele alan ve gölgeleme etkisini de barındıran gölgelemeli Rician sönümlenmesi dikkati çekmektedir. Bu amaçla, gölgelemeli Rician sönümlenmesinde çeşitli sistem modellerini analiz eden çalışmalar [2-9]’da sunulmaktadır

Gölgelemeli Rician sönümlenmesine ait anlık SNR’nin birikimli dağılım fonksiyonu (cumulative distribution function, CDF) ifadesi için kapalı formda bazı yeni türetmeler [2]’de sunulmaktadır. Yapılan türetimler sonucunda elde edilen CDF ifadesini kullanarak servis-dışı kalma analizi de bir uygulama olarak aynı çalışmada yer almaktadır. [3]’te verilen çalışmada ise gölgelemeli Rician sönümlenmesi göz önünde bulundurularak, en büyük oranlı birleştirme (maximal ratio combining, MRC) tekniği için hata ifadesi anlık SNR’nin olasılık yoğunluk fonksiyonunu

(probability density function, PDF) temel olarak önerilmiştir. Öte yandan, [4]’teki çalışmada da MRC tekniği ile anlık SNR’nin CDF’si için yeni bir önerme yapılmış ve servis-dışı kalma analizi sunulmuştur. [5]’te ise uydu haberleşmesi için gölgelemeli Rician sönümlenmesinin uygunluğu araştırılmış, bir uydu rölesine sahip iki atlamalı sistem analizi gerçekleştirilmiştir. Ele alınan sistemde alıcı ve vericide çoklu anten yapısının olduğu, kanal durum bilgisinin bilinip bilinmediği durumları ayrı ayrı inceleyerek hem servis-dışı kalma analizi hem de ortalama hata analizleri yapılmıştır. Bir diğer taraftan ise [6]’daki çalışmada, çok-girişli çok-çıkışlı (multiple-input multiple-output, MIMO) kanalların gölgelemeli Rician sönümlenmesine uyarlaması gerçekleştirilmiştir. Bu sayede kanal etkisinin MIMO durumlarındaki tepkileri detaylı olarak sunulmuştur. [7]’de verilen çalışmada ise gölgelemeli Rician sönümlenmesi için iki değişkenli (bivariate) durum analizi yapılmış ve iki değişkenli gölgelemeli Rician sönümlenmesi ilk kez bu çalışmada ortaya atılmıştır. Yapılan çalışmalardan [8]’de ise gölgeleme etkisinin artırılması ile iki gölgelemeli (double shadowed) Rician kanal modeli önerilmiştir. Önerilen modelin anlık SNR’sinin CDF ifadesinden faydalanarak servis-dışı kalma analizi gerçekleştirilmiştir. Bir diğer çalışma olan [9], kablosuz bağlantılı haberleşme (wireless powered communications) tekniğini gölgelemeli Rician sönümlenmesinde gerçekleştirmiştir. Bu [2-9] çalışmalarında ele alınan gölgelemeli Rician sönümlenmesi için kullanılan matematiksel ifadelerin pek de kullanışlı olmadığı [10-13]’te verilen çalışmalarda detaylıca izah edilmiştir. Bu nedenle, [10-13]’te farklı matematiksel

* Sorumlu yazar / Corresponding author, e-posta / e-mail: mbilim@nny.edu.tr (M. Bilim)

Geliş / Received: 07.07.2020 Kabul / Accepted: 01.12.2020 Yayınlanma / Published: 15.01.2021

doi: 10.28948/ngumuh.765657

modellerin önerildiği görülmektedir. Bu çalışmalardan [13]'te önerilen ve alternatif Rician sönümlenmesi diye adlandırılan matematiksel modelin esnekliği ve gölgeleme etkisinin yanısıra vücut merkezli haberleşme modellenmesinde de oldukça başarılı olduğu detaylıca gösterilmiştir. Buna ilaveten aynı çalışmada, servis-dışı kalma, hata ve ergodik kapasite analizleri verilmiştir. [14] ve [15]'teki çalışmalarda ise efektif kanal kapasitesi ifadesi ve farklı karasel genlik modülasyonu ifadeleri alternatif Rician sönümlü kanal modelleri için türetilmiştir. Yapılan bütün çalışmalarda [2-15] gürültünün eklenebilir beyaz Gauss gürültüsü (additive White Gaussian noise, AWGN) olduğu tespit edilmiştir. Oysaki bu gürültünün sensör ağları, spektrum algılama ve su altı haberleşmesi gibi sistemler için gürültüyü doğru ve yeterli olarak tanımlamadığı bilinmektedir [16-18]. Bunun için geliştirilmiş AWGN (AWGGN) gürültüsünün daha uygun olduğu yine aynı çalışmalarda belirtilmektedir.

Bütün bu açıklamalar doğrultusunda bu çalışmada, alternatif Rician sönümlenmesi için AWGGN etkisinde tek-girişli tek-çıkışlı (single-input single-output, SISO) bir sistemin performans analizi yapılmıştır. Yapılan analizde anlık SNR'nin PDF ifadesinden faydalanarak hata ifadeleri türetilmiştir. AWGGN etkisi için koşullu hata ifadesinin analitik çözüme müsaade etmemesinden dolayı literatürde sıklıkla kullanılan yaklaşıklık yöntemi uygulanmıştır. Performans analizleri gerçekleştirilirken farklı modülasyon türleri, alternatif Rician parametrelerinin alındığı durumlar gibi çeşitli senaryolar gözetilmiştir.

2 Sistem ve kanal modeli

Bu çalışmada tipik bir SISO iletimi gözönüne alındığından alınan sinyal şu şekilde tanımlanmaktadır:

$$r = hx + z \quad (1)$$

Burada r alınan sinyali, x iletilen sinyali, h kanal katsayısını ve z ise 0 ortalamalı ve σ^2 varyansına sahip AWGGN gürültüsünü belirtmektedir. Ele alınan sistem modeli için h alternatif Rician sönümlenme dağılımına sahip olduğu varsayılmıştır. [13]'teki çalışmada bu kanal modelinin matematiksel kullanımının kolaylığından ve bu sayede teorik analizlere imkan sağlayabileceğinden detaylıca bahsedilmiştir.

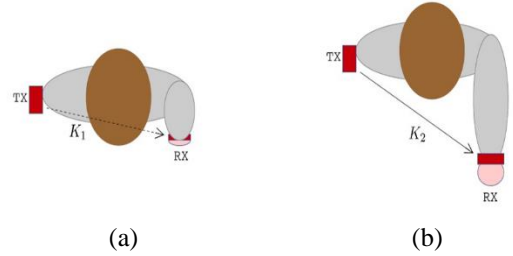
Ele alınan SISO sistemin iletim yapmış olduğu kanal daha öncede belirtildiği gibi alternatif Rician sönümlenmesi olarak düşünülmüştür. Buna göre alıcıdaki anlık SNR'nin, γ , PDF ifadesi şu şekildedir [13]:

$$f_{\gamma}(\gamma) = p \sum_{n=0}^{m-1} \binom{m-1}{n} \left[\frac{m}{K_1+m} \right]^n \left[\frac{K_1}{K_1+m} \right]^{m-n-1} \frac{(m-n)^{m-n}}{\left(\left[\frac{K_1+m}{m(1+\bar{K})} \right] \bar{\gamma} \right)^{m-n}} \gamma^{m-n-1} \exp(-a_1 \gamma) \Gamma(m-n) \\ + q \sum_{n=0}^{m-1} \binom{m-1}{n} \left[\frac{m}{K_2+m} \right]^n \left[\frac{K_2}{K_2+m} \right]^{m-n-1} \frac{(m-n)^{m-n}}{\left(\left[\frac{K_2+m}{m(1+\bar{K})} \right] \bar{\gamma} \right)^{m-n}} \gamma^{m-n-1} \exp(-a_2 \gamma) \Gamma(m-n) \quad (2)$$

Burada

$$\alpha_1 = \frac{m-n}{\left(\left[\frac{K_1+m}{m(1+\bar{K})} \right] \bar{\gamma} \right)^{m-n}}, \quad \alpha_2 = \frac{m-n}{\left(\left[\frac{K_2+m}{m(1+\bar{K})} \right] \bar{\gamma} \right)^{m-n}} \quad (3)$$

olarak tanımlanmaktadır. Burada p , gölgelemeli Rician sönümlenmesinin K_1 ve m parametrelerine sahip olma olasılığı; $q=1-p$, gölgelemeli Rician sönümlenmesinin K_2 ve m parametrelerine sahip olma olasılığı olarak tanımlanmaktadır. K_1 , birinci grup gölgelemeye ait Rician faktörü iken K_2 ikinci grup gölgelemeye ait Rician faktördür. m gölgeleme parametresini, $\bar{\gamma}$ ortalama SNR'yi temsil etmektedir. Ayrıca $\bar{K} = pK_1 + qK_2$ şeklindedir. Şekil 1'de p ve q olasılıkları ve bu durumda alıcı ile vericinin konumları temsili olarak gösterilmektedir.



Şekil 1. (a) p olasılığındaki senaryo (alıcı-vericinin birbirine göre konumları), (b) q olasılığındaki senaryo (alıcı-vericinin birbirine göre konumları) [13]

3 Hata olasılığı analizi

Alıcıdaki anlık SNR'nin PDF'sini temel alan genel hata formülü

$$P_{hata} = \int_0^{\infty} P(e|\gamma) f_{\gamma}(\gamma) d\gamma \quad (4)$$

olarak belirtilmektedir. Burada $P(e|\gamma)$ koşullu hata ifadesi ve $f_{\gamma}(\gamma)$ PDF ifadesidir. Ele alınan alternatif Rician sönümlenmesi için PDF ifadesi Denklem (2)'de verildiği gibidir. AWGGN için koşullu hata ifadesi ise

$$P(e|\gamma) = \beta Q_a(\sqrt{\phi\gamma}) \quad (5)$$

şeklindedir. $Q_a(\cdot)$ genelleştirilmiş Gauss fonksiyonudur ve

$$Q_a(t) = \frac{a\Lambda_0^{2/a}}{2\Gamma(1/a)} \int_t^{\infty} e^{-\Lambda_0 y^a} dy \quad (6)$$

olarak tanımlanmaktadır. Burada $\Gamma(\cdot)$ Gama fonksiyonudur. $\Lambda_0 = \sqrt{\Gamma(3/\Delta)/\Gamma(1/\Delta)}$ ve a ise gürültünün çeşidi belirleyen parametredir. a 'nın aldığı

değerlere göre gürültü çeşitleri **Tablo 1**'de verilmektedir. Ayrıca β ve ϕ modülasyon parametreleridir. Farklı modülasyon çeşitleri için bu parametrelerin alacağı değerler **Tablo 2**'de verilmektedir.

Tablo 1. a değerlerine göre gürültü çeşitleri [19]

a değeri	Gürültü Çeşidi
0	Dürtüsel
0.5	Gama
1.0	Laplacian
2.0	Gauss
∞	Düzgün

Tablo 2. β ve ϕ değerlerine göre modülasyon çeşitleri

Modülasyon	β	ϕ
BFSK	1	1
BPSK	1	2
QPSK	2	1
M -PAM	$\frac{2(M-1)}{M}$	$\frac{6}{M^2-1}$
M -PSK	2	$2 \sin^2\left(\frac{\pi}{M}\right)$
Dikdörtgensel M -QAM	$\frac{4(\sqrt{M}-1)}{\sqrt{M}}$	$\frac{3}{M-1}$
Dikdörtgensel olmayan M -QAM	4	$\frac{3}{M-1}$

Denklem (5)'deki koşullu hata ifadesi ile **Denklem (2)**'de verilen ele alınan sistemin anlık SNR'sinin PDF ifadesi **Denklem (4)**'te yerine konulursa

Tablo 3. a değerlerine göre κ_k ve ν_k alacağı değerler

a	κ_1	κ_2	κ_3	κ_4	ν_1	ν_2	ν_3	ν_4
0.5	44.920	126.460	389.400	96.540	0.130	2.311	12.520	0.629
1	0.068	0.202	0.182	0.255	0.217	2.185	0.657	12.640
1.5	0.065	0.149	0.136	0.125	0.341	0.712	10.570	1.945
2	0.099	0.157	0.124	0.119	1.981	0.534	0.852	10.268
2.5	0.126	1.104	-1.125	0.442	9.395	0.833	0.994	1.292

$$P_{hata} = \int_0^{\infty} \beta Q_a(\sqrt{\phi\gamma}) \left[p \sum_{n=0}^{m-1} \binom{m-1}{n} \left[\frac{m}{K_1+m} \right]^n \left[\frac{K_1}{K_1+m} \right]^{m-n-1} \frac{(m-n)^{m-n}}{\left(\left[\frac{K_1+m}{m(1+\bar{K})} \right] \bar{\gamma}(m-n) \right)^{m-n} \Gamma(m-n)} \gamma^{m-n-1} \exp(-a_1\gamma) + q \sum_{n=0}^{m-1} \binom{m-1}{n} \left[\frac{m}{K_2+m} \right]^n \left[\frac{K_2}{K_2+m} \right]^{m-n-1} \frac{(m-n)^{m-n}}{\left(\left[\frac{K_2+m}{m(1+\bar{K})} \right] \bar{\gamma}(m-n) \right)^{m-n} \Gamma(m-n)} \gamma^{m-n-1} \exp(-a_2\gamma) \right] d\gamma \quad (7)$$

elde edilir. Burada verilen ifade, bilindiği kadarıyla, matematiksel olarak çözülememektedir. Bu sebeple **Denklem (5)**'te verilen koşullu hata ifadesinin yaklaşıklık ifadesi kullanılacaktır. Buna göre **Denklem (5)** ile verilen ifade, [19]'da verilen yaklaşıklık kullanılarak

$$P(e|\gamma) = \beta Q_a(\sqrt{\phi\gamma}) \approx \beta \sum_{k=1}^4 \kappa_k e^{-\nu_k \phi \gamma} \quad (8)$$

şeklinde elde edilir. Burada κ_k ve ν_k yaklaşıklığın parametreleridir ve **Tablo 3**'te alacağı değerler verilmektedir. Ayrıca **Denklem (8)**'de verilen yaklaşıklığın göreceli mutlak hata grafiği ise [19], (**Şekil 2**)'de verildiği gibidir. Bu şekil incelendiğinde, **Denklem (8)**'de önerilen yaklaşıklığın göreceli mutlak hatalarının farklı a değerlerine göre değiştiği görülmektedir. **Denklem (8)**'deki yaklaşıklık **Denklem (7)**'de yerine konur ve bazı matematiksel düzenlemeler yapılırsa **Denklem (9)** elde edilir. Burada I_1 ve I_2 olarak adlandırılan ve aynı formatta olan iki tane integral bulunmaktadır. Bu integraller [20, **Denklem (3.381.4)**] bağıntısı yardımıyla çözümlenerek yerine yazılırsa

$$P_{hata} \approx \beta p \sum_{n=0}^{m-1} \binom{m-1}{n} \left[\frac{m}{K_1+m} \right]^n \left[\frac{K_1}{K_1+m} \right]^{m-n-1} \frac{(m-n)^{m-n}}{\left(\left[\frac{K_1+m}{m(1+\bar{K})} \right] \bar{\gamma}(m-n) \right)^{m-n} \Gamma(m-n)} \sum_{k=1}^4 \kappa_k \int_0^{\infty} \underbrace{e^{-\gamma(\nu_k \phi + a_1)} \gamma^{m-n-1} d\gamma}_{I_1} + \beta q \sum_{n=0}^{m-1} \binom{m-1}{n} \left[\frac{m}{K_2+m} \right]^n \left[\frac{K_2}{K_2+m} \right]^{m-n-1} \frac{(m-n)^{m-n}}{\left(\left[\frac{K_2+m}{m(1+\bar{K})} \right] \bar{\gamma}(m-n) \right)^{m-n} \Gamma(m-n)} \sum_{k=1}^4 \kappa_k \int_0^{\infty} \underbrace{e^{-\gamma(\nu_k \phi + a_2)} \gamma^{m-n-1} d\gamma}_{I_2} \quad (9)$$

$$\begin{aligned}
 P_{hata} \approx & \beta p \sum_{n=0}^{m-1} \binom{m-1}{n} \left[\frac{m}{K_1+m} \right]^n \left[\frac{K_1}{K_1+m} \right]^{m-n-1} \frac{(m-n)^{m-n}}{\left(\left[\frac{K_1+m}{m(1+\bar{K})} \right] \bar{\gamma}(m-n) \right)^{m-n} \Gamma(m-n)} \sum_{k=1}^4 \kappa_k (v_k \phi + \alpha_1)^{-(m-n)} \Gamma(m-n) \\
 & + \beta q \sum_{n=0}^{m-1} \binom{m-1}{n} \left[\frac{m}{K_2+m} \right]^n \left[\frac{K_2}{K_2+m} \right]^{m-n-1} \frac{(m-n)^{m-n}}{\left(\left[\frac{K_2+m}{m(1+\bar{K})} \right] \bar{\gamma}(m-n) \right)^{m-n} \Gamma(m-n)} \sum_{k=1}^4 \kappa_k (v_k \phi + \alpha_2)^{-(m-n)} \Gamma(m-n)
 \end{aligned} \tag{10}$$

olarak bulunur. Bu ifade kullanılarak sistemin yüksek SNR'deki davranışını incelemek için asimptotik yaklaşım yapılabilir. Bu sebeple, $\bar{\gamma} \rightarrow \infty$ iken $\alpha_1 \rightarrow 0$ ve $\alpha_2 \rightarrow 0$

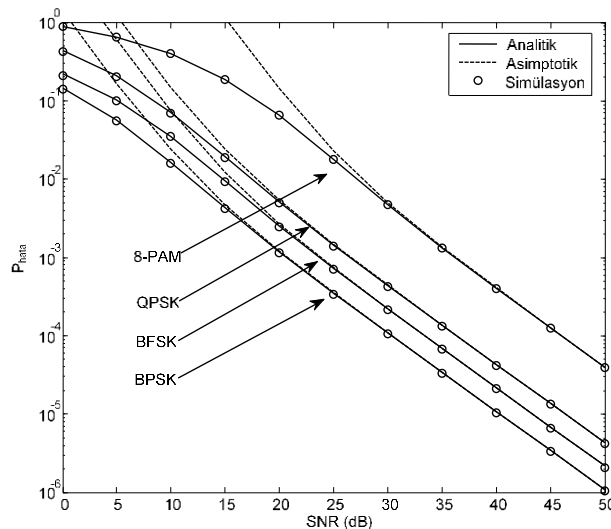
olmaktadır. Buna göre [Denklem \(10\)](#)'daki ifade şu şekle dönüşmektedir:

$$\begin{aligned}
 P_{hata}^\infty \approx & \beta p \sum_{n=0}^{m-1} \binom{m-1}{n} \left[\frac{m}{K_1+m} \right]^n \left[\frac{K_1}{K_1+m} \right]^{m-n-1} \frac{(m-n)^{m-n}}{\left(\left[\frac{K_1+m}{m(1+\bar{K})} \right] \bar{\gamma}(m-n) \right)^{m-n} \Gamma(m-n)} \sum_{k=1}^4 \kappa_k (v_k \phi)^{-(m-n)} \Gamma(m-n) \\
 & + \beta q \sum_{n=0}^{m-1} \binom{m-1}{n} \left[\frac{m}{K_2+m} \right]^n \left[\frac{K_2}{K_2+m} \right]^{m-n-1} \frac{(m-n)^{m-n}}{\left(\left[\frac{K_2+m}{m(1+\bar{K})} \right] \bar{\gamma}(m-n) \right)^{m-n} \Gamma(m-n)} \sum_{k=1}^4 \kappa_k (v_k \phi)^{-(m-n)} \Gamma(m-n)
 \end{aligned} \tag{11}$$

4 Nümerik sonuçlar

Bu bölümde analiz sonucunda elde edilen [Denklem \(10\)](#)'daki yaklaşık hata ile [Denklem \(11\)](#)'deki asimptotik ifadeler yardımıyla teorik sonuçlar elde edilmiştir. Buna ilaveten, tam nümerik (simülasyon) sonuçları verilerek yapılan analizlerin doğruluğu gösterilmiştir. [Şekil 2](#)'de Laplacian gürültüsü koşullarında, $m=2$, $K_1 = K_2 = 10$ ve $p = q = 0.5$ iken farklı modülasyon seviyeleri için hata performansı değerlendirmeleri sunulmuştur. Sunulan sonuçlarda, 8'li darbe genlik modülasyonu (pulse amplitude

modulation, PAM), faz kaydırmalı anahtarlama (phase shift keying, PSK) ve frekans kaydırmalı anahtarlama (frequency shift keying, FSK) modülasyon türleri kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, en iyi hata performansının beklenildiği gibi ikili PSK (binary PSK) ile elde edildiği, buna karşın en kötü performansın ise 8-PAM ile meydana geldiği görülmektedir. Buna ilaveten, elde edilen asimptotik sonuçlarının literatüre uygun bir şekilde orta SNR seviyesinden sonra analitik ve simülasyon sonuçları ile uyum sağladığı gözlemlenmektedir.

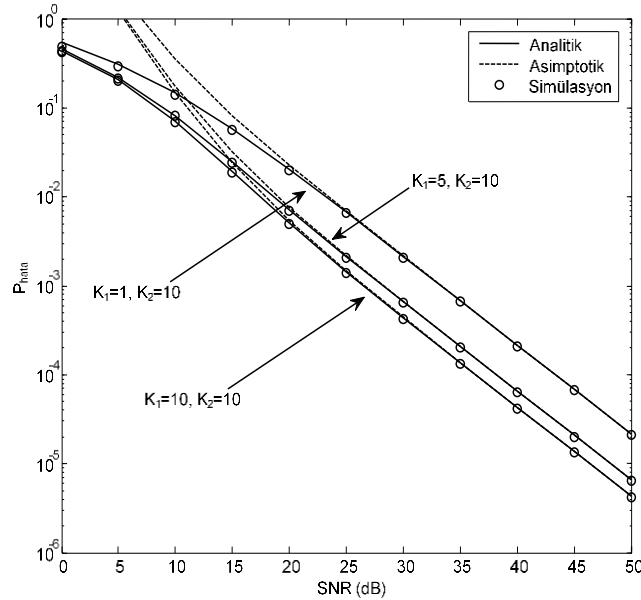


Şekil 2. Farklı modülasyon türleri için hata performansı kıyaslaması

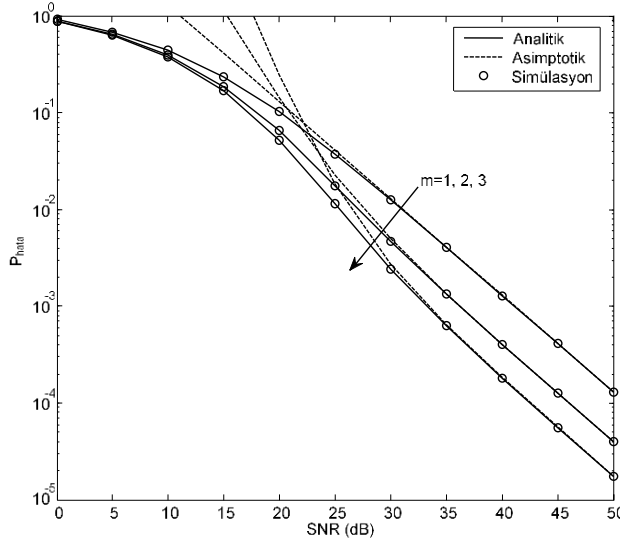
QPSK modülasyonu kullanan sistemin Laplacian gürültü koşullarında, $m=2$, $p=q=0.5$ iken farklı K_1 ve K_2 konfigürasyonları için elde edilen hata sonuçları Şekil 3'te verilmektedir. Burada 3 farklı konfigürasyon irdelenmiştir. Bunlar; $K_1=1$ $K_2=10$, $K_1=5$ $K_2=10$ ve $K_1=10$ $K_2=10$ şeklindedir. Görüldüğü üzere, K_1 değeri arttıkça hata performansı artmaktadır. Bunun da sebebi, sistemdeki ilk direk görüş hattı (line of sight, LOS) bileşenin etkisinin artmasından dolayı kanal koşulları iyileşmekte bununla birlikte hata performansı artmaktadır. Bu sonuçlarda da görülmektedir ki, sunulan analitik sonuçlar ile simülasyonlar iyi bir şekilde örtüşmektedir. Bu da yapılan analizin doğrulunu ispatlamaktadır.

Öte yandan m gölgeleme parametresinin değerinde yapılan değişimlerin hata performansına olan etkisi Şekil

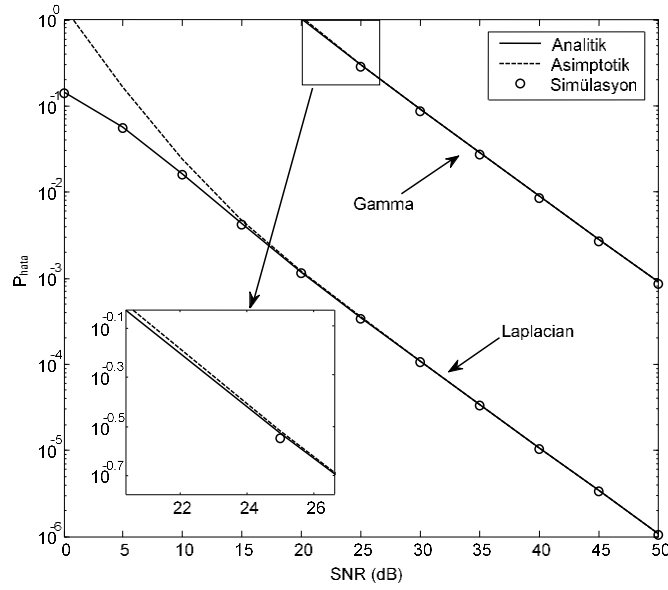
4'te sunulmuştur. Burada ise, yine Laplacian gürültüsü koşullarında, $K_1=K_2=10$, $p=q=0.5$ ve 8-PAM modülasyonu kullanılmıştır. Gölgeleme parametresinin değeri arttıkça ele alınan kanalın matematiksel modeline göre gölgeleme etkisi azalmaktadır. Diğer bir ifade ile kanal koşulları sinyal iletimi için daha uygun hale gelmektedir. Bu duruma göre, m değerinin artması hata performansını olumlu olarak etkilemekte ve daha iyi sonuçların elde edilmesine sebep olmaktadır. Sayısal bir örnek ile bu durumu açıklarsak: bu senaryoda 10^{-3} 'lük bir hata performansı için $m=1$ iken yaklaşık 40 dB gerekli, $m=3$ iken yaklaşık 32 dB gerekli olmaktadır. Bu da m gölgeleme parametresinin değerinin 1'den 3'e geçtiğinde 10^{-3} 'lük bir hata performansı için yaklaşık 8 dB'lik bir kazanç sağladığını göstermektedir.



Şekil 3. Farklı K_1 ve K_2 konfigürasyonları için hata performansı kıyaslaması



Şekil 4. Farklı gölgeleme parametre değerleri için hata performansı kıyaslaması



Şekil 5. Farklı gürültü türleri için hata performansı kıyaslaması

Şekil 2, 3 ve 4'te verilen sonuçların hepsinde Laplacian gürültü koşulları düşünülmektedir. Oysaki Şekil 5'te verilen sonuçlarda farklı iki gürültü tipinin kıyaslaması verilmektedir. $K_1 = K_2 = 10$, $p = q = 0.5$, $m=2$ ve BPSK modülasyonu kullanıldığında Gama ve Laplacian gürültülerinin hata performanslarına olan etkisi Şekil 5'te sunulmuştur. Bu sonuçlarda da yine sunulan analitik ve asimptotik sonuçların simülasyonlarla uyum içerisinde olduğu dikkati çekmektedir. Buna ilaveten, Gama gürültü koşullarının Laplacian gürültü koşullarına göre hata performansı açısından sistemi oldukça olumsuz etkilediği açıkça görülmektedir.

5 Sonuçlar

Bu çalışmada, SISO bir sistemin alternatif Rician sönümlenmesinde geliştirilmiş Gauss gürültüsü için hata performansı araştırılmıştır. Performans analizleri gerçekleştirilirken ele alınan kanal modelinin PDF ifadesinden faydalanılmıştır. Gerçekleştirilen analizlerde matematiksel çözümleme için geliştirilmiş Gauss fonksiyonuna üstel terimlerin toplamı şeklinde olan bir yaklaşım kullanılmıştır. Buna ilaveten yapılan analitik ifadeleri kolaylaştırmak için asimptotik analiz de sunulmuştur. Yapılan analizlerin geçerliliğini göstermek için farklı farklı senaryolar oluşturulmuş, hata performans değişimleri gösterilmiştir. Ayrıca bu senaryolarda farklı modülasyon, gürültü, gölgeleme ve konfigürasyonlar ele alınarak literatüre uygun bir şekilde hata performansının değiştiği gösterilmiştir. Son olarak, yapılan analizlerin doğruluğunun gösterilmesi için simülasyon sonuçları ile kıyaslamalı olarak tüm senaryolar sunulmuştur. Bütün sonuçlarda, simülasyonlar ile elde edilen analitik ifadelerin kullanıldığı analitik ve asimptotik sonuçların iyi bir uyum gösterdiği gözlemlenmiştir.

Çıkar çatışması

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Benzerlik oranı (iThenticate): % 14

Kaynaklar

- [1] M. K. Simon and M-S. Alouini, Digital Communication Over Fading Channels, 2nd ed. Hoboken, New Jersey, USA: IEEE: John Wiley & Sons, Inc., 2005.
- [2] J. F. Paris, Closed-form expressions for Rician shadowed cumulative distribution function. IET Electronics Letters, 46 (13), 952-3, 2010.
- [3] M. R. Bhatnagar and A. M.K., On the closed-form performance analysis of maximal ratio combining in shadowed-Rician fading LMS channels, IEEE Communications Letters, 18 (1), 54-7, 2014. <https://doi.org/10.1109/lcomm.2013.111313.131963>
- [4] M. C. Clemente and J. F. Paris, Closed-form statistics for sum of squared Rician shadowed variates and its application, IET Electronics Letters, 50 (2), 120-1, 2014.
- [5] N. I. Miridakis, D. D. Vergados and A. Michalas, Dual-hop communication over a satellite relay and shadowed Rician channels, IEEE Transactions on Vehicular Technology, 64 (9), 4031-40, 2015. <https://doi.org/10.1109/TVT.2014.2361832>
- [6] L. Moreno-Pozas and E. Martos-Naya, On some unifications arising from the MIMO Rician shadowed model, IEEE 83rd Vehicular Technology Conference (VTC Spring), Nanjing, pp. 1-5, 2016. <https://doi.org/10.1109/VTCSpring.2016.7504374>
- [7] J. Lopez-Fernandez, J. F. Paris and E. Martos-Naya, Bivariate Rician shadowed fading model, IEEE Transactions on Vehicular Technology, 67 (1), 378-84, 2018. <https://doi.org/10.1109/TVT.2017.2744800>
- [8] N. Simmons, C. R. N. da Silva, S. L. Cotton, P. C. Sofotasios and M. D. Yacoub, Double shadowing the Rician fading model, IEEE Wireless Communications

- Letters, 8 (2), 344-7, 2019. <https://doi.org/10.1109/LWC.2018.2871677>
- [9] F. J. Lopez-Martinez, L. Moreno-Pozas, U. Fernandez-Plazaola, J. F. Paris, E. Martos-Naya and J. M. Romero-Jerez, A tractable line-of-sight product channel model: application to wireless powered communications, 15th International Symposium on Wireless Communication Systems (ISWCS), Lisbon, pp. 1-5, 2018. <https://doi.org/10.1109/ISWCS.2018.8491254>
- [10] S. L. Cotton, A statistical model for shadowed body-centric communications channels: theory and validation, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 62 (3), 1416-24, 2014. <https://doi.org/10.1109/TAP.2013.2295211>
- [11] T. Mavridis, L. Petrillo, J. Sarrazin, A. Benlarbi-Delaï and P. De Doncker, Near-body shadowing analysis at 60 GHz, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 63 (10), 4505-11, 2015. <https://doi.org/10.1109/TAP.2015.2456984>
- [12] S. K. Yoo, S. L. Cotton, P. C. Sofotasios and S. Freear, Shadowed Fading in indoor off-body communication channels: a statistical characterization using the κ - μ /Gamma composite fading model, IEEE Transactions on Wireless Communications, 15 (8), 5231-44, 2016. <https://doi.org/10.1109/TWC.2016.2555795>
- [13] U. F. Plazaola, J. L. Fernandez, J. F. Paris and E. M. Naya, A tractable fading channel model with two-sided bimodality, IEEE Access, 7, 99928-36, 2019. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2930811>
- [14] M. Bilim, Effective throughput of alternate rician shadowed fading links, IEEE Transactions on Electrical and Electronic Engineering, 15 (6), 928-30, 2020. <https://doi.org/10.1002/tee.23135>
- [15] M. Bilim, Different QAM schemes analyses for ARS fading channels, Transactions on Emerging Telecommunications Technologies, e4119, 2020. (Accepted for publication) <https://doi.org/10.1002/ett.4119>
- [16] H. Soury, F. Yilmaz and M. Alouini, Average bit error probability of binary coherent signaling over generalized fading channels subject to additive generalized Gaussian noise, IEEE Communications Letters, 16 (6), 785-8, 2012. <https://doi.org/10.1109/lcomm.2012.040912.112612>
- [17] O. S. Badarneh, Error rate analysis of M-ary phase shift keying in α - η - μ fading channels subject to additive Laplacian noise, IEEE Communications Letters, 19 (7), 1253-56, 2015. <https://doi.org/10.1109/lcomm.2015.2423277>
- [18] M. Bilim, Uplink communications with AWGGN over non-homogeneous fading channels, Physical Communication, 39, 101047, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.phycom.2020.101047>
- [19] E. Salahat and A. Hakam, Novel unified expressions for error rates and ergodic channel capacity analysis over generalized fading subject to AWGGN, 2014 IEEE Global Communications Conference, Austin, TX, pp. 3976-3982, 2014. <https://doi.org/10.1109/glocom.2014.7037429>
- [20] I. Gradshteyn and I. Ryzhik, Table of Integrals, Series and Products. 6th ed. New York, NY, USA: Academic, 2000.

