

Bir mmW SISO Sistemin Dalgalanmalı İki Işınlı Sönümlenmeye Sahip Kanallarda AWGGN Etkisindeki Performans Analizi

Mehmet Bilim

Nuh Naci Yazgan Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Kayseri, Türkiye
mbilim@nyy.edu.tr

Özet: Bu çalışmada, milimetrik dalga (millimeter-Wave, mmW) haberleşme sistemleri için önerilen dalgalanmalı iki ışınlı (fluctuating two-ray, FTR) sönümlenmeli bir kanalda tek-girişli tek-çıkışlı (single-input-single-output, SISO) sistemin hata analizi, toplanabilir beyaz genelleştirilmiş Gauss gürültüsü (additive white generalized Gaussian noise, AWGGN) etkisinde sunulmuştur. Buna ilaveten, türetilen yaklaşık hata ifadesinden faydalanarak asimptotik hata ifadeleri de önerilmiştir. Elde edilen ifadeler kullanılarak tam nümerik sonuçlarla kıyaslamalı bir şekilde farklı senaryolar verilmiş ve doğruluğu gösterilmiştir.

Abstract: In this study, error analysis of a millimeter-wave (mmW) single-input-single-output (SISO) communication system is proposed over fluctuating two-ray (FTR) fading channels with additive white generalized Gaussian noise (AWGGN). In addition, an asymptotic expression for the considered system model is derived. Using the obtained expressions, different scenarios are given in comparison with the exact numerical results and their accuracies are shown.

1. Giriş

Kablosuz haberleşmede yaşanan son gelişmelerle birlikte band genişliği kıtlığı önemli bir mesele olarak değerlendirilmektedir. Milimetrik dalga (millimeter-Wave, mmW) haberleşme tekniğinin bu meseleye çözüm getireceği birçok araştırmacı tarafından öngörülmektedir. Bu sebeple mmW haberleşme tekniği son dönemlerde oldukça popüler bir konu olmaya başlamıştır [1]-[5]. [4]'te sunulan çalışmada mmW haberleşmesi için dalgalanmalı iki ışınlı (fluctuating two-ray, FTR) sönümlenme diye adlandırılan yeni bir kanal modeli önerilmiştir. Sunulan matematiksel modelin doğruluğu çeşitli gerçek ölçümlerle aynı çalışmada gösterilmiştir. [4]'te önerilen kanal modelinin anlık işaret gürültü oranının (signal to noise ratio, SNR) olasılık yoğunluk fonksiyonu (probability density function, PDF) ifadesi matematiksel açıdan yüksek dereceden fonksiyonlar içerdiği için teorik analizlerde kullanıma elverişli değildir. Bu sebeple, bu olumsuz durumu vurgulayarak [5]'teki çalışmada, FTR kanal modelinin anlık SNR'sinin PDF'si temel ve basit fonksiyonlarla tekrardan türetilmiştir. Literatürde sunulan çalışmalarda hep toplanabilir beyaz Gauss gürültüsü (additive white Gaussian noise, AWGN) etkisi kullanılmıştır. Ancak birçok gerçek hayat senaryosu düşünüldüğünde AWGN gürültüsü uygun olamamakla birlikte farklı iletim ortamlarında genelleştirilmiş AWGN (AWGGN) gürültüsünün kullanımının daha uygun olacağı belirtilmektedir [6]. Bu sebeple, FTR kanal modelini temel alan mmW haberleşme sistemleri için AWGGN ile birlikte performans analizi literatürde henüz bulunmamaktadır. Bundan dolayı, bu çalışmada mmW haberleşme sistemleri için önerilen FTR kanal modelinin AWGGN etkisinde performans analizi teorik olarak yapılmıştır. Yapılan analizin doğruluğu ise tam nümerik sonuçlarla gösterilmiştir. Sunulan bu çalışma ile mmW haberleşme teknolojisi için literatürdeki bu boşluk doldurulmuştur.

2. Sistem ve Kanal Modeli

Ele alınan sistem modeli, geleneksel tek-girişli tek-çıkışlı (single-input-single-output, SISO) bir sistem modeli olup, alıcı ile verici arasındaki kanalın FTR tabanlı mmW haberleşme kanalı olduğu varsayılmıştır. FTR kanal modelinin küçük ölçekli 28 GHz'de bina-dışı ortamlarda yapılan ölçümlerde oldukça başarılı sonuçlar verdiği [4]'teki çalışmada izah edilmiştir. Daha öncede belirtildiği gibi bu çalışmada, matematiksel olarak teorik analizin yapılmasına imkan sağladığından [5]'te verilen anlık SNR'nin PDF ifadesi kullanılmıştır. Buna göre PDF ifadesi

$$f_{\gamma}(\gamma) = \frac{m^m}{\Gamma(m)} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{K^k \xi_k \gamma^k}{k! \Gamma(k+1) (2\sigma^2)^{k+1}} e^{-\frac{\gamma}{2\sigma^2}} \quad (1)$$

şekindedir. Burada, m , bir Nakagami- m rastgele değişkenini, $\Gamma(\cdot)$ Gama fonksiyonunu ve K , baskın dalgaların ortalama gücünün kalan dağınık çoklu yolun ortalama gücüne oranını tanımlamaktadır ve $K = (V_1^2 + V_2^2) / 2\sigma^2$ şeklindedir. V_1 ve V_2 iki adet yansıtıcı bileşendir. FTR kanal modeli için $\bar{\gamma}$ ortalama SNR'yi temsil etmekte ve

$\bar{\gamma} = (E_b / N_0) 2\sigma^2 (1 + K)$ olarak tanımlanmaktadır. Burada E_b bit başına enerjisi, N_0 gürültüyü ve σ^2 ise gürültünün varyansını belirtmektedir. Eşitlik (1)'deki ξ_k ifadesi ise

$$\xi_k = \sum_{h=0}^{\infty} \binom{k}{h} \left(\frac{\Delta}{2}\right)^h \sum_{s=0}^h \binom{h}{s} \Gamma(k+m+2s-h) e^{\frac{\pi(2s-h)i}{2}} \left((m+K)^2 - (K\Delta)^2\right)^{\frac{(k+m)}{2}} P_{k+m-1}^{h-2s} \left((m+K) / \sqrt{(m+K)^2 - (K\Delta)^2}\right) \quad (2)$$

şeklinde. $\Delta = (2V_1V_2) / (V_1^2 + V_2^2)$ olup, iki baskın dalganın gücü arasındaki ilişkiyi, $P_j^i(\cdot)$ ise birinci dereceden Legendre fonksiyonunu belirtmektedir [7, eşitlik (8.702)]. FTR kanal modeli, farklı m , Δ ve K değerleri ile birlikte Nakagami- m , Rayleigh, Rician ve gölgelemeli Rician gibi iyi bilinen sönümlenme modellerine dönüşebilme esnekliğine sahiptir.

3. Hata Analizi

Matematiksel olarak genel hata formülü

$$P_e = \int_0^{\infty} P(e|\gamma) f_{\gamma}(\gamma) d\gamma \quad (3)$$

şeklinde. Burada $f_{\gamma}(\gamma)$ ve $P(e|\gamma)$ olmak üzere iki tane bileşen bulunmaktadır. $f_{\gamma}(\gamma)$ bileşeni, alıcı taraftaki anlık SNR'nin PDF ifadesidir ve burada ele alınan FTR kanalındaki sistem modeli için eşitlik (1)'de verilmektedir. $P(e|\gamma)$ bileşeni ise sönümlü kanallar için koşullu olasılık ifadesidir ve AWGGN durumu için

$P(e|\gamma) = AQ_z(\sqrt{B\gamma})$ olarak tanımlanmaktadır. Burada, A ve B modülasyon parametreleridir. Örneğin ikili faz kaydırmalı anahtarlama (binary phase shift keying, BPSK) modülasyonu için $A=1$, $B=2$ veya dördün faz kaydırmalı anahtarlama (quadrature phase shift keying, QPSK) modülasyonu için $A=2$, $B=1$ 'dir. $Q_z(\cdot)$, genelleştirilmiş Gauss Q fonksiyonudur. z ise genelleştirme parametresidir, Bu parametre değiştiğinde gürültünün türü değişmektedir. Örneğin $z=1$ için Laplacian tipi gürültü, $z=0.5$ ise Gama tipi gürültü olmaktadır. (1) ve $P(e|\gamma) = AQ_z(\sqrt{B\gamma})$ ifadeleri, eşitlik (3)'te yerine konursa

$$P_e = \int_0^{\infty} \left[AQ_z(\sqrt{B\gamma}) \right] \frac{m^m}{\Gamma(m)} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{K^k \xi_k \gamma^k}{k! \Gamma(k+1) (2\sigma^2)^{k+1}} e^{-\frac{\gamma}{2\sigma^2}} d\gamma \quad (4)$$

elde edilir. Bu ifade, integral sabitinin genelleştirilmiş Gauss Q fonksiyonuna da bağlı olmasından dolayı çözülememektedir. Bu sebeple literatürde sıklıkla kullanılan yaklaşık çözüm metodu uygulanmıştır. $P(e|\gamma)$ ifadesinin iyi bir yaklaşıklığı [8]'deki çalışmada sunulmuştur ve

$$P(e|\gamma) \approx A \sum_{g=1}^4 \tau_g e^{-\varepsilon_g B \gamma} \quad (5)$$

şeklinde. Burada, τ_g ve ε_g yaklaşıklığın parametreleridir ve z 'nin aldığı değere göre değişmektedir. Bunun detaylı açıklaması ise [8, Tablo II]'de verilmektedir. Buna göre (5)'te verilen yaklaşıklık ifadesinden yararlanarak eşitlik (4) yeniden düzenlenirse

$$P_e \approx A \frac{m^m}{\Gamma(m)} \sum_{g=1}^4 \tau_g \sum_{k=0}^{\infty} \frac{K^k \xi_k}{k! \Gamma(k+1) (2\sigma^2)^{k+1}} \int_0^{\infty} \gamma^k e^{-\gamma \left(\frac{1}{2\sigma^2} + \varepsilon_g B \right)} d\gamma \quad (6)$$

elde edilir. Bu ifade ise [7, eşitlik (3.381.4)] ile çözümlerse

$$P_e \approx A \frac{m^m}{\Gamma(m)} \sum_{g=1}^4 \tau_g \sum_{k=0}^{\infty} \frac{K^k \xi_k}{k! (2\sigma^2)^{k+1}} \left(\frac{1}{2\sigma^2} + \varepsilon_g B \right)^{-(k+1)} \quad (7)$$

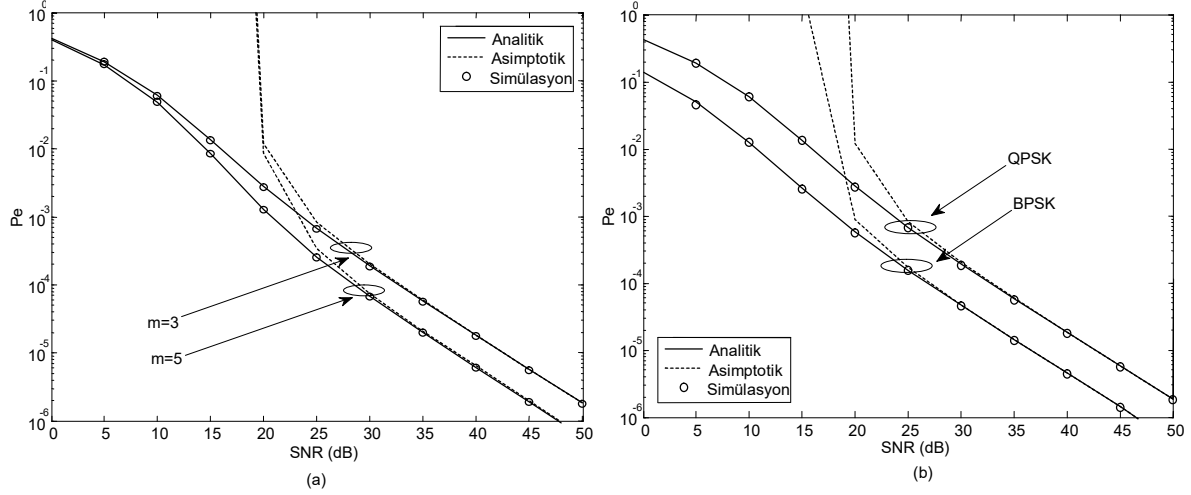
olarak AWGGN için FTR tabanlı mmW haberleşmesi yapan SISO bir sistemin hata ifadesi türetilmiş olunur. Ele alınan sistemin yüksek SNR'deki davranışını gözlemlemek için asimptotik ifade bulunabilir. Bunun için $\bar{\gamma} \rightarrow \infty$ iken $2\sigma^2 \rightarrow \infty$ olmakta ve eşitlik (7)

$$P_e^{\infty} = A \frac{m^m}{\Gamma(m)} \sum_{g=1}^4 \tau_g \sum_{k=0}^{\infty} \frac{K^k \xi_k}{k! (2\sigma^2)^{k+1}} (\varepsilon_g B)^{-(k+1)} \quad (8)$$

haline dönüşür. Böylelikle ele alınan sistem için asimptotik bir hata ifadesi de türetilmiştir.

4. Nümerik Sonuçlar

Şekil 1 (a)'da QPSK modülasyonu ($A=2, B=1$ olarak alınmış) kullanan SISO bir mmW sistemin Laplacian gürültü (gürültü tipini belirleyen z parametresi 1 alınmış) etkisinde ve $K=15 \Delta=0.5$ iken elde edilen hata eğrileri verilmiştir. Görüldüğü üzere, m parametresi arttıkça literatüre uygun bir şekilde performans iyileşmektedir. Analitik ile tam nümerik (simülasyon) sonuçlar birbiri ile uyum göstermektedir. Ayrıca asimptotik sonuçlar da beklenildiği gibi, ortalama SNR değeri arttıkça simülasyon ve analitik sonuçlara uyum sağlamaktadır. Aynı durum Şekil 1 (b) için de geçerlidir. Bu senaryoda ise ele alınan mmW SISO sistemi için Laplacian gürültü etkisinde ($z=1$) ve $m=3, K=15 \Delta=0.5$ iken BPSK ($A=1, B=2$) ve QPSK ($A=2, B=1$) modülasyonlarının kıyaslaması verilmiştir. Bu sonuçlarda da literatüre uygun şekilde modülasyon seviyesi azaldıkça performansın iyileştiği görülmektedir.



Şekil 1. (a) Farklı m değerleri için QPSK modülasyonu kullanan SISO bir mmW sistemin Laplacian gürültü etkisinde ve $K=15 \Delta=0.5$ iken hata eğrileri. (b) BPSK ve QPSK modülasyonları için SISO bir mmW sistemin Laplacian gürültü etkisinde ve $m=3, K=15 \Delta=0.5$ iken hata eğrileri.

5. Sonuç

Bu çalışmada, FTR sönümlenmeli bir kanalı kullanan mmW SISO haberleşme sistemi için AWGGN etkisinde performans analizi yapılarak hata ifadesi yaklaşık olarak türetilmiştir. Ayrıca türetilen ifade kullanılarak sistemin yüksek SNR'deki davranışını göstermek için asimptotik hata ifadesi de önerilmiştir. Sunulan nümerik sonuçlar, ele alınan mmW sistem için yapılan analizlerin doğruluğunu göstermiştir.

Kaynaklar

- [1]. Zeng W., Zhang J., Chen S., Peppas K. P., ve Ai B., "Physical layer security over fluctuating two-ray fading channels," IEEE Trans. Veh. Technol., cilt. 67, no. 9, s. 8949–8953, 2018.
- [2]. Badarneh O., da Costa D. B., "Cascaded fluctuating two-ray fading channels," IEEE Commun. Lett., cilt. 23, no. 9, s. 1497–1500, 2018.
- [3]. Zhao H., Liu Z., Alouini M.-S., "Different power adaption methods on fluctuating two-ray fading channels," IEEE Wireless Commun. Lett., cilt. 8, no. 2, s. 592–595, 2019.
- [4] Romero-Jerez J. M., Lopez-Martinez F. J., Paris J. F., Goldsmith A. J., "The fluctuating two-ray fading model: Statistical characterization and performance analysis," IEEE Trans. Wireless Commun., cilt. 16, no. 7, s. 4420–4432, 2017.
- [5] Zhang J., Zeng W., Li X., Sun Q., Peppas K. P., "New results on the fluctuating two-ray model with arbitrary fading parameters and its applications," IEEE Trans. Veh. Technol., cilt. 67, no. 3, s. 2766–2700, 2018.
- [6] Soury H., Yilmaz F., Alouini M.-S., "Average bit error probability of binary coherent signaling over generalized fading channels subject to additive generalized Gaussian noise," IEEE Commun. Lett., cilt. 16, no. 6, s. 785–788, 2012.
- [7] Gradshteyn I. S., ve Ryzhik I. M., Table of Integrals, Series and Products, San Diego, CA: Academic, 6. versiyon, 2000.
- [8] Salahat E., Saleh H., "Novel unified analysis of orthogonal space-time block codes over generalized- K and AWGGN MIMO networks," IEEE 81st Vehicular Technology Conference (VTC Spring), Glasgow, Scotland, s. 1-4, Mayıs 2015.