

Bina İçi Konumlandırma Kanal Modellerinin Etkisi

On the Impact of Channel Models for Indoor Localization

Deniz Ufuk Uras Garip¹, Saliha Büyükçorak^{1,2}, Güneş Karabulut Kurt¹

¹ İstanbul Teknik Üniversitesi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü,
34469, Maslak, İstanbul, Türkiye

Email: {garipd, buyukcorak, gkurt}@itu.edu.tr

² Gebze Teknik Üniversitesi, Elektronik Mühendisliği Bölümü, 41400, Kocaeli, Türkiye
Email: sbuyukcorak@gtu.edu.tr

Özet

Telsiz haberleşme kanallarının istatistiksel özelliklerinin doğru bir şekilde belirlenmesi ve modellenmesi zorlu bir problemdir. Özellikle, kapalı alan telsiz kanallarda çok yollu (multipath) etkisi de işin içine girdiğinden model oluşturma daha da zorlaşır. Bu doğrultuda, bina içi konumlandırma sistemlerinde iyi bir kanal modellemesi yapılması konumlandırmanın doğruluğunu arttıracaktır. Konumlandırmanın doğruluğu kullanılan kanal modeline göre değişir. Günümüz konumlandırma problemlerinde kullanılan kanal modelleri teoride iyi sonuç vermesine rağmen gerçek test ortamında yeterince iyi değildir. Bu çalışmada, küçük ve büyük ölçekli sönümleme modellerinden kısaca söz edildikten sonra büyük ölçekli sönümlendirme modellerinin bina içi konumlandırma sistemlerinde yetersiz olduğu deneysel olarak gösterilmiştir. Çalışmanın test bölümünde, yazılım tabanlı radyo kullanılarak, alınan işaret gücü (received signal strength, RSS) ölçüm düzeneği geliştirilmiş ve gözlemlenen RSS değerleri üzerinden iç mekanlarda büyük ölçekli sönümleme modellerinin yetersizliği vurgulanmıştır.

Abstract

It is a tough problem to determine and to model correctly, statistical properties of wireless communication channel. Especially for indoor wireless channel, It is more difficult. Because multipath effect becomes involved in. To make a good channel modeling for indoor localization systems enhances localization accuracy. Accuracy of localization depends on channel model that is used. Channel models give good results in theory but they are not enough good in real test environment. In this study, small scale fading and large scale fading are mentioned slightly and then It is shown experimentally that large scale fading is not enough good for indoor localization system. In the test section of this study, received signal strength measuring setup is developed by using defined software radio and then it is emphasized that inaccuracy of large scale fading for indoor localization via observed RSS values.

1. Giriş

Konum tabanlı servisler (location based services, LBS); askeri uygulamalar, afet kurtarma, uydu sistemleri, güvenlik, yol emniyeti, varlıkların izlenmesi gibi birçok rehberlik sistemlerinde kullanılmaktadır. Söz konusu rehberlik sistemlerine olan talebin artması konum tabanlı servisleri giderek daha da önemli hale getirmektedir. LBS için, 2018 yılında

sadece Kuzey Amerika’da harcanacak bütçenin 3.8 milyar dolar olması tahmin edilmektedir [1].

Konumlandırma bina dışı ve bina içi olmak üzere iki ana kategoriye ayrılabilir. Günümüzde, bina dışı konumlandırmanın ana standardı olan küresel konumlandırma sistemi (global positioning system, GPS), 24 uydu sistemiyle dünyanın çevresini kapsayarak 1-5 metre arasında konumlandırma doğruluğu sağlamaktadır [2]. GPS, bina dışı konumlandırmada yeterince iyi sonuç vermesine rağmen bina içi konumlandırmada bu kadar iyi sonuç vermemektedir. Bu nedenle bina içi konumlandırma için farklı sistemler gerekmektedir.

Bina içi konumlandırma yapmanın zorluğu ortamının karmaşık yapısından kaynaklanmaktadır. Ortamda gezinen insanlar, tavandan, duvarlardan ve yerden yansıyan işaretler gibi etkenler kanalın propagasyonunun değişmesine neden olmaktadır. Günümüzdeki konumlandırma tekniklerinin çoğu, iletilen radyo sinyalinin fiziksel parametrelerinin bir veya daha fazlasının mekansal olarak dağıtılmış monitörlerde ölçülmesi temeline dayanmaktadır. Varış zamanı (time of arrival), varış yönü (direction of arrival), varış açısı (angle of arrival) gibi fiziksel katman ölçümleriyle karşılaştırıldığında, alınan işaret gücü (received signal strength, RSS) ölçümleri donanım, maliyet ve hesaplama gereksinimleri açısından daha basittir. Bu nedenlerden ötürü, konumlandırma sistemlerinde kullanımı oldukça yaygındır [3].

RSS tabanlı konumlandırma tekniklerinde, başarıyı artırmak için RSS değerlerinin yüksek doğrulukta elde edilmesi gerekir. Ancak söz konusu ölçümler bir çok zorluğu barındırmaktadır. Radyo kanalından alınan sinyal gücünün bozulması büyük bir zorluktur. Bu bozulma, yol kaybı (path loss), gölgeleme (shadowing), sönümleme (fading) olmak üzere 3 etkinin birleşiminden oluşur. Yol kaybı, alıcıyla verici arasındaki mesafenin artmasından doğan zayıflamadır. Gölgeleme ise yayılmış sinyallerin soğurulmasından kaynaklanır, genel olarak lognormal dağılımlı rastgele değişkenlerle modellenir. Son olarak sönümleme ise iki bölümden oluşur, çok yollu iletim (multipath propagasyon) ve dopler frekans kayması (Doppler frequency shift) [4]. RSS tabanlı konumlandırma problemleri genellikle, telsiz haberleşme kanalının logaritmik uzaklık yol kaybı ve lognormal gölgeleme kullanılarak modellenmesiyle çözülmeye çalışılır [5].

Bu çalışmada iç mekanlarda USRP (universal software radio peripheral) tabanlı RSS ölçüm düzeneği geliştirilmiştir. RSS değerlerinin gerçek histogramları çıkarılmıştır. Konumlandırmada kullanılan lognormal dağılımının iç mekan için uygun olmadığı deneysel olarak gösterilmiştir. Bu doğrul-

tuda daha yüksek doğrulukta bina içi konumlandırma yapmak için yeni kanal modellerine ihtiyaç olduğu gösterilmiştir.

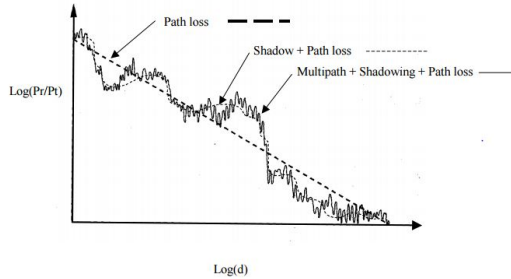
Bu bildiride ilk önce, yüksek doğrulukla konumlandırma yapmanın zorluğundan bahsedilmiştir ardından sık kullanılan bina içi konumlandırma teknikleri hakkında genel bilgi verilip bina içi telsiz haberleşme kanalına etki eden faktörlere değinilmiştir. İkinci bölümde bina içi konumlandırmada kullanılan kanal modelleri açıklanmıştır. Üçüncü bölümde yapılan test detaylı şekilde anlatılmıştır ve ölçüm sonuçları paylaşılmıştır.

2. Konumlandırmada Kullanılan Kanal Modelleri

Kapalı alanlarda çok çeşitli kanal etkilerinden dolayı kanal modeli genliği sürekli değişim göstermektedir. Zayıflama, boş uzay kaybı, sönmüleme, yansıma, kırılma, saçılma, sapma ve gürültü olarak listelenebilecek bu etkiler nedeniyle kanal tahmini yapmak ve kanalı modellemek zorlu bir iştir [9]. Bu bölümde, literatürde yer alan bazı kanal modellerinden bahsedilecektir.

Telsiz iletişim ağlarında alınan işaret gücü, yol kaybı, gölgeleme ve küçük ölçekli sönmüleme olmak üzere üç çarpımsal etki ile belirlenir. Şekil 1’de bu etkiler uzaklığa bağlı olarak alınan sinyal gücünün iletilen sinyal gücüne oranı şeklinde gösterilmiştir. Burada, alınan sinyal gücü $Pr(d)$, iletilen sinyal gücü P_t , uzaklık ise d ile ifade edilmiştir. RSS temelli konumlandırma tekniklerinde, alınan işaret gücü genellikle yol kaybı ve gölgeleme ile ilişkilendirilir. Çünkü gölgelemeli kanal modelinde iletilen sinyalde yansıma, emilme, saçılma ve kırılma sonucunda oluşacak kayıplarla ilgilenilir [8]. Aşağıdaki formülde $Pr(d)$ ile P_t ’nin ilişkisi gösterilmiştir. Formüldeki n yol kaybı katsayısıdır.

$$Pr(d) = \left(\frac{P_t}{d^n}\right) \quad (1)$$



Şekil 1. Büyük ölçekli sönmüleme.

Telsiz haberleşme kanalında küçük ölçekli sönmülemelerde mevcuttur. Söz konusu etki, literatürde sıklıkla Rayleigh, Rician, Nakagami-m gibi dağılımlarla modellenmektedir. Bu tip küçük ölçekli sönmüleme modelleri data-bit seviyesinde analiz yapan çalışmalarda kullanılmakla birlikte konum belirleme tekniklerinde ele alınmamaktadır. Çünkü bu kanallar alıcıyla verici arasındaki çok hızlı ve küçük dalgalanmalarla ilgilendirir [13]. Küçük sönmüleme modellerinden Rayleigh dağılımı, sinyalin ortamdaki en çok etkilendiği ve alıcının vericiyle doğrudan iletişimi olmadığı durumları modellemek için kullanılır [6]. Rician dağılımı, alıcıyla verici arasında hem doğrudan iletim hemde yansımış sinyallerin etkisiyle güçlü bir iletim varsa kullanılır. Nakagami-m kanalı ise

diğer iki modele göre daha fazla esneklik sağlar ve diğer iki kanala kıyasla daha fazla bozucu etkileri modelleme yetkinliğine sahiptir [7]. Bunlara ek olarak 2 boyutlu ve 3 boyutlu ışın izleme (ray tracing) metodunda radyo dalgalarının propagasyonunu belirlemede kullanılabilir. Ancak, bu yöntem çevrenin özelliklerinin önceden bilinmediği durumlarda pek kullanışlı değildir [10]. Yine de iç mekan konumlandırma tekniklerinde gölgelemeli kanal modeline ek olarak küçük ölçekli sönmüleme modellerinin ve duvarlardan olan yansımaların da dikkate alınması konum belirlemenin doğruluğunu arttırabilir.

Konum belirlemenin doğruluğunu arttırmak için çeşitli karma metodlar da geliştirilmiştir. Bununla beraber konum belirleme tekniklerinde en sık kullanılan kanal modeli lognormal gölgeleme modelidir.

2.1. Lognormal Gölgeleme Modeli

Alıcıyla vericinin birbiri ile direkt olarak haberleştiği engelsiz, mükemmel ortamlarda boş uzay propagasyon modeli kullanılabilse bile daha karmaşık ortamlarda alınan sinyal gücü gölgeleme etkilerinden etkilenecek istatistiksel varyasyonlar gösterir [11]. Bu etkiye ortamda bulunan engeller neden olur. Bunun için gerçek ortamlar (boş olmayan ortamlar) için lognormal gölgeleme modeli geliştirilmiş ve hala bir çok araştırmacı tarafından kullanılmaktadır [12]. Bu model ilk olarak Egli tarafından önerilmiştir [16]. Lognormal gölgeleme modeli, birçok saha ölçüm çalışmaları ile desteklenmesi ve kablosuz kanalın fiziksel etkilerine uygunluğu nedeniyle önerildiği günden günümüze kadar geçerliliğini korumaktadır. Genel olarak lognormal gölgeleme modelinde yol kaybı dB ölçeğinde aşağıdaki gibi ifade edilir [15].

$$PL(d)[dB] = PL(d_0) + 10n \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + X_\sigma \quad (2)$$

Burada gölgeleme etkisi X_σ ile temsil edilmiştir.

$$X_\sigma \sim N(0, \sigma^2) \quad (3)$$

Yukarıdaki ifade ile formüldeki gölgeleme etkisinin sıfır ortalamalı σ^2 varyanslı olduğu gösterilmiştir. n ise yol kaybı katsayısını ifade etmektedir. Bu yapıyla ölçülen ile tahmin edilen yol kaybı arasındaki fark en az düzeyde tutulmaya çalışılır.

2.2. Karışım Modelleri

Açıklanan modellere ek olarak, çeşitli karışım modelleride vardır. Yukarıda bahsettiğimiz lognormal gölgeleme modelinden evrilen lognormal gölgeleme modelinin karışımı bunlardan bir tanesidir. Konumlandırma problemlerinde lognormal karışım modelinin kullanılması geleneksel lognormal gölgeleme modeline göre çok daha iyi sonuç verdiği yapılan bir çalışmada gösterilmiştir [5].

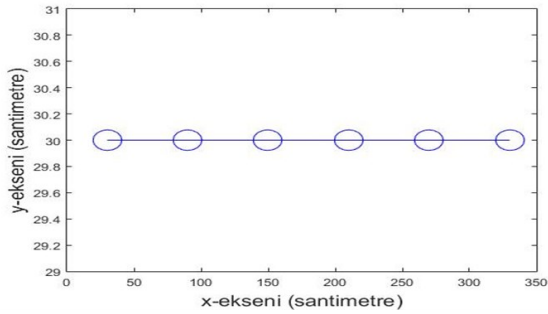
3. Test Düzenneği ve Ölçüm Sonuçları

Bu bölümde, RSS ölçümleri için yazılım tabanlı radyolar kullanılarak geliştirilen test düzenneğine ilişkin detaylar ve analiz sonuçları verilmiştir.

Söz konusu ölçümlerde, Ettus Research tarafından geliştirilen USRP N210 kitinden bir adet verici ve bir adet alıcı olmak üzere iki adet kullanılmıştır. Yazılım tabanlı radyoların programlanarak alıcı ve verici birimlerinin oluşturulmasında ve



Şekil 3. Deneyin yapıldığı laboratuvarın bir bölümü.



Şekil 2. Ölçüm pozisyonları.

sinyalin işlenmesinde NI LabView programı kullanılmıştır. LabView, metin tabanlı (text based) programlama dillerinden farklı olarak görsel bir programlama dilidir. LabView programları ön panel ve blok çizelgesi olmak üzere iki kısımdan oluşur. Ön panel, kullanıcılar tarafından görünen arabirimdir. Bu arabirimin arkasında şemalardan oluşan blok çizelgesi bulunur.

İç mekanda RSS'in uzaklığa göre değişimini incelemek ve lognormal sönmüleme modelinin söz konusu kapalı ortamlarda geçerliliğini koruyup korumadığını test edebilmek için gerçekleştirdiğimiz ölçümler İTÜ bünyesindeki telsiz haberleşme laboratuvarında yapılmıştır. Kullanılan cihazların anlık band genişliği (instantaneous bandwidth) 20 MHz'dir ve alıcı kanalında saniyede 100 milyon örnek alabilmektedirler. Ölçümler sırasında, verici ve alıcı olarak programlanan iki adet USRP'den, alıcı USRP vericiden ileteceğimiz sinyalin merkez frekansına ayarlanmıştır. Alıcı gelen sinyalleri 14-bit analog sayısal çevirici (analog digital converter, ADC) ile örneklemiş ve saniye başına 200.000 örnek olmak üzere toplamda 1048576 adet örnek almıştır. Labview programında, sinyalin in-phase, quadrature bileşenleri görüntülenerek kaydedilmiştir. Her bir

örnekten elde edilen söz konusu bu iki bileşen, $I^2 + Q^2$ formülü kullanılarak RSS değerleri hesaplanmıştır.

Deneyler sırasında vericinin konumu sabit tutularak alıcı düz bir çizgi üzerinde hareket ettirilmiştir. Alıcının 6 farklı pozisyonu için gelen sinyallerin RSS değerleri ölçülmüştür. Ölçümler 902.2 MHz ve 915 MHz olmak üzere iki frekans değerinde gerçekleştirilmiştir. Şekil 2'de ölçüm yapılan referans noktaları gösterilmiştir. Şekilde, x eksenı alıcının vericiden olan uzaklığını, y eksenı ise hem alıcının hem de vericinin yerden yüksekliğini göstermektedir. Bu referans noktaları sırasıyla (30, 30), (90, 30), (150, 30), (210, 30), (270, 30), (330, 30) santimetredir. Şekil 3'te ise ölçüm yapılan deney ortamına ilişkin bir görüntü verilmiştir. Yapılan testler sırasında USRP antenlerinin birbirine doğru bakmamasının, ölçülen RSS değerleri üzerinde çok kötü bir etki yaptığı gözlemlenmiştir. Bundan dolayı deney yapılırken Şekil 3'te gösterildiği gibi USRP antenlerinin birbirine bakmasına önem verilmiştir. Ayrıca ölçümler esnasında, deneyin yapıldığı ortamda herhangi bir hareket eden cisim bulunmamaktadır. Bu önlemleri almamızdaki amaç RSS değerlerinin mümkün olduğunca iyi çıkması bunun sonucunda da daha iyi modellenbilmesini sağlamaktır.

3.1. Ölçüm Sonuçları

Bu bölümde yaptığımız deneyin sonuçları incelenecektir. Deney düzeneğinde anlattığımız şekilde RSS değerleri iki farklı merkez frekansı için elde edilmiştir (iki frekansta sınavi, bilimsel ve tıbbi cihaz bandındadır). Söz konusu her iki frekansta elde edilen RSS değerlerinin gerçek histogramları çıkarılmış ve söz konusu RSS değerleri büyük ölçekli sönmüleme etkisini modelleyen lognormal dağılım ile modellenmiştir. Şekil 4'te 902.2 MHz için Şekil 5'te ise 915 MHz için yapılan çalışma gösterilmiştir. Bu analiz sonucunda görüldü ki lognormal dağılım iç mekanlardan elde edilen RSS değerlerini modellemek için uygun değildir. Ayrıca Şekil 4 ve Şekil 5 incelendiğinde, lognormal dağılım modelinin 902.2 MHz'de

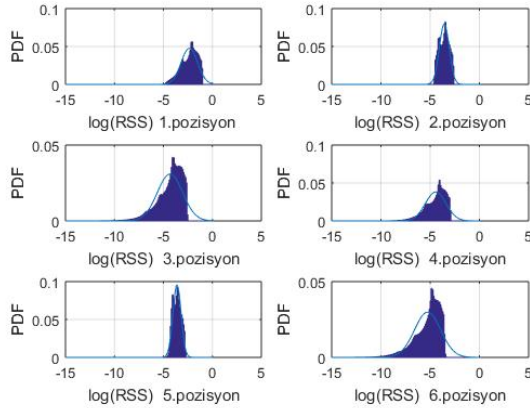
915 MHz'e göre daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir. Bu bağlamda $\log(RSS)$ değerlerinin farklı merkez frekanslarında farklı değerler verdiğini söyleyebiliriz. Tablo 1 ve Tablo 2'de ise farklı frekanslar için farklı konumlardan aldığımız RSS örneklerinin ortalama ve varyansı gösterilmiştir. Tablolarda gösterilen ortalama $\log(RSS)$ değerlerinin beklenildiği gibi çıkmaması ortamın yapısına bağlanabilir.

Tablo 1. 902.2 MHz'de elde edilen $\log(RSS)$ değerlerinin ortalamaları ve varyansları

Ölçüm Yapılan Pozisyonlar	Ortalama	Varyans
1	-2.35	0.83
2	-3.56	0.50
3	-4.32	1.29
4	-4.43	1.04
5	-3.61	0.42
6	-5.26	1.33

Tablo 2. 915 MHz'de elde edilen $\log(RSS)$ değerlerinin ortalamaları ve varyansları

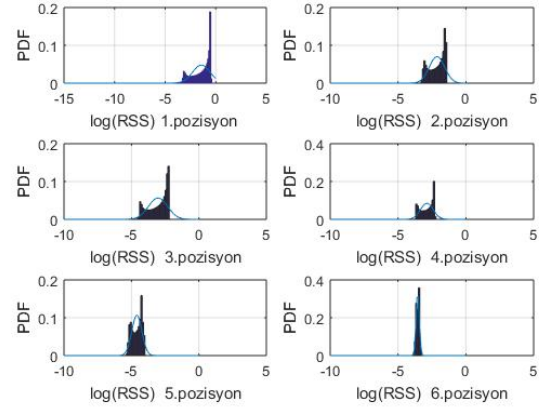
Ölçüm Yapılan Pozisyonlar	Ortalama	Varyans
1	-1.42	0.87
2	-2.12	0.56
3	-3.02	0.70
4	-2.87	0.46
5	-4.59	0.37
6	-3.54	0.11



Şekil 4. 902.2 MHz'de ölçülen RSS değerlerinin logaritması alınmış ve normalize edilmiş hali.

4. Çıkarımlar

Bu çalışmada kapalı alanlarda uygun bir kanal modeli bulmanın zorluğu ve halihazırda kullanılan modellerin yetersizliğini göstermek amaçlanmıştır. Bu doğrultuda, yazılım tabanlı radyo kullanılarak bir RSS ölçüm düzeneği geliştirilmiş ve iç mekanda yapılan RSS ölçümleri lognormal dağılım kullanılarak modellenmiştir. Söz konusu dağılımın gerçek histogramlar ile örtüşmediği gösterilerek büyük ölçekli sönümleme modelinin



Şekil 5. 915 MHz'de ölçülen RSS değerlerinin logaritması alınmış ve normalize edilmiş hali.

yetersizliği deneysel olarak ortaya çıkarılmıştır. Bu sonuca göre yeni kanal modellerinin geliştirilmesi özellikle bina içi konumlandırmadaki doğruluğu arttıracığı öngörülmektedir.

5. Kaynaklar

- [1] Nathan, Eddy, (2014). , Location-Based Service Market to Reach.2016:<http://www.eweek.com/mobile/location-based-service-market-to-reach-nearly-4-billion-by-2018.html>
- [2] LIU, Junjie. Survey of Wireless Based Indoor Localization Technologies. Dept. of Science and Engineering, Washington University, 2014.
- [3] K. Vasudeva, B. S. Çiftler, A. Altamar and I. Guvenc, "An experimental study on RSS-based wireless localization with software defined radio" Wireless and Microwave Technology Conference, 2014, pp. 1-6.
- [4] Biglieri, E. , (2005). Coding for Wireless Channels.2016:<http://www.springer.com>
- [5] S. Büyükçorak, G. K. Kurt and A. Yongaçoğlu, "Lognormal mixture Cramer-Rao lower bound for localization" International Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC), Dubrovnik, 2015, pp. 132-136.
- [6] Mahmutoglu, Asya, "Uzay Zaman Blok Kodlarını Kullanılan Röleli Sistemlerin Genelleştirilmiş Sönümlemeli Kanallardaki Hata Performans Analizi", Y.L Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İTÜ, İstanbul , TUR, 2009.
- [7] Gencer, Emre, "Araç Haberleşmesinde Uzaysal Modülasyon Kullanımı", Bitirme Ödevi, EHB, İTÜ, İstanbul, TUR, 2016.
- [8] Jain, R., (2007,02,21).Channel Model Tutorial.2016:<http://www.cse.wustl.edu>
- [9] Cebula, S. L., et al. "Empirical channel model for 2.4 GHz ieee 802.11 wlan." Proceedings of the 2011 International Conference on Wireless Networks. 2011.
- [10] Zajic, Alenka, "Mobile-to-Mobile Wireless Channel ", Artech House, 2013.
- [11] L. Wang, W. Washington, K. Gilmore and C. Liu, "Impact of Radio Irregularities on Connectivity of Wireless

Networks with Log-Normal Shadowing," 11th International Conference on Mobile Ad-hoc and Sensor Networks (MSN), Shenzhen, 2015, pp. 250-257.

- [12] C. Bettstetter, C. Hartmann, Connectivity of Wireless Multihop Networks in a Shadow Fading Environment, *Wireless Networks*, vol. 11, no. 5, pp. 571–579, September, 2005.
- [13] S. Kurt ve B. Tavli, "Path Loss Modeling for Wireless Sensor Networks:Review of Models and Comparative Evaluations", *IEEE Ant. and Prob. Magazine*, 2016.
- [14] J. Salo, L. Vuokko, and P. Vainikainen, "Why is shadow fading lognormal?" in *Proc. Int. Symp. on Wireless Personal MultimediaCommunications (WPMC)*, 2005, pp. 522–526.
- [15] V. Erceg, L. Greenstein, S. Tjandra, S. Parkoff, A. Gupta, B. Kulic,A. Julius, ve R. Bianchi, "An empirically based path loss model for wireless channels in suburban environments," *IEEE Journal on SelectedAreas in Communications*, vol. 17, pp. 1205–1211, 1999.
- [16] J. Egli, "Radio propagation above 40 MC over irregular terrain," *Proc. of the IRE*, vol. 45, no. 10, pp. 1383–1391, 1957.
- [17] Karmeshu and R. Agrawal, "On efficacy of Rayleigh-inverse Gaussian distribution over K-distribution for wireless fading channels," *Wirel. Comm. and Mobile Computing*, vol. 7, no. 1, pp. 1–7, 2007.