

Alınan İşaret Güç Göstergesi (RSSI) Metriği Kullanılarak Kapalı Alan Mesafe Kestirimi

Indoor Distance Estimation with Using Received Signal Strength Indicator (RSSI) Metric

Türker TÜRKORAL¹, Özgür TAMER², Suat YETİŞ¹, Enes İNANÇ², Levent ÇETİN³

¹Mekatronik Mühendisliği
Dokuz Eylül Üniversitesi
turker.turkoral@nucleo.com.tr, suat.yetis@entasistem.com

²Elektrik Elektronik Mühendisliği
Dokuz Eylül Üniversitesi
ozgur.tamer@deu.edu.tr, enes.inanc93@gmail.com

³Mekatronik Mühendisliği
İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi
levent.cetin@ikc.edu.tr

Özet

Özellikle Nesnelerin İnterneti ya da Kablosuz Sensör Ağları gibi teknolojiler, cihazların kablosuz ağlar üzerinden birbirleri ile etkileşime girmesine dayanmakta ve son yıllarda hızla yayılmaktadır. Bu tip uygulamalarda cihazların ortam parametreleri ile beraber birbirlerinin durumu ile ilgili bilgilere de ihtiyacı bulunmaktadır. Bu parametrelerin en önemlilerinden biri ise cihazların birbirlerine ya da iletişim istasyonuna olan mesafesidir. Çalışmamızda, kablosuz ağların birçoğunda standart olarak sunulan Alınan İşaret Güç Göstergesi (Received Signal Strength Indicator - RSSI) parametresinin, kapalı ortamlarda, alıcı verici arasındaki mesafenin kestiriminde kullanılması ile ilgili sonuçlar sunulmaktadır.

Abstract

Especially, technologies like Internet of Things or Wireless Sensor Networks rely on communication of devices over wireless networks. In these kinds of applications, devices need measurement of relative state of other devices in the network as well as environmental parameters. Relative distance between the devices is one of the important parameters to be measured. In this work we propose a measurement method based on the RSSI metric of a wireless network and present measurement results of our study.

1. Giriş

Gömülü sistemlerin kablosuz arayüzler ile internete bağlanan nesnelerin kendi aralarında oluşturduğu, dünya çapında yaygın bir ağ üzerinden iletişim kurarak günlük hayatımızı kolaylaştıracak uygulamalara olanak vermesi kavramına

nesnelerin interneti ismi verilmektedir. Son yıllarda gömülü sistemlerin uygulanmasına olanak sağlayan platformların gittikçe daha küçük, güçlü ve ucuz bir şekilde piyasaya sürülmesiyle birlikte, kablosuz ağlar üzerinden, nesnelerin interneti uygulamaları hızla hayatımıza girmeye başlamıştır.

Kablosuz sensör ağları ise, kablosuz bir iletişim arayüzü ile birbirine bağlanmış ve birbirlerine ya da merkezi bir sisteme bilgi aktaran sensör düğümlerinden oluşur. Kablosuz sensör ağları, veriyi toplayarak, işleyerek, çözümleyerek ve yayarak, bilgiye her an, her yerden kolayca erişilmesini sağlar.

Bu tip uygulamaların çalışabilmesi için çoğu zaman kişisel girdilere ve ortam parametrelerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu parametrelerden en yaygın olarak kullanılanı da iki cihazın birbirine olan ya da bir cihazın kablosuz erişim noktasına olan mesafesidir. Bu bilgi kullanarak cihazların konumları kestirilebileceği gibi, gerçekleştirilebilecek olan eylem ile ilgili karar verme mekanizmasına bir girdi de sağlanabilmektedir. Örneğin iki araba arasındaki mesafenin kestirimi çarpışma önleyici sistemin bir girdisidir.

Birbirlerine kablosuz ağ üzerinden bağlı iki cihazın RSSI verileri ve iç mekân yol kaybı modeli (indoor path loss model) kullanılarak mesafe kestiriminin yapıldığı bir çalışma Bose ve Foh tarafından gerçekleştirilmiş, sonuçların doğrulanması için hem görüş açısında olan hem de görüş açısında olmayan nesneler ile deneyler yapılarak, sunulmuştur [1]. Awad ve ark. ise kablosuz sensör ağları üzerine olan çalışmalarında, istatistiki yöntemleri ve yapay sinir ağlarını, RSSI verisi üzerinde kullanarak ağ düğümlerinin konumlarının kestirim sonuçlarını sunmaktadır [2]. Kablosuz sensör ağları ile ilgili bir başka çalışmada ise, çeşitli uzaklıklardan sensör düğümlerinin RSSI değerlerine bakarak ölçümler yapılmış, ölçüm sonuçları ile gerçek değerler arasındaki farklara bakılarak ortalama hatalar çıkarılmış ve ortalama hataların

farkı Kumar ve ark. tarafından sunulmuştur [3]. Zanca ve ark. ise kapalı mekanda bir çok ölçüm almış ve bu verileri farklı ortam iletişim modelleri üzerinde sınavarak elde ettikleri sonuçları sunmuşlardır [4]. RSSI örnekleme ile konum kestirimi üzerine yaptıkları çalışma kapsamında geliştirdikleri algoritmaları ise Papamantou ve ark. tarafından sunulmaktadır [5].

Çalışmamızda ise IEEE 802.11g ağ altyapısı üzerinde bulunan düğüm noktaları üzerinden, çeşitli mesafelerde, işaret gücü ölçümleri alınmış ve bu değerler temel işaret modelleri ile karşılaştırılmış, bu modellerin parametrelerinin yapılan ölçüm sonuçlarına uyacak şekilde uyarlanmıştır. Bildirinin 2. bölümünde yapılan çalışmanın kuramsal altyapısı sunulurken, 3. kısımda uygulama düzeneği sunulmakta ve ölçüm sonuçları paylaşılmaktadır. Yapılan ölçüm sonuçları 4. kısımda yorumlanmakta ve gelecek çalışmalar tartışılmaktadır.

2. Kablosuz Kanal Modelleri ve RSSI

Çalışmamızda 802.11g iletişim teknolojisi üzerinden elde edilecek RSSI bilgisi ile kapalı alanlarda kısa mesafe tahmini yapılması amaçlanmıştır.

RSSI bilgisi, alınan işaretin seviyesini belirten bir göstergedir. Her yonga üreticisi, farklı bir RSSI aralığı tanımlanmaktadır. Bu değer aralığı 0 ile 255 arasında tanımlanmakta ve 0 alınan en iyi işareti simgelemektedir. RSSI göreceli bir değerdir ve hesaplamalarımızda kullanabilmemiz için dBm değerine çevrilmesi gerekmektedir. Bununla birlikte, genellikle donanım sürücülerini yongaya özel olarak geliştirildiği için, göreceli RSSI değeri ile birlikte dBm biriminde RF güç değerini de sunmaktadırlar.

Bu göstergenin mesafe tahmini yapılabilmesi açısından çeşitli yöntemler ile uzaklık birimi ile ifade edilmesi gerekmektedir. Bunun için ITU kapalı alan işaret modeli, Serbest Uzak Yayılım Modeli, İki Işınlı Yayılım Modeli ve deneysel sonuçlar ile benzetim sonuçlarının karşılaştırılmasıyla elde edilmiş olan Güç-Mesafe Eğrisi kullanılmıştır.

ITU kapalı alan işaret modeli, mesafeye ve ortam parametrelerine bağlı olarak alıcıdaki işaret gücünü ortaya koyan, ofis, ev gibi farklı ortamlarda ve farklı çalışma frekanslarına göre parametreleri uyarlanabilen bir kapalı alan işaret modelidir. ITU kapalı alan işaret modeline göre oluşan güç kaybı aşağıda verilmektedir (Denklem 1) [6, s210].

$$L_{itu} = 20 \log_{10}(f) + N \log_{10}(d) + L_f(n) - 28dB \quad (1)$$

Denklem 1'de L_{itu} , f , N , d , $L_f(n)$ ve n değişkenleri sırasıyla toplam güç kaybını, çalışma frekansını, mesafe güç kaybı sabitini, mesafeyi, kat kayıp etkisi faktörünü ve de alıcı ile verici arasındaki kat sayısını temsil eder.

İkinci işaret modeli ise alıcı ve verici antenlerden gönderilen ve alınan güçlerin oranını veren Serbest Uzak Yayılım Modeli'ni temel almaktadır (Denklem 2).

$$P_r = P_t + G_r + G_t - 20 \log\left(\frac{4\pi R}{\lambda}\right) \quad (2)$$

Serbest Uzak Yayılım Modeli'nde P_r alıcıya gelen sinyalin gücünü, P_t verici antenden gönderilen sinyal gücünü, λ işaretin dalgaboyunu, R mesafeyi, G_t ve G_r sırasıyla verici ve alıcı antenlerin polarizasyon ve empedans uyumsuzluğu kayıplarını da içeren kazançlarını ifade etmektedir. Mesafe ve dalgaboyuna bağlı logaritmik parametre serbest uzak yol kaybı olarak adlandırılmaktadır (Denklem 3) ve bu denklemde doğrudan görüş açısına sahip ve yansısız bir ortamın yol kaybı ifade edilmektedir [7,8].

$$L_{fs} = 20 \log\left(\frac{4\pi R}{\lambda}\right) \quad (3)$$

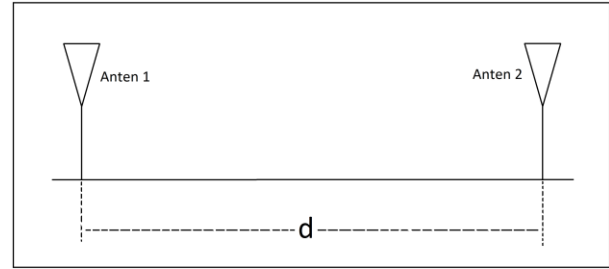
Yerden yansımali ve doğrudan görüş açısına sahip bir ortamda ise yol kaybı aşağıdaki gibi ifade edilmektedir (Denklem 4). Bu yöntem İki Işınlı Yayılım Modeli olarak adlandırılmaktadır ve üçüncü güç-mesafe kestirim yöntemi olarak çalışmamızda yer almıştır [7,8].

$$L_{tr} = 20 \log\left(\frac{d^2}{h_t h_r}\right) \quad (4)$$

Kullanılan bu üç güç-mesafe kestirim yönteminin yanı sıra deneysel sonuçlar ile gerçek ölçüm mesafelerinin karşılaştırılmasından elde edilen Güç-Mesafe Eğrisi de çalışmamızda dördüncü kestirim yöntemi olarak yer almıştır. Bu yöntemde yapılmış olan ölçümlerin ortalamaları alınmış, bu ortalamalara uyacak şekilde MATLAB ortamında güç-mesafe eğrisi çıkarılmış ve kestirimler bu eğri üzerinden gerçekleştirilmiştir.

3. Yöntem

Noktalar arasındaki mesafenin hesaplanması için kullanılacak olan RSSI metriği, Raspberry Pi model bir Tek Kart Bilgisayar (Single Board Computer – SBC) kullanılarak Realtek RTL8723BU WiFi yongası üzerinden elde edilmiştir. Alıcı sabit tutularak verici belirli aralıklarla alıcıdan uzaklaştırılmış ve her uzaklık için, çevresel faktörler ve yansıma gibi ölçümü olumsuz etkileyebilecek durumlardan ötürü, 10-20 ölçüm yapılmıştır. Deneyler sırasında yonganın sürücüsünde otomatik kazanç kontrolü devre dışı bırakılarak, en doğru ölçümün elde edilmesi amaçlanmıştır.



Şekil 1 - Noktalar arası mesafe ölçümü

3.1. ITU Modeli ile RSSI-Mesafe Kestirimi

Çalışmanın ilk aşamasında RSSI metriğinden elde edilen RF güç bilgisi kullanılarak, ITU kapalı alan modeli ile mesafe kestirimleri yapılmıştır. Bu amaçla ilk olarak ITU model parametrelerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu değerler yerlerine konduğunda, ITU modeli sadece RSSI girdisi ile mesafe çıktısı verir hale gelmiştir.

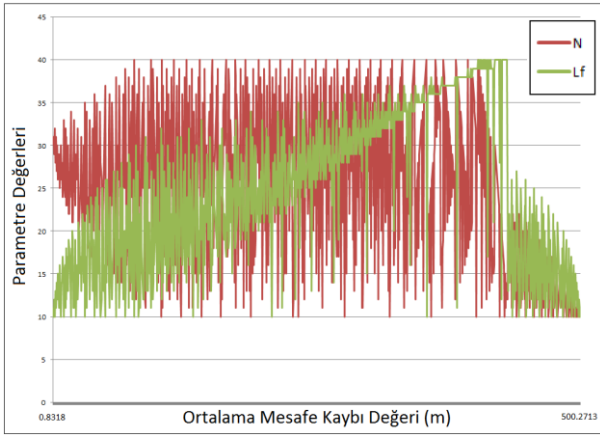
ITU modelinin parametrelerinde etkili olan faktörlerden bir tanesi alıcı ve vericinin aynı katta olup olmadığıdır. Bu nedenle yapılan çalışma aynı katta olacak şekilde parametre verisi elde edilmiştir.

Toplam güç kaybını simgeleyen L_t değeri, RSSI bilgisi ile gönderilen sinyal gücü arasındaki farktan elde edilmektedir. Alıcı ile vericinin aynı katta olması ve gönderilen sinyal gücünün ($P_t=13dBm$) sabit olmasından dolayı, bu gücün RSSI ile olan farkı da L_t değerini vermektedir. Diğer parametrelerin

de yerlerine konmasıyla beraber formül aşağıdaki hali almaktadır (Denklem 5).

$$P_t - RSSI = 20 \log_{10}(2.4 \times 10^9) + N \log_{10}(d) + L_f(0) - 28 \text{ dB} \quad (5)$$

ITU modelinin Denklem 5’de görülen halinde, N ve $L_f(0)$ parametreleri, çalışma frekansına ve alıcı ile verici arasındaki kat sayısına göre değişmektedir [6, s211, Çizelge 9.1-2]. Bu parametrelerin 10-40 arasında değiştiği tüm kombinasyonlar için gerçek pozisyon ile hesaplanan pozisyon karşılaştırılmış ve en uygun parametre değerleri belirlenmiştir. Deneysel sonuçlar ile benzetim sonuçlarını birbirlerine en yakın şekilde veren parametre değerler $N=30$ ve $L_f=11$ olarak bulunmuştur. Bu değerler de kaynaklarda verilen değerler ile örtüşmektedir [6, s211, Çizelge 9.1-2]. ITU modeli ile yapılan güç-mesafe kestirimlerinde bu veriler kullanılmıştır.



Şekil 2 - ITU parametrelerinin belirlenmesi

0 ile 15 metre aralığında alınan ölçümlere doğrultusunda, gerçek pozisyon ile benzetim sonuçları arasındaki farka göre sıralanan parametre değerleri Şekil 2’de gösterilmiştir. ITU modeli ile güç-mesafe kestirimi yapıldığında ortalama olarak en küçük hata olan 0,8318 metre $N=30$ ve $L_f=11$ değerleri kullanıldığında ortaya çıkmıştır. Pozisyon hesaplamaları sırasında ITU modelinde bu parametre değerleri kullanılmıştır.

3.2. Serbest Uzak Yayılım Modeli ile RSSI-Mesafe Kestirimi

RSSI bilgisi ile mesafe kestirimi için kullanılan ikinci yöntem Serbest Uzak Yayılım Modeli’dir (Denklem 6).

Serbest Uzak Yayılım Modeli’nde, P_r değeri RSSI bilgisinden elde edilmektedir, P_t değeri ise kullanılan WiFi modülleri için 13 dBm’dir. Çalışma frekansının 2.4 GHz olması sebebiyle dalga boyu 12.5 cm hesaplanır. Kullanılan modüller ve antenler de aynı olduğu için G_r ve G_t kazanç değerleri de aynıdır.

$$RSSI = P_t + G_r + G_t - L_{fs} \quad (6)$$

Denklem 6’da L_{fs} (free space loss) yansısız mesafe kaybı modelini temsil etmektedir. Alıcıya gelen sinyalin güç değeri de RSSI bilgisi ile sağlanmaktadır ($P_r = RSSI$). L_{fs} yerine konduğunda Serbest Uzak Yayılım Modeli son halini almaktadır (Denklem 7).

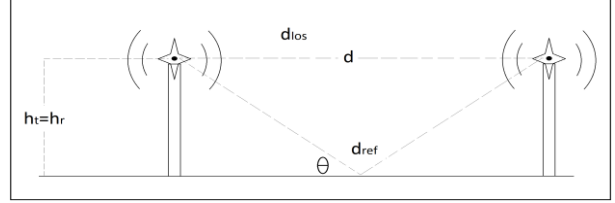
$$RSSI = P_t + G_r + G_t - 20 \log\left(\frac{4\pi R}{\lambda}\right) \quad (7)$$

3.3. İki Işınlı Yayılım Modeli ile Güç-Mesafe Kestirimi

Çalışmamızda güç-mesafe kestirimi için kullanılan üçüncü yöntem İki Işınlı Yayılım Modeli’dir (8).

$$P_{RSSI} = P_t + G_r + G_t - L_{ir} \quad (8)$$

Denklem 8’de L_{ir} (two ray loss) yerden yansımali ve doğrudan görüş açısına sahip mesafe kaybı modelini temsil eder.



Şekil 3 - Antenler arası görüş ve yansıma

Şekil 3’te yansımali model için antenlerin duruşu ve aralarındaki görüş açıları gösterilmiştir. Burada d_{los} görüş alanındaki mesafeyi (d line of sight) ve d_{ref} (d reflection) yansıma mesafesini temsil etmektedir. Alıcı ve verici anten yükseklikleri aynı olduğu için, yansımali mesafe kaybı modeli aşağıdaki şekli almaktadır (Denklem 9).

$$L_{ir} = 20 \log\left(\frac{d^2}{h^2}\right) = 40 \log\left(\frac{d}{h}\right) \quad (9)$$

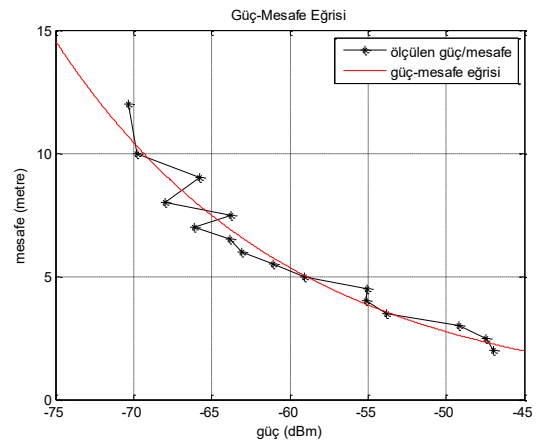
RSSI bilgisi ile mesafe değerinin kestirildiği İki Işınlı Yansıma Modeli Denklem 10’da verilmiştir.

$$P_{RSSI} = P_t + G_r + G_t - 40 \log\left(\frac{d}{h}\right) \quad (10)$$

3.4. Güç-Mesafe İşlevi ile RSSI-Mesafe Kestirimi

Güç-Mesafe İşlevi, çalışmamızda gerçekleştirilen deneysel sonuçlara dayanarak elde edilmiştir. Bu işlev kullanılarak mesafe kestirimleri gerçekleştirilmiştir. Güç-Mesafe İşlevi aşağıda sunulmaktadır (Denklem 11).

$$d = a.e^{b.RSSI} \quad (11)$$



Şekil 4 - Güç Mesafe İşlevi

Denklem 11’deki gibi üstel bir fonksiyonun kullanılmasıyla deney sonuçları bir işlev ile ifade edilebilmektedir. MATLAB ortamında bu üstel fonksiyonun katsayıları hesaplanmış ve yerlerine konmuştur (Denklem 12).

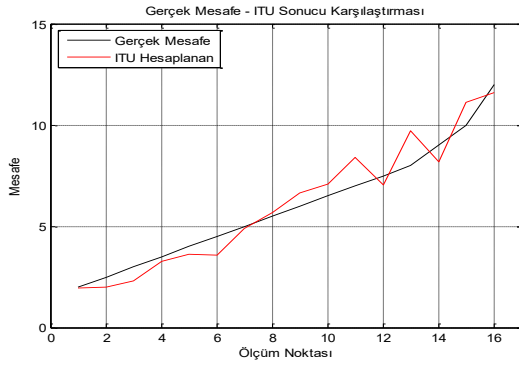
$$d = 0,09878e^{-0,06658.RSSI} \quad (12)$$

4. Sonuçlar

Çalışmamız kapsamında kurulan test ortamında bir alıcı verici sistem iç mekânda çeşitli mesafelerde konumlandırılarak RSSI verisi elde edilmiştir. Bu değerlerin ortalamaları, elde edilerek, ITU, Serbest Uzak Yayılım, İki Işınlı Yayılım Modelleri ile Güç-Mesafe İşlevi kullanılarak mesafe kestirimi yapılmıştır. Kullanılan Wi-Fi modülün özelliği nedeniyle, uzaklığın 2 m.'den az ve 12 m.'den çok olduğu durumlarda RSSI verisinde değişim gözlemlenemediği için çalışma süresince 2-12 m. arasındaki 16 farklı mesafe için ölçümler alınmış ve kestirimler bu pozisyonlar üzerinden gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmalarda benzetim ve kestirimler MATLAB® yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Deneyle sırasında alınan RSSI verisinin sadece uzaklığa ve ortam şartlarına dayalı olarak değişmesini sağlamak için Wi-Fi yongasının otomatik kazanç kontrolü devre dışı bırakılmıştır.

4.1. ITU Modeli Sonuçları

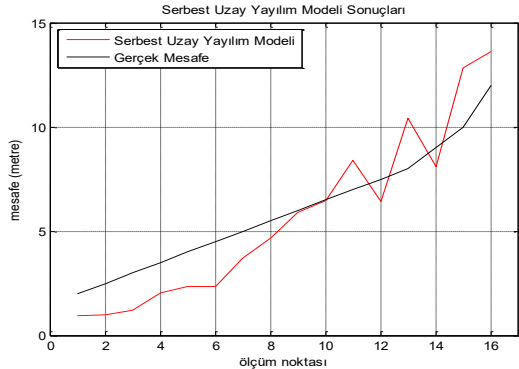


Şekil 5 - ITU modeli sonuçları

Şekil 5'te ITU modeli ile hesaplanmış olan uzaklık tahminlerinin gerçek uzaklıklar ile farkı görülmektedir. 2 m. ile 12 m. aralığında 16 farklı noktada alınan ölçümler üzerinden kestirilen mesafe değerlerinin, gerçek pozisyona olan ortalama farkı 64.06 cm olarak elde edilmiştir.

4.2. Serbest Uzak Yayılım Modeli Sonuçları

Elde edilen RSSI verilerine dayalı güç değerleri, karşılık gelen serbest uzak yayılım modeli mesafe değerlerine dayanılarak iki modül arası uzaklık kestirimi yapılmıştır. Bu yöntem sonuçları Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 6 - Serbest Uzak Yayılım Modeli sonuçları

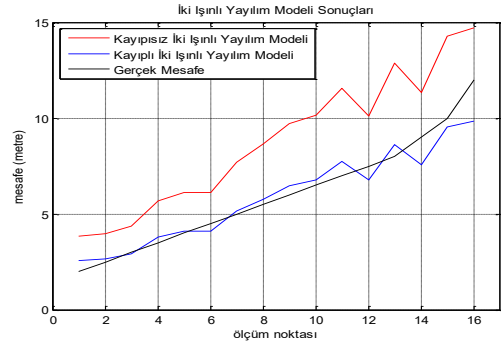
Alınmış olan ölçümler doğrudan Serbest Uzak Yayılım Modeli'ne uygulandığında gerçek mesafe eğrisi ile ölçümlerden elde edilen mesafe eğrisi birbirine paralel yapıda olmasına rağmen, iki eğri arasında 24 dB değerinde bir fark gözlemlenmiş ve ölçüm değerlerine bu değer eklenerek kestirim çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu durum Denklem 13'de sunulmaktadır.

$$RSSI = P_t + G_r + G_t - 20 \log\left(\frac{4\pi R}{\lambda}\right) - 24 \quad (13)$$

Denklem 13 kullanılarak yapılan kestirimlerde ise ortalama olarak 138.16 cm. hata ortaya çıkmaktadır.

4.3. İki Işınlı Yayılım Modeli Sonuçları

İki Işınlı Yayılım Modeli kullanılarak elde edilen RSSI verilerine karşılık gelen güçlerin mesafeleri kestirilmeye çalışılmıştır.

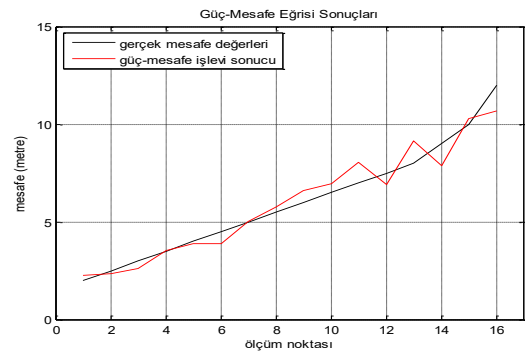


Şekil 7 - İki Işınlı Yayılım Modeli sonuçları

Serbest Uzak Yayılım Modeli'ndeki gibi, bu yöntemde de deneysel sonuçların, model ile paralel bir eğri izlediği fakat arada bir fark olduğu gözlemlenmiştir. Denklem 10 kullanılarak gerçekleştirilen mesafe kestirimi sonuçları Şekil 7'de görülmektedir (kırmızı). İki eğri arasındaki ortalama fark sisteme bir kayıp sabiti olarak eklendiğinde ise sonuçlar Şekil 7'de mavi çizgi ile gösterilmektedir. Kayıp değeri bu yöntem için yaklaşık olarak 7 dB olarak hesaplanmıştır. Kayıpsız sistemin ortalama hatası 282.75 cm. iken, kayıp sabiti eklenen sistemin ortalama hatası 55.6 cm. olarak hesaplanmıştır.

4.4. Güç-Mesafe İşlevi Sonuçları

Çalışmamız sırasında alınan ölçümlerden elde edilen işlev üstel fonksiyonlar ile ifade edilmiştir (Denklem 11 ve Şekil 4). Bu işleve dayalı olarak yapılan kestirim sonuçları da aşağıda sunulmaktadır (Şekil 8).

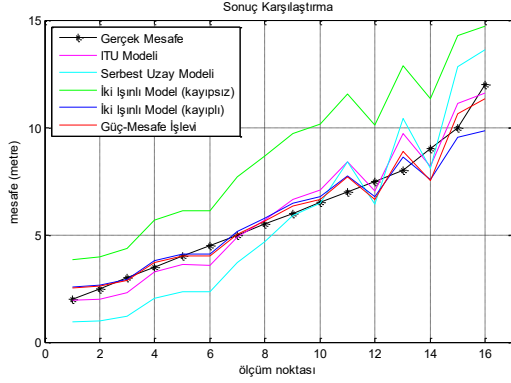


Şekil 8 - Güç-Mesafe İşlevi sonuçları

Bu yöntem ile gerçekleştirilen kestirimler ile gerçek sonuçlar arasındaki ortalama farkı 45.97 cm. olarak hesaplanmıştır.

4.5. Sonuç Karşılaştırması

Çalışmamızda mesafe kestirimi için kullanılmış olan dört yöntem sonucu hem grafik hem de sayısal veriler olarak aşağıda sunulmaktadır (Şekil 9, Çizelge 1).



Şekil 9 - Sonuç Karşılaştırma

Çizelge 1 - Hata Karşılaştırma

HATA TABLOSU (cm)	ITU	Serbest Uzak	İki Işınlı Kayıpsız	İki Işınlı Kayıplı	Güç-Mesafe İşlevi
Ortalama Hata	64,06	138,16	282,75	55,60	45,97

Deneysel sonuçlar üzerinden üstel fonksiyonlar kullanılarak oluşturulan Güç-Mesafe İşlevi kullanılarak yapılan RSSI-Mesafe kestirimleri, gerçek değerlere en yakın sonucu verdiği gözlemlenmiştir. Diğer kestirim yöntemleri hata performansı açısından sırasıyla İki Işınlı Yayılım Modeli, ITU kapalı alan modeli ve Serbest Uzak Modeli olmuştur.

5. Yorumlar

Yapılan çalışmalar sonucunda, RSSI metriği kullanılarak elde edilen güç değerlerinin, belirli aralıklar dahilinde mesafe kestiriminde kullanılabileceği gösterilmiştir. Özellikle kablosuz algılayıcı ağları (Wireless Sensor Networks), sürü robot (Swarm Robotics) uygulamaları gibi, birçok modülün belli bir alana dağıldığı uygulamalarda, modüller arasındaki uzaklığın kestiriminde yararlanılabilecek bir yöntem olduğu değerlendirilmektedir. Çalışmanın ilerleyen bölümlerinde, yapılan ölçümlerin aralıklarının daraltılarak daha sağlıklı sonuçlar elde edilmesi ve bu sonuçlar ile elde edilen işlevin geliştirilmesi planlanmaktadır.

6. Kaynaklar

- [1] Bose, A., & Foh, C. H. (2007, December). A practical path loss model for indoor WiFi positioning enhancement. In *Information, Communications & Signal Processing, 2007 6th International Conference on* (pp. 1-5). IEEE.
- [2] Awad, A., Frunzke, T., & Dressler, F. (2007, August). Adaptive distance estimation and localization in WSN using RSSI measures. In *Digital System Design*

Architectures, Methods and Tools, 2007. DSD 2007. 10th Euromicro Conference on (pp. 471-478). IEEE.

- [3] Kumar, P., Reddy, L., & Varma, S. (2009, December). Distance measurement and error estimation scheme for RSSI based localization in Wireless Sensor Networks. In *Wireless Communication and Sensor Networks (WCSN), 2009 Fifth IEEE Conference on* (pp. 1-4). IEEE.
- [4] Zanca, G., Zorzi, F., Zanella, A., & Zorzi, M. (2008, April). Experimental comparison of RSSI-based localization algorithms for indoor wireless sensor networks. In *Proceedings of the workshop on Real-world wireless sensor networks* (pp. 1-5). ACM.
- [5] Papamantou, C., Preparata, F. P., & Tamassia, R. (2008, July). Algorithms for location estimation based on rssi sampling. In *International Symposium on Algorithms and Experiments for Sensor Systems, Wireless Networks and Distributed Robotics* (pp. 72-86). Springer Berlin Heidelberg.
- [6] Seybold, J. S. (2005). *Introduction to RF propagation*. John Wiley & Sons.
- [7] Sommer, C., & Dressler, F. (2011, September). Using the right two-ray model? A measurement based evaluation of PHY models in VANETs. In *Proc. ACM MobiCom* (pp. 1-3).
- [8] Rappaport, T. S. (1996). *Wireless communications: principles and practice* (Vol. 2). New Jersey: Prentice Hall PTR.