KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

AKILLI ETİKETLERLE GERÇEK ZAMANLI OLARAK KAPALI ALANLARDA KONUM BELİRLEME

HİKMETCAN ÖZCAN

KOCAELİ 2016

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

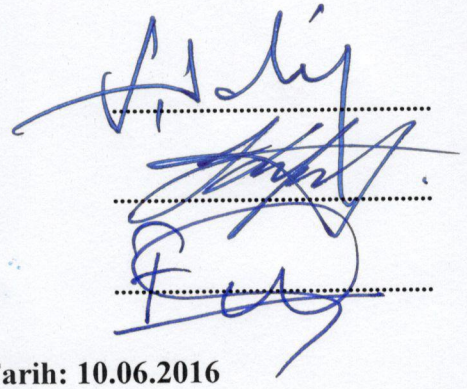
AKILLI ETİKETLERLE GERÇEK ZAMANLI OLARAK KAPALI ALANLARDA KONUM BELİRLEME

HİKMETCAN ÖZCAN

Yrd. Doç. Dr. Suhap ŞAHİN
Danışman, Kocaeli Üniversitesi .....

Doç. Dr. Kerem KÜÇÜK
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi .....

Yrd. Doç. Dr. Fuat KARAKAYA
Jüri Üyesi, Niğde Üniversitesi .....



Tezin Savunulduğu Tarih: 10.06.2016

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu çalışmada, kapalı alanlarda konum tespitini gerçek zamanlı olarak gerçekleştiren bir sistemin tasarlanması amaçlanmıştır. Tasarım aşamasında sistemin muadillerine göre daha düşük maliyetli olması ve sistem içindeki kullanıcılarda bulunan etiketlerin akıllı hale getirilmesi gibi kısıtlamalar göz önünde bulundurulmuştur. Bu sayede okuyucular tarafından toplanan akıllı etiket bilgileri karmaşık algoritmalara ihtiyaç duymaksızın yorumlanarak konum tespitinin yapılması amaçlanmaktadır.

Tez çalışmasının planlama, araştırma ve yürütülmesi esnasında ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren sayın hocam Yrd. Doç. Dr. Suhap ŞAHİN'e,

Aynı şekilde, birikimlerini benimle paylaşan, gösterdiği sabır, anlayış, verdiği sürekli destek ve yakınlık için, saygıdeğer hocam Doç. Dr. Kerem KÜÇÜK'e,

Bu çalışma süresince emeğini ve yardımlarını esirgemeyen değerli arkadaşım Fatih PİR ve Vasilii Brailovskii'ye,

Bu süreçte bana her anlamda destek olan sevgili eşim Arzu ÖZCAN'a

Bu günlere gelmemde büyük pay sahibi olan aileme ve dostlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Haziran – 2016 Hikmetcan ÖZCAN

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR i
İÇİNDEKİLER ii
ŞEKİLLER DİZİNİ iii
TABLOLAR DİZİNİ v
SİMGELER DİZİNİ VE KISALTMALAR vi
ÖZET viii
ABSTRACT ix
GİRİŞ 1
1. KAPALI ALANLARDA KONUM TESPİTİ (INDOOR LOCATİON) 5
1.1. Indoor Location'ın Tanımı 5
1.2. Indoor Location'da Kullanılan Teknolojiler 5
1.3. Indoor Location'da Kullanılan Yöntemler 6
1.4. Indoor Location Kullanım Alanları 6
2. SİSTEM DONANIM VE TASARIMI 7
2.1. Sistem Tasarımı 7
2.1.1. Genel sistem 7
2.1.2. Yazılım ve donanım arayüzü 8
2.2. Kullanılan Donanım ve Yazılımlar 8
2.2.1. NRF24L01(P) entegresi 11
2.2.2. NRF24LE1 entegresi 15
2.2.3. Kullanılan diğer donanımlar 18
2.3. Donanım Tasarımı 18
2.3.1. Etiket tasarımı 18
2.3.2. Yerel okuyucu tasarımı 21
2.3.3. Genel okuyucu tasarımı 22
2.4. Yazılım Tasarımı 23
2.4.1. Benzetim ortamının gerçekleştirilmesi 23
2.4.2. Etiket 43
2.4.3. Yerel okuyucu 44
2.4.4. Genel okuyucu 45
2.4.5. Sunucu 46
3. SONUÇ VE ÖNERİLER 50
KAYNAKLAR 51
EKLER 54
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER 56
ÖZGEÇMİŞ 57

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Sistemin genel mimarisi 8
Şekil 2.2. Radyo kontrolü durum diyagramı 10
Şekil 2.3. NRF24L01(P) entegresi 11
Şekil 2.4. Entegrenin RX modunda Çalışma Diagramı 12
Şekil 2.5. Entegrenin RX modunda Enhanced ShockBrust özelliği 14
Şekil 2.6. NRF24LE1 entegresi 15
Şekil 2.7. Entegrenin TX modunda çalışma şeması 16
Şekil 2.8. Entegrenin TX modunda Enchanced ShockBrust özelliği 17
Şekil 2.9. Entegrenin donanımsal yapısı 18
Şekil 2.10. Etiketin devre tasarımı 20
Şekil 2.11. Etiketin 2 boyutlu gösterimi 20
Şekil 2.12. Etiketin 3 boyutlu gösterimi 21
Şekil 2.13. Etiketin üretilmiş hali 21
Şekil 2.14. NRF24L01(P) Entegresinin Donanımsal Yapısı 22
Şekil 2.15. Arduino uno NRF24L01(P) bağlantı pinleri 22
Şekil 2.16. NRF'24L01(P) ve Anten 23
Şekil 2.17. NRF24L01(P) Raspberry bağlantı pinleri 23
Şekil 2.18. Matlab simülasyon arayüzü 24
Şekil 2.19. Alıcı ve gönderici arasındaki anten kazancı 27
Şekil 2.20. Etiketin 0dBm ile mesaj paketlerinin gönderimi 29
Şekil 2.21. Etiketlerin haberleşme mesafesinin tespiti 31
Şekil 2.22. Sinyal güçlerinin haberleşme alanları 32
Şekil 2.23. Haberleşme simülasyon arayüzü 33
Şekil 2.24. 0dBm sinyal gücüyle okuyucu haberleşme oranı 34
Şekil 2.25. -6dBm sinyal gücüyle okuyucu haberleşme oranı 34
Şekil 2.26. -12dBm sinyal gücüyle okuyucu haberleşme oranı 35
Şekil 2.27. -18dBm sinyal gücüyle okuyucu haberleşme oranı 35
Şekil 2.28. Etiketin sinyal gücüne göre haberleşme sayısı 36
Şekil 2.29. Sinyal gücüne göre haberleşme başarım oranları 36
Şekil 2.30. Etiket için geliştirilen algoritmanın akış şeması 37
Şekil 2.31. Etiket ve okuyucu arasındaki mesaj paketlerinin iletimi 38
Şekil 2.32. Etiket algoritmasının simülasyon işlem sonucu 39
Şekil 2.33. Akıllı algoritmanın okuyucu ile haberleşme sonucu 40
Şekil 2.34. Sinyal gücü tabanlı triateration tekniği 40
Şekil 2.35. Referans noktasına göre simülasyonun çalıştırılması 41
Şekil 2.36. Simülasyon sonucunda referans etiketin tahmini 42
Şekil 2.37. Etiket algoritması akış şeması 43
Şekil 2.38. Yerel okuyucu algoritmasının akış şeması 44

Şekil 2.39. Genel okuyucu algoritmasının akış şeması 46
Şekil 2.40. Sunucu algoritmasının akış şeması 47
Şekil 2.41. Ölçülen sinyal değerleri 47
Şekil 2.42. Kalman filtresi sonucundaki sinyal değerleri 48

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 2.1. NRF24L01(P) entegresinin özellikleri 12
Tablo 2.2. NRF24LE1 Entegresinin özellikleri 15
Tablo 2.3. NRF24LE1 Entegresinde Kullanılan Pinler 19
Tablo 2.4. Simülasyon içerisinde kullanılan okuyucuların konumları 25
Tablo 2.5. Uzaklık ve frekans birimlerine göre FSPL için sabit değer 26
Tablo 2.6. Farklı ortamlardaki yol kaybı ve standart sapma 28
Tablo 2.7. Path Loss Modellerine göre alınan mesaj paket sayısı 30
Tablo 2.8. Sinyal çıkış gücü değerleri için simülasyon sonucu 30
Tablo 2.9. Çıkış gücü değerlerinin haberleşme uzaklığı 32
Tablo A.1. Kapalı alanlarda konum belirleme çalışmaları 55

SİMGELER DİZİNİ VE KISALTMALAR

c : Işık hızı, (metre/saniye)
d : Alıcı ve gönderici arasındaki uzaklık, (metre)
f : BSinyal frekansı, (hertz)
λ : Sinyalin dalgaboyu, (metre)
Ɣ : Sinyalin yol kaybı katsayısı, (metre)
σ : Standart sapma, (dB)

Kısaltmalar

ACK : Auto Acknowledgement (Paket Alındı Bilgisi)
AES : Advanced Encryption Standard (Gelişmiş Şifreleme Standartı)
AP : Access Point (Erişim Noktaları, Okuyucular)
CE : Chip Enable (Chip Etkinleştirme)
CRC : Cyclic Redundancy Check (Döngüsel artıklık denetimi)
DB : Decibels (Desibel)
DBM : Decibel-Miliwatt (Desibel - Miliwatt)
DC : Direct Current (Doğru Akım)
ED : Error Distance (Hata Mesafesi)
FIFO : First In First Out (İlk Giren İlk Çıkar)
FSPL : Free Space Path Loss (Serbest Uzayda Yol Katbı)
GFSK : Gaussian Frequency Shift Keying (G. Frekans Kaydırmalı Anahtarlama)
GND : Ground (Topraklama)
GNSS : Global Navigation Satellite System (Küresel Konumlama Uydu Sistemleri)
GPS : Global Positioning System (Küresel Konumlama Sistemi)
IPS : Indoor Positioning System (Kapalı alanlarda Konumlandırma Sistemi)
IR : Infrared (Kızılötesi)
ISM : The Industrial, Scientific and Medical (Endüstriyel, Bilimsel ve Sağlık)
KF : Kalman Filter (Kalman Filtresi)
KNN : K-Nearest Neighbors (En Yakın Komşuluk)
MAC : Media Access Control (Ortam Erişim Denetimi)
MCU : Microcontroller (Micro Denetleyici)
MDS : Multidimensional Scaling (Çok Boyutlu Ölçekleme)
MITM : Man In The Middle (Ortadaki Adam)
PID : Packet Identification (Paket Tanımlama)
RF : Radyo Frequency (Radyo Frekansı)
RFID : Radyo Frequency Identification (Radyo Frekansı ile Tanımlama)
RSS : Received Signal Strenght (Alınan Sinyal Gücü)
RSSI : Received Signal Strenght Indicator (Alınan Sinyal Gücü İşaretçisi)
RX : Receiver (Okuyucu)
SoC : System On Chip (Sistemi Üzerinde Chip)
SPI : Serial Peripheral Interface (Çevresel Arayüz)
SVM : Support Vector Machine (Destek Vektör Makinesi)
TDOA : Time Difference Of Arrival (Farklı Varış Zamanı)

TOA : Time of Arrival (Varış Zamanı)
TX : Transiver (Gönderici)
UART : Universal Asynchronous Receiver/Transmitter (Evrensel Eşzamansız Alıcı/Gönderici)
UUID : Universally Unique Identifier (Evrensel Benzersiz Tanımlayıcı)
UWB : Ultra Wide Band (Çok Geniş Bant)
WKNN : Weighted K Nearest Neighbor (Ağırlıklandırılmış En Yakın Komşuluk)

AKILLI ETİKETLERLE GERÇEK ZAMANLI OLARAK KAPALI ALANLARDA KONUM BELİRLEME

ÖZET

Günümüzde GPS sistemleri açık alanlarda çok az hata payı ile konum tespiti yapılabilmesine rağmen kapalı alanlarda konum tespiti için yeterli olamamaktadır. GPS sisteminde bir şehir içerisinde hangi binada olduğunuzu size söylenebilir fakat hangi katta yada odada bulunduğunuz hakkında size bir bilgi verilemez. Örneğin; geniş mağazalar, havaalanları ve konferans salonları gibi kapalı mekanlarda konum tespitinde başarısız olmaktadır. Bu nedenle kapalı mekanlarda bulunan kişilerin konumlarının belirlenmesi ile ilgili birçok çalışma yapılmaktadır. Bu çalışmada kişilerin taşıdıkları etiketler, yerel ve genel okuyucular ve sinyallerin değerlendirilip yorumlanabilmesi için bir sunucu kullanılmaktadır. Etiketler kendi içerisindeki akıllı bir algoritma ile okuyucularla haberleşerek farklı güç seviyelerinde 1 saniye aralıkla mesaj paketi göndermektedir. Mesaj paketi; eşsiz bir etiket numarası ve mesajın gönderileceği güç seviye bilgisinden oluşmaktadır. Odalarda bulunan yerel okuyucular bu mesaj paketlerini alarak genel okuyucular üzerinden sunucuya gönderir. Sunucuda toplanan bilgiler değerlendirilerek kişilerin hangi odada bulundukları çıkarımını yapabilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Akıllı Etiket, Gerçek Zamanlı Sistemler, Kapalı Alan, Konum Belirleme, RF.

DETERMINING THE LOCATION IN REAL TIME WITH SMART TAGS IN CLOSED AREA

ABSTRACT

Today, GPS systems are able to detect location with very little margin of error in public areas. But GPS is not enough for position detection in confined areas. In the GPS system, It can be said that in which building in a city you are but It cannot be said about which the floor or where in the room you are. For example; it cannot give an answer about the whereabouts of the nearest doctor in the hospital in an emergency or wide range of shops and museums, airports and large indoor spaces such as conference rooms. Therefore, many studies are performed for determining the position of people in closed spaces. In this study, a server is used for the interpretation of local and global readers, evaluating signal and the labels carried by the persons. Labels, communicating with the reader with an intelligent algorithm within its is 1 second intervals send message packets at different power levels. Message package; It consists of a unique tag number and power level information to send the message. Local readers in the rooms, taking these messages and send them to the general reader package. General readers send the massage packets they received to the server. Using the information gathered in the server, can give an answer about the persons in which room they were in.

Keywords: Smart Tags, Real-Time Systems, Indoor, Determine Location, RF.

GİRİŞ

Günümüzde, kullanıcıların açık alanlarda ki konum tespiti; düzenli olarak kodlanmış bilgi yollayan Küresel Konumlama Uydu Sistemleri kullanılarak gerçekleştirilmektedir. GNSS, bilgilerinin yorumlanarak konum belirlenmesi için Küresel Konumlama Sistemini (Global Positioning System, GPS) kullanılmaktadır. GPS, uydular arasındaki mesafeyi ve uydular tarafından gönderilen sinyalleri kullanarak 1m hassasiyetle konum tespiti yapabilmektedir(Holfmann-Wellenhof ve diğ., 2001).

GPS sistemleri açık alanlarda çok az hata payı ile konum tespiti yapılabilmekteyken kapalı alanlarda konum tespiti için yeterli olamamaktadır. GPS sistemi bir şehir içerisinde hangi binada olduğunuzu size söylenebilir fakat hangi katta ya da odada bulunduğunuz hakkında size bir bilgi verilemez. Örneğin; geniş mağaza ve müzeler, havaalanları ve konferans salonları gibi kapalı büyük mekanlarda ya da hastane içerisindeki doktorun nerede olduğu hakkında bir cevap verememektedir. Bu nedenle kapalı mekanlarda konum tespiti ile ilgili birçok çalışma yapılmaktadır.

Kapalı konum tespiti için yapılan çalışmalarda kullanılan donanımsal cihazların maliyeti; entegrelerin özelliklerine göre değişmektedir. RSS (Receive Signal Strenght) ölçümüyle çalışan cihazlar donanım maliyet fiyatını en az 3 katına çıkarmaktadır. Günümüzde gerçekleştirilen birçok akademik çalışmada RSS değerinin konum tahmini için fazlasıyla kullanılmasına rağmen donanımsal maliyeti oldukça fazla olduğunu görebiliriz.

Yapılan çalışmada kişilerin taşıdıkları etiketler, yerel ve genel okuyuculardan alınan ve sinyallerin değerlendirilip yorumlanabilmesi için bir sunucu kullanılmaktadır. Etiketler kendi içerisindeki akıllı bir algoritma ile okuyucularla haberleşerek farklı güç seviyelerinde 1 saniye aralıkla mesaj paketi göndermektedir. Mesaj paketi; eşsiz bir etiket numarası ve mesajın gönderileceği güç seviye bilgisinden oluşmaktadır. Odalarda bulunan yerel okuyucular bu mesaj paketlerini alarak genel okuyuculara göndermektedir. Genel okuyucular aldıkları mesaj paketlerini sunucuya gönderir.

Sunucuda toplanan bilgiler değerlendirilerek kişilerin hangi odada bulundukları hakkında bir cevap verebilmektedir.

Xin-Yu Lin ve diğ. (2015) acil durum odalarında verimliliği arttırmak için İBeacon tabanlı Bluetooth Low Energy teknolojisini kullanan bir mobil uygulama geliştirerek yeni bir çözüm üretmişlerdir. Bluetooth sinyalleri içerisinde Universal Unique Identifier(UUID) ve Receive Signal Strengh Indicator(RSSI) değerlerini kullanan bu çalışma, temel yöntem olarak RSS-based algoritması kullanılmış olup, time of Arrival(TOA), Angle of Arrival(AOA) ve Time Difference of Arrival(TDOA) algoritmaları ile kendi yöntemlerini karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak odalarda bulunan aletler ve hastaların 5 metrelik hassasiyet ile %97,22 oranında doğru hesaplamışlardır.

Rashid Ahmed ve diğ. (2015) Geniş bir alanda konumları bilinmeyen RFID etiketleri arasındaki uzaklığı ölçmek için log normal distance path loss proagation modeli kullanmıştır. Bu modeli kullanılma nedeni; RFID okuyucularının sayısının azaltarak maliyeti düşürmek olduğu belirtilmiş. Fakat bu çözüm etiketlerin kapasitelerinin sınırlı olması ve bulundukları ortamdaki çevresel faktörlerin (duvar vb.) sinyal iletimini güçleşmesi gibi ekstra zorluklarda getirdiği görülmüştür. Dolayısıyla etiketler hakkında doğru bilgi alabilmek için okuyucuların sayısının fazla olmasının önemli olduğundan bahsetmiştir. LANDMARK'ın kullandığı gibi referans etiketlerden yola çıkarak Measurement model of Log-Distance Path Loss Propagation yöntemi kullanılmış ve Max RSSI değerine göre konum ve uzaklık tahmini yapılmıştır. Sonuç olarak RFID etiketlerden alınan sinyal gücü değeriyle çalışan algoritmalara göre MDS(Multidimensional Scaling) algoritması kullanılarak hata payına(Error Distance,ED) göre etiketlerin gerçek yerleri ve tahmini yerleri arasındaki mesafeyi en aza indirdiklerini belirtmiştir.

Sinem ve diğ. (2015) kapalı alanlarda konum tahmini yapmak için Wi-fi ve Bluetooth teknolojisi kullanılarak referans etiketlerden alınan wi-fi RSS ve Bluetooth RSS verileri üzerinden konum tahmini yapılmışlardır. Sonuç olarak 54 farklı referans etiket için 200 saniye kayıt alınarak elde edilen 5400 wi-fi ve sinyal gücü değeri veri tabanına kaydedilmiş ve toplanan değerler kapalı alanlarda konum belirleme algoritmaları kullanılarak konum tespiti yapılmıştır.

Jafet Aaron Morales ve diğ. (2014) kapalı alanlarda konum belirlemek için etiketlerden ve okuyuculardan doğru ve yanlış şekilde alınan verilerin sonuçlara ne kadar etkisi olacağını göstermiştir. Çalışma kapsamında kapalı alanlardaki konum tahmin için gerekli olaran referans etiketlerden gönderilen mesajlar ve okuyuculardan (Access Point, AP) alınan sinyal güç değerlerini veri tabanına kaydetmişlerdir. Veri tabanında bir tabloda doğru verileri, diğer tabloda ise yanlış verileri tutmuşlardır. Okuyucu cihazların konumlandırıldığı yerler ve etiketlerin etki alanlarından çıkarılması veya sunucuda okuyucu cihazların tanımlandığı konum bilgilerinin farklı olduğu test ortamları denemişlerdir. Sonuç olarak kapalı alanlardaki konum tahminlerinin çok büyük hatalara sebep olduğunu göstermişlerdir.

Gints Jekabsons ve diğ. (2011) kapalı alanlarda konum tahmini doğruluğunu arttırmak için çalışmalar yapmışlardır. Mobil cihazlardan alınan sinyal güçlerini veri tabanı kullanarak depolamış, ağırlıklandırılmış ve en yakın komşuluk algoritmasını kullanarak konum tahmini yapmışlardır. Sonuç olarak 2 metre ile 2,5 metre arasındaki bir hassasiyetle başarıya ulaştıklarını göstermişlerdir.

Li Zhang ve diğ. (2013) blueetooth teknolojisini kullanarak sinyal güç değerlerine göre konum belirlemek için sınıflama algoritmalarını kullanmışlardır. Çalışma kapsamında bluetooth sinyal güçlerini veri tabanına kaydetmişlerdir. Bu veriler üzerinden en yakın komşuluk(K-Nearest Neighbors, KNN) ve destek vektör makinaları(Support Vector Machine, SVM) algoritmasını kullanarak aralarındaki hata payını ölçmüşlerdir. Çalışma sonucunda SVM algoritmasının KNN algoritmasına göre daha az hata payı ile sınıflandırma yaptığını gözlemlemişlerdir.

Kuntal ve diğ. (2014) kablosuz ağlarda sinyal güç değerlerini kullanan konum belirleme tekniklerinin optimizasyonuyla ilgili çalışmalar yapmışlardır. Çalışma kapsamında Newton Raphson optimizasyon tekniğinin, Newton Gaussian ve trilateration teknikleriyle karşılaştırmasını yapmışlardır. Newton Raphson tekniğinin trilateration tekniğinden daha az hata payıyla konum tahmini yapıtığını ancak Newton Gaussian tekniğinin kullanılarak elde edilen sonuçlarlarına benzer olduğunu görmüşlerdir.

Subaashini ve diğ. (2012) ZigBee modülünü kullanılarak RF sinyallerindeki güç değerleri üzerinde yaptıkları çalışmalar kapsamında RF sinyallerindeki güç

seviyesini üç farklı alanda ölçmüşlerdir. İlk olarak açık alanda etiket ve okuyucu arasında hiçbir engel olmadan sinyal güç seviyesini hesaplamışlardır. İkinci ölçümlerde ise etiket ve okuyucu arasında cam, cam-tahta ve duvarın olduğu alanda ölçülen sinyal gücündeki seviyeyi küçükten büyüğe doğru olduğunu hesaplamışlardır. Son olarak ise etiket ve okuyucu arasında insanın olduğu alanda sinyal gücü seviyesi ölçülerek diğer alanlar ile karşılaştırma yapmışlardır. Ayrıca konum belirlemede okuyucu sayılarının önemine dikkat çekmişlerdir. Yaptıkları çalışma sonucunda konum belirlemede; sinyal gücü ile birlikte çevresel faktörlerin ve okuyucu sayılarının konum belirlemede çok önemli olduğunu belirtmişlerdir.

Widyawan ve diğ. (2007) kapalı alanlardaki kablosuz ağlardan alınan sinyal güçlerini kullanarak çoklu duvar modeline göre konum tahmini yapmışlardır. Çalışmada duvar tipine ve kat sayısına göre sinyal gücünün ne kadar azaldığını belirlemişlerdir. Buna göre duvar tipi kartonpiyer, sunta veya 10 cm daha az ise 3,4 dBm, beton, tuğla ya da 10 cm daha kalın ise 6,9dBm'lik sinyal gücü kaybı oluşmakta olduğunu belirtmişlerdir.

Mehmet Hilal Özcanhan ve diğ. (2014) hastanede kullanılan taşınabilir biyomedikal cihazların takibi için RFID teknolojisini kullanmışladır. Yaptıkları çalışmada performans, maliyet ve güvenliği ön planda tutmuşlardır. Güvenlik için AES şifreleme algoritması ve kimlik onayı için NFC teknolojisini kullanmışlardır.

Sungil Kim ve diğ. (2015) farklı kapalı alanlarda konum tahmini tekniklerinden ve her bir tekniğin maliyet ve doğruluğunun analizini yapmış ve bu tekniklere karşı güvenlik tehditlerini incelemişlerdir. Çalışmada Time of Arrival (TOA), Angle of Arrival (AOA), TOA/AOA yöntemlerinin birlikte kullanımı ve RSSI-Based Algoritmalarından bahsetmişlerdir. Haberleşme teknolojisi olarak wi-fi, Bluetooth Low Energy ve RF teknolojilerini kullanmışlardır.

1. KAPALI ALANLARDA KONUM TESPİTİ (INDOOR LOCATİON)

1.1. Indoor Location'ın Tanımı

Kapalı mekanlarda konum tespiti sistemi (Indoor Positioning System, IPS) radyo dalgaları, manyetik alanlar, akustik sinyalleri ya da taşınabilir cihazlar tarafından toplanan algısal bilgileri kullanarak bir binanın içinde nesneleri ya da kişileri bulmak için kullanılan bir sistemdir(Kevin C. ve diğ, 2011).

1.2. Indoor Location'da Kullanılan Teknolojiler

Günümüzde kapalı alanlarda konum tespiti için kullanılan birçok teknoloji bulunmaktadır. Wi-fi teknolojisi kablosuz erişim noktalarından (Wireless Access Points) alınan sinyallerin şiddetine göre konum belirlemek amacıyla kullanılmaktadır. Bluetooth teknolojisi sinyallerin şiddetini kullanarak kişinin ya da nesnelerin kesin konumu değil yalnızca yakınlığını tespit etmek amacıyla kullanılmaktadır. Bu teknoloji tek başına değil Wi-fi ile birlikte hibrit olarak kullanılabilmektedir. RF(Radyo Frekansı) teknolojisi belirli radyo frekanslarını sürekli yayın yaparak RF okuyucular tarafından alınan sinyalleri işleyerek konum tespiti için kullanılmaktadır. RFID(Radyo Frekansıyla Tanımlama) teknolojisi kişi ya da nesnelere bağlı aktif ya da pasif etiketleri izlemek için elektromanyetik alanları kullanmaktadır. UWB(Çok Geniş Bant) teknolojisi yüksek bant genişliğinde düşük enerji seviyesinde kısa menzilli radyo frekansı ile konum belirlemek için kullanılmaktadır. IR(Kızılötesi) teknolojisi cihazlarda bulunan kızılötesi ışınları kullanarak konum belirleme için kullanılmaktadır. Magnetic Fields (Manyetik Alanlar) teknolojisi akıllı telefonlarda bulunan sönsörler (Örn: Pusula) yardımıyla dünyanın manyetik alanını kullanarak kapalı alanlarda konum bulmak için kullanılmaktadır.

Kapalı alanlarda konum tespiti için kullanılan bu teknolojiler konum tespiti yapılacak kapalı alanın özelliğine (Örn: Duvar kalınlığı) göre farklılıklar göstermektedir.

Seçilecek teknolojinin tespiti için bir başka etken ise maliyettir. Etiket, okuyucu ve sunucu maliyetine göre yöntem ve teknolojik olarak farklılık gösterebilmektedir.

1.3. Indoor Location'da Kullanılan Yöntemler

Günümüzde kapalı alanlarda konum belirleme ihtiyacı ortaya çıkmasından bu yana birçok yöntem geliştirilip kullanılmaya başlanmıştır. Bu yöntemler kablosuz iletişim tabanlı olmakla beraber kullanılan teknolojilere göre farklılık göstermektedir. EK-1A ve EK-1B'de kullanılan yöntemler ve teknolojiler ayrıntılı olarak açıklanmaktadır. Kullanılan yöntemlerin birçoğunda RSS(Receive Signal Strength) özelliği kullanılmaktadır. Bu özellik okuyucular tarafından alınan sinyalin kuvvetini ölçmek için kullanılmaktadır. RSS değeri etiketlerin okuyucularla arasındaki mesafe bilgisi için tahmin imkanı sağlamaktadır. IEEE 802,11 standardında her yonga üreticisi kendi "RSSI_MAX" değerini tanımlamaktadır. Bu değer 0 – 255 arası bir değerde olabilir. Genel olarak 0 değeri en yüksek sinyal kuvveti 255 ise en düşük sinyal kuvveti olarak kullanılmaktadır.

1.4. Indoor Location Kullanım Alanları

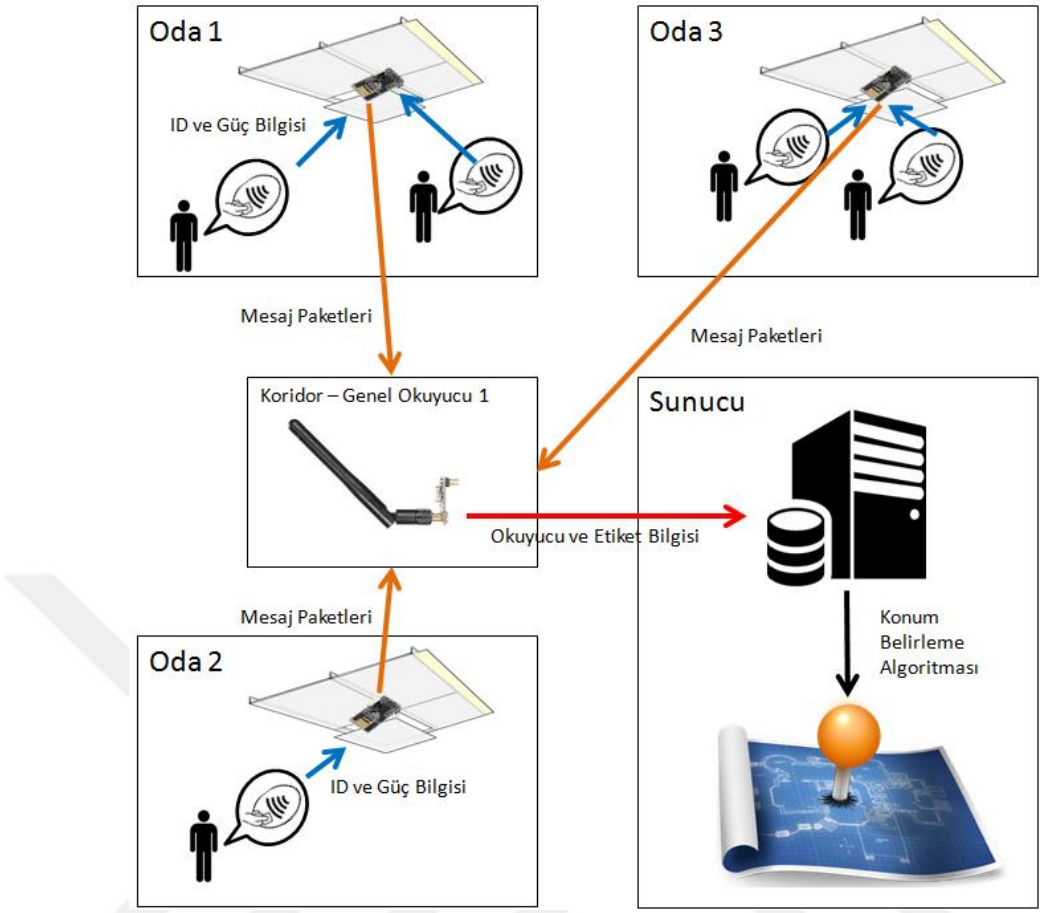
Kapalı alanlarda konum tahmini için geliştirilen birçok yöntem ve bu yöntemlerin kullanıldığı alanlar bulunmaktadır. Örneğin; bir şirkette çalışanlarının mesai saati içerisinde nerede ve ne kadar çalıştıkları, hastane içerisindeki hastaların doktor odasına randevu saatinde girip girmedikleri ya da acil bir durumda en yakın doktorun kim olduğu, geniş mağaza ve müzelerde ziyaretçileri yönlendirme vb birçok alanda kullanılmaktadır. Kapalı alanlarda konum tahmini için yapılan çalışmalar ilerledikçe kullanılan alanlarında bu durum ile doğru orantılı bir şekilde artması beklenmektedir.

2. SİSTEM DONANIM VE TASARIMI

2.1. Sistem Tasarımı

2.1.1. Genel sistem

Çalışma kapsamında geliştirilen sistem 4 modülden oluşmaktadır. Bunlardan ilki kişilerde bulunan etiketlerdir. Etiketler kendilerine ait eşsiz bir numara ile isimlendirilmişler ve içerisinde yürüttükleri akıllı bir algoritma sayesinde 4 farklı güç seviyesinde mesaj paketlerini gönderecek şekilde geliştirilmiş modüllerdir. İkincisi odaların ortasında bulunan yerel okuyuculardır. Bu okuyucular etiketler tarafından gönderilen mesaj paketlerini alarak en yüksek güç seviyesi ile genel okuyuculara iletme görevini yerine getirmek için geliştirilmiş modüllerdir. Koridorlarda bulunan genel okuyucular olan üçüncü modül, yerel okuyucular ve etiketlerden gelen mesaj paketlerini alarak sunucuya iletmek için geliştirilmiştir. Son modül ise sunucuya gelen veri paketlerini işleyerek kişinin hangi odada ya da koridorda olduğunun tahminini yapmak için geliştirilmiş bir modüldür. Şekil 2.1'de genel mimarisi gösterilen sisteme ait olan tüm bu modüller gerçek zamanlı olarak çalışmaktadır.



Şekil 2.1. Sistemin genel mimarisi

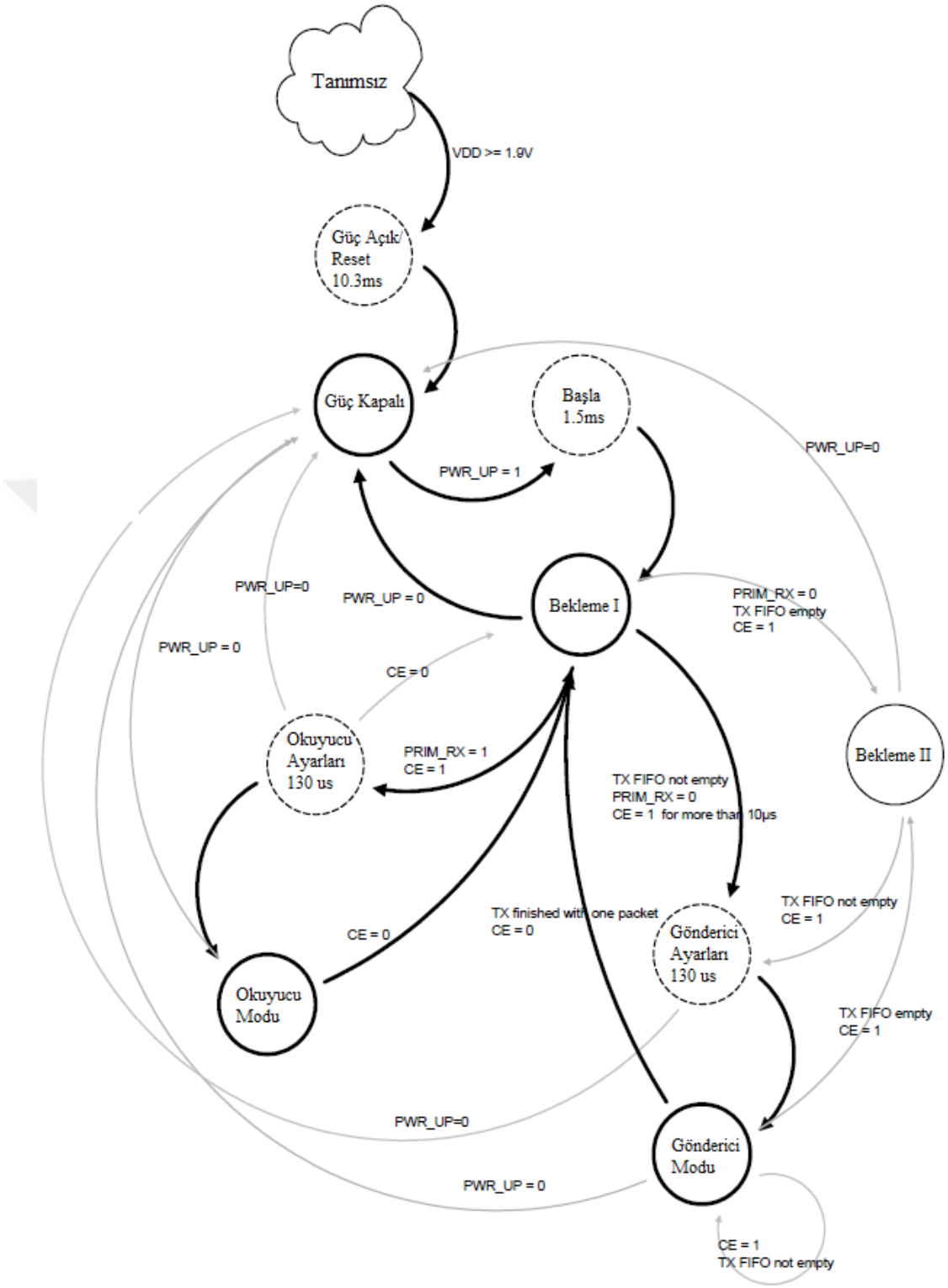
2.1.2. Yazılım ve donanım arayüzü

Çalışmada entegrelerin ve sunucun programlanabilmesi için yazılım ve donanım arayüzleri kullanılmıştır. Etiket ve okuyucuların programlanabilmesi için özgür ve açık kaynak kodu C ve C++ programlama dillerini destekleyen bir geliştirme platformu olan CodeBlocks kullanılmıştır. Sunucu için ise Microsoft Visual Studio 2015 geliştirme platformu kullanılmıştır. Etiket ve okuyucuların devre tasarımları için Altium Dizayner programı kullanılmıştır.

2.2. Kullanılan Donanım ve Yazılımlar

Çalışmada yerel ve genel okuyucu için NRF24L01P entegresi, etiket için NRF24LE1 entegresi kullanılmıştır. Sunucu için bir dizüstü bilgisayar ve genel okuyuculardan sunuculara veri aktarımını sağlamak için Raspery Pi 2 gömülü sistem kartı kullanılmıştır.

Şekil 2.2’de Radyo kontrolü durum diyagramından bahsedilmektedir. Durum diyagramında bulut simgesi tanımsız bir durumu, kalın daire önerilen çalışma durumunu, ince daire olası çalışma durumunu, kesikli ince daire geçiş durumunu, kalın ok işlem modelleri arasında gidilmesi önerilen durumları, ince ok işlem modelleri arasında gidilebilecek durumları göstermektedir. Ayrıca CE pin sinyal bilgisini, “PWR_UP” güç durum bilgisini, “TX FIFO empty” ise sistem bilgisini ifade etmektedir.



Şekil 2.2. Radyo kontrolü durum diyagramı (URL-1)

Entegreye 1,9 voltluk bir güç verildikten sonra, PWR_UP biti 1 olarak atanır ve entegre bekleme moduna geçer. RX biti ya da TX bitinin 1 olma durumuna göre entegrenin okuyucu mu yoksa gönderici olarak mı çalışacağı belirlenir. Eğer

okuyucu ise RX ayarları yüklenerek sistem RX moduna geçer ve mesaj paketlerinin gelmesini bekler. Eğer gönderici ise TX ayarları yüklenerek sistem TX moduna geçer ve mikrokontroller dan mesaj paketinin gelmesini bekler. Bu durumlar sırasında PWR_UP bitinin 0 olarak atanması entegrenin uyku moduna girmesini sağlar. Bu döngü entegreye verilen 1,9 voltluk gücün kesilmesine kadar devam eder.

2.2.1. NRF24L01(P) entegresi

Çalışma kapsamında Nordic firması tarafından geliştirilen ve Şekil 2.3'de gösterilen NRF24L01(P) entegresi kullanılmıştır.



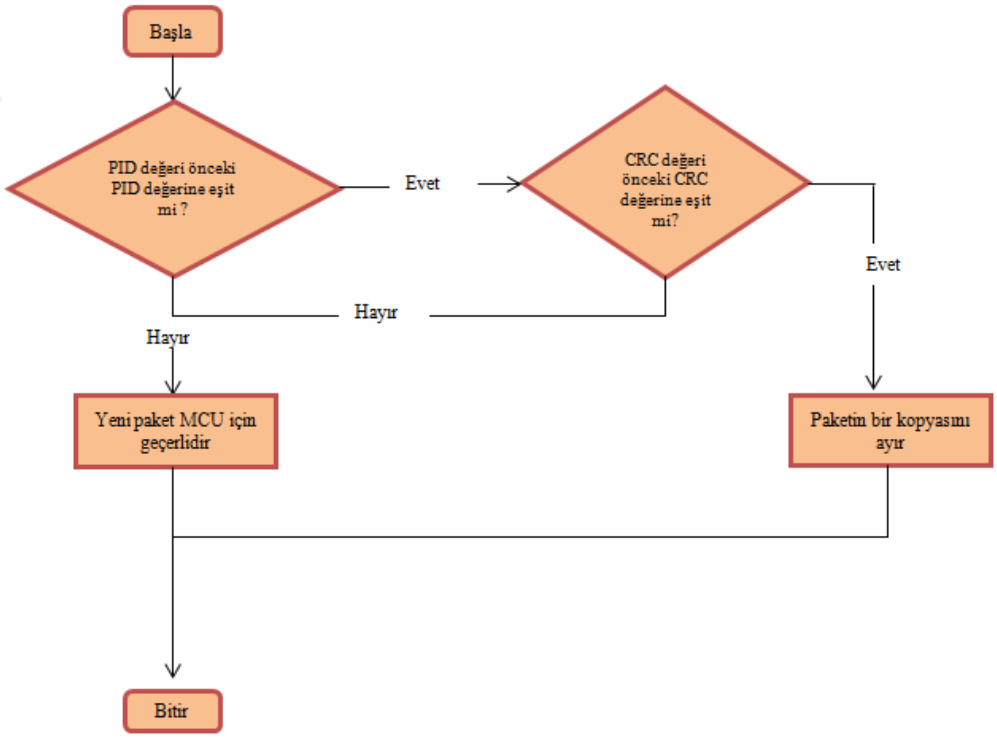
Şekil 2.3. NRF24L01(P) entegresi

Tablo 2.1'de entegrenin özellikleri verilen entegre çok düşük güç tüketimine sahip 2.4 GHz ISM (Endüstriyel, Bilimsel ve Tıbbi) bandında radyo frekansı (RF) ile haberleşen bir sistemdir.

NRF24L01(P) entegresi kablosuz bilgisayar donanımlarında, oyun kontrollerinde, sensörlerde RF tabanlı uzaktan kontrol edilen elektronik aletlerde, evlerde, çok düşük güçte çalışan sensör ağlarında, aktif RFIDler ve kapalı alanlarda lokasyon takiplerinde kullanılmaktadır.

Tablo 2.1. NRF24L01(P) entegresinin özellikleri

Özellik	Açıklama
Frekans	2,4 Ghz Radio
Haberleşme Tipi	Alıcı/Gönderici(Receiver/Transiver,HalfDuplex)
Haberleşme Hızı	256kbps (-94dBm RX sensitivity), 1Mbps (-82dBm RX sensitivity), 2Mbps (-85 RX sensitivity)
Çıkış Gücü (Output Power)	0, -6, -12, -18dBm (TX output power)
MCU Arayüzü	SPI
Güç kaynağı	1,9 volt -3,6 volt (Tavsiye edilen 3.3 volt)
Çalışma sıcaklığı	-40 to +80 ºC
Enhanced ShockBurst	Otomatik tekrar paket gönderme(Retransmit packet) Otomatik paket alındı bilgisi(Auto Acknowledgement)

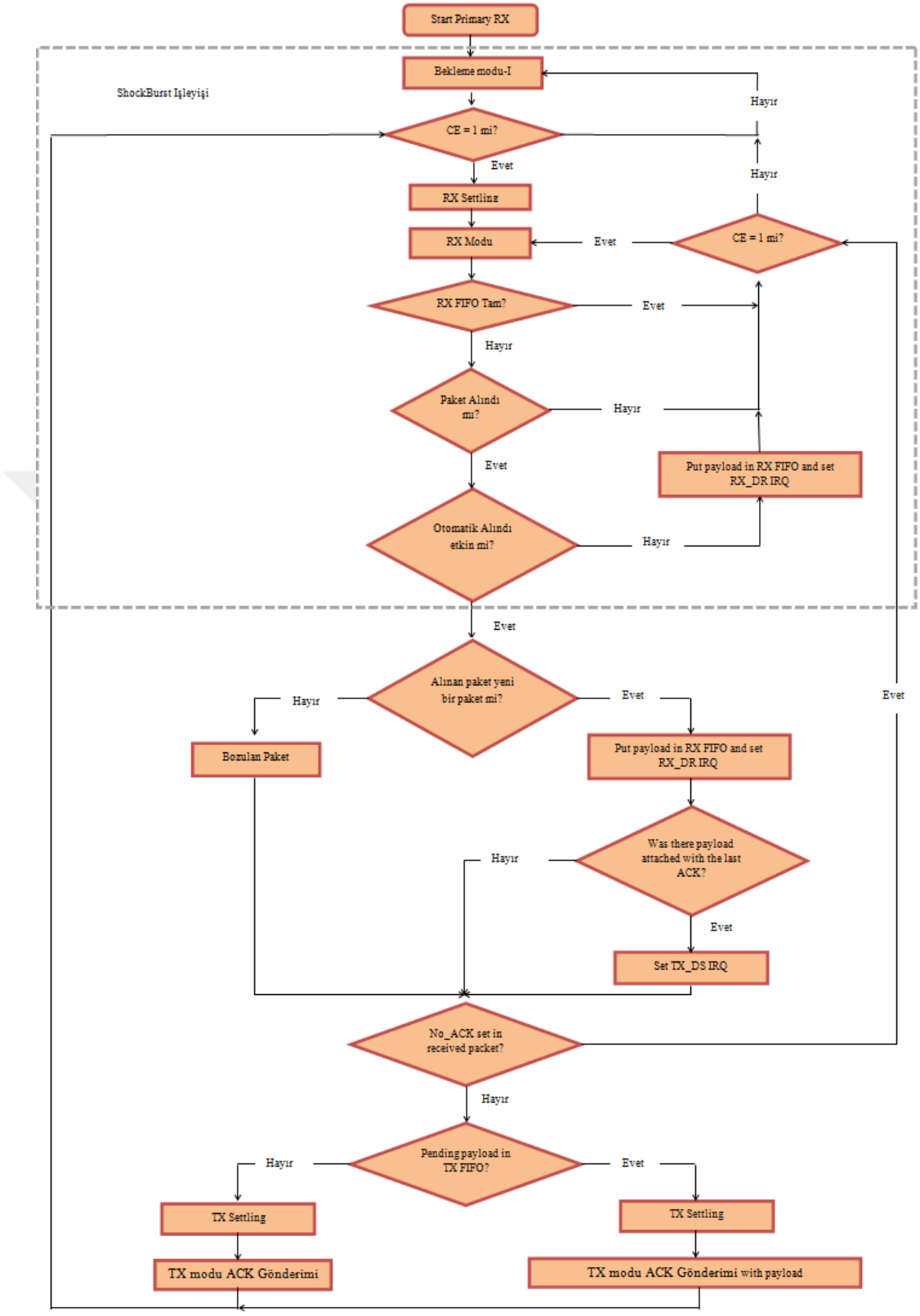


Şekil 2.4. Entegrenin RX modunda Çalışma Diagramı

Şekil 2.4'de NRF24L01(P) entegresinin alıcı (RX) modunda çalışma şeması gösterilmektedir. Entegrenin etiket tarafından gönderilen bir paketi alması için Paket ID'si (PID) alınan son PID e eşit olmaması ya da hata kontrolü için kullanılan

CRC(Cyclic Redundancy Check) bitinin son CRC bitine eşit olmaması gerekmektedir. Diğer tüm durumlarda paketler elenerek alıcı tarafından okunmazlar. Ayrıca yeni paket alındığının bilgisini etikete gönderebilmektedir. Bu sayede etiketten hangi verilerin alıcı tarafından okunduğunun bilgisine sahip olunmaktadır.

Şekil 2.5'de NRF24L01(P) entegresinin RX modunda Enhanced ShockBurst akış şemasından bahsedilmektedir. RX modunda başlatılan entegre bekleme moduna geçmektedir. CE(Chip Enable) pinine 1 atanırsa RX ayarları yüklenerek etiket tarafından gönderilen mesaj paketinin gelmesini beklemektedir. Paket gelmediği süre boyunca entegre CE pininde bulunan değerin 1 olup olmadığını sürekli olarak denetlemektedir. Paket alındığı anda ACK mesaj bilgilendirmenin etkin olup olmadığının kontrolü yapılır. Eğer etkin değil ise mesaj paketi aldığı etikete mesajı aldığına dair herhangi bir geri bildirim göndermemektedir. Eğer etkin ise mesaj paketi aldığı etiket için ACK mesaj bilgisini göndermektedir.



Şekil 2.5. Entegrenin RX modunda Enhanced ShockBrust özelliği

2.2.2. NRF24LE1 entegresi

Çalışma kapsamında kullanılan ve Şekil 2.6'da gösterilen NRF24LE1 entegresi Nordic firması tarafından geliştirilmiştir. Entegre çok düşük güç tüketimine sahip kendi üzerinde programlanabilir mikrokontroller bulunan 2.4 GHz ISM (Endüstriyel, Bilimsel ve Tıbbi) bandında radyo frekansı (RF) ve GFSK(Gaussian Frequency Shift Keying) modülasyonu ile haberleşen bir sistemdir. Ayrıca 2,4 Ghz hızında alıcı verici çekirdeğe, 8 bitlik bir işlemciye ve gölümü bir flash belleğe sahiptir.

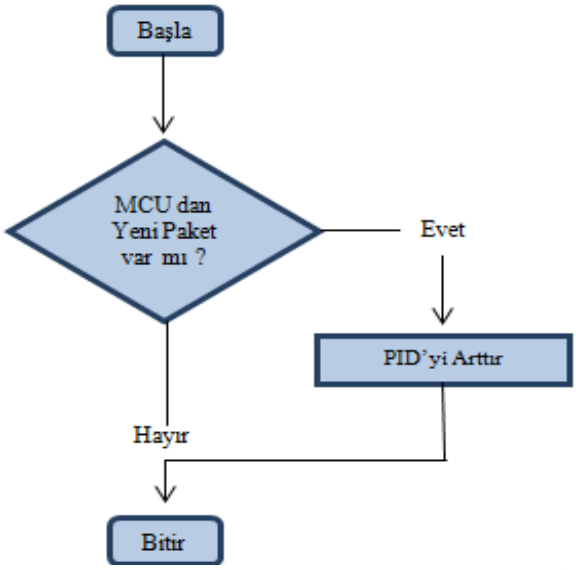
Tablo 2.2'de özellikleri verilen NRF24LE1 entegresi bilgisayarlarda fare, klavye, uzaktan kontrol ve oyunlarda, güvenlik sistemlerinde ödeme, alarm ve erişim kontrollerinde, aktif RFID ve sensör ağlarında ve kapalı alanlarda lokasyon takibinde kullanılmaktadır.



Şekil 2.6. NRF24LE1 entegresi

Tablo 2.2. NRF24LE1 Entegresinin özellikleri

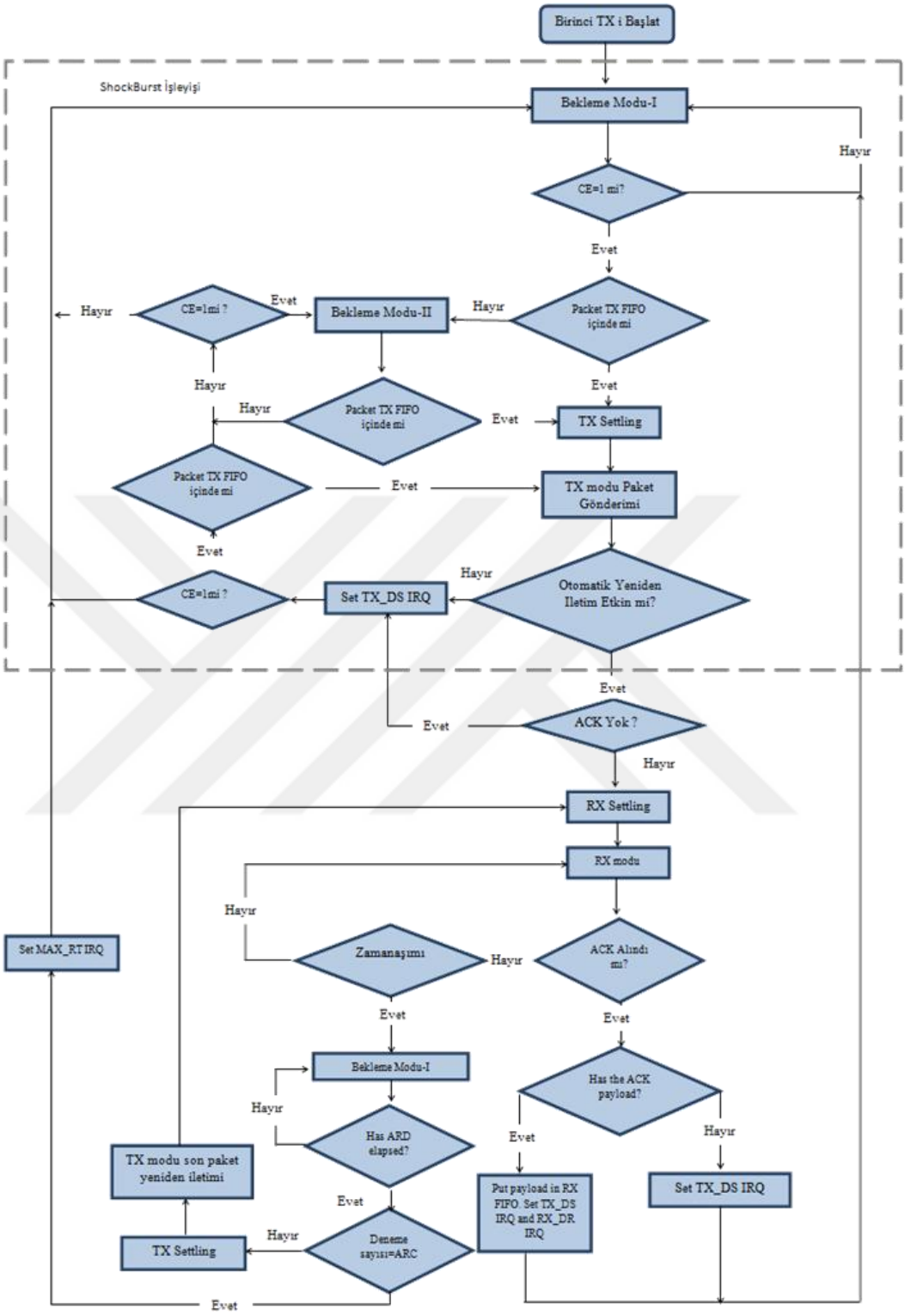
Özellik	Açıklama
Frekans	2,4 Ghz Radio
Haberleşme Tipi	Alıcı/Gönderici(Receiver/Transiver)
Haberleşme Hızı	256kbps (-94dBm RX sensitivity), 1Mbps (-82dBm RX sensitivity), 2Mbps (-85 RX sensitivity)
Gönderici Gücü	0, -6, -12, -18dBm (TX output power)
MCU Arayüzü	SPI
Güç kaynağı	1,9 volt -3,6 volt (Tavsiye edilen 3.3 volt)
Çalışma sıcaklığı	-40 to +80 ºC
Microchip	System on Chip (8501 Intel)
Enhanced ShockBurst	Otomatik tekrar paket gönderme(Retransmit packet) Otomatik paket alındı bilgisi(Auto Acknowledgement)



Şekil 2.7. Entegrenin TX modunda çalışma şeması

Şekil 2.7'de NRF24LE1 entegresinin alıcı (TX) modunda çalışma şeması gösterilmektedir. Entegrenin mikrokontrollerinden gelen bir paket bilgisi varsa Paket kimlik biti (Packet Identity Bits,PID) arttırarak mesaj paketini gönderir.

Şekil 2.8'de NRF24LE1 entegresinin TX modunda Enhanced ShockBurst akış şemasından bahsedilmektedir. TX modunda başlatılan entegre bekleme moduna geçmektedir. CE(Chip Enable) pinine 1 atanırsa TX ayarları yüklenerek mikrokontroler dan paket bilgisi gelmesini beklemektedir. Paket gelmediği süre boyunca entegre CE pininde bulunan değerin 1 olup olmadığını sürekli olarak denetlenmektedir. Paket bilgisi geldiğinde paketi gönderir ve ACK mesaj bilgilendirmenin etkin olup olmadığının kontrolü yapılır. Eğer etkin değil ise mikrokontroler dan yeni bir paket bilgisi gelinceye kadar uyku moduna geçer. Eğer etkin ise entegre TX modundan RX moduna geçer ve gönderdiği mesaj paketi için ACK mesajının gelmesini bekler. Eğer 4 milisaniye boyunca göndermiş olduğu mesaj paketine ait bir ACK mesajı gelmemiş ise tekrar RX modundan TX moduna geçerek paketi tekrar gönderir. Bu işlem en fazla 15 defa tekrar edilmektedir. ACK mesajı alınırsa entegre TX moduna geçerek mikrokontroler dan yeni bir paket gelene kadar uyku moduna girmektedir.



Şekil 2.8. Entegrenin TX modunda Enchanced ShockBrust özelliği

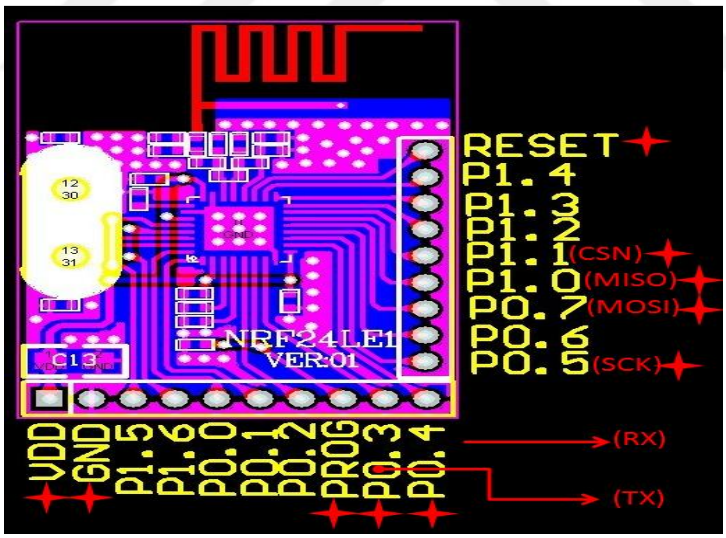
2.2.3. Kullanılan diğer donanımlar

Yerel ve genel okuyucu için kullanılan NRF24L01(P) entegrelerinde mikrokontrolör (System on Chip,SoC) olmadığından çalıştırılabilmesi için baska entegrelere ihtiyaç duyulmuştur. Bu çalışmada Şekil 2.9'da Arduino Uno ve Şekil 2.10'da Raspberry Pi 2 belirtilen geliştirme kartları kullanılmıştır. Arduino Uno yerel okuyucular da kullanılmakta olup entegre tarafından alınan sinyalin genel okuyucuya gönderilmesi için kullanılmaktadır. Raspberry Pi 2 ise genel okuyucuların yerel okuyuculardan gelen mesaj paketlerini sunucuya iletilmesinde kullanılmaktadır.

2.3. Donanım Tasarımı

2.3.1. Etiket tasarımı

Çalışma kapsamında Nordic firmasının tarafından geliştirilen NRF24LE1 entegresi etiketten okuyuculara mesaj paketlerini iletmesi için kullanılmaktadır. Şekil 2.11'de entegrenini donanımsal yapısı gösterilmektedir.



Şekil 2.9. Entegrenin donanımsal yapısı (URL-2)

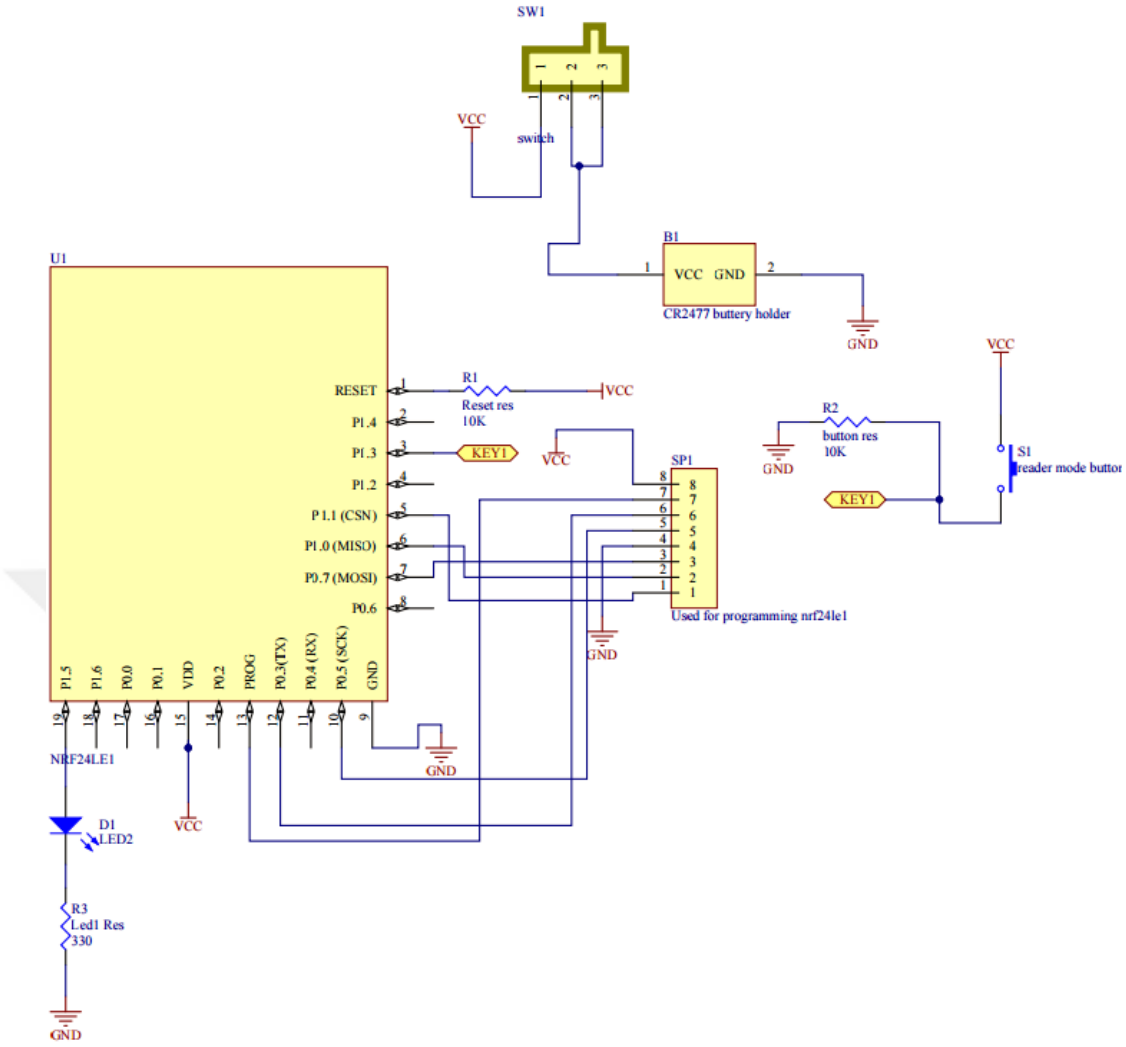
Entegrenin programlanabilmesi için Şekil 2.9'da bulunan ve kırmızı yıldız ile işaretlenmiş pinlerin kullanılması gerekmektedir.

Tablo 2.3'de NRF24LE1 entegresinde programlama için kullanılan pinlerin açıklamaları verilmektedir.

Tablo 2.3. NRF24LE1 Entegresinde Kullanılan Pinler

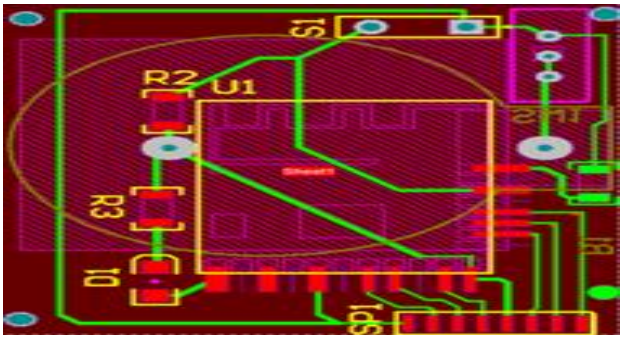
PIN ADI	AÇIKLAMA
TX	Entegrenin UART(RS232 protokolünü) gönderici pinidir. Test için kullanılmıştır.
RX	Entegrenin UART(RS232 protokolünü) alıcı pinidir. Test için kullanılmıştır.
CSN	Entegrteyi SPI kullanarak programlamak için kullanılan pindir.
MISO	Entegrteyi SPI kullanarak programlamak için kullanılan pindir. Entegreden veri okumak için kullanılmaktadır.
MOSI	Entegrteyi SPI kullanarak programlamak için kullanılan pindir. Entegreden veri göndermek için kullanılmaktadır.
SCK	Entegrteyi SPI kullanarak programlamak için kullanılan pindir.
PROG	Entegrteyi SPI kullanarak programlamak için kullanılan pindir. Entegrede bulunan flash hafızayı okuma/yazma modunda çalıştırmak için kullanılmaktadır.
VDD/VCC	Entegreye güç sağlamak için kullanılan pindir.
GND/VSS	Entegreye güç sağlamak için kullanılan pindir.
RESET	Entegreyi yeniden başlatmak için kullanılan pindir.

Şekil 2.10'da entegredeki pinlerin programlama için bağlantı tasarımı, gücün açılıp kapatılması için anahtar tasarımı ve konfigurasyon yapabilmek için buton tasarımı gösterilmektedir.

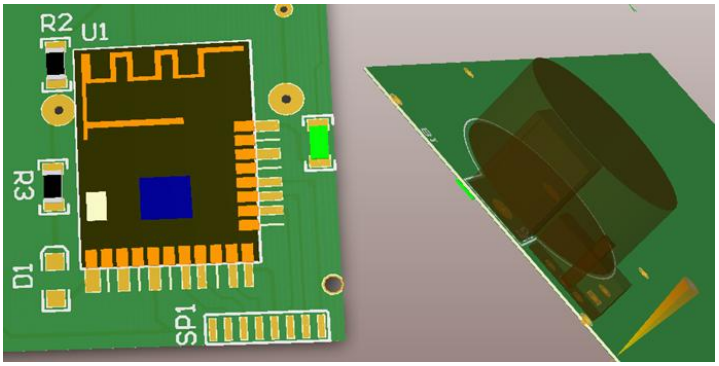


Şekil 2.10. Etiketin devre tasarımı

Etiketin PCB devre tasarımı için Altium Designer programı kullanılmıştır. Şekil 2.10 ve Şekil 2.11'de Entegrenin pinlerinin bağlantı yolları, güç anahtarı ve konfigürasyon butonunun çizimleri 2 boyutlu olarak PCB şemaları gösterilmektedir.

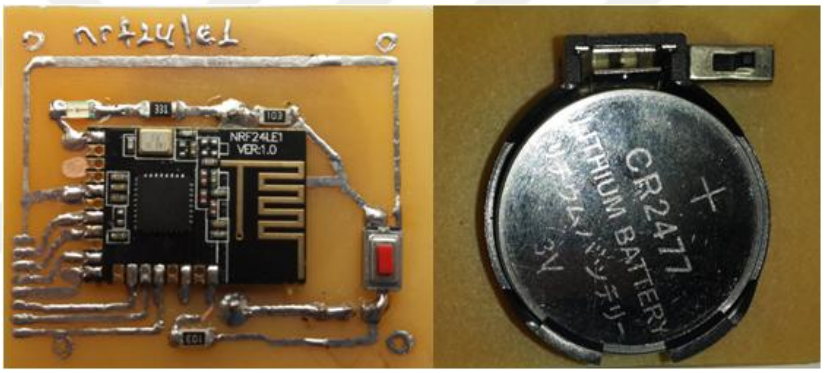


Şekil 2.11. Etiketin 2 boyutlu gösterimi



Şekil 2.12. Etiketin 3 boyutlu gösterimi

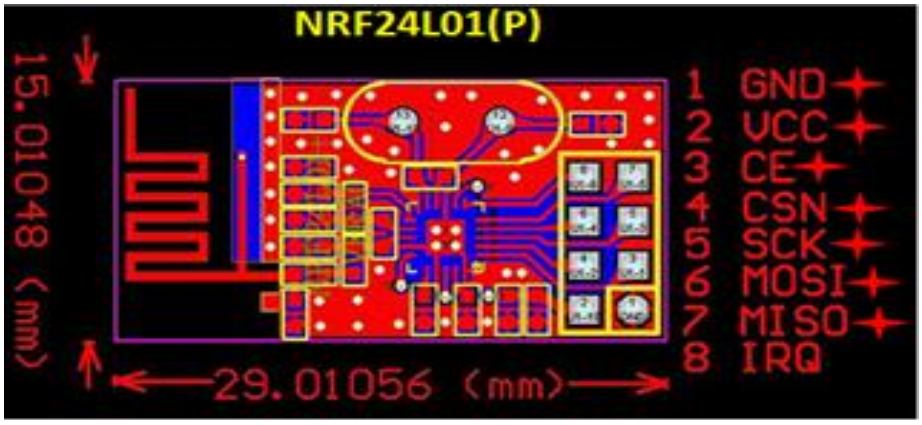
Etiketin donanım tasarımı tamamlandıktan sonra devre elemanları temin edilerek baskı devre işlemine geçilmiştir. Şekil 2.13'te etiketin baskı devre sonundaki görüntüsü gösterilmektedir.



Şekil 2.13. Etiketin üretilmiş hali

2.3.2. Yerel okuyucu tasarımı

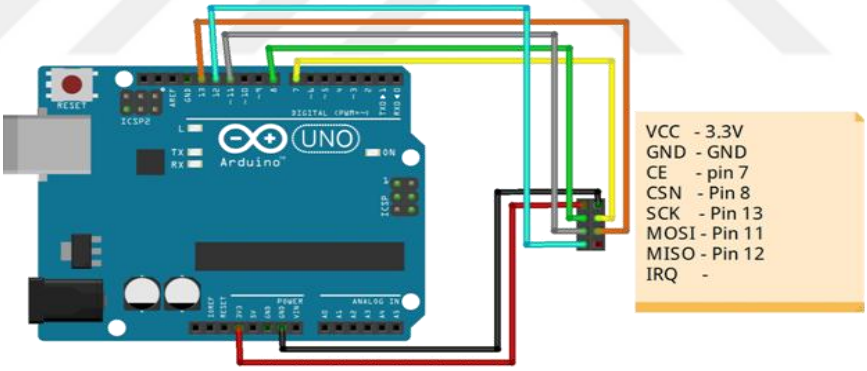
Çalışma kapsamında Nordic firması tarafından geliştirilen NRF24L01(P) entegresi etiketten gönderilen mesaj paketlerinin alınarak genel okuyuculara yeni mesaj paketlerinin iletmesi için kullanılmaktadır. Şekil 2.14'da entegrenini donanımsal yapısı gösterilmektedir.



Şekil 2.14. NRF24L01(P) Entegresinin Donanımsal Yapısı (URL-1)

Entegrenin programlanabilmesi için Şekil 2.14'te bulunan ve kırmızı yıldız ile işaretlenmiş pinlerin kullanılması gerekmektedir. Tablo 2.3'te NRF24L01(P) entegresinde programlama için kullanılan pinlerin açıklamaları verilmektedir.

Şekil 2.15'te Arduino Uno ile entegredeki pinlerin programlama için bağlantı tasarımı gösterilmektedir.



Şekil 2.15. Arduino uno NRF24L01(P) bağlantı pinleri (URL-3)

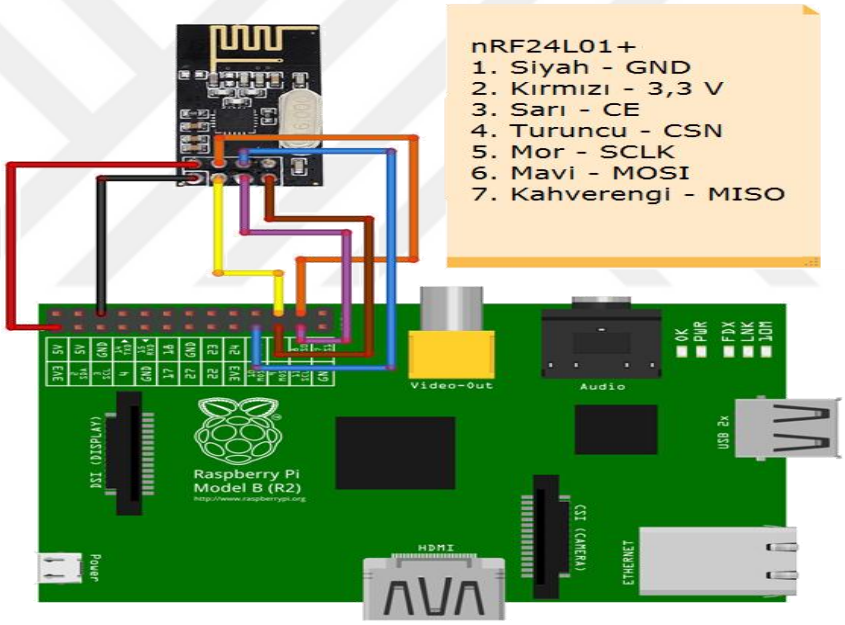
2.3.3. Genel okuyucu tasarımı

Çalışma kapsamında Nordic firmasının tarafından geliştirilen NRF24L01(P) entegresi okuyuculardan ve etiketlerden gelen mesaj paketlerinin sunucuya aktarılması için kullanılmıştır. Şekil 2.16'da genel okuyucu için kullanılan entegre gösterilmektedir. Yerel okuyucudan farklı olarak sadece daha geniş alanlarda mesaj paketi toplamak için entegrenin antenli modeli kullanılmıştır.



Şekil 2.16. NRF'24L01(P) ve Anten (URL-1)

Genel okuyucular ile yerel okuyucuların donanım tasarımları aynıdır. Bu sebeple entegrenin programlanabilmesi için gerekli pinler yerel okuyucularda kullanılan pinlerle aynıdır. Şekil 2.17'de Raspberry Pi 2 ile entegredeki pinlerin programlama için bağlantı tasarımı gösterilmektedir.



Şekil 2.17. NRF24L01(P) Raspberry bağlantı pinleri (URL-4)

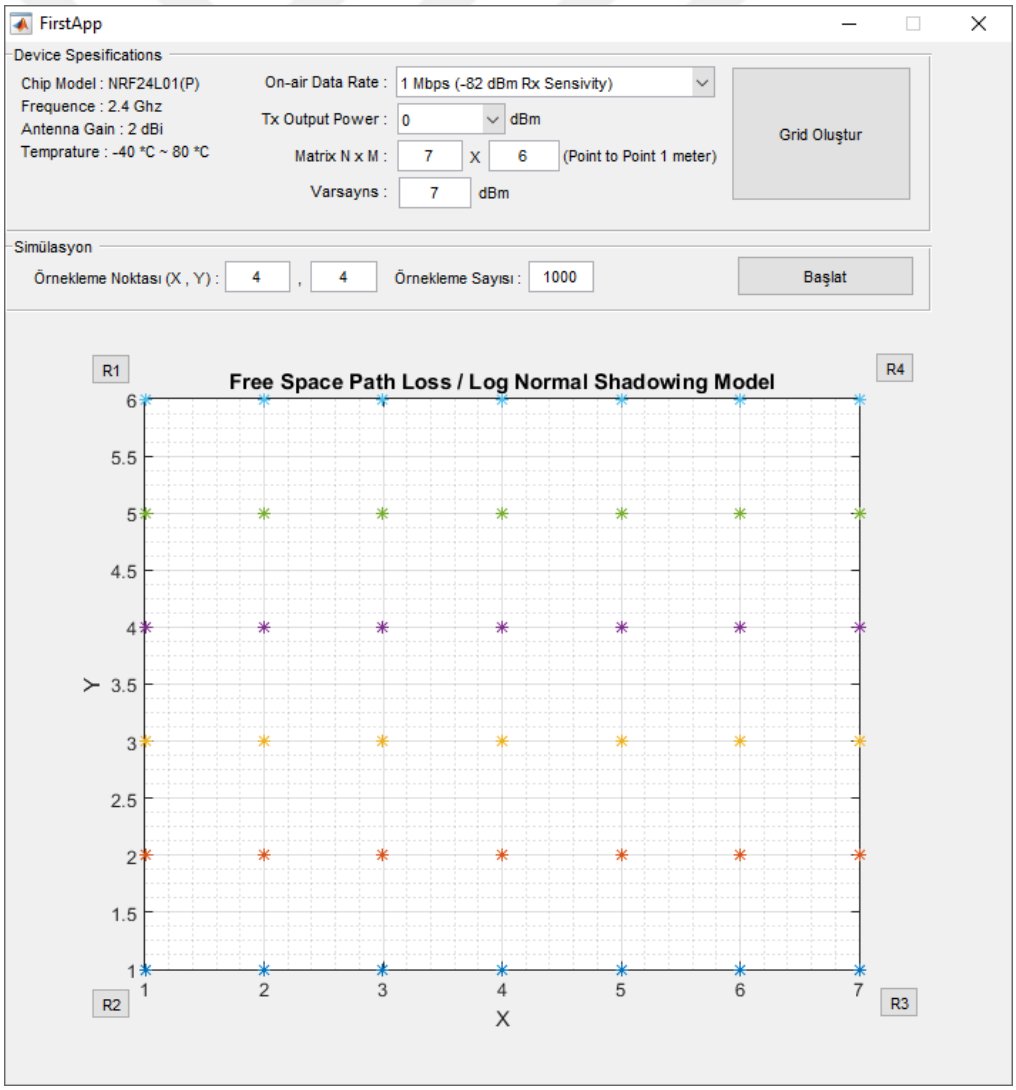
2.4. Yazılım Tasarımı

2.4.1. Benzetim ortamının gerçekleştirilmesi

Donanım tasarımı tamamlandıktan sonra, etiket ve okuyucular için algoritmaları geliştirmek amacıyla donanımın çalışacağı bir ortam simüle edilmiştir. Sayısal hesaplamaları yapmak ve sonuçların grafik arayüzlerle gösterimini sağlamak için MATLAB R2015a programı kullanılmıştır.

Bu çalışmada NRF24LE1 entegresi RX modunda gelen sinyalin gücünü (RSS) ölçemediğinden RSS verisini kullanarak kapalı alanlarda konum tahmini yapan algoritmalarla birlikte çalışamamaktadır. RSS desteği olmamasına karşın NRF24LE1 entegresi TX modunda sinyalin çıkış gücünü 0, -6, -12 ve -18dBm olarak programlayabilmektedir. Programlanan çıkış gücü gönderilecek mesaj paketi içerisine eklenebilir. Bu sayede okuyucular tarafından alınan mesaj paketinin içerisinde sinyalin gönderildiği güç bilgisi bilinmektedir.

Gerçeklenen simülasyonun da NRF24LE1 entegresinin RSS desteğine sahip olduğu kabul edilmiştir. Etiketlerden gönderilen sinyalleri okuyucuların güç hassasiyet değerlerine göre alıp almayacağı Free Space Path Loss ve Log Normal Shadowing modelleri kullanılarak simüle edilmiştir.



Şekil 2.18. Matlab simülasyon arayüzü

Şekil 2.18'de simülasyon ortamı 6 metre uzunluğa ve 7 metre genişliğe sahip dikdörtgen bir odadır. Odanın tavanının her bir köşesinde NRF24L01(P) okuyucuları bulunmaktadır. Simülasyondaki amaç kişinin yanında taşığı etiket ile 0, -6, -12 ve -18dBm çıkış gücüyle gönderdiği mesaj paketlerinin okuyucular tarafından alınıp alınmadığını göstermektir.

Çalışma kapsamında etiket (1,1) noktasından (6,7) noktasına kadar her bir nokta üzerinde 1 saniye arayla mesaj paketi göndermektedir. Odaların içerisinde bulunan okuyucuların yerleri Tablo 2.4'te belirtilmektedir. Simülasyon dinamik olarak çalıştığından dolayı çalışma alanının boyutları(N,M) değiştirildikçe okuyucuların konumları değişmektedir.

Tablo 2.4. Simülasyon içerisinde kullanılan okuyucuların konumları

Okuyucu	X	Y
R1	1	6 (M)
R2	1	1
R3	7 (N)	1
R4	7 (N)	6 (M)

Etiket oda içerisinde bulunan her bir noktadan mesaj paketleri göndermektedir. Gönderilen mesaj paketinin okuyuculara varıncaya kadar ne kadar güç kaybedeceğinin hesaplanması gerekmektedir. Güç kaybının hesaplanabilmesi için 2 model kullanılmaktadır. Bunlardan ilki Free Space Path Loss Model (FSPL) 'dir. Bu modelde ortamda etiket sinyali haricinde başka hiçbir sinyal yoktur. Başka bir değişle etiketin göndermiş olduğu mesaj sinyalinin baska sinyaller tarafından etkilenerek ya da duvar gibi engellerin olmadığı ve sinyalin bozulmadığı kabul edilmiştir. Denklem (2.1)'de FSPL denklemi verilmiştir (URL-8).

$$FSPL = \left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right)^2 \tag{2.1}$$

$$\lambda = \frac{c}{f} \tag{2.2}$$

$$FSPL = \left(\frac{4\pi df}{c}\right)^2 \tag{2.3}$$

Denklem (2.3)'te kullanılan λ sinyalin dalga boyu, f sinyalin frekansı, d alıcı ve gönderici arasındaki mesafe ve c ise ışık hızını belirtmektedir.

Free space path loss modeline göre decibel seviyesinde yol kaybını hesabının ifadesi Denklem (2.4a), Denklem (2.4b), Denklem (2.4c) ve Denklem (2.4d)'deki gibidir (URL-8).

$$\mathrm{FSPL}(\mathrm{dB}) = 10\log_{10}\left(\left(\frac{4\pi df}{c}\right)^2\right) \tag{2.4a}$$

$$\mathrm{FSPL}(\mathrm{dB}) = 10\log_{10}\left(\left(\frac{4\pi df}{c}\right)^2\right) \tag{2.4b}$$

$$\mathrm{FSPL}(\mathrm{dB}) = 20\log_{10}\left(\frac{4\pi df}{c}\right) \tag{2.4c}$$

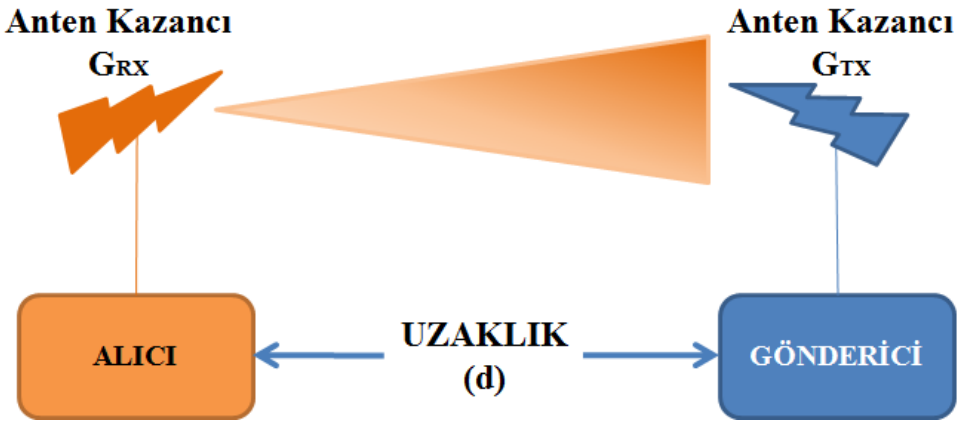
$$\mathrm{FSPL}(\mathrm{dB}) = 20\log_{10}(d) + 20\log_{10}(f) + 20\log_{10}\left(\frac{4\pi}{c}\right) \tag{2.4d}$$

$$\mathrm{FSPL}(\mathrm{dB}) = 20\log_{10}(d) + 20\log_{10}(f) + X \tag{2.4e}$$

Free Space Path Loss için kullanılan formül Denklem (2.4)'de gösterilmektedir. X sabiti Tablo 2.5'te uzaklık ve frakans birimlerine göre değişmektedir.

Tablo 2.5. Uzaklık ve frekans birimlerine göre FSPL için sabit değer

Uzaklık (d)	Frekans (f)	Sabit (X)
metre	kilohertz	- 87,55
metre	megahertz	- 27,55
kilometre	megahertz	32,45



Şekil 2.19. Alıcı ve gönderici arasındaki anten kazancı

$$FSPL(dB) = 20\log_{10}(d) + 20\log_{10}(f) + X - G_t - G_r \quad (2.4f)$$

Denklem (2.4f)'de Gt ve Gr gönderici ve alıcı antenlerdeki anten kazançlarını göstermektedir. NRF24L01 ve NRF24LE01 entegrelerinin anten kazançlar 2dBi'dir. Simülasyonda NRF24L01(P) entegresi 2,4 GHz(2400 Mhz) ve oda boyutları metre cinsinden olduğundan dolayı X sabiti -27,55 dB olarak alınmıştır. Etiket ve okuyucuların haberleşme hızı 1 Mbps olarak belirlenmiştir. Bu durumda okuyucunun hassasiyeti (RX Sensivity) -82dBm dir.

Diğer kullanılan model ise; Log Normal Distance Path Loss Model'dir. Bu model deney ortamındaki sinyal değeri üzerine gürültü ekleyerek sinyal gücünde dalgalanmalara sebebiyet vermektedir.

$$PL(dB) = P_{Tx_{dBm}} - P_{Rx_{dBm}} = PL_0 + 10\gamma\log_{10}\frac{d}{d_0} + X_g \quad (2.5)$$

$$P_{Tx_{dBm}} = 10\log_{10}\frac{P_{Tx}}{1mW} \quad (2.6)$$

$$P_{Rx_{dBm}} = 10\log_{10}\frac{P_{Rx}}{1mW} \quad (2.7)$$

$$F_g = 10^{\frac{-X_g}{10}} \quad (2.8)$$

Tablo 2.6'da çalışma ortamı bina içerisinde ve görüş alanında olduğundan yol kaybı 1,8 ve standart sapma 7dB olarak alınmıştır (URL-9).

Tablo 2.6. Farklı ortamlardaki yol kaybı ve standart sapma

Ortam	Path Loss Exponent, n	Standard Deviation, σ
Boş alan	2	0 dB
Kentsel alan hücresel radyo	2,7 to 3,5	10 - 14dB
Gölgeli kentsel hücresel radyo	3 to 5	11 - 17dB
Bina içinde - Görüş hattında (Line of Side)	1,6 to 1,8	4 - 7dB
Bina içinde engelli	4 to 6	5 - 12dB
Fabrikada engellenmiş	2 to 3	6 - 9dB

FSPL modeline göre dB değeri dönmektedir. Okuyucuların hassasiyet bilgileri ile kıyaslama yapabilmemiz için FSPL modelinden sonucunda ortaya çıkan dB değerinin dBm değerine dönüştürülmesi gerekmektedir. Dönüşüm işlemi Denklem (2.9)'da ifade edilmiştir (URL-9).

$$dB = dBM - 30 \tag{2.9}$$

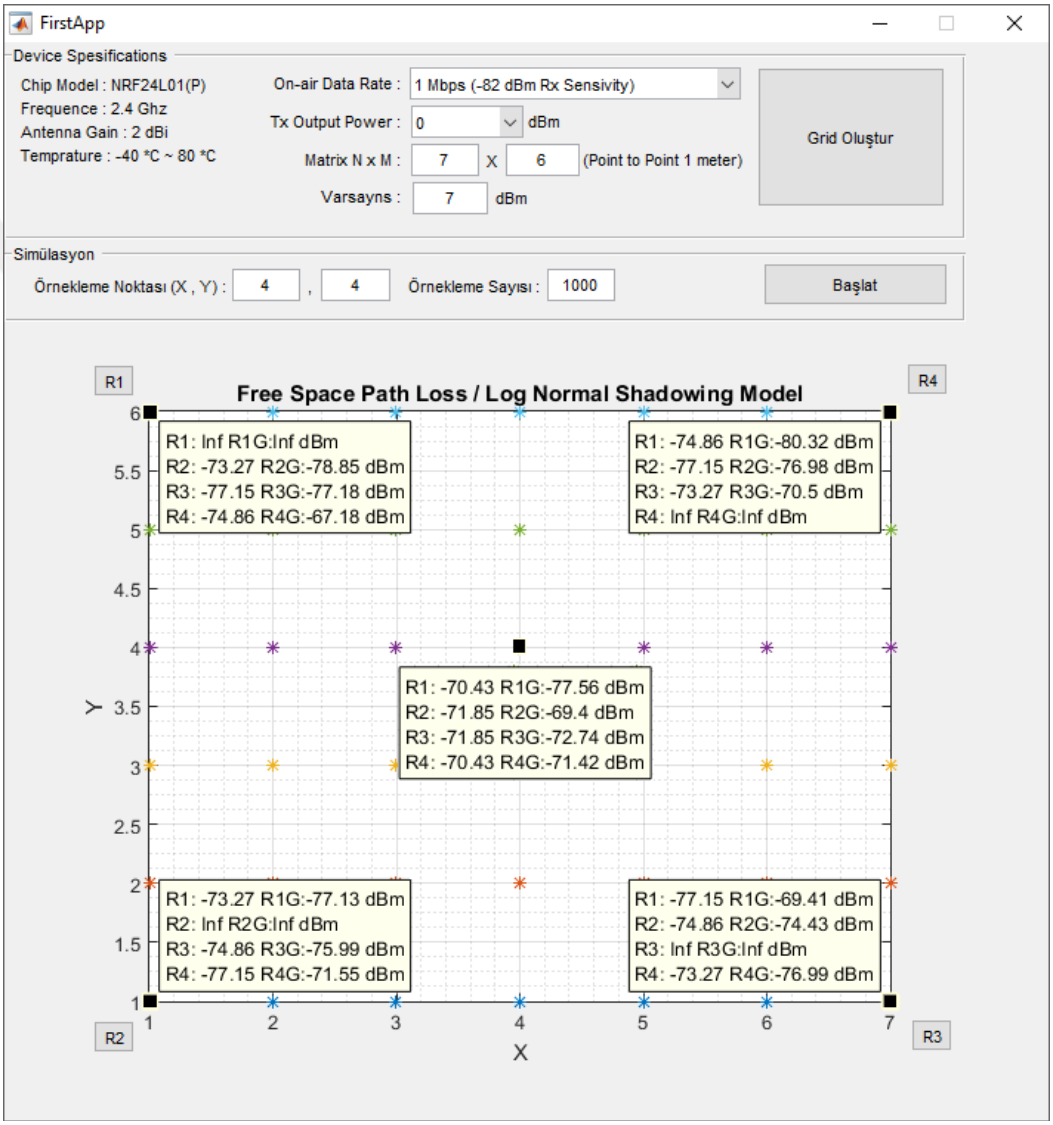
$$RSS(dBm) = POWER(dBm) - FSPL(dBm) \tag{2.10}$$

$$RSS(dBm) = POWER(dBm) - PL(dBm) \tag{2.11}$$

Denklem (2.10)'da Free Space Path Loss ve Denklem (2.11)'de Log Normal Shadowing Model'lerinden elde edilen sonuçlara göre db değerini dBm değerine dönüştürerek yol kaybı bulunmaktadır. NRF24L01(P) entegresinin 1Mbps hızındaki okuyucu modundaki sinyal gücü hassasiyeti -82dBm'dir. Buna göre etiketlerden gönderilen sinyal gücü değeri ve yol kaybını topladığımızda elde edilen sonucun okuyucunun hassasiyetinden fazla ise mesaj paketinin alındığı, az ise mesaj paketinin alınamadığı bilgisi elde edilmektedir.

Etiket için en iyi algoritmanın hangisi olduğunu belirlemek amacıyla deneyler yapılmıştır. Her bir güç değeri entegre içerisinde değiştirilmeden simülasyon oda içerisindeki her bir nokta için 1000 kez çalıştırılmıştır. Simülasyonun gerçeklenme sayısı örnekleri ve sonuçları aşağıdaki tabloda verilmiş ve resimlerde gösterilmiştir.

Şekil 2.20'de etiket 0dBm çıkış gücüyle mesaj paketlerini göndermektedir. Deney ortamı içerisinde seçilen bazı noktalar okuyucular tarafından o nokta için gönderilmiş mesaj paketinin Free Space Path Loss ve Log Normal Shadowing Model'e göre hesaplanmış olduğu dBm değerlerini göstermektedir. R1, R2, R3 ve R4 değerleri Free Space Path Loss, R1G, R2G, R3G ve R4G değerleri ise Log Normal Shadowing Model sonucunda hesaplanmış değerlerdir.



Şekil 2.20. Etiketin 0dBm ile mesaj paketlerinin gönderimi

Etiketin 0dBm çıkış gücü ile mesaj paketlerini göndermektedir. Simülasyonu her bir nokta için 1000 kez çalıştırdığımızda okuyucular tarafından alınan mesaj paketi sayısı Free Space Path Loss ve Log Normal Shadowing Model'e göre Tablo 2.7'de gösterilmektedir.

Tablo 2.7. Path Loss Modellerine göre alınan mesaj paket sayısı

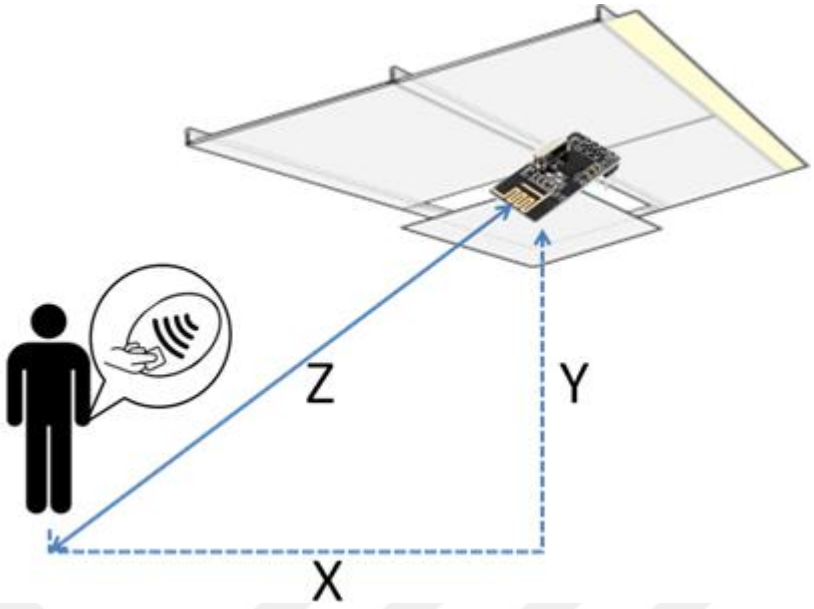
Okuyucu	Free Space Path Loss Model	Log Normal Shadowing Model
R1	42000	41370
R2	42000	41480
R3	42000	41630
R4	4200	41520

Simülasyonları -6, -12, -18dBm çıkış gücü değerleri için 1000'er kez çalıştırdığımızda ortaya çıkan sonuçlar Tablo 2.8'de gösterilmektedir.

Tablo 2.8. Sinyal çıkış gücü değerleri için simülasyon sonucu

Çıkış Gücü (dBm)	R1		R2		R3		R4	
Path Loss Model	FSPL	LNSM	FSPL	LNSM	FSPL	LNSM	FSPL	LNSM
0	42000	41370	42000	41804	42000	41400	42000	40986
-6	42000	35049	42000	36680	42000	33385	42000	32485
-12	33240	24850	33240	22300	33240	21995	33240	23140
-18	12300	9800	12300	4980	12300	7300	12300	8850

Bu sonuçlara göre etiketlerin sinyal çıkış güçleri düşürüldüğünde mesaj paket sayısında azalma olduğu gözlemlenmiştir. Deney sonucuna göre yüksek güçte gönderilen mesaj paket sayısının düşük güçte gönderilen mesaj paket sayısına göre 4 kat daha fazla olduğu görülmektedir. Ayrıca etiketlerin sinyal gücü düşürüldükçe ve okuyucularla arasındaki mesafe arttığında alınan mesaj paket sayısı azalmaktadır. Bu sonuca göre etiketlerin en düşük çıkış gücü olan -18dBm'den en yüksek gücü olan 0dBm'e kadar tüm güçlerde mesaj paketi yollanarak kaç metre içerisinde okuyucular tarafından alındığının testi yapılmıştır.



Şekil 2.21. Etiketlerin haberleşme mesafesinin tespiti

Şekil 2.21'de tavanda bulunan bir okuyucunun kişinin elindeki etiket ile arasındaki mesafe Z ile gösterilmektedir. Okuyucunun tavandan yere olan yüksekliği Y ve okuyucunun tavandan gelen izdüşümü ile kişi arasındaki mesafe X olarak belirtilmektedir.

Haberleşme uzaklığı testinde kişi elinde yerden 50 cm yükseklikte bulunduğu 1Mbps haberleşme hızına sahip etiketten -18dBm sinyal çıkış gücü ile mesaj paketini okuyucuya göndermektedir. Kişi okuyucudan mesaj paketi almayıncaya kadar uzaklaşır. En az 10 saniye boyunca okuyucu tarafından mesaj paketi alınmadığında kişi durur ve etiket ile okuyucu arasındaki mesafe metre ile ölçülür. Ölçülen mesafe değeri(Z), oda içerisinde okuyucunun yerden yüksekliği(Y) 3 metredir. Denklem (2.12a)'da pisagor teoremi kullanılmıştır (URL-7).

$$Z^2 = X^2 + Y^2 \tag{2.12a}$$

Buna göre etiket ile okuyucu arasındaki yatay mesafe Denklem (2.12b)'de gösterildiği gibidir hesaplanmıştır.

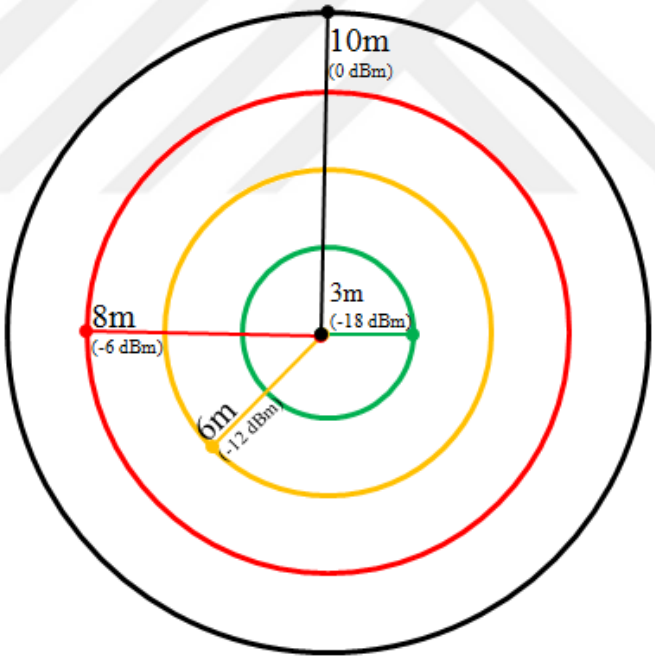
$$X = \sqrt{Z^2 - Y^2} \tag{2.12b}$$

Tüm güç değerleri için haberleşme uzaklığı tespiti yapılarak yaklaşık sonuçlar Tablo 2.9'da gösterilmiştir.

Tablo 2.9. Çıkış gücü değerlerinin haberleşme uzaklığı

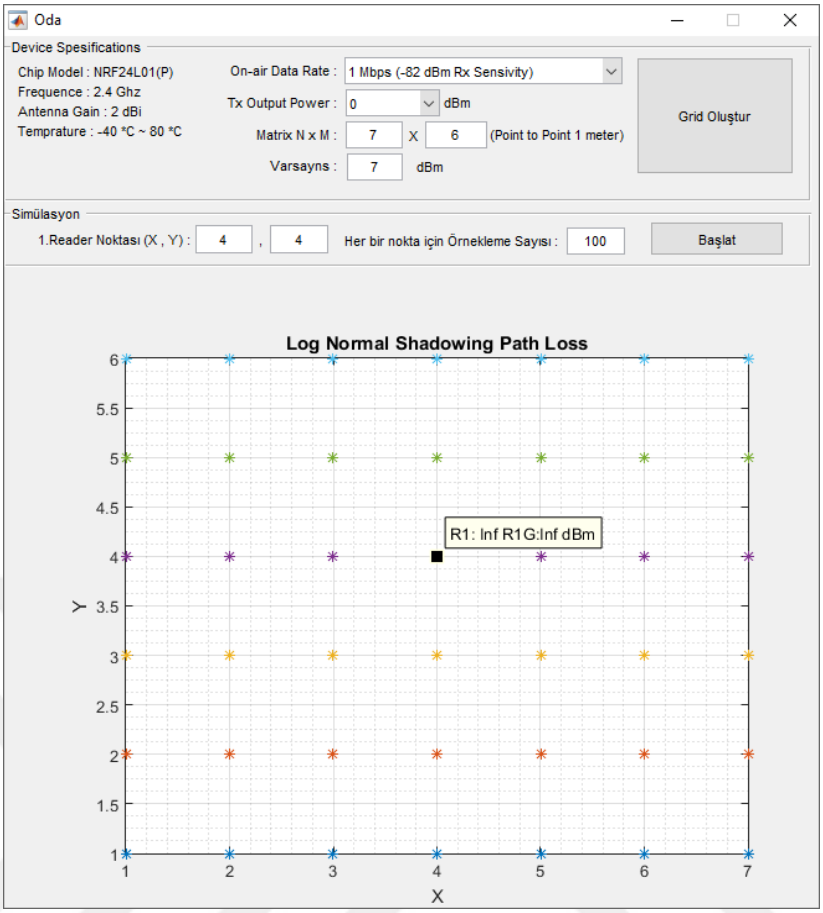
Çıkış Gücü (dBm)	Z (metre)	Y (metre)	X (metre)
0	10,50	3	10
-6	8,55	3	8
-12	6,50	3	6
-18	4,15	3	3

Şekil 2.24'te etiketin sinyal gücüne göre haberleşme uzaklıkları gösterilmektedir. Yeşil daire -18dBm, sarı daire -12dBm, kırmızı daire -6dBm ve siyah daire 0dBm sinyal çıkış gücü ile haberleşme alanını göstermektedir. Bu gösterim bize çalışma alanında yerel ve genel okuyucuların ne kadar mesafe aralıklarla konumlandırılması gerektiği hakkında bilgilendirmektedir.



Şekil 2.22. Sinyal güçlerinin haberleşme alanları

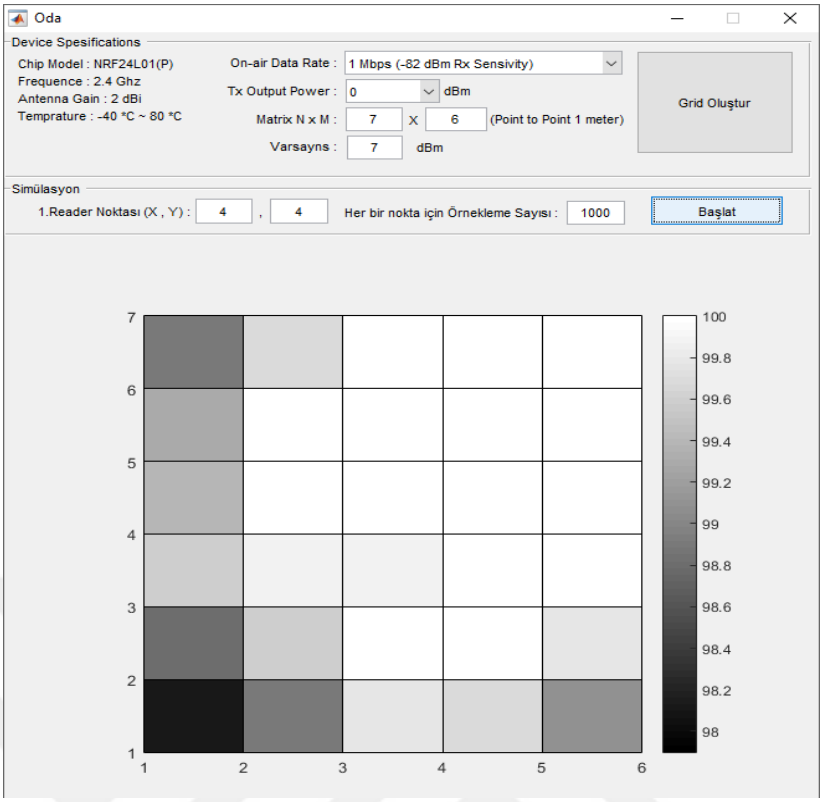
Elde edilen haberleşme alanlarına göre yapılan çalışmalar sonucunda bir odanın tam ortasına yerleştirilen bir okuyucunun etiketten gelen mesaj paketlerinin oda içerisinde hangi noktalardan alındığının tespiti için bir simülasyon ortamı gerçeklenmiştir. Şekil 2.22'de oda içerisinde (4,4) noktasında bulunan okuyucu için haberleşme simülasyonunun arayüzü gösterilmektedir.



Şekil 2.23. Haberleşme simülasyon arayüzü

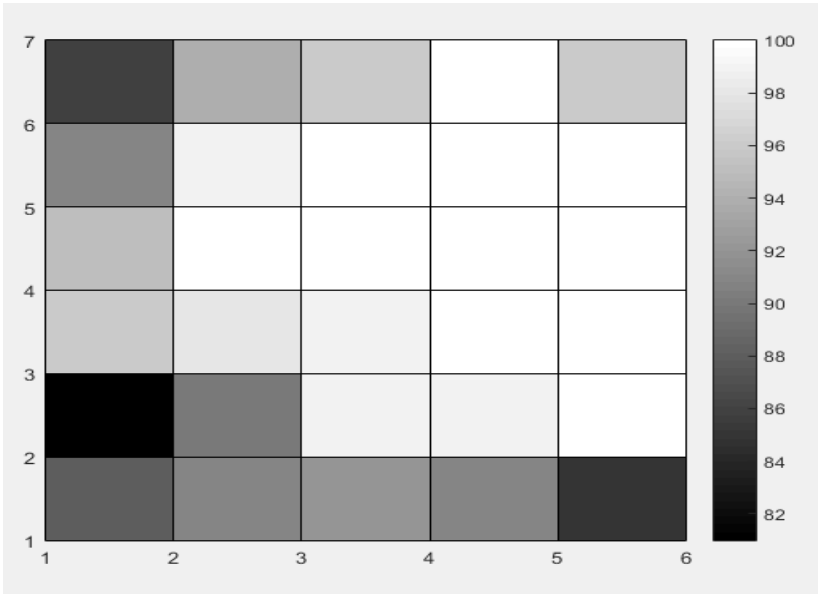
Şekil 2.23'te gerçeklenen simülasyonda Log Normal Shadowing Path Loss Model'e göre her bir güç seviyesi için (4,4) noktasında bulunan okuyucunun (1,1) noktasından (7,6) noktasına kadar her bir noktada 100 kez çalıştırılıp etiketin okuyucuya gönderdiği mesaj paketlerinin başarım oranı hesaplanmıştır. Etiketten 0dBm sinyal çıkış gücü ile gönderilen mesaj paketlerinin oranı hesaplanmıştır. Bu işlem -6, -12 ve -18dBm içinde sırasıyla yapılmıştır.

Şekil 2.24'te beyaz dan siyaha doğru koyulaşarak giden alanlar bulunmaktadır. Bu alanlar haberleşme oranının en yüksek olduğu beyaz alandan başlayarak en düşük olduğu siyah alana kadar olan kısımları ifade etmektedir. Beyaz olan alanlarda %100 siyah olan alanlarda ise %96 oranında mesaj paketlerinin alındığı görülmektedir.



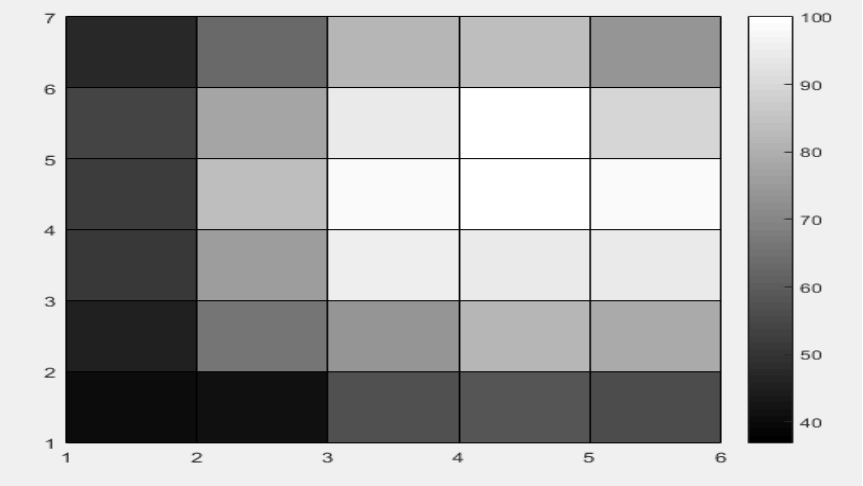
Şekil 2.24. 0dBm sinyal gücüyle okuyucu haberleşme oranı

Etiketin sinyal çıkış güçleri düşürülerek haberleşme alanı ve oranları hesaplanmıştır. Şekil 2.25'te etiketin -6dBm sinyal çıkış gücüyle beyaz alanlarda %100 siyah olan alanlarda ise %80 oranında mesaj paketlerinin okuyucu tarafından alındığı görülmektedir.



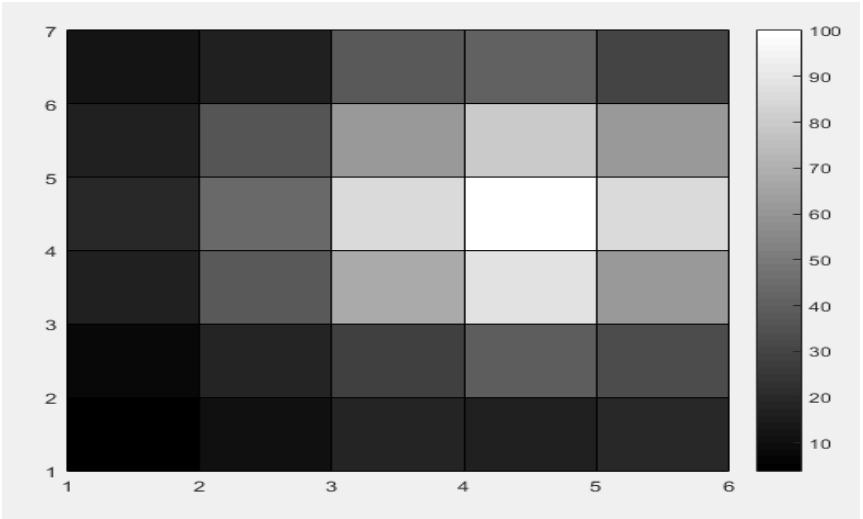
Şekil 2.25. -6dBm sinyal gücüyle okuyucu haberleşme oranı

Şekil 2.26’da etiketin -12dBm sinyal çıkış gücüyle beyaz alanlarda %100 siyah olan alanlarda ise %38 oranında mesaj paketlerinin okuyucu tarafından alındığı görülmektedir.



Şekil 2.26. -12dBm sinyal gücüyle okuyucu haberleşme oranı

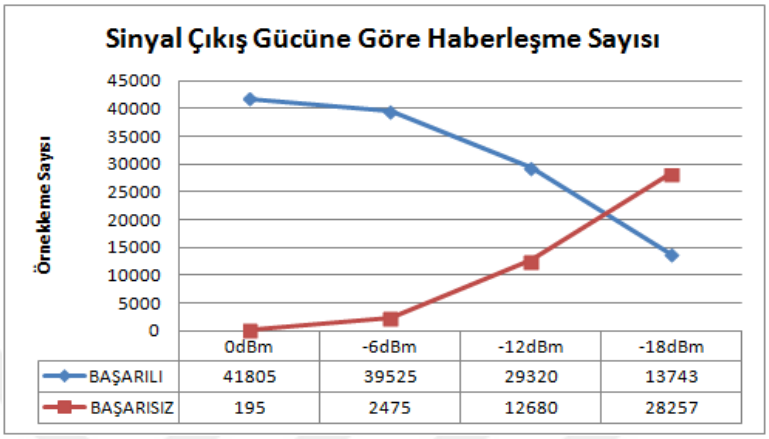
Şekil 2.27’de etiketin -18dBm sinyal çıkış gücüyle beyaz alanlarda %100 siyah olan alanlarda ise %8 oranında mesaj paketlerinin okuyucu tarafından alındığı görülmektedir.



Şekil 2.27. -18dBm sinyal gücüyle okuyucu haberleşme oranı

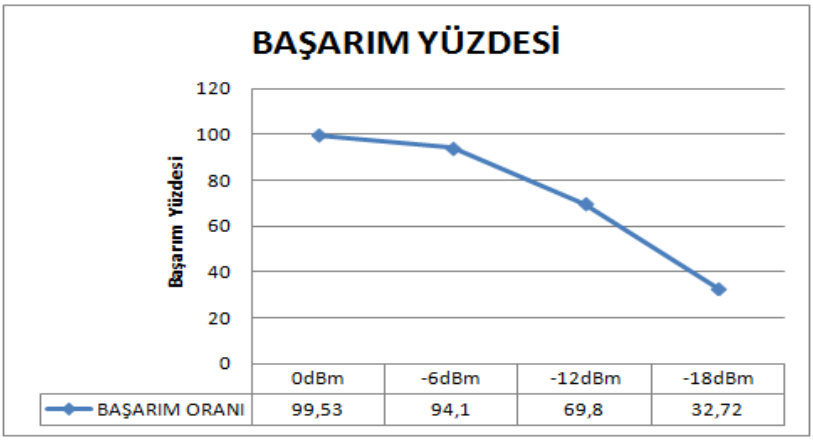
Etiketin 0, -6, -12 ve -18dBm sinyal çıkış gücünde okuyucuya göndermiş olduğu mesaj paket başarım oranının simülasyon sonuçları grafikler halinde gösterilmiştir. Şekil 2.38’de her bir güç değeri için 42000 mesaj paketi gönderilmiştir. Buna göre 0dBm çıkış gücü ile 41805 paket başarılı bir şekilde okuyucuya ulaşmış ve 195 paket

ulaşamamıştır. -6dBm çıkış gücü ile 39525 başarılı 2475 başarısız, -12dBm çıkış gücü ile 29320 başarılı 12680 başarısız, -18dBm çıkış gücü ile 13743 paket başarılı bir şekilde okuyucuya ulaşmış 28257 paket okuyucu tarafından alınamamıştır.



Şekil 2.28. Etiketin sinyal gücüne göre haberleşme sayısı

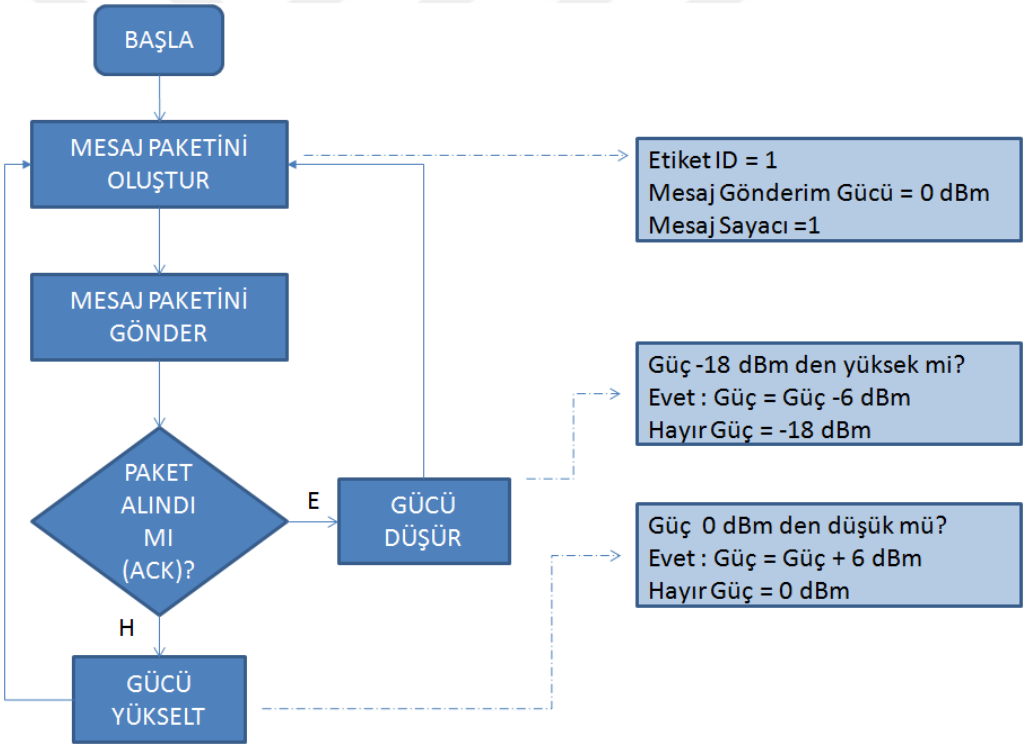
Şekil 2.30'da sinyal güçlerinin başarım oranları gösterilmektedir. 0dBm güçte %99,53 oranında başarım sağlanırken -6dBm'de %94,1, 12dBm'de 69,8 ve -18dBm'de %32,72 oranında başarım sağlanmıştır.



Şekil 2.29. Sinyal gücüne göre haberleşme başarım oranları

Gerçeklenen benzetim çalışmalarında benzetim ortamının köşelerinde bulunan 4 farklı okuyucu ve oda içerisindeki referans üzerinde hareket eden bir etiketin okuyuculara gönderdiği mesaj paketlerinin başarım oranları ve harcadıkları akım miktarları gözlemlenmiştir. Ayrıca etiketin haberleşme mesafesi gerçek olarak test edilerek farklı sinyal çıkış güçlerinde gerçek ortamda ne kadar metre aralıklarla haberleşebildiği gözlemlenmiştir.

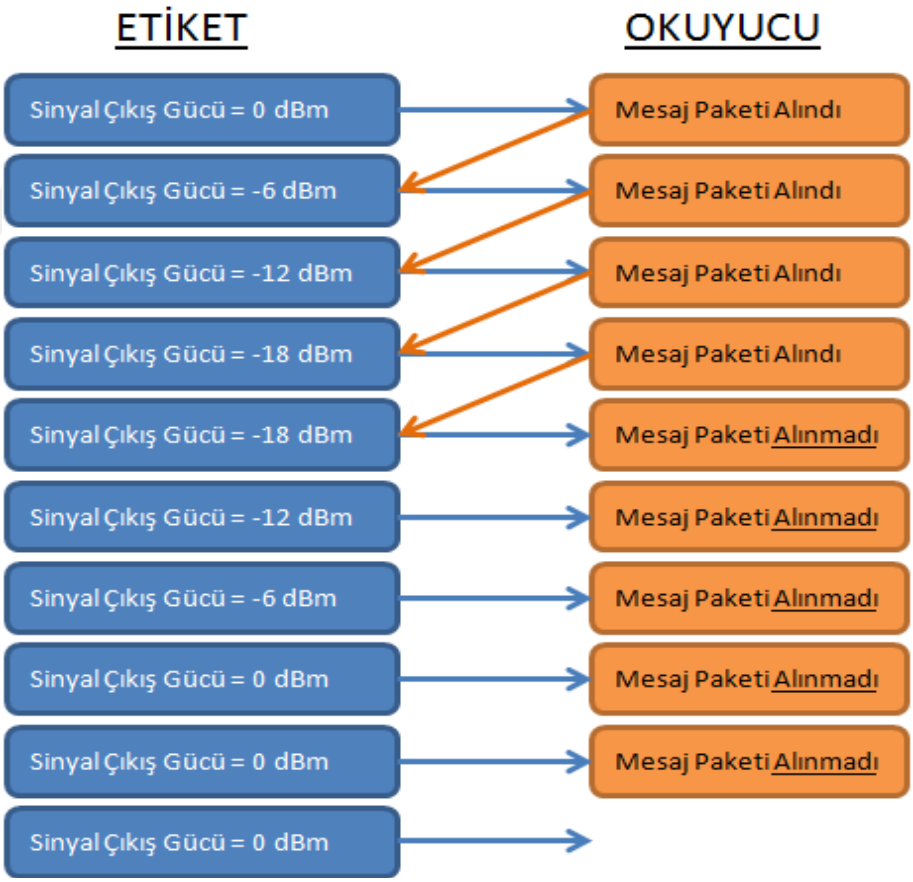
Yapılan çalışmalara göre etiket içerisinde programlanabilen güç seviyelerinin akıllı bir algoritma ile okuyuculara yakın mesafelerde daha az akım tüketimi ile haberleştirilmeye çalışılmıştır. Bu çalışma kapsamında NRF24LE01 entegresinin haberleşme özellikleri kullanılarak algoritma geliştirilmiştir. Kullanılan ilk özellik etiket tarafından okuyuculara gönderilmek için kullanılan sinyal çıkış gücünün entegre çalışma anında güncellenebilme özelliğidir. İkinci özellik ise etiketten yollanan mesaj paketinin okuyucu tarafından alınıp alınmadığı bilgisini bize veren mesaj alındı paket bilgisi (ACK) mesajıdır. Okuyucu mesaj paketini aldıktan sonra etikete mesaj paketini alındı bilgisini yollamaktadır. Bu iki özellik kullanılarak etiketin kendisine yakın olan okuyucu ile haberleşebilecek şekilde sinyal gücünün değişmesi gerekmektedir. Buna göre, geliştirilen algoritma Şekil 2.30'daki gibidir.



Şekil 2.30. Etiket için geliştirilen algoritmanın akış şeması

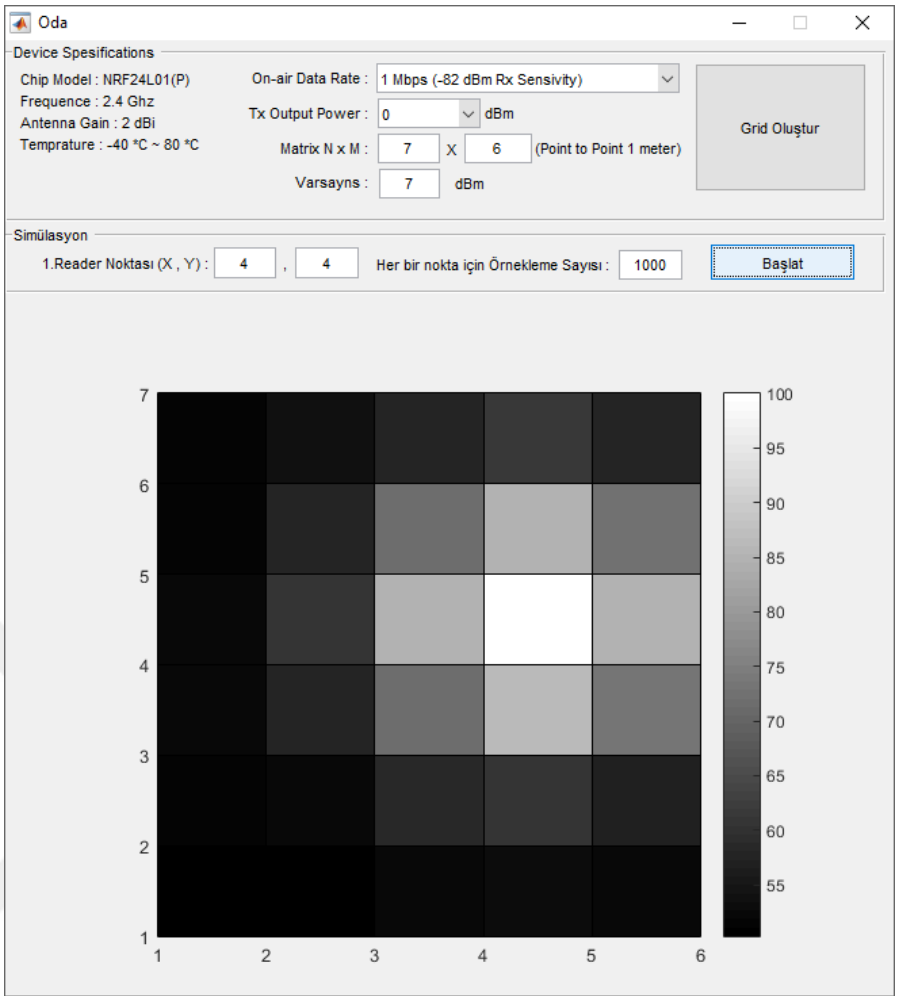
Algoritma etiketten 0dBm çıkış gücü ile gönderilecek olan ilk mesajını ayarlar. Mesaj içerisinde Etiket_ID, mesaj gönderim gücü ve mesaj sayacı bulunmaktadır. Etiket_ID, etiketleri birbirinden ayırmak için kullanılan benzersiz bir sayıdır. Mesaj gönderim gücü, mesaj paketinin gönderileceği sinyal çıkış gücünün okuyucu tarafından bilinmesi için kullanılmaktadır. Mesaj sayacı ise gönderilen mesaj

paketinin kaçıncı paket olduğunun bilgisini içermektedir. Mesaj paketi ayarlandıktan sonra 0dBm çıkış gücü ile gönderilir. Okuyucu tarafından mesaj paketi algılandığında geriye ACK mesajı döndürür ve etiket gönderdiği mesaj paketinin alındığını anlar. Mesaj paketi okuyucu tarafından alınırsa sinyal gücü 0dBm den -6dBm düşürülerek mesaj paketi tekrar düzenlenip gönderilir. Bu işlem mesaj paketleri okuyucu tarafından alınmaya devam ettiği süre boyunca -18dBm e kadar düşürülür. Mesaj paketleri -18dBm den sonra alınmaya devam ederse güç seviyesi daha fazla düşürülmez ve -18dBm de okuyucu tarafından mesaj paketi alınmayana kadar devam eder. Mesaj paketi -18dBm de okuyucu tarafından alınmaz ise sinyal çıkış gücü 6dBm arttırılarak -12dBm güçte gönderilir. Mesaj paketleri alınmamaya devam ederse sinyal çıkış gücü 0dBm e kadar düşürülür. Şekil 2.31'de etiket ve okuyucu arasındaki mesaj paketlerinin iletimini gösteren bir şema gösterilmektedir.



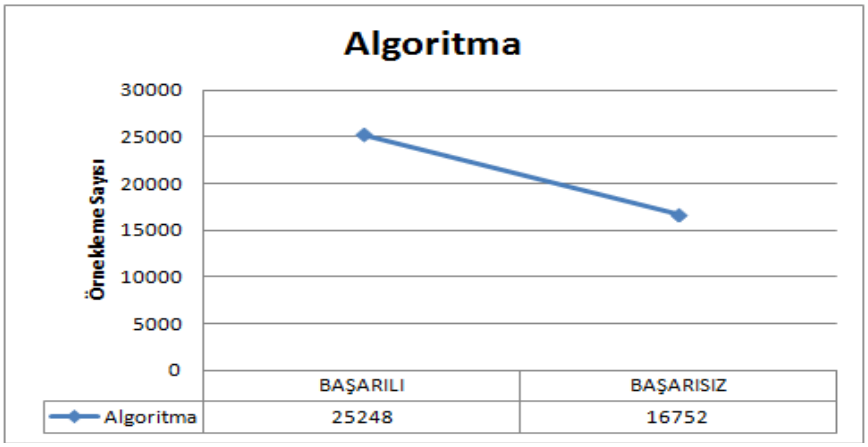
Şekil 2.31. Etiket ve okuyucu arasındaki mesaj paketinin iletimi

Geliştirilen akıllı algoritma için simülasyon ortamı gerçeklenmiştir. Şekil 2.32'de gerçeklenen simülasyon sonucu gösterilmektedir.



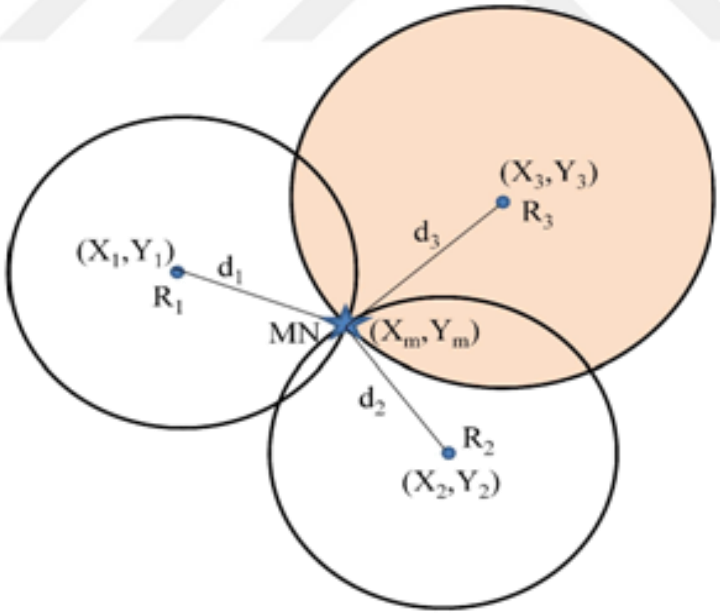
Şekil 2.32. Etiket algoritmasının simülasyon işlem sonucu

Simülasyon sonucunda etiket beyaz alanlarda %100 siyah olan alanlarda ise %50 oranında mesaj paketlerinin okuyucu tarafından alındığı görülmektedir. Şekil 2.33'te Algoritma kullanılarak 42000 mesaj paketindeki okuyucuya gönderilmede başarı ve başarısız olan paket sayıları gösterilmektedir. Algoritma 25248 başarılı paket 16752 başarısız paket ile %50 oranında simülasyon alanı içerisinde okuyucularla haberleşme sağlandığını göstermiştir.



Şekil 2.33. Akıllı algoritmanın okuyucu ile haberleşme sonucu

Etiket için geliştirilen akıllı algoritma bir okuyucu ile haberleşerek şekilde kendi güç seviyesini ayarlamaya çalışmaktadır. Bazı durumlarda örneğin; etiket mesajı birden fazla okuyucu ile haberleştiği anda haberleşilen okuyucuların konumları ve haberleşme sinyal gücü mesafeleri bilindiğinden Trilateration matematiksel modeline göre konum tahminin yapılıp yapılamayacağı test edilmiştir. Şekil 2.34'te R1, R2 ve R3 (M,N) noktasını yerini tespit etmek için kullanılan okuyucudardır.



Şekil 2.34. Sinyal gücü tabanlı triateration tekniği

$$d_1 = \sqrt{(X_1 - X)^2 + (Y_1 - Y)^2} \tag{2.13}$$

$$d_2 = \sqrt{(X_2 - X)^2 + (Y_2 - Y)^2} \tag{2.14}$$

$$d_3 = \sqrt{(X_3 - X)^2 + (Y_3 - Y)^2} \tag{2.15}$$

$$da_i = d_i + \frac{nf}{100} d_i N \tag{2.16}$$

$$X = \frac{U_1 Y_{32} + U_2 Y_{13} U_3 Y_{21}}{2(X_1 Y_{32} + X_2 Y_{13} + X_3 Y_{21})} \tag{2.17}$$

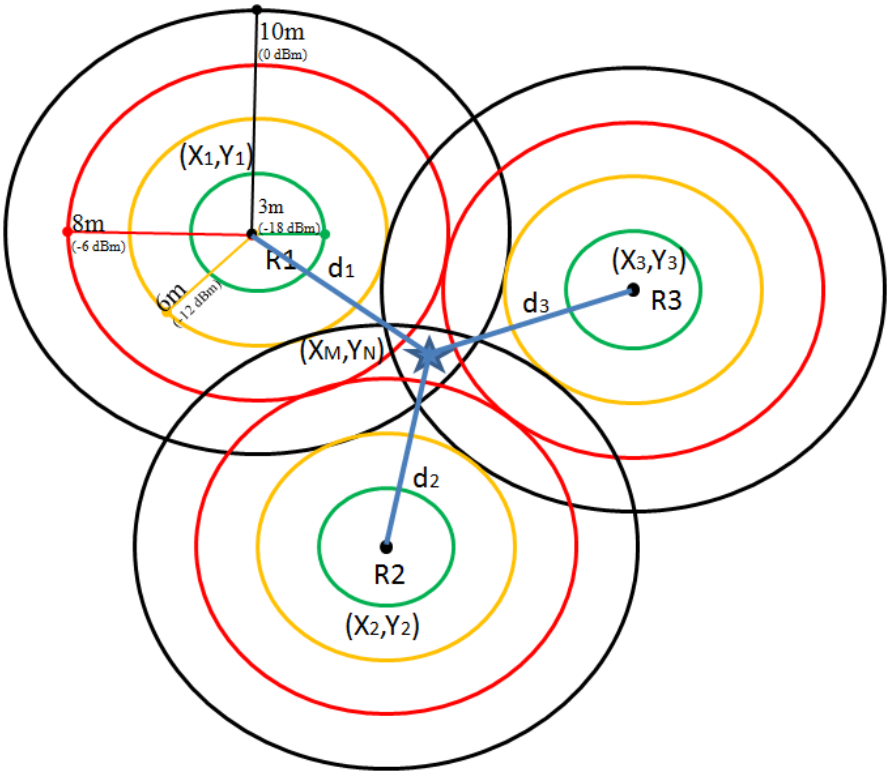
$$Y = \frac{U_1 X_{32} + U_2 X_{13} U_3 X_{21}}{2(X_1 Y_{32} + X_2 Y_{13} + X_3 Y_{21})} \tag{2.18}$$

$$U_i = X_i^2 + Y_i^2 - da_i^2 \tag{2.19}$$

$$X_{ij} = X_i - X_j \tag{2.20}$$

$$Y_{ij} = Y_i - Y_j \tag{2.21}$$

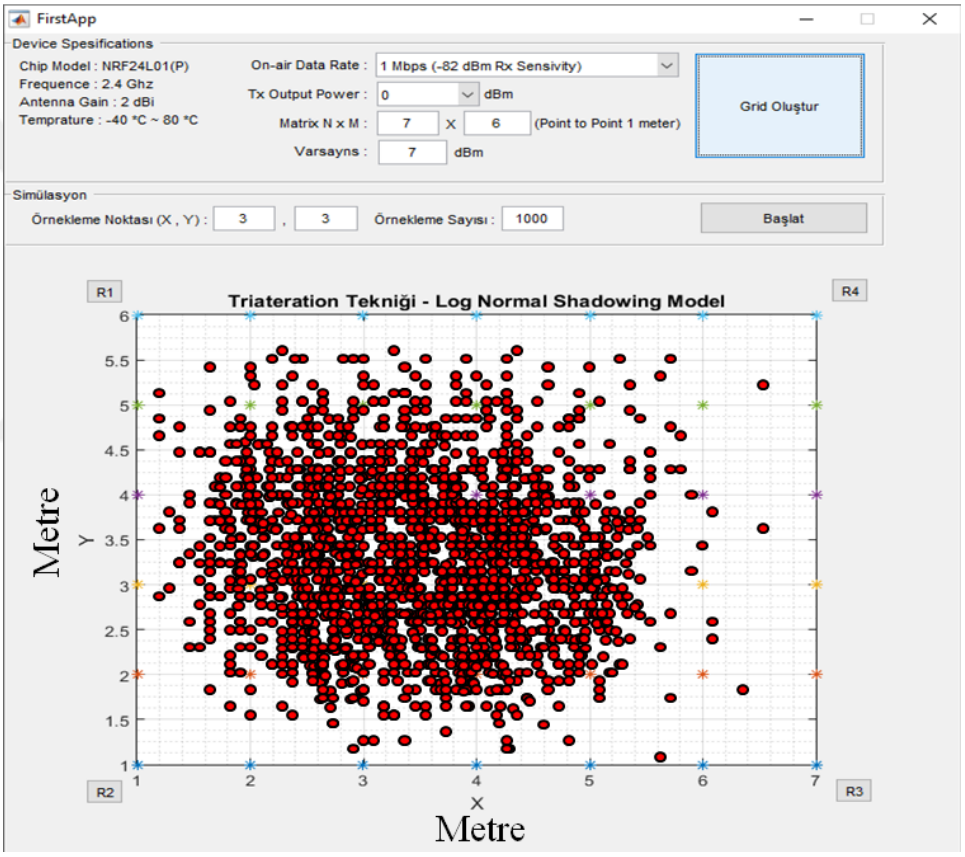
Denklem (2.13)'ten Denklem (2.21)'e kadar olan denklemler triateration tekniği (Ashutosh K. ve diğ., 2014) için kullanılmaktadır.



Şekil 2.35. Referans noktasına göre simülasyonun çalıştırılması

Şekil 2.35‘te Matematiksel model gerçeklenen simülasyon ortamında kullanılarak belirlenen referans noktasına göre konum tahmini yapılmıştır.

Simülasyonda etiketin (3,3) noktasına yerleştirildikten sonra okuyuculardan alınan RSSI değerine ve okuyucuların bulunduğu konuma göre simülasyon çalıştırılmıştır. R1 okuyucusu (1,6), R2 okuyucusu (1,1), R3 okuyucusu (7,1) ve R4 okuyucusu (7,6) konumunda bulunduğu bilinmektedir. Simülasyon akıllı algoritmaya göre çalıştırıldığında R1, R2 ve R3 okuyucularıyla haberleşmektedir. Şekil 2.36’da okuyucular aldıkları güç bilgilerine göre uzaklıklar belirlenmiştir.



Şekil 2.36. Simülasyon sonucunda referans etiketin tahmini konumları

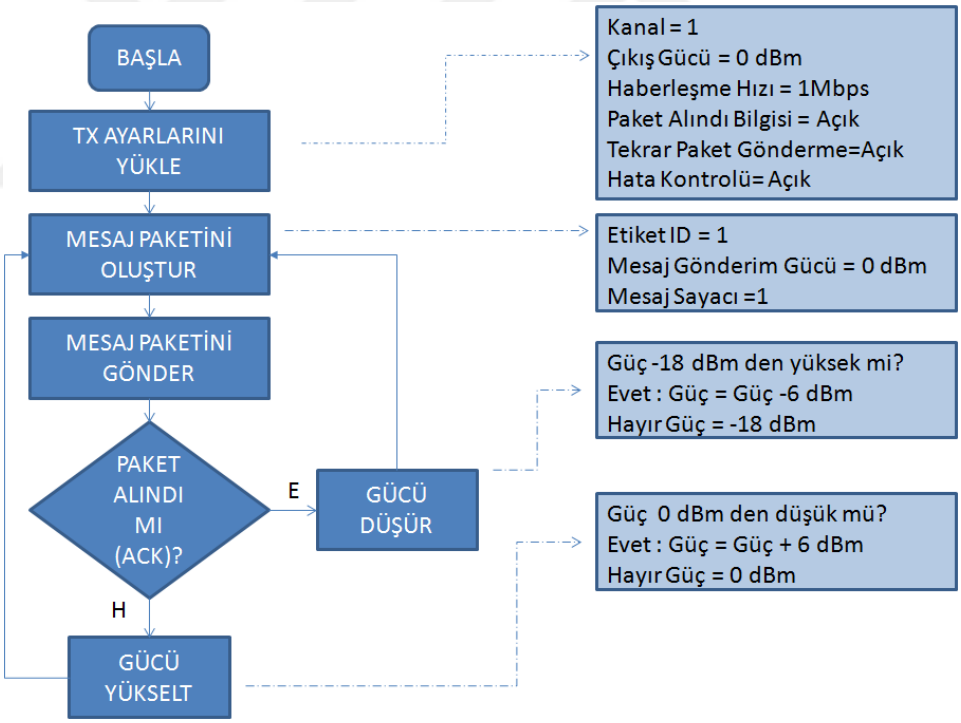
Simüasyon sonucunda etiketin konum tahmini Log Normal Distance Path Loss Modele göre 2 metre hata payıyla referans etiketin konumunu tahmin etmektedir.

Yapılan çalışmada benzetim ortamı gerçeklenerek çalışmada kullanılacak etiket, okuyucular ve sunucu için en verimli algoritma tasarımının oluşturulması amaçlanmıştır.

2.4.2. Etiket

Etiket kişinin kapalı alan içerisinde konum tespitinin yapılabilmesi için geliştirilmiş bir donanımdır. Yapılan benzetim ortamı çalışmasında etiket için en uygun algoritma geliştirilmiştir. Etiketin başlangıçta ve çalışma anında senkron bir şekilde programlama yapılabilmesi için seri haberleşmelerde kullanılan verimli haberleşme standartlarından biri olan SPI protokolü kullanılmıştır.

Şekil 2.37'de etiket içerisinde çalıştırılan algoritmanın akış şeması gösterilmektedir. Etiket, akıllı algoritmaya göre gönderici(TX) ayarları konfigure edilmiştir. Konfigurasyon işleminde NRF24LE01 entegresinin haberleşme kanalı 1, haberleşme hızı 1Mbps, paket alındı bilgisi açık, tekrar paket gönderme açık ve hata kontrolü açık olarak ayarlanmıştır. Gönderilen mesaj paketi Etiket_ID, mesaj gönderim gücü ve mesaj sayacı bilgilerinden oluşmaktadır.



Şekil 2.37. Etiket algoritması akış şeması

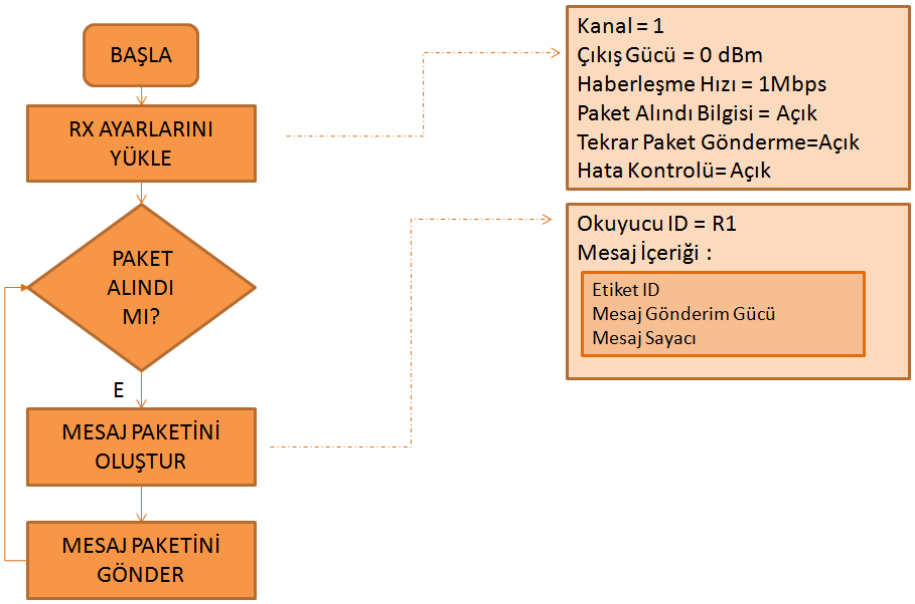
Algoritma ilk çalıştığında 0dBm sinyal çıkış gücünde mesaj paketini göndermektedir. Mesaj paketi okuyucular tarafından alındıkça sinyal gücü -18dBm e kadar düşürülmektedir ancak mesaj paketleri okuyucular tarafından alınmaz ise sinyal 0dBm'e kadar yükseltilerek işlemler devam etmektedir.

Ayrıca etiketlerin çalışma anında konfigurasyonları değiştirilebilmektedir. Donanım üzerinde bulunan kırmızı bir buton ile entegre gönderici modundan alıcı moduna döner ve 25 saniye boyunca konfigurasyon mesaj paketinin gelmesini bekler. Konfigurasyon mesaj paketi içerisinde Etiket_ID, haberleşme kanalı, haberleşme hızı bilgileri bulunmaktadır. 25 saniye sürenin sonunda entegre alıcı modundan gönderici moduna döner ve konfigurasyon mesaj paketi içerisindeki değerleri yükleyerek mesaj paketlerini göndermeye devam eder.

2.4.3. Yerel okuyucu

Yerel okuyucu odanın içerisinde bulunan etiket bilgisini alıp genel okuyuculara göndermek amacıyla geliştirilmişr bir donanımdır. Yerel okuyucu etikette olduğu gibi SPI protokolünü kullanmaktadır.

Şekil 2.38'de yerel okuyucu içerisinde çalıştırılan algoritmanın akış şeması gösterilmektedir. Yerel okuyucu içerisindeki algoritmaya göre alıcı(RX) ayarları konfigure edilmiştir. Konfigurasyon işleminde NRF24L01(P) entegresinin haberleşme kanalı 1, haberleşme hızı 1Mbps, paket alındı bilgisi açık, tekrar paket gönderme açık ve hata kontrolü açık olarak ayarlanmıştır. Yerel okuyucudaki mesaj paketi etiketten alınan mesaj paketi ve okuyucu_ID den oluşmaktadır.



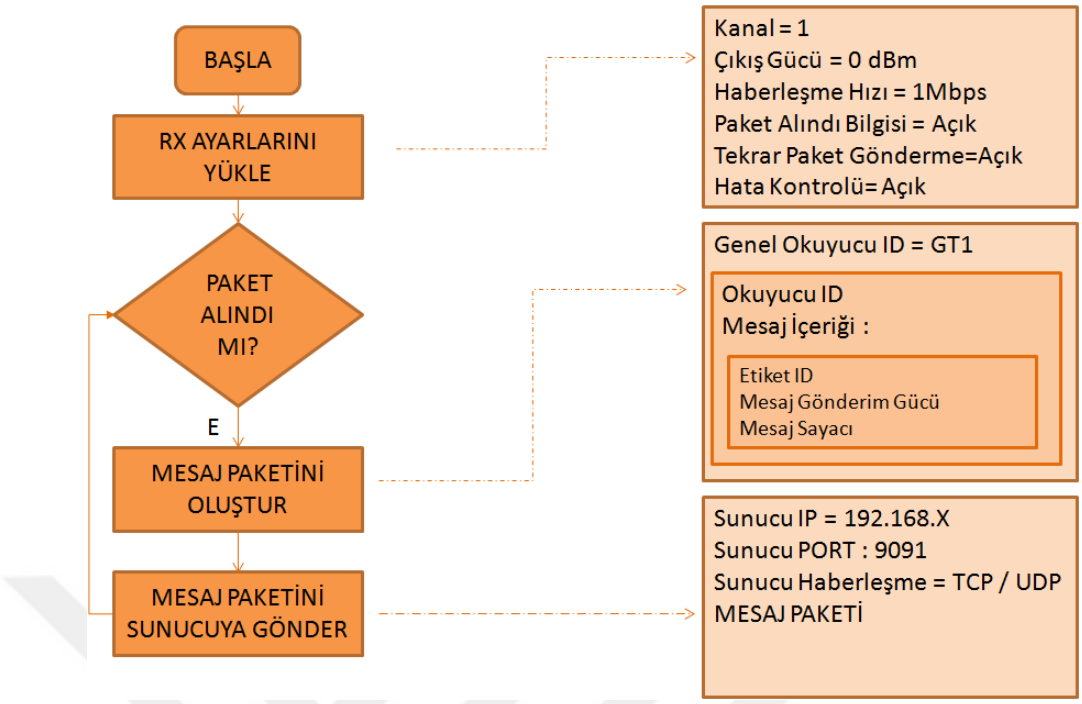
Şekil 2.38. Yerel okuyucu algoritmasının akış şeması

Algoritma ilk çalıştığında alıcı(RX) ayarlarını yükler ve etiketlerden bir mesaj paketinin gelmesini bekler. Paket alındığı anda etiket içerisindeki mesaj içeriği alınarak yerel okuyucu için yeni bir mesaj paketi oluşturulur. Yerel okuyucu mesaj paketini oluşturduktan sonra kendinisi alıcı modundan gönderici moduna geçirir. Yerel okuyucu için gönderici konfigurasyon ayarlarında haberleşme kanalı 1, haberleşme hızı 1Mbps ve sinyal çıkış gücü 0dBm'dir. Okuyucu gönderici modunda mesaj paketini genel okuyuculara gönderir.

2.4.4. Genel okuyucu

Genel okuyucu odanın içerisinde bulunan yerel okuyuculardan ve koridorlarda bulunan etiketlerden mesaj paketlerini alip sunucuya göndermek amacıyla geliştirilmiş bir donanımdır. Genel ve yerel okuyucu etikette olduğu gibi SPI protokolünü kullanmaktadır.

Şekil 2.39'da genel okuyucu içerisinde çalıştırılan algoritmanın akış şeması gösterilmektedir. Genel okuyucu içerisindeki algoritmaya göre alıcı(RX) ayarları konfigure edilmiştir. Konfigurasyon işleminde NRF24L01(P) entegresinin haberleşme kanalı 1, haberleşme hızı 1Mbps, paket alındı bilgisi açık, tekrar paket gönderme ve hata kontrolü açık olarak ayarlanmıştır. Genel okuyucudaki mesaj paketi etiket veya yerel okuyucudan alınan mesaj paketi ve Genel Okuyucu_ID den oluşmaktadır.



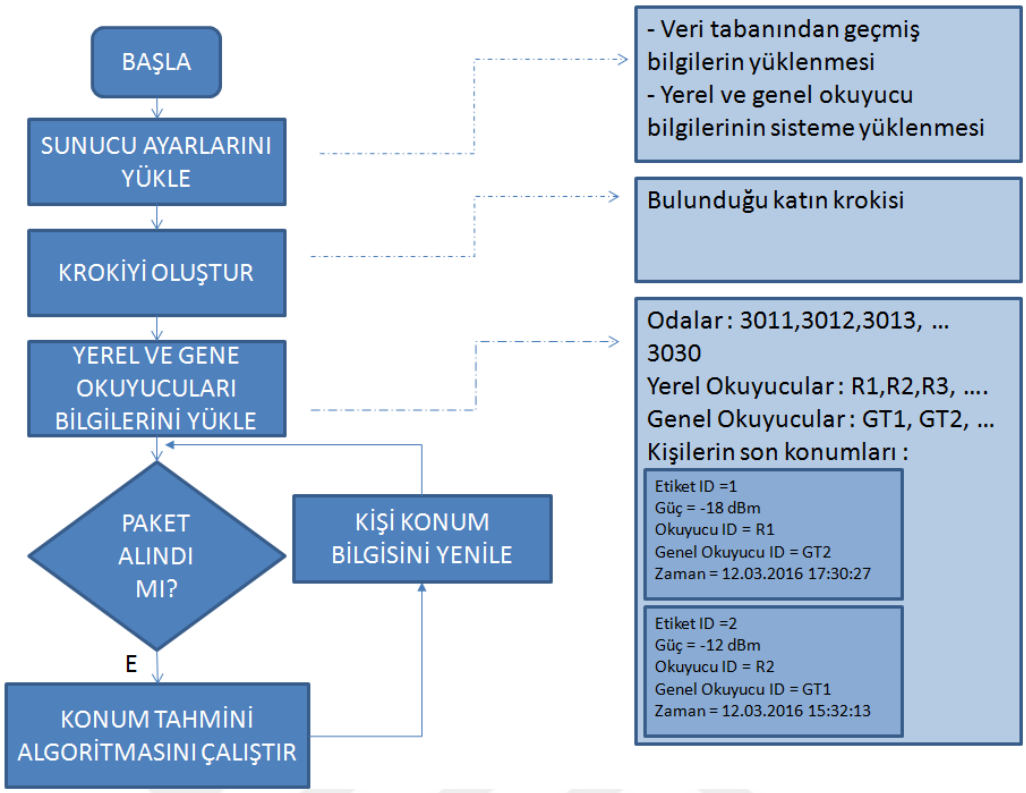
Şekil 2.39. Genel okuyucu algoritmasının akış şeması

Algoritma ilk çalıştığında alıcı(RX) ayarlarını yükler ve etiketlerden bir mesaj paketinin gelmesini bekler. Paket alındığı anda etiket ve ya yerel okuyucu içerisindeki mesaj içeriği alınarak genel okuyucu için yeni bir mesaj paketi oluşturulur. Genel okuyucu mesaj paketini oluşturduktan sonra ip ve port bilgisi bilinen sunucuya TCP yada UDP haberleşme protokolleri kullanarak mesaj paket bilgisini sunucuya iletir.

2.4.5. Sunucu

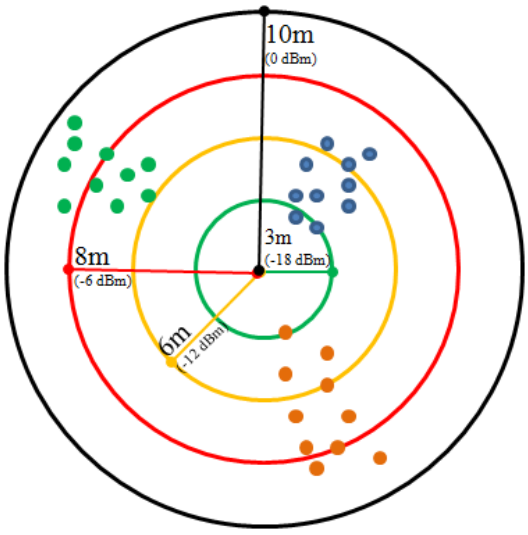
Sunucu genel okuyuculardan gelen mesaj paketini alip etiketin hangi odanın içerisinde bulunduğunu bilgisini elde etmek amacıyla geliştirilmiş bir yazılımdır. Sunucu Microsoft Visual Studio 2015 geliştirme platformunda C# programlama dili ile yazılmıştır.

Şekil 2.40'da sunucu içerisinde çalıştırılan algoritmanın akış şeması gösterilmektedir. Sunucu veri tabanı içerisinde geçmiş verileri sisteme yükler. Kapalı alan bilgisini ve okuyucu bilgilerini kullanıcı arayüzüne yükler. Genel okuyuculardan gelen paketleri işleyerek konum tahmini algoritmasını çalıştırır ve kişinin konum bilgisini gerçek zamanlı olarak sistemde gösterir.



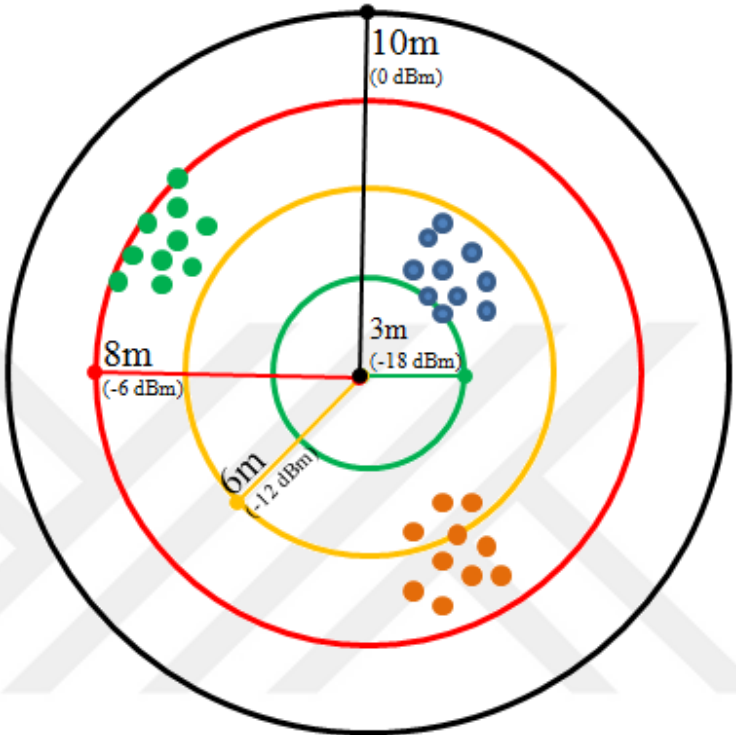
Şekil 2.40. Sunucu algoritmasının akış şeması

Etiket ve okuyucuların donanım ve yazılım tasarımları tamamlandıktan sonra etiketlerden gönderilen mesaj paketlerinin okuyucular tarafından alınarak digital ortama aktarılmaktadır. Etiket, okuyucunun yanında düşük güç seviyesinde mesaj paketi yollaması gerekirken çalışma alanında bulunan duvar, Wi-fi sinyalleri ve benzeri engeller tarafından yüksek güçte mesaj paketleri gönderdiği gözlemlenmiştir.



Şekil 2.41. Ölçülen sinyal değerleri

Şekil 2.41'de kırmızı, yeşil ve turuncu renkteki 3 farklı etiket ve merkezde bulunan bir yerel okuyucu bulunmaktadır. Etiketlerden gönderilen hatalı güç seviyeleri bilgileri kişinin konum tahmininin belirlenmesindeki hata payını yükseltileceği anlaşılmıştır.



Şekil 2.42. Kalman filtresi sonucundaki sinyal değerleri

Şekil 2.42'de Kalman filtresi sonucunda güç sinyallerinin gürültülerden arındırılarak gerçek değerlerine yakın olacak şekilde sonuçlar verdiği görülmektedir. Hata payını en aza indirmek amacıyla gerçek zamanlı olarak aynı etikete ait mesaj paketlerindeki güç bilgisi kalman filtresinden geçirilmiştir. Kalman filtresi, gürültülü veriler üzerinde gerçek zamanlı çalışarak hataları, Least Mean Squares yöntemi ile filtreler. Filtreleme işlemi sırasında hatalı(gürültülü) sinyaller tespit edilir ve sinyaller yumuşatılarak sistemin gerçek değerine yakın sinyallere dönüştürmektedir.

Çalışmada etiketin üzerinde çalışan akıllı algoritma kullanılarak kişilerin kapalı alanlarda konum tespiti yapılmıştır. Buna göre etiket kendisine en yakın okuyucuya en düşük sinyal çıkış gücünde mesaj paketi yollamaya göre programlandığından dolayı hangi okuyucu ile haberleşiyorsa kişinin o oda bulunduğu bilgisi elde edilmektedir. Bazı durumlarda örneğin; etiket mesajı birden fazla okuyucu ile haberleştiği anda haberleşilen okuyucuların konumları ve haberleşme sinyal gücü

mesafeleri bilindiğinden Trilateration matematiksel modeline göre konum tahmini yapılmaktadır.

3. SONUÇ VE ÖNERİLER

Benzetim ortamında yapılan çalışmalar sonucunda etiket, okuyucu ve sunucu için algoritmalar geliştirilmiştir. Etiketler için akıllı bir algoritma geliştirilerek okuyucularla en düşük güç seviyesinde haberleşme yapılmıştır. Ayrıca etiketler düşük güç tüketimine sahip olduklarından harcadıkları akım miktarlarına göre günde 8 saatlik çalışma zamanıyla yaklaşık 2 yıl süre ile çalıştırılabileceği gözlemlenmiştir. Yerel okuyucuların çalışma alanı içerisinde konumlandırılacağı noktaların birbirleriyle uzaklıklarının en az 7 metre, genel okuyucuların ise yerel okuyuculardan en fazla 15 metre uzaklıkta olması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Sunucu, etiket ve okuyucu bilgilerini işleyerek etiketin yalnız bir okuyucu ile haberleşmesi durumunda etiketin konumunu 2 ila 2,5 metre hata payı ile doğru olarak göstermektedir. Ayrıca etiket bir okuyucu ile -18dBm sinyal çıkış gücü ile haberleşmesi durumunda 1 metre hata payı ile etiketin konumu doğru tahmin edilmiştir.

İleriye yönelik çalışmalarda etiket ve okuyucular için en uygun haberleşme kanalının seçimi, okuyucu ve etiket arasındaki mesaj paketi kaybını en aza indirecek şekilde anten yönünün belirlenmesi ve sunucuda yürütülen konum belirleme algoritmalarının geliştirilerek daha az hata payı ile etiketin konumunun belirlenmesi amaçlanmaktadır.

KAYNAKLAR

Ahmed R., John N. A., Mobile element based localization and tracking using path-loss model in WSNs, *Secience and Information Conference(SAI)*, London, England, 28-30 July 2015.

Ashutosh K., Pumendu K., Shyam C., Optimization technique based localization in IEEE 802.11 WLAN, *Recent Advances and Innovations in Engineering(ICRAIE),* Jaipur, India, 9-11 May 2014.

Bahl P. and Padmanabhan V. N., RADAR: An in-building RF-based user location and tracking system, *IEEE INFOCOM*, 2000, **2**, 775-784.

Bilgen T., Konum Belirleme Algoritma Uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2009, 252325.

Fontana R. J., Recent system aplications of short-pulse ultra-wideband(UWB) technology, *IEE Trans. Microw. Theory Tech.*, 2004, **52**(9), 2087-2104.

Gints J., Vadim K., Vadim Z., An Analysis of Wi-fi Based Indoor Positioning Accuracy, *Scientific Journal of Riga Technical University*, 2011, **47**, 131-137.

Holfmann B., Lichteneger H., Collins J., *Global Positioning System: theory and practice*, 4rd ed., Springer-Verlag, Michigan, 1997.

Hyo Sung A. and Wonpil Y., Enviromental Adaptive RSSI based indoor localization, *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 2009, **6**(4), 626-633.

Hui L., Houshang D., Pat B., Jing L., Survey of Wireless Ondoor Positioning Techniques and Systems, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)*, DOI: 10.1109/SURV.2009.090103.

Jafet Aaron M., David A., Sos A., Faulty measurements impact on wireless local area network positioning performance, *IET Radar, Sonar & Navigatio*n, 2015, **9**(5), 501-508.

Kevin C., Eoghan F., Tom L., Jose S., Derek W., Aiden MC C., An Evaluation of Indoor Location Determination Technologies, *Journal of Location Based Services*, DOI: 10.1080/17489725.2011.562927.

Kotanen A., Hannijainen M., Leppakoski H., Hamalainen T. D., Experiments on local positioning with Bluetooth, *IEEE Int. Conf. Inf. Technol. : Computer Communication*, DOI: 10.1109/ITCC.2003.1197544.

Li Z., Xiao L., Jie S., Cathal G., Zhiliang Z., A Comprehensive Study of Bluetooth Fingerprinting-Based Algorithms for Localization, *Advanced Information*

Networking and Applications Workshops(WAINA), 27th International Conference on, Barcelona, Spain, 25-28 March 2013.

Martin K., Dirk P., Influence of Predicted and Measured Fingerprint on the Accuracy of RSSI-based Indoor Location Systems, *4th Workshop on Positioning, Navigation and Communication,* Hannover, Germany, 22 March 2007.

Neal P. and Joey W., RF Sensor Networks for-Device-Free Localization: Meaurements, *Models and Algorithms, Proceedings of the IEEE,* 2010, **98**(11), 1961-1973.

Onur Y. Kablosuz Teknolojilerle Kapalı Alanda Konum Belirleme, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2010, 295686.

Ömer Faruk K., Parmak izi yöntemi ile hücresel ağlarda konum belirleme, Yüksek Lisans Tezi, Boğaziçi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2009, 245881.

Sinem B., Ahmet Y., Serkan G., Ugur Y., Fatih I., A novel multi-sensor and multi topological database for indoor positioning on fingerprint techniques, *Innovations in Intelligent Systems and Applications(INISTA),* Madrid, Spain, 2-4 September 2015.

Srinivasan S., Haenggi M., Path loss exponent estimation in large wireless Networks, *Information Theory and Applications Workshop,* San Diego, CA, 8-13 February 2009.

Subaashini K., Dhivya G., Pitchiah R., Zigbee RF signal strength for indoor location sensing- Experiments and results, *Advanced Communication Technology (ICACT), 14th International Conference on,* Pyeongchang, S. Korean, 19-22 February 2012.

Sungil K., Sunhwa H., Alshihri S., Juho K., Indoor positioning system techniques and security, *e-Technologies and Networks for Development (ICeND), Forth International Conference on,* Lodz, Poland, 21-23 September 2015.

URL-1: Nordic Semiconductor [online], https://www.nordicsemi.com/eng/Products/2.4GHz-RF/nRF24L01P , (Ziyaret Tarihi: 2 Ocak 2016).

URL-2: Nordic Semiconductor [online], https://www.nordicsemi.com/eng/Products/2.4GHz-RF/nRF24LE1/(language)/eng-GB , (Ziyaret Tarihi: 2 Ocak 2016).

URL-3: Arduino [online], https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno, (Ziyaret Tarihi: 3 Ocak 2016).

URL-4: Raspberry [online], http://www.raspi.gen.tr/2015/02/02/raspberry-pi-2-duyuruldu-ilk-inceleme-ve-on-izlenimler/, (Ziyaret Tarihi: 3 Ocak 2016).

URL-5: Arduino [online], http://forum.arduino.cc/index.php?topic=138663.0, (Ziyaret Tarihi: 3 Ocak 2016).

URL-6: Raspberry [online], http://torstentraenkner.de/wissen/smarthome/openmilight.php, (Ziyaret Tarihi: 3 Ocak 2016).

URL-7: Wikipedia [online], https://tr.wikipedia.org/wiki/Pisagor_teoremi, (Ziyaret Tarihi: 12 Aralık 2015).

URL-8: Wikipedia [online], https://en.wikipedia.org/wiki/Log-distance_path_loss_model, (Ziyaret Tarihi: 8 Ekim 2015).

URL-9: Wikipedia [online], https://en.wikipedia.org/wiki/Free-space_path_loss, (Ziyaret Tarihi: 8 Ekim 2015).

Xin-Yu L., Te-Wei H., Cheng-Chung F., Zui-Shen Y., Bey-Jing Y., Feipei L., A mobile indoor positioning system based on iBeacon technology, *37th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society(EMBC)*, Milan, Italy, 25-29 August 2015.

EKLER

Ek- A

Tablo A.1. Kapalı alanlarda konum belirleme çalışmaları (Hui L. Ve Diğ., 2007)

Sistem	Teknoloji	Yöntem	Doğruluk/ Kesinlik	Hassasiyet	Zorluk Derecesi	Ölçeklenebilirlik	Maliyet
Microsoft RADAR	WLAN, Received Signal Strength(RSS)	KNN(En yakın komşuluk), Viterbi-like Yöntemi	3~5m	2.5 m içerisinde %50 5.9 m içerisinde %90	Orta	İyi	Düşük
Horus	WLAN RSS	Olasılık Metodu	2m	2.1 m içerisinde %90	Orta	İyi	Düşük
DIT	WLAN RSS	MLP,SVM	3m	5.12m içerisinde SVM ile %90 5.40 m içeirsinde MLP ile %90	Orta	İyi	Düşük
Ekahau	WLAN, RSSI	Olasılık Metodu(Takip Asistanı)	1m	2 m içerisinde %50	Orta	İyi	Düşük
SnapTrack	Assisted GPS,	TDOA	5m-50m	25 m içerisinde %50	Yüksek	İyi	Orta
WhereNet	UHF	TDOA, Least Square/RWGH	2-3 m	3 m içerisinde %50	Orta	Çok İyi	Düşük
Ubisense	Unidirectional UWB	TDOA + AOA, Least Square	15 cm	0.3 m içerisinde %99	Gerçek Zamanlı	100-100m) içerisinde her bir hücre için 2-4 sensör kullanılıyor	Yüksek orta
Sappire Dart	Unidirectional UWB	Least Square, TDOA	<0.3 m	0.3 m içerisinde %50	Orta	İyi	Yüksek orta
SmartLocus	WLAN(RSS)+Ultrasound(RTOF)	N/A	2-15 cm	15 cm içerisinde %50	Yüksek orta	İyi	Yüksek orta
EIRIS	IR + UHF(RSS)+LF	PD tabanlı	<1m	1m içerisinde %50	Yüksek orta	İyi	Yüksek orta
SpotON	Aktif RFID, RSS	Ad-Hoclateration	Çalışma alanına bağlı	N/A	Orta	En az 2 Etiket	Düşük
LANDMARC	Aktif RFID, RSS	KNN	<2m	1 m içerisinde %50	Orta		Orta
TOPAZ	Bluetooth(RSS)+IR	PD tabanlı	2m	2 m içerisinde %95			
MPS	QDMA	Ad-Hoc İterasyon	10m	10 m içerisinde %50	1s	Çok iyi	Orta
GPPS	DECT cellcular system	KNN, Gaussion Process(GP)	7.5 m için GP, 7 m için KNN	7.3 m içerisinde %50	Orta	İyi	Orta
Robot-based	WLAN (RSS)	Bayesian yaklaşımı	1.5m	1.5 m içerisinde %50 den fazla	Orta	İyi	Orta

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

Özcan H., Şahin S., Menteşoğlu M., Pir F., Indoor Reduction of Noise in RF Signal with Kalman Filter, *SİU 2015 IEEE 23. Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı*, Malatya, 16-19 Mayıs 2015.

ÖZGEÇMİŞ

28.01.1988 tarihinde Edirne'de doğan Hikmetcan ÖZCAN, 2005 yılında Kemal Hasoğlu Lisesinden mezun oldu ve 2006 yılında Isparta Süleyman Demirel Üniversitesi Selahattin Karasoy Meslek Yüksek Okulu, Bilgisayar Programcılığı ön lisans öğrenimine başladı. İki yıllık ön lisan eğitiminin ardından 2008 yılında mezun oldu. 2010 yılında dikey geçiş sınavı ile Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümünde lisans öğrenimine başladı. Üç yıllık lisans eğitiminin ardından 2013 yılında mezun oldu. 2014 yılında Kocaeli Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü'ne araştırma görevlisi olarak atandı. 2013-2014 eğitim öğretim yılı, güz yarıyılında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Ana Bilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı ve bahar yarıyılından itibaren Kocaeli Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü'nde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır.