



T.C.
ALTINBAŞ ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Bilgisayar Mühendisliği

**BİRDEN FAZLA FREKANSTA KONTROL
EDİLEBİLİR KABLOSUZ SİNYAL ZAYIFLATICI**

Sadık Öztürk

Yüksek Lisans Tezi

Öğretim Görevlisi
Asst. Prof. Dr. Muhammad Ilyas

İstanbul, 2020

BİRDEN FAZLA FREKANSTA KONTROL EDİLEBİLİR KABLOSUZ SİNYAL ZAYIFLATICI

Sadık Öztürk

Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik ve Bilgisayar Mühendisliği

Yüksek Lisans Tezi

ALTINBAŞ ÜNİVERSİTESİ
2020

Bu tezi okuduğumuzu; kapsam ve nitelik bakımından tezi olarak yeterli bulduğumuzu beyan ederiz.

Akademik Ünvan Adı SOYADI

Akademik Ünvan Adı SOYADI

Akademik Ünvan Adı SOYADI Fakülte / Üniversite _____
(Thesis Supervisor)

Akademik Ünvan Adı SOYADI Fakülte / Üniversite _____

Akademik Ünvan Adı SOYADI Fakülte / Üniversite _____

Akademik Ünvan Adı SOYADI Fakülte / Üniversite _____

Bu tezin tezi olarak bütün şartları sağladığını beyan ederim.

Akademik Ünvan Adı SOYADI
Ana Bilim Dalı Başkanı

Fen Bilimleri Enstitüsü kabul tarihi

///

Akademik Ünvan Name SURNAME
Enstitü Müdürü

Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik davranışlara uygun olarak edinildiğini ve sunulduğunu beyan ederim. Ayrıca, bu kuralların ve davranışların gerektirdiği şekilde, bu çalışmada, orijinal olmayan tüm materyalleri ve sonuçları tamamen alıntı yaptığımı ve referans gösterdiğimi de beyan ederim.

Sadık Öztürk



İTHAF

Bu araştırma projesi, birçok kişinin desteği olmadan mümkün olamazdı. Herşeyden önce bana desteği, yaklaşımı, yardım severliği ile danışmanım Asst. Prof. Dr. Muhammad Ilyas Hocam 'a şükranlarımı sumak istiyorum. Ayrıca çalıştığım firmada kalite takım direktörüne aynı zamanda takım yöneticim olan Ismail Arslan 'a manevi desteği ve gerekli test ekipmanlarını sağlamasından dolayı teşekkürü bir borç bilirim. Bir çok soruma verdiği cevaplar ve kişisel zamanını harcayarak fikir ve tecrübe olarak destek sağlayan iş arkadaşım Mehmet Ali Yeşil 'e ayrıca teşekkür etmek isterim.

Son olarak eşim ve çocuğuma bana vermiş olduğu moral ve motivasyon için sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

ABSTRACT

CONTROLLABLE WIRELESS SIGNAL ATTENUATOR AT MULTIPLE FREQUENCIES

Ozturk, Sadik,

M.Sc., Electrical and Computer Engineering, Altinbas University,

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Muhammad Ilyas

Co-Supervisor:

Date: 02-2020

Pages: 39

With the increase in the usage of wireless networks, the diversity and proliferation of wireless clients, the performance of wireless broadcasting devices becomes very important. In this context, in order to measure the performance of these products, there is a need for controllable, test environments to eliminate human effort, external factors and the effects of mobile clients. Within the developed system, the distance of the wireless clients to the access point to which they are connected can be simulated in a controlled manner, all real life scenarios can be repeated quickly in a much smaller area and performance measurements can be made. In this article, system design and prototype, which can be controlled wireless signal attenuation range for performance measurements in many frequency ranges including 2.4 GHz and 5 GHz, is aimed.

Keywords: wireless attenuator, attenuator circuit, signal suppressor box, performance test in wireless networks, closed box performance test

ÖZET

BİRDEN FAZLA FREKANSTA KONTROL EDİLEBİLİR KABLOSUZ SİNYAL ZAYIFLATICI

Sadık ÖZTÜRK

Yüksek Lisans, Elektrik ve Bilgisayar Mühendisliği, Altınbaş Üniversitesi,

Danışman: Asst. Prof. Dr. Muhammad Ilyas

Eş Danışman:

Tarih: 02-2020

Sayfa: 39

Kablosuz ağların kullanım alanlarının artması, kablosuz istemcilerin çeşitliliği ve çoğalması ile beraber kablosuz yayın yapan cihazların performansı oldukça önem kazanmaktadır. Bu kapsamda bu ürünlerin performansını ölçme amaçlı olarak; insan eforunu, dış etkenleri ve hareketli istemcilerin yaratmış olduğu etkileri ortadan kaldırmak için, kontrol edilebilen test ortamlarına ihtiyaç duyulmuştur. Geliştirilen sistem içerisinde kontrollü olarak kablosuz istemcileri bağlı oldukları erişim noktasına olan uzaklıkları simüle edilebilir, her türlü gerçek hayat senaryosu çok daha küçük bir alanda hızlıca tekrarlanabilir ve performans ölçümleri yapılabilir hale gelmiştir. Bu çalışma içerisinde 2.4 GHz ve 5 GHz dahil olmak üzere birçok frekans aralığında performans ölçümleri için kablosuz sinyal zayıflama aralığı kontrol edilebilen, sistem tasarımı ve prototip amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: kablosuz zayıflatıcı, zayıflatıcı devre, sinyal önleyici kutu, kablosuz ağlarda performans testi, kapalı kutu performans testi

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İTHAF	i
ABSTRACT	ii
ÖZET	1
ŞEKİL LİSTESİ	5
TABLO LİSTESİ	6
SEMBOL LİSTESİ	7
KISALTMALAR	8
1. GİRİŞ	9
2. RF SİNYAL KAREKTERİSTİĞİ	11
2.1. RF SİSTEMLERİ ETKİLEYEN UNSURLAR	14
2.1.1. Çevre Ortam Yapısı	15
2.1.2. Anten Etkisi	16
2.1.3. İnsan Etkisi.....	17
2.1.4. Erişim Noktası ve Kablosuz İstemci Yerleşimi	18
3. PROTOTİP KART	20
3.1. PROTOTİP KART DEVRE TASARIMI	20
3.2. PROTOTİP KART YAZILIMI	23
3.3. PROTOTİP DEVRENİN KULLANIMI	24
4. KAPALI KUTU TEST ORTAMI ARAÇ/GEREÇLERİ	27

4.1. SİNYAL ÖNLEYİCİ KUTU	27
4.2. ARDUNIO	27
4.3. SMA BAĞLANTI	28
4.4. RF KABLO	28
4.5. RF ANTEN	28
4.6. IXIA IXCHARIOT	29
4.7. BİLGİSAYARLAR	30
4.7.1. Kontrol Bilgisayarı.....	30
4.7.2. Paket Üretici.....	31
4.8. ERİŞİM NOKTASI VE KABLOSUZ İSTEMCİ	31
4.8.1. Erişim Noktası.....	31
4.8.2. Kablosuz İstemci.....	31
5. TEST DÜZENEĞİ	32
5.1. TEST DÜZENEĞİ	32
5.2. TEST SENARYOLARI	32
5.2.1. Prototip Devre ve Kapalı Kutu Test Ortamı Senaryosu	32
5.2.2. Kablosuz Test Senaryosu.....	34
6. SONUÇLAR	35
6.1. 2.4 GHz FREKANSI DENEY SONUÇLARI	35
6.2. 5 GHz FREKANSI DENEY SONUÇLARI	35
6.3. GELECEKTE YAPILACAK ÇALIŞMALAR	38
REFERANSLAR	40
EK A. KULLANILAN DENEY ÖRNEKLERİ	45

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1: RF Performansı Etkileyen Faktörler.....	9
Şekil 2.1: RF Sinyal Emilimi	11
Şekil 2.2: RF Sinyal Yansıması.....	12
Şekil 2.3: RF Sinyal Kırınımı	12
Şekil 2.4: RF Sinyal Saçınımı	13
Şekil 2.5: RF Sinyal Kırılarak Yansıması.....	13
Şekil 2.6: Geniş ve Küçük Ölçekli Sönümlenme	14
Şekil 2.7: RF Sinyal Çok Yollu Sönümlenme	14
Şekil 3.1: Prototip Devre	20
Şekil 3.2: Hmc624alp4e Fonksiyonel Blok Diyagram	20
Şekil 3.3: Arduino ile Prototip Devre Bağlantısı.....	21
Şekil 3.4: Prototip Devre Blok Diyagram	21
Şekil 3.5: Voltaj Düşürme Devresi	22
Şekil 3.6: Prototip Devre Tasarımı	22
Şekil 3.7: Prototip Devre Yazılım Akışı.....	24
Şekil 3.8: Minicom Seri Ayarları	25
Şekil 4.1: Kapalı Kutu	27
Şekil 4.2: Arduino	28

Şekil 4.3: Performans Konfigurasyonu.....	29
Şekil 4.4: Endpoint Programı.....	30
Şekil 4.5: Linux Çekirdeği Tampon Belleği.....	31
Şekil 5.1: Sinyal Önleyici Sistem Test Senaryosu	33
Şekil 5.2: Kablosuz Test Senaryosu	34
Şekil 6.1: 2.4 GHz Test Sonuçları.....	35
Şekil 6.2: 5 GHz Test Sonuçları.....	36
Şekil 6.3: Kümülatif Dağılım Fonksiyonu	36
Şekil 6.4: Açık Ortam Test Örneği.....	37
Şekil 6.5: Kapalı Kutu Test Örneği	37
Şekil 6.6: Açık Ortam Test Örneği.....	38

TABLO LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 2.1: Emilim Sinyal Kayıpları	15
Tablo 2.2: Gerçek Ortam Emilim Kayıp Değerleri.....	16
Tablo 3.1: Sinyal Zayıflatma Örnek Komutları	25
Tablo 4.1: Kullanılan Bilgisayarların Genel Özellikleri	30

SEMBOL LİSTESİ

> : Output Redirection



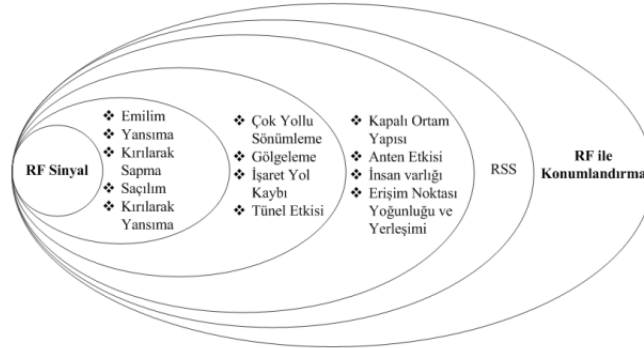
KISALTMALAR

SMA	:	SubMiniature version A
RF	:	Radio Frequency
TCP	:	Transmission Control Protocol
UDP	:	User Datagram Protocol
MHz	:	MegaHertz
GHz	:	GigaHertz
V	:	Volt
USB	:	Universal Serial Bus
SPI	:	Serial Peripheral Interface
GE	:	Gigabit Ethernet
RSSI	:	Received Signal Strength Indicator
SNR	:	Signal Noise Ratio
PHY	:	Physical
MIMO	:	Multiple Input - Multiple Output
MU-MIMO	:	Multiple Users - MIMO
EEPROM	:	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory
ANT	:	Wireless Antenna
Mbps	:	Megabits per Second
Kbps	:	Kilobits per Second
dBm	:	Decibel-milliwatts
dB	:	Decibels Relative to Isotropic Radiator
dBi	:	Decibels Relative to Isotropic Radiator
bps	:	Bits Per Second
mm	:	MilliMetre
Ohms	:	Unit Of Energy Measurement
Wi-Fi	:	Wireless Fidelity

1. GİRİŞ

Kablosuz teknolojiler, yeni gelen standartla birlikte daha hızlı ve daha güvenilir olmaya devam etmektedir. Özellikle 802.11ax standardı ile beraber ev tipi kullanıcılar için daha hızlı ve bir çok kablosuz istemciye aynı anda yüksek performans ile servis verebilecek kapasitede olması öngörülmektedir. Literatürde 802.11ax , 802.11ac ile karşılaştırıldığında %29 ile %48 arasında fazla performans verdiği [2] yazılı olan makaleler ile ispatlanmıştır. Şüphesiz ki performansın kablosuz cihazlar için vazgeçilmez olduğu bir gerçektir. Özellikle ev kullanıcıları, kullandıkları kablosuz erişim noktalarının performansını ölçmek için hız testi yapabilen programlar kullanmaktadırlar. Fakat bu tarz programlar ile performans ölçümlerinin sonuçları fikir almak açısından faydalı olsa da gerçek anlamda tam olarak performansı yansıtmazlar. Ayrıca taşınabilir kablosuz istemcilerin pozisyonuna göre performans değerleri oldukça değişkenlik göstermektedir.

Radyo frekansı sinyallerinin kullanıldığı konumlandırma sistemlerinde ağırlıklı olarak alınan sinyal gücü (RSSI) kullanılmaktadır. Şekil 1.1 'de gösterildiği üzere konum hassasiyeti RSSI değerlerini etkileyen faktörler ile ilişkili olmaktadır.



Şekil 1.1: RF Performansı Etkileyen Faktörler

Yayınlanan bir RF sinyal alıcı tarafına ulaşmadan önce temel olarak emilim, yansıma, kırılarak sapma, saçılım ve kırılarak yansıma etkilerine maruz kalmaktadır. Bu etkilerin oluşturduğu ve uzaklığa bağlı olarak azalma durumları ise çok yollu sönümlenme, gölgeleme ve işaret yol kaybı olarak bilinmektedir. Açık ortamlarda bu etkilerin oluşmasına sebep olan çeşitli faktörler bulunmakta ve bu faktörler sonucu alıcıda kullanılabilir RSSI bilgisi elde edilmektedir. Ayrıca açık ortam ölçümleri sırasında dışardan duyulan girişim sinyalleri ile küçük ölçekli

solma (Small Scale Fading), büyük ölçekli solma (Large Scale Fading) gibi problemlerinden ötürü performans sonuçları beklenildiği gibi olmayacaktır [1], [1]. Bahsedilen bu problemler kablosuz fiziksel hızı (phyrate) etkilemekte ve bununla orantılı olarak performans sonuçlarını değiştirmektedir.

Bir erişim noktası üreticisi düşünüldüğünde, üretmiş olduğu donanım ve yazılımı en yüksek performans verecek şekilde ürün haline getirmesi, sahadaki diğer ürünler ile kıyaslandığında hayati önem taşımaktadır. Özellikle üreticiler için, sahada bulunan benzer nitelikteki ürünlerin karşılaştırması, saha satışlarını etkilemesinden dolayı performans testlerine önem vermeyi zorunlu kılmıştır.

Günümüzde kablosuz performans testleri, belirlenen test evleri veya kullanıcı evlerinin içerisinde [19] evin farklı alanları baz alınarak, RSSI kontrol parametresine bakılarak yapılmaktadır. Fakat unutulmamalıdır ki kablosuz performans testleri yapılan her test evinin kanal karakteristiği bakımından farklıdır. Ayrıca konumlandırılan test ürünlerinin ev içerisindeki rotasyonu tekrar edilebilirlik açısından bakıldığında da oldukça zordur.

Bu kapsamda; geliştirilen sistem ve bu sistemin gerçekleştirilmiş olduğu prototip ve test ortamı, üreticilerin karşılaştırmalı performans testleri için kullanılabilir. Kontrollü olması bakımından, farklı uzaklıklarda farklı istemciler ile beraber üretmiş oldukları erişim noktalarının performanslarını ölçerek, saha senaryoları daha kolay öngörebilirler.

Bu çalışma içerisinde, geliştirilen prototip sistem ve test ortamı ile elde edilen performans sonuçları, gerçek bir kullanıcı senaryosu ile alınan performans sonuçlarının karşılaştırılmasını içermektedir. Bu karşılaştırma neticesinde sistemin oldukça etkili olduğu, maliyetleri azalttığı ve zaman kazanımını artırdığı söylenebilir. Ayrıca yapılacak olan deneylerin aynı koşullarda tekrarlanmasını sağlamaktadır. Böylelikle farklı zamanlarda yapılan deney ölçümleri karşılaştırmalı olarak kıyaslanabilir hale gelecektir.

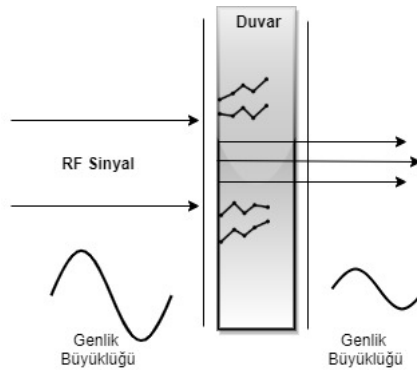
İlerleyen bölümlerle RF karakteristiği, RF sistemlere olan etkiler hakkında bilgi verilerek, bu çalışma içerisinde geliştirilen prototip kart, test ortamının kurulumu, performans ölçümleri ve karşılaştırmalar paylaşılacak ve gelecek çalışmalar için değerlendirmeler yapılacaktır.

2. RF SİNYAL KAREKTERİSTİĞİ

Bir ortamda yayılan RF sinyalin bir erişim noktası üniteden kablosuz istemci üniteye ulaşması sürecinde maruz kaldığı etkiler yalnızca sinyal girişimi, gürültü ve kanal gecikmelerinden oluşmamaktadır. Sinyalin iletim yolu üzerinde bulunan engeller, yansımaya yüzeyleri, açık görüş hattı bulunmaması gibi ortama bağlı parametreler daha kritik ve tahmin edilemeyen etkenlerdir. Bu etkenler bir sinyali tanımlayan bileşenleri dolayısı ile sinyalin genliğini, fazını ve frekansını değiştirebilmekte, bu nedenle alıcı üniteye ulaşan sinyal gücü zamanla değişiklik göstermektedir. [20]

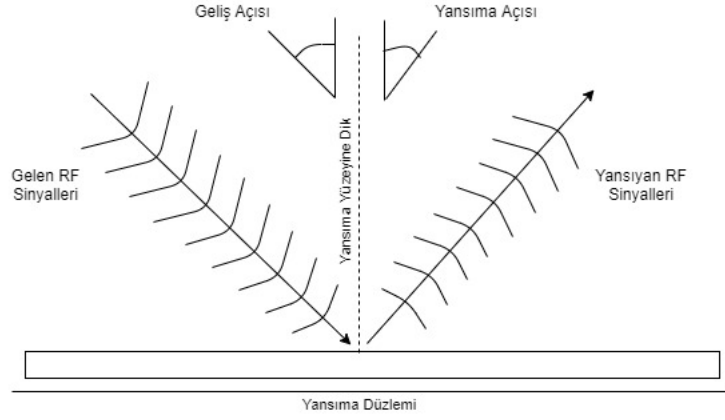
RF sinyaller açık alan ve kapalı ortamlarda dalga boyu ve yayıldıkları ortam özelliklerine bağlı olarak yansımaya, emilme, saçılma, kırınım ve kırılarak sapma olmak üzere sinyal gücünün zayıflamasına ve değişiklik göstermesine sebep olan temel faktöre maruz kalmaktadır [21], [22]. Bu etkiler RF sinyallerin davranışları olarak literatürde yerini almıştır.

RF sinyal bir engele çarpıp yansımıyor ise, engelin etrafından dolaşmakta veya önündeki engelin içerisinden geçmektedir. Şekil 2.1’de görüldüğü gibi, farklı materyaller emilim özelliklerine göre RF sinyalleri engelleyerek hapsetmektedir.



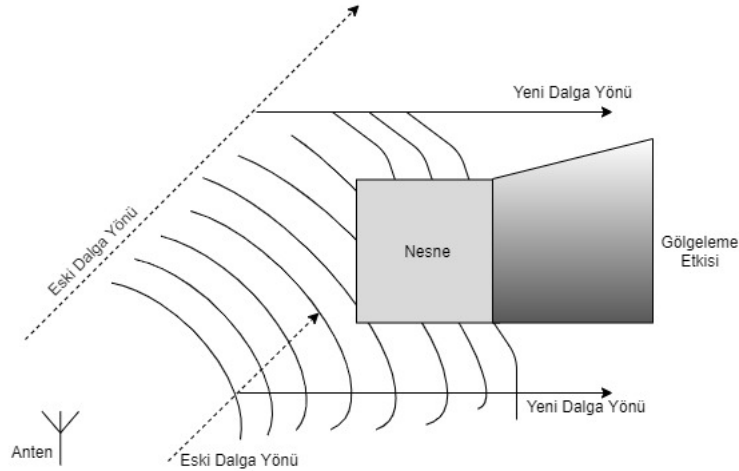
Şekil 2.1: RF Sinyal Emilimi

Sinyallerin yansımaları, yayılan RF sinyalin dalga boyuna oranla çok büyük bir engel ile karşılaştığında gerçekleşmektedir. Yansıyan sinyaller RF alıcı noktasında sinyal gücünü artıran veya azaltan etkiye sahip olabilmektedir. Gerçek bir ortamda alıcı antene ulaşan birden fazla sinyalin varlığının büyük ölçüde kaynağı yansıyan sinyallerdir. Şekil 2.2’de temsili olarak görüleceği üzere, RF sinyalin nasıl yansımaya yaptığı gösterilmektedir.



Şekil 2.2: RF Sinyal Yansıması

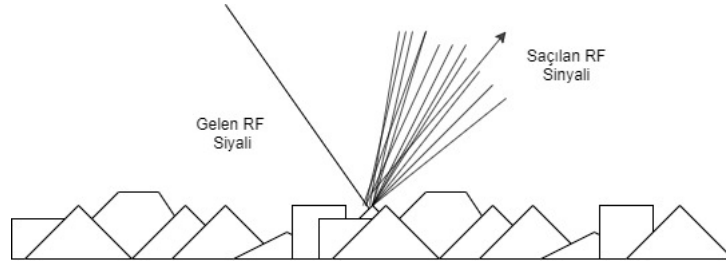
Sinyallerin kırınımı, RF kablosuz istemci ve kablosuz erişim noktası arasındaki doğrudan görüşe göre boyutları sinyal dalga boyuna nazaran daha büyük engelleyen cisim tarafından engellendiğinde gerçekleşmektedir. Sinyal kırınımı cismin kenarlarında sinyalin savrulması olarak gerçekleşmekte, aynı zamanda sinyal engellere takılarak zayıflayacağı için yön değiştirebilmektedir. Sinyal kırınım mekanizması sinyallerin doğrudan görüş hattında olmayan yerlere ulaşmasını sağlamaktadır. RF sinyallerin kırılarak farklı yönlerde ilerlemeleri temsili olarak Şekil 2.3’de görüleceği üzere dağılmaktadır.



Şekil 2.3: RF Sinyal Kırınımı

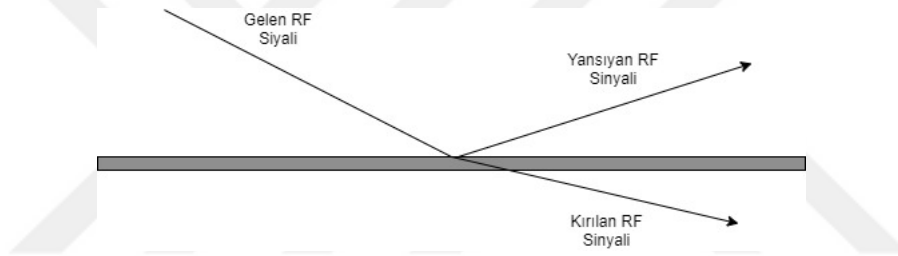
Sinyal Saçılımı, sinyal dalga boyu engel olacak cismin ebatlarına çok yakın olduğu durumlarda meydana gelmektedir. Sinyal kırınımına benzer olarak gerçekleşen durumun kırınımdan farkı engel olan cisme çarpan sinyalin çok sayıda sinyaller oluşturup farklı yönlerde ilerlemesidir. Sinyalin çarpmış olduğu yüzeyden şekline göre saçılması Şekil 2.4’de gösterilmektedir. Bu durum RF sinyallerinin tahmin edilmesi en zor problemler arasında olarak gösterilmek-

tedir.



Şekil 2.4: RF Sinyal Saçınımı

Kırılarak yansıma, sinyallerin farklı bir yüzeyde kırılması ve yansıması olayının birlikte gerçekleşmesi ile meydana gelmektedir. Sinyallerin bir kısmı kırılarak ortamda yön değiştirmiş biçimde hareket edebilir yada bir kısmı ise aynı ortamda yansıyarak yine farklı yönde hareket edebilmektedir. Şekilde 2.5’de temsili olarak sinyalin kırılması yada yansıyarak farklı bir yönde ilerlemesi gösterilmiştir.

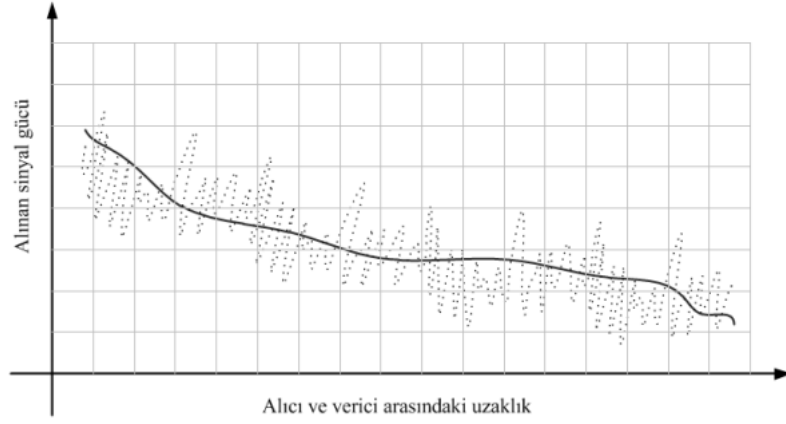


Şekil 2.5: RF Sinyal Kırılarak Yansıması

Sinyallerin Sönümlenmesi; geniş ölçekli (large scale fading) ve küçük ölçekli (small scale fading) olarak 2 kategoride incelenmektedir [23]. Geniş ölçekli sönümlenme, birkaç yüz metrelik alıcı-verici arası mesafelerde sinyal gücünün değişimini işaret yolu kaybı (path loss) ve gölgeleme etkisi (shadowing) ile karakterize etmektedir. Küçük ölçekli sönümlenme ise birkaç dalga boyu uzunluğundaki mesafeler ve saniye katlarındaki zaman değişimi süresince alınan sinyal gücünün hızlı değişimlerini incelemektedir. Kablosuz istemci ve Erişim noktası arasındaki uzaklığa bağlı olarak alınan sinyal gücü değişimi Şekil 2.6’da gösterilmektedir. Geniş ölçekte pürüzsüz olarak azalan sinyalin yavaş değişimleri kırmızı çizgi ile işaret yolu kaybı ve gölgeleme etkisini temsil etmektedir. Kesikli çizgi sinyalin yayıldığı uzaklık boyunca ani değişimler gösteren küçük ölçekli sönümlenmeyi göstermektedir.

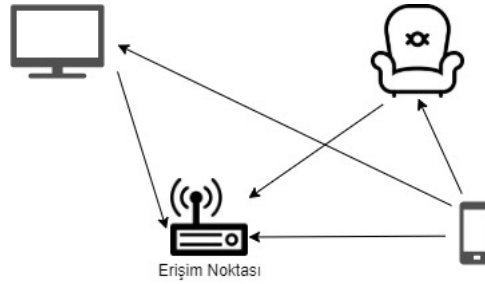
RF sinyallerinin kullanıldığı sistemlerde, erişim noktasından kablosuz istemciye iletilen sinyaller arasına cisimler veya engeller girerek sinyallerin farklı yollardan alıcıya ulaşması söz

konusu olmaktadır.



Şekil 2.6: Geniş ve Küçük Ölçekli Sönümleme

Bu koşulda erişim noktasından yayınlanan sinyal kablosuz istemciye bir dizi sinyal olarak ulaşmaktadır. Şekil 2.7’de görüleceği üzere bilgisayardan kablosuz istemci tarafından iletilen sinyalin farklı cisim veya engellerden yansyarak erişim noktasına ulaşması temsilen gösterilmektedir. Yönü, genliği, fazı ve ulaşma zamanları farklı olan bu sinyaller çok yollu sönümleme kavramını oluşturmaktadır [24]. Kablosuz istemciye ulaşan sinyal gücü yine kablosuz istemciye ulaşan tüm sinyallerin toplamından oluşmaktadır. Kablosuz istemciye ulaşan sinyallerin birbirini tamamlayıcı ya da sönümleyici etkileri olabilmekte, bu nedenle alınan sinyal gücünde zamana bağlı olarak değişimler meydana gelmektedir.



Şekil 2.7: RF Sinyal Çok Yollu Sönümleme

2.1. RF SİSTEMLERİ ETKİLEYEN UNSURLAR

Erişim noktası ve kablosuz istemci için RSSI değeri kullanılan RF sistemlerde bu değeri etkileyen tüm etkenler doğrudan bahsedilen cihazların performansını etkilemektedir. Daha önce bahsedilen kısımlarda olduğu gibi RF sinyallerin RF sinyal karakteristikleri RSSI değişimlerine sebep olmaktadır. Ayrıca ortam yapısı, anten tipi, insan varlığı, erişim noktası yoğunluğu,

erişim noktası yerleşimi ve kablosuz istemci yerleşimi RF tabanlı performansı etkilemektedir.

2.1.1. Çevre Ortam Yapısı

Performans ölçümlerinin yapılacağı ortam yapısı RSSI değişimlerini etkileyen en temel faktör olarak bilinmektedir. Bunun nedeni RF sinyal karakteristiklerinin ortamda kullanılan yapı malzemelerine göre değişkenlik göstermesidir. Ortam yapısı başta olmak üzere bu ortamları bölen duvar ve katların yapıldığı malzemeler RF sinyalin yayılırken etkileşime girdiği yüzeyler olarak öne çıkmaktadır. Farklı materyallerin özelliklerine göre bir RF sinyalin emilim, yansıma, kırınım ve saçılım miktarı değişkenlik göstermektedir. Literatürde telsiz iletişimi amaçlı farklı frekanslarda RF sinyalleri için bu etki üzerinde çalışmalar bulunmaktadır [25], [26], [27], [28]. Tablo 2.1’de görüleceği üzere 2.4 GHz ve 5 GHz frekanslarında verilen maddelere göre sinyal kayıp değerleri gösterilmektedir. Tablo 2.2’de ise gerçek ölçümler ile elde edilen Wi-Fi sinyalinin farklı materyallere göre emilimden kaynaklı sinyal gücü kayıpları verilmektedir.

Tablo 2.1: Emilim Sinyal Kayıpları

	2.4 GHz Kayıp (dB)	5 GHz Kayıp (dB)
İç alçı panel bölme	3-4	3-5 dBi
Kübik duvar bölmesi	2-5	4-9 dBi
Ahşap kapı (içi boş-dolu)	3-4	6-7 dBi
Tuğla/Beton duvar	6-18	10-30 dBi
Cam/Pencere (boyasız)	2-3	6-8 dBi
Çift katlı kaplamalı cam	13	20 dBi
Kurşun geçirmez cam	10	20 dBi
Çelik/Yangın çıkış kapısı	13	20 dBi
Çift katlı kaplamalı cam	13-19	25-32 dBi

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, kapalı ortamdaki duvar bölmeleri ve tavanın iç ortam yayılımına etkisi ortaya koyulmuştur. Bir diğer çıkarım ise odaların tavanı yakın mesafelerde ise tavan etkisi olumlu yönde olduğu gösterilmektedir. Bunun nedeni sinyal

yansımaları olarak belirtilmektedir.

Tablo 2.2: Gerçek Ortam Emilim Kayıp Değerleri

Engel	Kayıp (dB)
Cam (1 cm kalınlıkta)	5
Ahşap duvar (10 cm kalınlıkta)	6
Tuğla duvar (30 cm kalınlıkta)	17
Çatı (27 cm kalınlıkta)	15

Bina içerisindeki katlar ve duvarlar arasında sinyal zayıflama değerleri olarak bağ kurulmakta ve katlar arası geçiş duvar zayıflamaları bazında ifade edilmektedir. 2.4 GHz ve 433 MHz frekanslarında test edilen yayılım modeli sonuçlarına göre düşük frekanstaki sinyallerde daha büyük kayıplar olmaktadır.yapılan testler ile kısa mesafelerde yansıma başta olmak üzere kırınım, kırılarak sapma gibi nedenlerden ötürü hassasiyetin etkilendiği örneklenmektedir. Hassasiyeti artırmak için ise daha fazla sayıda düğüm kullanılması gerektiği belirtilmektedir.

2.1.2. Anten Etkisi

RF sinyallerin kullanıldığı sistemlerde en önemli başlıca donanım bileşenlerinden biri antenlerdir. Anten özellikleri iletilen ve alınan sinyal gücünü değiştirebilecek parametrelerden oluşmaktadır. Teorik olarak iki anten arasında enerjinin etkili transferi için ışına örüntülerinin doğru yönde optimize edilmesi ve aynı oryantasyonda polarize edilmesi gerekmektedir. Gerçek ortamda ise iki anten arasında açık görüş hattı genelde bulunmamaktadır. Özellikle 500 MHz üzeri frekanslarda antenler arasındaki duvar, insan vb. nesnelere nedeniyle ışına örüntüsü ve polarizasyon değişebilmektedir. Işıma örüntüsü ve polarizasyon üzerindeki bu etkiler rastgele ve kontrol edilemez olduğu gibi zamana bağlı olarak da farklılık göstermektedir. Ayrıca bir cihaz sabit konumda bulunur iken etrafta bulunan nesnelere nedeniyle polarizasyonda değişmektedir. Buna ek olarak anten empedansı, bant genişliği ve ışına örüntüsü antenin üzerinde bulunduğu cihazın karakteristiklerine ciddi ölçüde bağlıdır. Cihaz üzerinde iletken bölümler anten üzerinde en büyük etkiye sahip iken; cihaz kabı, baskılı devre vb. etkenler de anten tasarımı ve performansını etkilemektedir. Işıma örüntüsü yanı sıra anten bant genişliği ve polarizasyon karakteristiklerinin konumlandırma için

anten tasarımlarında kritik olduğu belirtilmektedir. Yapılan çalışma sonucunda RSSI değeri kullanılarak mesafe dönüşümü yapılan sistemlerde 3 boyutta homojen sinyal iletimi yapabilen eş yönlü (isotropic) anten kullanımının en iyi çözüm olduğu belirtilmektedir. Fakat bu anten tipi bulunamadığı için halka şeklinde (toroidal) ışına yapan ve azimut düzleminde her yöne ışına yapan antenler kullanılmaktadır.

Kablosuz performans çalışmalarının konularından biri olan cihaz çeşitliliği problemi de anten etkisi nedeniyle ortaya çıkmaktadır. Farklı mobil cihazların kullanıldığı sistemlerde özellikle istemcilerde bulunan antenlerin farklılıkları nedeniyle kullanılan cihaza göre farklı RSSI değişimleri gözlemlenmektedir. Literatürde cihaz çeşitliliği nedeniyle RSSI değişimlerini inceleyen, RSSI değişimlerine çözüm önerisi sunan, cihaz çeşitliliği ile konum hassasiyeti arasında ilişki kuran çalışmalar yer almaktadır [31], [32], [33], [34], [35].

2.1.3. İnsan Etkisi

Etrafı çevrili kapalı ortamlarda bulunan insan yoğunluğu RF tabanlı performans sistemlerinde bilinen çevresel faktörlerden bir tanesidir. İnsan etkisi genel olarak RSSI değerleri üzerinde tahmin edilemeyen dalgalanmalara sebep olmaktadır. Çünkü insan vücudunun %70 miktarı sudan oluşmaktadır ve bu durum radyo sinyallerinin genlik değerlerinde ciddi azalmalara sebebiyet vermektedir. En basit yaklaşım ile elektromanyetik olarak düşünülerek insan vücudu homojen dielektrik silindir olarak modellendiğinde sinyaller üzerinde yansıma ve kırınım etkisi göstermektedir. Bu durum önceki çalışmalardan bilindiği üzere sinyalin çalışma frekansı ve dalga boyunun vücut boyutuna göre kıyaslanmasına ve uzuvların genel kompozisyonuna göre değişerek etkilenmektedir [36]. Detaylı olarak bakıldığında ise insan varlığı nedeniyle meydana gelen RSSI değişimlerinin en temelde, anten yapısı üzerindeki etkilerden kaynaklandığı görülmektedir. Anten sistemi açısından düşünüldüğünde insan vücudu kayıplı bir dielektrik yük olarak tanımlanabilmektedir. Anten verimliliğinin azalması ve ışına örüntüsü bozulmaları dielektrik yük olarak tanımlanan insan vücudunun neden olduğu temel bozukluklardır [37].

RSSI üzerine insan etkisi iki farklı yaklaşım ile ele alınabilmektedir. İlk yaklaşım mobil cihaz kullanıcılarının sinyaller üzerine etkisidir. Örneğin; kullanıcı mobil cihazı elinde

tutarken, cihaz antenin yakın bölgesinde (near field) yer aldığı için antenin ışıma örüntüsüne doğrudan etki etmektedir. İkinci yaklaşım ise verici ve alıcı arasında antenin uzak bölgesinde (far field) yer alan insan vücudunun sinyal yolunda engel olarak bulunmasıdır. İlk yaklaşımı açıklayan bir çalışmada insan elinin küçük terminal antenleri üzerinde etkileri incelenmektedir. Telefonun konuşma ve veri modunda iken elde tutuluş pozisyonlarının neden olduğu ışıma örüntüsü bozulmaları gösterilmektedir [38]. Bu bozulmaların, insan elinin telefonu tutarken bulunduğu pozisyonda cihazın anteninde yakın bölge diye tanımlanan, elektromanyetik enerji emilimlerinin daha fazla olduğu bölgede bulunmasından kaynaklı olduğu anlatılmaktadır. Özellikle parmaklar anten bölgesine yakın bulunduğu ışıma ve verimlilik eşleşmesi sorunu nedeniyle kötü etki yaptığı belirtilmektedir [39], [40]. Alıcı ve verici çifti arasında bulunan sinyal yayılım yolunda insan varlığı incelendiğinde insan hareketi, oryantasyonu, elde tutuluş pozisyonu ve vücut duruşu zamana bağlı değişen koşullar olarak görülmektedir.

Benzer şekilde kullanıcının varlığı nedeniyle her yöne ışıma yapan antenin yönlü anten karakteristiği göstermesi, toplanan RSSI verileri incelemelerine göre verilerin istatistiksel dağılımında RSSI değerlerinin ortalama değer çevresinde daha fazla sapmasına neden olduğu görülmektedir [41].

2.1.4. Erişim Noktası ve Kablosuz İstemci Yerleşimi

RF tabanlı sistemlerinde erişim noktası sayısından bağımsız olarak kapsama alanı ve o alandaki sinyal kalitesi erişim noktalarının yerleşimi ile doğrudan ilgilidir. Literatürde erişim noktası yoğunluğu ve yerleşimi üzerine yapılan çalışmalar yer almaktadır.

[29] geliştirilen kablosuz cihazların yerleşim algoritmasında, erişim noktaları ve istemciler arasındaki, aynı zamanda erişim noktaları ve komşu erişim noktaları arasındaki RSSI değerleri girdi olarak algoritmaya verilmektedir. Erişim noktaları arasındaki RSSI değerleri çok yönlü sönümlenme, sıcaklık ve nem gibi RSSI üzerinde etkili olan değişimlerin göz önünde bulundurulması için kullanılmaktadır. Yapılan testlerde konum belirlemek için ortamda bulunan sırası ile beşer ve altışar adet olmak üzere istemci ve gözlemci erişim noktaları kullanılmaktadır. Bu iki test senaryosunda elde edilen konum hata değerleri fazla sayıda erişim

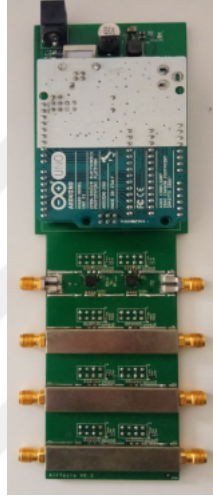
noktası kullanıldığında yaklaşık yarım metre azalmaktadır. Aynı zamanda erişim noktası yerleşiminin de hata değerlerini azaltmakta önemli bir faktör olduğu vurgulanmaktadır.

[34] çalışmasında Zigbee ve Wi-Fi ağları kurularak gerçek ortamda test edilen erişim noktası yerleştirme algoritması üzerinde çalışılmaktadır. Bu sonuçlara göre iyi bir konumlandırma performansı için erişim noktalarının kapsama alanı yeterli ise doğru bir yerleşim ile fazla sayıda erişim noktası kullanımına gerek olmadığı anlatılmaktadır. [42] çalışma içerisinde geliştirdiği konumlandırma sisteminde ise statik ve mobil düğüm sayıları değiştirilerek hassasiyete etkisi üzerine çalışılmaktadır. Yapılan testler statik düğüm sayısı birden üçe çıkarılmakta, aynı zamanda mobil düğüm sayısı ızgara aralığı bir, üç ve beş metre olacak şekilde çoğaltılmaktadır. Test sonuçlarına göre fazla sayıda statik düğümün daha hassas konum elde etme imkânı verdiği belirtilmektedir. Benzer şekilde mobil düğüm sayısı artışı da hassasiyeti iyi yönde etkilemektedir.

Diğer çalışmada da istemci tarafındaki harcanan kaynakların azaltılması için kaynak olarak seçilecek optimum yerleştirilmiş erişim noktaları seçilerek RSSI verileri filtrelenmektedir [30]. Erişim noktalarının seçiminde yürüme halinde alınan veriler kullanılmakta ve erişim noktalarının konum hesabı için verimliliğine karar verilmektedir. Optimum yerleşimin bulunması için çalışmada tanımlanmış yeni metrik ile hesaplamalar yapılmakta, erişim noktalarının sayısı artırıldığında konumlandırma hatalarının azalacağı öngörülmektedir.

3. PROTOTİP KART

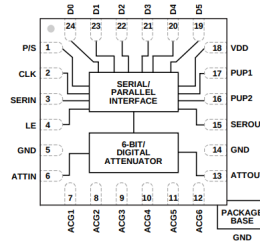
Bu proje içerisinde tasarlanan prototip kart Şekil 3.8’de görüleceği üzere basitçe zayıflatma devresine, devreyi programlamak için kullanılan Şekil 4.2’de görülen Arduino geliştirme kartından oluşmaktadır. Zayıflatma devresi üzerinde 8 adet SMA bağlantı konnektörü tasarlanmıştır. Bu konnektörlerin 4 tanesi giriş, 4 tanesi ise çıkış konnektörü olarak düşünülebilir. Böylelikle maksimum 4x4 anten özelliğine sahip olan bir erişim noktası veya kablosuz istemcinin anten başına sinyal zayıflatma işlemi sağlanabilmektedir.



Şekil 3.1: Prototip Devre

3.1. PROTOTİP KART DEVRE TASARIMI

Bölüm 3 içerisinde anlatıldığı üzere devre içerisinde Resim 3.2’de blok diyagram görseli bulunan 8 adet hmc624alp4e sinyal zayıflatıcı mikro çip bulunmaktadır [17]. Bu çip 0,5 dB’lik adımlarla 31,5 dB zayıflatma kontrol aralığına sahip, 6 bitlik bir sayısal sinyal zayıflatıcıdır.



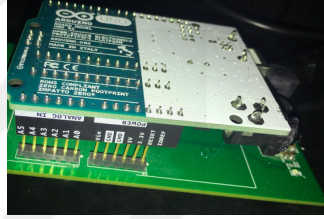
Şekil 3.2: Hmc624alp4e Fonksiyonel Blok Diyagram

100 MHz ile 6.0 GHz arasında belirtilen frekans aralığında mükemmel zayıflama hassasiyeti

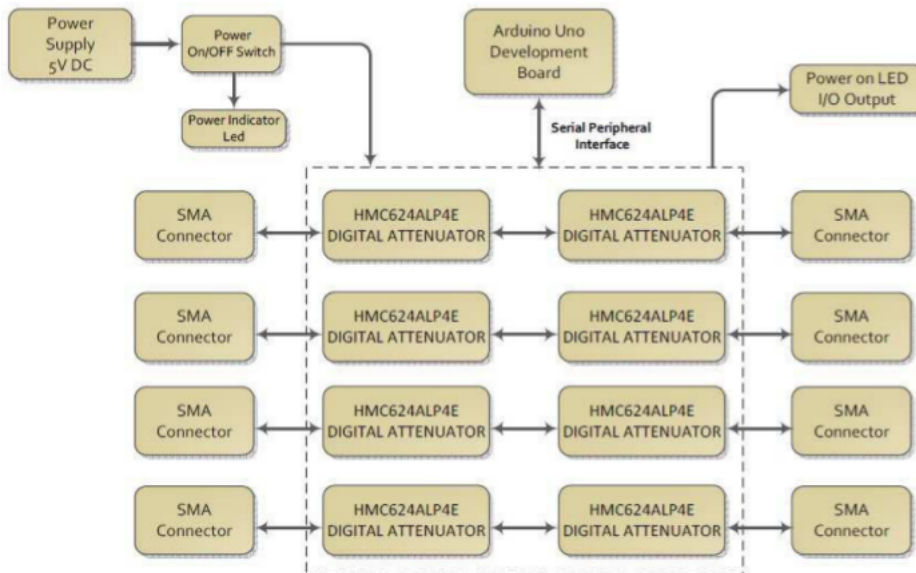
ve yüksek giriş doğrusallığı sunar. Bu sayısal zayıflatıcı, işlemi 100 MHz'nin altına çıkarmak için harici ac topraklama kapasitörlerine sahiptir. Cihaz ayrıca kullanıcı tarafından seçilebilen bir güç açma durumuna ve diğer seri kontrollü bileşenleri basamaklamak için bir seri çıkış bağlantı noktasına sahiptir. Hmc624alp4e mikro çip, 3V ile 5V arasında tek bir pozitif besleme gerilimi ile çalışmaktadır [17].

Prototip kart devresi, Arduino ile bağlantısını serial bağlantı aracılığı ile sağlamaktadır. Elektrik beslemesi için bir adet elektrik konnektörü sisteme entegre edilmiştir.

Ayrıca tek bir tasarım olması adına Şekil 3.3'de görüleceği üzere zayıflatma devresi üzerinde Arduino giriş/çıkış portlarına takılabilen pin çıkışları tasarlanmıştır. Arduino, prototip kart geliştirme kartının direk olarak bu giriş çıkış pinlerine takılabilmektedir. Her iki devrenin beslemesi prototip devre üzerinde bulunan besleme girişi sayesinde verilmektedir.



Şekil 3.3: Arduino ile Prototip Devre Bağlantısı

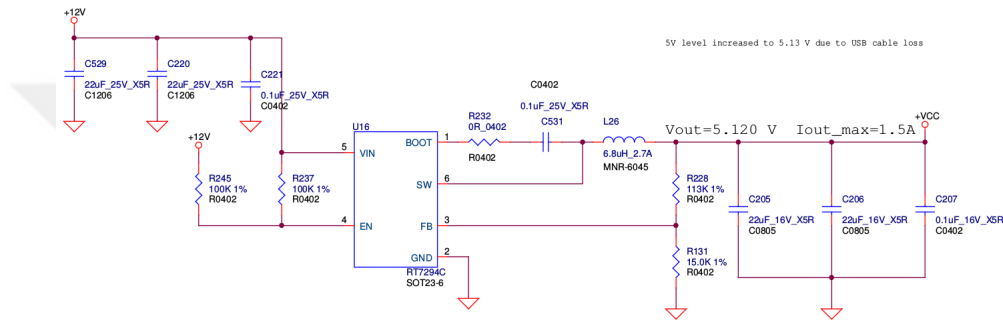


Şekil 3.4: Prototip Devre Blok Diyagram

Şekil 3.4'de görüleceği üzere, her SMA konnektörün bağlantısının olduğu alanda bir za-

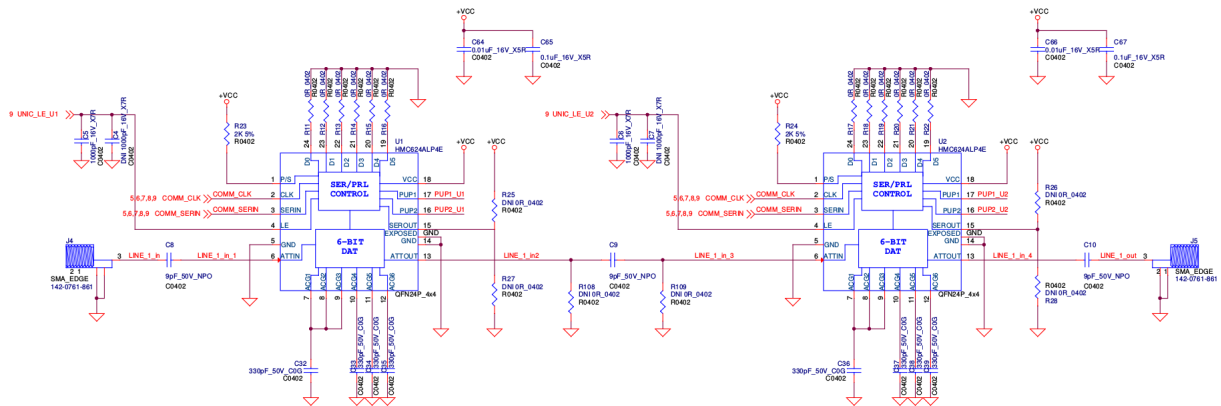
yıflatma çip tasarlanmıştır. Zayıflatma yapılacak olan konnectörler karşılıklı bağlantı sağlanarak zayıflatmanın her iki yönünde olması sağlanmıştır. 5V besleme gerilimi dijital çip, aurdino ve devrenin çalıştığını gösteren ışık diyotunu beslemektedir.

Prototip devre 12V ile çalışmakta olup, Aurdino ve zayıflatma çip lerini beslemek için 5V a düşürülme gereksinimi duyulmuştur. Şekil 3.5’de görüleceği üzere, devre içerisinde gerekli bileşenler kullanılarak voltajın düşürülmesi sağlanmıştır. Tasarım 5.13V , maksimum 1.5A gerilim çıkışı sağlamaktadır. Voltajın 5.0V yerine 5.13V olmasının amacı ise kullanılacak olan USB kablolarının voltaj kayıplarının önüne geçmektir.



Şekil 3.5: Voltaj Düşürme Devresi

Basitçe Şekil 3.6’de görüleceği üzere karşılıklı olan 2 adet SMA bağlantısı ve bu bağlantı aralığı içerisinde olan bileşenleri göstermektedir. İlk SMA direk olarak zayıflatma çipin ATTIN girişine bağlanmıştır. Yine aynı zayıflatma çipin ATTOUT çıkışından bir diğer zayıflatma çipin ATTIN bağlantısına bağlanmıştır. Böylelikle her iki SMA bağlantı arasında uçtan uca zayıflatma sağlanacaktır.



sağlanmıştır. Devre benzer şekilde uçtan uca toplam 4 adet chain (bağ) şeklinde tasarlanmıştır. Böylelikle toplam 4 RF çıkışını farklı zayıflatma seviyelerinde programlayarak zayıflatma sağlanabilir.

3.2. PROTOTİP KART YAZILIMI

Arduino, 0'dan 13'e kadar olmak üzere toplam 14 tane dijital pine sahiptir. Bu kartta da diğer kartlarda da görebileceğimiz gibi dijital 0 (RX) ve dijital 1 (TX) pinleri Serial Port için ayrılmıştır. Arduino kartımız üzerindeki Serial Port için ayrılmış pinleri tek seferde yalnızca Serial Port için kullanabiliriz. Bu sırada bu pinler başka giriş veya çıkış işlemlerini gerçekleştiremez. Arduino'nunuzun bilgisayarla haberleşmesini sağlamak için 0 ve 1 numaralı pinlerin başka bir yere bağlı olmadığından emin olmanız gerekir.

Prototip devrenin zayıflatma işlemlerini yapabilmesi ve bu tarz programlama taleplerini yerine getirmek için serial bağlantı kullanılmıştır. Bu çalışma kapsamında geliştirilen aurdinio yazılımı bağlantı sağlayabilmek açısından serial kütüphanesini kullanmaktadır. Geliştirilen yazılım alttaki komut ile başlamaktadır.

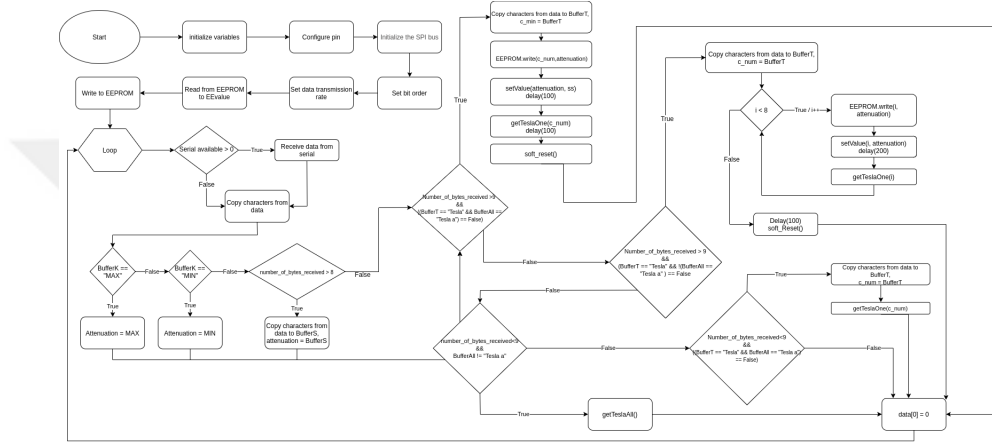
```
Serial.begin(9600);
```

Bu komut ile seri ara birimi kullanmak için Arduino yu hazır hale getirmiş oluruz. Kullanım şekli `Serial.begin(baud rate);` şeklindedir. Burada gördüğümüz Baud Rate, haberleşme hızını belirtir ve birimi bps yani saniye başına bit'dir. Seri iletişim hızı; 300, 600, 1200, 2400, 4800, 9600, 14400, 19200, 28800, 38400, 57600, yada 115200 değerlerini alabilir. Prototip devre ile kontrol bilgisayarı arasında iletişim kurup haberleşme yapmak için 9600 bps kullanılmıştır.

Şekil 3.7'den görüleceği üzere, aurdinio üzerinde olan yazılım öncelikle seri bağlantısını oluşturarak EEPROM (Silinip Programlanabilir Salt Okunur Bellek) den veri okumaya çalışmaktadır. Sonrasında yazılım döngüye girmekte ve seri bağlantı üzerinden kullanıcı girişini beklemektedir. Tablo 3.1'de belirtilen komutlar ile `ttyACM0` 'a herhangi bir data gönderilirse bu data işlenip gerekli koşulları karşılaması halinde EEPROM üzerine yazılmakta ayrıca 8

adet var olan zayıflatma chip lerini ayarlamaktadır. MIN olarak belirtilen değer 0 , MAX olarak belirtilen değer ise 63 dür.

Tüm bu işlemlerin yapılmasından sonra döngü tekrar başa dönmekte, eğer ttyACM0 bağlantısı herhangi bir aracı bir program ile dinleniyorsa, kullanılan program üzerinden en son ayarlanan değerleri gösterip tekrar kullanıcı girişini beklemeye geçmektedir. Eğer Zayıflatma Devresinin elektrik bağlantısı kapatılıp açılır ise zayıflatma mikro chip leri sıfırlanarak en yüksek zayıflatma değerini kullanacaktır.



Şekil 3.7: Prototip Devre Yazılım Akışı

Tablo 3.1 içerisinde belirtilen örnekler ile farklı zayıflatmalar sağlanabilir. Verilen örneklerden yola çıkarak zayıflatma işlemlerini ardışık yada rastgele 0 ile 63 arasında değer verilerek yapılabilir.

3.3. PROTOTİP DEVRENİN KULLANIMI

Şekil 5.1’de görüleceği üzere Prototip devre USB kablosu aracılığı ile kontrol bilgisayarına bağlanmıştır. Tablo 4.1 içerisinde yer alan kontrol bilgisarı ve paket üretici bilgisayar 16.04 Ubuntu linux dağıtımı işletim sistemine sahiptir. Fiziksel olarak USB bağlantısı yapıldıktan sonra otomatik olarak serial bağlantı ttyACM0 olarak sistemde oluşacaktır. Bu bağlantıyı minicom paketini kullanarak 9600 bps hızı ayarlanarak yazma/okuma gibi işlemler yapılabilir.

Bu çalışma içerisinde ttyACM0 seri bağlantısı minicom ile okunarak zayıflatma için uygu-

lanan komutların işlevselliği kontrol edilmiştir.

```
+-----+
| A - Serial Device      : /dev/ttyACM0
| B - Lockfile Location  : /var/lock
| C - Callin Program     :
| D - Callout Program    :
| E - Bps/Par/Bits       : 9600 8N1
| F - Hardware Flow Control : No
| G - Software Flow Control : No
|
| Change which setting?
+-----+
| Screen and keyboard |
```

Şekil 3.8: Minicom Seri Ayarları

Seri portlara yazabilmek için oluşturulan portlara erişim hakkı verilmesi gerekmektedir. Altta bahsi geçen komutlar ile otomatik üretilmiş olan ttyACM0 seri portuna yazma/okuma hakkı verilmektedir.

```
sudo chmod 777 /dev/ttyACM0
stty -a < /dev/ttyACM0
stty -F /dev/ttyACM0 raw speed 9600
```

Prototip devreyi kullanarak zayıflatma yapabilmek için Tablo 3.1 içerisinde bulunan komutlar kullanılmaktadır. Zayıflatma aralığı 0 ile 63 arasında verilebilir. 0 değeri herhangi bir zayıflatma yapmazken, 63 değeri ise en yüksek zayıflatma değeridir.

Tablo 3.1: Sinyal Zayıflatma Örnek Komutları

Zayıflatma komutu	Zayıflatma Değeri
echo "Prototip a MIN" >/dev/ttyACM0	0 dBi
echo "Prototip a 1" >/dev/ttyACM0	1 dBi
echo "Prototip a 5" >/dev/ttyACM0	5 dBi
echo "Prototip a 10" >/dev/ttyACM0	10 dBi
echo "Prototip a 15" >/dev/ttyACM0	15 dBi
echo "Prototip a 20" >/dev/ttyACM0	20 dBi
echo "Prototip a MAX" >/dev/ttyACM0	63 dBi

Echo komutuna girdi olarak verilen zayıflatma değerleri >yönlendirme operatörü sayesinde serial bağlantı üzerine gönderilecektir. Daha sonra bu değer Aurdunio üzerinde geliştirilmiş olan yazılım sayesinde zayıflatma mikro çipleri programlanarak zayıflatma işlemi sağlanacaktır.

Bu sistem içerisinde, Erişim noktasının içerisinde olduğu ve kablosuz istemcinin içinde olduğu 2 adet sinyal önleyici kutu RF kablolar aracılığı ile Prototip Devrenin içerisinde olduğu kapalı kutuya bağlanmış olmalıdır. Bu yüzden Prototip devrenin takılı olduğu kapalı kutunun en az 8 SMA bağlantısı olması gerekmektedir.



4. KAPALI KUTU TEST ORTAMI ARAÇ/GEREÇLERİ

4.1. SİNYAL ÖNLEYİCİ KUTU

Bu proje içerisinde dış ortam etkilerini ortadan kaldırarak ve kontrollü deney yapmak adına sinyal önleyici kapalı kutular kullanılmıştır. Şekil 4.1’de görüleceği üzere, 240 mm genişliğe sahip, 390 mm derinliği ve 170 mm yüksekliğe sahip olan 3 adet kapalı kutu kullanılmıştır.



Şekil 4.1: Kapalı Kutu

Bahsedilen sinyal önleyici kutular 2.4 GHz ile 5.8 GHz frekans aralığında kullanılabilir. Dış çevre ile bağlantılarını sağlamak amacıyla üzerlerinde ethernet, usb ve elektrik soketleri bulunmaktadır. Kutular arası bağlantılar için ayrıca 4 adet SMA konnektörü (surface mount diode) mevcuttur. Genel anlamda görevleri, kutu içerisi ile dış dünya arasında radyo sinyallerini engellemek için kullanılmaktadır.

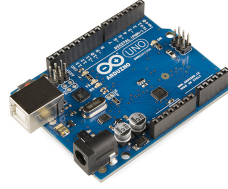
Her kapalı kutunun kendine ait giriş/çıkış konnektörleri mevcuttur. Bu konnektörler, 2 adet USB bağlantısı, 2 adet ethernet bağlantısı, 1 adet 9 pin seri bağlantı ve 1 adet de elektrik için soket bağlantısı bulunur. Bu proje kapsamında elektrik bağlantısı, SMA bağlantı ve ethernet bağlantısı kullanılmıştır.

4.2. ARDUNIO

Arduino bir giriş/çıkış kartı ve programlama dilleri kullanılarak uygulama geliştirme ortamından oluşan fiziksel programlama platformudur. Günümüzde birçok alanda yaygın olarak kullanılan Arduino devre kartları, üzerinde bulunan giriş/çıkış soketleri kullanılarak bir çok projede ve uygulamada kullanılmaktadır.

Bu sistem içerisinde, Arduino platformu giriş/çıkış portları kullanılarak devre kartı üzerinde bulunan hmc624alp4e mikro çipi programlayarak, var olan kablosuz sinyali zayıflatmak için gerekli olan sayısal değerlerin yazılımsal anlamda sağlanması için kullanılmıştır.

Geliştirilen devre kartı, Şekil 4.2’de görüleceği üzere dizaynı bakımından Arduino platformuna takılabilmesi ve ara bağlantılar olmaması için giriş/çıkış portlarının aurdino platformuna girecek şekilde tasarlanmıştır.



Şekil 4.2: Arduino

4.3. SMA BAĞLANTI

Bir çok çeşiti bulunmakla beraber genel olarak tüm RF projelerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu sistem içerisinde lehimlenebilir SMA kablo tipi 8 adet dişi konnektör prototip üzerine entegre edilerek, izole kapalı kutular arasındaki bağlantıları sağlamak için kullanılmıştır. Ara bağlantılar yine SMA konnektörü vasıtasıyla 12 adet RF kablo ile sağlanmıştır.

4.4. RF KABLO

Bu çalışma içerisinde 12 adet iç direnci 50 Ohms maksimum 18 GHz frekansında çalışan 1 metrelik SMA erkek RF kablo, kapalı kutular ve kapalı kutu ile Prototip devre arasındaki bağlantıyı sağlamak amacı ile kullanılmıştır.

4.5. RF ANTEN

Sistem içerisindeki sinyal önleyici kutuların içerisinde 3'er adet kablosuz anten yer almaktadır. Bu antenler; 2.4 GHz ile 2.4835 GHz / 5.15 GHz ile 5.7250 GHz frekansında çalışan çok yönlü 2 dBi kazancı olan anten modelidir. Antenler SMA bağlantı aracılığı ile izole

kutuların içerisine yerleştirilmiştir.

4.6. IXIA IXCHARIOT

Günümüzde ağ iletişimi gitgide gelişen ve değişen bir tabiata dönüşmektedir. Milyonlarca kullanıcı uygulama ve servislere milyarlarca bitler ve byteları kullanarak erişmektedir. Hız ve bantgenişliği ihtiyacı gün geçtikçe artarak yeni trafik tipleri oluşturmakta sağlam bir altyapı günümüzün mutlak ihtiyacı haline gelmektedir.

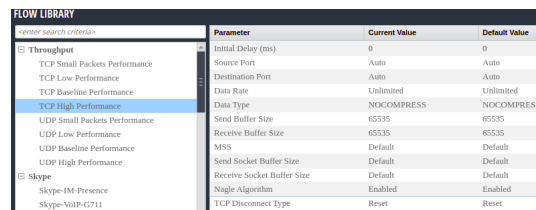
Ağ altyapısı içinde kullanılan yeni kullanıcılar, yeni uygulamalar, yeni servisler bantgenişliği ihtiyacını 1GE 'den 10 GE, 40 GE, 100 GE hatlara doğru genişletmektedir. Bu büyümeyi kararlı ve güvenilir bir şekilde yapmak günümüzün yeni ihtiyaç kalemlerinden birisi.

Ağ operatörleri, saydığımız bu ihtiyaç kalemlerini karşılıyor olabilmek için tüm ağ altyapısını monitör etmek zorundadırlar. Kullanılan her ağ altyapısındaki her bir ağ cihazının genel olarak ağa vermiş olduğu kaybı ölçmek gereksinimi getirmiştir.

Yukarıda bahsedilen gereksinimler düşünüldüğünde, IxChariot uçtan uca farklı trafik tiplerinde ağ performansını ölçüm yazılım olması ile beraber bahsedilen gereksinimleri tam olarak karşılamaktadır [16]. Bu yazılım içerisinde bir çok performans analizi için emulasyonu bulunmaktadır.

Bu prototip geliştirmesinde karşılaştırmalı performans sonuçları için Ixchariot performans emulasyonları içerisinde yer alan TCP Yüksek Performans testi koşularak sonuçlar alınmıştır.

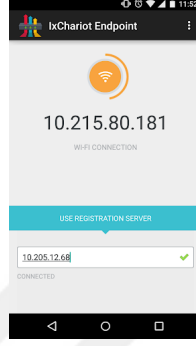
Genel olarak konfigurasyon şu şekildedir :



Parameter	Current Value	Default Value
Initial Delay (ms)	0	0
Source Port	Auto	Auto
Destination Port	Auto	Auto
Data Rate	Unlimited	Unlimited
Data Type	NOCOMPRESS	NOCOMPRESS
Send Buffer Size	65535	65535
Receive Buffer Size	65535	65535
MSS	Default	Default
Send Socket Buffer Size	Default	Default
Receive Socket Buffer Size	Default	Default
Nagle Algorithm	Enabled	Enabled
TCP Disconnect Type	Reset	Reset

Şekil 4.3: Performans Konfigurasyonu

Kablosuz istemci ve paket üretici bilgisayar tarafında TCP/UDP trafiğinin üretilmesi,sonlandırılması ve raporlamanın sağlanması amacı ile Şekil 4.4’de görüleceği üzere Ixchariot endpoint yazılımı kullanılmıştır. Bu yazılım IOS,Andoid,Linux,Windows yazılımları için ücretsiz olarak sağlanmaktadır. Bu yazılım, yüklü olduğu platformun internete çıkışıını kullanarak IxChariot sunucusuna bağlanarak kayıt olmaktadır. Böylelikle IxChariot kullanıcı arayüzü sayesinde trafiğin gönderileceği endpoint kurulu olan cihazlar seçilebilmektedir.



Şekil 4.4: Endpoint Programı

4.7. BİLGİSAYARLAR

Sistem içerisinde 2 adet bilgisayar kullanılmaktadır. Bu bilgisayarların üzerinde Linux dağıtımı olan Ubuntu 16.04 işletim sistemi çalışmaktadır. Bu kullanılan bilgisayarların teknik özellikleri Tablo 4.1 tablosunda yer almaktadır.

Tablo 4.1: Kullanılan Bilgisayarların Genel Özellikleri

Donanım İsmi	CPU özellikleri	İşletim Sistemi	Bağlantı Bilgileri
Paket Üretici	Intel(R) i7-7500U CPU @ 2.70GHz	Ubuntu 16.04.6	10 Gbit Intel
Kontrol Bilgisayarı	Intel(R) i7-7500U CPU @ 2.70GHz	Ubuntu 16.04.6	10 Gbit Intel

4.7.1. Kontrol Bilgisayarı

Prototip kart ile USB üzerinden bağlantısı sağlanarak zayıflatma parametrelerinin gönderilmesi veya zayıflatma parametrelerinin okunması için aracı olarak kullanılmaktadır.

4.7.2. Paket Üretici

Kablosuz performans testleri sırasında TCP trafiğini üretilmesi için kullanılmaktadır. Şekil 5.1'de görüleceği üzere 2 adet ethernet arayüzüne sahiptir. İnternete bağlı olan arayüz ile IxChariot sunucusu ile kontrol paketleşmesi sağlamakta, kapalı kutuya bağlı olan arayüz ile de paket üretip göndermektedir. Ayrıca bu bilgisayarın Şekil 4.5'de linux çekirdek tampon belleği 10 Gbit hıza ulaşabilmesi için optimize edilmiştir.

```
# Maximum receive socket buffer size
net.core.rmem_max = 134217728

# Maximum send socket buffer size
net.core.wmem_max = 134217728

# Minimum, initial and max TCP Receive buffer size in Bytes
net.ipv4.tcp_rmem = 4096 87380 134217728

# Minimum, initial and max buffer space allocated
net.ipv4.tcp_wmem = 4096 65536 134217728

# Maximum number of packets queued on the input side
net.core.netdev_max_backlog = 300000

# Auto tuning
net.ipv4.tcp_moderate_rcvbuf = 1

# Don't cache ssthresh from previous connection
net.ipv4.tcp_no_metrics_save = 1

# The Hamilton TCP (HighSpeed-TCP)
net.ipv4.tcp_congestion_control=htcp

# If you are using jumbo frames set this to avoid MTU black holes.
net.ipv4.tcp_mtu_probing = 1
```

Şekil 4.5: Linux Çekirdeği Tampon Belleği

4.8. ERİŞİM NOKTASI VE KABLOSUZ İSTEMCİ

4.8.1. Erişim Noktası

Sistem içerisinde performans ölçümleri için kullanılmak üzere 2.4 GHz ve 5 GHz çalışabilen, 802.11 a/b/g/n/ac standartlarını destekleyen 3x3 anten sayısına sahip sahada kabul görmüş erişim noktası kullanılmıştır.

4.8.2. Kablosuz İstemci

Sistem içerisinde bulunan kablosuz istemci olarak 2.4 GHz ve 5 GHz frekanslarında da çalışabilen, 802.11 a/b/g/n/ac kablosuz standartlarını destekleyen 2x2 anten sayısına sahip ve sahada kabul görmüş bir telefon kullanılmıştır. Analizler sırasında erişim noktasına bağlanıp, performans sonuçları için kullanılmıştır.

5. TEST DÜZENEĞİ

5.1. TEST DÜZENEĞİ

Geliştirilen prototip kart ve tasarlanan test ortamı ile alınan performans sonuçları ve gerçek bir kullanıcı senaryosu ile alınan performans sonuçlarının karşılaştırılması için 2 farklı test kurgusu planlanmıştır. Her 2 test kurgusu, aynı koşullarda yapılmış olup alınan sonuçlar sadece açık ve sinyal önleyici kutular olarak değerlendirilebilir. Sistem içerisinde kullanılan paket üretici bilgisayarda Erişim noktası 5 GHz frekansı için 100. kanal 80 MHz, 2.4 GHz frekans bandı için 1. kanal 20 MHz olarak çalışmaktadır. Her iki senaryo için performans testleri yapılıyor iken erişim noktasından telnet aracılığı ile kablosuz istatistikleri de alınmıştır. Özellikle bu istatistik değerlerinden olan kablosuz fiziksel hız (phyrate) ve RSSI(Received Signal Strength Indicator) değeri alınan sonuçları karşılaştırırken baz olarak kullanılacaktır.

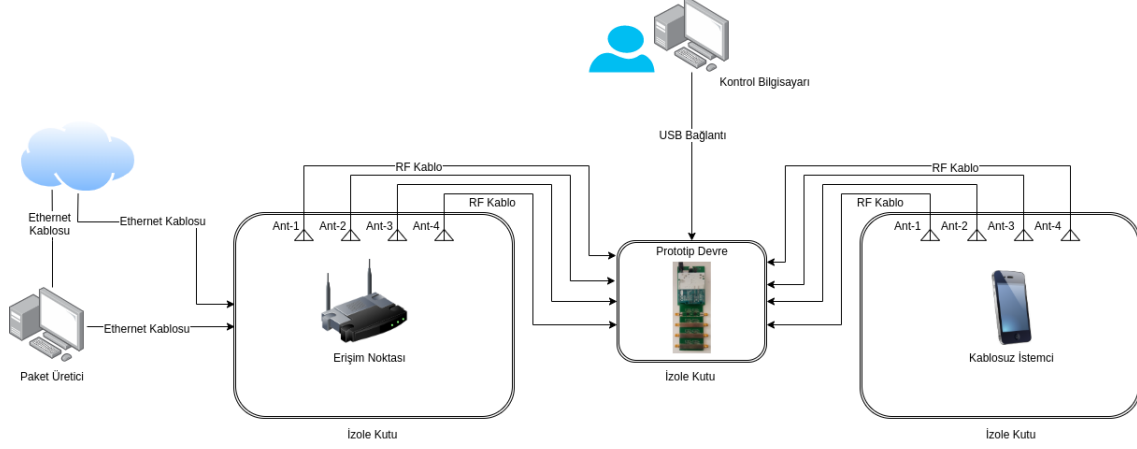
5.2. TEST SENARYOLARI

5.2.1. Prototip Devre ve Kapalı Kutu Test Ortamı Senaryosu

Şekil 4.1’de temsil edilen sinyal önleyici kapalı kutulardan bir tanesine erişim noktası konumlandırılır. 2. sinyal önleyici kutu içerisine prototip kart uygun RF kablolar aracılığı ile bağlantıları yapılmalıdır. 3. sinyal önleyici kutu içerisine de kablosuz istemci koyulur. Bu yerleştirmelerden sonra tüm kutular SMA konnektörler vasıtasıyla birbirlerine bağlantı sağlanır. Elimizde bulunan 6 adet anteni, 3 tanesini erişim noktasının olduğu kapalı kutuya, diğer 3 tanesini ise istemcinin olduğu sinyal önleyici kutuya SMA konnektör vasıtasıyla bağlantı yapılır. Özellikle bu bağlantıları tork anahtar vasıtası ile yapmak, sonuçların daha güvenilir olmasını garanti etmektedir. Yanlış bağlantılar veya iyi sıkılmamış SMA konnektörler ile alınan sonuçlar beklendiği gibi olmayabilir.

Şekil 5.1’de görüldüğü üzere paket üretici bilgisayar ethernet kablosu vasıtasıyla sinyal önleyici kutuya bağlanmıştır. Keza sinyal önleyici kutu içerisinde yine benzer nitelikte olan

ethernet kablosu ile erişim noktasına bağlantı sağlanmıştır. Erişim noktası, elektrik konnektörü vasıtasıyla direk olarak şebeke hattından beslenmektedir.



Şekil 5.1: Sinyal Önleyici Sistem Test Senaryosu

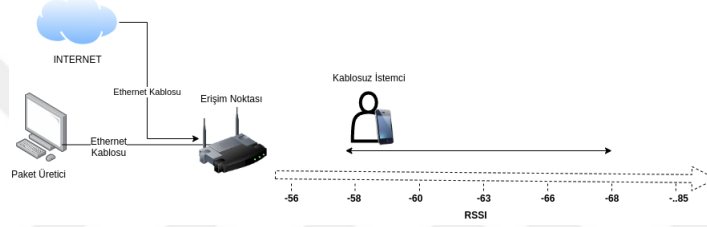
Diğer bir sinyal önleyici kutu içerisinde yer alan prototip kart 5V ile çalışır. Ayrıca zayıflatma adımları için prototip kart usb serial bağlantısı ile bir bilgisayara bağlanmış olmalıdır. Kablosuz istemci sinyal önleyici kutu içerisinde iken erişim noktasına bağlantı sağlanır.

Yukarıdaki kurulum adımları tamamlandıktan sonra prototip kart serial bağlantısı ile zayıflatma işlemine başlanabilir.

Arduino üzerine geliştirilmiş olan yazılım ile prototip kart devresi üzerinde bulunan 8 adet HMC624ALP4E mikro çip programlanmaktadır. Böylelikle verilen değer kadar zayıflatma yapılabilir. Verilecek değerler 0 den 63 'e kadar olabilir. 0 değeri herhangi bir zayıflatma olmadığını, 63 ise maksimum zayıflatma olacağını temsil etmektedir. Sistem içerisinde yapılan testler sırasında zayıflatma 2'şer adımlarla artırılarak ve azaltılarak yapılmıştır.

5.2.2. Kablosuz Test Senaryosu

Standart bir ev kullanıcısının ev içerisinde erişim noktasına aynı düzlem üzerinde uzaklaşarak performans ölçüm alması hedeflenmiştir. Bu sistemde bir adet erişim noktası, bir adette kablosuz istemci bulunmaktadır. Kablosuz istemci, erişim noktasına yakın bir noktadan başlanarak yaklaşık olarak 2 Dbi aralıklarla uzaklaşarak ölçümler alınmıştır. Bu ölçümler evin farklı bölgeleri RSSI değerinin eş değeri kabul edilerek seçilmiştir. Bu test senaryosu için izole bir ev seçilmiş olup, dış etkenlerin etkisi olmadan deneyler gerçekleştirilmiştir. Kablosuz istemci her test noktası için yapılan performans deneylerinde sabit bir konumlandırma sağlanmış ve [1] küçük ölçekli solma (Small Scale Fading), büyük ölçekli solma (Large Scale Fading) [1] gibi problemler en aza indirilerek sonuçlar alınmıştır.

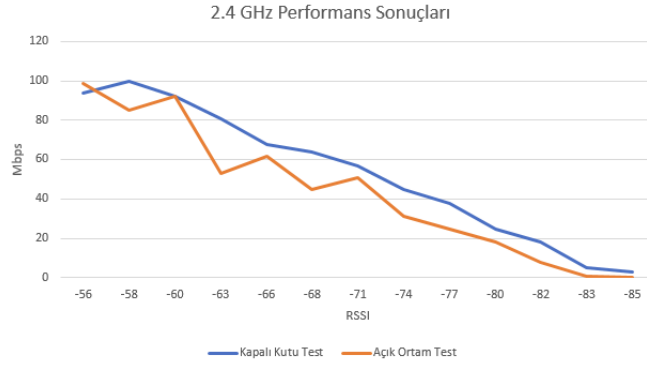


Şekil 5.2: Kablosuz Test Senaryosu

6. SONUÇLAR

6.1. 2.4 GHz FREKANSI DENEY SONUÇLARI

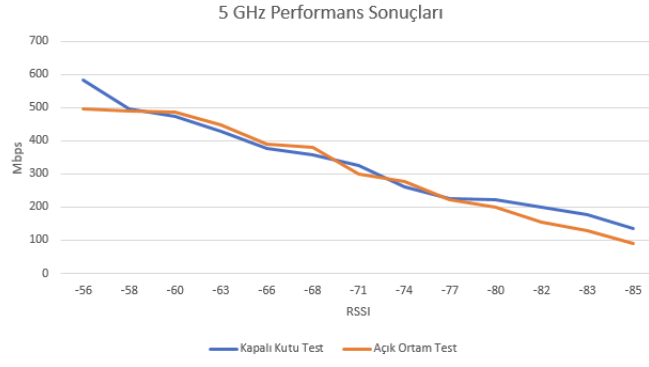
Şekil 6.1'deki 2.4 GHz sonuçlarına göre, tasarlanan sistem ile yapılan ölçümlerin sonuçları, kullanıcı sonuçlarına göre yüksek olduğu görülmektedir. Bu farklılık bağlantı ve performans testlerini her ne kadar gerçek hayat senaryosundan uzaklaştırsada testlerde karşılaşılabilecek konum, pozisyon ve gürültü kaynaklı etkileri sıfıra indireceği öngörülmüştür. 6.1 ile görüleceği üzere kapalı kutu testlerinin eğrisi zayıflatma değerine göre daha doğrusal azaldığı görülmektedir. Açık ortam testlerinin sonuçları, dış etkenlerden dolayı fiziksel hızın değişimi ile orantısız olarak düşüş sağlamamaktadır. Genel olarak sonuçlar benzerlik taşıyor olsa da tasarlanan sistemin sonuçları maksimum performans testlerinde kontrolsüz etkenleri ortadan kaldırıp daha efektif olarak kullanılabilmesi görülmektedir.



Şekil 6.1: 2.4 GHz Test Sonuçları

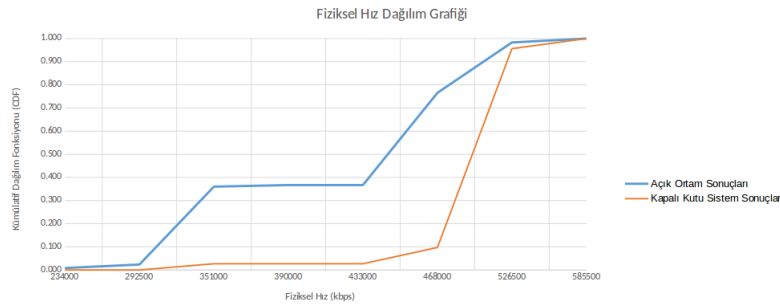
6.2. 5 GHz FREKANSI DENEY SONUÇLARI

Şekil 6.2'nin sonuçlarından görüleceği üzere, 5 GHz için alınan sonuçların -58 RSSI (Received Signal Strength Indicator) seviyelerinden itibaren tasarlanan sistem ile ve açık ortam sonuçlarının benzer olduğu görülmektedir. En yakın ve en uzak olan ölçümlerin ise tasarlanan sistem içerisinde yapılan ölçümlerin daha iyi olduğu görülmektedir. Aynı şekilde bu durum gerçek hayatta karşılaşılan gürültü ve pozisyon gibi parametrelerden kaynaklanan etkiyi ortadan kaldırmış; test edilen cihazların yazılım ve donanımsal performanslarının karşılaştırılmasına olanak sağlamıştır.



Şekil 6.2: 5 GHz Test Sonuçları

Her iki frekans bandı için tasarlanan sistem ve kapalı ölçüm sistemi kullanılarak yapılan sonuçların göreceli daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır.

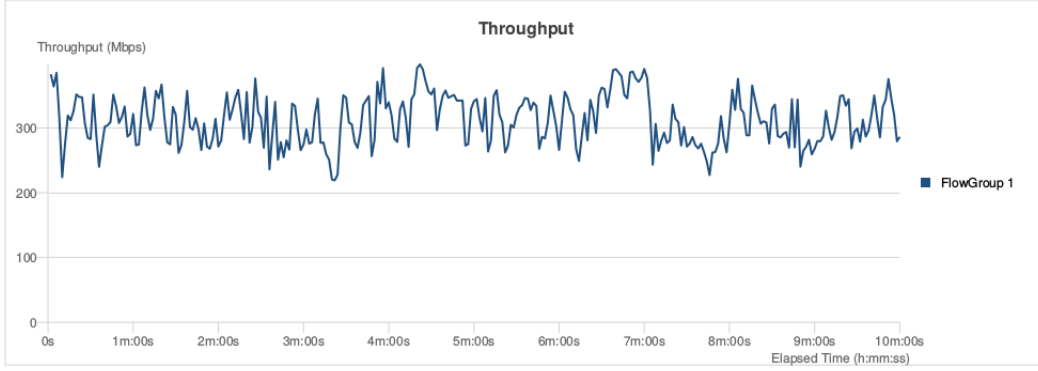


Şekil 6.3: Kümülatif Dağılım Fonksiyonu

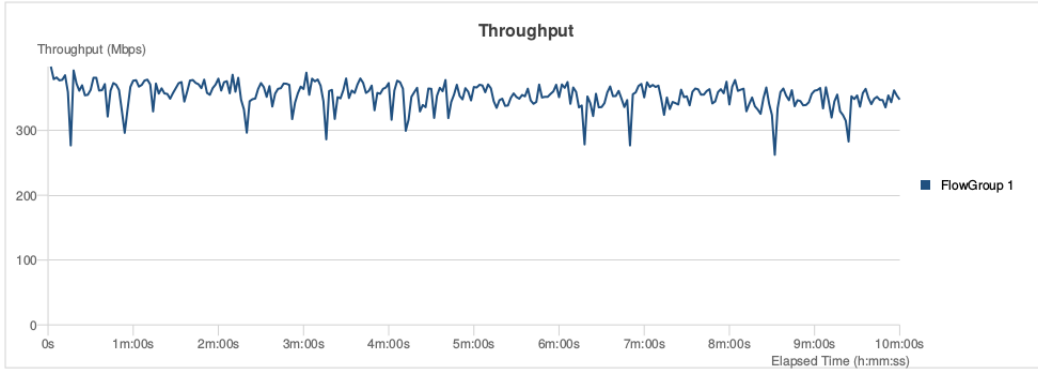
Dış etkenler genellikle cihazların fiziksel bağlantı (phyrate) seviyesinin çevresel faktörlere bağlı olarak değiştirdiğinden dolayı aynı ortamda yapılan benzer testlerde farklı performans ölçümleri almasına sebebiyet vermektedir. Tasarlanan sistemin bu bağlamda etkinliğini incelemek için -72dbm seviyesinde 600 tane alınan örnek ile yapılan denemede fiziksel bağlantı seviyesinin nasıl farklılık gösterdiği araştırıldı. Şekil 6.3'den de anlaşılacağı üzere kapalı sistemde çevresel faktörlerin minimize edilmesiyle fiziksel bağlantı seviyelerinin dağılımının çok daha kararlı olduğu söylenebilir.

Şekil 6.4 ve Şekil 6.5 görüleceği üzere açık ortam testleri performans sonuçlarının dalgalanmasından ötürü olarak ortalama veriler tasarlanan sistem ile daha kararlı olduğu görülmektedir.

Bu durum yapılan testlerin bu sistem ile tekrarlanma sayılarının çok daha az olmasını sağlamaktadır. Sonuç olarak, açık alan testlerinde karşılaşılan olumsuz etkenleri ortadan kaldır-



Şekil 6.4: Açık Ortam Test Örneği



Şekil 6.5: Kapalı Kutu Test Örneği

mada sistemin çok etkili olduğu anlamına gelmektedir.

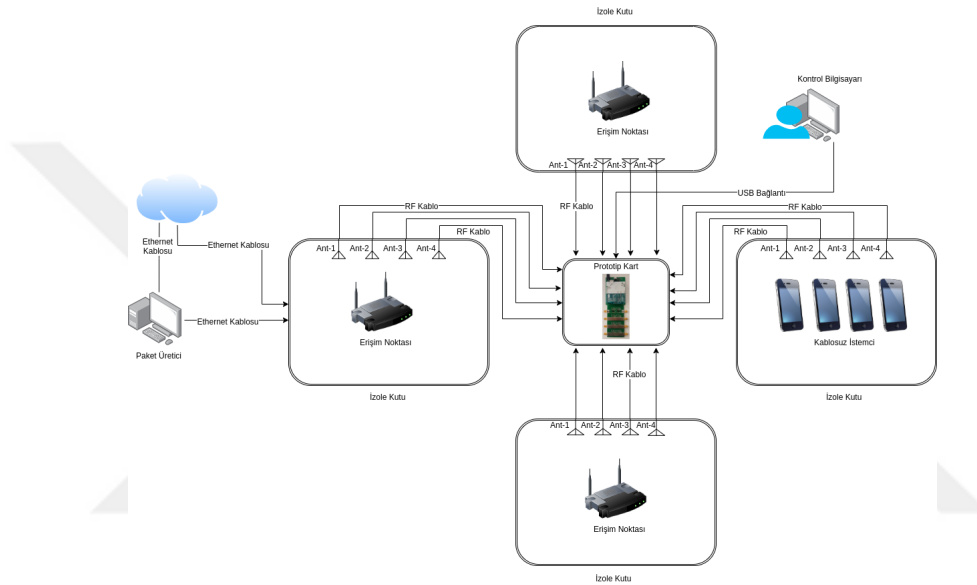
Tüm sonuçlar göz önüne alındığında, bu sistemin performans testleri açısından bir çok fayda sağladığı görülmektedir. Tasarlanan sistemin, ortam gürültüsünden arındırılmış olması ve gerçek hayat testlerine göre çok az yer kaplaması açısından çok büyük bir kazanım elde edilmiştir. Günümüz şartlarında performans testleri için izole ortam bulmanın zorluğu, insan eforu, maliyet gideri gibi negatif etkiler olmaksızın bu sistem ile güvenilir sonuçlar alınabilir. Bunun yanında, herhangi bir açık ortam deneyinde bir problem olduğu görülürse, sorunu sistematik veya parametrik açıdan çözmek için aynı test ortamının kullanılması, cihazların lokasyonlarının aynı olması ve cihaz rotasyonlarının aynı olması gerekir. Fakat geliştirilen bu sistem, tekrarlanabilir test ortamı sağlayarak problemlerin hızlı tespiti açısından süreci hızlandırarak, sonuçların daha güvenilir olmasını sağlayacaktır. Ayrıca sistemin otomasyon için uygun oluşu, insan eforunu ve zaman yönetimini daha efektif yapmasını sağlayabilir.

Diğer taraftan kablosuz cihazların konum, pozisyon ve gürültü gibi etkenlerden bağımsız

olarak performans ölçümlerinin yapılabilmesi oldukça önemli bir kazanç olacaktır.

6.3. GELECEKTE YAPILACAK ÇALIŞMALAR

Gelecek çalışmalarda, hali hazırda Prototip kart tasarımının 4 SMA giriş ve 4 SMA çıkış olan devresinin zayıflatma çipleri ve SMA konnektör sayıları artırılarak Şekil 6.6'daki gibi bir çok cihazın bağlanması sağlanabilir. Böylelikle yeni nesil örgü (mesh) ağları üzerinde performans deneyleri kurgulanabilecek hale gelebilecektir.



Şekil 6.6: Açık Ortam Test Örneği

Sistem içerisinde kullanılan antenler, kazancı yüksek antenler ile değiştirilebilir. Böylelikle kazancı artırıp, performans analizleri için daha yakın mesafelere erişilebilir. Ayrıca sistem içerisine paket dinleyen sistemler (sniffer) eklenerek, olabilecek paket kayıplarının analizlerini de yapmayı mümkün kılacaktır.

Prototip kart üzerinde kullanılan her bileşenin dış ortamlardan etkilenme durumundan dolayı devre tasarımı üzerine metal kapaklar ile kapatılması uygun olacaktır. Metal kapaklar için öncelikle devrenin mekanik çizimleri yapılmalı, sonrasında metal kapaklar çizim ölçülerine göre tasarlanmalıdır. Bu işlem yapılmaz ise geliştirilen bu tasarım, kablosuz sinyallerden etkileneceği için yukarıda anlatılan Şekil 4.1'de gösterildiği üzere sinyal önleyici kutu içerisine koyulması gerekmektedir.

Ayrıca bu çalışma içerisinde erişim noktası 3 antene sahip olarak seçilmişti. İleriki çalışmalar da 4 anten bileşenine sahip farklı erişim noktaları ile benzer analizler yapıp sistemin kararlılık analizi yapılabilir.

Kapalı kutu içerisindeki clientları appium yazılımı kullanılan bir test ortamı ile uzaktan kontrol edebilme gibi yetenekler kazandırılarak kontrollü olarak konfigürasyon değiştirilmesi sağlanabilir [18]. Böylelikle insan eforu gerektirmeden tüm işlemler uzaktan yapılabilecek hale getirilebilir.

Sistem içerisine adım sayar motorlu döner levhalar (turntable) eklenerek, farklı açılardan kablosuz erişim noktası ve kablosuz istemcinin performansı incelenebilir hale gelebilir.

Yukarıda bahsedilen tüm çalışmalar sistemin bir parçası olarak eklendikçe, geliştirilen sistem daha etkili ve efektif kullanılması sağlanabilir.

REFERANSLAR

- [1]. Theodore Rappaport, "Wireless Communications: Principles and Practice. 2nd Edition, Dorling Kindersley, 2009"
- [2]. Oran Sharon, Yaron Alpert, "Single User MAC Level Throughput Comparison: IEEE 802.11ax vs. IEEE 802.11ac"
- [3]. Perahia, E. and Stacey, R. "Next Generation Wireless LANs: 802.11n and 802.11ac. 2nd Edition, Cambridge Press, Cambridge"
- [4]. Bing, B. (n.d.). "Measured performance of the IEEE 802.11 wireless LAN. Proceedings 24th Conference on Local Computer Networks"
- [5]. IEEE P802.11, "Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical (PHY) Layer Specifications, November 1997."
- [6]. Tarte, Y., Amanna, A., Okwudiafor, C. (2010). "Experimental testbed for investigating IEEE 802.11 handoff in vehicular environment. Proceedings of the IEEE SoutheastCon 2010 (SoutheastCon)"
- [7]. Daeyoung Kim, Mary Ann Ingram, and W. Whit Smith "Measurements of Small-Scale Fading and Path Loss for Long Range RF Tags", August 2003
- [8]. N. Olano, C. Orlenius, K. Ishimiya, Z. Ying, "WLAN MIMO throughput test in reverberation chamber", IEEE International Symposium on Antennas and Propagation (IEEE AP-S), San Diego, CA, July (2008).
- [9]. Xia D., et al. "Evaluation of the Minstrel Rate Adaptation Algorithm in IEEE 802.11g WLANs", IEEE ICC 2013, Shanghai – China, 2013."
- [10]. Michael, D. Foegelle "Over-the-air performance testing of wireless devices with multiple antennas", February 2006.

- [11]. "CTIA Test Plan for Mobile Station Over the Air Performance Revision 2.1", Washington, DC: CTIA, 2005.
- [12]. George Xylomenos, George C. Polyzos , "TCP and UDP Performance over a Wireless LAN ", IEEE INFOCOM '99. Conference on Computer Communications.
- [13]. D. Duchamp and N.F. Reynolds, "Measured performance of a wireless LAN," in Proc. of the 17th IEEE Conference on Local Computer Networks, September 1992
- [14]. Caleb Phillips, Russell Senior, Douglas Sicker, and Dirk Grunwald "Robust Coverage and Performance Testing for Large-Area Wireless Networks"
- [15]. Anton Skårbratt, John Åsberg, Charlie Orlenius "Over-the-Air Performance Testing of Wireless Terminals by Data Throughput Measurements in Reverberation Chamber"
- [16]. Ixia. IxChariot. "Available: <http://www.ixiacom.com/products/ixchariot/>"
- [17]. Hmc624alp4e Chip Data Sheet. "Available: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/hmc624a.pdf>"
- [18]. Appium, Open Source Test Automation Framework. "Available: <http://appium.io/>"
- [19]. Di Kong, Evangelos Mellios, Geoffrey Hilton, Angela Doufexi and Andrew Nix "Enhancing In-Home 802.11 Performance: Mesh or MIMO?"
- [20]. Goldsmith, A., "Wireless Communications, Cambridge University Press, p.24-46. 2005"
- [21]. Sarkar, T.K., Ji, Z., Kim, K., Medouri, A., Salazar-Palma, M., "A Survey of Various Propagation Models for Mobile Communication, IEEE Antennas and Propagation Magazine, 45, 3, 51-82. 2003"
- [22]. Neskovic, A., Neskovic, N., Pauvonic, G., "Modern Approaches in Modeling of Mobile Radio Systems Propagation Environment, IEEE Communication Surveys, 2-12. 2000"

- [23]. Rappaport, T.S., "Wireless Communications Principles and Practice, Prentice-Hall Inc., p.105-248. 2002"
- [24]. Yin, X., Cheng, X., "Propagation Channel Characterization, Parameter Estimation And Modelling For Wireless Communications John Wiley, Sons Singapore Pte Ltd., p.15-38. 2016"
- [25]. Ahsan, S., Zeeshan, A., Iftikhar, A., " Analysis and Measurement of Wi-Fi Signals in Indoor Environment, International Journal of Advances in Engineering and Technology, 6, 2, 678-687. 2013"
- [26]. Ji, Y., "Dynamic 3-D Indoor Radio Propagation Model and Applications with Radios from 433 MHz to 2.4 GHz, International Journal of Communications, Networks and System Sciences, 5, 753-766. 2012"
- [27]. Fan, W.H., Yu, L., Wang, Z., Xue, F., "The Effect of Wall Reflection on Indoor Wireless Location Based on RSSI, Proceedings of the 2014 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, 1380-1384. 2014"
- [28]. Yang, H., Yoon, G., Han, D., "Floor Accuracy Improvement of Wireless LAN based Large Scale Indoor Positioning, Intelligent Radio for Future Personal Terminals (IMWS-IRFPT). 2011 "
- [29]. Lim, H., Kung, L., Hou, J.C., Luo, H., "Zero-Configuration, Robust Indoor Localization Theory and Experimentation, 25th IEEE International Conference on Computer Communications. 2006"
- [30]. Sapumohotti, C., Alias, M.Y., Tan, S.W., "Access Point Selection for WLAN Indoor Localization Systems Using RF Walk Test Data, Progress In Electromagnetics Research Symposium Proceedings, 199-202. 2013"
- [31]. Kjærgaard, M.B., "Automatic Mitigation of Sensor Variations for Signal Strength Based Location Systems, LoCA'06 Proceedings of the Second International Conference

on Location and Context Awareness. 2006"

- [32]. Kaemarungsi, K., "Distribution of WLAN Received Signal Strength Indication for Indoor Location Determination, 1st International Symposium on Wireless Pervasive Computing. 2006"
- [33]. Park, J., Curtis, D., Teller, S., Ledlie, J., "Implications of Device Diversity for Organic Localization, IEEE INFOCOM. 2011"
- [34]. Chen, Y., Francisco, J., Trappe, W., Martin, R.P., "A Practical Approach to Landmark Deployment for Indoor Localization, 3rd Annual IEEE Communications Society on Sensor and Ad Hoc Communications and Networks, 1, 365-373. 2006"
- [35]. Tsui, A.W., Chuang, Y., Chu H., "Unsupervised Learning for Solving RSS Hardware Variance Problem in WiFi Localization, Mobile Networks and Applications, 14, 5, 677-691. 2009"
- [36]. Rosa, F.D., Pelosi, M., Nurmi, J., "Human-Induced Effects on RSS Ranging Measurements for Cooperative Positioning, International Journal of Navigation and Observation. 2012"
- [37]. Pelosi, M., Knudsen, M.B., Pedersen G.F., "Multiple Antenna Systems With Inherently Decoupled Radiators, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 60, 2, 503-515. 2012"
- [38]. Pelosi, M., Franek, O., Knudsen, M.B., Christensen, M., Pedersen, G.F., "A Grip Study for Talk and Data Modes in Mobile Phones, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 57, 4, 856-865. 2009"
- [39]. Graffin, J., Rots, N., Pedersen, G.F., "Radiations Phantom for Handheld Phones, Vehicular Technology Conference, 853-860. 2000"
- [40]. Gabriel, C., "Compilation of the Dielectric Properties of Body Tissues at RF and Microwave Frequencies, Technical Report, Texas Air Force Material Command Brooks Air

Force Base, 21 p. 1996"

- [41]. Kaemarungsi, K., Krishnamurthy, P., "Properties of Indoor Received Signal Strength for WLAN Location Fingerprinting, Proceedings of the First Annual International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems: Networking and Services. 2004"
- [42]. Baala, O., Caminada, A., "WLAN-based Indoor Positioning System: Experimental Results for Stationary and Tracking MS, International Conference on Communication Technology. 2006"



A. KULLANILAN DENEY ÖRNEKLERİ

Erişim Noktası tarafından -72 RSSI seviyesinde telnet yardımı ile alınan wireless anten başına RSSI ve Phyrate bilgileri altta listelenmiştir.

```
rate of last tx pkt: 585000 kbps – 175500 kbps
per antenna rssi of last rx data frame: -74 -70 -65 0
rate of last tx pkt: 526500 kbps – 175500 kbps
per antenna rssi of last rx data frame: -74 -73 -66 0
rate of last tx pkt: 526500 kbps – 175500 kbps
per antenna rssi of last rx data frame: -74 -72 -65 0
rate of last tx pkt: 526500 kbps – 175500 kbps
per antenna rssi of last rx data frame: -70 -69 -65 0
rate of last tx pkt: 526500 kbps – 175500 kbps
per antenna rssi of last rx data frame: -73 -72 -64 0
rate of last tx pkt: 526500 kbps – 175500 kbps
per antenna rssi of last rx data frame: -74 -72 -65 0
rate of last tx pkt: 468000 kbps – 117000 kbps
per antenna rssi of last rx data frame: -74 -73 -68 0
rate of last tx pkt: 234000 kbps – 40500 kbps
per antenna rssi of last rx data frame: -75 -76 -73 0
rate of last tx pkt: 234000 kbps – 40500 kbps
per antenna rssi of last rx data frame: -76 -76 -72 0
rate of last tx pkt: 351000 kbps – 58500 kbps
per antenna rssi of last rx data frame: -72 -74 -72 0
rate of last tx pkt: 351000 kbps – 58500 kbps
per antenna rssi of last rx data frame: -72 -73 -73 0
rate of last tx pkt: 468000 kbps – 117000 kbps
per antenna rssi of last rx data frame: -71 -73 -74 0
rate of last tx pkt: 351000 kbps – 58500 kbps
per antenna rssi of last rx data frame: -74 -71 -67 0
```

rate of last tx pkt: 351000 kbps – 58500 kbps
per antenna rssi of last rx data frame: -72 -72 -70 0
rate of last tx pkt: 468000 kbps – 117000 kbps
per antenna rssi of last rx data frame: -72 -72 -70 0
rate of last tx pkt: 468000 kbps – 117000 kbps
per antenna rssi of last rx data frame: -70 -70 -68 0
rate of last tx pkt: 468000 kbps – 117000 kbps
per antenna rssi of last rx data frame: -71 -69 -70 0
rate of last tx pkt: 585000 kbps – 175500 kbps
per antenna rssi of last rx data frame: -73 -70 -66 0
rate of last tx pkt: 468000 kbps – 117000 kbps
per antenna rssi of last rx data frame: -71 -69 -67 0
rate of last tx pkt: 526500 kbps – 175500 kbps
per antenna rssi of last rx data frame: -73 -69 -68 0
rate of last tx pkt: 433333 kbps – 234000 kbps
per antenna rssi of last rx data frame: -72 -69 -68 0
rate of last tx pkt: 433333 kbps – 234000 kbps
per antenna rssi of last rx data frame: -72 -71 -70 0
rate of last tx pkt: 468000 kbps – 117000 kbps
per antenna rssi of last rx data frame: -73 -71 -65 0
rate of last tx pkt: 468000 kbps – 117000 kbps
per antenna rssi of last rx data frame: -74 -71 -70 0
rate of last tx pkt: 351000 kbps – 58500 kbps
per antenna rssi of last rx data frame: -73 -73 -71 0
rate of last tx pkt: 351000 kbps – 58500 kbps
per antenna rssi of last rx data frame: -75 -72 -72 0
rate of last tx pkt: 351000 kbps – 58500 kbps
per antenna rssi of last rx data frame: -75 -73 -72 0
rate of last tx pkt: 468000 kbps – 117000 kbps
per antenna rssi of last rx data frame: -72 -72 -72 0
rate of last tx pkt: 468000 kbps – 117000 kbps

per antenna rssi of last rx data frame: -72 -68 -66 0
rate of last tx pkt: 526500 kbps - 175500 kbps
per antenna rssi of last rx data frame: -74 -71 -69 0
rate of last tx pkt: 468000 kbps - 117000 kbps
per antenna rssi of last rx data frame: -72 -69 -67 0
rate of last tx pkt: 351000 kbps - 175500 kbps
per antenna rssi of last rx data frame: -76 -72 -71 0
rate of last tx pkt: 390000 kbps - 234000 kbps
per antenna rssi of last rx data frame: -74 -71 -68 0
rate of last tx pkt: 292500 kbps - 87750 kbps
per antenna rssi of last rx data frame: -73 -74 -69 0
rate of last tx pkt: 292500 kbps - 87750 kbps
per antenna rssi of last rx data frame: -72 -70 -71 0
rate of last tx pkt: 351000 kbps - 175500 kbps
per antenna rssi of last rx data frame: -74 -69 -71 0
rate of last tx pkt: 351000 kbps - 58500 kbps
per antenna rssi of last rx data frame: -72 -70 -72 0
rate of last tx pkt: 468000 kbps - 117000 kbps
per antenna rssi of last rx data frame: -73 -69 -73 0
rate of last tx pkt: 468000 kbps - 117000 kbps
per antenna rssi of last rx data frame: -72 -72 -70 0
rate of last tx pkt: 468000 kbps - 117000 kbps
per antenna rssi of last rx data frame: -71 -71 -68 0
rate of last tx pkt: 351000 kbps - 58500 kbps
per antenna rssi of last rx data frame: -72 -72 -68 0
rate of last tx pkt: 468000 kbps - 117000 kbps
per antenna rssi of last rx data frame: -74 -71 -68 0
rate of last tx pkt: 468000 kbps - 117000 kbps
per antenna rssi of last rx data frame: -74 -74 -70 0
rate of last tx pkt: 468000 kbps - 117000 kbps
per antenna rssi of last rx data frame: -72 -71 -71 0

rate of last tx pkt: 468000 kbps – 117000 kbps
per antenna rssi of last rx data frame: -72 -74 -70 0
rate of last tx pkt: 468000 kbps – 117000 kbps
per antenna rssi of last rx data frame: -76 -74 -69 0
rate of last tx pkt: 468000 kbps – 117000 kbps
per antenna rssi of last rx data frame: -73 -72 -67 0
rate of last tx pkt: 351000 kbps – 58500 kbps
per antenna rssi of last rx data frame: -71 -71 -69 0
rate of last tx pkt: 468000 kbps – 117000 kbps
per antenna rssi of last rx data frame: -75 -71 -67 0
rate of last tx pkt: 468000 kbps – 117000 kbps
per antenna rssi of last rx data frame: -72 -71 -71 0
rate of last tx pkt: 585000 kbps – 175500 kbps
per antenna rssi of last rx data frame: -73 -71 -68 0
rate of last tx pkt: 468000 kbps – 117000 kbps
per antenna rssi of last rx data frame: -75 -72 -71 0
rate of last tx pkt: 351000 kbps – 58500 kbps
per antenna rssi of last rx data frame: -75 -71 -69 0
rate of last tx pkt: 468000 kbps – 117000 kbps