

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KABLOSUZ DUYARGA AĞLARINDA  
VERİ BİRLEŞTİRİLMESİ**

**YÜKSEK LİSANS**

**Elektronik ve Haberleşme Müh. Tevfik KADIOĞLU**

**Anabilim Dalı: Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği**

**Danışman: Prof. Dr. Hasan DİNÇER**

**KOCAELİ, 2009**

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ \* FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

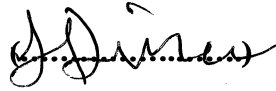
**KABLOSUZ DUYARGA AĞLARINDA  
VERİ BİRLEŞTİRİLMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Elo. Hab. Müh. Tevfik KADIOĞLU**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 14 Eylül 2009**

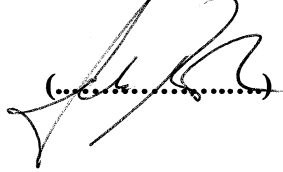
**Tezin Savunulduğu Tarih: 14 Temmuz 2009**

**Tez Danışmanı  
Prof. Dr. Hasan DİNÇER**



**Üye**

**Prof. Dr. Şebnem BAYDERE**



**Üye**

**Yrd. Doç. Dr. Mehmet YAKUT**



**KOCAELİ, 2009**

## **ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR**

Bu çalışmaya bilgi ve tecrübelerini katarak bize yardımcı olan ve bu konuda çalışma olanağı veren Prof. Dr. Hasan DİNÇER'e ve Yük. Müh. Kutsal ANIL'a teşekkürlerimi borç bilirim.

Çalışma hayatına başladığım günden itibaren okuldan kopmamamı sağlayan ve akademik olarak gelişimimi destekleyen PAVO Tasarım A.Ş.'ye teşekkür ederim.

Tez çalışmalarım sırasında gösterdikleri destekten ötürü Serkan ERBORAL'a, Suat GÜNTÜRKÜN'e, Serhat ÇOLAK'a ve Uğur KAFADAR'a teşekkür ederim.

Son olarak, hayatımın her alanında olduğu gibi bu konuda da bana maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen değerli aileme teşekkür ederim.

**Tevfik KADIOĞLU**

**Haziran, 2009**

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
TABLolar DİZİNİ.....	vi
KISALTMALAR.....	vii
ÖZET.....	xi
ABSTRACT.....	x
1.GİRİŞ.....	1
2.KABLOSUZ DUYARGA AĞLARI VE GENEL ÖZELLİKLERİ .....	3
2.1.Çalışma Ömrü.....	4
2.2.Kapsama Alanı .....	6
2.3.Güvenilirliği .....	6
2.4.Geliştirme, Üretme ve Kurulum Maliyetleri .....	7
2.5.Cevap Süresi.....	8
2.6.Zamanla Doğruluk.....	9
2.7.Güvenlik .....	9
2.8.Etkin Örnekleme.....	10
2.9.Boyut .....	10
2.10.Uygulama Alanları .....	11
2.10.1.Çevresel koşulları izleme .....	12
2.10.2.Güvenlik uygulamaları .....	13
2.10.3.Takip ve izleme uygulamaları .....	15
2.10.4.Karma durumlar .....	15
3.TEZDE KULLANILAN KDA PLATFORMU .....	17
3.1.Güç Katı .....	17
3.2.Algılayıcılar.....	20
3.3.Mikrofon.....	20
3.3.1.Ön yükselteç ve ayarlanabilir kuvvetlendirici katı:.....	21
3.3.2.Yükselteç Katı .....	22
3.3.3.Zarf Detektörü .....	28
3.3.4.Akım Referansı.....	29
3.3.5.AC Bağlaşma ve Alçak Geçiren Süzgeç Katı .....	31
3.3.6.İkinci Yükselteç Katı.....	35
3.4.Işık algılayıcısı .....	38
3.5.Ton çözme devresi.....	41
3.5.1.Band Geçiren Süzgeç (BGS).....	42
3.6.Referans İşareti Üreticisi .....	44
3.7.Kontrolör Katı .....	45
3.7.1.MSP430F2274 donanım özellikleri.....	48
3.7.2.CC2500 donanım özellikleri .....	53
3.8.Tez Donanımı Baskı Devresi .....	55
4.KDA PLATFORMUNDA KULLANILAN YAZILIM.....	57

4.1.İşletim sistemi.....	57
4.2.Haberleşme protokolü SimpliciTI .....	60
4.2.1.Temel yığın ve özellikleri.....	62
4.2.2.SimpliciTI ağ mimarisine genel bakış.....	64
4.3.Zaman Eşleme .....	73
4.3.1.Tez’de kullanılan zaman eşleme algoritması .....	75
4.3.2.Pair-Wise algoritması .....	77
5.ÇALIŞMADA ÖNERİLEN SENARYO .....	80
5.1.Giriş .....	80
5.2.Yer Bulma Sistemi .....	84
5.2.1.RSSI Değerine Bağlı Uzaklık Belirleme.....	84
5.2.2.Trilateration Yöntemi .....	89
6.SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	94
KAYNAKLAR.....	96
ÖZGEÇMİŞ.....	99

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1: KDA platformunda bulunan modüller .....	17
Şekil 3.2: Yukarı (step-up) gerilim dönüştürücü .....	18
Şekil 3.3: Referans gerilim üretici .....	19
Şekil 3.4: Güç katının tam şeması .....	20
Şekil 3.5: AGC Katının Blok Şeması .....	21
Şekil 3.6: İdeal AGC Transfer Fonsiyonu .....	22
Şekil 3.7: Ayarlanabilir kuvvetlendirici ve Fark Yükselteci .....	22
Şekil 3.8: Leg Kompanzasyon Devresi .....	24
Şekil 3.9: transfer fonksiyonun genlik ve faz yanıtı .....	25
Şekil 3.10: Ön yükselteç devresi Genlik-Frekans Yanıtı .....	28
Şekil 3.11: Zarf Dedektörü .....	29
Şekil 3.12: Geliştirilmiş Wilson Akım Kaynağı [21] .....	30
Şekil 3.13: Akım kaynağı ve akım referansı devresi .....	31
Şekil 3.14: AGS ve YGS .....	32
Şekil 3.15: AGS Genlik-Frekans Yanıtı .....	33
Şekil 3.16: AGS ile birlikte önyükselteç genlik-frekans eğrisi .....	33
Şekil 3.17: YGS Genlik-Frekans Yanıtı .....	34
Şekil 3.18: AGS, YGS ve önyükselteç devrelerinin toplam genlik-frekans eğrisi .....	35
Şekil 3.19: Geniş Bantlı Yükselteç Katı .....	36
Şekil 3.20: Geniş Bantlı Yükselteç Katı Genlik-Frekans Yanıtı .....	36
Şekil 3.21: Süzgeçler ve yükselteçlerin genlik-frekans yanıtı .....	37
Şekil 3.22: Ön Yükselteç Çıkışında İşaretler .....	37
Şekil 3.23: Fotodiode ışık algılayıcısı .....	38
Şekil 3.24: Sensörün Spectral Tepkiselliği .....	39
Şekil 3.25: Çeşitli Işık Kaynaklarına Ait Dalga Boyları Tayfı[22] .....	39
Şekil 3.26: LMC567 Tümlleşik Devresi Genel Uygulama Devresi .....	41
Şekil 3.27: Ton Çözme Devresi .....	41
Şekil 3.28: MFB Yapıdaki BGS .....	43
Şekil 3.29: BGS Genlik-Frekans Yanıtı .....	43
Şekil 3.30: Ön yükselteç, AGS, YGS, BGS'e ait , parametreleri .....	44
Şekil 3.31: Buzzer Sürme Devresi .....	44
Şekil 3.32: ez430-RF2500 Geliştirme Kiti .....	45
Şekil 3.33: Geliştirme Kartı Blok Şeması .....	45
Şekil 3.34: Konektör bağlantıları .....	46
Şekil 3.35: MSP430F2274 'un Bacak Bağlantıları .....	50
Şekil 3.36: MSP430F2274 'un Fonsiyonel Blok Diyagramları .....	50
Şekil 3.37: Saat kaynakları ve saklayıcı seçimlerine ait blok şema .....	51
Şekil 3.38: CC2500 Blok Şeması .....	54
Şekil 3.39: CC2500 bacak bağlantıları .....	54
Şekil 3.40: CC2500 Tipik Uygulama Devresi .....	55
Şekil 3.41: Baskı Devre Üst Katmanı .....	56
Şekil 3.42: Baskı Devre Alt Katmanı .....	56
Şekil 3.43: Baskı Devre Üst Katmanı Eleman Yerleşimi .....	56

Şekil 3.44: Baskı Devre Alt Katmanı Eleman Yerleşimi .....	56
Şekil 4.1: Klasik bir işletim sistemi mimarisi .....	59
Şekil 4.2: SimpliTi Yığın Modülleri[29].....	61
Şekil 4.3: SimpliTi Mimarisi.....	64
Şekil 4.4: Uçtan uca bağlantı.....	67
Şekil 4.5: AP üzerinden sakla ve gönder yaparak uçtan uca bağlantı .....	67
Şekil 4.6: RE üzerinden uçtan uca bağlantı.....	68
Şekil 4.7: AP ve RE üzerinden uyuyan duyargaya uçtan uca bağlantı .....	68
Şekil 4.8: SimpliTi kullanılarak gerçekleştirilmiş bir ağ senaryosu .....	68
Şekil 4.9: SimpliTi genel çerçeve yapısı[29] .....	71
Şekil 4.10: A ve B düğümleri arasındaki mesajlaşma ve zaman bilgileri .....	77
Şekil 4.11: A ve B düğümleri arasındaki mesajlaşma.....	77
Şekil 4.12: Veri paketi yorumlama alt programı ve zaman eşleme akış diyagramı .....	79
Şekil 5.1: Zarf grafiği-1 .....	82
Şekil 5.2: Zarf grafiği-2.....	83
Şekil 5.3: Zarf grafiği-3.....	83
Şekil 5.4: Yerden yansıma ile alıcıya ulaşan işaret .....	86
Şekil 5.5: Alıcı gücü ve mesafenin bağlantısı .....	87
Şekil 5.6: Mesafeyi bulmak için kullanılan referans işaretler .....	89
Şekil 5.7: Konum belirlemek için tek referans düğümü.....	90
Şekil 5.8: Konum belirlemek için iki referans düğümü .....	90
Şekil 5.9: Konum belirlemek için üç referans düğümü.....	91

## TABLolar DİZİNİ

Tablo 2.1: Çeşitli kablosuz duyurga ağlarının karşılaştırılması .....	5
Tablo 3.1: Işıklılık şiddetine örnekler .....	39
Tablo 3.2: ez430-RF2500'e ait pin açıklamaları .....	46
Tablo 3.3(Devam): ez430-RF2500'e ait pin açıklamaları.....	47
Tablo 3.4(Devam): ez430-RF2500'e ait pin açıklamaları.....	48
Tablo 4.1: İşletim sistemlerinin karşılaştırılması .....	58
Tablo 4.2: İş düzenleyicinin çalışma kodu .....	59
Tablo 4.3: NWK Uygulamaları .....	66
Tablo 4.5: SimpliciTI Çerçeve Alanları .....	70
Tablo 4.6: Cihaz bilgi bit değerleri .....	72
Tablo 4.7: SimpliciTI ve ZigBee özellikleri .....	72
Tablo 4.8: SimpliciTI ve diğer bazı ağ protokolleri .....	73



## SİMGELER

### Kısaltmalar

AC	Alternative Current
ACK	Acknowledgement
ADC	Analog Digital Converter
AGC	Automatic Gain Control
AGS	Alçak Geçiren Süzgeç
AMR	Automatic Meter Reading
AP	Access Point
API	Application Programming Interface
BGS	Band Geçiren Süzgeç
BSS	Band Söndüren Süzgeç
BW	Bandwidth
CCA	konuşmadan-önce-dinleme disiplininin bir parçası
CMRR	Common Mode Rejection Ratio
DCO	Digital Controlled Oscillator
DMTS	Delay Measurement Time Synchronization
dB	Desibel
dBm	Desibel-MiliWatt
dBW	Desibel-Watt
DC	Direct Current
ED	End Devices
FEC	Forward Error Correction
FSK	Frequency Shift Keying
FTSP	Flooding Time Synchronization Protocol
GBP	Gain Bandwidth Product
GFSK	Gaussian Frequency Shift Keying
HAL	Hardware Abstraction Layer
Hz	Hertz
IF	Intermediate Frequency
ISM	Industrial Science Medicine
Kb	Kilobyte
KDA	Kablosuz Duyarga Ağı
KHz	Kilo-Hertz
Ksps	Kilo Sample Per Second
LAN	Local Area Network
LBT	Listen-Befor-Talk
LLC	Logicial Link Control
LNA	Low Noise Amplifier
LTS	Lightwight Time Synchronization
MAC	Media Access Control
MFB	Multiple Feedback
MCU	Microcontroller Unit

MHz	Mega-Hertz
MRFI	Minimal RF Interface
MSK	Minimum Shift Keying
NWK	Network Layer
Op-Amp	Operational Amplifier
OOK	On/Off Keying
PGA	Programmable Gain Amplifier
PHY	Physical Layer
ppm	Parts Per Million
Q	Quality Factor
RAM	Random Access Memory
RBS	Reference Broadcast Synchronization
RE	Range Extender
RF	Radio Frequency
ROM	Read Only Memory
RSSI	Received Signal Strength Indicator
RTC	Real Time Clock
RX	Receive
SMD	Surface Mount Device
SNR	Signal-to-Noise Ratio
SoC	System-on-chip
SRD	Short Range Devices
TIA	Transimpedance Amplifier
TS/MS	Tiny- Sync and Mini-Sync
Tsync	Time Sync
TPSN	Timing-Sync Protocol for Sensor Network
TX	Transmit
UI	User Interface
VGA	Variable Gain Amplifier
YGS	Yüksek Geçiren Süzgeç

# KABLOSUZ DUYARGA AĞLARINDA VERİ BİRLEŞTİRİLMESİ

Tevfik KADIOĞLU

## Anahtar Kelimeler:

KDA, Konum Belirleme, Eşleme, Algılayıcılar, Düşük Güç Tüketimi, Simpliciti, Zigbee

**Özet:** Mikro elektro-mekanik sistem (MEMS), telsiz iletişim ve sayısal elektronik teknolojilerinde son yıllarda gerçekleşen gelişmeler düşük maliyetli, güç ihtiyacı az olan, çok fonksiyonlu duyargaların üretilebilmesine olanak sağlamıştır. Genellikle bir kibrit kutusu büyüklüğünde, bazı uygulamalarda bir santimetreküp ve daha küçük olabilen bu duyargalar kısa mesafelerde telsiz ortam üzerinden birbirleri ile haberleşebilmektedirler. Algılama, haberleşme ve işlem güçlerine sahip küçük duyargalar binlerce duyarganın birbiri ile işbirliği yaparak bir nesne veya olayı algılanmalarına dayanan telsiz duyarga ağları fikrinin oluşturulmasını sağlamıştır. Kablosuz duyarga ağları kullanılarak ortamla etkileşimli olarak bilgi toplanabilmekte, bu bilgi kolektif bir şekilde değerlendirilebilmekte ve gerektiğinde bilgiye dayalı olarak ortam üzerinde değişiklikler yapılabilmektedir.

Bu çalışmada, kablosuz duyarga ağları kullanılarak, belirli bir bölgedeki canlının veya nesnenin takip edilmesi amaçlanmıştır. İlk olarak kablosuz duyarga ağlarının donanım ve yazılım özellikleri incelenmiş ve uygulama alanlarına göre donanım ihtiyaçları belirtilmiştir. Sonraki bölümde, tezde kullanılan donanımlara değinilmiş ve cismin yerinin belirlenmesine yönelik algoritmalar incelenmiştir. Kablosuz duyarga düğümünde algılayıcıların bulunduğu analog işaret işleme kartı gerçekleştirilmiş ve bu kartla birlikte düğümlerde gerekli olan yazılımlar sağlanmıştır. Kablosuz duyarga ağı kurularak, ses, ışık ve sıcaklık kaynağı özelliklerinden bir veya birkaçını bulunduran bir nesnenin tespit ve takip edilmesi için algılayıcılardan veriler kablosuz olarak toplanmış ve ana düğümde işlenmiştir.

## DATA FUSION IN WIRELESS SENSOR NETWORKS

Tevfik KADIOĞLU

### **Keywords:**

WSN, Localization, Synchronization, Sensor, Low Power, SimplicITI, Zigbee

**Abstract:** Micro-electro mechanic systems (MEMS), new innovations of wireless communication and digital electronic technologies have provided facilities to produce multi-functional, energy-efficient, and less costly sensors in recent years. These sensors, generally the size of a match box and smaller in some applications, are able to communicate with each other without a physical contact (wireless environment) in short distances. Tiny sensors which have the ability of perception, communication and processing brought about the idea of a network of wireless sensor based on perception of an object by the cooperation of thousands of tiny sensors. Data can be collected interactively in the system by using the wireless sensor network. These data can be evaluated collectively and the changes can be applied to the system based on the data when required. The aim of this study was to follow targets like live units or objects in a certain area by using wireless sensor network

First, the attributes of both the hardware and the software of the wireless sensor network were examined and hardware needs were determined according to the application fields. In the following part, the hardware used in the thesis was mentioned and the algorithms directed towards defining the locations of the objects were examined. The analog signal processing card in which sensors exist, is located in the node of the wireless antenna and the software needed in the nodes was provided by this card. By setting up the wireless sensor network, in order to detect and follow an object which has one or more characteristics such as being a source of sound, light or heat, the data are collected wirelessly from the sensors and processed in main node.

## 1. GİRİŞ

Telsiz Duyurga ağları, sıcaklık, ses, titreşim, basınç, hareket ve kirlilik gibi çevresel değişimleri izlemek için duyargaların birlikte hareket ederek belirli bir görevi başarabildikleri bir çeşit kablosuz ağdır. Bu ağda, küçük boyutlarda, otonom, genelde pil ile çalışan duyurga düğümleri bulunur. Her bir düğüm, algılama, veri işleme ve haberleşme özelliklerine sahiptir.

Günümüz teknolojisinin yardımıyla, kısa mesafelerde kablosuz ortamlarda birbirleriyle haberleşebilen, algılama ve işlem yeteneğine sahip duyargaların geliştirildiği ve bunların maliyetlerinin düşük, güç ihtiyacının az fakat fonksiyonlarının fazla olması araştırmacılar için yeni olanaklar doğurmuştur. Bir nesne veya olayın algılanması için, haberleşme, algılama ve işlem gücüne haiz bu kablosuz duyargalardan yüzlercesinin birbirleriyle müşterek çalışmasını sağlamak mümkün olmaktadır.

Bu çalışmalar için en önemli ihtiyaçlardan biri güçtür. Duyargaların çalışması için, kapasiteleri sınırlı pillerle depolanan enerjiden faydalanılır ve bu enerji kaynaklarının değiştirilmesi olanağı her zaman mümkün değildir. Güç kaynaklarının ebatlarının küçültülüp, kapasitelerinin arttırılması ve duyurga ağının çalışma ömrünün uzatacak özellikle güç tüketimi düşük tekniklerin geliştirilmesi üzerinde durulmaktadır.

Kablosuz duyurga ağlarının bir önemli özellikleri de birbirlerine yardımlaşarak çalışabilmeleridir. Ebatları çok küçük ( $1\text{cm}^3$  gibi) olduğundan hedeflenen bölgelere gelişi güzel atılabilirler ve kendi aralarında haberleşerek, elde etmiş oldukları verileri kısmen işleyerek merkezi sistemi gerekli görülüyorsa bilgilendirebilirler. Duyargalardan gelen bilgilerin merkezi sisteme taşınabilmesi için iletişim ağının daha önceden özenle planlanması gereklidir.

Bu çalışmanın ilk bölümlerinde kablosuz duyurga ağları tanıtılmış özellikleri hakkında bilgi verilmiştir. Tasarım ve geliştirilmelerinde uygulama bağımlı sistemler

oldukları için, özellikler anlatılırken uygulama alanlarından da bahsedilmiştir. Uygulama alanları ve her bir düğümün nasıl etkinleştirilmesi gerektiği arasındaki bağlantılar tartışılmıştır.

Çalışmanın son bölümü, kablosuz duyarga ağları kullanılarak belirli bir bölgede hareket eden bir nesnenin, ışık yayma, ses çıkarma gibi özellikleri algılanarak yerinin tespit edilmesi ve hareket yörüngesinin bulunması amaçlanmaktadır. Bu amaç doğrultusunda yapılan çalışmalar ve deneylerden bahsedilmiş, deney sonuçları sonuç bölümünde tartışılmıştır. Duyarga ağlarının çok geniş bir çalışma alanı oluşturduğu göz önüne alınırsa, haberleşme algoritmalarının etkinleştirilmesi, güç tüketiminin minimize edilip ağın çalışma ömrünün uzatılması gibi konular bu çalışmanın ilgi odağında değildirler.

## 2. KABLOSUZ DUYARGA AĞLARI VE GENEL ÖZELLİKLERİ

Kablosuz duyarga ağlarını oluşturan her bir düğüm, uygulamaya konulacak olan projenin özelliğine göre geliştirilir. Bu nedenle kablosuz duyarga ağlarının özelliklerini incelerken uygulama alanlarını da göz önüne almak gereklidir.

Düğümde bulunan her bir özellik için hem enerjiye hem de iletişim ağına ihtiyaç vardır. Düğümler içinde yer alan fakat projede kullanım amacı olmayan her özellik düğümde karışıklığa sebep olacak, enerji tüketimini arttıracak ve güvenilirlik katsayısını düşürecektir.

Duyarga ağlarının uzun süre tek başına çalıştığı ve çıkabilecek bir sorunda servis sağlanabilmesinin güç olduğu düşünüldüğünde, güvenilirlik olgusunun ne kadar önemli olduğu ortaya çıkar. Bu nedenle, düğümlerin sahip olacakları özellikler, direkt olarak uygulama alanlarına bağlıdır.

Kablosuz duyarga ağlarının belirgin özellikleri önem sırasına göre;

- Çalışma ömrü
- Kapsama alanı
- Güvenilirliği
- Geliştirme ve üretim maliyetleri
- Cevap süresi
- Zamanla doğruluğu
- Güvenliği
- Etkin örnekleme oranıdır.

Bu özellikler aşağıda ayrı ayrı incelenecektir. Ancak bilinmelidir ki, bu özelliklerin birbirleriyle sıkı bir bağı bulunmaktadır. Mesela, örnekleme oranının düşürülmesi, düğümün çalışma ömrünü önemli ölçüde arttırmaktadır.

Bu bölümün amacı, bu özellikleri ve bu özellikler arasındaki bağları incelemektir. Yapılan çalışma, uygulama alanının ilk örneği olduğu için, bu çalışmada bu özelliklere göre düğümün etkinleştirilmesi yapılmamıştır. Fakat hedefe ulaşıp ulaşılamayacağı düğüm üzerinde olması gereken özellikler düşünülerek sonuç bölümünde tartışılmıştır.

## 2.1. Çalışma Ömrü

Her kablosuz duyarga ağının en önemli ve en belirgin özelliği beklenen/hesaplanan çalışma ömrüdür. Çalışma ömrünü kısıtlayan en önemli etken de enerji kaynağının sınırlı olmasıdır. Kablosuz duyarga ağının çalışma ömrü, ağdaki bir düğümün çalışma ömrü kadardır. Bu yüzden düğümler geliştirilirken, her bir düğüm kendi enerji kaynağını, ağın ömrünü maksimum yapacak şekilde kullanır.

Birçok uygulamada, kablosuz duyarga ağının ömrü, düğümlerin ortalama ömürleri kadar değil, en kısa ömürlü duyarganın ömrü kadardır. Örnek olarak, kablosuz güvenlik ağları uygulaması göz önüne alındığında, her bir düğümün ömrü birkaç yıl kadardır. Fakat herhangi bir nedenle bir düğümün enerjisinin beklenenden erken bitmesi, güvenlik sistemini etkisiz kılacaktır.

Bazı durumlarda, örnek olarak bir bina içine yerleştirilmiş olan kablosuz duyarga sistemlerinde, düğümlerin enerjilerini bina içerisindeki güç hatlarından alabilme olanağı varsa, mümkün olan her düğümün güç kaynağına bağlanacak şekilde yerleştirilmesi söz konusu olabilir. Alternatif bir başka yöntem ise, düğümün kendi enerjisini üretmesidir. piezoelektrik jeneratörler veya güneş panelleri kullanılarak düğüm kendi harcadığı enerjiyi üretebilir. Tabii bunu yapabilmesi için, düğümün enerji tüketiminin oldukça az olması gerekmektedir. İlerleyen teknoloji sayesinde şu anda aktif halde  $1\mu\text{A}$  enerji çeken mikrodenetleyiciler (msp430 gibi) bulunmaktadır. (Tablo 2.1'de platformlar karşılaştırmalı olarak verilmiştir.) Gene anlık enerji tüketimini arttırmamak için düğümlerin farklı çevresel birimlerini aynı anda çalıştırmak yerine, farklı zamanlarda çalıştırması şeklinde yöntemler kullanılabilir. Enerji üretiminin kesilebilmesi ihtimaline (güneş panellerinin ışık alamaması gece olması durumu gibi...) karşın düğüme enerji üreteçlerinin yanında enerji depolama



kabiliyetinin de eklenmesi düşünülebilir. Düğüm bu senaryoda, enerji üretilebilir bir durumdaysa, üretilen enerjiyi depolar, enerji kesilmesi durumunda ise depolanmış enerjiyi kullanılarak çalışmaya devam eder.

Tablo 2.1: Çeşitli kablosuz duyurga ağlarının karşılaştırılması

Özellik	Imote	Micaz	Telos	Mica2	Imote2
<b>Mikrodenetleyici tipi ve min Hızı [MHz]</b>	32 bit ARM, 12	8 bit Atmel, 8	16 bit TI, 8	8 bit Atmel, 8	32 bit XScale, 13
<b>Maksimum Hızı [MHz]</b>	40	16	16	16	496
<b>Radyo</b>	Bluetooth	802.15.4 – ZigBee	802.15.4 – ZigBee	300-900 MHz	802.15.4 – ZigBee, Bluetooth/802.11
<b>Band genişliği [kB]</b>	720	250	250	15	250, 720/11000
<b>Güç tüketimi Aktif/RX/TX [mA]</b>	15/24/24	8/20/18	1/20/18	8/10/27	40/20/18
<b>Güç tüketimi uykuda [µA]</b>	1-250	27	6	19	1-100
<b>İşletim sistemi</b>	TinyOS	TinyOS	TinyOS	TinyOS	TinyOS

Bir kablosuz duyurga ağında çalışan düğümler incelendiğinde en çok güç harcayan birim, düğümün kablosuz haberleşmeyi sağlayan birimidir. Örnek olarak, mikrodenetleyici aktif modda 270 µA harcarken, bir kablosuz haberleşme ünitesi alıcı modunda(RX) 18.8 mA harcarken(CC2420), verici modunda(TX) 17.4 mA harcamaktadır. [1,2]

Görüldüğü üzere minimum güç tüketimini sağlayabilmek için, haberleşme modülünün mümkün olduğunca az açık tutulması ve kullanılması gerekir. Bunu sağlayabilmek için, kablosuz haberleşme protokolünün olabilecek en az sürede veri iletimini sağlaması, tekrar gönderme ve protokolün devamlılığını sağlayan paket gönderimlerini minimumda tutacak şekilde etkinleştirilmiş olması gerekmektedir. Alternatif olarak, eğer düğümler birbirleriyle daha düşük güçte haberleşebilecekse, anten çıkış gücünün azaltılması da güç tüketimini azaltacaktır.

## 2.2. Kapsama Alanı

Bir kablosuz duyurga ağında çalışma ömründen sonraki en önemli özelliklerden biri, düğümün kablosuz haberleşme yapabileceği kapsama alanıdır. Kapsama alanı sadece tek bir duyarganın haberleşme yapabildiği yer olarak düşünülmemelidir. Düğümler arası haberleşme teknikleri sayesinde, teorik olarak bir kablosuz duyurga ağının kapsama alanı sonsuza kadar uzatılabilir. Ancak belirtmek gerekir ki, kablosuz duyurga ağının kapsama alanının belirli bir değerden daha da büyümesi, düğümler arası haberleşme protokollerinin daha fazla çalışmasına neden olmakta ve dolayısıyla enerji tüketimini ciddi bir şekilde arttırmaktadır ve ağın ömrünü azaltmaktadır.

Kablosuz haberleşme protokollerinin bir özelliği olarak, istenildiği takdirde kapsama alanı yeni düğümler ekleyerek veya çıkarılarak değiştirilebilir. Bir kullanıcı ilk önceleri az sayıda düğümlerle oluşturduğu kablosuz duyurga ağına sonraları yeni düğümler ekleyebilir veya tersi de geçerlidir. Burada unutulmaması gereken nokta, kablosuz duyurga ağının, eklenen yeni düğümleri destekleyebilmesidir. Bu gerek örnekleme hızının düşmemesi gerek kablosuz haberleşme protokolünün yeni eklenenler de dahil olmak üzere o kadar sayıda düğümü haberleştirebilme yeteneği olmasıdır.

## 2.3. Güvenilirliği

Bir sistemin veya bir modülün, istenen koşullarda istenilen süre içinde fonksiyonlarını yerine getirebilme olasılığına güvenilirlik denir. [3] Kablosuz duyurga ağları, uzun yıllar yazılımsal veya donanımsal bir sorun ile karşılaşmadan çalışabilmelidir. Buradaki limit genel olarak, düğüme ait olan enerji kaynağı bitene kadar olarak tanımlanır. Kablosuz duyurga biriminin fiziksel yeri kimi uygulamalarda bilinmemekte gene duyurga birimine kimi uygulamalarda da maliyet sebepleri ile servis verilemeyebilir. Bu tip nedenlerden dolayı kablosuz duyurga ağındaki her bir düğüm, uzun süreler boyunca hatasız çalışabilmelidir.

İlk ayarlama ek olarak, düğümler olası değişken çevresel koşullara uyum sağlayabilmelidirler. Bu, kimi zaman düğümlerin fiziksel yerlerinin değişmesi kimi

zaman çevredeki haberleşmeye engel olacak büyüklükte cisimlerin yer değiştirmesi sonucu girişime maruz kalma şeklinde olabilir. [4–6]

Yer değişimlerinin fark edilebilmesi veya olası girişimlerin engellenmesi, haberleşme protokolündeki karmaşıklığı artırır, çoğu zaman bu karmaşıklık band genişliğine ek yükler getirir ve düğümün daha fazla enerji harcayarak çalışma ömrünü olumsuz yönde etkiler. Aynı şekilde, protokoldeki karmaşıklıklar, yazılımlardaki olası böceklerin gizli kalmasını kolaylaştırarak, kablosuz duyurga birimlerinde kilitlenmelere neden olabilir. Bunların her biri güvenilirliği olumsuz etkiler. Duyurgaların güvenilirlikleri, genellikle Poisson dağılımına dayanan (2.1) denklemi ile modellenir: [7]

$$R_k(t) = e^{-\lambda_k t} \quad (2.1)$$

$\lambda_k$ : k numaralı duyurganın hata yapma oranı

t: duyurganın hata yapma olasılığının test edildiği zaman aralığı

Haberleşme protokolleri ve algoritmalar çeşitli hataya duyarlılık seviyeleri ile tasarlanabilirler. Bu tamamıyla duyurganın çalışacağı fiziksel koşulların ne derece sert olduğuna göre ayarlanır. Örnek olarak, savaş alanlarında kullanılacak bir sistem ile bir serada sıcaklık ve nem ölçecek olan sistemin hataya karşı toleranslarının aynı olmaması gerekliliği verilebilir.

#### 2.4. Geliştirme, Üretme ve Kurulum Maliyetleri

Kablosuz duyurga ağlarının dikkat çeken özelliklerinden biri de kurulum maliyetlerinin çok az olmasıdır. Duyurga ağlarını kullanan insanların, bir duyurganın nasıl çalıştığını veya haberleşme protokolünün arka planında koşan algoritmaları bilmeleri beklenmemelidir. Kablosuz duyurga ağları, kolay bir şekilde onu kullananlar tarafından da kurulabilmektedir. Bunun sırrı, düğümlerin birbirlerini tanıyıp ona göre kendilerini ayarlayabilmelerinden gelir. Bu sayede kullanıcı, hiçbir ayar yapmaya gerek duymadan düğümleri kolayca yerleştirir. (tabii burada düğümlerden herhangi birinin ağın diğer üyeleriyle bağlantıda olan bir düğümün kapsama alanında olmasına özen gösterilmelidir.)

Her bir düğümün otonom olarak kendini ayarlayabilmesi, etrafında bulunduğu düğümleri tanınması, bunların arasındaki haberleşmenin kalitesini ve yeni olası haberleşme olasılıklarını bulması gibi bilgileri takip etmesi gerekliliğini doğurur.

Kurulum maliyetleri, geliştirme maliyetlerine göre daha azdır. Geliştirme esnasında, sistemlerin bozulması veya yazılımlarının çökmesi gibi olumsuzlukların tespiti için çok miktarda test yapılması gereklidir. Bir güvenlik uygulamasında kullanılacak kablosuz duyurga ağlarının oldukça dayanıklı olması gereklidir. Bu dayanıklılık gerek fiziksel zorluklara ve çevresel bozuculara karşı hem de ağdaki bazı düğümlerin sabote edilerek iletişimlerini kaybetmesi ihtimaline karşıdır. Bu durumda düğümler haberleşme için alternatif yollar bulabilmelidirler. Tabii bu tip testler ve çözümler maliyeti arttırır.

Aynı şekilde, sistem farklı uygulamalara uyarlanabilir olması açısından da mümkün olduğunca modüler yapıda olmalıdır. Bu sayede geliştirilmiş olan duyurga ağı farklı uygulamalara kolayca uyarlanabilir. Fakat bu şekilde modülerlik de geliştirme maliyetini arttırır.

Üretim maliyetleri ise sistemden beklenen dayanıklılığa ve istenen algılayıcı verilerine göre değişiklik gösterir. İstenen algılama çeşitliliği arttıkça, karmaşıklık ve kullanılan malzeme miktarı artar ve maliyeti arttırır.

## **2.5. Cevap Süresi**

Girişte de belirtildiği üzere, özellikler uygulamaya bağımlıdır. Bir alarm uygulaması düşünüldüğünde, alarm durumu oluştuktan ne kadar süre sonra alarm bildirildiği veya alarm durumuna geçtiği kritik derecede önemlidir. Çevresel koşulları algılayan bir uygulama düşünüldüğünde, cevap süresi önem derecesini yitirmektedir. Alarm durumu, periyodik olmayan bir durum olduğundan, fabrika veya endüstriyel makineler ile ilgili veri toplayan bir ağda alarm durumu oluştuğu zaman, sistemin algılayıcı verilerinden ziyade alarm durumunu haber veren mesajlara öncelik vermesi gerekir. Ancak bu şekilde belirli bir cevap süresini garanti eden uygulamalar gerçek dünyada uygulama alanı bulabilir. Bu noktada düşük güç tüketimi ile cevap süresi

birbiri ile ters orantılı davranır. Eğer bir sistemin çalışma periyodu ne kadar az ise haberleşme modülü de o kadar az açık kalacağı için çalışma ömrü daha uzun olabilir. Tabii böyle bir uygulamanın alarm gibi uygulama alanlarının gerektirdiği özellikleri desteklemesi beklenemez.

## **2.6. Zamanla Doğruluk**

Bazı evresel koşulları algılayan uygulamalarda ve nesne veya canlı takip uygulamalarında, olayın tanımlanabilmesi için algılayıcılardan alınan verilerin zaman ekseninde korelasyona tabi tutulması gereklidir. Korelasyon yapılabilmesi için, düğümler arasında zaman eşlemesi bulunmalıdır. Zaman eşlemesinin doğruluğu, elektromanyetik dalgaların yayılım hızına ve kablosuz duyurga düğümünün zaman eşlemesini sağlayan algoritmasının gelişmişliğine bağlıdır. Bir binanın sıcaklığının o andaki ortalama değerisi isteniyorsa birkaç saniyelik doğruluk yeterli iken, aynı binanın sismik davranışı inceleniyorsa mikro saniyeler bazında doğruluk gerekli olacaktır.

Zamanla doğruluğu sağlamak için, kablosuz duyurga ağında belirli bir evrensel zamanın tanımlanması gerekir. Diğer düğümler ise, bu evrensel zamanı tutan düğümden aldıkları komut ile algılayıcılarını çalıştırıp cevap verecekler veya bu evrensel zamana göre kendilerini kalibre edip ona göre çalışacaklardır. Düğümlerin kendilerini evrensel bir zamana göre ayarlarlarken beklenen doğruluk, haberleşme modülünün ne sıklıkta haberleşmesi gerektiğini ve dolayısıyla da kablosuz duyurga ağının çalışma ömrünü etkiyecektir.

## **2.7. Güvenlik**

Çevresel koşulları izleme uygulamasında, sıcaklık ve ışık bilgilerinin toplanması çok zararsız gibi gözükse de, bu bilgileri güvende tutmak aslında çok önemlidir. Bir bina için uygulandığı düşünüldüğünde, o binadaki ofislerin belirgin kullanım saatleri veya güvenlik zaafıları hakkında bilgiler elde edilebilir. Kötü niyetli kişilerin ellerinde bu bilgiler, fiziksel bir zarar verme veya stratejik bir saldırı düzenleme olarak geri dönebilir. Bu yüzden, kablosuz duyurga ağları, topladıkları ve birbirlerine aktardıkları bilgilerin başkaları tarafından ele geçirilemeyecek şekilde güvenlikli olmalarını sağlamak zorundadır.

Farklı kodlamaların ve şifreleme algoritmalarının kullanımı güvenlik sorunu çözse de bir yandan da güç tüketimini ve kablosuz ağın daha fazla band genişliğine ihtiyaç duymasına neden olmaktadır. [8,9] Her bir pakette, şifreleme ve şifre çözme için ekstra veri işleme gerekecek ve düğümleri doğrulamak için de ekstra bitler kullanılacaktır. Bu durum birim zamanda alınabilecek örnek sayısını azaltacak ve ağın çalışma ömrünü azaltacaktır.

## **2.8. Etkin Örnekleme**

Bir veri toplama uygulaması olarak çalışan ağda, etkin örnekleme zamanı en önemli parametre olarak ortaya çıkar. Etkin örnekleme zamanı; algılayıcı verilerinin toplandığı bir ağda her bir algılayıcının verisinin okunup, veri toplama merkezine ulaştırılmasına kadar geçen süre olarak tanımlanır. Çevresel veri toplama uygulamalarında algılayıcı verilerinin 1–2 dakikalık periyotlarla toplanmasına ihtiyaç vardır. Düğümün çalışacağı periyot düşünülürken, algılayıcıdan örnek alınıp bunun haberleşme modülü ile aktarılmasına ilaveten, haberleşme paketinin düğümler üzerinden veri toplama merkezine gidene kadar harcadığı zaman da göz önünde bulundurulmalıdır. Aynı şekilde, bir düğüm sadece veri toplama işi yapmayacak, onun üzerinden merkeze ulaşacak bütün verileri de merkeze doğru gidecek şekilde iletecektir. Bu da, kablosuz duyurga ağındaki düğüm sayısının artması ile düğümlere binen iletim yükünün artacağı ve etkin örnekleme süresinin de artacağı anlamına gelmektedir. [10]

## **2.9. Boyut**

Bir duyurga ağındaki her bir düğüm, verici-alıcı, işlemci, güç kaynağı ve algılama birimi olmak üzere dört temel parçadan oluşur. Bunlara ek olarak, uygulamaya bağlı olarak, yer konumlandırma sistemi, yönlendirici de bulunabilir. Bir duyurga biriminde birden fazla algılayıcı da olabilir. Örnek olarak, hem ısı hem titreşim ölçmesi istenebilir. Eklenen her bir ek parça duyurganın boyutunu da büyültür. Bir duyurganın normal koşullarda bir kibrit kutusuna sığabilecek kadar küçük olması istenir. [11]

Bazı uygulamalarda ise, duyarganın havada uçabilecek kadar küçük ve hafif olması dahi istenebilmektedir. Bu amaçla 1cm<sup>3</sup>'lük bir hacme sığabilen duyargalar geliştirilmiştir. [12]

## 2.10. Uygulama Alanları

Duyarga ağları, akustik, kızılötesi, termal, ivme, manyetik ve benzeri algılayıcılar kullanarak aşağıdakilere benzer algılamalar yapabilmektedir.

- Isı
- Nem
- Araç hareketi
- Işık
- Basınç
- Ses
- İvme değişiklikleri
- Toprak ve sıvı özellikleri
- Nesnelere üzerindeki gerilimler ve burulmalar
- Nesnelere hız, istikamet ve hacim gibi özellikleri
- Nesnelere tespiti

Duyargaların kablosuz olarak haberleşmeleri konsepti ve algılayıcılardaki çeşitlilik, kablosuz duyarga ağlarına çok çeşitli uygulama alanları sunmaktadır. Bunlara örnek olarak; uzay, askeri, çevre, ticari, kimyasal işlem, ev, doğal afet gibi uygulama alanları verilebilir.

Duyarga ağları,

- Bir canlının üzerine
- Bir binaya
- Bir nehre

- Hızla hareket eden bir aracın üzerine
- Bir okyanusun dibine
- Bir fırtınanın içine
- Bir fırtınanın içinde deniz yüzeyine
- Makinelerin içine
- Bir savaş alanında düşman hatlarının gerisine
- Biyolojik veya kimyasal kirlilik bölgelerine

yerleştirilmek veya atılmak suretiyle çalışabilmelidirler.

Bu çalışmada, kablosuz duyurga ağlarının uygulama alanları 4 temel başlıkta incelenecektir. Bunlar, güvenlik, çevresel koşulları izleme ve belirli bir alanda bir nesneyi veya canlıyı takip etmeyi amaçlayanlar olarak sınıflandırılabilir. Bu üç başlığa ilaveten, bir dördüncü başlık ise bu bahsedilen amaçların birden fazlasını içeren karma durumlar olarak ele alınabilir.

#### **2.10.1. Çevresel koşulları izleme**

Çevresel koşulları izleme uygulaması, temel olarak bir araştırmacının belirli bir bölgeye yayılmış çeşitli algılayıcı verilerini belirli periyotlarla toplamak istemesi ihtiyacına cevaben ortaya çıkmıştır. Araştırmacı, yüzlerce farklı noktadan çeşitli algılayıcı verilerini tek bir merkezde toplar ve bunları gerçek zamanlı veya depolayarak belirli aralıklarla inceler. [13,14]

Çevresel değişkenlerin durumunu gösteren bu veriler depolanarak, uzun süreli veya kısa süreli istatistikler oluşturulabilir. Burada dikkat edilmesi gereken husus, verilerin okunmuş periyodunun sabit tutulması ve algılayıcıların yerlerinin değiştirilmemesidir. Veri toplama periyodu genel olarak bir dakika veya daha çok olduğu için, ihtiyaç duyulan band genişliği çok değildir ve kablosuz duyurga ağının çalışma ömrü uzundur.

Kablosuz duyurga ağının düğümleri yerleştirildikten sonra, düğümler etraflarındaki diğer düğümleri bulmaya ve olası haberleşme yollarını bulmaya çalışırlar.[15] Bu



aşamadan sonra her bir düğüm, algılayıcılarından örneklediği verileri, verileri depolayacak olan düğüme iletmeye çalışır. Çevresel koşulları izleme uygulamalarında düğümler, veriyi depolayacak olan düğüme erişmek için haberleşme paketlerinin izleyecekleri en etkin yolu bulmak zorunda değildirlir çünkü alternatif ek olarak yapılacak her hesap işlem yükü olarak işlemciye binecek ve çalışma ömrünü azaltacak bir etki yaratacaktır. Bunun yerine, düğümlere, haberleşme paketlerini aktaracakları en etkin yol, belirli bir merkezden bildirilebilir. Böyle bir yöntemin kullanılabilir olmasında ki en önemli etken, düğümlerin fiziksel yerlerinin zamanla değişmeyecek olmasıdır.

Çevresel koşulları izleme algoritmaları topoloji olarak genelde ağaç topolojisini kullanırlar. Veri, periyodik olarak oğul düğümlerden ana düğümlere ve son olarak da veri depolayacak olan merkez düğüme doğru akar. Ağaç yapısında her bir düğüm kendisine bağlı olan oğul düğümlerin verisini ağaç mimarisinin üst katlarına doğru iletmekle yükümlüdür. Kendi verileri dışında ekstradan oğul düğümlerinin de verilerini merkez düğüme doğru ileten düğümler, onlara bağlı olan oğul düğümlere göre daha çok enerjiye ihtiyaç duyarlar, bu yüzden de çalışma ömürleri daha kısadır. [16,17]

Kablosuz duyarga ağı, kendi kendini ayarladıktan sonra, düğümler algılayıcılardan 1 dakika ile 15 dakika arasında bir periyotta örnek alarak bunu duyarga ağında yayınlarlar. Teknolojik olarak, 1 dakikanın altında da örnekleme yapılması mümkündür fakat pratik olarak gerekli değildir çünkü çevresel koşulları oluşturan değişkenler sıcaklık, nem gibi yavaş değişirler.

Çevresel koşulları izleme uygulamalarının en belirgin özellikleri, uzun çalışma ömrü, senkronize çalışma, düşük veri iletim hızları ve sabit ağ topolojileridir.

### **2.10.2. Güvenlik uygulamaları**

Bir diğer uygulama alanı güvenlik uygulamalarıdır. Güvenlik uygulamasında, kablosuz duyarga ağının düğümleri devamlı olarak etraflarındaki normal dışı durumları bir veya birden fazla algılayıcısı ile algılamak amacıyla belirli noktalara sabitlenmişti. Çevresel koşulları izleme uygulamaları ile güvenlik uygulamaları

arasındaki temel fark, güvenlik uygulamalarında verilerin depolanmak için toplanmamasıdır. Bu durum duyargaların ve ağın özelliklerinde belirgin değişikliklere neden olur. Her bir düğüm, düzenli aralıklarla algılayıcılarından örnekler alır fakat bunların verilerini direk olarak aktarmaz, anormal bir durum var ise bir rapor halinde bildirir. Bu tip raporlar alarm mesajı olarak adlandırılır ve ağın en önemli özelliği bu alarm mesajlarının öncelikli olarak iletilebilmesi ve gideceği yere ulaşmasıdır.

Dikkat edilmesi gereken bir başka nokta ise, düğümlerin belirli aralıklarla orada olduklarını ve hala çalıştıklarını teyit etmeleridir. Eğer bir düğümün istenmeyen bir şekilde yeri değişmişse veya çalışamaz duruma gelmişse, bir güvenlik açığına neden olacağı için, bunun fark edilmesi ve ağın bundan haberdar edilip gerekiyorsa bir alarm mesajı oluşturulması gereklidir.

Yukarıda sayılan nedenlerden dolayı, güvenlik uygulamalarında kullanılacak en etkin topoloji, çevresel koşulları izleme uygulamalarında kullanılacak olan topolojiden farklılık gösterir. Eğer ağaç yapısı topoloji kullanılsaydı, oğul düğümü olan düğümler, oğullarının da paketlerini yukarı iletmek zorunda olduklarından daha çok enerji harcayacak ve çalışma ömürleri kısılacaktı. Tersine, doğrusal bir topoloji kullanarak, her bir düğüme eşit sayıda oğul düğüm atanarak her birinin enerji tüketimini birbirine yakın tutmak mümkündür.

Günümüzde kullanılan uygulamalarda, her bir düğümün varlığının ve fonksiyonelliğinin devam ettiğinin her saatte 1 defa teyit edilmesi yeterli görülmektedir.

Bir alarm durumu oluştuğunda, alarm mesajı hemen merkeze iletilebilmelidir. Alarmin algılanıp, merkeze kadar iletilmesi için geçen süre kritiktir. Yangın gibi uygulamalarda bu sürenin 1-2 saniyenin altında kalması yeterli görülür. Yeterliliği sağlayabilmek için, algılamayı yapan düğümün yanındaki düğümlerin de alarm mesajını hemen alıp, komşu düğümlere doğru aktarması gerekir. Bu tip uygulamalarda, alarm mesajlarının hızlı bir şekilde yerine ulaşması, bu sırada yapılacak olan enerji tasarrufundan daha önemlidir. Alarm mesajının yerine daha hızlı

ulaşabilmesi için düğümlerin alıcılarının daha sık sürelerde haberleşme ortamını dinlemesi gerekir.

Güvenlik uygulamalarında, enerjinin büyük bölümü düğümlerin fonksiyonelliklerinin sınanması ve hala aynı yerde olduklarının teyit edilmesi sırasında harcanır. Alarm mesajının iletilmesi, uygulamaya göre alarm mesajı ağın ömrü boyunca hiç gelmeye de bilir (örnek: yangın alarmı uygulaması), çok ufak bir miktar güç harcanmasına neden olur.

### **2.10.3. Takip ve izleme uygulamaları**

Bu uygulamalar, kablosuz duyarga ağları ile donatılmış bir bölgeye giren bir canlı veya nesnenin tespit ve takip edilmesidir.

Günümüzde kargo takip sistemlerini örnek olacak olursak, kargolar üzerlerine yapıştırılan barkotların okutulması ile takip edilirler. Bu okuma, kargonun o an için nerede olduğunu değil, en son hangi okuyucudan geçtiğinin tespitidir. Çoğu zaman kargo firmaları için önemli olan, yer ve zamanın aynı anda bilinmesidir. Günümüz sisteminde bu bir eksiklik olarak yer almaktadır.

Oysa bu takip, kablosuz duyarga ağları ile kargolar üzerine yerleştirilecek basit bir düğüm ile kolayca yapılabilirdi. Kargoları taşıyacak vasıtalara yerleştirilen düğümler ile de taşıyıcıdaki kargoların tam listesine ve mevkiine ulaşılabilir. Düğümler hareketli oldukları için bu tip uygulamalarda topoloji çok sık bir şekilde değişir ve bu da haberleşme ağında aşırı yüke sebep olur. Dolayısıyla da enerji ihtiyacı daha çok haberleşme modülleri tarafından gelir.

### **2.10.4. Karma durumlar**

Genelde, pratik uygulamalar bu üç başlıkta sayılan uygulama alanlarından bir veya daha fazlasını içerirler. Örnek olarak, belirli bir alandan geçen araçları sayan bir kablosuz duyarga ağında, ağ kimi zaman algılayıcılarından gelen verileri analiz ederek araç mı yoksa başka bir şey mi geçtiğini inceleyip kendi başına karar verirken, kimi zaman ise sadece bir alarm üretebilir.

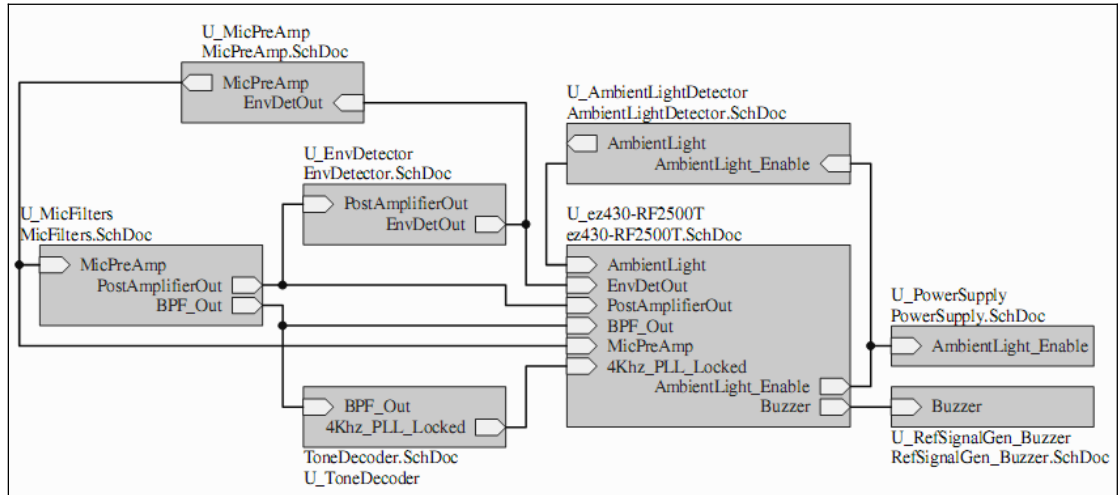
Uygulama alanlarının çeşitliliğinden dolayı, uygulama geliştirilme aşamasında kablosuz duyurga ağlarının algoritmalarının ve donanımlarının gerektiğine her bir uygulama alanında çalışabilecek şekilde modüler olması amaçlanır.

### 3. TEZDE KULLANILAN KDA PLATFORMU

Bu çalışmada kullanılmak üzere, bir kablosuz duyarga ağı düğümü tasarlanıp prototip üretimi yapılmıştır. Bu platformda, kablosuz duyarga ağlarında kullanılan düğümlerin özellikleri göz önüne alınarak, mümkün olduğunca modüler, düşük güç tüketimli ve çok çeşitli algılayıcıları üzerinde bulunduracak şekilde tasarlanmıştır.

Donanımda bulunan temel modüller aşağıdaki gibi listelenebilir:

- Güç devreleri,
- Mikrofon,
- Ton çözücü,
- Görülür ışık algılayıcısı



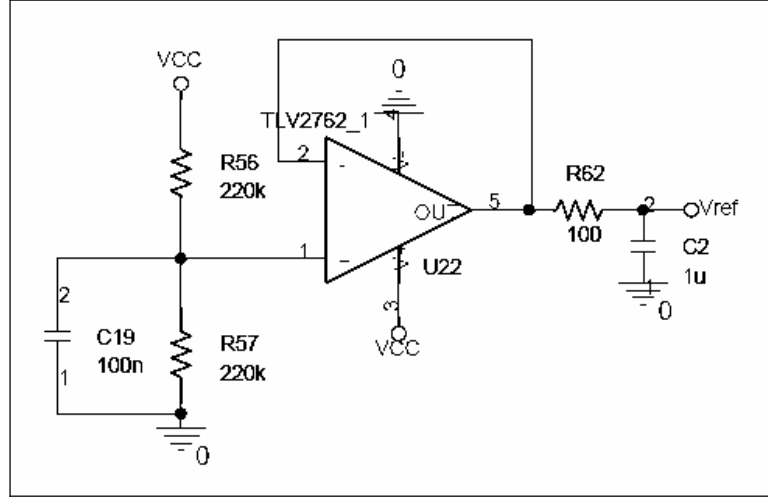
Şekil 3.1: KDA platformunda bulunan modüller

#### 3.1. Güç Katı

Kablosuz duyarga ağlarında kullanılan her bir düğümün çalışma ömrü dolaylı olarak ağın verimli çalışma ömrünü etkiler. Her bir düğümün çalışma ömrünü en iyilemek, kablosuz duyarga ağının da çalışma ömrünü en iyilemektir. Bu noktada, kablosuz duyarga düğümünün çalışma ömrünü artırmak için, düğümün daha düşük güç



işaretlerin işlenebilmesi mümkün kılınmıştır. Şekil 3.3’de sanal toprağı oluşturan devre görülmektedir.

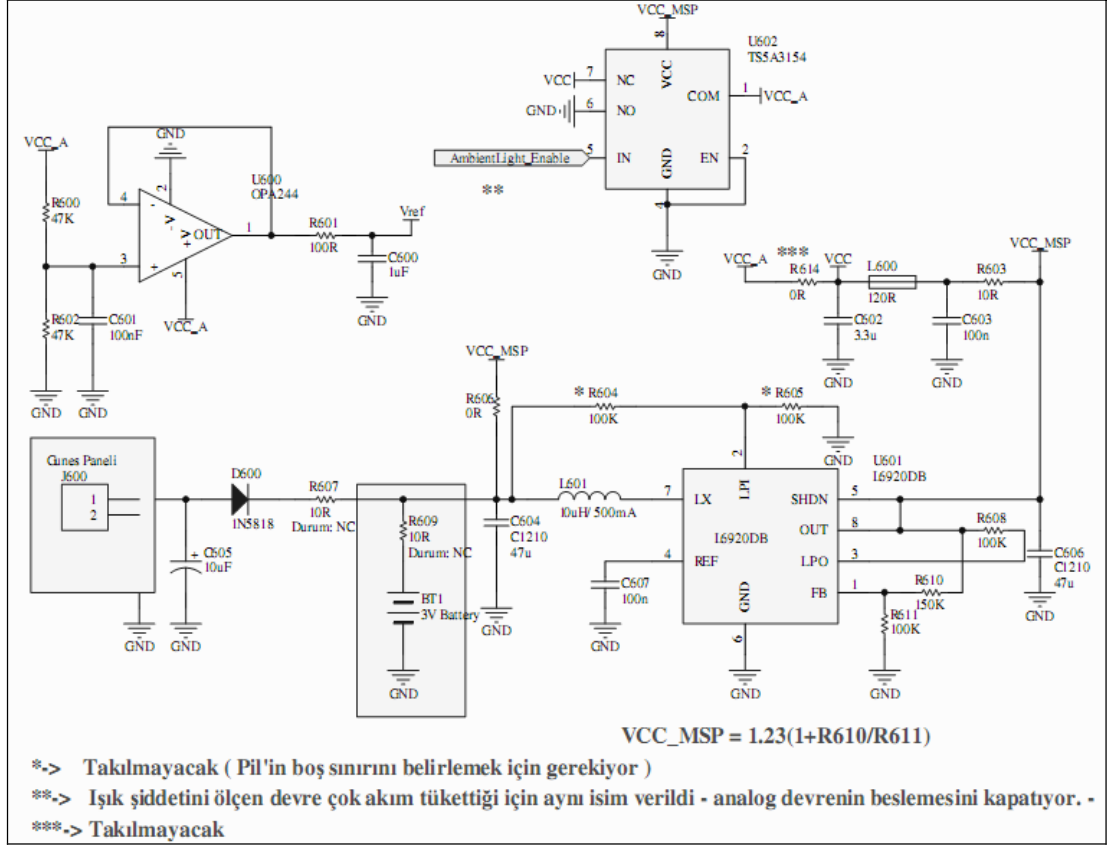


Şekil 3.3: Referans gerilim üreteci

Düşük güç tüketen bir platform tasarlanmak istendiği için kullanılan Op-Amp’lar Texas Instruments Firması’nın “micropower” serisi olarak geçen +/-1.5V veya +3.0V’la beslenebilen sükunet akımı olarak 25uA çekebilmek gibi özelliklere sahiptir. [19]Op-Amp’lar çıkışından 10mA Sink/Source akım verebilecek şekilde tasarlanmıştır. Dolayısıyla bu Op-Amp’ların bir tanesinin buffer olarak sanal toprağı oluşturmasında hem güç tüketimi açısından hem de yeterli akımı sağlayabilecek referans gerilim kaynağı olarak kullanılabilir. Op-Amp’ın çıkışına, toprağa akan veya çekilen anlık akımları sağlayabilmek için 1uF’lık kapasite koyulmuştur. Bu kapasite op-amp’ın çıkışına doğrudan bağlandığında sistem her ne kadar birim kazançlı olsa da eklenen sıfır çok etkili olacağı için sistemi kararsız yapabilir. Bunu engellemek için çıkışa seri küçük bir direnç eklenerek tampon devrenin kapasitif yükü sürmesi ve aynı zamanda işaretin RC sabitine bağlı olarak filtrelenmesi sağlanmış olur.

Referans üreteci, yukarı gerilim (step-up) dönüştürücü, güneş pili ve güneşin olmadığı durumlarda sistemin çalışabilmesi için gerekli pil devresi ile birlikte güç katı sistem için gerekli isterleri karşılayabilecek şekilde tasarlanmıştır. Şekil 3.4’de tüm besleme katına ait şema görülmektedir. Devrenin durmadan çalıştığı durumda +3V’dan ışık şiddetine de bağlı olarak yaklaşık 10mA çekmektedir. Bu durumda güç tüketimini azaltmak ve pil ömrünü artırmak için bir analog anahtar kullanılmış (U602)

ve analog devrenin kullanılmadığı durumlarda beslemesi kesilerek güç tasarrufu yapılmak istenmiştir.



Şekil 3.4: Güç katının tam şeması

### 3.2. Algılayıcılar

Kablosuz duyarga platformunda çevresel değişimleri algılayabilmek için çeşitli algılayıcılar kullanılmıştır. Bu algılayıcıların çıktılarının mikrodenetleyici tarafından algılanabilmesi için, gerekli olunan algılayıcıların çıkışları uyumlaştırıcı devreler ile filtrelenmiş ve kuvvetlendirilmiştir.

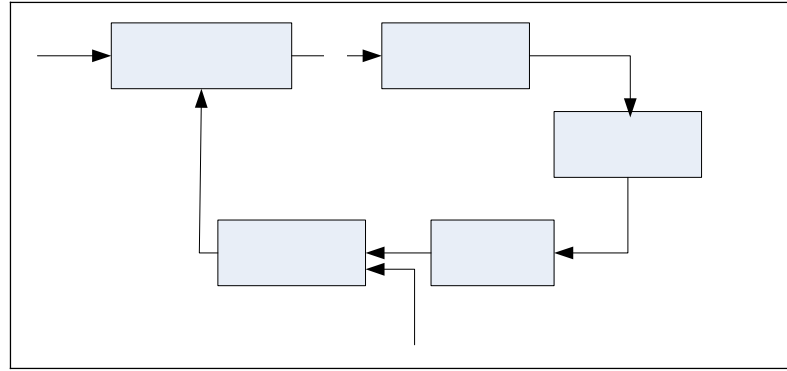
### 3.3. Mikrofon

Mikrofondan alınan ses işaretlerinin sayısallaştırılmadan önce uyumlaştırıcı devreler kullanılmıştır. Bu devreler 6 ayrı devrenin birleşiminden oluşmaktadır. Bunlar sırasıyla, ön yükselteç katı, ayarlanabilir kazanç katı, yükselteç katı, zarf detektörü, akım referansı ve AC Bağlaşma katıdır.



### 3.3.1. Ön yükselteç ve ayarlanabilir kuvvetlendirici katı:

Bu katın tasarımından uzun kuyruklu olarak da adlandırılan farksal yükselteç'ten yararlanılmıştır. Temel olarak farksal yükseltecin besleme akımı değiştirilerek  $g_m$  (Transconductance) oranı değiştirilip, kazancının değiştirilmesi sağlanmıştır. Ön yükselteç katı ve ayarlanabilir kazançlı kat bu bakımdan iç içe incelenebilir. Ses işaretini uygun bir şekilde işleyebilmek için farksal yükseltecin arkasına eklenen sabit kazanç ve toprağa göre farksal işarete dönüştüren kat aynı zamanda ikinci dereceden bir süzgeç olarak tasarlanmıştır. Böylelikle giriş yükselteç devresinin gürültüye karşı olan duyarlılığı göz önünde bulundurulmuştur.

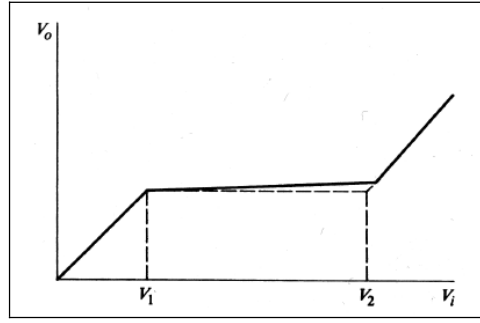


Şekil 3.5: AGC Katının Blok Şeması

Şekil 3.5'deki şema incelendiğinde kazancı ayarlayabilmek için yükselteç çıkışını devamlı gözleyen bir detektör kullanılmıştır. Detektör ve alçak geçiren süzgeç (AGS) blokları devre üzerinde tek bir katla yapılmıştır. Bu kat ile  $V_i$  işaretinin  $V_c$  işaretine bağlı olarak yükseltilmesi sağlanır. Temelde AGS kapalı döngüde negatif geri beslemeli bir sistemdir. Giriş işareti küçük olduğu sürece kazanç yüksek iken işaret güçlendikçe kazanç azalacak şekilde bir kuvvetlendirme söz konusudur. İdeal olarak AGS fonksiyonu Şekil 3.6'da verilmiştir. Görüleceği üzere giriş işaretinin belli aralıkları içerisinde kazanç doğrusal olarak değişmektedir.

Ayarlanabilir  
Kuvvetlendirici

$V_c$

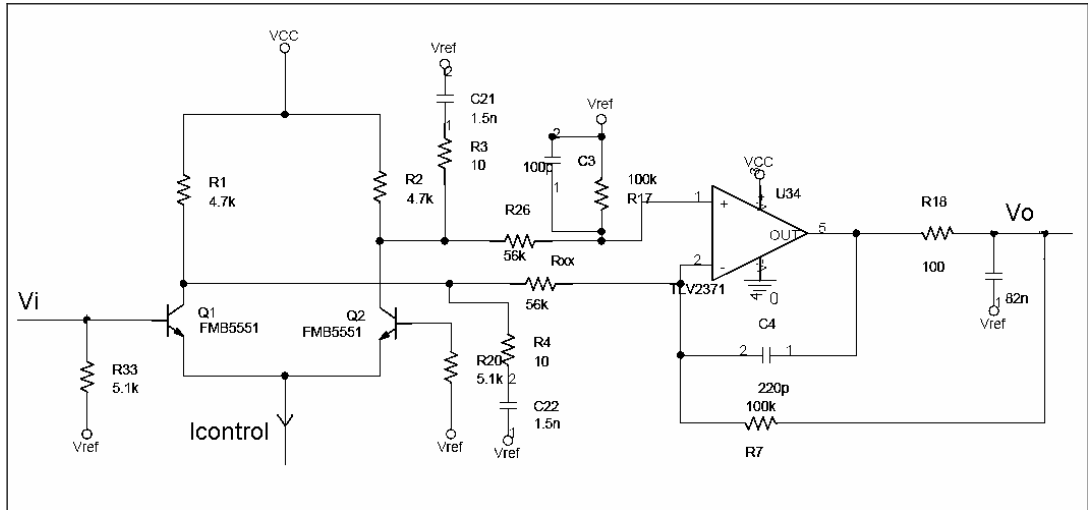


Şekil 3.6: İdeal AGC Transfer Fonsiyonu

### 3.3.2. Yükselteç Katı

İşaret ön yükselteçten geçtikten sonra işaretin sabit bir kazanç ile çarpılarak analog sayısal çeviricinin veya benzeri sayısal girişli sistemlerin girişine gerilim seviyesi olarak uygun hale getirilebilmektedir. Daha sonra donanımda kullanılan msp430F2274 işlemcisinin içerisinde bulunan programlanabilir kuvvetlendirici yardımı ile gerekirse işarete biraz daha kazanç vererek devre üzerinde değişiklik yapmadan yükseltmek mümkün olabilmektedir.

Donanımda analog bir kontrol ile değişken kazançlı bir kat yapmak tercih edilmiştir. Tasarımdaki bu tercihin sebebi, kazancın sayısal kontrolü nedeni ile işlemci üzerine binecek işlem gücünü azaltmak ve dolayısıyla güç tüketimini azaltmaktır.



Şekil 3.7: Ayarlanabilir kuvvetlendirici ve Fark Yükselteci

Şekil 3.7’de ayarlanabilir kuvvetlendiricinin kazancının değişimini ve band genişliğini ayarlayabilmek için aşağıdaki yol izlenmiştir.

Giriş işaretinin çok küçük olduğu durumda VGA en yüksek kazancı göstereceği için bu duruma göre analiz yapılmıştır. [20]

$$V_x^+ = R_y 1.gm.(V_{BE1} + V_{BE2}) / 2 \quad (3.1)$$

$$V_x^- = -R_y 1.gm.(V_{BE1} + V_{BE2}) / 2 \quad (3.2)$$

(3.1) ve (3.2) eşitliklerinden;

$$V_x = R_y.gm.V_{in} \quad (3.3)$$

elde edilir.

$$G = \frac{V_x}{V_{in}} \quad (3.4)$$

$$I_c \cong I_E \text{ ve } I_c = \frac{3V}{4.7K} \cong 638\mu A \quad (3.5)$$

$$R_y = 4.7K \quad (3.6)$$

$$gm = \frac{I_c}{V_T} = \frac{I_c}{25mV} \quad (3.7)$$

(Oda sıcaklığında 27 derecede ısı gerilim değeri 25mV olarak alınmıştır.)

$$G = 4.7K \times \frac{3V / 4.7K}{25mV \times 2} = 60 \quad (3.8)$$

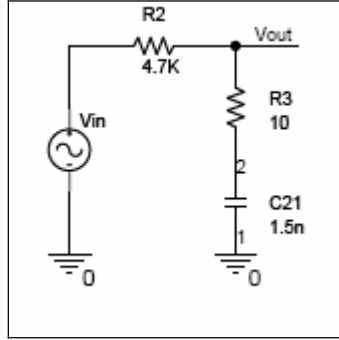
olarak hesaplanır.

Fark yükseltecinin bu durumda verebileceği en fazla çıkış gerilimi

$$V_{rail} = R_y \cdot I_c = 3V \quad (3.9)$$

olarak hesaplanır.

Şekil 3.7'deki ayarlanabilir kuvvetlendiricinin kazanç-band genişliğini ayarlamak için R1, R2, R3, R4, C21 ve C22'yi içeren kompanzasyon devresi kullanılmıştır. Kullanılan bu devre sayesinde ayarlanabilir kuvvetlendiricinin gereğinden fazla geniş olan bandı'nın daraltılması ve faz aralığının artırılması sağlanır.



Şekil 3.8: Leg Kompanzasyon Devresi

Şekil 3.8'deki leg kompanzasyon devresi incelendiğinde,  $V_{in}$  ile  $V_{out}$  arasındaki bağıntı;

$$\frac{V_{out}(f)}{V_{in}(f)} = \frac{1 + jf / f_2}{1 + jf / f_1} \quad (3.10)$$

Şeklinde ifade edilebilir. Burada transfer fonksiyonunda  $f_1$  köşe frekansı ve  $f_2$  sıfırı bulunmaktadır.

$$f_1 = \frac{1}{2\pi(R_2 + R_3)C_{21}} \quad (3.11)$$

$$f_2 = \frac{1}{2\pi R_3 C_{21}} \text{ 'dir.} \quad (3.12)$$

$f_2 > f_1$  olacak şekilde kutup ve sıfırın bulunduğu frekanslar seçilirse, transfer fonksiyonun genlik yanıtı denklem (3.13) ile ifade edilebilir.

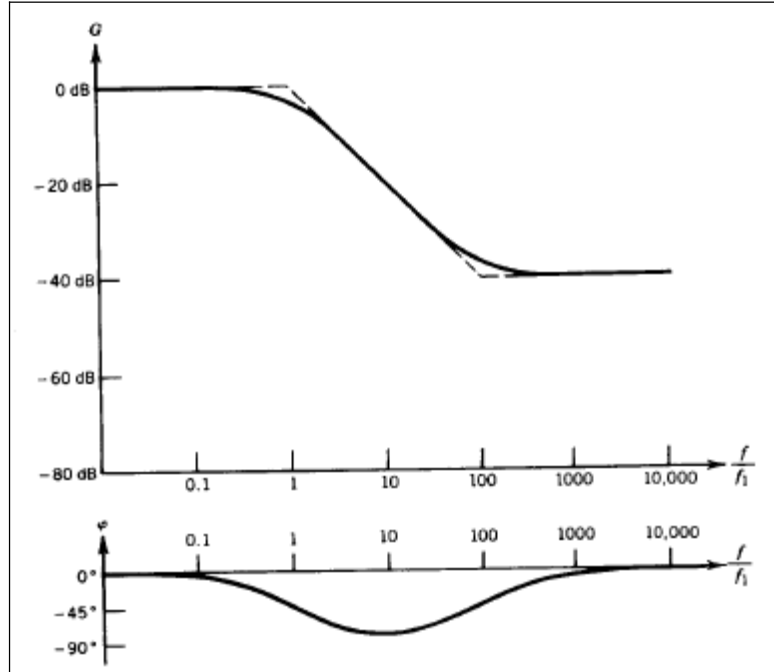
$$\left| \frac{V_{out}(f)}{V_{in}(f)} \right| = \left| \frac{1 + jf/f_2}{1 + jf/f_1} \right| \quad (3.13)$$

Transfer fonksiyonuna ait faz yanıtı ise denklem (3.14) ile ifade edilebilir.

$$\left| \frac{V_{out}(f)}{V_{in}(f)} \right| = \frac{1 + jf/f_2}{1 + jf/f_1} = \left| 1 + jf/f_2 \right| - \left| 1 + jf/f_1 \right| \quad (3.14)$$

$$= \arctan\left(\frac{f}{f_2}\right) - \arctan\left(\frac{f}{f_1}\right) \quad (3.15)$$

$$\frac{f_2}{f_1} = \frac{R_2 + R_3}{R_3} = 1 + \frac{R_2}{R_3} \quad (3.16)$$



Şekil 3.9: transfer fonksiyonun genlik ve faz yanıtı.

Şekil 3.9,  $G = 20dB$  diğer bir ifade ile  $f_2/f_1 = 100$  olarak çizilmiştir.

Yukardaki formülasyonlar doğrultusunda sistem kararlılığı için seçilen sıfır ve kutup arasındaki farkın 2 dekadtan büyük seçilmiş ve kutup köşe frekansı 15Khz'dan biraz büyük seçilerek istenilen genlik ve faz yanıtı verilmesi sağlanmıştır. Fark yükseltecinin kazancının az olması durumunda seçilen kutupun en az bir dekad uzakta olması gerekmektedir.

$$f_1 = \frac{1}{2\pi R_3 C_{21}} = 10MHz \quad (3.17)$$

$$f_2 = \frac{1}{2\pi(R_2 + R_3)C_{21}} = 22KHz \quad (3.18)$$

Bu durum için,  $R_2 = 4.7K$  seçilmişti,  $R_3 = 10\Omega$ ,  $C_{21} = 1.5n$  olarak hesaplanabilir. Bu sonuçlar doğrultusunda, sesin frekansına göre oldukça geniş banda sahip olan fark yükselteci köşe frekansı 22KHz olan ve 10MHz'e kadar fazı 45 derece gerileyen kararlı bir yükselteç olur. Bandı kısıldığı için daha düşük gürültüye sahip olacaktır.

İlk sabit kazançlı yükselteç katı ve filtresi eleman değerlerinin hesaplanması için aşağıdaki yöntem uygulanmıştır.

$$G(s) = \frac{V_o(s)}{V_i(s)} = - \frac{\frac{R_f}{R_d}(V_+ - V_-)}{1 + s(R_c + R_f)C_c + s^2 R_c R_f C_c C_L} \quad (3.19)$$

elde edilir. İkinci dereceden Butterworth denklemi genel formu,

$$G(s) = \frac{V_o(s)}{V_i(s)} = \frac{G_0}{\frac{s^2}{\omega_0^2} + \frac{s}{\omega_0 Q_0} + 1} = \frac{G_0 \omega_0^2}{s^2 + \frac{\omega_0}{Q_0} s + \omega_0^2} \quad (3.20)$$

olarak verilir. Bu eşitlikte,  $G_0$  :filtrenin DC kazanç bölgesindeki fark yükselteci gerilim kazanç değerini( $G_0 = R_f$  olduğu görülmektedir.),  $\omega_0$  :filtrenin köşe frekansını

(rad/s),  $Q_0$  :filtrenin iyilik ya da kalite katsayısını (2.dereceden maksimum düzgünlükte Butterworth tipi filtre için  $Q_0 = \frac{1}{\sqrt{2}}$  dir.)

Denklem (3.20) payda eşitlenerek denklem (3.21) aşağıdaki gibi yazılır ve denklem (3.19) ile benzer terimlerin katsayıları eşitlenirse, denklem (3.22) ve denklem (3.23) elde edilebilir.

$$G(s) = \frac{V_o(s)}{V_i(s)} = - \frac{\frac{R_f}{R_c R_f C_c C_L R_d} (V_+ - V_-)}{s^2 + s \frac{(R_c + R_f)}{R_c R_f C_c C_L} + \frac{1}{R_c R_f C_c C_L}} = \frac{G_0 \omega_0^2 (V_+ - V_-)}{s^2 + \frac{\omega_0}{Q_0} s + \omega_0^2} \quad (3.21)$$

.Buradan,

$$\omega_0^2 = \frac{1}{R_c R_f C_c C_L} \quad (3.22)$$

$$\frac{\omega_0}{Q_0} = \frac{(R_c + R_f)}{R_c R_f C_c C_L} \quad (3.23)$$

2.dereceden Butterworth tipinde AGS için maksimum düzgünlükte frekans yanıtı elde

etmek (maximally flat frequency response) için  $Q_0 = \frac{1}{\sqrt{2}}$  alınmalıdır. Denklem (3.23), denklem (3.21)'de yerine konulursa

$$\frac{\omega_0}{Q_0} = \frac{(R_c + R_f) C_c}{R_c R_f C_c C_L} \Rightarrow \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{R_c R_f C_c C_L}} = \frac{(R_c + R_f) C_c}{R_c R_f C_c C_L}, (Q_0 = \frac{1}{\sqrt{2}}) \quad (3.24)$$

denklem (3.24) yazılabilir. Bu denklemin karesi alınarak, denklem (3.25) ve (3.26) elde edilir.

$$\frac{2}{R_c R_f C_c C_L} = \frac{(R_c + R_f)^2 C_c^2}{(R_c R_f C_c C_L)^2} \Rightarrow 2 R_c R_f C_L = (R_c + R_f)^2 C_c \quad (3.25)$$

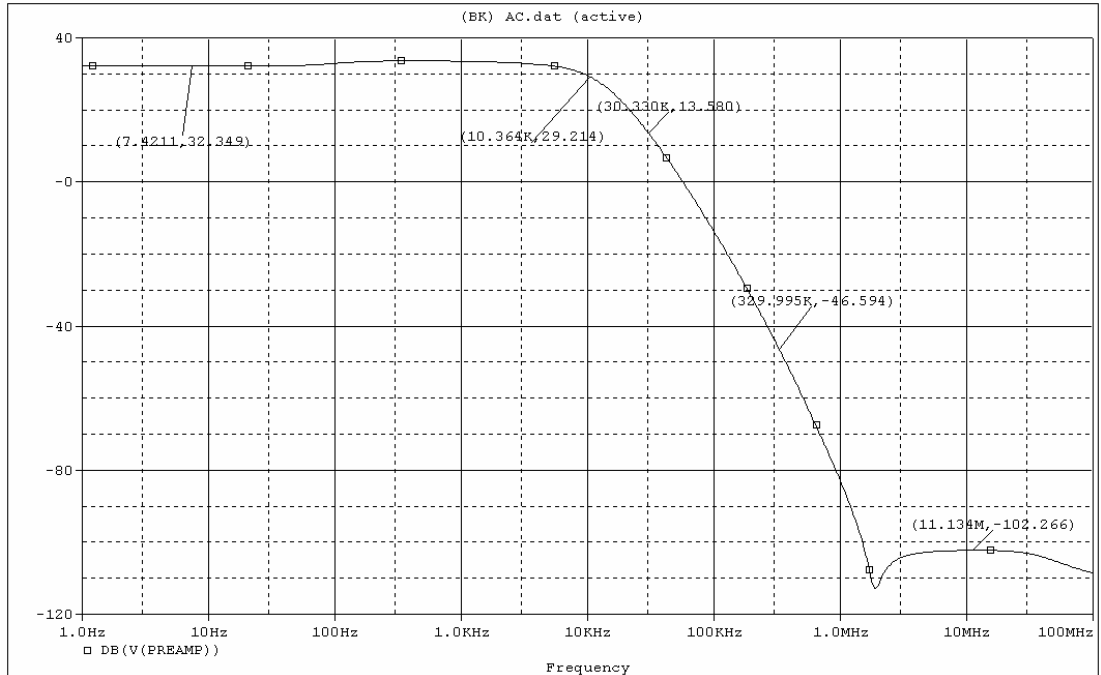
$$C_L = \frac{(R_c + R_f)^2 C_c}{2R_c R_f} \quad (3.26)$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_c R_f C_c C_L}} \quad (3.27)$$

Denklem (3.26)'da, denklem (3.25) yerine konulursa, denklem (3.28) elde edilebilir.

$$C_c = \frac{\sqrt{2}}{2\pi f_0 (R_f + R_c)} \quad (3.28)$$

Bu durumda 10KHz'lik bir filtre için eleman değerleri;  $R_c = 100$  ,  $C_L = 82n$  ,  $R_f = 100K$  ,  $C_c = 220p$  ,  $R_d = 56K$  olarak bulunur. Şekil 3.7'de bu elemanlar ile oluşan devre verilmiştir. Şekil 3.10'da, hesaplanan değerler ile SPICE simülasyonu sonucunda elde edilen genlik-frekans yanıtı bulunmaktadır.



Şekil 3.10: Ön yükselteç devresi Genlik-Frekans Yanıtı

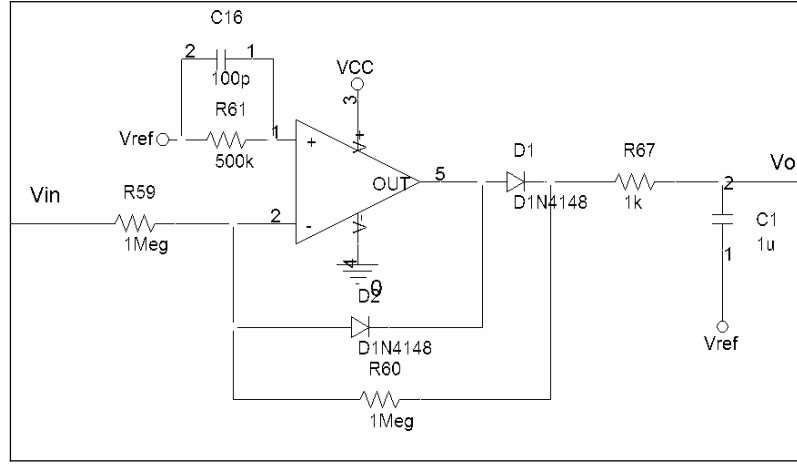
### 3.3.3. Zarf Detektörü

Bu çalışmada ses sinyalinin eşliğini algılamak için gerekli olan zarf detektörünün tasarımında pasif elemanlarla veya sayısal işaret işleme ile zarf detektörü



gerçeklenmesi olmak üzere iki yöntemden pasif elemanlar ile zarf detektörü gerçekleştirilmesi yöntemi tercih edildi. Bu yöntemin avantajı daha düşük gürültülü ve yüksek hassasiyetli işaret işlemeye olanak sağlamasıdır.

Zarf detektörü yardımıyla işaretin en yüksek genliği takip edilip buna bağlı olarak geri besleme işareti oluşturulur ve kazanç uygun seviyeye getirilmiş olunur. Şekil 3.11’de ilgili devre gösterilmiştir.



Şekil 3.11: Zarf Dedektörü

$R_{67}$  ve  $C_1$  kapasitesi ile oluşturulan köşe frekansı sayesinde zarf dedektörü 160Hz’lik bir frekans tepkiselliğine sahiptir bu da yaklaşık 6.3ms’lik geçici tepkisellik demektir. Ayarlanabilir kuvvetlendirici, kazancını 6ms gibi bir zaman içerisinde değiştirebilmektedir.

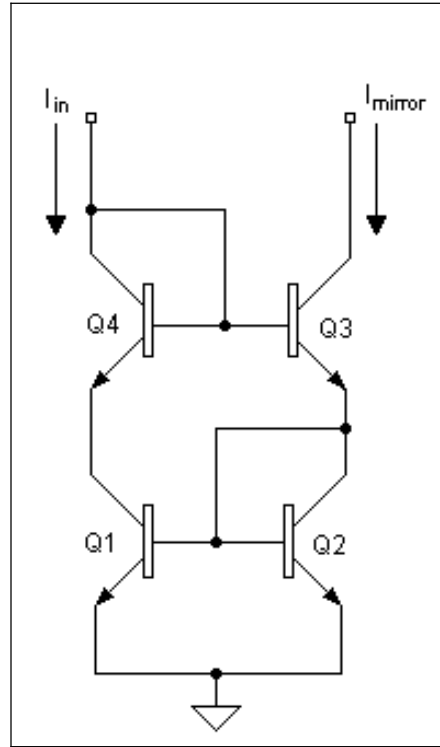
### 3.3.4. Akım Referansı

Uzun kuyruklu devre’ye akım referansı olarak kullanılan  $R_{EE}$  büyüdükçe CMRR değeri büyümekte fakat  $R_{EE}$  direncinden dolayı meydana gelen gerilim düşmesi negatif beslemenin yükseltilmesini gerektirmektedir. Bunun için burada bir akım kaynağı kullanılmıştır. Uygun besleme akımı ve yüksek  $R_{EE}$  direncini sağlamanın en iyi yolu bir akım kaynağı kullanmaktır.

Çalışmada, ideal akım kaynağı özelliklerine yakın özellikler gösterebilen Wilson akım kaynağı tercih edilmiştir. Bunun başlıca nedeni, akım kaynağının verdiği akımın

sıcaklıkla çok fazla değişmesi engellenerek, ayarlanabilir kuvvetlendiricinin kazancının sıcaklık değişimine karşı duyarlız olması sağlanmaya çalışılmıştır. Ayrıca akım referansı olarak kullanılan direnç'e göre veya tek bir akım aynası ile elde edilen akım referansına göre iç direnci daha büyüktür. Akım referansı giriş katına doğrudan bağlı olduğu için ve giriş katı tüm devrenin gürültüsünden dolayı hassasiyetini etkilediği için oldukça önemlidir.

Tüm kullanılan transistorlerin eşlenik olarak seçilmiştir. Şekil 3.12'de gösterilen geliştirilmiş Wilson akım kaynağında, Wilson akım kaynağından farklı olarak Q4 transistörü eklenmiş ve böylelikle  $I_{mirror}$  akımı ve  $I_{in}$  akımı arasındaki Wilson Akım kaynağındaki baz akımından kaynaklanan ofset ortadan kaldırılmış ve sıcaklığa karşı daha doğrusal bir akım kaynağı elde edilmiş olunur.

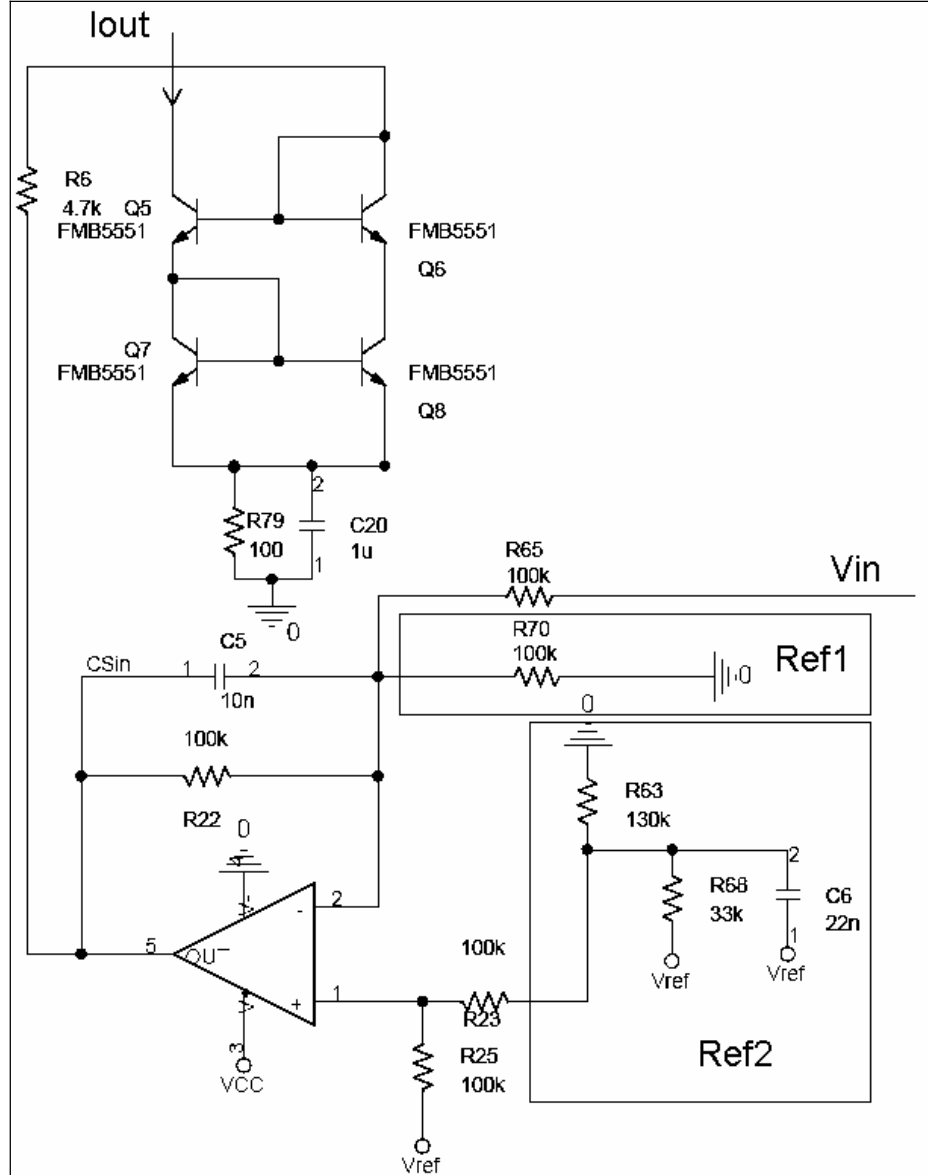


Şekil 3.12: Geliştirilmiş Wilson Akım Kaynağı [21]

Q1-Q2-Q3-Q4 transistörlerinin akım kaynağının doğrusal olarak çalışabilmesi için aktif-doğrusal bölgede çalıştıklarını düşünürsek. Q4 transistörüne dirençle bağlanacak bir gerilim ile  $I_{in}$  akımı sağlanabilir. Akacak akımın bağlantısı;

$$I_{in} = \frac{V_{ref} - 2 \times V_{BE}}{R_{ref}}, \quad (3.29)$$

Aktif bölgede  $V_{EE} = 0.65V$  'tur. Şekil 3.13'de akım kaynağı devresi ve akım referansı devresi gösterilmiştir.

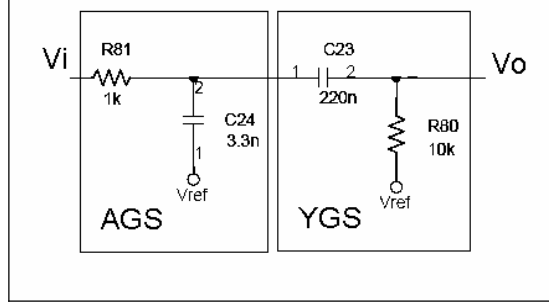


Şekil 3.13: Akım kaynağı ve akım referansı devresi

### 3.3.5. AC Bağlaşma ve Alçak Geçiren Süzgeç Katı

Yüksek kazanç gören ve gürültüye karşı hassasiyeti artan işaretin SNR değerini yükseltmek için ve arka arkaya bağlanan yükselteçler arasındaki DC ofset hatalarını

azaltmak için AGS ve YGS'lere ihtiyacımız vardır. Şekil 3.14'de bu katların pasif devre elemanları kullanılarak nasıl tasarlandığı gösterilmiştir.



Şekil 3.14: AGS ve YGS

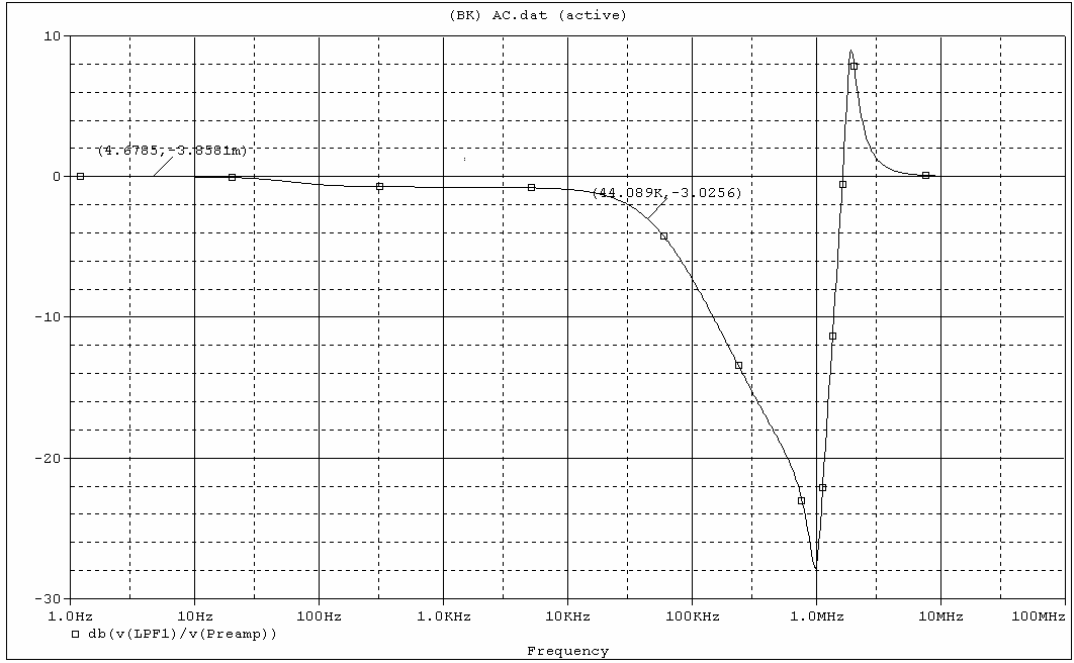
Giriş katındaki yükseltecin çıkış direnci 100R olduğu için bu katın giriş direnci önceki kattan yüklenmemesi için 1K olarak seçilmiştir.

$$H_{AGS}(s) = \frac{1}{1 + sR_{81}C_{24}} \quad (3.30)$$

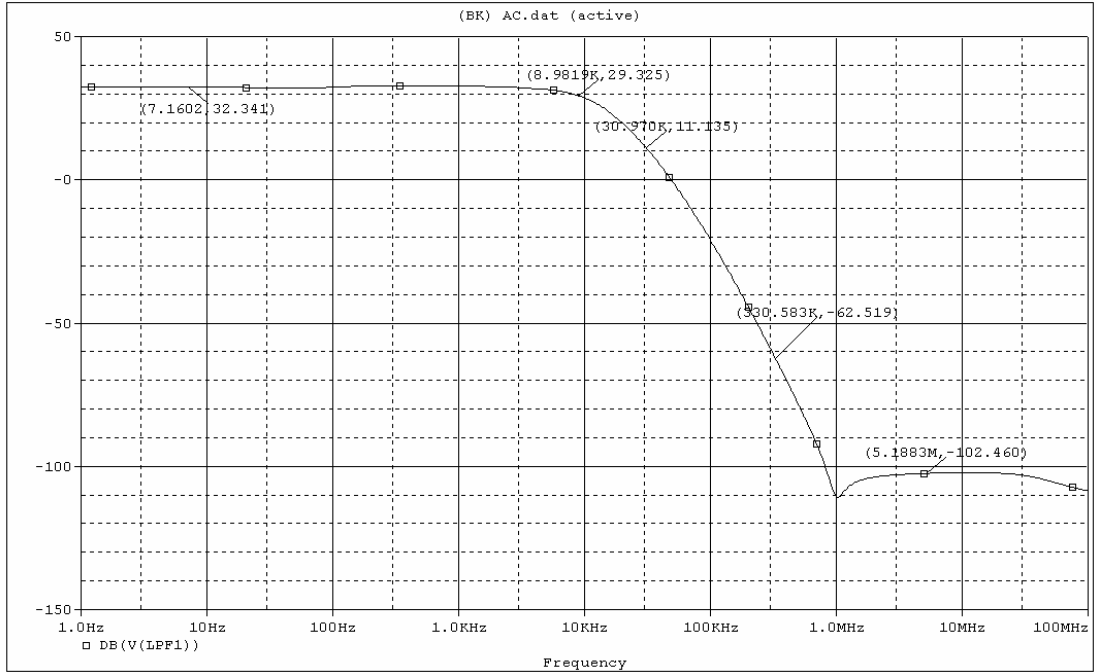
Transfer fonksiyonu denklem (3.30) ile gösterilen AGS'nin köşe frekansı denklem (3.31) ile gösterilmiştir.

$$f_c = \frac{1}{2\pi R_{81}C_{24}} = 48KHz \quad (3.31)$$

Böylelikle toplamdaki köşe frekansı 10KHz iken, giriş katı ile birlikte 8.9KHz olmuştur. Bu band genişliği istenilen işareti işlemek için yeterli bir band genişliğidir. Şekil 3.15'de AGS'ye ait SPICE simülasyonu sonucundaki genlik-frekans eğrisi görülmektedir.



Şekil 3.15: AGS Genlik-Frekans Yanıtı



Şekil 3.16: AGS ile birlikte önyükselteç genlik-frekans eğrisi

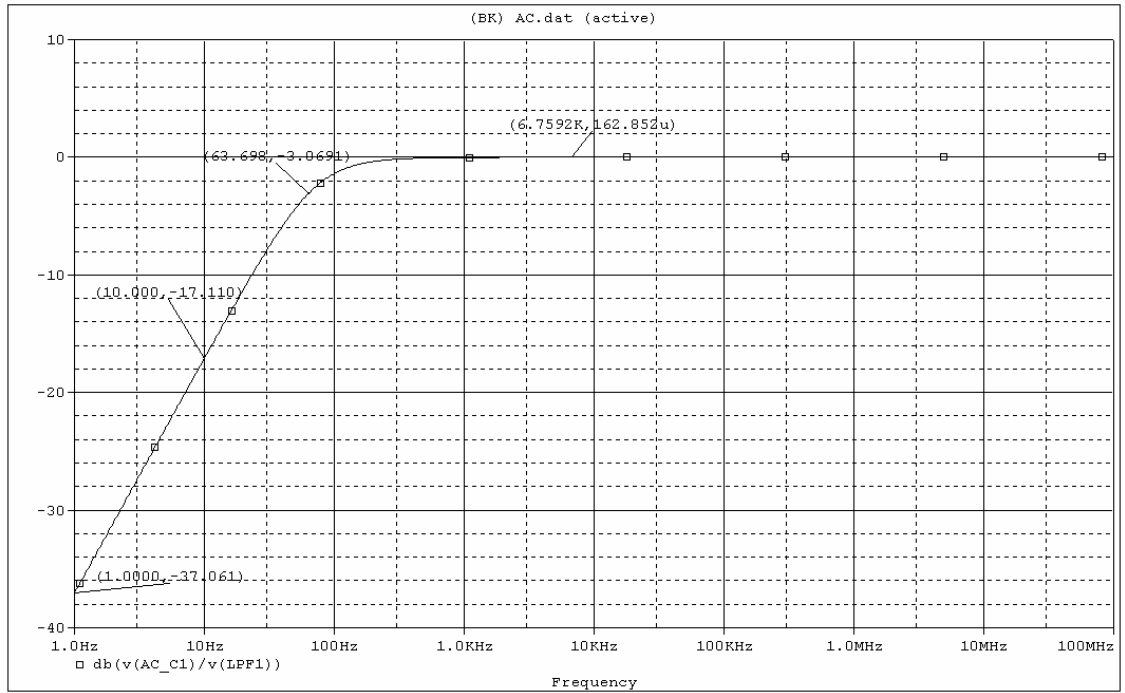
AGS'in çıkış direnci 1K olduğu için AGS'nin YGS'yi yüklememesi ve bundan dolayı köşe frekansının kaymaması için YGS'in direnci 10K olarak seçilmiştir.

$$H_{YGS}(s) = \frac{sR_{80}C_{23}}{1 + sR_{81}C_{23}} \quad (3.32)$$

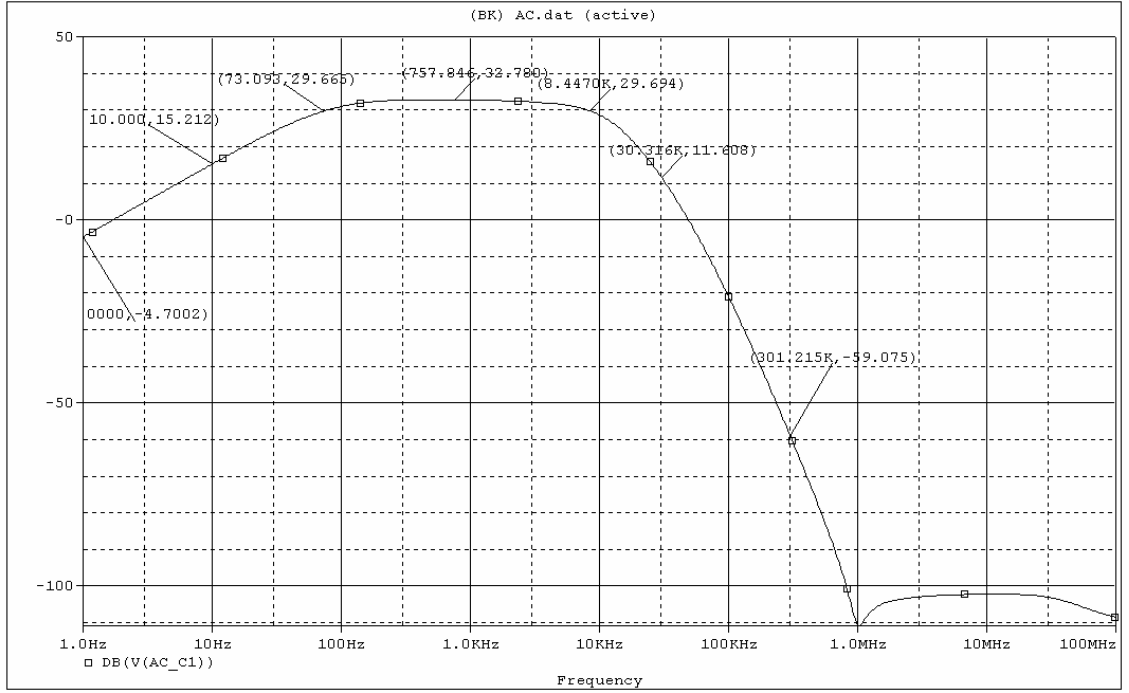
Denklem (3.32)'de YGS'in transfer fonksiyonu verilmiştir. Buradan hesapla denklem (3.33) ile kesim frekansı 72Hz hesaplanır.

$$f_c = \frac{1}{2\pi R_{80}C_{23}} = 72Hz \quad (3.33)$$

Şekil 3.17 ve Şekil 3.18'de YGS'ye ait SPICE simülasyonu sonucundaki genlik-frekans eğrileri görülmektedir.



Şekil 3.17: YGS Genlik-Frekans Yanıtı



Şekil 3.18: AGS, YGS ve önyükselteç devrelerinin toplam genlik-frekans eğrisi

### 3.3.6. İkinci Yükselteç Katı

Şekil 3.19'da 1.dereceden AGS ve YGS özelliği gösteren op-amp katı verilmiştir.

Devrenin transfer fonksiyonu denklem (3.34) ile verilmiştir.

$$H_{WBA}(s) = 1 + \frac{sC_{25}R_{76}}{1 + sC_{18}R_{75}} \quad (3.34)$$

$$f_1 = \frac{1}{2\pi R_{76}C_{25}} \quad (3.35a)$$

$$R_{76} = 1K \quad (3.35b)$$

$$C_{25} = 1\mu F \quad (3.35c)$$

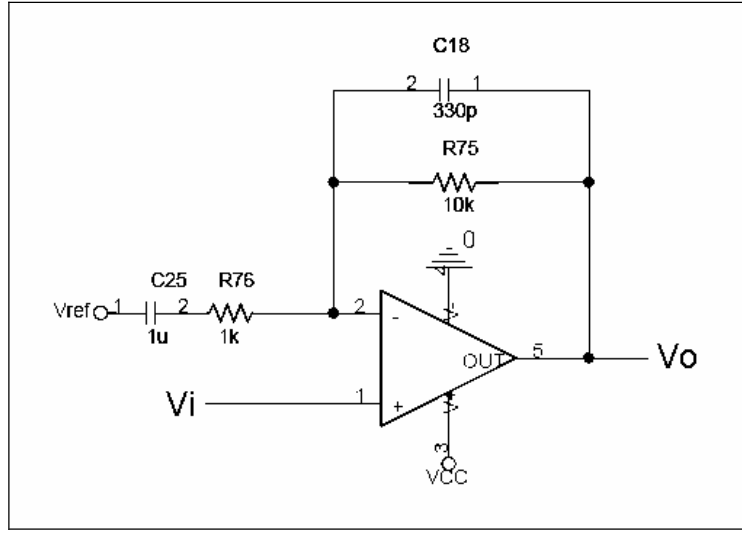
$$f_1 = 160Hz \quad (3.35d)$$

$$f_2 = \frac{1}{2\pi R_{75}C_{18}} \quad (3.35e)$$

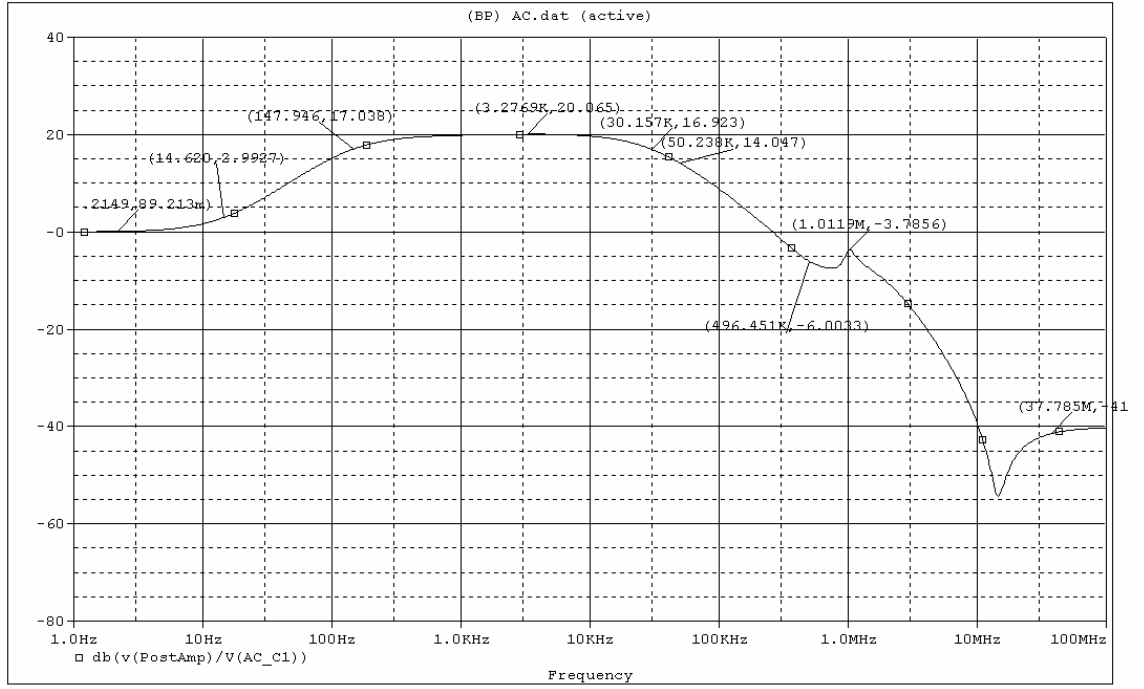
$$R_{75} = 10K \quad (3.35f)$$

$$C_{18} = 330pF \quad (3.35g)$$

$$f_2 = 30KHz \quad (3.35h)$$

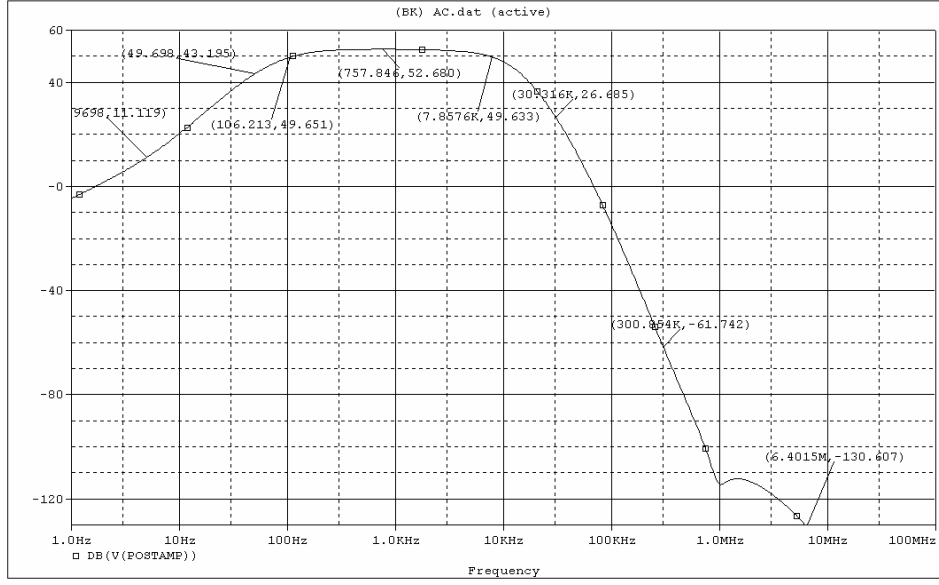


Şekil 3.19: Geniş Bantlı Yükselteç Katı



Şekil 3.20: Geniş Bantlı Yükselteç Katı Genlik-Frekans Yanıtı

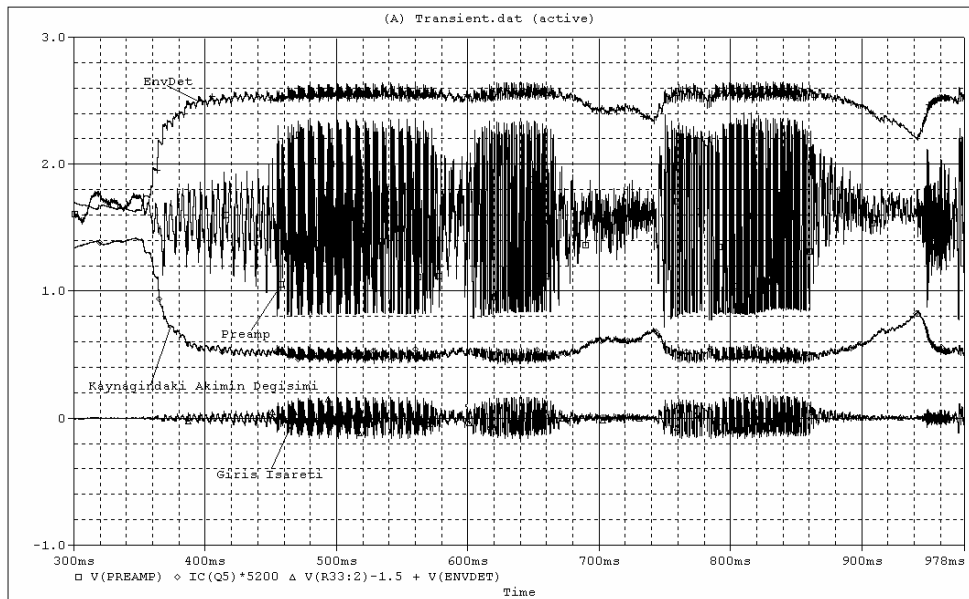




Şekil 3.21: Süzgeçler ve yükselteçlerin genlik-frekans yanıtı

#### Mikrofon Yükselteci Transient Analizi:

Çalışmada kullanılan mikrofon uyumlaştırıcı devrelerin geçici durumlarını incelemek uygulanacak işaret, MATLAB yardımıyla wav dosya formatında kaydedilmiş bir ses işaretidir. Bu dosya açılarak PSPICE'a aktarılması için uygun formatta kaydedilmiş ve SPICE simülasyonunda uygulanacak işaret olarak kullanılmıştır. Bu ses işareti Şekil 3.22'de gösterilmiştir.



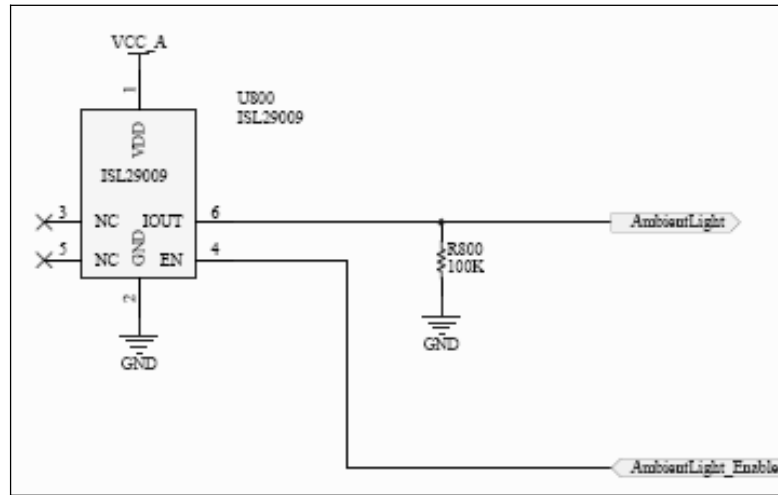
Şekil 3.22: Ön Yükselteç Çıkışında İşaretler

İşaretler incelendiğinde giriş işareti, “Giriş İşareti” ve yükseltecin çıkışı, “Preamp” olarak isimlendirilen grafiklerdir. Zarf detektörü, “EnvDet” ve kazancı ayarlayan akım kaynağının çıkışındaki akımın değişimi gözlemlenebilir.

Simülasyon süresi 700ms boyunca işaretin genliğinin artmasını izleyen zarf detektörü kazancın düşmesini sağlamaktadır. Böylelikle işaretin en büyük genlik değerine göre genliğin sabit olması sağlanmış AGC yapısı kurulmuş olmuştur.

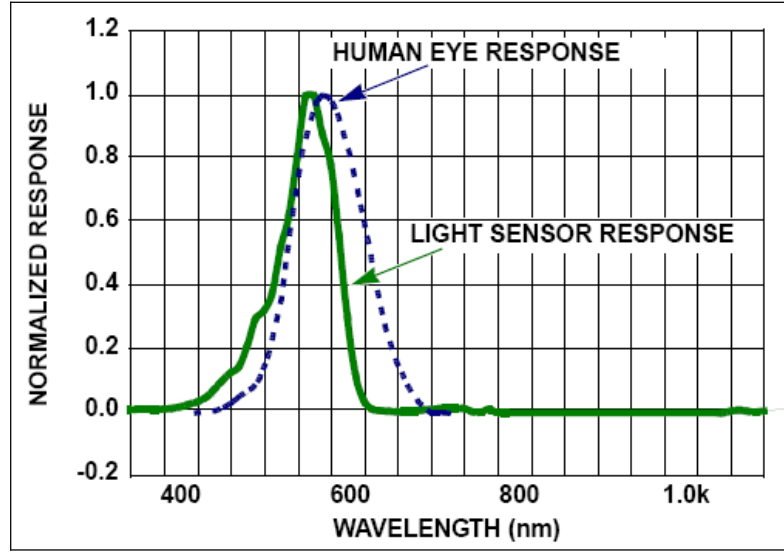
### 3.4. Işık algılayıcısı

Şekil 3.23’de Intersil tümleşik devre üreticisine ait ISL29009 doğrusal olmayan ışıklılık şiddeti sensörü kullanılmıştır.

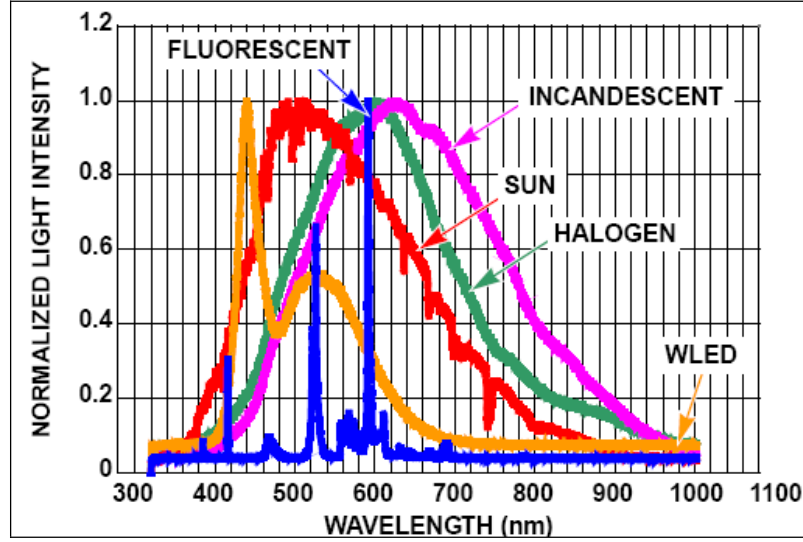


Şekil 3.23: Fotodiode ışık algılayıcısı

Şekil 3.24’de sensörün ışık dalga boyuna göre normalize edilmiş tepkiselliği verilmiştir. Sensör insanın gözünün tepkiselliğine yakın bir tepkiselliik göstermektedir.[22]



Şekil 3.24: Sensörün Spectral Tepkiselliği



Şekil 3.25: Çeşitli Işık Kaynaklarına Ait Dalga Boyları Tayfı[22]

Tablo 3.1’de çeşitli ışık kaynaklarının ortalama ışık şiddeti fikir vermesi açısından verilmiştir.

Tablo 3.1: Işıklılık şiddetine örnekler

Işık Kaynağı	Ortalama Işık Şiddeti ( $lux = lumen / m^2$ )
Güneş Işığı	32.000 – 100.000
TV Stüdyo Işığı	1.000
Aydınlık Bir Ofis	400
Güneş Doğarken	400
Ay Işığı	1
Yıldız Işıması	0.00005

Intersil tümleşik devre üreticisine ait ISL29009'un özellikleri aşağıda listelenmiştir:

- 0.3 lux ile 10.000 lux arasında ışık algılayabilme özelliğine sahiptir.
- Doğrusal olmayan bir akım çıkışı verir.
- Fotodiyot'larda meydana gelen karanlık sızıntı akımı ve sıcaklık kompanzasyonuna sahiptir.
- Küçük boyutlara sahiptir ve az güç tüketir.
- Çıkışındaki akım ışık yoğunluğunun karakökü ile orantılıdır.

Uygulama olarak ışığın değişiminin hızlı ve geniş aralık içerisinde gözlenmesi gerekiyorsa TIA kullanılması gerekirdi fakat uygulama bir direnç ile ölçüm almak yeterli olarak görülmüştür. Uygulama da ışık şiddetini 1000lux'e kadar ölçülebilecek şekilde seçilmiştir.

Sensor çıkışında üzerine düşen ışıkla bağlantılı olarak  $I_{out} = \frac{1.8uA}{\sqrt{100lux}} \sqrt{E}$  ile bağlantılı bir çıkış akımı oluşturmaktadır. Buradaki  $E$  sensörün üzerine düşen lux cinsinden ışık miktarıdır.

Seçilen  $R$ 'ye bağlı olarak çıkışında verebileceği en büyük akım denklem (3.36)'da gösterilmiştir.

$$\frac{V_{DD} - 0.2}{R} = \frac{2.8V}{490K} = 5.7uA \quad (3.36)$$

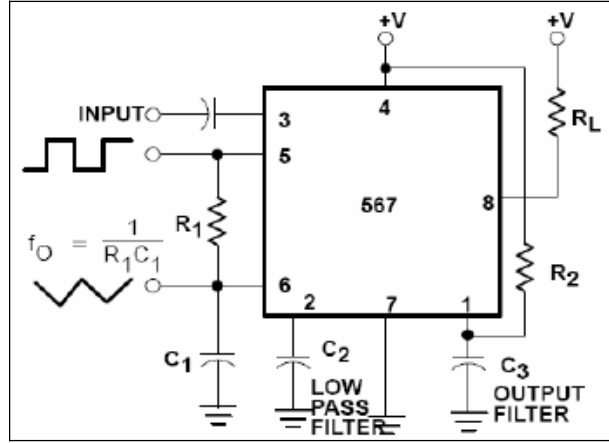
Bu koşullar altında, ışık algılayıcısının algılayabileceği en güçlü ışık miktarı denklem (3.37) ile 1000lux olarak hesaplanabilir.

$$E = \frac{I_{out}^2 \cdot 100lux}{(1.8uA)^2} = \frac{(5.7uA)^2 \cdot 100lux}{(1.8uA)^2} \cong 1000lux \quad (3.37)$$

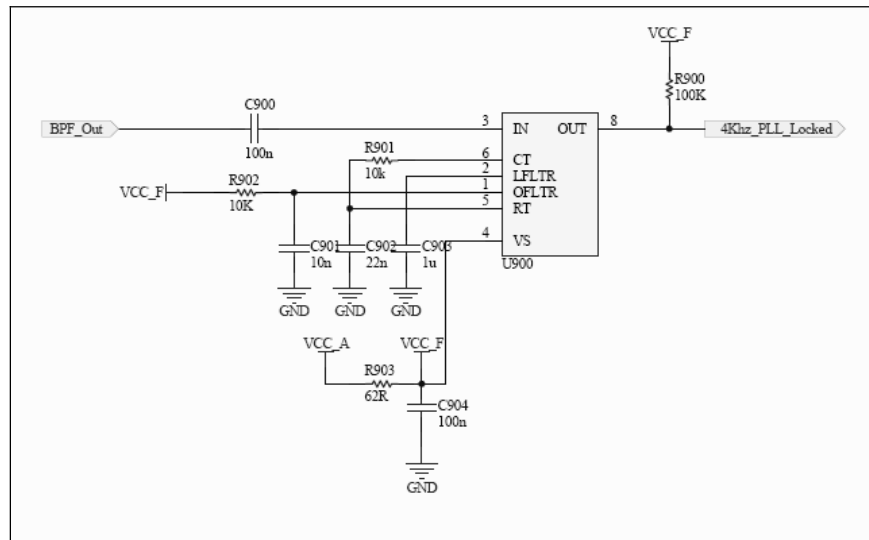
### 3.5. Ton çözme devresi

Algılayıcı uç noktaların birbirleri ile haberleşip birbirlerine göre göreceli mesafelerini ölçebilmeleri için her bir sensor kartı üzerine bir buzzer eklenmiş ve bu buzzer sayesinde 4KHz'lik işaret üretilerek alınan ses işaretinin gecikmesinden yararlanarak ve gelen RF mesaj arasındaki gecikme ölçülerek göreceli mesafeleri ölçülmeye çalışılmıştır. Burada 4KHz'lik bir referans işaretini algılayabilmek için ton çözme devresine ihtiyaç vardır.

Şekil 3.26'da görülen genel uygulama devresinde 4KHz'lik işareti algılayabilmek için hesaplanan eleman değerleri Şekil 3.27'de ton çözme devresi şemasında verilmiştir.



Şekil 3.26: LMC567 Tümlerik Devresi Genel Uygulama Devresi



Şekil 3.27: Ton Çözme Devresi

### 3.5.1. Band Geçiren Süzgeç (BGS)

Ton çözme devresi girişine uygulanacak olan işareti düzgün bir şekilde algılayabilmek için işaretin ilgili bileşenlerine ait bandı süzmek gerekmektedir. Bunun için dar bandlı bir BGS kullanılmıştır. Q Faktörü 6 ve kazanç 5 olacak şekilde süzgeç tasarımı yapılmıştır. Bu durumda band genişliği 600Hz ve merkez frekansı 4KHz olan bir süzgeç elde edilmiştir. Süzgece ait eleman değerlerinin hesaplaması aşağıda verilen formüller doğrultusunda yapılmıştır.

MFB Band Geçiren Süzgeç Tasarımı:

Şekil 3.28'de MFB yapıdaki BGS'ye ait devre şeması verilmiştir. Bu şemaya göre parametreler aşağıdaki formülasyonlar sonucunda hesaplanır.

$C11 = C12 = 1\text{nF}$  seçilerek;

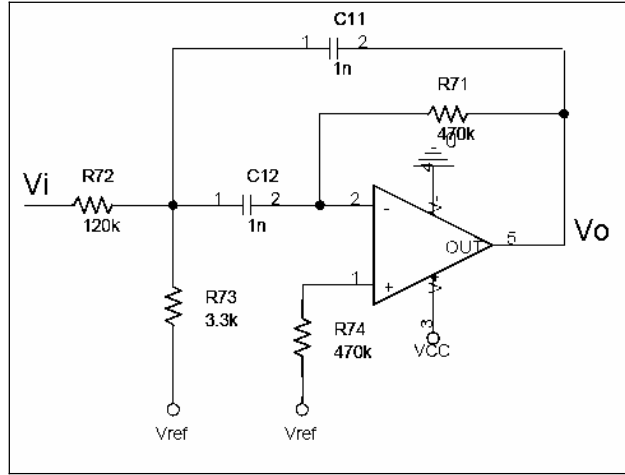
$$\text{Giriş direnci: } R72 = \frac{Q}{G \cdot 2\pi fC} \quad (3.38a)$$

$$\text{Zayıflatma direnci: } R73 = \frac{Q}{(2Q^2 - G) \cdot 2\pi fC} \quad (3.38b)$$

$$\text{Geribesleme direnci: } R71 = \frac{Q}{2\pi fC} \quad (3.38c)$$

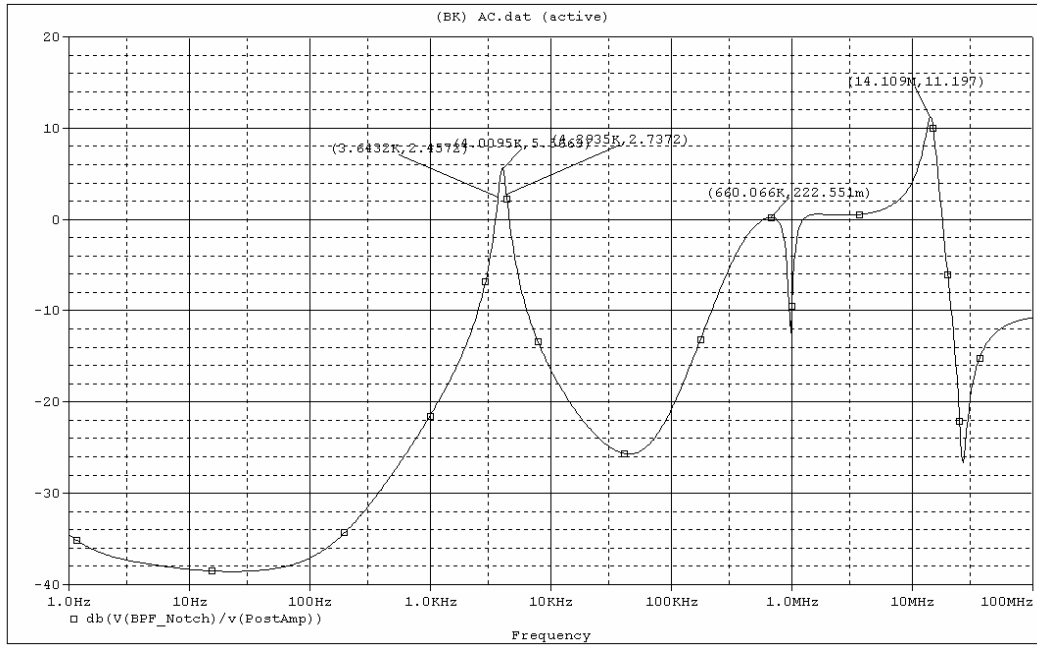
$$\text{Geçişbandı kazancı: } G = \frac{1}{2 \times R72 \times R71} \quad (3.38d)$$

$$\text{Merkez frekansı: } f = \frac{1}{2\pi C} \sqrt{\frac{R72 + R73}{R72 \times R73 \times R71}} \quad (3.38e)$$

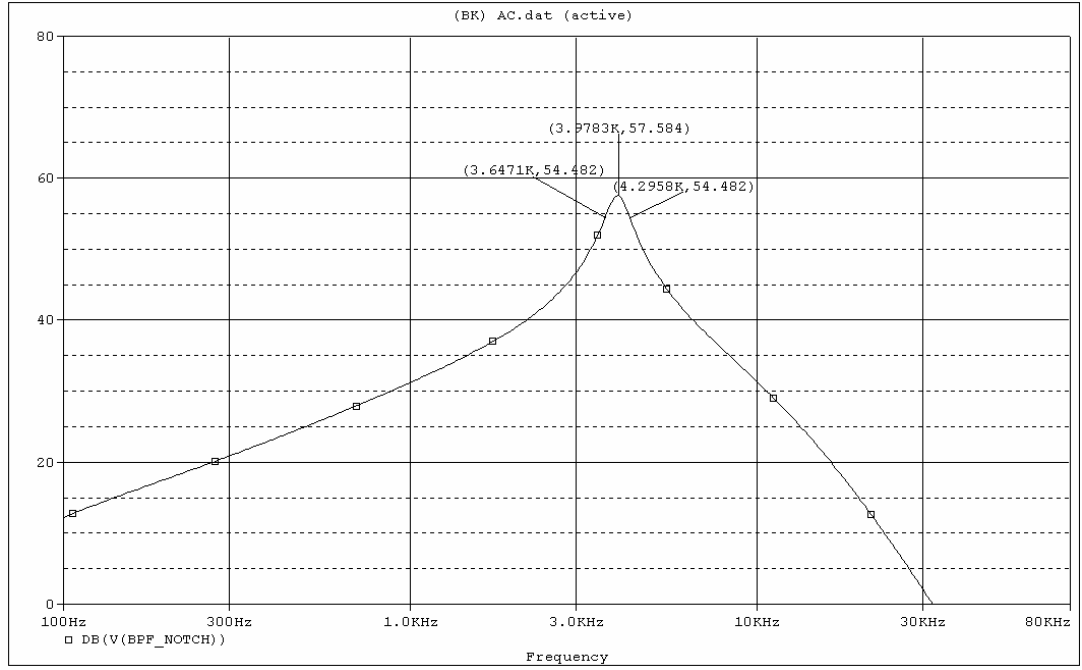


Şekil 3.28: MFB Yapıdaki BGS

Şekil 3.29'da ve Şekil 3.30'da BGS'in genlik-frekans yanıtı görülmektedir ve istenilen band genişliğinin sağlandığı görülmektedir. 600KHz ve 14MHz'de oluşan tepelerin karasızlığa sebep olabileceği veya bu banda düşen işaretleri geçirecekleri görülmektedir. Devrede kullanılan op-amp 500KHz GBP'a sahip olduğu için SPICE modelin'de göz önüne alınmamış olabilir.



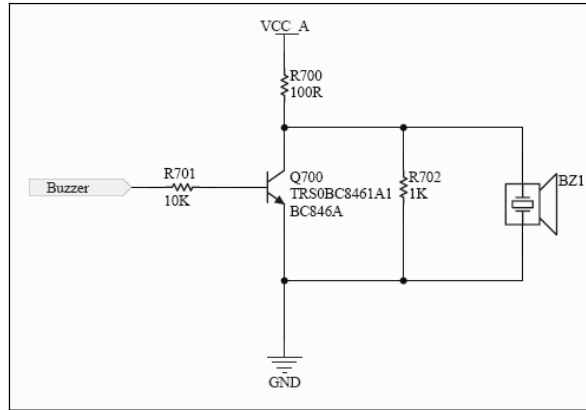
Şekil 3.29: BGS Genlik-Frekans Yanıtı



Şekil 3.30: Ön yükselteç, AGS, YGS, BGS'e ait , parametreleri

### 3.6. Referans İşareti Üreticisi

Sensor uç noktalarının birbirlerine göre göreceli mesafelerini ölçebilmeleri amacıyla gerekli referans işaretini üretmek için bir buzzer kullanılmıştır ve buzzer'ın 4KHz'lik bir ses işareti üretmesi sağlanmıştır. Şekil 3.31'de bu devreye ait şema verilmiştir.

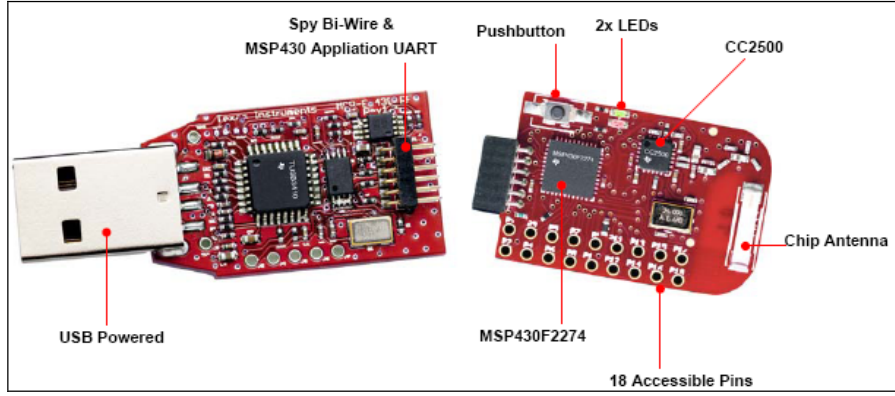


Şekil 3.31: Buzzer Sürme Devresi



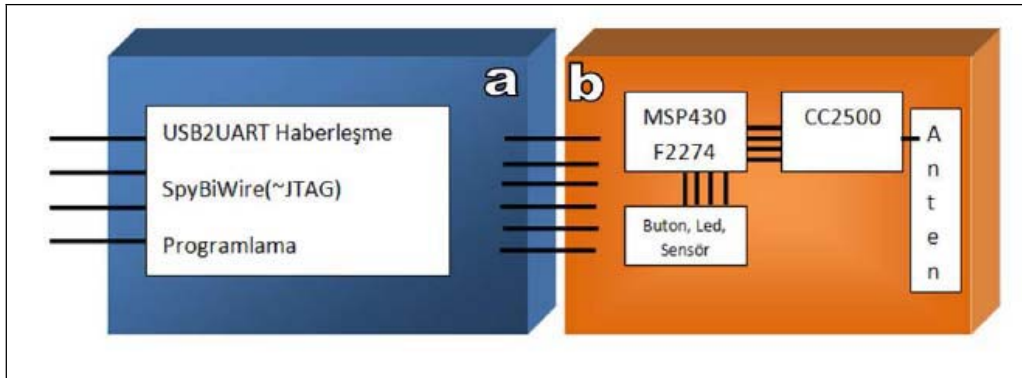
### 3.7. Kontrolör Kartı

Şekil 3.32’de ez430-RF2500 geliştirme kiti gösterilmiştir. Bu geliştirme kiti Texas Instruments’ın geliştirdiği SimpliciTI sensör ağı protokolünü desteklemektedir. Geliştirme kiti üzerinde 1 adet TI’a ait MSP430F2274 işlemci ve CC2500 RF alıcı/verici bulunmaktadır. Geliştirme sırasında test veya uygulamaya dönük olarak kullanılmak üzere 2 adet led ve 1 adet buton bulunmaktadır.



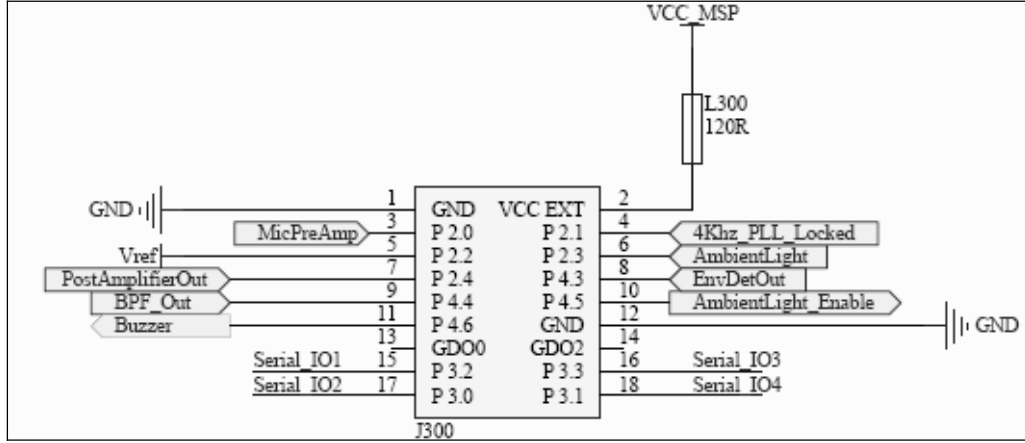
Şekil 3.32: ez430-RF2500 Geliştirme Kiti

Şekil 3.33’de gösterildiği üzere, geliştirme kiti 2 parçadan oluşmaktadır. Bunlardan 1.si programlama ve seriport uygulama kartı olan USB bağlantı kartı 2.si’de MSP430F2274 ve CC2500’ün bulunduğu uygulama kartıdır. Uygulama kartının boyutunu küçük tutmak için chip anten kullanılmıştır.



Şekil 3.33: Geliştirme Kartı Blok Şeması

Uygulama kartının üzerinde 18 adet pin dışarıya bağlantı için bırakılmıştır. Geliştirilen donanımda bu kart üzerindeki pinlere uygulama kartı bağlanacak şekilde tasarlanmıştır. Bu konektörün bağlantıları Şekil 3.34’de verilmiştir.



Şekil 3.34: Konektör bağlantıları

Tablo 3.2’de ez430-RF2500’e ait pin açıklamaları bulunan tablo verilmiştir.

Tablo 3.2: ez430-RF2500’e ait pin açıklamaları

No	Özellik	Açıklama
1	GND	Ground Reference
2	VCC	Supply Voltage
3	P2.0 / ACLK / A0 / OAI0	General-purpose digital I/O pin / ACLK output / ADC10, analog input A0
4	P2.1 / TAINCLK / SMCLK / A1 / OA00	General-purpose digital I/O pin / ADC10, analog input A1 Timer_A, clock signal at INCLK, SMCLK signal output
5	P2.2 / TA 0 / A2 / OA0I1	General-purpose digital I/O pin / ADC10, analog input A2 Timer_A, capture: CCI0B input/BSL receive, compare: OUT0 output
6	P2.3 / TA 1 / A3 / VREF - / VeREF - / OA1I1 / OA10	General-purpose digital I/O pin / Timer_A, capture: CCI1B input, compare: OUT1 output / ADC10, analog input A3 / negative reference voltage output/input

Tablo 3.3(Devam): ez430-RF2500'e ait pin açıklamaları

7	P2.4 / TA 2 / A4 / VREF + / VeREF + / OA1I0	General-purpose digital I/O pin / Timer_A, compare: OUT2 output / ADC10, analog input A4 / positive reference voltage output/input
8	P4.3 / TB0 / A12 / OA00	General-purpose digital I/O pin / ADC10 analog input A12 / Timer_B, capture: CCI0B input, compare: OUT0 output
9	P4.4 / TB1 / A13 / OA10	General-purpose digital I/O pin / ADC10 analog input A13 / Timer_B, capture: CCI1B input, compare: OUT1 output
10	P4.5 / TB2 / A14 / OA0I3	General-purpose digital I/O pin / ADC10 analog input A14 / Timer_B, compare: OUT2 output
11	P4.6 / TBOUTH / A15 / OA1I3	General-purpose digital I/O pin / ADC10 analog input A15 / Timer_B, switch all TB0 to TB3 outputs to high impedance
12	GND	Ground Reference
13	P2.6 / XIN (GDO0)	General-purpose digital I/O pin / Input terminal of crystal oscillator
14	P2.7 / XOUT (GDO2)	General-purpose digital I/O pin / Output terminal of crystal oscillator
15	P3.2 / UCB 0SOMI / UCB 0SCL	General-purpose digital I/O pin USCI_B0 slave out/master in in SPI mode, SCL I2C clock in I2C mode
16	P3.3 / UCB 0CLK / UCA 0STE	General-purpose digital I/O pin USCI_B0 clock input/output / USCI_A0 slave transmit enable
17	P3.0 / UCB 0STE / UCA 0CLK / A5	General-purpose digital I/O pin / USCI_B0 slave transmit enable / USCI_A0 clock input/output / ADC10, analog input A5

Tablo 3.4(Devam): ez430-RF2500'e ait pin açıklamaları

18	P3.1 / UCB 0SIMO / UCB 0SDA	General-purpose digital I/O pin / USCI_B0 slave in/master out in SPI mode, SDA I2C data in I2C mode
----	-----------------------------	---

### 3.7.1. MSP430F2274 donanım özellikleri

Texas Instruments'ın ürettiği microdenetleyicisi MSP430 ailesi, özellikle düşük güç uygulamaları için tasarlanmıştır. Düşük güç tüketimi 5 farklı güç modu ile ayarlanır. Güçlü 16 bit RISC CPU mimarisi, 16 bit saklayıcıları ile maksimum verimlilik hedeflenmiştir. Dijital olarak kontrol edilen osilatörü (DCO) sayesinde düşük güç modlarından aktif moda 1 µs 'den daha az sürede uyandırmaya izin verir. Bu "hızlı uyanış" düşük güç tüketiminin temel mantığını oluşturur.

Mikrodenetleyicinin sahip olduğu bazı çevresel birimler aşağıda listelenmiştir:

- 2 tane 16 bit sayıcı,
- 12 Adet 200ksps 10 bit a/d dönüştürücü,
- 2 Adet ayarlanabilir Op-amp,
- 32KB+256B ROM,
- 1KB RAM
- 2 tane UART, SPI, I2C, IrDA arayüzleri

Tipik uygulamaları ise:

- Sensör Sistemleri,
- Endüstriyel Kontrol Uygulamaları,
- Mobil Aletleri İçermektedir.

MSP430 serisi çeşitli uygulamalara yönelik farklı modüller içeren ultra düşük güçlü bir mikrodenetleyici ailesidir. Düşük güç tüketimi sayesinde temelde pilli uygulamalar için tavsiye edilen bir çözümdür.

Analog sinyalleri işleyen algılayıcı sistemlerin tipik uygulamalarında, alınan analog değerler sayısal değerlere dönüştürülüp işlem yapılır. Elde edilen sonuçlar sayısal

olarak kaydedilir veya ilgili yerlere gönderilir. Zamanlayıcılar, sayısal motor kontrolü, taşınabilir sayaçlar, optik ağların kontrolü gibi endüstriyel uygulamalar hep aynı temel mantık vardır. Analog bilgi alınır, sayısal dönüştürülür gerekirse işlenir ve iletilir.

Mikrodenetleyicinin güç tüketim özellikleri aşağıda listelenmiştir:

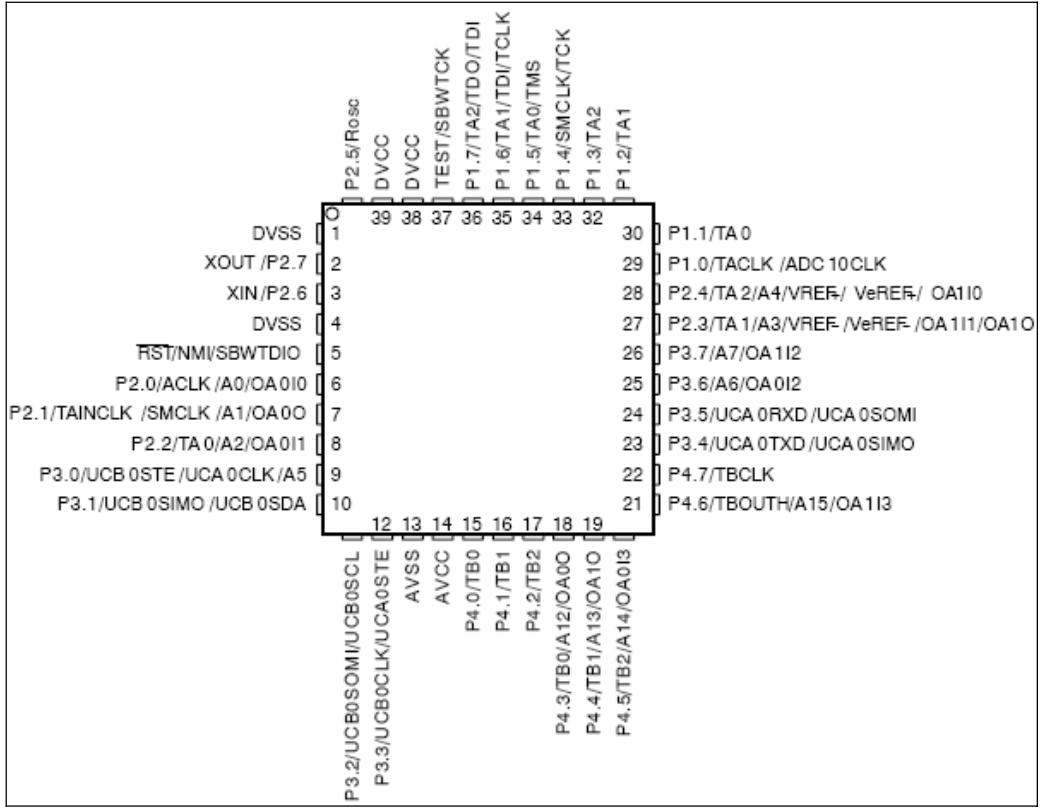
- Düşük besleme voltajı aralığı 1,8V ... 3,6V,
- Düşük güç tüketimi;
- Aktif mod = 270  $\mu$ A 1 MHz' de 2,2V'da
- Hazır Bekleme modu = 700nA
- Kapalı modu (RAM saklama) = 200nA

MSP430F2274 Saat Darbesi Devreleri:

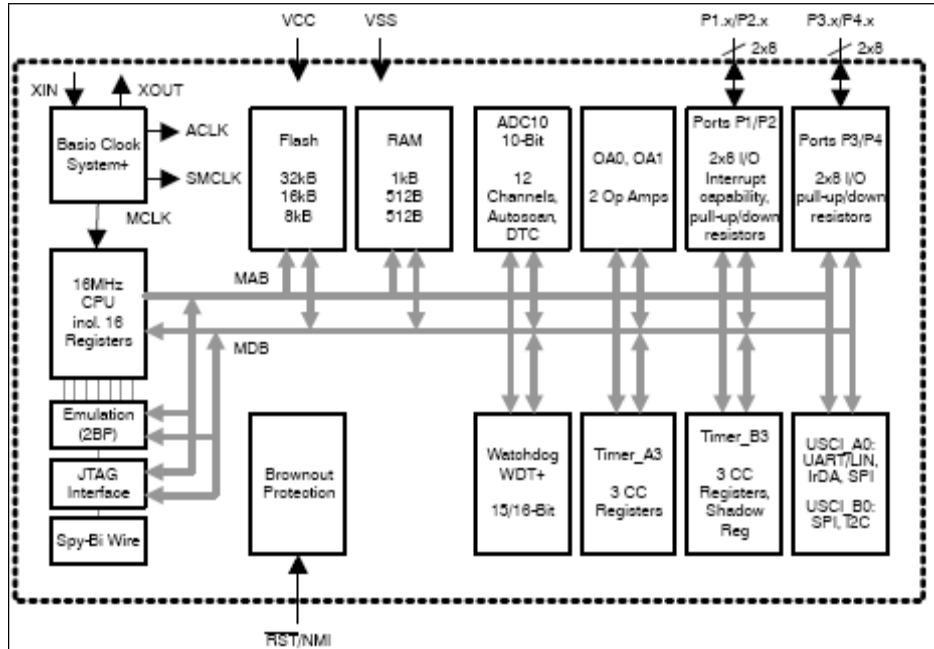
Bu modül mikrodenetleyici için gerekli saat sinyalini üretilmesini sağlar ve saat modülünü kontrol ederek çalışması için saat sinyaline ihtiyacı olan birimlere yönlendirir. Çeşitli güç harcama durumlarına göre çok farklı şekillerde ayarlanabilir. MSP430 ailesinin düşük güç tüketiminde önemli bir rol oynar. Bir çok yapılandırma çeşidi vardır.

Saat kaynakları(clock sources) 4 çeşittir;

- LFXT1CLK: Yüksek ve Alçak frekans kaynağı, 32.768 Hz, 400Khz, 16 Mhz aralığında sinyal üretebilir.
- XT2CLK: Opsiyonel yüksek frekans kaynağı
- DCOCLK: İçten kontrol edilebilir maksimum 16MHz'lik saat kaynağı(DCO)
- VLOCLK: İçten kontrol edilebilir, düşük güçlü ve düşük frekanslı 12KHz saat kaynağı



Şekil 3.35: MSP430F2274 ‘un Bacak Bağlantıları

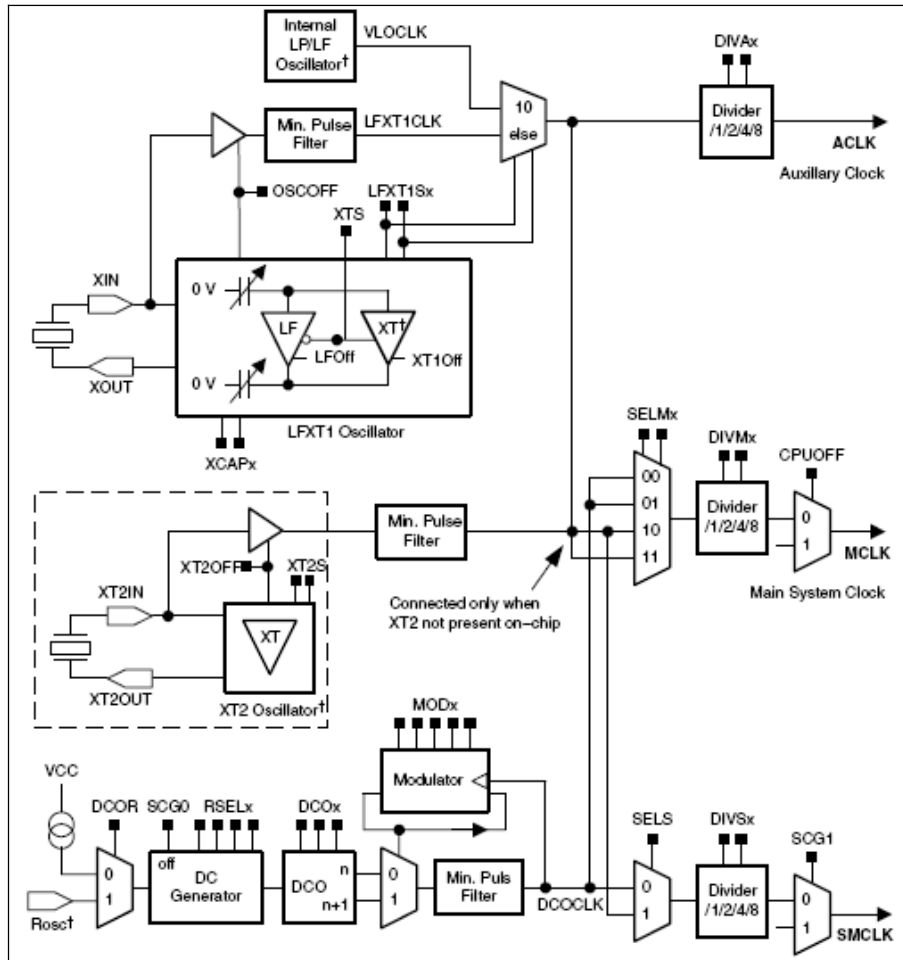


Şekil 3.36: MSP430F2274 ‘un Fonksiyonel Blok Diyagramları

Bu saat darbeleri kullanılarak içerideki birimlere saat darbeleri üretilebilir. İçeride bu saat darbelerine bağlı olarak dağıtılan işaretler aşağıdaki gibi gruplandırılır.

- ACLK; Yardımcı saat işareti çevrebirimleri için opsiyoneldir. Kaynağı VLOCLK ya da LFXT1CLK olabilir.
- MCLK; Ana saat işareti, İşlemci(ALU) için kullanılır. Opsiyonel olarak üstteki 4 saat kaynağı da kaynak olarak kullanılabilir.
- SMCLK; İkincil ana saat işareti, peripheral için kullanılır. Opsiyonel olarak üstteki 4 saat kaynağı da kaynak olarak kullanılabilir.

ACLK, MCLK, SMCLK saat sinyalleri kaynaklardan aldığı sinyalleri 1,2,4,8 e bölerek kullanabilirler. Bu registerlerden ayarlanabilir ve istenilen bölme oranlarında saat işaretleri oluşturulabilir. Şekil 3.37’de saat işareti oluşturmak için kullanılan devreye ait blok şema verilmiştir.



Şekil 3.37: Saat kaynakları ve saklayıcı seçimlerine ait blok şema

## Çalışma Modları:

MSP430, biri aktif ve diğerleri de düşük güç olmak üzere yazılımsal olarak seçilebilir 6 farklı çalışma moduna sahiptir. Kesme olayı 5 düşük güç modundan mikrodenetleyiciyi uyandırır, istenilen servisi uygular ve istenilen düşük güç moduna geri döner. Aşağıda 6 tane yazılım ile seçilebilen çalışma modları vardır. Burada belirtmek gerekir ki, bu çalışma modları modüllerin çalışmasını doğrudan etkilemez. Etkilemesi sadece saat işaretlerinin kapanması nedeniyle olur.

### Aktif mod AM:

- Tüm saatler aktif

### Düşük-güç modu 0 (LPM0):

- CPU pasif durumdadır.(kullanılmaz)
- ACLK ve SMCLK aktif kalır.MCLK kullanılmaz

### Düşük – güç modu 1 (LPM1):

- CPU kullanılmaz, pasiftir.
- ACLK ve SMCLK aktif kalır.MCLK pasiftir
- Eğer DCO aktif modda değilse, DCO'nun dc jeneratör(üretici) kullanılmaz

### Düşük - güç modu 2 (LPM2):

- CPU Pasiftir
- MCLK ve SMCLK pasif durumdadır
- DCO 'nun dc jeneratörü kullanıma hazır bekler
- ACLK aktif kalır

### Düşük - güç modu 3 (LPM3):

- CPU pasiftir
- MCLK ve SMCLK pasiftir
- ACLK aktif kalır

### Düşük - güç modu 4 (LPM4):



- CPU pasiftir
- ACLK pasiftir
- MCLK ve SMCLK pasiftir
- DCO' nun dc jeneratörü pasiftir
- Kristal osilatör durdurulmuştur

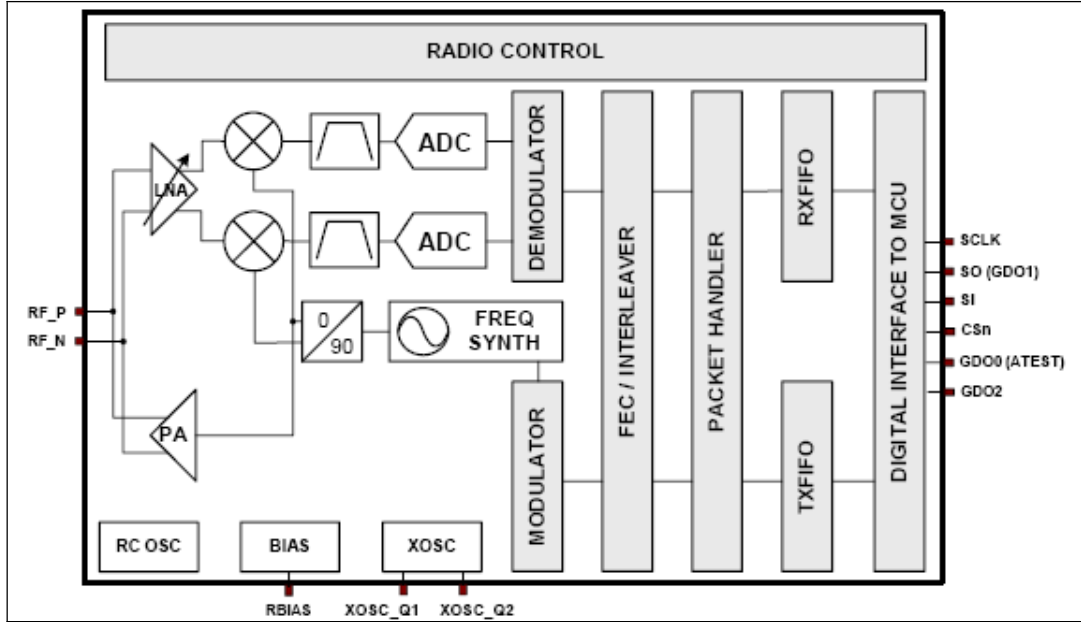
### 3.7.2. CC2500 donanım özellikleri

CC2500 tümleşik devresi, Chipcon firmasının 2.4Ghz endüstriyel RF bandında çalışan alıcı/verici entegresidir. Bazı temel özellikleri aşağıdaki gibi listelenebilir:

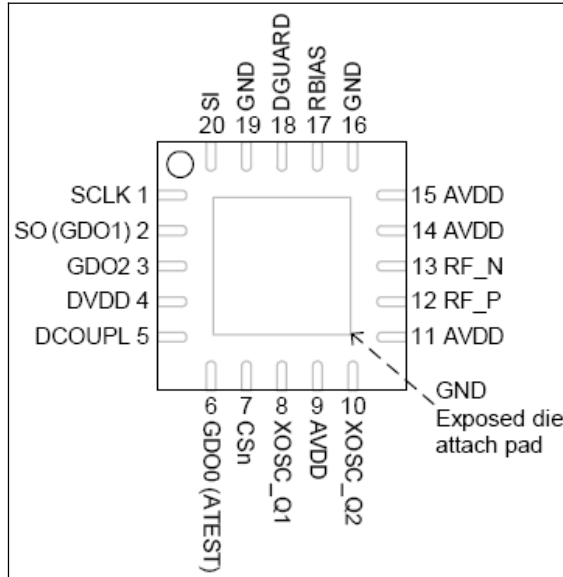
- 2400- 2483.5 MHz ISM/SRD bandında 500kbps'a kadar TX, RX yapabilme özelliği
- 0 dBm'e kadar çıkış gücü
- Programlanabilir baseband özelliği
- Çoklu kanal uygulamaları desteği
- Donanımsal paket işleme özelliği
- İsteğe bağlı FEC özelliği
- 64 Byte RX ve 64Byte TX tampon belleği
- Sayısal RSSI çıkışı
- Wake-on-radio özelliği ile RX tamponlaması yaparak güç tüketimi sağlama
- Programlanabilir kanal band genişliği ayarlayarak alıcı hassasiyetini artırabilme özelliği
- FSK, GFSK, MSK, OOK modülasyonlarını destekleme
- Gönderilecek veriyi yayma ve tekrar açma özelliği
- Programlanabilir taşıyıcı algılama uyarıcısı
- Programlanabilir senkronlama işareti kalitesi algılama özelliği
- Her bir gönderilen paket için bağlantı kalitesi bilgisi

Şekil 3.38'de CC2500'e ait basitleştirilmiş blok şema verilmiştir. Şema incelendiğinde; CC2500'un low IF bir alıcı olduğu görülmektedir. Alınan RF işareti LNA tarafından güçlendirilip, dikken kanallara bölünerek (I ve Q kanalları) IF işareti haline getirilir. IF'de I ve Q kanalları filtrelenerek ADC tarafından sayısal forma

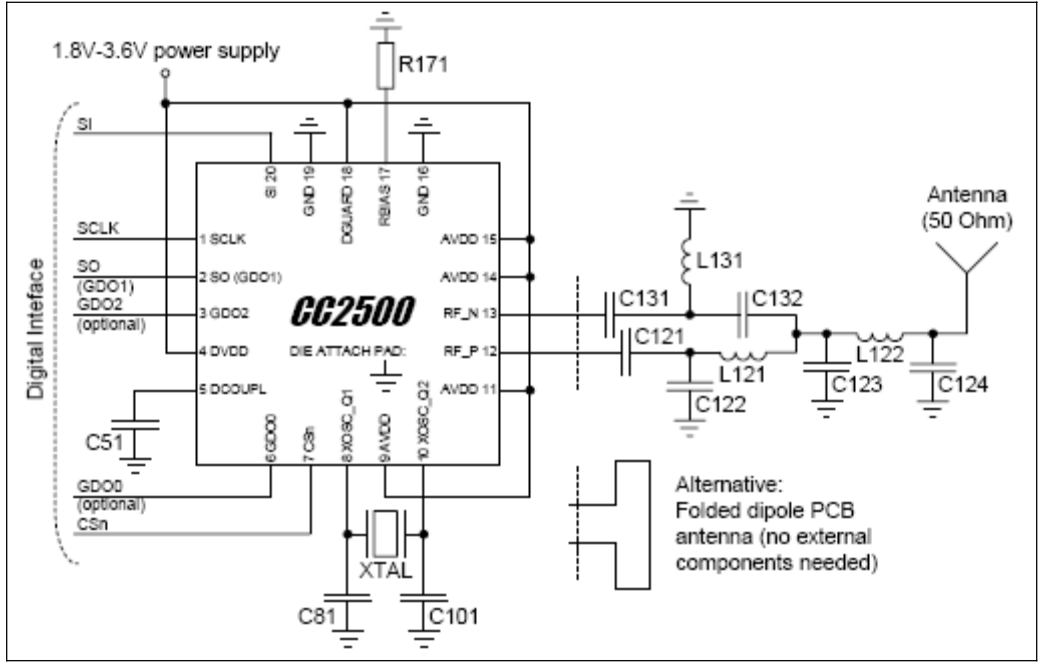
sokulur. AGC, hassas kanal filitreleme, demodülasyon, bit/paket senkronlama gibi işlemler sayısal olarak gerçekleştirilir. CC2500'un gönderme kısmı doğrudan RF sentezleyiciden oluşmaktadır.



Şekil 3.38: CC2500 Blok Şeması



Şekil 3.39: CC2500 bacak bağlantıları



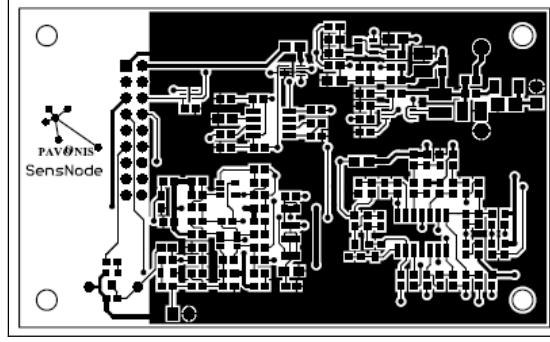
Şekil 3.40: CC2500 Tipik Uygulama Devresi

### 3.8. Tez Donanımı Baskı Devresi

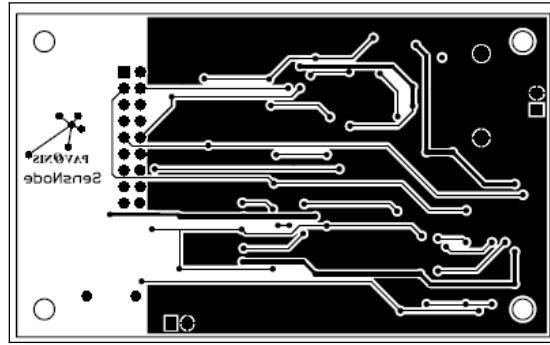
Önerilen tasarımın deneysel sonuçlarının da alınabilmesi için baskı devre hazırlanarak üretilmiştir. Üretilen kart iki taraflı ve SMD malzemeler kullanılarak tasarlanmıştır. Baskı devrenin ön yüzünde analog devreler ve besleme katı bulunmaktadır. Arka yüzde (alt katman) buzzer, pil, mikrofon ve güneş paneli konnektörleri ve ez430-RF2500 kiti bulunmaktadır.

Kullanılan RF kitin, analog devreleri etkilememesi için gerekli görülen yerlerde güç katlarına süzgeçler koyulmuştur. Devredeki toprak direncini azaltmak ve dışardan gelen gürültülerle karşı dayanıklılığını artırmak için analog devrenin bulunduğu kısım toprak tabakası ile kaplanmıştır. RF kartın anteninin toprak tabakasından etkilenmemesi için RF uygulama kartının takılacağı yerdeki toprak tabakası boşaltılmıştır.

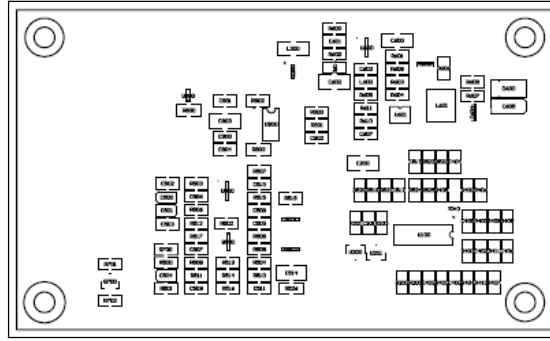
Şekil 3.41, Şekil 3.42, Şekil 3.43 ve Şekil 3.44'de baskı devreye ait çıktılar verilmiştir.



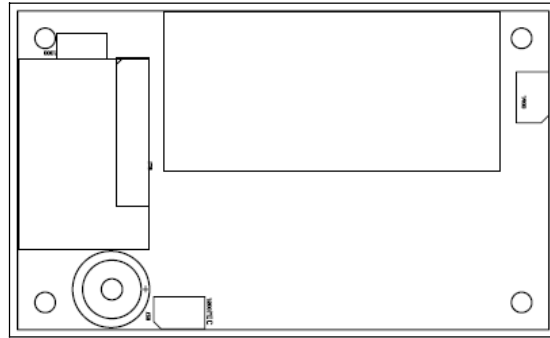
Şekil 3.41: Baskı Devre Üst Katmanı



Şekil 3.42: Baskı Devre Alt Katmanı



Şekil 3.43: Baskı Devre Üst Katmanı Eleman Yerleşimi



Şekil 3.44: Baskı Devre Alt Katmanı Eleman Yerleşimi

#### **4. KDA PLATFORMUNDA KULLANILAN YAZILIM**

Kablosuz duyurga ağlarının hedeflenen amaçları gerçekleştirebilmesi için, donanım özelliklerinin iyi planlanmış olması kadar, yazılımının da donanımı destekleyebilecek kadar iyi olması gereklidir. Bu nedenle yazılımın bir takım özelliklerinin olması gerekir:

- Hafızayı etkin kullanmalı,
- Mikroişlemciyi etkin kullanmalı,
- Güç kullanımı etkin olmalı,
- Algılayıcı girişlerine cevaben kesme üretebilmeli,
- Uygulamaya yönelik özelleştirilebilmeli,
- Nesneye yönelik programlama mantığı ile çalışmalı,
- Veri toplama ve veri işleme süreçleri birbirinden bağımsız olabilmeli,
- Çok farklı donanımlar ile çalışabilmeli, esnek/modüler olmalı,
- Birden fazla uygulamayı bir arada yürütebilecek bir mimariye sahip olmalıdır.

##### **4.1. İşletim sistemi**

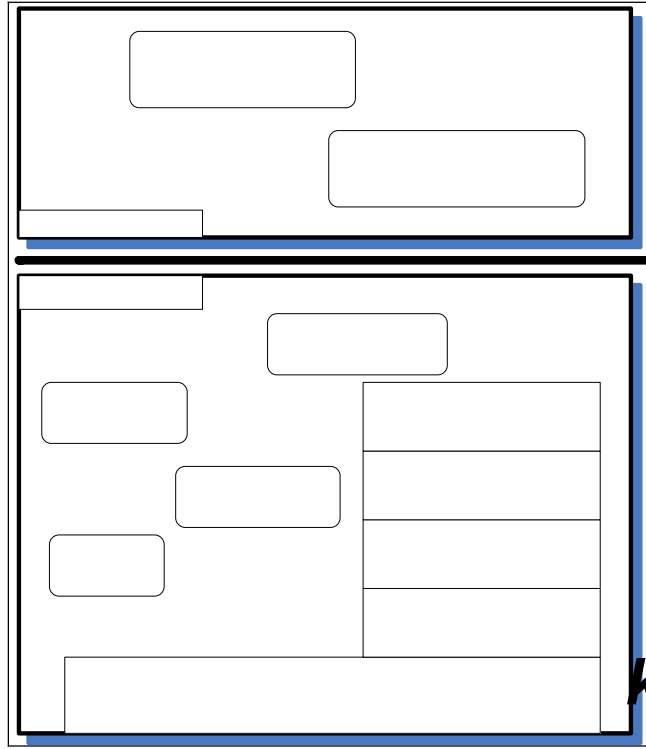
Geleneksel gerçek zamanlı gömülü işletim sistemlerinden bazıları; VxWorks [23], WinCE [24], PalmOS [25], QNX [26], ve benzeri [27-29] olarak sayılabilir. Sayılanların çoğu küçük bir çekirdek yapısına sahip olup, uygulamanın gerektirdiği özelliklere göre paketler eklenebilir olarak tasarlanmıştır.(Tablo 4.1) Klasik bilgisayar işletim sistemi geliştirme arayüzüne benzer yüzler kullanılarak bilgisayar ortamında geliştirilerek hedeflenen donanıma yüklenir.

Tablo 4.1: İşletim sistemlerinin karşılaştırılması

İsim	Koruma	ROM boyutu	Ayarlanabilirlik	Derlenen yer -> Hedef işlemci
VxWorks	var	≈286Kbyte	Dinamik	Pentium -> ARM
QNX Neutrino	var	>100Kbyte	Dinamik	PentiumII -> NEC
QNX Gerçek zamanlı	var	100Kbyte	Dinamik	PentiumII -> 386
TinyOS	var	400 byte	Statik	Pentium -> ARM
CREEM	yok	560 byte	Statik	Atmel 8051
Chorus OS	opsiyonel	10Kbyte	Dinamik	Pentium -> ARM
pOSEK	yok	2Kbyte	Statik	mikrodenetleyiciler
Ariel	yok	19Kbyte	Statik	ARM Thumb

İşletim sistemleri büyüdükçe ve geliştikçe, korumalı hafıza gibi özellikleri de ihtiva eder hale gelirler. Bu tip özellikler işletim sisteminin ihtiyaç duyduğu hafıza miktarını arttırır fakat bir nedenle yanlış yeri göstermeye başlayarak ulaşmaması gereken yere yazmaya çalışan işaretçilerin meydana getirdiği hatalara karşı da işletim sistemini korurlar. Bu tip işletim sistemleri, avuç içi bilgisayarlar, cep telefonları ve gömülü bilgisayarlar için çok kullanışlıdır. Buna rağmen, kablosuz duyarga ağlarının ihtiyaç duydukları düşük hafızaya ihtiyaç duymak gibi özellikleri sağlamaktan çok uzaktırlar. Büyük işletim sistemlerinin yanında, Creem [30], pOSEK [31], Ariel [32] gibi mikrodalga fırınlarında, motor kontrol uygulamalarında kullanılan nispeten daha küçük işletimleri de mevcuttur.

Şekil 4.1'de, klasik bir işletim sistemi mimarisi gösterilmiştir. Bu mimaride, katmanlar net bir şekilde belirlenmiş ve kesin çizgilerle birbirlerinden ayrılmışlardır. Kaynakların yeterli ve çok olduğu kabul edilerek tasarlanmıştır. Bunun nedeni ve etkisi, son uygulamaların tamamıyla birbirinden bağımsız hafıza ve kod bloklarına sahip olması ve bir diğer işletim sistemiyle veri alışverişini noktadan noktaya erişim prensibi ile kurmasıdır.



Şekil 4.1: Klasik bir işletim sistemi mimarisi

**kullanıcı**  
**sistem**

Kablosuz duyurga ağları ile çalışılırken, iki nokta ön plana çıkmaktadır:

- Olay önceliklidir ve olaylar rastgele meydana gelir. Birden fazla veri akışı ve işleme eşzamanlı olarak devam edebilmelidir.

**İş - görev**

- Uygulamaya ve donanıma özgü bileşenler birbirlerine kolayca uyarlanabilmelidir.

İş düzenleyicinin çalışma yapısı da aşağıda gösterilen bir program kodu ile (Tablo 4.2) açıklanabilir.

Tablo 4.2: İş düzenleyicinin çalışma kodu

```
main() { ...
    while(1) {
        while (more_tasks)
            schedule_task();
        sleep();
    }
}
```

**Dosyalar**

Uygula

Adres a

## 4.2. Haberleşme protokolü SimpliTI

SimpliTI Texas Instruments'ın geliştirmiş olduğu; az sistem kaynağı kullanmayı ve düşük güç tüketimini hedefleyen, kolay uygulanabilir ve düşük maliyetli olan bir KDA haberleşme protokolüdür.

Geliştirilen protokolün kullanım alanı olarak noktadan noktaya mesaj uygulamaları amaçlanmıştır. Birçok durumda noktalar birbirleriyle direk bağlanmışlardır. Ancak, SimpliTI istenmeyen veya ihtiyaç olmayan aygıt çiftleri için olan senaryoları da desteklemektedir. Örnek olarak; çoklu algılayıcı/alarm içeren ve alarmı ağ boyunca yaymak için istekli olan duman alarm senaryosu gibi. Bu durumda, aktifleşmiş bir alarm, tüm alarmlar için mesaj yayınlayacak bu yüzden alarm tüm ağ boyunca yayılmış olacaktır.

SimpliTi protokolünün kullanıldığı örnek uygulamalar aşağıdaki gibi listelenebilir:

- Alarm ve güvenlik: Bu uygulamalar cam ara sensörleri, doluluk sensörleri, kapı kilitleri, karbonmonoksit ve ışık sensörleri vb gibi sistemlerde kullanılırlar.
- Duman dedektörleri: Alarm ve Güvenlik uygulamalarına benzer şekilde Duman Dedektörlerinde de yaygın olarak kullanılırlar
- AMR: uzaktan sayaç verilerinin toplanması için kullanılabilir.
- Ev otomasyonu; garaj kapıları ve aletleri veya sıcaklık, ışık verileri gibi sensor uygulamalarında kullanılabilirler.

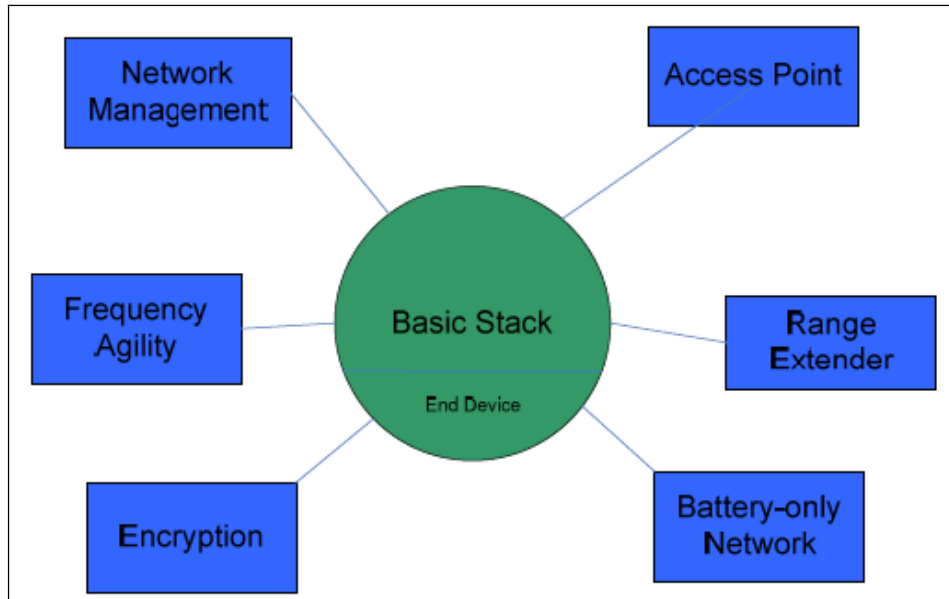
SimpliTI haberleşme protokolünün tasarımda hedeflenen özellikler şöyle sıralanabilir:

- Düşük güç tüketimi
- Düşük maliyet
- Basit uygulama kolaylığı ve dağıtım
- Güvenlik
- Frekans çevikliği (Bozucu işaretlere karşı kanal değiştirebilme özelliği)
- Verilerin şifrelenmesi ve iletilmesi



- Ağ aygıt türlerine göre gruplandırabilme
- Erişim noktası (AP)
- Mesafe uzatıcı (RE)
- Duyarga aygıtı (ED)
- Topoloji
- Yıldız
- Noktadan-noktadan erişim
- Yönlendirme
- Gereksiz verilerin süzülmesi
- Ortama erişim kontrolü
- Radyo parametreleri
- Sadece pil ile çalışabilen duyarga düğümlerini desteklemesi

Kullanıcıların kullanımının kolaylaştırılması amacıyla hazırlanan servis fonksiyonları (API) ağı sınırlama, aygıtları bağlama ve mesaj gönderme gibi temel özellikleri sağlamaktadır. Şekil 4.2’de protokoldeki temel yığınlar görülmektedir. Gerekli görüldüğü durumda yığının içersine istenilen modüller eklenerek ek ağ aygıtına istenilen özellikler yüklenebilir.



Şekil 4.2: Simpliciti Yığın Modülleri[29]

#### 4.2.1. Temel yığın ve özellikleri

Şifreleme:

Şifreleme seçimi donanımsal veya yazılımsal olarak yapılabilir. CC1210/CC2500 alıcı/vericileri donanımsal şifreleme için uygun değildir. Bu yüzden bu platformda şifreleme yazılımsal olacaktır.

Şifreleme aktifleştirildiğinde, adres alanı dışındaki şifreleme içerik alanı şifrelenir. Böylelikle mesafe uzatıcı bir düğüme gelen paket istenilen yere yönlendirilirken, içerikteki şifreleme korunmuş olur.

Şifreleme veri güvenliğini de sağlamak amacıyla kullanılır. Ağa dahil olmayan cihazlara verilerin aktarılması ve kullanılması engellenmiş olur. Ağa dahil olmayan cihazlardan gelen verilerde anlamsız olacağı için ağ içerisinde bu verilerin süzülme işi alıcılar veya yönlendiriciler ile yapılır.

Frekans Atlama:

Bu özellik eğer var olan frekans gürültülü ise başka bir frekansa geçmeyi sağlar. Aygıtlar yanlış frekansta olduklarını saptayan paketler gönderebilirler. Gönderici daha sonra onay iletilene kadar frekans tablosunun içinde adım atlar. Bu, yeni bir cihaz ağa girmeye çalıştığında veya cihazlar ağın kapsama alanından çıkma durumları oluştuğundan sonra uykuda olan cihazların farkına varması sırasında karşılaşılan bir senaryodur.

AP bulunan ağlarda, AP'ler değişimi mesaj yayını ile anons edeceklerdir. AP bulunmayan ağlarda ise bu işlem donanımsal olarak yapılmaktadır. Kullanılacak radyo donanımının bunu desteklemesi gerekmektedir.

Tx aygıtları tablodaki tüm frekanslar için gönderim ve alım yapabilirler. Kanal tablosu derleme esnasında veya sonradan aktarılacak veri ile güncellenebilmektedir.

Ağ Yönetimi:

Ağ yönetimi AP'nin etki alanıdır ve AP'nin fonksiyonlarını içerir. Örneğin güç tüketimi sağlamak için uykuda olan cihazlar için verinin saklanması ve cihaz uyandığında iletilmesi, şifreleme anahtarının değiştirilmesi veya güncellenmesi, frekans kanalı seçimi ve kanal yönetimi gibi özellikleri içermektedir.

Erişim Noktası (AP):

Erişim noktası ağın içersindeki merkez düğümdür. Merkez düğüm ağın yönetimi ve koşullanması işlevlerini üstlenir. Erişim noktası son aygıt bağlantılarına olanak sağlar ve verilerin bir merkezde toplanmasını sağlar.

SimpliciTI yıldız topolojisini desteklediği için uyuyan düğümler arasındaki bağlantı AP üzerinden olur ve gelen verileri tekrarlayarak iletimini sağlar. AP veriyi tekrarlayıp ilettiği veri çerçevesi farklıdır ve içerisinde her geçen RE için kaç atlama yaptığını içeren bilgiyi içerir. Bu bilgi sınırlanan değerden fazla olduğunda veri paketi ortamdaki atılır ve böylelikle ağ içerisinde dolaşan gereksiz verilerin ortamda gereksiz yere dolaşması engellenmiş olur. [29]

Mesafe Uzatici (RE):

RE, AP gibi bir çok özelliği içinde bulunduran bir düğüm noktasıdır. Ağ içerisinde AP'ler yönlendirici görevi görüyorsa RE'ler de gateway veya köprü gibi koşullandırılıp kullanılabilirler.

SimpliciTI ağında RE'lerin asıl görevi sınırlı olan ağın kapsama mesafesini uzatmaktır. Fakat istenildiğinde bir duyarga düğümü gibi kullanılabilirler. Ama her daim açık olmaları gerektiği için güç tüketimi konusunda başarılı değildirler. Ağın yönetimi işlevleri bu düğümlere verilmemiştir. Ek özellikler eklenmediğinde sadece tekrarlayıcı görevi görürler ve çerçeve içerisine yerleştirilen atlama sınırını aşan paketleri ortamdaki uzaklaştırırlar.

Sadece pil ile çalışan duyarga düğümlerinin özellikleri

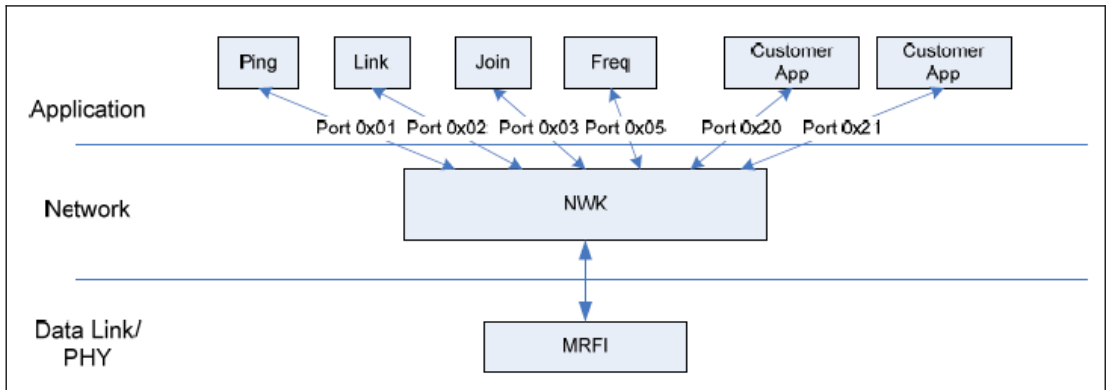
AP'ler daimi beslemeye sahip oldukları için bu tür ağlarda AP yoktur. Sadece pil ile çalışan ağlarda yani tüm düğümlerin duyargalardan oluştuğu ve sınırlı kaynağa sahip olduğu ağlarda, tüm düğümlerin uyuyan düğümler oldukları ve belirli aralıklarla uyanıp veriyi ilettikleri düşünülmektedir. Bu tür ağlarda yığın içerisinde yer almayan bazı özellikler eklenmesi gerekmektedir ama yığın gerçekleştirildiği kadarı ile de bu tür ağları desteklemektedir.

#### 4.2.2. SimpliCI TI ağ mimarisine genel bakış

SimpliCI TI Ağ Katmanları:

SimpliCI TI kavramsal olarak 3 tane katmanı destekler. Bu katmanlar Şekil 4.3'de gösterilmiştir. Kullanıcıların gelişime için ihtiyaç duyacağı tek bölüm uygulama katmanıdır. Haberleşme desteği, ağı yapılandırmak ve havadan okuma/yazma mesajlaşması için kullanılan API fonksiyonlarının ayarlanmasıyla sağlanır. Mimari tam anlamıyla OSI referans modeline benzemez.

Burada PHY veya Veri Atlama(MAC/LLC) katmanı bulunmaz. Veri doğrudan radyodan alınır. Güvenlik desteği, ağ katmanına ek olarak yerleştirilmiştir. Eğer güvenli bir nakil gerekliyse bu işlem uygulama tarafından sağlanmalıdır. Bu yüzden nakil katmanı bulunmamaktadır.



Şekil 4.3: SimpliCI TI Mimarisi

### Uygulama Katmanı:

Uygulama katmanı, mesajlaşma yapısı ile çalışmaktadır. Kullanıcılar geliştirdikleri uygulamalardan SimpliCiTi'nin API fonksiyonlarını kullanarak protokol ile mesajlaşarak çalışmaktadırlar. Ağın kendi kendini yönetmesi SimpliCiTI tarafından Şekil 4.3'de gösterildiği gibi çeşitli uygulamalar yardımı ile gerçekleştirilir.

### Ağ Katmanı:

Ağ katmanı burada OSI'nin özelliklerini gösterir ve uygulama katmanı ve ağ katmanı arasındaki bağlantıları gizler.

### Ağ Parametreleri:

Ağ kurulumu, yapı-zaman yapılandırma planları tarafından sürülür. Bu plan statik nesnelere, başlık dosyaları ve bildirim sabitlerini üreten kod üretme aracı içerir. Bunların bazılarının zaman ayarlaması ioctl() yoluyla uygulamadan ulaşılabilmektedir.

Ağ parametreleri şunları içerebilir;

- Temel frekans ve frekans boşluğu
- Desteklenen frekans sayısı(frekans tablosundan)
- Modülasyon metodu, veri oranı ve diğer radyo parametreleri
- Varsayılan ve üretilen ağ şifreleme anahtarı
- Tutmak için kaydet-ve-ilet mesaj sayısı
- Aygıt adresleri
- Tx aygıtlarındaki tekrar oranı
- Katılım ve bağlanma jetonları

### Ağ Katmanı Uygulamaları:

İyi bilinen portlardaki ağ uygulamaları ağı yönetmek üzere noktadan-noktadır. Bazı uygulamalar zorunludur. Tablo 4.3'de bu uygulamalar belirtilmiştir.

Tablo 4.3: NWK Uygulamaları

Uygulama	Port	Aygıt Desteği
Ping	0x01	TX aygıtları dışında zorunludur.
Link	0x02	Ağa bağlanmak için zorunludur.
Join	0x03	Ağın içinde AP olduğunda aktiftir.
Security	0x04	Ağın içinde AP olduğunda aktiftir.
Freq	0x05	Ağın içinde AP olduğunda aktiftir.
Mgmt	0x06	Genel amaçlı olarak ayrılmış yönetim uygulaması

Minimal RF Arayüzü:

Bu katmanın özeti radyo için temel okuma/yazma çerçevesidir. SimpliciTI tarafından desteklenen farklı radyolar için farklı uygulamalar gerekli olabilir. Ancak ağ için önerilen temel arayüz temelde her radyo için aynıdır.

Farklı radyolar, tipik veri bağlantısı ve PHY katman sorumlulukları için desteğin farklı düzeylerini önerir. MRFI bu farklılıkları kapsamaktadır ve sadece aygıt sürücülerinin değiştirilmesi ile birlikte farklı radyolarında kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Bir bakıma bir çok uygulamadaki HAL düzeyinde aygıt sürücülerini içerir.

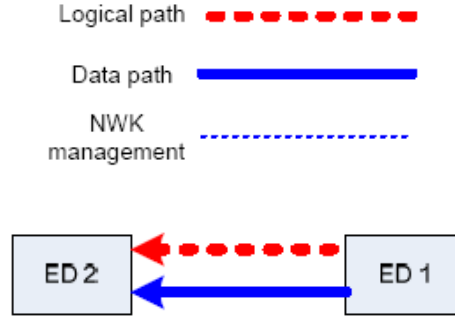
Kurulum Destek Paketi aşağıdakileri içerir:

- Radyo için SPI Arayüzü
- Radyodan asenkron olarak gelen bildirimleri desteklemek için genel amaçlı giriş çıkış bağlantıları ile kesme yönetimi
- LED ve buton desteği

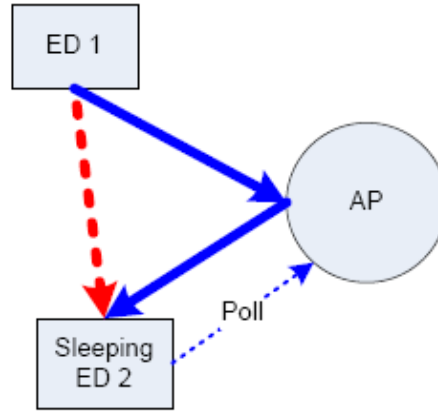
Topoloji:

SimpliciTI AP üzerinden yıldız bağlantıyı veya AP ve RE'lar üzerinden yıldız bağlantıyı destekler. Aynı zamanda duyarga düğümlerinin de birbirleri ile haberleşmesini sağlayan uçtan uca bağlantı desteği vermektedir.

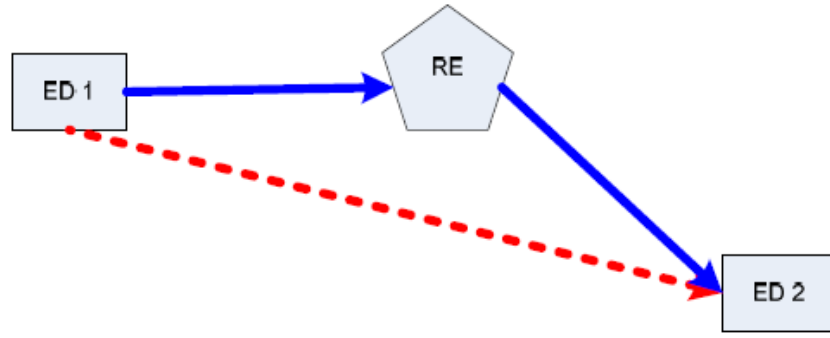
Aşağıda Şekil 4.4, Şekil 4.5, Şekil 4.6 ve Şekil 4.7'de gösterilen topoloji örneklerinin hepsi SimpliciTI tarafından desteklenmektedir. Bütün Son Aygıt 1'ler (ED1) Son Aygıt 2'lere (ED2) veri gönderirler.



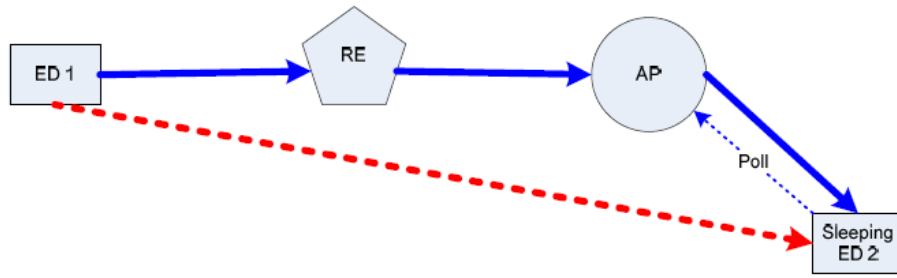
Şekil 4.4: Uçtan uca bağlantı



Şekil 4.5: AP üzerinden sakla ve gönder yaparak uçtan uca bağlantı

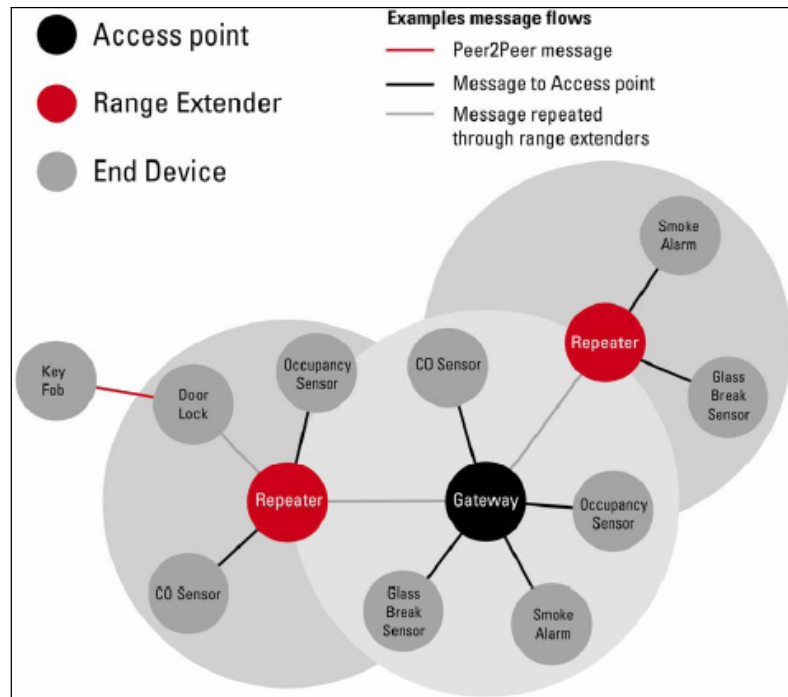


Şekil 4.6: RE üzerinden uçtan uca bağlantı



Şekil 4.7: AP ve RE üzerinden uyuyan duyargaya uçtan uca bağlantı

Şekil 4.8’de bir ev otomasyon sisteminde SimpliciTI kullanılarak geliştirilmiş bir duyarga ağı görülmektedir. Bu ağ da gateway görevin AP’e yüklenmiştir.



Şekil 4.8: SimpliciTI kullanılarak gerçekleştirilmiş bir ağ senaryosu



Ağ Formasyonu:

Aşağıdaki prosedürler ilklendirme çağrısı yapılan bir AP içindir.

- Ağ frekansını, tablolanmış bütün frekansların Freq çerçevesinin yayını tarafından varsayılan frekans değeri için ayarlamak.
- Şifreleme anahtarını, ağ frekansının Security çerçevesinin yayını tarafından ayarlamak.
- Join çerçevesini desteklemek
- Aygıt eklemesi için sakla ve gönder fonksiyonunu desteklemek.
- Adres ad-alanı radyoların ayrılmış yayın adresleri dışındaki 4-baytlık değerleri içerir. Bu ad alanı sayesinde duyargalar gururlandırılabilir.

Gönderme İşlemi Yapan Aygıtlar (TX-only Devices) Tx aygıtları şu davranışları gösterirler;

- Varsayılan ağ anahtarını kullanırlar.
- Tx aygıtları başka bir aygıtla bağlanırsa bağlama jetonu geçerli olmalıdır.
- Diğer ağ altyapıları Tx aygıtlarından onay almazlar.
- Onay almadan önce şüpheli paket yayılımlarını tekrarlar ve gönderirler.
- Tx aygıtları' da frekans kanalını değiştirmek için izleyeceği iki yol vardır;
- Onay almadan önce frekans tablosundaki tüm çerçeveleri iletirler.
- Frekans harici bir anahtar ya da butonla değiştirilebilir.

Çerçeve Yapısı:

SimpliciTI çerçeve yapısı 3 mantıksal bölümden oluşurlar;

- PHY/MAC katmanı tarafından işletilen bölüm
- NWK katmanında gerçekleştirilen ağ yönetim desteği bölümü
- Uygulama katmanında desteklenen uygulama yükünün sunulduğu bölüm

PHY/MAC Bölümü: Bu bölüm donanım tarafından işletilen çerçeve işletiminin bir bölümünü içerir. Örneğin CC1100/CC2500 radyoları için ön ek ve eş zamanlama verilerini içerir.

NWK Çerçeve Bölümü: NWK katmanı tarafından işlenen verilerin bulunduğu bölümdür. Bu bölümün içinde yer alan veriler; çerçevenin tipi, şifreleme durumu, kaç kez atlama yaparak geldiği, çerçevenin sıra numarası gibi parametreler olabilir.

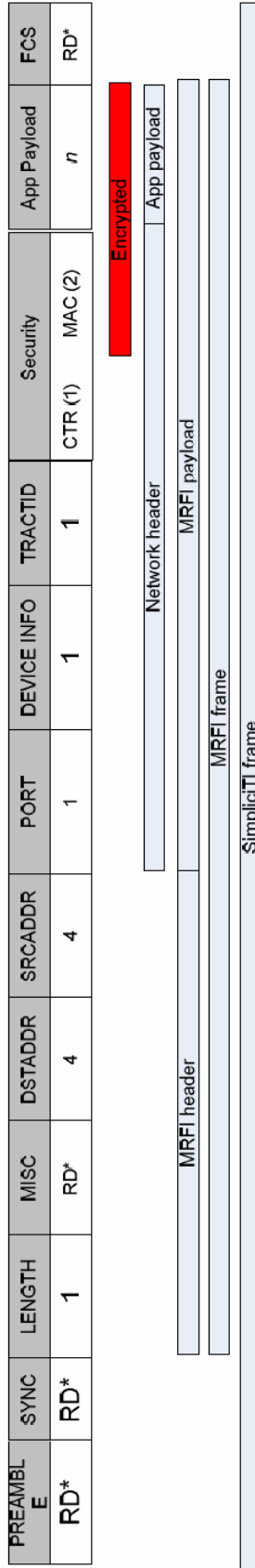
Uygulama Çerçevesi Bölümü: Bu bölüm, kullanıcı uygulamaları için alınan API çağrılarının bir sonucu olarak veri yükünü kapsar. Kullanıcı verilerini içerir.

Adres Alanı: SimpliCI, diğer bir çok protokollerde olduğu gibi her katman için ayrılmış adres alanına sahip değildir. simpliCI için genelde 4-baytlık bir adresleme uygulanır.

SimpliCI Genel çerçeve yapısı Şekil 4.9'da verilmiştir.

Tablo 4.4: SimpliCI Çerçeve Alanları

Çerçeve Alanı	Açıklaması	Notlar
PREAMBLE	Radyo eş-zamanlama	Radyo donanımı tarafından eklenir.
SYNC	Radyo eş-zamanlama	Radyo donanımı tarafından eklenir.
LENGTH	Byte cinsinden göndericide kalan paket	Gönderici cihaz tarafından eklenir.
MISC	Ayrılmış çerçeve kısmı	Bazı radyo donanımları için gerekli olabilecek bir alan
DSTADDR	Hedef adresi	Radyo donanımı desteklemesi durumunda bu alandaki adresi inceleyecek kendisine ait olan çerçeveyi seçebilir.
SRCADDR	Gönderen adresi	Gönderici tarafından eklenen adres alanı
PORT	Yönlendirilmiş Çerçeve (7) Şifrelenmiş içerik (6) Uygulama port numarası (5-0)	Kullanıcılar için port numaraları 0x20-0x3F arasında ve ağ yönetimi için gerekli port numaraları da 0-1F arasında yer almaktadır.
DEVICE INFO	Paketin hangi tür bir aygıttan gönderildiği	Yığın tarafından eklenen kısım.
APP PAYLOAD	Uygulama verisi	$0 \leq n \leq 50$ veya $0 \leq n \leq 111$
FCS	Çerçeve kontrol verisi	Genelde radyo donanımı tarafından desteklenen bir CRC verisi içerir.



Şekil 4.9: SimpliciTi genel çerçeve yapısı[29]

Tablo 4.5: Cihaz bilgi bit değerleri

Bit	Açıklama	Notlar
7	ACK isteği	Kullanıcının ACK istemesi üzerine ağ katmanı tarafından kontrol edilir.
6	0 : Hattı dinleyen 1 : Uykuda olan	Alıcı tipini belirleyen bir özelliktir. Uyku modunda olan bir duyarga ise AP bu duyarga için uyanmasını bekleyip çerçeveyi gönderir. Dolayısıyla çerçeveyi bir süreliğine saklamayı etkin kılar.
5-4	00 : ED 01 : RE 10 : AP 11 : Ayrılmış	Gönderici tipini belirleyen özelliktir.
3	ACK cevabı	Ağ katmanı tarafından ayarlanır ve istek üzerine cevap verilen ACK çerçevesini içerir
2-0	Kaç kez atlama yaptığı	0 olana kadar bu değer azaltılır ve daha sonra bu msj ağdan atılır. Dolayısıyla SimpliTI 4 atlamaya izin vermektedir.

Tablo 4.6: SimpliTI ve ZigBee özellikleri

Özellikler	SimpliTI	ZigBee
Ağ Özellikleri		
Mesh Ağ yapısı	Hayır	Evet
Tipik düğüm sayısı	2-30	2 - >100
Noktadan-Noktaya ve Yıldız Ağ yapısı	Evet	Evet
Donanım ve Yazılım		
Donanım	8K ROM 512Byte RAM	>32K ROM >4K RAM
Frekans ve Modülasyon	Tüm ISM/SRD bandı ve desteklenen modülasyon	IEEE 802.15.4 DSSS, 2.4GHz
Açık kaynak kodu	Evet	Evet
Diğer üreticiler ile uyumluluk	Hayır	Opsiyonel
Şifreleme	128bit AES donanımsal veya yazılımsal	128 AES

Tablo 4.7: Simpliciti ve diğer bazı ağ protokolleri

Özellikler	ZigBee 802.15.4	... GSM/GPRS CDMA/1xRTT	Wi-Fi 802.11b	Bluetooth 802.15.1	SimpliciTI
Uygulama alanı	Gözlem ve Kontrol	Geniş Alanda Ses ve Veri	Web- E-posta Video	Kablosuz iletişim	Gözlem ve Kontrol
Sistem kaynakları	32KB-64KB+	16MB+	1MB+	250KB+	4KB-8KB
Pil ömrü (gün)	100-1000+	1-7	0.5-5	1-7	500-2000+
Ağ büyüklüğü	2 <sup>64</sup>	1	32	7	100
Band genişliği (Kbit/sn)	20-250	64-128+	11000+	720	1-250
Haberleşme mesafesi	1-100+	1000+	1-100	1-10+	1-100+
Başarı kriteri	Güvenilirlik, Güç tüketimi, Maliyet	Ulaşılabilir, Kaliteli	Hız, Esneklik	Maliyet, yaygın kullanım	Maliyet, platform desteği, Güç tüketimi,

### 4.3. Zaman Eşleme

Kablosuz duyurğa ağlarında zaman eşleme algoritmaları önemli yer tutmaktadır. Duyurğa ağlarındaki amaç algılayıcılardan verileri alıp doğru şekilde işlemek ve gerektiğinde verilerin birleştirmesi olduğu için verilerin hangi aralıklarda alındığı ve verilerin alınış zamanlarının birbirlerine göre korelasyonları önem taşımaktadır.

Kablosuz duyurğa ağlarında çeşitli amaçlarla zaman eşleme kullanılır:

- Dağıtılmış bir ağda algılama yapmak ve dağıtılmış kontrolü sağlamak,
- Kullanılan işletim sistemindeki servislerde verimliliği artırmak,
- İşlemlerin yönetimi
- Haberleşme protokolleri
- Güvenlik uygulamaları
- Güç yönetimi uygulamaları
- Dağıtılmış veri günlükleri tutmak için

- Algılayıcı verilerini birleştirip işleme, (Örneğin aynı veriyi farklı algılayıcılardan algılanmasını önlemek veya aynı verileri birleştirerek çözünürlüğü artırmak gibi uygulamalar)
- Güç verimliliği sağlamak

Zaman eşleme yöntemi olarak çeşitli algoritmalar vardır. Bunlardan hangisinin kullanılacağı veya yeni geliştirilecek algoritmanın özelliklerini belirleyen belli parametreler vardır. Bu parametreler;

- Hassasiyet,
- Eş zamanlama periyodu,
- Uygulanabilirlik,
- Verimlilik,
- Maliyet ve boyut olarak inceleyebiliriz.

Hassasiyeti artırılması isteniyorsa; eş zamanlama periyodu artırılmalı veya güç tüketiminden taviz verilerek işlem yükü artırılabilir veya maliyetten taviz verilerek daha düşük ppm değerine sahip saat işaretleri kullanılabilir.

Çeşitli zaman eşleme algoritmaları aşağıda listelenmiştir.

- RBS ( Reference Broadcast Synchronization),
- TPSN ( Timing-Sync Protocol for Sensor Network),
- DMTS ( Delay Measurement Time Synchronization),
- LTS ( Lightweight Time Synchronization ),
- FTSP ( Flooding Time Synchronization Protocol ),
- TS/MS ( Tiny- Sync and Mini-Sync ),
- Tsync (Time Sync),
- Pair-Wise algoritmaları verilebilir.

Zaman eşleme algoritmaları genelde iki ana grupta incelenebilir. Alıcı-alıcı temelli algoritmalar veya alıcı-verici temelli algoritmalar. Alıcı-alıcı temelli algoritmalarda, alıcıların paketleri birbirleri ile eş zamanlanmış durumdadır vericinin paketiyle eş zamanlamaya ihtiyaç yoktur. Bu tip algoritmalara örnek olarak RBS gösterilebilir. Alıcı-verici temelli algoritmalarda, alıcı düğüm paket gönderen düğümün paketlerindeki zamanlama verilene kendini eşlemeye çalışır. Bu tip algoritmalara örnek olarak; LTS, TPSN, Tsync, FTSP, TS/MS, DMTS gösterilebilir.

#### 4.3.1. Tez’de kullanılan zaman eşleme algoritması

Zaman eş zamanlama için duyurga düğümleri arasında ortak bir saat darbesine ihtiyaç vardır. Bunun için yazılımsal veya donanımsal saat darbeleri kullanmak mümkündür. Ama duyurga düğümü güç tüketimini azaltmak için kendini kapattığında bu saat darbesinin işlenmesi ve gerektiğinde uyarılar vermesi gerekmektedir. Yazılımsal bir saat darbesi kullanıldığında duyurga düğümünün daimi olarak açık kalması gerektiği için genelde kullanılan donanımsal bir saat darbesi işaretidir.

Zaman eşleme için önce saat darbelerinin birbirleri ile uyumlu olması gerekir. Bunun için sayısal sistemleri besleyen saat darbelerinin modelini ortaya koymak ve hataya sebep olan parametrelerini ön görmek gerekir.

Genel saat modeli aşağıdaki şekilde gösterilebilir.

$$T(t) = \phi + \varphi t \quad (4.1)$$

$\phi$  saat ofseti,  $\varphi$  saat darbesi kayma oranı olarak ele alındığında burada iki saat darbesi arasındaki  $\phi$  ve bir saat darbesinin diğerine göre olan kayması  $\varphi$ ’ı belirlemek gerekir. Bu iki parametrenin başlangıçta belirlenmesi durumunda oldukça uzun süreler boyunca sistemi tekrar eşlemeye gerek kalmayacaktır. Fakat  $\varphi$ ’ı belirlemek ya da  $\varphi$ ’ı çok düşük tutmak için kullanılacak osilatörü seçmek sistem tasarımını zorlaştırmaktadır.

$\varphi$  'ı etkilenen en büyük faktör kullanılacak olan referans saat işaretinin ppm değeridir. Bu değer düşük olması tasarlanan sistemin maliyetini artırmaktadır. Örneğin MSP430 içerisinde bulunan DCO'nun %1 hatayla kalibreli olduğu düşünülürse örnek olarak bir RTC yapıldığında 1 gün,  $24 \times 60 \times 60 = 86400$ sn ve %1 en büyük hata ile günde 14dk'ya kadar ileri veya geriye giden bir sayısal saate sahip olmuş oluruz. Bunun için kitin üzerindeki başka bir donanımsal saat darbesi işareti kullanılmıştır.

Ortalama olarak kullanılan osilatörlerde 20 ppm hataya sahip olanlardır ve en büyük hatanın olduğu durumda 32.768Hz'lik bir osilatör için meydana gelen en büyük sapma;

$$\varphi = 20 \text{ ppm} / 10^6 = \%0.002 \text{ 'dir.} \quad (4.2)$$

1 günde meydana gelen en büyük sapma

$$86400 \text{sn} \times \%0.002 = 1.73 \text{sn} \text{ 'dir.} \quad (4.3)$$

Ağın eş zamanlaması sonucunda meydana gelen hatanın  $100 \mu\text{s}$  hatanın olduğunu varsayarsak, bu durumda ölçüm sonucundaki hata

$E = 100^{-6} \times 340 \text{m} / \text{sn} = 3.4 \text{cm}$  hata ile ses çıkaran cismin yerinin algılanmasına olanak sağlar. Hatalı algılama sınırı belirlenerek buna uygun ağın eşzamanlama periyodu belirlenebilir.

Ağın eş zamanlaması yapılacak olan algoritmada belli sıklıklar ile tekrarlanarak, kullanılacak saat darbesi işaretinin kaymasını ortadan kaldırmayı amaçlamaktadır. Böylelikle saat darbesinin parametrelerinin kestirilmesine gerek kalmamaktadır. Hem sıcaklığa göre değişen ppm değerinin değişen sıcaklık koşullarında kestirilmesi zorluk

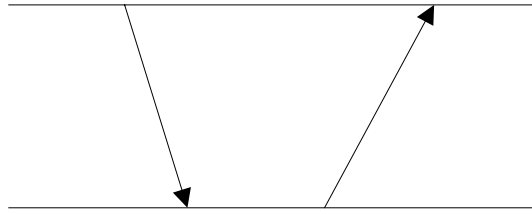


sağlamaktadır. Yapılan çalışmaların çoğunda bu durum göz ardı edilerek kestirme işlemi veya algoritmaları geliştirilmiştir.

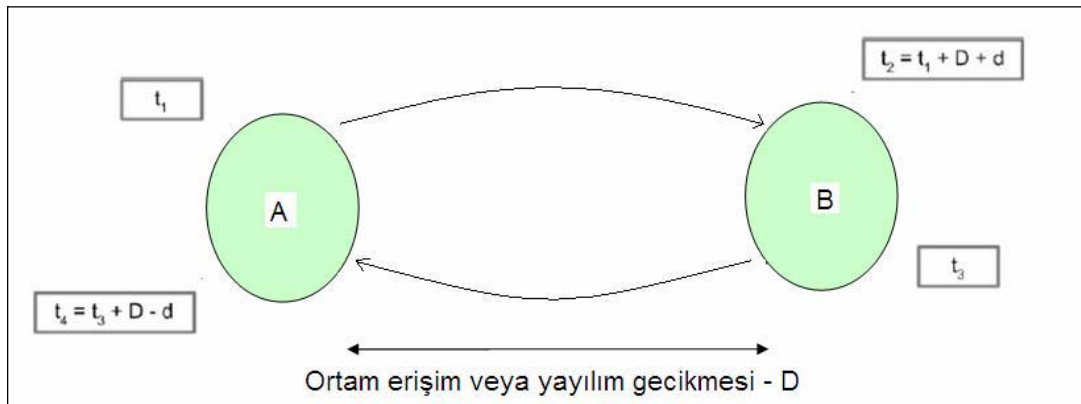
#### 4.3.2. Pair-Wise algoritması

İki düğüm arasındaki zaman eşleme için birinci düğüm ikinci düğümüne zaman bilgisini içeren bir mesaj gönderir ve mesaj sonucu karşı tarafın zaman bilgisi şeklinde ona geri döner. Dönen bu veriden alınan mesajın havada ve işlenmesi sırasında geçen gecikme hesaplanır ve iki düğüm arasındaki saat ofseti bulunmuş olunur. Tüm ağın zaman eşleme işlemi tek bir ana düğüm tarafından yapılmalı veya ağda zaman bilgisini periyodik olarak güncelleyen bir sunucu bulunmalıdır.

Ağda düğümlerin zaman eşleme işlemi ile yükümlü düğüm A, zaman eşleme işlemine tabi tutulan düğüm B olarak var sayarsak;



Şekil 4.10: A ve B düğümleri arasındaki mesajlaşma ve zaman bilgileri



Şekil 4.11: A ve B düğümleri arasındaki mesajlaşma

- A düğümü B düğümüne zaman eşleme isteğinde bulunur.
- B düğümü t1 zaman bilgisini ekleyerek ilk paketi gönderir.
- A düğümü paketi aldığı anda t2 zamanını kaydeder.
- $t2 = t1 + D + d$
- D, t2-t1
- d, A ve B düğümleri arasındaki saat farkı
- A düğümü kendi zaman bilgisi t3'ü ve kaydetmiş olduğu t2'yi mesaj olarak B düğümüne gönderir.
- B düğümü mesajı aldığı anda t4 zamanını kaydeder.
- $t4 = t3 + D - d$
- $t4 + t3 - t2 - t1 = 2d$  bağıntısından zaman farkı hesaplanmış olur.
- B düğümü sistem saatini kendi sistem saatine ayarlayarak zaman eşleme işlemini tamamlar.

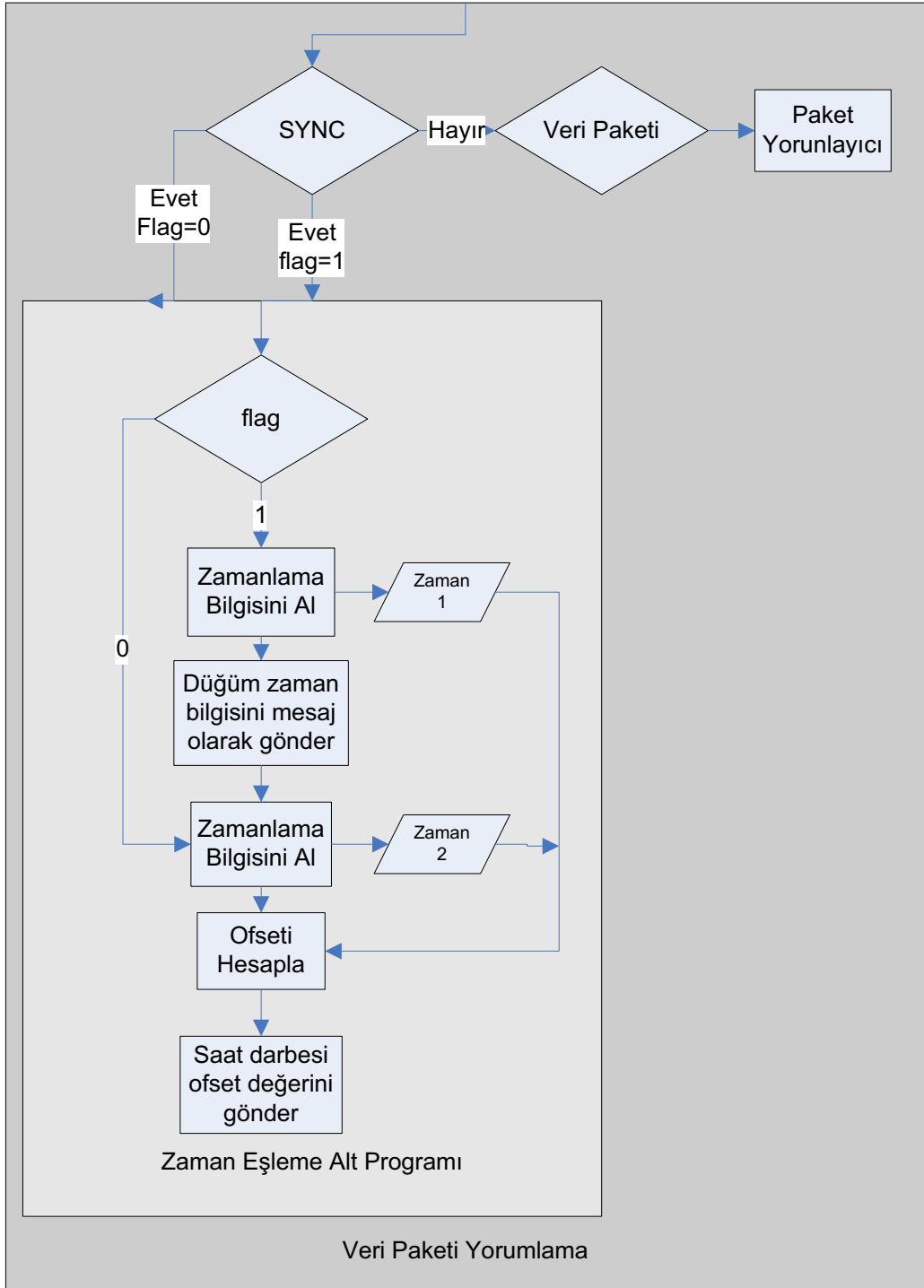
Şekil 4.12'de yukarıdaki algoritmanın akış diyagramı verilmiştir.

$$d = \frac{(t2 - t1) - (t4 - t3)}{2} \quad (4.4)$$

$$D = \frac{(t2 - t1) + (t4 - t3)}{2} \quad (4.5)$$

$d$  Saat darbesi kayma oranı

D Ortam erişim ve yayılım gecikmesi



Şekil 4.12: Veri paketi yorumlama alt programı ve zaman eşleme akış diyagramı

## 5. ÇALIŞMADA ÖNERİLEN SENARYO

Bu çalışmada hedeflenen amaç, kablosuz duyurga ağları kullanılarak, belirli bir alana dağıtılmış düğümler ile o alana giren canlıların veya cansız nesnelerin yerlerinin tespit edilmesidir. Bu amaç doğrultusunda ilk yapılması gereken, algılanmak istenen nesnelerin ışık ve ses üretici gibi davrandıkları varsayılarak, buldukları ortamda yaptıkları değişikliklerin neler olduklarının belirlenmesidir. Böylece, ışık ve ses algılayıcılarından bir veya birkaçı kullanılarak, kablosuz duyurga ağı yardımıyla nesnelerin yerlerinin tespit edilmesi öngörülmüştür.

### 5.1. Giriş

Nesnelerin 3 farklı kaynak gibi davrandıkları kabul edilerek, ışık, mikrofon ve sıcaklık algılayıcıları olmak üzere üç çeşit algılayıcı kullanılmıştır.

Literatürde nesnelerin yerlerinin belirlenmesi için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemler nesnelerin hangi seviyede tanımlanmak istendiğine, nesnelerin fiziksel ve kimyasal yapılarına göre çeşitlilik göstermektedir. Örnek olarak, görüntü işleme yöntemini kullanarak nesnenin yeri belirlenirken, arka fon ile aynı renkteki bir nesneyi ayırmak da veya çok fazla benzeri nesne içeren bir ortamda istenilen nesnenin yerinin tespit edilmesi olanaksızlaşmaktadır. Aynı şekilde büyük bir alan denetlenmek istediğinde, gerekli cihazların kurulum maliyetleri çok yüksek olmaktadır. Farklı bir örnek olarak, çevresindeki ortamdan farklı manyetik özellikleri olan bir nesneyi tespit etmek için manyetik sensörler kullanılabilir. Bu nesnenin şekilsel özellikleri hakkında bilgi veremezken algılama maliyetini çok azaltmış olur.

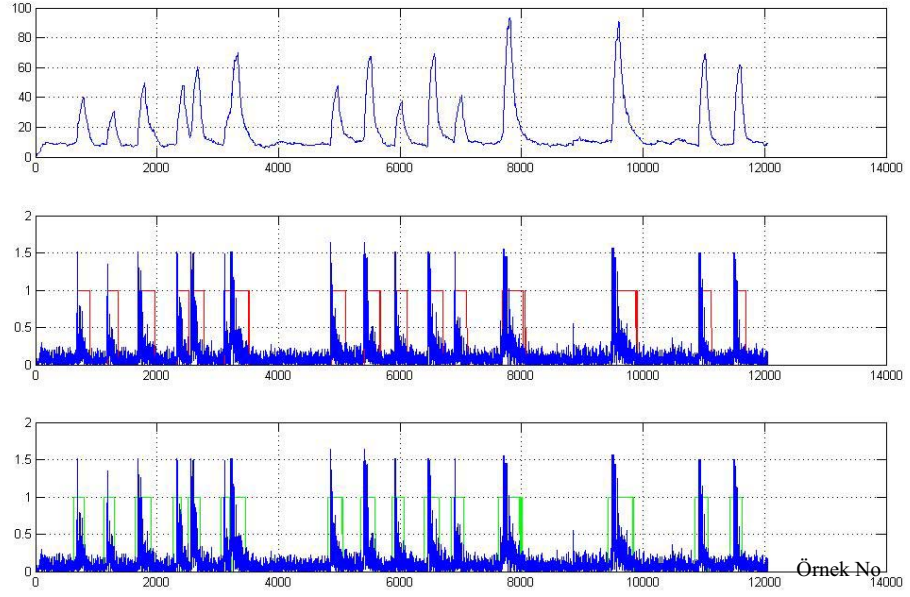
Bu çalışmada, belirli bir alandaki sensör birimleri kullanılarak, o alana giren bir canlının veya nesnenin yerinin tespit edilmesi amaçlanmıştır. Canlı veya nesne, bir ışık ve ses kaynağı olarak kabul edilmiştir. Bu varsayıma göre, canlının veya nesnenin

çevrede oluşturduğu bu değişimler ilgili algılayıcılar tarafından algılanabilir ve ortama bir nesnenin girip girmediği belirlenebilir.

Nesnenin yerinin tespit edilebilmesi içinse, algılayıcılardan alınan verilerin zaman ekseninde korelasyona tabi tutulması gereklidir. Işık sensörlerinde, ışığın ortamda yayılma hızı çok yüksek olduğundan, sensör birimlerine gelen veriler arasındaki fark çok küçük olacaktır. Bu durumda bu küçük zaman farkında korelasyon yapılabilmesi için çok hassas algılayıcılar ve hızlı işlemciler kullanılmalıdır. Ses ise diğer verilere göre daha yavaş yayılmaktadır. Bu nedenle bu çalışmada farklı sensör birimlerinden alınan ses sinyali korelasyona sokularak, ses kaynağının yeri tespit edilmeye çalışılmıştır.

Sesin tespit edilebilmesi için, KDA modüllerinde ses sinyalinin zarfı bulunmuş ve bulunan zarf belirli bir eşik değeri ile karşılaştırılarak sesin var olup olmadığı belirlenmiştir. Ses kaynağının yerinin belirlenebilmesi içinse, zarfın bulunduğu anın zamanı, ana bilgisayara kablosuz haberleşme ile gönderilmiştir. Korelasyonun doğru alınabilmesi için, her bir sensör biriminde, kablosuz duyarga ağına ait global bir zaman tutulmuştur. Böylece her düğümün zarfı bulduğu anı, bu global zamana göre belirleyip ana bilgisayara göndermesi sağlanmıştır.

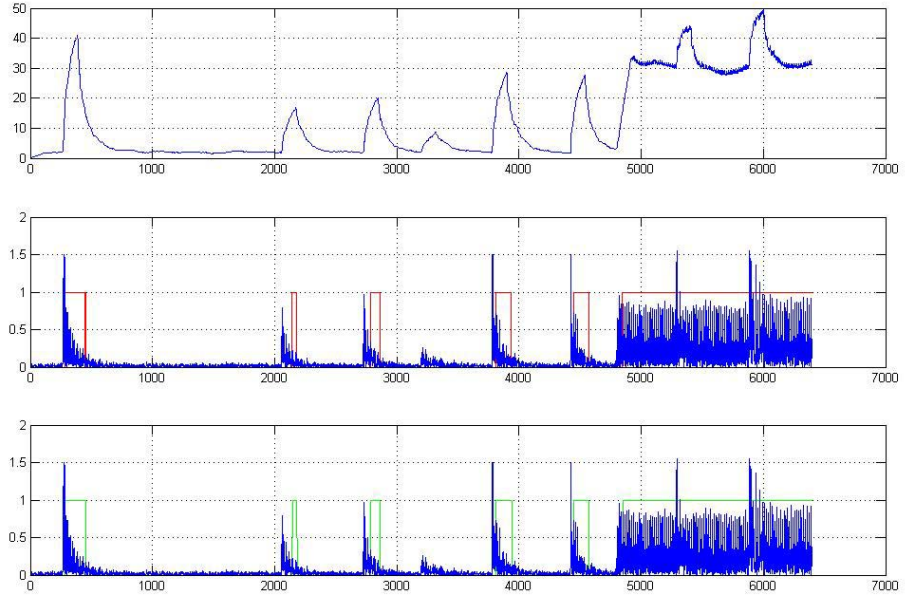
Şekil 5.1’de ilk grafik gelen verilerin Matlab ortamında konvülyasyona sokularak zarfın bulunması sonucunda elde edilmiştir. İkinci grafik, ses verileri ile Matlab’da hesaplanan zarf verilerinin üst üste bindirilmesi sonucunda elde edilmiştir. Sesin belli bir eşik değerinin üzerine çıkması, zarfı da yükseltmekte ve eşik sabiti ile karşılaştırılması sonucunda sesin olup olmadığına karar verilmektedir. Ses, kırmızı çizgilerin var olduğu durumlarda tespit edilmiştir.



Şekil 5.1: Zarf grafiği-1

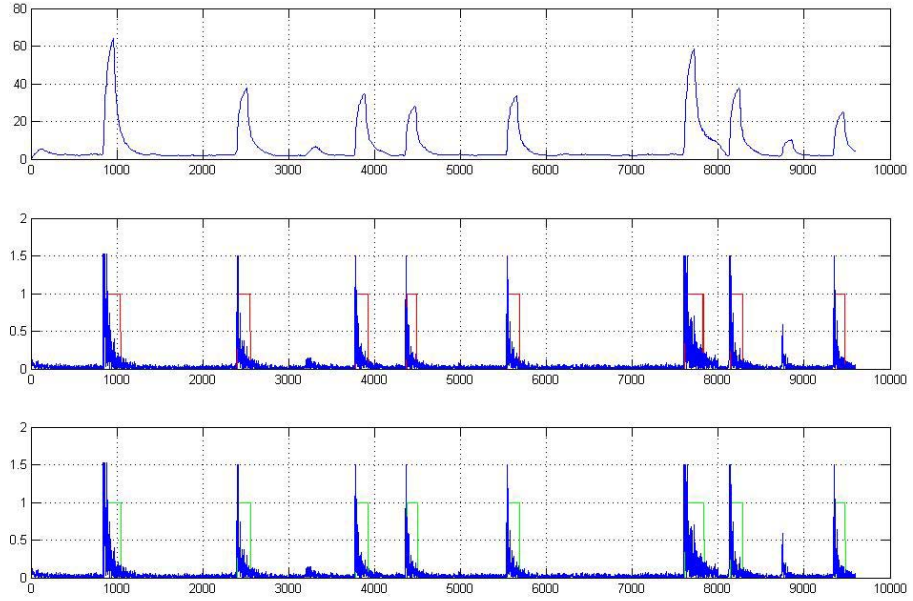
Üçüncü grafik ise, ses işaretinin üzerine, KDA platformunda hesaplanarak bulunan ses var işaretinin bindirilmesi sonucunda çizdirilmiştir. Kırmızı ile yeşil grafiklerin birbiri ile paralellik göstermesi, Matlab’da hesaplanan zarf işareti ile KDA’da hesaplanan zarf işaretinin benzer olduğunun göstergesi olarak kabul edilebilir.

Şekil 5.2’de verilen grafikte ses sinyalinin yanında 4800’üncü örnekten sonra ortama gürültü de eklenmiştir. Birinci grafik incelendiğinde, zarfın ortam gürültüsüne çok bağlı olduğu fark edilmiştir. Bunu azaltmak için, işlemciye ek yük getirmek pahasına, gelen sinyalin mutlak değeri değil, karesi alınmasına karar verilmiştir. Böylece 1’den küçük değerlerin, sifıra yaklaştırılması ve sinyal ile gürültü arasındaki farkın açılması hedeflenmiştir.



Örnek No

Şekil 5.2: Zarf grafiği-2



Şekil 5.3: Zarf grafiği-3

Karesi alınarak, Matlab'da ve KDA platformunda hesaplanan zarf değerleri yukarıdaki grafikte gösterilmiştir. (Şekil 5.3 ve Şekil 5.2) Grafiklerin birbirlerini tuttuğu göz önüne alınarak, sistem gerçek zamanlı haline geri dönüştürülmüş ve çeşitli

senaryolar için testler yapılmıştır. Algılayıcılardan gelen verilerin anlamlı olabilmesi için sistemde her bir düğümün yerlerinin belirlenmesi gerekmektedir.

## 5.2. Yer Bulma Sistemi

Kablosuz duyarga ağlarında yaygın olarak kullanılan konum belirleme algoritmaları:

- Alınan işaret gücünün ölçümü: (RSSI) Çıkış işaret gücünü istediğimiz seviyeye ayarladıktan sonra alıcı yapı aldığı işaretin gücünü ölçerek gelen işaretin zayıflama oranından uzaklığı bulmaya çalışır.
- Erişim zamanı ölçümü: Eşzamanlı (senkron) çalışan iki devrede, gönderilen işarete gönderilme zamanı da eklenir. Alıcı işareti kabul ettiği zamandan gelen işarettaki zamanı çıkararak uzaklığı bulur.
- Erişim zamanı farkı ile uzaklık belirleme: (TDOA) Hızları farklı iki işaret aynı anda vericiden alıcıya gönderilir. Alıcı ilk işareti aldığı zaman ile ikinci işareti aldığı zamanı kullanarak mesafeyi belirler.
- İşaretin kabul açısı ile mesafe belirleme: Özel antenler kullanılarak işaretin geliş açısından mesafe tespiti yapılır. Bu sistem KDA'ları için uygulanabilirliği zor ve pahalı bir çözüm oluşturmaktadır.

### 5.2.1. RSSI Değerine Bağlı Uzaklık Belirleme

RSSI:

Alıcıdaki RF giriş gücünün ölçülmesi sonucu elde edilen değere RSSI (Received Signal Strength Indicator) denir. RSSI değeri alıcının kazancına, hassasiyetine ve kanalda ölçülen işaret gücüne bağlıdır. Yaygın olarak kullanılan ISM bandı tümleşik devrelerde RSSI değerini elde etmek için sayısal veya analog olarak kullanıcıya bu değer sunulmaktadır. RSSI değerinin güvenilirliğini artırabilmek için tümleşik devreden elde edilen değerlerin ortalamasını alan bir kayan pencereci süzgeç kullanılabilir.

Kayan pencereci süzgece ait fark denklemi;



$$y[n] = \frac{1}{N} \sum_k^{N-1} x[n-k] \quad (5.1)$$

şeklinde ifade edilebilir.

Serbest Uzay Kaybı ve Yayılım Kuramı:

Haberleşme sisteminde haberleşme; bir noktadan bir başka bir noktaya enerji aktarımı ile sağlanır. Alıcıda algılama yapılabilmesi için alınan işaretin enerjisi ortamda daima bulunan gürültüden yeterince büyük olması gerekmektedir. Bu ilişki ortamda bulunan işaretin gürültüye oranı ile tanımlanabilmektedir ve işaret-gürültü-oranı olarak adlandırılmıştır. Haberleşme için gerekli SNR tanımında çoğunlukla sadece alıcıdaki oda sıcaklığında etkin olan ısı gürültü dikkate alınarak verilmektedir.

Friis Eşitliği:

Radyo haberleşmesinde haberleşme mesafesi Friis eşitliği ile modellenebilir.

$$P_R = P_T \frac{G_T G_R \lambda^2}{(4\pi)^2 d^n}, n = 2 \quad (5.2)$$

$P_R$  Alıcı antenindeki güç

$P_T$  Verici anteninden haberleşme kanalına verilen güç

$G_R$  Verici anten kazancı

$G_T$  Alıcı anten kazancı

$\lambda$  Haberleşme kanalında kullanılan dalga boyu

$d$  Haberleşme mesafesi

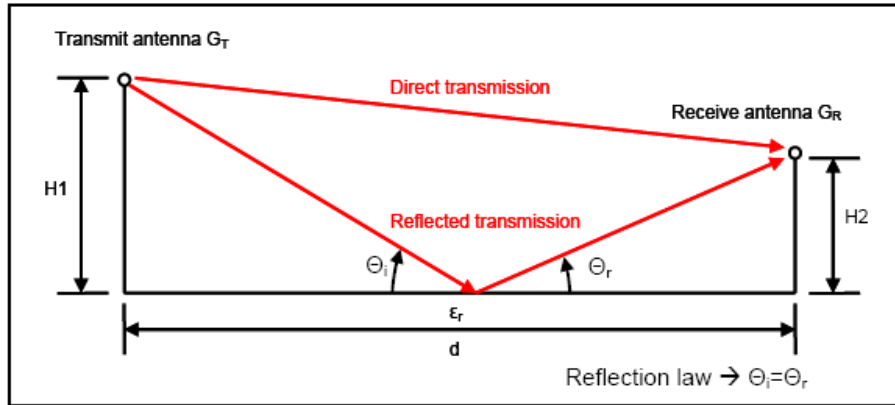
Alıcı antenindeki güç ile verici anteninden haberleşme kanalına aktarılan güç arasındaki fark haberleşme kanalındaki kaybı vermektedir. İki alıcı-verici arasındaki

en uzun haberleşme mesafesi alıcının hassasiyetine bağlıdır ve sayısal radyo sistemlerinde alıcı hassasiyeti PER'in %1'e ulaştığı zaman olarak referans alınmıştır.

Yer yansıması modeli (2 yollu işaret aktarımı):

Tipik bir radyo haberleşmesinde iletilen radyo dalgaları verici antenin gördüğü tüm cisimlerden soğrulur veya yansır. Haberleşme mesafesinin veya alıcı verici arasındaki mesafenin hesaplanması böyle bir durumda çok karmaşık işlemleri gerektirir ve tam olarak çözümü mümkün olmayan bir hal alır.

Bu modele göre iletilen radyo dalgaları boyunca ideal olarak pürüzsüz tanımlanan yerden yansıma dışında herhangi bir soğurulma veya yansıma olmamaktadır. Alıcıda alınan toplam enerji yansıyan dalga ve doğrudan alıcıya ulaşan dalganın toplamı olarak ele alınmıştır.



Şekil 5.4: Yerden yansıma ile alıcıya ulaşan işaret

Yansıma Katsayısı:

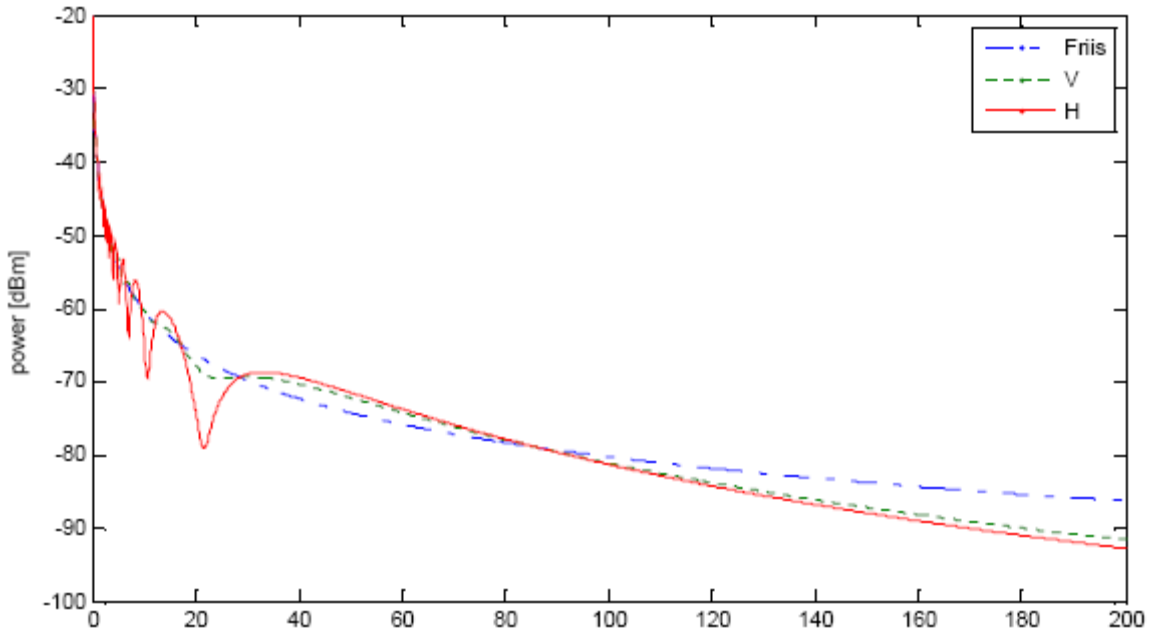
Ortamda yayılmakta olan radyo dalgası farklı dielektrik katsayısına sahip bir yüzeye karşılaştığında bir miktar yansıma meydana gelir ve geriye kalan güç diğer ortam içerisinde yoluna devam eder. Yansıma miktarı işaretin polarizasyonuna, geliş açısına ve ortamın elektromanyetik özelliği belirleyen  $\epsilon_r$ ,  $\mu_r$ ,  $\sigma$  parametrelere göre farklılık gösterir. Her iki ortamın manyetik geçirgenlik katsayısının eşik olduğu ve  $\mu_r = 1$

olduğunu varsayarsak, uzak alan bölgesindeki yatay ve dikey polarizasyon için yansımaya katsayıları;

$$\Gamma_V = \frac{(\epsilon_r - j60\sigma\lambda) \sin \theta_i - \sqrt{\epsilon_r - j60\sigma\lambda - \cos^2(\theta_i)}}{(\epsilon_r - j60\sigma\lambda) \sin \theta_i + \sqrt{\epsilon_r - j60\sigma\lambda - \cos^2(\theta_i)}} \quad (5.3)$$

$$\Gamma_H = \frac{\sin \theta_i - \sqrt{\epsilon_r - j60\sigma\lambda - \cos^2(\theta_i)}}{\sin \theta_i + \sqrt{\epsilon_r - j60\sigma\lambda - \cos^2(\theta_i)}} \quad (5.4)$$

şeklinde ifade edilebilir.  $\epsilon_r = 18$ ,  $\sigma = 0$ ,  $H_1 = H_2 = 1\text{m}$  ve  $\Gamma_V, \Gamma_H = -1$  olarak alınıp yansımaya olduğu varsayıldığında; Mesafe arttığı zaman yansımaya açısı daralacağı için yansıyan güç daha fazla olacak ve uzak mesafe zayıflama artacaktır. Şekil XX'de serbest uzay kaybı (Friis Denklemi) ve yer modeline göre alıcı gücünün mesafeye göre değişimi verilmiştir.



Şekil 5.5: Alıcı gücü ve mesafenin bağlantısı

Şekil 5.5 incelendiğinde yatay polarizasyonun çok yolluluğa daha duyarlı olduğu görülmektedir. Yapılan uygulamalarda KDA'ların saha içerisindeki rasgele yerleşiminden dolayı polarizasyon faktörü çoğunlukla çapraz polarizasyon olur ve bu durumda da elde edilecek eğri yatay (H) ve dikey (V) polarizasyona sahip eğrinin arasında bir yerde olacaktır.

Yine Şekil 5.5'e göre sahaya yerleştirilen KDA'ların yere çok yakın olmasından dolayı yansıma daha fazla olacak ve mesafeye göre zayıflama artacaktır. Bu sebeplerden dolayı daha doğru sonuçlar elde edebilmek için ağın içerisinde konumu belirlenmiş noktalar referans alınarak durum analizi yapmak ve RSSI değerinin doğruluğunu artırmak mümkündür. Durum analizi yapılmadan elde edilen verilerde elde edilen RSSI değerinin hata payı artacaktır.

RSSI değerinin yanlış ölçülmesine sebep olacak ve hatayı artıracak bir diğer etken de etkileşimdir. Ayrıca tüm bu analizlerde çevreden kullanılan haberleşme bandı içerisinde bir sarkma ya da yan kanal etkisinin olmadığı düşünülmüştür.

Erişim Zamanı Farkı Ölçümü ile Uzaklık Belirleme:

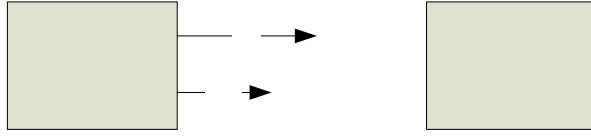
Hızları farklı iki işaret olarak RF işareti ve ses işareti yardımı ile yayılım hızları farklı iki işaret oluşturulup düğüm üzerine yerleştirilerek mesafe bulunmaya çalışılmıştır. Ayrıca ses işareti kullanılarak konumları belirlenen düğümler ağın içerisinde ses çıkaran bir cisimden veri aldıklarında bunun da yerini belirleyebilmektedirler. Sistemin kötü yanı ağda konumunu her bir düğümün konumunu belirleme sırasında ortamın sessiz olması veya bilinen bir ağın kalibrasyonu sırasında uygulanarak daha sonra bu işaretin ilintisinin alınarak kalibrasyon için uygulanan veya ortamdan gelen bir ses olup olmadığının kararının verilmesi gerekmektedir. Ses işareti ortalama 304 m/s hızla yayılır. RF işareti ise 300.000 km/s hızla yayılır.

Mesafe denklem (5.5)'de  $V_{RF} \gg V_{ses}$  olduğu için  $x = V_{ses} \times t$  şeklini alır.

$$x = \frac{t}{\frac{1}{V_{ses}} - \frac{1}{V_{RF}}} \quad (5.5)$$

İki düğüm arasındaki uzaklık hesaplanırken verici devre Ses işareti ve RF işareti aynı anda ilgili alıcıya gönderir. RF işareti çok daha hızlı olduğundan alıcıya önce ulaşır. Alıcı RF işareti aldığı anda bir sayaç başlatır. Ses işareti alındığında alıcı yapısı sayacı durdurur ve uzaklığı hesaplar.

Uzaklığı hesaplayabilmek için;



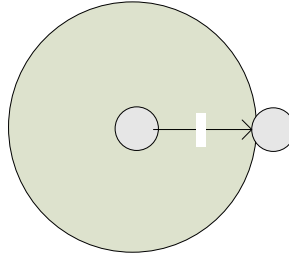
Şekil 5.6: Mesafeyi bulmak için kullanılan referans işaretler

KDA'larında kullanılan RF ve Ses işaretinin yönsüz olarak yayıldığını varsayılırsa, Her bir düğümün diğer bir düğüme uzaklığı referans alınan bir çemberin yarıçapına eşit olur. Uzaklık bilgisi elde edildikten sonra sıra düğümlerin yerinin bulunması işlemine gelir. Bir düğümün diğerine göre olan uzaklığının bulunması bu düğümün konumu hakkında bize bilgi vermez. Konum hakkında bilgi sahibi olmak için bazı düğümler konumları bilinen yerlere yerleştirilirler ve bu düğümler referans olarak kabul edilir. Bu andan itibaren problem, ağdaki düğümlerin yerlerinin referans düğümlerine olan uzaklıkları baz alınarak konum belirlenmiş olunur.

### 5.2.2. Trilateration Yöntemi

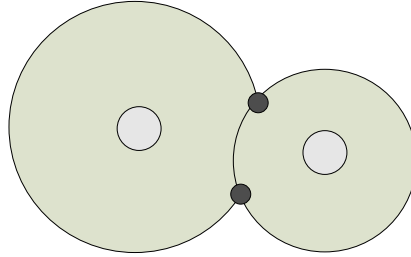
RF ve ses işareti yardımı ile birlikte ikili olarak mesafeleri ölçülebilen düğümlerin ağ içerisinde konumlarının belirlenebilmesi için geometrik ifadelerden yararlanarak konum bilgisini elde etmek için kullanılan yaygın bir yöntemdir. Örneğin GPS alıcıları konumları belli olan uydulardan gelen verileri işleyerek kendi konumlarını ve dolayısıyla yer küre üzerindeki yerlerini bulmak için bu yöntemi kullanmaktadırlar.

Her bir düğümün bir düzlem üzerinde olduğunu düşünürsek, düzlem üzerinde konumu belli olan noktalara uzaklığımız belli ise konumu belirlenmek istenen düğümün koordinatlarını belirlemek mümkündür. Fakat konumu belli olan referans düğümlere ihtiyaç vardır. Konumu belli olan referans düğümlerin sayısı en az 3 olması gerekmektedir ve bunun gerekliliği aşağıda anlatılmıştır.



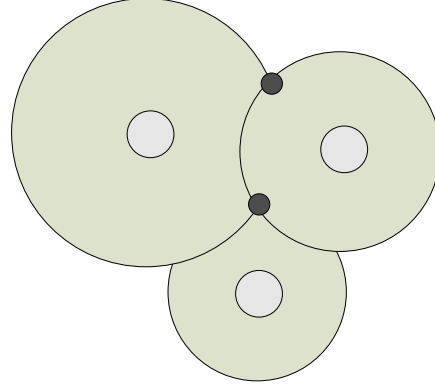
Şekil 5.7: Konum belirlemek için tek referans düğümü

Şekil 5.7’de görüldüğü gibi yeri bilinen bir referans düğümü(A) ile normal düğüm(X) arasındaki uzaklık bilgisinin bulunması ile o düğümün yeri bulunamaz, sadece düğümün, referans düğümüne olan uzaklığına eşit yarıçapa sahip bir çember üzerinde herhangi bir noktada olabileceği bulunmuş olur.



Şekil 5.8: Konum belirlemek için iki referans düğümü

Eğer ağ topolojimize bir tane referans düğümü daha katarsak, 2 adet referans düğümü(A ve B) ile iki adet uzaklık bilgisi( $r(a)$  ve  $r(b)$ ) elde edilir. Bu durumda X düğümümüz A referans düğümüne göre  $r(a)$  yarıçaplı çemberin üzerinde, B referans düğümüne göre ise  $r(b)$  yarıçaplı çember üzerinde bulunmalıdır. X düğümümüz iki şartı da sağlayan bir noktada olmak zorunda olduğu için ya Nokta 1(N1) in ya da Nokta 2(N2)’nin üzerinde bulunmalıdır. Bu durum Şekil 5.8’de görülmektedir.



Şekil 5.9: Konum belirlemek için üç referans düğümü

Şekil 5.9’da görüldüğü gibi 1 Numaralı düğümümüzün N1 ya da N2 den hangisinin üzerinde olduğunu anlayabilmek için bir referans düğümüne daha ihtiyacımız var. C referans düğümü ile yerini tespit etmeye çalıştığımız, 1 numaralı, düğüm arasındaki uzaklık  $r(c)$  olduğuna göre 1 numaralı düğümün, C merkezli, yarıçapı  $r(c)$  olan bir çember üzerinde olma koşulunu da sağlaması gerekir. Bu koşulun daha önceden belirlediğimiz koşullara (A ve B merkezli çemberler için) eklenmesi ile 1 numaralı düğümün N1 noktasında olduğu kesinlik kazanmış olur.

Dairelerin kesişim noktalarının hesaplanması için aşağıdaki yöntem izlenebilir;

$(0,0)$  A çemberinin merkezinin koordinat düzlemindeki yeri ve yarıçapı  $r_1$

$(d,0)$  B çemberinin merkezinin koordinat düzlemindeki yeri ve yarıçapı  $r_2$

$(i,j)$  C çemberinin merkezinin koordinat düzlemindeki yeri ve yarıçapı  $r_3$

olmak üzere; üç boyutlu uzayda  $z=0$  alınarak iki boyutlu düzleme indirgenerek çözüm yapılabilir. 3 boyutlu uzayda konum belirleyebilmek için  $z \neq 0$  olan en az bir düğümüne daha ihtiyaç vardır. Bu durumda düğümlerinin birbirlerine göre olan uzaklıklarını gösteren çemberleri çözüm için küresel bir yüzey olarak tanımlanmalı ve çözüm ona göre yapılmalıdır. Fakat KDA’ları genellikle bir yüzey üzerinde oldukları

için yere olan yakınlıkları 3 boyutlu uzayda haberleşmelerini engelleyeceğinden (yer yansıması veya işaretin zayıflayıp yok olması) gerçekçi bir sisteme uygulanabilirliği azalmaktadır.

$$x^2 + y^2 + z^2 = r_1^2 \quad (5.6)$$

$$(x-d)^2 + y^2 + z^2 = r_2^2 \quad (5.7)$$

$$(x-i)^2 + (y-j)^2 + z^2 = r_3^2 \quad (5.8)$$

$x, y, z$  noktaları konumu belirlenmek istenen noktalardır.

(5.6) ve (5.7) Denklemlerinden ikinci bir denklem çıkaracak olursak;

$$x = (r_1^2 + r_2^2 + d^2) / (2 \times d) \quad (5.9)$$

$d - r_1 < r_2 < d + r_1$  olduğu için A ve B düğümlerinden elde edilen denklemlerde  $x$  çözülmeye çalışıldığında çemberleri iki noktadan kestiğini görülür. Burada  $x$  (5.8) denkleminde tekrar yerine koyulduğunda;

$$y^2 + z^2 = r_1^2 - \left( \frac{(r_1^2 + r_2^2 + d^2)}{(2 \times d)} \right)^2 \quad (5.10)$$

elde edilir. Ve  $x$  noktası bulunmuş olunur. (5.6) denkleminde;

$$y^2 = r_1^2 + x^2 - z^2 \quad (5.11)$$

(5.11) denklemini (5.10) denkleminde yerine koyulduğunda;



$$y = \left( \frac{r_1^2 - r_2^2 - x^2 + (x-i)^2 + j^2}{2 \times j} \right) = \left( \frac{r_1^2 - r_3^2 + i^2 + j^2}{2 \times j} - \frac{i}{j} x \right) \quad (5.12)$$

(5.8) denklemi ve (5.11) denklemleri ile birlikte  $x, y$  noktası koordinatları bulunmuş olur.  $z$  noktası koordinatları (5.6) denkleminde yerine koyularak;

$$z = \pm \sqrt{r_1^2 - x^2 - y^2} \quad (5.13)$$

şeklinde ifade edilebilir. Buradan da görüldüğü üzere düğümün  $z$  düzlemindeki tam noktasını belirleyebilmek için bu iki noktadan hangisine denk geldiğini belirleyen bir düğüme daha ihtiyaç vardır. Bu durumda multilateration yöntemi ile çözüm daha kolay olacaktır.

Bu sayede  $x$  ve  $y$  noktaları belirlenen düğümün KDA'na göre göreceli konumlarını bulmuş oluruz. Çünkü düğümün yerini belirlemek için referans aldığımız noktalar geniş bir ağın içerisinde konum belirleme yapıyorsak denklemi çözmek için kullandığımız noktalarda yer almayacaklardır. Bunun için  $(0,0)$  noktasını referans aldığımız A düğümünü herhangi bir mesafesi belirlenmiş düğüm olarak ele alıp yeni tanımladığımız koordinat sisteminin orijini olacak şekilde ele alıp diğer referans düğümleri denklemi çözebilmek için gerekli  $(d,0)$  ve  $(i,j)$  koordinat düzlemi üzerinde kaydırma ve döndürmeler yardımı ile elde edilir ve yeni düğümün koordinatları bulunur. A çemberi için  $(0,0)$  noktasının referans alındığımızda diğer tüm noktaları ve konumu belirlenen düğümün koordinatlarını ve diğer referans düğümlerin koordinatları A düğümünün ağdaki gerçek yerine göre tekrar düzlem olarak ele alınıp kaydırılır ve döndürülür.

## 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada kablosuz duyurga ağlarından toplanan çeşitli algılayıcı verilerinin birleştirilerek, belirli bir bölge de bulunan ses kaynağı olarak modellenen bir nesnenin algılanması amaçlanmıştır. Ses verisini işlemek ve algılayıcı düğümünün bulunduğu yere ait ışık ve sıcaklık verilerini algılamak üzere bir analog algılayıcı kartı yapılmış ve gerekli yazılımlar ez430-RF2500 kiti için gerçekleştirilmiştir.

Algılayıcılardan oluşan ağda veriler toplanarak bilgisayara aktarılmış ve bilgisayarda MATLAB ve seri terminal programı yardımıyla veriler incelenebilmiştir.

Gerçekleştirilen donanım üzerindeki blokların bazıları sayısal olarak da gerçekleştirilebilmektedir ve yapılacak çalışmalar içerisinde bunların karşılaştırmalarına yer verilecektir. Buna örnek olarak gerçekleştirilen donanımda zarf detektörü bulunmasına rağmen, enerjinin efektif kullanımı kıstası nedeniyle hem donanımsal hem yazılımsal olarak gerçekleştirilen zarf detektörlerinin karşılaştırılması hedeflenmektedir.

Başlangıçta sistemde kullanılan ses yükseltecinin kazancının sabit olması, ses işaretinin güçlü olduğu durumda sistemin doyuma girmesine neden olmuştur. Doyum durumunda doğru verilerin elde edilmesini zorlaştırdığı görülmüş ve bunun için devre üzerindeki ön yükseltece ayarlanabilir bir kazanç katı eklenmiştir. Gelen işaretin şiddeti de ölçülmek gerektiği için AGC'nin kazancının ne kadar olduğunu algılamak amacıyla AGC geri besleme işareti değerlendirilmek üzere düğümlerdeki MCU'ya aktarılmıştır. Deneysel sonuçlar göstermiştir ki, AGC kullanarak alınan ses örneklerinin korelasyonunda, zaman eşlemesinin neden olduğu hata ve ses örneklerindeki gürültünün genlik değeri nesnenin bulunduğu noktanın hesaplanmasında hataya neden olmaktadır.

Duyarga ağı içerisinde konum belirleme algoritmalarına değinilmiş ve uygulama yapılarak sonuçları incelenmiştir. Konum belirlemek için düğümlerin birbirlerine göre mesafeleri erişim zamanı farkı yöntemi, RF işareti gücüne bağlı mesafe ölçüm yöntemi ve işaret yayılım gecikmesine bağlı olarak mesafe ölçümü yöntemlerine değinilmiş ve bu yöntemlere yönelik uygulamalar geliştirilmeye çalışılmıştır. Mesafe bilgileri edinildikten sonra trilateration yöntemi kullanılarak, referans alınan düğümlere göre istenilen düğümün konumu belirlenebilmiştir.

Yayıma gecikmesine sebep olacak işaret olarak ses seçildiği için, işaret yayılım gecikmesine bağlı mesafe ölçümü yöntemi ve trilateration kullanılarak ağ içerisinde ses çıkararak bir cismin yerini belirlemenin mümkün olduğu görülmüştür.

Yapılan çalışmalara ek olarak bir arayüz hazırlanması ve bu yöntemlerin her birinin ayrı kullanılarak seçilen senaryoya göre kıyaslamaların yapılmasına imkan tanıyacak programın gerçeklenmesi ve verilerin birleştirilmesi işlemine devam edilmektedir. Kullanılan ve tezde bahsi geçen algılayıcı düğümünü geliştirmek ve üzerinde kullanılan SimpliciteTI protokolü yerine ZigBee'ye geçilmesi ve yapılan diğer çalışmalarla kıyaslanması için çalışmalar devam etmektedir.

## KAYNAKLAR

- [1] Texas Instruments, 2008, *ZigBee Solutions*[online], Datasheet: <http://focus.ti.com/lit/ds/symlink/cc2420.pdf>, (**Ziyaret tarihi: 10 Eylül 2009**)
- [2] Texas Instruments, 2008, MSP430F2274 Low Power Solutions[online], Datasheet, <http://focus.ti.com/lit/ds/symlink/msp430f2274.pdf>, (**Ziyaret tarihi: 10 Eylül 2009**)
- [3] IEEE Reliability Society 2008,[online] [http://www.ieee.org/portal/site/relsoc/menuitem.112d36a56667b078fb2275875bac26c8/index.jsp?&pName=relsoc\\_home](http://www.ieee.org/portal/site/relsoc/menuitem.112d36a56667b078fb2275875bac26c8/index.jsp?&pName=relsoc_home), (**Ziyaret tarihi: 10 Eylül 2009**)
- [4] C. Shen, C. Srisathapornphat, and C. Jaikaeo, *Sensor Information Networking Architecture and Applications*, IEEE Personal Communications, 52-59. (2001)
- [5] D. Nadig, and S. S. Iyengar, *A New Architecture for Distributed Sensor Integration*, Proceedings of IEEE Southeastcon '93, Charlotte NC, (1993)
- [6] G. Hoblos, M. Staroswiecki, and A. Aitouche, *Optimal Design of Fault Tolerant Sensor Networks*, IEEE International Conference on Control Applications, Anchorage AK, 467–472. (2000)
- [7] G. Hoblos, M. Staroswiecki, and A. Aitouche, *Optimal Design of Fault Tolerant Sensor Networks*, IEEE International Conference on Control Applications, Anchorage, AK, 366-370. (2002)
- [8] Perrig, A., *SPINS: Security protocols for sensor networks*. Proceedings of MOBICOM, (2001)
- [9] Rivest, R. L. *Proceedings of the Second International Workshop on Fast Software Encryption (FSE)*, 86–96. (1994)
- [10] Doherty, L., *Algorithms for Position and Data Recovery in Wireless Sensor Networks* UC Berkeley EECS Masters Report, Berkeley. (2000)
- [11] C. Intanagonwiwat, R. Govindan, and D. Estrin, *Directed Diffusion: A Scalable and Robust Communication Paradigm for Sensor Networks*, ACM MobiCom'00, Boston, MA, 56–67. (2000)
- [12] G.J. Pottie and W.J. Kaiser, *Wireless Integrated Network Sensors, Communications of the ACM*, vol. 43, No. 5, pp. 551-8, (2000)

- [13] Cerpa, A., *Habitat monitoring: Application driver for wireless communications technology*, ACM SIGCOMM Workshop on Data Communications, Latin America and the Caribbean.(2001)
- [14] Mainwaring, A., *Wireless Sensor Networks for Habitat Monitoring*, ACM International Workshop on Wireless Sensor Networks and Applications (WSNA'02), (2002)
- [15] RF Monolithics Inc, 1999, *TR1000 Data Sheet* [online], <http://www.rfm.com/products/data/tr1000.pdf>, **(Ziyaret tarihi: 10 Eylül 2009)**
- [16] Xu, Y., J. Heidemann, and D. Estrin, *Geography-informed energy conservation for Ad Hoc routing*, ACM Press: SIGMOBILE : ACM Special Interest Group on Mobility of Systems Users, Data and Computing, p. 70 - 84. (2001)
- [17] Yarvis, M.D., *Real-World Experiences with an Interactive Ad Hoc Sensor Network.*: International Conference on Parallel Processing Workshops, USA (2002)
- [18] ST Microelectronic, 2006, *L6820db*, Datasheet [online] <http://www.stdistributiondmandcreation.com/datasheets/l6920db.pdf>, **(Ziyaret tarihi: 10 Eylül 2009)**
- [19] Texas Instruments, *TLV2760*, Datasheet [online] <http://focus.ti.com/lit/ds/symlink/tlv2760.pdf>, **(Ziyaret tarihi: 10 Eylül 2009)**
- [20] RF, RFIC & Microwave Theory, Design, , “*Current Sink & Mirrors*”, “Current Mirror.pdf” [online] [www.rfic.co.uk](http://www.rfic.co.uk) , **(Ziyaret tarihi: 10 Eylül 2009)**
- [21] Wilson current mirror [online], 2009 [http://en.wikipedia.org/wiki/Wilson\\_current\\_source](http://en.wikipedia.org/wiki/Wilson_current_source), **(Ziyaret tarihi: 10 Eylül 2009)**
- [22] Intersil, 2008, *ISL2909*, Datasheet [online] <http://www.intersil.com/data/fn/fn6484.pdf> , **(Ziyaret tarihi: 10 Eylül 2009)**
- [23] Windriver Systems, 2008, *VxWorks 5.4*, Datasheet [online] [http://www.windriver.com/products/html/vxwks55\\_ds.html](http://www.windriver.com/products/html/vxwks55_ds.html), **(Ziyaret tarihi: 10 Eylül 2009)**
- [24] Microsoft Corp., Microsoft Windows CE [online] <http://www.microsoft.com/windowsce/embedded> **(Ziyaret tarihi: 10 Eylül 2009)**
- [25] PalmOS Software 3.5 Overview,2008 [online] <http://www.palm.com/devzone/docs/palmos35.html>, **(Ziyaret tarihi: 10 Eylül 2009)**
- [26] Hildebrand, D., 2008, *An architectural Overview of QNX* [online], <http://www.qnx.com/literature/whitepapers/archoverview.html>, **(Ziyaret tarihi: 10 Eylül 2009)**
- [27] Windriver Systems, 2008, *pSOSystem*, Datasheet [online]

[http://www.windriver.com/products/html/psosystem\\_ds.html](http://www.windriver.com/products/html/psosystem_ds.html), **(Ziyaret tarihi: 10 Eylül 2009)**

[28] QNX Software Systems Ltd., 2008, *QNX Neutrino Realtime OS* [online], <http://www.qnx.com/products/os/neutrino.html>, **(Ziyaret tarihi: 10 Eylül 2009)**

[29] Microware, 2008, *Microware OS-9* [online], <http://www.microware.com/ProductsServices/Technologies/os-91.html>, **(Ziyaret tarihi: 10 Eylül 2009)**

[30] Kauler, B., 2008, *CREEM: Concurrent Realtime Embedded Executive for Microcontrollers* [online], <http://members.dodo.net.au/~void/old/creem.htm> , **(Ziyaret tarihi: 10 Eylül 2009)**

[31] *pOSEK: A super-small scalable real-time operating system for high-volume, deeply embedded applications*: [online] <http://www.isi.com/products/posek/index.htm>, **(Ziyaret tarihi: 10 Eylül 2009)**

[32] Microware, 2008, *Microware Ariel Technical Overview*: [online] [http://www.microware.com/ProductsServices/Technologies/ariel\\_technology\\_brief.html](http://www.microware.com/ProductsServices/Technologies/ariel_technology_brief.html), **(Ziyaret tarihi: 10 Eylül 2009)**

[33] 2009, TinyOS Alliance [online], <http://www.tinyos.net/>, **(Ziyaret tarihi: 10 Eylül 2009)**

[34] Texas Instruments, 2008, *SimpliCI API*, Datasheet [online] <http://focus.ti.com/lit/ml/swru130b/swru130b.pdf> , **(Ziyaret tarihi: 10 Eylül 2009)**

## **ÖZGEÇMİŞ**

Tevfik KADIOĞLU 1984 yılında Kahramanmaraş'da doğdu. 2002 yılında Kahramanmaraş Anadolu Lisesi'nden mezun olduktan sonra, Kocaeli Üniversitesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği'nde yüksek öğrenim hakkı kazandı. 2006 yılında 2.92/4 not ortalaması ile Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. Aynı yıl, yüksek lisans öğrenimine Kocaeli Üniversitesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği, Telekomünikasyon Anabilim Dalı'nda başladı.