

T.C.
BEYKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MATEMATİK BİLGİSAYAR ANABİLİM DALI
BİLG. AĞLARI VE İNTERNET TEKNOLOJİLERİ BİLİM DALI

**KABLOSUZ SENSÖR AĞLARININ KARASAL HUDUT
GÜVENLİĞİNDE KULLANILMASI HAKKINDA BİR
ÖNERİ**

(Yüksek Lisans Tezi)

Tezi Hazırlayan: **Volkan TAŞ**

İSTANBUL, 2010

T.C.
BEYKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MATEMATİK BİLGİSAYAR ANABİLİM DALI
BİLG. AĞLARI VE İNTERNET TEKNOLOJİLERİ BİLİM DALI

**KABLOSUZ SENSÖR AĞLARININ KARASAL HUDUT
GÜVENLİĞİNDE KULLANILMASI HAKKINDA BİR
ÖNERİ**

(Yüksek Lisans Tezi)

Tezi Hazırlayan:

Volkan TAŞ

Öğrenci No:

060861002

Danışman:

Yrd.Doç.Dr. Rifat ÇÖLKESEN

İSTANBUL, 2010

YEMİN METNİ

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum “**Kablosuz Sensör Ağlarının Karasal Hudut Güvenliğinde Kullanılması Hakkında Bir Öneri**” başlıklı bu çalışmanın, bilimsel ahlak ve geleneklere uygun şekilde tarafımdan yazıldığını, yararlandığım eserlerin tamamının kaynaklarda gösterildiğini ve çalışmamın içinde kullanıldıkları her yerde bunlara atıf yapıldığını belirtir ve bunu onurumla doğrularım./...../....

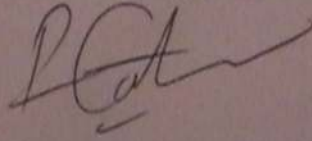
Aday:Volkan TAŞ

T.C.
BEYKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ
TEZLİ YÜKSEK LİSANS TEZ SINAV TUTANAĞI

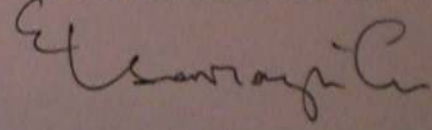
27/01/2010

Enstitümüz *Matematik-Bilgisayar* Anabilim dalı *Bilgisayar Ağları ve İnternet Teknolojileri* Bilim dalı yüksek lisans öğrencilerinden 060861002 numaralı *Volkan TAŞ*'ın "*Beykent Üniversitesi Lisansüstü Eğitim - Öğretim ve Sınav Yönetmeliği*"nin ilgili maddesine göre hazırlayarak, Enstitümüze teslim ettiği "*KABLOSUZ SENSÖR AĞLARININ KARASAL HUDUT GÜVENLİĞİNDE KULLANILMASI HAKKINDA BİR ÖNERİ*" tezi, Yönetim Kurulumuzun 15.01.2010 tarih ve 2010/01 sayılı toplantısında seçilen biz jüri üyeleri huzurunda, aday tarafından savunulmuş ve sonuçta adayın tezi hakkında *oyçokluğu/oybirliği* ile *Kabul/Red-veya Düzeltme* kararı verilmiştir.

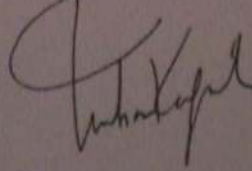
DANIŞMAN
YRD.DOÇ.DR. Rifat ÇÖLKESEN



ÜYE
PROF. DR.Esat HAMZAOĞLU



ÜYE
YRD.DOÇ. Turhan KARAGÜLER



KABLOSUZ SENSÖR AĞLARININ KARASAL HUDUT GÜVENLİĞİNDE KULLANILMASI HAKKINDA BİR ÖNERİ

Tezi Hazırlayan: Volkan TAŞ

Özet

Hudut güvenliği bir ülkede yaşayan insanlar ve ülke için hayati bir öneme sahiptir. Bunun sonucu olarak dünyadaki bütün ülkeler sınırlarının güvenliğini arttırmak için çeşitli yollara başvurmaktadır. Aynı zamanda diğer taraftan bakınca hudut güvenliğini arttırmak ciddi bir ekonomik yükü de beraberinde getirir.

Amacım bu tezde Türkiye sınırlarının daha iyi korunması ve illegal girişleri en aza indirilmesi için teknolojinin nasıl kullanılabileceğini ortaya koymaktır. Bu amaca ulaşmak için öncelikle Türkiye'nin hali hazırdaki hudut güvenliğini inceledim, bunun aksaklıklarını ortaya koydum. İllegal girişleri tespit etmek için gerekli insan müdahalesi gerektirmeyen kablosuz sensör ağlarını inceledim. Bu sistemin bileşenlerini inceledim ve nasıl hayata geçirileceğini açıklamaya çalıştım. İnsanı, askeri ve aracı algılayabilecek ve farkını anlayabilecek bir sensör çeşidi sunmaya çalıştım. Tezimde geçen sınır kavramlarının tamamı kara sınırlarıdır. Hava yada kara sınırları bu tezin ilgi alanı dışındadır.

Anahtar Kelimeler: Kablosuz Sensör Ağları, Karasal Hudut, Kablosuz Haberleşme, Hudut Güvenliği, Algılama, Sensör Düğümü.

A SUGGESTION ABOUT USING WIRELESS SENSOR NETWORKS FOR SECURING LAND BORDERS

Presented by: Volkan TAŞ

Abstract

Border security is vital for a country and for those who live in a that country. As a result all the countries around the world uses some sort of solutoins to protect their borders. At the same time and on the other hand increasing the border security comes with a great amount of economic problems.

In this thesis I tried to identify how to use technology to protect the borders of Turkey and to minimize the illegal entries. To reach this purpose I examined the overall view of the borders of Turkey and identified the negative aspects of the system that is being used. I examined the wireless sensor networks which work without interpretation for sensing the illegal entries. I examined the parts of this system and tried to explain how it can be used to protect the land borders of Turkey. I tried to suggest a sensor type that can sense a person, a soldier and a vehicle. Also it is required to understand the differences between this targets. All the words that is “border” means “Land Border”. This thesis is not interested in water or air borders.

Key Words: Wireless Sensor Netwoks, Land Border, Wireless Communication, Border Security, Sensing, Sensor Node.

İÇİNDEKİLER

YEMİN METNİ

JÜRİ SAYFASI

ÖZET

ABSTRACT

İÇİNDEKİLER.....i

TABLolar LİSTESİ.....vi

ŞEKİLLER LİSTESİ.....vii

KISALTMALAR.....ix

GİRİŞ.....1

1. TÜRKİYEİN KARA SINIRLARI2

1.1. TürkiyeİN Kara Sınırlarının Korunması Ve Güvenliği.....2

1.1.1. Hudut Birliklerinin Görevleri.....2

1.1.1.1. Barış Zamanı Görevleri.....2

1.1.1.2. Savaş Zamanı Görevleri.....2

1.1.2. Hudut Birliklerinin Teşkilatlanması ve Yerleşimi.....3

1.2. Hudut Güvenlik Sistemi.....5

2. KABLOSUZ SENSÖR AĞLARI.....8

2.1. Kablosuz Sensör Ağları.....8

2.1.1. Sensör Ağı Gereksinimleri.....10

2.1.1.1. Fazla Sayıda Sensör10

2.1.1.2. Düşük Enerji Kullanımı.....10

2.1.1.3. Düşük Belleğin Verimli Kullanımı.....11

2.1.1.4. Veri Toplama.....11

2.1.1.5. Ağ Öz Örgütlenmesi11

2.1.1.6. İşbirlikçi Sinyal İşleme.....	11
2.1.1.7. Sorgulama Yeteneği	11
2.1.2. Kablosuz Sensör Ağlarının Mobil Ad-Hoc Ağlara Göre Avantajları.....	12
2.2. Sensör Düğümü.....	12
2.2.1. Bileşenleri.....	13
2.2.1.1. İşlemci.....	13
2.2.1.2. Alıcı-Verici.....	14
2.2.1.3. Bellek.....	15
2.2.1.4. Güç kaynağı.....	15
2.2.1.4.1. Sensör düğümlerinde Güç Tüketimi.....	16
2.2.1.4.1. 1. Algılama.....	17
2.2.1.4.1. 2. Haberleşme.....	17
2.2.1.4.1. 3. Veri işleme.....	17
2.2.1.5. Sensörler.....	17
2.3. Sensör Ağı Uygulamaları.....	19
2.3.1. Askeri Uygulamalar.....	20
2.3.1.1. Dost Birlikleri, Teçhizatı Ve Mühimmatı Görüntüleme.....	20
2.3.1.2. Harekat Bölgesi Gözetlemesi.....	21
2.3.1.3. Düşman Birliklerinin Ve Bölgesinin Keşfi	21
2.3.1.4. Hedef Tespiti.....	21
2.3.1.5. Harekat Bölgesi Hasar Durum Tespiti.....	21
2.3.1.6. KBRN Taarruz Tespiti Ve Keşfi.....	21
2.4. Sensör Ağlarının Tasarımını Etkileyen Unsurlar.....	21
2.4.1. Hata Toleransı	22
2.4.2. Ölçeklenebilirlik.....	22
2.4.3. Üretim Maliyeti.....	23
2.4.4. Donanım Kısıtlamaları.....	23
2.5. Çevrenin Sensör Düğümlerine Etkileri	25
2.6. Sensör Düğümlerinin Çalışacağı Gönderme Ortamı.....	26
2.7. Sensör Ağları Topolojisini Etkileyen Unsurlar.....	28
2.7.1. Yerleşim öncesi ve yerleşim aşaması	28
2.7.2. İlk yerleştirme	28
2.7.3 Yerleşim Sonrası Aşama.....	29
2.7.4. Yerleşim Sonrası İlave Düğüm Aşaması	29

3. SENSÖR AĞLARI HABERLEŞME MİMARİSİ	30
3.1. Uygulama Katmanı.....	32
3.1.1. SMP (Sensor Mangement Protocol).....	32
3.1.2. Task Assignment and Data Advetisement Protocol (TADAP).....	33
3.1.3. Sensor Query and Data Dissoniation Protokol (SQDDP).....	33
3.2. Taşıma Katmanı.....	34
3.3. Ağ Katmanı	34
3.4. Veri Bağı Katmanı	37
3.4.1. Ortam Erişim Kontrolü (Medium Access Protokol - MAC).....	37
3.4.2. İşlemlerin Güç Tasarruf Modları.....	38
3.4.3. Hata Kontrolü.....	38
3.4.4. Fiziksel Katman.....	38
4. SENSÖR AĞLARININ ÇALIŞMA PRENSİPLERİ	39
4.1. Sensör Ağları Nasıl Çalışır?.....	39
4.2. Sensör Ağlarında Veri Birleştirme ve Yayma	42
4.2.1. Birleştirme (“Aggregation”).....	42
4.2.2. Yayma (“Dissemination”)	43
4.3. Sıradüzensel Sensör Ağlar	44
5. AĞ YÖNETİMİ	46
5.1. Kablosuz Sensör Ağlarında Ağ Yönetimi	46
5.1.1. Basit Yönetim Mimarisi	46
5.1.2. Yerel Yönetim ve Koordinasyon	46
5.1.3. Genel Yönetim Fonksiyonları.....	48
5.1.4. Uygulama Bilgisiyle Bütünleşme	48
5.1.5. Uyarlanabilen Yeniden Ayarlama.....	48
5.2. KSA’da Ağ Yönetim Mimarisinin Tasarımı.....	49
5.2.1. Katmanlı sistem Yapısı	49
5.2.2. Yönetim Fonksiyonlarının Dağılımı	49
5.2.3. Politika Tabanlı Yönetim	50

5.2.4. Bilgi Modeli.....	50
6. VERİ GİZLİLİĞİ.....	51
6.1. Kablosuz Sensörlerde Veri Gizliliği	52
6.2. Tek-Yol Algoritması.....	53
6.3. Flooding Algoritması.....	55
6.4. Sonuç	55
7. HUDUT GÜVENLİĞİ İÇİN SENSÖR SEÇİMİ.....	57
7.1. Problem Tanımlaması	58
7.1.1. Kullanıcı Gereksinimleri.....	58
7.1.2. Hedef Modeli.....	60
7.1.3. Sistem Modeli	60
7.1.4. Çevresel Model.....	61
7.1.5. Hata Modeli.....	61
7.1.5.1. Düğüm Çökmeleri Ve Donanım Hataları.....	62
7.1.5.2. Haberleşme Hataları	62
7.1.5.3. Yazılımsal Hatalar.....	62
7.2. Algılama	62
7.2.1. Hedef Özellikleri.....	63
7.2.1.1. İnsan.....	63
7.2.1.2. Asker.....	63
7.2.1.3. Taşıt.....	63
7.2.2. Algılama Seçenekleri.....	64
7.2.3. Sensör Seçimi	67
8. ZİGBEE.....	71
8.1. Zigbee Tarihi ve Aşamaları.....	71
8.2. Zigbee'nin Kullanım Alanları.....	72
8.3. Diğer Kablosuz Teknolojilerle Zigbee'nin Karşılaştırılması.....	73
8.4. IEEE 802.15.4 Standardı.....	74
8.4.1. Fiziksel Katman (Physical Layer).....	75

8.4.2. Ortam Erişim Yönetimi Katmanı.....	75
8.5. Zigbee Protokollerinin IEEE 802.15.4 ile İlişkisi.....	76
8.6. Zigbee’de Düşük Güç Tüketimi.....	77
8.7. Zigbee Araç Tipleri, Ağ Bileşenleri ve Görevleri.....	77
8.8. Zigbee’nin Desteklediğı Ağ Topolojileri.....	78
8.8.1 Yıldız Topoloji.....	78
8.8.2 Ağaç Topolojisi.....	79
8.8.3 Örgü Topolojisi.....	80
9. KABLOSUZ SENSÖR AĞLARI İLE HUDUT GÜVENLİĞİ.....	81
9.1. Algılama/Sensör Bölgesi.....	81
9.2. 1’inci Seviye Gözlem ve Müdahale Unsurları Bölgesi	83
9.3. 2’nci Seviye Gözlem ve Müdahale Unsurları Bölgesi.....	83
10. SONUÇ	85
KAYNAKLAR.....	87
ÖZGEÇMİş	90

TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa Nu.:

Tablo.1. Uluslararası Frekans Tahsis Tablosu.....	27
Tablo.2. Performans Gereklilikleri'nin Özeti.....	59
Tablo.3. Gerekli Sınıflandırma Karıştırma Matrisinin Özeti.....	59
Tablo.4. İhtiyaçlar Göz Önüne Alındığında Sensörlerin Kuvvetli ve Zayıf Taraflarının Özeti.....	69
Tablo.5. Kablosuz Haberleşme Teknolojilerinin Karşılaştırılması.....	73

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sekil No:	Sayfa
Şekil.1. Hudut Birliklerinin Temel Teşkilat Yapısı.....	4
Şekil.2. Hudut Birliklerinin Temel Yerleşim Şekli.....	4
Şekil.3. Bir sensör düğümü.....	12
Şekil.4. Sensör Düğümünün Temel Bileşenleri.....	13
Şekil.5. Sensörlerin Serpildiği Bir Algılama Bölgesi.....	30
Şekil.6. Sensör Ağları Protokol Yığını.....	31
Şekil.7. Sensör Ağı Mimarisi.....	40
Şekil.8. Veri toplayan bir sensör ağı.....	41
Şekil.9. Sıradüzensel sensör ağı.....	44
Şekil.10. KSA'da Yığın Yapısı.....	47
Şekil.11. Zigbee'nin bina otomasyonunda kullanımı.....	72
Şekil.12. Zigbee protokolü ile IEEE 802.15.4 arasındaki bağlantı diyagramı	76
Şekil.13. Yıldız Topolojisi.....	79
Şekil.14. Ağaç Topolojisi.....	79
Şekil.15. Örgü Topolojisi.....	80
Şekil.16. Kablosuz Sensör Ağları ile Karasal Hududun Korunması.....	84

KISALTMALAR LİSTESİ

K.	: Komutanlık
Kh.Bl.	: Karargah Bölüğü
Bl.	: Bölük
Kh.	: Karagah
Tk.	: Takım
Hd.	: Hudut
Tb.	: Tabur
Askarad	: Askeri Kara Radarı
KSA	: Kablosuz Sensör Ağları
QoS	: Quality of Service (Servis Kalitesi)
ADC	: Analog Digital Converter (Analog Dijital Dönüştürücü)
RF	: Radyo Frekansı
WSA	: Wireless Sensor Netwok
DPM	: Dynamic Power Management
DVS	: Dynamic Voltage Scaling
IR	: Infra-Red (Kızıl Ötesi)
C4ISRT	command, control, communications, computing ,intelligence, surveillance, reconnaissance and targeting –komuta, kontrol, haberleşme, bilgi işlem, istihbarat, beka, keşif ve hedef bulma
KBRN	: Kimyasal-Biyolojik-Radyolojik-Nükleer
WLAN	: Wireless Local Area Network (Kablosuz Yerel Alan Ağı)
ISM	: International Scientific and Medical
GPS	: Global Positioning System

Giriş

Hudut güvenliğinin bir ülke ve o ülkenin vatandaşları için hayati öneme sahip olduğu bilinen bir gerçektir. Uluslararası terörizm tehlikesi, dünyaca yaygın göç ve mülteci problemi, silah ve uyuşturucu kaçakçılığı ülkeleri tehdit eden unsurların başında gelir. Bu yüzden dünya da ki bütün ülkeler sınır güvenliğini arttırmak için çözümler aramaktadır. Bu işi kotarmak için her ülke farklı yollar ve kuruluşlar kullanmaktadır. Ama ana kaynak ya da hammadde olarak nitelendirilebilecek şeyler insan ve teknolojidir. Bu yüzden sınır güvenliğini arttırmanın yegane yolu kaynakları arttırmak ve yeni yöntemler geliştirmektir. Diğer yandan kaynakları arttırmak ciddi maliyeti de beraberinde getirir.

Bununla beraber Türkiye'nin içinde bulunduğu şartlar; jeopolitik konum, orta doğudaki siyasi gücü, karşı karşıya olduğu terörist eylemler vb. kaynak artırımını zorunlu kılmaktadır. Kara sınırlarının özellikle arazilerinin sarp ve kontrolünün zor olması sebebi ile at unut mantığı ile çalışan çok fazla insan müdahalesine ihtiyaç duymayan teknolojik sistemlerin kullanılması kaçınılmazdır. Türkiye bu kaynaklara ayıracağı para ile özellikle terörizme harcadığı paradan tasarruf edecek ve asıldan bir müddet sonra da ekonomik olarak kar edecektir.

Tezimde Türkiye'nin sınır güvenliğini arttırılmasını sağlayacak yöntemlerden biri olan kablosuz sensör ağları teknolojisini kullanımını araştırdım. Öncelikle Türkiye'nin hali hazırda kullandığı sınır koruma yönetiminden ve kullandığı teknolojilerden kısaca bahsedeceğim. Daha sonra sensör düğümünün yapısı, sensör ağının oluşumu ve kullanılabilecek kablosuz haberleşme yapısından bahsedeceğim. Yaptığım literatür araştırmasında halihazırda bu sistemi kullanan bir ülke olmadığını, yapılan sensör ağlarını ancak deneysel olarak hayata geçirildiğini gördüm. Gerçek yaşamda ya da askeri alanda kullanılan herhangi bir örneğine denk gelmedim.

BÖLÜM 1

1.1.TÜRKİYE'NİN KARA SINIRLARININ KORUNMASI VE GÜVENLİĞİ

Türkiye komşuları ile 2852 km uzunluğunda bir kara sınırına sahiptir.(Yunanistan ile 202 km, Bulgaristan ile 268 km, Suriye ile 877 km, Irak ile 378 km, İran ile 528 km, Nahçıvan ile 17 km, Ermenistan ile 325 km ve Gürcistan ile 257 km). Türkiye’de kara sınırlarının emniyetinin alınması ve güvenliğinin sağlanması görevi 10.11.1988 tarihli yasa ile Kara Kuvvetleri Komutanlığına verilmiştir. Bu görev Hudut Birlikleri marifeti ile yürütülmektedir.[1].

1.1.1.Hudut Birliklerinin Görevleri

Hudut Birliklerinin görevleri aşağıda sıralanmıştır.

1.1.1.1. Barış zamanında

1. Sorumluluk sahası içerisindeki kara sınırlarının güvenliğini sağlamak ve korumak
2. Kaçakçılık ve benzeri yasa dışı faaliyetleri engellemek
3. Türkiye sınırlarından içeri ya da dışarı olabilecek her türlü yasa dışı sınır giriş ve çıkışları engellemek.(örn:mültecilerin, teröristlerin, kaçakçıların ve düşman kuvvetlerinin yasa dışı gizlice sızmaları)
4. Sivil mülki makamlar ile koordine halinde bulunmak,
5. Genel savunma planına uygun olarak savaşa hazır olmak,
6. İstihbarat toplamak.

1.1.1.2. Savaş Zamanında

1. Genel savunma planına göre görevleri icra etmek,
2. Asıl taarruz gücü belli bir bölgede durana kadar daha az tehlikedeki bölgelerde arazi savunması yapmak,

3. Düşman komando ve hava indirme hareketlarına karşı koruma sağlamak

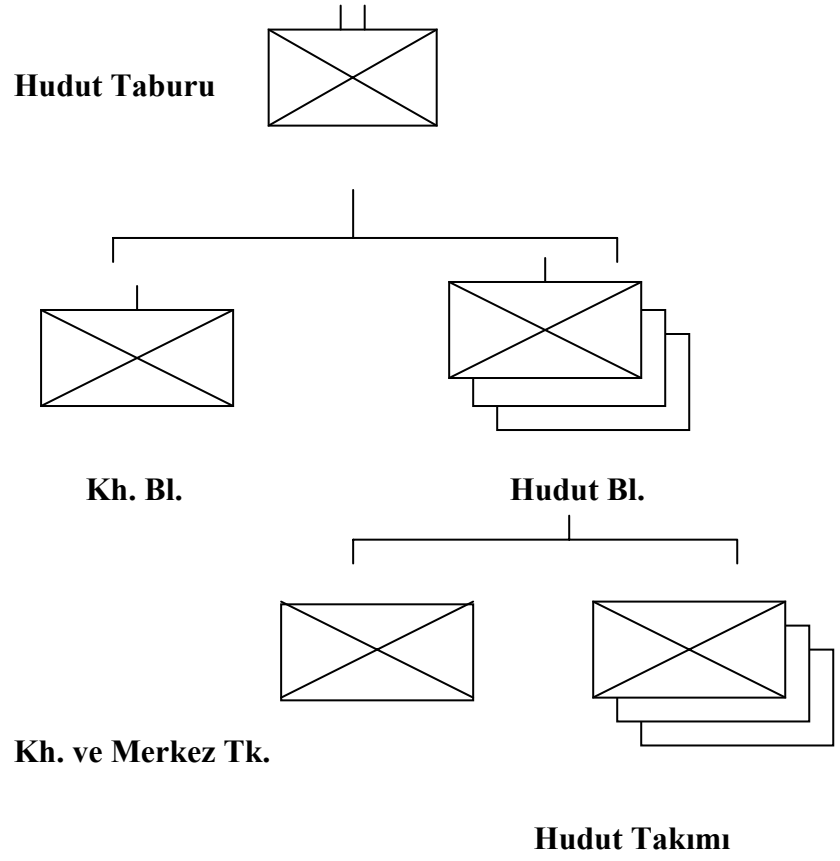
Sınır birlikleri görevlerini yasaların, yönetmeliklerin ve komşu ülkeler ile imzalanan mutabakat antlaşmalarının ışığında yerine getirmektedir.

1.1.2 Hudut Birliklerinin Teşkilatlanması ve Yerleşimi

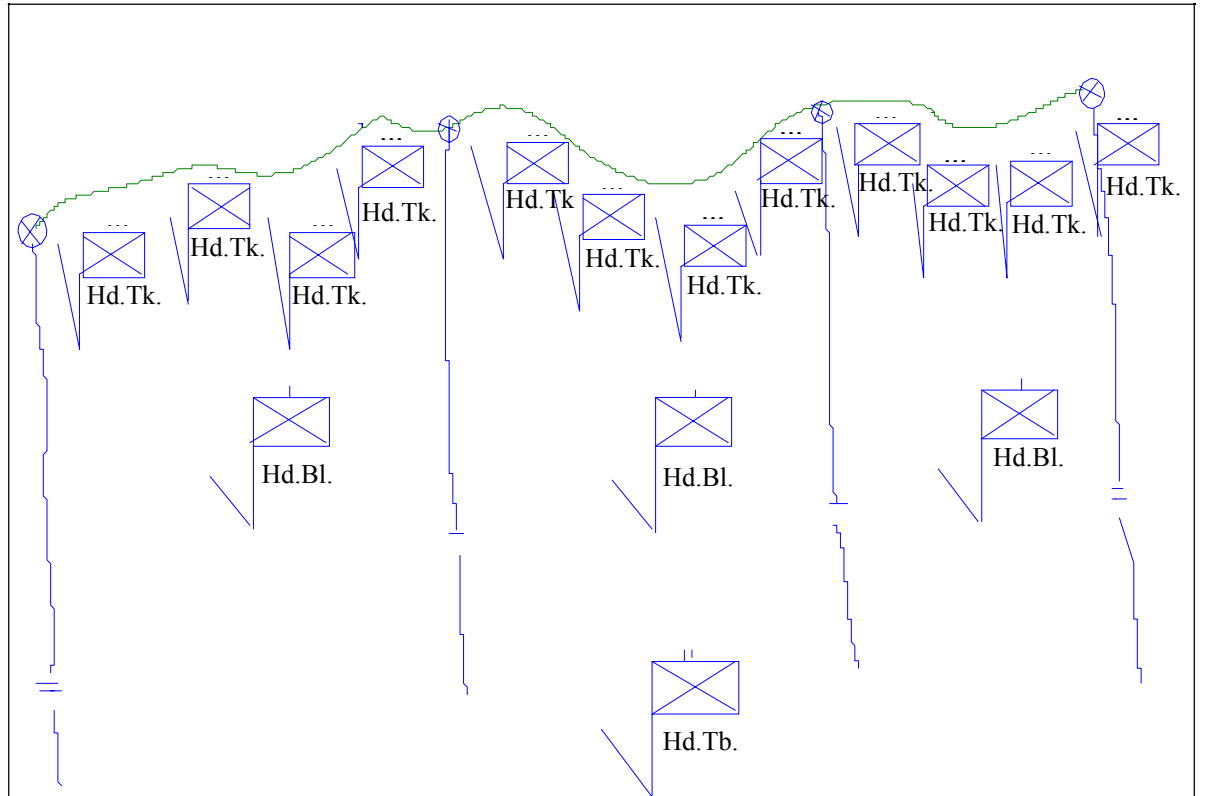
Hudut birlikleri Kara Kuvvetlerinin teklifi ve Genel Kurmay Başkanlığının onayı ile teşkilatlandırılmışlardır. Her hudut birliğinin içinde bulunduğu şartlar sebebi ile farklı teşkilatı olabilir. Temel teşkilat şeması Şekil 1’de [1] gösterilmiştir. Hudut taburları 3 hudut bölüğü ve 1 karargah bölüğünden oluşmaktadır. Karargah bölüğü tabur komutanı ve karargahını desteklemekle görevlidir. Aynı zamanda hudut bölüklerinin ikmal ihtiyaçlarını da giderir. Hudut bölükleri ise hudut taburunun aktif gücü, operasyon birlikleridir. Aslen hudutları hudut bölükleri korumaktadır demek yanlış olmaz. Hudut bölükleri ise üç hudut takımı ve 1 merkez takımından oluşmaktadır. Merkez takımı bölük karargahını destekler. Pusu ve devriye gibi görevler hudut takımları vasıtasıyla yapılır. Kimi zaman merkez takımı hudut takımlarını da destekler. Hudut birlikleri görevlerini en iyi şekilde yerine getirmek için yeni teknoloji ve personel ile desteklenmektedir.

Hudut birlikleri hem savaş zamanı hem de barışta görevlerini en iyi şekilde yerine getirecekleri arazilere yerleştirilmişlerdir. Herhangi bir yer değişikliği yetkisi Genel Kurmay Bşk.lığına aittir. İzin olmadığı zaman her hangi bir değişiklik yapılamaz.

Hudut birliklerinin sorumluluk sahalarını bağlı olunan Tugay K.lıkları tarafından tespit edilir. Hudut takımları temel olarak hudut boyuna yerleştirilir ve hudut bölükleri de bunların arkasına onları komuta edebileceği bir yere yerleştirilir. Son olarak da hudut taburları da bunların arkasına yerleştirilir. Temel yerleşim şekli Şekil 2’ de [1] gösterilmiştir.



Şekil 1: Hudut Birliklerinin Temel Teşkilat Yapısı



Şekil 2 :Hudut Birliklerinin Temel Yerleşim Şekli

1.2. Hudut Güvenlik Sistemi

Hudut güvenlik sistemi fiziksel engel sistemi ile Hudut gözetleme sisteminden meydana gelmektedir. Birbirini tamamlayan bu sistemler beraber kullanılabileceği gibi olasılıklar ve ihtiyaçlar göz önünde bulundurularak ayrı ayrı da kullanılabilir. Bu gibi durumlarda bölgenin önemi, tehdit beklentisi ve arazinin yapısı başlıca belirleyici olmaktadır.

Savunma bakanlığı ve İç İşleri Bakanlığı da aynı zamanda fiziki engel sisteminin kurulmasından ve idamesinden sorumludur. Bu engeller [1]:

1. Hudut boyunca tel çit ve tel engelleri (Tüm hudutta 8 metre genişliğinde),
2. İz tarlaları (Hudut boyunca 7 metre genişliğinde),
3. Devriye güzergahları ve ışıklandırma bölgeleri (hudut boyunca 7 metre genişliğinde)

Hudut gözetleme ve kontrol sistemi hudut güvenliğinin temelini oluşturmaktadır. Çünkü Türkiye hududundaki yasa dışı giriş ve çıkışlara karşı alınan aktif önlemler bu sistemin parçasıdır. Hudutlardaki güvenliği sağlamada kullanılan temel araç bunlardır. Hudut devriyeleri, pusu timleri, nöbetçiler, termal kameralar ve askaradlar bu sistemi oluşturan temel bileşenlerdir.[1].

Hudut Devriyeleri:

Devriye gurubu biri komuta olmak üzere üç kişiden oluşmaktadır. Devriye güzergahları boyunca sorumluluk sahası içindeki bölgeleri kontrol ederek ve gözetleyerek görevlerini icra ederler. Bu askerler hudut takımının teşkilatındadırlar. Zaman aralığı bırakarak görevini icra etmek için hudut kulelerinde ya da gözetleme yerlerinde ayrılırlar, görevlerini yerine getirirler ve tekrar gözetleme yerlerine geri dönerler. Gece ve gündüz her türlü hava koşulunda hudut kontrollerini yerine getirirler.

Pusu Timleri:

Bir pusu timi subay ya da astsubay komutasındaki beş-altı askerden oluşur. Pusular durağan ya da hareketli olabilir. Eğer görevlerini durağan olarak icra edeceklerse kontrol edecekleri, gözetleyecekleri bölgeye geceden giderler. Eğer görev hareketli olacaksa görevlerini icra ettikten sonra görev yerlerini değiştirirler. Bir gece de üç dört kez yer değiştirirler ve bir yerde 2-3 saatten fazla kalmazlar. Pusu timleri gece görüş cihazları ile donatılabilirler. Eğer gece görüş cihazları varsa gözetleme sahaları genişler. Pusu timleri görevlerini yalnızca gece icra ederler.

Nöbetçiler:

Ana görevleri hudut hattını ve düşman bölgesini gözetlemektir. Görevlerini hudut hattında bazı kritik yerlere inşa edilmiş olan gözetleme kulelerinden icra ederler. Nöbetçiler görevlerini gündüz icra ederler. Gözetleme görevi gece koşullarında termal kamera ya da askaradlar vasıtası ile yapılır.

Termal Kameralar:

Termal kameralar kullanıcısına her türlü hava koşulunda hedef tespit, tanımlama ve gözetleme imkanı veren kızıl ötesi bir gözetme ve görüntüleme sistemidir. Sistemin pasif algılama özelliği tamamen gizlenme ve gizli gözlem yeteneği kazandırır. Hafifliği ve portatif yapısı, bir kişi tarafından kullanılabilmesi ve işletilebilmesi, 12-24 VDC sulu aküden ya da sabit olduğunda 220 VAC'den beslenebiliyor olması, hava durumundan ya da gözetleme sahası azlığı gibi problemlerden etkilenmeden ve müdahale gerektirmeden çalışabilme yeteneği, düşük gürültü seviyesi ve mükemmel görüntü kalitesi termal kamerayı askeri amaçlar için ideal sistem haline getirmektedir. Termal kameralar; hudut güvenliği, karargah ,askeri bölge, liman ve üs koruması için kullanılmaktadır. Termal kameralar hudut bölüklerinin kontrolündedir. Sadece gece koşullarında ancak hareketli ya da sabit kullanılabilir.

Askarad :

Askarad, kara gözetleme radarı, hareketli objeleri gözlemlemek ve hareket bölgesinde topçu atışlarına düzelme vermek için kullanılan yeni nesil bir radar sistemidir. Askarad; gözetleme, hedef tespiti ve sınıflandırma, hedef takibi ve topçu

atışları için düzeltme işlemlerini bünyesinde birleştirip tek ünite haline getiren bir sistemdir. Askarad; gözetme, hedef tespiti ve hareketli hedef takibi, kesin hedef yeri tespiti, hedefleri ekranda işaretleme, topçu atışına düzeltme verme, küçük kara ya da havdan indirme birliklerine rehberlik etme, özellikle hedefini bulması için helikopterlere yön tarifi konularında kullanılmaktadır.

Askarad ve termal kameraların her ikisi de elektronik gözetleme sistemleridir. Aralarındaki yegane fark kontrol edebildikleri alanın büyüklükleridir. Askarad termal kameranın yaklaşık 4-5 katı daha fazla alanı gözetleyebilir.

BÖLÜM 2

2.1. KABLOSUZ SENSÖR AĞLARI

Bundan 20 yıl önce sensör ağlarından gelen verileri toplamanın tek yolu kablo idi. Bu problem sensör ağlarının yerleştirilmesi için ciddi bir problemdi. Ancak son zamanlarda kablosuz sensör ağları bir çok alanda yeni araştırma imkanları sunmuştur[14]. Mikro elektro-mekanik sistemlerde (*Micro Electro-Mechanical Systems* MEMS), kablosuz haberleşmede ve dijital elektronikte son zamanlardaki gelişmeler küçük boyutlu, kısa mesafelerdeki haberleşmeyi müdahale gerektirmeden yapabilen , ucuz, düşük maliyetli, çok işlevli sensör düğümlerinin gelişmelerine olanak vermiştir. Algılama, veri işleme ve haberleşme bileşenlerini içeren bu küçük sensörler çok miktarda sensör düğümünün işbirliği ile çalışması sonucu oluşacak sensör ağları düşüncesinin olgunlaşmasına yol açmıştır. Sensör ağları aşağıda sıralanan işlevleri yerine getiren klasik sensör teknolojisinde müthiş bir gelişmedir[2].

* Sensörler algılanmak istenen asıl maddeden uzağa yerleştirilebilir. Bu yaklaşımda algılanmak istenen şeyin çevrenin gürültüsünden ayrılıp algılanması için karışık teknikler kullanan büyük sensörler gerekli olur.

* Sadece algılama yeteneği olan çok sayıda sensör yerleştirilebilir. Sensörlerin yerleri ve haberleşme topolojisi dikkatlice ayarlanır. Algıladıkları şeylerin oluşturduğu zaman serileri işlemlerin yapıldığı ve verilerin analiz edildiği merkezi düğüme gönderilir.

Kablosuz sensör ağlarının oluşumu yada tasarımında mühendislerin kendilerine sordukları soru şudur: “Kablosuz sensör ağları seyrek oluşan, kısa süreli ve nadir olayları geniş ölçekte, uzun ömürlü ve yeniden programlanacak şekilde algılayabilir, nasıl sınıflandırabilir ve kısa sürede rapor edebilir?”[17].

Bir sensör ağı algılanan şeyin içine ya da çok yakınına yoğun bir şekilde yerleştirilmiş çok sayıda sensör düğümünden meydana gelmektedir. Algılanacak olan şeye göre konumlarının önceden ayarlanmasına ya da üzerinde çalışılmasına gerek yoktur. Bu ulaşılması zor arazilerde gelişi güzel yerleştirilmelerine olanak tanır. Bu

aynı zamanda sensör ağlarının protokollerinin ve algoritmalarının kendi kendine işlem yapabilme yeteneklerine sahip olmaları gerektiği anlamına gelmektedir. Sensör ağlarının bir diğer eşsiz özelliği ise iş birliği yapabilmeleri ve beraber iş görebilme yetenekleridir. İşlem yapma ve ağ kurabilme yetenekleri kablosuz sensör ağlarına araziye yerleştirmeden sonra tekrar programabilme ve yeniden görev verilebilme yeteneği kazandırır [13]. Sensör düğümleri on-board (kart üstü) işlemcilerle sahiptirler. Sensör düğümleri algıladığı ham verinin tamamını işlem yapmaktan sorumlu düğüme göndermektense, basit işlemleri yapmak için kendi bünyesindeki işlemciyi kullanır ve yukarıya kısmen işlenmiş ve sadece gerekli bilgiyi gönderir.

Yukarda açıklanan özellikler sensör ağlarının kullanım alanlarını oldukça yaygınlaştırmaktadır. Bunlardan bazıları sağlık, askeriye ve güvenlik sektörleridir.

Bu sektörlerde kablosuz sensör ağlarını kullanıma geçirilmeleri kablosuz bağımsız ağ teknolojilerini zorunlu kılar. Klasik kablosuz ağları için çeşitli algoritmalar ve protokoller sunulmuş olsa da bunlar kablosuz sensör ağlarının kendine özgü uygulama ve özellik gereksinimlerini tam olarak karşılayamamaktadır. Bu noktayı daha açık hale getirmek için klasik kablosuz ağlar ile kablosuz sensör ağlarının farklarının ortaya koydum [2].

- * Sensör ağlarındaki kablosuz sensör düğümlerinin sayısı klasik kablosuz ağlara kıyasla çok daha fazladır.
- * Sensör düğümleri yoğun olarak yerleştirilirler.
- * Sensör düğümleri işlevini yitirmeye yatkındır.
- * Sensör ağlarının topolojileri sık sık değişir.
- * Klasik kablosuz ağlar noktadan noktaya (point to point) haberleşmeyi kullanırken kablosuz sensör düğümleri yayın (broadcast) haberleşmesini kullanır.
- * Sensör düğümlerinin enerjisi, işlem yeteneği ve hafıza yetenekleri kısıtlıdır.

* Sensör ağıları sayılarının ve başlık kısımlarının çok olması sebebi ile evrensel kimlik numaralarına (global ID)sahip olamazlar.

Sensör düğümleri yoğun olarak yerleştirildikleri için komşu düğümler birbirine çok yakın olabilirler. Bunun sonucunda da klasik tek atlamalı (single-hop)haberleşme yerine çok atlamalı (multi-hop) haberleşmenin daha az enerji harcayacağı beklemektedir. Dahası, gönderme güç seviyesi, ki bu çeşit işlemlerde çok istenen bir durumdur ,düşük tutulabilir. Çok atlamalı haberleşme aynı zamanda tek atlamalı haberleşmenin uzun mesafede etkisinde kaldığı dalga girişimi (propagation) etkeninden de daha az etkilenir ve bu problemin üstesinden daha kolay gelebilir.

Sensör düğümlerinin en önemli kısıtlamalarından biri de güç kullanma gereksinimidir. Sensör düğümleri genel olarak sınırlı ve yenilenemeyen güç kaynaklarına sahiptirler. Bunun sonucu olarak klasik kablosuz ağlar servis kalitesi (QoS-Quality of Service) üzerinde dururken kablosuz sensör ağları daha çok güç tasarrufu üzerinde durur.

2.1.1. Sensör Ağı Gereksinimleri:

Sensör ağı gereksinimleri aşağıdakileri içerir: [3]

2.1.1.1. Fazla Sayıda Sensör:

Ucuz, küçük boyutlu sensörler kullanılarak sensör ağları binlerce sensör düğümü içerebilir. Ölçeklenebilirlik ve bu yüksek sayıdaki sensörü yönetmek önemli bir sorundur. Kümeleme (clustering) bu probleme çözümlerden biridir. Kümelemede, komşu düğümler bir küme oluşturmak üzere birleştiriliyor ve bir küme başı, bu kümeyi yönetmek için seçiliyor.

2.1.1.2. Düşük Enerji Kullanımı:

Çoğu uygulamada, sensör düğümleri çok uzak bir yere kurulmaktadır. Bu yüzden, düğümlerin bakımının oldukça zor olduğu durumlar ortaya çıkmaktadır. Düğümün ömrü, üzerindeki pilin ömrüyle belirleniyor, böylece minimal düzeyde enerji tüketilerek pilin en verimli şekilde kullanılması gerekiyor. Çok sayıda sensör pilini doldurmak pahalı ve zaman alan bir görev olabilir.

2.1.1.3. Düşük Belleğin Verimli Kullanımı:

Sensör ağları kurulurken yönlendirme tablosu, veri yineleme (data replication), güvenlik ve benzeri konular sensör düğümündeki düşük belleğe sığacak şekilde değerlendiriliyor.

2.1.1.4. Veri Toplama:

Çok sayıda algılama düğümü ağı bilgiyle şişirebilir. Bu problemi çözmek için, bazı düğümler (küme başları gibi) veriyi toparlayarak, bazı hesaplamalar yaparak (ortalama, toplam, en yüksek, vb.) elde ettiği özetleri yayınlatabilir.

2.1.1.5. Ağ Öz Örgütlenmesi:

Çok sayıda düğüm ve bu düğümlerin erişimi zor (vahşi-hostile) ortamlarda yerleştirilmesi gibi durumlarda, ağın kendini örgütleyebilmesi olmazsa olmazdır. Ağın yaşamı süresince düğümler çökebilir, yeni düğümler ağı katılabilir. Bu yüzden, ağ belirli aralıklarla kendini yeniden yapılandırabilmelidir. Böylece işlevini sürdürebilecektir. Bireysel düğümlerin ağdan ayrılma, bağlanma gibi durumlarında da tüm ağın bağlantılılığının korunması önemlidir.

Öz örgütlenme hem öz örgütlenme haberleşmesini hem de öz örgütlenme yer tespitini de içerir. Dağınık sensörler etrafındaki sensör düğümlerinin yerlerini haberleşme için bilmek zorundadır. [16]

2.1.1.6. İşbirlikçi Sinyal İşleme:

Bu ağları mobil ad-hoc ağlardan ayıran önemli bir etken, ağların amacının sadece iletişim değil, ilgi duyulan bir olayın belirlenmesi/tahmininin yapılmasıdır. Belirleme başarımını arttırmak için birden fazla sensörden gelen veriyi birleştirmek (fusion) önemlidir. Bu veri birleştirmesi, veri ve kontrol mesajlarının aktarımını gerektirir. Bu gereksinim ağ mimarisinde kısıtlar yaratabilir.

2.1.1.7. Sorgulama Yeteneği:

Sensör ağı için veri merkezli ve adres merkezli olmak üzere iki tip adresleme olduğunu belirtmiştir. Veri merkezli adreslemede sorgu ağın belirli bir bölgesine gönderilirken, adres merkezli adreslemede sorgu doğrudan belli bir düğüme

gönderilmektedir. Düşük Maliyet: Ağlarda binlerce düğüm kullanılacağı için sensör düğümlerinin maliyetinin düşük olması gereklidir.

2.1.2. Kablosuz Sensör Ağlarının Mobil Ad-Hoc Ağlara Göre Avantajları

Geleneksel kablosuz ad-hoc ağlar için bir çok algoritma ve protokol önerilmiş olsa da, bu algoritma ve protokoller sensör ağlarının eşsiz özellik ve uygulama gereksinimlerine uymamaktadır. Sensör ağları hatalara eğilimli ve genel kimliğe sahip olmayabilir ancak yine de geleneksel kablosuz ad-hoc ağlara göre bazı avantajlara sahiptir: [3]

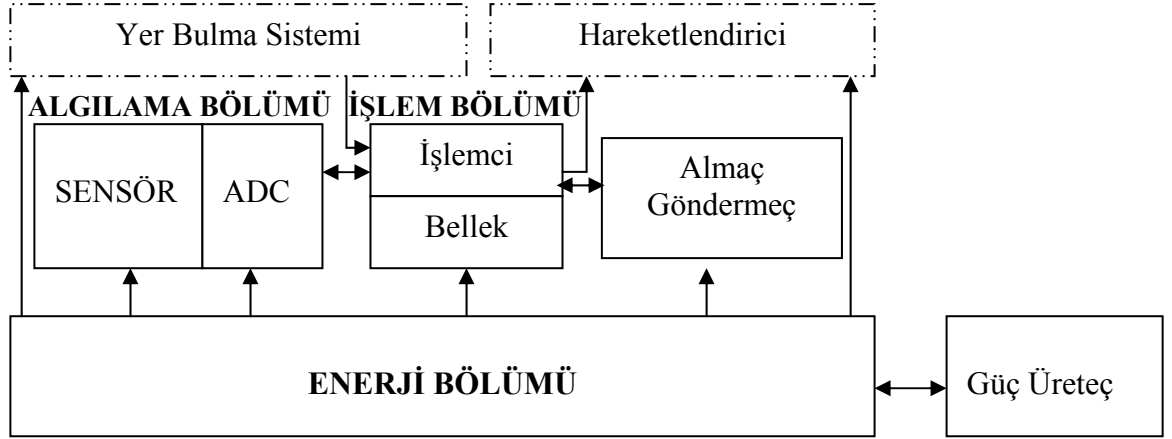
- Binlerce sensörün dağıtılmasıyla çok geniş alanların kapsanmasına olanak sağlarlar
- Ağ oluşturmuş olan sensörler, bir sensörün hatası durumunda da doğru bir şekilde çalışmaya devam ederler. Böylece, yüksek seviyeli artıklık ("redundancy") geniş ölçüde hata toleransı sağlamış olurlar
- Kablosuz sensör ağlar ayrıca sink düğümlerinin başka ağlara (Internet, Geniş Alan Ağları, vb.) bağlantı sağlamasıyla uzaktan erişim olanağını arttırırlar.
- Ayırık fenomenini ("discrete phenomenon") yerelleştirerek güç tüketimini azaltabilirler,
- İnsan müdahalesini ve yönetimini azaltabilirler,
- Gözetimsiz, erişimi zor bölgelere ortamlarda çalışabilirler,
- Değişen ağ durumlarına devingen olarak tepki gösterebilirler,

2.2. Sensör Düğümü



Şekil 3: Bir sensör düğümü [4]

Sensör düğümü (Bkz. Şekil 3), kablosuz sensör ağlarında kullanılan ve hesaplama, algısal bilgi toplama ve ağdaki diğer bağlantılı düğümlerle haberleşme yeteneklerine sahip düğümlerdir. Tipik bir sensör düğümü mimarisi Şekil 4'de görülebilir.



Şekil 4: Sensör Düğümünün Temel Bileşenleri

Sensör düğümlerinin geliştirilmesinin başlangıcı 1998 yılındaki SMARTDUST projesine dayanır. Bu projenin amaçlarından biri kübik milimetre içerisinde otonom algılama ve iletişim yaratmaktır. Bu proje erken bitmesine rağmen, birkaç araştırma projesinin doğmasına neden olmuştur. Bu projeler Berkeley NEST [5] ve CENS [6] projeleridir. Bu projelerde yer alan araştırmacılar sensör düğümü için mote terimini kullanmaktadır. [3]

2.2.1. Bileşenleri

Sensör düğümünün ana bileşenleri (Bkz. Şekil 4) İşlemci, alıcı-verici, bellek, güç kaynağı ve bir veya daha fazla sensördür. [7] [3]

2.2.1.1. İşlemci:

İşlemci görevleri yapar, veriyi işler ve sensör düğüm içerisindeki diğer bileşenlerin işlevselliğini denetler. Denetleyici olarak kullanılabilecek diğer alternatifler arasında şunlar sayılabilir: genel amaçlı masaüstü mikro işlemci, sayısal sinyal işlemciler (SSİ), alanı programlanabilir geçit dizileri (FPGA) ve uygulamaya özgü tümleşik devreler. Mikro denetleyiciler sensör düğümü için en uygun seçimdir

Her seçeneğin kendine özgü avantaj ve dezavantajları vardır. Diğer aygıtlara bağlanmadaki esneklikleri, programlanabilir olması, bu aygıtlar uyuma moduna girebildiği ve sadece denetleyicinin bir kısmının etkin olması nedeniyle düşük enerji tüketimi nedeniyle Mikro denetleyiciler gömülü sistemler için en uygun seçimdir.

Genel amaçlı mikro işlemciler mikro denetleyicilerden daha fazla enerji harcamaktadır. Sayısal sinyal işlemciler (SSİ) geniş bant kablosuz iletişim için uygundur. Kablosuz sensör ağlarda, kablosuz iletişim yalın olmalıdır. Modülasyonu işlemek daha kolay ve asli olan veri algılanması sinyal işleme görevleri daha az karmaşık olmalıdır. Bu yüzden SSİ'lerin avantajlarının kablosuz sensör ağları açısından fazla bir önemi kalmamaktadır. FPGA'lar gereksinimlere göre tekrar programlanabilir ve yapılandırılabilirler. Ancak bu zaman ve enerji tüketimine yol açar, bu nedenle FPGA'lar tavsiye edilmemektedir. Uygulamaya özgü tümleşik devreler belirli bir uygulama için tasarlanmış, uzmanlaşmış işlemcilerdir. ASIC'ler işlevselliği donanım olarak sunarken, mikro denetleyiciler yazılımsal olarak sağlarlar.

2.2.1.2. Alıcı-Verici:

Sensör düğümleri ISM bandını kullanır. Bu band sayesinde geniş dalga kuşağında ve global elverişlilikte özgür radyo yayını sağlanmış olur. Kablosuz iletim ortamlarında tercihler radyo frekansı, optik iletişim (lazer) ve kızılötesidir. Lazer daha az enerji gerektirir, ancak iletişim için görüş alanı gerektirir ve atmosferik koşullara duyarlıdır. Kızılötesi lazer gibidir, anten gerektirmez ancak yayım kapasitesi olarak sınırlıdır. Radyo frekansı (RF) tabanlı iletişim çoğu KSA uygulaması için uygun olan iletişim şeklidir. KSA'lar 433 MHz ve 2.4 GHz arasındaki iletişim frekanslarını kullanırlar.

Alıcı ve vericinin işlevselliği alıcı-verici adı verilen tek bir aygıt içerisinde birleştirilmiştir. Alıcı-vericiler tekil belirteçten yoksundur. İşlemsel durumlar İletme (Transmit), Alma (Receive), Boş (Idle) ve Uyku (Sleep)'dur.

Bugünkü nesil radyolar bu işlemi otomatik olarak gerçekleştiren gömülü durum makinelerine sahiptir. Alıcı-vericideki radyolar yukarıda belirtilen dört farklı modda çalışmaktadır. Boş modda çalışan radyoların güç tüketimi neredeyse Alma modundaki enerji tüketimine eşittir. Bu yüzden alma veya iletme işlemi yapmayan

radıoları boş moda almak yerine kapatmak en iyi çözümdür. Ayrıca paket iletimi için Uyku modundan İletme moduna geçerken önemli miktarda enerji tüketimi olmaktadır.

2.2.1.3. Bellek:

Enerji bakış açısından yaklaşıldığında, en uygun bellek çeşitleri mikro denetleyici çipi üzerindeki bellek ve FLASH belleklerdir. Çip dışı RAM'ler seyrek veya hiç kullanılmamaktadır. FLASH bellekler maliyeti ve depolama kapasitesi nedeniyle kullanılmaktadır. Bellek gereksinimleri yüksek oranda uygulama bağımlıdır. Depolamanın türüne göre iki farklı bellek kategorisinden bahsedilebilir:

a) Uygulamayla ilgili veya kişisel bilgileri saklamak için kullanılan kullanıcı belleği,

b) Aygıtın programlanması için kullanılan Program belleği, bu bellek ayrıca eğer varsa aygıtın tanımlayıcı verisini içerebilir.

2.2.1.4. Güç kaynağı:

Sensör düğümündeki enerji tüketimi algılama, iletişim ve veri işleme nedeniyle olmaktadır. Sensör düğümünde veri iletişimi için daha fazla enerji gerekmektedir. Algılama ve veri işleme için enerji tüketimi daha azdır. 1 Kb veriyi 100 metrelik bir uzaklığa iletmek için gereken enerji, yaklaşık olarak saniyede 100 milyon komut işleyen bir işlemcide 3 milyon komut işlemek için gereken enerjiye eşittir. Enerji pil veya kapasitörler içerisinde saklanmaktadır. Piller sensör düğümlerinin enerji ihtiyaçlarının temel kaynağıdır. Şarj edilebilir ve şarj edilemez olmak üzere iki tip pil kullanılmaktadır. Ayrıca piller içerisinde kullanılan elektro mekanik malzemeye göre de sınıflandırılabilir (NiCd - Nikel Kadmiyum, NiZn - Nikel Çinko, NiMH - Nikel Metal hibrid, Lityum-İyon). Günümüzdeki sensörler yenilenebilir enerji kaynaklarını da (güneş enerjisi, ısı enerjisi, titreşim enerjisi vb.) kullanabilecek şekilde geliştirilmektedir.

Kullanılan en önemli iki güç koruma politikası Devingen Güç Yönetimi (Dynamic Power Management-DPM) ve Devingen Voltaj Ölçeklendirme (Dynamic Voltage Scaling - DVS)'dir. DPM kullanılmayan veya etkin olmayan parçaları kapatma görevini gerçekleştirir, DVS yaklaşımı determinist olmayan iş yüküne

bağlı olarak güç seviyeleri arasında geçişler yaparak çalışır. Voltajı frekans ile birlikte değiştirerek güç tüketiminde kuadratik azalmalar sağlamak mümkündür.

2.2.1.4.1. Sensör düğümlerinde Güç Tüketimi

Bir mikro elektronik cihaz olan kablosuz sensör düğümü ancak belirli bir miktarda güç ile (< 0,5 Ah, 1,2 V) donatılabilir. Bazı senaryolarda enerji kaynağının yenilenmesi olasılığı olabilir. [2]

Uygulamaya bağlı olarak sensör düğümünün ömrü birkaç saatten birkaç yıla kadar değişebilir. Gerekli ömür süresi ihtiyaç duyulan enerji etkinliği üzerinde büyük bir etkisi vardır. [15] Dolayısıyla sensör düğümünün ömrü çoğunlukla pilinin ömrüne yüksek oranda bağımlılık gösterir. Çok atlamalı bir sensör ağında her sensör düğümü hem sinyal üretici hem de yönlendirici görevi üstlenir. Birkaç düğümün çalışmaması büyük topolojik değişikliklere yol açabilir ve paketlerin yeniden yönlendirilmesi ile ağın yeniden organize olmasına yol açabilir. Sonuçta güç tasarrufu ve güç yönetimi önemli bir unsur olarak öne çıkar. Bu sebeplerden ötürü halihazırdaki çalışmalar güce duyarlı algoritmalar ve protokoller üzerinde yoğunlaşmaktadır.

Diğer kablosuz ağlarda enerji tüketimi tasarımıda önemli bir faktör olmuştur. Ancak enerji tükendiğinde yenisi ile kullanıcı tarafından değiştirilebilir. Bunlarda asıl olan QoS'dir. Bunun tam tersi olarak sensör ağlarında ağın ömrünü doğrudan etkilediği için güç etkinliği önemli bir performans ölçeridir.

Algılama bölgesi içindeki sensör düğümünün temel görevi olayları algılamak, çabuk yerel veri işlemlerini yerine getirmek ve veriyi göndermektir. Dolayısıyla enerji tüketimi de üç başlıkta incelenebilir.

- * Algılama
- * Haberleşme
- * Veri işleme

2.2.1.4.1. 1. Algılama

Algılamada harcanan enerjiyi uygulamalar arasında farklılık gösterir. Dağınık olayları algılarken doğal olarak devamlı cereyan eden olayı algılarkenkinden daha az enerjiyi harcar. Algılanan olayın karmaşıklığı da enerji tüketiminde önemli rol oynar.

2.2.1.4.1. 2. Haberleşme

Bu üç bölümün içinde sensör düğümü en çok veri haberleşmesinde enerji tüketir. Bu hem almayı hem de göndermeyi içerir.

Kısa mesafe haberleşmede (~ 0 dbm gibi düşük gönderme güçlerinde) gönderme ve alma enerji tüketimi neredeyse aynıdır.

Bununla beraber gündeme gelen bir diğer husus ise algılama olmadığında düğümü kapatmak işlev zamanı açmaktır. Düğüm açmak/ kapatmak düğümü işlem için tekrara açarken harcanan enerjiyi çok fazla olduğundan etkin bir çözüm değildir.

2.2.1.4.1. 3. Veri işleme

Veri işlemedeki enerji tüketimi haberleşmede harcanan enerjiye kıyasla çok daha azdır. Hem kendi işlem yaptığı hem de işlemcisinde çok atlamalı olduğu için yönlendirme yaptığından yerel enerji tüketimi de hassasiyetle üzerinde durulması gereken bir konudur.

2.2.1.5. Sensörler:

Sensörler sıcaklık, basınç gibi fiziksel durumlardaki değişimlere ölçülebilir tepkiler üretebilen donanım aygıtlarıdır. Sensörler gözlemlenecek alanın fiziksel verisini ölçer veya algılarlar. Sensörler tarafından algılanan sürekli analog sinyaller "Analog-to-Digital" çeviriciler yardımıyla sayısallaştırılarak denetleyicilere daha fazla işlem için gönderilir. Sensör düğümleri küçük boyutlarda, düşük enerji tüketimli, yüksek hacimsel yoğunluklarda çalışabilen, otonom ve gözetimsiz çalışan, ortama uyum sağlayabilen özelliklere sahip olmalıdır. Kablosuz sensör düğümleri sadece sınırlı güç kaynağına sahip (0.5 Ah ve 1.2 V gibi) mikro elektronik sensör aygıtlarını kullanabilir. Sensörler üç kategori şeklinde sınıflandırılmaktadır.

* Pasif, her yöne açık (yönsüz) sensörler: Pasif sensörler ortamı aktif araştırma ile değiştirmeden verileri toplayan sensörlerdir. Kendi enerjilerine sahiptir, enerji analog sinyali yükseltmek için gereklidir. Bu ölçümlerde "yön" şeklinde bir kavram yoktur.

* Pasif, dar ışınlı sensörler: Bu sensörler pasiftir ancak iyi tanımlanmış ölçüm yönü kavramına sahiptir. Tipik bir örnek olarak kamera verilebilir.

* Aktif sensörler: Bu gruptaki sensörler ortamı aktif olarak araştırırlar, örnek olarak sonar veya radar sensörleri veya küçük patlamalarla şok dalgaları üreterek çalışan bazı sismik sensör tipleri verilebilir.

Kablosuz sensör ağlarındaki kapsayıcı teorik çalışmalar Pasif, yönsüz sensörleri kastetmektedir. Her sensör düğümü belirli bir kapsama alanına sahiptir. Bu kapsama alanındaki gözlemlerini güvenilir ve doğru bir şekilde raporlayabilir. Kapsama alanını arttırmaya ve sensörlerin dizilimini iyileştirmeye yönelik çalışmalar yapılmaktadır [3]

Sensörlerdeki güç tüketim kaynakları olarak

* Sinyal örnekleme ve fiziksel sinyalleri elektrik sinyallerine çevirme,

* Sinyal iyileştirme ve

* Analogdan sayısala çevirme sayılabilir.

Sensör düğümlerinin birbirleriyle haberleşebilmesi için kullanılabilecek farklı iletişim yöntemleri vardır. Bu yöntemler optik iletişim (laser), kızıl berisi (IR) ve radyo frekansdır (RF). Laser iletişim görüş alanı gereksinimi, atmosfer koşullarından etkilenme ve tek yönlü olması nedeniyle tercih edilen bir yöntem değildir. Kızıl berisi iletişim ise yine tek yönlü olması ve kısa erimi dolayısıyla tercih edilmez. Elektromanyetik dalgalar şeklinde yapılan iletişim yöntemidir. En önemli problemi anten gereksinimidir. İletimin ve alımın en iyileştirilmesi için minimum bir anten uzunluğuna ihtiyaç vardır. Bu uzunluk en az $\lambda/4$ (λ taşıma frekansının dalga boyudur) olmalıdır. RF iletişimin avantajları kullanım kolaylığı, bütünlük, ticari

olarak yaygın kullanımındır. Dikkat edilmesi gereken bir başka unsur, güç tüketimini azaltmak için modülasyon, filtreleme, demodülasyon, vb. işlemlerin yapılması gerekliliğidir.

2.3. Sensör Ağı Uygulamaları

Sensör ağları sismik, manyetik, ısısal (thermal), görsel, kızıl ötesi, sessel (acoustic) ve radar gibi çok çeşitli sensörler içerebilir. [2] Bunlar içinde bulundukları alana ve çevreye ait aşağıda örnekleri de verilen çok çeşitli şeyleri algılayabilirler

- * Sıcaklık,
- * Nem,
- * Araç Hareketi,
- * Aydınlanma durumu,
- * Basınç,
- * Torak yapısı,
- * Ses seviyesi,
- * Belirli bir çeşit maddenin varlığı ya da yokluğu,
- * Bağlantılı maddedeki mekanik basınç seviyesi,
- * Hız, yön ve cismin büyüklüğü gibi maddenin anlık karakteristikleri.

Sensör ağları devamlı algılama, olay tespiti ve yer tespiti amaçları ile kullanılabilir.

2.3.1. Askeri Uygulamalar

Kablosuz sensör ağıları askeri C4ISRT (*command, control, communications, computing, intelligence, surveillance, reconnaissance and targeting* –komuta, kontrol, haberleşme, bilgi işlem, istihbarat, beka, keşif ve hedef bulma) sisteminin bir parçası olabilir. Sensör ağlarının hızlı yerleştirilebilirlikleri, kendi kendine organize olabilmeleri ve hataları telafi edebilme yetenekleri askeriye'nin C4ISRT özelliği için çok önemli bir algılama tekniği meydana getirmektedir. Sensör ağları yoğun olarak yerleştirilen, düşük maliyetli ve harcanabilir sensör düğümlerinde oluştuğu için bazı sensör düğümlerinin düşman tarafından yok edilmesi klasik sensör yöntemlerinde sensörün yok edilmesi kadar askeri harekatı etkilemez. Bu da sensör ağlarını askeri harekat bölgesi için daha iyi bir yaklaşım haline getirir. Sensör Ağlarının bazı askeri uygulamaları şunlardır:

- * Dost birlikleri, teçhizatı ve mühimmatı görüntüleme,
- * Harekat bölgesi gözetlemesi,
- * Düşman birliklerinin ve bölgesinin keşfi,
- * Hedef Tespiti,
- * Harekat bölgesi hasar durum tespiti,
- * KBRN Kimyasal-Biyolojik-Radyolojik ve Nükleer (NBC-Nuclear, biological and chemical) taarruz tespiti ve keşfi,

2.3.1.1. Dost Birlikleri, Teçhizatı Ve Mühimmatı Görüntüleme:

Liderler ve komutanlar harekat bölgesinde dost birliklerin durumunu, savaş bölgesindeki mühimmatın ve teçhizatın mevcut ve uygunluk durumunu anlık olarak görebilirler. Her birlik, araç, teçhizat ve kritik mühimmat durum bildiren küçük sensörler ile donatılabilir. Bildirilen durum raporları bir biriktirici sensör düğümünde toplanarak birlik komutanına bildirilebilir. Bu bilgiler yan birliklerden gelen diğer durum raporları ile birleştirilerek daha üst komutanlıklara da bildirilebilir.

2.3.1.2. Harekat Bölgesi Gözetlemesi:

Kritik arazi arızaları, yaklaşma istikametleri, yollar ve boğazlar çabucak sensör ağı ile kapatılabilir ve bölgedeki düşman hareketleri gözlemlenebilir. Harekat genişledikçe, yeni planlar hayata geçirildikçe ve harekat alanı değiştikçe yeni sensör ağları oluşturularak gözetlemeye devam edilebilir.

2.3.1.3. Düşman Birliklerinin Ve Bölgesinin Keşfi:

Bazı kritik bölgelere sensör ağları yerleştirilerek düşman birlikleri onların varlığını keşfedene kadar birlikler ve arazi hakkında değerli, ayrıntılı ve zamanında bilgi elde edilebilir.

2.3.1.4. Hedef Tespiti:

Sensör ağları akıllı mühimmatın hedefe yönlendirilmesinde kullanılan sistemlere yardımcı olarak kullanılabilir.

2.3.1.5. Harekat Bölgesi Hasar Durum Tespiti:

Saldırıdan önce ya da hemen sonra hasar bölgesine konacak bir sensör ağı ile meydana gelen hasar hakkında ayrıntılı bilgi elde edilebilir.

2.3.1.6. KBRN Taarruz Tespiti Ve Keşfi:

KBRN'nin dahil olduğu harekat bölgelerinde zamanında taarruz tespit birliklerin hayatta kalması ve harekata bu ortamda devam edebilmesi için çok önemlidir. Dost bölgelere önceden yerleştirilen sensör ağları ve KBRN habercisi olarak kullanılmaları zamanında reaksiyon göstermek ve dost birliklerin zayıyatını azaltmak için kuvvet çarpanı olabilir. Aynı zamanda sensör ağlarını KBRN taarruzundan sonra detaylı keşif için kullanılabilirler. Bölgeye keşif timi göndermeden keşif yapılabilir.

2.4. Sensör Ağlarının Tasarımını Etkileyen Unsurlar

Sensör ağlarının tasarımını etkileyen bir çok faktör vardır. Bunlar [2]

* Hata Toleransı,

- * Ölçeklenebilirlik,
- * Üretim Maliyeti,
- * Çevresel Faktörler,
- * Sensör Ağları Topolojisi,
- * Donanım Kısıtlamaları,
- * Gönderme Ortamı Ve
- * Enerji Tüketimini

içerir.

2.4.1. Hata Toleransı:

Bazı sensör düğümleri güç eksikliğinden, fiziksel zarardan ya da çevresel etkenlerden ötürü işlevselliğini yitirebilir ya da bloke olabilir. Sensör düğümünün işlevselliğini yitirmesi ya da tam olarak çalışamaması Sensör ağının tamamını etkilememelidir. Bu güvenilirlik ya da hata toleransıdır. Hata toleransı sensör düğümlerinin çökmesinden dolayı sistemin tamamının işlevsellik yeteneğini kaybetmemesidir

Eğer çevresel faktörler çok fazla zorlu değişse çalışan algoritma da daha rahat olabilir. Diğer taraftan hareket bölgesine keşif ve gözetleme maksatlı konan sensör düğümleri daha fazla düşman müdahalesine ve çevresel etkenlere maruz kalacağından ve algıladığı bilgi hayati öneme sahip olduğundan hata toleransı daha yüksek olmalıdır. Sonuç olarak hata toleransı içinde gözlem ve algılama yapılacak olan çevresel faktörlere göre değişmektedir.

2.4.2. Ölçeklenebilirlik:

Algılanmak istenen bölgeye göre sensör düğümlerinin sayısı yüzlerce hatta binlerce olabilir. Uygulamaya bağlı olarak bu sayı milyonlara kadar çıkabilir.

Yapılacak olan planlar ve şemalar bunu göz önünde bulundurarak yapılmalıdır. Aynı zamanda ağıın yoğunluğu da göz önünde bulundurulmalıdır.

Buna ek olarak bölgedeki düğüm sayısı düğümlerin yoğunluğunu belirlemede kullanılabilir.

2.4.3. Üretim Maliyeti:

Sensör ağlarında çok sayıda sensör düğümü kullanılacağı için bir sensör düğümünün maliyeti toplam maliyeti çok büyük bir şekilde etkilemektedir. Eğer sensör ağlarının uygulanması klasik sensörlerin uygulanmasından daha pahalıya gelirse bu durumda sensör ağları maliyet etkin bir çözüm olamaz. Dolayısı ile her bir düğümün maliyeti düşük olmak zorundadır. Ancak tek bir sensör düğümünün fiyatı birkaç sent ile yüzlerce euro arasında değişmektedir. [15] Şu anda kullanılan teknoloji Bluetooth'u 10\$'ın altında tutmaktadır. Aynı zamanda bahse konu çalışmada geçen PicoNode'un maliyeti 1 dolar'ın altında tutulmaya çalışılmaktadır. Sensör düğümünün maliyet etkin olabilmesi için maliyetinin 1 doların altında olması gerekir. Günümüzde bu kadar yaygın olan Bluetooth teknolojisinin bile 10 dolarına altına ancak indirilebilmiş olması ile kıyasla ve Bluetooth'a ilave donanıma sahip olabilecek olması (yer bulma sistemi, hareketlendirici, uygulamaya göre enerji üretici vb.) bir sensör düğümünün maliyetinin bir doların altında tutulmasını çok zor bir iş haline getirmektedir.

2.4.4. Donanım Kısıtlamaları:

Bir sensör düğümü şekil 4'de gösterildiği gibi dört ana parçadan meydana gelmektedir.

Yer bulma sistemi, güç üretici ve hareketlendirici gibi ek bileşenlere sahip uygulamalarda da kullanılabilirler. Algılama bölümü çoğunlukla sensörler ve analog-dijital dönüştürücüden oluşmaktadır. Algılanan çevreye bağlı olarak sensör tarafından üretilen analog sinyal ADC'de dijital sinyale çevrilir ve işlem bölümüne gönderilir. Çoğunlukla küçük bir bellek ünitesi ile beraber çalışan işlem bölümü diğer düğümlerle işbirliği yapma ve kendine verilen algılama görevini yerine getirme işlemlerini yapar. Almaç- göndermeç ise düğümü ağına bağlar. Sensör düğümünün en önemli parçalarından biri de enerji bölümüdür. Enerji bölümü güneş enerji panelleri

vb. sistemlerle desteklenebilir. Ayrıca hayata geçirilen uygulamalara bağlı değişen bölümlerde vardır. Birçok sensör ağı yönlendirme algoritması ve algılama görevleri yüksek doğrulukta yer bilgisine ihtiyaç duyarlar. Bunun sonucunda sensör düğümünün yer bulma sistemine sahip olması kaçınılmaz hale gelir. Bazen verilen algılama görevini yerine getirmek için sensör düğümleri hareketlendiriciye ihtiyaç duyarlar.

Bütün bu alt birimlerin kibrit kutusu büyüklüğünde bir modüle sığmaları gerekebilir. Bazen büyüklükleri santimetre küpten daha küçük olmaları gerekebilir. Ebadın yanı sıra düğümlerin bazı başka kısıtlamaları da vardır. Düğümler [2]

- * Çevreye uyum sağlayabilmelidirler.
- * Çok az enerji tüketmelidir.
- * Çok yoğun yerleştirildiklerinde de çalışabilmelidir.
- * Düşük üretim maliyetine sahip olmalı ve sarf edilebilmelidir.
- * Otomatik olmalı ve müdahale gerektirmeden çalışabilmelidir.

Çoğunlukla sensör düğümleri erişilmez yerlerde oldukları için sensör ağının ömrü sensör düğümünün enerji kaynağının ömrüyle doğru orantılıdır. Enerji aynı zamanda ebat kısıtlamalarından dolayı başarılması, yapılması en zor kısımdır. Düğümler bilinen Lityum (yassı- coin) pillerle beslenebilir hatta sensör düğümlerinin enerjileri çevreden enerji toplamak suretiyle daha uzun tutulabilir, enerji ömürleri uzatılabilir. Buna örnek olarak güneş pilleri verilebilir.

Alma- gönderme kısmı Smart Dust-Motes'deki gibi aktif ya da pasif optik cihazlar olabileceği gibi RF'de olabilir. RF haberleşme modülasyon, filtreleme, demodülasyon vb. işlemler gerektirdiği için hem zor hem de pahalıdır. Bütün olumsuz taraflarına rağmen RF haberleşme kullanılır çünkü sensör ağlarındaki taşınan paketler küçük, veri hızları düşük (çoğunlukla 1 Hz'den az) ve kısa haberleşme mesafesinden dolayı frekansları yüksektir.

Bluetooth gibi halihazırda kullanılan ticari RF teknolojileri sensör ağları için uygun değildir çünkü düğümleri açmak ya da kapatmak için harcanan enerji maliyet etkin değildir.

Küçük işlemcilerde daha fazla işlem yapabilme yeteneği geliştirilmiş olsa da hala sensör ağları için yeterli işlem gücüne sahip işlemci bulmak oldukça zordur.

Çoğu algılama görevi mevkii bilgisine ihtiyaç duyar. Sensör düğümleri rasgele yerleştirildiği ve müdahalesiz çalıştığı için yer bulma sistemleri ile beraber çalışma gereksinimi duyarlar aynı zamanda birçok yönlendirme algoritması da yer bilgisine ihtiyaç duyar. Çoğunlukla her sensör düğümünün 5m doğrulukla çalışan bir GPS sistemine sahip olacağı düşünülmektedir.

Diğer bir olası yaklaşım ise belirli sayıda düğümün GPS sistemine sahip olması ve diğer düğümlere yerlerini tespit etmede yardımcı olmalarıdır.

2.5. Çevrenin Sensör Düğümlerine Etkileri:

Sensör düğümleri ya direk olarak algılanacak şeyin içine ya da çok yakınına yoğun olarak yerleştirebilirler. Bu yüzden, çoğunlukla uzak coğrafi bölgelerde müdahalesiz olarak çalışırlar.

Aşağıdaki yerlerde çalışabilirler: [2]

- * Yoğun kavşaklarda
- * Büyük iş makinelerinin içinde
- * Okyanus tabanında
- * Hortumun içinde
- * Fırtına esnasında okyanus yüzeyinde
- * Kimyasal ya da biyolojik olarak kirlenmiş arazilerde
- * Düşman hatları gerisindeki savaş alanında

- * Evlerde ya da büyük binalarda
- * Büyük depolarda
- * Hayvanlara iliştirilmiş olarak
- * Hızla hareket eden araçlara iliştirilmiş olarak
- * Akan nehir ya da boru hattında

Bu liste bize sensör düğümlerin birbirinden farklı ne kadar yerde kullanılabilecekleri konusunda fikir vermektedir. Okyanus tabanında çok yüksek basınç altında,savaş alanı ve doğal felaket gibi zorlu ve zarar verme olasılığı yüksek bölgelerde,çok yüksek sıcaklarda veya soğuklarda (jet uçağın motoru ya da kutupsal bölgeler gibi) ya da bilinçli bastırma gibi gürültünün yüksek olduğu bölgelerde kullanılabılırler.

2.6. Sensör Düğümlerinin Çalışacağı Gönderme Ortamı

Çok atlamalı sensör ağlarında haberleşme düğümleri birbirine kablosuz olarak bağlıdırlar.Bu bağlantılar RF,optik ya da kızıl ötesi olabilir. [2]

Radyo bağlantısının kurulması için bir seçenek bir çok ülkede lisans gerektirmeden kullanılabilen ISM bandının kullanılmasıdır. Uluslararası Frekans Tahsis Tablosu (International Tables of Friqveny Allocations) hangi frekans bantlarının bu amaçla kullanılabileceğini ortaya koymuştur. (Article 55 of Radio Regulation-Volume 1)

Tablo-1 Uluslararası Frekans Tahsis Tablosu

Frekans Bandı	Merkez Frekans
6765-6795 KHz	6780 KHz
13353-13567 KHz	13560 KHz
26957-27283 KHz	27120 KHz
40.66-40.70 MHz	40.68 MHz
433.05-434.79 MHz	433.92 MHz
902-928 MHz	915 MHz
2400-2500 MHz	2450 MHz
2725-5875 MHz	5800 MHz
24-24.25 GHz	24.125 GHz
61-61.5 GHz	61.25 GHz
122-123 GHz	122.5 GHz
244-246 GHz	245 GHz

Bu frekansların bir kısmı halihazırda kablosuz telefonlar ve WLAN için kullanılmaktadır.

Sensör ağı için küçük, ucuz ve çok az enerji tüketen almaç-göndermeç gereklidir. Donanım kısıtlamaları ve anten etkinliği ile güç tüketimi limitlerinin kıyaslaması sonucunda kullanılacak taşıyıcı band seçenekleri UHF aralığına sıkışmaktadır.

ISM bandının kullanılmasının en temel avantajları ücretsiz radyo, çok büyük spektrum genişliği ve dünya çapında erişebilirliktir. Belirli bir standarda bağlı değildirler ve bu sonuçta sensör ağlarında enerji uygulama stratejilerin daha kolay

uygulaması özgürlüğünü getirir. Diğer taraftan mevcut uygulamalarda güç sınırlamaları ve zararlı girişimler gibi kısıtlamalar ve çeşitli kurallar vardır.

Düğümler arası haberleşmenin bir diğer alternatifi ise kızılötesi (infra- Red) haberleşmedir. Kızılötesi lisans gerektirmez ve elektronik cihazlardaki enterferastan etkilenmez. Infrared teknolojisi daha basit, ucuz ve imalatı kolaydır. Temel kısıtlaması ise gönderici ile alıcı arasında görüş hattının olması gerekmesidir. Bu kısıtlamadan dolayı Kızılötesi sensör ağları için uygun değildir.

Düşman arazileri ve hareket bölgesi uygulamaları çok fazla enterferansa ve çok daha fazla irtibat kesilmelerine yol açabilir.

2.7. Sensör Ağları Topolojisini Etkileyen Unsurlar

Ulaşılamayan ve müdahalesiz çalışan çok fazla sayıda düğümün varlığı sensör ağları topolojisini zor bir konu haline getirir. Algılama sahasının içine yüzlerce hatta binlerce sensör düğümü yerleştirilmektedir. Bunlar birbirine oldukça yakın yerleştirilir. Bazen düğüm yoğunluğu 20 düğüm/m³'e kadar çıkabilir. Çok fazla düğümü yoğun olarak yerleştirmek topolojinin oluşturulmasını ve bekasını zorlaştırır.

2.7.1. Yerleşim öncesi ve yerleşim aşaması:

Sensör düğümleri topluca atılabileceği gibi algılama bölgesine tek tek de yerleştirilebilir. Düğümler [2]

- Uçaktan atılarak
- Topçu mermisi, roket ya da füzeyle atılarak/serpilerek
- Fırlatma mekanizması ile atarak
- Belli bir düzenek koyarak (fabrikada yerleştirerek)
- Elle ya da robotla tek tek yerleştirerek hayata geçirilebilir.

2.7.2. İlk yerleştirme

- Hayata geçirme maliyetini düşürmeli,

- Önceden organize etme ve planlama ihtiyaçlarını ortadan kaldırmalı,
- Esnekliği arttırmalı,
- Kendi kendine organize olma ve hata toleransına imkan vermelidir.

2.7.3 Yerleşim Sonrası Aşama

Yerleşim sonrasında sensör düğümlerinde meydana gelen değişikliklerden dolayı topoloji de değişmektedir.

Sensör düğümlerinde aşağıdaki değişiklikler bunlara yol açar.

- Pozisyon
- Ulaşılabilirlik (bastırma, gürültü, hareketli engeller gibi sebepler sonucunda)
- Kullanılabilir enerji
- Hatalı Çalışma
- Görev ayrıntıları

Sensör düğümleri sabit olarak yerleştirilebilir. Aynı zamanda enerji yokluğu/tükenmesi ya da hasar sebebiyle cihaz çöküşü olağan ya da yaygın bir durum halindedir. Oldukça hareketli sensör düğümleri de yerleştirilebilir. Diğer yanda sensör düğümleri ve ağ görev değişikliği ya da bilinçli bastırmaya maruz kalabilir. Bu sebeplerden dolayı sensör ağlarının topolojisi sık sık değişmeye yatkındır.

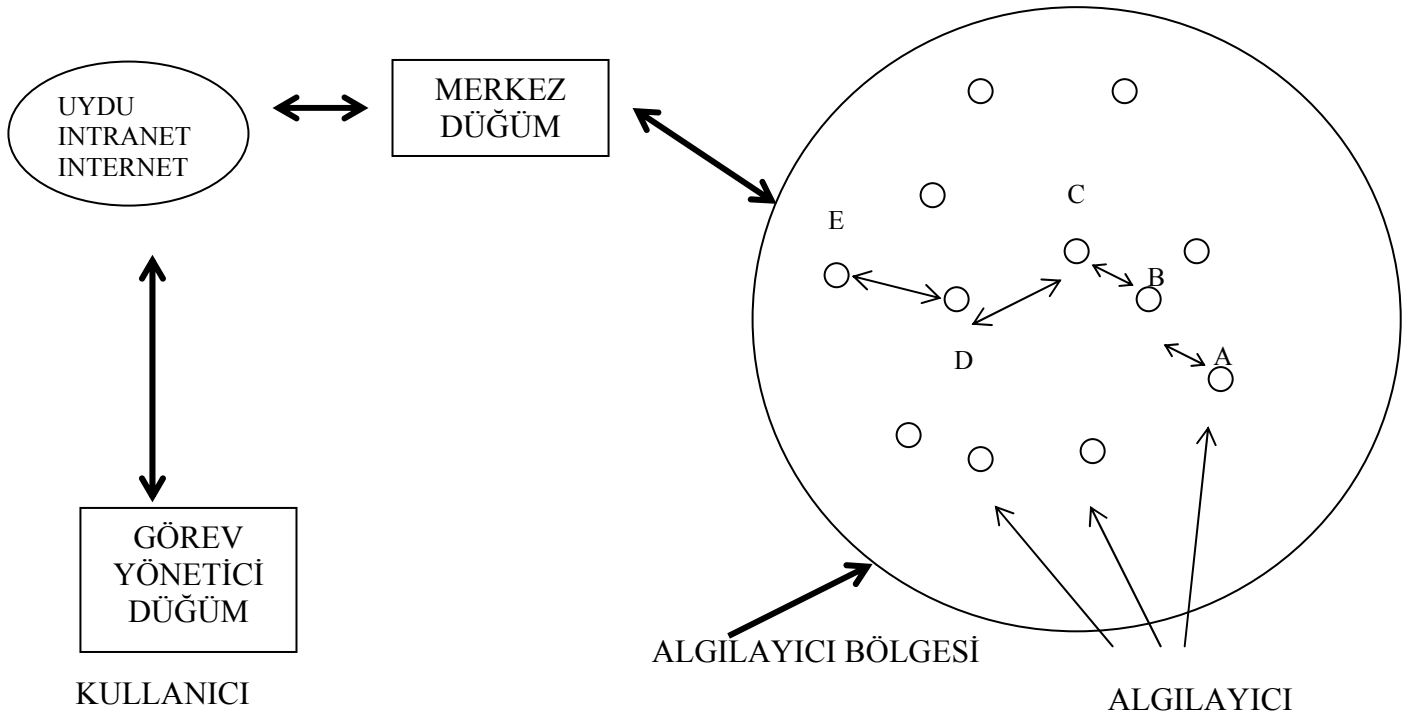
2.7.4. Yerleşim Sonrası İlave Düğüm Aşaması

Görev dinamiklerindeki değişikliklere cevap verebilmek için hasar görev ya da çalışmaz duruma gelen düğümlerin yerine her zaman yeni düğümler konulabilir. Her yeni düğüm eklenmesi ağın yeniden organize olmasını gerektirir

BÖLÜM 3

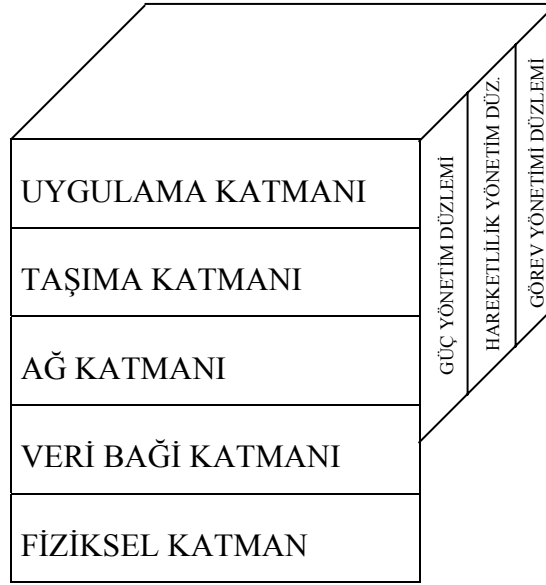
SENSÖR AĞLARI HABERLEŞME MİMARİSİ

Çoğunlukla sensör düğümleri Şekil 5'deki [2] gibi dağıtılmıştır. Dağıtılmış sensörlerin hepsi hem veri toplar hem de verileri “merkez düğüme” ve son kullanıcıya gönderir. Veri son kullanıcıya Şekil 5'deki gösterildiği gibi “merkez düğüm” vasıtasıyla çok atlamalı alt yapısız mimari üzerinden gönderilir. Merkezi düğüm “görev yönetici düğümü” ile internet/intranet ya da uydu vasıtasıyla haberleşebilir.



Şekil 5: Sensörlerin Serpildiği Bir Algılama Bölgesi

Merkezi düğüm ve diğer bütün düğümlerde kullanılan protokol kümesi Şekil-6'de [2] gösterilmiştir.



Şekil-6 Sensör Ağları Protokol kümesi

Protokol kümesi güç ve yönlendirme duyarlılığını birleştirir, veriyi ağ protokolleriyle tümleştirir, kablosuz ortamda güç etkin haberleşme yapar ve sensör düğümleri arasında işbirliği ile çalışmayı sağlar. [2]

Algılama görevine bağlı olarak farklı uygulama yazılımları kullanılabilir. Taşıma katmanı eğer sensör ağı uygulaması ihtiyaç duyarsa verinin akışının sağlanmasına yardım eder. Ağ katmanı geçiş katmanı tarafından sağlanan verinin yönlendirmesini yapar. Çevre gürültü ve düğümler hareketli olabileceği için MAC protokolleri enerji hassas olmalı konu düğümlerin yayınları ile çalışmayı minimize etmelidir. Fiziksel katman basit ancak zorunlu olan modülasyon gönderme ve alma tekniklerinin ihtiyaçlarını giderilmesini sağlar.

Bunlara ilave olarak güç, hareketlilik ve yönetim düzlemleri sensör düğümleri arasındaki güç, hareket ve görev dağılımlarını görüntüler. Bütün bu düzlemler sensör düğümleri arasındaki koordinasyon yaparak algılama görevinin yapılmasını sağlar ve toplam enerji harcamasını azaltır.

Güç yönetim düzlemi sensör düğümünün enerjisini nasıl kullanacağını belirler, yönetir, örneğin bir sensör düğümü komşularından birinden alacağı mesajı aldıktan sonra alıcısını kapatabilir. Bu aynı mesajı birden çok defa almamak içindir.

Aynı zamanda eğer sensör düğümünün enerjisi azsa komşu düğümlerine gücünün azaldığının ve yönlendirme işlemini yapamayacağını mesajının yayını yapar.

Kalan enerji algılama işi için saklanır. Hareketlilik yönetim düzlemi sensör düğümlerinin hareketlerini algılar ve kayıt eder, böylece kullanıcıya giden yol daima işler tutulur ve sensör düğümü etrafındaki komşuların kim olduklarının kaydını tutar. Etrafındaki komşuların kim olduğunu bilerek sensör düğümü gücünü ve görev kullanımını dengeleyebilir. Görev yönetim düzlemi belirli bir bölgedeki verilen algılama görevlerini zamanlar, ayarlar ve yönetir. Bu algılama bölgesindeki tüm sensör düğümleri aynı anda algılama görevi ile görevlendiremez. Sonuç olarak bazı sensör düğümleri enerji durumlarına göre diğerlerine kıyasla daha fazla görev icra ederler. Bu yöntem düzlemlerine sensör düğümlerinin enerji etkin olarak çalışabilmeleri, hareketli sensör ağlarında veri yönlendirebilmeleri ve düğümler arası kaynak paylaşımı için ihtiyaç duyulur. Bunlar olmaksızın sensör düğümleri ancak bireysel olarak çalışabilirler. Bütün sensör ağından bakıldığında sensör düğümlerinin işbirliği yapabilmesi daha etkin bir yoldur, böylelikle sensör düğümlerinin ömürleri daha uzun tutulabilir.

3.1. Uygulama Katmanı

Şimdiye kadar bazı uygulama alanlarında örnek olsa da uygulama katmanı protokolleri hala çok büyük oranda araştırılması gereken bir konudur. Burada yapılmış olan 3 protokole değineceğim. [2]

- Sensor Management Protocol (Sensör Yönetim Protokolü)
- Data Advertisemen Protocol (Veri reklamcılığı Protokolü)
- Sensor Guery and Data Diisemination Protocol (Sensör Sorgulama ve Veri Yayma Protokolü)

3.1.1. SMP (Sensor Mangement Protocol)

Sensör ağlarının çeşitli uygulama alanları vardır ve sensörlerle Internet gibi ağlar üzerinden erişmek halihazırdaki projelerin amacı oluşmuştur. Uygulama katmanı yönetim protokolü daha alt katmanlardaki donanım ve yazılımları sensör ağı yönetim uygulamaları için erişilebilir hale getirir.

Sistem yöneticileri ağ ile SMP üzerinden iletişim kurarlar. Diğer birçok ağın aksine sensör ağlarındaki düğümlerin evrensel kimlikleri (global ID) yoktur ve altyapısız çalışırlar.Bu yüzden SMP düğümlere yer tabanlı adresleme ve nitelik tabanı isimlendirme ile erişme ihtiyacı duyar.

SMP aşağıda listelenen görevlerin yerine getirilmesini sağlayan yazılımlar sağlar.

- Veri toplama,uygulama tabanlı isimlendirme,sensör düğümlerinin gruplandırılması ile ilgili kuralları açıklamak sunmak.

- Yer bulma algoritmalarıyla bağlantılı veri alışverişi yapmak.
- Sensör düğümlerinin zaman eşleşmesini (time synchronization) yapmak.
- Sensör düğümlerini hareket ettirmek.
- Sensör düğümleri açmak ve kapatmak.
- Sensör düğümlerinin durumları ile sensör ağının ayarlarını sorgulamak ve sensör ağını yeniden ayarlamak.
- Yetkilendirme,anahtar dağıtımı ve veri haberleşmesinde güvenlik

3.1.2. Task Assignment and Data Advertisement Protocol (TADAP) (Görev ataması ve veri reklamcılığı Protokolü)

Sensör ağlarındaki bir diğer önemli işlem ise ilgi aktarımıdır. Kullanıcılar bir sensör düğümüne düğüm gurubuna ya da ağın tamamına isteklerini iletirler. Bu istek algılanacak şeyin belli bir özelliği ya da bir olayın tetiklenmesi olabilir. Diğer bir yaklaşım ise sensör düğümlerinin kullanıcılara uygun/müsait verini reklamını yapması ve kullanıcının ilgi duyduğu veriyi sorgulayıp alması şeklinde çalışan uygun verinin reklamının yapılmasıdır. İlgi yayını/saçılımı için etkili ara yüzleri olan kullanıcı arayüzlerini sağlayan uygulama katmanı protokolü yönlendirme gibi alt katman işlemleri için çok fazladır. [2]

3.1.3. Sensor Query and Data Dissoniation Protokol (SQDDP) (Sensör Sorgulama ve Veri Yayma Protokolü)

SQDDP sorgulama yapma, sorgulara cevap verme ve gelen cevapları toplama görevlerini yerine getiren kullanıcı uygulamaları sunar. Bu sorgulamalar belirli bir düğüme değil nitelik tabanlı ya da yer tabanlı gruplara yapılır. Dolayısıyla nitelik tabanlı ya da yer (mekii) tabanlı isimlendirme tercih edilir. Örneğin “sıcaklığı 40°C üzerinde algılayan düğümlerin yerleri” bir nitelik tabanlı sorgu, “bölge –A’daki düğümler tarafından algılanan sıcaklık” ise mekii tabanlı sorgulamadır. [2]

3.2. Taşıma Katmanı

Bu katman özellikle ağa Internet ya da başka bir harici ağ üzerinden bağlanması planlanıyorsa önemlidir. TCP şu anki gönderme ortamı mekanizması ile sensör ağlarının aşırı yoğun çevresel etkenlerine cevap veremez. Kullanıcı ve merkezi düğüm arasındaki haberleşme Internet ya da uydu üzerinden UDP ve TCP vasıtasıyla, diğer taraftan merkezi düğüm ile sensör düğümleri arası haberleşme ise sadece UDP protokolü ile yapılabilir. Bunun sebebi de sensör düğümlerini kısıtlı belleğe sahip olmalarıdır. [2]

3.3. Ağ Katmanı

Sensör düğümleri arazide algılanacak şeye çok yakın ya da onun içinde olacak şekilde yoğun olarak yerleştirilmiştir. Dolayısıyla sensör düğümleri ile merkezi düğüm arasında çok katmanlı bir kablosuz yönlendirme protokolüne ihtiyaç vardır. Diğer kablosuz yönlendirme protokolleri sensör ağlarının ihtiyacını gideremez.

Sensör ağlarının tasarımı çoğunlukla aşağıda açıklanan ilkeler ışığında yapılır.[2]

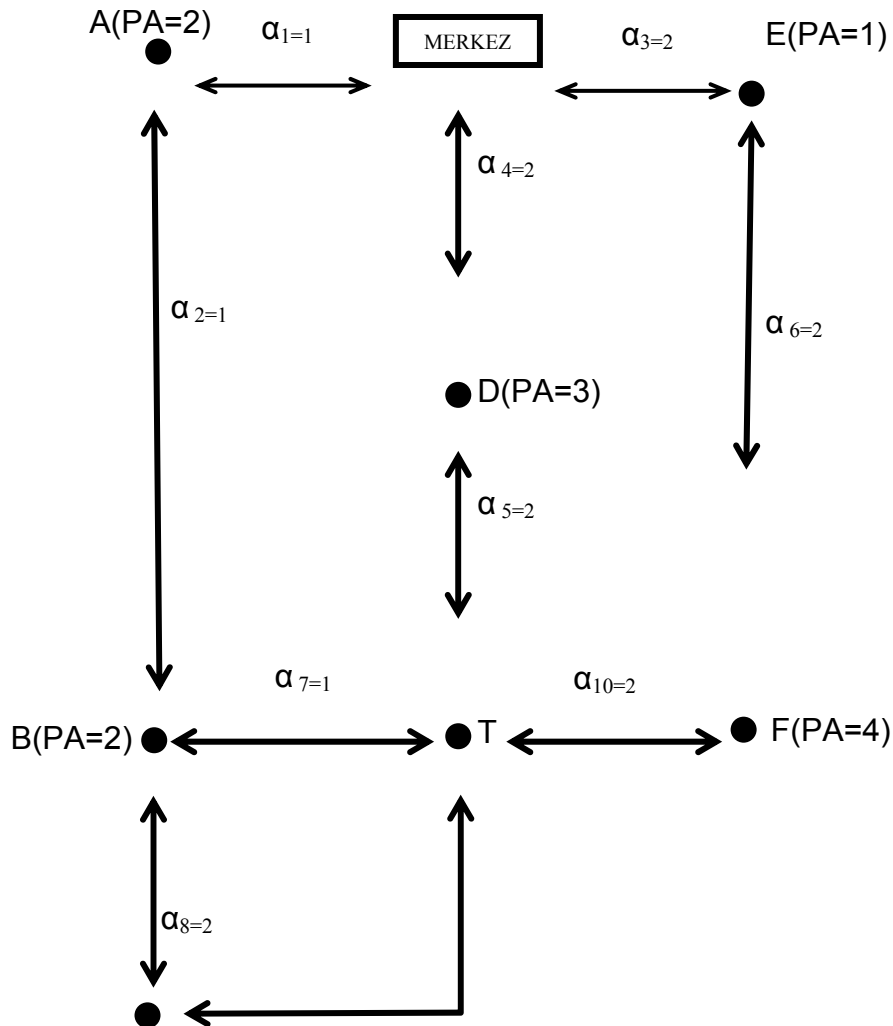
- Güç/ enerji tüketimi daima göz önünde bulundurulmuş bir konudur
- Sensör ağları çoğunlukla veri merkezlidir.
- Sensör düğümleri arasındaki ilişkiyi engellemediği müddetçe veri toplama faydalıdır.
- İdeal bir sensör ağı nitelik tabanlı adreslemeye ve mekii farkındalığına sahiptir.

Aşağıdaki yöntemlerden biri enerji etkin bir yöntem olarak seçilebilir. Şekil-4'de [2] bu yaklaşımların hepsini açıklayabileceğim bir model oluşturdum. Burada T çevreyi algılayan merkez düğümdür. Algıladığı şeyi merkezi düğüme göndermek için 4 (dört) farklı yol izleyebilir.

Burada PA= Var Olan Güç (Availabe Power)

α_i = ilgili link üzerinden veri göndermek için gerekli enerji

1'nci yol-----Merkez- A-B-T,	Toplam PA=4	Toplam α =3
2'nci yol-----Merkez-A-B-C-T,	Toplam PA=6	Toplam α =6
3'ncü yol-----Merkez-D-T,	Toplam PA=3	Toplam α =4
4'ncü yol-----Merkez-E-F-T,	Toplam PA=5	Toplam α =6



$$\alpha_{9=2}$$

C(PA=2)

*** Yollarının güç etkinlikleri :

*** Mümkün olan en yüksek (PA) enerji yolu:**

Bu durumda mümkün olan toplam en fazla enerji olan yol tercih edilir. Toplam PA yolun üstündeki düğümlerdeki PA toplanarak bulunur. Bu yaklaşıma göre 2'nci yol seçilir. Ancak 2'nci yol 1'nci yoldaki düğümlere ve ilaveten 1 fazla düğüme sahiptir. PA sı yüksek olmasına rağmen bu yol güç etkin değildir. Sonuç olarak var olan yolların genişletilmesi ile elde edilen yolların alternatif yollar olarak değerlendirilmesi yanlış olacaktır. Sonuç olarak 4'üncü yolu seçeriz.

*** Minimum Enerji (ME) yolu :**

Merkez düğüm ile sensör düğümü arasındaki veri transferi içim(gönderim) en az enerji harcayan yol hangisi ise o yol seçilir. Örnekte 3'ncü yol seçilmiştir.

*** Minimum Atlama (MH)(hop) yolu:**

Merkez ulaşmak için en az atlamayı yapan yol seçilir. Buna göre 3'ncü yol en iyisidir.

*** Maksimum minimum PA düğüm Yolu :**

Diğer yollardaki minimum PA'ların sayısından fazla en küçük PA'nın olduğu yol seçilir.

Üzerinde durulması gereken diğer bir konu da yönlendirmenin veri merkezli olmasıdır. Veri merkezli yönlendirmede sensör düğümlerine algılama görevlerinin atanması için ilgi yayınlanması yapılır. İlgi yayınlanması için iki yöntem vardır.

- Merkezi düğüm ilgisini yayar (broadcast)
- Sensör düğümleri hazır verilerin reklamını yapar ve yayar.

Veri merkezi yönlendirme nitelik temelli adreslemeyi gerektirir. Nitelik temelli adresleme de kullanıcılar tek bir düğümden sorgu yapmak yerine algılanacak nesnenin ve çevrenin niteliğini sorgulamakla daha çok ilgilenirler. Örneğin”

sıcaklığın 40 °C üzerinde olduğu bölgeler” sorgulaması “ belirli düğüm tarafından okunan sıcaklık” sorgulamasından daha yaygındır. Nitelik temelli isimlendirme maddenin ya da çevrenin niteliklerinin kullanılması ile yapılan sorguları başarabilmek için kullanılır.

Ağ katmanının bir diğer görevi ya da fonksiyonu ise diğer sensör ağlar, komuta kontrol sistemleri gibi harici ağlar ile işbirliği içinde çalışmasını sağlamaktır. Bu işlem için kullanılan bir yöntem merkez düğümleri gateway olarak kullanmak ve diğer ağlara bağlanması, bir diğer yöntem de merkez düğümlerin bir omurga oluşturacak şekilde birbirine bağlamak ve bu omurgayı bir gateway vasıtasıyla diğer ağlara bağlamaktır.

Kullanılabilecek bazı ağ katmanı yöntemleri aşağıya çıkarılmıştır.

- Small Minimum Energy Communication Network (SMECN)
- Sensor Protocols for Information via Negotiation (SPIN)
- Sequential Assignment Routing(SAR)
- Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy (LEACH)

3.4. Veri Bağı Katmanı

Veri bağı katmanı veri trenlerinin çoklanması (multiplex), veri paketlerinin algılanması, ortam erişimi ve hata kontrolü işlemlerinden sorumludur. Haberleşme ağında noktadan noktaya, ya da noktadan çok noktaya bağlantıların sağlıklı yapılmasını sağlar. [2]

3.4.5. Ortam Erişim Kontrolü (Medium Access Protokol - MAC)

MAC protokolü kablosuz çok atlamalı, kendinden organize sensör ağlarında iki görevi yerine getirmekten mükelleftir. İlki ağ altyapısının oluşturulmasıdır. Algılama bölgesinde binlerce sensör düğümü sıkı olarak dağıtıldığı için MAC protokol veri transferi için güvenilir bir haberleşme yapmak zorundadır. Bu kablosuz sensör ağının atlamalar ile ihtiyaç duyduğu temel altyapıyı oluşturur ve sensör ağına kendi kendine organize olma yeteneğini verir. İkinci amaç ise sensör düğümleri arasında haberleşme kaynaklarının paylaşımını etkin ve adil olarak yapmaktır. Sensör

ağlarının MAC protokolleri yerleşik güç tasarrufu, hareketlilik yönetimi ve çöküş kurtarma yeteneklerine sahip olmalıdır. [2]

3.4.6. İşlemlerin Güç Tasarruf Modları:

Hangi çeşit ortak erişim şeması kullanılırsa kullanılsın, sensör ağlarının güç tasarruf modunu desteklemek zorundadır. Güç tasarrufunun en öne çıkan yanı ise almaç ve göndermecin gerek duyulmadığı zaman kapatılmasıdır. [2]

3.4.7. Hata Kontrolü:

Düşük karmaşıklık kodlama ve kod açmalı basit hata kodları sensör ağları için gerekli en iyi çözümü sunar. [2]

3.5. Fiziksel Katman

Fiziksel katman frekans seçimi, taşıyıcı frekansın üretimi, sinyal algılama, modülasyon ve veri şifrelemesinden sorumludur.

Uzun mesafe haberleşmesinin pahalı olabileceği bilinen bir gerçektir. Bu hem enerji hem de uygulama için geçerlidir. Fiziksel katmanın tasarımında en önemli role sahip olan enerji minimizasyonudur.

Sensör ağlarında çok atlamalı haberleşme, gölgelendirme (shadowing) ve yol kaybı etkisi (path loss effect) üzerinde kolaylıkla gelebilir. [2]

BÖLÜM 4

SENSÖR AĞLARININ ÇALIŞMA İLKELERİ

4.1. Sensör Ağları Nasıl Çalışır?

Sensör ağı, merkezi bir yönetim veya destek hizmetlerinin yardımı olmadan geçici bir ağ oluşturan sensör düğümleri kümesidir. Başka bir söyleşiyle ana istasyonlar gibi sabit bir altyapının olmadığı ağlardır.

Genel olarak, sensör düğümleri kablosuz radyo frekans (RF) alıcı-vericilerini ağ arabirimi olarak kullanarak, birbirleriyle iletişimi multi-hop kablosuz bağlantılar şeklinde gerçekleştirirler. Ağdaki her sensör düğümü ayrıca yönlendirici (“router”) şeklinde davranarak veri paketlerinin komşu düğümler arasında iletilmesini sağlar.

Ağ topolojideki sık değişimlerle ilgilenmek zorundadır. Bu sensörlerin hataya eğilimli olmasından ve çöken düğümlerin yerini tutmak veya ilgilenen alanı genişletmek için yeni sensör düğümlerinin ağa katılmasından dolayı gereklidir. Bu özelliklerden dolayı sensör ağının tasarımındaki temel zorluk öz örgütlenebilen sensör ağlarının ve haberleşen iki düğüm arasındaki yolu verimli bir şekilde belirleyen devingen yönlendirme (“routing”) iletişim kurallarının (protokoller) geliştirilmesidir.

Ufak sensörler düşük enerji tüketimiyle daha kapsamlı bir algılama işini sağlamak için aralarındaki koordinasyonu gerçekleştirmeleri, kümeler (“cluster”) halinde çalışmalarıyla mümkündür. Her bir küme sensörlerin yönetimi için kendisine bir küme başı (“cluster head”) atar. Küme başlarının avantajları; [3]

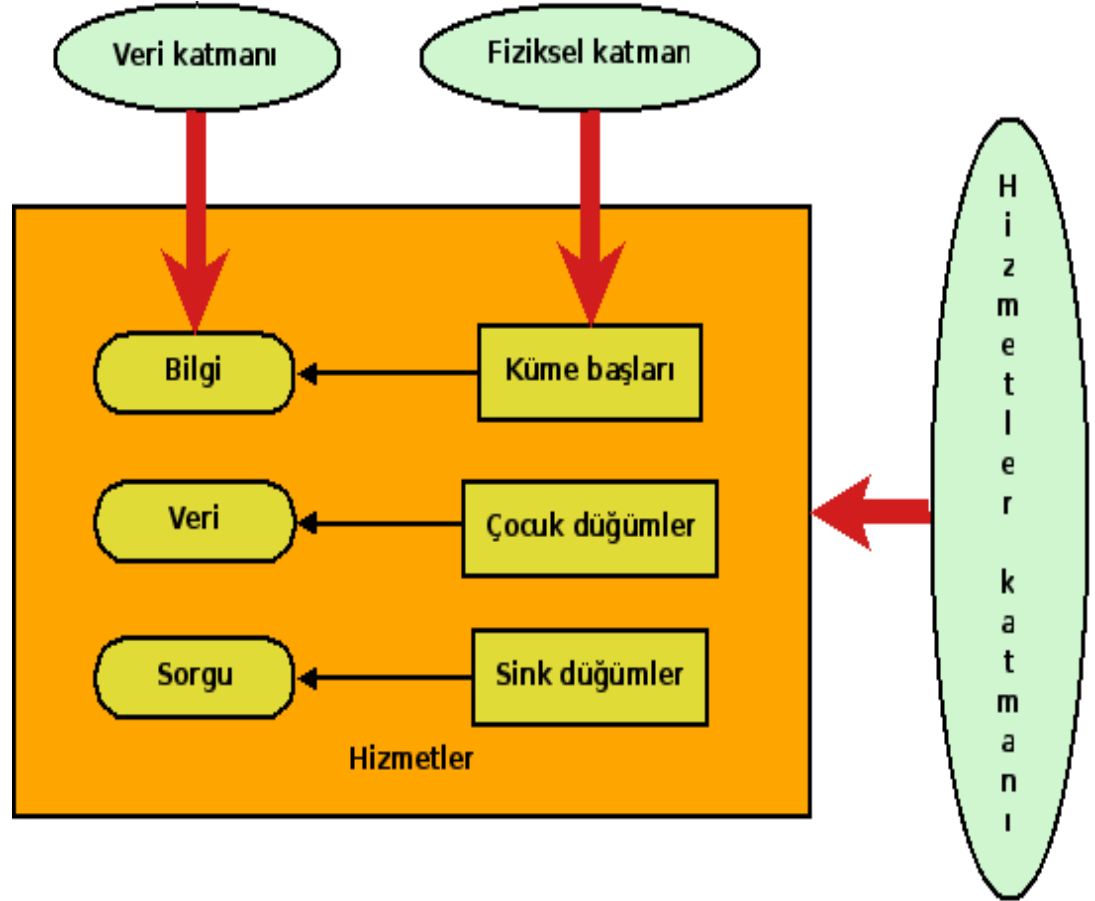
- Kümeleme sensörlerin daha global hedeflere erişmek için kendi yerel etkileşimlerini verimli bir şekilde düzenlemelerine olanak sağlar

- Ölçeklenebilirlik

- İyileştirilmiş sağlamlık

- Daha verimli kaynak kullanımı

- Düşük enerji tüketimi
- Sağlam bağlantı veya düğüm çökmeleri ve ağ bölümleri



Şekil 7 . Sensör Ağı Mimarisi [2]

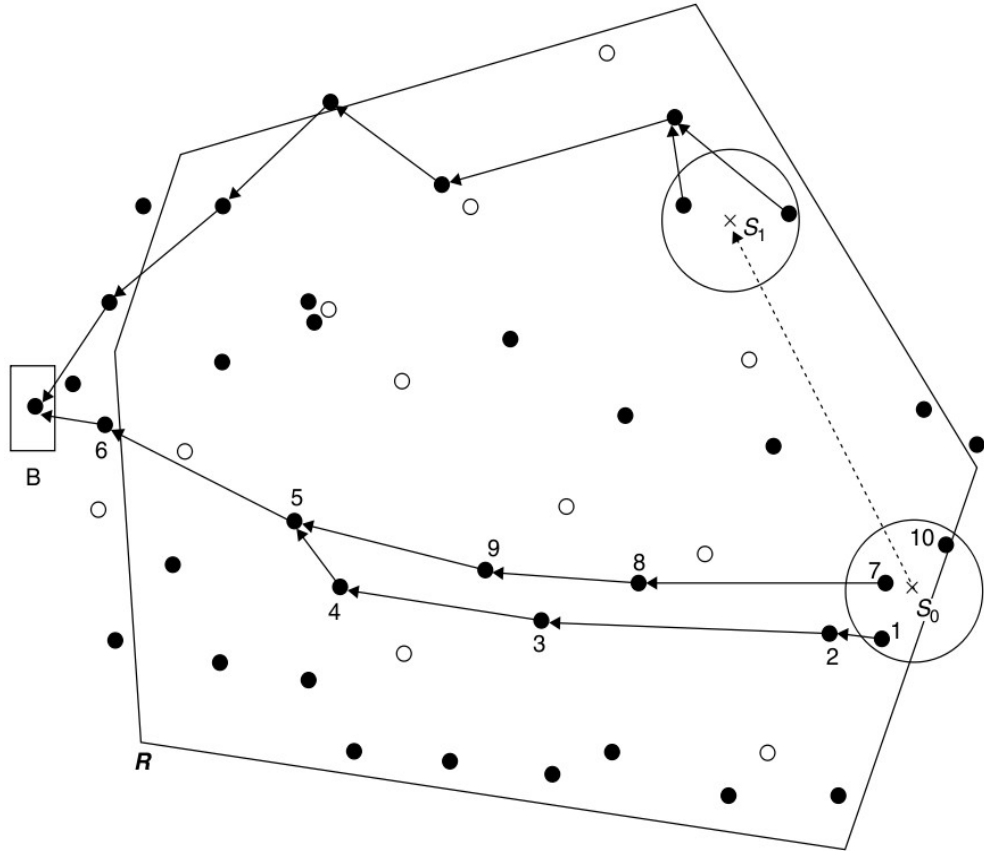
Şekil 7'de bir sensör ağının genel mimarisi görülmektedir. Şekilden inceleneceği gibi, üç katman vardır: hizmet katmanı, veri katmanı ve fiziksel katman. Hizmetler yönlendirme iletişim kuralları, veri toplama ve veri yayma hizmetlerini (bunlarla sınırlı değildir) içerir. [2]

Fiziksel katman fiziksel düğümlerden oluşur. Bu düğümler merkezler, çocuk düğümler, küme başları ve ebeveyn düğümlerdir. Ebeveyn düğümler iki veya daha fazla küme başına bağlanan düğümlerdir. Tüm mesajlar veri katmanında neredeyse modellenmiştir.

Merkez düğümleri ya tüm sensör ağına veya kullanılan sorgunun tipine bağlı olarak sadece belli bir bölgeye sorgu yayınlarlar(“broadcast”). Sensör düğümleri bir algılamada bulunduğunda (nesne algılama, sıcaklık titreşim konum değişimleri, vb.) bu algılama sonucu elde ettikleri veriyi komşu sensör düğümlerine yayınlarlar.

Her bir sensör (çocuk) en az bir küme başına bağlandığı için, küme başları bu veriyi alırlar. Küme başlarının görevi bu veriyi işlemek ve birleştirmek, sonra komşu düğümlere yayınlama yoluyla merkez düğüme aktarmaktır. Küme başları çocuk düğümlerden bir çok veri paketi aldığı için verileri süzmeli, işlemeli ve bilgi haline getirmelidir.

Sensör uygulamalarında sensör düğümlerindeki bellek, pil ve işlem gücü gibi donanımsal sınırlamalar, hedeflenen alana oldukça fazla sayıda sensör düğümünün konuşlandırılmasıyla karşılaşılır. Bu sensör düğümleri bir büyük kablosuz ağ şeklinde işleri işbirliği içerisinde gerçekleştirirler. Düğümler arasındaki mesafelerin kısa olması, her düğümün iletim çapını düşürerek güç korunmasına da yardımcı olur.



Şekil 8. Veri Toplayan Bir Sensör Ağı [2]

Şekil 8'te bir sensör ağındaki veri toplama gösterilmiştir. [3] Bu ağın amacı x ile gösterilmekte olan R alanı içerisinde kalan nesneden veri alabilmektir. Ana istasyon B ile gösterilmektedir. Dolu daireler yaşayan düğümleri, boş daireler ölü düğümleri göstermektedir. Bu örnekte nesnenin algılanabilmesi için en azından iki sensör gerekmektedir. Nesne S_0 konumunda iken 1 ve 7 nolu düğümler algılama işini yaparlar. 2,3,4,5 ve 6 nolu düğümler 1. düğümden; 8,9,5 ve 6 nolu düğümler 7. düğümden verinin iletişim yolunu oluşturur. Veri 5. düğümden birleştirilebilir. Bu tek mümkün algılama şekli değildir, 7 nolu düğüm yerine 10 nolu düğümden nesnenin algılanmasını yapabilir. Böylece verinin iletişim yolu da değişecektir. Nesne S_1 'e doğru ilerledikçe algılama, aktarma ve birleştirme görevleri değişecektir.

4.2. Sensör Ağlarında Veri Birleştirme ve Yayma

Sensör ağlarının adres merkezli olması yerine veri merkezli olması gerekir. Sensör ağlarının temel fikri çok ucuz ve basit sensör düğümlerinin tasarlanmasıdır. Bu şekilde sensör uygulamaları binlerce atılabilir düğümler herhangi bir yük oluşturmadan kullanılabilir. Her bir düğüme tekil bir adres vermek, özellikle sensör ağ uygulamasında binlerce düğüm kullanıldığında oldukça masraflı bir işittir. Tek bir sensör düğümünün sınırlı bellek ve işlem gücünden ziyade bizi ilgilendiren sensör gruplarıdır. [3]

Veri merkezli uygulamalar, sensörler tarafından üretilen verilere odaklanmıştır. Bu yüzden sensör #46'ya bir sorgu göndermek yerine, sorgu üzerine GPS (Küresel konumlandırma sistemi) yerleştirilmiş sensör yardımıyla konumu bilinen #6 nolu bölgeye gönderilmektedir. GPS kullanımının arkasındaki ana fikir, veri yayılımı açısından önemli olan sensörlerin konumunu kolayca belirlemektir. Böylece GPS gömülmüş sensörler yardımıyla konumları bilinen belli bir alana gönderilebilmektedir. (Maalesef gömülü GPS sensör düğümleri görüş açıları engellediğinde yanıltıcı olabilmektedir, ayrıca GPS tam konumu değil belli bir konum aralığını verir. Bu yüzden birbirine yakın düğümler aynı GPS değerini üretecektir.) [3]

4.2.1. Birleştirme (“Aggregation”):

Bazı sensör düğümleri komşularından aldığı verileri birleştirmekle yükümlüdür. [3] Birleştirici düğümler merkez düğümlerine bilgi halinde

gönderebilmek için veriyi süzebilir, işleyebilir ve saklayabilir. Birleştirme işlemi aşağıdaki nedenlerden dolayı faydalıdır:

- Bilgi döngüsünü arttırmak
- Doğruluk düzeyini arttırmak
- Çöken sensör düğümlerini karşılamak için veri artıklığı (“redundancy”)

4.2.2. Yayma (“Dissemination”):

Sensörler tarafından üretilen veri, hedefine ulaşmak için bir çok ara düğüm üzerinden geçmelidir. [3] Ara düğümler çıktığı zaman gelen mesajların iletilmesinde sorunlar oluşmaktadır. Diğer sorunlar aşağıda listelenmiştir:

- Yönlendirme iletişim kuralları en kısa yolu bulmalıdır,
- Artıklık: Bir sensör aynı veri paketini birden fazla alabilir,

Sensör ağlarında veri yayma için iki senaryo vardır: sorgu güdümlü ve sürekli güncelleme. Her senaryo belirli tipteki sensör uygulamalarına uygulanabilmektedir. Birinci yöntem bire-bir ilişki olarak kullanılmaktadır, merkez bir sorgu yayınlayarak sensör düğümlerinden bu sorgusuna yönelik raporlanan yanıtları alır. Örneğin merkez bir nesnenin (düşman tankı veya bir hayvan) ilk defa görünüp görünmediğine dair sorguda bulunabilir.

İkinci senaryo bire-çok ilişki örneğidir. Merkez düğümü bir sorgu gönderir ve sorgusuna yönelik sürekli güncellemeler alır. Örneğin merkez hareketli bir nesnenin doğrultusunu sorgulayabilir. Sensör düğümleri bu sorgu sonucunda hareket eden nesnenin yeni konumunu sürekli olarak raporlarlar. Sürekli güncellemeye dayanan veri yayma senaryosu yüksek oranda enerji tüketimine neden olmaktadır, ancak sorgu güdümlü yöneme göre daha güvenilir ve doğrudur. Bunun nedeni daha fazla sensörün sorgu raporlamada yer almasıdır.

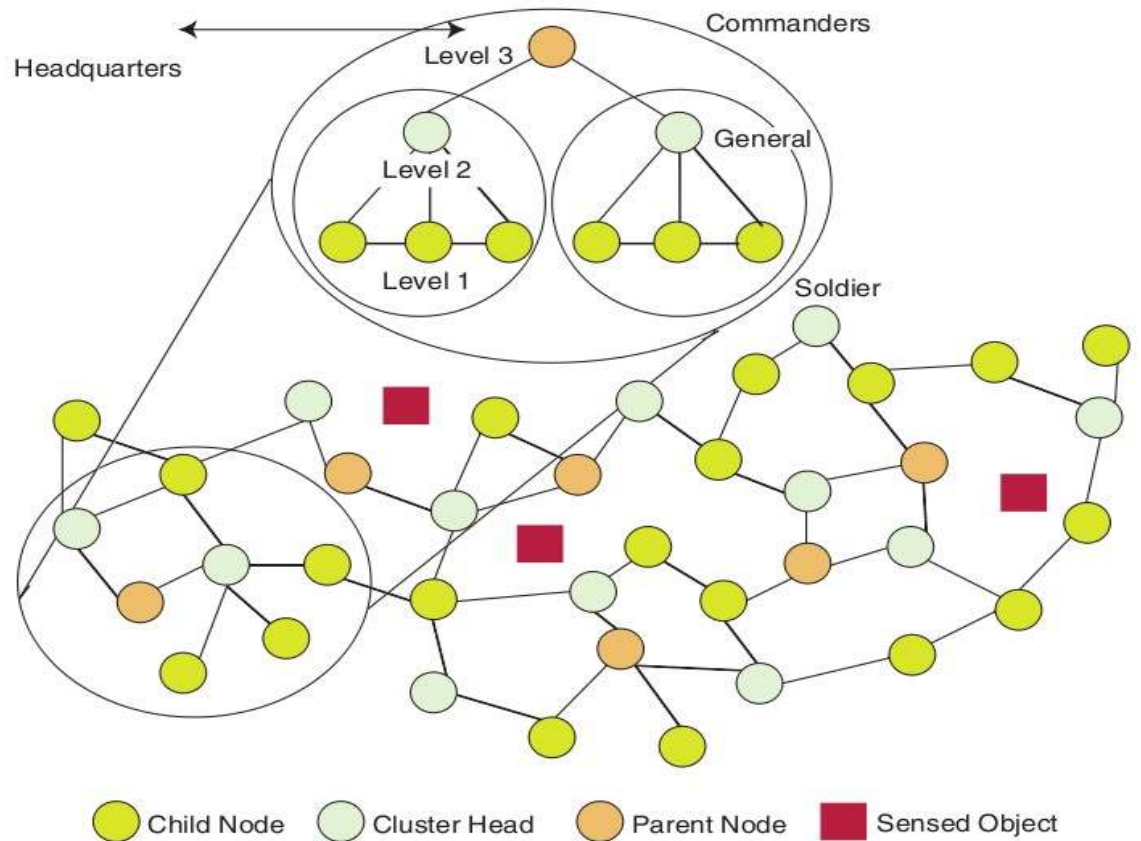
Örnek olarak sensör düğümlerinin bir park alanı ağında tek tek adreslenebildiğini düşünelim. Bu şekilde tüm boş park alanlarının belirlenmesi kolaylaşacaktır. Başka bir örnek ise bir uçakta her yolcunun koltuğunun üstüne herhangi bir yolcunun beklenmeyen hareketini belirleyen sensörler yerleştirmektir.

Herhangi bir tehlike durumunda sensör ağı uçağın kontrolünü almak üzere işbirliğine gidebilir (Örneğin ışıkları kapatmak, pilotun kokpit kapısını kapatmak gibi).

Bu sensörlerin kullanılmasıdaki en önemli avantaj herhangi bir hareket durumunda bağlantılılığı korumasıdır. Bu sensörler oldukça küçük olabildiği için yanlışlıkla yerlerinin değiştirilmesi oldukça olasıdır. Bu yüzden sensör ağları, bazı sensörler yerlerinden oynasa bile bağlantılılığı sağlamak zorundadır. Örneğin bu sensörler bir ormanda bulunabilir ve her türlü hareket ettirmeye karşı savunmasız olabilir (Örneğin insan, hayvan, böcek, yağmur, rüzgar vb.).

4.3. Sıradüzensel Sensör Ağlar

Sıradüzensel sensör ağları (Bkz. Şekil 9) [3], askeri sıradüzenini model alan ve bu modele göre çalışmasının biçimlendiren bir yapıdır. Bir taktiksel askeri ağ yapısı incelenerek bu sıradüzensel sensör ağlarının benzer yapısı anlaşılabilir.



Şekil 9. Sıradüzensel sensör ağı

Bir taktiksel askeri ağ, komutanlar tarafından parent nodes) yönetilen birim gruplarından (clusters) oluşur. Bu komutanlar emileri ana karargahtan (sink node) alarak, birimdeki gözlemleri ve verileri geriye gönderirler.

Komutanlar gelen emirleri generallere (cluster heads) gönderirler. Her general bir grup askerden (children) sorumludur. Askerler diğer askerler ve generalle yerel iletişim kurarlar. Askerlerden mesajları alan generaller bu bilgiyi komutanlarına iletir.

Savaş alanında bir gözlemde bulunan askerler bu bilgiyi generallere aktarırlar. General askerlere emir vererek eyleme geçmelerini sağlayabilir veya komutanına danışabilir. Karar eylemlerinde (saldırı gibi) sadece ana karargah bilgiye dayanarak bir karar verebilir.

BÖLÜM 5

AĞ YÖNETİMİ

5.1. Kablosuz Sensör Ağlarında Ağ Yönetimi

Kablosuz sensör ağlarının kendine has özellikleri ve kısıtlamaları Ağ yönetimini klasik ağların yönetiminden farklı bir yaklaşımla ele almayı gerekli kılar. Sonuçta bu benzersiz özellikleri ağ yönetim mimarisini tasarlarırken göz önünde bulundurmak kaçınılmaz hale gelir. Bu bölümde etkin bir ağ yönetimi mimarisinin tasarımı için lüzumlu gereklilik ve görevleri inceleyecektir. [8]

5.1.1. Basit Yönetim Mimarisi

Kablosuz Sensör Ağlarındaki (KSA) sensör düğümleri genellikle çok kısıtlı kaynaklarla çalışırlar. Bu yüzden KSA'daki yönetim mimarisi hem işlem gücü ve yeteneği hem de haberleşme anlamında olabildiğince basit tasarlanmalıdır. Klasik yaklaşık normal olarak ağırdır ve bu yüzden enerji ve işleme kaynaklarında problem yaşayan KSA'lar için uygun değildir, uygulanabilir değildir. Ek olarak, bu yaklaşımlar çoğunlukla “talep/ cevap” şeklindeki senkron haberleşme modeline göre; ki bu tür haberleşme KSA'ların çoğunlukla olay- tetikli asenkron ve önceden tahmin edilemeyen hatalardan dolayı çökmeye yatkın haberleşmesine uygun değildir. [8]

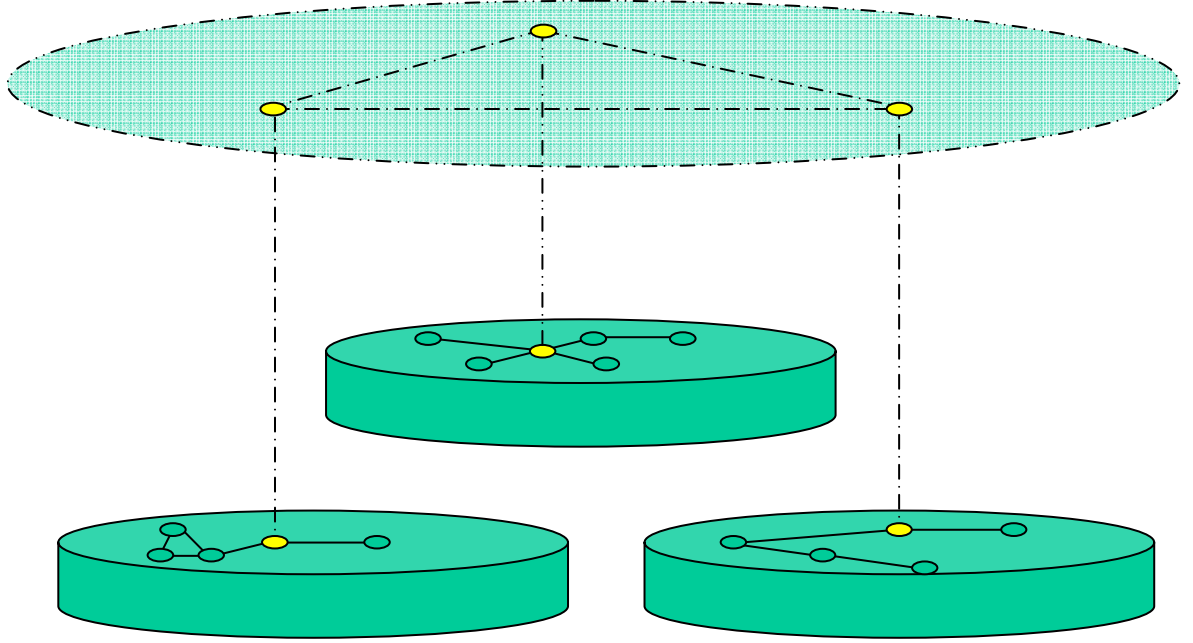
5.1.2. Yerel Yönetim ve Koordinasyon

Gereğinden fazla hareketliliği azaltmak dolayısıyla sensör düğümlerinin enerjilerini tasarruf edebilmek için yerel yaklaşım çözüm için en uygun yol olarak sunulmuştur.

Haberleşme ya da koordine edilmiş işlem yapma gibi belirli görevleri yerine getirmek için sensör düğümlerinden oluşan alt grupları akılcıca seçer ve oluşturur. Bu seçilmiş, görevlendirilmiş düğümler sadece kendi komşu düğümleri ile koordine kurma ihtiyacı duyar. Bu ağ üzerinden merkezi düğüme daima yönetim mesajları yönlendirmektense gereğinden fazla miktardaki mesajları azaltır. Sonuç olarak sensör düğümlerinin enerjisinden tasarruf ederek KSA'nın ömrünü uzatabilir. Yerel yaklaşım sensör uygulamalarına ve yönetim mimarisine özellikle geniş çaplı, büyük

ağlarda ve ağ çevrelerinde iyi ölçeklendirme ve dağıtılmış sensörlerin koordinasyonunun sağlıklı olarak yapılmasına olanak verir.

Yığınlama Şekil-10’da gösterildiği haliyle yerel yönetim için iyi bir örnektir. [8]



Şekil-10 KSA’da Yığın Yapısı

Sensör düğümlerini kendi içerisinde grup olacak şekilde gruplandırarak kablosuz sensör ağı için sanal bir omurga oluşturur. Yığın temelli mimari sensör düğümlerinin haberleşmesini ve etkileşimini yerleştirebilir. Ve sonuçta ağ üzerinde akan yönetim mesajlarının miktarını azaltır. Yığınlama uygulamaya yönelik görünse de, temel konsept sorumluluğun dağıtılmasından ötürü, hala kablosuz sensör ağlarının tasarımında uygulanabilir bir yapıdır.

Konuyla ilgili yapılmış bazı araştırmalar farklı yaklaşımlar getirmiştir. Kimileri KSA’da yönetimin kendi kendine organize olduğu bir hiyerarşik yığın yapısı önermiştir. Bu yapıda alt katman düğümleri bağlı oldukları üst katman düğümleri vasıtasıyla yönetilirler.

Aynı zamanda gruplandırma hata toleransı yönetiminde de kullanılır. Burada hata toleransı yönetimi yeterli hata toleransı ya da düğüm çökmelerinden kurtarmak için fazlalık yeteneği (redundancy ability) ile donatılmış hiyerarşik ağ yapısını destekler. [8]

5.1.3. Genel Yönetim Fonksiyonları

Günümüzün KSA'nın uygulama-bağımlı olması olasılığı çok yüksektir. Klasik KSA'nın yönetim mimarisinin tasarımı veri yönlendirmesi, kaynak kullanımı ve haberleşme modelleri gibi uygulamaya yapıları da barındırır. Sonuç olarak bir WSN'de kullanılan yönetim mimarisini KSA'nın ihtiyaçları değiştiği için bir diğerinde kullanmak mümkün değildir. KSA'daki çeşitli uygulamaları sürekli olarak desteklemek ve koordine etmek için, ortak ara yüzlere sahip uygulamalar için genel sınıflara ihtiyaç ortaya çıkmıştır. [8]

Genel görev atama pencereleri kendinden organize olabilen düğümlere müdahale gerektirmeden ağdaki görevlerin ve fonksiyonların atanmasını sağlayan çeşitli sensör uygulamalarını desteklemek için ortaya atılmıştır.

5.1.4. Uygulama Bilgisiyle Bütünleşme

Genel yönetim mimarisini tasarlayabilmek için uygulamaya özel anlamlar ve karmaşıklıklar, merkezi yönetim yapısından ayırmak anlamında, gereklidir. Aynı zamanda bu tarz gerek yönetim yapıları bir uygulamadan diğerine farklılık gösteren ihtiyaçlara cevap verebilmek adına işlemleri yönlendirmek için uygulama bilgisine ihtiyaç duyar. İşte bu yüzden KSA'da yönetim mimarisinin altyapısına uygulama bilgisinin enjekte edebileceği mekanizmalar araştırmak ve bunu yönetim servisleri ile bütünleştirmek çok önemlidir. [8]

5.1.5. Uyarlanabilen Yeniden Ayarlama

Son yıllarda KSA geçici ya da ilk yerleşimden sonra acil kullanımdan ziyade uzun süre çalışan bilgisayar sistemleri olarak giderek daha çok göz önüne çıkmaktadır. Farklı sensör uygulamalarına veri toplamak için aynı çevrede devamlı çalışmaları gerekmektedir. Buda yönetim mimarisinin sağlam adapte olma yeteneğini gerektirir. Çevresel ya da durumsal değişikliklere uyum için işlemleri ve fonksiyonlarını hata yapısını değiştirme ihtiyacını doğurur. Bu değişiklikler sensör uygulamasının gerekliliklerine, birinden diğerine uygulama transferine ya da kısıtlı enerji ile çalışan ve kısıtlı işlem yeteneği olan sensör düğümlerine farklılık gösterebilir.

Belki daha sonraları bunlar hayata geçebilir ve sensör ağları her bir uygulamanın ihtiyaçlarını kendisi algılar ve kendini otomatik olarak ayarlar. [8]

5.2. KSA’da Ağ Yönetim Mimarisinin Tasarımı

Mimari basit olarak tasarlanmalı, katmanlı bir yapıya sahip olmalı ve politika tabanlı yönetim tarafından desteklenen işlemler ve davranışlarına sahip olmalıdır. [8]

5.2.1. Katmanlı sistem Yapısı

Katmanlı sistem daha önceki yönetim mimarilerinin KSA’na adapte edilmesidir. [8] Birçok kayda değer faydası vardır. Birincisi; çeşitli sensör uygulamaları için statik tümleşik fonksiyonlu süper bir sistemden ziyade kişisel fonksiyon bileşenlerinin ve yönetim fonksiyonlarının programlaması kolaydır. İkincisi; seçilen katman içerisinde yerel kodları içerdiği için ekleme, çıkarma ve değişme gibi yönetim fonksiyonlarının yazılım değişiklikleri daha kolay olabilir. Diğer taraftan katmanlı yapı olmasaydı en ufak bir yazılım değişikliği tüm sistemi baştan aşağı değiştirme zorunluluğu doğurabilirdi.

Katmanlı yaklaşım aynı zamanda basit tasarım anlamında da yönetim mimarilerini daha etkin olarak destekleyebilir. Sonuç olarak enerji tasarruflu sensör düğümleri ağda kendilerine verilen göreve bağlı olarak yönetim mimarisini yüklemek için ayırım yaparak seçebilir. Bu işlemi enerji durumlarına/ seviyelerine göre de yapabilirler. Her katman bir alt katmanı ya da katmanları etkilemeyecek şekilde tasarlanmalıdır.

5.2.2. Yönetim Fonksiyonlarının Dağılımı

Temelde klasik merkezi algılama mimarileri küçük KSA’da yer bulma sistemi gibi belli başlı uygulamaları destekler. Ancak bu ağın ebatları çoğaldıkça uygulanamaz hale gelir. Ana sebeplerden biri trafik yoğunluk problemidir. Trafik yoğunluğu merkezi baz istasyonuna gelen ya da istasyonundan gönderilen ölçüm ya da karar mesajlarından kaynaklanır. Bu yaklaşım pek enerji etkin bir çözüm deildir çünkü ağın veri haberleşmesi yerel veri işleme işlemlerinden daha pahalıdır. Dolayısıyla, yönetim işlemleri ve karar vermeler kaynak-kısıtlı KSA’da dağıtılmış bir şekilde gerçekleştirilir. [8]

Çeşitli yaklaşımlarda bulunulmuştur. Bu yaklaşım ağın her birini hayatta tutabilmek ve görevleri yerine getirebilmek için farklı fonksiyon alanlarında kendilerine düşen görevi yerine getiren yönetici ve köleler arasında yönetim fonksiyonlarını dağıtır. Bu yaklaşımda yönetici ve köleler fiziksel olarak farklı yerdedirler. Bütün karar ve ölçüm mesajları yerel bölgede gerçekleştirildiği ya da yerel olarak sensör düğümlerinde yapıldığı için bu yaklaşım yönetim tarafından meydana getirilen haberleşmeyi minimize eder. [8]

5.2.3. Politika Tabanlı Yönetim

Politika tabanlı yönetim KSA'daki merkezi olamayan ve kendi kendine uyarlanabilen yönetim servislerini destekleme yeteneğiyle ortaya çıkmıştır. Politikalar gerçek zamanlı işlemleri vurgulamak için yönetim bileşenlerinin (yönetici ve köle) istenilen davranışlarını tanımlar. Politikalara göre, yönetici ve köle düğüm grupları oluşturmak, ağ yoğunluğunu kontrol ve KSA'nın kapsama sürekli tutma gibi yönetim görevlerini işbirliği içinde yerine getirmek için birbirleri ile etkileşime girerler. [8]

5.2.4. Bilgi Modeli

Amaçlanan hedeflere ulaşmak için yönetim fonksiyonlarını gerçekleştirmeden önce tamamlanması gereken durumlar belirlenmelidir. Bu yolla uygulamalar ağdan gelen isteklere ya da değişikliklere cevap vermek için en uygun politikayı seçebilir. Belirli yönetim işlemlerini gerçekleştirmek için gerekli durumlar çoğunlukla ağ gerçek zamanlı durumundan elde edilen bilgilere dayalıdır. Ağın durumu çoğunlukla farklı açılardan bakıldığında farklı görülebilir, zamana göre değişiklik gösterebilir. Bunlar farklı açılardan ağın durumunu açıklayan dinamik ve statik bilgilerdir. Statik bilgi ayrıntılı olarak yönetim servis ayarlarını, bağlantı durumu ile bağlantı durumunu da içeren hem ağ hem de ağ elemanı bilgisi gibi bilgileri içerir. Dinamik bilgi ise algılama kapsama alanı haritası, haberleşme kapsama alanı haritası, ağ topolojisi gibi bilgileri içerir. [8]

BÖLÜM 6

VERİ GİZLİLİĞİ

Privacy, gizlilik son yıllarda haberleşmede en öne çıkan konulardan birisidir. Ağlarda gizlilik en yalın haliyle haberleşmenin her yönünün yetkisiz ve izinsiz varlıklardan saklanması olarak tarif edilebilir. İnsan hayatı kadar eski olan gizlilik kavramı haberleşme alanında da ilk günden beri dikkate alınmakla birlikte özellikle kablosuz ağların popüleritesinin artmasıyla çok öne çıkmıştır. Ağ haberleşmesinde gizliliğin sağlanması; iki noktanın birbiriyle yaptığı görüşmede katılımcıların kimliklerinin, haberleşmede geçen konunun, haberleşmenin yeri ve zaman bilgilerinin hepsinin ya da kimilerinin bilinçli ya da bilinçsiz olarak istenmeyen kişiler tarafından öğrenilmesi tehdidinin önlenmesidir. Bu noktada üç tehdit öne çıkmaktadır, bunları özetlerken tehditlerde bulunan kişi ya da varlıkları düşman diye adlandıracamız; [9]

* İçerik Gizliliği: Mesaj içeriğinin yetkisiz kişiler tarafından anlaşılması tehdidinin engellenmesinin sağlanmasıdır. İçerik gizliliği sadece mesajın okunmasının engellenmesiyle sağlanamaz; birçok zaman düşman için gerçek mesajın varlığını tespit etmesi içeriğini anlamasına yetecektir. Örneğin, bir ofisle ilgili bilgiler aktaran ağda mesajın varlığı düşman tarafından odada bir kişinin bulunduğu bilgisini anlamasına yetecektir.

* Kimlik Gizliliği: Haberleşme de bulunanların kimlik bilgilerinin düşmanlar tarafından elde edilmesinin engellenmesidir. Örneğin Ali ile Ayşe birbirleriyle görüşmekte ve Ali'yi dinleyen düşmanların Ayşe'yle görüştüğünü anlamaları, birçok uygulamada önemli bir tehdittir.

* Kaynak Gizliliği: Tarafların Fiziksel konumu olsun ya da elektronik adres bilgileri birçok zaman düşmanlar tarafından elde edilmek istenen bilgidir. Özellikle askeri sistemlerde yer konum bilgilerinin tespit edilmesi çok önemlidir. Haberleşmeye katılan tüm noktalarla birlikte haberleşmeyi başlatan noktaların fiziksel ya da elektronik adresi korunmak istenmektedir.

Bu gizliliklerin sağlanmasını engelleyecek tehditlerin ne hepsinin birlikte

gerçekleşmesi ne de ayrı ayrı gerçekleşmesi gerekliliği vardır. Bir noktada haberleşmeyi dinleyen bir düşman görüşen tarafların kim olduğunu anlayamadan veya tespit edemedi ve de bu tarafların yerlerinin tam olarak bilemeden görüşmenin içeriğini anlayabilir. Öte yandan, çok iyi şifrelenmiş ve gizlenmiş bir içeriği anlayamamasının yanında tarafları çok kolay bir şekilde tespit edebilir ya da bu gizliliklerin hepsini tehdit ederek bütün bilgilere sahip olabilir.

Bu tehditlere karşı geleneksel güvenlik mekanizmaları haberleşmeyi özellikle de kablolu ağlarda çeşitli varyasyonları ile oldukça fazla korumuştur. Kablosuz ağlarda özellikle sensör ağlarında da gizlilik (confidentiality), bütünlük (integrity), availability (erişebilirlik), encryption (şifreleme), anonymity (anonimlik) gibi çok tercih edilen güvenlik mekanizmaları içerik gizliliğini ve kimlik gizliliğini korumayı adreslemektedir. Ancak kaynak gizliği tam olarak adreslenememekte sadece anonimlik bazı uygulamalarda bu gizliliği sağlamaktadır.

Gizlilik, sadece içeriğin istenen taraflar tarafından anlaşılmasını sağlayan yöntemdir. Bütünlük ise mesajlaşmanın değişmesi durumunda dahi alıcı tarafından anlaşılabilmesinin garanti altına alınmasıdır. Anonimlikte haberleşmede tarafların kimlik, yer, zaman vb. bilgilerin yetkisiz ellere gezmesini haberleşmeyi anonim tutarak engelleyen bir yöntemdir.

6.1. Kablosuz Sensörlerde Veri Gizliliği

Geniş çaplı tasarlanan ve hayat geçirilen ağlarda bireysel olarak her sensör düğümünün güvenliğini sağlamak pek pratik bir çözüm değildir. [18]

Günümüz hayatına oldukça yoğun bir şekilde giren sensör uygulamaları haberleşmelerinde en yaygın kullanılan dolaşım algoritmalarının kaynak konum verisini gizlemedeki etkinliklerini ortaya koymak amacıyla bir simülasyon çalışması gerçekleştirildi. [9] Bu çalışmada flooding ve tek-yol algoritmaları incelendi. Simülasyon ortamının özellikleri ve varsayımlar belirtilerek bu algoritmaların genel çalışma şekilleri detaylandırılıp, algoritmalarla ilgili sonuçlar verilmektedir.

Geniş bir alana yayılmış bir sensör ağı kurularak ($n > 10.000$) çevredeki nesnelerin hareketleri ve davranışlarını izlemek üzere bir simülasyon ortamı tasarlanmıştır. Sensörler oluşturdukları mesajları ağ üzerinden merkeze (sink'e)

ulaştırarak çevrenin görüntülenmesini sağlamaktadırlar. Ağın alışması ve ağ üzerinde ki varsayımlar; [9]

- * Algılama yapılır yapılmaz sensör algılama zamanı ve konum bilgisini içeren bir mesaj oluşturmaktadır.
- * Mesajlar şifrenmiş şekilde iletilerek içerik güvenliği sağlanmıştır.
- * Ağ içerisindeki trafiğin mesajların merkeze ulaşmasını etkilemeyecek kadar az olduğu varsayılmaktadır.

Simülasyonda haberleşmeyi takip eden ve güvenliği tehdit eden düşman rolünde tehdit ediciler bulunmaktadır. Dşmanlarla ilgili varsayımlar;

- * Mesajların şifresini kıramazlar, bu şekilde mesaj içeriklerinin anlaşılması engellenmiştir.
- * Düşmanlar ağın genel yapısını ve haberleşmeyi bozacak aktivitelerde bulunamazlar.
- * Düşman duyduğu bir mesajdan bu mesajı gönderen sensörün kim olduğunu anlayabilme yeteneğine sahiptir.
- * Düşmanlar hareketli olup, sınırsız kaynağa sahiptirler.

Simülasyonda özellikle geleneksel güvenlik mekanizmalarının zm sunmadığı kaynak verisi gizliliğinin sağlanması üzerine yoğunlaşılmıştır. Sensörler, algılayıcı ve haberleşmeye katkıda bulunanlar olarak iki ayrı aktivitede bulunmaktalar. Sensörler, algılamada bulunur bulunmaz mesaj oluşturarak gndermekteler; diğerleri bu mesajı aldıktan sonra önceden bu mesajı iletmedilerse dolaşım algoritmasına göre bu mesajı merkeze yönlendirmektedirler.

6.2. Tek-Yol Algoritması

Sensör ağları dolaşım protokollerinin birçoğu GPSR, trajectory routing, Directed Difussion, [9] vb. protokollerinin tercih ettiği bir algoritmadır. Bu

protokollerde yönlendirici sensörler sadece kendi iletim alanları içerisindeki bir veya küçük bir grup sensöre mesajları iletirler. Çalışması bu kadar basit olmasına rağmen kurulumu ilave donanım veya çalışma öncesi özel ayarlamalar gerektiren bir protokoldür. Bütün sensörlerin konumlarının ya daha konfigürasyon aşamasında diğer tüm sensörlerce bilinmesi sağlanmalı ya da sensörler haberleşme anında merkezin ve komşularının konumlarını anlayabilme yeteneğine sahip olmalıdırlar. [9]

Bütün sensör uygulamalarında enerji tüketiminin ve kaynak kullanımının dikkate alınması gerekliliği yukarıda vurgulanmıştı, bizde bu protokollerin tükettikleri enerjiyi simülasyonda dikkate aldık. Bir sensör iletim yaparken, ileti alırken, dinlerken, hesaplama yaparken ve çevreyi algılamakta enerji tüketir. Bunlar içerisinde de en çok yüklenmeyi ileti alırken ya da gönderirken yapmaktadırlar. Bu sebeplerden genelde dolaşım algoritmaları ileti sayısını minimize edecek şekilde tasarlanmaya çalışılır. Bizde protokollerin enerji tüketimlerini mesajlaşma aktivasyonuna göre ölçtük, haberleşmede yapılan toplam iletim ve alım sayısı ne kadar enerji tüketildiğini belirlemektedir. [9]

Tek-yol algoritmasında kaynaktan merkeze giden tek bir yol seçilmektedir, genelde bu seçilen yolun en kısa yol olması istenir ve haberleşmeye sadece bu yol üzerindeki sensörler katılırlar, kaynaktan merkeze h adet sensör var ise sadece h kadar iletim yapılacaktır, $h \cdot m$ kadar sensörde bu mesajı alacaktır. N adet sensörün içerisinde h derinliğinin çok çok küçük olduğu açıktır. Bu sebepten bu protokol çok az enerji kullanmaktadır. [9]

Enerji tüketiminde oldukça az masraflı olan bu protokol ne yazık ki veri gizliliğini sağlamakta arzu edilen sonuçları verememektedir. Simülasyonda basit bir senaryo izledik; Sensörlerden biri (random) nesneyi algılamakta ve bu nesnenin belli bir zaman (threshold) ya da yeri tespit edilinceye kadar o noktada durmaktadır, bu süre boyunca da belli zaman aralıklarında (t) nesneyle ilgili algılamalar için yeni mesajlar oluşturularak iletilmektedir. Bu nesneye ulaşmak isteyen yetkisiz kişiler mesajları dinleyerek mesajları gönderen sensörlere ulaşarak kaynağa ulaşmaya çalışmaktalar. Başlangıçta merkeze yakın durmayı tercih edecek olan düşman, ilk mesajı duyar duymaz mesajı gönderen sensörü çözüp oraya gidecek ve t zaman sonra gelecek mesajı bekleyecek ve onu da algılayarak onu gönderen sensöre

yönelecektir. Sadece tek bir yol üzerindeki sensörler iletim yaptıklarından h adet noktaya uğrayarak kolaylıkla kaynak yer noktasına ulaşabilecektir.(h : Kaynaktan merkeze derinlik, t : Mesajlaşma zaman aralığı) [9]

6.3. Flooding Algoritması

Flooding özellikle kontrol mesajlarında kullanılan çok yaygın bir protokoldür. Flooding'de ağda bütün sensörler iletimde yer alırlar. Simülasyonda bu algoritmanın uygulanma şekli; Bir mesaj duyan sensör önceden bu mesajı iletmediyse kendi ulaşım alanı içerisindeki tüm komşularına iletterek mesajın yayıla yayıla merkeze ulaşmasına katkıda bulunur. [9]

Flooding'de bütün sensörler iletişimde yer aldıklarından çok enerji tüketilmektedir, n tane sensörün her birinin iletim alanında ortalama m adet komşusu bulunduğu varsayılrsa, bir mesajın kaynaktan merkeze ulaşmasında toplamda $n*m$ adet mesaj alımı ve $n*m$ adet mesaj gönderimi yapılacaktır ki n 'ler genelde çok büyük sayılardır.(n : Sensör sayısı, m : Komşu sensör adedi,) [9]

Enerji verimsiz bir algoritma olmasının yanında flooding kaynak konum bilgisini gizlemede oldukça başarılı sonuçlar vermektedir. Çevrede gözlenen bir nesne olduğu varsayılırsa ve bu nesnenin nerede olduğunu anlamaya çalışan düşman kuvvetlerinin mesajlardan geliş noktasını takip etmek amacıyla merkezden başlayarak kaynağa ulaşmada çok başarısız oldukları gözlenmiştir. Şöyle ki; sistemdeki bütün sensörler iletişimde yer aldıklarından düşman kuvvetler bu yoğun mesaj trafiğinde kaynaktan farklı yönlerdeki sensörlerden de mesajlar duyup o tarafa doğru yönelmektedirler. Bu güçler gelen mesajların bir öncekilerle aynı olup olmadığını ayırt etme kabiliyetine sahip olsalar dahi kaynak noktasına ulaşmaları oldukça güç olmuştur. En kötü senaryolarda (worst-case) n noktaya da uğraması gerekmiştir ki bu da böyle bir ortamda alınabilecek en iyi güvenlik sonucu olarak kaydedilebilir. [9]

6.4. Sonuç

Sensör ağlarda çok kullanılan dolaşım algoritmaları flooding ve tek-yol algoritmalarıdır. Flooding datayı koruma özelliğine sahip olmakla birlikte oldukça fazla enerji tüketen bir protokoldür. Tam tersine, tek- yol algoritması çok daha az

bir yükle çalışmakta ancak data güvenliğini sağlamakta yetersiz kalmaktadır. Bu çalışmada ad-hoc ağlarda çok ne çıkan veri gizliliğinin korunabilmesinin bu protokollerle ne kadar sağlandıkları ortaya konurken enerji tüketiminde ki hassasiyetleri de incelenmiştir.

Yaygınlaşan bir kullanım alanına sahip sensör uygulamalarında gelişen teknolojiyle birlikte güvenlik ve gizlilik konuları da popülaritesini sürekli artırmaktadır. Biz burada sadece en temel iki protokolü ele aldık. Kullanılmakta olan diğer protokoller ve farklı amaçlı ve ayar yapılabilir uygulamalarda yapılacak çalışmalar ve bunlara özel geliştirilecek algoritmalar büyük bir araştırma alanı olarak beklemektedir. [9]

BÖLÜM 7

HUDUT GÜVENLİĞİ İÇİN SENSÖR SEÇİMİ

Kablosuz sensör ağları bize fiziksel dünya ile etkileşime girme fırsatı vermektedir. Bunlar daha önceleri bilimkurgu filmlerinde mümkündü. Bu sensör ağları araziye sağlamca / iyice yerleştirilmiş ve yoğun olarak dağıtılmıştır.

Askeri bölgelerin dağınık sensör ağları ile kapatılması onlarca yıllık bir fikirdir. Bu fikir Vietnam bölgesi Igloo White programına kadar gerilere gider. Müdahalesiz arazi sensörleri (Unattended Ground Sensors- UGS) bugün vardır. Bunlar algılayabilir, sınıflandırabilir ve giriş yapan aracın ya da personelin hareketinin yönünü tanımlayabilirler. [10]

REMBASS (The Remote Monitored Battle Field Sensor System) bugün bu sistemi hayata geçirmeyi başarmıştır. REMBASS'da uzaktan görüntüleri alınan sensörler kullanılır ve bu sensörler muhtemel düşman yaklaşma istikametine elle yerleştirilmişlerdir. Sensörler düşman hareketliliğini algılamak için sismik-akustik enerji, kızılötesi enerji ve manyetik enerjiye tepki verirler. REMBASS veriyi yerel olarak işlerler ve çıktıyı algılama ve sınıflandırma verisi biçiminde kablosuz olarak bazen bir ya da daha fazla tekrarlayıcıdan geçerek sensör gözetleme yerine (SGY Sensor Monitorin Sat-SMS)gönderir. Gelen mesajlar SGY'de demodüle edilir, kodu açılır, görüntülenir ve giriş ihlali zaman aşamalı olarak kaydedilir. [10]

KSA'ı kısıtlı ağ oluşturma ve veri işleme yeteneklerine sahiptir. Haberleşme göreceli olarak uzağa ve frekans olarak tek yönlü radyo bağlantıları ile bir belki de birden çok tekrarlayıcı üzerinden yapılır.

Bizim yaklaşımımızda izinsiz giriş verileri her sensör düğümünde yerel olarak işlenmekte herhangi bir anormallik tespit edilirse komşu düğümlerle paylaşmakta ve geniş alan ağı ile haberleşme Gateway'i üzerinden yapılmaktadır. İşbirliği içinde yapılan veri işlemleri sisteme tekil düğümün yapabileceğine kıyasla daha fazla hassasiyet ve gürültü engelleme yeteneği kazandırır. [10]

Bu çalışmada etkileme alanı (Influence Field) kullanılacaktır. Etkileme alanı maddeyi çevreleyen ve altı enerji alanından bir ya da birkaçında etkileşimde

bulunan boşluk bölgesidir.ya da maddenin etrafını çevreleyen ve içerisinde maddenin bazı kesin yöntemler kullanılarak algılanabileceği bölgedir. [10]

7.1. Problem Tanımlaması

Bu bölüm [10] gözetleme sisteminin kullanıcı gereksinimlerini ortaya koyar ve hedef, sistem, çevre ve hata modelini kurar. Ömür süresi, yoğunluk, zaman mekan kesinliği, gizlilik olan dört adet kullanıcı seviyesi QoS belirlenmiştir.

Kablosuz sensör ağları ucuz ve kolay yerleştirilebilir sensörler ile askeri birliklere hareket bölgesini adeta bir battaniye ile kapatma yeteneği vermektedir. Bu yaklaşım savaş sis içerisinde dost birliklere görme yeteneği ile daha önce hayal bile edilemeyen durum farkındalığı sağlar.

7.1.2. Kullanıcı Gereksinimleri

Senaryomuzun amacı bir bölge içerisindeki ya da bir hat boyunca gerçekleşen izinsiz girişleri tespit etmektir. Giriş yapan madde ya da hedef silahsız bir kişi, silah taşıyan bir asker ya da araç olabilir. Bu uygulanan üç kullanıcı gereksinimleri ise algılama, sınıflandırma ve takiptir.

Algılama hedefin varlığı ile yokluğunu ayırt edebilmeyi gerektirir. Başarılı algılama düğümün hedefin varlığını doğru değerlendirmesi ve hedefi algıladığı zaman ise hatalı algılamadan kaçınmasıdır.

Sınıflandırma algılanan hedefin sivil şahıs, asker ya da araç olarak sınıflandırılmış hedef gruplarından hangisine ait olduğunun tespit edilmesidir. Başarılı sınıflandırma algılanan hedeflerin aslında mensubu olduğu gruplar olarak etiketlenmesidir.

Takip; hedefin pozisyonunun zaman içerisinde hareketine bağlı olarak sensör ağlarının görüş alanı içerisindeki bölgede sürekli gözlenmesidir. Başarılı bir takip iyi bir doğruluk ve kabul edilebilir bir algılama gecikmesi ile hedefin ilk giriş yeri ve anlık pozisyonunu sistem tarafından hesaplanmasıdır. Sistem hedefin geçmiş ve anlık pozisyonuna göre gelecekteki yerini tahmin etmek zorunda değildir.

[10] Doğru Algılama Olasılığı----- P_d

Hatalı Alarm Olasılığı----- P_{dh}

Doğru Sınıflandırma Olasılığı----- $P_{s \ i=Sınıf}$

Hatalı Sınıflandırma Olasılığı----- $P_{s \ i=sınıf \ j=sınıf}$

Kabul Edilebilir Gecikme----- T_k

Tablo:2 Performans Gereklilikleri'nin Özeti [10]

ÖLÇÜ	DEĞER	AÇIKLAMA
P_d	$>0,95$	Doğru Algılama Olasılığı
P_{dh}	$<0,10$	Hatalı Alarm Olasılığı
T_k	<15	Kabul Edilebilir Gecikme
$P_{s \ i,j \ i=j}$	Tablo 2	Doğru Sınıflandırma Olasılığı
$P_{s \ i,j \ i \neq j}$	Tablo 2	Hatalı Sınıflandırma Olasılığı
$\hat{x}, \hat{y}$	$\varepsilon(x,y) \pm (2,5;2,5)$	Konum Tahmin Hatası

		TEHDİT DERECEŚİ 		
		ETİKETLEME		
		İnsan (Az Tehdit)	Asker (İnsana Göre Daha Büyük Tehdit)	Taşıt (En Büyük Tehdit)
GERÇEK SINIF	İnsan	$P_{s \ i,i} > \%90$	$P_{s \ i,A} < \%9$	$P_{s \ i,T} < \%1$
	Asker	$P_{s \ A,i} < \%1$	$P_{s \ A,A} < \%95$	$P_{s \ A,T} < \%4$
	Taşıt	$P_{s \ T,i} = \%0$	$P_{s \ T,A} < \%1$	$P_{s \ T,T} < \%99$

Tablo:3 Gerekli Sınıflandırma Karıştırma Matrisinin Özeti [10]

Daha Büyük tehdidin algılama olasılığı daha yüksektir.

7.1.2. Hedef Modeli

Bu bölüm silahlı insan, asker ve taşıt sınıflarını içeren üç çeşit hedefin kinetik hareketlerini ortaya koymaktadır. Bu hedeflerin hareket modelleri iki boyutlu rasgele hızlı, ivmeli ve yönlü yürüyüşler içerir.

V_{min} Takibin Devamını Sağlamak İçin Gerekli En Düşük Hız.

V_{max} Gerekli Önlemlerin Alınabilmesi İçin Gerekli En Yüksek Hız

Gibi değişkenler hedefin modelini tespit etmede önemli rol oynar. Örneğin; normal olarak düzenlenmiş yürüyüş hızı ve yoğunlukla sabit ilerleme yönü silahlı insanı gösterir. Asker sürünmeye, yürümeye ve koşmaya meyillidir, sık sık yön değiştirir, hızı sık sık değişir ve silahlı insana göre ilerleme istikameti daha değişkendir. Taşıtların hızı ise çok daha fazladır ve daha sabit ilerleme istikametleri vardır. Sonuçta hızında daha büyük değişiklikler olurken ilerleme istikametinde silahlı insana ve askere göre daha az değişiklik olur.

Bütün hedeflerin bu üç gruptan birine ait olduğunu düşünmekteyiz. Yanlış sınıflandırmayı göz önünde bulundurmuyoruz, mesela yabani hayvanlar kısmı dışındadır. Bu konu ile ilgili ve aynı anda birden çok hedefin tespiti ile ilgili yaptığımız literatür araştırmasında bir çalışmaya denk gelemedik. [10]

7.1.3. Sistem Modeli

Sistem gözetlenecek bölgede dağınık çok sayıda düğümden oluşmaktadır. Düğümler rasgele yerleştirilmiştir, yerleşimler dikkatlice yapılmamıştır. Yerleşim dağınıklığı yerel değişkenlere bağlıdır. Ancak buna rağmen gözetlenecek bölge sensör düğümlerinin gözetleme sahaları ile tamamen kapatılmıştır, açık yer kalmamıştır. Düğümlerde kesin ya da bağımlı yer bulma sistemi mevcuttur.

Her düğümün ağda eşsiz bir kimliği vardır. Her düğüm işlemci bölümü, hafıza, radyo, güç kaynağı ve farklı sensörlerin birleşmesiyle meydana gelir. Tek bir düğümün kısıtlı enerji, hafıza ve işlem yeteneği vardır. Dolayısıyla yerel olarak çok komplike algoritmalar çalıştıramazlar. Tek bir düğümün gönderme çıkış gücü tüm ağı tek atlamada geçecek kadar yüksek değildir. Düğümlerin bir grubu bir

yönlendirici vasıtasıyla algılanan hedeflerin kıymetlendirilmesi için ağ dışına gönderilir. [10]

Gönderme ortamı kablosuzdur ve haberleşme yayın (broadcast) haberleşme temellerinde yapılır. Kablosuz haberleşmede mesajlar zayıflamaya ve diğer propagasyon kayıplarına maruz kalırlar.

7.1.4. Çevresel Model

Yapılan çalışmanın askeri personel tarafından gerçek arazide kullanılması, kullanılabilmesi için tasarlanmıştır. Dolayısıyla gerçek arazi beraberinde birçok zorluk getirir. Çevresel etkenlerin tamamını göz önünde bulundurmak olanak dışıdır. Sonuçta bazı temel etkenleri sistemin düğümlerinin performansı, protokolleri ve algoritmaları üzerindeki etkilerini ortaya koymaya çalıştık. Bu bölümün geri kalan kısmında sisteme hava şartlarının, coğrafi değişikliklerin ve gürültü modelinin etkilerini ortaya koymaya çalıştık.

Rüzgar sensörleri etkileyebilir, sensörleri hareket ettirerek hatalı değerler algılanmasına neden olabilir. Yağmur sensörleri ve sinyal propagasyonunu etkiler. Sonuçta su geçirmez düğümlerin yapılması kaçınılmazdır. Kar sistemin idamesini etkileyen en önemli faktördür. Kar altında kalan sensörlerin enerji kaynakları donabilir, ya da güneşten tekrar pilleri şarj edene kadar piller tükenebilir. Bu modelde karın çabucak eriyeceği farz ve kabul edilmiştir. Askeri standartlara göre sensörler -40°C ile $+85^{\circ}\text{C}$ arasında çalışabilmelidir. [10]

Hem zor arazi koşulları hem de aradaki engeller haberleşme kalitesini etkileyeceği kadar aynı zamanda sensörlerin algılama yeteneklerini de kısıtlar. Ağın engellere ve araziye rağmen bir bütün olarak kaldığı ve parçalara bölünmediği kabul edilmiştir. Diğer bir kabul ise arazinin sensör düğümlerinin sayısına etki etmediğidir. [10]

7.1.5. Hata Modeli

Sensör ağları geniş bir çeşitlilikte çökmelere ve dayanıksızlıklar maruzdur. Pahalı olmayan donanım, kısıtlı kaynaklar ve yoğun çevresel etkenler bu hataların oluşmasına sebep olur.

7.1.5.1. Düğüm Çökmeleri Ve Donanım Hataları

Yerleşim aşamasında düğümler çok yüksekte bırakılabilir, dolayısı ile bazı düğümler düşüşten sağlam çıkamayabilir. Bazı durumlarda sensör düğümleri zemin etkisi yüzünden diğer düğümlerle bağını koparabilir ya da devamlı hatalı alarm gönderebilir. Bazılarının kısıtlı enerji kaynakları yüzünden enerjileri tükenebilir. Düğümler hedefler ya da çevresel etkenler koşullar yüzünden orijinal yerinden başka yere taşınabilir. Düğümler aşırı sıcak ya da nem yüzünden hassasiyetlerini kaybedebilirler, mesajlarını abartarak ya da azaltarak gönderebilirler. [10]

7.1.5.2. Haberleşme Hataları

Temel haberleşme altyapısı olan yayın tipi haberleşme birbirinin gönderme menzili içindeki iki düğümün aynı anda mesaj göndermesiyle oluşan çakışmayla veri kaybına yol açar. Birbirinin gönderme menzili içinde olmasalar bile varış yerinde gizli terminal etkisi sonucunda gene çakışıp kayıplara yol açabilir. Çakışma olmasa bile kablosuz gönderme ortamında girişim sonucunda mesajlar kaybedilebilir. Düğümler arası mesafe, rakım farkı, anten polarizasyonu, çevresel şartlar ve engeller hepsi zayıflatma oluşmasına etki eden faktörlerdir. [10]

7.1.5.3. Yazılımsal Hatalar

Düğümdeki kısıtlı işlem kaynakları düğümde yapılabilecek işlem miktarına bazı kısıtlamalar getirir. Eğer limit aşılsa işlem görevleri tamamen işlevsizliğe ve hatalara neden olacak şekilde yapılamaz hale gelir. Hafıza bozulabilir, mesaj tamponların üzerine yazılabilir, bazı algılama ve işlem görevleri kaybedilebilir. Hatta bazen düğüm tekrar kendini toparlayamayacak kadar çıkmaza girebilir. [10]

7.2. Algılama

Sensör ağlarında hangi çeşit sensör kullanılacağı önemli bir konudur. Eldeki işe göre sensörü seçmek sistemin performansını gözle görülür şekilde artırır, maliyeti düşürür ve ağın ömrünü uzatır.

Bu bölümde sensör düğümlerinin insan, asker ve taşıt şeklinde sınıflandırdığımız hedeflerimizi tespit için uygun olduğunu kabul ettik. İlk olarak

hedeflerin özelliklerini tanımladım. Daha sonra ise hedeflerin bu özelliklerini algılayabilecek sensörleri, sensör gruplarını tanımladım.

7.2.4. Hedef Özellikleri

Bu bölümde amacım aynı kategorideki maddelerin birbirine çokça benzeştiği temel özellikleri ve farklı kategorideki maddelerin birbirinden çok farklı oldukları özellikleri ortaya çıkarmaktır. Aynı zamanda aynı enerji alanını algılayabilen farklı sensör çeşitlerini de irdeledim. [10]

7.2.1.1. İnsan:

Silahsız bir insan çevresini termal, sismik ve akustik olarak etkileme eğilimindedir. İnsan vücudunun sıcaklığı kaynaktan çevreye doğru her yönde kızıl ötesi enerji yayar. İnsan adımları zeminin doğal frekansında çınlamalara, dalgalanmalara neden olan darbeli sinyallerdir. Adımlar aynı zamanda zemindeki sismik etkilerin hızından farklı hızlarda havada seyahat eden darbeli akustik sinyaller üretirler. İnsan vücudu çevresindeki elektriksel alanda değişikliğe yol açan dielektrik bir madde olarak değerlendirilir. İnsan köpekler tarafından kolayca algılanabilen kimyasal bir iz bırakırlar. Özel sensörler bu özel izleri kolaylıkla algılayabilir. Silahsız bir kişi ışık sinyalleri toplar ve yayar; dolayısıyla optik, elektromanyetik, akustik ve ultrasonik sinyalleri yayar ve yansıtır.

7.2.1.2. Asker:

Bir asker silahsız bir kişinin sahip olduğu izden, imzadan çok daha fazla ize sahiptir. Bir askerin silahı ile çelik ve demir içeren diğer teçhizatı taşıdığı farz ve kabul edilmiştir. Sonuçta bir asker silahsız bir kişinin sahip olduğu bıraktığı manyetik izden, imzadan daha fazlasına sahiptir. Askerin manyetik imzası ferromanyetik maddelerin varlığı ile ortaya çıkan manyetik alanın çevresine yaptığı etkiyle ilgilidir. Ayrıca askerin üzerindeki metal eşyalardan dolayı elektro manyetik sinyalleri radar gibi daha çok yansıtır ve yayar.

7.2.1.3. Taşıt:

Bir taşıt çevreyi termal, sismik, akustik, manyetik, kimyasal ve optik açıdan etkiler. İnsanlar gibi araçlar da motor bölgesi ve aracın egzoz çıkışı gibi sıcak

bölgeleri içeren termal imzaları vardır. Hareket eden hem tekerlekli hem de tırtırlı araçlar fark edilebilir sismik dalgalar yayarlar. Özellikle tırtırlı araçlar ritmik seslerden kaynaklanan/dolayı mekanik imza bırakırlar. Araçlar elektriksel ve manyetik alanları insanlarınkinden daha fazla etkileyen kayda değer bir metal yığınının sahiptirler. Araçlar motor çalışmasının yan ürünü olarak karbon monoksit ve karbon dioksit gibi kimyasallar yayarlar. Araçlar aynı zamanda optik, elektromanyetik, akustik ve ultra-sonik sinyalleri yansıtır, saçır ve absorbe eder.

7.2.5.Algılama Seçenekleri

Bu bölümde sensörleri inceledik. Bu sensörler kablosuz sensör ağları için genel anlamda ve projemizde uygun olarak maliyet, boyut ve güç tüketimi konularında iyi uyanlardır. Yaygın sensörlerin çokluğuna rağmen insan, asker ve taşıtı ya da ilgi alanındaki diğer maddeleri algılayan temel bir sensör çeşidi yoktur. Bu yüzden sensörler termal imza ya da ferro manyetik gibi özellikleri algılayan sensörler kullanılabilir. Bu analog değerlerin varlığından yola çıkarak maddenin kendisinin var olduğu sonucuna varılabilir. [10]

Pasif sensörler hedefin manyetik, termal ve akustik imzalarını içeren özelliklerini algılar ve ölçerler. Ultra-sonik ve radar gibi aktif sensörler hedefin varlığını, mesafesini, hızını ve yönünü ölçebilirler. Bu işlemi gönderdikleri sinyali hedefin nasıl değiştirdiği, yansıttığı ve saçtığıyla anlarlar.

Seçimimizde aşağıdaki sensörleri kullandık. [10]

Manyetik: Kuvvetli tarafları:

1. Uzak bölge algılaması,
2. Metal maddelerin ayrımını yapma,
3. Görüş hattı gerektirmeme,
4. Pasif yapılı olma,

Zayıf Tarafları:

1. Yakın bölge algılamasında zayıflık,

2. Kısıtlı algılama menziline sahip olma.

b. Termal:

Kuvvetli tarafları:

1. Mükemmel algılama yeteneği,,
2. Pasif yapılı olma,

Zayıf Tarafları:

1. Frensel lens gereksinimi,
2. Görüş hattı gereksinimi,

c. Akustik:

Kuvvetli tarafları:

1. Uzun algılama menzili,
2. Yüksek doğruluk,
3. Görüş hattına gerek duymaması,
4. Pasif yapıda olması,

Zayıf Tarafları:

1. Yeterli tanımlanamamış hedef niteliklerinin varlığı,
2. Görece yüksek örnekleme,
3. Sinyal işleme işlemi için yüksek zaman ve mekan karmaşıklığı.

d. Kimyasal:

Kuvvetli tarafları:

1. Görüş hattına gerek duymaması,
2. Pasif yapıda olması,
3. gazdan oluşan maddeleri algılayan tek sistem,

Zayıf Tarafları:

1. Birçok kimyasal madde için üretilmiş sensör yokluğu.

e. Elektriksel:

Kuvvetli tarafları:

1. Görüş hattına gerek duymaması,
2. Demir içermeyen hızlı ya da yavaş, soğuk, sesiz, kokusuz, durağan ve gizlenmiş maddelerin temas etmeden algılanması,

Zayıf Tarafları:

1. Elektrot yerleştirilmesi,
2. Zarar verici madde içermesi,
3. Aktif yapısı,
4. Girişim.

f. Sismik:

Kuvvetli tarafları:

1. Uzun algılama menzili,
2. Demir olmayan maddeleri temas etmeden tespiti,
3. Görüş hattına gerek duymaması,
4. Pasif yapıda olması,

Zayıf Tarafları:

1. Zemin bileşenlerine bağlı olarak sinyal propagasyonu,
2. Görece yüksek örnekleme,
3. Frekans spektrumu açısından yüksek zaman ve mekan karmaşıklığı..

g. Ultra-sonik: Kuvvetli tarafları:

1. Çok ekolu işlem yeteneği küçük engellerin de arkasını görmeyi sağlar,

Zayıf Tarafları:

1. Sıcaklık ve neme bağlı olarak değişen sinyal propagasyonu,
2. Görüş hattı gereksinimi,
3. Aktif yapıda olma,
4. Girişim..

7.2.3. Sensör Seçimi

Bundan önceki bölüm sensörlerin özelliklerini ortaya koydu. Kuvvetli ve zayıf taraflarını kablosuz sensör ağlarının ihtiyaçları anlamında değerlendirdi, hangisinin kablosuz sensör ağları için daha uygun olabileceği ortaya konmaya çalışıldı.

Bu bölümde sensör seçimi için problem özelliklerini, tasarımda göz önünde bulundurulacak hususları, hedef niteliklerini ve algılama yöntemlerini bir araya getirdim. Bunların kombinasyonu ile aşağıya sıraladığım hususlar sensör seçiminde göz önünde bulundurulmalıdır. [10]

1. Özel Paket İhtiyacı Olmaması (No Special Packaging): Sensör çevreye adapte olmaya ihtiyaç duymamalı ve özel mekanik donanım ihtiyacı duymamalıdır. Örn: lens, ayna vs.

2. Makul Miktarda Sinyal İşleyebilme (Reasonable Signal Processing): Sinyal algılama ve parametre tahminleri için gerekli algoritmalar platformun kısıtlamalarına göre makul seviyede olmalıdır.

3. Kolay Tesis Edilebilir Olma (Established): Sensörler iyi özelliklendirilmeli, bir çok kaynaktan kolayca ulaşılabilmesi ve satışa sunulmuş halde olmalıdır.

4. Uzun Menzilli Olma (Long Range): Algılama menzili örneklemeler arasında uyumaya yetecek kadar zaman sağlamalıdır.

5. Görüş Hattı İhtiyacı Olmaması (No Line Of Sight): Sensör maddeyi algılamak için onunla direk görüş hattı içerisinde olmamalı, buna ihtiyaç duymamalıdır.

6. Beraber Yerleştirilebilirlik (Co-Locateable): Birbirine yakın iki sensör karşılıklı enterferans meydana getirmemelidir.

7. Yönlendirmede Değişmezlik (Orientation Invariant): Sensörün istikamet açısı ya da yönü ile yükseliş açısı ne olursa olsun çalışabilmeli, sensör her yöne algılama yapabilmelidir.

8. Pasif Çalışma (Passive Operation): Sensör sinyal algılamalıdır. Sinyal yayarak enerjisini gereksiz yere kullanmamalı, var olan sinyalleri algılayarak çalışmalıdır. Sinyal yayması veri alışverişinin hayati öneme sahip olduğu savaş alanlarında sinyalin bastırılabilceği göz önünde bulundurulduğunda çok sağlıklı olmayacaktır.

Hem algılama ve sınıflandırma gereksinimlerini yerine getirebilecek yeterlilikte olan hem de zorunlulukları sağlayabilen sensörü seçtim.

Tablo 4 :İhtiyaçlar Göz Önüne Alındığında Sensörlerin Kuvvetli ve Zayıf Taraflarının Özeti [10]

Sensör Çeşidi	Manyetik	Radar	Termal	Akustik	Kimyasal	Elektriksel	Sismik	Optik	Ultra-sonik
Özel Paket İhtiyacı Olmaması	+				+				
Yönlendirmede Değişmezlik	+	+							
Makul Miktarda Sinyal İşleyebilme	+	+	+	+		+			
Kolay Tesis Edilebilir Olma	+	+	+	+			+	+	+
Uzun Menzilli Olma		+	+	+			+	+	
Görüş Hattı İhtiyacı Olmaması	+	+		+		+	+		
Beraber Yerleştirilebilirlik	+		+	+	+		+	+	
Pasif Çalışma	+		+	+	+		+	+	

Sonuçta probleme yani hedeflerimizin tamamını algılayabilecek ve aralarındaki farkı anlayabilecek yetenekteki sensörleri tanımlama problemimize geri dönelim. Manyetik sensörler tabloya göre askeri ve taşıtı algılama konusunda bize en çok yardımcı olacak olan sensörler olarak birinci sıradadır. Ancak bizim modelimizde hedef nitelikleri göz önüne alındığında asker ve silahsız kişi arasındaki tek fark askerin demir silah, metal taşıyor olmasıdır, dolayısıyla manyetik ayırımın gerekliliği açıktır.

Manyetik ayrımın zorunlu olmasına rağmen yeterli değildir çünkü silahsız kişi tam olarak algılanamayacaktır. Manyetik ve radar sensörler beraber çalışırsa hedefi algılama ve sınıflandırma için gerekli bilgiyi verebilirler. Bununla beraber asker ile taşıt arasındaki farklardan birinin bir bölgedeki manyetik alanı aracın askerden daha fazla etkilediğini hatırlamakta fayda var. Sonuçta aracın algılanma mesafesi askerin algılanma mesafesinden daha fazladır. Eğer sensörün ilk algılamasında hedefin menzilini tespit edebilirsek ya da algılandığında bölgedeki manyetik alanın büyüklüğünü tespit edebilirsek araç mı yoksa insan mı ayırımına varabiliriz. [10]

BÖLÜM 8

ZİGBEE

Zigbee, kablosuz haberleşme teknolojilerinde düşük hız kablosuz kişisel yerel ağ (LR-WPAN, Low-Rate Wireless Personal Area Network) haberleşmesi olarak bilinir. Zigbee teknolojisi, küçük boyutta veri alışverişi ile gerçekleştirilmesi mümkün uygulamalarda düşük maliyetli olması, minimum güç tüketme prensibine dayanması, kurulumunun kolay ve esnek yapıda olması açısından büyük oranda tercih edilmektedir. Bu teknoloji sayesinde karmaşık ağ yapıları kurmak, bunları genişletmek ve bu yapıların diğer teknolojilerle haberleşmesini sağlamak mümkündür . [11]

Teknolojik yönden sık sık batarya değişimi pratik olmadığından oldukça düşük güç tüketimine gerek duyulmaktadır. Bluetooth sistemi kabloyu ortadan kaldıran bir sistem olmasına karşın yüksek karmaşıklığa sahiptir. Bluetooth üniteleri ZigBee'ye göre daha sık batarya değişikliğine gerek duymaktadır. Bu yüzden ZigBee standardı düşük güç ve düşük maliyet ilkesi üzerine tasarlanmıştır. [12]

8.1. Zigbee Tarihi ve Aşamaları

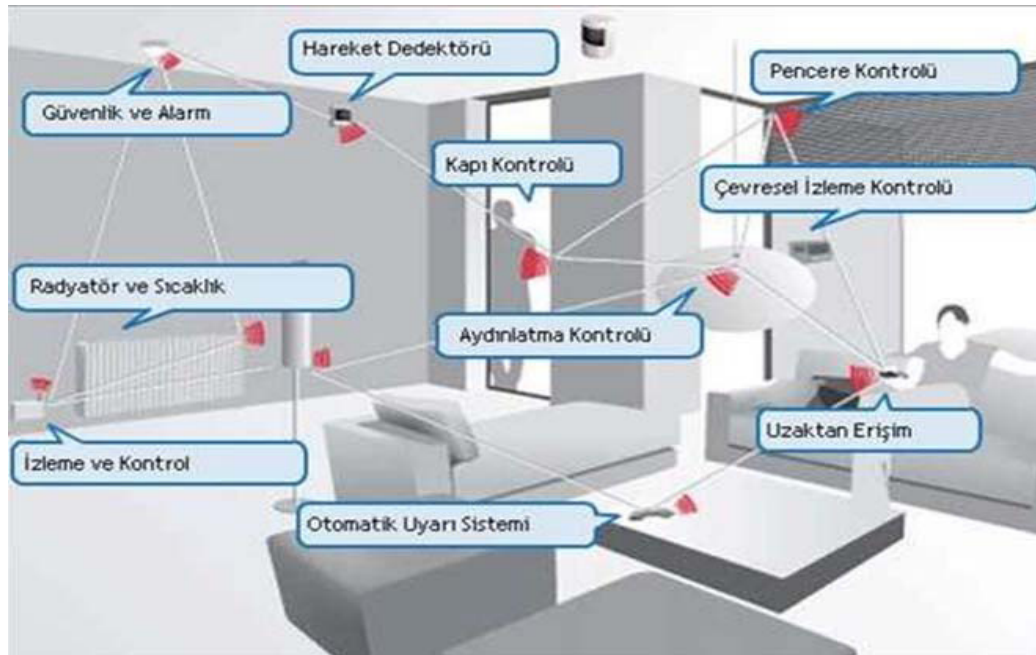
Wi-Fi ve Bluetooth gibi kablosuz haberleşme teknolojilerinin kimi uygulamalarda elverişsiz olmaları nedeniyle 1998 yılından itibaren Zigbee stili ağlar üzerinde çalışılmaya başlanmıştır. Amaç güvenilirliği yüksek, düşük maliyetli, enerji tasarruflu, görüntüleme ve yönetme amaçlı ağlar kurmaya elverişli ürünler ortaya çıkarmaktır. Zigbee teknolojisinin ihtiyacı olan standart IEEE tarafından 802.15.4 standardı Mayıs 2003'te tamamlanmıştır. 14 Aralık 2004 tarihinde Zigbee özellikleri tasdik edilmiştir. Zigbee Alliance, Zigbee teknolojisinin standartlarından sorumlu dünya çapında bir birim olup; güvenilir, düşük maliyetli ve güç tüketimi az ürünler ortaya çıkarmak için birçok firmanın bir araya gelip görüntüleme ve kontrol amaçlı ürünlerin standartları üzerinde çalıştığı bir topluluktur. Bu topluluğun üye sayısı 2005 yılında 200'ü bulmuş ve her yıl bu sayı daha da artmıştır. Bu da Zigbee teknolojisinin önemini göstermektedir. Zigbee, Haziran 2005 tarihinde kullanıma sunulmuştur. Zigbee 2007, yeni teknik özellikleri ile 30 Eylül 2007'de piyasaya sürülmüştür. Son olarak ilk Zigbee uygulama profili olan ev otomasyonu da 2

Kasım 2007’de kullanıma sunulmuştur. [11]

8.2. Zigbee’nin Kullanım Alanları

Zigbee sağladığı avantajlar sayesinde birçok sektörde sensör haberleşmesinde, kontrol ve izleme mekanizmalarında kullanılmaktadır. Zigbee’nin yaygın olarak kullanıldığı bazı sektörler ve bu sektörlerdeki uygulamaları aşağıda belirtilmiştir. [11]

Ticari Bina ve Ev Otomasyonu: HVAC (Isınma, Havalandırma ve Klima Sistemlerinde), ışıklandırma kontrolü, kapı – pencere – panjur – kilit kontrollerinde, ev otomasyonunda müzik ve sinema sistemlerinin kontrolünde, bina içi giriş- çıkış kontrollerinde kullanılmaktadır .



Şekil 11: Zigbee’nin bina otomasyonunda kullanımı

Güvenlik: Güvenlik alarm, yangın-gaz-su detektör sistemlerinde, giriş- çıkış kontrollerinde kullanılmaktadır

Sağlık Sektörü: Hasta takip veya vücut geliştirme antrenmanlarında kontrol amaçlı kullanılır. Kan basıncı, nabız, tansiyon ve diğer medikal bilgilerin izlenmesinde büyük rol oynar

Araçlarda: Araçlardaki mekanizmaların kontrolünde özellikle de

kabloların ulaşamayacağı yerlerde mesela lastiklerin basıncını izlemede kullanılır.

Tarım: Nem, su, sıcaklık, gübre durumu vb. gibi verilerin izlenmesini sağlayarak ürün yetiştirmede optimizasyonu sağlar

Endüstri: Üretim kontrolü, enerji yönetimi, endüstriyel cihazların kontrolünde kullanılır.

Ayrıca taşınabilir servislerin ve aygıtların çevrimiçi (online) ödeme, çevrimiçi kontrol sistemlerinde kullanılır.

8.3. Diğer Kablosuz Teknolojilerle Zigbee'nin Karşılaştırılması

Tablo 5'de görüldüğü üzere Zigbee, pil ömrünün uzunluğu, istenildiği kadar ağ kurma avantajı, sistem kaynaklarını minimumda kullanması sayesinde izleme ve kontrol amaçlı uygulamalarda kullanılabilecek en uygun teknolojidir. Dezavantajı ise Wi-Fi veya Bluetooth'da olduğu gibi büyük boyutlarda veri akışı sağlayamamasıdır. Bu da Zigbee'nin daha çok küçük boyutlarda veri akışının olduğu uygulamalarda kullanılması demektir. Ayrıca Zigbee lisans gerektirmeyen frekans bandını kullanır, kurulumu ucuz ve kolaydır. Esnek ve genişletilebilen ağ yapısına sahiptir. [11]

Tablo 5: Kablosuz Haberleşme Teknolojilerinin Karşılaştırılması

Özellik	Zigbee	GPRS/GSM	Wi-Fi	Bluetooth
<i>Odaklanma Alanı</i>	İzleme ve Kontrol	Geniş alan ses ve veri	Web, E-posta, Görüntü	Kablo Yerine
<i>Sistem Kaynağı</i>	4-32 Kb	16 Mb +	1 Mb +	250 Kb +
<i>Pil Ömrü (Gün)</i>	100-1000 +	1-7	0,5-5	1-7
<i>Ağ Boyutu (adet)</i>	Sınırsız 2 ⁶⁴	1	32	7
<i>Ağ Veri Genişliği (kb/s)</i>	20-250	64-128 +	11000 +	720
<i>Kapsama Alanı (metre)</i>	1-100 +	1000 +	1-100	1-10 +
<i>Başarı Alanları</i>	Dayanıklılık, Maliyet, Güç tüketimi	Ulaşılabilirlik, Kalite	Hız, Esneklik	Maliyet, Rahatlık

8.4. IEEE 802.15.4 Standardı

IEEE 802.15.4 standardı, kablosuz kişisel yerel ağlarında fiziksel (PHY) ve ortam erişim yönetimi (MAC, Medium Access Control) katmanları için oluşturulmuştur. Standardın oluşturulma amacı düşük alt yapı maliyetli, aktarım hızı yavaş ve düşük güç tüketimli kişisel kablosuz ağlar oluşturulmasıdır. 802.15.4 ün özellikleri [11]

- 3 farklı ISM bandı kullanır. ISM (Endüstri, Bilim ve Tıp Bandı), telsiz haberleşmede herhangi bir sertifika veya lisansa ihtiyaç kalmadan sadece belirli bir çıkış gücü sınırlamasına uyularak kullanılan frekans bantlarıdır. Bunun için 3 farklı frekans bandı vardır:

- 868-868.8 MHz aralığı Avrupa’da kullanılır ve sadece 1 kanal içerir. Veri aktarım hızı 20 kb/s’dir.

- 902-928 MHz aralığı Kuzey Amerika’da kullanılır ve öncesinde 10 kanal vardı, 2006 yılı itibarıyla 30 kanal içerir. Veri aktarım hızı 40 kb/s’dir.

- 2400-2483.5 MHz aralığı Dünya genelinde kullanılır ve 16 kanal içerir. Veri aktarım hızı maksimumda 250 kb/s’dir.

- Dinamik adresleme yapabilir.

- Yıldız (star), örgü (mesh) ve noktadan noktaya (peer-to-peer) ağ yapılarını destekler.

- CSMA-CA’yı destekler. CSMA (Carrier Sense Multiple Access) Mekanizmasında, paket transfer etmek isteyen düğüm ilk olarak Clear Channel (Kanal temiz mi?) keşif prosedürünü uygular. Bunun için ortamı belli bir süreliğine dinler. Eğer medya temiz ve boş, herhangi bir veri transferi söz konusu değilse düğüm paketini iletir. Fakat başka bir düğüm tarafından veri iletimi var ise; düğüm veri iletiminden vazgeçer, belli bir süre bekler, tekrardan Clear Channel prosedürünü uygular. Ayrıca aynı anda 2 ya da daha fazla düğümün paketlerini iletmeleri durumunda veriler üst üste gelebilir, bu olay verilerin çarpışmasına (collision) ve paketlerin düşmesine yol açar. Eğer kayıpsız bir iletim isteniyorsa, bu çarpışmalar

fark edilmeli ve düşen paketler yeniden iletilmelidir. CSMA-CA algoritması bu noktada oluşabilecek sorunları önler ve kayıpsız veri iletimini sağlar

- Güvenli ve güvenilir bir iletişim sağlar.

IEEE 802.15.4 standardı yukarıdaki işlemleri iki katmanda gerçekleştirir.

8.4.1. Fiziksel Katman (Physical Layer)

Radyo frekans kontrolü, kanal seçimi, ortamın veri iletimi için uygunluğunun kontrolü (clear channel assesment), verilerin modülasyonu ve demodülasyonu, sinyal yayılımı, yayın alma ve yayın verme işlemlerinin yapıldığı katmandır. [11]

8.4.2. Ortam Erişim Yönetimi Katmanı (MAC)

Güvenilir ve güvenli iletişimi sağlayan katmandır. Her cihazın bir MAC adresi mevcuttur. Bu MAC adresleri 64 bit (long address) ya da 16 bit (short address) olabilmektedir. Bu katmanda paket kriptolama işlemi ve cihazlar arası güvenilir erişim kontrolü yapılır. 802.15.4 standardında MAC katmanı tarafından çeşitli güvenlik servisleri uygulanır. Cihazlar kendilerine gelen paketlere cevap verirken paketler içinde bulunan karşı tarafın MAC adreslerini dikkate alırlar. Bu durumda MAC adresleri özgün, eşsiz olduğundan paketlerin farklı cihazlara gitmesi mümkün değildir

MAC katmanında 3 çeşit güvenlik modu vardır. Bunlar: [11]

1. Güvensiz Mod:

Herhangi bir güvenlik servisi sağlanmadan MAC paketçiklerinin açık metin olarak gönderilmesidir .

2. Erişim Kontrol Listesi Modu (Access Control List Mode):

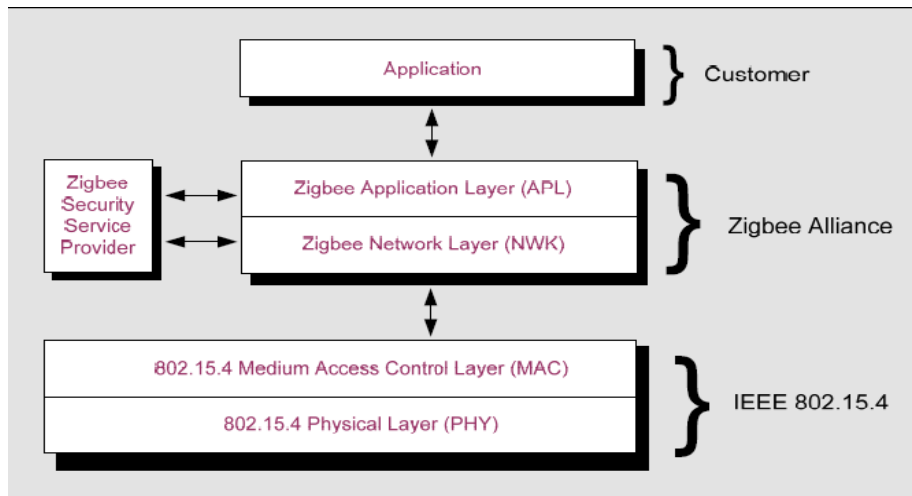
Her bir cihazın MAC adresinin listelenerek, haberleşmesi istenen cihazların donanımlarına yüklenmesiyle sağlanır. Böylelikle yabancı bir cihaz sisteme dâhil olamaz

3. Güvenli Mod:

Bu modda MAC paketçikleri kriptolanır. Kriptolamada AES (Advanced Encryption Standard) kullanılır .

Haberleşme ne kadar güvenli olursa aynı zamanda o kadar da sistem kaynağını tüketir. Bu yüzden ihtiyaca göre güvenlik önlemleri alınmalıdır.

8.5. Zigbee Protokollerinin IEEE 802.15.4 ile İlişkisi



Şekil 12: Zigbee protokolü ile IEEE 802.15.4 standardı arasındaki bağlantı diyagramı

IEEE 802.15.4 standardı Zigbee teknolojisinin MAC ve PHY katmanını oluşturur. Zigbee standardı ise daha üst seviye katmanlar olan ağ ve uygulama katmanlarını tanımlar. En üst katman kullanıcı uygulamaları için ayrılmıştır. Diğer katmanları kısaca özetlersek: [11]

PHY Katman: Radyo frekans haberleşmesini yapar.

MAC Katmanı: İki düğüm arasındaki güvenilir haberleşmeyi sağlar.

Ağ Katmanı: Kompleks ağ topolojilerinde haberleşme düzenini oluşturur.

Uygulama Katmanı: Ağ yönetim fonksiyonlarını, mesaj formatlarını, güvenlik uygulamalarını belirler.

Zigbee, 802.15.4 ün üzerine mantıksal ağ topolojisi kurma, güvenlik ve uygulama özelliklerini ekler.

Zigbee ve IEEE 802.15.4'ün amacı düşük güç tüketimini, düşük maliyeti, geniş mantıksal topolojileri sağlamak, birçok uygulamaya yönelik esnek protokolleri oluşturmaktır.

8.6. Zigbee'de Düşük Güç Tüketimi

Zigbee teknolojisinde düşük güç tüketimini sağlayan birçok etken vardır. Başlıcaları:

- Büyük boyutlarda veri aktarımının olmayışı
- Bu teknolojide diğer teknolojilere oranla daha küçük aygıtların kullanılması
- Veri alışverişi yapmadığı zamanlarda yönlendirici ve koordinatör dışındaki aygıtların uyku modu (sleep mode) durumunda kalmaları
- BPSK ve O-QPSK modülasyon çeşitlerinin çok fazla güç tüketmemeleri
- Kısa zamanlı görev çevrimi (Low duty cycle): yayın alma ve yayın verme sürelerinin çok kısa ve bu iki süreç arasındaki zaman aralığının uzun tutulmasıyla cihazın aktif çalışma zamanı kısaldı, böylelikle daha az güç tüketilir

8.7. Zigbee Araç Tipleri, Ağ Bileşenleri ve Görevleri

Zigbee araçları temelde iki çeşidi baz alır. [11]

İndirgenmiş Fonksiyonlu Cihazlar (Reduced Function Devices) (RFD):

Hafıza, işlem ve güç kapasitesi bakımından sınırlandırılmış düğümlerdir. Ağda sadece Son Aygıt (End Device) olarak görev yapabilirler. Yönlendirici (router) veya koordinatör olamazlar .

Tam Fonksiyonlu Cihazlar (Full Function Devices) (FFD):

Bu aygıtlar daha karmaşık işlemleri yapabilirler. Ağ topolojisinde yönlendirici, koordinatör veya son aygıt olarak görev alabilirler .

Yukarıdaki özellikleri içeren ağdaki Zigbee elemanları:

a-) Zigbee Varsayılan Ağ geçidi (Zigbee Gateway):

Farklı ağlar arasında bağlantı kurulmasını, geçiş yapılmasını sağlar. Bu geçiş Zigbee ağları veya bir Zigbee ağı ile normal internet ağı arasında olabilir. Bu da Zigbee protokolü sayesinde

kontrol ve izleme amaçlı edinilen bilgilerin internet aracılığıyla uzak yerlerden de gözlemlenebileceğini göstermektedir .

b-) Zigbee Son Aygıt (Zigbee End Device): Ağ içerisindeki en zayıf elamandır. Görevi elde ettiği mesajı bir sonraki düğüme iletmektir. Diğer aygıtlara göre daha az enerji tüketirler

c-) Zigbee Koordinatörü: PAN (Personal Area Network) koordinatörü olarak da bilinir. Her Zigbee ağında sadece bir tane vardır. Görevi ağı başlatmak, aygıtlara PAN ID denilen ağ adını atamak, ağ operasyonunu yürütmektir [1].

d-)Zigbee Yönlendiricisi: Düğümler arasında yönlendirme yapmakla görevlidir. Yapılan bu yönlendirmelerle kullanılan ağın kapsamını artırır. Ayrıca adresleme yapılıp yapılmaması işlevini yönetmektedir [1].

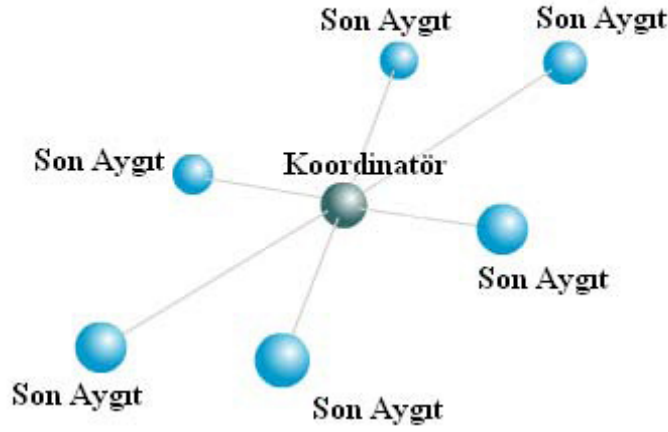
e-) Zigbee Güvenlik Merkezi (Zigbee Trust Center) (ZTC) : Zigbee güvenlik yapısını oluşturur ve yönetir. Aygıt, güvenlik ve ağ yönetimini sağlar [1].

8.8. Zigbee'nin Desteklediği Ağ Topolojileri

Zigbee noktadan noktaya, yıldız, bir noktadan birden çok noktaya veya çok noktadan tek noktaya, ağaç ve örgü topolojileri olmak üzere birçok topolojiyi destekler. [11]

8.8.1. Yıldız Topoloji

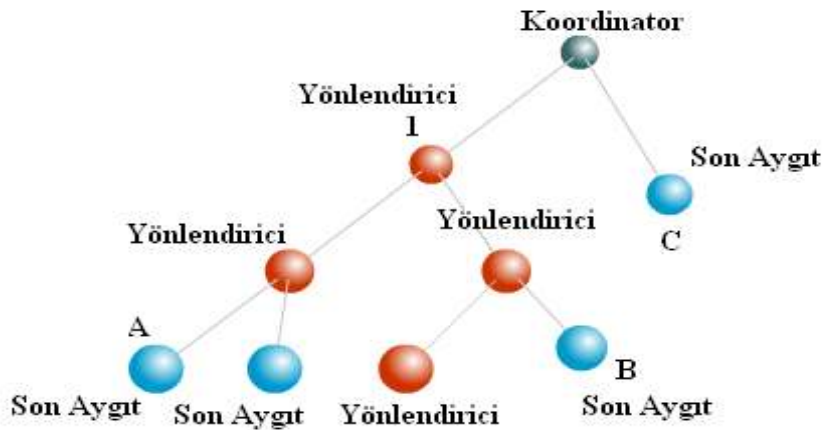
Bu topolojilerde merkezde koordinatör bulunur. Diğer bütün cihazlar noktadan noktaya olacak şekilde koordinatörle iletişim kurarlar. Mesajlaşma koordinatör üzerinden yapılır. Şekil 2.3'te merkezdeki cihaz koordinatör, diğer cihazlar son aygıttır



Şekil 13: Yıldız Topolojisi

8.8.2. Ağaç Topolojisi

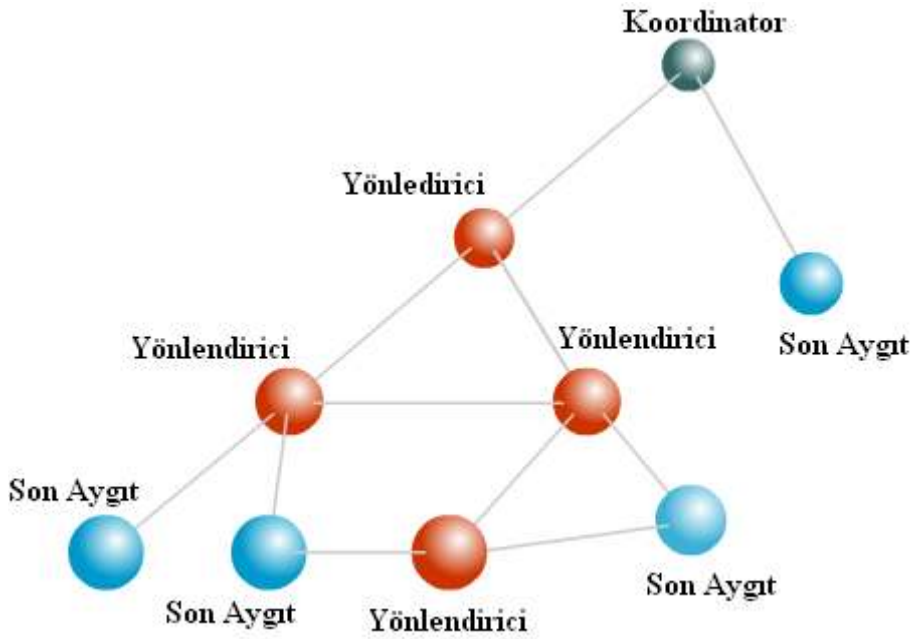
Hiyerarşik bir düzende cihazların birbirleriyle haberleşme biçimidir. Ağaç yapısının en üst noktasında koordinatör bulunur. Bir düşük seviyede yönlendiriciler ve en alt seviyede ise son veya yönlendirici aygıtlar bulunur. Şekil 2.4'te A aygıtının B ile haberleşmesi 1 nolu aygıt üzerinden sağlanırken, C aygıtıyla haberleşmesi koordinatör tarafından sağlanır.



Şekil 14: Ağaç Topolojisi

8.8.3. Örgü Topolojisi

Örgü topolojisi, en çok kullanılan topoloji olup aynı zamanda projede de kullanılmıştır. Bu tarz topolojilerde bütün cihazlar, birbirleriyle AODV (Ad-hoc Ondemand Distance Vector routing) algoritması yardımıyla haberleşmektedir. Eğer gidilecek yön bilinmiyorsa, AODV algoritmasıyla hedef aygıtın nerde ve hangi yönde bulunduğunu bulabilmek için ilk olarak kaynak aygıt yön istek (route request) paketini tüm ağa yayımlar. Bu paket içerisinde paketin dizi numarası, hedefin ağ adresi, metrik bilgisi alanı ve kaynağın ağ adresi bulunmaktadır. Metrik, cihazlar arasında haberleşme yapılırken en avantajlı yolun bulunmasında üretici firma ve çeşitli standartlar tarafından parametreler kullanılarak hesaplanan maliyet bilgisidir. Yön istek yayını alan diğer cihazlar, yalnızca yön istek paketini gönderen kaynağa gitmek istediği cihaza gidebileceği yönü metrik bilgisiyle iletir. Birden fazla cihazdan yön istek paketine cevap alındığında, metrik maliyeti en düşük olan yoldan veri paketi yollar.



Şekil 15: Örgü Topolojisi.

BÖLÜM 9

KABLOSUZ SENSÖR AĞLARI İLE HUDUT GÜVENLİĞİ

Şekil 22’de de görüldüğü gibi sensör ağları hudut boyuna döşenerek ya da daha önceki bölümlerde anlatıldığı şekillerden biri ile yerleştirilerek hudut güvenliği artırılabilir.

Burada kullanılacak sistemi 3 bölüme ayırılır.

1. Algılama/Sensör Bölgesi
2. 1’inci Seviye Gözlem ve Müdahale Unsurları Bölgesi
3. 2’nci Seviye Gözlem ve Müdahale Unsurları Bölgesi

9.1. Algılama/Sensör Bölgesi

Bu bölgede manyetik ve radar sensörlerinden karışık şekilde yerleştirilmiş kablosuz sensörler bulunur. Algılama işlemini yapacak olan kablosuz sensör düğümleri adından da anlaşılacağı gibi kablosuz olarak birbirleri ile haberleşirler, kendiliklerinden ve müdahale gerektirmeden organize olur ve ağı kurarlar. Grup grup kurulan sensörlerden bir tanesi algılama mesafesini uzun tutarak düğümün enerji tasarrufu için uyanık kalır ve algılama yapar, diğer düğümler uyur ancak uyanık düğüm uyanmaları gerektiği konusunda ikaz yayını yapınca uyanırlar. Uyanmayı müteakip algılama işlemlerini yürütürler.

Haberleşme çok atlamalı olarak yapılır. Haberler merkez düğüme ulaşmasını müteakip merkez düğüm tarafında aralarında gene kablosuz haberleşme olan 1’inci seviye gözlem yerine iletilir. Algılanan şeyin silahsız kişi, asker ya da araç ayrımına düğümlerde varılır. Gözlem bölgelerine sadece ne olduğu ve yeri konusunda bilgi verilir.

Oluşturulacak olan algılama bölgesi ve sensör düğümleri şu özelliklere sahip olmalıdır.

- * Algılama alanında kümeler oluşturulur ve sistem bu şekilde yönetilir.

- * Sensör düğümleri düşük miktarda enerji kullanır.
- * Düğümlerde var olan bellek çoğunlukla algılama ve sınıflandırma için daha sonra haberleşme için kullanılır.
- * Düğümler iş bölümü yaparak bellek şişmelerinin ve fazla enerji kullanımının önüne geçerler.
- * Ağ kendi kendine yani müdahale gerektirmeden örgütlenir.
- * Ağ gözetimsiz, erişimi zor bölgelere ortamlarda çalışabilirler
- * Ağ değişen ağ durumlarına devingen olarak tepki gösterebilirler
- * Ağa uzaktan erişim olanağını vardır.
- * Sensörler pasif ve her yöne açık sensörlerdir.
- * Sensörler manyetik alan ve sıcaklık tabanlı çalışırlar.
- * Sensör düğümünün maliyeti kolayca göz ardı edilebilecek kadar düşüktür.
- * Sensör düğümleri çok sıcak ve çok soğuk gibi farklı ve zor tabiat koşullarında çalışır.
- * Sensör düğümleri haberleşme için görüş alanına ihtiyaç duymaz
- * Sensör düğümleri çok yoğun yerleştirilseler dahi çalışabilirler.
- * Ağa ilave düğüm ile çalışma aksamaz, yeni düğümler ağa kolayca adapte olur.
- * Ağ 8.1 IEEE 802.15.4 haberleşme standardını kullanır.

9.2. 1'inci Seviye Gözlem ve Müdahale Unsurları Bölgesi

Algılama bölgesinden gelen veriler 1'inci seviye gözlem bölgesinde sesli ve ışıklı bir ikaz sistemi ile gözlem istasyonunu başında bekleyen görevliye iletilir. Görevli tarafından ağdan gelen habere göre Askarad ya da gece görüş cihazı gibi diğer gözetleme vasıtaları da bilginin geldiği bölgeye doğrultulur ve bilgi netleştirilir. Daha sonra tehdit derecesine göre merkezde bulunan ani müdahale timleri imkanları nispetinde ve ihtiyaç dahilinde kademe kademe ihtiyaç karşılanacak şekilde yasak giriş yapılan bölgeye gönderilir. Gönderilen müdahale vasıtası silahsız insan için sadece birkaç kişi olabileceği gibi araç ya da çok sayıda silahlı asker için manga ya da takım bile olabilir.

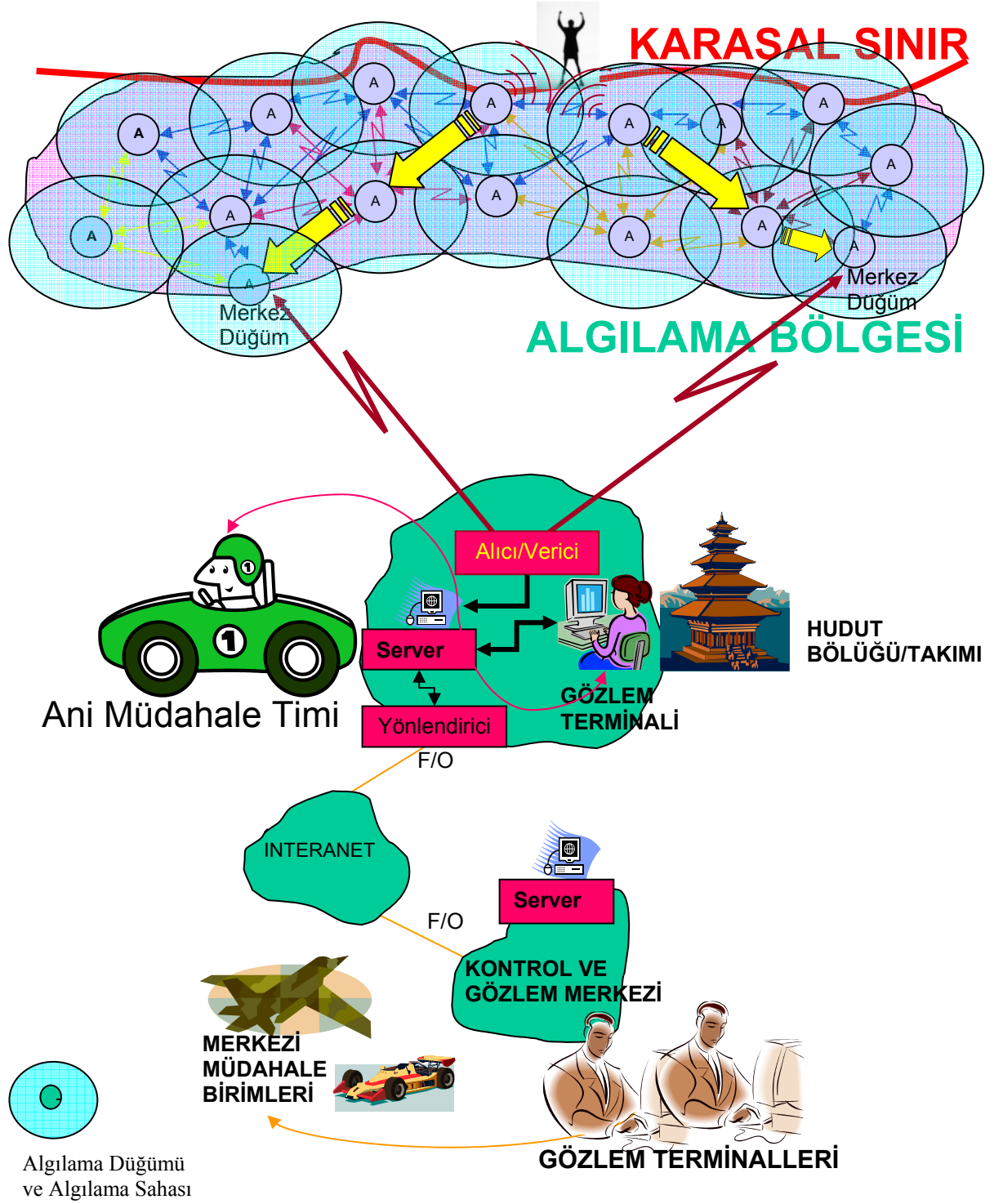
Algılanan hedeflerin bilgileri 1'inci seviye gözlem bölgesinde oluşturulan bir istemcide muhafaza edilir ve gözlemci bu istemcide toplanan verileri gerçek zamanlı olarak görür. Toplanan veriler bir veri tabanında (örn:Oracle vb) saklanır. Depolanan veriler daha sonraki zamanlarda da kullanılabilmesi için saklanır. Böylelikle zaman içerisinde saha fazla tehlike arz eden bölgeler yapılan illegal giriş miktarına bağlı olarak sınıflandırılabilir ve farklı tedbirler alınabilir.

Bu seviyedeki gözlem merkezleri hudut bölüklerinin ya da takımlarını sorumluluk sahalarının büyüklüğüne ve arazinin karmaşıklığına bağlı olarak takım ya da bölük seviyesinde teşkil edilir. Örn: Dağlık Irak hududunda Takım seviyesinde teşkil edilirken düz Suriye sınırında Tabur seviyesinde teşkil edilebilir.

9.3. 2'nci Seviye Gözlem ve Müdahale Unsurları Bölgesi

1'inci seviye gözlem istasyonunda var olan sunumcunun üzerindeki veriler TSK'ne ait bir İntranet vasıtasıyla daha üst seviye bir birlikte (Alay ya da Tugay) toplanır ve burada genel tehdit ve tehlike analizi yapılır. Burada da verilerin saklandığı bir istemci ve gözlemlerin yapıldığı bir merkezi gözlem istasyonu vardır.

Bu seviyede bulundurulmuş müdahale kuvveti daha büyük ve daha fazla imkan ve kabiliyete sahip olurlar. 1'inci seviye gözlem ve müdahale merkezleri hududa daha yakın, 2'inci seviye ise daha uzağa ve alt seviye merkezleri kontrol ve koordine edebileceği merkezi bir yere kurulur.



Şekil 16 : Kablosuz Sensör Ağları ile Karasal Hududun Korunması

BÖLÜM 10

SONUÇ

Tezimde bahsettiğim her şey mimari tasarımıdır, bahse konu olan sensör düğümü ya da merkezi denetim birimi ile kablosuz sensör ağları maddi imkansızlıklar sebebi ile hayata geçirilememiştir. Mimari tasarımının dahi hudut güvenliği ile ilgilenen kurum ve kuruluşlarda güvenliği arttırıcı birtakım hareketlenmelere yol açma olasılığı tezin geçerlilik kazanmasına yeteceği kanaatindeyim.

Başlangıç aşamasında yapmayı planladığımız merkezi birimdeki ya da yerel birimlerdeki tehdit algoritmasını hayata geçiremedik, çünkü yaptığım literatür araştırmasında bunun gerekli olmadığını gördüm. “A line in the sand: A wireless sensor network for target detection, classification, and tracking” isimli makalede bahse konu olan tespit ve sınıflandırma metodu böyle bir tehdit algoritmasının gerekli olmadığına inandırdı bizi. Bu makalede anlatıldığı şekilde algılama ve sınıflandırma yapılarak var olan tehdit seviyesi belirlenmiş olacaktır.

Bu tezle kablosuz sensör ağlarının daha önce hiç düşünülmediği kadar büyük bir ölçekte kullanımının sağlanabilmesi durumunda karasal sınırları korumanın özellikle zor olduğu sarp arazi kesimlerinde de güvenliğin had safhaya çıkarılabileceğini ortaya koydum. Ayrıca kablosuz sensör ağlarının taşınabilir hale getirilmesi ile teröristlere yönelik yapılan operasyonlarda ya da araziye çıkan birliklerin de çevre emniyeti maksadı ile kullanılabileceğini gösterdim.

Bu tezde Türkiye’nin kara sınırlarını nasıl koruduğunu gördükten sonra olası yasa dışı girişleri engelleyebilmek maksadı ile kullanılabilecek olan kablosuz sensör ağlarından bahsettim. Sırası ile kablosuz sensör ağları, kullanılan sensör düğümü ve bileşenleri, sensör ağlarını kullanım alanları, sensör ağları haberleşme mimarisini, sensör ağlarının çalışma ilkeleri, kablosuz sensör ağlarının yönetimi, kablosuz sensör ağlarında veri gizliliği, hudut güvenliği için kullanılacak sensör çeşidi ve kullanılabilecek IEEE standardı olan Zigbee’den bahsettim.

Kablosuz sensör ağlarının hudut boyunca döşenmesi ve yerleştirilecek olan merkezi bir kontrol istasyonu ile ağın denetiminin ve gözetiminin yapılmasının

karasal hudutlardaki güvenliği azami seviyeye çıkarabileceğini vurguladım. Böyle bir sistemin getireceği ana fayda hudutların daha fazla ve sıkı kontrolü ile yasadışı giriş ve ıkışları daha iyi görmek ve olası sıcak çatışmalardan askerleri olabildiğince uzak tutmak maksadı ile insan sayısında azaltmaya gitmektir.

Bu sistemin faydalı olacağı konusunda şüpheler olmamakla beraber halihazırda benzer bir sistem dünyanın gerek gelişmiş ülkelerinde gerekse gelişmekte olan ülkelerinde henüz kullanılmamıştır ve bununla ilgili bir örneğe rastlanılmamıştır. Halihazırda kullanılan hudut denetleme ve gözetleme sistemleri kameralar, gece görüş cihazları ve bunları 24 saat gözetleyen insan temelli gözetleme kuleleri üzerine kuruludur.

Bahse konu olan ve teklif edilen kablosuz sensör ağları temelli denetleme sistemi hudut güvenliğinin yanı sıra iç güvenlik bölgesinde operasyon icra edecek olan birlikler için de kullanılabilir. Rasgele dağıtılması zaman kazandıracak, maliyetinin düşük olması tekrar toplanmasını gerektirmeyecek ve kendi kendine organize olması ise ayar gereksinimi doğurmayacağı için i güvenlikteki operasyon birliklerine sensörleri ve bunların bağlı olduğu gözlem istasyonunu taşımanın haricinde ekstra külfet getirmeyecektir. Bunun yanı sıra emniyeti maksimuma çıkararak pusu ve baskınları bertaraf etme şansı verecektir. Sonuçta da operasyonlarda da daha az zayıat verilecektir.

Bu bahsettiğim hususlara ilave olarak mimarisini tasarladığım kablosuz sensör ağları ile karasal hudut güvenliği konusunda gelecekte de pek çok araştırma konusu gündeme gelecektir. Bunların başında kablosuz sensör ağlarının temelini oluşturan ve dolayısı ile tezimdeki tasarımın temelini oluşturan kablosuz haberleşme yapabilen, ucuz, uzun ömürlü ve kendiliğinden organize olabilen sensör düğümleri ile ilgili çalışmalar ağırlık kazanacaktır. Buna ilaveten bu düğümlerin daha verimli çalışmasını sağlayacak olan enerji etkin algoritmalar da gündemdeki yerini kaybetmeyecektir.

KAYNAKLAR

- [1] Çelik, G. “Simulation Modeling And Analysis Of Border Security System”, Ankara, 2002
- [2] Akyildiz, I. F., W. Su, Y. Sankarasubramaniam ve E. Cayirci, “Wireless Sensor Networks: A Survey”, School of Electrical & Computer Engineering Georgia Institute of Technology, 2002
- [3] Kalaycı, T.E. “Kablosuz Sensör Ağları ve Uygulamaları”, İzmir, 2005
- [8] Yu, M; Mokhtar, H; Merabti, M; “A Survey Of Network Management Architecture in Wireless Sensor Network”; School of Computer and Mathematical Science, Liverpool, UK
- [9] Öztürk, C.; Karaboğa, D.; “Kablosuz Sensör Ağları Dolaşımında Veri Gizliliği”; Erciyes Üniversitesi, KAYSERİ
- [10] Arora, A., P. Dutta, S. Bapat, V. Kulathumani, H. Zhang, V. Naik, V. Mittal, H. Cao, M. Gouda, Y. Choi, T. Herman, S. Kulkarni, U. Arumugam, M. Nesterenko, A. Vora, and M. Miyashita, “A line in the sand: A wireless sensor network for target detection, classification, and tracking,” Computer Networks Journal, Oct. 2004
- [11] Arslan, O, “ZIGBEE ile Bina İçi Güvenlik Otomasyon Sistemi” İstanbul Teknik Üniversitesi Elektrik – Elektronik Fakültesi, Bitirme Ödevi, 2009 İSTANBUL
- [12] Kahveci, S., Türk, K., Kaya, İ., “IEEE 802.15.4 (ZigBee) Standartının 2.4 GHz ISM Bandında Kapasite Analizi”, KTÜ, Trabzon

- [13] Mainwaring, A., Polastre, J., Szewczyk, R., Culler, D., Anderson, J., “Wireless Sensor Networks for Habitat Monitoring” Intel Research Laboratory, Berkeley, University of California at Berkeley, College of the Atlantic Maine.
- [14] Baumgartner, B., Robert, S., “Poster Abstract: Architecture of a Scalable Wireless Sensor Network for Pollution Monitoring”, İsviçre,
- [15] Römer, K., Mattern, F., “The Design Space of Wireless Sensor Networks”, Zurich,
- [16] Lewis, F.L., “Wireless Sensor Networks”, University of Texas, Texas,
- [17] Dutta, P., Grimmer, M., Arora, A., Bibyk, S., Culler, D., “Design of a Wireless Sensor Network Platform for Detecting Rare, Random, and Ephemeral Events”, The Ohio Uni. Ohio, Crossbow Technology California, University of California, Berkeley
- [18] Du, X., Chen, H., “ Security in Wireless Sensor Networks”, IEEE Wireless Communications, Ağustos 2008

KAYNAKLAR-İNTERNET

- [4] <http://www.btnode.ethz.ch/> Ekim 2009
- [5] <http://webs.cs.berkeley.edu/nest-index.html> Kasım 2009
- [6] <http://research.cens.ucla.edu/> Aralık 2009
- [7] <http://en.wikipedia.org/w/index.php> Aralık 2009

ÖZGEÇMİŞ

01 Şubat 1980 Çıldır, ARDAHAN doğumluyum. İlköğretimi Bornova, İZMİR’de tamamladım. 1993 yılında Maltepe Askeri Lisesine girdim ve 1997 senesinde mezun oldum. Aynı sene Kara Harp Okuluna başladım. Sistem mühendisliği bölümünde lisans eğitimi aldım. 2002 yılında mezun oldum ve teğmen olarak subaylık hayatıma başladım. 2002 yılından itibaren TSK içerisinde farklı kademe ve görevlerde meslek hayatıma devam ettim. 3 yıl Patnos, Ağrı’da çalıştım. 1 yıl Siirt ve Şırnak bölgelerinde görev yaptım. 2006 yılından beri İstanbul’da haberleşme sistemleri ile ilgili bir birlikte görev yapmaktayım. 2007 yılında da BEYKENT Üniversitesinde Bilgisayar-Matematik Anabilim Dalı altında “Bilgisayar Ağları ve İnternet Teknolojileri” konulu bilim dalında yüksek lisans eğitimime başladım.

Özel ilgi alanım uluslar arası ilişkiler ve davranış bilimleridir.

Yabancı dilim İngilizce olup evliyim ve bir çocuk babasıyım.

Aday: Volkan TAŞ