

**KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLARININ IEEE 802.15.4
STANDARDINA GÖRE SİMÜLASYONU**

**SIMULATION OF WIRELESS SENSOR NETWORKS
ACCORDING TO THE IEEE 802.15.4 STANDARD**

HAKAN NOYAN

Hacettepe Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim – Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin
ELEKTRİK ve ELEKTRONİK Mühendisliği Anabilim Dalı İçin Öngördüğü
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak hazırlanmıştır

2009

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü'ne,

Bu çalışma jürimiz tarafından **ELEKTRİK ve ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Başkan:

Doç. Dr. Ali Ziya ALKAR

Üye:

Yrd. Doç. Dr. Harun ARTUNER

Üye:

Yrd. Doç. Dr. Emre AKTAŞ

Üye:

Yrd. Doç. Dr. Cenk TOKER

Üye:

Dr. Umut SEZEN (Tez Danışmanı)

ONAY

Bu tez .../.../2009 tarihinde Enstitü Yönetim Kurulunca kabul edilmiştir.

.../.../2009

Prof. Dr. Erdem YAZGAN

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLARININ IEEE 802.15.4 STANDARINA GÖRE SİMÜLASYONU

Hakan Noyan

ÖZ

Belirli bir alanda gözetleme ve kontrol amaçlı kullanılması için öngörülen kablosuz algılayıcı ağlarının önemi son yıllarda artmıştır. Bundan dolayı da simülasyon ve geliştirme araçlarına olan ihtiyaç da artmıştır. Kablosuz algılayıcı ağlarının standartlaştırılması için, 2003 yılından beri gelişmekte olan IEEE 802.15.4 standardı tanımlanmıştır. Günümüzde birçok simülasyon aracı kablosuz algılayıcı ağları için kullanılmaktadır. Fakat, çok azı IEEE 802.15.4 standardını ve kablosuz algılayıcı ağları simülasyonu için önemli olan enerji modellerini tam olarak desteklemektedir.

Bu tezde, simülasyon aracı olarak Tcl/Java programlama dilini kullanan ve etkin bir simülasyon ortamı olan J-Sim kullanılmıştır. Halihazırda J-Sim ortam erişim kontrolü içerisinde sadece IEEE 802.11 standardını desteklenmektedir. Bu tez kapsamında, J-Sim ortam erişim kontrolü IEEE 802.15.4 standardını da destekleyecek şekilde genişletilmiştir. Ayrıca IEEE 802.15.4 standardının enerji gereksinimlerini karşılayabilmek için J-Sim'in enerji modeli iyileştirilmiştir. Akın yönlendirmesi simülasyonda yönlendirme protokolü olarak kullanılmıştır. IEEE 802.15.4 standardının enerji kullanımı ve ağdaki taşınan veri paketlerinin sayısı test edilip, IEEE 802.11 standardı ile karşılaştırılmıştır. IEEE 802.15.4 standardı kullanıldığında enerji kullanımı ve ağdaki taşınan veri paketlerinin sayısında düşüş gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kablosuz algılayıcı ağları, WSN, Tcl/Java, simülasyon, IEEE 802.15.4, Enerji modelleri.

Danışman: Dr. Umut Sezen, Hacettepe Üniversitesi, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği bölümü.

SIMULATION OF WIRELESS SENSOR NETWORKS ACCORDING TO THE IEEE 802.15.4 STANDARD

Hakan Noyan

ABSTRACT

Wireless sensor networks, which are proposed to be used for monitoring and controlling events in an area, have gained considerable importance in the past few years. As a result, the need for simulation and development tools are also increased. IEEE 802.15.4 standard, being developed since 2003, is defined for the standardization of wireless sensor networks. Today lots of simulation environments can be used to simulate a WSN, but a few of them supports the IEEE 802.15.4 standard. Also, only a few of them fully supports the energy model, which is very important for a WSN simulation.

In this thesis, J-Sim, which is an efficient simulation environment based on the Tcl/Java programming language, is used as the main simulation tool. Medium access controller of J-Sim currently only supports the IEEE 802.11 standard. Within the scope of this thesis, Medium access controller of J-Sim is extended to support the IEEE 802.15.4 standard. Energy model of J Sim is also enhanced to support some of the IEEE 802.15.4 standard's energy requirements. Flooding routing has been implemented as the routing protocol of the simulation environment. IEEE 802.15.4 standard's energy usage and transferred data packet numbers in the network were tested and compared with IEEE 802.11 standard. It was seen that energy usage and transferred packed number in the network decreased, when IEEE 802.15.4 standard is implemented.

Keywords: Wireless sensor networks, WSN, Tcl/Java, Simulation, IEEE 802.15.4, Energy models.

Advisor: Dr. Umut Sezen, Hacettepe University, Department of Electrical and Electronics Engineering

TEŐEKKÜR

Çalıőmalarıma yaptığı katkılar ve değerli yönlendirmelerinden dolayı Dr. Umut Sezen'e çok teőekkür ederim.

Beni her zaman destekleyen ve yardımcı olan aileme çok teőekkür ederim.

İş arkadaşım Gülsev Nurhan Karabıyık'a tezimle ilgili düzeltmelerde bana yardımcı olduğu için teőekkür ederim.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

1 GİRİŞ.....	1
2 KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLARI.....	5
2.1 Kablosuz Algılayıcı Ağlarında Kullanılan Topolojiler.....	5
2.2 Kablosuz Algılayıcı Ağlarının Tasarımında Önemli Noktalar.....	6
2.2.1 Ağ bağlantılarının oluşturulması.....	6
2.2.2 Ağdan bilgi toplanması.....	7
2.2.3 Ölçeklenebilme ve ağ yönetimi.....	8
2.2.4 Düğümlerin dağıtılması.....	8
2.2.5 Adresleme teknikleri.....	8
2.2.6 Atlamalı iletişim şekli.....	9
2.3 Kablosuz Algılayıcı Ağları Örneklerinin İncelenmesi.....	9
2.4 Yönlendirme.....	12
2.4.1 Yönlendirme yolunun nasıl bulunduğuna göre sınıflandırma.....	13
2.4.2 Ağ yapısına göre sınıflandırma.....	14
2.4.2.1 Homojen ağlarda yönlendirme.....	14
2.4.2.2 Hiyerarşik ağlarda yönlendirme.....	18
2.4.2.3 Yer belirlemeli ağlarda yönlendirme.....	19
2.4.3 Protokol işleyişine göre sınıflandırma.....	20
2.4.3.1 Uzlaşmaya dayalı yönlendirme.....	20
2.4.3.2 Çoklu yola dayalı yönlendirme.....	21
2.4.3.3 Sorgulamaya dayalı yönlendirme.....	21
2.4.3.4 Servis kalitesine dayalı yönlendirme.....	22
2.4.3.5 Tutarlı yönlendirme.....	22
3 IEEE 802.15.4.....	23
3.1 IEEE 802.15.4'de iletişim senaryoları.....	26
3.2 Bazı IEEE 802 Standartlarının Karşılaştırılması.....	29
3.3 IEEE 802.15.4 Standardına Neden İhtiyaç Duyulmuştur ?.....	31
3.4 IEEE 802.15.4'te güvenlik unsurları.....	32
4 J-Sim.....	33
4.1 J-Sim ve Tcl/Java.....	33
4.1.1 Tcl/Java.....	33
4.1.2 ACA (Autonomous Component Architecture).....	34
4.2 J-Sim'in Simülasyon Ortamı Olarak Seçilmesinin Nedenleri.....	35
4.3 J-Sim KAA Simülasyonu Yapısı.....	38
4.3.1 Uyarıcı bileşen.....	39
4.3.2 Algılayıcı düğümler.....	41
4.3.3 Toplayıcı düğümler.....	43
4.3.4 Uyarıcı kanal.....	45
4.3.5 Kablosuz kanal.....	45
5 Simülasyon ve Simülasyonun Doğrulanması.....	46
5.1 J-Sim MAC protokolü.....	46
5.1.1 Ortam erişim kontrolü yönetim bilgisi tabanı.....	47
5.1.2 Fiziksel yönetim bilgisi tabanı.....	48
5.1.3 Veri şablon yapıları.....	49
5.1.4 Zamanlayıcılar.....	50

5.2 J-Sim'de kullanılmak üzere geliştirilen veri toplama bileşeni yapısı.....	51
5.3 İyileştirmesi yapılan enerji modelinin detayları.....	52
5.4 Gerçekleştirilen Simülasyonlar.....	53
5.4.1 Algılayıcı düğümlerin sabit durduğu, uyarıcı bileşenlerin belirli bir yol izlediği senaryonun incelenmesi.....	54
5.4.2 Algılayıcı düğümlerin sabit durduğu, uyarıcı bileşenlerin rastgele yol izlediği senaryonun incelenmesi.....	56
5.4.3 Düğümler arası uzaklığın etkilerinin incelendiği senaryo.....	58
5.4.4 Algılayıcı düğümlerin belirli şekilde dağıtıldıkları ve uyarıcı bileşenin doğrusal hareketliliğinin incelendiği senaryo.....	60
5.4.5 Algılayıcı düğümler ve uyarıcı bileşenlerde rastgele hareketliliğinin incelendiği senaryo.....	64
6 Sonuçlar.....	66
EKLER.....	73
EK 1: Değişiklik yapılan ve kullanılan dosyalar.....	73
EK-2 Simülasyon ortamları	76
Ns-2.....	76
GloMoSim.....	76
OPNET.....	77
SensorSim.....	77
J-Sim.....	78
SENSE.....	78
OmNet++.....	79
Sidh.....	79
SENS.....	79
EK-3 Ağ yapısına göre yönlendirme protokolleri.....	80
Homojen ağ yapısına göre yönlendirme.....	80
Hiyerarşik ağ yapısında yönlendirme.....	85
Yer belirlemeli ağ.....	88
EK-4 Uyarıcı düğüm bileşenleri.....	90
Target agent.....	90
SensorPhy.....	90
EK-5 Sensör düğüm bileşenleri.....	91
ID bileşeni.....	91
RT.....	91
AdHocRouting.....	91
SensorApp.....	91
Wireless agent.....	91
PktDispatcher.....	92
LL (Link Layer).....	92
ARP.....	92
Queue.....	92
Mac_802_15_4.....	92
WirelessPhy.....	93
CPU model.....	93
Battery model.....	93
Radio model.....	94
Sensor agent.....	94
SensorPhy.....	94
SensorPropagationModel ve SensorMobilityModel.....	94

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1: Örnek algılayıcı ağı gösterimi.....	1
Şekil 2: Yıllara göre düğümlerin boyutlarındaki gelişme	2
Şekil 3: Bir algılayıcı düğümünün boyutları (Mica - mote).....	3
Şekil 4: Örnek KAA topolojisi.....	5
Şekil 5: Yönlendirme kategorileri.....	12
Şekil 6: Akın yönlendirmesinin nasıl yapıldığını gösteren şekil.....	15
Şekil 7: YDA için örnek gösterim.....	16
Şekil 8: Yıldız ve uçtan uca ağ yapıları örnekleri	23
Şekil 9: IEEE 802.15.4 katman yapısının gösterimi.....	25
Şekil 10: Başarılı aktarma senaryosu.....	27
Şekil 11: Kayıp veri çerçevesi olan aktarma senaryosu.....	28
Şekil 12: Kayıp ACK sinyali olan aktarma senaryosu.....	29
Şekil 13: ACA yapısı	34
Şekil 14: Genel KAA J-Sim bileşenlerinin yapısının gösterimi.....	39
Şekil 15: Uyarıcı bileşenin iç yapısının gösterimi	40
Şekil 16: Algılayıcı düğümünün bileşen yapısının gösterimi.....	41
Şekil 17: Toplayıcı düğümün bileşen yapısının gösterimi.....	44
Şekil 18: TcI'de veri toplamak için örnek yapının gösterimi.....	51
Şekil 19: KAA simülasyonunda kullanılan enerji modellerinin genel görünümü.....	53
Şekil 20: Algılayıcı düğümlerin sabit, uyarıcı bileşenin belirli bir yol izlediği senaryo	55
Şekil 21: Uyarıcı bileşenin algılayıcı alanında rastgele izlediği yolun gösterimi	57
Şekil 22: Olası yönlendirme yolu üzerinde yoğunluğun değişmesinin incelenmesi	58
Şekil 23: Kenar uzunluğu 50 metre olan karelerin köşelerine yerleştirilmiş algılayıcı düğümler ve simülasyon sonunda kalan enerji miktarlarının gösterimi.	60
Şekil 24: Kenar uzunluğu 50 metre olan eşkenar üçgenlerin köşelerine yerleştirilmiş algılayıcı düğümler ve simülasyon sonunda kalan enerji miktarlarının gösterimi.....	61
Şekil 25: 2D Gaussian ve standart sapmanın 125 m olduğu dağılıma göre yerleştirilmiş algılayıcı düğümler ve simülasyon sonunda kalan enerji miktarlarının gösterimi.....	62

TABLolar DİZİNİ

Simgeler ve kısaltmalar.....	ix
Türkçe – İngilizce terimler.....	xii
Ağ yoğunluğu formülü.....	8
Bazı kablosuz standartlar ve karşılaştırılması.....	30
MAC_MIB değişkenleri.....	48
İşaretleyici zamanı.....	48
PHY_MIB değişkenleri.....	49
Şablon yapısı.....	50
Bölüm 5.4.1 simülasyon sonuçları.....	56
Bölüm 5.4.2 simülasyon sonuçları.....	56
Düğümle rin Y=250 m eksenine göre olan bağı l uzaklıklarının toplamı.....	59
Bölüm 5.4.3 simülasyon sonuçları.....	59
Bölüm 5.4.4 simülasyon sonuçları.....	63
Bölüm 5.4.5 simülasyon sonuçları.....	64
EK 1 de ğiş iklik yapılan dosyalar.....	73
EK 1 de ğiş iklik yapılan dosyalar Dot15 4 sınıfı için.....	73

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AA	algılayıcı ağları
AAASA	algılayıcı ağlarında aktif sorgulamalı aktarma
ABDAP	anlaşarak bilgi edinmeye dayalı algılayıcı protokoller
ACA	bağımsız bileşen mimarisi (autonomous component architecture)
ACQUIRE	algılayıcı ağlarında aktif sorgulamalı aktarma (active query forwarding in sensor networks)
AdCoA	adaptif coğrafik aitlik
AFC	azaltılmış fonksiyonlu cihaz
API	uygulama arayüzü (application interface)
ASG	alınan sinyal gücü (received signal strength; RSS)
ASK	genlik kaydırmalı anahtarlama (amplitude shift keying)
BPSK	ikili faz kaydırmalı anahtarlama (binary phase shift keying)
CDMA	kod bölmeli çoklu erişim (code division multiple access)
CPU	merkezi işlemci ünitesi (central processing unit)
CUY	coğrafik uzaklık yönlendirmesi
DEAKH	düşük enerjili adaptif kümelendirme hiyerarşisi
DSSS	düz sıralı yayılmış spektrum (direct sequence spread spectrum)

DSYS	düz sıralı yayılmış spektrum
EDMAA	en düşük maliyetli aktarım algoritması
FFD	tam fonksiyonlu cihaz (fully functioning device)
GPS	küresel yer belirleme sistemi (global positioning system)
GSM	mobil iletişim için küresel sistem (global system for mobile communications)
IC	entegre devre (Integrated circuit)
IP	internet protokolü (internet protocol)
İAÇİ	iletim alanında en çok iletilen
İDY	irtifaya dayalı yönlendirme
KAA	kablosuz algılayıcı ağları
KiAIAğ	kişisel alan ağları
MAC_MIB	ortam erişim kontrolü yönetim bilgisi tabanı (medium access control management information base)
O-QPSK	aşamalı çeyrek faz kaydırmalı anahtarlama (offset quadrature phase shift keying)
OSI	açık sistem bağlantısı (open system interface)
PCF	nokta koordinasyon fonksiyonu (point correlation function)
PDA	kişisel sayısal yardımcı (personal digital assistant)
PHY_MIB	fiziksel yönetim bilgisi tabanı (physical management information base)

RF	radio dalgaları (radio frequency)
RFD	azaltılmış fonksiyonlu cihaz (reduced functioning device)
RTS/CTS	yollamak için hazır/yollamak için uygun (ready to send/clear to send)
SAR	sıralı atama yönlendirmesi (sequential assignment routing)
SAY	sıralı atama yönlendirmesi
SGZ	sinyalin gelme zamanı (time of arrival; TOA)
SOP	kendini organize eden protokol (self organizing protocol)
SWE	tek kazanan algoritması (single winner algorithm)
TCF	tam fonksiyonlu cihaz
TKA	tek kazanan algoritması
UY	uzaklık yönlendirmesi
WiFi	kablosuz airtik (wireless fidelity)
WSN	wireless sensor networks
YDA	yönlendirilmiş dağılma algoritması

TÜRKÇE – İNGİLİZCE TERİMLER

adaptif coğrafik aittik	geographic adaptive fidelity
adres çözümüleme protokolü	address resolution protocol
ajan (söylenti yönlendirmesinde kullanımı)	agent (in rumor routing)
akın yönlendirmesi	flooding routing
algılayıcı ağ alanı	sensor network field
algılayıcı ağları	sensor networks
algılayıcı bilgi sistemlerinde enerji etkin toplama	power efficient gathering in sensor information systems
algılayıcı düğüm	sensor node
algılayıcı kanalı	sensor channel
algılayıcı uygulama	sensor application
alınan sinyal gücü	received signal strength
anlaşarak bilgi edinmeye dayalı algılayıcı protokoller	sensor protocols for information via negotiation
atlamalı iletişim	multi hop communication
ayrık durum simülasyonu	discrete event simulation
azaltılmış fonksiyonlu cihaz	reduced functioning device
bağımsız bileşen mimarisi	autonomous component architecture
bağlama katmanı	link layer

bant genişliği	bandwidth
bayt	byte
bileşen tabanlı yapı	component based architecture
bit	bit
coğrafik konumdan ve enerjiden haberdar yönlendirme	geographic and energy aware routing
coğrafik uzaklık yönlendirmesi	geographic distance routing
CPU modeli	CPU model
çarpışma penceresi	contention window
çarpışmadan bağımsız	contention free
çoklu yola dayalı yönlendirme	multi-path routing
çöp toplama	garbage collection
dedikodu yönlendirmesi	gossiping
düğüm	node
düğüm tanımlamaları (kimlikleri)	node identifications
düşük enerjili adaptif kümelendirme hiyerarşisi	low energy adaptive clustering hierarchy
düz sıralı yayılmış spektrum	direct sequence spread spectrum
eklenti	extension
en düşük maliyetli aktarım algoritması	minimum cost forwarding
enerji etkin eşik değerine duyarlı	threshold-sensitive energy efficient

algılayıcı ağları	sensor network
enerjiden haberdar yönlendirme	energy-aware routing
entegre devre	integrated circuit (IC)
fiziksel katman	physical layer
halka topolojisi	ring-topology
hibrit yönlendirme	hybrid routing
hücresel ağ	cellular network
IEEE 802.11/PCF	IEEE 802.11 /point coordination function
iletim alanında en çok iletilen	most forward within radius
ilk giren ilk çıkar	first in first out
irtifaya dayalı yönlendirme	gradient based routing
iş parçacığı (Java iş parçacığı)	thread (Java thread)
işaret sinyali	beacon signal
Java yürütme ortamı	Java runtime environment
kablosuz ajan	wireless agent
kablosuz algılayıcı ağları	wireless sensor networks
kablosuz kanal	wireless channel
kablosuzFiz	wirelessPhy
kendi kendine organize olabilen protokol	self organizing protocol (SOP)

kişisel alan ağları	personal area network
kontratlar	contracts
koordinatör	coordinator
kuyruk bileşeni	queue component
küme	cluster
metot	method
nesne	object
ortam	medium
ölçeklenebilme	scaling
paket dağıtıcı	packet dispatcher
pil modeli	battery model
proaktif yönlendirme	proactive routing
protokol işleyişi	protocol operation
radyo dalgası	radio frequency (RF)
radyo modeli	radio model
reaktif yönlendirme	reactive routing
sanal karelere bölerek yönlendirme	virtual grid architecture routing
servis kalitesine dayalı yönlendirme	quality of service based routing
sınıf	class
sıra numarası	sequence number

sıralı atama yönlendirmesi	sequential assignment routing
sinyal gürültü oranı	signal to noise ratio
sinyalin gelme zamanı	time of arrival
sorgulamaya dayalı yönlendirme	query based routing
söylenti yönlendirmesi	rumor routing
süper çerçeve	super frame
tam fonksiyonlu cihaz	fully functioning device
tanımlama kitabı	specification data book
tek kazanan algoritması	single winner algorithm
tetikleyici sinyal	stimuli
toplayıcı düğüm	sink node
tutarlı yönlendirme	coherent routing
tutarlı yönlendirme	coherent routing
uçtan uca	end to end
uyarıcı bileşen	target node
uyarıcı bileşen yer takipçisi modeli	sensor node position tracker
uyarıcı hareketlilik modeli	sensor mobility model
uyarıcı kanal	sensor channel
uyarıcı sinyal ilerleme modeli	sensor propagation model
uyarıcıfiz	sensorPhy

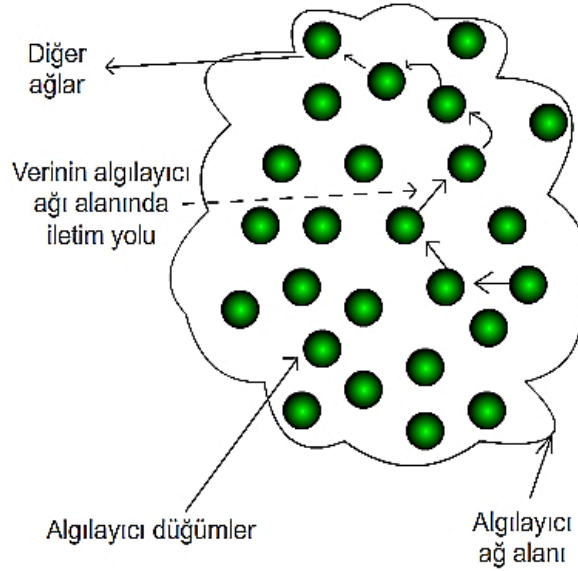
uzaklık yönlendirmesi	distance routing
uzlaşmaya dayalı yönlendirme	negotiation based routing
üçgenleme	triangulation
veri tabanı	data base
veri toplama ağacı	data aggregation tree
yıldız ağ yapısı	star-topology
yönlendirilmiş dağılıma algoritması	directed diffusion algorithm
yönlendirme	routing
yönlendirme tablosu	routing table

1 GİRİŞ

Algılayıcı ağları (AA), birbirleri ile haberleşebilen çok sayıda düğümün bir araya gelerek, belirli bir amaca yönelik olarak istenilen alandan bilgi toplanmasını sağlayan ağlardır. Kablosuz iletişimle haberleşen algılayıcı ağlarına ise kablosuz algılayıcı ağları (KAA) denir ve halen gelişmekte olan bir konudur. Bu tür ağlar genelde yüksek veri iletim hızına ihtiyaç duymazlar. Ağların ne şekilde kurulacağı ve ne tür bilgi toplanacağı uygulamaya göre belirlenir.

KAA'nda gelişmenin odaklandığı noktalar daha az enerji tüketimi, standartlaştırılmış bir protokol ve ağın ne şekilde kurulacağı üzerinedir.

Yapısal olarak KAA, belirli bir algılayıcı ağ alanında bulunan algılayıcı düğümlerden oluşur. Düğümler tarafından üretilen bilgi diğer düğümler üzerinden ağ içinde iletilmesi istenen bölgeye doğru yönlendirilir. Bilgi, ağ içinde değerlendirilebileceği gibi ağ dışında değerlendirme yapılması için diğer ağlara iletilebilir. Şekil 1'de örnek bir ağ yapısı gösterilmiştir.



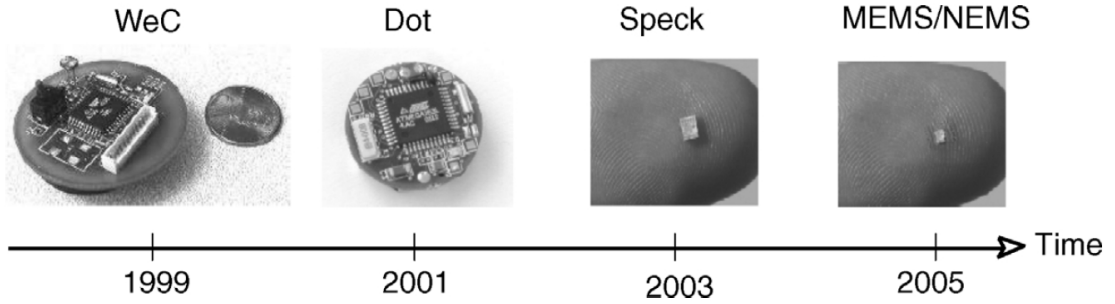
Şekil 1: Örnek algılayıcı ağ gösterimi

Kablosuz algılayıcı ağlarında haberleşme radyo dalgaları (RF), optik alıcı vericiler veya herhangi bir kablosuz iletişim şekli kullanılarak gerçekleştirilebilir. Optik

ortamı kullanan, örneğin kızılötesi, haberleşme yöntemlerinde, düğümlerin yayıldıkları alanda birbirlerini doğrudan görmeleri gerekir. Kızılötesi alıcı-vericilerin kullanılması, daha az güç harcamalarına rağmen, birçok soruna yola açabilir [1]. Günümüzde düşük enerjili radyo dalgaları kullanılarak yapılan iletişim şekli, kablosuz algılayıcı ağları için en uygun iletişim şeklidir.

Radyo dalgaları kullanılarak kurulacak KAA'nda karşımıza çıkabilecek en büyük sorunlardan bir tanesi, optik alıcı vericilerde gerek duyulmayan, anten kullanımıdır. En son teknolojilerle yüksek frekanslarda iletişim yapıldığı zaman antenlerin boyları yeterince kısalabilmektedir. Böylelikle KAA'nda kullanılacak ufak boyuttaki düğümler için uzun boylu anten kullanma sorunu da ortadan kalkmış olur.

Kullanılan düğümlerin boyutları teknolojinin de ilerlemesi ile giderek küçülmektedir. Şekil 2'de zamanla değişen düğümlerin boyutları görülebilir. En son teknoloji ile birlikte düğümler nano boyutlarda dahi üretilebilmektedir [2].



Şekil 2: Yıllara göre düğümlerin boyutlarındaki gelişme [2]

KAA bir çok alanda kullanabilmek için tasarlanmıştır. Düğümlerin üzerindeki algılayıcılar ne tür bilgi toplanması isteniliyorsa o şekilde güncellenebilmelidir. Örneğin, daha önceden yapılmış bir çalışmada toplanması istenen bilgi, belirli bir bölgedeki bir kuş sürüsünün çoğalma zamanları ve nereleri çoğalma alanı olarak seçtikleri olarak belirlenmiştir. Bu amaçla nem, ışık, sıcaklık, basınç değerlerini ölçebilen ve kuşların varlığını algılayabilen algılayıcılarla donatılmış düğümler kullanılmıştır [3].

KAA çok farklı ortamlarda ve birbirinden farklı bilgi toplama amacı ile kullanılabilir. Her bilgi toplanacak uygulamanın, nerede ise kendine has değişkenleri ve yapısı olacaktır. Buna rağmen bu tarz ağların daha yaygın olarak kullanılabilmesi ve gerektiğinde diğer ağlarla uyumlu çalışabilmesi için IEEE 802.15.4 standardı geliştirilmektedir.



Şekil 3: Bir algılayıcı düğümünün boyutları (Mica - mote) [4]

Düğüm, bilgi toplanması istenilen alana belirli aralıklarla yerleştirilebileceği gibi gelişigüzel olarak da o bölgeye dağıtılabilir. Örneğin, sınır bölgelerinde yabancı giriş ve çıkışlarını bilgilendirmesini istenilen bir alana, uçaktan serpilmiş düğümleri düşünebiliriz. Şekil 3'te örnek bir algılayıcı düğümünün fotoğrafı görülebilir.

Kablosuz algılayıcı ağlarında önemli olan unsurlardan bir tanesi de düğümlerdeki güç kullanımudur [5]. Güç yönetimi ne kadar iyi olursa KAA'nın yaşam süresi o kadar uzun olacaktır. Kurulacak ağlarda düğümlerin pil yenileme imkanının söz konusu olmayacağı, güç yönetimi konusunun neden önemli unsurlardan bir tanesi olduğu konusunda fikir verebilir.

KAA'nın yapısı göz önüne alındığında; güç yönetimi, ne şekilde ağın kurulacağı, ne türlü bilginin toplanması istendiği, istenilen bilgilerin önemi, kurulacağı alanın yapısı ve daha birçok farklı değişken bu yapıyı etkileyebilmektedir. Bu kadar çok değişkenin bir arada olduğu bir yapı üzerinde geliştirme yapmak ve geliştirmenin sonucunu görebilmek için, her defasında gerçek ortamlarda deneme yapılamayacağından, simülasyon ortamlarının kullanılması zorunluluk haline gelmiştir.

Bu tezde öncelikle KAA hakkında geniş bilgi verilecek, daha sonra ise KAA için geliştirme yapmakta kullanılabilecek simülasyon araçları tanıtılacaktır.

Tezin ilerleyen bölümlerinde ise, simülasyon ortamı olarak seçilen J-Sim hakkında bilgi verilecek ve neden J-Sim simülasyon ortamının seçildiği anlatılacaktır.

Daha sonraki bölümlerde J-Sim'de IEEE 802.15.4 [6] standardına uygun olarak gerçekleştirilen simülasyon detaylı olarak anlatılacaktır.

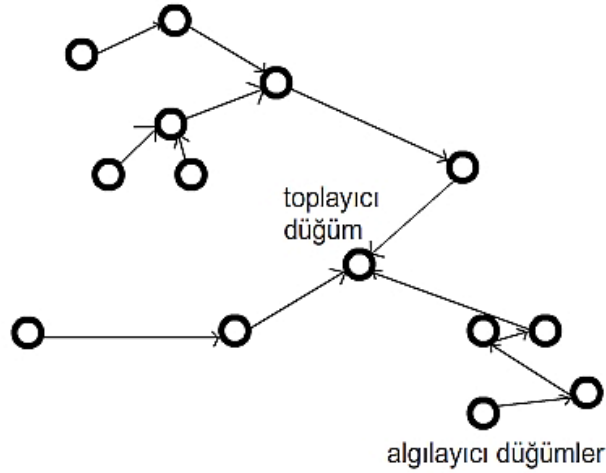
Sonuç bölümünde ise, elde edilen simülasyon sonuçları tartışılacaktır.

2 KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLARI

Kablosuz algılayıcı ağları tasarımında, enerji tüketimini düşürmek için birçok değişkenin dikkate alınması gerekir. Bu değişkenler ağdan nasıl bilgi toplanacağı, ağın yapısının nasıl olacağı ve ağda paket yönlendirmesinin nasıl yapılacağı gibi birbirlerinden etkilenen değişkenlerdir. KAA'nı oluşturan düğümler durağan olabilecekleri gibi hareketli de olabilirler. Şimdiye kadar yapılmış uygulamalar genelde dış ortamlarda yapılmıştır ve KAA'nın mantığına uygun olarak ağın kurulduğu ortamdan bilgi toplama görevini üstlenmişlerdir.

2.1 Kablosuz Algılayıcı Ağlarında Kullanılan Topolojiler

KAA'nda standartlaşmış bir ağ yapısının kullanılması nerede ise imkansızdır. Bunun en büyük nedeni ise, KAA'nın istenilen uygulamaya göre adapte olabilmesi gerekliliğidir. KAA'nda çok fazla genellenemese de hibrit bir ağ yapısı kullanılabileceği söylenebilir. Yıldız ağ yapısı kullanılarak ağ alanında daha ufak



Şekil 4: Örnek KAA topolojisi

haberleşme alanları oluşturulup, bu alanlarda bilginin toplandıktan sonra yönetilmesi yapılabilir. Ağ genelinde sorgulama yapılırken halka topolojisi kullanılarak alt ağların sıra ile sorgulanması gerçekleştirilebilir. Ağ topolojisinde dikkat edilmesi gereken önemli noktalardan bir tanesi de topolojinin ne kadar derinlik kabul edeceğidir. Alt alanların sayısının çok fazla olması ağ içinde

haberleşme miktarını artıracak ve adreslerde uzamaya yol açacaktır. Sonuç olarak düğümlerdeki sınırlı olan hafızayı, fazlası ile adres tabloları işgal edecek ve enerji tüketimi artacaktır [7].

Ağ içinde düğümler farklı roller üstlenirler. Ağ içinde diğer düğümleri yönetmek ve verinin ağ içinde nasıl iletileceğini belirlemek için ağ koordinatörleri kullanılır. Koordinatörler kendisine kayıtlı düğümleri yönetir ve diğer koordinatörlerle haberleşir. Koordinatör olmayan düğümler, kendilerine atanmış görevleri yerine getirirler. Bu görevler ya koordinatörler tarafından ya da ağ kurulmadan önce düğümlere atanır. Şekil 4'te örnek KAA topolojisi, koordinasyon yeteneğine sahip birkaç düğümün direk bağlandığı koordinatör düğümler ve algılama görevini gerçekleştiren koordinatör olmayan düğümler görülebilir. Ayrıca Şekil 4'te, tüm verilerin toplandığı toplayıcı düğüme de örnek verilmiştir.

2.2 Kablosuz Algılayıcı Ağlarının Tasarımında Önemli Noktalar

Kablosuz algılayıcı ağları daha önceki kablosuz ağ standartlarından ve ağ yapılarından çok farklı tasarım değişkenlerine sahiptir. Daha önceki ağ yapılarında çok da önemsenmeyen güç kullanımı, KAA için önemli unsurlardan bir tanesidir. KAA'nın tasarımının temelinde güç kullanımının en düşük seviyede tutulması ve ağ kurulumunun en düşük maliyette yapılması vardır.

KAA tasarımındaki ana noktalar düğümlerin nasıl dağıtıldıkları, ağ bağlantılarının nasıl yapılacağı, ağ alanından toplanılan bilginin nasıl ve nereye iletileceği ve ağ yönetimidir. Bu dört ana başlığın dışında tutulabilecek diğer başlıklar ise ağda bir problem olduğunda bu hatanın nasıl yönetileceği, ölçeklenebilme, maliyet, ağın kurulacağı ortamın özellikleri, ağ topolojisi ve donanımsal kaynak azlığından dolayı düğümdeki verimin nasıl artırılacağıdır.

2.2.1 Ağ bağlantılarının oluşturulması

Kablosuz algılayıcı ağlarında düğümler arasında iletişimin en uygun şekli radyo dalgalarının kullanılmasıdır [3]. Radyo dalgaları haricinde lazer ve ses dalgaları ile haberleşmede kullanılabilir. Fakat lazer kullanıldığı zaman düğümlerin birbirlerini

doğrudan görmeleri ve bu bağlantının bulunduğu doğrultunun kesilmemesi gerekir. Ses dalgalarının iletişimde kullanılması ortamda rahatsızlık yaratabilir. Ses dalgasının kullanılabileceği ve en verimli olacağı alan sadece su altıdır çünkü su altında ses dalgaları güçlenerek yol alırlar.

Radyo dalgaları KAA için kullanıldığında da dikkat edilmesi gereken birçok unsur vardır. Bunlardan en önemlisi gereksiz yere radyo alıcı ve vericilerini kullanmamaya çalışmaktır. Bir düğümde en fazla enerji harcayan bileşen radyo alıcı vericileridir [8]. Radyo alıcı vericileri her kullanıldığında düğümdeki kısıtlı enerjiden kullanılır. Ayrıca bir bilgi yollanacaksa ve bu bilgiye ek olarak bilgiler eklenmesi gerekiyorsa; parite kontrolü, adres bilgisi ya da komut bilgisi gibi, bu bilgilerin de kısa olması radyo alıcı vericisinin aktif olduğu süreyi kısaltacaktır.

Ek olarak radyo alıcı vericilerinin gereksiz yere kullanılmaması için düğümlerin kablosuz kanala erişimlerinin çok iyi organize edilmesi gerekmektedir. Dolu kanala erişmeye çalışmak ya da sonucu başarısız olacak bir şekilde kanala erişmeye çalışmak her zaman güç sarfiyatını artıracaktır.

2.2.2 Ağdan bilgi toplanması

Bir algılayıcı ağında bilginin toplanabilmesi için genelde iki yöntem kullanılır. Bunlardan birincisi ağ koordinasyonunu sağlayan belirli bir cihazdan, ağ üzerindeki her düğüme “şu anda algılayıcılarınızda ne okuyorsunuz” mesajı yollanmasıdır. Bir diğer bilgi toplama şekli de, düğümler belirli bir eşik değerinin üzerinde bir algıda bulduklarında, bilgiyi aktarılması gereken cihaza doğru gitmesi için ağa yollamaktır [9].

Bilgi toplanması kesinlikle belirtilen şekillerde olacak diye bir kaide yoktur. Uygulamaya yönelik olarak birçok bilgi toplama şekli kullanılabilir, hatta bilgi toplama şekilleri birlikte bile kullanılabilirler. Örneğin, acil bir bilgi algılayıcı düğüm tarafından algılanırsa, kendisine sorgulama gelmesini beklemeden bilgiyi toplayıcı düğüme iletilmek üzere ağa yollayabilir. Acil olmayan bir bilgiyi de sorgulama zamanına kadar bekletebilir.

2.2.3 Ölçeklenebilme ve ağ yönetimi

KAA kurulduğunda uygulamanın gereksinimlerine göre belirli bir alanda bulunacak düğümlerin miktarı birkaç taneden yüzlerceye kadar değişebilir. KAA'nda bu kadar çok sayıda düğümün yüksek yoğunlukta bulunması, ağ yönetiminin en iyi şekilde yapılmasını bir zorunluluk kılmıştır. Düğüm yoğunluğunun hesaplanması ise aşağıdaki formüldeki gibi yapılır.

$$\mu(R) = \frac{N \pi R^2}{A} \quad (1)$$

Bu formülde, N, A alanındaki düğümlerin sayısı; R, radyo verici uzaklığı; $\mu(R)$, A alanındaki belirli bir verici çapındaki düğüm sayısı olarak tanımlanmıştır [10].

2.2.4 Düğümlerin dağıtılması

Kablosuz algılayıcı ağı kurulacak olan alanda düğümlerin yerleştirilmesi en problemli konulardan bir tanesidir. Düğümler elle yerleştirilebilir ya da rastgele dağıtılabilir. Tasarım yapılırken bu iki senaryonun gerektirdiklerine dikkat edilmelidir. Tasarım gereksinimlerine göre bu iki senaryodan karma senaryolar da üretilebilir. Örneğin bazı düğümlerin önceden algılayıcı ağı alanına elle yerleştirilip daha sonra geri kalan düğümlerin rastgele saçılarak alana yayılması sağlanabilir [6].

Düğümler ister elle, ister rastgele dağıtılsın ağda koordinatörlerin belirlenmesi ve koordinatörlerin bölgelerine ait alanlardaki düğümlerin tanımlanması ağ içinde en düşük enerji tüketimi ile sonuçlandırılmalıdır. Bu işlemler uzun sürecek olursa gereksiz yere enerji tüketimi olacaktır.

2.2.5 Adresleme teknikleri

Adresleme tekniği olarak IEEE 802.15.4 protokolünde kullanılan 16 ve 64 bit olmak üzere iki çeşit adresleme tekniği vardır. 64 bit adresleme ile genelde ağ koordinatörleri adreslenirken, 16 bit adresleme ile bu koordinatörlere bağlı düğümlerin adreslenmesi öngörülmektedir. Bunun nedeni, zaten bölgelere ayrılmış

olarak bulunan düğümlere gereksiz uzunlukta adresler vererek iletişim sırasında enerji kaybını önlemektir [6].

2.2.6 Atlamalı iletişim şekli

KAA'nda düğümler arasında iletişim radyo dalgaları ile sağlandığında, her düğümün birbiri ile doğrudan haberleşmesi neredeyse imkansız olacaktır. Bunun nedeni, birbirlerine uzak noktalarda bulunan düğümlerin haberleşme için çok fazla enerji harcamalarıdır. Ağ içinde enerji kısıtlı olduğundan uzak mesafelerde iletişim yapılarak, zaten kısıtlı olan enerji kısa sürede tüketilmemelidir .

Düğümler arasındaki haberleşme için harcanacak enerji, düğümler arasında bulunan uzaklığın (d) kuvvetleri (d^n) ile orantılıdır; n değeri, $2 \leq n \leq 4$ aralığında değişmektedir ve yeryüzüne yakın antenler için 4 olarak kabul edilmelidir [11].

Atlamalı iletişimin kullanılmasının sağlayacağı diğer bir yarar ise saklı veya gölgede kalan düğüm miktarını azaltmasıdır [11].

2.3 Kablosuz Algılayıcı Ağları Örneklerinin İncelenmesi

Çok yaygın olmasa da KAA için birçok uygulama yapılmıştır. Bu uygulamaların hepsi, kendine özgü birçok tasarım zorluğu barındırmaktadır. Bu tasarım problemlerinin başında kullanılan kablosuz iletişim şekli, düğümlerin dağıtılma şekli, kullanılan enerji kaynağı, kullanılan topoloji, hareketlilik, ağ boyutu (ölçeklenebilme) ve servis kalitesi gelmektedir.

Kablosuz algılayıcı ağları uygulamalarında iletişim şekli olarak genelde radyo dalgaları kullanılmıştır ve düğümler arasındaki iletişim atlamalı olarak yapılmıştır. Enerji kaynağı olarak genelde piller kullanılsa da bazen güneş enerjisi ile takviye edilmiştir. Düğümlerin, algılayıcı alanı oluşturacakları bölgeye dağılımı da oldukça problem yaratabilecek konulardan bir tanesidir. Büyük bir alan, algılayıcı alanı olarak kabul edilirse düğümlerin tek tek belirli noktalara konulması neredeyse imkansız olacaktır. Düğümlerin yerleştirileceği yerler önceden belirli noktalar, hareketli nesnelere veya canlılar olabilir.

Tasarımda daha az problem yaratabilecek konular hareketlilik, ağ boyutundaki değişimler ve servis kalitesidir. Çünkü bunların çözümleri yazılımsal veya ufak donanımsal değişikliklerle giderilebilmektedir. Örneğin; hareketlilik problemi, hücresel ağlardakine benzer bir yazılımla, kablosuz algılayıcı ağı kurulduktan sonra düğümlerin ağ içindeki hareketliliği karşılanabilir. Ağ boyutundaki değişiklikler, yeni düğümlerin eklenmesi veya çıkarılması, yine yazılımsal olarak karşılanabilir. Servis kalitesinin uygun biçimde sağlanması için ise, en başta tasarımın toplanacak bilgi türüne göre tapılması gerekir.

Kablosuz algılayıcı ağlarıyla şimdiye kadar yapılmış örneklerden bazıları Great Duck adasındaki kuş gözlemi, ZebraNet, buzul gözlemi, sığır gütmeye, okyanus suyu gözlenmesi, üzüm bağı gözlenmesi ve keskin nişancı yeri belirlenmesidir [3].

Great Duck adasındaki kuş gözlemi uygulamasında bir çeşit kuş sürüsünün yumurtlama zamanlarının ve davranışlarının 7 ay boyunca gözlenebilmesi için KAA'ndan yararlanılmıştır. KAA'nın kullanılmasının en büyük nedeni bu kuş sürüsünün insan varlığından çok fazla etkilenmesidir. Follukların içine ve dışına yerleştirilen algılayıcılar sayesinde kuşların varlığını, nem, sıcaklık, ortam ışığı ve basınç değerleri ölçülmüştür. Düğümlerin dahil olduğu kümelerin her birinde yönlü güçlü antenler kullanılarak ana istasyona bu bilgiler ulaştırılmıştır. Daha sonra uydu bağlantısı ile bu bilgiler veri tabanına aktarılmıştır.

Kenya Mpala araştırma merkezinde yapılan ZebraNet ile vahşi hayvanların doğal ortamlarındaki davranışları gözlenmeye çalışılmıştır. Vahşi atlar, zebralar, aslanlar gibi hayvanlara yerleştirilen düğümler sayesinde bu hayvanların hareketlerinin hangi bölgelerde daha hızlı olduğu, farklı türlerin ne zaman karşılaştıkları gibi bilgiler toplanmaya çalışılmıştır. Bu amaçla, hayvanlara GPS sistemi olan, hayvanlarda baş hareketlerini sezebilen ve vücut sıcaklığını ölçebilen düğümler takılmıştır. Hayvanlar üzerindeki düğümler birbirlerinin alıcı verici alanına girdiklerinde bilgi transferi yaparlar. Düğümlerde biriken bu bilgiler ya bir uçak ya da bir arazi aracı ile algılayıcı alanında dolaşarak toplanır ve bir ana merkezde iletilmesi sağlanır.

Norveç'te buzulların hareketlerini, buzul tabakalarının içerik değişimlerini gözlemleyebilmek için GPS donanımlı algılayıcı düğümleri buzulların içerisine gömülmüştür. GSM altyapısını iletişim için kullanan bu ağ için başlıca problemlerden bir tanesi su ve buzun düğümlerdeki etkileri ve radyo dalgalarıyla haberleşmeyi zorlaştırmasıdır.

Sığır gütmeye uygulamasında ise sığırlar için dinamik olarak değişen sanal çitler tanımlanmıştır. Hayvanlar çitlere yaklaştıklarında akustik uyarıcılar ile uyarılır ve hayvanların sanal bir çitin içinde kalması sağlanır. Bu amaçla hayvanlara GPS destekli PDA'lar takılmıştır. Bu uygulama ile çit kurulum maliyeti ortadan kalkmış ve hayvanlar farklı alanlarda otlatılmıştır.

Okyanus suyunun tuzluluğu ve sıcaklığı gibi değerlerini ölçerek üst okyanus suyunun hareketlerini ve lokal mevsimsel değişikliklerini elde etmek için uygulanan projenin adı ARGO'dur. Serbest yüzen düğümler 2000 m'ye 10 günlük periyotlarla otomatik dalar ve çıkarlar. Her yüzeye yaklaştıklarında uydu vasıtası ile topladıkları bilgileri aktarırlar.

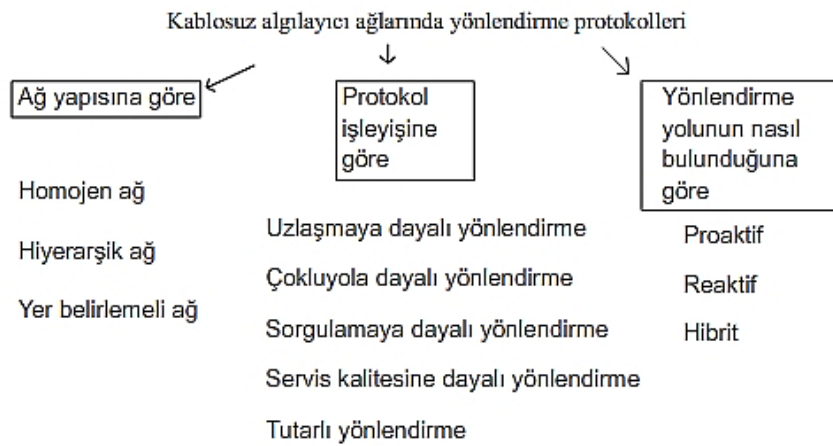
Büyük üzüm bağlarında toprak nemliliği ve ortam sıcaklığı gibi bilgileri toplayabilmek için Oregon'da kurulmuş bir algılayıcı ağı mevcuttur. Düğümler atlamalı olarak haberleşirler ve bilgiler bir dizüstü bilgisayar vasıtası ile toplanır. Düğümler sadece veri toplama amacını ile değil aynı zamanda yönlendirme işlemini de gerçekleştirirler.

Keskin nişancı yeri saptama uygulamasında ise keskin nişancıların açtıkları ateş sırasında mermi, bir algılayıcı alanından geçtiği sırada akustik alıcılarla donatılmış düğümleri tetikler. Atlamalı iletişim kullanılarak düğümler merminin geçtiği yerdeki tetiklenen düğümleri ve ateş açılan noktayı, tetiklenme zamanından faydalanarak 1 m sapma ile hesaplayabilmiştir [12].

2.4 Yönlendirme

Yönlendirme KAA'nda oldukça zorlu bir konudur. Ortamda bulunan birçok değişken ve KAA'nın uzun süre güç yenilemeden çalışması gerekliliği, yönlendirmenin de çok dikkatli yapılmasını gerektirmektedir.

KAA'nda çok fazla sayıda düğüm olacağından, düğüm tanımlamaları (kimlikleri) ağa fazla yük getirecektir. Bu yüzden kullanılmakta olan geleneksel IP tabanlı protokollerin uygulanması çok doğru bir seçim olmayacaktır. Buna ek olarak bazı durumlarda algılanan bilginin toplayıcı düğümlere ulaşması, bilginin nereden geldiğinden daha önemli olabilir. Başka bir zorlukta düğümlerin sadece durağan veya sadece mobil olmalarının beklenmemesidir. Düğümler her şekilde hareket edebilir ya da belirli bir noktada sabit kalabilirler. Bu tarz bir yapının yönetilmesi de oldukça zor olacaktır. Yönlendirme yapılırken, toplayıcı düğümlerin bulunduğu yere doğru bilginin iletilmesini sağlamak için düğümler kendi yerlerini saptamak zorundadırlar. Bunu yapabilmek içinse, ya GPS desteğinden yararlanırlar ya da ağ içinde daha önceden yerleri belirlenmiş noktalardan gelen RF sinyallerin gücünden yararlanarak kendi yerlerini saptarlar. Belirli noktadan gelen RF sinyallerin gücüne dayanarak yer bulma yöntemine üçgenleme denir [13].



Şekil 5: Yönlendirme kategorileri

KAA'nda genel veri akışı algılayıcı düğümlerinden toplayıcı düğümlere doğrudur. Veri akışı ve yönlendirilmesi sırasında enerji kullanımını en düşük seviyede tutmak için birçok algoritma kullanılabilir. Bu algoritmalar uygulama yapılacak durumlar için güncellenebilmeli ve bir arada kullanılabilirdir. Geliştirilmiş algoritmalar birbirleri ile oldukça benzer temeller üzerinden kurulmuş olsalar da çok farklı özelliklere ve tasarıma sahip olabilirler. Bu farklı özelliklerinden dolayı bu algoritmaları belirli kategoriler altında toplamak oldukça zordur. Ancak temel özellikleri göz önüne alındığında bir sınıflandırma yapılabilir [14].

Sınıflandırmaların dışında adapte olabilen yönlendirme protokollerinden de bahsedilebilir. Bu protokollerde önceden tanımlanmış ağ dinamikleri üzerinde güncelleme yapılabilir ve protokolün ağın o anki durumuna uyum göstermesi sağlanır.

Yönlendirme protokolleri yönlendirme yolunun nasıl bulunduğu, protokol işleyişine ve ağ yapısına göre sınıflandırılabilir. Şekil 5'te yönlendirme kategorileri ve alt kategorileri görülebilir.

2.4.1 Yönlendirme yolunun nasıl bulunduğuna göre sınıflandırma

Yönlendirme yolunun bulunması KAA için güç kullanımı açısından çok önemlidir. Verinin taşınacağı yolun bulunmasına göre KAA yönlendirme protokolleri 3 şekilde sınıflandırılabilir.

Proaktif yönlendirme: Verinin taşınacağı yol ve yönlendirme, veri gelmeden önce zaten belirlenmiştir ve veri geldiği anda kullanıma hazır olarak bulunmaktadır. Eğer düğümler durağan ise daha önceden hazırlanmış olan bir yönlendirme tablosuna bağlı kalınarak yönlendirme yapılır. Daha önceden hazırlanmış tablo kullanımı her verinin iletimi sırasında ağda tablo oluşturulması için tüketilecek enerjinin de ortadan kalkmasını sağlayacaktır.

Reaktif yönlendirme: Veri geldiğinde belirli bir yol ve yönlendirme bulunmamaktadır. Verinin gelmesi ile birlikte yol ve yönlendirme hesaplanır ve

tain edilir. En fazla enerji harcamasının olduğu genelde bu tarz yönlendirmededir [14].

Hibrit yönlendirme: Proaktif ve reaktif yönlendirmelerin her ikisi de desteklenir ve yönlendirilecek verinin gerektirdiklerine göre yönlendirme yapılır. Her iki yönlendirmenin desteklenmesi veri iletimi açısından artılar sağlasa da enerji tüketimini artırmaktadır.

2.4.2 Ağ yapısına göre sınıflandırma

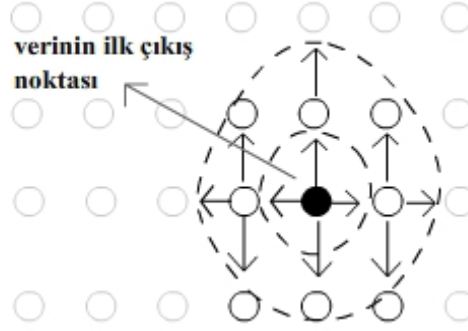
Ağ yapısı açısından KAA sınıflandırılacak olursa homojen, hiyerarşik ve yer belirlemeli olarak üçe ayrılabilir. Homojen ağ yapısında, verilerin toplanacağı düğümler haricindeki düğümler aynı görevi üstlenirler ve aynı kabiliyete sahiptirler. Hiyerarşik ağ yapısında ise düğümler kendi aralarında gruplar oluştururlar ve bu gruptaki yönetici düğümler tarafından yönetilirler. Yer belirlemeli ağ yapısında ise düğümler görevlerini ağ içinde buldukları yere göre belirlerler. Ağ içinde yer belirleme işlemi, coğrafik yer belirleme olarak düşünülebileceği gibi düğümlerin birbirlerine olan konumları olarak da düşünülebilir.

2.4.2.1 Homojen ağlarda yönlendirme

Homojen ağ yapısında kabul edilen genel özellik, ağa dahil olan düğümlerin hepsinin aynı özelliklere ve aynı kabiliyetlere sahip olduğudur. Düğümlerin hepsi algılama görevini üstlenir. Düğümlerin yapısal özellikleri de aynıdır. Ağ içinde farklılık gösteren düğümler ise verilerin toplanacağı merkez olan düğümlerdir. Verilerin toplandığı bu merkezler başka ağlara geçit noktası olarak kullanılabilecekleri için diğer düğümlerden daha farklı donanımlara sahip olmaları gerekmektedir.

Homojen ağ yapısında en basit yönlendirmelerden biri akın yönlendirmesidir. Akın yönlendirmesi birçok gelişmiş yönlendirmeye ışık tutmuştur. Şekil 6'da görüleceği üzere, akın yönlendirmesinde düğümler iletmek istedikleri veriyi komşularına hiçbir kriterle bağlı kalmadan iletmeye çalışırlar. Komşular da aldıkları veriyi aynı şekilde komşularına iletirler. Yollanacak verinin bir sıra numarası vardır ve düğümler tekrar

tekrar aynı veriyi almamak için bu sıra numarasını kontrol ederler. Eğer ağda tüm düğümler haberleşebiliyor durumda iseler, her verinin ağ içinde iletilmesi için yapılacak iletişim sayısı düğüm sayısından bir eksik olacaktır [15].



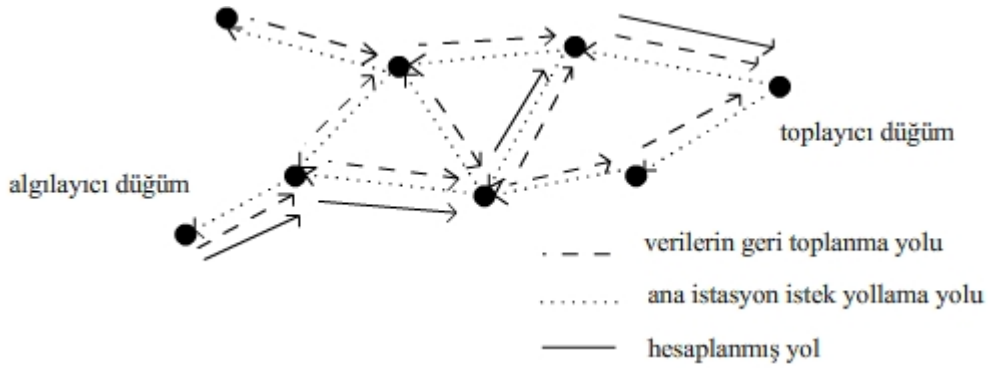
Şekil 6: Akın yönlendirmesinin nasıl yapıldığını gösteren şekil

Dedikodu yönlendirmesi de kendinden sonra geliştirilen birçok gelişmiş yönlendirmeye ilham kaynağı olmuştur. Dedikodu yönlendirmesinde, akın yönlendirmesinden farklı olarak veri iletiminde sadece bir komşu rastgele seçilir ve veri iletimi gerçekleşir. Dedikodu yönlendirmesinde gecikme çok fazla olduğu için veri iletiminde sürenin önemli olduğu senaryolarda kullanılmamalıdır. Gecikmenin fazla olmasına karşın, akın yönlendirmesinde olduğu gibi aynı verinin ağ içinde birçok yere gitmesi engellenmiş olur [14].

KAA'nda homojen ağ yapısında kullanılmak üzere birçok gelişmiş yönlendirme protokolü vardır. Bunlardan başlıcaları; anlaşarak bilgi edinmeye dayalı algılayıcı protokoller (ABDAP), yönlendirilmiş dağılıma algoritması (YDA), söylenti yönlendirmesi, en düşük maliyetli aktarım algoritması (EDMAA), irtifaya dayalı yönlendirme (İDY), enerjiden haberdar yönlendirme ve algılayıcı ağ alanını veri tabanı olarak görenler yönlendirmelerdir. Gelişmiş protokollerde yönlendirme için karar vermeye harcanacak işlemci gücünün ihmal edilecek kadar ufak olduğu kabul edilmektedir [15]. Homojen ağ yapısına sahip protokoller için daha önceden yapılmış çalışmalarda, ağdan veri toplanması aşamasında gereksiz bilgilerin yollanmasının ve aynı tarz bilgilerin tekrar edilmesinin önlenmesi, enerji tasarrufu sağlamıştır [16].

Homojen ağ yapısı için geliştirilmiş olan ABDAP, akın yönlendirmesinin eksiklerini tamamlar. ABDAP yönlendirmesinde veri, komşu düğümlere iletilmeden önce veri hakkında bilgi içeren bir paket yollanır. Bu paketin cevabına göre veri iletilerek gereksiz verilerin ağ içinde dolaşmasına engel olunur. Dedikodu protokolünde, rastgele seçilen komşu düğümlere aktarılan veriler düğümlerin eşit enerji tüketmesini sağlasa da ABDAP kadar verimli değildir ve gecikmeler fazladır [17]. ABDAP'de, akın protokolüne göre nerede ise yarı yarıya enerji tasarrufu sağlanmasına rağmen verinin kesin olarak iletilmesini garantilememektedir [14].

Yönlendirilmiş dağılıma algoritması veri merkezli bir yapıya sahiptir [18]. YDA'nda ana merkez ilgilendiği verinin toplanması için ağa ilgilendiği verinin istediğini yollar. Bu istek ağ üzerinde yayılırken geri dönüş yolları hesaplanır. YDA'nda sadece bir yol hesaplanmaz. Asıl amaç iyi bir veri toplama ağacı oluşturabilmek ve toplanan verileri ana dallar üzerinden ana istasyona ulaştırabilmektir. Şekil 7'de ana istasyondan yapılan isteğin yolu, sorgulamaya gelen cevaplar ve YDA tarafından hesaplanmış yol görülebilir. YDA'nın performansını istenilen bilginin ağ içinde bulunduğu yer ve ana istasyonun bulunduğu yer, çeşitli verilerin sayısı, ve ağ yapısı etkiler [18], [14]. YDA'nda veri birleştirilmesi ağın tamamında yapılır ve bu özeliği ile ABDAP'den ayrılır.



Şekil 7: YDA için örnek gösterim

Söylenti yönlendirmesi uzun süre ağ üzerinde varlığını sürdürecektir. Ajanlar (ajanlar) bulundukları yerden, ajanlar ağ üzerinde dolaşarak lokal olarak oluşan durumlardan haberdar olur. Ana istasyon istekte bulunduğu zaman, istek paketi bu ajanla karşılaşır, ajan istenilen durumla ilgili olarak yolu bilir, yönlendirme yapar ve

böylelikle isteğin ağ üzerinde yayılması için akın yönlendirmesine gerek kalmamış olur. Simülasyon sonuçlarında bu protokolün akın protokolünden daha az enerji tükettiği ve hataları daha fazla tolere edebildiği görülmüştür [19]. Söylenti yönlendirmesi sadece ağ içinde oluşan olayların az, düğüm sayısının fazla olduğu zamanlarda verimli olarak çalışır.

En düşük maliyetli aktarım algoritmasında düğümlerin hepsinin yön tayin edebilme yeteneğinin var olduğu kabul edilmiştir. Bu yetenek sayesinde her düğüm ana istasyona olan uzaklığını bilir. Bir veri iletişimi başladığı zaman, düğümdeki uzaklık bilgileri kullanılır ve en yakın uzaklık bilgisine sahip olan komşu düğüme veri aktarılır. Veri aktarma en son noktaya ulaşana kadar tekrarlanır [16].

İrtifaya dayalı yönlendirme, YDA'nın değişik bir versiyonudur ve asıl amacı atlamalı iletişimde atlanılan düğüm sayısının, istek mesajı ağ içinde yayılırken, hatırlanması olarak tanımlanmıştır [20]. Bu şekilde düğümler kendilerinin ana istasyondan kaç düğüm uzakta olduğunu bilirler ve bu uzaklık değerine göre komşularına yönlendirme yapar. İDY'de enerjisi azalan düğümleri korumak için önlemler vardır ve bu önlemler ağın yaşam süresini uzatır [20].

Algılayıcı ağlarında aktif sorgulamalı aktarma (AAASA) ve COUGAR gibi yönlendirmeler algılayıcı ağ alanını bir veri tabanı olarak görür ve yönlendirmeleri bu veri tabanına uyararak yapar. Fakat bu veri tabanının ağ alanında tutulması enerji tüketimini artırabilir [16].

Enerjiden haberdar yönlendirmede, ağ üzerinde yol hesaplanırken asıl parametre olarak enerjiden faydalanılır. Ağın yaşam süresinin uzun tutulması asıl istenilen özelliktir. Bu protokol, YDA'na göre %21 daha fazla enerji tasarrufu sağlar ve ağın yaşam süresinin %44 uzatır [16]. Ağ yaşam süresi denilince akla ilk gelmesi gereken ise, enerjisinin bitmesinden dolayı ağ içindeki bir düğümün iletişime son vermesidir [21].

Homojen ağ yapısına sahip yönlendirmelerle ilgili detaylı bilgi EK-3'de verilmiştir.

2.4.2.2 Hiyerarşik ağlarda yönlendirme

Hiyerarşik ağ yapılarında düğümler farklı roller üstlenir ve genelde bir hiyerarşik grup oluşturacak şekilde yapılırlar. Yüksek enerjili düğümler veri işleme ve ana istasyona bilgi aktarımı ile ilgilenirken, düşük enerjili düğümler ise sadece algılama görevini üstlenirler. Hiyerarşik ağ yapısı için geliştirilen yönlendirmelerde küme yöneticilerinin seçimi, yöneticilerin ağ alanı içerisinde nerelerde duracakları ve oluşturulan kümelerin boyutlarına karar verilmesi en önemli konulardır. Hiyerarşik ağ alanındaki yönlendirmelerin verimlilikleri bu konulara bağlıdır.

Hiyerarşik ağ yapısı için geliştirilmiş başlıca yönlendirmeler düşük enerjili adaptif kümelendirme hiyerarşisi (DEAKH) protokolü, algılayıcı bilgi sistemlerinde enerji etkin toplama algoritması (ABSEETA), enerji etkin eşik değerine duyarlı algılayıcı ağları protokolleri, kendi kendine organize olabilen protokol, sanal karelere bölerek yönlendirme ve güce dayalı hiyerarşik yönlendirmelerdir.

Düşük enerjili adaptif kümelendirme hiyerarşisi protokolünde ağ içinde düğümlerden bazıları küme yöneticisi olarak seçilir. Küme yöneticisi kendine bağlı olan düğümlerin ne zaman iletişime geçeceğine karar verme ve gelen verileri sıkıştırma becerisine sahiptir. Rastgele seçilen küme yöneticileri ile düğümlerde enerji kullanımı eşit dağıtılabilir. DEAKH protokolü iki faz halinde çalışır [16]. Birinci faz kümelerin oluşturulduğu fazdır. İkinci faz ise veri toplama, sıkıştırma ve ana istasyona yollama fazıdır. DEAKH protokolü CDMA iletişim şeklini kullanır [22]. DEAKH protokolünde her düğümün ana istasyonla gerektiği anda iletişime geçecek gücünün var olduğu ve farklı MAC protokollerinin desteklenebilmesi için yeterince güçlü bir işlemcinin olduğu kabul edilir.

Algılayıcı bilgi sistemlerinde enerji etkin toplama algoritması, DEAKH protokolüne dayanan bir protokoldür. ABSEETA'da asıl amaç düğümlerin sadece en yakınlarındaki düğümlerle haberleşmeleri ve bunu yaparken de ana istasyonla olan haberleşmeyi sırayla üstlenmeleridir [23].

Enerji etkin eşik değerine duyarlı algılayıcı ağları protokollerinde düğümler algılayıcı alanında bilgi toplamak için algılayıcılarını sürekli çalıştırır, fakat aynı

sıklıkla iletişime geçip ana istasyona bilgi yollamazlar [16]. Düğüm kümelerindeki yönetici düğümler, kendisine bağlı düğümlere ne zaman alıcı vericilerini aktif hale getirmeleri gerektiğini ve ne kadarlık değişimlerde algıladıkları verileri kayıt altına almaları gerektiği bilgisini aktarır. Böylece enerji tüketimi azaltılmış olur [24].

Kendi kendine organize olabilen protokollerde, düğümlerin bazıları veri toplama görevini üstlenirken bir kısmı da omurga oluşturarak ana istasyona veri taşınmasında görev alır. algılayıcı düğümleri hareketli veya sabit olabilirler. ABDAP'den daha az enerji harcasa da ağın ilk kurulumundaki serbestlik ve ağ içindeki hareketlilik çok fazla yük getirip enerji tüketimini artırabilmektedir [25].

Sanal karelere bölerek yönlendirme, enerji verimliliği düşünülerek geliştirilmiş bir protokoldür. GPS verisi olmadan algılayıcı alanında sanal kareler oluşturulur ve bu karelerde lokal ve global veri birleştirilme işlemi yapılır. Sanal karelerin içinde yönetici ve yönetilen düğümler vardır. Sanal karelere bölerek yönlendirme fazla düğüm yoğunluğuna sahip ağlarda nerede ise en verimli sonucun alınmasını sağlar [26].

Güce dayalı hiyerarşik yönlendirmede coğrafik olarak birbirine yakın düğümler küme oluşturacak biçimde gruplanırlar. Yönlendirme de bu gruplardan en yüksek enerjisi olan seçilerek yapılır [27].

Hiyerarşik ağ yapısına sahip yönlendirmelerle ilgili daha detaylı bilgi EK-3'de verilmiştir.

2.4.2.3 Yer belirlemeli ağlarda yönlendirme

Yer belirlemeli ağlarda düğümlerin yerleri bir şekilde daha önceden belirlenmiştir ve bu yerlere göre veri yönlendirmesi yapılır. Düğümler arasındaki mesafe ve düğümlerin yerleri, alınan sinyallerin gücünden (ASG) ve sinyalin gelme zamanından (SGZ) faydalanılarak yapılır [28]. Başka bir yöntem ise GPS kullanımudur.

Yer belirlemeli ağlarda başlıca yönlendirme protokolleri adaptif coğrafik aitlik (AdCoA), coğrafik konumdan ve enerjiden haberdar yönlendirme, iletim alanında

en çok iletilen (İAÇİ), coğrafik uzaklık yönlendirmesi (CUY) ve uzaklık yönlendirmeleridir (UY).

AdCoA protokolünde sanal alt alanlar oluşturulur ve bu alanların içindeki düğümler farklı roller oynarlar. Alt alanlarda seçilen düğümlerden bir tanesi sürekli uyanık kalarak algılama ve yönlendirme görevlerini yerine getirir; diğer düğümlerin uyuması sağlanır. Uyanık kalma görevi alt alandaki diğer düğümlerle paylaşılır. Bu şekilde düğümlerin bir çoğu uyur durumda bırakılarak enerji tasarrufu sağlanır [29].

Coğrafik konumdan ve enerjiden haberdar yönlendirme protokolünde düğümler kendi buldukları yeri ve etrafındaki komşu düğümlerde kalan enerji miktarını bilerek paket yönlendirmesi yaparlar. Ana istasyon sorgulama yaparken, YDA'ndaki gibi ağın tümüne isteğin yollanması yerine istek sadece istenilen bölgeye yollanarak YDA'na göre enerji tasarrufu sağlanır [30].

İAÇİ, UY ve CUY protokollerin dayandığı nokta bir sonraki yönlendirme yapılacak düğümün seçilmesine karar verirken basit uzaklık ölçümü, ne kadar ilerleme sağlandığı ve ne yöne doğru gidildiğine bakılarak karar vermesidir [31].

Yer belirlemeli ağ yapısı için detaylı bilgi EK-3'de verilmiştir.

2.4.3 Protokol işleyişine göre sınıflandırma

Bu sınıflandırma yöntemine göre kategorilere ayrılmış olan protokoller genelde fonksiyonellik üzerine sınıflandırılabilmesi için bir tanesinin verimli çalıştığı uygulamalarda bir diğeri aynı verimi göstermeyebilir.

2.4.3.1 Uzlaşmaya dayalı yönlendirme

Uzlaşmaya dayalı yönlendirme protokollerindeki asıl amaç düğümler arasında uzlaşma sağlanarak gereksiz veri aktarımının önüne geçilmesi ve verilerin sıkıştırılarak iletilmesidir. Bu şekilde de enerji tasarrufu sağlanır [14]. Aynı veri mesajının çakışmış alt alanlarda tekrar iletilmesi de bu şekilde önlenmiş olur. Uzlaşma, mesajlarda ve veri transferinde yüksek katmanda veri tanıtıcıları kullanılarak yapılır. ABEDAP'i bu sınıflandırmaya örnek olarak verilebilir.

2.4.3.2 Çoklu yola dayalı yönlendirme

Ağ içinde hata düzeltmeye yönelik yollardan bir tanesi de yakın özelliklere sahip farklı yönlendirme yollarının ağ içinde bulunmasıdır. Farklı yolların hesaplanması ve tutulması ilave olarak mesajlaşma ve enerji tüketimine neden olmaktadır. Enerji tüketimi artmasına rağmen ağın güvenilirliğinin sağlanması için istenilen bir yol olabilir.

Ağ içerisinde farklı yollar tutulmasının hata düzeltmeye ek olarak bir yararı da eğer yeni bir düğümün ağ alanına eklenmesi ile daha verimli bir yol hesaplanırsa; o yolun kullanılması ile ağın yaşam süresinin artması sağlanabilir. Yaşam süresinin artması, ancak yol değiştirmenin maliyetinin, eski yolu kullanmaktan daha az olacağı kabul edilirse gerçekçi olacaktır [32].

Çoklu yola dayalı yönlendirme yapan protokoller genelde ağın güvenilir olması istendiğinde kullanılmalıdır. Ayrıca çoklu yolu sadece tek bir verinin aktarımında farklı yollar bulundurulması olarak düşünmemek gerekir. Büyük bir veri parçalara bölünerek farklı yollardan da aktarılabilir. Böylelikle veri eksik gelmiş olsa da diğer yollardan ana istasyona ulaşan veriden sonuçlar çıkarılabilir.

YDA tabanlı protokoller çoklu yol hesaplamasına örnek olarak verilebilir.

2.4.3.3 Sorgulamaya dayalı yönlendirme

Bu sınıftaki yönlendirmelerde sorgulama yapacak olan düğüm ya da ana istasyon, yüksek seviyede bir açıklama ile almak istediği veriyi sorgular. Örneğin, ana istasyondan algılayıcı herhangi bir X düğümüne sorgulama için mesaj yollar ve mesajın içeriği "X düğümü şu an algılama alanında herhangi bir değişiklik oldu mu?" olabilir. X düğümüne ulaşan bu sorgulamaya cevap olarak dönüş yolunun aynısı ya da en yakında bulunun bir ağ omurgasına kullanılarak gerçekleştirilir. YDA'nın sorgulama mekanizması buna örnek gösterilebilir. Başka bir örnek, söylenti yönlendirmesindeki istenilen bilginin, uzun süre varlığını sürdüren ajanlara ulaştırılmasıdır [16].

2.4.3.4 Servis kalitesine dayalı yönlendirme

KAA, olay algılamasında veya hedef takibinde kullanılacak düğümlerden oluşur. Klasik kablosuz ağlarda uygulamalar, genelde iki düğüm arasında verinin iletimi ile ilgilenirken; KAA'ında bu yapı biraz daha farklıdır. KAA uçtan uça veri iletiminden çok, izlenen verinin toplanabilmesi ile ilgilenir. Klasik anlamdaki servis kalitesi, uygulama ihtiyaçlarına göre vazgeçilebilecek unsurlardan bir tanesidir. Algılanan verinin ne kadar zamanda ana istasyona ulaştığı, ulaşan bilginin doğruluğu gibi birçok etkenle, ağ üzerinde enerji kullanımı arasında bir takas yapılabilir. Sıralı Atama Yönlendirmesi (SAY) [33], bu tarz protokollere örnek olarak verilebilir. SAY servis kalitesi, enerji kaynakları ve veri öncelikleri arasında takas yaparak yönlendirme yapar.

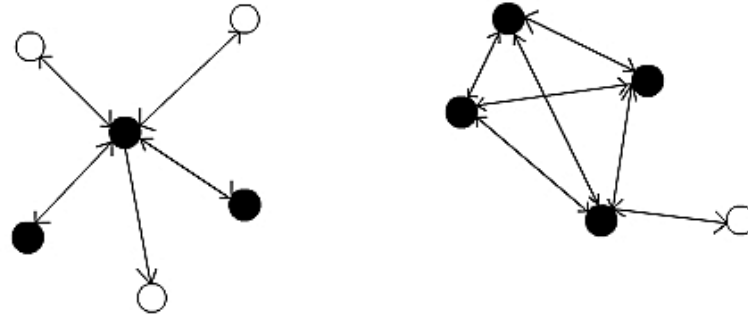
2.4.3.5 Tutarlı yönlendirme

Yüksek trafik bulunan ağlarda, tutarlı yönlendirme kullanılması trafiğin azaltılması yönünde alınacak önemlerden bir tanesidir. Tutarlı yönlendirmede, belirli lokal bölgede toplanan veri bir şekilde ağ içinde işlenir ve birleştirilir. Daha sonra ağda yönlendirilmesi yapılır. Tek kazanan algoritması (TKA) [33] tutarlı yönlendirmeye güzel bir örnektir. TKA'nda tek bir düğüm, iletişim için kalan enerji miktarına bakılarak seçilir ve bu düğüm karmaşık veri işleme ve birleştirmede kullanılır.

3 IEEE 802.15.4

IEEE 802.15.4 ilk olarak 2003 yılında tanımlanmıştır. IEEE 802.15 çalışma grubunun kablosuz kişisel ağlar için özelleşmiş alt grubu protokolüdür. Protokol ilk çıktıktan sonra IEEE 802.15.4a ve IEEE 802.15.4b ile iyileştirmeler yapılmıştır. Düşük enerjili ağ kurulumunda kullanılmak üzere özelleşmiştir.¹

IEEE 802.15.4 standardı kişisel alan ağlarındaki (KiAIAğ) radyo dalgaları ile iletişim kuran cihazlar için tanımlanmıştır. Standartta kanala ulaşım CSMA-CA ile sağlanır. Ağ yapısı olarak yıldız ve uçtan uca yapılarını destekler. Şekil 8'de yıldız ve uçtan uca yapıları gösterilmektedir. Kanala anlaşmalı olarak ulaşım sağlansa da bazı kritik durumlarda kullanılmak üzere düğümlerin kanala direk erişim sağlayabilmesi için KiAIAğ yöneticileri özel zaman aralıkları ayarlayabilirler [6].



Yıldız

Uçtan uca

○ Azaltılmış fonksiyonlu cihaz

● Tam fonksiyonlu cihaz

Şekil 8: Yıldız ve uçtan uca ağ yapıları örnekleri

¹ IEEE 802.15 Working Group for Wireless, <http://ieee802.org/15/index.html>

Standart kanala erişim için 4 fiziksel katman (PHY) tanımlanır [6].

— 868/915 MHz, düz sıralı yayılmış spektrum (DSYS), BPSK modülasyonu.

— 868/915 MHz, düz sıralı yayılmış spektrum (DSYS), O-QPSK modülasyonu.

— 868/915 MHz, paralel sıralı yayılmış spektrum (PSYS), BPSK ve ASK modülasyonları

— 2450 MHz, düz sıralı yayılmış spektrum (DSYS), O-QPSK modülasyonu

868/915 MHz kullanıldığında desteklenen veri transfer hızları 20 kb/s, 40 kb/s, 100 kb/s ve 250 kb/s iken 2450 Mhz'de desteklenen veri transfer hızı 250 kb/s'dir.

IEEE 802.15.4 standardı ağ kurulumu açısından güç kullanımında etkin ve ucuz çözümler sunmaya çalışmaktadır. Fiziksel katman ve kanal erişimi konularında düşük veri transferi hızı olan, sabit veya hareketli, pilsiz veya kısıtlı enerjisi olan cihazların isteklerini karşılamaya çalışmaktadır. Standartta ağdaki düğümlerin genelde 10 m çapında iletişimde bulunacağı öngörülse de uygulamaların gerektirdiklerine göre bu uzaklık artırılabilir [6].

Düşük enerjili kablosuz KiAIAğ'nda istenilen özellikler ağ kurulumunun kolay olması, kısa mesafelerde güvenilir veri iletimi ve çok düşük maliyetlerde kurulumun yapılabilmesidir.

IEEE 802.15.4 standardı iki çeşit cihazın bir arada bulunmasına izin verir. Bu cihazlar tam fonksiyonlu (TFC) ve azaltılmış fonksiyonlu cihazlardır (AFC) [6]. AFC oldukça basit yapıya sahiptir ve sadece TFC'larla iletişimde bulunabilir. AFC'lar üzerinde sadece bir algılayıcı bulunur ve uygulamaya bağımlı olarak çalışmasına ara verilebilir. TFC'lar ise ağ içinde yönetici olabilecekleri gibi AFC'lar gibi de çalışabilirler. TFC'lar AFC'larla ve TFC'larla iletişimde bulunabilirler.

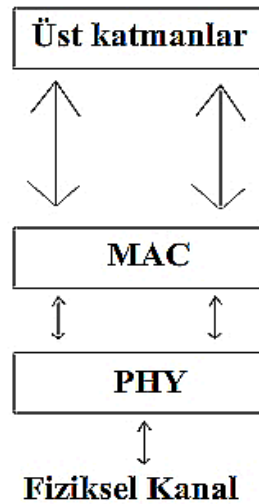
Standartta kablosuz kanal için tam anlamıyla belirtilmiş bir kanal karakteristiği bulunmamaktadır. Hareketli düğümlerin bulunduğu ve çok farklı alanlarda

çalışmanın getirdiği sinyal seviyesindeki değişiklikler, bağlantı kalitesini oldukça düşürebilmektedir [6].

Adresleme tekniği olarak 16 bit ve 64 bit adresleme IEEE 802.15.4 standardında desteklenmektedir. 64 bit adresleme TFC'lar için kullanılır. TFC'lar sadece ağ içinde tanımlı olmayabilir. Bu yüzden başka ağlar içinde tanımlı olan bir yapının yani 64 bit adreslemenin kullanılması gerekmektedir. 16 bit adresleme ise AFC'larda kullanılır. AFC'lar sadece TFC'larla iletişimde bulunacakları için uzun ağ adreslerine gerek yoktur. Dahil oldukları TFC'ın AFC'a ulaşması için 16 bit kimlik yeterli olacaktır [6].

Ağ içinde kümeler oluşturulduğunda TFC'lar yönetici olarak davranırlar. Ağ içinde oluşturulan kümeler attıkça kapsama alanı artar fakat veri iletiminde de o oranda gecikmeler olur.

Mimari açıdan IEEE 802.15.4 standardı, OSI'nin katmanlı mimarı yapısına benzemektedir. Fiziksel ortamla iletişimi sağlayacak PHY katmanı ve kanala erişimi kontrol edecek bir MAC katmanı bulunmaktadır [6]. IEEE 802.15.4'de bulunan katmanlar ve bağlantıları genel olarak Şekil 9'da gösterilmiştir.



Şekil 9: IEEE 802.15.4 katman yapısının gösterimi

IEEE 802.15.4 standardı, KAA için halen geliştirilmekte olan bir standarttır. Bu standardın gelişmesinde birçok şirket birlikte çalışmaktadır ve ZigBee Alliance² olarak adlandırılırlar. Bu şirketler birçok farklı alanda kullanılacak bir standardın ortaya çıkması için çalışmaktadır.

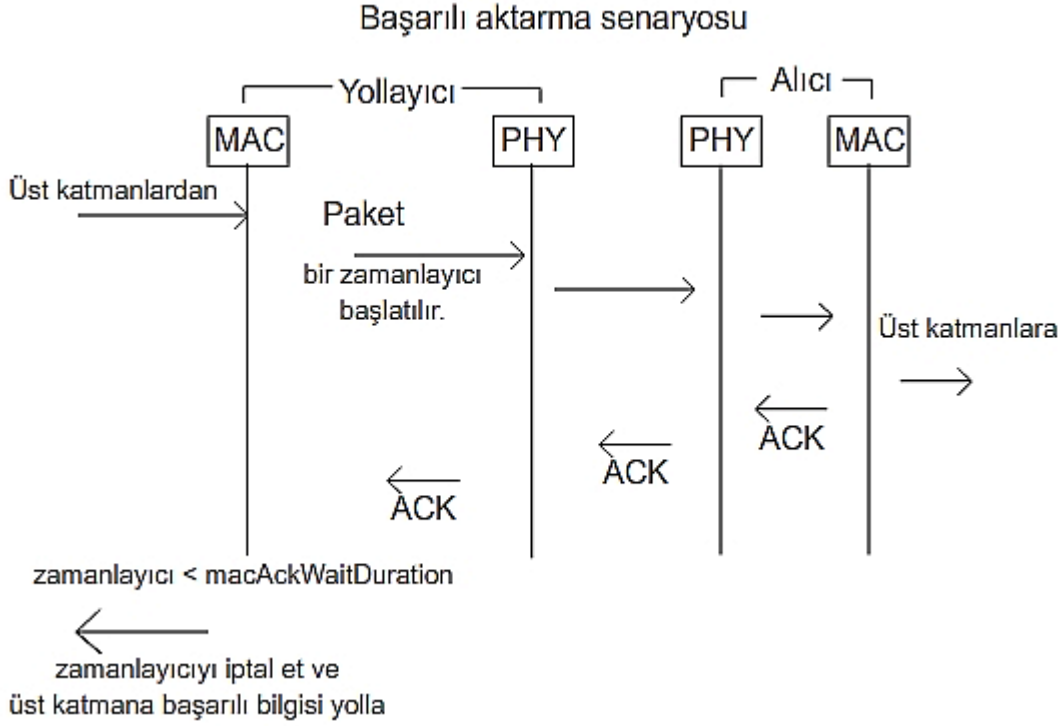
3.1 IEEE 802.15.4'de iletişim senaryoları

KAA için kullanılan IEEE 802.15.4 standardında düğümlerin iletişimi nasıl gerçekleştirileceği detaylı olarak anlatılmıştır. İletilecek olan verinin yerine ulaştığı bilgisinin (ACK paketi) gerekli olmadığı durumlarda herhangi bir veri aktarma senaryosu tanımlı değildir. Verinin güvenli şekilde iletildiğinin kontrol edilmesi ve raporlanması için ise 3 farklı senaryo tanımlanmıştır [6].

IEEE 802.15.4 protokolünde, kablosuz ortamın hatasız olmamasından dolayı veri aktarımında başarılı durumlar olabileceği gibi başarısız durumlar da olabilir. Başarısız durumlarda düğümlerin buldukları durumdan kurtulabilmeleri için protokolde tanımlı zamanlayıcılar ve sayaçlar bulunmaktadır. Bu zamanlayıcılar ve sayaçlar kullanılarak veri paketlerinin yollanmasının başarılı ya da başarısız olduğuna karar verilir.

Başarılı aktarma senaryosunda, veri yollayan düğüm, protokolde üst katmanlardan gelen veriyi PHY katmanına iletir ve bu sırada bir zamanlayıcı başlatır. Eğer zamanlayıcı sıfırlanmadan ACK paketi yollayıcı tarafından alınırsa üst katmanlara başarılı olduğu bilgisi iletilir ve zamanlayıcılar sıfırlanır. Şekil 10'da başarılı aktarma senaryosu gösterilmiştir.

² ©2009 Zigbee Alliance, www.zigbee.org

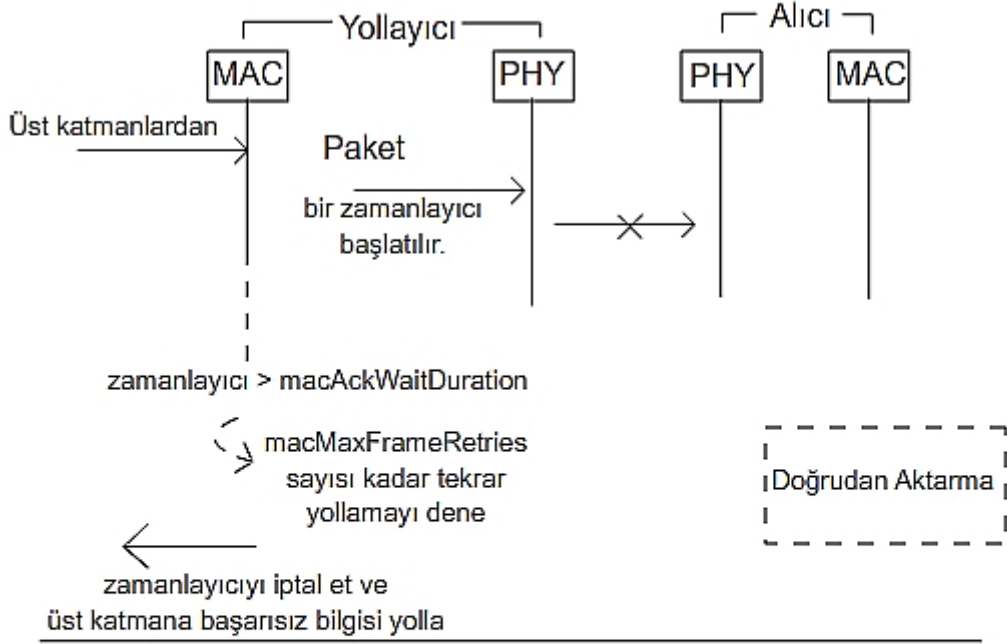


Şekil 10: Başarılı aktarma senaryosu

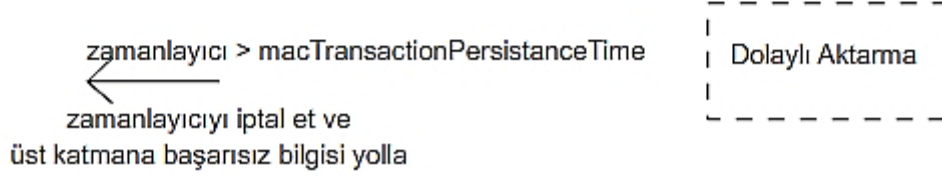
Kablosuz kanal hatasız olarak düşünülmemeyeceğinden protokolde olası hataların oluşması durumunda, düğümlerin bu durumdan kurtulması için zamanlayıcılar ve sayaçlar kullanılmaktadır. Bir paketin en çok kaç kere yollanacağı `macFrameRetries` sayacı ile belirlenir. Bu sayaç ya veri paketi alıcıya ulaşmadığında ya da alıcının gönderdiği veri ACK paketi yollayıcıya ulaşmadığında artar.

Eğer üst katmanlardan MAC bileşenine iletilmesi için yollanan paket herhangi bir sistem kuyruğunda tekrar iletilmek için bekletilmiyorsa doğrudan aktarma yapılmıştır. Aktarma bir sonraki gelen sorgulamada tekrar yapılmak üzere sistem kuyruğunda bekletiliyorsa dolaylı aktarma yapılmıştır.

Kayıp veri çerçevesi olan aktarma senaryosu

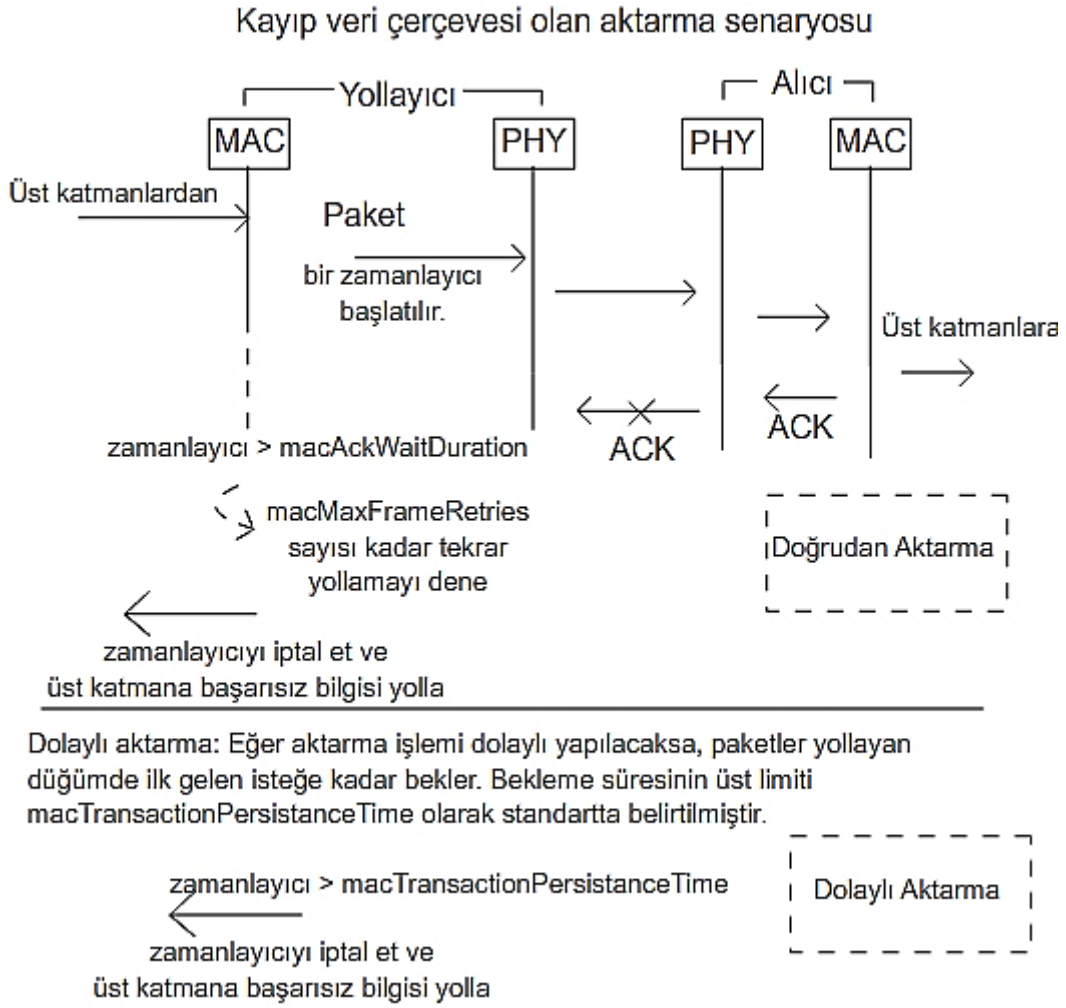


Dolaylı aktarma: Eğer aktarma işlemi dolaylı yapılacaksa, paketler yollayan düğümde ilk gelen isteğe kadar bekler. Bekleme süresinin üst limiti macTransactionPersistenceTime olarak standartta belirtilmiştir.



Şekil 11: Kayıp veri çerçevesi olan aktarma senaryosu

Yollayıcının, ACK paketini almak için bekleme süresi macAckWaitDuration değişkeni ile belirlenir. Dolaylı ve doğrudan aktarmalarda, başarısız iletim senaryoları için çizilmiş diyagramlar Şekil 11 ve 12'de verilmiştir. Her iki şekilde de yollayıcıya bir şekilde ACK mesajı ulaşmamıştır. Belirlenen deneme sayısından sonra yollayıcı düğüm iletimin başarısız olduğu konusunda bilgilendirilmiştir.



Şekil 12: Kayıp ACK sinyali olan aktarma senaryosu

Dolaylı aktarma, genelde sorgulamaya dayalı yönlendirmede kullanılır ve düğüm tarafından desteklenmesi gerekir. Dolaylı aktarmada iletilecek verinin saklanıp, sorgulama geldiğinde iletilmesi, sorgulayan ana istasyonun cevap alma süresini de kısıltacaktır.

3.2 Bazı IEEE 802 Standartlarının Karşılaştırılması

IEEE 802 grubu altında birçok standart tanımlanmıştır. Standartlar farklı uygulamalarda kullanılmak üzere özelleşmişlerdir. IEEE 802 grubu radyo dalgaları ile kablosuz iletişim için standartlar tanımlamaktadır.³

³ IEEE 802 LAN/MAN Standards Committee, <http://www.ieee802.org/>

Kablosuz iletişimle ses ve veri transferinin kaliteli şekilde yapılması üzerine özelleşmiş standardın piyasadaki adı 2.5/3G'dir. Bu standart uzun mesafelerde veri transferinin gereksinimlerini karşılayabilmektedir.

	GPRS/GSM 1xRTT/CDMA	IEEE 802.11b/g	IEEE 802.15.1	IEEE 802.15.4
Piyasadaki isimler	2.5/3G	WiFi	Bluetooth	ZigBee
Hedeflenen ağlar	WAN/MAN	WLAN	PAN and DAN(masa alanı ağları)	CAA
Uygulama amaçları	Geniş alan ses ve veri transferi	İşletmeler için Voip ve veri transferi	Kablolama yerine	Gözleme ve kontrol
Bant genişliği (Mbps)	0.064 - 42	11 - 54	1 - 3	0.020 - 0.25
İletişimdeki uzaklıklar(ft)	3000+	1 - 300+	1 - 30+	1 - 300+
Dizayn faktörleri	Ulaşma ve iletim kalitesi	İşletme desteği, ölçeklendirilebilirlik ve maliyet	Maliyet ve kolay kullanım	Güvenirlik, enerji kullanımı ve maliyet

Tablo 1: Bazı standartlar ve karşılaştırmaları

Tablo 1'de en çok kullanılan kablosuz standartlar bazı özelliklerine göre karşılaştırılmıştır.

Günümüzde en çok kullanılan kablosuz standartlardan biri WiFi (kablosuz ağı)'dir. Bu standart asıl olarak bina içlerinde veri transferi ihtiyaçlarına karşılık vermektedir. Yüksek hızlarda veri transferinin yapılabilmesi çok fazla enerji

tüketimine yol açmaktadır. Bu protokol genelde bilgisayarlarda ve kısıtlı enerji problemi olmayan cihazlarda kullanılmaktadır.

IEEE 802 grubu tarafından tanımlanmış ve günümüzde çok kullanılan standartlardan bir tanesi de Bluetooth'dur. Bu standart genelde kısa mesafelerde kablo ile yapılan haberleşmenin kablosuz ortama taşınmasının gereksinimlerini karşılamaktadır. Veri iletim hızı IEEE 802.11 kadar yüksek olmasa da kurulumu ucuz ve kullanımı kolaydır.

Kablosuz algılayıcı ağlarının ihtiyaçlarını karşılayabilmek için IEEE 802.15.4 standardı geliştirilmiştir. Bu standart piyasada ZigBee olarak adlandırılır. Kurulacak ağın maliyetinin düşürülmesi ve ağda düşük enerji ile uzun süre iletişim sağlanabilmesi için geliştirilmiş bir standarttır. Ağ içinde gözlem ve kontrol faaliyetlerinin sürdürülmesine yardımcı birçok tasarım parametresine sahiptir.

3.3 IEEE 802.15.4 Standardına Neden İhtiyaç Duyulmuştur ?

KAA'nın temeli eğilimi ağın düşük maliyetli olması ve düşük veri hızına sahip olmasıdır. KAA'nda kullanılacak düğüm sayısının fazla olması düğüm maliyetinin düşük olmasını gerektirir. Gelişen teknoloji ile düğüm üretim maliyetleri çok hızlı şekilde düşmüştür. Fakat bu düğümlerin haberleşmesinde çok farklı standartlar kullanılması, düğümlerde kullanılacak olan işlemcinin daha güçlü olmasını ve hafızanın daha geniş olmasını gerektirir. Yaygın olarak kullanılan birçok kablosuz standardın tasarımı, KAA'nda istenilen asıl özellik olan, güç kullanımı göz önüne alınarak yapılmamıştır. Başka bir tasarım parametresi de, KAA için gerekli olan bant genişliğinin diğer kablosuz ağ standartları ile karşılaştırıldığında oldukça az olmasıdır [2].

Birbirleri ile haberleşebilen ve uzun zaman güç yenilenmesine ihtiyaç duymadan çalışabilen düğümlerle; ev içi cihazların birbirleri ile haberleşmeleri, enerji tasarrufu için binalarda gerekli yerlerin ısıtılması ve hatta düzenli olarak hasta kontrolün yapılması gibi çok farklı alanda uygulanması düşünülen KAA için genel bir standardın oluşması oldukça önemlidir.

IEEE 802.15.4'ün uygulama alanlarında kullanılabilecek olan standartlardan bir tanesi de IEEE 802.11 standardıdır. Fakat bu standart veri ve IP tabanlı ses aktarımı için tasarlanmıştır. Bu tür uygulamalarda, enerji kullanımından daha çok servis kalitesinin iyi olması düşünülmüştür. IEEE 802.15.4, IEEE 802 protokol ailesine ait olsa da; düşük hızlarda iletişim de IEEE 802 ailesine ait birçok özelliğin, IEEE 802.15.4 için kullanılmasına gerek yoktur [34].

IEEE 802.15.4 ün yerine kullanılabilecek olan başka bir standart ise IEEE 802.15.1 yani Bluetooth'dur. IEEE 802.15.1, kısa mesafelerde kablolamanın yerine kullanılmak üzere yoğunlaşmış bir protokoldür. IEEE 802.15.1 karmaşık ad-hoc ağlarını destekleyebilir. KAA'nda Bluetooth kullanılabilir fakat, IEEE 802.15.1'in veri hızının yüksek olması KAA kurulumu için uygun değildir [35]. Ayrıca veri iletim mesafesi IEEE 802.15.4 den daha kısadır.

Var olan standartlar KAA'nın ihtiyaçlarını karşılayamadığı için yeni bir standarda ihtiyaç duyulmuştur.

3.4 IEEE 802.15.4'te güvenlik unsurları

Kablosuz ağlarda iletişim kanalı herkese açık olduğundan, frekans bandı ayarlandığında kanalda aktarılan veriye ulaşmak ve iletişime katılmak çok kolaydır. Bu yüzden kablosuz algılayıcı ağlarında güvenlik önemli bir unsurdur. Buna karşın kısıtlı enerji ve işlemci gücüyle güvenli bir protokol yaratmak oldukça zordur [36]. Hatalı paketin ağa yollanması, trafik analizi, ve iletilen veriyi değiştirme gibi saldırıların önlenmesi için şifrelemede kullanılacak anahtarın ayarlanması ve yönetimi çok önem taşımaktadır. Açık anahtar kullanımı işlemciye ek yük getireceğinden ve performans düşmesine yol açacağından, güvenlik unsuru ön planda olmayan ağlarda tercih edilmemelidir [37]. IEEE 802.15.4 protokolünde kanala erişim katmanında simetrik anahtar kullanımı öngörülmektedir. Protokole göre daha fazla güvenlik gerektiğinde şifrelemenin üst katmanlarda yapılması sağlanmalıdır [6].

4 J-Sim

J-Sim, Java yazılım dilinde hazırlanmış sınıflardan üretilen nesnelere kullanan bir simülasyon ortamıdır. Kullanımının kolay olmasından ve önceden hazırlanmış kablosuz algılayıcı ağı paketleri bulunduğundan, J-Sim bu tez için geliştirme ortamı olarak seçilmiştir. Mimari olarak bileşen tabanlı bir yapıya sahiptir. Bileşen tabanı, simülasyona eklenen bileşenlerin birbirinden bağımsız çalışmasını sağlayabildiğinden, gerçek dünyaya en yakın simülasyon ortamı sağlanmış olur.

4.1 J-Sim ve Tcl/Java

KAA uygulamaları tasarımında, yeni protokol geliştirilmesinde ve performanslarının değerlendirilmesinde çeşitli simülasyon ortamları geliştirilmiştir. J-Sim de bunlardan bir tanesidir. J-Sim'e eklenti olarak uygulanabilecek bir KAA eklentisi de mevcuttur [38].

J-Sim, Tcl/Java ve Bağımsız Bileşen Mimarisine (ACA) dayalı bir simülasyon ortamıdır.^{4,5} J-Sim, Tcl/Java tabanlı olduğu için Java dilinde hazırlanmış sınıflardan oluşan bileşenleri rahatlıkla kullanmaktadır.

J-Sim'in üzerine kurulu olduğu ACA'da, yaratılan bileşenler birbirleriyle portları aracılığı ile veri transferi yaparlar. Birbirlerinden bağımsız hareket edebilen bu bileşenler Java'nın iş parçacıklı yapısı kullanılarak geliştirilmişlerdir. Bu yapı entegre devre tasarımını taklit etmektedir [38].

4.1.1 Tcl/Java

Tcl, J-Sim'inde kullandığı bir script dilidir. Tcl, Java programlama dilinde hazırlanmış paketlere J-Sim ortamından rahatlıkla ulaşabilir. Paketlerin simülasyon ortamına aktarılmasından sonra, paketlerin içinde bulunan sınıflar ve bu sınıfların metotları etkin biçimde kullanılabilir. Tcl, J-Sim'de bileşenlerin gerçek zamanlı

⁴ The Autonomous Component Architecture, <http://j-sim.cs.uiuc.edu/whitepapers/aca.html>

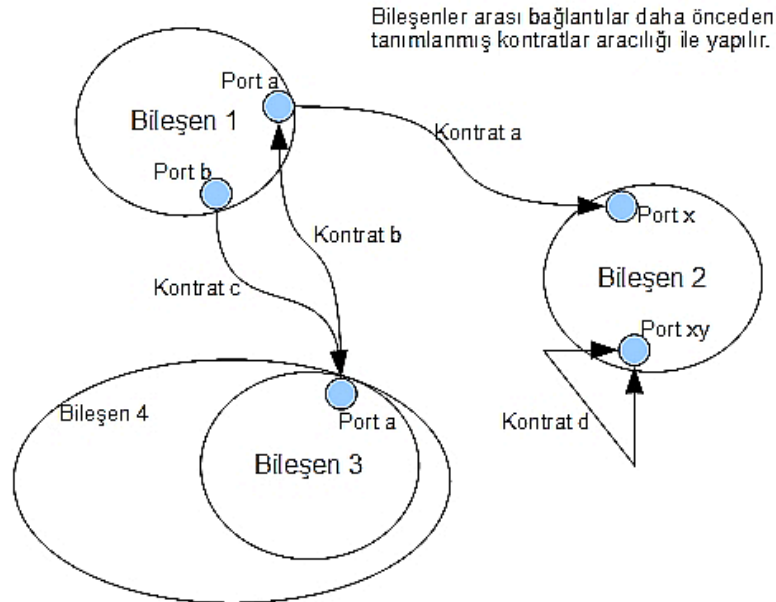
⁵ The Tcl/Java Project, www.sourceforge.net

olarak kullanılabilmesini sağlar. Simülasyonun çalıştığı zamanda bile, bileşenlerin metotları elle çalıştırılabilir ve değişkenleri Tcl kullanılarak güncellenebilir.

Tcl'in sağladığı kolaylıklardan biri, yaratılan nesnelere UNIX'de olduğu gibi dosya dizini yapısı ile ulaşılabilmesidir. Örneğin, "algılayıcı" bileşeninin altında bir adet alt bileşen olarak "AABC" bileşeni olduğunu düşünelim. Kullanıcı bu bileşene /algılayıcı/AABC şeklinde ulaşabilir. Bileşenlere erişimde kullanılan bir diğer kolaylaştırıcı özellik, belirli bir dizin yapısı altındaki tüm yaratılmış nesnelere de topluca erişim sağlamak için, "/.../AABC" örneğinde olduğu gibi üç nokta ("...") kullanılmasına da olanak sağlamasıdır. Tcl'in bu kolaylıkları sağlaması, çok sayıda aynı içeriğe sahip bir ağın elemanlarına ulaşmamıza da imkan sağlamaktadır.

4.1.2 ACA (Autonomous Component Architecture)

Bileşen tabanlı mimariyi anlatmak için kullanılabilir en güzel örneklerden bir tanesi "entegre devrelerdir". Entegre devreler kendi başlarına çalışırlar ve ürettikleri veriyi portlarından diğer devrelere aktarırlar. Alıcı entegre devre ise kendi portuna gelen veriyi işler. J-Sim bileşenlerinde portlar sadece alıcı, sadece verici ya da her ikisi olarak tanımlanabilir.



Şekil 13: ACA yapısı

ACA'nın temelleri oluşturulurken, entegre devrelerdeki gibi kendi başlarına çalışmaları ve portları aracılığı ile veri alışverişi yapmaları prensibine benzetmeler yapılmıştır.

Bileşenler entegre devreler olarak kabul edilebilir. Bileşenler arası bağlantıları yaparken önceden tanımlanmış kontratlar kullanılır. Bu kontratları entegre devrelerin tanımlama kitaplarında yer alan bilgiler olarak düşünülebilir. Eğer verici bir devrenin portundan alınabilecek değerler ± 5 volt aralığında ise, alıcı devrenin portunda bu değerleri tanınip işlenebilmesi gerekir. Bu tarz bir veri aralığının belirlenmesi ve bileşenlerin çok fazla iç içe girerek karışmasının önlenmesi için kontratlar önceden tanımlanır [39]. Bu kontratlar, Java'da tanımlanmış sınıflardan oluşurlar. ACA 'da kullanılan bileşenler ve kontratlar Şekil 13'te gösterilmiştir.

ACA yapısında bileşenler aslında bir Java iş parçacığıdır. Bileşenlerin herhangi bir portuna veri geldiği zaman porta bağlı olan kod parçası çalışmaya başlar. Bileşenler, kendilerinin zaman portlarına ilerideki bir zamanda işlenmesi için bilgi saklayabilir ve zamanı geldiğinde bu bilgiyi dışarıdan gelmiş bir bilgi gibi işleyebilir.

Bileşenler simülasyon dünyasına portları aracılığı ile açılırlar. Bileşenler, başka bileşenler tarafından da alt bileşen olarak kullanılabilir. Alt bileşen doğrudan başka bir bileşene erişmek istiyorsa, üst bileşenin portunu veri aktarımında kullanır.

Java çöp toplama motoru, ACA'da otomatik olarak Java yürütme ortamı tarafından çalıştırıldığı için hafızanın gereksiz yere doldurulması ve yönetilmesi problemleri ile karşılaşılmamaktadır.

4.2 J-Sim'in Simülasyon Ortamı Olarak Seçilmesinin Nedenleri

Bir simülasyon yapılacaksa başlangıçta iki farklı yöntem izlenebilir. Bunlardan bir tanesi, var olan simülatörlerin isteklere bağlı olarak güncellenmesidir. Bir diğer yöntem, sıfırdan bir simülasyon ortamının hazırlanmasıdır. Sıfırdan hazırlanan bir simülasyon ortamı için çok fazla zaman harcanmalıdır. Buna karşılık simülatörün tasarımını yapan kişi her detayı bileceği için kontrolü rahat sağlar. Var olan bir simülatör üzerinde gerekli parçaların güncellenmesi, simülasyonun sıfırdan

yazılması için harcanacak zamanın, sadece gerekli görülen bölümler için harcanmasını sağlar. Bu tarz bir tasarımda ise geri kalan parçaların tam anlamıyla çalışır olduğundan ve isteklere tam anlamı ile cevap verebileceğinden emin olmak gerekir.

Bu tez hazırlanırken seçilen yöntem, var olan simülastör üzerinden gerekli parçaların güncellenmesi yöntemidir. Simülatörlerin özellikleri ve kullanılabilirlikleri açısından araştırma yapılmış ve J-Sim'in kullanılmasına karar verilmiştir. Bu kararda önemli rol oynayan konular J-Sim'in bileşen tabanlı olması, hakkında birçok dokümanın bulunduğu bir yazılım dili olan Java'yı kullanması, ölçeklenebilme sorununu Java'ya ait çöp toplayıcı motoruyla gidermiş olması ve açık kaynak kodlu olmasıdır. Ek olarak, hazırda birçok bileşenin rahatlıkla bulunması ve ücretsiz olması, seçimin J-Sim yönünde olmasına önemli bir etken olmuştur. Hazır olarak bulunan ve KAA simülasyonu için önemli olan enerji modelleri, bu ek bileşenlerden bir tanesidir.

KAA simülasyonunda kullanılmakta olan simülatörlerden başlıcaları Ns-2, GloMoSim, OPNET, SensorSim, J-Sim, SENSE, OmNet++, Sidh ve SENS programlarıdır [40].

Ns-2 nesne tabanlı ayırık durum simülatörüdür.⁶ Modüler yapısı sayesinde genişlemeye oldukça açıktır. Simülasyon ortamı C++ tabanlıdır. Ns-2 popüler simülatörlerden bir tanesidir. Protokol geliştirmek için birçok harici eklentisi kolaylıkla bulunabilir. Ns-2 ölçeklendirme problemini aşamadığı için KAA simülasyonunda kullanmak için uygun değildir [40].

GloMoSim kablolu ve kablosuz ağların simülasyonu için geliştirilmiştir. Alt yapısında Parsec (C++ paralel programlama eklentisi) kullanılmıştır. GloMoSim, Ns-2'deki ölçeklenebilme sorununu, nesnelere kümelendirerek bir nevi ortadan kaldırmıştır [41].⁷

⁶ Ağ simülatörü – Ns-2, <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>

⁷ GloMoSim, <http://pcl.cs.ucla.edu/projects/glomosim/>

OPNET genel amaçlı ve nesne tabanlı ayırık durum simülatörüdür. Simülasyonlarda her durum için hiyerarşik modeller kullanılır. OPNET birçok donanımsal ve fiziksel katmanı da gerçekleyebilir. Ns-2 ve GloMoSim'den ayrılan en büyük özelliği budur. Grafik tabanlı olarak geliştirilme yapılabilmektedir [40]. OPNET, Ns-2 gibi çok sayıda düğüm içeren simülasyonlar için sorun yaşamaktadır.

SensorSim, Ns-2'nin üzerine geliştirilmiştir [40].⁸ SensorSim, güç kaynağı ve algılayıcı kanalı gibi KAA'nın simülasyonu için gerekli bileşenleri içermektedir [40]. Ns-2'nin yetersiz yanlarını halen barındırmaktadır.

J-sim genel amaçlı Java tabanlı bir simülatördür [40]. Ns-2'den farklı olarak bileşen kavramına dayanmaktadır. Her bileşen bir nesne olarak tanımlanmıştır. KAA için J-Sim'de üç ana bileşen vardır. Bunlar;

uyarıcı bileşenler: Uyarıcı bileşenler, sinyal üretici olarak kullanılmaktadır.

algılayıcı düğümler:: algılayıcı düğümler, üretilen sinyale tepki veren bileşenlerdir.

toplayıcı düğümler: Toplayıcı düğümler, üretilen sinyalin en son varış noktasıdır.

Her ana bileşen, parçalar halinde simülasyonda farklı modellenmiştir. Parçalar halinde modelleme farklı protokollerin simülasyona entegrasyonunda kolaylık sağlar [40].

J-Sim'in bileşen yapısına sahip olması, nesne tabanlı olan Ns-2 ile karşılaştırıldığında ölçeklenebilme sorunun üstesinden büyük ölçüde gelmesini sağlar. SensorSim gibi dinamik bir yapısı vardır ve dış dünya ile iletişime açıktır [40].

J-Sim'in kullanımı Ns-2'ye göre daha rahattır. Java'nın programlama dili olarak eksik yönleri, J-Sim'ede yansımıştır. Java ölçeklendirme sorununu çöp toplayıcı motorunu kullanarak diğer programlama dilleri ile karşılaştırıldığında daha rahat üstesinden gelir [40]. J-Sim'de sadece 802.11 MAC protokolü mevcuttur.

⁸ SensorSim : algılayıcı ağları için simülasyon taslağı, <http://nesl.ee.ucla.edu/projects/sensorsim/>

SENSE, Ns-2 ile aynı şekilde çalışması için geliştirilmiş olsa da, Ns-2'nin nesne tabanlı yaklaşımını, J-Sim gibi bileşen tabana çevirmiştir. SENSE'in paket paylaşım modeli, nesne tabanlı programlama dillerine kıyasla ölçeklendirme ve hafıza kullanımında artılar sağlar [40].

OmNet++ bileşen tabanlı ayırık durum simülatörüdür. Simülatör, modül olarak adlandırılan ve peş peşe veya iç içe eklenebilen bileşenlerden oluşmuştur [40]. OmNet++ grafik tabanlı geliştirmeye olanak sağlamasına rağmen öğrenilmesi ve uygulanması oldukça zor olan ve zaman alan bir simülasyon ortamıdır.

Sidh, kablosuz ağlar için geliştirilen en son simülatörlerden bir tanesidir. Bileşen tabanlıdır ve Java dili kullanılmıştır. Durum, ortam çevre, düğüm, algılayıcı gibi birçok modülü vardır ve hepsi ayrı bir görevden sorumludur [40].

SENS'in ana 4 bileşeni vardır. Bunlar uygulama, ağ, fiziksel ve çevre bileşenleridir. SENS değişikliğe çok az izin vermektedir ve az sayıda protokolü destekler [40]. Bu yüzden geliştirme ortamı olarak seçilmesi uygun değildir.

OPNET, GloMoSim, SensorSim ve OmNet++ eksileri çok fazla olmayan simülatörler de olsalar, bu simülatörler ticari ürünlerdir.

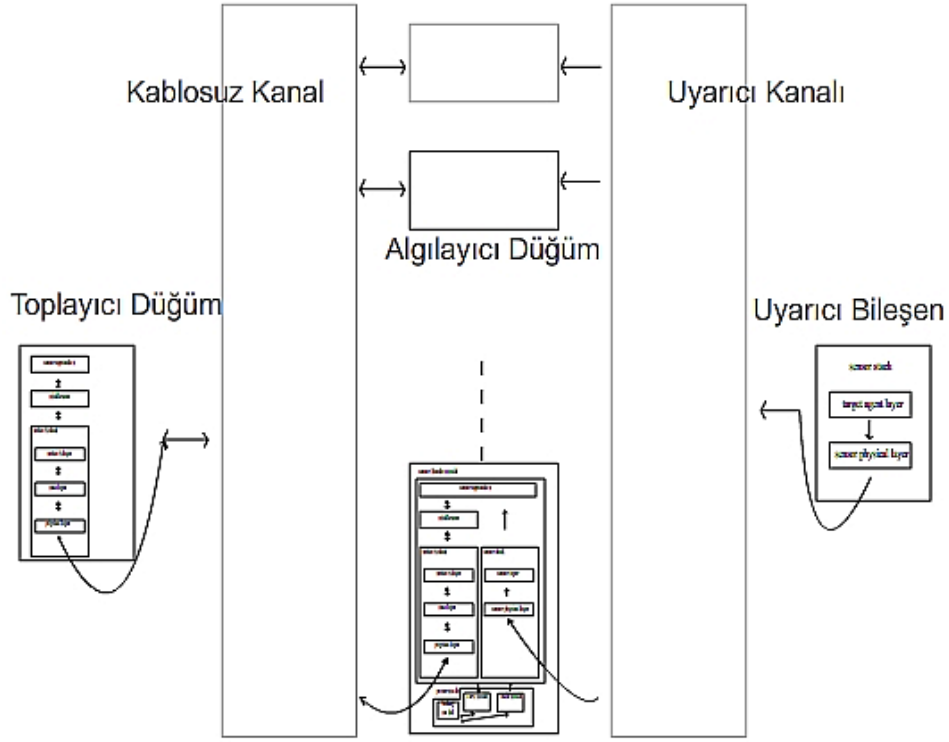
Ns-2 kendinden sonraki birçok simülatörün gelişmesinde önemli rol oynamış olsa da KAA simülasyonu için en uygun geliştirme ortamı J-Sim'dir.

Simülasyon ortamları ile ilgili detaylı bilgiye EK-2'de yer verilmiştir.

4.3 J-Sim KAA Simülasyonu Yapısı

J-Sim bileşen tabanlı bir yapıya sahiptir ve bileşenlerin her birinin özel görevleri vardır. Bu görevler bileşenlerin portlarına veri gelmesi ile tetiklenir. İşlenen veriler portlar aracılığı ile diğer bileşenlere aktarılır.

Bileşenler diğer bileşenleri kapsayabilir ve alt bileşenlerin portlarına bilgi doğrudan iletebilirler.

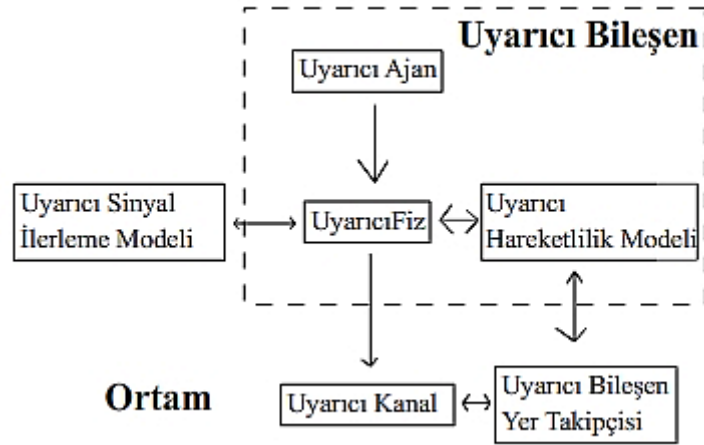


Şekil 14: Genel KAA J-Sim bileşenlerinin yapısının gösterimi

Genel olarak incelendiğinde J-Sim'in KAA simülasyonunda kullandığı ana bileşenler; Şekil 14'te de görüleceği üzere, uyarıcı bileşenler, algılayıcı düğümler, toplayıcı düğümler, algılayıcı kanalı ve kablosuz kanallardır.

4.3.1 Uyarıcı bileşen

Uyarıcı bileşenlerinin asıl amaçları simülasyon ortamında tetikleyici sinyal üretimidir. Bir kuşun algılayıcı ağı alanında gezmesi ve algılayıcı düğümlerinin tetiklenmesi için veri üretmesi, bu bileşenin simülasyondaki görevine örnek gösterilebilir.



Şekil 15: Uyarıcı bileşenin iç yapısının gösterimi

Uyarıcı bileşenler, simülasyonda durağan olarak tanımlanabileceği gibi belirli bir yönde hareket edebilecek şekilde de tanımlanabilirler. Bu bileşenlerden üretilen bilgi, algılayıcı kanalı aracılığı ile algılayıcı düğümlerine aktarılır. Uyarıcı bileşenlerden üretilen sinyalin hangi algılayıcı düğümleri tetikleyebileceğine algılayıcı kanalı karar verir. Üretilen olan sinyalin özellikleri UyarıcıFiz (uyarıcı fiziksel bileşen) ve uyarıcı ajan bileşenleri tarafından ayarlanmaktadır.

Uyarıcı bileşeni oluşturan alt bileşenler uyarıcı ajan, uyarıcıFiz ve uyarıcı hareketlilik modeli bileşenleridir.

Uyarıcı ajan bileşeni, tetikleyici sinyal üretiminde kullanılır ve bu sinyali alt katmanlara aktararak uyarıcı kanalında taşınmasını sağlar.⁹

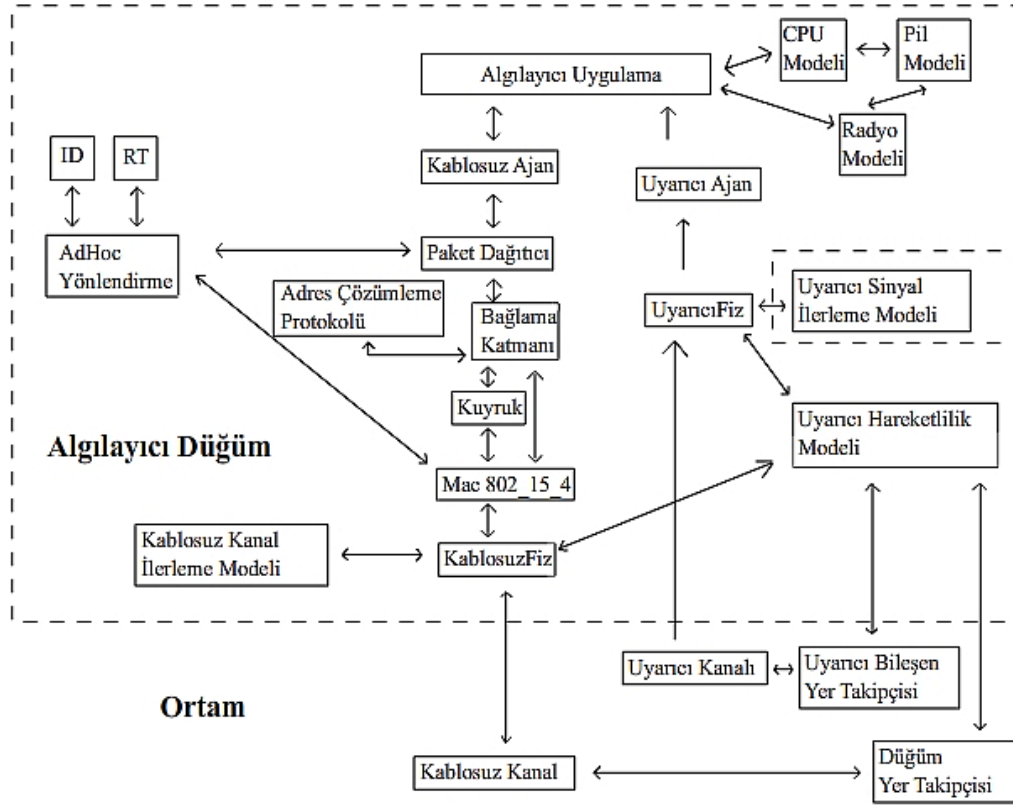
UyarıcıFiz bileşeni, uyarıcı bileşende veya algılayıcı düğümünde kullanılmasına göre iki farklı rol oynar. Uyarıcı bileşeninde kullanıldığı zaman, uyarıcı ajandan aldığı tetikleyici sinyali, uyarıcı hareketlilik modelinden aldığı yer bilgisi ile güncelleyerek uyarıcı kanalına yollar. Uyarıcı sinyal ilerleme modelinden ise uyarıcı bileşen ve algılayıcı düğüm arasındaki uzaklıktan ve sönümlenme katsayısından faydalanarak tetikleyici sinyalin güç bilgisini alır.

⁹ Algılayıcı ağları için J-Sim'de hazırlanan simülasyon taslağı,
http://jsim.cs.uiuc.edu/v1.3/sensor/sensornets_tutorial.htm

Uyarıcı hareketlilik modeli bileşeni, uyarıcı bileşenin yer bilgisini ve hareketli ise hareket doğrultusunda tutulmasında rol oynar.

Şekil 15'te uyarıcının içerdiği bileşenler ve bağlantıları görsek olarak verilmiştir.

4.3.2 Algılayıcı düğümler



Şekil 16: Algılayıcı düğümünün bileşen yapısının gösterimi

Algılayıcı düğümleri, simülasyonda en önemli rolü oynar ve Şekil 16'da da görüleceği üzere en karmaşık yapıya sahiptir. Uyarıcı kanalından aldıkları tetikleyici mesajı, toplayıcı düğümüne kablosuz kanalı kullanarak iletirler. Kablosuz kanal kullanımında atlamalı olarak iletişim yapılıır.

Algılayıcı düğümü, hem algılayıcı kanalı hemde kablosuz kanalla iletişim halinde olduğu için her iki kanal içinde gerekli olan bileşenleri barındırır.

Ağ içindeki düğümlerin tanımlayıcı ve kimlik yönetici bilgilerinin bulunduğu bileşen ID bileşenidir.

RT bileşeni düğümde yönlendirme tablosunu yönetir.

Algılayıcı Uygulama bileşeni, toplayıcı veya algılayıcı düğümde olmasına göre iki farklı rol oynar. Algılayıcı düğümündeki rolü, Uyarıcı kanalından gelen bilgileri toplayıcı düğüme aktarılmak üzere orta katmandaki bileşenlere aktarmaktır.

Kablosuz ajan bileşeni, Algılayıcı uygulama bileşeni gibi iki farklı rol oynamaktadır. Algılayıcı düğümündeki rolü, algılayıcı uygulama bileşeninden üretilen veriyi algılayıcı paketi haline çevirmek ve alt katmanlarda işlenmek üzere iletmektir. Transfer edilecek veri uzunluğu, sinyal-gürültü oranı veya paketin iletileceği hedefin kimliği gibi önemli bilgiler de pakete eklenir.

Paketlerin yönlendirilmesini paket dağıtıcı bileşeni üstlenir.

Bağlama katmanı bileşeni, genel bağlama katmanı fonksiyonlarını barındırır.

Adres çözümlenme protokolü bileşeni, adres çözümlenmesi görevini üstlenir. Bu simülasyonda düğümler arasında sanal adresleme ile donanımsal adresleme arasında bir fark yoktur.

Kuyruk bileşeni, ilk giren ilk çıkar prensibi ile çalışmaktadır. Bileşen aşırı hızlı gelen verilerin yığılmasını gerçekler. Bu bileşenin bulunması gerçekçilik açısından oldukça önemlidir.

Mac_802_15_4 bileşeni, IEEE 802.15.4 protokolünün fonksiyonlarının çalıştırıldığı bileşendir. J-Sim'de, ortam erişim bileşeni olarak IEEE 802.11 kullanılmıştır ve bu bileşen IEEE 802.15.4 için uyarlanmıştır. Bu bileşen üzerinde tanımlı olan birçok değer, sınıflar ve metotlar IEEE 802.15.4'e uygun olacak şekilde yeniden yazılmıştır. Bu bileşen gerekli olan birçok zaman tutucunun çalıştırılmasında ve ayarlanmasında, hazırlanan paketlerin yorumlanmasında ve gerekli paketlerin hazırlanmasında önemli rol oynamaktadır. Bu bileşende üretilen paketler, kablosuz

kanala açılan en son donanımsal bileşeni temsil eden kablosuzFiz (kablosuz fiziksel bileşen) bileşenine gönderilir.

KablosuzFiz bileşeni donanımsal bir bileşeni temsil etmektedir. Bu bileşen, MAC_802_15_4 bileşeninden aldığı paketleri kablosuz kanala sinyal olarak yollar.

CPU modeli bileşeni, düğümde bulunacak olan bir işlemciyi temsil eder.

Pil modeli bileşeni, düğümdeki güç bileşenini modeller.

Radyo modeli bileşeni, farklı radyo modellerini taklit edebilir.

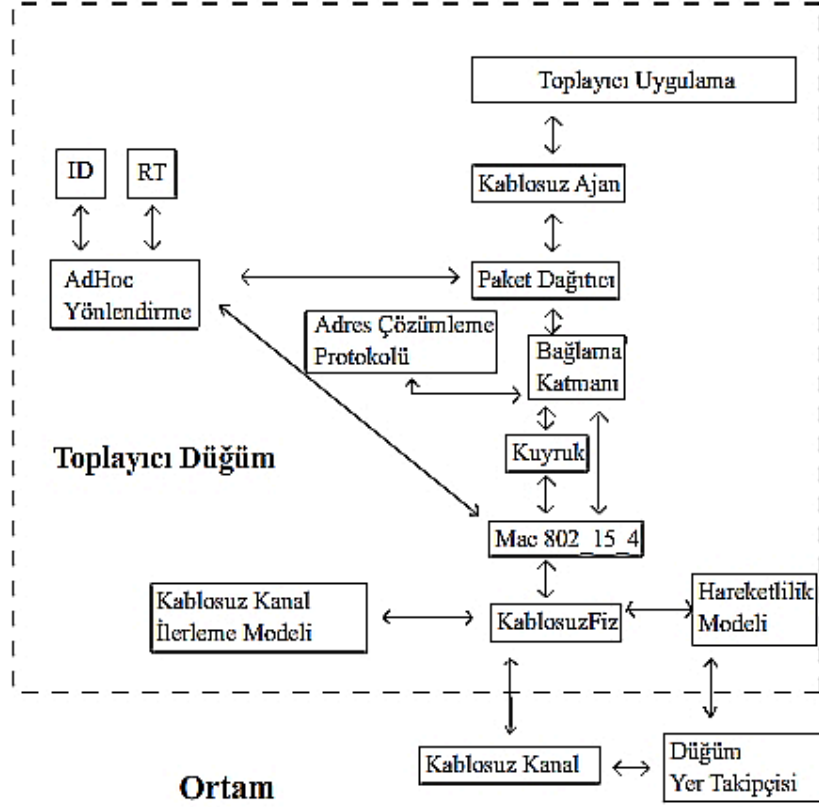
Uyarıcı ajan bileşeni, düğüme gelen uyarıcı sinyali derler ve algılayıcı uygulama bileşeninde yorumlanmak üzere aktarır.

UyarıcıFiz bileşeni, bileşenin kullanıldığı yere göre farklı görevler üstlenir. Algılayıcı düğümünde kullanıldığı zaman, kendine ulaşan tetikleyici sinyalin paketini yorumlar ve uyarıcı ajan bileşenine iletir.

Uyarıcı sinyal ilerleme modeli ve uyarıcı bileşen yer takipçisi modelleri uyarıcı bileşendeki görevlerin aynılarını üstlenir ve yapı olarak da aynı tasarıma sahiptirler.

4.3.3 Toplayıcı düğümler

Toplayıcı düğümler, tetikleyici sinyallerin ulaştırıldığı son noktalardır. Uygulamanın gerektirdiklerine göre çok sayıda toplayıcı düğüm olabilir. Bu düğümler başka bir ağa açılan noktalar olabileceği gibi sadece tetikleyici sinyallerden oluşan bilgilerin toplandığı ve değerlendirildiği noktalarda olabilirler. Belirli bir alanda toplanan bilgilerin, toplayıcı düğümlerden IP ağına çıkıp, buradan dünyanın herhangi bir yerindeki ana merkeze yönlendirilmesi, toplayıcı düğümün işleyişine örnek gösterilebilir.



Şekil 17: Toplayıcı düğümün bileşen yapısının gösterimi

Şekil 17'de de görüleceği üzere, toplayıcı düğümlerin yapısı algılayıcı düğümlerinin yapısı kadar karmaşık değildir. Bunun nedeni ise bu düğümlerin uyarıcı bileşenden gelen bilgiyi işlememeleridir. İletişimde gerekli olan bileşenler, sadece algılayıcı düğümlerden gelen bilgilerin işlenmesi için gerekli olanlar ve gerekli görüldüğü takdirde diğer IP ağlarıyla iletişim yapılabilmesi için bulundurulmuş bileşenlerdir.

Toplayıcı düğümlerin sayısı ağ yapısına göre bir ya da daha fazla olabilir.

Bu düğümdeki bileşenler, algılayıcı düğümlerdeki bileşenlerle aynı rolleri üstlenirler. Bu roller algılayıcı düğümler başlığı altında incelenmiştir. Toplayıcı düğümlerin, algılayıcı düğümlerden farklı bir görev üstlenmesi bekleniyorsa, toplayıcı uygulama bileşeninde değişiklik yapılması gerekir.

4.3.4 Uyarıcı kanal

Uyarıcı kanalı, uyarıcı bileşen yer takipçisi modeli yardımı ile uyarıcı bileşenlerin tetiklediği paketlerin, algılayıcı düğümlerine aktarılması için bir ortam oluşturur. Uyarıcı bileşen yer takipçisi modeli kullanılarak, uyarıcı kanal alanı alt alanlara bölünebilir ve sınır bölgeleri belirlenir.

4.3.5 Kablosuz kanal

Kablosuz kanal, düğüm yer takipçi bileşeni ile birlikte algılayıcı düğümlerinin ve toplayıcı düğümlerin birbirleri ile haberleşmesinde ve bilgi taşınmasında paylaşılmış bir ortam oluşturur. Simülasyondaki önemli bileşenlerdendirler.

Bu tezdeki simülasyonu gerçekleştirebilmek için kablosuz kanal vazgeçilmez bir bileşendir. Tez için güncellenen MAC protokolü, kablosuz iletişim için hazırlanmıştır ve bu bileşene fiziksel kablosuz iletişim kartlarını modelleyen kablosuzFiz bileşeni üstünden ulaşmaktadır.

Kablosuz kanal bileşeni üzerinden, kaç tane toplayıcı ve algılayıcı düğüm varsa bu düğümlerin kablosuz kanala tanımlanmasının yapılması gerekmektedir.

Kablosuz kanala portları aracılığı ile bir veri ulaştığı zaman, kanal bu veriyi etraftaki hangi düğümlere yönlendireceğini düğüm yer takipçi bileşeninden aldığı bilgiyi kullanarak yapar.

5 Simülasyon ve Simülasyonun Doğrulanması

Bu tezde, J-Sim'le gerçekleştirilen simülasyonda IEEE 802.15.4 standardı kullanılmıştır.

Simülasyon ortamında akın yönlendirmesi kullanılmıştır. Akın yönlendirmesinde ağ yapısının homojen olduğu kabul edildiğinden, IEEE 802.15.4'de tanımlı olan iki cihazdan, sadece tam fonksiyonlu cihazın kullanımı simülasyon ortamına eklenmiştir. Tam fonksiyonlu cihazlar, simülasyonda algılayıcı düğümlerine karşılık gelmektedir.

Güvenlik kontrolü simülasyonda gerçekleştirilmemiştir.

IEEE 802.15.4'de adresleme ve düğüm kimliği olarak 16 bit ve 64 bit adresleme bulunmaktadır ama simülasyonda gerçekleştirilmemiştir. Seçilen yönlendirme ve homojen ağ yapısı özelliklerinden dolayı adresleme, standarttakine uygun seçilse bile sadece 64 bit seçilebilir. IEEE 802.11 MAC protokolü ile yapılan simülasyondaki adresleme tekniği, IEEE 802.15.4 için değişiklik yapılmadan kullanılmıştır.

Standartta tanımlanan 4 adet fiziksel ortamdan 2.4 GHz bandında iletişimde bulunun fiziksel ortamın özellikleri seçilmiştir.

5.1 J-Sim MAC protokolü

Kullanılan IEEE 802.15.4 MAC protokolünün modellenmesi, IEEE 802.11 MAC protokolünü modelleyen bileşenden yararlanılarak yapılmıştır. IEEE 802.11 ve IEEE 802.15.4 protokolleri arasında birçok farklılık vardır. Bunların başında veri transferi için hızların farklı olması gelir. IEEE 802.11 protokolünün farklı alanlarda kullanılmak üzere a,b,g,n gibi birçok versiyonu bulunmasına rağmen veri transfer hızı KAA için oldukça yüksektir ve güç tasarrufu konusunda verimli değildir. Bir diğer ana farklılık ise düğümler arası mesajlaşmalardaki farklılıklardır.

J-Sim MAC bileşeni, asıl görevi üstlenen, mesajlaşmadaki zamanlayıcıları ayarlayan, fiziksel ve link katmanlarının arasında iletişimi sağlayan Java sınıflarını

içerir. Bu sınıflardan en önemlileri, enerji, ortam erişim kontrolü yönetim bilgisi tabanı (MAC_MIB) ve fiziksel yönetim bilgisi tabanı (PHY_MIB) sınıflarıdır.

MAC bileşenin iç yapısı IEEE 802.11, IEEE 802.15.4 ve ZigBee dokümanlarını referans alarak değiştirilmiş, IEEE 802.15.4 protokolüne uygunluğu sağlanmıştır.

5.1.1 Ortam erişim kontrolü yönetim bilgisi tabanı

Bu sınıf, MAC katmanı yönetim bilgilerinin bulunduğu değerleri içerir. Düğümün kablosuz kanala erişimindeki tüm bilgiler bu sınıfın içinde tanımlanır ve simülasyon sırasında kullanılır.

Düğümün kanala erişmesinde RTS/CTS anlaşmasını kullanırlar. RTS/CTS anlaşması kullanıldığında, yollayıcı düğüm, alıcı düğümüne öncelikle yollama işlemini gerçekleştirip gerçekleştiremeyeceğini sorar (RTS) ve sonra alıcı düğümünden yollama izninin gelmesini bekler (CTS). Bu anlaşmanın her mesajda aktif olarak kullanılması için MAC_MIB sınıfına ait MAC_RTSThreshold değerinin sıfır olarak atanması gerekmektedir. Eğer bu değer artırılırsa, değerinin altında paket uzunluğu olan mesajlar RTS/CTS anlaşması olmadan yollanmaya çalışılır.

IEEE 802.15.4 protokolünde kayıp paketler için tekrar deneme sayısı olarak 0 ve 7 arasında değerler seçilebilir ve varsayılan değer 3'dür [6]. Tekrar deneme sayısı komşu düğümler arasında tanımlanabileceği gibi, verinin üretildiği ve verinin ulaştığı düğümler arasında da tanımlanabilir. MAC_MIB sınıfında komşu düğümler arasında verinin tekrar iletilmesi için deneme sayısı Mac_ShortRetryLimit ile belirlenir. Verinin üretildiği ve ulaştığı düğümler arasında tekrar deneme sayısı olarak da Mac_LongRetryLimit değişkeni kullanılır.

Protokolde, iletilebilecek en fazla mesaj boyutu olarak 1064 sembol içeriği olan mesajlar kabul edilmiştir [6]. Daha büyük boyutta oluşabilecek ya da iletilecek mesajlar, parçalara bölünerek iletilir.

MAC_ShortRetryLimit	3 kez
MAC_LongRetryLimit	3 kez
MAC_FragmentationThreshold	1064 sembol
MAC_RTSThreshold	0 birim

Tablo 2: MAC_MIB sınıfı değişkenleri tablosu

5.1.2 Fiziksel yönetim bilgisi tabanı

Bu sınıf, fiziksel katman yönetim bilgilerinin bulunduğu sabit değerleri içerir. Sabit bu değerler donanıma bağlıdır ve ağ kurulduktan sonra değiştirilemez.

PHY_MIB sınıfında tanımlı olan değerlerden iki tanesi en uzun ve en kısa çarpışma penceresi değerleridir. Bu iki değer aralığı kullanılarak mesajlaşmadaki çakışmalar önlenir ve boş yere transfer yapılmaması sağlanır. Düğümlerin uzun zaman geçtikten sonra mesajı iletmeye çalışmaması için bir üst limit de belirlenir.

Zigbee ve IEEE 802.15.4 protokollerinde tanımlanan işaret sinyali, her süper çerçevenin başında yollanır. Bir sonraki işaret sinyalinin yollanacağı zaman hesaplanırken, süper çerçeve zamanı ve macBeaconOrder değerleri kullanılarak aşığıdaki gibi hesaplanır.

$$i\text{şaretc}i \text{ sinyal zamanı} = \text{süper çerçeve zamanı} * 2^{\eta} \quad (2)$$

Bu formülde η macBeaconOrder değeridir [6]. İşaret sinyalinin önceliği diğer tüm sinyalleşmelerden daha fazladır.

Düğümlerde, veri alma verme zamanı aralığı Zigbee dokümanında 1.152 ms olarak belirtilmiştir. Bu değer PHY_MIB sınıfındaki karşılığı DSSS_RxTxTurnaroundTime 'dır. Bu zaman aralığı tam olarak gelen paketin en sonundaki sembolün bittiği zamanla, gelecek bir sonraki paketin ilk sembolü arasındaki zamandır.

Başka bir tanımlı değer ise, bir düğümün paketi yolladıktan sonra bekleyip, o paketi işlemesi için gereken süredir. Bu değer simülasyondaki eşitliği ise DSSS_SIFSTime'dır ve 12 sembol süresidir; Tablo 3'te saniye olarak değeri de gösterilmiştir [6].

Senkronizasyon için IEEE 802.15.4 protokolünde 32 bit uzunluğunda bir dizi kullanılmıştır [42]. Bu değer PHY_MIB sınıfında DSSS_PreambleLength olarak tanımlanmıştır.

CWMin	2
CWMax	255
RxTxTurnaroundTime	1.152 ms
SIFSTime	0.000192 sn , 12 sembol süresi
PreambleLength	32 bayt

Tablo 3: PHY_MIB sınıfı değişkenleri tablosu

5.1.3 Veri şablon yapıları

Her protokolde olduğu gibi IEEE 802.15.4 protokolünde de biçimlendirilmiş veriler kullanılır. Biçimlendirilmiş bu verilere veri şablonları denir ve yollanacak verilerin bu şablona uyması gerekmektedir. Şablonların kendilerine özel yapıları vardır [6].

Her şablon, genel şablon yapısından üretilmektedir. Bu genel şablona, genel MAC şablonu denilir ve yapı itibari ile Tablo 4'teki gibidir.

Mac başlığı							Mac yükü	Mac son yükü
Şablon Kontrol	Sıra numarası	Hedef küme adresi	Hedef adresi	Kaynak küme adresi	Kaynak adresi	Güvenlik eki	Şablon verisi	Şablon Onay
Bayt:2	1	0/2	0/2/8	0/2	0/2/8	0/5/6/10/14	değişken	2

Tablo 4: Genel veri şablonu yapısı

Şablon kontrolü, bu şablondaki en önemli bileşenlerden bir tanesidir. Bu iki baytlık dizisi ile, alt şablonlar belirlenir ve alıcı tarafından bu bilgiye göre değerlendirilir. Bu tezde, ağ güvenliği için herhangi bir işlem yapılmadığından güvenlik eki bit dizisi 0 olarak kabul edilmiştir. Güvenlik bilgisinin iptal edilmesi için şablon kontrol alanındaki, güvenlik açık bitinin değerinin de 0 olarak atanması gerekir

Sıra numarası, şablon hazırlandığı zaman şablona eklenir ve şablonun kimlik bilgisi olarak değerlendirilir. Genel şablonda verinin nereden üretildiği ve nereye doğru yönlendirileceği, kaynak ve hedef alanları ile belirlenir. İletilecek asıl veri şablon verisi alanında yerini alır. Şablon kontrol, kontrol amaçlı kullanılan ve genel şablona bağlı olan bir değişken alandır.

5.1.4 Zamanlayıcılar

Zamanlayıcılar, MAC bileşeninde önemli rollerden bir tanesini üstlenmektedirler. Düğüm tarafından üretilecek verilerin hangi zaman aralığında yollanacağı, geri bildirimli yollanan verilerin ne kadar zaman sonra zaman aşımına uğrayacağı gibi birçok görevi üstlenirler.

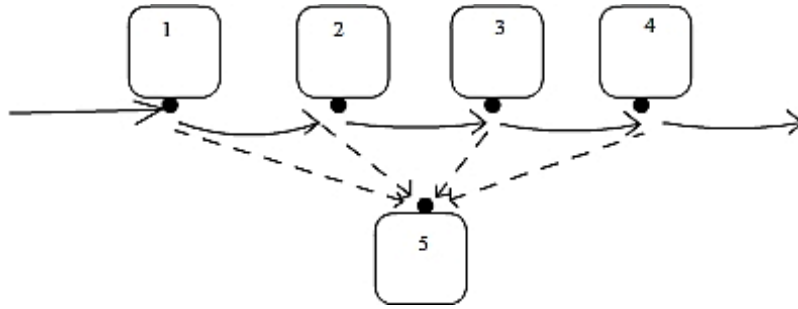
Örnek verilecek olursa. Yollanan veri şablonunda, şablon kontrolü alanındaki ACK istemi biti 1 olduğunda, düğüm verinin yerine ulaşip ulaşmadığını anlamak için alıcı adresteki düğümden gelecek cevabı, ilişkili zamanlayıcıda tanımlanan süre kadar bekler. Aksi takdirde düğüm, isteği zaman aşımına uğratır.

Zamanlayıcılar MAC bileşeninin kurucu metodunda başlatılır ve gerekli görüldüğü yerlerde sıfırlanır, durdurulur ya da devam ettirilir. Zamanlayıcılar, J-Sim'de nesne

olarak sınıfların içinde tanımlanır ve belirli bir zaman aralığında veri işlenesi için sınıfın kendi kendini tetiklemesini sağlar.

5.2 J-Sim'de kullanılmak üzere geliştirilen veri toplama bileşeni yapısı

Bir simülasyon gerçekleştirileceği zaman asıl önemli olan o simülasyondan elde edilecek verilerin doğru bir şekilde toplanabilmesidir. J-Sim bunun için oldukça rahat bir ortam sunar. J-Sim, ACA tabanlı olduğu için bileşenler birbirleri ile portları ve kontratlar aracılığıyla haberleşirler. Kontrata uyulduğu sürece belirlenen porttan çıkan veya o porta gelen her türlü bilgiyi elde edilebilir.



Şekil 18: Tcl'de veri toplamak için örnek yapının gösterimi

Bir bileşenin portuna gelen bilgiye herhangi bir değişiklik yapmadan ve akışını bozmadan Tcl'deki komutların yardımı ile ulaşılabilir. Bu komutlar sayesinde bir porta, istenildiği kadar bileşen bağlanabilir ve asıl bileşenin işlevinde de herhangi bir değişiklik yapılmamış olur. Örneğin, Şekil 18'de görüldüğü üzere, 1,2,3 ve 4 isimli bileşenleri sırası ile aldıkları bilgiyi diğer bileşenin portuna iletiyor olsun. Bir diğer 5. bileşen ise, bu portlara gelen her türlü bilgiyi dinleyebilmesi için bağlanmış olsun. Bu işlem sonrasında, her porta gelen bilgi, 5 nolu bileşen tarafından da işlenmek üzere kabul edilir.

Bir porta gelen veriyi toplayıp kaydetmenin en kolay yolu verinin yazı dosyası halinde sabit diske kaydedilmesidir. Gerekli bağlantılar yapıldıktan sonra istenilen bileşene eklenmiş olan portdan, istenilen her türlü bilgi kaydedilebilir.

5.3 İyileştirmesi yapılan enerji modelinin detayları

IEEE 802.11 standardı için J-Sim'de üç tane enerji modeli tanımlanmıştır. Bu modeller düğümdeki işlemciyi temsil eden "CPU" bileşeni, radyo alıcı vericisini temsil eden "radyo modeli" bileşeni ve enerji deposunu temsil eden "pil modeli" bileşenleridir.

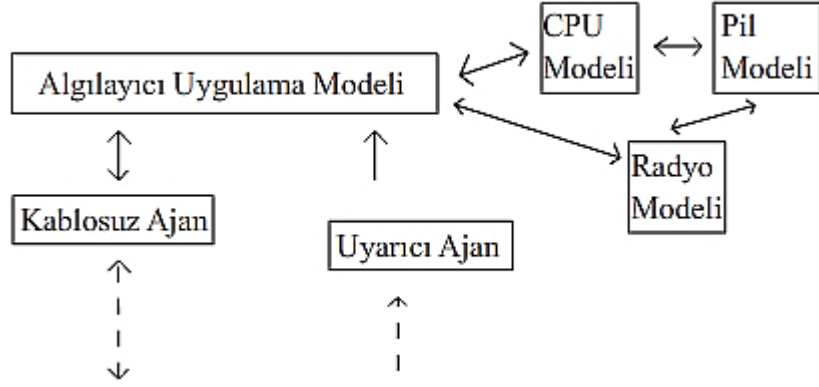
J-Sim'de var olan bu modeller kendi aralarında haberleşebilseler de, bu bileşenlerin algılayıcı uygulama bileşeni ile bağlantıları çalışmamaktadır. Bu bağlantıdaki problem giderilmiş ve algılayıcı uygulama bileşeninde enerji kullanımı için iyileştirmeler yapılmıştır.

CPU bileşeninde, düğümdeki işlemcinin tam kapasitede ve işlem yapmadığı zamanlarda kullandığı enerji miktarları tanımlıdır. Benzer bir tanımlamada radyo modeli bileşeninde de bulunmaktadır. Bu bileşende radyo alıcı/vericisinin alıcı konumunda olduğu, verici konumunda olduğu ve alıcı/verici konumunda olmadığı zaman kullandığı enerji miktarları tanımlanmıştır. algılayıcı uygulama bileşeninde iyileştirmeler yapılmış ve bu tanımlı değerler arasında uygun zamanlarda geçiş yapılması tetiklenerek daha gerçekçi bir enerji modeli simülasyonda uygulanmıştır.

Radyo verici modelleri simülasyonda alıcı konumunda başlarlar. Algılayıcı kanalından bir veri geldiği zaman bu verinin son adresi düğümün kendisi değilse, radyo modelinin verici konuma geçmesi ve tanımlı olan değer kadar pil modeli bileşeninden enerji kullanması sağlanır. Aynı uygulama kablosuz kanaldan paketin uygulayıcı düğümüne ulaştığı zaman tekrarlanır.

CPU modelinde ise bileşen simülasyona işlemcinin tam kapasite ile çalışmadığı durumda başlar. Algılayıcı kanalından ve kablosuz kanaldan gelen her türlü paket için, paket boyutuna bakılarak pil modelinden enerji kullanması sağlanır.

Şekil 19'da radyo modeli, pil modeli, ve CPU modeli bileşenlerini birbiri ile olan bağlantıları gösterilmiştir.



Şekil 19: KAA simülasyonunda kullanılan enerji modellerinin genel görünümü

5.4 Gerçekleştirilen Simülasyonlar

Simülasyonda düğümlerin dağılacakları alan düğüm yer takipçisi bileşeni ile belirlenir. Alan, 2 boyutlu olarak x-doğrultusunda 100-600 m, y-doğrultusunda 100-500 m aralığında tanımlanmıştır.

Düğümmler algılayıcı alanına eklenmeden önce iç bileşenleri hazırlanır ve daha sonra birbirlerine bağlantıları yapılır. En son bağlantı, kendisi de bir bileşen olan, simülasyon alanına yapılır. Başlangıçta düğümlerin hepsi aynı anda çalışmaya başlamaması için her düğümün aktif olmaya başlayacağı zaman daha önceden belirlenir. Simülasyonlarda belirtilen süreler duvar saatinde geçen zamanlar değil simülasyonda geçen zamanlardır.

Simülasyondaki enerji modelleri kullanılarak kalan enerji yüzdeleri ölçülmüştür. Ayrıca algılayıcı alanındaki toplam iletilen paket sayısının ölçülebilmesi için kablosuz kanal bileşenine bir sayaç eklenmiştir.

Algılayıcı ağı alanı içerisinde enerji tüketimini artıran önemli değişkenlerden bir tanesi de ağ içinde dolaşan toplam mesaj paketlerinin sayısıdır. Bu değer hesaplanması, enerji tüketiminin gözlenmesi açısından önemlidir.

Daha önce yapılmış olan bir simülasyonda, NS-2 simülasyon ortamı kullanılarak IEEE 802.15.4 paket sayılarının, IEEE 802.11 RTS/CTS sinyalleşmeleri paket

sayılarıyla karşılaştırılması yapılmıştır ve IEEE 802.15.4 protokolünün daha verimli olduğu ve daha az enerji tükettiği belirtilmiştir [43].

Simülasyonlarda IEEE 802.11 protokolü ile yapılan karşılaştırmalarda, IEEE 802.15.4/c protokolünün çarpışmadan bağımsız modu kullanılmıştır. Bu mod, IEEE 802.11/PCF protokolüne yapısal olarak da yakındır [44].

Simülasyonlarda, uyarıcı bileşenlerin etrafını tetikleyebileceği uzaklık 100 metre, algılayıcı düğümlerinin birbirleri ile iletişimde kullandıkları uzaklık değeri 75 metre olarak kabul edilmiştir.

IEEE 802.11 ve IEEE 802.15.4'de kullanılan radyo alıcı vericilerinin kullandıkları enerji, ATMEL ve RFM firmaları tarafından üretilen düğümler referans alınarak simülasyondaki sonuçlar tekrar tartışılmıştır. Gerçek değerler, IEEE 802.11 (RFM-WLNB_AN_DP101 cihazı) için 100mW¹⁰; IEEE 802.15.4 içinse (RFM-LPR2430 cihazı) 1mW¹¹ olarak seçilmiştir. Simülasyonlarda kullanılan enerjinin dağılımının daha iyi gözlenebilmesi için 100mW'lık cihazlar kullanılmıştır. IEEE 802.15.4 ve IEEE 802.11 protokolleri arasında karşılaştırma yapılırken 100mW'lık cihazların kullandıkları enerji 1mW'lık cihazlara göre oranlanmıştır.

Simülasyonda farklı senaryolar denenmiştir. Bu senaryolarda algılayıcı düğümler, elle veya belirli bir modele göre dağıtılmıştır. Elle dağıtılan senaryolarda algılayıcı düğümlerin hareketli ve sabit olduğu, uyarıcı bileşenin rastgele veya belirli bir rota izlediği durumlar incelenmiştir. Algılayıcı düğümlerin belirli bir modele göre dağıtıldığı senaryolarda düğümler üçgensel, kare ve Gaussian dağılımlara göre dağıtılmış, uyarıcı düğümün de belirli bir rotada hareket etmesi sağlanmıştır.

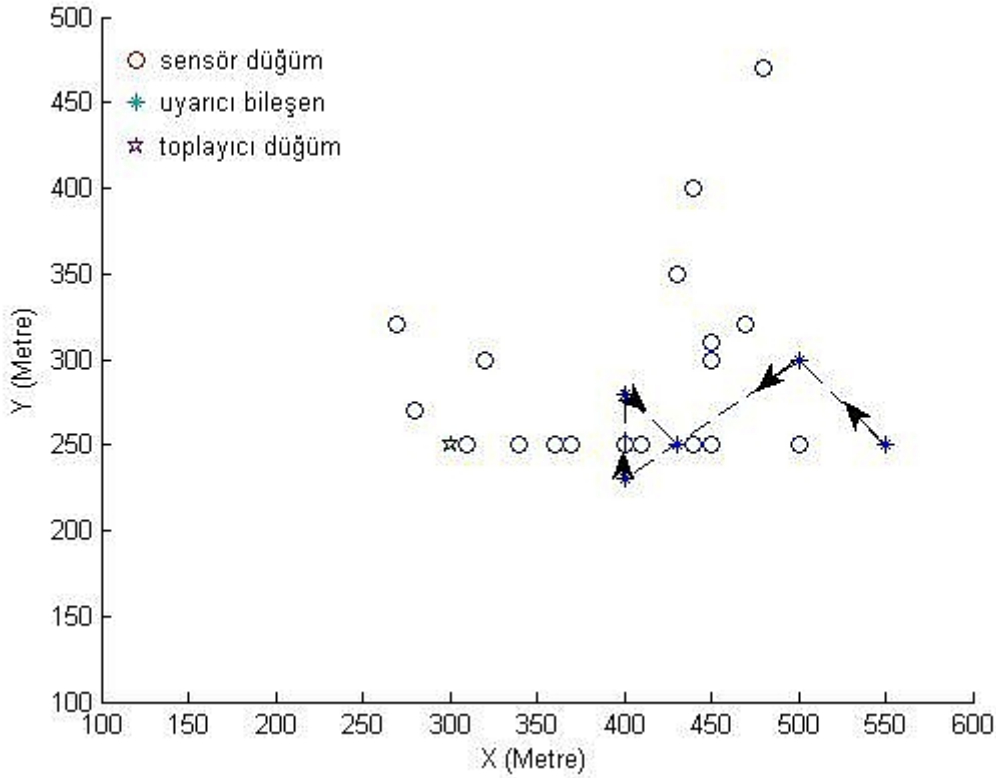
5.4.1 Algılayıcı düğümlerin sabit durduğu, uyarıcı bileşenlerin belirli bir yol izlediği senaryonun incelenmesi

Bu senaryoda uyarıcı bileşenin algılayıcı alanında izlediği yol, IEEE 802.15.4 ve IEEE 802.11 arasında karşılaştırma yapılabilmesi için sabit tutulmuştur. Her iki

¹⁰ RF Monolithics Inc., 802.11g modülleri, <http://www.rfm.com/products/80211b.php>

¹¹ RF Monolithics Inc., 802.15.4 modülleri, <http://www.rfm.com/products/802154.php>

standart kullanılırken algılayıcı düğümlerin ve toplayıcı düğümün yerleri aynıdır. Uyarıcı bileşenin algılayıcı alanındaki hızı 3 m/s olarak ayarlanmıştır. Uyarıcı bileşenin hızının değeri, doğada izlenmesi düşünülen bir olayın (örneğin, bir memeli hayvanın hareketi) hızı ile uyuşacak değerde seçilmesine dikkat edilmiştir. Kablosuz algılayıcı alanında uyarıcı bileşen, toplayıcı düğüm ve algılayıcı düğümlerin yeri Şekil 20'de gösterilmiştir.



Şekil 20: Algılayıcı düğümlerin sabit, uyarıcı bileşenin belirli bir yol izlediği senaryo

Bu senaryoda kablosuz kanaldan geçen toplam paket sayısı ve düğümlerde harcanan ortalama enerji değerinin yüzdesi incelenmiştir.

IEEE 802.15.4 simülasyonunun sonuçlarında toplayıcı düğümün solunda kalan ve algılayıcı alanının dışına yakın duran düğümlerde enerji tüketimi, genel tüketime göre daha azdır. Bu düğümler uyarıcı olan alandan uzaktadırlar.

	Paket sayısı	Kalan ortalama enerji yüzdesi (%)	Gerçek enerji değerleri için oranlanmış kalan enerji ortalaması yüzdeleri
IEEE 802.11	4598473	76,92	76,92
IEEE 802.15.4	358672	83,56	99,86

Tablo 5: Algılayıcı düğümlerin sabit, uyarıcı bileşenlerin belirli bir yol izlediği senaryonun sonuçlarını gösteren tablo

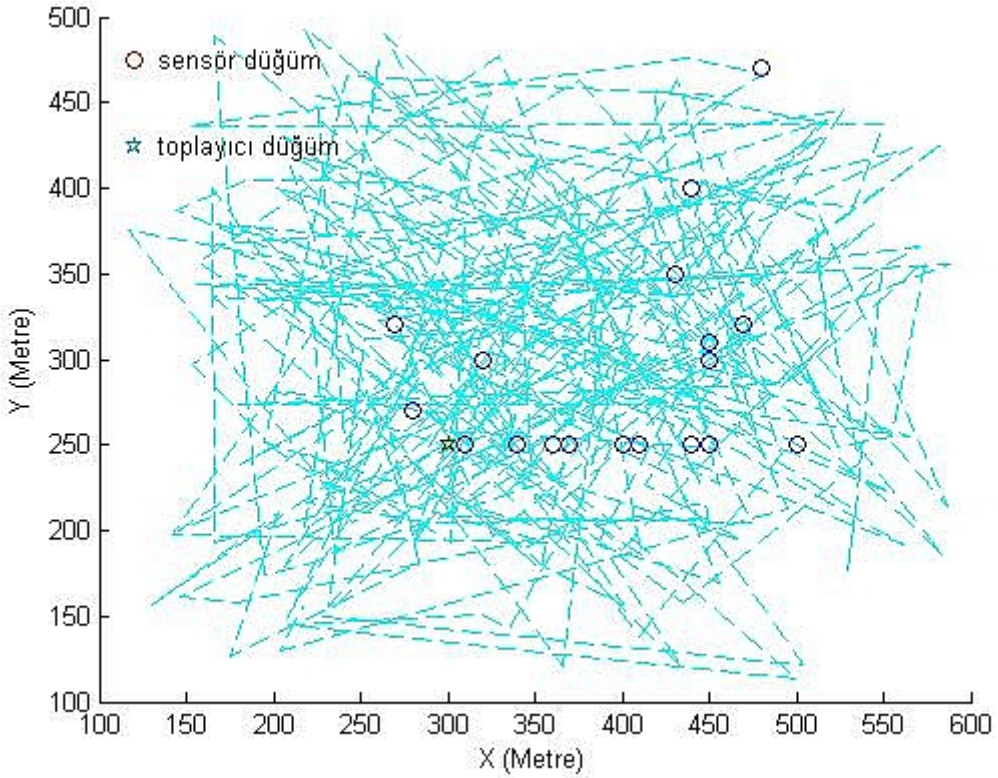
Tablo 5'teki sonuçlar simülasyon ortamında 100 saniye geçtikten sonra hesaplanmıştır. Kalan ortalama enerji yüzdeleri arasındaki fark 6,64'dür. Simülasyon sonuçlarına göre IEEE 802.15.4, IEEE 802.11 protokolüne göre daha az enerji tüketmiş ve kullanılan toplam paket sayısı da daha azdır. Bölüm 5.4'te belirtilen IEEE 802.11 ve 802.15.4 vericilerinin gerçek enerji tüketimlerine göre elde edilmiş sonuçlar da, tüketimler arasındaki farkın daha net gözükmesi için Tablo 5'in üçüncü sütununda ayrıca gösterilmiştir.

5.4.2 Algılayıcı düğümlerin sabit durduğu, uyarıcı bileşenlerin rastgele yol izlediği senaryonun incelenmesi

Bu senaryoda algılayıcı düğümlerin yeri sabit tutulmuş ve uyarıcı bileşenin rastgele seçilen yolları izlemesi sağlanmıştır. Rastgele izlenen yol ile elde edilmek istenen, genel enerji tüketiminin gözlenmesidir. Uyarıcı bileşenin algılayıcı alanındaki hızı 0-5 m/s aralığında değişmektedir. Bu senaryo IEEE 802.11 ve IEEE 802.15.4 kullanılarak 100 kere tekrarlanmış ve ortalama değerler alınmıştır. Her simülasyon 100 saniye sürmüştür.

	Paket sayısı	Kalan ortalama enerji yüzdesi (%)	Gerçek enerji değerleri için oranlanmış kalan enerji ortalaması yüzdeleri
IEEE 802.11	4426106	77,95	77,95
IEEE 802.15.4	357518	84,34	99,84

Tablo 6: Algılayıcı düğümlerin sabit, uyarıcı bileşenlerin rastgele yol izlediği senaryonun sonuçlarını gösteren tablo



Şekil 21: Uyarıcı bileşenin algılayıcı alanında rastgele izlediği yolun gösterimi

Şekil 21'de uyarıcı bileşenin tüm senaryolar boyunca izlediği yol ve algılayıcı ve toplayıcı düğümlerin yerleri gösterilmiştir.

Düğümlerde harcanan enerjilerin yaklaşık olarak homojen bir dağılım gösterdiği görülmüştür.

Bu senaryoda kablosuz kanaldaki paket sayılarının, düğümlerin sabit olduğu ve uyarıcının belirli bir yol izlediği senaryodan az olmasının nedeni, uyarıcı bileşenin algılayıcı düğümlerini tetikleme uzaklığının, algılayıcı ağı alanı içinde bazı bölgelerde yetersiz kalmasıdır. Algılayıcı düğümlerinde kullanılan enerjiler de bu yüzden daha yüksek çıkmıştır. Bölüm 5.4'te belirtilen IEEE 802.11 ve 802.15.4 vericilerinin gerçek enerji tüketimlerine göre elde edilmiş sonuçlar da, tüketimler arasındaki farkın daha net gözükmesi için Tablo 6'nın üçüncü sütununda ayrıca gösterilmiştir.

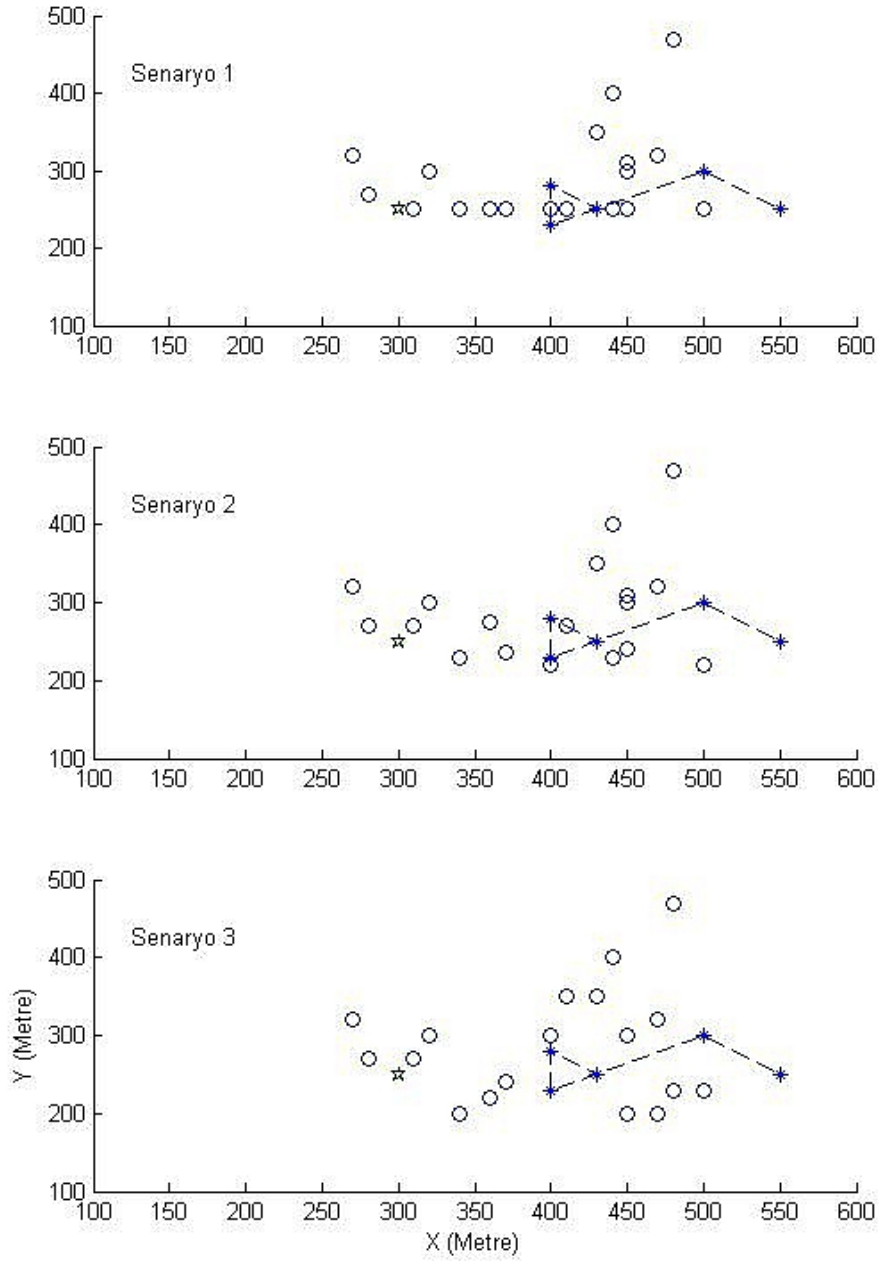
5.4.3 Düğümler arası uzaklığın etkilerinin incelendiği senaryo

Algılayıcı alanında düğümlerin aralarındaki uzaklık ve yayılma şekilleri, ağ içinde enerji tüketimini de etkilemektedir. Düğümler, verinin iletilmesi için komşu düğümler ile haberleşir ve veriyi yollarlar. Olası veri iletim yolu üzerinde düğüm yoğunluğunun azalması ve veri iletimindeki haberleşme sayısı bu senaryoda incelenmiştir.

Senaryoda, uyarıcı bileşenin izleyeceği yol ve hızı sabit tutulmuştur (3m/s). Algılayıcı düğümlerinin 250 m y-ekseni üzerinde yoğunluğu değiştirilmiştir. Senaryodaki sonuçlar simülasyon alanında 100 saniye geçtikten sonra toplanmıştır. Algılayıcı düğümler sabit olarak konumlandırılmıştır. Yoğunluğun değişmesi elle yapılandırılmıştır.

IEEE 802.15.4 kullanılan bu senaryoda, düğümlerin 250 y-ekseninden uzaklıkları artırılmış ve 3 ayrı senaryoda incelenmiştir. Senaryolarda 250 y eksenine olan dik uzaklıkların toplamı da Tablo 7'de gösterilmiştir.

Bu senaryodaki gözlemlerin sonuçları Tablo 8'de verilmiştir. Akın yönlendirmesi kullanıldığında enerji kullanımı ve iletilen paket sayısının sadece olası iletim yolu üzerindeki düğüm yoğunluğuna bağlı olmadığı, aynı zamanda düğümlerin birbirleri ile olan konumunun önemli bir etken olduğu gözlenmiştir.



Şekil 22: Olası yönlendirme yolu üzerinde yoğunluğun değışmesinin incelenmesi

	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3
Uzaklıklar toplamı	790	980	1130

Tablo 7: Dğümelerin Y = 250 m eksenine göre olan bağıl uzaklıklarının toplamı

IEEE 802.15.4	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3
Düğümde kalan enerji ortalaması (%)	83,56	83,57	83,31
Paket sayısı	358672	358571	432713

Tablo 8: Düğümler arası uzaklığın etkilerinin incelendiği senaryonun sonuçları

5.4.4 Algılayıcı düğümlerin belirli şekilde dağıtıldıkları ve uyarıcı bileşenin doğrusal hareketliliğinin incelendiği senaryo.

Bu senaryolarda uyarıcı bileşen sabit hızla doğrusal bir yol izlemektedir. Algılayıcı düğümlerin belirli bir modele göre dağılması sağlanmış ve düğümlerin kalan enerjileri ölçülmüştür.

Uyarıcı bileşen 30 saniyede, 10m/s hızla algılayıcı alanında 500,350 m noktasından 200,350 m noktasına doğru doğrusal bir yol izlemiştir. Toplayıcı düğüm 350,250 m noktasında sabit durmaktadır.

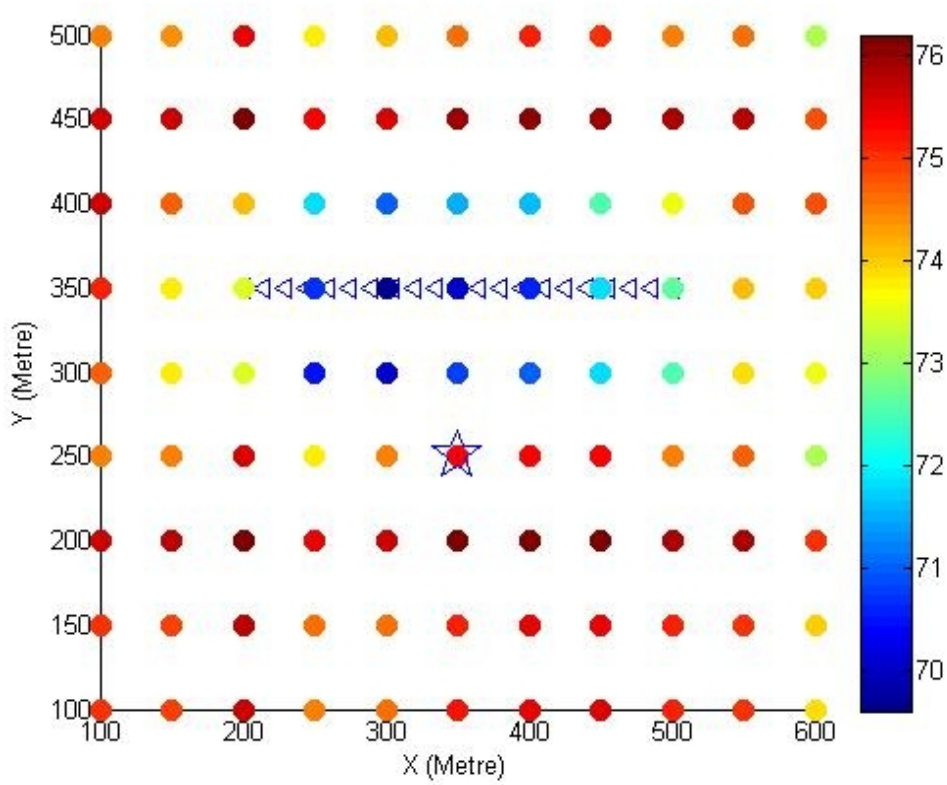
Uygulanan dağılımlar üçgensel, kare ve Gaussian dağılımdır. Üçgensel dağılımda algılayıcı düğümler, eşkenar üçgenlerin köşelerinde olacak şekilde alana dağılmıştır. Senaryo farklı eşkenar üçgen kenar uzunlukları için tekrarlanmıştır. Kare dağılımda ise algılayıcı düğümler, karelerin köşelerindedir. Üç farklı kenar uzunluğu için kare dağılım senaryosu tekrarlanmıştır. Gaussian dağılımda ise farklı standart sapma değerleri kullanılarak, 2 boyutlu düzlemde algılayıcı düğümler dağıtılmıştır. Kullanılan Gaussian dağılımı aşağıdaki gibidir ve ayrıca EK 1'de detaylı olarak verilmiştir.

$$f(x, y) = A e^{-\left(\frac{(x-x_0)^2}{2\sigma^2} + \frac{(y-y_0)^2}{2\sigma^2}\right)} \quad (3)$$

Bu dağılımda, x ve y her iki boyutta merkez nokta ve σ , standart sapmadır.

Kare dağılım:

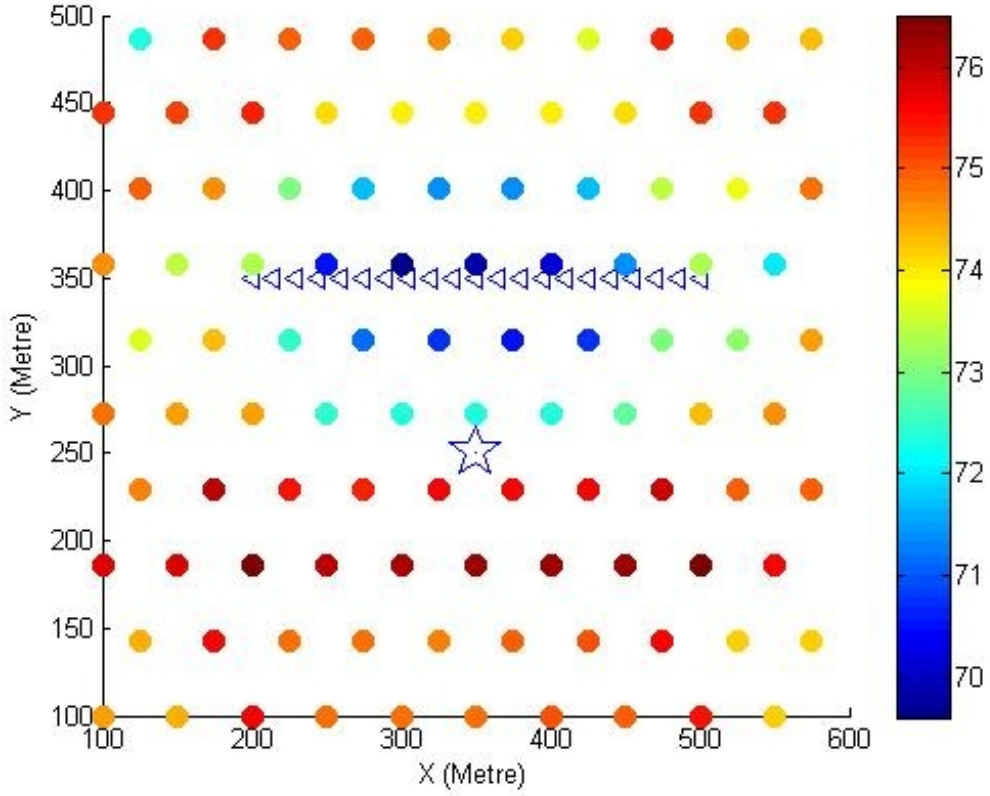
Şekil 23'te içi boş mavi üçgenler uyarıcı bileşenin izlediği yolu; yıldız ise toplayıcı düğümün yerini göstermektedir. Şekil 23'te görüleceği üzere, algılayıcı alanında, uyarıcı bileşenlerin tetiklediği düğümlerde enerji daha fazla kullanılmıştır. Farklı kenar uzunluklarının kullanıldığı senaryolarda kalan ortalama enerji Tablo 9'da gösterilmiştir.



Şekil 23: Kenar uzunluğu 50 metre olan karelerin köşelerine yerleştirilmiş algılayıcı düğümler ve simülasyon sonunda kalan enerji miktarlarının gösterimi.

Üçgen dağılım:

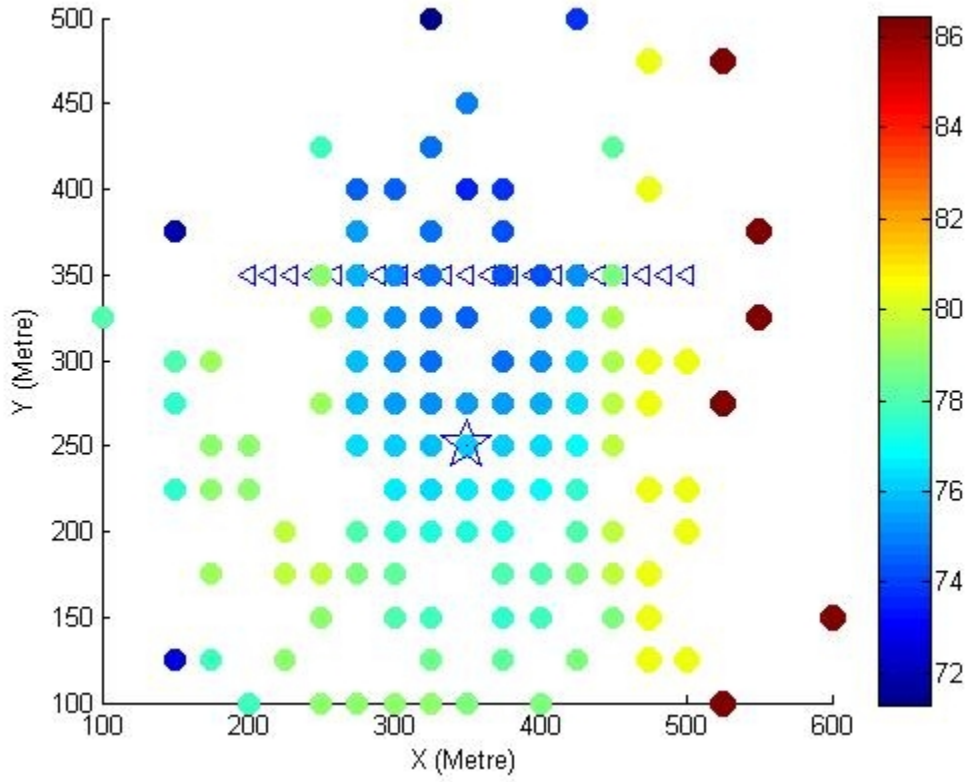
Şekil 24'te algılayıcı düğümlerin dağılımında, kenar uzunluğu 50 m olan eşkenar üçgenlerin kullanıldığı senaryo gösterilmiştir. Uyarıcı bileşenin tetiklediği düğümler diğer düğümlere göre daha fazla enerji tüketmişlerdir. Tablo 9'da farklı boyutlardaki üçgenler kullanıldığında elde edilen sonuçlar gösterilmiştir.



Şekil 24: Kenar uzunluğu 50 metre olan eşkenar üçgenlerin köşelerine yerleştirilmiş algılayıcı düğümler ve simülasyon sonunda kalan enerji miktarlarının gösterimi.

Gaussian dağılım:

Gaussian dağılımda, düğümlerin yerleştirilme olasılığı merkezden (toplayıcı düğümden) uzaklaştıkça, 2 boyutlu gaussian dağılıma uygun olarak azaltılmıştır.. Bu senaryo, Gaussian dağılımda standart sapma 75, 100 ve 120 metre için 3 kez tekrarlanmıştır. Şekil 25'te standart sapmanın 125 m olduğu dağılım senaryosu gösterilmiştir ve farklı standart sapmalar için sonuçlar Tablo 9'da verilmiştir. Uyarıcı düğümlerin tetiklediği algılayıcı düğümlerde enerji kullanımı, diğer düğümlere göre daha fazladır.



Şekil 25: 2D Gaussian ve standart sapmanın 125 m olduğu dağılıma göre yerleştirilmiş algılayıcı düğümler ve simülasyon sonunda kalan enerji miktarlarının gösterimi.

	Düğüm sayısı	Algılayıcı düğümlerde kalan enerji ortalaması yüzdesi (%)	Kablosuz kanal bileşeninde paket sayısı
Kare 50	99	74,28	2162709
Kare 75	42	75,09	1677881
Kare 100	30	77,27	1483581
Üçgen 50	100	74,10	2032185
Üçgen 75	49	75,63	1931623
Üçgen 100	25	77,44	1334735
Gaussian 125	123	76.26	1967503
Gaussian 100	94	76.76	1621538
Gaussian 75	59	77.27	901380

Tablo 9: Kare, üçgen ve Gaussian dağılımlarda senaryo sonuçlarının gösterimi

Üç senaryoda da algılayıcı alanında düğümlerin sayısı arttıkça algılayıcı düğümlerindeki enerji kullanımı da artmıştır. Akın yönlendirmesi ve düğüm sayısının artmasından dolayı algılayıcı düğümlerde kullanılan enerji miktarları artmıştır. Düğüm sayısının fazla olması paket sayısında artmasına sebep olmuştur.

5.4.5 Algılayıcı düğümler ve uyarıcı bileşenlerde rastgele hareketliliğin incelendiği senaryo.

Algılayıcı düğümleri uygulamanın ihtiyaçlarına göre hareketli olabilir. Buna en güzel örneklerden bir tanesi ZebraNet uygulamasıdır [3]. Bu uygulamada düğümler hayvanların üzerilerine yerleştirilmiştir ve hayvanların nerelerde konakladıkları, diğer kolonilerle ne zaman ve nerede karşılaştıkları gibi bilgiler toplanmaya çalışılmıştır. ZebraNet gibi her düğümün hareketli olduğu senaryo bu simülasyonda gerçekleştirilmeye çalışılmıştır.

Senaryoda, algılayıcı düğümlerin uyarıcı bileşenlerle aynı hıza sahip olduğu düşünülmüştür. Algılayıcı düğümleri, algılayıcı alanında rastgele hedefler belirleyip bu hedeflere rastgele hızlarla ulaşmışlardır. Algılayıcı düğümlerin ve uyarıcı bileşenin başlangıç noktaları 5.4.1'deki senaryo ile aynıdır.

Algılayıcı düğümleri ve uyarıcı bileşenlerin hızları 0-10 m/s aralığında seçilmiştir. Alanda dolanan toplam 18 algılayıcı düğüm, 1 toplayıcı düğüm ve bir de uyarıcı bileşen vardır.

Senaryo 75 kere tekrarlanmış ve ortalama değerler alınmıştır. Her simülasyon 100 saniye sürmüştür. Düğümlerde kalan enerji yüzdeleri eşit dağılmıştır ve hepsinin ortalaması % 83,89'dur. Kablosuz kanalda paket taşınması için bulunulan istek sayısı 701615'dir. Simülasyon sırasında 0.08 % oranında paket kaybı görülmüştür. Kalan enerjiyi, paket kayıpları da etkilenmiştir.

Düğümde kalan enerji yüzdesi ortalaması (%)	83,89
Kablosuz kanala gelen paket sayısı	701615

Tablo 10: Algılayıcı düğümlerin ve uyarıcı düğümün hareketli olduğu senaryonun sonuçları

6 Sonuçlar

Son yıllarda KAA'nın önemi gittikçe artmıştır. Bundan dolayı simülasyon ortamlarına ve geliştirme araçlarına olan ihtiyaç da artmıştır. KAA'nın en belirgin özellikleri düşük enerji tüketime sahip olmaları, düşük veri transfer hızlarında iletişim yapmaları ve kurulacak ağın yaşam süresinin uzun olmasıdır.

KAA, kullanıldıkları uygulamanın gerektirdiklerine göre çok çeşitli yapıda kurulabilir ve kullanılan düğümlerin yapıları da değişiklik gösterebilir. Çok çeşitlilikten kaynaklanabilecek uyumsuzluk sorunlarının giderilmesi için IEEE 802.15.4 standardı 2003 yılından beri geliştirilmektedir.

Bu tezde KAA simülasyonu, J-Sim simülasyon ortamı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. J-Sim'de daha önceden yapılmış bir kablosuz algılayıcı ağı simülasyonu, IEEE 802.11 standardı kullanılarak gerçeklenmiştir. J-Sim'in, MAC bileşeninde geliştirme yapılmış ve IEEE 802.15.4 standardına uygunluğu sağlanmıştır. KAA için önemli bir kriter olan enerji kullanımının, simülasyon ortamında ölçülebilmesi için J-Sim'in enerji modellerinde iyileştirme yapılmıştır. Simülasyonlarda akın yönlendirmesi, paket iletim şekli olarak seçilmiştir. Akın yönlendirmesi her ne kadar basit bir yapıya sahip olsa da, birçok gelişmiş yönlendirmeye ilham kaynağı olan bir yönlendirme şeklidir. IEEE 802.15.4 standardında tanımlanan güvenlik ve adresleme teknikleri bu tezin konusu dışında tutulmuştur.

Yapılan simülasyonların bazılarında IEEE 802.15.4 standardı, J-Sim'de daha önceden yapılmış olan IEEE 802.11 standardı ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalarda, kablosuz kanala gelen paket sayısı ve algılayıcı düğümlerindeki kullanılan enerji yüzdeleri dikkate alınmıştır. Simülasyonlar farklı senaryolarla tekrarlanarak sonuçların güvenilirliği sağlanmıştır. Ayrıca IEEE 802.15.4 için algılayıcı düğümlerin, alana farklı yayılma modelleri ile ilgili simülasyonlarda yapılmış ve enerji kullanımları gözlenmiştir.

Genel olarak kablosuz kanalda iletilen paket sayısı ve düğümlerde kullanılan enerji göz önüne alındığında, IEEE 802.15.4'n IEEE 802.11 standardından iyi sonuçlar

verdiği görülmüştür. Bu sonuçlar, IEEE 802.15.4 standardının geliştirilmesindeki etkin enerji kullanımı ve uzun ağ yaşam süresi gibi kavramlarla da uyuşmaktadır.

IEEE 802.15.4 standardının kullanıldığı senaryolarda, kablosuz algılayıcı ağlarında olası veri yönlendirmesinin bulunduğu alandaki düğüm yoğunluğunun tek başına ağdaki enerji tüketimini etkileyemeyeceği görülmüştür. Algılayıcı düğümlerinin birbiri ile olan konumlarının etkisi de önemlidir.

Düğümlerin rastgele dağıtıldığı senaryolarda, verinin bulunduğu bölgeden toplayıcı düğüm doğrultusuna da yer alan düğümlerde enerji harcaması fazlayken, verinin üretildiği bölgeden uzakta olan düğümlerde enerji tüketiminin az olduğu gözlenmiştir. Bu sonuç akın yönlendirmesinde düğümlerin enerjilerinden habersiz yönlendirme yapmasının ve bazı düğümlerin iletişime geçemeyecek uzaklıkta olmasının bir sonucudur.

Eğer düğümler homojen bir modele göre dağıtırlarsa, harcanacak enerji düğümlere de eşit olarak yansır. Ağın bir bölgesindeki tetikleyici sinyal ağın tamamına yayılır ve her düğümün enerjisini tüketmesine yol açar ve ortalama kullanılan enerji artar.

KAA için enerji tüketimini en düşüğe indirebilmek, uygulamaya yönelik servis kalitesinin yeterliliğini sağlayabilmek ve ağın kendi kendini yönetebilmesini sağlamak için birçok gelişmiş protokol öngörülmüştür. Bu protokoller yüksek işlemci gücüne ve geniş hafızaya ihtiyaç duyarlar. Daha sonraki çalışmalarda, bu tezde hazırlanan simülasyon ortamı temel alınarak, KAA için tasarlanmış gelişmiş yönlendirme protokollerinin simülasyonları gerçekleştirilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] M. A. M. Vieiral, N. Coelho, Jr. D. Cecilio da Silva Junio, Jose M. da Mata, 2003, "Survey on Wireless Sensor Network Devices, Emerging Technologies and Factory Automation", Proceedings. ETFA '03. IEEE Conference, Cilt 1, Sayfa: 537 - 544
- [2] K. Sohraby, D. Minoli, T. Znati, 2007, "Wireless Sensor Networks Technology, Protocols, and Applications", John Wiles & Sons, ISBN:978-0-471-74300-2, Bölüm 3
- [3] K. Romer, F. Mattern, 2004, "The Design Space of Wireless Sensor Networks", *Wireless Communications, IEEE [IEEE Personal Communications]*., Cilt 11, Sayı 6, Sayfa: 54 - 61
- [4] A. Mainwaring, J. Polastre, R. Szewczyk, D. Culler, J. Anderson, 2002, "Wireless Sensor Networks for Habitat Monitoring", International Workshop on Wireless Sensor Networks and Applications, Atlanta, Georgia, ABD
- [5] K. Martinez, Jane K. Hart, R. Ong, 2004, "Sensor Network Applications", *IEEE Computer Society*., Sayfa: 50-56
- [6] "IEEE Standard 802.15.4a-2007", IEEE, URL:<http://standards.ieee.org>
- [7] V.Cantoni, L. Lombardi, P. Lombardi, 2006, "Challenges for Data Mining in Distributed Sensor Networks, Pattern Recognition", 2006, ICPR 2006. 18th International Conference, Cilt 1 0-0 0, Sayfa: 1000 - 1007
- [8] I.F. Akyildiz, S. Weilian, Y. Sankarasubramaniam, E. Cayirci, 2002, "A Survey on Sensor Networks", *IEEE Communication Magazine*., Cilt 40, Sayı 8, Sayfa: 102 - 114
- [9] A.A. Ahmed, H. Shi, Y. Shang, 2003, "A survey on network protocols for wireless sensor networks, Information Technology: Research and Education", 2003. Proceedings. ITRE2003. International Conference, 11-13 Avustos. 2003, Sayfa: 301 - 305
- [10] N. Bulusu, D. Estrin, T. Tran, 2001, "Self Configuring Localization Systems: Design and Experimental Evaluation", *ACM Transcation on*

Embedded Computer Systems., Univeristy of California at Los Angeles, Sayfa: 1-31

- [11] M. Aboelaze, F. Aloul, 2005, "Current and future trends in sensor networks a survey", *Wireless and Optical Communications Networks, WOCN 2005. Second IFIP International Conference*, 6-8 Mart 2005 Sayfa: 551 - 555
- [12] G.Simon, A. Ledezczi, M. Maroti, 2004, "Sensor Network-Based Counter Sniper System", 2nd international conference on Embedded networked sensor systems tutanağı, Sayfa: 1 - 12
- [13] X. Li, D. K. Hunter, S. Zuyev, 2008, "Triangulation Properties of the Target Area in Wireless Sensor Networks"
- [14] J. N. Al-Karaki, A. E Kamal, 2004, "Routing Techniques in Wireless Sensor Networks:A Survey", *IEEE Wireless Communication.*, Sayfa: 6-28
- [15] L.K. Alazzawi, A.M. Elkateeb, A. Ramesh, 2008, "Scalability Analysis for Wireless Sensor Networks Routing Protocols", *Advanced Information Networking and Applications - Workshops, 2008. AINAW 2008. 22nd International Conference*, 25-28 Mart 2008, Sayfa: 139 - 144
- [16] F. Ye, 2001, "A Scalable Solution for Minimum Cost Forwarding in Large Sensor Networks", 10th Int'l. Conf. Comp. Commun. and Networks tutanağı, Sayfa: 304-309
- [17] S. Hedetniemi, A. Leisman, 1988, "A Survey of Gossiping and Broadcasting in Communication Networks", *IEEE Network.*, Sayfa: 319-349
- [18] C. Intanagonwivat, R. Govindan, D. Estrin, 2000, "Directed Diffusion: A Scable and Robust Communication Paradigm for Sensor Networks", *ACM Mobicom.*, Boston, Sayfa: 56-67
- [19] D. Braginsky, D. Estrin, 2002, "Rumor Routing Algorithm for Sensor Networks", 1 workshop Sensor Networks and Applications tutanağı, Atlanta
- [20] C. Schurgers, M.B. Srivastava, 2001, "Energy Efficient Routing in

WSN", MILCOM Proc. Commun for Network Centric Ops

- [21] I. Kang, R. Poovendran, 2003, "Maximizing Static Network Lifetime of Wireless Broadcast Adhoc Networks, Communications", 2003. ICC '03. IEEE International Conference, Cilt 3, 11-15 Mayıs 2003, Sayfa: 2256 - 2261
- [22] W.R. Heinzelman, A. Chandrakasan, H. Balakrishnan, 2000, "Energy Efficient Protocol for Wireless Microsensor Networks", System Sciences, 2000. 33rd Annual Hawaii International Conference tutanağı, Haziran 4-7, Cilt 3, Sayfa: 10
- [23] S. Lindsey, C. Raghavendra, 2002, "PEGASIS: Power Efficient Gathering in Sensor Information Systems", IEEE Aerospace Conf, Bölüm 3, Sayfa: 1125-1130
- [24] A. Manjeshwar, D.P. Agrawal, 2001, "TEEN: a routing protocol for enhanced efficiency in wireless sensor networks", Parallel and Distributed Processing Symposium. tutanağı, 15th International 23-27 Nisan 2001, Sayfa: 2009 - 2015
- [25] L. Subramanian, R. H. Katz, 2000, "An Architecture for building Self Configurable Systems", IEEE/ACM workshop Mobile AdHoc Networks, Sayfa: 63-67
- [26] J. N. Al-Karaki, 2004, "Data Aggregation in Wireless Sensor Networks - Exact and Approximate Algorithms", Proc. IEEE workshop High pref switching and routing, Sayfa: 18-21
- [27] Q. Li, J. Aslam, D. Rus, 2001, "Hierarchical Power Aware Routing in Sensor Networks", Proc. DIMACS workshop Pervasive Networks
- [28] N. Patwari, III A.O., M. Perkins, N.S. Correal, R.J. O'Dea, 2003, "Relative location estimation in wireless sensor networks, Signal Processing", IEEE Transactions on [see also Acoustics, Speech, and Signal Processing, IEEE Transactions on], Cilt 51, Sayı 8, Sayfa: 2137 - 2148
- [29] Y. Xu, J. Heidemann, D. Estrin, 2001, "Geographic-informed Energy Conservation for ad hoc Routing", Proc. 7th annual ACME/IEEE Int'l conf. Mobile Comp. and Net, Sayfa: 70-84

- [30] Y. Yu, D. Estrin, R. Govindan, 2001, "Geographical and energy aware routing : A Recursive data dissemination for WSN", UCLA COMP. SCI. DEP.
- [31] I. Stojmenović, X. Lin, 1999, "GEDIR: A Loop Free Location Based Routing in Wireless Networks", Proc. IASTED Int'l Conf. Parallel and Distributed Computing and Systems, Sayfa: 1025-1028
- [32] C. Jae-Hwan, L. Tassiulas, 2004, "Maximum lifetime routing in wireless sensor networks", Networking, IEEE/ACM Transactions , Cilt 12, Sayı 4, Sayfa: 609 - 619
- [33] K. Sohrabi, J. Pottie, 2000, "Protocols for Self Organization of WSN", Personal Communications, IEEE [bakınız. IEEE Wireless Communications], Cilt 7, Sayı 5, Sayfa: 16 - 2
- [34] J.T Adams, 2006, "An introduction to IEEE STD 802.15.4", Aerospace Conference, 2006 IEEE, Sayfa: 8
- [35] R. Casas, H.J. Gracia, A. Marco, J.L Falco, 2005, "Synchronization in wireless sensor networks using Bluetooth, Intelligent Solutions in Embedded Systems", 2005. Third International Workshop, 20 Mayıs 2005, Sayfa: 79 - 88
- [36] H. Kumar, D. Sarma, A. Kar, 2006, "Security Threats in Wireless Sensor Networks", Carnahan Conferences Security Technology, Proceedings 2006 40th Annual IEEE International, Sayfa: 243 - 251
- [37] Y. Zhou, Y. Fang, Y. Zhang, 2008, "Securing wireless sensor networks: a survey", Communications Surveys & Tutorials, IEEE, Cilt 10, Sayı 3, Sayfa: 6 - 28
- [38] A. Sobeih, C. Wei-Peng, J. C. Hou, L. C. Kung, N. Li, H. YingTyani, H. Zhang, "J-Sim: A Simulation Environment for Wireless Sensor Networks", Simulation Symposium, 2005. Proceedings. 38th Annual, Sayfa: 175 - 187
- [39] B. F. Webster, 1995, "Pitfalls of Object-Oriented Development", M&T Books, Sayfa: 67
- [40] C.P. Singh, O.P. Vyas, M.K. Tiwari, 2008, "A Survey of Simulation in Sensor Networks", Computational Intelligence for Modelling Control

- & Automation, 2008 International Conference, 10-12 Aralık 2008, Sayfa: 867 - 872
- [41] X. Zeng, R. Bagrodia, M. Gerla, 1998, "GloMoSim: A Library for Parallel Simulation of Large-scale Wireless Networks, Parallel and Distributed Simulation", PADS 98. Proceedings. Twelfth Workshop, 26-29 Mayıs 1998, Sayfa: 154 - 161
- [42] "Project: IEEE P802.15 Working Group for Wireless Personal Area Networks (WPANs)", doc.: IEEE 802.15-03/036r0
- [43] Y. Qicai, X. Jianping, Z. Yan Z. Lei, 2006, "Performance Research and Simulation Analysis of the MAC Layer Protocols in Wireless Sensor Networks", CHINACOM.2006.344798, Sayfa: 1-3
- [44] Q. Wang, X. Liu, W. Chen, L. Sha, M. Caccamo, 2007, "Building Robust Wireless LAN for Industrial Control with the DSSS-CDMA Cell Phone Network Paradigm", *Mobile Computing.*, IEEE Transactions, Cilt 6, Sayfa: 706-719
- [45] B. Heile, 07-Ekim-2009, IEEE 802.15 Working Group for WPAN, <http://www.ieee802.org/15/>
- [46] Y. Yao, J. Gehrke, 2002, "The COUGAR approach to IN-Network Query Processing in Sensor Networks", SIGMOD Record, Cilt 31, Sayı 3, Sayfa: 9-18
- [47] S. Servetto, G. Barrenecha, 2002, "Constrained Random Walks on Random Graphs: Routing Algorithms for Large Scale WSN", Proc. 1th ACM Int'l Workshop WSN and Applications
- [48] A. Manjeshwar, D.P. Agrawal, 2002, "APTEEN: a hybrid protocol for efficient routing and comprehensive information retrieval in wireless sensor networks", Parallel and Distributed Processing Symposium., International, IPDPS 2002, Öz ve CD-ROM 15-19 Nisan 2002, Sayfa: 195 - 202
- [49] V. Rodoplu, T. H. Meng, 1999, "Minimum Energy Mobile Wireless Networks", IEEE JSAC, Sayfa: 1333-1344
- [50] Q. Fang, F. Zhao, L. Guibas, 2003, "Lightweighth Sensing and Communication Protocols for Target Enumeration and Aggregation", Proc. 4th ACM MOBIHOC

EKLER

EK 1: Değişiklik yapılan ve kullanılan dosyalar

Tezde değişiklik yapılan dosyalar kaynak kodda src.drcl.inet.mac paketinin içindedir. Bu dosyalar derlendikten sonra J-Sim'in simülasyon sırasında kullandığı dosya yoluna kopyalanarak J-Sim'in bu sınıfları kullanması sağlanır. Bu Java paketinin içinde değişiklik yapılan dosyalar aşağıdaki gibidir.

Dot15_4.java	Dot15_4_Frame_Control.java
Dot15_4_ACK_Frame.java	Dot15_4_IFTimer.java
Dot15_4_ATIMEndTimer.java	Dot15_4_NavTimer.java
Dot15_4_ATIM_Frame.java	Dot15_4_Packet.java
Dot15_4_BackoffTimer.java	Dot15_4_RTS_Frame.java
Dot15_4_BeaconTimer.java	Dot15_4_RxTimer.java
Dot15_4_Beacon_Frame.java	Dot15_4_TBTTTimer.java
Dot15_4_CTS_Frame.java	Dot15_4_TSFTimer.java
Dot15_4_Data_Frame.java	Dot15_4_Timer.java
Dot15_4_DeferTimer.java	Dot15_4_TxTimer.java

Dot15_4 sınıfının içinde tanımlı olan 4 tane daha sınıf bulunmaktadır. Bu sınıflar;

Dot15_4_PHY_MIB	Dot15_4_DummyEnergyModel
Dot15_4_MAC_MIB	Dot15_4_BUFFER_ENTRY

Simülasyonda kullanılan asıl MAC sınıfı Dot15_4 sınıfıdır. Geri kalan sınıflar ya mesajlaşmadaki çerçeve yapılarını biçimlendirmek, ya da zamanlayıcı eklemek için kullanılmıştır.

Enerji modellerinde yapılan iyileştirmeler için SensorApp, RadioSimple, BatteryCoinCell ve cpuAvr sınıflarında değişiklikler yapılmıştır. Kaynak kod da enerji modelleri ile ilgili sınıflar drcl.inet.sensorsim paketinin içinde yer almaktadır

J-Sim'de algılayıcı düğümlerin yerlerini otomatik olarak üreten Java ve Matlab programları.

Java dosyası

```
/**
 * @author HAKAN
 */
public class Main {
    /**
     * @param args the command line arguments
     */
    static int MAX_X = 600;
    static int MIN_X = 100;
    static int MAX_Y = 500;
    static int MIN_Y = 100;
    static int EDGE_LEN_OF_TRIANGLE = 100;
    static int X_sink;
    static int Y_sink;
    public static void main(String[] args) {
        int loc_x;
        int loc_y;

        int i = 1;
        int j = 1;
        int buf_x = 0;
        int buf_y = 0;
        double timer = 0.001;
        or (loc_y = MIN_Y; loc_y < MAX_Y; loc_y = (int) (loc_y + Math.sqrt(3)
* EDGE_LEN_OF_TRIANGLE / 2)) {
            for (loc_x = MIN_X; loc_x < MAX_X; loc_x = loc_x +
EDGE_LEN_OF_TRIANGLE) {
                buf_x = loc_x;
                buf_y = loc_y;
                if (j % 2 == 0) {
                    buf_x = buf_x + EDGE_LEN_OF_TRIANGLE / 2;
                }
                if ((buf_x <= MAX_X) && (buf_x >= MIN_X)) {
                    System.out.println("! n"+i+"/mobility setPosition\t "
+" 0 "+ buf_x + " " + buf_y+" 0");
                    System.out.println("script {run n"+i+"}
-at\t"+timer+" -on $sim");
                    timer+=.001;
                }
            }
        }
    }
}
```

```

        i++;}}
    J++;}}

```

Matlab m-file.....

```

clear all
A = 100;
x0 = 350; y0 = 250 ;

sigma_x = 100;
sigma_y = 100;
theta =0;
a = cos(theta)^2/2/sigma_x^2 + sin(theta)^2/2/sigma_y^2;
b = -sin(2*theta)/4/sigma_x^2 + sin(2*theta)/4/sigma_y^2 ;
c = sin(theta)^2/2/sigma_x^2 + cos(theta)^2/2/sigma_y^2;
hold on

colormap('summer');
[X, Y] = meshgrid(100:25:600,100:25:500);
Z = A*exp( - (a*(X-x0).^2 + 2*b*(X-x0).*(Y-y0) + c*(Y-y0).^2)) ;
surf(X,Y,Z);shading interp;view(-36,36);axis equal;drawnow
% end
Buf=size(Z)
Tot_ele=Buf(1)*Buf(2);
com=A *rand(size(Z));

d_loc_count=1;

for i=1:Buf(1)
    for j=1:Buf(2)
        if Z(i,j) > com(i,j)
            d_location(d_loc_count,:)= [100+(i-1)*25 100+(j-1)*25 100];
            d_loc_count = d_loc_count +1;
        end
    end
end
end
size(d_location)
scatter3(d_location(:,2),d_location(:,1),d_location(:,3),'Marker','o')

t=1:1:600;
plot3(t,350,100,'Marker','<')
xlabel('X (Metre)')
ylabel('Y (Metre)')

```

EK-2 Simülasyon ortamları

Ns-2

Ns-2 bir nesne tabanlı ayırık durum simülatörüdür.⁶ Modüler yapısı sayesinde genişlemeye oldukça açıktır. Simülasyon ortamı C++ tabanlıdır. C++, Ns-2'nin kütüphanesinin ve protokollerinin güncellenmesinde kullanılır. Ns-2 simülasyon ortamının kontrolünde OTcl kullanılır.

Ns-2 popüler simülatörlerden bir tanesidir ve protokol geliştirmek için birçok harici eklentisi bulunabilir.

Ns-2'nin, KAA'ı simülasyonuna uymayan özelliklerinden bir tanesi de çok sayıda algılayıcı düğümü kullanıldığında simülasyonda boyutlandırma sorunu yaşanmasıdır. Bu sorun, her düğümün diğer düğümlerle iletişimini içermektedir ve n^2 (n, düğüm sayısı) şeklinde artmaktadır. Sonuç olarak algılayıcı düğüm sayısı arttıkça simülasyon verimsizleşir. Bir diğer uyumsuzluğu ise, uygulama katmanında çok fazla eklentisinin olmamasıdır. Bu eklentinin azlığı diğer protokoller için sorun teşkil etmez fakat KAA simülasyonu için yetersizdir [40].

GloMoSim

GloMoSim 1998'de kablolu ve kablosuz ağların simülasyonu için geliştirilmiştir. Alt yapısında Parsec (C++ paralel programlama eklentisi) kullanılmıştır. GloMoSim'de düğümler farklı makineler üzerinde kuruludur ve birbirleri ile haberleşmeleri paralel ağ simülasyonunu zora sokmaktadır [41].⁷ GloMoSim, Ns-2 gibi genişlemeye açık bir yapıya sahiptir. Ns-2'deki olduğu gibi GloMoSim kütüphanesini kullanarak yeni eklentiler üretmek kolaydır. Yapısal olarak birçok katmandan oluşur. Her katman farklı protokol kümelerini ve tanımlanmış uygulama ara birimlerini (API) kullanarak diğer katmanlarla haberleşebilir [40].

⁶ Simulator – Ns-2, <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>

⁷ GloMoSim, <http://pcl.cs.ucla.edu/projects/glomosim/>

GloMoSim, Ns-2'deki boyutlandırma sorununu nesnelere kümelendirerek bir nevi ortadan kaldırmış olsa da, yine de bazı eksiklikleri vardır. Bunlardan bir tanesi sadece IP tabanlı ağlarda için çalışabilmesidir. Başka bir eksikliği ise sadece düğümlerden üretilen bilgiyi işleyebilmesidir. Kapalı bir kutu gibi çalışması ara bileşenlerden veri toplanmasında problem yaratır [40]. Bu simülasyon ortamının geliştirilmesine son verilmiştir.

OPNET

OPNET genel amaçlı ve nesne tabanlı ayrık durum simülasyon ortamıdır. Simülasyonlarda her durum için hiyerarşik modeller kullanılır ve bu modellerin sonuçları ayrık durum simülasyon motorunda sıraya alınır. Daha sonra düğümleri temsil eden birimler tarafından işlenir. Her birim için bir durum makinesi vardır ve OPNET kullanıcısı tarafından tanımlanan çok sayıda girişi kontrol edebilecek kabiliyettir [40].

OPNET birçok donanımsal ve fiziksel katmanı da gerçekleyebilir. Ns-2 ve GloMoSim'den ayrılan en büyük özelliği budur. Grafik tabanlı olarak geliştirme yapılabilir. OPNET, Ns-2 gibi çok sayıda düğümü içeren simülasyonlarda sorun yaşar. OPNET ticari bir üründür.

SensorSim

SensorSim, Ns-2 tabanlı algılayıcı ağlarının üzerine geliştirilmiştir ve 3 önemli açıdan Ns-2'den daha iyidir [40]. İlk olarak, her donanımsal bileşenin güç kaynağından harcayacağı gücü hesaplanır. İkinci olarak, SensorSim, her ne kadar basit olsa da, düğümler için bir algılayıcı kanalı barındırır. Son olarak ise SensorSim, Ns-2'nin kapalı bir kutu gibi olma özelliğini aşmış ve diğer uygulamalarla iletişimde olacak şekilde geliştirilmiştir . Bu özelliği ile SensorSim gerçek bir algılayıcı ağı ile birlikte çalışabilir [40].

SensorSim'de SensorWare adında bir middleware bulunur. Bu middleware sayesinde dinamik olarak düğümler simülasyon esnasında kontrol edilebilir.

SensorSim halka açık bir kullanıma sahip değildir. Ayrıca Ns-2'deki gibi ölçeklendirme sorunu yaşamaktadır ve modelleri gerçek sonuçlara yaklaşamayacak kadar basit kalmıştır.

J-Sim

J-Sim genel amaçlı ve Java tabanlı bir simülasyon ortamıdır [40]. Ns-2'den farklı olarak, bileşen kavramına dayanmaktadır. Her bileşen bir obje olarak tanımlanmıştır. KAA için J-Sim'de üç ana bileşen vardır. Bunlar;

uyarıcı bileşenler: Uyarıcı bileşenler sinyal üretici olarak kullanılmaktadır.

algılayıcı düğümler:: Algılayıcı düğümler üretilen sinyale tepki veren bileşenlerdir.

toplayıcı düğümler: Toplayıcı düğümler üretilen sinyalin en son varış noktasıdır.

Bileşenler, gerekli alt bileşenleri içerecek şekilde modellenmiştir. Parçalar halinde modelleme, farklı protokollerin simülasyona entegrasyonunda kolaylık sağlar [40].

J-Sim'in bileşen tabanlı yapısı, nesne tabanlı Ns-2 gibi simülasyon ortamlarında olan ölçeklenme sorunu yaşanmasını büyük ölçüde önler. SensorSim gibi dinamik bir yapısı vardır ve dış dünya ile iletişime açıktır [40].

J-Sim'in kullanımı Ns-2'ye göre daha rahattır. Java'nın diğer programlama dilleri kadar etkin olmaması J-Sim'ede yansımıştır. Bazen gereksiz denilebilecek kadar fazla iş yükü üretmesine rağmen, ölçeklenme sorununu çöp toplayıcı motoru ile diğer programlama dilleriyle karşılaştırıldığında çözüm sayılabilir [40].

SENSE

SENSE, Ns-2 ile aynı şekilde çalışması için geliştirilmiş olsa da, Ns-2'nin nesne tabanlı yaklaşımını, J-Sim gibi bileşen tabana çevirerek Ns-2'nin kabiliyetlerini artırmıştır. C++ programlama dilini kullanmaktadır. Algılayıcıları statik bileşenler olarak kabul eder. Bileşenler arasındaki bağlantıları "inport" ve "outport" olarak biçimlendirir. Bu biçimlendirme, bileşenlerin tekrar kullanımında kolaylık sağlar.

SENSE paket paylaşım modeli, diğer nesne tabanlı programlama dillerine kıyasla ölçeklendirme ve hafıza kullanımı daha iyidir [40].

SENSE için geliştirilme yapılmamaktadır ve Ns-2 için geliştirilen çok sayıda eklentiye kullanamadığı için sade ve basit bir simülasyon ortamı olarak kalmıştır .

OmNet++

OmNet++ bileşen tabanlı ayrık durum simülasyon ortamıdır. Simülasyon modül olarak adlandırılan ve peş peşe veya iç içe eklenebilen bileşenlerden oluşur. Modüllerin bir araya gelmesiyle bileşikler oluşur ve bu bileşikler birbirleri ile mesajlar aracılığı ile haberleşirler [40].

OmNet++ grafik tabanlı geliştirmeye de olanak sağlamasına rağmen öğrenilmesi ve uygulanması oldukça zor ve zaman alan bir simülasyon ortamıdır.

Sidh

Sidh kablosuz ağlar için geliştirilen en son simülasyon ortamlarından bir tanesidir. Bileşen tabanlıdır ve Java dilini kullanır. Durum, ortam çevre, düğüm, algılayıcı gibi birçok modülü vardır ve hepsi ayrı bir görevden sorumludur. Örneğin ortam modülü kablosuz ortamın özelliklerini taklit eder.

Sidh kullanıcıya en gerçekçi ortamı yaratması için yardımcı olur fakat yapıların dinamik olması ve simülasyon sırasında yaratılması ölçeklenme problemini de beraberinde getirir. Sidh için çok az sayıda protokol mevcuttur [40].

SENS

SENS in 4 ana bileşeni vardır. Bunlar uygulama, ağ, fiziksel ve çevre bileşenleridir. SENS diğer tüm simülatörlerden daha az değişikliğe izin vermektedir ve az sayıda protokol destekler [40] Bu yüzden geliştirme ortamı olarak seçilmesi uygun değildir. SENS hakkında detaylı bilgiye ulaşılamamıştır.

EK-3 Ağ yapısına göre yönlendirme protokolleri

Homojen ağ yapısına göre yönlendirme

Homojen ağ yapısında kabul edilen genel özellik ağa dahil olan düğümlerin aynı özelliklere ve aynı kabiliyetlere sahip olduğudur. Düğümlerin hepsi algılama görevini üstlenir. Çok sayıda düğüm bulunabileceği göz önüne alındığında, her düğümü bir tanımlayıcı ile belirlemek uygun olmayacaktır. Genelde bir ana merkezden, ağın belirli bir bölgesi için sorgulama yapılır ve gelecek yanıtlar beklenir. Homojen ağ yapısına sahip protokoller için yapılmış çalışmalarda, veri toplama aşamasında gereksiz bilgilerden kurtulma ve aynı tarz bilgilerin tekrar yollanmasının önlenmesi, enerji tasarrufu sağlamıştır [16]. Gereksiz bilgilerden kurtulma ve aynı tarz bilgilerin tekrar yollanmaması birçok protokolün gelişimine de ilham kaynağı olmuştur .

Anlaşarak bilgi edinmeye dayalı algılayıcı protokoller (ABDAP)

Daha önceden akın yönlendirmesi olarak adlandırılan ve üretilen bilginin ağın her düğümüne yayılması üzerine kurulmuş protokolün eksiklerini tamamlamak için geliştirilmiştir. Bu protokolde, düğümler ürettikleri veriyi aktarırken yakınlarındaki düğümlerle anlaşarak, aktarımı durdurabilir. Bu anlaşma, gereksiz veri iletimini engelleyerek enerji tüketimini azaltır. Bu protokol, düğümde üretilen bilgiyi saf veri olarak adlandırır ve bu verinin biçimi uygulamaya göre değişir. Saf veri hakkındaki genel bilgi de meta-data olarak adlandırır ve anlaşma sırasında meta-data kullanılır. Ayrıca düğümler birbirleri üzerindeki kaynaklara ulaşabilir ve yönlendirmeyi bu bilgiler ışığında yapabilirler. Örneğin, komşu düğümlerdeki kalan enerji miktarı sorgulanarak en fazla enerjisi olan komşuya veriyi aktarabilirler.

ABDAP'inin dayandığı iki ana nokta vardır. Birincisi, düğümler etkin olarak enerji tüketimini azaltır ve ürettikleri veriyi yollamadan önce meta-data sonrasında gelen cevabı değerlendirerek, gerekli olduğu takdirde, verinin tamamını yollamasıdır. Bir diğer ana nokta ise, birebir kopya verilerin ağ içinde dolaşmasının engellemesidir. Akın ve dedikodu yönlendirmelerinde ağ içinde kopya verilerin dolanmasını engelleyen bir mekanizme yoktur. Dedikodu protokolünde rastgele seçilen komşu

düğömlere aktarılan veriler düğömlerin eşit enerji tüketmesini sağlasa da ABDAP'i kadar verimli değildir ve gecikmeler fazladır [17].

ABDAP'inin, ABDAP1, ABDAP2, ABDAP-BC, ABDAP-PP gibi birçok farklı geliştirilmiş versiyonu bulunmaktadır [45].

ABDAP, akın protokolüyle karşılaştırıldığında nerede ise yarı yarıya enerji tasarrufu sağlamasına rağmen, verinin kesin olarak iletilmesini garantilememektedir. Örneğin ağ içinde bir bölgede gerekli olan bir veri, ağın diğer bir bölgesinde henüz gerekli olmayabilir ve daha üretildiği noktada verinin gereksiz olduğu kanısına varılıp verinin iletimi engellenebilir [14].

Yönlendirilmiş dağılıma algoritması (YDA):

Yönlendirilmiş dağılıma algoritması veri merkezli bir yapıya sahiptir. Veri merkezli den anlaşılması gereken ağ üzerinde farklı merkezlerden gelen bilgilerin toplanarak gereksiz olan bilgilerin ayıklanması ve bir merkeze yönlendirilmesidir [18].

YDA'nda ana merkez, istenilen bilginin toplanması için ağa istediğini yollar. Bu istek ağ üzerinde yayılırken geri dönüş yolları hesaplanır. Her düğüm daha önceden algıladığı veriyi bir şekilde saklamış olur ve isteğin ağa dağılması esnasında düğömler arasında bağlantılar kurulur. Veri toplama işlemi başladığında, en etkin şekilde hesaplanmış düğömler arası bağlantıları kullanarak veriler toplanır. YDA'nda sadece bir yol hesaplanmaz. Asıl amaç güzel bir veri toplama ağacı oluşturabilmek ve toplanan verileri veri ağacının ana dalları üzerinden merkeze ulaştırabilmektir. Merkez veri toplama için ağa istek yollama prosedürünü periyodik olarak gerçekleştirir.

Ağ dahilindeki tüm düğömler uygulamanın gerektirdiklerinden haberdardır ve buna uygun olarak verileri birleştirirler.

YDA'nın performansı birçok değişkenden etkilenmektedir. Bu değişkenler, istenilen bilginin ağ içinde bulunduğu yer ve merkezin konumu, çeşitli verilerin sayısı, ve ağ yapısıdır [18], [14].

YDA, ABDAP'nden iki şekilde farklılık gösterir. Birinci farklılık olarak, ABDAP sadece komşu düğümlerde veri birleştirme yapılır ve iletişim kurulur, fakat YDA ağın genelinde bu işi üstlenir. Bu yüzden ana istasyona çok fazla veri gelen uygulamalarda YDA kullanılması uygun olmaz. İkinci farklılık olarak YD, ana istasyondan gelen isteğe karşılık verir ama ABDAP'nda üretilen bilgi, tüm düğümler ana istasyonmuş gibi davranılarak verinin iletilmesi sağlanır.

Söylenti yönlendirmesi:

Söylenti yönlendirmesi, YDA'nın coğrafi yer belirleme yapamadığı durumlarda kullanılabilmesi için geliştirilmiş bir versiyonudur [19]. YDA, ağdan isteklerini coğrafi konum belirlemeye imkan olmadığı zamanlarda, akın protokolü ile yollar. Bazı durumlarda ağdan istenen bilginin çok ufak olması ve akın protokolünün bu veriyi toplaması için harcayacağı enerji orantısız olabilir. Bu nedenden dolayı söylenti yönlendirmesi uzun süre ağ üzerinde varlığını sürdürecektir paketler (ajanlar) bulundurulur. Eğer bir düğüm, istenilen durumu algırsa, bunu olay tablosuna ekler ve bir ajan oluşturur. Ajan, ağ üzerinde dolanarak lokal olarak oluşan durumlardan haberdar olur. Ana istasyon istekte bulunduğu zaman, istek paketi bu ajanla karşılaşır, ajan istenilen durumla ilgili olarak yolu bilir, yönlendirme yapar ve böylelikle akın protokolüne gerek kalmamış olur.

Bu protokol sadece uçtan uca tek yol hesaplayabilir. Daha önceden yapılan simülasyon sonuçlarında bu protokolün akın protokolünden çok daha fazla enerji tasarrufu sağladığı ve hataları daha fazla tolere edebildiği gözlenmiştir [19]. Söylenti yönlendirmesi sadece ağ içinde oluşan olayların az, düğüm sayısının fazla olduğu zamanlarda verimli olarak çalışır.

En düşük maliyetli aktarım algoritması (EDMAA):

EDMAA'nda düğümlerin hepsinin yön tayin edebilme yeteneğine sahip olduğu kabul edilmiştir. Bu yetenek sayesinde her düğüm, ana istasyona olan uzaklığını bilir. Veri iletişimi başladığı zaman, düğümdeki uzaklık bilgileri kullanılır ve en yakın uzaklık bilgisine sahip olan komşu düğüme veri aktarılır. Veri aktarma en son noktaya ulaşana kadar tekrarlanır [16].

Uzaklık hesabı yapılırken ilk önce ana istasyonlar kendilerini sıfır olarak tanımlar ve ağı bir mesaj yayınlamaları; her düğüm de kendini sonsuz olarak tanımlar. Düğüme gelen mesajdaki tahmini uzaklıkla, komşu arasında bağlantı uzaklığı toplanır ve daha önceden hesaplanmış uzaklık değerinden düşük ise bu değerle güncellenir ve yayınlanmaya devam edilir. Eğer yüksek çıkarsa hiçbir işlem yapılmaz.

EDMAA aynı mesajın kopyalarını almamak için de bir eşik değeri belirler ve aynı kopyaların algılanması bu eşik değerinin altında kalması sağlanarak engellenir.

İrtifaya dayalı yönlendirme (İDY):

Bu algoritma YDA'nın değişik bir versiyonudur ve asıl amacı atlamalı iletişimde atlanılan düğüm sayısının, istek mesajı ağı içinde yayılırken hatırlanması olarak tanımlanmıştır [20]. Bu şekilde düğümler, kendilerinin ana istasyondan kaç düğüm uzakta olduğunu bilir ve bu uzaklık değerini yükseklik değeri olarak işler. İki komşu düğüm arasındaki fark da irtifa olarak adlandırılır. Veri paketlerinin iletimi en yüksek irtifalı komşu düğümler arasında gerçekleşir. Değişen ağ dinamikleriyle her seferinde aynı düğüme yüklenilmemesi için İDY'de 3 yöntem kullanır. Birincisi, aynı irtifaya sahip bağlantılarda rastgele olarak bir bağlantı seçilmesidir. İkincisi, eğer bir düğüm belirli bir enerji seviyesinin altına düşerse kendi yüksekliğini düşürür ve veri iletişimde kullanılmaktan kendini kurtarır. Son olarak eğer bir düğüm başka bir iletişim zincirinde ise bir kez daha kullanılması engellenir. Simülasyonlara göre bu algoritma YDA'dan daha verimli çalışmaktadır [20].

COUGAR:

Bu protokol tüm ağı bir veri tabanı olarak görür. Ağ içi veri birleştirmesi yapar ve bunun kontrolünü de ayarlanmış bir yönetici düğüm gerçekleştirir. Gerekli olan bilginin toplanması için ilintili düğümler vasıtası ile sorgulama yapılır. Ana istasyon sadece sorgulama planına karar verir. Bu protokolda, ana istasyonun sürekli olarak kontrolü gerçekleştiren düğümleri bilmesi gerekmektedir. Kontrolü gerçekleştiren düğümlerin de, diğer düğümlerin de bilgilerinin tutulmasının

gerekliliği, işlemci gücünü iyi olmasını ve hafızaya ihtiyacının fazla olması sonucunu doğurur [46].

Algılayıcı ağlarında aktif sorgulamalı aktarma (AAASA):

AAASA protokolü de COUGAR gibi, ağı bir veri tabanı olarak görür ama uzun ve karmaşık sorgulamalar için sorguyu birkaç alt sorguya bölerek gerçekleştirir. Örnek verecek olursak ana istasyon sorgulamayı başlattığında her düğüm kendindeki güncel bilgiyi ana istasyona yönlendirir. Eksik olan bilgiyi ise d uzaklığındaki düğümlerden topladıktan sonra yollar. Burada d uzaklığı, ağın çapıdır ve bir düğümün iletişime atlamalı olarak geçeceği en fazla düğüm sayısını gösterir [16].

Enerjiden haberdar yönlendirme:

Bu protokol, YDA ile aynı şekilde davranırsa da, YDA'daki gibi sadece bir yönlendirme yolu hesaplanmaz. Ağ üzerinde yol hesaplanırken asıl parametre olarak enerjiden faydalanılır. Ağın yaşam süresinin uzun tutulması asıl istenilen özelliktir. Bu protokol, YDA'ya göre %21 daha fazla enerji tasarrufu sağlar ve ağın yaşam süresini %44 uzatır [16]. Verinin iletilebileceği olası yolların bir uçtan diğer uca hesaplanması için YDA'na nazaran daha çok hafıza ve işlemci gücü gerekir. Ağ yaşam süresi denilince akla ilk gelmesi gereken ise, enerjisinin bitmesinden dolayı ağ içindeki bir düğümün iletişime son vermesidir [21].

Rastgele dolaşım yönlendirme protokolü:

Bu protokolde asıl ulaşılmak istenen, istatistiksel olarak ağ üzerindeki kaynakların kullanımını, çoklu yönlendirme yolları kullanarak eşit olarak dağıtmaktır. Bu şekilde bir istatistiğe ulaşabilmek için ağdaki düğüm sayısının çok fazla olması ve hareketliliğin çok düşük olması gerekir [47]. Bu protokolde düğümler rastgele iletişime geçerler. Topolojiye bağlı olmayan bu protokolde, uygun olmayan bir topoloji kullanıldığında ne gibi sonuçlar ortaya çıkacağıının bilinmemektedir [16].

Hiyerarşik ağ yapısında yönlendirme

Hiyerarşik ağ yapılarında düğümler farklı roller üstlenir ve genelde bir hiyerarşik grup oluşturacak şekilde yapılırlar. Aslen kablolu ağlar için kullanılsa da, KAA için de oldukça enerji dostu bir yapıya sahiptir. Bunu sağlamak için, yüksek enerjili düğümler veri işleme ve ana istasyona bilgi aktarımı ile ilgilenirken, aynı küme içinde düşük enerjili düğümler ise sadece algılama görevini üstlenirler. Küme yöneticilerini yani veri işleyen ve ileten düğümlerin seçimi, yöneticilerin ağ alanı içerisinde nerelerde duracakları ve oluşturulan kümeye ne kadar düğümün dahil olacağı gibi değişkenler enerji kullanımı konusunda büyük kazançlar sağlayabilir.

Düşük Enerjili adaptif kümelendirme diyerarşisi (DEAKH) protokolü:

DEAKH protokolünde, ağ içinde düğümlerden bazıları küme yöneticisi olarak seçilir. Küme yöneticisi, kendine bağlı olan düğümlerin ne zaman iletişime geçeceğine karar verir. Ayrıca gelen verilerin, sıkıştırarak ana istasyona gönderilmesinden de sorumludur. Rastgele seçilen küme yöneticileri ile düğümlerde enerji kullanımı eşit dağıtılabılır.

DEAKH protokolü iki faz halinde çalışır [16]. Birinci faz kümelerin oluşturulduğu fazdır. Bu fazda belirli bir eşik değerine göre küme başkanları seçilir ve kümeler oluşturulur. Bu fazın adı kurulum fazıdır. İkinci faz ise kurulum fazından sonra veri toplama, sıkıştırma ve ana istasyona yollama fazıdır. İkinci fazın adı da durağan fazdır. Ağ üzerinde gereksiz yükten kurtulmak için kurulum fazının her zaman durağan fazdan daha kısa olması beklenir. DEAKH protokolü CDMA iletişim şeklini kullanır [22].

Her ne kadar DEAKH protokolü ağın yaşam süresini önemli ölçüde uzatsa da, bu protokol için önceden kabul edilmiş durumların sağlanması oldukça zordur. Öncelikle, her düğümün ana istasyonla gerektiği anda iletişime geçecek gücünün var olduğu kabul edilir. Daha sonra düğümlerin farklı MAC protokollerini destekleyebilmesi için yeterince güçlü bir işlemci kabiliyetinin olması beklenir.

Algılayıcı bilgi sistemlerinde enerji etkin toplama algoritması (ABSEETA)

ABSEETA, DEAKH protokolüne dayanan bir protokoldür. ABSEETA'nda asıl amaç düğümlerin sadece en yakınlarındaki düğümlerle haberleşmeleri ve bunu yaparken ana istasyonla olan haberleşmeyi sırayla üstlenmeleridir. Bu şekilde enerji kullanımının ağ içinde olabildiğince eşit dağıldığı ve ağ yaşam süresinin arttığı gözlenmiştir [23].

Enerji etkin eşik değere duyarlı protokoller:

Enerji etkin eşik değere duyarlı algılayıcı ağları (EEEDDAA) protokolü ve Adapte EEEDDAA (AEEEDDAA) olmak üzere iki birbirine benzer protokol vardır [16]. EEEDDAA protokolünde düğümler algılayıcı alanında bilgi toplama için algılayıcılarını sürekli çalıştırırlar, fakat aynı sıklıkla iletişime geçip ana istasyona bilgi yollamazlar. Düğüm kümelerindeki yönetici düğümler, kendisine bağlı düğümlere sert eşik değeri ile ne zaman alıcı vericilerini aktif hale getirmeleri gerektiğini; yumuşak eşik değeri ile de bağlı düğümlerin algıladıkları verileri ne kadarlık değişimlerde kayıt altına almaları gerektiğini bilgilendirir [24].

AEEEDDAA protokolünde ise aktif olarak sert ve yumuşak eşik değerleri uygulamanın ve kullanıcının isteklerine göre sürekli güncellenebilir [48].

En düşük enerjili iletişim ağı (EDEİA):

EDEİA'nda, GPS destekli alt ağlar oluşturularak en az düğüm sayısına sahip ve en düşük miktarda enerji harcayacak alt ağlar belirlenir ve iletişim çoğunlukla bu alt ağlar vasıtası ile gerçekleştirir. Bu ağ protokolü hata oluştuğunda çok kısa sürede yeni yollar hesaplayabilecek kabiliyette sahiptir. Bu protokol iletişimi sonlanan düğümleri tolere edebilecek ve yeni eklenen düğümleri de yönetebilecek kabiliyete sahiptir [49].

Kendi kendine organize olabilen protokol:

Kendi kendine organize olabilen ağ protokolünde, düğümlerin bir kısmı veri toplama görevini üstlenirken, diğer bir kısmı da omurga oluşturarak ana istasyona

veri taşınmasında görev alır. Algılayıcı düğümleri hareketli veya sabit olabilirler. Bu protokol tarafından farklı algılayıcılarla donanmış düğümlerden gelen bilgiler de toplanacak şekilde desteklenir. Düğümlere ulaşmak için her düğümün tanımlayıcısının olması gerekir ve düğümlere omurga üstünden ulaşılır. Protokol ağdan veri toplamak için istekte bulunduğu anda, ABDAP'nden daha az enerji harcarsa da ağın ilk kurulumundaki serbestlik çok fazla yük getirip enerji tüketimini artırabilmektedir. Özellikle iletişime geçip daha sonra ağdan kopan düğümlerin sayısı arttıkça bu enerji tüketimi de artacaktır [25].

Algılayıcı toparlama yönlendirmesi:

Bu protokol hedef izleme uygulamaları için çok uygundur. Çünkü bu protokolün asıl amacı devamlı olarak algılayıcı alanında hedef izlemektir. Uygulamaya bağlı olarak kümeler oluşturulur. Kümelerin içerisinde liderler seçilir ve tek lider bulunur. Lider seçilirken algılanan sinyalin gücüne bakılır. Düğümün algıladığı sinyali tek hedeften ya da birçok hedeften geldiği düşünülebilir. Algılanan veri komşular ile paylaşılır ve eğer en yüksek sinyal gücü düğümün kendinde ise, kendini lider olarak yayımlar. Bu algoritmaya eklenti yapılarak üç ayrı algoritma oluşturulmuştur. Bunlar distributed aggregate management (DAM), energy based activity monitoring (EBAM) ve expectation maximization like activity monitoring (EMLAM)'dir [50].

Sanal karelere bölerek yönlendirme:

Bu protokol de enerji verimliliği düşünülerek geliştirilmiş bir protokoldür. GPS verisi olmadan algılayıcı alanında sanal kareler oluşturulur ve bu karelerde lokal ve global veri birleştirmesi yapılır. Lokal karelerin içinde seçilen küme yöneticilerine LA (local aggregator) denir ve lokal veri birleştirilmesinden sorumludur. Bir sonraki veri birleştirme ise MA (master aggregator)'larda gerçekleştirilir. MA ve LA'ların seçiminde farklı yaklaşımlar kullanılabilir. Bunlar ILP (integer linear program, "K means"'e dayalıdır olarak seçim yapılır) ve CBAH (cluster based aggregation heuristic, enerji tüketimine göre seçim yapılır) algoritmalarıdır ve fazla düğüm sayısına sahip ağlarda nerede ise en iyi seçim yapılmasını sağlar [26].

Güce dayalı hiyerarşik yönlendirme:

Bu protokolda coğrafik olarak birbirine yakın düğümler, küme oluşturacak şekilde gruplanır. Yönlendirme yapılırken de bu gruplardan en yüksek enerjisi olan seçilerek yönlendirme yapılır. Bu şekilde yapılan yönlendirmede kabul edilmesi gereken bir yaklaşım, yönlendirme yapma maliyetinin, enerji tüketiminde önemsiz denecek kadar az etkisinin olduğunun varsayılmasıdır. Oluşturulan gruplar ise alt alanlar olarak tanımlanır ve yönlendirilen verinin kaynak noktası olarak alt alanlar kabul edilir [27].

Yer belirlemeli ağ

Yer belirlemeli ağlarda düğümlerin yerleri farklı şekillerde daha önceden belirlenmiş olur ve bu yerlere göre veri yönlendirmesi yapılır. Düğümler arasındaki mesafenin belirlenmesi ve yakın düğümlerin tespiti, genelde sinyal gücünden faydalanılarak yapılır. Başka bir yöntem ise GPS kullanımıdır.

Adaptif coğrafik aitlik (AdCoA):

AdCoA protokolünde sanal alt alanlar oluşturulur ve bu alanların içindeki düğümler farklı roller oynarlar. Alt alanda seçilen bir düğüm uyanık kalarak ana istasyona veri yönlendirmesini yapar ve alanı sürekli olarak tarar. Protokolde, hareketli düğümlerin ağ içinde dolanabilmesini sağlamak için uyanık kalan düğüm ile yapılan haberleşmede, alt alana giren veya ayrılmak üzere olan bir düğümün bilgileri uyumakta olan düğümlere, uyanık düğüm tarafından aktarılır. Bu şekilde düğümlerin bir çoğu uyur durumda tutularak enerji tasarrufu sağlanmış olur [29].

Coğrafik ve enerji haberdar yönlendirme (CEHY):

CEHY protokolünde düğümler kendi buldukları yeri ve etrafındaki komşu düğümlerde kalan enerji miktarını bilerek paket yönlendirmesi yaparlar. Ana istasyon sorgulama yaparken, YDA'daki gibi ağın tümüne isteğin yollanması yerine sadece istenilen bölgeye yollayarak YDA'ya göre enerji tasarrufu sağlanır [30]. Her düğüm, tahmini ve öğrenilebilir ana istasyona ulaşma maliyetini bilerek yönlendirme yapar.

ÇÇİ, PYM ve CUY:

Bu protokollerin dayandığı noktalar bir sonraki yönlendirme yapılacak düğümün seçilmesine karar verirken basit uzaklık ölçümü, ne kadar ilerleme sağlandığı ve ne yöne doğru gidildiğine bakılarak karar vermesidir. iletim alanında en çok iletilen (İAÇİ), coğrafik uzaklık yönlendirmesi (CUY) ve uzaklık yönlendirmeleri (UY) en düşük maliyetli yönlendirmenin farklı türleridir.

CUY her zaman kendisi ile ana istasyon arasında en az mesafede olan düğüme yönlendirme yapar. UY'nde ise yönlendirme istenilen bölgeye doğru en düşük açı içinde kalınarak yapılır. İAÇİ'de ise yönlendirme DS ve DA'nın nokta çarpımının en küçük olduğu düğüme doğrudur. Burada D son adres, A yönlendirme yapılacak komşu herhangi bir düğüm, S ise yönlendirme yapacak olan düğümdür [31].

İAÇİ genelde Greedy algoritması ile aynı yönlendirme yollarını hesaplar. İAÇİ ve CUY tekrar etme engelleyici mekanizmaya sahiptir ama bunu UY'nde görülmez İAÇİ'de ise eğer trafik akışını bir şekilde düğüm hafızasında tutabilirse ya da verinin üstüne zaman damgası konulursa, İAÇİ'de tekrarlardan kurtulur [16].

Bu üç algoritmanında performans ve veri ulaştırma açısından büyük artıları vardır.

EK-4 Uyarıcı düğüm bileşenleri

Target agent

Bu bileşen uyarıcı sinyal (stimuli) üretiminde kullanılır ve uyarıcı sinyali alt katmanlara aktararak sensör kanalında taşınmasını sağlar. Target Agent'ın sensorPhy bileşeni ile aralarında kullandığı kontrat ise TargetPacket kontratıdır.

SensorPhy

SensorPhy bileşeni uyarıcı düğümde veya sensör düğümünde kullanıldığında iki farklı rol oynar. Uyarıcı düğümde kullanıldığı zaman Target Agent'dan aldığı uyarıcı sinyali, sensorMobilityModel'den aldığı en güncel yer bilgisi ile güncelleyerek sensör kanalına yollar. Sensör kanalına bilgi iletilirken SensorNodeChannelContract kontratını kullanır. SensorMobilityModel bileşeninden bilgi alabilmek içinse SensorPositionReportContract kontratını kullanır.

SensorPropagationModel'den ise SensorRadioPropagationQueryContract kontratı ile uyarıcı düğüm ve sensör düğümü arasındaki uzaklıktan ve sönümlenme katsayısından faydalanılarak üretilen sinyal gücünün bilgisi alınır.

Sensor MobilityModel

Bu bileşen uyarıcı düğümün yer bilgisini ve hareketli ise hareket doğrultusunun tutulmasında rol oynar. SensorNodePositionTracker bileşeni ile haberleşmede SensorPositionReportContract kontratını kullanır.

EK-5 Sensör düğüm bileşenleri

ID bileşeni

Ağ içindeki düğümler için tanımlayıcı ve kimlik yönetici olarak görev yapacak şekilde tasarlanmıştır.

RT

RT bileşeni düğümde yönlendirme tablosunu yönetir. En basit hali ile yönlendirme tablosuna girilen RTEntries'lerden RTKey'lere yönlendirme yapar.

AdHocRouting

Bu bileşen düğümdeki atlamalı iletişimi (ad-hoc) kontrol eder.

SensorApp

Sensor Application bileşeni toplayıcı veya sensor düğümünde olmasına göre iki farklı rol oynar. Sensor düğümündeki rolü sensör kanalından gelen bilgileri toplayıcı düğüme aktarılacak üzere orta katmandaki bileşenlere aktarmak olarak belirtilmiştir. Sensor kanalından gelen bilgileri SensorAppAgentContract kontratı ile alır. Bir alt katmandaki wireless agent la olan iletişimini ise SensorAppWirelessAgentContract ve SensorPacket kontratları ile gerçekleştirir.

Wireless agent

Bu bileşen de SensorApp bileşeni gibi iki farklı rol oynamaktadır. Sensor düğümündeki rolü SensorApp'dan üretilen veriyi SensorPacket'i haline çevirmek ve alt katmanlarda işlenmek üzere iletmek olarak tanımlanmıştır. Bu arada SensorPacket'ine de, transfer edilecek byte, sinyal-gürültü oranı veya paketin iletileceği hedefin kimliği gibi önemli bilgiler de eklenir.

Bu bileşen PktDispatcher bileşeni ile InetPacket kontratı SensorApp bileşeniyle de SensorAppWirelessAgentContract ve SensorPacket kontratları ile haberleşir.

PktDispatcher

Bu bileşen paketlerin yönlendirilmesinde rol alır.

LL (Link Layer)

Bu bileşen link layer fonksiyonlarını barındırır. PktDispatcher bileşeninden IP paketlerini alır ve LLPacket'leri halinde Queue bileşenine yolladığı belirtilmiştir. Ayrıca InetPacket'leri ve ARPPacket'lerini MAC bileşeninden alır ve duruma göre ARP bileşenine ya da PktDispatcher bileşenine iletir.

LL bileşeni LLPacket ve InetPacket'lerini kullanarak haberleşmektedir.

ARP

Bu bileşen adres çözümüleme protokolünün (Address Resoution Protocol;ARP) yaptığı işi üstlenir. Bu simülasyonda düğümler arasında sanal bir adresleme ile donanımsal adresleme arasında bir fark olmayacağı için ARP bileşenine çok fazla iş düşmemektedir. Bu bileşen LL bileşeni ile ARPContract kontratı ile iletişim kurmaktadır.

Queue

Bu bileşen ilk giren ilk çıkar (FIFO) prensibi ile çalışmaktadır. Bu bileşenin bir kısıtlama noktası olarak düğümden yer alması gerçekçilik açısından oldukça önemlidir. Bunun nedeni ise düğümlerde çoğu zaman güç sınırlaması olacağı gibi birde hafıza sınırlaması da olabilir.

Mac_802_15_4

Bu bileşen IEEE 802.15.4 (Dot15_4) protokolünün fonksiyonlarının çalıştırıldığı bileşendir. Bu tez için en fazla geliştirme bu bileşen üzerinde yapılmıştır. Bunun nedeni ise daha önceden var olan simülasyonun IEEE 802.11'in üzerine kurulmuş olması ve geri kalan bileşenlerde değişikliğe nereden ise ihtiyaç duyulmamasıdır.

Bu bileşen üzerinde tanımlı olan birçok değer,sınıf ve methot Dot15_4 'e uygun olacak şekilde yeniden uyarlanmıştır.

Bu bileşen birebir olarak MAC protokolünü kapsamada gerekli olan birçok zaman tutucunun çalıştırılmasında ve ayarlanmasında, hazırlanan paketlerin yorumlanmasında ve gerekli paketlerin hazırlanmasında önemli rol oynamaktadır. Bu bileşende üretilen paketler, kablosuz kanala açılan en son donanımsal bileşeni temsil eden WirelessPhy bileşenine gönderilir.

WirelessPhy

Bu bileşen donanımsal bir bileşeni temsil etmektedir. WirelessPhy bileşeni, MAC. 802_15_4 bileşeninden aldığı paketleri kablosuz kanala sinyal olarak yollar. Sinyalleri kablosuz kanaldan alıp verme sürecinde WirelessPropagationModel ve SensorMobility Model bileşeninden aldığı bilgilerden de yararlanır.

WirelessPHY bileşeni Wireless Propagation Model bileşeni ile RadioPropagationQueryContract ve kablosuz kanal bileşeni ile de NodeChannelContract kontratları ile habelişir.

CPU model

Bu bileşen Battery model bileşeni ile portları aracılığı ile bağlıdır. Silülasyonu yapılan düğümde aktif,uyuma ve CPU nun işlem yapmadığı zamanlardaki kullandığı enerji Battery model bileşeninden eksiltilecek şekilde görev yapar.

Battery model

Bu bileşen düğümdeki güç bileşenini modeller. Portları aracılığı ile CPU ve Radio Modelinin kullandıkları akım miktarını daha önceden belirlenmiş kapasite miktarından eksiltir. Bu bileşen ayrıca farklı pil tipleri içinde özelleştirilebilir. Diğer bileşenlerle iletişimde BatteryContract kontratını kullanır.

Radio model

Bu bileşen farklı radyo modellerini taklit edebilir. Düğümün uyuma, iletim ve alıcı gibi davrandığı zamanlardaki gerekli akım miktarını battery modele'e Batterycontract kontratı ile iletir.

Sensor agent

Bu bileşen düğüme gelen uyarıcı sinyali derler ve SensorApp bileşenine SensorAppAgentContract kontratı ile iletir. İletilen bilginin içeriğinde verinin boyutu, nereden geldiği ve sinyal-gürültü oranı vardır.

SensorPhy

Daha önceden de belirtildiği gibi bu bileşen kullanıldığı yere göre farklı görevler üstlenir. Sensor düğümünde kullanıldığı zaman, kendine ulaşan uyarıcı sinyalden, sinyalin üretildiği yer bilgisini ve üretildiği zamanı içeren bir kopyasını oluşturur. Daha sonra SensorPropagationModel'den aldığı bilgi ile belirli bir eşik değerini aşılması ile kopyalanan bilgiyi Sensor agent bileşenine iletir. Bu eşik değeri algılanan sinyalin gücü olarak düşünülmelidir.

SensorPropagationModel ve SensorMobilityModel

Bu bileşenler uyarıcı düğümdeki görevlerin aynılarını üstlenir. Ve yapı olarak da aynı tasarıma sahiptirler.