

**KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLARDA TRANSPORT LAYER ÇOKLU
ORTAM İLETİŞİM PROTOKOLÜ**

Derviş AYGÖR

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Ocak 2012

ANKARA

Derviş AYGÖR tarafından hazırlanan KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLARDA
TRANSPORT LAYER ÇOKLU ORTAM İLETİŞİM PROTOKOLÜ adlı bu tezin
Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof.Dr. M. Ali AKCAYOL

.....

Tez Danışmanı, Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof.Dr. Sezai DİNÇER

.....

Elektrik & Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, G.Ü.

Prof.Dr. M. Ali AKCAYOL

.....

Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, G.Ü.

Yrd.Doç.Dr. Suat ÖZDEMİR

.....

Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, G.Ü.

Tarih : 31/01/2012

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini
onamıştır.

Prof.Dr. Bilal TOKLU

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Derviş AYGÖR

KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLARDA TRANSPORT LAYER ÇOKLU ORTAM İLETİŞİM PROTOKOLÜ

(Yüksek Lisans Tezi)

Derviş AYGÖR

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Ocak 2012

ÖZET

Bu tezde, kablosuz algılayıcı ağlarda veri transfer katmanı ele alınmış ve çoklu ortam verisi iletimi için etkin bir protokol geliştirilmiştir. Geliştirilen protokol çoklu ortam verisinin iletiminden önce kaynak ve hedef düğüm arasında var olan yollardan en az birini bulup sonrasında söz konusu yol veya yollar üzerindeki düğümleri kullanarak asıl verinin hedef düğüme iletilmesini sağlamaktadır. Benzetim aracı olarak OMNeT++ ve Castalia kullanılmıştır. Önerilen protokol, C++ programlama dili kullanılarak geliştirilmiştir. DTSN(Distributed Transport for Sensor Networks) protokolüyle karşılaştırılarak benzetim sonuçları elde edilmiştir. Deneysel sonuçlar geliştirilen protokolün çoklu ortam verisi iletiminde daha başarılı olduğunu göstermiştir.

Bilim Kodu : 902.1.014

Anahtar Kelimeler : Kablosuz Algılayıcı Ağlar, Çoklu Ortam İletişim, Protokol

Sayfa Adedi : 77

Tez Yöneticisi : Prof.Dr. M. Ali AKCAYOL

**TRANSPORT LAYER PROTOCOL FOR MULTIMEDIA
COMMUNICATION IN WIRELESS SENSOR NETWORKS**

(M.Sc. Thesis)

Derviş Aygör

**GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

January 2012

ABSTRACT

In this thesis, the data transfer layer of wireless sensor networks has been discussed and an efficient protocol has been developed for the transmission of multimedia data. Developed protocol try to find at least one of the existing paths before the transmission of multimedia data between the source and the destination node and then using these nodes on the path or paths actual data is transmitted from the source to the destination. OMNeT++ and Castalia have been used as simulation tool. Proposed protocol has been developed using C++ programming language and compared with DTSN(Distributed Transport for Sensor Networks) transport protocol. The experimental results have shown that the developed protocol is more successful in the transmission of multimedia data.

Science Code : 902.1.014

**Key Words : Wireless Sensor Networks, Multimedia Communications,
Protocol**

Page Number : 77

Adviser : Prof.Dr. M. Ali AKCAYOL

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren Hocam Prof.Dr. M. Ali AKCAYOL'a, Yüksek Lisans Öğrenimim boyunca yardımlarını esirgemeyen ve her zaman yanımda olan aileme teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xii
1. GİRİŞ	1
2. KABLOSUZ AĞLAR.....	4
3. KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLAR.....	9
3.1. Düğüm Seviyesindeki Zorluklar	13
3.2. Ağ/Sistem Seviyesindeki Zorluklar.....	16
3.2.1. Taşıma katmanı	22
3.2.2. Ağ/Yönlendirme katmanı	26
3.2.3. Veri bağı(MAC) katmanı.....	31
4. TAŞIMA KATMANI ÇOKLU ORTAM İLETİŞİM PROTOKOLLERİ	34
4.1. SenTCP.....	34
4.2. CODA.....	35
4.3. RMST	36
4.4. ESRT	38
4.5. Çoklu Ortam Açısından Taşıma Katman Protokollerinin Karşılaştırılması... 40	
5. GELİŞTİRİLEN PROTOKOL	45
5.1. Önerilen Yeni Yaklaşım.....	45
5.2. Benzetimin Gerçekleştirilmesi	53

Sayfa

5.2.1. OMNeT++ ve Castalia benzetim ortamları	53
5.2.2. DTSN ve DSDV protokolleri	56
5.2.3. Gerçekleştirilen benzetim ve performans ölçütleri	61
6. DENEYSEL SONUÇLAR	63
7. SONUÇ VE ÖNERİLER	69
KAYNAKLAR	72
ÖZGEÇMİŞ	77

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Kablosuz ağlar özet tablosu	7
Çizelge 3.1. Radyo operasyon modlarının tükettiği enerji miktarları	15
Çizelge 5.1. MH1 hareketlenmeden önce MH4 düğümüne ait yönlendirici tablosu .	60
Çizelge 5.2. MH1 'in hareketinden sonra MH4 düğümüne ait yönlendirici tablosu .	60

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Kablosuz iletişim ağlarının sınıflandırılması	5
Şekil 3.1. Kablosuz algılayıcı ağların uygulama alanları.....	10
Şekil 3.2. Kablosuz algılayıcı ağlardaki basit bir düğümün iç yapısı	14
Şekil 3.3. Genel kablosuz algılayıcı ağ yapısı.....	17
Şekil 3.4. Kablosuz algılayıcı ağlar için protokol yığını.....	19
Şekil 3.5. Yukarı-akış ve aşağı-akış yönünde trafikler	23
Şekil 3.6. Taşıma katmanı protokolleri	25
Şekil 3.7. Yönlendirme sırasında yaşanan huni etkisi.....	27
Şekil 3.8. Kablosuz algılayıcı ağlarda yönlendirme protokollerinin sınıflandırması.	29
Şekil 3.9. Ağ katmanındaki QoS yaklaşımları	30
Şekil 4.1. DD protokolünce gerçekleştirilen operasyonlar	37
Şekil 4.2. RMST protokolünde bulunan operasyon durumları	40
Şekil 4.3. Protokollerin enerji tüketimleri.....	43
Şekil 5.1. Geliştirilen yaklaşımın aşamaları.....	45
Şekil 5.2. Kablosuz algılayıcı ağda iletişim öncesi ağ kurulumu	46
Şekil 5.3. Kaynak düğümden hedef düğüme rota isteğinin gönderilmesi.....	47
Şekil 5.4. Hedef düğüme ulaşan rota isteğinin kaynak düğüme geri bildirimi	48
Şekil 5.5. Alınan sinyal gücünün kullanıldığı seçici rota çıkarımı	49
Şekil 5.6. Çıkarılan rota bilgisinin ara düğümlere ve kaynak düğüme geri bildirimi	50
Şekil 5.7. Geliştirilen protokole ait akış şeması.....	52
Şekil 5.8. Castalia 'ya ait genel iletişim yapısı	54
Şekil 5.9. Bileşik düğüm modülüne ait alt modüller.....	55
Şekil 5.10. DTSN çerçevesi 5 olan 6 paketlik örnek bir veri iletimi	58
Şekil 5.11. DSDV protokolünün kullanıldığı örnek bir ağ topolojisi	59
Şekil 5.12. Belirlenen senaryoya uygun 3 sıçramalı bir veri iletimi.....	61
Şekil 6.1. Normal veri iletiminde protokollerin yaşadığı paket kaybetme oranları ...	63
Şekil 6.2. Normal veri iletiminde protokollerin ürettiği çıktı miktarı.....	64
Şekil 6.3. Normal veri iletiminde protokollerin yaşadığı ortalama gecikme süresi...	65
Şekil 6.4. Paket başına yapılan ortalama iletim miktarı.....	66

Şekil	Sayfa
Şekil 6.5. Çoklu ortam verisi için protokollerin yaşadığı ortalama gecikme süresi ..	68
Şekil 6.6. Çoklu ortam verisi için protokollerin hedef düğümde ürettiği çıktı	69

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
s	Saniye
ms	Milisaniye
Mbit	Megabit
kbit	Kilobit
m	Metre
km	Kilometre
KHz	Kilohertz
MHz	Megahertz
GHz	Gigahertz
Kısaltmalar	Açıklama
ACK	Acknowledgment
NACK	Negative-Acknowledgment
TCP	Transmission Control Protocol
QoS	Quality of Service
ARQ	Automatic Repeat Request
FEC	Forward Error Correction
BER	Bit Error Rate
WSN	Wireless Sensor Networks
WMSN	Wireless Multimedia Sensor Networks
GPS	Global Positioning System
MAC	Medium Access Control
GPS	Global Positioning System
SR ARQ	Selective Repeat Automatic Repeat Request
EAR	Explicit Acknowledgment Request
MEMS	Micro-ElectroMechanical Systems

Kısaltmalar**AmI****IEEE****TDMA****CSMA****FDMA****DARPA****DSN****CMOS****WLAN****WMAN****WWAN****WPAN****UWB****GSM****GPRS****3G****EDGE****UMTS****HSUPA****HSDPA****Açıklama**

Ambient Intelligence

Institute of Electrical and Electronics Engineers

Time Division Multiple Access

Carrier Sense Multiple Access

Frequency Division Multiple Access

Defense Advanced Research Projects Agency

Distributed Sensor Networks

Complementary Metal Oxide Semiconductor

Wireless Local Area Network

Wireless Metropolitan Area Network

Wireless Wide Area Network

Wireless Personal Area Network

Ultra-wideband

Global System for Mobile Communications

General Packet Radio Service

3rd Generation mobile telecommunications

Enhanced Data rates for GSM Evolution

Universal Mobile Telecommunications System

High-Speed Uplink Packet Access

High-Speed Downlink Packet Access

1. GİRİŞ

Bilgi günümüzde toplumların gelişmişliklerinin en önemli ölçütlerinden biri konumuna yükselmiş bulunmaktadır. Söz konusu bu yükseliş insanların bilgiyle olan münasebetlerini günden güne arttırmaktadır. Bu durum insanlar arasında bilgiye olan talebi ve isteği yükseltmenin yanında var olan bilgiye erişim yöntemlerini de tartışmaya açmıştır. Çağımızda insanlar bilgiye daha hızlı ve daha kolay ulaşmak amacıyla çeşitli arayışlara girmişlerdir. Bu arayışların bir sonucu olarak kablosuz ağlara olan ilgi artmış ve kablosuz ağların kullanımı yaygınlaşmıştır. Kolay kurulum imkanı ve düşük maliyeti ile kablosuz ağlar herhangi bir fiziksel bağımlılığı kullanıcısına zorunlu kılmaması ile geleneksel kablolu ağlardan ayrılmaktadır. Kullanımda sağladığı kolaylığın yanı sıra kablosuz ağlar ağ yönetiminde de ciddi avantajlara sahiptir. Bu bağlamda ağ yöneticilerini kablolama, cihaz kurulumu, ağ mimarisi oluşturup ayarlarını yapma gibi zahmetlerden kurtaran kablosuz ağlar gün geçtikçe daha fazla rağbet görmektedir.

Doksanlı yılların sonu ve iki binli yıllar kablosuz ağ teknolojilerinde önemli gelişmelerin yaşanmasına sahne oldu. 1997 yılında kablosuz yerel alan ağlarında standartlaşmanın ilk ayağı olan 802.11 protokolünün tanıtılması kablosuz ağlara ve kablosuz ağ teknolojilerine olan ilgiyi iyice artırdı. Söz konusu ilginin bir sonucu olarak aşırı enerji tüketme eğilimine sahip 802.11 standardının daha enerji etkin ortam erişim protokolleri ile desteklenmesi ile 2003 yılında kablosuz kişisel alan ağları için kısa menzilli düşük bant genişliğine sahip 802.15.4 protokolü geliştirildi[1]. 802.15.4 protokolü ile birlikte 21. yüzyılın en önemli teknolojilerinden biri olarak kabul edilen ağ şeklinde yapılandırılmış mikro algılayıcı düğümlerin gerçekleştirilebilmesi için gerekli olan üçlü sacayağının önemli bir ayağı olan iletişim ayağı kısmen tamamlanmış oldu. 21. yüzyılın bu önemli teknolojisinin üzerine oturduğu üçlü sacayağının kalan diğer iki ayağı ise algılama ve işlemedir[2]. Yakın zamanda mikro-elektro-mekanik sistemlerde(MEMS-Microelectromechanical Systems) yaşanan gelişmeler neticesinde günümüzde artık düşük maliyetli işlemci, hafıza ve radyo teknolojilerinin geliştirilmesi ile ucuz kablosuz mikro algılayıcı düğümlerin gerçekleşmesi mümkün hale geldi[3]. Söz konusu düğümler her ne kadar güçlü bir yapıya sahip olmasalar da bunların yüzlercesi birlikte kullanılarak kaliteli ve hata toleransı yüksek ağlar oluşturmak mümkündür. Bu ağlar özellikle fiziksel şartların elverişsiz olduğu yerlerde belirli bir bölgedeki yararlı birtakım bilgilerin

toplanması amacıyla kullanılabilmektedir[4]. Söz konusu teknoloji entegre farklı algılayıcıları bulunan ve kablosuz iletişimi kullanarak haberleşen küçük ucuz akıllı cihazların büyük miktarlarda belirli bir alana yerleştirildiği ve çeşitli izleme veya gözleme faaliyetlerinin gerçekleştirildiği bir dağıtık sistem şeklinde düşünülebilir[2].

Kablosuz algılayıcı ağlar şeklinde çağırılan bu yeni teknolojinin aslında geçmişi DARPA(Defense Advanced Research Projects Agency) tarafından 1980 'lerde yürütülen DSN(Distributed Sensor Networks) programına kadar gitmektedir. Bununla birlikte algılayıcı ağların bu ilk örneklerinde düğümlerin büyük oluşu ve kablosuz iletişimin avantajlarından mahrum olması uygulama alanını ciddi oranda daraltmıştır. Bugünlere dek ulaşan kablosuz algılayıcı ağların 1998 yıllarında başlayan yeni bir araştırma ve geliştirme dalgasının neticesi olduğu söylenebilir[5]. Bu yeni dalga ile son derece dinamik amaca özel ortamlar ve kaynak kısıtlı algılayıcı düğümler için uygun iletişim ve işleme konularına ağırlık verilmeye başlandı. Bunun sonucunda görece küçük ve ucuz algılayıcı düğümlerin üretimi mümkün hale geldi. Bu sayede çok farklı uygulama alanlarına ulaşan kablosuz algılayıcı ağlar günümüzde tarımdan sanayiye, sağlıktan eğitime, askeriyeden lojistiğe pek çok alanda kullanılmaktadır[6].

Uygulama alanlarının çeşitliliğine rağmen genelde kablosuz algılayıcı ağlar düşük bant genişliği gerektiren ve gecikme toleransı yüksek verilerin taşınmasına yöneliktir. Bununla birlikte kablosuz algılayıcı düğümlerde pahalı olmayan CMOS(Complementary Metal Oxide Semiconductor) gibi kameraların veya mikrofonların kullanılması çok daha etkin algılayıcı ağların üretilmesine olanak vermiştir. Bu yeni teknoloji kablosuz çoklu ortam algılayıcı ağları şeklinde çağırılmakta ve akıllı düğümlerin birbiri ile haberleşerek belirli bir bölgedeki görüntü veya ses akışlarının, resimlerin ve sayısal verilerin elde edilmesini amaçlamaktadır[7]. Bu noktada kablosuz çoklu ortam algılayıcı ağların aslında özelleşmiş bir takım ek özellikleri ve gereksinimleri açısından özel bir kablosuz algılayıcı ağ olduğu söylenebilir[8].

Kablosuz ağlar sunduğu önemli avantajlara rağmen kablolu ağların tersine bu ağlarda paketler iletim sırasında gürültüden daha kolay etkilenmekte ve sonuç olarak kablosuz bir ağda paket kayıpları daha kolay yaşanmaktadır. Kablosuz algılayıcı ağların karakteristik özelliklerinden olan çok sıçramalı iletişim söz konusu bu kayıpların daha da artmasına neden olmaktadır. Ayrıca kablosuz algılayıcı ağların

dinamik yapısı ve düğümlerin kısıtlı kapasitesi geleneksel ağlardakinden farklı olarak tüm ağ için belirli yönlendirme tabloları tutulmasına imkan tanımamaktadır. Bu yüzden algılanan verinin hedef düğüme kayıpsız, doğru bir şekilde iletilmesi ve bu iletimin ağın ve düğümün toplam enerjisi baz alındığında mümkün olan en az enerji ile yapılması bir kablosuz algılayıcı ağ için en önemli gereksinim kalemi olarak öne çıkmaktadır. Diğer taraftan kablosuz algılayıcı ağda yer alan düğümlerin çoklu ortam verisi algılayabilme ve iletebilme yetenekleriyle donatılması var olan zorluğun derecesini daha da artırmaktadır. Çünkü çoklu ortam verisinin yoğun yapısını buna karşılık düğümün depolama, veri işleme ve bant genişliği kısıdını göz önüne alarak belirlenen diğer gereksinim kalemleri ile karşılayan etkin bir veri iletim mekanizmasına ihtiyaç duyulmaktadır[7].

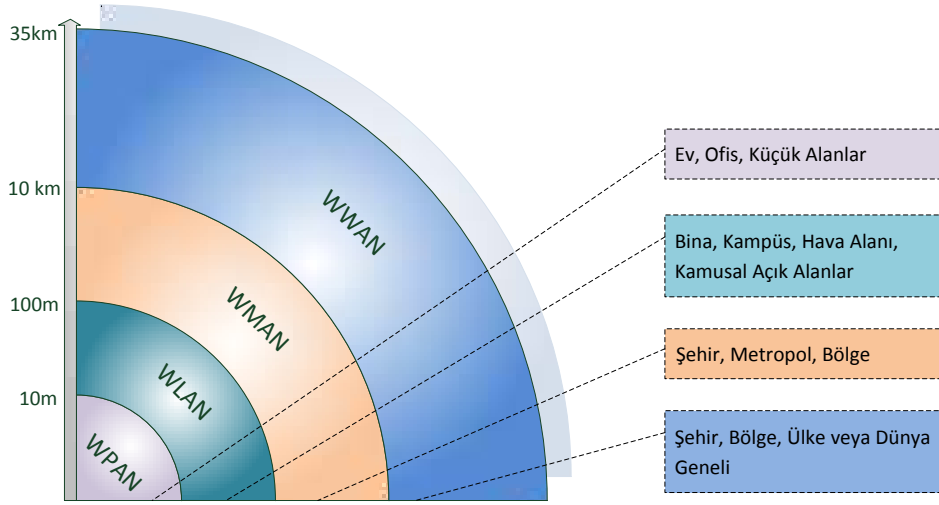
Bu tezde kablosuz çoklu ortam algılayıcı ağların veri iletimi için çoklu ortam verisinin karakteristik özelliklerini göz önünde bulunduran etkin bir veri taşıma protokolü geliştirilmiştir. Veri iletimi sırasında söz konusu protokol özellikle gecikme, iletim oranı ve güvenilirlik gibi önemli kısıtların sağlanmasına olanak tanımaktadır. İletim oranını korumak ve olası tıkanıklıkları önlemek için geçici yönlendirme tabloları, uçtan uca güvenilirliği arttırmak ve enerji tüketimini tüm ağa dağıtmak için çok yöllü yönlendirme söz konusu protokol tarafından kullanılmaktadır.

2. KABLOSUZ AĞLAR

Günümüzde modern haberleşme yöntemlerinin en önemlilerinden biri olan kablosuz iletişimin kökleri aslında J. C. Maxwell, Heinrich Hertz ve Guglielmo Marconi adlı üç bilim adamının 19. yüzyılda yapmış oldukları çalışmalara dayanmaktadır. Bunlardan ilki olan J. C. Maxwell uzayda elektromanyetik dalgaların sonlu bir hızda yayıldığını öngören ilk teorisyendir. Bununla birlikte Heinrich Hertz sunduğu olağanüstü imkanları fark etmemesi bir yana bu dalgaların varlığını deneysel olarak kanıtlayan ilk kişidir. Guglielmo Marconi ise yaptığı çalışmalar ve daha çok mühendislik alanında yaptığı katkılar ile seleflerinin yaptığı çalışmaları genişletip yaygınlaşmasını sağlayan kişi olmuştur[9].

İlk radyo sistemlerinde sinyaller analog olarak iletiliyordu. Bununla birlikte veri sinyali üzerinden doğrudan veya analog sinyalin sayısallaştırılması ile elde edilen ve ikili bitlerin bir araya gelmesi ile oluşan sayısal sinyaller sonraki radyo teknolojilerinde daha çok tercih edilmiştir. Sayısal sinyalin avantajlarından biri akış şeklinde veya paketler halinde veri iletimini mümkün kılmasıdır. Sayısal sinyalin sunduğu avantajları gören Norman Abramson öncülüğünde bir grup araştırmacı 1971 yılında Hawaii Üniversitesi'nde ilk paket-anahtarlama radyo iletişim ağı olan AlohaNet 'i yaratmayı başarmıştır. Günümüzde WLAN(Wireless Local Area Network) olarak da bilinen ilk kablosuz yerel alan ağı olan AlohaNet başlangıçta yalnızca yedi bilgisayarların birbiri ile haberleştiği bir ağ şeklinde yıldız mimarisinde tasarlanmıştır[10]. 1990 'lı yıllara gelindiğinde bütün bilgisayarlar için standart bir WLAN geliştirilmesi amacıyla 802.11 çalışma grubu kuruldu. 1997 yılında IEEE(Institute of Electric Electronic Engineer) 802.11 kablosuz yerel alan ağları için standart veri iletişim biçimi olarak kabul edildi.

Günümüzde kablosuz iletişim ağları hizmet verdiği fiziksel alanın büyüklüklerine göre dört farklı sınıf altında toplanmaktadır. Bunlar kablosuz geniş alan ağları(WWAN), kablosuz metropol alan ağları(WMAN), kablosuz yerel alan ağları(WLAN), kablosuz kişisel alan ağları(WPAN) şeklinde sıralanabilir[11]. Söz konusu sınıflandırma ve her farklı sınıfın hizmet alanları Şekil 2.1'de görülmektedir.



Şekil 2.1. Kablosuz iletişim ağlarının sınıflandırılması

Şekil 2.1 'de de görüldüğü üzere en kısa menzile sahip ağlar WPAN(Wireless Personal Area Network) içerisinde kalmaktadır. Bu ağlar sahip olduğu düşük enerji isteği ve düşük veri iletim oranı ile diğer ağlardan ayrılır. Daha çok enerji kısıdı yüksek küçük cihazların birbiri ile haberleşmek için kullandığı WPAN 'lerin asıl avantajı ad-hoc şeklinde bağlantı yapabilme yeteneğidir. Kullanıcılarına 10 metreye kadar iletişim olanağı sunan WPAN teknolojilerinin geliştirilmesi ve standartlaştırılması amacıyla IEEE tarafından 802.15 çalışma grubu kurulmuştur. Söz konusu çalışma grubu tarafından günümüzde oldukça yaygın kullanıma sahip Bluetooth teknolojisine karşılık gelen IEEE 802.15.1, sergilediği yüksek veri iletim oranı ile UWB için IEEE 802.15.3a ve düşük veri iletim oranı isteyen ağlar için IEEE 802.15.4 standartları geliştirilmiştir.

Bir diğer kısa menzilli ağ olan WLAN 'ler ise aynı oda veya aynı bina gibi ortak bir alanda bulunan kullanıcıların birbirleri ile kablosuz iletişimi kullanarak haberleştikleri ağdır. Bilgisayarların bulundukları yerel alan içinde birbirleri ile bağlantı kurmalarına imkan sağlayan WLAN sistemlerinin kapsama alanı 25 ila 100 metre arasındadır. IEEE tarafından WLAN 'ler üzerinde standartlaştırma çalışmaları 802.11 çalışma grubu tarafından yürütülmektedir. Söz konusu grubun çalışmaları sonucunda 1997 yılında önerilen ilk standart yaklaşık 2 Mbit/s seviyelerinde bir veri

iletim oranını desteklemektedirken günümüzde bu oran 802.11.x türevleri ile ciddi oranda yükseltilmiştir.

Orta ve büyük ölçekte bir ağ olan WMAN(Wireless Metropolitan Area Network) 'ler ise birbirinden uzak yerlerde bulunan kablosuz veya kablolu yerel alan ağlarının kablosuz bir erişim noktası aracılığıyla birbirine bağlandığı görece daha geniş ağlardır. IEEE tarafından söz konusu ağlarda standartlaşmayı sağlamak amacıyla 802.16 çalışma grubu oluşturulmuştur. İlk revizyonunu 2001 yılında yayınlayan grup 5 km yarıçaplı bir daire içerisinde görüş alanında kalan kullanıcıların 134 Mbit/s seviyesinde bir veri iletim oranına ulaşmalarına imkan tanıyan bir standardı kullanıma sunmuştur[11]. Ağda yer alan cihazların görüş alanında olması zorunluluğu 802.16 standardının daha sonraki versiyonlarında kaldırılmış ve mevcut hizmet mesafesi 10 km 'ye kadar arttırılmıştır.

Son olarak kablosuz ağlar içerisinde en uzun menzile sahip ve en fazla bilgisayarı bünyesinde bulunduran WWAN(Wireless Wide Area Networks) 'ler ise ülke ya da dünya çapında cihazlar arası mesafenin yüzlerce veya binlerce kilometre olabildiği durumlarda haberleşmenin kablosuz iletişim teknolojileri ile sağlandığı ağ türüdür. Uzak yerleşim birimlerinin birbiri ile iletişim kurduğu bu tür ağlarda çok fazla sayıda bilgisayar birlikte çalışıyor olabilir. WWAN uygulamalarına örnek olarak günümüzde de yaygın kullanıma sahip GSM, GPRS ve 3G sistemleri verilebilir. Söz konusu ağlar üzerinde çalışmak amacıyla IEEE bünyesinde kurulan grup 802.20 kodu ile tanımlanmaktadır. 802.20 standardının en büyük avantajı hızın 250 km/s seviyelerinde seyrettiği durumlarda da bağlantıyı koruyabilmesidir. Söz konusu standart ile kablosuz ağlarda 1 Mbit/s düzeylerinde bir veri iletim oranı mümkün olmaktadır. Aşağıdaki Çizelge 2.1 'de kablosuz ağ teknolojilerini özetleyen bir şema görülmektedir. Şema yaygın kullanıma sahip ve kabul görmüş kablosuz iletişim teknolojilerinin bilinen isimleri ile birlikte sırasıyla ortaya çıkış tarihi, kullandığı frekans bandı, bant genişliği ve veri aktarım hızı açısından toplu bir karşılaştırmasını sunmaktadır.

Çizelge 2.1. Kablosuz ağlar özet tablosu

Ad	Kökeni	Frekans Bandı	Bant Genişliği	Veri aktarım hızı	Sinyal menzili	
Bluetooth	2004	2,4 GHz	1 MHz	2,1 Mbit/s	10 m	WPAN
UWB	2007	4,8-10 GHz	500 MHz	480 Mbit/s	10 m	
Zigbee	2004	2,4 GHz	2 MHz	250 kbit/s	10 m	
					dış/iç ortam	
IEEE 802.11a	1999	5 GHz	20 MHz	54 Mbit/s	100/30 m	WLAN
IEEE 802.11b	1999	2,4 GHz	20 MHz	11 Mbit/s	110/35 m	
IEEE 802.11g	2003	2,4 GHz	20 MHz	54 Mbit/s	110/35 m	
IEEE 802.11n	2006	2,4/5 GHz	40 MHz	150 Mbit/s	160/70 m	
IEEE 802.16	2001	10-66 GHz	28 MHz	134 Mbit/s	5 km	WMAN
IEEE 802.16a	2003	2-11GHz	20 MHz	75 Mbit/s	10 km	
IEEE 802.16d	2004	2-11GHz	25MHz	75 Mbit/s	8 km	
IEEE 802.16e	2005	2-6 GHz	20 MHz	30 Mbit/s	5 km	
				aşağı/yukarı bağlantı		
GSM (2G)	1992	900/1800 MHz	200 KHz	9,6 kbit/s	35 km	WWAN
GPRS (2.5G)	1997	900/1800 MHz	200 KHz	80 kbit/s	35 km	
EDGE (2.75G)	2004	900/1800 MHz	200 KHz	200/100 kbit/s	30 km	
UMTS (3G)	2000	1885-2200 MHz	5MHz	2048 kbit/s	2 km	
HSDPA (3.5G)	2004	873/1900 MHz	5MHz	14,4 Mbit/s	6 km	
HSUPA (3.75G)	2005	873/1900 MHz	5MHz	1,4 Mbit/s	5 km	
IEEE 802.20 (4G)	2002	< 3,5GHz	1,25 Mhz	1024/300 kbit/s	12 km	

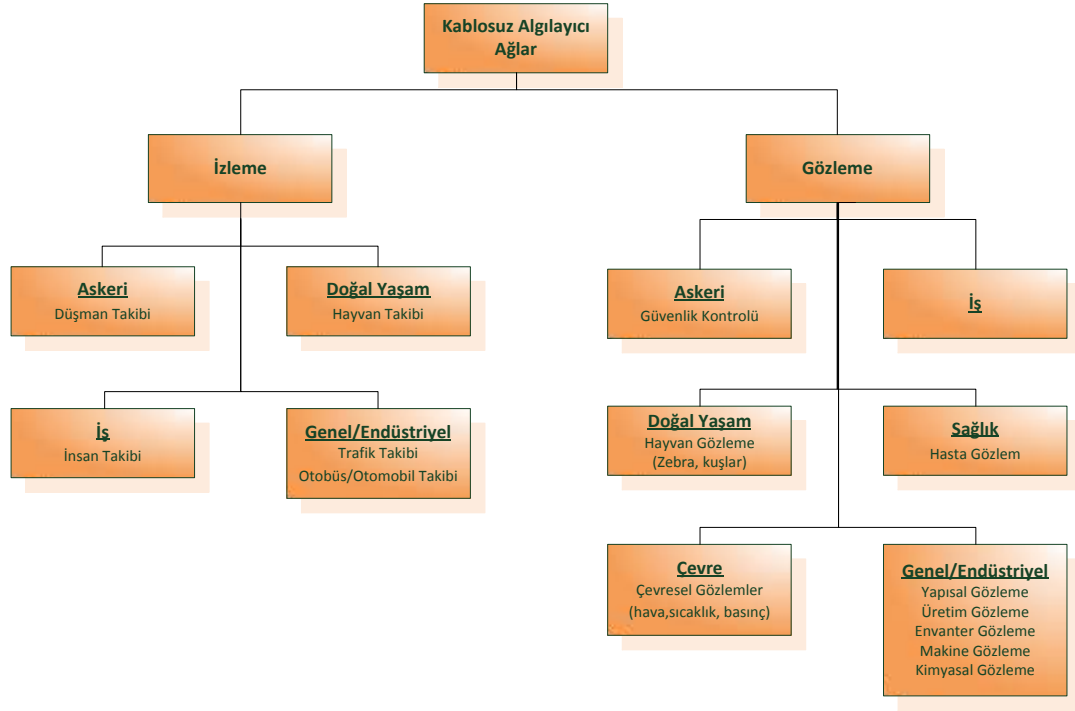
Kablosuz ağların, kablolu ağların bilgi çağı olan günümüzde internet ile başlattığı devrimin bir sonraki adımı olduğu ve gün geçtikçe kablolu ağların yerini almaya en güçlü aday olduğu rahatlıkla söylenebilir. Aslında içinde bulunduğumuz dönem yalnızca veri iletişim teknolojilerinin değiştiği ve bilgiye erişimin hızlandığı bir çağ değildir. Bilgiye erişim yöntemleri ile birlikte bilginin üretilmesi süreçleri ve verinin bilgiye dönüşüm evreleri de ciddi bir değişimin arifesindedir. Kablosuz iletişim teknolojilerinde ve MEMS teknolojilerinde yaşanan gelişmelerin bir neticesi olan bu değişim kopernik devrimindeki gibi insanın merkezi niteliğini kısmen kaybetmesi anlamına gelmektedir.

Geleneksel anlamda bilgi işleme eski moda bilgisayar veya kişisel bilgisayar gibi büyük ve amaca özel üretilmiş bir cihazın kontrolünde yürütülmekteydi. Genellikle bu cihazların merkezde bulunduğu yapı insanlar tarafından çevrenlenmekte ve kontrol edilmekteydi. Günümüzde ise cihazların küçülmesi ve kablosuz iletişimde yaşanan gelişmeler neticesinde bilgi üretimi sürecine insan yedeğinde yürüten bilgisayarların bunu ilk elden yapması ve bilgi işleme sürecinde insanı rahatlatması düşünülmektedir. Akıllı çevre(Ambient Intelligence - AmI) olarak çağırılan bu yeni paradigmada gelecek bilgi toplumu uygulamalarına teknolojinin sahip olduğu aşırı karmaşıklığın gizlenerek bir takım doğal ara yüzler üzerinden akıllı servisler sunulması planlanmaktadır. Bunun için gerekli bilginin çevreden toplanması, işlenmesi ve iletilmesi gereklidir. Kablosuz algılayıcı ağlar tam da bu gereksinimlerin karşılanmasına yönelik geliştirilen bir teknolojidir[12]. Kablosuz algılayıcı ağlar sahip olduğu algılama yeteneği ile ortamda bulunan değişimleri algılayabilmekte, gerektiğinde üzerinde bulunan basit işlemci ile işleyebilmekte ve kablosuz iletişim üzerinden bunu iletebilmektedir. Hatta hareketlendiricilerin tetiklenerek söz konusu kablosuz algılayıcı ağda gerektiğinde yer değişikliği yapmak da mümkündür.

3. KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLAR

Kablosuz algılayıcı ağlar bir ortama yerleştirilen akıllı yüzlerce hatta binlerce akıllı düğümün kablosuz iletişimi kullanarak çevreden gelen farklı türdeki verilerin ölçülmesini, izlenmesini ve yönetilmesini amaçlayan bir teknolojidir. Düşük seviyede bir enerji tüketimine sahip bu akıllı düğümler temelde bir algılama, bir işleme ve bir de kablosuz iletim ünitesinden oluşmaktadır. Ayrıca tüm düğümü beslemek amacıyla küçük bir de güç ünitesi ile donatılan söz konusu düğüm fiziksel dünya ile görünmez bağlantılar kurarak ortamda meydana gelen değişiklikleri algılayıp belirlenen şekilde işledikten sonra gerekli yerlere ileten kablosuz algılayıcı ağdaki en küçük birimdir. Akıllı düğümler dolayısıyla kablosuz algılayıcı ağların ortaya çıkışı radyo ve MEMS teknolojilerinde yaşanan gelişmeler neticesinde olmuştur. Kablosuz algılayıcı ağlar aslında ihtiyaçlarımızı önceden tahmin edip bizim adımıza bir takım reaksiyonlarda bulunabilmesi açısından önemli bir paradigma değişiminin de temsilcisidir.

Kablosuz algılayıcı ağlar çok farklı şekillerde sınıflandırılmaktadır. Örneğin uygulama alanlarına göre kablosuz algılayıcı ağların izleme ve gözleme olmak üzere ikiye ayrıldığı söylenebilir[13]. Gözleme uygulamaları içerisinde çevresel gözlem uygulamaları, sağlık ve sağlık durumu gözlenmesine yönelik uygulamalar, güç takibi yapan uygulamalar, envanter yerinin gözlenmesi, üretim ve süreç otomasyonu, sismik ve yapısal gözlemler yapan uygulamalar sayılabilir. İzleme uygulamaları içerisinde ise hayvan, insan veya araç gibi farklı nesnelerin izlenmesine yönelik uygulamalar bulunmaktadır. Diğer taraftan kablosuz algılayıcı ağların içerdikleri düğümlerin yetenekleri açısından homojen ya da heterojen algılayıcı ağ şeklinde sınıflandırmak da mümkündür[14]. Homojen bir algılayıcı ağda, algılayıcılar işlemci yetenekleri, batarya enerji seviyeleri ve donanım karmaşıklığı açısından birbirinin aynısıdır. Buna karşılık heterojen bir algılayıcı ağda farklı uygulamalar için farklı batarya kapasitesine sahip kablosuz algılayıcı düğümler bulunabilir. Heterojen algılayıcı ağlar genelde savaş alanı ve vahşi doğa gibi insan denetiminden uzak açık alanlarda kullanılmaktadır.



Şekil 3.1. Kablosuz algılayıcı ağların uygulama alanları

Kablosuz algılayıcı ağlar bazen kablosuz ad hoc ağların bir alt kümesi olarak kabul edilmektedir. Bununla birlikte ad hoc ağlara ait özelliklerin çoğunu taşımasına rağmen kablosuz algılayıcı ağlarda bir takım ince farklılıklar bulunmaktadır[4]. Sözcük anlamı açısından bir ad hoc ağ belirli bir amaç için gerekli gözükten iletişimin hızlı bir şekilde kurulmasına odaklanan ağdır. Bu çeşit bir ağ için basit bir örnek olarak bir toplantı salonunda bulunan birkaç dizüstü bilgisayarın kablolar aracılığıyla küçük bir ağ oluşturduğu ağ yapısı verilebilir. Ad hoc ağlarda kendi kendini yönetilebilirlik çok önemli bir unsurdur. Dolayısıyla bir ad hoc ağda elle yapılan bir ayarlama veya yönetme olmadan söz konusu ağın çalışabileceği varsayımı yapılır. Bu şekildeki bir ağda paketler ağ üzerinde yer alan düğümler üzerinden geçirilerek hedef düğüme ulaştırılmaya çalışılır. Bu sırada çok büyük bir coğrafik alanın alıcı ve gönderici arasında doğrudan yapılabilecek bir alışveriştekinen nazaran daha karmaşık bir şekilde karış karış dolaşılması gerekebilir[15]. Ad hoc ağlarda temelde iki önemli zorluk söz konusudur. Bunların ilki ağdaki bir değişiklikte ağın tekrar organize edilmesiyle diğer kablosuz iletişimden kaynaklanan problemlerin üstesinden gelmesidir. Söz konusu bu iki problem kablosuz algılayıcı ağlar için de geçerlidir.

Bununla birlikte kablosuz algılayıcı ağların sahip olduğu birtakım özellikler nedeniyle daha farklı bir çok sorunun üstesinden gelmesi gerekmektedir. Bu bağlamda bir kablosuz algılayıcı ağdan beklenen sadece kaba verinin iletilmesi değil düğümler üzerinde yer alan küçük işlemci üniteleri ile kısmen işlenmiş anlamlı ve sadece gerekli bilginin üretilip iletilmesidir[4]. Bu yüzden ağda yer alan algılayıcı düğümlerin birbirleri ile belirli bir koordinasyon ve iletişim içerisinde bulunmaları gerekmektedir.

Öncelikle bir kablosuz algılayıcı ağda algılama, hesaplama ve iletişim teknolojilerinin makul farklı birleşimleri ile farklı birçok uygulama senaryosu oluşturmak mümkündür. Bununla birlikte optimize tek bir çözümün tüm bu senaryolardaki olası farklı sorunları aşması mümkün değildir. Bir kablosuz algılayıcı ağ sürekli çevresiyle etkileşim halinde olduğundan trafik özelliklerinin insan yönetimli ağlar ile karşılaştırıldığında daha farklı olacağı açıktır. Kablosuz algılayıcı ağlarda düğümler oldukça uzun süre çok düşük bir iletim oranı gösterirken herhangi bir olay anında yüksek seviyede patlamalı trafik oluşturabilmektedir[15]. Bunun anlamı haftalar veya aylar boyunca inaktif durumda olan ağ bir anda çok yüksek bir aktivite seviyesine çıkarak sistemin kapasite sınırlarına gelmesine neden olabilmektedir. Ağın böylesi bir durumda kendisinden beklenen faydayı sağlayabilmesi proaktif bir takım yaklaşımları gerekli kılmaktadır.

Bir ağda verilen hizmetin tipi ile yakın bir ilişki içerisinde olan ve onu belirleyen o hizmetin kalitesidir[16]. Geleneksel ağlar için konuşacak olursak örneğin video şeklindeki bir verinin ihtiyaç duyduğu kalite kalemleri bir metin verisinin ihtiyaç duyduğu kalite kalemlerinden farklı olacaktır. Ağdan beklenen söz konusu kalite kalemlerini farklı veri tipleri için uçtan uca sağlayabilmesidir. Konu kablosuz algılayıcı ağlar için daha karmaşık bir hal almaktadır. Çünkü bir kablosuz algılayıcı ağda farklı veri tiplerine göre sağlanan bir hizmet kalitesi yeterli olamamakta bunun yanında trafik yönü, enerji ve hesaplama yetenekleri, dinamik ve hareketli yapı vb. birçok faktörün hizmet kalitesinde neden olabileceği dalgalanmaların minimize edilmesi gerekmektedir. Diğer taraftan geleneksel ağlar için kullanılagelen bir takım kavramlar ve kalite anlayışları da kablosuz algılayıcı ağlar için gereksiz

olabilmektedir. Örneğin bir olay anında olayı algılayan tüm düğümlerin paket bazlı bir güven seviyesi ile hedef düğüme yapacakları bir bildirim kablosuz algılayıcı ağlar için istenilen bir durum değildir. Bunun yerine iletilen bilginin gözlenen nesnelerin hedef düğümden tekrar ele geçirilmesine imkân verecek miktarda ve kalitede olması daha önemlidir[17]. Dolayısıyla kablosuz algılayıcı ağlar için yeni bir hizmet kalitesi anlayışına ihtiyaç duyulmaktadır.

Kablosuz algılayıcı ağlarda karşılaşılabilecek bir diğer sorun bir veya birden fazla düğümün enerjisinin tükenmesi veya zarar görmesi sonucu bağlantı halinde olan iki düğümün iletişiminin tamamen kesilmesi durumudur[13]. Böylesi bir durumda ağın kendi kendini tekrar düzenleyebilmesi diğer bir deyişle bir bütün olarak böylesi aksaklıkların üstesinden gelebilmesi gerekmektedir. Düğüm kaybını tolere edebilmenin bir yolu ilgilenilen alana gereğinden fazla düğüm yerleştirimi yapmaktır. Fakat bu durumda da düğümlerin neden olduğu girişim seviyesi artacak ve daha fazla paket kaybı yaşanmasına neden olacaktır.

Çoğu kablosuz algılayıcı ağ uygulamasında kullanılan düğümler batarya gibi sınırlı bir enerji kaynağı tarafından beslenmektedir. Söz konusu enerji kaynağının düğümler gözlemlene alanına yerleştirilmesinin ardından belirlenen süre boyunca ağdan beklenen görevi yerine getirebilmesi diğer bir deyişle ağın mümkün olduğunca uzun süre en azından bağlantı halinde kalabilmesi için oldukça dikkatli kullanılması gerekmektedir[13]. Dolayısıyla bir kablosuz algılayıcı ağın yaşam süresi o ağdan beklenen faydaların elde edilebilmesi için çok önemli bir konu olmaktadır. Bu durumun sonucu olarak enerji etkin icra yöntemleri kablosuz algılayıcı ağlar için öne çıkmaktadır. Bununla birlikte ağın yaşam süresi ile verilen hizmet kalitesi arasında açık ve doğrudan bir gerilim olacağı açıktır. Diğer bir deyişle ağda sağlanan kalite seviyesindeki herhangi bir artış ağın yaşam süresi üzerinde düşürücü etki yapacaktır. Söz konusu bu iki niteliği uyumlu bir şekilde bir araya getiren yeni yaklaşımlara gereksinim duyulmaktadır.

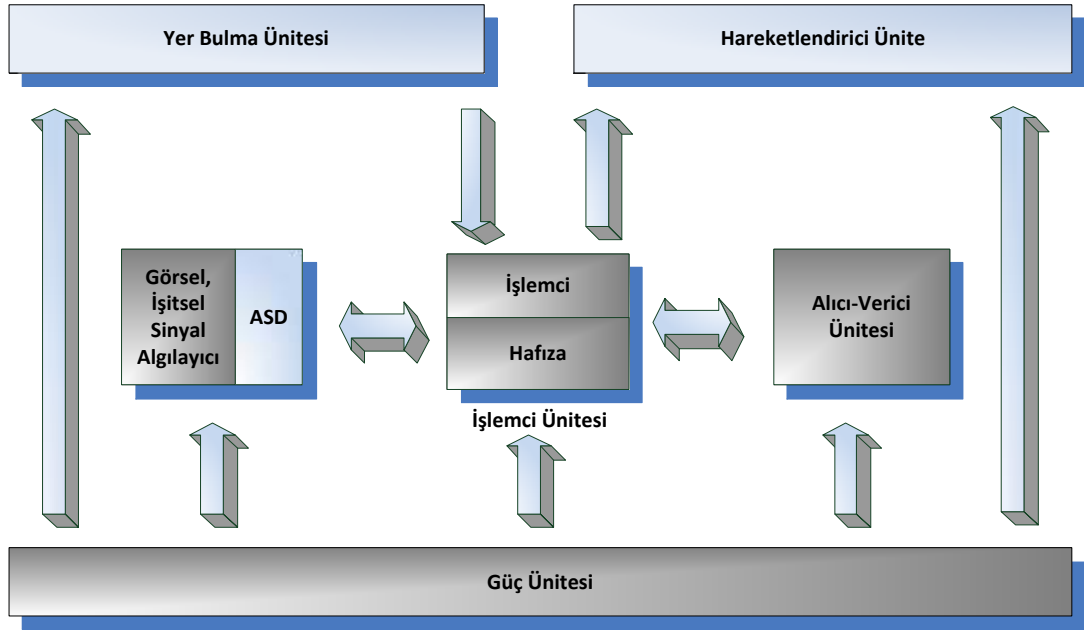
Kablosuz algılayıcı ağlarda her bir alandaki düğümlerin sayısı diğer bir deyişle ağın yoğunluğu ciddi anlamda farklılık gösterebilmektedir[18]. Hatta belirli bir uygulama

için yoğunluk düğümlerin zarar görmesi veya hareketlerinden ötürü zamanla veya alandan alana değişiyor olabilir ya da yoğunluk tüm ağ boyunca aynı seviyede yani homojen olmuyor olabilir ve ağın tüm bu durumların üstesinden gelebilir ve bu durumlara uyum sağlayabilir olması önemli bir diğer gereksinim kalemidir.

Kısacası kablosuz algılayıcı ağların sahip olduğu farklı özellikler nedeniyle çok daha özelleşmiş bir takım kısıtlara ve çözülmesi gereken sorunlara sahip olduğu söylenebilir. Söz konusu sorunları düğüm seviyesinde olanlar ve ağ seviyesinde olanlar şeklinde ayırmak mümkündür[4]. Düğüm seviyesinde olan sorunlar düğümü oluşturan bileşenlerin kısıtlarından kaynaklanan sorunlardır ağ seviyesinde olanlar ise kablosuz algılayıcı ağların karakteristik iletişim şekli olan çok atlamalı/sıçramalı yapıdan ve genel kablosuz iletişimden kaynaklanan sorunlardır.

3.1. Düğüm Seviyesindeki Zorluklar

Basit tipik bir kablosuz algılayıcı düğümün temel bileşenleri Şekil 2.1'de[4] görüldüğü gibidir. Bu bileşenler sırasıyla algılama ünitesi, işleme ünitesi, iletişim ünitesi ve güç ünitesidir. Algılama ünitesi genelde algılayıcı cihazlar ile analog-sayısal dönüştürücüden oluşmaktadır. Algılanabilir verinin yakalanmasından sorumlu bu bölüm ayrıca işleme ünitesini algıladığı veriler ile beslemektedir. İşleme ünitesinin görevi algılama ünitesince yakalanan verinin işlenmesi, özetlenmesini ve diğer düğümlere yada çıkış düğümüne iletişim ünitesi üzerinden gönderilmesidir. İşleme ünitesinde ayrıca ilgili süreçlerin ilerletilebilmesi için gerekli küçük bir hafıza alanı da bulunmaktadır. Bir algılayıcı düğümde ayrıca iki tane de isteğe bağlı ünite bulunmaktadır. Bunlar hareketlendirici ünite ve yer bulma ünitesidir. Kablosuz algılayıcı ağlarda düğümlerin çoğu sabit olsa da gömülü bir hareketlendirici ünite ile izlenen hareketli nesnenin fiziksel olarak takip edilmesi de mümkündür. Yer bulma ünitesi ise içerisinde gelen Küresel Konumlandırma Sistemi(GPS) ile yönlendirme metrikleri hesaplanırken kullanılabilecek bir konum bilgisi sağlanması amacıyla kullanılmaktadır. Bu bilgiden kablosuz algılayıcı ağlarda özellikle yönlendirme sırasında faydalanılmakta ve bu bilgi sayesinde ağın performansı genel anlamda arttırılabilmektedir.



Şekil 3.2. Kablosuz algılayıcı ağlardaki basit bir düğümün iç yapısı

Kablosuz algılayıcı ağlarda karşılaşılan bir takım sorunların ve zorlukların altında yatan aslında düğümde bulunan bileşenlerin kısıtlarından kaynaklanmaktadır. Bu kısıtların başında çok dikkatli kullanılması gereken önemli ve kıt bir kaynak olan enerji gelmektedir. Bu kısıt düğüm tasarımını ve seçilen düğüm bileşenlerinin yeteneklerini belirleyen en önemli anahtar faktördür[19]. Enerji kısıdının neden olduğu durumlardan biri işleme ünitesinin daha az enerji tüketen görece küçük bir hafıza ve basit bir işlemci veya daha basit bir mikro denetleyici ile donatılması dolayısıyla karmaşık algoritmalar koşturamayacak bir yapıda olmasıdır. Bu durum kablosuz algılayıcı ağlarda karmaşık ve aşırı işlem gerektiren yazılım ve protokollerin icrasına imkan vermemektedir. Dolayısıyla ağ dahilinde yürütülecek tüm süreçlerin mümkün olduğunca basit olması gerekmektedir. Ayrıca söz konusu süreçlerin ağ geneline yayılıp dağıtık bir şekilde yürütülerek ağda bölgesel kopmaların ve düğüm kayıplarının önüne geçilmelidir.

Çizelge 3.1. Radyo operasyon modlarının tükettiği enerji miktarları

Radyo Modu	Enerji Tüketimi
İletim	14,88
Alış	12,5
Boş	12,36
Uyku	0,016

Enerji kaynağının etkilediği bir diğer ünite aynı zamanda bir düğümde en fazla enerjinin tüketildiği kablosuz iletişim ünitesidir[20]. Bu ünite özellikle veri transferi sırasında diğer ünitelere nazaran çok daha yüksek düzeyde enerji tüketmektedir. Ayrıca çoğu alıcı-verici ünitesinde veri transferi veya veri alış olmadığı durumlarda kullanılan bekleme modu da veri alış sırasındaki enerji tüketimine neredeyse eşit düzeyde enerji tüketebilmektedir. Bu yüzden kablosuz algılayıcı ağlarda iletişim ünitesinde bekleme modunun kullanılması yerine çalıştırılmayan ünitelerin enerjisinin tamamen kesilmesi önerilmektedir. Fakat böylesi bir enerji korumasının ağda sağlanan hizmet kalitesi üzerinde neden olabileceği etkiler göz önünde tutularak bu işlemin dikkatli bir şekilde yapılması gerekmektedir. Ayrıca düğümler arası uyku ve uyanma modları arasında doğru bir şekilde geçişler yapılabilmesi için düğümler arası zaman senkronizasyonun çok dikkatli bir şekilde yapılıyor olması gerekmektedir.

Kablosuz algılayıcı ağlarda ciddi enerji tüketimine neden olan bir diğer ünite ise algılama ünitesidir. Temelde bu ünite bir algılama birimi ile bir analog-sayısal dönüştürücüden oluşmaktadır. Söz konusu ünitedeki enerji kullanımı görece sabittir[20] ve enerji tüketiminde yapılabilecek bir optimizasyon ancak kullanılan devrelerin tasarımlarının iyileştirilmesi ile sağlanabilir. Diğer taraftan bir algılayıcı düğümde sıcaklık ve nem değişimleri gibi basit verilerin yanı sıra entegre bir çoklu ortam devresi ile ses ve görüntü gibi yoğun verilerin de algılanması mümkündür. Çoklu ortam algılayıcıları şeklinde isimlendirilen bu yeni yapı var olan algılayıcıların çoklu ortam desteği sağlayacak şekilde ses ve görüntü yetenekleri ile genişletilmesi ile elde edilmektedir. Kablosuz algılayıcı ağlarda çoklu ortam desteği Şekil 2.1 'de görülen temel bileşenlerde var olan zorlukların yanında özellikle koyu gölgeli

alanlarda fazladan birtakım ek maliyetlere ve zorluklara neden olmaktadır. Bu ek maliyetler ve nedenleri[7]:

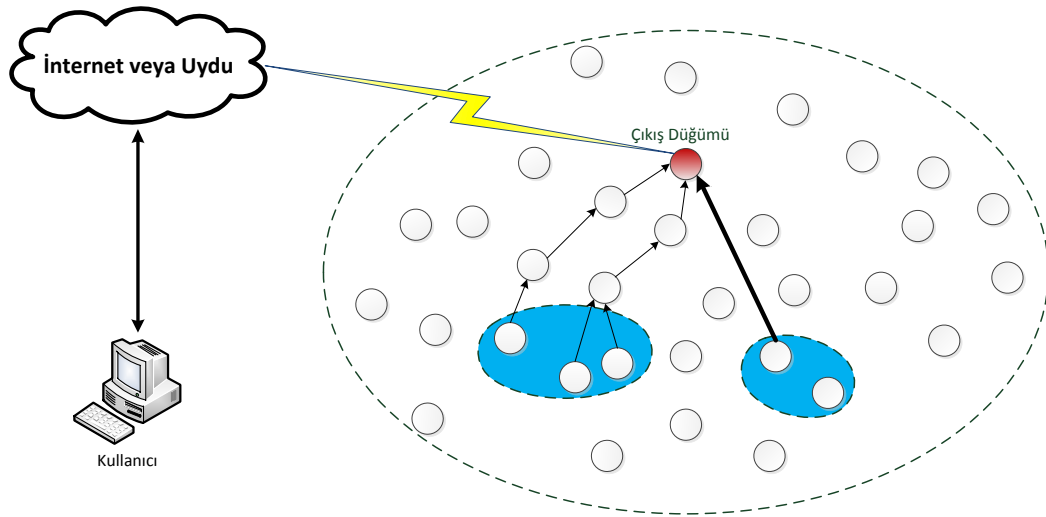
- Pahalı bir ses ve/veya bir video algılama devresinin gerekliliği;
- Algılanan çoklu ortam verisinin sıkıştırılması ve işlenmesi için yüksek seviyede güç tüketimi ve çoğu zaman bu iş için mikro denetleyiciler yerine daha pahalı sayısal sinyal işleyiciler kullanılması gerektiği;
- Daha büyük bir rastgele erişimli bellek veya sabit bir depolama biriminin gerekliliği;
- Aşırı çoklu ortam içeriğini iletmek için daha fazla bant genişliğinin gerekliliği;
- Aşırı hesaplama karmaşıklığına sahip çoklu ortam verisinin işlenmesi ve depolanması için daha büyük bir güç ünitesinin gerekliliği.

Bir kablosuz algılayıcı ağdaki çoğu zorluğun enerji kısıdından ileri geldiği düşünülürse çoklu ortam desteği için gerekli olan ek bileşenlerin söz konusu enerji kısıdı üzerindeki etkilerinin oldukça fazla olacağı rahatlıkla tahmin edilebilir. Çoklu ortam verisinin sahip olduğu karmaşıklık ve yoğunluğun kablosuz algılayıcı ağın karakteristik özelliği olan basit yapısı ile gerilimler yaşayacağı açıktır. Bu noktada çoklu ortam içeriğini işleyebilmek için gerekli olan işleme ünitesinin hem daha pahalı hem de daha fazla enerji tüketen karmaşık yapıdaki bileşenlerden oluşması, ayrıca veri yoğunluğu fazla olan çoklu ortam bilgisinin iletimi için daha fazla bant genişliğinin gerekmesi daha yetkin iletişim ünitelerine ihtiyaç duyulmasına neden olmaktadır. Bununla birlikte düğüm dolayısıyla sistem hala ciddi enerji kısıdı ile karşı karşıyadır. Diğer bir deyişle çoklu ortam algılayıcı düğümlerin başta batarya olmak üzere hafıza, işleme kapasitesi ve mümkün iletim oranı tarafından daha sert bir biçimde sınırlandırıldığı söylenilebilir[7].

3.2. Ağ/Sistem Seviyesindeki Zorluklar

Kablosuz algılayıcı ağlar farklı birçok uygulamada kullanılmaktadır. Bu uygulamaları askeri uygulamalar, çevresel izleme uygulamaları, lojistik destek

uygulamaları, insan-odaklı uygulamalar ve robotik uygulamalar olmak üzere beş farklı kategoride toplamak mümkündür[6]. Bu uygulamalarda ağ/sistem kurulumunu daha kolay hale getirmek amacıyla düğümlere sinyal kontrolü veya veri değiş tokuşu sağlamak için kablosuz bir ağ modülü entegre edilmiştir (Bkz. Şekil 2.1). Söz konusu uygulamaların tamamında algılanan veri baz istasyonuna veya diğer adıyla çıkış düğümüne Şekil 2.2 'de gösterildiği gibi doğrudan veya birkaç zıplamadan sonra iletilmektedir.

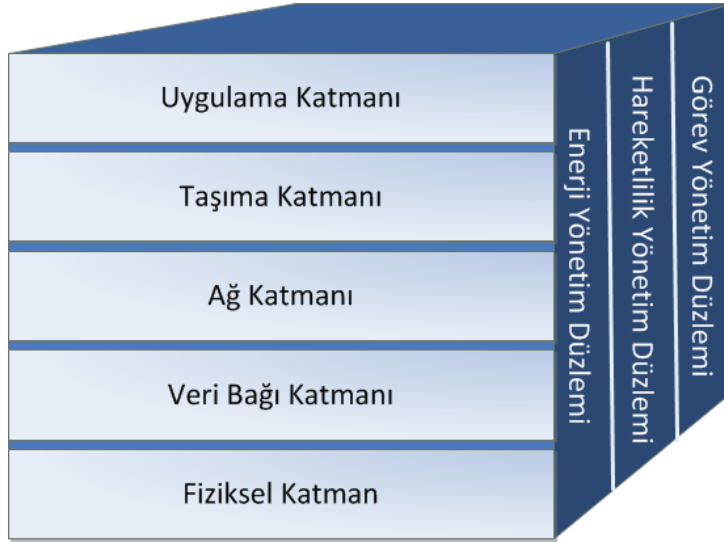


Şekil 3.3. Genel kablosuz algılayıcı ağ yapısı

Kablolu ağların tersine kablosuz ağlarda paketler iletim sırasında gürültüden daha kolay etkilenmekte ve dolayısıyla kablosuz ağlarda paket kayıpları daha kolay yaşanmaktadır. Paket kayıpları sınırlı bant genişliği ve kablosuz iletişimin karakteristik özelliği nedeniyle kaçınılmazdır. Kablosuz iletişim sırasında parazit ve çarpışma hatası kolayca oluşabilmekte ve sonuçta zarar görmüş veri miktarı ciddi oranda artmaktadır. Kablosuz ağlarda paket kayıplarının altında yatan nedenleri temelde üçe ayırmak mümkündür; bunlar kanal girişimi, kanalın zayıflaması ve paket çarpışmalarıdır[21]. Paketlerin yukarıda sayılan nedenlerden ötürü zarar görmesi veya düşürülmesi kablosuz algılayıcı ağlarda enerji tüketimini arttıran önemli faktörler arasındadır. Çünkü kaybedilen paketlerin geri bildirimi ve tekrar iletimi için

gerekli olan enerji sistemin toplam sahip olduğu enerji üzerinde düşürücü bir etkiye sahiptir.

Diğer taraftan kablosuz algılayıcı ağlar önceden tasarlanmış tanımlı bir altyapıya sahip olmadığı için yönlendirme esnasında ara düğümlerde ciddi paket kayıpları yaşanabilmektedir. Özellikle çoktan bire şeklinde farklı bir kaç transit trafiğin aynı düğüm üzerinde toplandığı durumlarda bu kayıplar daha da artmaktadır. Söz konusu kayıpların başlıca nedeni ise kablosuz iletişim ve algılayıcı düğüm hafızasının yetersizliğidir. Ayrıca kablosuz algılayıcı ağların değişken yapısı yönlendirme sırasında hatalar oluşmasına neden olmakta bunun sonucunda sondan sona bir paketin iletimi için gerekli olan ortalama enerji miktarı artmaktadır. Altyapısız ve hareketli bir ağda çok sıçramalı iletişim sırasında uçtan uca güvenilirliğin sağlanması ve ağdan beklenen hizmet kalitesinin karşılanması tüm ağ genelinde düğüm ve ağ kısıtlarını göz önünde bulunduran ortak bir tutumu gerekli kılmaktadır. Bu noktada kablosuz algılayıcı ağlarda bahsi geçen hizmet kalitesinin sağlanması, tıkanıklık kontrolünün yapılması ve tıkanıklığın haber verilmesi, gerektiğinde veri iletim oranının yeniden düzenlenmesi taşıma katmanının ve ilgili protokollerin sorumluluk sahasında kalmaktadır. Bununla birlikte kablosuz algılayıcı düğümlerin basit yapısı ve ciddi enerji kısıdı geleneksel ağlarda kabul görmüş ve iletişim katmanlarının birbirinden keskin biçimde ayrıldığı bir iletişim modelinin yürürlüğe konulmasına izin vermemektedir. Bunun yerine kablosuz algılayıcı ağlarda daha geçirgen ve ağ performansını arttırıcı katmanlar arası bilgi alışverişinin olduğu daha esnek bir modelin kullanımı önerilmektedir. Aşağıdaki Şekil 3.4 'de kablosuz algılayıcı ağlar için önerilen beş yatay ve üç dikey katmandan oluşan protokol yığını görülmektedir[4].



Şekil 3.4. Kablosuz algılayıcı ağlar için protokol yığını

Kablosuz algılayıcı ağlar için önerilen protokol yığını (Şekil 3.4) sırasıyla fiziksel katman, veri bağı katmanı, ağ katmanı, taşıma katmanı ve uygulama katmanı olmak üzere beş ayrı yatay katmandan oluşmaktadır. Bu katmanlardan uygulama katmanı çeşitli kablosuz algılayıcı ağ uygulamalarını desteklemek amacıyla çok sayıda uygulama katmanı protokolünün bir araya gelmesi ile oluşmuştur. Taşıma katmanı ise uygulama katmanı tarafından ihtiyaç duyulan güvenilir veri dağıtımından sorumludur. Ağ katmanının görevi ise taşıma katmanından gelen verilerin doğru bir şekilde hedefe yönlendirilmesidir. Veri bağı katmanı ise öncelikle veri akışının çoklanmasından, veri çerçevesinin iletiminden ve alımından, ortam erişiminden ve hata kontrolünden sorumludur. Son olarak fiziksel katman ise fiziksel haberleşme ortamı üzerinden sinyalin iletimi ve alımından, frekans üretiminden, sinyal modülasyonundan ve veri şifrelemesinden sorumludur[22].

Diğer taraftan söz konusu protokol yığını yönetim odaklı olarak dikey bir şekilde güç, hareketlilik ve görev yönetim yüzeylerine bölünmüştür. Güç yönetimi yüzeyi bir algılayıcı düğümün algılama, işleme, iletim ve alım süreçleri için farklı protokol katmanlarında etkin güç yönetimi mekanizmaları kullanarak güç seviyesinin yönetiminden sorumludur. Örneğin ortam erişimi katmanında bir algılayıcı düğüm alacak veya gönderecek veri bulunmadığı zamanlarda alıcı-vericisini kapatabilir veya

ağ katmanında bir algılayıcı düğüm çıkış düğümüne doğru bir sonraki sıçrama düğümü olarak en fazla enerjisi bulunan komşu düğümü seçiyor olabilir. Hareketlilik veya diğer adıyla bağlantı yönetimi yüzeyi düğüm konuşlandırılması, düğüm hareketleri, düğüm eklenmesi veya düğüm kaybı gibi topoloji değişiminden kaynaklanan bağlantı sorunlarının giderilmesi ve düğümler arası bağlantının devam ettirilmesi noktasında ağın yapılandırılmasından ve gerektiğinde yeniden yapılandırılmasından sorumludur. Görev yönetim düzlemi ise enerji verimliliğini arttırmak ve ağın yaşam süresini uzatmak amacıyla bir bölgedeki algılayıcı düğümler arasında görev dağıtımından sorumludur. Algılayıcı düğümler alana yoğun ve gereğinden fazla olacak şekilde yerleştirildiklerinden bir algılama bölgesindeki tüm düğümlerin aynı algılama görevini yapmasına gerek yoktur. Bu nedenle bir görev yönetim mekanizması kullanılarak ağda yer alan düğümler arasında görev paylaşımı yapılmaktadır.

Kablosuz algılayıcı ağlar genellikle bant genişliği gereksinimi düşük ve gecikme toleransı yüksek verilerin taşındığı bir ağdır. Bununla birlikte algılayıcıların çoklu ortam desteği sağlayacak biçimde evrilmesi neticesinde kablosuz algılayıcı ağların daha yoğun ve gecikme toleransı düşük verilerin de taşınmasını destekleyecek şekilde dönüşmesi gerekmiştir. Böylesi bir ağda tipik sayısal verinin yanı sıra farklı hizmet kalitelerine ihtiyaç duyan anlık veya akış şeklinde olan çoklu ortam verilerinin de desteklenmesi gerekmektedir. Bunlardan anlık çoklu ortam verisi herhangi bir olayın tetiklemesi sonucu kısa bir zaman diliminde gözlenen alandan alınan örneğin resim gibi bir veriyi temsil etmektedir. Buna karşılık akan çoklu ortam verisi ise daha uzun bir zaman diliminde alınan bir örneği temsil etmektedir ve kesintisiz bir dağıtım mekanizmasına ihtiyaç duymaktadır. Uygulamaya göre değişiklik gösterebilse de bu iki çoklu ortam verisinden öncekinin ağdan beklediği hizmet daha çok güvenilirlik üzerine kuruluyken sonrakinin ağdan beklediği hizmet gecikme ve iletim oranı üzerine kuruludur[8]. Sonuç olarak kablosuz algılayıcı ağ paradigmasında yer alan gereksinimlerin çoğunun tekrar gözden geçirilip çoklu ortam içeriğini destekleyecek şekilde önceden belirlenmiş bir hizmet kalitesini sağlayabilmek için yeniden düzenlenmesi gerekmektedir. Bir kablosuz algılayıcı ağda enerji tüketiminin en aza indirilmesi ve tüm ağa dağıtılması kablosuz algılayıcı ağ çalışmalarının ana etkeni ve

asıl amacı olduğu düşünülürse çoklu ortam için uygulama seviyesinde bir hizmet kalitesinin ağ seviyesinde gecikme ve iletim oranı gibi metrikler eşliğinde ele alınması gerekmektedir[7]. Bu noktada bir kablosuz çoklu ortam algılayıcı ağda paket dağıtımını açısından servis kalitesinin ağ seviyesinde üstesinden gelmesi gereken iki ana zorluk güvenilirlik ve zamanlılıktır[23]. Bu iki hizmet kalitesinin farklı uygulamalardaki istenen seviyesi biri diğerinden daha önde olabileceği gibi aynı anda her ikisi için de belli bir seviyenin yakalanması isteniyor da olabilir.

Kablosuz çoklu ortam algılayıcı ağları ayrıca iletim sırasında yüksek düzeyde bir bant genişliğine ihtiyaç duymaktadır. Çoklu ortam içeriğinin özellikle video akışının iletimi için gerek duyulan söz konusu bant genişliği standart bir kablosuz algılayıcı ağdakinin çok üstündedir. Örneğin geleneksel bir algılayıcı ağda sıcaklık kontrolü yapıldığını ve okunan sıcaklık değerinin 32 santigrat olduğunu varsayalım. Bu veriyi iletmek için iki byte ana yükü olan bir paket yeterliyken 64x64 piksel çözünürlükteki küçük bir siyah-beyaz resim için bu değer 4096 byte olmaktadır. Dolayısıyla enerji tüketimini düşük tutarken gerekli kalite kalemlerinin yanında yüksek seviyede iletim oranı sunan bir veri taşıma mekanizmasına ihtiyaç duyulmaktadır.

Kablosuz çok sıçramalı iletişimde özellikle çoklu ortam içeriği taşınmak istenen ağlarda göz önünde bulundurulması gereken bir diğer zorluk değişken kanal kapasitesidir. Her bir kablosuz linkin kapasitesi alıcı tarafında meydana gelen girişimin seviyesine bağlıdır. Diğer bir deyişle ağ içerisinde dağıtık bir şekilde ele alınan güç kontrolü, yönlendirme ve iletim oranı politikaları gibi bir takım etkenlerin toplam etkileri kanal kapasitesinin linkler arası değişim göstermesine neden olabilmektedir. Bu yüzden ilgili hizmet kalitesinin bu ve benzeri zorlukları da göz önünde bulundurulması ve zararlı etkilerini mümkün olduğunca azaltması gerekmektedir.

Sonuç olarak kablosuz algılayıcı ağlarda çoklu ortam verisinin aktarımı bant genişliği, gecikme, paket iletim oranı ve paket kayıp oranı gibi çok sıkı QoS(Quality of Service) parametrelerinin karşılanmasına bağlıdır. Söz konusu parametrelerin karşılanması için etkin bir yönlendirme ve taşıma mekanizmasına ihtiyaç vardır.

Kablosuz algılayıcı ağların enerji gereksinimleri ve sahip oldukları basit yapıları düşünüldüğünde trafiğin bölünerek ağ üzerinde farklı yollar üzerinde taşınması var olan kaynakların etkin kullanılması açısından önemli bir yaklaşımdır[25,26]. Çok yollu iletim geleneksel kablolu ağlarda zaten uzun zamandır kullanılan bir tekniktir[25]. Bununla birlikte söz konusu tekniğin kablosuz algılayıcı ağlarda uygulanması için öncelikle söz konusu ağın taşıma ve yönlendirme katmanına daha yakın bir bakış gerekmektedir. Ayrıca kablosuz algılayıcı ağlarda veri iletişiminin yanı sıra enerji yönetiminde de önemli bir rol oynayan veri bağı katmanı diğer adıyla MAC katmanının konu çoklu ortam verisi olduğunda özenle üzerinde durulması gerekmektedir. Bu nedenle aşağıda taşıma katmanı ve yönlendirme katmanı detaylı bir şekilde incelenecek olup ayrıca veri bağı katmanına da değinilecektir.

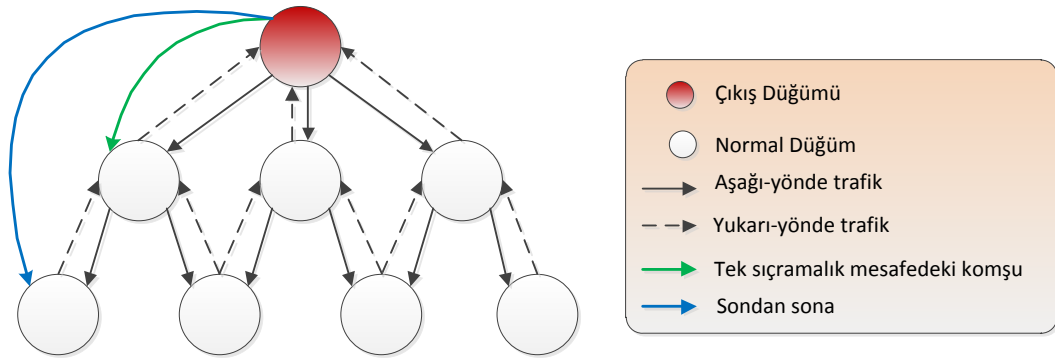
3.2.1. Taşıma katmanı

Taşıma katmanı algılayıcı düğümler ile çıkış düğümü arasındaki sondan sona veri iletiminin güvenilirliğinin sağlanmasından ve tıkanıklık denetiminden sorumludur. Kablolu ağlar için geliştirilmiş taşıma protokollerinin herhangi bir iyileştirme yapılmadan doğrudan kablosuz algılayıcı ağlara uygulanması algılayıcı düğümlerin enerji, hesaplama ve depolama kısıtlarından ötürü akıllıca bir davranış olmaz. Örneğin geleneksel bir taşıma katmanı protokolü olan TCP(Transmission Control Protocol) 'de kullanılan sondan sona tekrar iletim temelli hata kontrolü veya çerçeve temelli tıkanıklık kontrolü kablosuz algılayıcı ağların öncelik verdiği gereksinimleri karşılamamanın çok ötesindedir. Çünkü bu protokollerde algılayıcı ağlarda en önemli sorunlardan biri olan enerji sarfıyatı göz önünde bulundurulmamaktadır[27].

Diğer taraftan kablosuz algılayıcı ağların uygulamaya özel bir durumu söz konusudur [22]. Örneğin doğal ortam takibi, envanter kontrolü veya savaş alanı gözetleme vb. kablosuz algılayıcı ağ uygulamalarının her birinin farklı gereksinimleri bulunmaktadır. Konuya taşıma katmanı açısından bakılacak olursa söz konusu uygulamalarda gözetlenen fenomenlerin ihtiyaç duyduğu bir birinden farklı güvenilirlik seviyeleri vardır. Sonuç olarak her bir uygulamada o uygulamaya özgü

taşıma gereksinimlerinin karşılanması ilgili katman protokolünün şekillenmesinde büyük bir etkiye sahiptir.

Taşıma katmanını açısından algılayıcı ağlarda önemli olan bir diğer konu trafiğin yönüdür. Kablosuz algılayıcı ağlarda veri iletimi ya aşağı-yönde ya da yukarı-yönde şeklinde meydana gelir. Yukarı-yönde algılayıcı düğümler algıladıkları veriyi çıkış düğümüne doğru gönderirken aşağı-yön durumunda sorgu, komut veya program ikilileri şeklindeki verilerin kaynak durumundaki çıkış düğümünden algılayıcı düğümlere doğru iletilmesi söz konusudur. Bu noktada farklı yönlerde ilerleyen trafik akışının sahip olması istenen güvenilirliğin akış yönüne göre değişmesi istenebilir. Örneğin yukarı-akış yönünde olan trafikte algılanan ve iletilen verinin korele olmasından dolayı bazı kayıplar tolere edilebilirdir fakat aşağı-akış yönündeki trafik için güvenilirlik seviyesinin %100 olması beklenir. Aşağıda (Şekil 3.5) kablosuz algılayıcı ağlarda aşağı yönlü ve yukarı yönlü trafik akışlarını gösterir örnek bir şekil görülmektedir.



Şekil 3.5. Yukarı-akış ve aşağı-akış yönünde trafikler

Kablosuz algılayıcı ağlarda güvenilirliğin sağlanmasına yönelik iki farklı strateji bulunmaktadır. Bunlardan ilki veri bağı katmanında verinin bir sonraki düğüm tarafından başarıyla alındığından emin olmada kullanılmaktadır. Veri iletim katmanındaki bu güvenilirlik tek bir link için başarılı olmasına rağmen yönlendirme hatalarından kaynaklanan etkileri elimine etmekte başarısızdır. Diğer yaklaşım ise taşıma katmanında çoklu kopya iletimi ve sondan sona geri bildirim mekanizmalarını

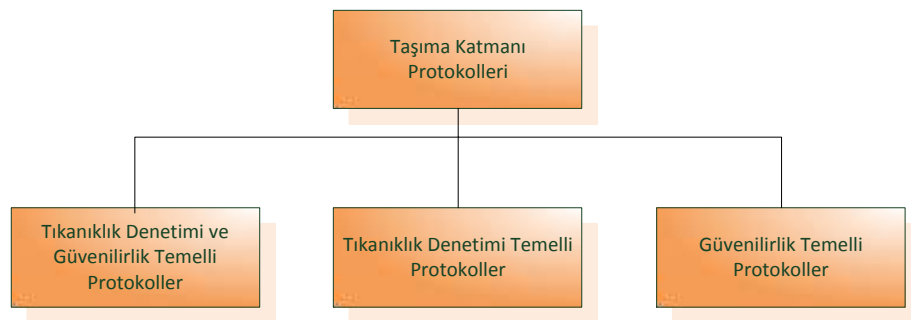
içermektedir. Hem veri iletim katmanında hem de taşıma katmanında geri bildirim mekanizması kullanılmakla birlikte söz konusu geri bildirimlerin işlevleri birbirinden farklıdır. Taşıma katman sistemlerinin kullandığı geri bildirim son noktalara verinin doğru bir şekilde ulaştığından emin olmak için kullanılırken veri iletim katmanında kullanılan geri bildirim sadece verinin bir sonraki sıçrama noktasına ulaştığından emin olmada kullanılmaktadır.

Sondan sona geri bildirim tüm hataların gönderici tarafında görünür kılınması ve kaybolan paketlerin tekrar iletimi açısından önemli avantajlara sahiptir. Bununla birlikte hatanın varlığı açık olsa da kaynağı bu kadar açık olamayabilmektedir. Çünkü geleneksel TCP ve benzeri taşıma katmanı protokollerinde paket kayıplarının nedeni için iletim oranının yol üzerinde bulunan yönlendiricilerin tampon seviyelerinin üzerine çıkması ve bunun sonucunda yönlendiricinin tıkanıklıktan dolayı paketleri düşürmek zorunda kaldığı varsayımında bulunmaktadır. Fakat bu varsayım kablosuz algılayıcı ağlar için eksik bir varsayımdır. Çünkü kablosuz bir algılayıcı ağda yaşanan paket kayıpları farklı nedenlerden ötürü olabilmektedir. Söz konusu durum haricinde kablosuz bir algılayıcı ağda girişim veya fiziksel etkilerden ötürü kablosuz kanalda kayıplar olması sonucu yaşanan veri kayıpları, ortam erişimi sırasında paket çarpışmalarının sonucunda ortaya çıkan veri kayıpları, düğümler ile ilgili hatalardan veya bozukluklardan kaynaklanan veri kayıpları, yönlendirme hatalarından kaynaklanan veri kayıpları durumlarından biri de veri kaybına neden olabilmektedir[28].

Aslında kablosuz algılayıcı ağlarda sondan sona güvenilirlik çoğu zaman gerekli bir durum da değildir. Çünkü algılayıcı düğümler alanda birbirlerine yakın yani yoğun bir şekilde konuşlandırıldığı için olay mahallinden transfer edilen verilerin birbiri ile korele olması muhtemeldir. Sonuç olarak kablosuz algılayıcı ağlar için sondan sona paket bazlı bir güvenilirlikten ziyade sondan sona olay güvenirliliği daha işlevsel olmaktadır[17]. Olay güvenirliliğinde tüm düğümlerden tüm paketlerin başarılı bir iletimine nazaran olay mahallinden önceden belirlenmiş bir sayıda paketin belirli bir zaman dâhilinde başarıyla çıkış düğümüne iletilmesi gerekir. Buna ek olarak çoklu ortam desteği için taşıma katmanının gecikme sınırı, veri iletimi sırasında

oluşabilecek jitter, minimum bant genişliği durumu, farklı paket öncelikleri ve oturma yönetimi gibi bir takım zorlukların da üstesinden gelmesi gerekmektedir.

Taşıma katmanı protokolleri için önemli ve çözülmesi gereken önemli bir diğer mesele veri iletimi sırasında oluşabilecek tıkanıklıkların tespit edilip giderilmesidir[27]. Bu noktada tıkanıklık denetimi yapan protokoller tıkanıklığı öncelikle tespit etmeye çalışmaktadırlar. Daha sonra tıkanıklığın haber verilmesi ve devamında iletim oranının yeniden düzenlenerek tıkanıklığın giderilmeye çalışması gelmektedir. Tıkanıklık tespiti yol üzerindeki algılayıcı düğümler tarafından veya çıkış düğümüne yapılabilir. Ağda veri iletimi sırasında bir tıkanıklığın tespit edilmesi halinde tıkanıklığı tespit eden düğüm(ler) bunu kaynağa doğru haber verir. Haber verme işlemi ayrı bir kontrol paketi şeklinde açıktan veya sıradaki gönderilecek paketlerin içinde gömülü bir şekilde gizliden yapılıyor olabilir. Tıkanıklık bildiriminin alınması üzerine kaynak iletim oranını düzenlemek suretiyle tıkanıklığın büyümesine veya olası diğer tıkanıklıklara engel olur. Bunun dışında kablosuz algılayıcı ağlarda tıkanıklık durumunda oluşan paket kayıplarının yeniden iletiminden kaynaklanan gecikme ve enerji sarfiyatının düşürülmesi için iletilen paketlerin ara düğümlerde geçici olarak saklanması gibi farklı çözümler de bulunmaktadır.



Şekil 3.6. Taşıma katmanı protokolleri

Sonuç olarak kablosuz algılayıcı ağlarda istenilen hizmet kalitesinin karşılanması noktasında önemli bir katman olan taşıma katmanı kendisinden beklenen uçtan uca güvenilirliği sağlamak adına üç farklı yaklaşım sergilemektedir (Şekil 3.6). Bunlar

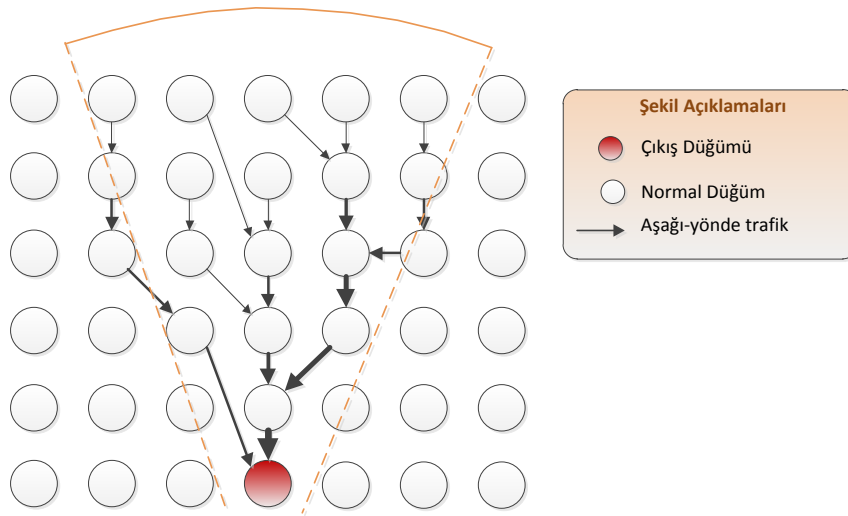
güvenilirlik temelli yaklaşım, tıkanıklık denetimi temelli yaklaşım ve bahsi geçen iki yaklaşımın bir tür birleşimi olan melez yaklaşımdır[13,22].

3.2.2. Ağ/Yönlendirme katmanı

Ağ katmanı kaynak düğümlerde algılanan verinin çıkış düğümüne doğru bir şekilde yönlendirilmesinden sorumludur. Bir kablosuz algılayıcı ağda algılayıcı düğümler ilgilenilen bir fenomeni gözleyebilmek amacıyla belirli bir bölgeye yerleştirilirler. Gözlenen fenomene ait verilerin ve üretilen bilgilerin çıkış düğümüne düzgün bir şekilde iletilmesi gereklidir. Genelde bir kaynak düğümü algıladığı veriyi çıkış düğümüne ya uzak mesafe kablosuz iletişimi kullanıp tek sıçrama yaparak doğrudan ya da kısa mesafe kablosuz iletişimi kullanıp çok sıçrama yaparak dolaylı bir biçimde iletir (Bkz. Şekil 3.3). Uzak mesafe kablosuz iletişim algılayıcı düğümler için hem maliyet hem implementasyon karmaşıklığı açısından pahalıdır. Buna karşılık çok sıçramalı kısa mesafe iletişim algılayıcı düğümlerde veri iletiminden kaynaklanan enerji sarfiyatını düşürmenin yanı sıra sinyal çoğalımını efektif bir şekilde düşürerek uzak mesafe iletişimde ortaya çıkması olası kanal zayıflamasından kaynaklanan bozulmaların da önüne geçmektedir. Kablosuz algılayıcı ağlarda algılayıcı düğümler bir birine çok yakın olacak şekilde alana yoğun yerleştirildiklerinden kısa mesafe çok sıçramalı iletişim mümkün olmaktadır. Bununla birlikte bahsi geçen iletişim şeklinde algılanan verinin çıkış düğümüne gönderilmesi için kaynak ve çıkış düğümü arasında enerji etkin çok sıçramalı bir yolun seçimini sağlayacak uygun bir yönlendirme protokolünün kaynak düğümü tarafından kullanılması gerekmektedir. Diğer taraftan geleneksel kablosuz ağlar için olan yönlendirme protokolleri enerji kısıdından kaynaklı sorunlara öncelik vermemelerinden ötürü algılayıcı ağlar için uygun değildir.

Kablosuz algılayıcı ağlarda algılamanın yapıldığı alandan çıkış düğümüne doğru meydana gelen trafik çoktan bire şablonuna uygun şekilde olmaktadır[29]. Çoklu sıçramaların kombinasyonu ve çoktan bire iletişim, transit trafiğin yoğunluğunun ara düğümlerde artmasına neden olmakta bu durumun sonucunda da paket tıkanıklarının, çarpışmalarının, kayıplarının veya gecikmelerinin oluşma olasılığı özellikle çıkış

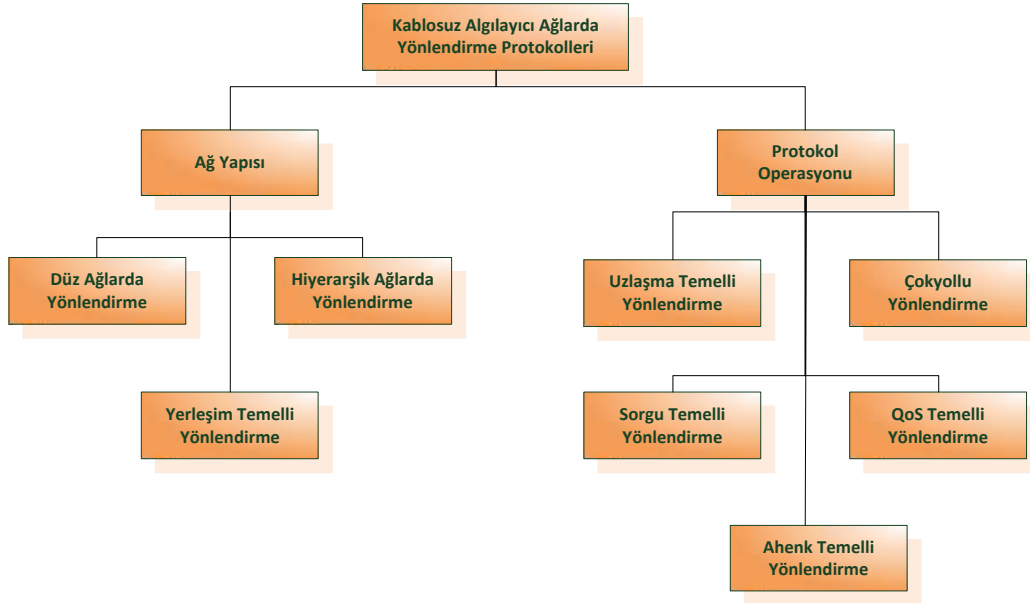
düğümüne yakın düğümlerde oldukça artmaktadır. Söz konusu durum çıkış düğümünün bir kaç sıçrama yakınında olan algılayıcı düğümlerde çok daha fazla sayıda paket kaybı yaşanmasına ve ilgili düğümlerin uzak düğümlere nazaran daha fazla enerji tüketmesine neden olmaktadır. Kablosuz algılayıcı ağlarda huni etkisi olarak bilinen bu durum aşağıdaki Şekil 3.7 'de görülmektedir. Huni etkisi neticesinde tüm ağın operasyonsal yaşam süresinde beklenmedik ciddi düşüşler olması olasıdır. Bu yüzden eşsiz trafik şablonu ile birlikte aşırı enerji hassasiyetinin kablosuz algılayıcı ağlar için geliştirilen bir yönlendirme protokolünde göz önünde tutulması çok önemlidir. Bu bağlamda uygulama senaryolarına bağlı farklı birçok algoritma önerilmiş olup bunların içerisinde bazıları taşıdığı bir takım özelliklerle öne çıkmaktadır[4].



Şekil 3.7. Yönlendirme sırasında yaşanan huni etkisi

Genel olarak kablosuz algılayıcı ağlarda yönlendirme ağ yapısına bağlı olarak düz, hiyerarşik ve yerleşim temelli olmak üzere üçe ayrılmaktadır[30]. Düz yönlendirmede tüm düğümler için eşit rol veya işlevler atanır. Buna karşın hiyerarşik yönlendirmede düğümler ağda farklı işlev veya roller üstlenmiş olabilir. Yerleşim temelli yönlendirmede verinin yönlendirilmesi sırasında düğümlerin ağ içerisindeki yerleşim bilgilerinin kullanılması asıl püf noktasıdır. Bir yönlendirme protokolünde belirli bazı sistem parametreleri mevcut ağ durumuna ve enerji seviyesine adapte

olmak için kontrol ediliyorsa uyum sağlayabilen bir protokol olarak lanse edilir. Protokol operasyonuna bağlı olarak mevcut yönlendirme protokolleri çok-yol temelli, sorgu temelli, uzlaşma temelli, QoS temelli veya ahenk temelli olmak üzere kullanılan yönlendirme tekniğine göre de sınıflandırılmaktadır. Çok-yollu yönlendirmede ağ performansını arttırmak için birden fazla farklı yol kullanılır. Bahsi geçen performans kalemleri hataya karşı dayanaklılık, dengelenmiş enerji tüketimi, yüksek güvenilirlik ve düşük enerji tüketimidir. Sorgu temelli yönlendirmede hedef düğüm ağı veri yani algılama görevi için bir sorgu yayınlar ve sonrasında bu veriye sahip olan düğüm sorgu ile eşleşen veriyi sorgulamayı yapan düğüme geri döndürür. Uzlaşma temelli yönlendirmede ise gereksiz ve fazladan olan verilerin iletilmesini engellemek için yüksek seviyeli tanımlayıcılar kullanılmaktadır. Bu sayede aynı verinin kopyalarının iletiminden doğacak sorunlar ve enerji tüketimi düşürülebilmektedir. QoS temelli yönlendirmede ise enerji tüketimi ile iletilen verinin kalitesi arasındaki denge kurulmaya çalışılmaktadır. Son olarak ahenk temelli yönlendirmede veri toparlayıcılara veri gönderilmeden önce küçük bir işlemeye tabi tutulurlar. Söz konusu işlem sonucunda görece uzun veri akışları oluşmaktadır. Bu yüzden söz konusu verilerin gönderilmesi sırasında enerji tasarrufu için yol optimizasyonu gerekebilmektedir[31]. Yukarıda verilenlere ek olarak yönlendirme protokolleri üç ayrı kategori üzerinden de bir sınıflandırılmaya tabi tutulmaktadır. Sırasıyla bunlar kaynağın hedefe varmak için nasıl bir rota seçtiğine bağlı olarak proaktif, reaktif ve melez protokoller adını almaktadır[32]. Proaktif protokollerde tüm yollar ihtiyaç duyulmadan önce hesaplanırken reaktif protokollerde sadece talep olması halinde rotalar hesaplanır. Melez protokoller ise söz konusu iki düşüncenin bir tür birleşimidir. Algılayıcı düğümler eğer sabit ise reaktif protokoller yerine tablo güdümlü yönlendirme protokolleri daha tercihe şayandır. Reaktif protokollerde enerji sarfiyatının önemli bir kısmı rota keşfi ve kurulumu sırasında meydana gelmektedir. Yönlendirme protokollerinin diğer bir sınıfı işbirliği yapan yönlendirme protokolleri olarak adlandırılmaktadır. İşbirliği yapan yönlendirmede düğümler verinin toparlanması ve ilave işlemlere tabi tutulması için veriyi bir merkezi düğüme gönderir. Bu şekilde yönlendirme maliyetinde bir düşüş diğer bir deyişle enerji sarfiyatında bir düşüş olası hale gelmiş olur. Diğer çoğu protokoller zamanlama ve yerleşim bilgileri üzerine kurulmuştur[30].



Şekil 3.8. Kablosuz algılayıcı ağlarda yönlendirme protokollerinin sınıflandırması

Kablosuz algılayıcı ağlarda gerçek zamanlı çoklu ortam desteği için gerekli olan servis kalitesinin sağlanması için ağ/yönlendirme katmanı iki ana nedenden ötürü çok önemlidir. Birincisi kararlı bir rota tayininin hem enerji etkin hem de sondan sona gerekli olan servis kalitesinin sağlanması için önemli olmasıdır. İkincisi ise ağ/yönlendirme katmanının MAC(Medium Access Control) katmanı ile uygulama katmanı arasındaki performans parametrelerinin el değiştirmesi için bir hizmet sağlayıcı gibi çalışmasıdır. Çok sıçramalı iletişimin kablosuz algılayıcı ağlar için enerji tasarrufu açısından elverişli bir yöntem olmasına karşın söz konusu yöntemde iletişimin ara düğümlerde kuyruklamadan veya diğer birtakım işlemlerden kaynaklı gecikmeler yaşama olasılığı yüksektir. Bu yüzden genel olarak enerji ile gecikme arasında bir değiş-tokuş vardır; diğer bir deyişle sıçrama sayıcı arttıkça enerjinin etkin kullanımı artmakta fakat iletilen veride yaşanan gecikme de buna paralel artmaktadır. Kablosuz ağların ağ/yönlendirme katmanında servis kalitesini sağlamak için var olan yaklaşımları vaktindeliğe odaklanan ve güvenilirliğe odaklananlar olmak üzere iki ayrı kategoride incelemek mümkündür[23].



Şekil 3.9. Ağ katmanındaki QoS yaklaşımları

Bu kategorilerden vaktindeliğe odaklanan yaklaşım iletilen paketlerin önceliğine bağlı olarak üç alt kategoride toplanabilir. Önceliği olmayan kategorisinde gerçek zamanlı paketler diğer kalite kısıdı olmayan paketlerden daha yüksek önceliğe sahiptir fakat gerçek zamanlı paketler arasında herhangi bir öncelik durumu söz konusu değildir. Sabit öncelikli kategoride belirli bir gerçek zamanlı akış için tüm paketler aynı önceliğe sahiptirler. Farklı öncelikli kategoride ise her paketin farklı önceliklere sahip olabildiği bir durum söz konusudur. Yine bu kategorilerden güvenilirliğe odaklanan yaklaşımda ise gönderilen paketlerin alıcı tarafında eksiksiz veya belirli bir güvenilirlik seviyesinin üstünde alındığından emin olunması asıl püf noktadır. Çok-yollu yönlendirme algılayıcı ağlarda söz konusu güvenilirlik hizmetinin sağlanabilmesi için alışlagelmiş bir yöntemdir. Bu yöntemde aynı verinin kopyaları ortak düğümleri olmayan farklı yollar üzerinden gönderilir ve böylece en azından bir tane kopyanın hedef düğüme zamanında ve hatasız ulaşabilme olasılığı arttırılmış olur[23]. Ayrıca çok-yollu yönlendirme düğümlerdeki enerji tüketiminin tüm ağ geneline yayılmasını sağlayarak olası düğüm kayıplarının ve ağdan kopmaların da önüne geçmektedir. Yine çok-yollu yönlendirme ile var olan bant genişliğinden daha fazla bant genişliği gerektiği durumlarda düğümler arası trafik bölünerek mevcut bant genişliğinin daha etkin kullanılması da mümkün olmaktadır[24].

3.2.3. Veri bağı(MAC) katmanı

Veri bağı katmanı veri akışının çoklanmasından, veri için çerçeve oluşturulmasından, ortam erişiminden ve noktadan noktaya güvenilirliği sağlayacak hata kontrolünden sorumludur[4]. Bunlar içerisinde en önemli işlev ise ortam erişim kontrolüdür. Ortam erişim kontrolünün ana teması ortaklaşa kullanılan iletişim kaynaklarının veya ortamının adil ve etkin kullanımını çok sayıdaki algılayıcı arasında sağlamaktır. Optimize olmayan bir ortam erişiminin tüm ağ performansı üzerindeki etkileri gereksiz enerji tüketimi, ağ başarımının düşmesi ve gecikme gibi kayıpların biri veya birkaçı şeklinde olabilir. İletim sırasında meydana gelen çarpışmaların giderilmesi veya azaltılması ile tekrar iletim için gerekli olan enerji sarfiyatının azaltılması ve sondan sona gecikmelerin düşürülmesi mümkün olmaktadır. Kablosuz algılayıcı ağlar ile ilgili var olan MAC protokolleri 4 ayrı başlıkta toplanmaktadır[33]. Bunlar zamanlama temelli, çarpışmasız, çekişme temelli ve melez şemadır. Kablosuz ağların erken çalışmalarının çoğunda tercih edilen zamanlama temelli bir ortam erişim şeması olan TDMA(Time Division Multiple Access) 'de düğümler haberleşmek için farklı zaman dilimlerini kullanmaktadır. Çarpışmasız şemada yer alan FDMA ise kanal kapasitesini düğümler arasında frekansı bölüştürerek etkin kullanmaya çalışan bir yöntemdir. Çekişme temelli bir ortam erişim şeması olan CSMA ise gönderici durumundaki düğüm tarafından herhangi bir veri gönderilmeden önce veri yolunda hali hazırda devam eden bir trafiğin olup olmadığının kontrol edildiği bir iletişim kuralıdır. TDMA sistemlerindeki zorluk düğüm senkronizasyonu ve değişen topolojiye adaptasyon ile ilgilidir. Bununla beraber CSMA(Carrier Sense Multiple Access) çarpışmasızlığı başarmak için fazladan bir çarpışma tespit mekanizmasının kullanımına ihtiyaç duymaktadır. Diğer bir yöntem FDMA(Frequency Division Multiple Access) ise farklı radyo kanalları ile dinamik bir şekilde haberleşebilmek için ek bir devreye ihtiyaç duymaktadır [34].

Veri iletim katmanının önemli diğer bir işlevi ise hata kontrolüdür. Kablosuz algılayıcı ağlarda verinin eksiksiz iletimi için gerekli olan hata kontrolü için önerilen iki önemli mekanizma vardır. Bunlar ARQ(Automatic Repeat Request) ve FEC(Forward Error Correction) 'dir[4]. ARQ yöntemi kaybolan veri paketleri veya

çerçevelerini tekrar ileterek eksiksiz bir veri iletimi sağlamaya çalışmaktadır. Bununla birlikte yeniden iletimin fazla enerji tüketme eğilimi ve ağda neden olduğu ekstra yük kablosuz algılayıcı ağlar için bu yöntemi uygun olmaktan çıkarmaktadır. FEC yönteminde ise iletim güvenilirliğini sağlamak için veri transferi sırasında hata kontrol kodlarının kullanılması önerilmektedir. Hata kontrol kodlarının kullanılması düğümlerde her ne kadar fazladan işlem karmaşıklığına neden olsa da herhangi bir iletim gücü için kanaldaki bit hata oranını(Bit Error Rate - BER) önemli ölçüde düşürmektedir. Enerji kısıdı açısından bakıldığında kablosuz algılayıcı ağlar için halen en etkin yöntemlerden biri olan FEC yöntemindeki en önemli bileşen hata kontrol kodudur. Doğru bir şekilde belirlenmiş bir hata kontrol kodu iletilen hatalı bit oranını düşürmeye yardımcı olmasının yanı sıra gerçek verinin etkin bir şekilde geri ele geçirilmesine de imkân tanımaktadır. Bununla birlikte kodlama ve çözme aşamalarının neden olduğu ekstra yük göz önünde tutularak seçilen hata kontrol kodu ile enerji tüketimi arasındaki değiş-tokuş kablosuz algılayıcı ağlar için uygun ve makul bir seviyede olmalıdır.

Olay güdümlü uygulamalardaki patlama şeklindeki trafik üretimi güvenilirlik ve gerçek zamanlılık açısından yeni zorlukların oluşmasına neden olmaktadır. Böylesi uygulamalarda çok sayıda paket çok kısa bir süre içerisinde üretilip ağa bırakılmaktadır. Bunun sonucunda paket çarpışmalarının oluşma olasılığı ciddi seviyede artmaktadır. Bu durum paketlerin çok sıçramalı dolaştırılıyor olması gerçeği tarafından daha da şiddetlendirilmektedir. Öncelikle çok sayıdaki paket ortam erişimi için yarışmakta ve bu durum ağ yönlendirmesi sırasındaki ortalama sıçrama sayısınca tekrarlanmaktadır. İkinci olarak paket çarpışmalarının oluşma olasılığı çok sıçramalı ağlarda gizli terminal problemi gibi nedenler dolayısıyla artmaktadır[35]. Gerçek zamanlı paket iletimi için paket kurtarımını sondan sona yapmak yerine her bir sıçramada yapmak özellikle %100 paket iletiminin gerekli olmadığı durumlar da daha tercih edilen bir yöntemdir. Yinede mevcut her bir sıçramada kontrol etme mekanizması patlamalı trafik için iyi çalışmamaktadır. Bununla ilgili 49 tane MICA2 düğümünden oluşan bir test yatağında gerçekleştirilen bir denemede genellikle kullanılan iletim katmanı hata kontrolü mekanizmasının paket iletim güvenilirliği seviyesinde ciddi bir artış sağlamadığı hatta söz konusu

seviyede düşüşe neden olabildiği belirtilmektedir[36]. Söz konusu denemede örneğin paketler her bir sıçramada iki kereye kadar yeniden iletildiğinde tüm paket iletim oranındaki artış sadece %6 seviyelerinde kalmaktadır. Yeniden iletim sayısının daha da arttırılması durumunda paket iletim oranı artacağına %11 seviyelerinde bir düşüş göstermiştir. Bu durumun altında yatan ana sebep her bir sıçramada kullanıma konan kontrol mekanizmasının paket yeniden iletimlerini düzgünce planlanmadan yapmaya çalışmasıdır. Bunun sonucunda yeniden iletilen paketler kanaldaki çarpışmaların sayısını arttırmakta ve daha fazla paketin kaybolmasına neden olmaktadır. Dahası söz konusu mekanizmada sıralı bir şekilde yapılan paket iletimi ve koruyucu yeniden iletim zamanlayıcısı paket iletimini oldukça geciktirmekte ve geriye işlenmek üzere daha fazla paket bırakılmasına ve ağ başarımının düşmesine yol açmaktadır.

4. TAŞIMA KATMANI ÇOKLU ORTAM İLETİŞİM PROTOKOLLERİ

Kablosuz algılayıcı ağlarda hedef düğümde verinin doğru bir şekilde alındığından emin olmak için kullanılan taşıma katmanı protokolleri farklı trafik yükleri altında tıkanıklıkları kontrol ederek olası paket kayıplarını azaltmak amacıyla veri iletim oranını ağ dahilinde sürekli gözetim altında tutar. Ayrıca taşıma katmanı farklı veri tipleri için ağdan beklenen hizmet kalitesinin enerji etkin bir şekilde sağlanmasından da sorumludur[27]. Bu amaçla farklı bir çok yaklaşım geliştirilmiş olup bunlardan bazıları kablosuz algılayıcı ağlar için kabul görmüş birer protokol olmayı başarmışlardır. Bunlardan SenTCP ve CODA(COngestion Detection and Avoidance) özellikle ağ trafiğini kontrol ederek olası tıkanıklıkları tespit edip gidermeye odaklanmış protokollerden ikisidir. RMST(Reliable Multi-Segment Transport) protokolü ise daha çok veri iletiminin uçtan uca doğru bir şekilde yapıldığından emin olmaya odaklanmış bir protokoldür. Bunun dışında hem uçtan uca güvenilirliği sağlamaya hem de tıkanıklıkları tespit edip gidermeye odaklanan protokoller de vardır. Bunlardan biri de ESRT (Event-to-Sink Reliable Transport) protokolüdür. Aşağıda bahsi geçen bu dört protokol ve geliştirmiş oldukları yaklaşımlar detaylı olarak anlatılmaktadır.

4.1. SenTCP

Li ve arkadaşları tarafında önerilen SenTCP protokolü veri iletiminde oldukça temel geri beslemesiz bir tıkanıklık kontrolü önermektedir[37]. Söz konusu kontrol her bir düğüm tarafından yapılmakta ve olası bir tıkanıklığın tespit edilmesi durumunda yol üzerinde geriye doğru bilgilendirme yapılarak kaynak düğüm ya da düğümlerin iletim oranlarını düşürmesi sağlanmaktadır. Bu sayede hem tıkanıklığın giderilmesi hem de dolaylı yoldan paket kayıplarının neden olacağı gereksiz enerji sarfiyatının önüne geçilmeye çalışılmaktadır. Kontrol altında tutulmaya çalışılan veri akışı sırasında herhangi bir düğümde tıkanıklık oluştuğu kararı iki önemli parametreye bakılarak verilmektedir. Bunlar söz konusu düğüme ortalama paket ulaşım süresi ile düğümün ilgili paketi ortalama servis süresidir. Düğüme ulaşan ortalama paket süresi ilgili düğümün servis edebildiği düzeyin üzerine çıkması durumunda o düğümde

tıkanıklık yaşanacağı öngörülmekte ve bu durum komşu düğümler aracılığıyla kaynağa haber verilmektedir.

4.2. CODA

CODA, Campbell ve arkadaşları tarafından 2003 yılında kablosuz algılayıcı ağlarda veri iletimi için önerilmiş bir protokoldür[38]. Yukarı yönlü trafik esnasında oluşabilecek tıkanıklıkların denetlenmesi ve giderilmesi için üç farklı plan öneren CODA öncelikle tıkanıklığı tespit etmeye çalışmakta, daha sonra bu tıkanıklığı düğümden düğüme geri beslemesiz bir şekilde haber vererek gidermeye çalışmaktadır. Söz konusu protokol ayrıca veri gönderen kaynağın birden fazla olduğu durumda kalıcı bir tıkanıklığı gidermek ve veri iletim oranını ağ genelinde yeniden düzenlemek için geri beslemeli bir mekanizma da kullanmaktadır.

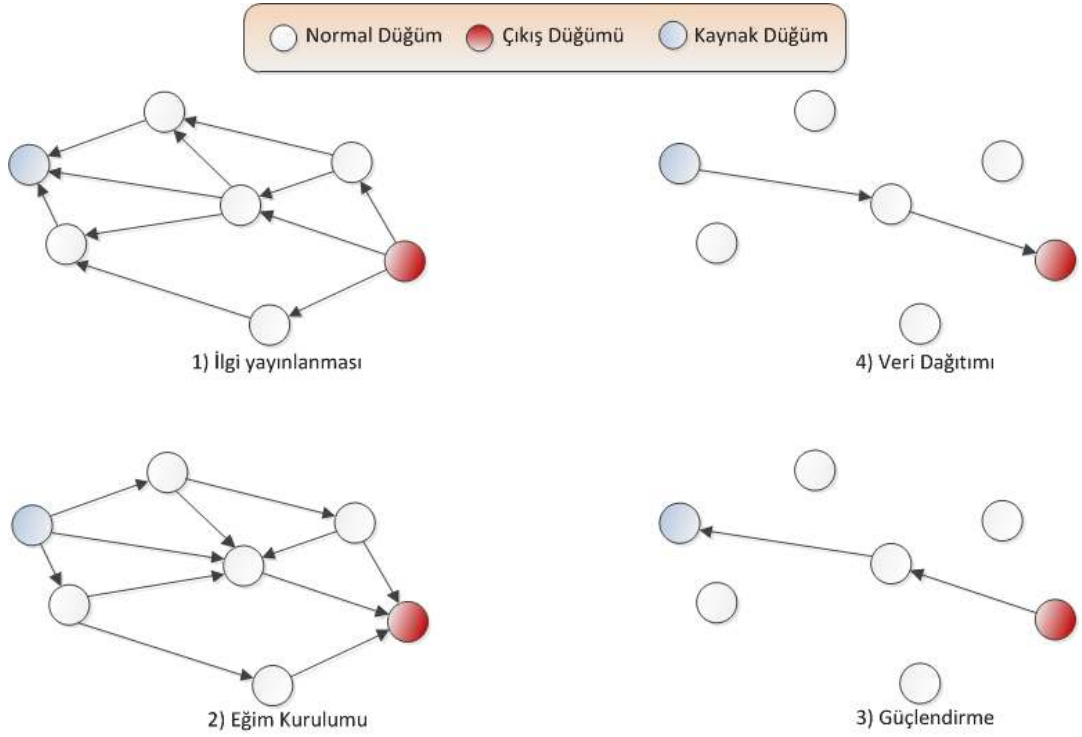
CODA, ağda yaşanan bir tıkanıklığın tespiti için kanaldaki mevcut yükü ve düğümlerdeki tamponlama düzeyini kontrol etmektedir. Kontrol sonucunda elde edilen değerler önceden belirlenmiş eşik değerin üzerinde ise tıkanıklık oluştuğuna karar verilmektedir. Herhangi bir düğüm bir tıkanıklık tespit ettiği anda tıkanıklığı kendisine veri gönderen komşularına geri beslemesiz bir şekilde haber verir. Tıkanıklık oluştuğuna dair yapılan bilgilendirmenin ulaştığı komşu düğümler veri iletim oranını düşürüp söz konusu bilgilendirmeyi kendi komşularına ileterek devam ettirirler. CODA birden fazla kaynak tarafından veri üretildiği daha büyük senaryolarda sondan sona iletim oranını düzenlemek ve ısrarcı tıkanıklıkları gidermek için ayrıca bir de geri beslemeli bir mekanizma kullanmaktadır. Bu mekanizmada herhangi bir kaynak düğüm belirlenen eşik değerin üzerinde ağa paket bırakması durumunda giden paketlerin başlığında bulunan bir biti set ederek bu durumla ilgili çıkış düğümünü haberdar eder. Bu şekilde çıkış düğümü tarafından yönetilen geri beslemeli kontrole dahil olan kaynak düğüm çıkış düğümü tarafından gönderilen periyodik ACK(Acknowledgment) paketlerini almaya başlar. Çıkış düğümü tarafından gönderilen periyodik ACK paketlerinin kaynağa ulaşmaması halinde kaynak düğüm tüm ağ genelinde bir tıkanıklığın var olduğunu çıkarımını yapar. Söz konusu çıkarım sonucunda kaynak düğüm veri iletim oranını düşürerek

tıkanıklığın hafiflemesine veya giderilmesine çalışır. Böylece ağ genelinde çıkış düğümü tarafından yönetilen geri beslemeli kontrole abone olan tüm kaynak düğümlerin veri iletim oranı belirlenen sınırlar içerisinde kalmaya zorlanır.

4.3. RMST

Güvenilirlik temelli bir iletişim protokolü olan RMST 2003 yılında Heidemann ve Stann tarafından önerilmiş güvenilirlik temelli bir taşıma katmanı protokolüdür[39]. RMST veri iletimi sırasında sıçrama yaptığı her bir düğümde paket bazlı güvenilirliği sağlamak amacıyla gerektiğinde ağ katmanında yer alan yönlendirme protokolü ve veri bağı katmanında kullanılan MAC protokolü ile birlikte çalışmaktadır. Bir çeşit çapraz katman protokolü olan RMST 'nin bu yaklaşımı aslında kablosuz algılayıcı ağlarda geleceğin enerji etkin protokolleri için oldukça ümit veren ve katmanlar arası bilgi alışverişini öngören bir yapı sunmaktadır[13].

RMST, DD(Directed Diffusion[40]) yönlendirme protokolü ile birlikte çalışacak şekilde tasarlanmışlardır. Bu yüzden RMST 'ye geçmeden önce kablosuz algılayıcı ağlarda önemli bir yönlendirme protokolü olan DD 'ye daha yakın bir bakış gerekmektedir. Bu bağlamda DD protokolünün dört aşamalı veri merkezli bir yönlendirme protokolü olduğu söylenebilir. Bu aşamalar sırasıyla ilgi yayınlanması, eğitim kurulumu, güçlendirme ve veri dağıtımıdır. Bu aşamaları gösteren örnek bir şema Şekil 4.1 'de görülmektedir.



Şekil 4.1. DD protokolüncü gerçekleştirilen operasyonlar

Şekilde 4.1 'de de görüldüğü üzere tüm süreç çıkış düğümü tarafından ağa bir sorgu diğer bir deyişle ilgi yayınlamasıyla başlamaktadır. Yayınlanan ilgiyi ele geçiren ağdaki düğümler söz konusu ilgi ile eşleşen verileri arada kalan düğümleri kullanarak çıkış düğümüne bildirir. Daha sonra bildirimin yapıldığı yollardan birinin diğerlerinden ayırıştırılarak güçlendirilmesi aşaması gelmektedir. Bu aşamada çıkış düğümü koşturduğu uygulamaya bağlı olarak kaynak düğümü ile arasındaki var olan yollardan en uygununu seçer ve bu durumu ilgili düğümlere haber verir. Son olarak güçlendirilen yol üzerinden kaynak düğümü çıkış düğümüne veri göndermeye başlar.

RMST protokolü aslında DD protokolü üzerinde bir filtre gibi çalışmaktadır. RMST protokolünde kaynak düğüm gönderilecek olan veriyi önce parçalara ayırmakta daha sonra bu parçalar çıkış düğümüne ulaştıklarında tekrar toparlanmaktadır. Ara düğümlerde RMST filtresi belirlenen iki farklı mod üzerinden bahsi geçen parçaların önbellekleme işlemine tabi tutulup tutulmayacağı kararını verir. Önbellekleme modunun aktive edilmesi durumunda ara düğümler gerektiğinde yerel yeniden

iletimlerle ağ yükünün düşmesine yardımcı olmaya çalışmaktadır. Ayrıca önbellekleme durumunda ara düğümler gerçek birer alıcı gibi alınan parçaları toparlayıp eksik olan parçalar için istekte bulunabilmektedir. Diğer taraftan önbellekleme modunun aktive edilmemesi durumunda ara düğümler taşıyan parçaları önbelleğinde tutmaya çalışmaz. Bu durumda sadece kaynak düğüm ve çıkış düğümü parçaların toparlanması ve eksik parçaların yeniden iletilmesi için istek yapılması ve cevaplanması işlemleri yapabilir.

4.4. ESRT

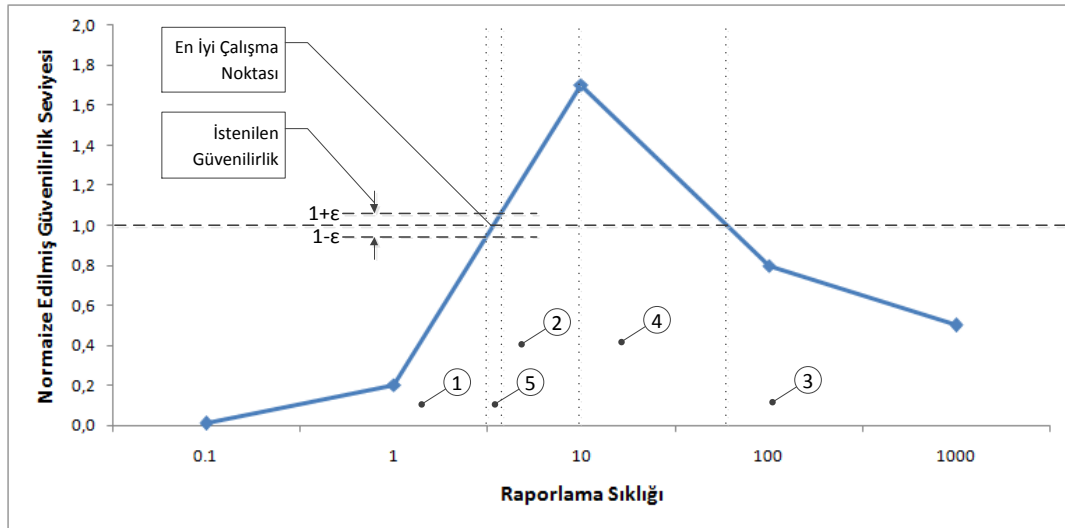
2003 yılında önerilen ESRT protokolünde Akyıldız ve arkadaşları kablosuz algılayıcı ağlarda olay güvenilirliğine dayanan bir protokol önermişlerdir[17]. Olay güvenilirliği yaklaşımının asıl çıkış noktası ağda meydana gelen bir olayın çıkış düğümüne birden fazla kaynak düğümünce rapor edilmesidir. Bu şekilde herhangi bir olay anında aynı olay mahallinden farklı kaynak düğümleri tarafından aynı olaya ait paketlerin ağa bırakılması hem ağda gereksiz yük oluşmasına neden olmakta hem de gönderilen paketlerin korele olmasından ötürü paket bazlı bir güvenilirliği gereksiz kılmaktadır. Bunun yerine algılanan olayın çıkış düğümünde düzgün bir şekilde tekrar ele geçirilmesini sağlayacak miktarda paketin iletimi daha etkin bir yöntem olarak öne çıkmaktadır. ESRT bu iki farklı durumu gözlenen olay güvenilirliği ve istenilen olay güvenilirliği şeklinde kavramlaştırmıştır. Gözlenen olay güvenilirliği ile kastedilen çıkış düğümünde aynı olaya ait ulaşan paket miktarıdır. Buna karşılık istenilen olay güvenilirliği ise belirli bir olayın çıkış düğümünde tekrar ele geçirilmesine müsaade eden en az paket miktarıdır. Bu miktar kullanıma konan uygulama tarafından belirlenmektedir.

ESRT protokolü daha çok çıkış düğümü tarafından yönetilen süreçler üzerine oturmaktadır. Çünkü çoktan bire trafik şablonuna göre olay güvenilirliğinin ne oranda sağlandığı bilgisi sadece çıkış düğümünce elde edilebilir bir bilgidir. Çıkış düğümü elde ettiği olay güvenilirliği bilgisinin yanı sıra ağda tıkanıklık olup olmadığı bilgisini de kullanarak kaynak düğümlerin sondan sona iletim oranının düzenlenmesi işlemini de yerine getirmektedir. Güvenilirlik ve tıkanıklık açısından

çıkış düğümünde ayırt edilmesi gereken beş farklı durum senaryosu bulunmaktadır. Bunlar; tıkanıklığın olup olmamasına göre iki farklı durum, istenilen olay güvenilirliğinin sağlanıp sağlanmadığına göre iki durum ve tüm değerlerin istenen şekilde olduğu fazladan bir durum şeklindedir. Aşağıda söz konusu durumlar daha detaylı olarak anlatılmaktadır. Ayrıca tüm durumların görsel bir betimi için Şekil 4.2 'ye bakılabilir.

1. *Durum:* Ağda tıkanıklık yok ve gözlenen olay güvenilirliği istenen düzeyin altında. Bu durumda olay mahallinde bulunan kaynak düğümler çıkış düğümüne ele geçirilen mevcut güvenilirlik seviyesini yükseltmek amacıyla iletim oranını arttırmaları.
2. *Durum:* Ağda tıkanıklık yok ve gözlenen olay güvenilirliği istenen düzeyin üzerinde. Bu durumda ağda tıkanıklık yoktur fakat gözlenen güvenilirlik düzeyi istenenden fazladır. Bu yüzden çıkış düğümü kaynaklara dikkatli bir şekilde iletim oranlarını düşürmelerini söyler.
3. *Durum:* Ağda tıkanıklık var ve gözlenen olay güvenilirliği istenen düzeyin üzerinde. Bu durumda ağda tıkanıklık yaşanmakta bununla birlikte çıkış düğümünde olaya ait gözlenen güvenilirlik seviyesi istenen seviyenin üzerindedir. Dolayısıyla tıkanıklık çözülene dek veya olaya ait gözlenen güvenilirlik seviyesi istenen düzeyin altına düşene kadar çıkış düğümü olay mahallindeki kaynak düğümlere iletim oranını aşama aşama düşürmelerini söyler.
4. *Durum:* Ağda tıkanıklık var ve gözlenen olay güvenilirliği istenen düzeyin altında. Bu durum mevcut senaryolar arasında en kötü olanıdır. Bu durumda hem ağda tıkanıklık yaşanmakta hem de gözlenen güvenilirlik seviyesi istenen düzeyin altında kalmaktadır. Ağda söz konusu tıkanıklığın giderilmesi ve dolaylı yoldan çıkış düğümünde elde edilen olay güvenilirliğinin yükseltilmesi amacıyla mevcut iletim oranı düşürülmektedir.
5. *Durum:* Ağda gözlenen tüm değerler en iyi çalışma bölgesi içerisinde. Bu durum uygulama tarafından belirlenen güvenilirlik seviyesinin yakalanması ve ağda herhangi bir tıkanıklık olmaması halinde gerçekleşmektedir. Aslında ESRT kullanıma koyduğu yöntemle kablosuz algılayıcı ağı sürekli bu durum içerisinde tutmaya çalışmaktadır.

ESRT protokolünce çıkış düğümünün ağda yer alan tüm düğümlere doğrudan veri iletimi yapabildiği geniş bir radyo menziline sahip olduğu varsayımı yapılmaktadır. Ağ içinde en iyi çalışma bölgesine ulaşıldığı anda çıkış düğümü tüm düğümlere mevcut iletim oranlarını değiştirmeden korumalarına salık veren bir paket yayınlar. Çıkış düğümü dışındaki diğer düğümler kaynaklarının kısıtlı olması dolayısıyla sadece çıkış düğümünce iletim oranının düzenlenmesi amacıyla yayınlanan paketleri dinlemek ve tespit ettikleri yerel tıkanıklıkları haber vermek dışında protokolde önemli bir yer işgal etmemektedir. Protokol kaynak açısından daha zengin olan çıkış düğümü üzerine oturtulmuştur.



Şekil 4.2. RMST protokolünde bulunan operasyon durumları

4.5. Çoklu Ortam Açısından Taşıma Katman Protokollerinin Karşılaştırılması

Kablosuz algılayıcı ağlar daha çok çevre ile etkileşim halinde olduklarından insan yönetimli geleneksel ağlara nazaran daha farklı karakteristik özelliklere sahiptir. Bu nedenle bir kablosuz algılayıcı ağın veri ağlarında karşılaşılan sorunların yanında kendine has bir takım sorunların da üstesinden gelmesi gerekir. Bu noktada herhangi bir kablosuz algılayıcı ağdan beklenen hizmetin belirlenen kalite sınırları içerisinde karşılanabilmesi için göz önünde bulundurulması gereken birtakım konular

bulunmaktadır. Söz konusu konuların dokuz ayrı başlık altında toplandığı bir çalışmaya göre[16] ağda sağlanan hizmet kalitesi;

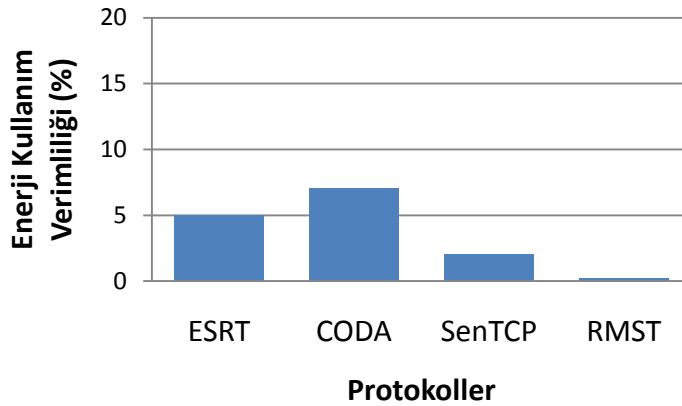
- Düğümlerde özellikle enerji kısıdından ileri gelen ve basitliği zorunlu kılan ciddi kaynak kısıdını;
- Genelde algılama işleminin yapıldığı geniş bir alandan çıkış düğümünün bulunduğu daha küçük bir alana doğru ilerleyen dengelenmemiş trafiği ve bu durumun etkilerini;
- Algılama yapılan bölgedeki çok fazla düğüm tarafından aynı olayın rapor edilmesi sonucu oluşan ihtiyaç fazlası veri ve bu verinin iletiminin getirdiği gereksiz enerji tüketimini ve ağ yükünü;
- Çevresel faktörlerden dolayı düğüm yerleşiminin değişmesi, düğümlerdeki enerjinin tükenmesi sonucu kaybedilmesi veya enerjinin azalması sonucu kanal zayıflaması gibi nedenlerin tetiklediği değişken ağ yapısını;
- Tüm ağın toplam enerjisinin en üst seviyede tutulmasını ve düğümler arası bağlantı halinin kaybedilmemesi için düğümlerin enerji tüketimini ve dağılımını;
- Ağda konuşlandırılan düğüm sayısının veya bir bölgedeki düğüm yoğunluğunun artması sonucu oluşabilecek ölçekleme sorununu;
- Birden fazla çıkış düğümü durumunda aynı ağda farklı çıkış düğümlerince ağdan beklenen farklı düzeylerdeki gereksinimleri;
- Ağ dahilinde farklı algılayıcılar tarafından ağa bırakılan olası farklı trafik türlerini ve bunların gereksinimlerini;
- Ve ağda dolaşan paketler içerisinde kritik olanları ve kritiklik düzeyini;

göz önünde bulundurması gerekmektedir. Diğer taraftan kablosuz algılayıcı ağlarda düğümde kullanılan algılama birimine göre algılanan veri çoklu ortam gibi çok daha sıkı servis kalitesi gereksinimlerine ihtiyaç duyan bir veri olabilmektedir. Böylesi bir durumda ağın ya da sistemin tümünün aynı anda kontrol altında tutması ve düzenlemesi gereken parametre sayısı ciddi oranda artmaktadır. Taşınan veriye bağlı olmaksızın iyi tasarlanmış bir taşıma katman protokolü mutlaka uçtan uca güvenilirliği istenilen düzeyde sağlamalı, olası tıkanıklıkları denetlemeli ve veri akışını kontrol eden bir mekanizmaya sahip olmalıdır. Ayrıca protokolün bahsi geçen

hizmetlerin yanı sıra ağda sunulan hizmetin kalitesinden ve bunun sürekliliğinden mümkün mertebe devam eden denetimlerle emin olması gerekmektedir[41].

Akan tarafından 2007 yılında yapılan bir araştırmada kablosuz algılayıcı ağlar için önerilen ESRT, RMST, SenTCP ve CODA taşıma katman protokollerinin çoklu ortam verisi iletimindeki başarımı karşılaştırmalı olarak incelenmiştir[42]. Söz konusu incelemede protokoller iki ayrı teste tabi tutulmuşlardır. Bu testlerden ilki çoklu ortam trafiğine benzer bir aşırı yük durumunda protokollerin gösterdiği performansı mercek altına almaktadır. İkinci testte ise gerçek zamanlı sıkıştırılmış bir görüntü akışının iletiminde söz konusu protokollerin başarımı analiz edilmektedir. Araştırmada, yapılan testler sonucunda bahsi geçen taşıma katman protokollerinin çoklu ortam trafiği için zayıf kaldıkları belirtilmektedir. Bununla birlikte bahsi geçen protokollerin başarımlarını geleceğin ümit verici protokollerinde gerekli iyileştirmelerin yapılabilmesi açısından önemlidir.

Öncelikle yük durumu genelde düşük olan kablosuz algılayıcı ağların aşırı yük altında nasıl bir davranış sergilediği ve taşıma katmanının söz konusu yükü nasıl yönettiği kapsamlı bir incelemeye tabi tutulmalıdır. Bu noktada inceleme yazısında aşırı yük altında söz konusu protokollerden en yüksek veri iletim oranını CODA protokolünün gösterdiği görülmektedir. Buna karşılık en düşük iletim oranı SenTCP'ye aittir. ESRT protokolü ise CODA protokolünün hemen altında ona yakın bir grafik sergilemektedir. Bununla birlikte söz konusu bu üç protokol için aşırı yük altında alınan paket miktarı düşürülen paket miktarının oldukça altında kalmaktadır. Özellikle SenTCP önermiş olduğu basit yaklaşım nedeniyle hem paket iletim oranında hem de paket kaybetme oranında en kötü sonuçları vermiştir. Paket kayıp oranındaki bu fazlalık özellikle güvenilirlik temelli protokollerde kayıp paketlerin tekrar iletmeye çalışılması nedeniyle enerji israfına ve düğümdeki enerjinin hızla tükenmesine yol açmıştır. Aşağıda Şekil 4.3 'de karşılaştırılan protokollerin enerji kullanım verimliliğine ait bir grafik görülmektedir.



Sekil 4.3. Protokollerin enerji tüketimleri

Araştırmadaki ikinci testin konusu olan gerçek zamanlı sıkıştırılmış akış şeklindeki görüntü iletiminin bahsi geçen protokoller üzerindeki etkisi incelenirken daha farklı bir açıdan yaklaşılmıştır. Söz konusu bu testte akış şeklindeki büyük bir veri kümesi bölünerek küçük parçalar halinde çıkış düğümüne iletmeye çalışılmaktadır. İletim sırasında protokolün enerji ve bant genişliği kullanım verimliliği, çerçeve iletiminde gösterdiği başarı ve yaşadığı gecikme ile jitter mercek altına alınmıştır.

Kablosuz algılayıcı ağlar ciddi kaynak kısıtları ile başa çıkmak zorundadır. Bunlardan özellikle enerji kısıdı enerji verimliliğini diğerlerinden daha öne çıkarmaktadır. Ayrıca çoklu ortam verisi gibi yoğun verilerin ihtiyaç duyduğu yüksek bant genişliği etkin kullanılması gereken bir diğer kısıtlı kaynaktır. İnceleme yazısında da görüldüğü üzere karşılaştırılan protokollerden SenTCP ve RMST başlangıçta ulaştıkları kaynak iletim oranını korumayı başarmışlardır. Buna karşılık ESRT ve CODA protokolleri başlangıç iletim oranını ağda meydana gelen tıkanıklığı hafifletmek amacıyla düşürmüşlerdir. Bununla birlikte karşılaştırılan tüm protokoller için sergilenen veri iletim oranı çoklu ortam verisinin ihtiyaç duyduğu düzeyin oldukça altında kalmaktadır. Kullanıma konan protokollere enerji tüketimi açısından baktığımızda ESRT ve özellikle CODA protokolünün iletim oranlarını düşürerek gereksiz enerji sarfiyatının önüne geçtikleri görülmektedir. Buna karşılık SenTCP ve RMST enerji verimliliği noktasında kötü bir senaryo çizmektedir. Özellikle güvenilirlik temelli RMST protokolü hem yüksek iletim oranını

düzenlememesinden hem de uçtan uca güvenilirliği sağlamaya çalışmasında ötürü enerji verimliliği en düşük olan protokol olmuştur (Bkz. Şekil 4.3).

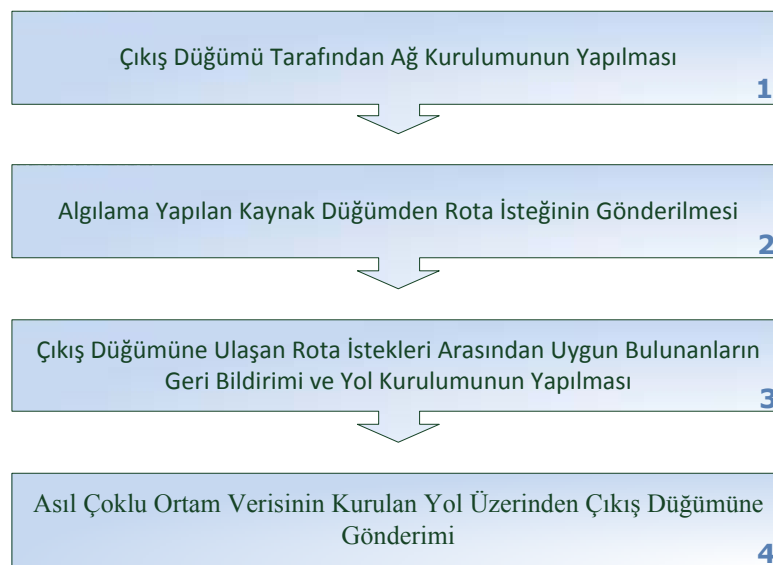
Karşılaştırma sırasında gözlemlenen bir diğer konu protokollerin çerçeve iletiminde gösterdiği başarı düzeyidir. RMST protokolünün ilk çerçeve için gösterdiği başarıyı saymazsak eğer tüm protokollerin çerçeve iletiminde gösterdiği başarı oldukça düşük seviyededir. Bununla birlikte tüm protokollerin iletimin başlangıcında gösterdiği başarımın ilerleyen zamanlarda gösterdiği başarımından görece daha yüksek olduğu gözlenmektedir. Bu durum ağa bırakılan çok sayıda paketin zamanla ağda tıkanıklık oluşturmamasından ve bu tıkanıklıkların ciddileşmesinden kaynaklanmaktadır. RMST protokolünün ilk çerçevenin iletiminde gösterdiği başarı konu gecikme olduğunda 170 saniye gibi kabul edilebilir bir seviyenin oldukça üzerine çıkmaktadır. Diğer protokoller için çerçevelerin iletiminde yaşanan gecikme ise ortalama 1 saniyenin üzerinde kalmıştır. Ayrıca protokollerin tamamında gözlenen jitter yalnızca başlangıçtaki çerçeveler için kabul edilebilir düzeydedir; sonraki çerçevelerde kümülatif jitter zamanla doğrusal bir şekilde artmıştır. Dolayısıyla çoklu ortam verisi için karşılaştırılan protokollerin ulaşılan söz konusu değerleri kabul edilebilir olmaktan oldukça uzaktır.

5. GELİŞTİRİLEN PROTOKOL

Kablosuz algılayıcı ağlarda çoklu ortam verisinin taşınabilmesi için var olan kaynakların mümkün olduğunca etkin kullanılması gerekmektedir. Özellikle iletişim sırasında gerekli olan gecikme sınırı ve gerekli iletim oranını yakalayabilmek için üretilen trafik dikkatli bir şekilde hedefe yönlendirilmelidir. Bu bölümde çoklu ortam verisinin kablosuz algılayıcı ağlar üzerinde iletimi için geliştirilen protokol etraflıca anlatılacak olup karşılaşılan sorunlardan ve onların çözüm yollarından bahsedilecektir.

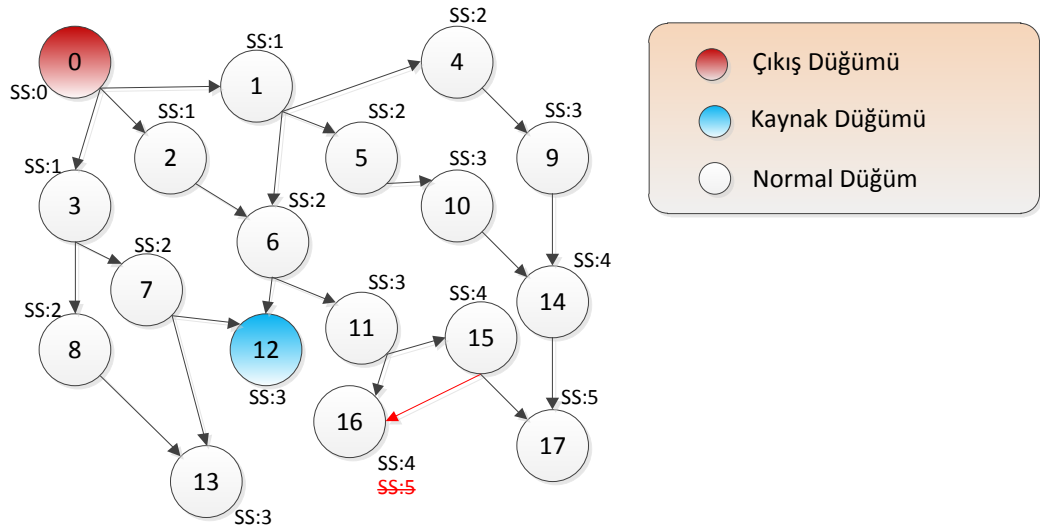
5.1. Önerilen Yeni Yaklaşım

Çoklu ortam verisinin kalite kısıtlarının karşılanması amacıyla kablosuz algılayıcı ağlar için tasarlanan taşıma katmanı protokolünde veri iletimi için dört aşamalı bir yaklaşım geliştirilmiştir. Yönlendirme katmanı ile taşıma katmanının birlikte ele alındığı bu yaklaşımda veri iletimi ve öncesinde gerçekleşen bu aşamalar sırasıyla ağ kurulumu, rota isteği, yol kurulumu ve bildirimi ve son olarak asıl veri iletimidir. Aşağıda bahsi geçen aşamalar örnek bir şema ile resmedilmiştir (Şekil 5.1).



Şekil 5.1. Geliştirilen yaklaşımın aşamaları

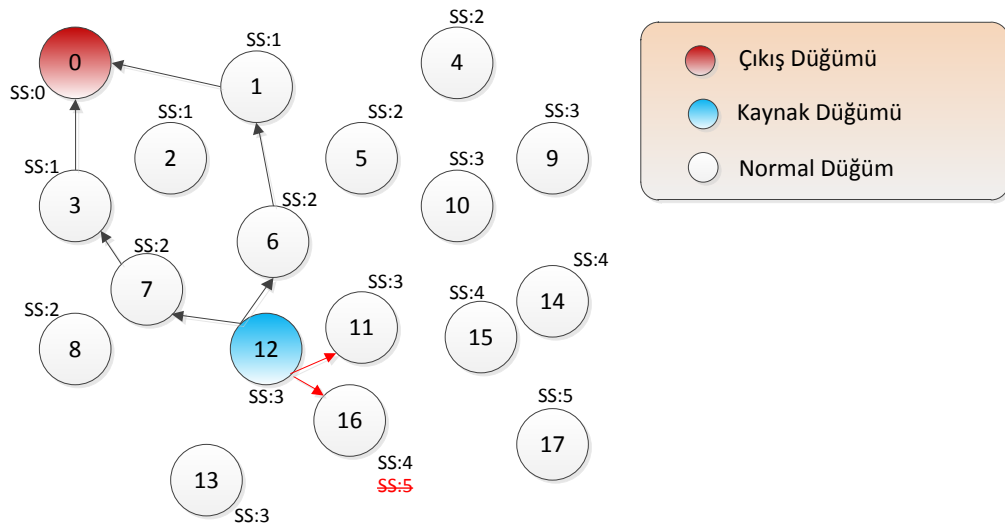
Öncelikle bir kablosuz ağda düğümlerin yerleşimi önceden bilinemediği için kaynak düğümünden çıkış düğümüne üretilen trafiğin etkin nasıl taşınabileceği önemli bir sorundur. Bu işlem için ağda çıkış düğümüne başlatılan ve tüm düğümlerin çıkış düğümüne olan uzaklıklarını sıçrama sayıları ile belirlendiği bir süreç başlatılır. Bu süreçte tüm düğümler çıkış düğümüne kaçınıcı seviyeden bağlı olduklarını belirleyen minimum bir değer ile işaretlenir. Söz konusu bu değer çıkış düğümünden ilgili düğüme ulaşmak için yapılması gereken minimum sıçrama sayısını belirtmektedir. Aşağıdaki Şekil 5.2 'de bu durum basit bir biçimde gösterilmektedir.



Şekil 5.2. Kablosuz algılayıcı ağda iletişim öncesi ağ kurulumu

Düğümdeki sıçrama sayıları bir nevi düğümün çıkış düğümüne uzaklığı şeklinde düşünülebilir. Herhangi bir düğüm bir olay algıladığı anda kendi seviyesini ve numarasını belirten bir paketi ağ üzerinden çıkış düğümüne gönderir. Bu paket asıl verinin taşındığı paket değildir. Söz konusu paket yönlendirme için kullanılacak olup çıkış düğümüne kadar ara düğümler tarafından tekrar tekrar iletilir. Söz konusu paket ara düğümlerde sadece seviye numarasını küçülten düğümlerce tekrar iletilir. Bu sayede sel şeklindeki iletişimin zararlı etkileri minimize edilmiş olur. Paket her ara düğümde uğradığı düğümü kendi içinde tuttuğu yönlendirme kuyruğuna ekler. Bu sayede paketi en son seviyede ele geçiren çıkış düğümü paketin hangi ara düğümler üzerinden geçerek geldiğine karar verebilir. Çıkış düğümüne gelen paket farklı

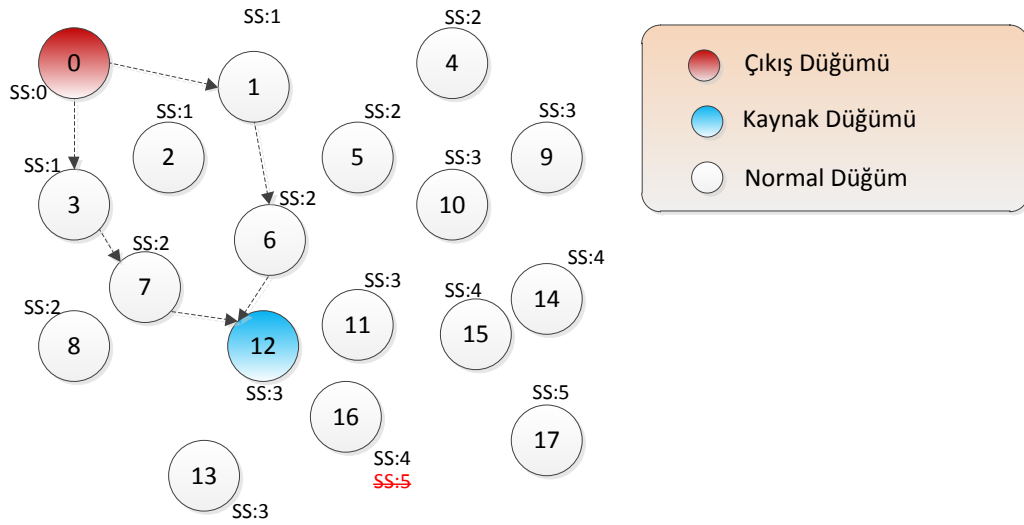
seviyeleri kullanarak farklı düğümler üzerinden geçerek gelebileceği için çıkış düğümü her gelen paketi benzerliğine göre ayırıştırıp tıkanıklık olasılığını en aza indiren ara düğümlere ve kaynak düğümüne bir geri bildirim paketi gönderir. Bu geri bildirimde paketin hangi düğümlerce işletileceği kararı pakette bulunan yönlendirme kuyruğundaki bilgi kullanılarak verilir.



Şekil 5.3. Kaynak düğümünden hedef düğüme rota isteğinin gönderilmesi

Yukarıdaki Şekil 5.3 'de 12 nolu düğümün kaynak düğümü olması durumunda meydana gelmesi olası bir senaryo görülmektedir. Söz konusu düğümün sıçrama sayısı diğer bir deyişle seviyesi ağ kurulumu esnasında önceden 3 olarak belirlenmiş gözükmektedir. Düğüm kendi seviyesini ve numarasını belirttiği paketi çıkış düğümüne doğru en yakın komşularına gönderdiği anda bırakılan paketi ele geçiren düğümlerden sadece seviye numarası daha küçük olan düğümler paketi bir sonraki düğüme doğru kontrollü bir şekilde iletmektedir. Paket iletimi sırasında her uğranılan düğümde paketin seviye numarası ve yönlendirme kuyruğu o düğümün bilgileri kullanılarak güncellenmektedir. Şu durumda çıkış düğümünün 12 numaralı düğümünden gönderilen iki farklı paket aldığı görülmektedir. Bunlardan biri sırasıyla 7 ve 3 numaralı düğümler diğeri 6 ve 2 numaralı düğümler üzerinden geçerek gelmektedir. Çıkış düğümü gelen rota istek paketinden ele geçirdiği bilgileri kullanarak geriye bir bilgilendirme paketi gönderir. Söz konusu bilgilendirme paketi

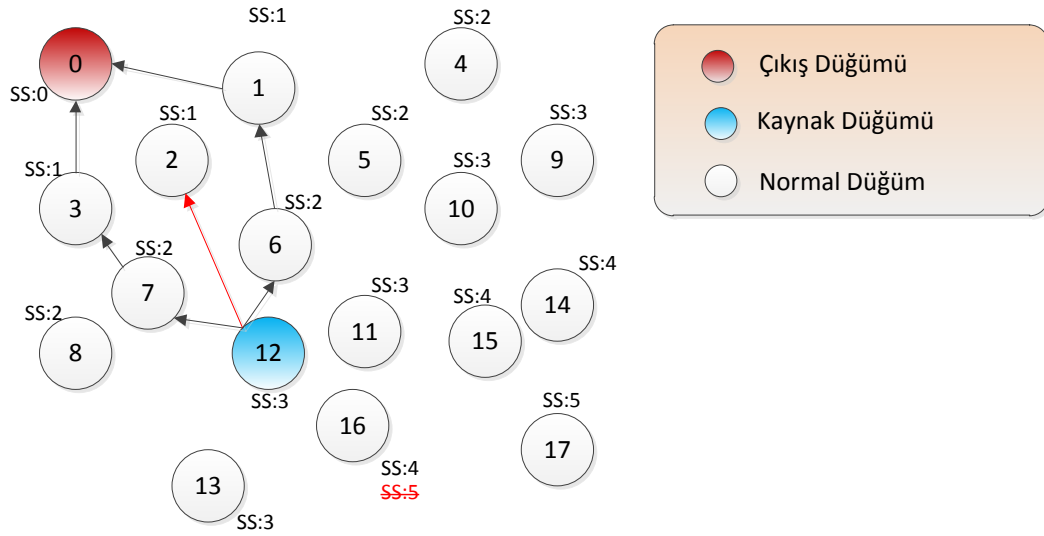
sadece belirlenen ara düğümlerden geçerek kaynak düğüme ulaşır (Şekil 5.4). Bilgilendirme paketini alan tüm düğümler gerçek verinin iletimi için lokal olarak tuttukları geçici yönlendirme tablosunu günceller. Bilgilendirme paketini kaynak düğüme tarafından alındığı anda asıl verinin belirlenen yollar üzerinden çıkış düğüme gönderilmesi işlemi başlatılır.



Şekil 5.4. Hedef düğüme ulaşan rota isteğinin kaynak düğüme geri bildirimi

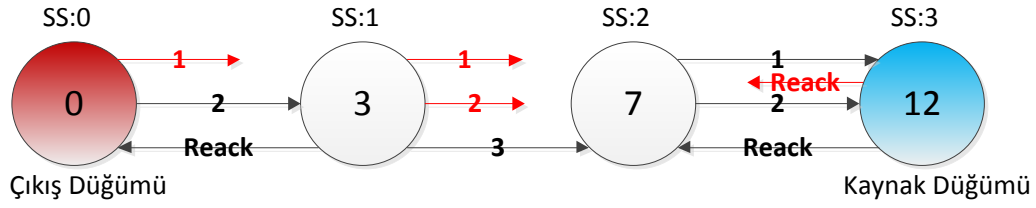
Bu noktada önemli bir sorun bulunan yolların kablosuz iletişimden dolayı sinyal gücü zayıf bir link üzerinde kurulması olasılığıdır. Böylesi bir durum iletişim sırasında asıl veriye ait paketlerin söz konusu link üzerinden geçirilirken kaybolma ihtimalini arttıracaktır. Bu yüzden geliştirilen yaklaşımda bir düğümün radyo kapsamında bulunan en uzak nokta ile kendi arasında bir yol kurması yerine en güçlü olduğu noktalar arasında bir yol kurması sağlanmaktadır. Böylece yoğun veri içeren çoklu ortam trafiğinin iletimi sırasında meydana gelebilecek olası paket kayıpları minimize edilmiş olmaktadır. Bu işlem için düğümler üzerinde alınan sinyalin enerji seviyesi kullanılmaktadır. Şekil 5.5 'de böylesi bir duruma ait örnek bir senaryo görülmektedir. Söz konusu senaryoda 12 nolu düğüm ağa bir rota istek paketi bırakmaktadır. Ağa bırakılan bu paket sırasıyla 6, 7 ve 2 numaralı düğümlerce alınmaktadır. Bahsi geçen düğümlerin hepsi de göndericinin sahip olduğu seviye numarasından daha küçük seviye numaralarına sahip gözükmemektedir. Fakat numarası

2 olan düğümün aldığı sinyalin enerjisi kaynak düğümüne olan uzaklığından ötürü aşırı düşmekte ve belirlenen seviyenin altında kalmaktadır. Dolayısıyla 2 nolu düğüm almış olduğu rota istek paketini tekrar iletmemekte ve böylece kaynak düğümü ile çıkış düğümü arasında kendi üzerinden geçen bir yol kurulmasına engel olmaktadır.



Şekil 5.5. Alınan sinyal gücünün kullanıldığı seçici rota çıkarımı

Karşılaşılan diğer bir sorun çıkış düğümünce yapılan geri bildirimin kaynak düğümüne ulaşmadan önce kaybolma riskidir. Çünkü söz konusu bildirim görece yayılım şeklinde iletilmeden sadece belli ara düğümler üzerinden geçirilerek gönderildiğinden çok sıçramalı gönderim sırasında paketin dolayısıyla yönlendirme bilgisinin kaybedilme riski oldukça yüksektir. Bu yüzden gecikme riski de göz önünde tutularak her ara düğüm için bir güvenilirlik mekanizmasına ihtiyaç vardır. Bunun için geri bildirim paketi ara düğümlerde önbelleklenerek belirli bir sayıda tekrar tekrar bir sonraki düğüme bildirilir. Bildirim ya belirlenen miktarı aştığında ya da bir sonraki düğümün yeniden geri bildirimi ile sonlandırılır. Böylece yönlendirme bilgisinin kaynak düğüme ulaşmadan önce kaybolması ihtimali mümkün olduğunca düşürülmüş olur. Aşağıdaki Şekil 5.6 'de söz konusu duruma örnek bir senaryo görülmektedir.



Şekil 5.6. Çıkarılan rota bilgisinin ara düğümlere ve kaynak düğüme geri bildirimi

Bu senaryoya göre kaynak düğümünün numarası 12, çıkış düğümünün ki ise 0 'dır. Ara düğümler ise çıkış düğümünden kaynak düğümüne doğru sırasıyla 3 ve 7 numaralı düğümlerdir. Söz konusu senaryoda çıkış düğümüne ulaşan bir rota isteği ile ilgili ara düğümlere ve kaynak düğümüne geri bildirim yapılmaktadır. Geri bildirim paketlerinin hepsi protokolda kural olarak önbelleklenmekte ve belirlenen eşik değere ulaşıncaya veya bir sonraki düğüm tarafından tekrar geri bildirim alınıncaya kadar tekrar tekrar iletilmektedir. Bahsi geçen senaryoda örneğin önce 0 numaralı çıkış düğümünün ilk geri bildirimi kaybolmakta ve ardından aynı paket çıkış düğümüne aynı 3 numaralı düğüme tekrar gönderilmektedir. Numarası 3 olan düğüm tekrar geri bildirim yaparak 0 numaralı düğümün sonraki tekrar iletimlerini sonlandırmaktadır. Numarası 3 ve 7 olan düğümler arasında belirlenen eşik değere ulaşıncaya kadar geri bildirim paketinin gönderildiği görülmektedir. Kaynak düğüm ile son ara düğüm olan 7 numaralı düğüm arasında ise tekrar geri bildirim paketinin kaybolduğu bir durum söz konusudur. Bu durumda 7 numaralı düğüm önbelleklediği aynı geri bildirim paketini aynı hedef düğüme tekrar göndermektedir. Bu örnek senaryoda tekrar geri bildirim işlemi için eşik değeri 3 olarak seçilmiştir.

Çıkış düğümü tarafından gönderilen geri bildirim paketi yalnızca kaynak düğümün gerçek veri gönderimini başlatması için kullanılmaz. Bunun yanında kaynak düğüme ilerlerken söz konusu paketi alan ara düğümlerde sonraki gerçek veri için kullanılacak olan geçici yönlendirme bilgisi oluşturulur. Bu sayede aynı kaynak düğümü ile aynı hedef düğüm arasındaki trafik aynı ara düğümler kullanılarak iletilir. Protokolda sağlanan çoklu yol desteği ile bu yol diğer bir deyişle kullanılan ara düğümler değiştirilebilmektedir. Yol değiştirim işlemi tetikleyecek değişken veya değişkenler farklı durumlar için farklı olabilir. Örneğin bu durumda ağda

düğümler arası enerji dengesinin sağlanması için belirli aralıklarla kendiliğinden yol değişikliği yapıyor olabilir. Fakat bu durumda düğümler arası zaman senkronizasyonun doğru bir şekilde yapılmış olması gerekmektedir.

Aşağıda geliştirilen protokole ait genel bir akış şeması verilmiştir (Şekil 5.7). Söz konusu şemada ağda yer alan bir düğümün ele geçirdiği paketleri nasıl işlediği ve sonrasında eğer gerekliyse ağa değiştirilmiş veya yeni üretilmiş paketleri nasıl bıraktığı ile ilgili kapsamlı bir süreç akışı görülmektedir. Toplamda ağ üzerinde tanımlı 5 tip paket bulunmaktadır. Bunlar sırasıyla ağ kurulum paketi, geri bildirim paketi, tekrar geri bildirim paketi, rota istek paketi ve asıl veri paketidir. Bunlardan ağ kurulum paketi seviye numarası belli düğümlerce komşu düğümlere yapılan seviye numaralarını bildirici paketlerdir. Ağ kurulum işlemi ağda seviye numarası belli olan çıkış düğümünce başlatılır ve ağda yer alan tüm düğümler seviye numaralarını ele geçirinceye kadar devam eder. Geri bildirim paketi ağ üzerinde rota istek paketinin çıkış düğümüne ulaşması durumunda çıkış düğümünce üretilip sadece belirlenen düğümlerden geçerek kaynak düğümüne ulaşan bir ağ paketidir. Tekrar geri bildirim paketi ağda geri bildirim paketi alan düğümlerin gönderildiği düğümlere sonraki geri bildirimleri engellemek için gönderdikleri bir tür alındı kontrol paketidir. Rota istek paketi ise ağa bağlı diğer bir deyişle seviye numarası belli bir düğümün çıkış düğümü ile arasında veri iletimi için rotanın tespit edilmesi amacıyla üretilip ağa bıraktığı bir pakettir. Söz konusu paket hedef düğüme ulaşınca kadar kendi içerisinde tuttuğu rota bilgisini uğradığı tüm düğümlerde o düğümün bilgisini de ekleyerek günceller. Böylece çıkış düğümünde alınan rota istek paketinin hangi kaynaktan geldiği ve hangi ara düğümleri kullandığı bilgisi ele geçirilebilir. Bu bilgi çok yollu iletme karar verilmesi sırasında çıkarılan rotaların benzerliğinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Çıkış düğümü aldığı rota istek paketlerinden sadece belirlenen benzerlik kriterini sağlamayan ara düğümler üzerinden geri bildirimde bulunur. Böylece ağda olası bir tıkanıklığın ve tıkanıklığın tetikleyeceği paket kayıplarının önüne geçilmiş olur.

5.2. Benzetimin Gerçekleştirilmesi

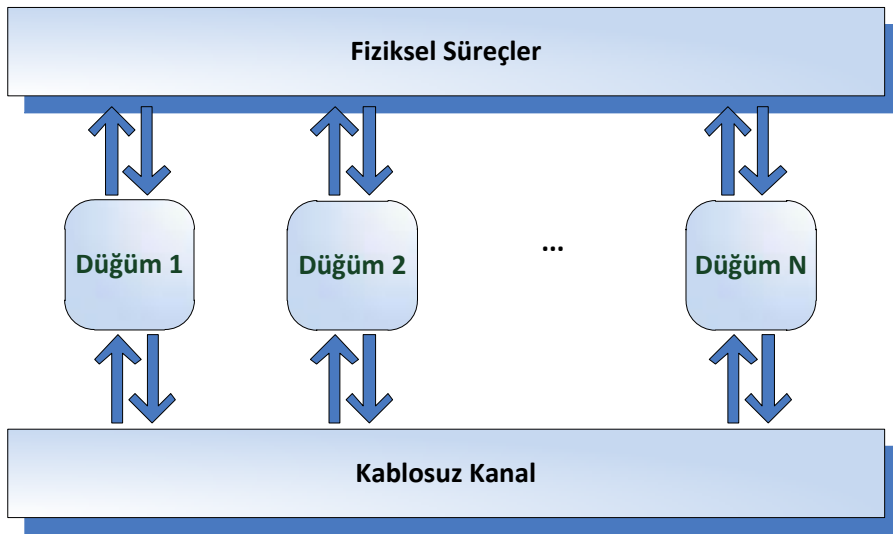
Kablosuz algılayıcı ağlarda çoklu ortam verisinin iletimi amacıyla geliştirilen protokolün test edilmesi ve elde edilen sonuçların bu konuda gerçekleştirilmiş diğer protokollerle karşılaştırılması için benzetim ortamı olarak OMNeT++ ve Castalia ikilisi kullanılmıştır. Benzetim ortamı için OMNeT++ ve Castalia benzetim ortamlarının tercih edilmesinin altında kablosuz algılayıcı ağ simülasyonu için söz konusu ortamların diğer benzer benzetim ortamlarından daha etkili olması yatmaktadır[43, 44, 45].

5.2.1. OMNeT++ ve Castalia benzetim ortamları

OMNeT++ açık kaynak kodlu, genişletilebilir, bileşen temelli bir ağ benzetim kütüphanesidir. Burada ağdan kasıt en geniş anlamıyla kablolu veya kablosuz iletişim ağlarıdır. OMNeT++ benzetim çatısı kullanılarak geliştirilen bağımsız bir çok proje bulunmaktadır. Bunlardan biri de kablosuz algılayıcı ağların benzetimi amacıyla geliştirilen Castalia projesidir. OMNeT++ için en temel kavram modüller ve mesajlardır[46]. Var olan modüller yalın veya birleşmiş olma durumlarına göre basit veya bileşik modül şeklinde adlandırılırlar. Basit bir modül çalıştırma işleminin temel parçasıdır. Bileşik bir modül ise diğer basit veya bileşik modüllerin birleşmesiyle oluşmaktadır. Mesajlar modüllerin üzerinde bulunan geçitler aracılığıyla modüllere ulaşır. Basit bir modül, algoritmalar ile tanımlanmış belirlenen kurallara göre farklı davranışlar sergileyen bir C++ dosyası ile ilişkilendirilir. Mesajın böylesi bir basit modüle ulaşması durumunda alınan mesaja göre bir takım kod parçaları çalıştırılır. Mesajlar aracılığıyla tüm modüllerin birbiri ile karşılıklı konuşabildiği söz konusu çatıda tanımlı tüm modüller çalıştırılan kod parçasına göre farklı davranışlar sergileyebilmektedir. Böylece farklı durumlar için farklı planların uygulamaya konduğu bir genel benzetim ortamı kullanıcıya sunulmaktadır.

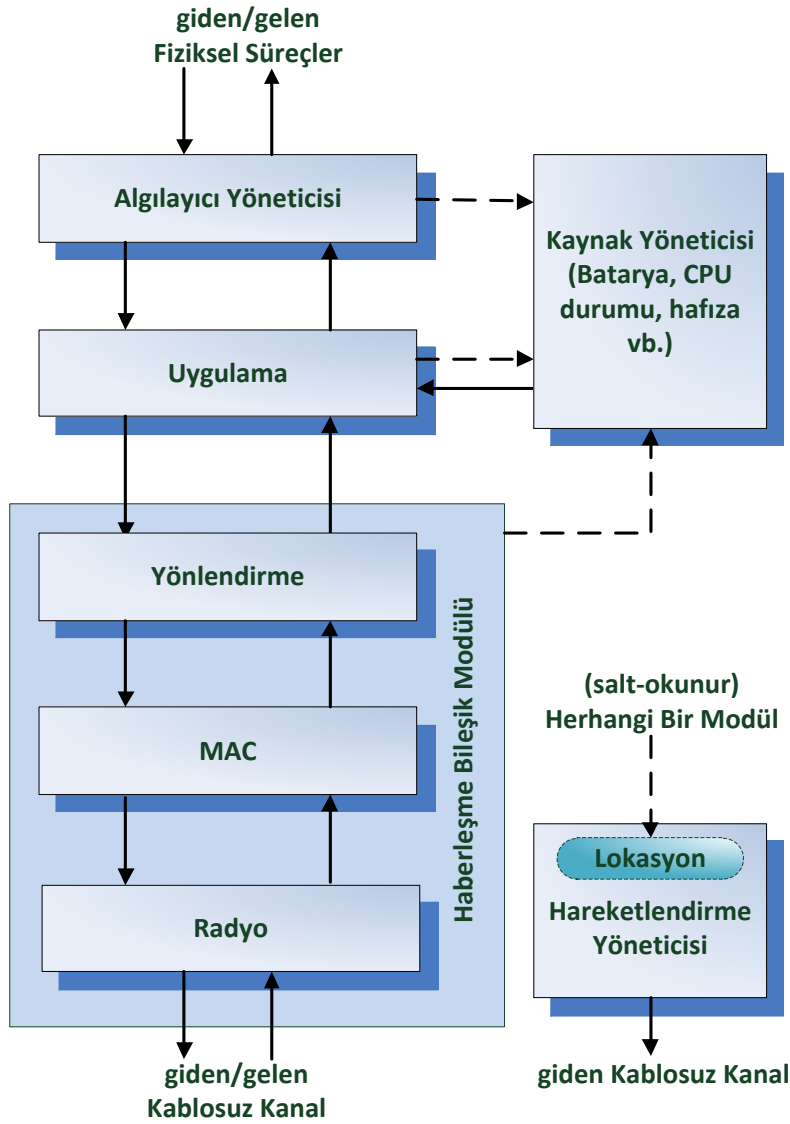
OMNeT++ genel benzetim çatısı üzerinde kablosuz algılayıcı ağların benzetimi için geliştirilen Castalia projesinde kullanılan genel iletişim yapısını gösterir bir şekil aşağıda görülmektedir (Şekil 5.8). Burada düğümlerin doğrudan birbirlerine bağlı

olmak yerine kablosuz kanal modülü üzerinden birbirine bağlandığı görülmektedir. Ayrıca düğümler fiziksel ortamla da karşılıklı bağlantı halinde olup ortamda meydana gelen değişiklikleri algılayıp kablosuz kanal üzerinden algılanan değişimi ağda yer alan diğer düğümlere yayabilmektedir. Şekil 5.8 'de görülen oklar modüller arasında yapılan mesajlaşmanın yönünü göstermektedir[46].



Şekil 5.8. Castalia 'ya ait genel iletişim yapısı

Diğer taraftan Şekil 5.8 'de görülen düğüm modülü aslında bir çok modülün bir araya gelmesiyle oluşan bir bileşik modüldür. Bir kablosuz algılayıcı ağda yer alan herhangi bir düğümün sahip olması gereken bileşenlerin alt modüller aracılığıyla gerçekleştiği söz konusu bileşik düğüm modülü algılayıcı yöneticisi, kaynak yöneticisi ve hareketlendirme yöneticisinden oluşmaktadır. Ayrıca fiziksel ortam ile düğüm arasında yapılan iletişimin benzetimi amacıyla sırasıyla uygulama, yönlendirme, MAC ve radyo katmanları söz konusu bileşik düğüm modülünde yer almaktadır. Bileşik düğüm modülü ve alt modülleri arasında yapılan tüm iletişim mesajlar aracılığıyla yapılmaktadır. Aşağıda bahsi geçen bileşik modülün daha detaylı bir alt modül şeması (Şekil 5.9) görülmektedir. Şemada görülen düz çizgili oklar mesaj yönünü gösterirken kesikli çizgilerle gösterilen oklar yordam çağrımını göstermektedir [46].



Şekil 5.9. Bileşik düğüm modülüne ait alt modüller

OMNeT++ ve Castalia benzetim ortamlarının her ikisinde de benzetimde kullanılacak ağ topolojisinin kurulumu ve kullanımı için "ned" uzantılı bir dosyanın bulunması gerekmektedir. Bu dosyada benzetim için gerekli olan düğüm yerleşimi ve benzetim zamanının yanı sıra ağ ve düğümler ve diğer tüm modüller için gerekli olan başlangıç parametreleri de tanımlanmaktadır. Ayrıca modüller arası mesajlaşma için kullanılan paket ve değişkenler "msg" uzantılı dosya içerisinde yapılmaktadır. Söz konusu bu dosya derleme zamanında saf C++ kodlarına dönüştürülmektedir.

5.2.2. DTSN ve DSDV protokolleri

DTSN (Distributed Transport for Sensor Networks) kablosuz algılayıcı ağlar için Grilo ve arkadaşları tarafından 2007 yılında önerilmiş güvenilirlik temelli bir veri taşıma protokolüdür[47]. DTSN, iletilen paketlerden beklenen güvenilirlik seviyesini karşılamak için kaybolan paketlerin kurtarılması işlemini tamamıyla kaynağın kontrolünde tutan bir mekanizmaya sahiptir. Kurtarma mekanizmasının temelinde ise hem pozitif geribildirim ACK hem de negatif geribildirim NACK(Negative-Acknowledgment) 'ın kullanıldığı Seçmeli Tekrar Otomatik Yenileme İsteği(SR ARQ - Selective Repeat Automatic Repeat Request) yatmaktadır. Bu sayede DTSN iletişim sırasında meydana gelen herhangi bir paket kaybını fark edebilmekte ve söz konusu paketi kurtarabilmektedir. Ayrıca DTSN 'de ara düğümlerde verimsiz sondan sona güvenilirliğin negatif etkilerini azaltmak amacıyla önbellekleme kullanılmaktadır. Güvenilirlik seviyelerindeki ayrışım ise kaynaktaki parçalı tamponlama ile ara düğümlerdeki hata düzeltme ve önbellekleme mekanizmalarının akıllı bir birleşimi ile sağlanmaktadır.

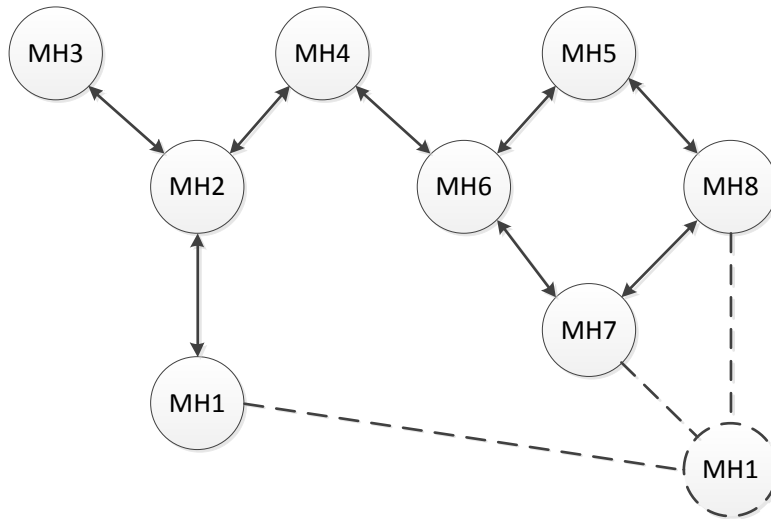
DTSN 'de asıl amaç kablosuz algılayıcı ağlarda sondan sona kayıpsız bir iletimin sağlanmasıdır. Bu işlem için hedef düğüme gönderilen ilk paketle birlikte bir oturum başlatılır ve bu oturum belirli bir zaman aşımından sonra otomatik olarak sonlandırılır. Bir oturum kaynak adresi, hedef adresi, uygulama tanımlayıcısı ve oturum numarası bilgilerinden oluşan oturum tanımlayıcısı ile tanımlanır. Bir oturum süresince DTSN 'de paketler göndericinin iletim penceresi diğer adıyla DTSN penceresi dolana kadar arka arkaya gönderilir. Söz konusu pencerenin büyüklüğü ağ topolojisi veya çevresel birtakım çeşitli faktörlere bağlı olarak farklılık gösterebilir. DTSN 'de kullanıma konan bir diğer pencere bilgilendirme penceresidir ve herhangi bir EAR(Explicit Acknowledgment Request) paketi gönderilmeden önce iletilen paketlerin sayısına karar vermek için kullanılır. Hedef düğümden NACK ve ACK olmak üzere iki çeşit EAR paketi cevabı gönderilebilir. Bunlardan ACK, bildirim penceresinin sonuna kadar her paketin eksiksiz alındığını doğrulamak için kullanılırken NACK, bazı paketlerin kaybolduğunu göndericiye bildirmek için kullanılır. Kaybolan paketlere ait sıra numaraları NACK paketi üzerinde işaretlenir.

Bir EAR paketi gönderildiğinde EAR zamanlayıcısı da eş zamanlı başlatılır. Eğer zamanlayıcı hedeften bir cevap alınmadan önce sonlanırsa gönderici belirlenen bir eşik değere ulaşınca kadar EAR paketini tekrar gönderir ve zamanlayıcıyı yeniden başlatır. Önceden belirlenen eşik değere ulaşılması durumunda gönderici oturumu sonlandırır ve bir üst katmana bazı paketlerin doğrulanmadığı bilgisini haber verir. Gönderilen paketler oturum boyunca bir ACK paketi alınıncaya dek oturuma özel bir tamponda tutulur. Eğer bir NACK paketi alınırsa gönderici kayıp olarak işaretlenen paketleri kontrol edip tekrar gönderir.

DTSN temel servisinde herhangi bir düğüm oturum numarası yeni olan bir trafiği aldığı anda yeni bir oturum başlatır. Paketler aşağı katmandan alındıkça bir tamponda depolanır ve sahip olduğu sıra numarasına göre sıraya dizilir. Eğer alınan sıra numarası beklenen numara ise paket bir üst katmana iletilir, bununla birlikte eğer beklenen numara değilse kayıp paketler alınana dek tamponda tutulmaya devam edilir. Bu sayede uygulama katmanında paketlerin sıralı bir şekilde alınması sağlanmış olur. Alıcıya bir EAR paketinin ulaşması durumunda tamponda bulunan paketlerde boşluk olup olmadığı kontrol edilir. Eğer herhangi bir boşluk bulunursa kaybolan paketlerin sıra numarasını içeren bir NACK paketi üretilip geri gönderilir. Diğer taraftan herhangi bir boşluk bulunmazsa bir ACK paketi ile tüm paketlerin eksiksiz alındığı doğrulanır.

DTSN 'de ara düğümler kayıp paketlerin ve tekrar iletimin neden olduğu olumsuz etkileri azaltmak için kendi üzerlerinden geçerken paketleri önbelleklerine alıp belirli bir süre saklarlar. Söz konusu düğümlerden biri herhangi bir NACK paketi aldığı anda önbellek hedefin kayıp olarak işaretlediği paketler için kontrol edilir. Önbelleklenmiş olan kayıp paketler derhal bulunduğu ara düğümden hedefe gönderilir ve NACK paketi üzerinde tutulan kayıp paket listesinden iletilen paketler çıkarılır. Hatta tüm kayıp paketlerin önbelleklerde bulunması durumunda NACK paketi ACK paketine dönüştürülüp gönderilir. Bu sayede sondan sona yeniden iletimin neden olduğu gecikme ve enerji sarfıyatı düşürülmüş olur. Bununla birlikte önbelleğin küçük olması dikkatli yönetilmesini gerektirmektedir. Bunun için ne zaman bir ACK paketi alınsa doğrulanan paketler önbellekten silinir. Ayrıca aynı

arasındaki en kısa yol kolayca bulunabilmektedir. Bahsi geçen bildirim sırasında yönlendirme tablolarında saklanan bilgiler komşu düğümlerle paylaşılır. Düğümler tarafından tutulan söz konusu yönlendirme tablolarında ağdaki tüm olası hedefler ile bu hedeflere o düğümden ulaşmak için gerekli olan sıçrama sayıları tutulmaktadır. Ayrıca düğümlerde eski ile yeni kayıtları birbirinden ayırt edebilmek için hedef düğümler ile ilişkilendirilmiş bir sıra numarası tutulmaktadır. Eski ile yeni bildirimleri birbirinden ayırt edebilmek için her bildirimde bu sıra numarası artırılmaktadır. Herhangi bir düğüm yeni bir bildirim paketi aldığı anda sıra numarasını kontrol eder. Eğer kendi yönlendirici tablosundaki sıra numarası daha yeni ise gelen bilgilendirmeyi göz ardı eder. Eğer kendi yönlendirici tablosundaki sıra numarası daha eski ise yönlendirici tablosunu gelen yeni bildirime göre günceller. Eğer söz konusu sıra numaraları eşit ise hedef düğüme varmak için gerekli olan sıçrama sayılarından hangisi küçükse ona göre yönlendirme tablosunu günceller veya güncellemeden bırakır.



Şekil 5.11. DSDV protokolünün kullanıldığı örnek bir ağ topolojisi

Yukarıdaki Şekil 5.11 'de DSDV protokolünü kullanan bir ağda topoloji değişikliğinin yönlendirici tablolarını nasıl etkilediğine ilişkin örnek bir senaryo görülmektedir. Söz konusu senaryoda MH1 ile gösterilen hareketli düğüm MH2

komşuluğundan çıkıp MH7 ve MH8 'in komşuluğuna girecek şekilde hareket etmektedir.

Çizelge 5.1. MH1 hareketlenmeden önce MH4 düğümüne ait yönlendirici tablosu

Hedef	Bir sonraki düğüm	Metrik	Sıra Numarası
MH1	MH2	2	S400_MH1
MH2	MH2	1	S120_MH2
MH3	MH2	2	S500_MH3
MH4	MH4	0	S700_MH4
MH5	MH6	2	S390_MH5
MH6	MH6	1	S070_MH6
MH7	MH6	2	S120_MH7
MH8	MH6	3	S040_MH8

MH1 ilk konumunda iken MH4 yönlendirici tablosunun durumu yukarıdaki Çizelge 5.1 'de görüldüğü gibidir. MH1 düğümü MH4 'ün komşuluğundan çıkıp MH7 ve MH8 'in komşuluğuna girdiği hareket sonrasında MH4 'ün yönlendirici tablosunun yeni duruma ait güncellemeler yapıldıktan sonraki son durumu aşağıdaki Çizelge 5.2 'de verilmiştir[50]. Çizelgede de görüldüğü üzere MH4 'e ait ilk yönlendirici tablosunda örneğin MH1 ' e ulaşmak için MH2 düğümüne gidilmesi gerekirken bahsi geçen hareketlenmeden sonra bu MH6 olarak değişmiştir. İlk durumda iki sıçrama sonrasında hedefe ulaşılırken sonraki durumda bu sıçrama sayısı üçe çıkmaktadır.

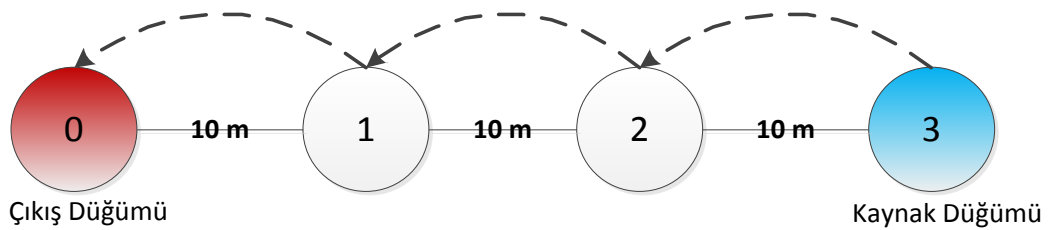
Çizelge 5.2. MH1 'in hareketinden sonra MH4 düğümüne ait yönlendirici tablosu

Hedef	Bir sonraki düğüm	Metrik	Sıra Numarası
MH1	MH6	3	S500_MH1
MH2	MH2	1	S230_MH2
MH3	MH2	2	S670_MH3
MH4	MH4	0	S820_MH4
MH5	MH6	2	S510_MH5
MH6	MH6	1	S180_MH6
MH7	MH6	2	S230_MH7
MH8	MH6	3	S170_MH8

5.2.3. Gerçekleştirilen benzetim ve performans ölçütleri

Benzetim çalışmasında karşılaştırmanın yapılacağı DTSSN ve DSDV protokolü için yine Grilo ve arkadaşları tarafından hazırlanan iki ayrı makale baz alınacaktır[51,52]. Bunlardan ilki kablosuz algılayıcı ağlarda düşük bant genişliği gerektiren bir verinin taşınmasını analiz ederken ikincisi çoklu ortam verisi gibi daha fazla bant genişliği gerektiren bir trafiğin ağdaki sonuçlarını analiz etmektedir. Her iki makalede de benzetimde kullanılan ağ ve düğüm yapısı birbirine yakın tasarlanmıştır. Bu nedenle geliştirilen protokolü test etmek amacıyla Castalia ortamında kurulan benzetim ortamı için de makalede verilen değerler baz alınmıştır.

Geliştirilen protokolü test etmek amacı ile Castalia üzerinde oluşturulan senaryoda düğümlerin birbirleri ile kablosuz haberleştikleri varsayılmıştır. Söz konusu senaryoda düğümler farklı sıçrama sayıları ile bir kaynak düğümden bir hedef düğüme belirli sayıda paketi taşımaya çalışmaktadır. Düğümler arası bant genişliği 250 kbps olarak belirlenmiş olup IEEE 802.15.4 standardı kullanılmıştır. Ayrıca düğümler arası mesafenin 10 metre olacak şekilde alana yerleştirildiği ve düğümlerin hepsinin birbirine eş olduğu varsayılmıştır. Geri kalan diğer tüm parametreler karşılaştırma sonuçlarının güvenilirliğini artırmak amacıyla makalelerden ilki için verilen senaryoya uygun bir şekilde seçilmiştir[51]. Aşağıda söz konusu senaryoya uygun 3 sıçramalı örnek bir durum görülmektedir (Şekil 5.12). Söz konusu duruma göre 3 numaralı düğüm 1 ve 2 numaralı ara düğümleri kullanarak 0 numaralı hedef düğüme veri göndermektedir.



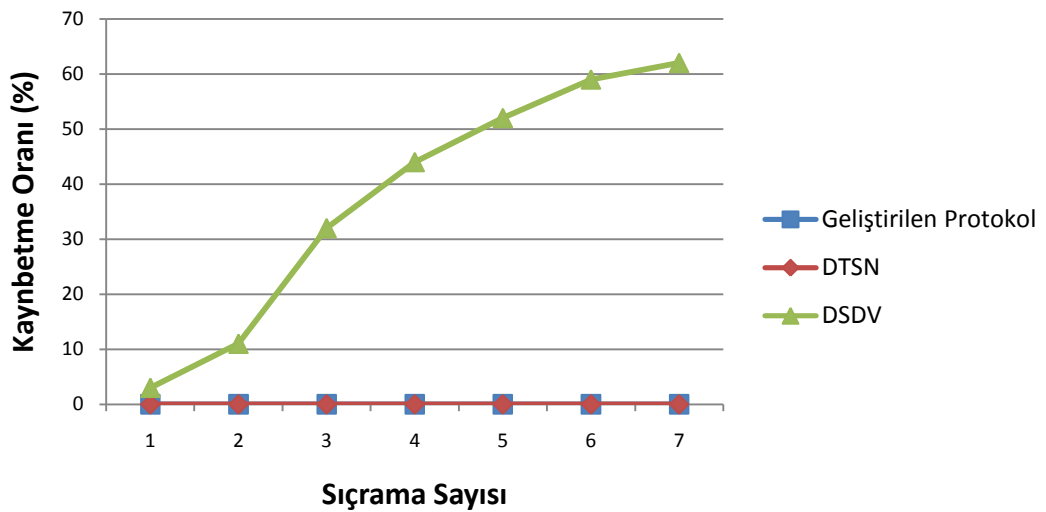
Şekil 5.12. Belirlenen senaryoya uygun 3 sıçramalı bir veri iletimi

Benzetimler iki farklı senaryo üzerinden gerçekleştirilecektir. Bunların ilki 2 byte ana yüklü 1000 tane paketin taşındığı durumdur[51]. Diğer senaryo da ise 100 byte ana yükü olan 100 tane paket kaynak düğüm ile hedef düğüm arasında uçtan uca taşınmaktadır[52]. Bahsi geçen senaryolardan ilki kablosuz algılayıcı ağlar için bilinen basit veri iletim durumunu araştırırken ikincisi çoklu ortam trafiğinin protokol ve ağ üzerindeki etkilerini araştırmaktadır. Karşılaştırma kalemleri olarak her iki makalede okuyucuya sunulan karşılaştırma sonuçları temel alınmıştır. İlk makale için bu kalemler sırasıyla paket kaybetme oranı, çıkış düğümünde üretilen çıktı başarımı, paket iletiminde yaşanan gecikme ve bir paketin iletimi için gerekli ortalama iletim miktarıdır. İkinci makale için belirlenen karşılaştırma kalemleri ise çıkış düğümünde üretilen çıktı başarımı ve paket iletiminde yaşanan gecikmedir. Sonraki bölümde her iki senaryoya ait karşılaştırma sonuçları grafiksel gösterimlerle okuyucuya sunulmaktadır.

6. DENEYSEL SONUÇLAR

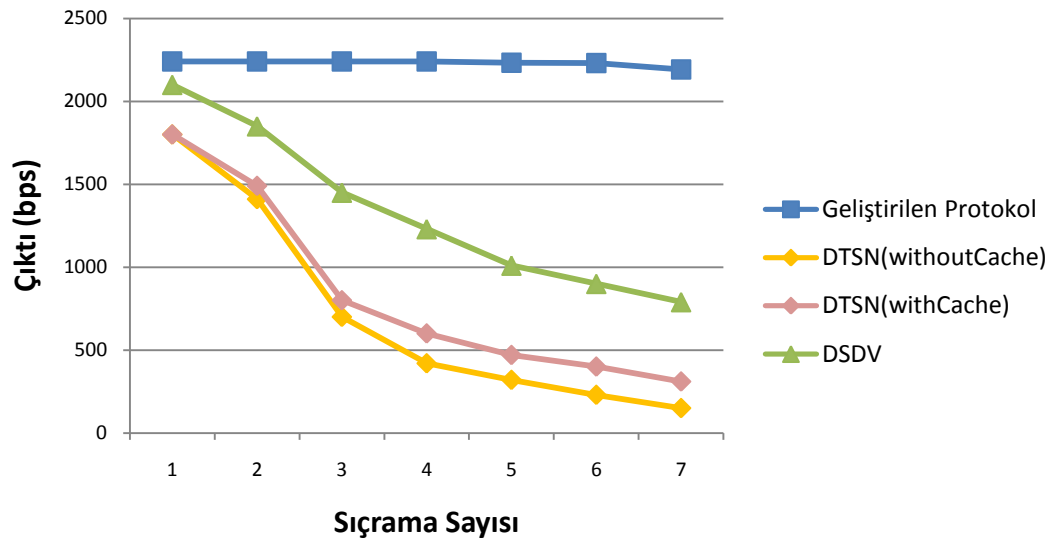
Geliştirilen protokolün ilk senaryo açısından gözlenen performans sonuçları karşılaştırmalı olarak aşağıda verilmiştir. Söz konusu karşılaştırmada Grilo ve arkadaşları tarafından hazırlanan makale baz alınmıştır[51]. Bu makalede Grilo ve arkadaşları kablosuz algılayıcı ağlar için önemli olan paket iletim oranını, gecikmeyi, paket düşürülme oranını ve paket başına yapılan ortalama iletim miktarını mercek altına almaktadır. İlk senaryo için yazının bu kısmında da geliştirilen protokol aynı performans kalemleri açısından incelenmiştir.

Kablosuz algılayıcı ağlar çok fazla sayıda kısa menzilli düğümün bir araya gelmesiyle oluşan bir çeşit iletişim ağıdır. Söz konusu ağlarda belirli bir alt yapı olmadığından yönlendirme işlemi ağ üzerinde etkin olan düğümler tarafından yapılmaktadır. Çoklu ortam trafiğinin sahip olduğu yoğun yapı düşünüldüğünde kaynak düğüm ile hedef düğüm arasında etkin bir yönlendirme yapılarak istenilen veri iletim oranının belirlenen gecikme sınırı dahilinde karşılanması gerekmektedir. Aşağıda geliştirilen protokolün normal bir veri taşınması esnasında gösterdiği paket kayıp oranı ile DTSN ve DSDV protokollerinin yaşadığı kayıp oranı karşılaştırmalı olarak görülmektedir (Şekil 6.1).



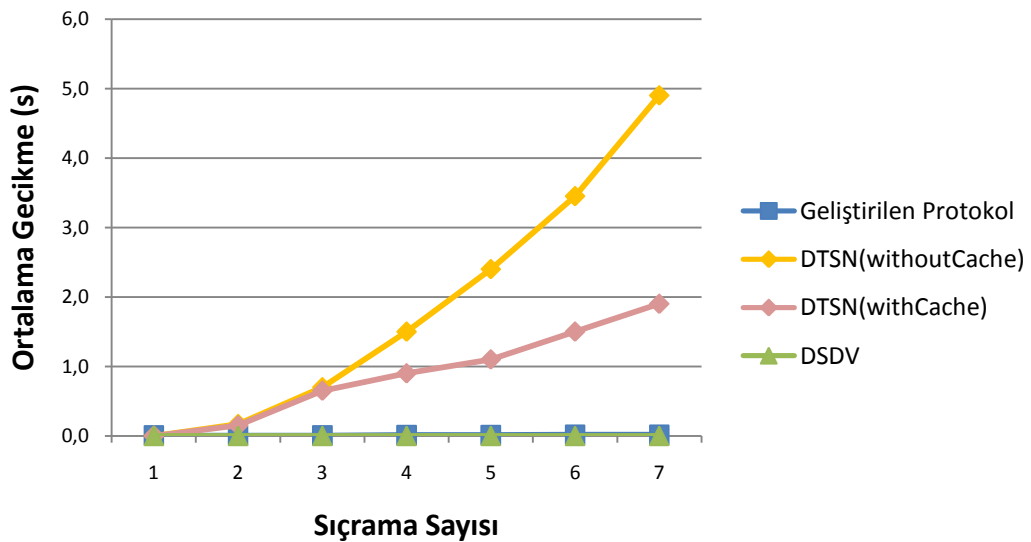
Şekil 6.1. Normal veri iletiminde protokollerin yaşadığı paket kaybetme oranları

Karşılaştırma sonuçları (Şekil 6.1) dikkatlice incelendiğinde DTSN protokolünün sondan sona güvenilirliği sağlayacak şekilde hiç paket kaybı yaşamadığı görülmektedir. Aynı şekilde geliştirilen yeni protokolün de yaşadığı kayıp oranının neredeyse hiç seviyesinde olduğu görülmektedir. DSDV ise sıçrama sayısının artmasına paralel olarak artan bir şekilde önemli paket kayıpları yaşamaktadır. Bununla birlikte DTSN protokolünün eksiksiz paket iletiminde gösterdiği başarıyı çıktı miktarında gösteremediği görülmüştür. Aşağıda karşılaştırma yapılan tüm protokoller için hedef düğümde üretilen çıktı miktarını özetleyen bir grafik görülmektedir (Şekil 6.2). Geliştirilen protokolün dışındaki tüm protokollerde sıçrama sayısı arttıkça hedef düğümde üretilen çıktı miktarının önemli derecede düştüğü görülmektedir. Yine grafikten çıkarılan bir diğer sonuç DTSN içerisinde kullanılan önbelleklemenin çıktı başarımını arttırdığıdır. Bununla birlikte DSDV protokolünün gösterdiği çıktı başarımının önbellek kullanılsın veya kullanılsın DTSN 'in üzerinde olduğu görülmektedir. Geliştirilen protokolün çıktı başarımında gösterdiği performansın diğer protokollerin oldukça üzerinde olduğu ve sıçrama sayısından diğer protokollere nazaran daha az etkilendiği yine grafikten anlaşılmaktadır.



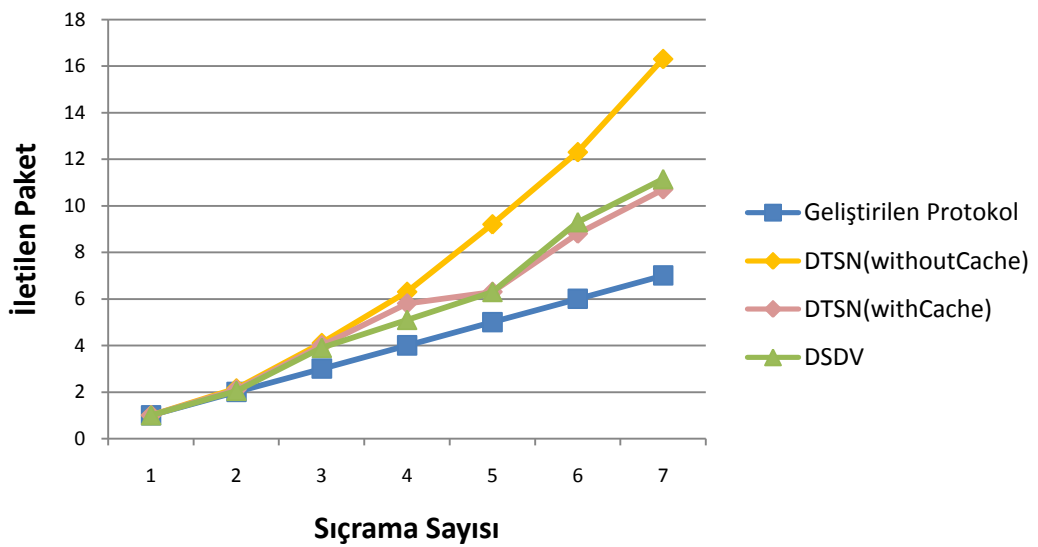
Şekil 6.2. Normal veri iletiminde protokollerin ürettiği çıktı miktarı

Karşılaştırma kalemlerinden bir diğeri olan gecikme açısından da geliştirilen protokolün performansının oldukça iyi olduğu gözlemlenmiştir. Söz konusu karşılaştırma için Şekil 6.3 'te gösterilen grafiğe bakılacak olursa eğer en kötü sonuçların DTSN protokolü tarafından sergilendiği görülmektedir. Bunun altında yatan sebebin ilgili protokolün uçtan uca gerçekleştirmeye çalıştığı güvenilirliğin kaybolan paketlerin yeniden iletilmesi ve bu esnada yaşanan gecikme olduğu söylenebilir. DSDV protokolünde ise neredeyse hiç gecikme yaşanmamasının nedeni uçtan uca iletimde gerekli olan yönlendirme bilgisinin ağdan çıkarımı için DSDV 'in ek bir süreye ihtiyaç duymamasıdır. Buna karşılık geliştirilen protokol asıl verinin gönderiminin hemen öncesinde kaynak ile hedef düğüm arasında en az bir yolun bulunması ve kurulması için ek bir zamana ihtiyaç duymakta fakat söz konusu süre oldukça düşük seviyelerde kalmaktadır. Ayrıca geliştirilen protokolde asıl verinin iletimi sırasında ara düğümlerde iletilen paketlerin tamponlanmaması bu tamponlamadan ve tamponlanan paketlerin yeniden iletimden kaynaklanan ek gecikmelerin de önüne geçmektedir. Bu durum uçtan uca veri iletimi sırasında yaşanan ortalama gecikme süresini aşağı çekmiştir.



Şekil 6.3. Normal veri iletiminde protokollerin yaşadığı ortalama gecikme süresi

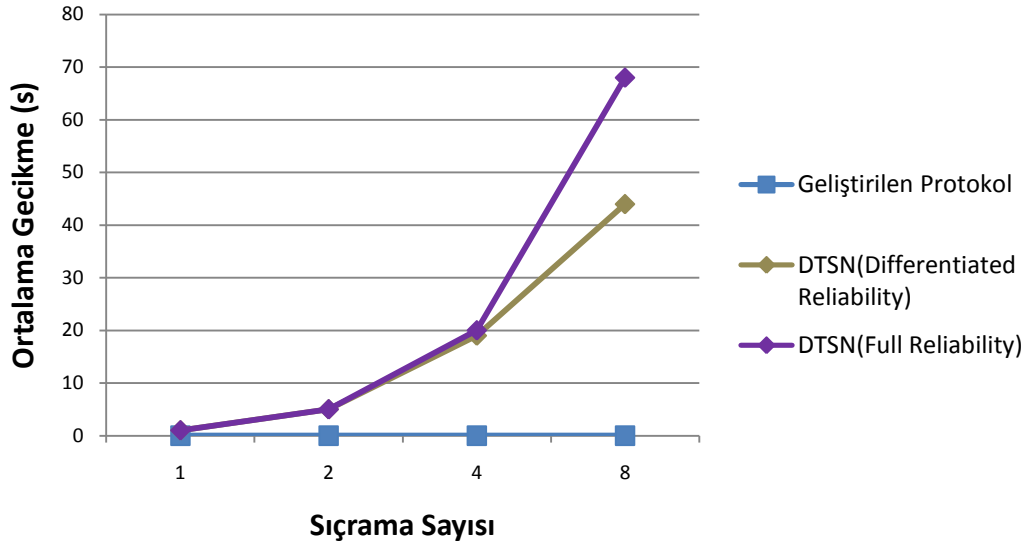
Normal verinin iletimi için yapılan karşılaştırma kalemlerinin sonuncusu paket başına yapılan uçtan uca iletim miktarıdır. Burada yapılan karşılaştırmanın amacı sıçrama sayısı ile bir paketin uçtan uca iletilmesi esnasında yapılan ortalama paket iletim miktarıdır. Güvenilirlik seviyesinin artırılması ve ara düğümlerde önbellekleme kullanılmaması protokollerde paket başına düşen ortalama iletim miktarını arttırma eğilimdedir. Aşağıdaki grafikte de görüldüğü üzere (Şekil 6.4) önbellekleme kullanmayan DTSN protokolü karşılaştırılan protokoller arasındaki en kötü sonuçları üretmiştir. Buna karşılık DSDV protokolünün sonuçlarının nispeten daha iyi olduğu gözlenmektedir. Söz konusu protokoller arasında en iyi sonucu geliştirilen protokol göstermiştir. Çünkü söz konusu protokolde asıl verinin uçtan uca iletimi sırasında paketler, ara düğümlerde depolanan geçici yönlendirme bilgisine göre kaynak düğümden hedef düğüme doğru sadece iletilmektedir. Sonuç olarak kaybolan paketlerin tekrar iletiminden kaynaklanan paket başına düşen ortalama iletim miktarının artması geliştirilen protokol için söz konusu değildir. Diğer bir ifadeyle geliştirilen protokol için paket başına düşen iletim miktarı sıçrama sayısı ile paralel ve doğrusal artmaktadır. Diğer protokollerde ara düğümlerde yapılan önbellekleme ve kaybolan verinin yeniden iletimi paket başına düşen ortalama iletim miktarını arttırmaktadır.



Şekil 6.4. Paket başına yapılan ortalama iletim miktarı

Geliştirilen protokolün ikinci senaryo açısından gözlenen performans sonuçlarına geçmeden önce söz konusu sonuçlar için yine Grilo ve arkadaşları tarafından hazırlanan bir başka makalenin baz alındığı belirtilmelidir[52]. Söz konusu makalede yoğun içeriğe sahip bir verinin iletiminde yaşanan gecikme ve iletim oranı DTSN protokolü ve türevleri açısından incelenmektedir.

Aşağıda geliştirilen protokolün çoklu ortam verisi gibi yoğun içerikli bir veri için elde edilen sonuçları karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Geliştirilen protokolün çoklu ortam verisinin ihtiyaç duyduğu hizmet kalitelerini sağlamada DTSN protokolünden daha başarılı olduğu karşılaştırma sonuçlarından gözlenmektedir. Özellikle söz konusu verinin sahip olduğu yoğun yapı ve ürettiği akış şeklindeki trafik kablosuz algılayıcı ağların sahip olduğu basit yapı düşünüldüğünde mevcut kaynakların daha dikkatli ve özenli kullanılmasını gerektirmektedir. Bu noktada özellikle geliştirilen protokolde bulunan rota tayini ve asıl verinin belirlenen rota kullanılarak hızlı bir şekilde hedefe yönlendirilmesi çoklu ortam verisinin gecikme kısıdının sağlanmasında önemli rol oynamaktadır. Ayrıca düğümler arası rota çıkarılırken sadece kaliteli linklerin kullanılması ve söz konusu linkler üzerinden paketlerin iletilmesi kablosuz iletişimden kaynaklanan paket kayıplarının azalmasına ciddi oranda katkı sağlamıştır. Sonuç olarak geliştirilen protokolünün çıktı başarımının DTSN protokolü ve türevleri ile karşılaştırıldığında daha iyi seviyede olduğu görülmektedir. Diğer taraftan DTSN protokolünde uçtan uca yol boyunca düğümler arası tamponlamadan kaynaklanan gecikme ve paket kayıpları DTSN protokolünün çıktı başarımını ciddi oranda düşürmektedir. Aşağıda gecikme açısından DTSN protokolünün türevleri ile geliştirilen protokolün aşırı yük altında sergiledikleri performans sonuçları görülmektedir (Şekil 6.5). Söz konusu sonuçlara göre gecikme açısından en iyi performans geliştirilen protokole aittir. DTSN türevleri uçtan uca iletimi saniye seviyelerinde gerçekleştirirken geliştirilen protokolün söz konusu iletimi milisaniye seviyelerinde gerçekleştirdiği yapılan benzetim esnasında gözlemlenmiştir.

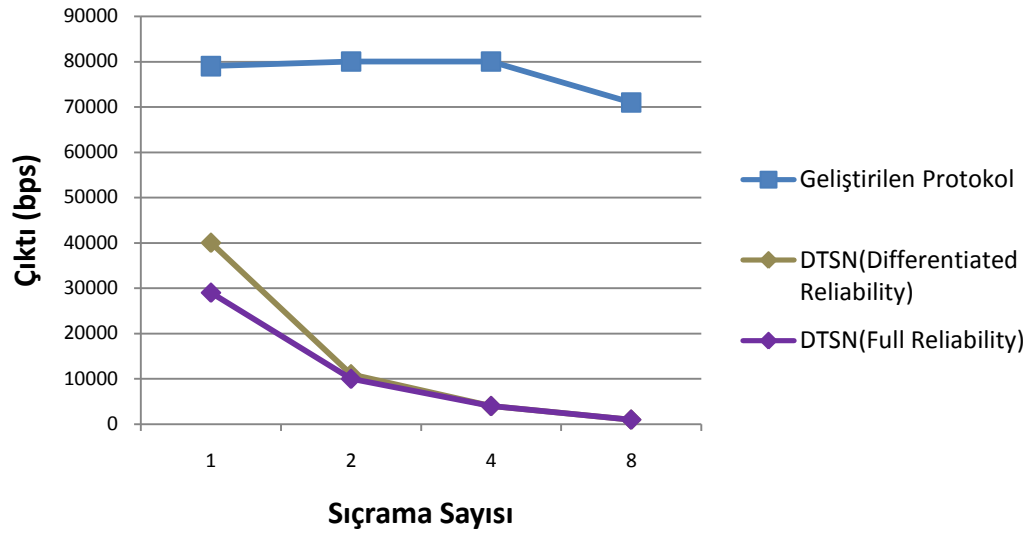


Şekil 6.5. Çoklu ortam verisi için protokollerin yaşadığı ortalama gecikme süresi

Şekil 6.5 'te de görüldüğü üzere çoklu ortam verisi için önemli ve gerekli bir kalite kalemi olan gecikme açısından geliştirilen protokolün gösterdiği başarımlar DTSN protokolünün gösterdiği başarımın oldukça üstündedir. Diğer taraftan geliştirilen protokolde veri iletimi sırasında sıçrama sayısının artmasına rağmen yaşanan ortalama gecikmenin milisaniye seviyelerinde kaldığı görülmektedir. Buna karşın DTSN protokolünde yaşanan gecikme üssel olarak sıçrama sayısı ile doğru orantılı artmaktadır. Özellikle DTSN protokolünün tam güvenilirliği sağladığı durumda yaşanan ortalama gecikmenin çoklu ortam verisi için kabul edilemeyecek düzeylere kadar çıktığı görülmektedir.

Çoklu ortam verisi için önemli bir diğer kalite kalemi olan çıktı başarımında yine geliştirilen protokolün DTSN türevlerine nazaran daha iyi sonuçlar ürettiği görülmektedir. Aşağıda aşırı yük altında hedef düğümde üretilen çıktı miktarı açısından geliştirilen protokol ile DTSN türevleri arasındaki karşılaştırma sonuçları görülmektedir (Şekil 6.6). Söz konusu karşılaştırma sonuçlarına göre geliştirilen protokolün ürettiği çıktı oldukça yüksek olmanın yanı sıra söz konusu çıktının sıçrama sayısından daha az etkilendiği görülmektedir. Bu durum özellikle geliştirilen

protokolün belirli bir rota kullanarak ve kaliteli linkler üzerinden veri iletimi yapıyor olmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 6.6. Çoklu ortam verisi için protokollerin hedef düğümde ürettiği çıktı

Sonuç olarak karşılaştırma sonuçlarının tamamından geliştirilen protokolün çoklu ortam verisinin ihtiyaç duyduğu hizmet kalitelerini sağlama noktasında DTSN protokolü ve türevlerine nazaran daha iyi olduğu görülmektedir. Söz konusu gereksinim kalemleri çıktı başarımı ve yaşanan ortalama gecikmedir. Ayrıca geliştirilen protokol uçtan uca basit veri iletimi açısından da oldukça iyi bir performans sergilemiştir.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tezde kablosuz çoklu ortam algılayıcı ağlarda veri iletimi için etkin bir protokol geliştirilmiştir. Geliştirilen protokol OMNeT++ ve Castalia benzetim araçları kullanılarak test edilmiş ve kablosuz algılayıcı ağlarda kullanılagelen DTSN protokolü ile karşılaştırılmıştır. DTSN protokolü güvenilirlik temelli olduğundan kayıpsız veri iletiminde başarılı olsa da çoklu ortam gibi yoğun bir veri için önemli olan çıktı başarımında geliştirilen protokolün gerisinde kalmıştır. Ayrıca geliştirilen protokolün çoklu ortam verisinin sıkı gecikme kısıtlarının karşılanması noktasında da DTSN protokolü ve türevlerinin önünde olduğu görülmüştür.

Geliştirilen protokol gerçek veri iletiminden hemen önce kaynak ve hedef düğüm arasında bir veya birden fazla yol kurmaktadır. Protokol, söz konusu kurulum sırasında yolun kaliteli linkler üzerinde kurulmasını sağlamaktadır. Ayrıca kurulan yolun kaynak düğüme düzgün bir şekilde haber verilebilmesi için güvenilirliği artırıcı birtakım önlemler almaktadır. Ara düğümlerde bir nevi yerel önbellekleme kullanılarak geliştirilen protokole ait gecikme ve güvenilirlik performansı iyileştirilmiştir. Bu sayede çoklu ortam verisinin iletimi esnasında kablosuz çok sıçramalı iletişimden kaynaklanan paket kayıpları azaltılmış ayrıca ara düğümlerin sadece belirlenen yol üzerinde veri iletimi yapması sağlanarak aynı trafik için olası paket çarpışmalarının ve tıkanıklıkların önüne geçilmiştir. Bunun sonucunda üretilen çıktı oldukça artmış ve buna karşılık gözlenen iletim gecikmesi oldukça düşük bir seyir izlemiştir.

Deneyisel sonuçlardan anlaşıldığı üzere geliştirilen protokol belirli bir alt yapısı bulunmayan kablosuz algılayıcı ağlarda çok sıçramalı kablosuz iletişimi ve diğer kaynakları etkin bir şekilde kullanarak ağdan beklenen üst düzey performansı sergilemeyi başarmış görünmektedir. Söz konusu protokolde veri iletimi için önemli olan taşıma ve ağ katmanları üzerinde birlikte çalışılmış ve sonuçta çoklu ortam verisinin ihtiyaç duyduğu hizmet kalitesi karşılanabilmiştir. Ayrıca geliştirilen protokolün çok yollu iletme izin vermesi trafik yükünün ağ üzerinde

paylaştırılmasını ve düğümlerin kısıtlı olan enerjilerinden ağ genelinde daha uzun süre faydalanılması sağlanmıştır.

Bu tezde yapılan çalışmanın dışında kalan veri iletiminde performans ve enerji açısından önemli diğer bir katman olan veri bağı katmanının ayrıca ele alınması gerektiği düşünülmektedir. Özellikle geliştirilen protokolda çoklu ortam verisinin doğası gereği ürettiği patlamalı trafik ve ağda oluşturduğu aşırı yük göz önünde tutulmuş olsa da veri bağı katmanından kaynaklanan bir takım sorunlar göz ardı edilmiştir. Çoklu ortam verisinin iletimi için trafiğin akış yönünü ve iletilen paket türünü ayırt edip buna göre veri bağı katmanında gerekli düzenlemeleri yaparken enerji tüketimini de en aza indiren bir protokole ihtiyaç duyulmaktadır. Söz konusu protokolün diğer katman protokolleri ile karşılıklı bilgi alışverişi yaparak ağın performansını en üst seviyeye çıkaracak önlemler alması gerekmektedir. Dolayısıyla çoklu ortam trafiği için kablosuz algılayıcı ağların veri bağı katmanında kapsamlı ve yetkin çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] Yu, Y., Prasanna, V. K., Krishnamachari, B., " Information Processing and Routing in Wireless Sensor Networks ", *World Scientific*, USA, 1-22 (2006).
- [2] Chee-Yee Chong, Kumar, S.P., "Sensor networks: evolution, opportunities, and challenges", *Proceedings of the IEEE*, 91(8) : 1247-1256 (2003).
- [3] Warneke, B.A., Pister, K.S.J., "MEMS for distributed wireless sensor networks", *9th International Conference on Electronics, Circuits and Systems*, 1 : 291 – 294 (2002).
- [4] Akyildiz, I. F., Su, W., Sankarasubramaniam, Y. and Cayirci, E., "Wireless sensor networks: A survey", *Computer Networks*, 38(4) : 393–422 (2002).
- [5] Wang, Q. Balasingham, I., "Wireless Sensor Networks: Application-Centric Design", *InTech Publisher*, 1-14 (2010).
- [6] Arampatzis, T., Lygeros, J., and Manesis, S., "A survey of applications of wireless sensors and wireless sensor networks", *Mediterranean Conference on Control and Automation*, Limassol, 719-724 (2005).
- [7] Akyildiz, I. F., Melodia, T., AND Chowdhury, K. R., "Wireless Multimedia Sensor Networks: Applications and Testbeds", *Proceedings of the IEEE*, 96(10) : 1588-1605 (2008).
- [8] Lee, J., Jung, I., "Reliable asynchronous image transfer protocol in wireless multimedia sensor networks", *Sensors*, 10 : 1486-1510 (2010).
- [9] Wlesbeck, W., Clchon, D. J., "The link from Heinrich Hertz to modern communication", *Microwave Conference*, 2 : 886-894 (1995).
- [10] Goldsmith, A., "Wireless Communications", *Cambridge University Press*, California, 1-23 (2005).
- [11] Šimek, M., Miča, I., Kácalek, J., Burget, R., "Bandwidth Efficiency of Wireless Networks of WPAN, WLAN, WMAN and WWAN", *Electrotechnic magazine Elektrorevue*, 1-30 (2007).
- [12] Fernandez, L., Blasco, J.M., Hernández, J.F., Montón, E., "Wireless Sensor Networks in Ambient Intelligence", *Workshop on Technologies for Healthcare & Healthy Lifestyle*, Spain, 1-14 (2006).
- [13] Yick, J., Mukherjee, B., Ghosal, D., "Wireless sensor network survey", *Computer Networks*, 52(12) : 2292-233 (2008).

- [14] Mhatre, V., Rosenberg, C., "Homogeneous vs heterogeneous clustered sensor networks: a comparative study", *Communications, 2004 IEEE International Conference*, 6 : 3646- 3651 (2004).
- [15] Alzurqa, E. A., Elmahdy, H. N., Darwish, G., "Improved and Simple Scheduling Scheme for Real-Time Data Communication in Wireless Sensor Networks", *International Journal Of Computers*, 2(4) : 462-469 (2008).
- [16] Chen, D. and Varshney, P. K., "QoS Support in Wireless Sensor Networks: A Survey", *International Conference on Wireless Networks*, USA, 1-7 (2004).
- [17] Sankarasubramaniam, Y., Akan, O. B., Akyildiz, I. F., "ESRT: event-to-sink reliable transport for wireless sensor networks", *Proc. Acm Mobihoc*, 177-188 (2003).
- [18] Intanagonwiwat, C., Estrin, D., Govindan, R., Heidemann, J., "Impact of Network Density on Data Aggregation in Wireless Sensor Networks", *Distributed Computing Systems*, 457- 458 (2002).
- [19] Lo, B., Yang, G. Z., "Architecture for Body Sensor Networks", *Perspective in Pervasive Computing*, 23–28 (2005).
- [20] Zhao, L., Zhang, W., Xu, C., Xu, Y. and Li, X., "Energy-aware System Design for Wireless Sensor Network", *Acta Automatica Sinica*, 32(6) : 892-899 (2006).
- [21] Kostadinovid, M., Bundalo, Z., Bundalo, D., Popovic, B., "Problem of Packet Loss in Wirelesshart Network", *13th International Research/Expert Conference "Trends in the Development of Machinery and Associated Technology" - TMT 2009*, Hammamet, 841-844 (2009).
- [22] Almalkawi I. T., Guerrero Zapata M., Al-Karaki J.N., Morillo-Pozo J., "Wireless Multimedia Sensor Networks: Current Trends and Future Directions", *Sensors*, 10(7) : 6662-6717 (2010).
- [23] Misra, S., Reisslein, M., Xue, G., "A survey of multimedia streaming in wireless sensor networks", *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 10(4) : 18-39 (2008).
- [24] Hamid, M. A., Alam, M. M. and Choong Seon Hong., "Design of a QoS-aware Routing Mechanism for Wireless Multimedia Sensor Networks", *IEEE Globecom*, 1-6 (2008).
- [25] Li, S., Neelisetti, R.K., Liu, C. and Lim A., "Efficient Multi-path Protocol For Wireless Sensor Networks", *International Journal of Wireless & Mobile Networks(IJWMN)*, 2(1) : 110-130 (2010).

- [26] Golubchik, L., Lui, J.C.S., Tung, T.F., Chow, A.L.H., Lee, A.W., Franceschinis, G., Anglano, C., "Multi-path continuous media streaming: what are the benefits?", *Performance Evaluation*, 49 : 429-449 (2002).
- [27] Rahman, M. A., Saddik, A. E., Gueaieb, W., "Wireless Sensor Network Transport Layer: State of the Art", *Sensors*, 21 : 221-245 (2008).
- [28] Benson, J. P., Sreenan, C. J., "The Implications of Reliable Data Delivery for Performance in Wireless Sensor Networks", *Informatics Research Initiative of Enterprise Ireland*, 1-8 (2010).
- [29] Ee, C.T. and Bajcsy, R., "Congestion control and fairness for many-to-one routing in sensor networks", *Proc. ACM Sensys*, 461-473 (2004).
- [30] Al-Karaki, J. N., Kamal, A. E., "Routing techniques in wireless sensor networks: a survey", *IEEE Wireless Communications*, 11(6) : 6-28 (2004).
- [31] Sohrabi, K., Gao, J., Ailawadhi, V., Pottie, G.J., "Protocols for self-organization of a wireless sensor network", *IEEE Personal Communications*, 7(5) : 16-27 (2000).
- [32] Subramanya B. M., Shwetha D., Devaraju J. T., "A Performance Study of Proactive, Reactive and Hybrid Routing Protocols using Qualnet Simulator", *International Journal of Computer Applications*, 28 : 10-17 (2011).
- [33] Stankovic, J. A., Abdelzaher, T. E., Chenyang Lu, Lui Sha, Hou, J. C., "Real-time communication and coordination in embedded sensor networks" *Proceedings of the IEEE*, 91(7) : 1002-1022 (2003).
- [34] Demirkol, I., Ersoy, C., Alagoz, F., "MAC protocols for wireless sensor networks: a survey", *IEEE Communications Magazine*, 44(4) : 115-121 (2006).
- [35] A. Rashid, R., Embong, W. M. A. E. W., Azami, Z., Fisal, N., "Development of energy aware TDMA-based MAC protocol for wireless sensor network system", *European Journal of Scientific Research*, 30 (4) : 571-578 (2009).
- [36] Zhang, H., Arora, A., Choi, Y., Gouda, M. G., "Reliable bursty convergecast in wireless sensor networks", *Computer Communications*, 30(13) : 2560-2576 (2007).
- [37] Wang, C., Sohraby, K., Li, B., "SenTCP: A Hop-by-hop Congestion Control Protocol for Wireless Sensor Networks", *IEEE INFOCOM 2005*, USA, 162-170 (2005).

- [38] Wan, C. Y., Eisenman, S. B., Campbell, A. T., "CODA: congestion detection and avoidance in sensor networks", *1st international conference on Embedded networked sensor systems*, USA, 266–279 (2003).
- [39] Stann, F., Heidemann, J., "RMST: reliable data transport in sensor networks", *Sensor Network Protocols and Applications*, 102-112 (2003).
- [40] Intanagonwiwat, C., Govindan, R., Estrin, D., "Directed Diffusion: A Scalable and Robust Communication Paradigm for Sensor Networks", *IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (MOBICOM)*, 56-57 (2000).
- [41] Internet: Baset, S., Schulzrinne, H., "TCP-over-UDP", 1-5 (2009), <http://tools.ietf.org/html/draft-baset-tsvwg-tcp-over-udp-01>.
- [42] Akan, O.B., "Performance of Transport Protocols for Multimedia Communications in Wireless Sensor Networks", *IEEE Communications Letters*, 11(10) : 826-828 (2007).
- [43] Sundani, H., Li, H., Devabhaktuni, V., Alam, M., Bhattacharya, P., "Wireless sensor network simulators: A survey and comparisons", *International Journal of Computer Networks*, 2(6) : 249-265 (2011).
- [44] Xiaodong Xian, Weiren Shi, He Huang, "Comparison of OMNET++ and other simulator for WSN simulation", *IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications - ICIEA* , 1439-1443 (2008).
- [45] A. Varga, R. Hornig, "An overview of the OMNeT++ simulation environment", *Proc. 1st Int. Conf. on Simulation Tools and Techniques for Communications*, France, 1–10 (2008).
- [46] Boulis, A., "Castalia User's Manual (Version 3.2)", *National ICT Australia Ltd (NICTA)*, 7-10 (2011).
- [47] Marchi, B., Grilo, A., Nunes, M., "DTSN: Distributed Transport for Sensor Networks", *Computers and Communications*, 165-172 (2007).
- [48] EffatParvar, M. R., Teymoori, P., Yazdani, N., Movaghar, A., EffatParvar, M., "Evaluating Effectiveness of DSDV Routing Protocol on IEEE 802.11n Wireless LANs", *International Journal of Electrical & Computer Sciences (IJECS)*, 10(3) : 41-47 (2010).
- [49] Sierksma, G., Ghosh, D., "Networks in Action: Text and Computer Exercises in Network Optimization", *Springer*, 26-27 (2009).
- [50] Kumkum, G., "Mobile Computing: Theory and Practice", *Pearson Education*, India, 85-88 (2010).

- [51] Rocha, F., Grilo, A., Pereira, P.R., Nunes, M.S., Casaca, A., "Performance Evaluation of DTSN in Wireless Sensor Networks", *EuroNGI Workshop*, 1-9 (2008).
- [52] Almeida, J., Grilo, A., Pereira, P.R., "Multimedia Data Transport for Wireless Sensor Networks", *Next Generation Internet Networks*, 1-8 (2009).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : AYGÖR, Derviş

Uyruğu : T.C.

Doğum tarihi ve yeri : 13.03.1984 Kırıkkale

Medeni hali : Bekâr

Telefon : 0 (312) 2792520

e-mail : dervisaygor@gmail.com.tr

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	İstanbul Üniversitesi / Bilgisayar Mühendisliği	2009
Lise	Kırıkkale Anadolu Lisesi	2002