

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KABLOSUZ ÇOKLUORTAM ALGILAYICI AĞLAR
İÇİN QoS DESTEKLİ VE UYARLANABİLİR MAC
PROTOKOLÜ TASARIMI**

DOKTORA TEZİ

Yunus ÖZEN

Enstitü Anabilim Dalı : **BİLGİSAYAR VE BİLİŞİM
MÜHENDİSLİĞİ**
Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Cüneyt BAYILMIŞ**

Ocak 2018

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KABLOSUZ ÇOKLUORTAM ALGILAYICI AĞLAR
İÇİN QoS DESTEKLİ VE UYARLANABİLİR MAC
PROTOKOLÜ TASARIMI

DOKTORA TEZİ

Yunus ÖZEN

Enstitü Anabilim Dalı : BİLGİSAYAR VE BİLİŞİM
MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 25/01/2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.



Prof. Dr.
Celal ÇEKEN
Jüri Başkanı



Doç. Dr.
Cüneyt BAYILMIŞ
Üye



Doç. Dr.
Ahmet ZENGİN
Üye



Doç. Dr.
Kerem KUÇUK
Üye



(Doç. Dr.
Müfit ÇETİN
Üye

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.


Yunus ÖZEN

27.12.2017

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasında danıőmanlıđımı yaparken bilgi ve birikimlerinden yararlandığım değerli hocam Doç. Dr. Cüneyt BAYILMIŞ'a, tez jürimde bulunan ve fikirleriyle katkıda bulunan Prof. Dr. Celal ÇEKEN ile Doç. Dr. Kerem KÜÇÜK'e ve özellikle maddi ve manevi desteklerini üzerimden eksik etmeyen değerli eőim ile aileme ve emeği geçen herkese teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
TABLolar LİSTESİ.....	ix
ÖZET.....	x
SUMMARY	xi
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
1.1. Tez Çalışmasının Konusu ve Problemin Tanımlanması	2
1.2. Literatürde Sunulan Çalışmaların Özetleri.....	3
1.3. Tez Çalışmasının Katkıları.....	4
1.4. Tez Organizasyonu.....	5
BÖLÜM 2.	
KABLOSUZ ÇOKLUORTAM ALGILAYICI AĞLARINDA SERVİS KALİTESİ 6	
2.1. Giriş.....	6
2.2. Kablosuz Çokluortam Algılayıcı Ağları	6
2.3. KÇAA’larda Sorunlar ve Mevcut Çözüm Önerileri	11
2.3.1. Yüksek bant genişliği gereksinimi	12
2.3.2. Çokluortam kodlama teknikleri.....	12
2.3.3. Uygulamaya özgü servis kalitesi gereksinimleri.....	12
2.3.4. Kçaa’larda gerçek zamanlı çokluortam akışlandırma	13
2.4. KÇAA’larda Ortam Erişim Katmanı Gereksinimleri.....	13
2.4.1. Çekişmesiz şemalar	14

2.4.2. Çekişme tabanlı şemalar.....	14
2.4.3. Melez şemalar	15
2.4.4. Aciliyet içeren uygulamalar için oek şeması seçimi	15
2.5. KÇAA’larda Servis Kalitesi İçin OEK Protokolleri	18
2.6..Sonuç	22

BÖLÜM 3.

KABLOSUZ ÇOKLUORTAM ALGILAYICI AĞLARI İÇİN SERVİS KALİTESİ DESTEĞİ SAĞLAYAN YENİ BİR OEK PROTOKOLÜ (urgMAC)	24
3.1. Giriş	24
3.2. Geliştirilen KÇAA OEK Protokolü Yapısı ve Alt Bileşenleri	24
3.2.1. İki aşamalı servis farklılaştırma mekanizması	25
3.2.2. Uyarlamalı veri iletim hızı oranı belirleme mekanizması	26
3.2.3. Aciliyet temelli çekişme penceresi boyutu uyarlama algoritması	27
3.2.4. Trafik tipi uyarlamalı görev döngüsü	29
3.2.5. Çokluortam mesaj gönderimi	30
3.3. urgMAC Benzetim Modeli.....	30
3.3.1. Riverbed modeller benzetim yazılımı	31
3.3.2. Proje modeli	31
3.3.3. Düğüm modeli	32
3.3.4. Süreç modeli.....	34
3.3.5. Paket biçimleri.....	37
3.4. Sonuç	40

BÖLÜM.4.

ÖRNEK BİR AĞ BENZETİMİ VE BAŞARIM DEĞERLENDİRMESİ.....	41
4.1. Giriş	41
4.2. Benzetim Parametreleri	41
4.3. Başarım Değerlendirmesi	42
4.4. Algılayıcı Düğümler Üzerinde Uygulama	50
4.5. Sonuç	53

BÖLÜM 5.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER	55
5.1. Sonuçlar.....	55
5.2. Tartışma Ve Öneriler.....	56
KAYNAKLAR	57
ÖZGEÇMİŞ	59

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

AAK	: Ağırlıklı Adaletli Kuyuklama
ACT	: Acil Trafik
ACK	: Alındı Onay Paketi (Acknowledgement)
AÇU	: Aciliyet Temelli Çekişme Penceresi Boyutu Uyarlama
AEÇT	: Acil En İyi Çaba Trafik
AGOT	: Acil Gerçek Zamanlı Olmayan Trafik
AGZT	: Acil Gerçek Zamanlı Trafik
AOT	: Acil Olmayan Trafik
ASM	: İki Aşamalı Servis Farklılaştırma Mekanizması
BEB	: İkili Üstel Geri Çekilme (Binary Exponential Backoff)
CSMA	: Taşıyıcı Dinleyen Çoklu Erişim (Carrier Sense Multiple Access)
CSMA/CA	: Taşıyıcı Dinleyen Çoklu Erişim / Çarpışmadan Kaçınma (Carrier Sense Multiple Access / Collision Avoidance)
CTS	: Gönderime uygun (Clear to Send)
ÇMG	: Çokluortam Mesaj Gönderimi
ÇP	: Çekişme Penceresi
ÇP _{min}	: En Küçük ÇP
ÇP _{mak}	: En Büyük ÇP
DCF	: Dağıtık Koordinasyon Fonksiyonu (Distributed Coordination Function)
EÇT	: En İyi Çaba Trafik
fps	: Saniyedeki çerçeve oranı
GOT	: Gerçek Zamanlı Olmayan Trafik
GZT	: Gerçek Zamanlı Trafik
IEEE	: Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü (Institute of Electrical and Electronics Engineers)

ISO	: Uluslararası Standardizasyon Organizasyonu (International Organisation for Standardisation)
ms	: Milisaniye
KAA	: Kablosuz Algılayıcı Ağı
KÇAA	: Kablosuz Çokluortam Algılayıcı Ağı
MAC	: Ortam Erişim Kontrol (Medium Access Control)
OEK	: Ortam Erişim Kontrol
OSI	: Açık Sistemler Arabağlaşımı (Open Systems Interconnection)
QoS	: Servis Kalitesi (Quality of Service)
RTS	: Gönderme isteği (Request to Send)
s	: Saniye
SMAC	: Sensor-MAC
TDMA	: Zaman Bölmeli Çoklu Erişim (Time Division Multiple Access)
TGD	: Trafik Tipi Uyarlamalı Görev Döngüsü
UHM	: Uyarlamalı Veri İletim Hızı Oranı Belirleme Mekanizması
urgMAC	: Aciliyet Farkındalıklı OEK Protokolü (Urgency-First MAC Protocol)

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. KÇAA genel şeması (Hayat ve ark., 2017).....	7
Şekil 2.2. KÇAA ağ yerleşimi (Li-minn ve ark., 2013).....	8
Şekil 2.3. KÇAA çokluortam düğüm bileşenleri (Li-minn ve ark., 2013).....	9
Şekil 2.4. KÇAA skaler düğüm bileşenleri (Li-minn ve ark., 2013)	10
Şekil 2.5. Slotsuz CSMA/CA akış diyagramı (Al Rasyid ve ark., 2014).	17
Şekil 2.6. DCF ve RTS/CTS ile paket gönderimi (Olifer ve Olifer, 2005).....	18
Şekil 3.1. urgMAC blok diyagramı.....	24
Şekil 3.2. ASM ve UHM akış diyagramı	27
Şekil 3.3. Trafik tiplerine göre ÇP aralıkları.....	28
Şekil 3.4. ÇP uyarılama algoritması.....	29
Şekil 3.5. Trafik tiplerine göre uyku-uyanıklık döngüsü	29
Şekil 3.6. DCF ve RTS/CTS ile ÇMG uygulanmış paket gönderimi.	30
Şekil 3.7. Proje modeli	32
Şekil 3.8. Düğüm modelleri	34
Şekil 3.9. Algılayıcı düğüme ve baz istasyonuna ait süreç modeli.....	35
Şekil 3.10. GZT veri paketi.....	37
Şekil 3.11. GZT parçalanmış veri paketi	38
Şekil 3.12. GOT veri paketi	38
Şekil 3.13. EÇT veri paketi	38
Şekil 3.14. ACK paketi	39
Şekil 3.15. RTS paketi	39
Şekil 3.16. CTS paketi	40
Şekil 4.1. ASM ve UHM'nin etkileri.....	43
Şekil 4.2. ASM, UHM ve AÇU'nun etkileri.....	44
Şekil 4.3. ASM, UHM, AÇU ve TGD'nin etkileri	45
Şekil 4.4. Geliştirilen bütün mekanizmaların kullanılması ile acil ve acil olmayan trafiğin birlikte iletilmesi.....	46

Şekil 4.5. Karşılaştırmalı ortalama uçtan uca gecikme sonuçları	47
Şekil 4.6. Karşılaştırmalı alınan trafik oranı sonuçları	48
Şekil 4.7. Karşılaştırmalı ortalama enerji tüketim sonuçları.....	49
Şekil 4.8. Karşılaştırmalı ortalama enerji tüketimi ve uçtan uca gecikme sonuçları	50
Şekil 4.9. Deney düzeni görüntüsü	51
Şekil 4.10. Paket gönderim süreleri	52
Şekil 4.11. Alıcı düğümü dikkate alan paket gönderim süreleri	53

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 2.1. Çekişmeli ve çekişmesiz şemaların karşılaştırılması.....	16
Tablo 2.2. KÇAA'lar için servis kalitesi desteği sağlayan OEK protokolleri	22
Tablo 4.1. Trafik sınıfları	42
Tablo 4.2. Benzetim parametreleri.....	42
Tablo 4.3. Uygulama parametreleri	51

ÖZET

Anahtar kelimeler: Uyarlamalı servis kalitesi desteği, Katmanlar arası etkileşim, Ortam erişim kontrol protokolü, Kablosuz çokluortam algılayıcı ağları.

Kablosuz Çokluortam Algılayıcı Ağları farklı servis kalitesi ve aciliyet kısıtları olan heterojen veri taşımaktadır. Geleneksel Kablosuz Algılayıcı Ağları enerji tüketimini en aza indirmeye odaklanırken Kablosuz Çokluortam Algılayıcı Ağları çokluortam iletme servis kalitesi sağlamaya odaklanmaktadır. Aciliyet zorlukları ile mücadele etmek için, bu tez çalışmasında urgMAC adı verilen yeni bir trafik ve servis kalitesi farkındalıklı katmanlar arası etkileşimli ortam erişim katmanı protokolü sunulmaktadır. urgMAC, uygulama katmanında doğa gözleme, askeri sınır güvenliği ve sınır gözleme gibi uygulamaya özgü aciliyet zorlukları içeren uygulamalar için dinamik olarak video kalitesi ödünü ile birlikte sürekli servis kalitesi desteği sağlamayı hedeflemektedir. Bu amaçla urgMAC İki Aşamalı Servis Farklılaştırma, Uyarlamalı Veri İletim Hızı Oranı Ayarlama, Aciliyet Temelli Çekişme Penceresi Boyutu Uyarlama, Trafik Tipi Uyarlamalı Görev Döngüsü ve Çokluortam Mesaj Gönderimi adlı yeni mekanizmalar içermektedir. urgMAC Riverbed Modeller modelleme ve benzetim yazılımı ile modellenmiştir. Başarım değerlendirmesi kapsamında literatürdeki en son çalışmalarla karşılaştırılmış, uçtan uca gecikme ve kanal kullanımı açısından daha iyi sonuçlar sunduğu görülmüştür.

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A CROSS LAYER MEDIUM ACCESS CONTROL PROTOCOL FOR WIRELESS MULTIMEDIA SENSOR NETWORKS

SUMMARY

Keywords: Adaptive quality of service support; Cross-layer design; Medium access control protocol; Wireless multimedia sensor networks.

Wireless Multimedia Sensor Network is a kind of Wireless Sensor Network generating heterogeneous traffic with diverse urgency and quality of service requirements. Wireless Multimedia Sensor Networks offer QoS support for multimedia traffic while Wireless Sensor Networks try to minimize energy consumption considering the resource constrained nature of sensor nodes, unreliable wireless links and unpredictable environments. A new traffic and QoS-aware cross layer Medium Access Control protocol for Wireless Multimedia Sensor Networks namely urgMAC is proposed in this thesis to cope with urgency challenges. The urgMAC provides continuous QoS support for applications such as habitat monitoring, military border surveillance and border monitoring containing specific urgency challenges with multimedia quality tradeoff at the application layer dynamically. Multimedia traffic transmission challenges are mostly related to application layer. The urgMAC utilizes application layer to provide better QoS in MAC layer, in case of congestion or queue overflows. The urgMAC is based on a carrier sense multiple access/collision avoidance (CSMA/CA) approach. The urgMAC provides new mechanisms called Two Tiered Service Differentiation, Adaptive Data Rate Adjustment, Urgency-based Contention Window Size Adaptation, Traffic Type Adaptive Duty Cycle and Multimedia Message Passing. The urgMAC has been modeled and simulated by Riverbed modeling and simulation software. In addition, the urgMAC is compared with the recent protocols in the literature, and it achieves better results in terms of end-to-end delay and channel utilization.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Kablosuz Çokluortam Algılayıcı Ağları (KÇAA), birbirlerine bir ağ ile bağlı, kamera ve mikrofon gibi algılayıcılara sahip donanımların oluşturduğu, çokluortam içeriğin belli bir servis kalitesinde iletilmesini sağlayacak mekanizmalara ihtiyaç duyan Kablosuz Algılayıcı Ağ (KAA) çeşididir. Kablosuz algılayıcı ağlarının yapıları gereği protokol yığınındaki bütün katmanlar birbirine bağımlıdır. Gecikme, güvenilirlik, iş çıkarma yeteneği ve hata oranı gibi servis kalitesi (QoS) kısıtlarını karşılamak için katmanlar arası etkileşimli protokol tasarımlarına ihtiyaç vardır. Ortam erişim katmanı (OEK) üst katmanların tamamına hizmet verdiği için bu katmanda servis kalitesi sağlamadan diğer katmanlarda servis kalitesi sağlamak zordur. OEK'in örneğin uygulama katmanı gibi diğer katmanlarla etkileşimli olarak servis kalitesi sağlaması algılayıcı ağının toplam başarımını etkileyecektir.

Bu tez çalışmasının temel amacı, KÇAA için katmanlar arası etkileşimli bir OEK tasarımı ve gerçekleştirilmesidir. KAA uygulamaları genellikle bant genişliği gereksinimi düşük olan, gecikmeye duyarlı olmayan uygulamalardır, KÇAA ise farklı servis kalitesi ve aciliyet kısıtları olan heterojen veri taşımaktadır. KAA'lar enerji tüketimini en aza indirmeye odaklanırken KÇAA'lar çokluortam verisine QoS sağlamaya odaklanmaktadır. KÇAA için geliştirilecek OEK protokolleri KAA OEK protokollerinden farklı özelliklere sahip olacaktır. Ayrıca algılayıcı ağ uygulamalarının her türü için çözüm olacak bir protokol tasarlamak zordur. Geliştirilen protokollerin başarımı uygulama senaryosuna göre değişecektir.

Sunulan tez çalışması kapsamında geliştirilen Aciliyet Farkındalıklı OEK Protokolü (urgMAC) adlı protokol bir acil durum senaryosunda ağın aciliyet temelli ihtiyaçlarını

göz önüne alacak şekilde tasarlanmıştır (Ozen ve ark., 2017). urgMAC trafik ve QoS farkındalıklı katmanlar arası etkileşimli bir OEK protokolüdür. Uygulama katmanında çevresel izleme, askeri amaçlarla sınır gözleme ve gelişmiş sağlık hizmetleri sunumu gibi uygulamaya özgü aciliyet zorlukları içeren uygulamalar için dinamik olarak video kalitesi ödünleşmesi ile birlikte sürekli QoS desteği sağlamayı hedeflemektedir. Algılayıcı ağlarının ölçeklenebilir ve kendi kendine organize olabilen bir yapıda olması öngörülmektedir. Bu özellikler göz önüne alındığında urgMAC Taşıyıcı Dinleyen Çoklu Erişim / Çarpışmadan Kaçınma (CSMA/CA) tabanlı kullanıma yönelik tasarlanmıştır.

Yapılan değerlendirmelerde, önerilen OEK protokolü servis kalitesi gereksinimlerini tamamen sağlamakla beraber karşılaştırılan diğer protokollere göre daha yüksek başarımlar elde edilmiştir.

1.1. Tez Çalışmasının Konusu ve Problemin Tanımlanması

Uygulamaya özgü acil durum gereksinimleri olan hedef izleme, çevre gözleme, sağlık gözleme, endüstriyel gözlem, doğa gözleme, askeri sınır güvenliği ve sınır gözleme gibi uygulamalarda kullanılacak bir KÇAA OEK protokolünde bulunması gereken özellikler aşağıda listelenmiştir.

- KÇAA'lar sabit veri, görüntü ve ses gibi farklı trafik tipleri iletmektedir. Bu trafik tiplerinin kendi aralarında önceliklendirilmesi gerekmektedir.
- Çekişme tabanlı ortam erişim şemalarında enerji çoğunlukla alma - verme, çekişme periyodu ve çarpışma çözümü sırasında tüketilmektedir. Düğüm üzerinde enerji tasarrufu ve komşu düğümlere öncelik tanıma bağlamında çekişme penceresi (ÇP) boyutu uyarlamasına ihtiyaç vardır.
- Algılayıcı düğümlerin iletim, alma, boşa dinleme ve uyku gibi çalışma düzenleri bulunmaktadır. Boşa dinleme düzenindeki enerji tüketimi alma düzenindeki tüketime yakınen uyku düzenindeki çok daha düşüktür. Bununla birlikte uyku

düzeninde kalma süresi trafiğin gecikmesini de etkilemektedir. Çalışma-dinleme-uyku çizelgeleri uygulamanın ihtiyaçlarına göre organize edilmelidir.

- KÇAA düğümleri resim ve görüntü gibi büyük veri paketleri üretmektedir. Büyük veri paketleri küçük paketlere kıyasla daha fazla iletişim hatasına eğilimlidir. İletişim hatalarının en aza indirilmesi için mekanizmaların geliştirilmesine ihtiyaç bulunmaktadır.
- Katmanlı protokol yığını, QoS desteği sunmakta yetersiz kalabilmektedir. Katman hiyerarşisinden ötürü ve kendi aralarında etkileşim olmadığı için çeşitli katmanlarda bağımsız çalışan protokoller yeterince eniyilenememektedir.

Bir KÇAA OEK protokolü aciliyet içeren çokluortam verisine QoS desteği sağlamak için yukarıda sayılan problemler ve darboğaz oluşturan durumlar için çözümler sunulmalıdır. Aksi halde servis kalitesinin sürdürülebilirliği, kanal kullanım verimi ve istenen iletim hızı garanti edilemez.

1.2. Literatürde Sunulan Çalışmaların Özetleri

Literatürde KÇAA'larda QoS desteği sağlamak amacıyla çeşitli OEK protokolleri önerilmektedir. QoS sağlamayı hedefleyen bu OEK protokollerinin gecikme, iş çıkarma oranı ve verimlilik (enerji, bant genişliği vb.) parametrelerini dikkate aldığı görülmektedir. Bu çalışmaları erişim mekanizmalarına göre üç kısımda özetleyebiliriz; çekişme tabanlı, çekişmesiz ve melez çalışmalar. Yapılan çalışmalar uygulandıkları alanın ihtiyacına göre bu erişim mekanizmalarından birini veya melez olarak birkaç erişim mekanizmasını aynı anda kullanmaktadır. Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde çekişme tabanlı şemaların kolay uygulanabildiği ve altyapıdan bağımsız algılayıcı ağları için daha uygun olduğu görülmektedir. Çekişme tabanlı şemalar ağ topolojisi ve trafik yükü hakkında ek bilgiye ihtiyaç duymazlar ve değişen ağ boyutu ve yoğunluğuna kolay uyum sağlayarak ölçeklenebilirlik sağlarlar (Yiğitel ve ark., 2011). Bölüm 2'de tez çalışması kapsamında incelenen literatür çalışmaları ayrıntılı olarak verilmektedir.

1.3. Tez Çalışmasının Katkıları

Bu tez çalışmasında literatüre katkı olarak;

- urgMAC adında yeni bir trafik ve QoS farkındalıklı katmanlar arası etkileşimli OEK protokolü geliştirilmiştir ve özellikli aciliyet kısıtı içeren uygulamalar için dinamik olarak video kalitesi ödünü ile birlikte sürekli QoS desteği garanti edilmiştir.
- Yeni geliştirilen bir iki aşamalı servis farklılaştırma mekanizması (ASM) ile trafik Acil Trafik (ACT) ve Acil Olmayan Trafik (AOT) olarak ikiye ayrılmaktadır. Bu trafik sınıflarının her biri daha sonra Gerçek Zamanlı Trafik (GZT), Gerçek Zamanlı Olmayan Trafik (GOT) ve En İyi Çaba Trafik (EÇT) olmak üzere üçe ayrılmaktadır. Acil olan trafik önceliklendirilmekte ve acil çokluortam trafiğine QoS desteği sağlanmaktadır.
- Geliştirilen yeni uyarlamalı veri iletim hızı oranı ayarlama mekanizması (UHM) ile bağlantı katmanındaki acil çokluortam trafiğe dair bir katsayı uygulama katmanına aktarılmakta, veri iletim hızı oranı bu katsayıya göre uyarlanmakta, böylece katmanlar arası etkileşimli bir yapı oluşturulmaktadır.
- Geliştirilen aciliyet temelli çekişme penceresi boyutu ayarlama mekanizması (AÇU) ile trafik sınıflarına göre birbirleri ile çakışmayan ÇP aralıkları belirlenmiştir.
- Geliştirilen trafik tipi uyarlamalı görev döngüsü (TGD), trafik tipine göre farklı görev döngüleri önermektedir.
- Önerilen çokluortam mesaj gönderimi mekanizması (ÇMG) ile büyük paketler daha küçük paketlere bölünmektedir.

1.4. Tez Organizasyonu

Sunulan tez çalışmasının sonraki bölümleri şu şekilde düzenlenmiştir. Bölüm 2’de KÇAA hakkında genel bir bilgi verilmektedir. KÇAA’larda sorunlar ve mevcut çözüm önerileri listelenmektedir. Gerçek zamanlı çokluortam trafiği için servis kalitesi gereksinimleri detaylı bir şekilde açıklanmaktadır. Son olarak literatürde yer alan servis kalitesi desteği sağlayan OEK çalışmaları anlatılarak karşılaştırılması sunulmaktadır.

Bölüm 3’te, önerilen urgMAC adlı OEK protokolü ve çalışma prensipleri verilmektedir. Geliştirilen şema ve mekanizmalar ayrıntılı olarak ele alınmaktadır.

Bölüm 4’te geliştirilen OEK protokolünün örnek bir ağ uygulaması üzerinden başarımlı değerlendirilmesi uçtan-uca gecikme, iş çıkarma oranı ve güç tüketimi parametrelerine göre sunulmaktadır. Benzetim sonuçları ve başarımlı değerlendirilmesi literatürdeki benzer çalışmalar (SMAC, Diff-MAC ve XL-WMSN) ile karşılaştırılarak verilmektedir.

Bölüm 5’te ise tez çalışmasında geliştirilen servis kalitesi desteği sağlayan OEK protokolüne ait sonuçlar ve genel değerlendirmeler aktarılmaktadır.

BÖLÜM 2. KABLOSUZ ÇOKLUORTAM ALGILAYICI AĞLARINDA SERVİS KALİTESİ

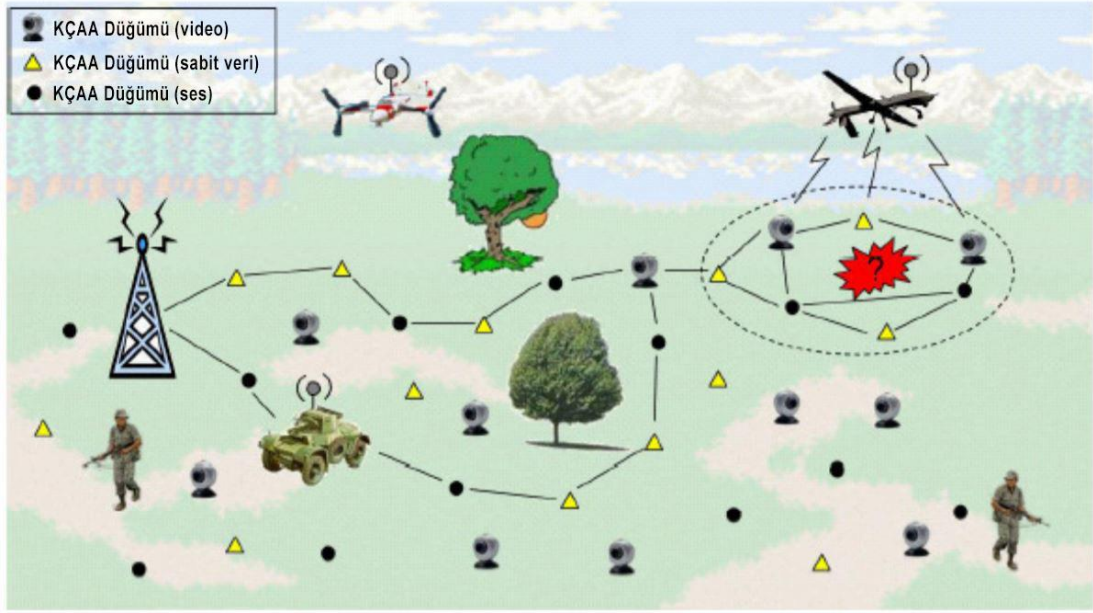
2.1. Giriş

Son yıllarda kamera ve mikrofon donanımlarının maliyetinin düşmesi sabit algılayıcı verisine ek olarak akan görüntü, akan ses ya da resim gibi çokluortam verilerinin çevreden toplanması işlerini yapabilen, birbirlerine bir ağ ile bağlı kamera ve mikrofon gibi algılayıcılara sahip KÇAA donanımlarının üretilmesini de olanaklı hale getirdi. Donanım üretiminde yaşanan gelişmeler ve daha küçük boyutta üretim olanakları sayesinde tek bir algılayıcı düğüm ses ve görüntü yakalama bileşenlerine de sahip olabilmektedir. Bununla birlikte algılayıcı düğümler çokluortam verisini saklama, gerçek zamanlı işleme, farklı kaynaklardan gelen çokluortam verilerini birleştirme gibi işlemler de yapabilmektedir.

Bu bölümde KÇAA'lar, uygulama alanları, problemler ve önerilen çözümler, KÇAA'larda çokluortam akışlandırma, OEK gereksinimleri, OEK şemaları açıklanmaktadır. Literatürde QoS desteği için sunulan çekişme tabanlı OEK protokolleri eksiklik yanları da vurgulanarak sunulmaktadır.

2.2. Kablosuz Çokluortam Algılayıcı Ağları

KÇAA birbirlerine bir ağ ile bağlı, kamera ve mikrofon gibi algılayıcılara sahip donanımların oluşturduğu, çokluortam içeriğinin belli bir servis kalitesinde iletilmesini sağlayacak mekanizmalara ihtiyaç duyan KAA çeşididir (AlNuaimi ve ark., 2011). Şekil 2.1.'de KÇAA'lara ait genel şema gösterilmektedir.



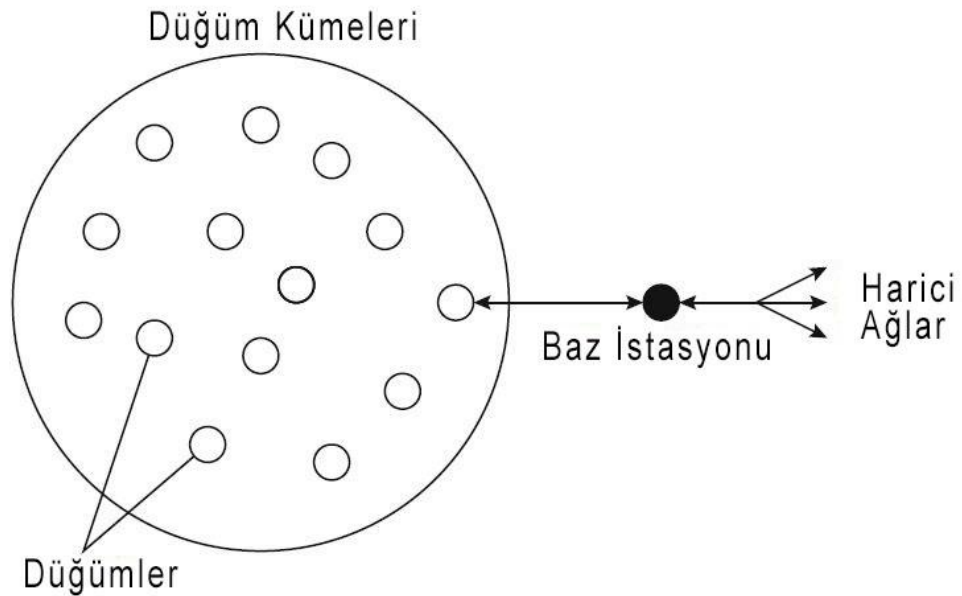
Şekil 2.1. KÇAA genel şeması (Hayat ve ark., 2017)

KÇAA'lar sayısal sinyal işleme, iletişim, ağ ve kontrol sistemleri gibi çeşitli araştırma alanları altında çalışmalara konu olmaktadır. Çeşitli kameralardan toplanan çoklu ortam verisini birleştirme saklama ve gönderme işlemleri yapabilmektedir. Dağıtık çoklu-kameralar ile kurulan görüntüleme ve izleme sistemleri KÇAA'ların temel kullanım alanı olarak öne çıkmaktadır. Düşük maliyetli birden çok görsel algılayıcıların veya kameraların kullanımı ile büyük bir alanın izlenmesi mümkün olabilmektedir. Aynı alanı gören birden çok kamera olabilmesi yapılan işin güvenilirliğini ve kullanılabilirliğini de artırmaktadır. Bu sayede KAA tiplerinde sıkça karşılaşılan bir düğümün çeşitli nedenlerle çalışmayı durdurması durumunda dağıtık çoklu yapı sayesinde sistemin tamamının işlemez hale gelmesinin de önüne geçilmektedir. KÇAA'lar; mevcut izleme ve gözleme sistemlerine aşağıdaki gibi farklı özellikler kazandırmaktadır (Cucchiara, 2005):

- KÇAA, geleneksel gözleme sisteminde uygulamanın görüş alanını genişletmektedir. Yüksek çözünürlüklü, farklı açılara dönebilen, yüksek maliyetli bir kamera ile bile olsa bütün bir alanı kapsamak mümkün olmayacaktır. Düşük maliyetli birde çok kamera içeren bir KÇAA ile desteklenirse bu sistemin görüş alanı artacak ve gerektiğinde ana kamera ilgili açığa ya da bölgeye yönlendirilebilecektir.

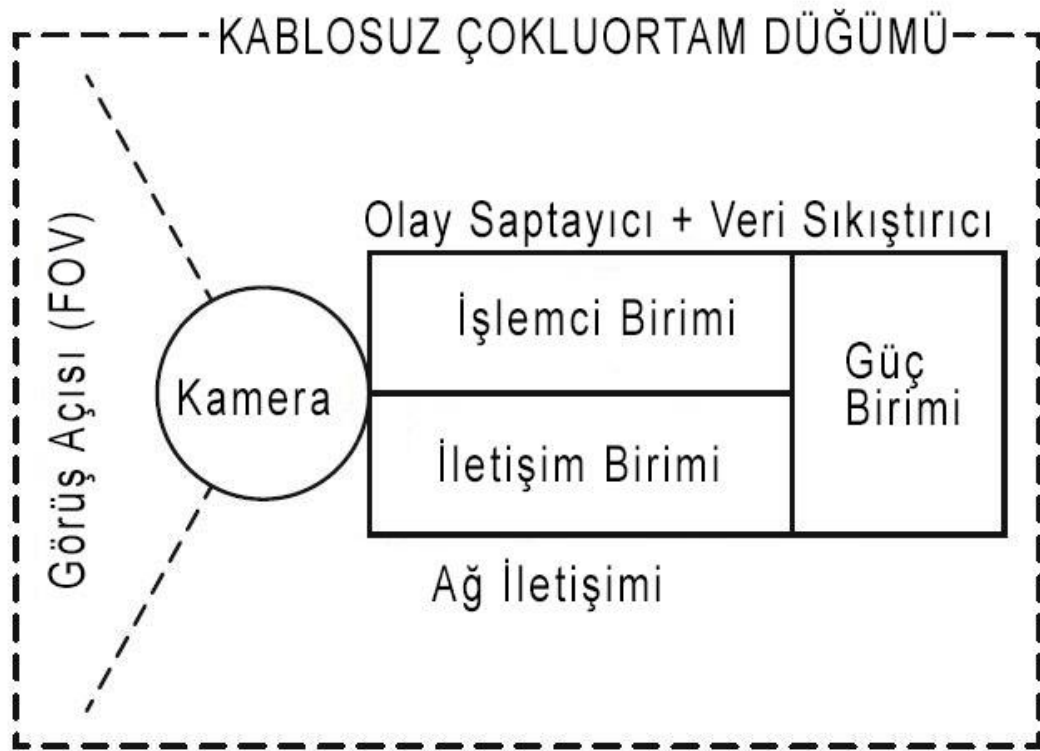
- KÇAA, geleneksel gözleme sisteminin görüşünü iyileştirmektedir. Çoklu kamera sistemi daha geniş görüş açısı sağlayacaktır. KÇAA algılayıcıları kızılötesi kameralar da olabileceği için ışığın yetersiz olduğu zamanlarda ya da normal ışık altında karanlıkta kalan bölgelerde de görüşü iyileştirecektir.
- KÇAA, bir gözleme sistemine bir olay için farklı görüş açıları sağlayabilmektedir. Bir yüksek maliyetli ve yüksek çözünürlüklü sabit konudaki kameranın önündeki cisimler ya da esne yoğunluğu bütün alanı görmesini zorlaştıracaktır. Düşük maliyetli ve düşük çözünürlüklü KÇAA düğümleri ile farklı açılardan da görüş sağlanabilmektedir.

KÇAA için tipik ağ yerleşimi Şekil 2.2.'de görülmektedir. Bir ya da birden çok çıkış düğümü ya da baz istasyonuna sahip çok sayıda düğümün bir coğrafi alana dağıtılması ile oluşmaktadır. Baz istasyonu aynı zamanda koordinatör düğüm olarak da adlandırılmaktadır, çünkü diğer düğümlerin koordinasyonundan veya ortam erişiminden de sorumlu olmaktadır. Bu düğüm bazen diğer düğümlerden toplanan verinin saklandığı ya da diğer bir ağa bağlanmak için arayüz olarak da görev yapıp topladığı veriyi iletmektedir (Li-minn ve ark., 2013).



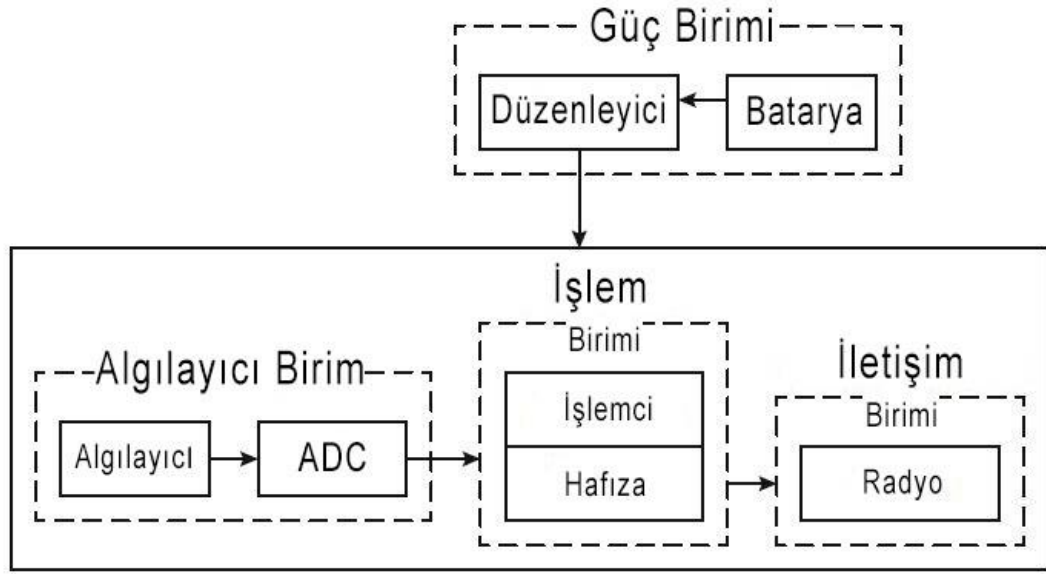
Şekil 2.2. KÇAA ağ yerleşimi (Li-minn ve ark., 2013)

Bir KÇAA düğümü Şekil 2.3.'de görülen bileşenlerden oluşmaktadır. Bir kamera ya da ses algılayıcısı, işlem birimi, iletişim birimi ve güç biriminden oluşmaktadır. Kamera algılayıcısının bir görüş açısı vardır. İşlem birimi iki farklı yapıda çalışabilir. Birinci yaklaşımda her yakaladığı resim çerçevesini JPEG bir resim sıkıştırma formatında kaydedip iletir. İkinci yaklaşımda ise sıcaklık ya da hareket algılayıcısı gibi skaler algılayıcı yardımı ile olayın olup olmadığına karar verir ya da resim işleme yaparak bu kararı verir, sonra da gerekiyorsa gönderir, gerekmiyorsa resim çerçevesini imha eder göndermez. Bu şekilde ağ trafiğinden ve gönder/al sırasında harcanacak olan enerjiden tasarruf eder. Her bir KÇAA düğümünün güç sağlayıcısı vardır, genellikle bu pil olmaktadır (Li-minn ve ark., 2013).



Şekil 2.3. KÇAA çokluortam düğüm bileşenleri (Li-minn ve ark., 2013)

KÇAA'lar çokluortam özelliği olmayan düğümlerle KÇAA çokluortam düğümlerini birlikte kullanarak heterojen ağlar şeklinde de tasarlanabilmektedir. Düğümler bu durumda skaler algılayıcılar içeren ya da sadece iletim görevi gören algılayıcı içermeyen düğümler şeklinde de olabilmektedir. Şekil 2.4.'te bir skaler algılayıcıya sahip düğüm yapısı görülmektedir (Li-minn ve ark., 2013).



Şekil 2.4. KÇAA skaler düğüm bileşenleri (Li-minn ve ark., 2013)

KÇAA'lar düğümlerin yeteneklerine ve gücüne göre de homojen ya da heterojen olabilmektedir. Enerji, işlem gücü ve depolama gibi özellikleri aynı olan düğümlerle homojen bir KÇAA kurulabilmektedir. Heterojen KÇAA'larda ise düğümlerin bir kısmı yüksek yeteneklere sahip bir kısmı zayıf yeteneklerle donatılmış olabilmektedir. Ağ üzerinde bu yüksek özellikli düğümlere daha karmaşık işlemleri yaptırırken düşük özellikli düğümlere de temel gözleme görevleri atanabilir. Böylece ağın ömrü artırılabilir ya da enerji tasarrufu sağlanabilir (Li-minn ve ark., 2013).

KAA uygulamaları genellikle bant genişliği gereksinimi düşük olan, gecikmeye duyarlı olmayan uygulamalardır. KAA'lar; izleme, ev otomasyonu, çevre gözleme gibi görevleri yerine getirebilmektedir. KÇAA'lar ise KAA'ların hâlihazırda yaptığı bu görevlere gelişmiş özellikler katmakla birlikte aşağıda listelenen farklı görevleri de yerine getirebilmektedir (Akyıldız ve ark., 2007):

- Çokluortam gözetim algılayıcı ağları kurulması
- Trafikten kaçınma, uygulama ve denetim sistemleri
- Gelişmiş sağlık hizmetleri sunumu

- Yaşlı ve çocuk izleme için otomatik yardım
- Çevresel izleme
- Kayıp arama hizmetleri
- Endüstriyel süreç denetimi

Yukarıda listelenen farklı görevlerin ve ek işlevlerin yerine getirilebilmesi için çokluortam içeriğin belirli bir hizmet kalitesinde iletilmesini sağlayacak mekanizmalar geliştirilmesi gerekmektedir. Uygulama düzeyinde servis kalitesi sağlanması ve uygulama gereksinimlerinin ağ katmanı metriklerine aktarılması konularında daha fazla çalışma yapılmasına ihtiyaç bulunmaktadır (Akyıldız ve ark., 2007).

Aşağıda listelenen sebeplerden ötürü çokluortam içeriğin algılayıcı ağlarda servis kalitesi ile aktarımında zorluklar vardır:

- Kaynak kısıtları,
- Değişken kanal kapasitesi,
- İşlevselliklerin katmanlararası etkileşimli bir şekilde tümleştirilmesi gereksinimi,
- Çokluortam içeriğin ağ üzerinde işlenmesi ihtiyacı.

2.3. KÇAA’larda Sorunlar ve Mevcut Çözüm Önerileri

KÇAA’lar topladıkları, işledikleri ve ilettikleri çokluortam verilerinden dolayı KAA’lardan farklı özgün gereksinimlere de sahiptirler. Bu gereksinimlerden ortaya çıkan sorunlar ve mevcut çözüm önerileri aşağıda farklı alt başlıklar altında özetlenmektedir (AlNuaimi ve ark., 2011).

2.3.1. Yüksek bant genişliği gereksinimi

Çokluortam algılayıcı düğümler aynı güç gereksinimine sahip standart algılayıcı düğümlere göre daha fazla bant genişliğine ihtiyaç duymaktadırlar. Bant genişliğini verimli kullanan ve öncelikli trafik sınıflarına daha fazla bant kullanım imkânı sunan protokoller geliştirilmelidir.

2.3.2. Çokluortam kodlama teknikleri

KÇAA'lar üzerinde çokluortam işleme ve kaynak kodlama teknikleri kullanılarak gerçek zamanlı çokluortam uygulamalar geliştirilebilmektedir. Kodlama teknikleri; bellek, veri iletim hızı oranı, batarya, işlem gücü ve bant genişliği gibi kaynak kısıtlarını sağlayacak şekilde tasarlanmalıdır.

Uygulamaya özgü servis kalitesi gereksinimleri korunarak yakalanan resim ve görüntüden gerekli olan bilgi elde edilerek ağ üzerinden transfer edilen çokluortam içeriğin miktarını azaltmak için çeşitli çokluortam kodlama teknikleri kullanılmaktadır.

Dağıtık kaynak kodlaması teknikleri, algılayıcı düğümlerdeki işlem karmaşıklığını baz istasyona ya da çıkış düğümüne kaydırarak algılayıcı düğümlerde basit kodlayıcı kullanımını olanaklı hale getirmektedir.

2.3.3. Uygulamaya özgü servis kalitesi gereksinimleri

Geleneksel KAA'lardaki algılayıcı verisine ek olarak KÇAA düğümleri resim ve akan çokluortam içerik de üretebilmektedir.

Çokluortam içeriklerinden olan resim verisi kısa bir zaman diliminde elde edilirken akan çokluortam verisi ise uzun bir zaman diliminde üretilir, verinin sürekli yakalanması ve iletimi gerekmektedir.

Çokluortam uygulamalarının servis kalitesi gereksinimlerini karşılayabilmek için bu uygulamaların özgü ihtiyaçlarına göre eniyelenmiş protokollere ihtiyaç vardır.

2.3.4. Kçaa'larda gerçek zamanlı çokluortam akışlandırma

KçAA'lar görüntü yakalama ve gerçek zamanlı iletme kapasitesine de sahiptirler. Görüntüyü görüntü algılayıcı düğümlerde kodlama ve çıkış düğümüne iletme işlemlerini yapabilirler. Gerçek zamanlı görüntü akışı ağ iletimi sırasında oluşabilecek kayıplar ve uçtan uca gecikme için sıkı gereksinimlere sahiptir.

2.4. KçAA'larda Ortam Erişim Katmanı Gereksinimleri

KçAA'larda KAA'lara ek olarak OEK katmanı protokolü geliştirilebilmesi için ilave gereksinimler vardır. Başlıcaları:

- Uçtan uca gecikme gereksinimlerini karşılamak için paket gecikmelerinin iyileştirilmesi.
- Değişken servis kalitesi gereksinimlerini karşılamak için paketlere çoklu önceliklerin sağlanması.

KAA'larda çokluortam iletişim için önerilen OEK şemaları güç tüketimi ve enerji farkındalıklı olmalıdır. Literatürde enerji farkındalıklı OEK protokolleri mevcut ama bu protokoller enerji farkındalığı ile birlikte gerçek zamanlı planlama ve gerçek zamanlı iletim garantisi sağlamamaktadır. Algılayıcı düğümlerin uyutulması ve farklı güç seviyeleri gibi güç tasarrufu şemaları çokluortam trafiğin gecikme ve iş çıkarma yeteneği sonuçlarını etkilemektedir.

Literatürdeki gerçek zamanlı çokluortam iletişim sağlayan OEK protokolleri çekişmesiz, çekişme tabanlı ve melez olmak üzere üç kategoride gruplandırılabilir.

2.4.1. Çekişmesiz şemalar

Çekişmesiz şemalar kullandıkları zaman bölmeli yapı sayesinde çarpışmayı önlemekte, iş çıkarma yeteneğini artırmakta, gecikmeyi önlemekte ve gerçek zamanlı trafik için destek sağlamaktadır. Bununla birlikte karmaşıktırlar, merkezi denetim gerektirirler ve yaygın algılayıcı düğümlerde desteklenmeyen aynı anda çoklu kanal kullanımı gibi donanımsal gereksinimleri vardır. Zaman bölmeli yapı aynı zamanda ağı ölçeklenmesini de zorlaştırmakta olduğu için altyapıdan bağımsız ağlarda tercih edilmemektedir.

2.4.2. Çekişme tabanlı şemalar

Çekişme ve taşıyıcı algılama tabanlı kablosuz tasarsız ağlar için pek çok OEK katmanı algoritması önerilmiştir. Bu algoritmalar, kablosuz ortamın benzerliği sebebiyle KAA’larda da kullanılabilir. Çekişme tabanlı şema geliştirilirken genellikle OEK seviyesinde servis farklılaştırma sunan IEEE 802.11e standardı temel alınmaktadır. Bu protokollerde servis farklılaştırma ÇP boyutu paketin önceliğine göre değiştirilerek sağlanmaktadır.

Çekişme tabanlı şemaların kullanımı kolaydır, ölçeklenebilirler. Çekişmesiz şemalar gibi çekişme tabanlı şemalar da değişken trafik hacimlerini kaldırabilir ama çekişmesiz şemalardan farklı olarak trafik garantisi sağlamazlar. KCAA’larda kullanılabilmesi için uygun şekilde istatistiksel garantileri sağlayacak mekanizmalara ihtiyaç duymaktadır.

Çekişme tabanlı şemalar kolay uygulanır yapıları nedeniyle altyapıdan bağımsız algılayıcı ağları için daha uygun olarak değerlendirilmektedir. Ayrıca, çekişme tabanlı OEK şemaları ağ hakkında hiçbir bilgiye ihtiyaç duymazlar ve kolay ölçeklenebilirlik sağlarlar (Akyildiz ve ark., 2007).

2.4.3. Melez şemalar

Melez şemalarda iletim genel olarak rezervasyon periyodu (çekişmeli) ve iletim periyodu (çekişmesiz) olmak üzere iki alt periyottan oluşmaktadır. Melez şemalar çekişme tabanlı şemalara göre düğümler arasında daha fazla etkileşim gerektirir. Karmaşık yapıları ve zaman bölmeli çekişmesiz periyotları nedeniyle ölçekleme sorunu yaşayacakları ve servis kalitesi desteği için uygun olmadıkları değerlendirilmektedir.

2.4.4. Aciliyet içeren uygulamalar için oek şeması seçimi

Aciliyet içeren, altyapıdan bağımsız ve ölçeklenebilir uygulamalarda aciliyet içeren trafiği önceliklendirmek ve aciliyet içeren çoklu ortam trafiğine QoS desteği sağlamak için geliştirilecek bir OEK katmanı yukarıda belirtilen özellikler dikkate alındığında çekişme tabanlı bir şema içerecektir.

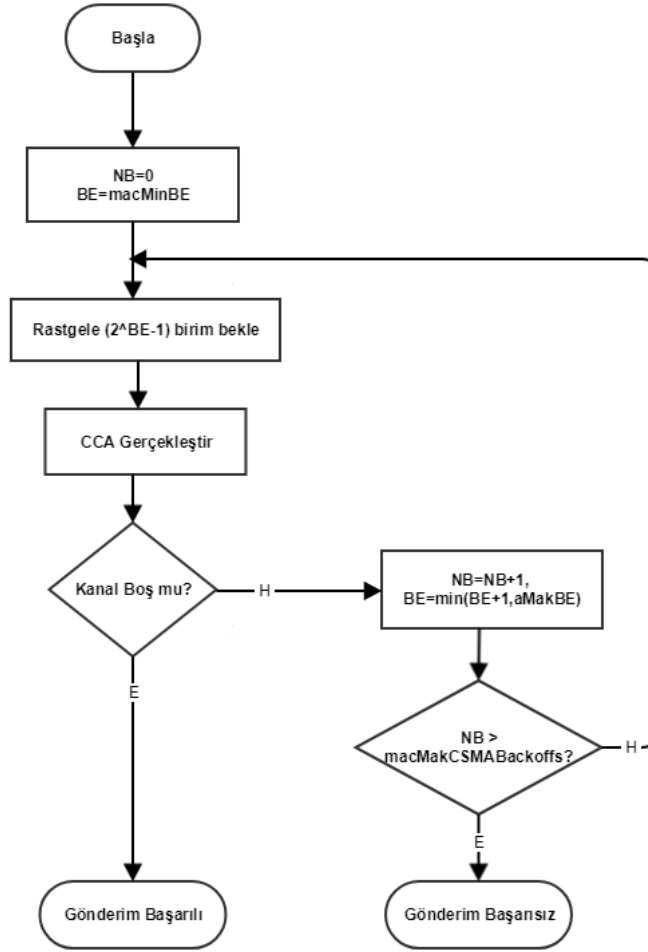
Tablo 2.1.'de çekişme tabanlı şemalar ile çekişmesiz şemaların bir karşılaştırması sunulmaktadır. Tabloya göre çekişmeli şemalar senkronizasyon gerektirmeyen yapıları ile ve karmaşık olmayan yapıları ile dikkat çekmektedir. Yüksek trafikte iş çıkarma yeteneğini düşmekle birlikte ölçeklenebilirliği yüksektir. İş çıkarma yeteneğinin yüksek trafikte artırılması için literatürde çok sayıda çalışma yer almaktadır (Al-Anbagi ve ark., 2016). Çekişmeli şemaların adil olmayan yapısı eniyilenecek bu şemalar QoS desteği için altyapıdan bağımsız ağlarda da kullanılmaktadır. Çekişmeli şemalar topoloji değişiklikleri ile daha kolay başa çıkmaktadır.

Çekişmeli şemalar slotlu mod ve slotsuz mod olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Bu modlar literatürde kılavuzlu mod (beacon-enabled mode) ve kılavuzsuz mod (non beacon-enabled mode) şeklinde de adlandırılmaktadır. Kılavuzlu modda kılavuz çerçevesi, süper çerçeve (superframe) yapısında tanımlanmış şekliyle cihazlar arasındaki senkronizasyonu sağlamak için küme lideri tarafından üretilir. Süper çerçevenin formatı ise küme lideri tarafından tanımlanır. Kılavuzsuz modda ise algılayıcı düğümler ortama basitçe veriyi gönderirler. Şekil 2.5.'te slotsuz CSMA/CA

akış diyagram görülmektedir. Bu modda, süper çerçeve kullanılmamakta ve verilerin alıcı uca varışı için zaman garantisi verilmemektedir (Jurcik ve Koubaa, 2009). Bununla birlikte zaman senkronizasyonu gerektirmediği için daha az karmaşık bir yapıda küme liderine çok bağımlılık gerektirmeyen esnek bir yapı sağlarlar (Wang ve ark., 2009; Rasyid ve ark., 2014).

Tablo 2.1. Çekişmeli ve çekişmesiz şemaların karşılaştırılması

Parametre	Çekişmesiz Şemalar	Çekişmeli şemalar
Senkronizasyonda harcanan enerji	Yüksek	Düşük
İş çıkarma yeteneği	Yüksek trafikte iyi	Düşük trafikte iyi
Karmaşık yapı	Evet	Hayır
Adil paylaşım	Evet	Hayır
Ölçeklenebilirlik	Kötü	İyi
Gecikme	Trafiğe bağlı	Trafiğe bağlı
Topoloji değişiklikleri ile başa çıkma	Kötü	İyi

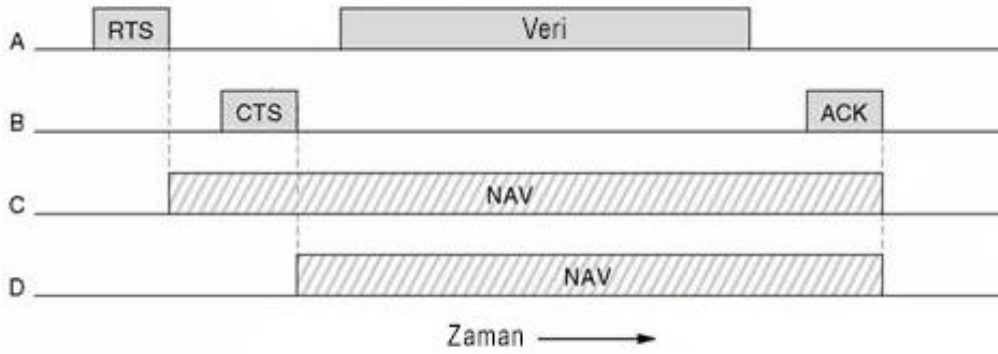


Şekil 2.5. Slotsuz CSMA/CA akış diyagramı (Al Rasyid ve ark., 2014).

Çekişme tabanlı şemaların kullandığı çarpışmadan kaçınma ve saklı düğüm problemi gibi problemler için geliştirilmiş çözümler vardır. Dağıtık Koordinasyon Fonksiyonu (DCF) da bu çözümlerden birisidir. DCF merkezi bir yapıya gerek duymadan fiziksel veya sanal kanal algılama yöntemini kullanır. Bir düğüm gönderim yapmadan önce kanalı dinler ve kanalın boş olduğunu algılayorsa gönderimi başlatır. Bir çarpışma durumunda gönderen düğümler rastgele bir süre bekleyip tekrar göndermeyi denerler. Bu rastgele süre İkili Üstel Geri Çekilme (BEB) olarak adlandırılan bir algoritma ile ayarlanır.

Çarpışmadan kaçınma ve saklı düğüm problemi gibi problemler için kullanılan diğer bir çözüm de DCF'ye ilaveten RTS/CTS mekanizması kullanılmasıdır. Buna göre

iletim yapacak olan düğüm, RTS talep paketini gönderir, eğer küme lideri almayı uygun görürse CTS ile cevap verir ve iletim başlar. İletim yapmayan diğer düğümler bu paketleri aldığında bir iletimin yapılmakta olduğunu anlarlar ve gidip gelme süresini hesaplayarak bu süreyi uykuda geçirirler, çekişmeye katılmazlar ve enerji tasarrufu sağlarlar. Şekil 2.6.'da bir gönderim işlemi farklı düğümler üzerinden örneklendirilmiştir (Olifer ve Olifer, 2005).



Şekil 2.6. DCF ve RTS/CTS ile paket gönderimi (Olifer ve Olifer, 2005).

2.5. KÇAA'larda Servis Kalitesi İçin OEK Protokolleri

Bu tez çalışmasında sunulan urgMAC, çekişme tabanlı katmanlar arası etkileşimli bir OEK protokolüdür. Aciliyet gereksinimi olan uygulamalarda aciliyet içeren çokluortam trafiğine QoS desteği sağlamaya odaklanmaktadır. Bu bölümde literatürde son yıllarda yapılan çokluortam trafiğe QoS desteği sağlayan OEK protokolleri incelenmiştir.

KÇAA'larda Çokluortam trafiğin QoS destekli iletilmesi zorlu bir görevdir. Literatürde birçok çekişme tabanlı OEK protokol çözümü sunulmaktadır, fakat protokol yığınının her katmanındaki başarımlar parametreleri QoS desteği için ayarlanmalıdır. Daha iyi QoS desteği sağlamak için katmanlar arası etkileşimli mekanizmalar adı verilen farklı katmanların etkileşimi üzerine yapılan çalışmalar büyük ilgi görmektedir (Al-Anbagi ve ark., 2016).

Farklı öncelik kısıtlarına sahip heterojen trafiği iletmekte QoS desteği için servis farklılaştırma kaçınılmazdır (Chen ve Varshney, 2001). QoS farkındalıklı KÇAA OEK protokolleri kolay uygulanabilir yapısı nedeniyle servis farklılaştırma yaklaşımını uygulamaktadır. Servis farklılaştırma trafik kaynağının yerine trafik sınıflarına göre önceliklendirmenin tercih edilmesidir (Bhatnagar ve ark., 2001). Chen ve Bhatnagar farklı servis sınıfları önermemekle birlikte öncelik sınıfları belirlemenin etkisini vurgulamaktadır. IEEE 802.11e standardının kanal erişim şeması video, ses, arkaplan ve en iyi iş çıkarma yeteneği olmak üzere dört adet trafik sınıfı tanımlamaktadır. urgMAC benzer bir servis farklılaştırma ve önceliklendirme mekanizması sunmaktadır, urgMAC'in trafik sınıfları GZT, GOT ve EÇT olarak belirlenmiştir.

Haqbeen ve arkadaşları tarafından geliştirilen I-XLP adlı protokol bina gözleme uygulamalarını hedef alan enerji etkin QoS farkındalıklı katmanlararası etkileşimli bir protokoldür. Küme oluşturmeyen bir protokoldür. OEK, yönlendirme ve iletim katmanlarının etkileşimini içermektedir. Paket sınıflandırma ve önceliklendirme yapmaktadır. Dinamik olarak görev döngüsü de belirlemektedir. Sanal küme oluşturulmasını desteklemektedir. ÇP boyutunu belirtilen önceliklere göre dinamik olarak değiştirerek öncelikli trafiğin daha hızlı iletimini sağlamaktadır fakat kuyruklarda biriken paket miktarına göre bir iyileştirme yapmamaktadır (Haqbeen ve ark., 2017).

Sensor-MAC (SMAC) önde gelen çekişme tabanlı OEK protokolüdür (Ye ve ark., 2004). Ağın yaşam süresini artırmak için sabit uyku-dinleme evreleri önermektedir. SMAC QoS desteği garanti etmez, fakat onun çokluortam mesaj gönderimi özelliği paket kayıp oranını düşürmek için KÇAA'nın uzun çokluortam mesajları için de uygundur. urgMAC uzun çokluortam mesajları için aynı yaklaşımı kullanır.

Kim ve arkadaşları periyodik uyku-dinleme çizelgesine sahip gecikme eniyilemesi yapan bir şema önermektedir. Düğümlerin çalışma döngüsünü organize etmek için bu şema global bir uyanıklık oranı sürdürmektedir. Bir olay meydana geldiğinde gönderici düğüm komşusunun uyanma zamanını tahmin etmektedir. Global bir şema sürdürmek ağın ölçeklenebilirliğini zorlaştırmaktadır. Sürdürülen asenkron uyku-

dinleme çizelgesi her ne kadar gecikmeyi azaltarak enerji verimliliği sağlasa da ağa yeni düğümlerin dahil olmasını ya da düğümlerin ayrılmasını zorlaştırmaktadır (Kim ve ark., 2011).

Kim ve Min tarafından önerilen PQMAC adlı önceliklendirme tabanlı QoS MAC protokolü gecikme problemini çözerken enerji verimliliğini de sürdürmeyi amaçlamaktadır. Farklı öncelik kuyrukları belirleyerek düğümün üzerindeki verinin çeşidine göre dinleme periyodunu ikiye katlamakta, yüksek öncelikli kuyruğa daha fazla şans verecek şekilde periyotlarda gönderim sırasını ayarlamaktadır. Üzerinde düşük öncelikli veri olan düğümün uyku periyodu daha uzun olmaktadır. Sadece uyku-dinleme çizelgesi dikkate alınmaktadır. ÇP ayarlaması söz konusu değildir. PQMAC çoklu ortam trafik iletimi ile ilgili herhangi bir iyileştirme önermemektedir. Kuyruklarda açlık oluşmasını önleyecek bir mekanizma önermemektedir. Uyku-dinleme çizelgesini organize etmenin gecikmeyi düşürmekte ve enerji verimliliği sağlamakta etkili olduğunu vurgulaması önem arz etmektedir. urgMAC'da da düğüm üzerindeki verinin çeşidine göre düğümün çalışma döngüsünü ayarlayan bir uyku-dinleme çizelgesi olan TGD mekanizması yer almaktadır. ASM içerisindeki çizelgeleyici kuyruklarda açlık oluşmamasını önlemektedir (Kim ve Min, 2009).

Saxena ve arkadaşlarının geliştirdiği OEK protokolü (Saxena ve ark., 2008) dinamik görev döngüsü ve uyarlanabilir ÇP şeması kullanarak GZT, GOT ve EÇT trafik sınıflarının uçtan uca gecikme sonuçlarını düşürmeyi hedeflemektedir. Bu protokol ÇP ayarlaması için bir tur beklemek zorundadır, urgMAC ise ÇP boyutunu AÇU mekanizması ile sürekli olarak ayarlayabilmektedir. urgMAC de Saxena gibi trafiği GÇT, GOT ve EÇT olmak üzere üç sınıfa ayırmaktadır ama buna ek olarak AÇU mekanizması acil durumları dikkate alarak ÇP boyutu uyarlaması da sağlar.

Saxena ve arkadaşlarının önerdiği uyarlanabilir ÇP şeması Diff-MAC (Yigitel ve ark., 2011) tarafından da kullanılmaktadır. Paketlerin iletim sırasında geçtiği düğümlerin sayısı olan atlama sayısı ölçütünü dikkate alarak her trafik sınıfına adil teslimat imkânı sağlamayı amaçlamaktadır. urgMAC'in ÇP uyumlama şeması da bu şemaya benzer, fakat Diff-MAC sadece trafik sınıflarını dikkate alarak öncelik belirlerken urgMAC'in

AÇU mekanizması acil durumları da dikkate alır. Ne Saxena'nın protokolü ne de Diff-MAC katmanlar arası etkileşim işlevi sağlamaz, ama urgMAC QoS desteği için ASM ve UHM (Ozen ve ark., 2015) mekanizmaları ile uygulama katmanı ve OEK katmanı etkileşimi sağlamaktadır. Diff-MAC'ın dolaşılacak düğüm sayısı tabanlı önceliklendirme şeması trafik sınıfları için gecikmeyi azaltmakla birlikte Diff-MAC'ın bir acil durum senaryosunda kullanımına mani olmaktadır.

Katmanlar arası etkileşimli mekanizmalar bağımsız OEK protokollerine göre daha iyi QoS sağlamak için çözüm olmaktadır. XL-WMSN gecikme ve trafik farkındalıklı yönlendirme mekanizması ve uçtan uca gecikme farkındalıklı görev döngüsü mekanizması sağlayan, katmanlar arası etkileşimli bir çatıdır (Hamid ve Bashir, 2013). Ağ katmanı ve OEK katmanı kullanarak katmanlar arası etkileşimli bir model kurmaktadır. XL-WMSN ağ koşullarına göre veri iletim hızı oranını ayarlayan uygulama katmanı etkileşimi sağlamamaktadır. Sağladığı enerji farkındalıklı ağa katılma kabul denetim mekanizması onun bir acil durum senaryosunda kullanımına mani olmaktadır. XL-WMSN trafik sınıflarını önceliklendirmek için herhangi bir ÇP boyutu uyarlama şeması sunmamaktadır.

Uygulama katmanı kuyruk taşması ya da çekişme durumunda OEK katmanına destek olmak için veri iletim hızı oranını ayarlayabilmektedir (Misra ve ark., 2008). Abd El Kader ve arkadaşları tarafından sunulan çalışmada uygulama katmanı, ağ katmanı, bağlantı katmanı ve fiziksel katman etkileşimi ile bir katmanlar arası etkileşimli şema önerilmektedir (Abd El Kader ve ark., 2016). Bu şema tam bir OEK protokolü değildir. Çoklu ortam verinin kalitesini ağ koşullarına göre ayarlamak için uygulama katmanı etkileşimi kullanmaktadır. Bu protokolün uyarlanabilir öncelik kuyruğu bileşeni adil bir kuyruklama modeli kullanmadığından dolayı önceliklendirilmeyen kuyruklarda açlık oluşmasına neden olmaktadır. urgMAC de uygulama katmanı etkileşimi kullanarak bir katmanlar arası etkileşimli KÇAA OEK protokolü oluşturmaktadır.

Diff-MAC ve Saxena'nın OEK protokolünün her ikisi de gereksiz enerji tüketiminden kaçınmak için baskın trafik tipine göre algılayıcı düğümün aktif zamanını ayarlamaktadır. urgMAC ise TGD mekanizması ile aynı işlevi sunmaktadır.

urgMAC uygulama katmanı kullanan katmanlar arası etkileşimli mimarisi, acil trafik önce yaklaşımı sunan AÇU mekanizması, gereksiz enerji tüketiminden kaçınmak için TGD mekanizması, paket kayıplarını azaltmak için ÇMG mekanizması ve yeni sunduğu ASM ve UHM mekanizmaları ile literatürdeki diğer protokollerden farklılaşmaktadır.

Tablo 2.2.'de servis kalitesi desteği sağlayan KÇAA OEK protokollerinin farklı parametrelere göre karşılaştırması verilmektedir.

Tablo 2.2. KÇAA'lar için servis kalitesi desteği sağlayan OEK protokolleri

OEK protokolü	Erişim mekanizması	Katmanlar arası yapı	Servis farklılaştırma	Öncelik Atama	Veri hızı ayarlama	ÇP boyutu	Görev döngüsü	Paket parçalama
Chen ve Varshney	CSMA/CA	Hayır	Evet	Hayır	Hayır	Hayır	Hayır	Hayır
Bhatnagar ve ark	CSMA/CA	Hayır	Evet	Evet	Hayır	Hayır	Hayır	Hayır
SMAC	CSMA/CA	Hayır	Evet	Evet	Hayır	Sabit	Sabit	Evet
Kim ve ark.	CSMA/CA	Hayır	Evet	Evet	Hayır	Sabit	Asenkron	Hayır
PQMAC	CSMA/CA	Hayır	Evet	Evet	Hayır	Sabit	Dinamik	Hayır
Saxena	CSMA/CA	Hayır	Evet	Evet	Hayır	Dinamik	Dinamik	Evet
Diff-MAC	CSMA/CA	Hayır	Evet	Evet	Hayır	Uyarlanabilir	Dinamik	Evet
XL-WMSN	CSMA/CA	Evet	Evet	Evet	Hayır	Sabit	Sabit	Hayır
I-XLP	CSMA/CA	Evet	Evet	Evet	Hayır	Dinamik	Dinamik	Hayır
urgMAC	CSMA/CA	Evet	Evet	Evet	Evet	Uyarlanabilir	Uyarlanabilir	Evet

2.6. Sonuç

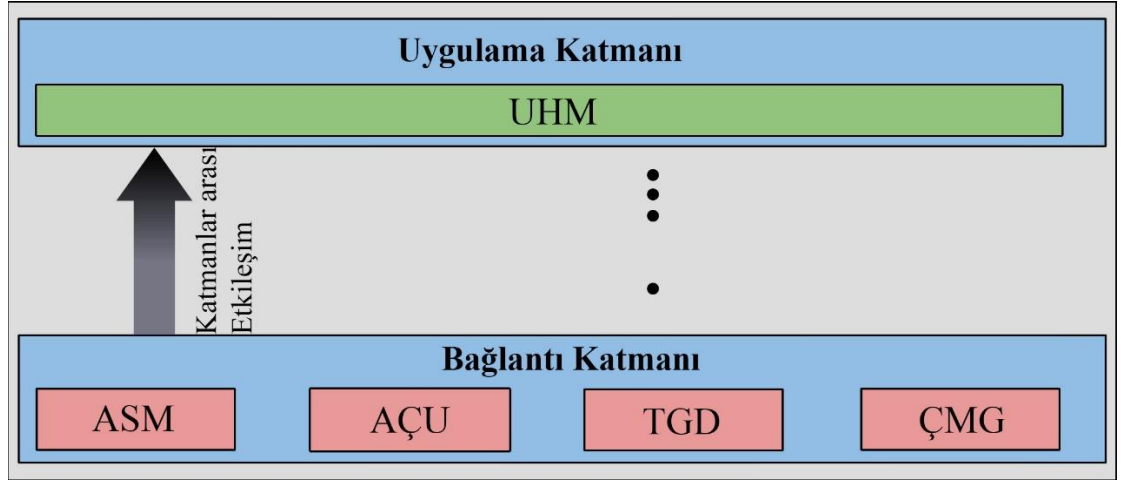
KÇAA'lar, KAA'lara ek olarak çokluortam verisi de iletirler. Çokluortam içeriğin belirli bir hizmet kalitesinde iletilmesini sağlayacak mekanizmalara ihtiyaç vardır. Servis kalitesinin sağlanması için en uygun yerin bağlantı katmanı olduğu değerlendirilmektedir. Bu nedenle geliştirilen pek çok OEK protokolü literatürde yer almaktadır. Altyapıdan bağımsız ölçeklenebilir ağlar için çekişme tabanlı şemaların daha uygun olduğu görülmektedir. Literatürde servis kalitesine odaklanan çok fazla çekişme tabanlı OEK protokolü yer almamakla birlikte son yıllarda sayılarının arttığı görülmektedir.

Bu bölümde yer alan protokoller incelendiğinde aciliyet zorlukları içeren uygulamaların ihtiyaçları göz önüne alınarak geliştirilmiş herhangi bir protokol bulunmamaktadır. Bu tez çalışmasında önerilen urgMAC literatürde yer alan ilgili protokollerle karşılaştırılmış ve önerilen yeni mekanizmalar üzerinden farklılıkları vurgulanmıştır. QoS farkındalıklı çekişme tabanlı protokoller belirli parametrelere göre karşılaştırılarak bir tabloda sonuçları da özet olarak sunulmuştur.

BÖLÜM 3. KABLOSUZ ÇOKLUORTAM ALGILAYICI AĞLARI İÇİN SERVİS KALİTESİ DESTEĞİ SAĞLAYAN YENİ BİR OEK PROTOKOLÜ (urgMAC)

3.1. Giriş

Bu bölümde, urgMAC ve onun temel özellikleri sunulmaktadır. Gönderi İsteği/Gönderime Uygun (RTS/CTS) ve Alındı Onay Paketi (ACK) mekanizmaları ile slotsuz CSMA/CA tabanlı ortam erişim şemasına sahiptir. urgMAC'in yapısı Şekil 3.1.'deki blok diyagramda sunulmaktadır.



Şekil 3.1. urgMAC blok diyagramı

urgMAC çeşitli mekanizmalar kullanarak kanalın paylaşımını organize eder. Önerilen yeni mekanizmalar bu bölümde açıklanmaktadır.

3.2. Geliştirilen KÇAA OEK Protokolü Yapısı ve Alt Bileşenleri

Bu tez çalışması kapsamında geliştirilen urgMAC ASM, UHM, AÇU, TGD ve ÇMG adlı mekanizmalar içermektedir. Bu yaklaşımlardan TGD ve ÇMG daha önce önerilen

KCAA OEK protokollerinde (Ye ve ark., 2004; Saxena ve ark., 2008; Yigitel ve ark., 2011; Hamid ve ark., 2013) uygulanmış olsa da urgMAC bu mekanizmaları ve yeni önerilen ASM, UHM ve AÇU mekanizmalarını aciliyet zorlukları için uygulamaktadır. ASM, acil gerçek zamanlı çokluortam trafiğinin uçtan uca gecikmesini düşürmektedir (Ozen ve ark., 2015). Trafik zorluklarına genellikle protokol yığınlarının uygulama katmanları neden olmaktadır (Costa ve ark., 2011). urgMAC çekişmeleri ve kuyruk taşmalarını azaltmak için uygulama katmanında UHM kullanmaktadır (Ozen ve ark., 2014). CSMA/CA tabanlı kullanıma yönelik tasarlanmıştır. CSMA/CA yaklaşımlarında bir çekişme çözümleme şeması uygulanmasına ihtiyaç vardır. AÇU enerji tüketimini düşürmekle birlikte acil trafiğe sahip düğümlere daha fazla ortam erişim şansı sağlamak için ÇP boyutunu dinamik ağ trafiği şartlarına göre uyarlamalı biçimde ayarlar. TGD gereksiz enerji tüketiminden kaçınmak için düğümün aktif zamanını baskın trafik tipine göre ayarlar. ÇMG büyük çokluortam paketlerini daha küçük parçalara böler ve paket kaybı etkisini azaltmak için patlamalı olarak gönderir.

3.2.1. İki aşamalı servis farklılaştırma mekanizması

Çekişme tabanlı OEK protokolleri trafik sınıflandırma yapar. QoS desteği sağlamak için çokluortam verisi içeren trafik sınıfına en yüksek öncelik verilmektedir. Bununla birlikte, bütün video kaynakları yerine QoS desteğine ihtiyaç duyan ve aciliyet içeren trafiği önceliklendirmek oldukça önemlidir.

KAA'lar da QoS desteği sağlamak için OEK katmanında yapılan çalışmalarda servis farklılaştırmanın öne çıktığı görülmektedir. Veri kaynağına değil de paket tipine göre önceliklendirme yapan DiffServ servis farklılaştırma modeli sade ve kolay uygulanır yapısından dolayı QoS desteği sağlayan KAA OEK protokollerinde yaygın olarak tercih edilmektedir. KCAA'lar için geliştirilen QoS destekli OEK protokollerinde de DiffServ kullanıldığı görülmektedir (Chen ve ark., 2004). urgMAC DiffServ modeline göre servis farklılaştırma yapmaktadır.

ASM trafiği ACT ve AOT olmak üzere ikiye ayırmaktadır ve her iki trafik sınıfına da servis farklılaştırma uygulamaktadır. Her iki seviye sınıflandırıcı için de Ağırlıklı

Adaletli Kuyruklama (AAK) tercih edilmektedir. AOT'nin GZT, GOT ve EÇT şeklinde alt sınıfları vardır. ACT'nin de acil gerçek zamanlı (AGZT), acil gerçek zamanlı olmayan (AGOT) ve acil en iyi çaba (AEÇT) şeklinde alt sınıfları vardır. ASM AGZT trafiğe QoS desteği sağlamakla birlikte ACT'nin bütün alt sınıflarını diğerlerine göre önceliklendirmektedir.

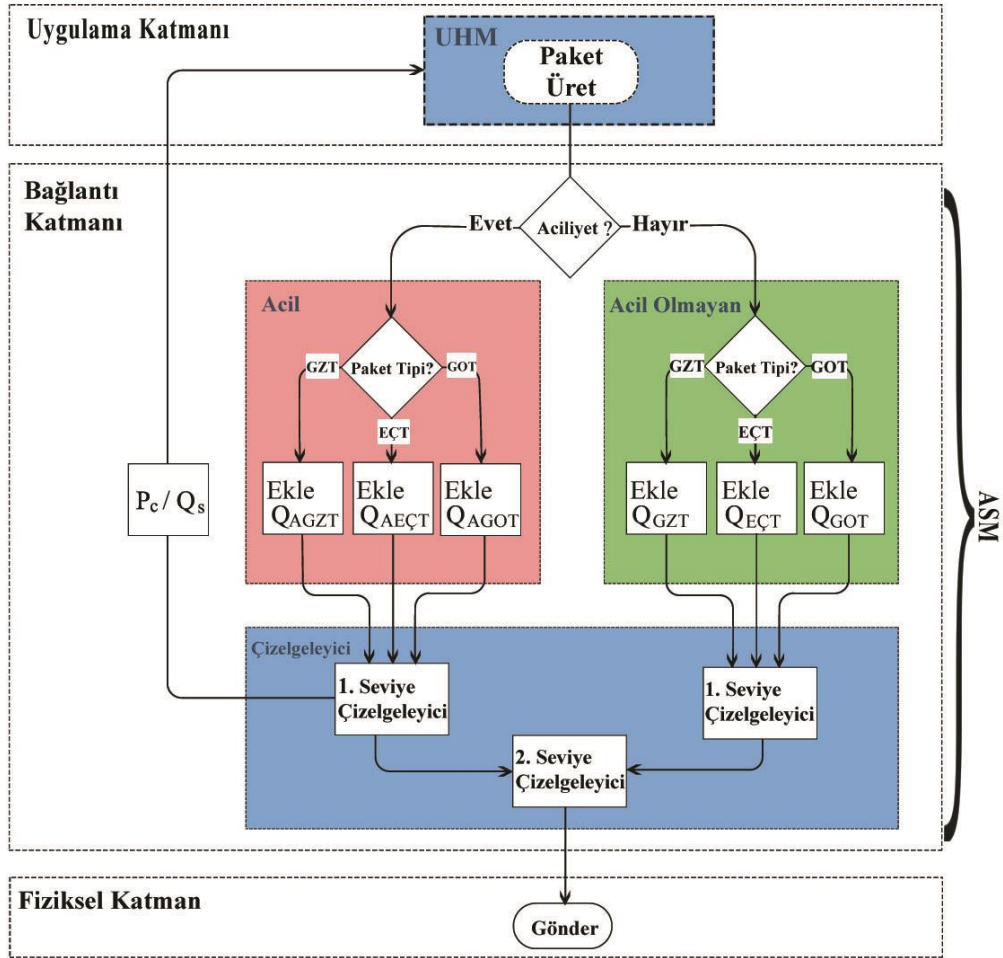
3.2.2. Uyarlamalı veri iletim hızı oranı belirleme mekanizması

Önerilen ASM mekanizması OEK katmanında trafik sınıflarına önceliklendirme sağlasa da, uygulama katmanında veri iletim hızı oranına etki etmez. Bununla birlikte, ağır trafik durumunda veri iletim hızını ayarlayacak bir çekişme önleme mekanizmasına ihtiyaç vardır. Günümüzde, saniyedeki çerçeve (fps) oranını ve algılayıcı kameralar tarafından üretilen çokluortam verinin çözünürlüğünü ayarlamak mümkündür. Uygulama katmanına çokluortam trafik kuyruğundaki paketlerin oranı iletilerek QoS desteğini sürdürmek için çözünürlük ve fps parametreleri ayarlanabilmektedir.

ASM her bir zaman aralığında çeşitli adımlar gerçekleştirir. AGZT kuyruğunu gözler ve paket sayısını (P_c) alır, kuyruk oranını (Q_r) hesaplar (Denklem 3.1). Q_s ise AGZT kuyruğunun paket kapasitesidir.

$$Q_r = \frac{P_c}{Q_s} \quad (3.1)$$

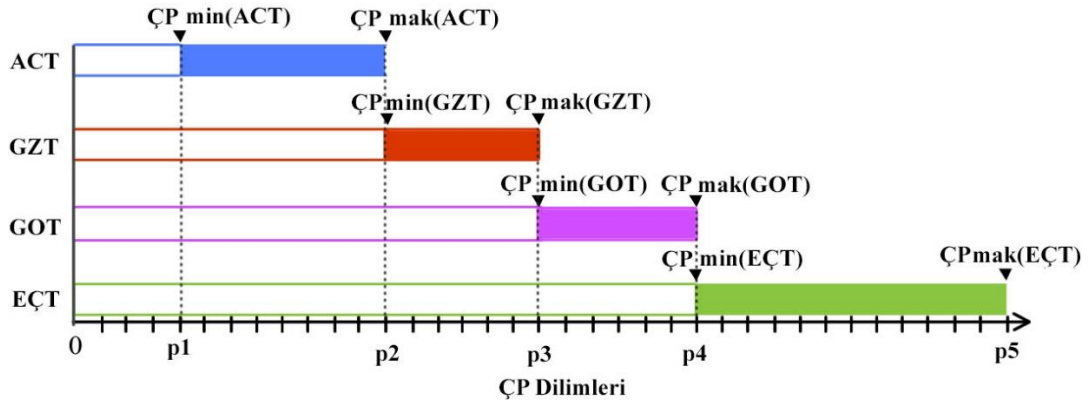
ASM Q_r değerini uygulama katmanına iletir ve UHM bu değeri kullanarak veri iletim hızı oranını uyarlamalı olarak ayarlar. Katmanlar arası etkileşim sağlayan ASM ve UHM'nin akış diyagramı Şekil 3.2.'de sunulmaktadır.



Şekil 3.2. ASM ve UHM akış diyagramı

3.2.3. Aciliyet temelli çekişme penceresi boyutu uyarlama algoritması

Çekişme tabanlı ortam erişim şemalarında düğümün enerji kaynağı çoğunlukla gönderme-alma periyodunda, çekişme periyodunda ve çarpışma çözümlemede tüketilir. Çarpışmalar ve yeniden göndermeler iş çıkarma yeteneği, gecikme ve enerji verimliliği gibi QoS ölçütlerini etkiler. urgMAC çarpışma sayısını azaltır, dinamik ağ trafik koşullarına göre ÇP boyutunu uyarlayarak ortamı tahsis eder ve gereksiz boşa dinleme süresini azaltmak için ÇP boyutunu küçük tutar. ÇP ACT ve AOT alt sınıfları için çakışmayan aralıklar olarak tanımlanmıştır. Trafik tiplerine göre değişen ÇP boyutları Şekil 3.3.'te sunulmaktadır. ÇP boyutu minimum ve maksimum değerler arasında tanımlanan artırma ve azaltma katsayılarına göre değişir.



Şekil 3.3. Trafik tiplerine göre ÇP aralıkları

Her bir trafik tipinin ÇP aralıklarının minimum ve maksimum değerleri arasındaki değişim için ÇP boyutu uyarlama algoritması Şekil 3.4.'te görülmektedir.

ACT sınıfı ve AOT sınıfının alt sınıfları farklı ÇP boyutlarına sahip olacaktır ve ACT her zaman önceliklendirilecektir. ÇP boyutu uyarlama algoritması burada ACT'nin alt sınıflarını farklılaştırmamaktadır ama ASM bunu yapmaktadır. Bu algoritmanın amacı bütün ACT paketlerini önceliklendirmektir. γ_y katsayısı ÇP boyutunu artırmak için γ_a da azaltmak için kullanılmaktadır. ACT paketleri için artırma işlemi yavaş azaltma işlemi hızlı yapılır, AOT için ise tam tersidir, bu durumda $\gamma_y(CT) < \gamma_y(AOT)$ ve $\gamma_a(CT) > \gamma_a(AOT)$ olmaktadır. ÇP boyutu (CP_m) trafik sınıfının minimum değerinden (CP_{min}) başlar. urgMAC iletim girişimlerini S_i her bir zaman diliminde δ gözler. Eğer iletim girişimlerinin sayısı bir eşik değerinden φ yüksek ise paketin düşme ihtimalini hesaplar (Denklem 3.2).

$$I_d = \frac{S_d}{S_d + S_i} \quad (3.2)$$

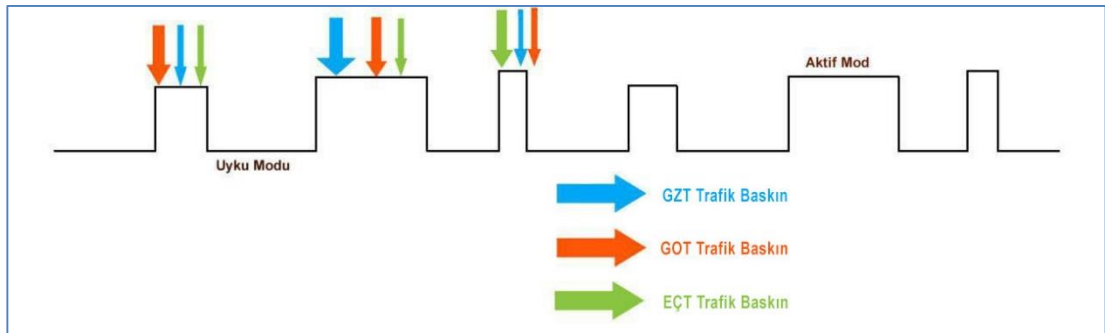
S_d düşen paket sayısını, S_i ise başarılı bir şekilde gönderilen paket sayısını ifade etmektedir. Eğer paketin düşme ihtimali bir öncekinden daha düşük ise ÇP boyutu azaltılır, daha yüksek ise artırılır.

- 1: $\zeta P_m = \zeta P_{min}$
- 2: Her δ saniyede, S_t 'yi gözle
- 3: Eğer $(S_t) < \Phi$ ise Adım 2'ye git
- 4: \dot{I}_d 'yi şu şekilde hesapla
- 5: $\dot{I}_d = \frac{S_d}{S_i + S_d}$
- 6: Eğer $\dot{I}_d < \dot{I}_{d-1}$ ise
- 7: $\Delta \zeta P = \gamma_a (\zeta P_{min} - \zeta P_m)$
- 8: değilse
- 9: $\Delta CW = \gamma_y (\zeta P_m - \zeta P_{min})$
- 10: Eğer $(\zeta P_m + \Delta \zeta P) \geq \zeta P_{mak}$
- 11: $\zeta P_m = \zeta P_{mak}$
- 12: değilse
- 13: $\zeta P_m = \zeta P_m + \Delta \zeta P$

Şekil 3.4. ÇP uyarlama algoritması

3.2.4. Trafik tipi uyarlamalı görev döngüsü

Algılayıcı düğümler gönderme, alma, boşa dinleme ve uyku şeklinde çalışma düzenlerine sahiptir. Boşa dinleme düzeninde enerji tüketimi alma düzenindeki enerji tüketimi ile neredeyse aynıdır, uyku düzeninde ise enerji tüketimi oldukça düşüktür. TGD düğümün aktif olma süresini baskın trafik sınıfına göre ayarlar ve boşa dinleme düzenindeki gereksiz enerji tüketiminin önüne geçer. Şekil 3.5. üzerinde üç farklı trafik tipinden hangisinin baskın olduğuna göre değişen uyku-uyanıklık sürelerinin değişimi görülmektedir.

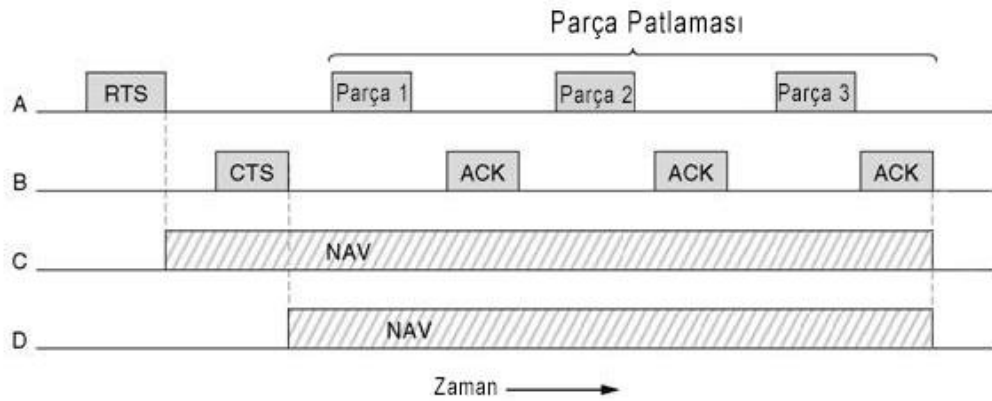


Şekil 3.5. Trafik tiplerine göre uyku-uyanıklık döngüsü

GZT sınıfı trafiğe sahip olan düğümler daha az uyumaya ve QoS gereksinimli paketleri hızlı göndermeye eğilimli iken, GOT ve EÇT trafik sınıfına ait paketlerin baskın olduğu düğümler daha az aktif olmaya eğilimlidir, böylece GZT paketleri önceliklendirilmiş olur.

3.2.5. Çokluortam mesaj gönderimi

Kablolu ağların aksine kablosuz ağlar iletişim hatalarına daha fazla maruz kalır. KÇAA düğümleri resim, video ve ses gibi büyük çokluortam paketleri de üretirler. Büyük paketler daha küçük olanlara göre daha fazla iletim hatası eğilimlidir. Büyük paketler küçük parçalara bölünürler, bu parçalar bir patlama olarak bütün patlama ÇMG mekanizması ile gönderilene kadar çekişmeye girmeden gönderilirler. Bu durumda paket kayıplarında oluşan yeniden gönderimin etkisi daha düşük olur. Şekil 3.6.'da ÇMG'nin uygulandığı bir paket gönderim işlemi görülmektedir. Veri paketi küçük parçalara bölünerek gönderilmektedir. Diğer düğümler gönderim yapan düğüm işini bitirmeden çekişmeye girmemektedir.



Şekil 3.6. DCF ve RTS/CTS ile ÇMG uygulanmış paket gönderimi.

3.3. urgMAC Benzetim Modeli

Benzetim işlemi bir sistemin değişen koşullar altındaki davranışlarını incelemek, denetlemek ve geleceği hakkında öngörülerde bulunmak amacıyla yapılan zaman üzerindeki taklidiştir. urgMAC'in bilgisayarlı modelleme ve benzetimi Riverbed Modeler modelleme ve benzetim yazılımı ile geliştirilmiştir.

3.3.1. Riverbed modeler benzetim yazılımı

Riverbed Modeler, iletişim sistemleri ve haberleşme ağlarının modellenmesi için görsel bir benzetim ortamı sağlayan nesne yönelimli bir yazılımdır. Modellenen sistemlerin davranış ve başarımları analizleri ayırık olay benzetim motoru tarafından gerçekleştirilir. Riverbed Modeler, hiyerarşik modelleme katmanlarından oluşur. Yani bir ağ modellemesinde, ağ içerisinde kullanılacak bağlantı hatları, veri ve kontrol paketleri, kullanılacak ağ elemanları, katmanlar ve protokoller ayrı editörlerde hazırlanır. Örnek olarak Proje editöründe oluşturulan ağ modelindeki her bir nesne, düğüm editöründe tanımlanan modüllerden meydana gelmektedir. Düğüm editöründeki her bir modül ağ elemanının davranışını, kullandığı protokolün çalışmasını ve özelliklerini belirlemektedir. Modülün bu işlevi, süreç editöründe gerçekleştirilen Proto-C kodu içeren durum geçiş diyagramları ile sağlanır. Bunun yanında bağlantı modeli, paket formatı, arayüz kontrol bilgisi, anten modeli, modülasyon vb. editörleri de vardır. Riverbed Modeler'in sağladığı olanaklardan bir tanesi de tasarım editörlerinin yardımı ile yeni protokol ve ürünlerin modellerini oluşturabilmesi ve bunların model kütüphanesine eklenebilmesidir. Riverbed Modeler, özetle bir haberleşme sistemini modelleme, benzetimi gerçekleştirme, veri toplama, sonuçları analiz etme işlemlerini yerine getirir. Bu bağlamda, tez çalışmasında önerilen OEK protokolünün benzetiminde Riverbed Modeler yazılımı kullanılma nedenleri başlıca şunlardır;

- Geniş bir kütüphaneye sahiptir.
- Kullanım kolaylığına ve görsellik açısından zengin içeriğe sahiptir.
- Benzetim sonuçlarını işleme ve grafiksel sunumlar için uygun olmasıdır.

Bölüm 3.4'e ait gelecek alt bölümlerde OEK protokolünün modelleme ve benzetim aşamasında kullanılan Riverbed Modeler editörleri anlatılmaktadır.

3.3.2. Proje modeli

Proje modeli, ağın topolojisinin oluşturulduğu ve dđđümlerin konumları ile birlikte gösterilebileceği kısımdır. Bu editörde ayrıca ağ trafik yük tanımlamaları, benzetim sonucunda elde edilmesi istenen istatistik seçimleri yapılmaktadır. Şekil 3.7.’de urgMAC için tasarlanan senaryonun on adet algılayıcı ve bir adet baz istasyonunun kullanıldığı örnek proje modeli sunulmaktadır.



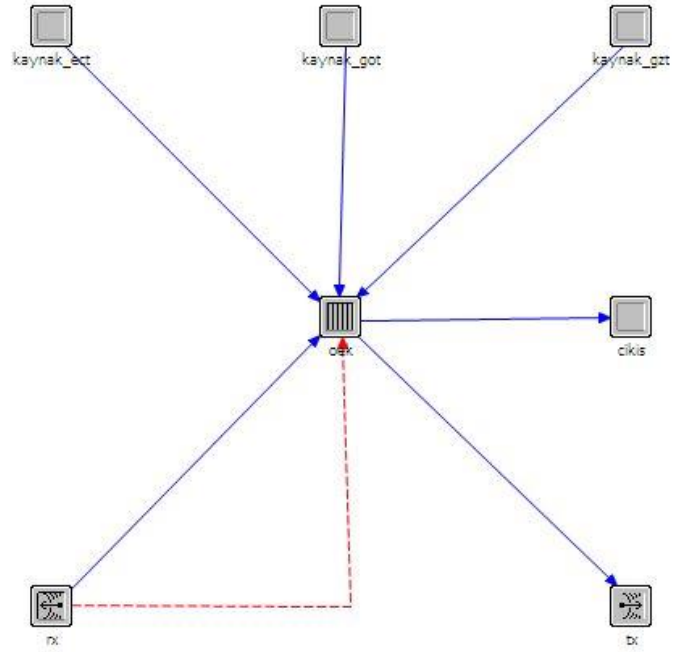
Şekil 3.7. Proje modeli

3.3.3. Dđđüm modeli

Dđđüm modeli, protokol yığındaki katmanların modüler bir yapıda oluşturulduğu kısımdır. Yani, paket akışlarının belirlendiği, iletişim Őeklinin oluşturulduğu, işlemlerin yapılacağı blokların düzenlendiği yerdir. Dđđüm modelinde kullanılan “kaynak_gzt”, “kaynak_got”, “kaynak_ect”, “cikis”, “oek”, “rx” ve “tx” olarak adlandırılan modüller bir urgMAC dđđümünün yapısını oluşturmaktadır ve Şekil

3.8.'de gösterilmektedir. Benzetim modelinde, KCAA'yı oluşturan düğümler ve baz istasyonu için ortak bir düğüm modeli tasarlanmıştır.

- Kaynak modüllerinde paket üretimi gerçekleştirilmektedir. Paket üretim aşamasında paket formatı, paket üretim aralığı, paket boyutu, başlama zamanı ve bitiş zamanı gibi parametreler belirlenmektedir. urgMAC GZT, GOT ve ECT trafik sınıfları için “kaynak_gzt”, “kaynak_got” ve “kaynak_ect” adında üç ayrı kaynak kullanılmaktadır.
- Cıkis modülü, OEK katmanına gelen paketlerin ulaştığı ve istatistiklerinin kaydedildiği modüldür. OEK katmanına gelen paket, düğüme ait ise cıkis modülüne gönderilir ve pakete ait uçtan-uca gecikme ve trafik bilgisi gibi istatistikler hesaplandıktan sonra paket yok edilir.
- oek modülünde kuyruk yapısı kullanılmaktadır ve tasarlanan OEK protokolünün işlevlerinin gerçekleştiği kısımdır. Kuyruk yapısına ait parametreler bu kısımda tanımlanmaktadır. OEK katmanına ait işlevlerin detayları süreç modelleri kısmında ele alınacaktır.
- rx modülü, kablosuz ortamdan paketlerin alındığı alıcı devresidir. Alınabilecek paket formatları ve kanal özellikleri de bu modülde tanımlanmaktadır.
- tx modülü, kablosuz ortamdan paketlerin gönderildiği verici devresidir. Bu modülde ayrıca veri iletim hızı, modülasyon türü ve hata modeli gibi özellikler tanımlanabilmektedir.

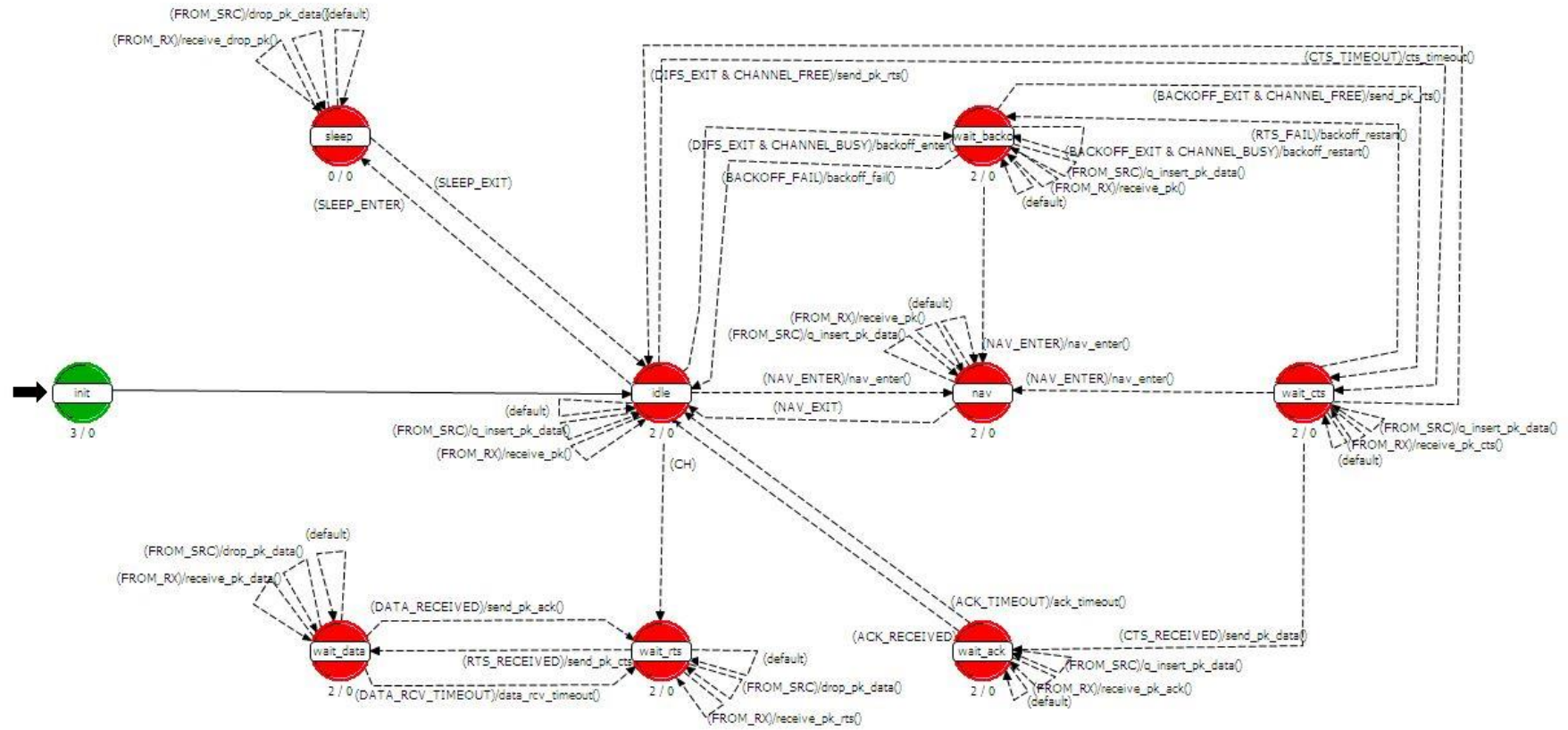


Şekil 3.8. Düğüm modelleri

3.3.4. Süreç modeli

Süreç modülü, fonksiyon blokları ve işlemlerin yer aldığı sonlu durum makinelerinden oluşmaktadır. Bu durum makinelerinin arasındaki durum geçişleri de bağlantılarla ifade edilmektedir. urgMAC'in baz istasyonu ve algılayıcı düğüm modelleri aynı düğüm modeline sahip olduğundan aynı süreç modeline sahiptirler.

KÇAA'daki algılayıcı düğümüne ait süreç modeli Şekil 3.9.'da görülmektedir. Süreç modelindeki durum makinelerinin görevleri şunlardır:



Şekil 3.9. Algılayıcı düğüme ve baz istasyonuna ait süreç modeli

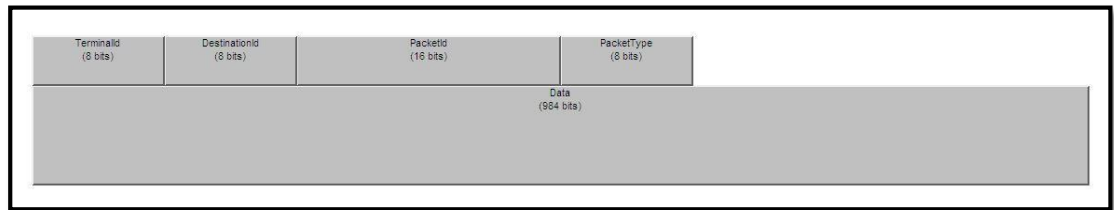
- init durum makinesinde, gerekli değişkenler ilk değerini alır ve istatistiksel bilgiler ile düğüm özelliklerinin tanımlanması yapılmaktadır. Gönderici ve alıcı bilgileri gibi değişkenlere değerler atanmaktadır ve düğüme ait bilgiler üst katmandan okunarak değişkenlere ataması gerçekleştirilir.
- sleep durum makinesinde, uyku moduna geçen düğüm işlem yapmaz ve o esnada algoritma çalıştığı için benzetimde üretilen ya da alınan paket varsa çöpe atarak istatistik sonucuna dâhil etmez. Uykudan çıkma kesmesi gelince idle durumuna geçer. Sleep durumu düğümün görev döngüsü mekanizması tarafından uykuda tutulduğu durumdur.
- nav durum makinesi bir düğümün başka bir düğümün iletim yaptığını görünce çekişmeye girmeden önce o düğümün iletimi bitirmesi için beklemek amacıyla gittiği durumdur.
- wait_backoff durum makinesi, çekişme durumunda geri çekilme zamanının oluşturulduğu ve yönetildiği kısımdır. Çekişme durumunda, veri göndermek isteyen düğüme ortam meşgul ise geri çekilme zamanı atanmaktadır. Her zaman diliminde bu atanan değer azaltılır ve değer sıfır olduğunda yeniden ortama erişim hakkı verilmektedir.
- wait_cts durum makinesi, bir düğümün baz istasyondan CTS paketi beklediği durumdur. CTS gelirse paket gönderip wait_ack durumuna geçer.
- wait_ack durum makinesi, bir düğümün paket gönderimi yaptıktan sonra baz istasyondan ACK paketi beklediği durumdur. ACK gelirse paket gönderip idle duruma geçerek bir olay oluşmasını beklemeye başlar.
- wait_rts durum makinesi, baz istasyonun RTS paketi gönderme işlemlerini yönettiği durumdur. Baz istasyonu ya RTS bekliyor olacaktır ya da veri paketi bekliyor olacaktır. RTS gelince eğer şartlar uygunsa CTS paketini gönderip wait_data durumuna geçiş yapacak ve veri paketi bekleyecektir.

- wait_data durum makinesi, baz istasyonun CTS gönderdikten sonra veri paketi beklediği ve alım işlemlerini yönettiği durumdur. Baz istasyon idle durumda değilse ya wait_data ya da wait_rts durumundadır. Veri paketini aldıktan ya da zaman aşımı oluştuğundan sonra yine wait_rts duruma geçecek ve RTS paketi beklemeye devam edecektir.
- idle durum makinesi, diğer durum makinelerinin çalışmadığı zamanlarda beklenen yerdir. Düğüm burada bir olay oluşmasını bekler.

3.3.5. Paket biçimleri

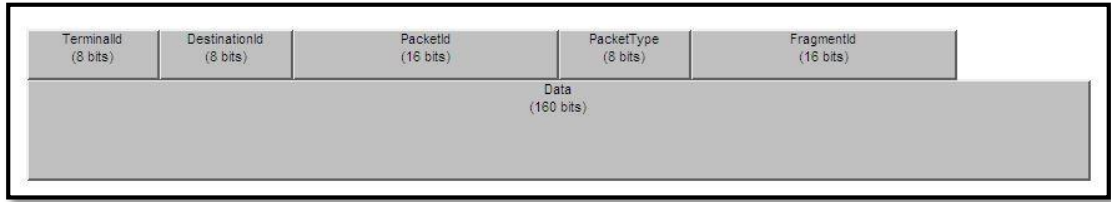
Tasarlanan OEK protokolünün benzetiminde birden çok paket formatı kullanılmaktadır. Veri paketi, algılayıcı düğümlerin ortamdan algıladıkları fiziksel değerleri merkez düğüme aktarırken kullandıkları paket türüdür. Paketin içeriğinde paketi gönderen düğüm adresi, paketin hedef adresi, paket numarası, paket tipi bilgisi ve ham veri yer almaktadır.

urgMAC GZT, GOT ve EÇT olmak üzere üç çeşit veri paketi üretmektedir. Şekil 3.10.'da GZT paketinin paket biçimi görülmektedir.



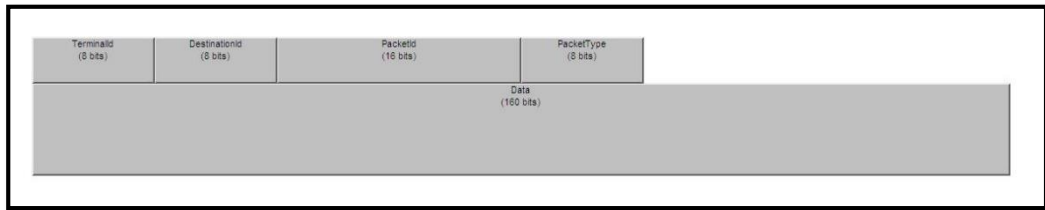
Şekil 3.10. GZT veri paketi

urgMAC, büyük veri paketlerini ÇMG ile küçük paketlere bölerek gönderebilmektedir. Bu nedenle paket biçiminin içerisinde parçalanmamış GZT paketine ilave olarak parça numarası da yer almaktadır. Şekil 3.11.'de. GZT parçalanmış veri paketi biçimi görülmektedir.



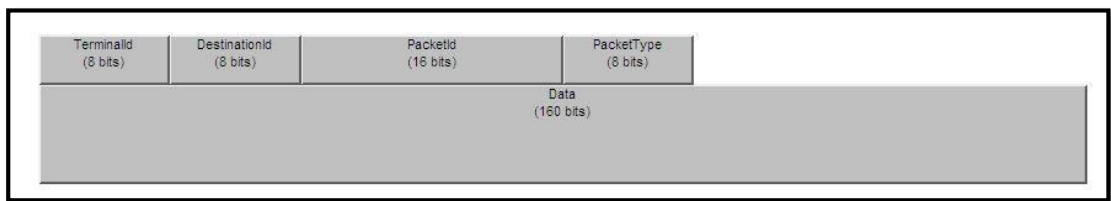
Şekil 3.11. GZT parçalanmış veri paketi

Şekil 3.12.'de GOT veri paketi biçimi görülmektedir. Paket boyutu farklı olmakla birlikte diğer alanları GZT paket biçimi ile aynıdır. Paket tipi alanı farklılaştırılarak GOT paketi olduğu belirtilmektedir.



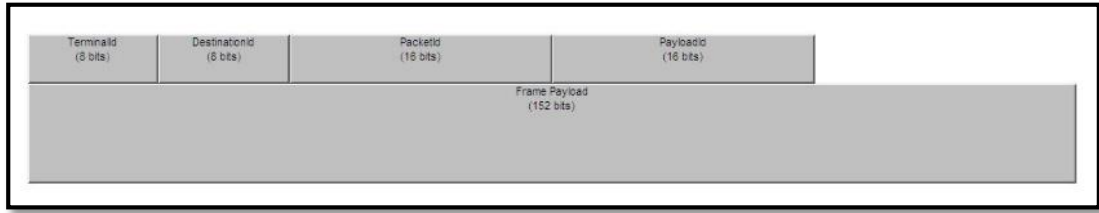
Şekil 3.12. GOT veri paketi

Şekil 3.13.'te EÇT veri paketi biçimi görülmektedir. Paket boyutu farklı olmakla birlikte diğer alanları GZT ve GOT paket biçimi ile aynıdır. Paket tipi alanı farklılaştırılarak EÇT paketi olduğu belirtilmektedir.



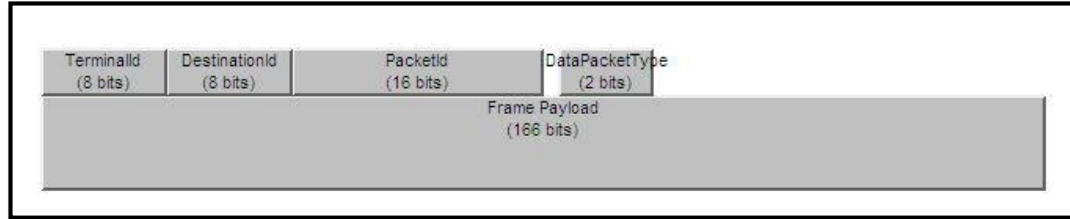
Şekil 3.13. EÇT veri paketi

ACK paketi, baz istasyonu tarafından veri paketi alındığı zaman onay paketi olarak algılayıcı düğüme gönderilir. ACK paketi paket numarası, gönderen adresi ve hedef düğümün adresi ile birlikte hangi paket için ACK bilgisi döndürüldüğünü de içermektedir. Şekil 3.14.'te ACK paketi yapısı verilmektedir.



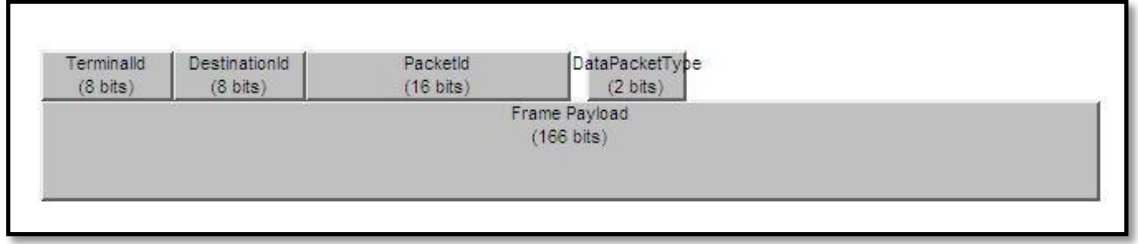
Şekil 3.14. ACK paketi

RTS paketi algılayıcı düğüm paket göndermek istediği zaman ortamın dolu olup olmadığını anlamak için baz istasyonuna istek göndermek için kullandığı paket türüdür ve Şekil 3.15.'te gösterilmektedir. RTS paketi ile gönderici düğüm adresi, hedef düğüm adresi ve paket numarası bilgilerinin yanında ne tür bir paket gönderildiğine dair de bir bilgi gönderilmektedir. RTS paketini alan diğer düğümler bu bilgiye dayanarak ÇP oranlarını ve görev döngülerini AÇU ve TGD mekanizmaları yardımıyla ayarlarlar.



Şekil 3.15. RTS paketi

Şekil 3.16.'da görüldüğü üzere CTS paketi baz istasyonu tarafından RTS paketine karşılık iletişim için uygun olduğunu belirtmek için gönderdiği cevap paketidir. İçerik olarak ise gönderen adresi, hedef düğüm adresi, paket ağ numarası ve veri tipi bilgisi yer almaktadır. Veri tipi bilgisi ile yine baz istasyonu ne tür bir veri paketi almaya hazırlandığını ortamdaki bütün düğümlere yayın yapmaktadır.



Şekil 3.16. CTS paketi

3.4. Sonuç

Bu bölümde, RTS/CTS ve ACK içeren bir slotsuz CSMA/CA tabanlı yapı olarak urgMAC ve onun temel özellikleri sunulmuştur. İçerdiği ASM, UHM, AÇU, TGD ve ÇMG adlı mekanizmalar ayrı ayrı açıklanmıştır. urgMAC'in Riverbed Modeler modelleme ve benzetim yazılımı ile geliştirilen proje modeli, düğüm modeli, süreç modeli ve paket biçimleri detaylı olarak ele alınmıştır.

BÖLÜM.4. ÖRNEK BİR AĞ BENZETİMİ VE BAŞARIM DEĞERLENDİRMESİ

4.1. Giriş

urgMAC'in başarımlı değerlendirilmesi acil durum da içeren bir askeri sınır gözleme senaryosunda ele alınmıştır. Elde edilen sonuçlar, SMAC, Diff-MAC ve XL-WMSN protokolleri ile karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Başarım değerlendirilmesi uçtan-uca gecikme, iş çıkarma oranı ve güç tüketimi parametrelerine göre gerçekleştirilmiştir. Bu karşılaştırma metrikleri KÇAA'lar için başarımlı değerlendirilmesinde kullanılan temel metriklerden olduğu için tercih edilmiştir.

4.2. Benzetim Parametreleri

urgMAC'in başarımlı Riverbed Modeler modelleme ve benzetim yazılımı ile değerlendirilmiştir. ASM, UHM, AÇU, TGD ve ÇMG içeren urgMAC'in başarımlı değerlendirilmesi için örnek bir ağ ortamı kurulmuştur. Bir algılayıcı ağının toplam başarımlı kullanılan uygulama senaryosuna bağlı olduğundan acil durum içeren bir KÇAA senaryosu seçilmiştir. urgMAC yapısı itibarıyla çok çeşitli senaryolara uygulanacak durumdadır, fakat bu bölümde bir kritik çevre gözetleme ve acil durum senaryosu dikkate alınmıştır. Oluşturulan senaryoda ana hedef acil çokluortam trafik sınıfının hızlı transferidir. Bir acil durum olduğunda ACT'nin bütün alt sınıfları diğer trafik sınıflarına göre önceliklendirilmektedir. Acil durum kararı izleme yazılımı üzerinden ya da uygulama katmanında algılanan veriye göre düğüm üzerinde de verilebilir. urgMAC'in görevi acil durum tespitinden sonra başlamaktadır. Benzetim ortamı için seçilen trafik sınıfları ve bu sınıflar için seçilen değerler Tablo 4.1.'de gösterilmektedir. Trafik sınıfları adil bir karşılaştırma yapmak amacıyla daha önce önerilen OEK protokollerinin değerlendirilmesinde dikkate alınan trafik sınıfları ile aynı olacak şekilde seçilmiştir (Saxena ve ark., 2008; Yigitel ve ark., 2011).

Tablo 4.1. Trafik sınıfları

	<i>GZT</i>		<i>GOT</i>	<i>EÇT</i>
	Çerçeve oranı (fps)	Gelişlerarası zaman (s)	Gelişlerarası zaman (s)	Gelişlerarası zaman (s)
<i>Tip 1</i>	2	0.500	12	12
<i>Tip 2</i>	4	0.250	10	10
<i>Tip 3</i>	6	0.166	8	8
<i>Tip 4</i>	8	0.125	6	6
<i>Tip 5</i>	10	0.100	4	4
<i>Tip 6</i>	12	0.083	2	2

Başarım değerlendirmesinde tercih edilen senaryoya göre kurulan ağın benzetim parametreleri Tablo 4.2.'de görülmektedir.

Tablo 4.2. Benzetim parametreleri

<i>Parametre</i>	<i>Değeri</i>
<i>Gözetim alanı</i>	400 x 400 m ²
<i>Ağ boyutu</i>	10 düğüm
<i>Benzetim zamanı</i>	30 dakika
<i>Kamera çerçeve oranı</i>	2 – 12 fps
<i>Video çerçeve boyutu</i>	1 – 10 Kbit
<i>GZT çerçeve boyutu</i>	1 Kbit
<i>GOT/EÇT paket boyutu</i>	200 bit
<i>Paket gelişlerarası zamanı</i>	2 – 12 s
<i>Bant genişliği</i>	250 Kbps
<i>GZT önbellek boyutu</i>	50 Kbit
<i>GOT/EÇT önbellek boyutu</i>	4 Kbit
<i>Kuyruk ağırlıkları (GZT/GOT/EÇT)</i>	0.7/0.2/0.1
<i>ÇP dilimi değerleri (p1/p2/p3/p4/p5)</i>	4/12/18/24/36

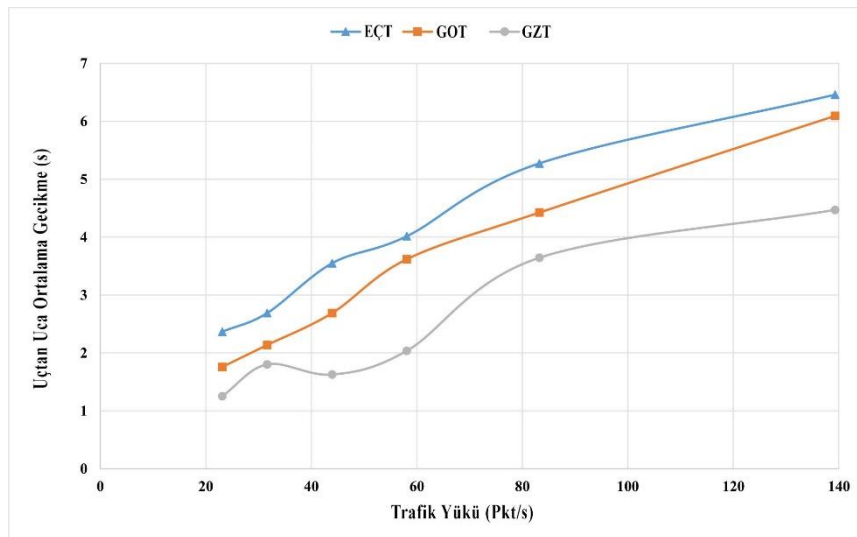
4.3. Başarım Değerlendirmesi

Benzetim senaryosunda her bir düğüm GZT, GOT ve EÇT üretebilmektedir. Acil durumda üretilen GZT, GOT ve EÇT paketleri sırasıyla AGZT, AGOT ve AEÇT

kuyruklarına eklenmiştir. Her bir benzetim farklı çekirdek değerleri ile 10 defa tekrarlanmıştır ve sonuçların ortalaması alınmıştır.

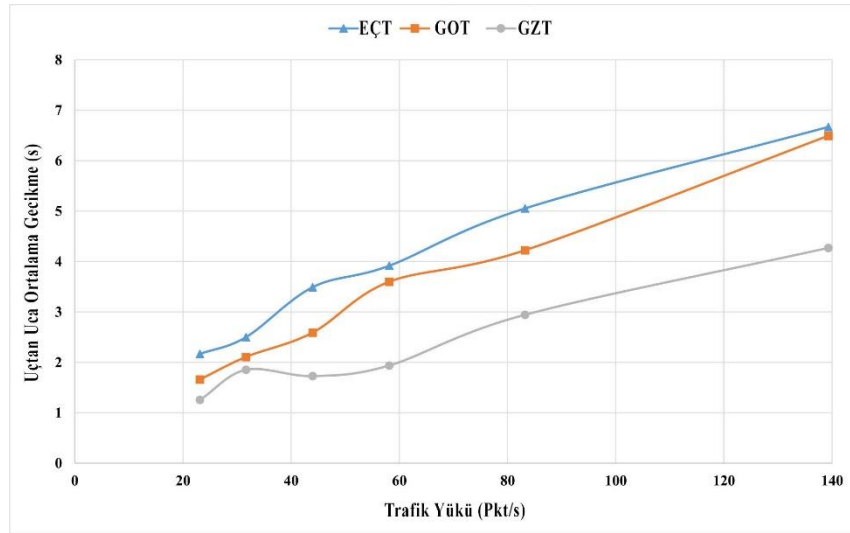
Değişen ağ yükü altında urgMAC'in benzetim sonuçları Şekil 4.1. – Şekil 4.4. arasında sunulmaktadır. Şekil 4.1. ASM ve UHM'nin herhangi bir acil durum oluşmadığı durumdaki etkisini göstermekte, Şekil 4.2. AÇU'nun da ilave edilmesi ile oluşan etkiyi göstermekte, Şekil 4.3. TDC'nin de ilave edilmesi ile oluşan etkiyi göstermekte, Şekil 4.4. ise her bir düğümün %10 acil trafik ürettiği bir acil durum senaryosunda geliştirilen mekanizmaların tümünün kullanıldığı karşılaştırma sonuçlarını göstermektedir. Küme lideri üzerinde oluşan ortalama uçtan uca gecikme sonuçları Tablo 4.2.'de sunulan parametrelere göre oluşturulan paketler üzerinden karşılaştırmalı olarak verilmektedir.

Temel CSMA/CA tabanlı KÇAA OEK modeline ASM ve UHM bileşenlerinin eklenmesinin bir sonucu olarak GZT, GOT ve EÇT trafik tiplerinin ortalama uçtan uca gecikme sonuçları Şekil 4.1.'de sunulmaktadır. ASM ve UHM'nin amacı hiç acil trafik olmasa bile GZT'ye QoS desteği sağlamaktır. Üretilen video trafiği maksimum seviyesine bile geldiğinde GZT, GOT ve EÇT'ye göre yaklaşık 2 s daha düşük ortalama uçtan uca gecikme değeri ile transfer edilmektedir.



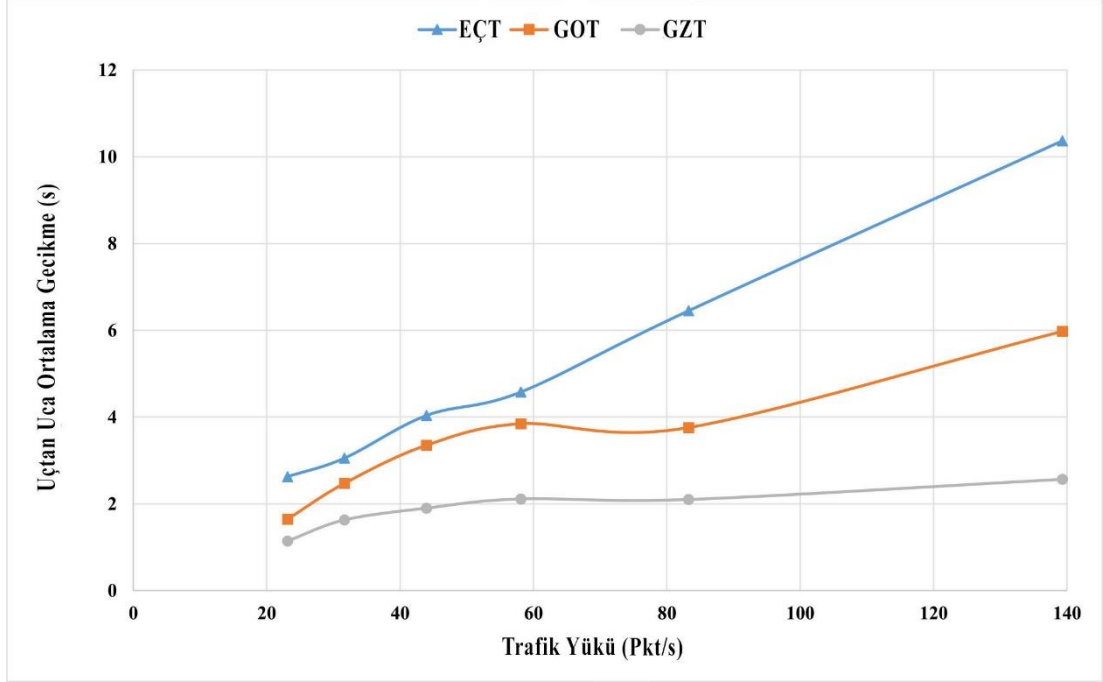
Şekil 4.1. ASM ve UHM'nin etkileri

ASM ve UHM bileşenlerinin yanısıra AÇU'nun da eklenmesinin bir sonucu olarak GZT, GOT ve EÇT trafik tiplerinin ortalama uçtan uca gecikme sonuçları Şekil 4.2.'de sunulmaktadır. AÇU'nun amacı Şekil 3.3.'te sunulan minimum ve maksimum değerler arasında ÇP'yi değiştirerek GZT trafik tipine uyarlanabilir QoS desteği sağlamaktır. AÇU'nun da eklenmesiyle GZT'nin ortalama uçtan uca gecikmesi biraz düşmüştür, fakat bu senaryoda acil trafik üretilmediği için kayda değer bir azalma olmamıştır.



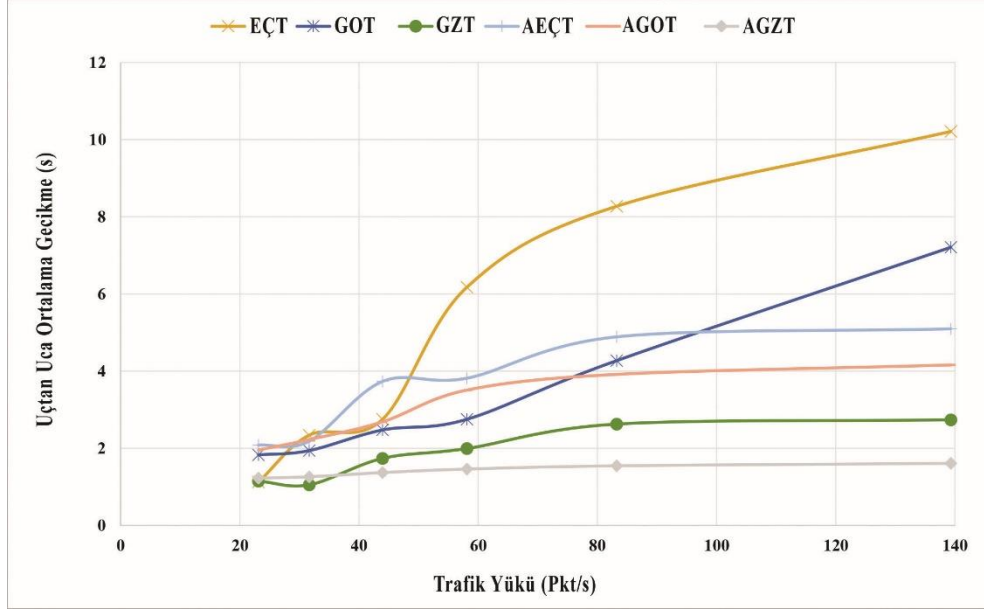
Şekil 4.2. ASM, UHM ve AÇU'nun etkileri

Şekil 4.3.'te KÇAA OEK modeline ASM, UHM ve AÇU bileşenlerinin yanı sıra TGD'nin de eklenmesinin bir sonucu olarak GZT, GOT ve EÇT trafik tiplerinin ortalama uçtan uca gecikme sonuçları sunulmaktadır. TGD'nin amacı düğümün üzerindeki baskın trafik tipine göre uyku-dinleme çizelgesini değiştirerek GZT trafik tipine QoS desteği sağlamak ve ayrıca düğüm üzerinde EÇT veya GOT trafik tipi baskın ise daha fazla uyku zamanı çizelgeleyerek GZT trafiğe sahip komşu düğümlere daha fazla kanal kullanım imkânı sunmaktır. Düğüm üzerinde üretilen video trafik büyük bile olsa GZT trafik GOT trafiğe göre 3 s, EÇT trafiğe göre de 8 s daha düşük ortalama uçtan uca gecikme ile gönderilmiştir. TGD'nin ilavesi ile ve uyku periyodunda paket üretiminden feragatle birlikte GZT'nin ortalama uçtan uca gecikmesinde ciddi bir fark oluşmuştur.



Şekil 4.3. ASM, UHM, AÇU ve TGD'nin etkileri

Şekil 4.4.'te her düğümde %10 acil trafik üretilen KÇAA OEK modeline ASM, UHM, AÇU TGD ve ÇMG'nin eklenmesinin bir sonucu olarak GZT, GOT, EÇT, AGZT, AGOT ve AEÇT trafik tiplerinin ortalama uçtan uca gecikme sonuçları sunulmaktadır. Bu senaryoda bütün mekanizmalar birlikte kullanıldığı için acil trafiğin önceliklendirilmesi ve AGZT trafiğe QoS desteği sağlanması gözlenebilmektedir. Şekil 4.4.'te de görüleceği üzere acil trafik üretildiğinde, bütün acil trafik sınıfları görece daha düşük ortalama uçtan uca gecikme ile iletilmektedir. Bununla birlikte AGZT trafiğin ortalama uçtan uca gecikmesi 1.2 – 1.6 s aralığında sabit tutulmaktadır. AGZT trafik GZT trafiğe göre daha hızlı iletilmektedir. AGZT trafik ayrıca AGOT'tan 2.5 s, AEÇT trafikten de 3.49 s daha düşük ortalama uçtan uca gecikme değeri ile iletilmektedir.

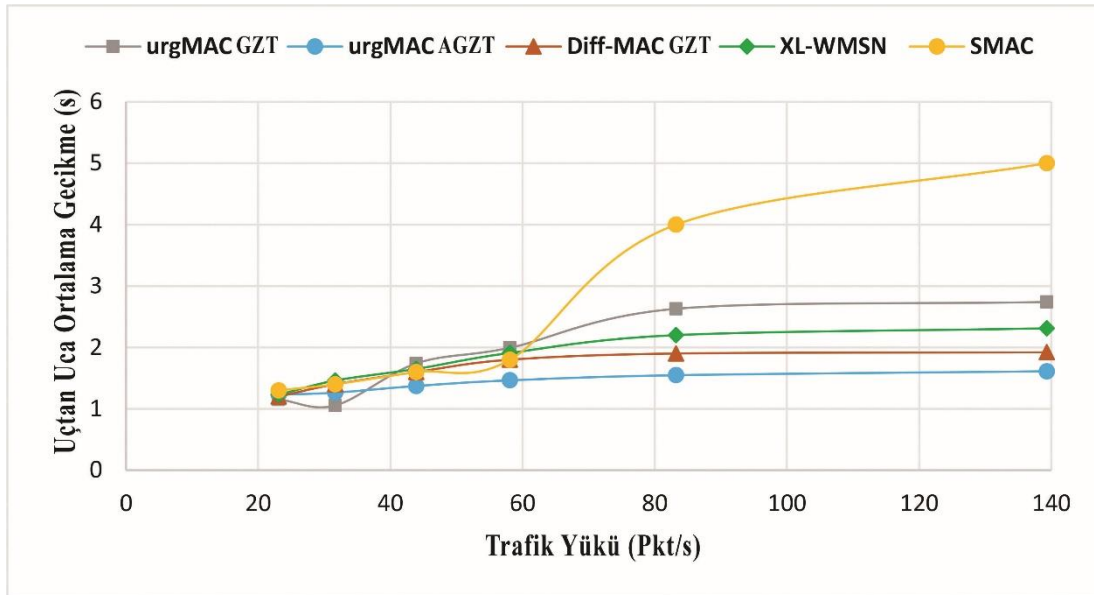


Şekil 4.4. Geliştirilen bütün mekanizmaların kullanılması ile acil ve acil olmayan trafiğin birlikte iletilmesi

urgMAC'in başarımı ve sahip olduğu bileşenlerin etkisini daha iyi değerlendirebilmek açısından literatürdeki SMAC, Diff-MAC ve XL-WMSN çalışmaları ile karşılaştırılmaktadır. SMAC uyku-dinleme çizelgesini ve çoklu ortam mesaj gönderimi mekanizmasını ilk uygulayan çekişme tabanlı KAA OEK protokolüdür, Diff-MAC ise urgMAC ile en yakın, en fazla benzerliğe sahip olan protokoldür. XL-WMSN çatısının içerisinde yer alan OEK katmanı ise bir çalışma zamanı ayarlama mekanizmasına sahiptir. Bununla birlikte çok kuyruklu bir paket sınıflandırıcıya sahiptir ama bu sınıflandırıcı trafik sınıflarına önceliklendirme sağlamak üzere bir ÇP boyutu uyarlama şeması içermemektedir. Karşılaştırmalarda SMAC sabit %50 çalışma zamanı ile kullanılmıştır.

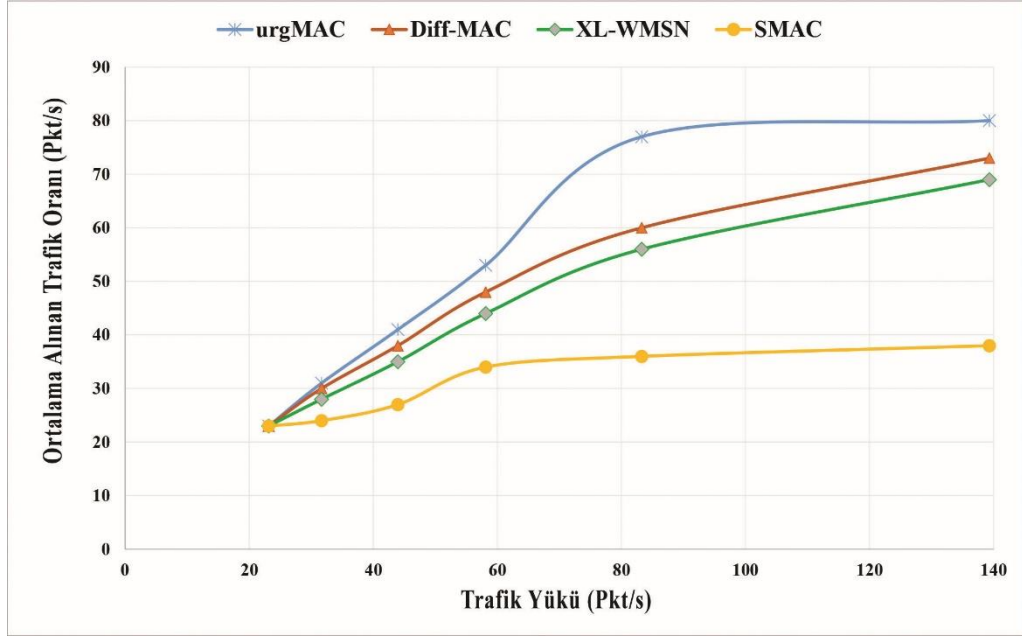
QoS destekli bir OEK protokolünün ana hedefi ortalama uçtan uca gecikmeyi düşürmek olduğundan, Şekil 4.5.'te her bir protokolün gerçek zamanlı trafik sınıflarının ortalama uçtan uca gecikme sonuçları sunulmaktadır. urgMAC, XL-WMSN ve Diff-MAC trafik sınıflarını önceliklendirmektedir ve yüksek öncelikli trafiği düşük ortalama uçtan uca gecikme ile iletmektedir. Ağın trafik yükü arttığında, urgMAC'in bütün ACT trafik sınıflarının ortalama uçtan uca gecikme değerleri AÇU sayesinde daha iyi sonuçlar vermektedir. UHM ile GZT sınıflarının veri iletim hızı oranı ayarlandığı için bu sınıflar ortalama uçtan uca gecikme sonuçlarında tutarlılığı

sürdürürken, AOT trafik sınıfı sonuçları ile XL-WMSN ve Diff-MAC'in sonuçları birbirine çok yakın çıkmaktadır. SMAC'in ortalama uçtan uca gecikmesi kabul edilebilir seviyededir fakat sabit görev döngüsü ve tek kuyruklu yapısından dolayı Şekil 4.6.'da da görüldüğü üzere paket kayıp oranı yüksektir.



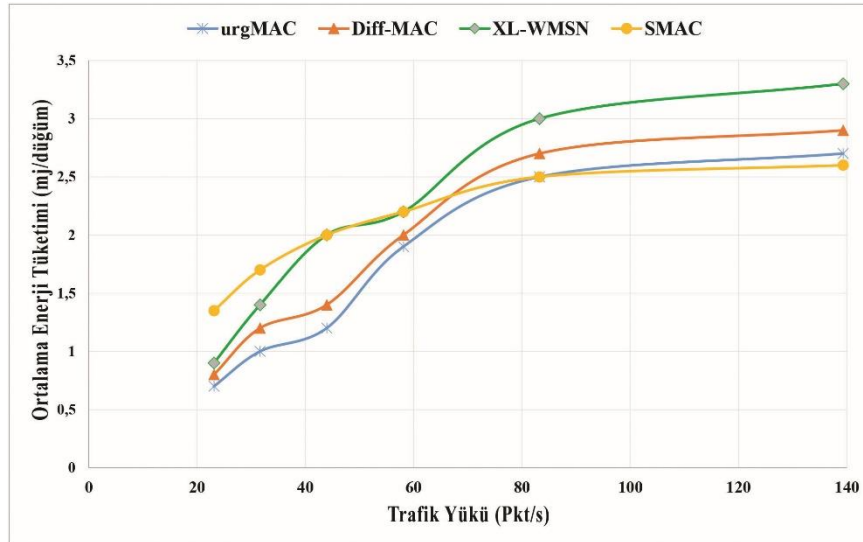
Şekil 4.5. Karşılaştırmalı ortalama uçtan uca gecikme sonuçları

Şekil 4.6.'da bütün protokoller için küme lideri düğüm üzerindeki ortalama alınan trafik oranı sunulmaktadır. XL-WMSN haricindeki bütün protokoller ÇMG özelliğine sahiptir. XL-WMSN, Diff-MAC ve urgMAC trafik uyarılma mekanizmalarına sahiptir, fakat urgMAC UHM sayesinde yaklaşık olarak sabit bir ortalama alınan trafik oranını sürdürmektedir. Ayrıca urgMAC daha yüksek kanal kullanım oranına ulaşmaktadır.



Şekil 4.6. Karşılaştırmalı alınan trafik oranı sonuçları

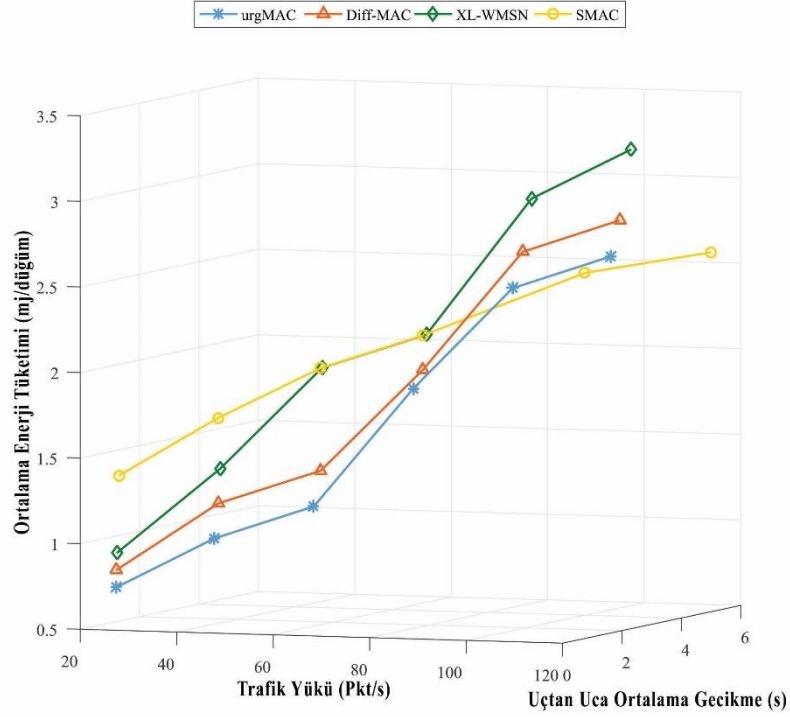
Şekil 4.7.'de bütün protokollerin artan trafik yüküne göre karşılaştırmalı ortalama enerji tüketimi sonuçları sunulmaktadır. Düşük trafik senaryolarında urgMAC'in enerji tüketimi bütün protokollerden daha azdır, yüksek trafik senaryolarında ise SMAC haricinde diğer protokollerden daha düşüktür. Düşük trafik senaryolarında SMAC en kötü başarıma sahiptir fakat sabit %50 çalışma döngüsü ile düşük değişim oranını sürdürür. SMAC haricindeki bütün protokoller çalışma döngüsü uyarlama özelliğine sahiptir. Bu özellik üretilen trafik yüksek olduğunda QoS desteği sağlamak için düğümün aktif zamanını artırmaktadır. UHM veri iletim hızı oranını ayarladığı için urgMAC her senaryoda XL-WMSN ve Diff-MAC'dan daha az enerji tüketmektedir.



Şekil 4.7. Karşılaştırmalı ortalama enerji tüketim sonuçları

Bu tez çalışmasında geliştirilen urgMAC uygulamaya özgü aciliyet zorlukları içeren uygulamalar için QoS farkındalıklı katmanlar arası etkileşimli bir KÇAA OEK protokolüdür. Acil olmayan çalışma düzeninde enerji tasarrufu için gerekli önlemleri alır. TGD mekanizması düğümün üzerindeki baskın trafik tipine göre düğümün aktif zamanını ayarlayarak boşa dinleme süresinde enerji tasarrufu sağlar. AÇU çarpışma sayısını azaltır ve ÇP boyutunu uyarlayarak düğümün enerji tüketimini düşürür. urgMAC'in ana amacı bir acil durum senaryosunda hedef alandaki düğümlerin algıladığı gerçek zamanlı çoklu ortam verisini ve diğer aciliyet içeren verileri hızlı iletmektir. Şekil 4.7.'de de görüleceği üzere urgMAC yüksek trafik senaryolarında SMAC'den biraz daha fazla enerji tüketmektedir. SMAC ağı yaşam süresini artırmak için sabit uyku-dinleme evreleri önerir fakat gerektiği zaman QoS desteği sağlama özelliğine sahip değildir. QoS farkındalıklı protokoller sadece enerji tasarrufu için düğüm iletim ve algılama yapmadığında uykuda tutmayı değil aynı zamanda yüksek trafik üretildiği durumda QoS gereksinimi olan veriyi hızlı iletmeyi de hedefler. Şekil 4.8. ortalama enerji tüketimi ve ortalama uçtan uca gecikme sonuçlarını birlikte göstererek enerji – gecikme ödünleşmesini vurgulamaktadır. urgMAC hem enerji tüketimi hem de ortalama uçtan uca gecikme açısından Diff-MAC ve XL-WMSN'den daha iyi sonuçlara sahiptir. Şekil 4.8.'de de görüleceği gibi yüksek trafik üretildiğinde enerji tüketimi açısından başarımı biraz düşse de urgMAC, SMAC'den en az iki kat daha iyi ortalama uçtan uca gecikme başarımı elde etmektedir. Bu enerji tüketimi ve

ortalama uçtan uca gecikme ödünleşmesi urgMAC için gerçek zamanlı çokluortam uygulamalarında tercih edilme imkânı sağlamaktadır.



Şekil 4.8. Karşılaştırmalı ortalama enerji tüketimi ve uçtan uca gecikme sonuçları

4.4. Algılayıcı Düğümler Üzerinde Uygulama

Geliştirilen urgMAC'ın Wasp mote açık kaynaklı algılayıcı düğümler üzerinde temel bir deney düzeneği üzerinde uygulaması yapılmıştır. Deney için üzerinde kamera algılayıcısı de bulunan dört adet algılayıcı düğüm ve bir adet de çıkış düğümü kullanılmıştır. KÇAA düğümleri ızgara düzende Şekil 4.9.'da gösterildiği gibi yerleştirilerek deneyler gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.9. Deney düzeni görüntüsü

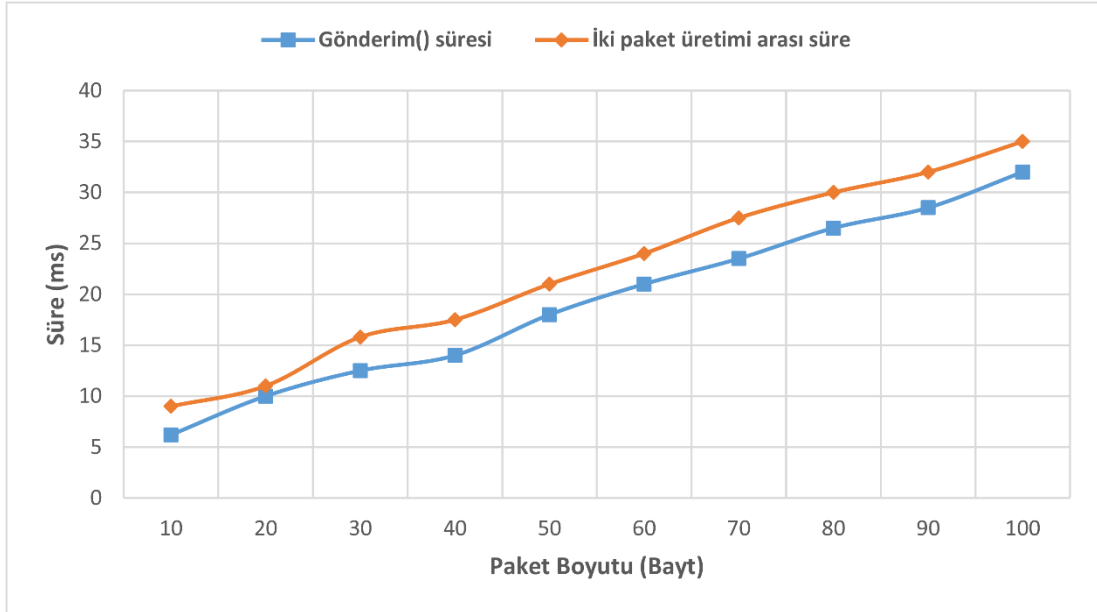
ASM ve ÇMG kullanımı, uygulama katmanı yardımı ile düğümler üzerinde kısmen gerçekleştirilmiş bulunmaktadır. Algılayıcı düğümler üzerinde kullanılan Xbee 802.15.4 radyo frekansı (RF) modüllerinin üzerindeki CSMA/CA kodunun değiştirilmesi mümkün olmadığı için UHM, TGD ve AÇU mekanizmaları uygulanmamıştır. Uygulama parametreleri Tablo 4.3.'te görülmektedir.

Tablo 4.3. Uygulama parametreleri

<i>Parametre</i>	<i>Değeri</i>
<i>Gözetim alanı</i>	3 x 3 m ²
<i>Ağ boyutu</i>	4 düğüm
<i>Uygulama zamanı</i>	30 dakika
<i>Kamera çerçeve oranı</i>	2 – 12 fps
<i>Video çerçeve boyutu</i>	1 – 10 Kbit
<i>Bant genişliği</i>	250 Kbps

Algılayıcı düğümler mikroişlemci ve RF modülü arasında veri transferi için UART kullanmaktadır. UART transfer hızı 38400-230400 bps arasında değişebiliyorken, mikroişlemcinin ve RF modülünün hızları (clock) da dikkate alınarak, kullanılan donanımda transfer hızı, uygulama API'si tarafından 38400 bps olarak belirlenmiştir. Belirtilen mikroişlemci ve RF modülü arası transfer hızına göre paketlerde yer alan veri (payload) miktarı değişimine göre send() fonksiyonunun çalışma süresi ve

paketin hazırlanmasının da dâhil edildiği iki paket üretimi arası geçen süre değişimi Şekil 4.10.'da görülmektedir. Artışın yaklaşık olarak doğrusal olduğu görülmektedir. Buna göre “baud oranı” artırıldığında gönderim süresinin de düşebileceği değerlendirilmektedir.



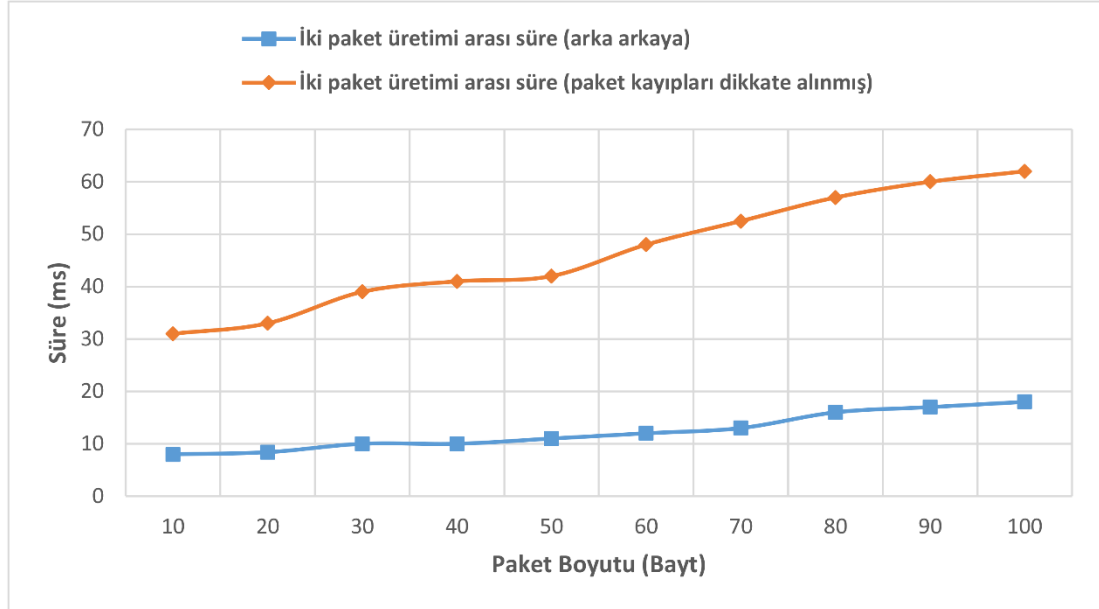
Şekil 4.10. Paket gönderim süreleri

Xbee 802.15.4 RF modülü en fazla 100 bayt veri boyutunu desteklediği için veri 100 baytlık paketler halinde gönderilebilmiştir. 802.15.4 standardına göre macMinBE değeri varsayılan olarak üç iken, Xbee 802.15.4'de bu değer sıfır olarak belirlenmiştir.

Gönderim süresini etkileyen 38400 bps baud oranı değiştirilmek istendiğinde, 250000 bps seçilirse paket kayıplarının fazla olduğu gözlemlenmiş ve gönderim süresini kısaltmak amacıyla paket kayıplarının çok az olduğu 125000 bps değeri ile değiştirilmiştir. Bu değer ile 100 baytlık bir paketin gönderim süresi yaklaşık 16 ms olarak ölçülmüştür.

Paket iletiminde alıcı algılayıcı düğümün de kısıtları bulunmaktadır. Gönderim hızından kaynaklanan paket kayıplarını dikkate alarak gönderim yapıldığında iki paket

üretimi arasında olması gereken bekleme süresi, yük boyutuna göre Şekil 4.11.'de gösterilmektedir.



Şekil 4.11. Alıcı düğümü dikkate alan paket gönderim süreleri

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda kamera algılayıcısının ürettiği 128x128 boyutunda JPG formatında sıkıştırılmış bir resim, paketler arası süre 90 ms seçildiğinde 20 kalite faktöründe 3.2 s sürede gönderilebilmektedir. Kalite faktörü 20 seçilip paketler arası süre 80 ms seçilirse 1.2 s sürede gönderim yapılabilmektedir. urgMAC için geliştirilen mekanizmalar donanım kısıtları nedeniyle kısmen uygulanabilmiş olsa da çokluortam gönderimi test edilmiş, uygun donanım ortamında gerçekleştirilebileceği görülmüştür.

4.5. Sonuç

Bu bölümde, tez çalışmasında geliştirilen OEK protokolünün acil durum da içeren bir askeri sınır gözleme senaryosunda başarımlı değerlendirilmesi yapılmıştır. Benzetim ortamı için trafik sınıflarının değerleri değiştirilerek altı farklı trafik tipi oluşturulmuştur. Benzetim parametreleri seçilen senaryoya uygun olacak şekilde belirlenmiştir. Her bir düğümün GZT, GOT ve EÇT üretebildiği göz önüne alınmıştır. Acil durum oluştuğunda üretilen GZT, GOT ve EÇT paketleri sırasıyla AGZT, AGOT

ve AEÇT kuyruklarına eklenmiştir. Geliştirilen urgMAC, SMAC, Diff-MAC ve XL-WMSN protokolleri ile karşılaştırılmıştır. urgMAC'in başarımlı değerlendirilmesi uçtan-uca gecikme, iş çıkarma oranı ve güç tüketimi parametrelerine göre gerçekleştirilmiştir ve sonuçları grafikler halinde gösterilmiştir. Benzetim sonuçları ayrı ayrı tartışılmıştır. urgMAC'in Waspote açık kaynaklı algılayıcı düğümler üzerinde gerçekleştirilen temel bir uygulama ve sonuçları sunulmuştur. Algılayıcı düğümlerin donanım kısıtları belirtilerek, bu kısıtları da dikkate alan ölçüm sonuçları grafikler halinde gösterilmiş ve sonuçlar tartışılmıştır.

BÖLÜM 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Bu doktora tezinde KÇAA için urgMAC adında trafik ve QoS farkındalıklı katmanlar arası etkileşimli yeni bir OEK protokolü sunulmaktadır. urgMAC doğa gözleme, askeri sınır güvenliği ve sınır gözleme gibi uygulamaya özgü aciliyet zorlukları içeren uygulamalar için İki Aşamalı Servis Farklılaştırma, Uyarlamalı Veri İletim Hızı Oranı Ayarlama, Aciliyet Temelli Çekişme Penceresi Boyutu Uyarlama, Trafik Tipi Uyarlamalı Görev Döngüsü ve Çokluortam Mesaj Gönderimi adlı yeni mekanizmalar içermektedir. Bu mekanizmalar katmanlar arası etkileşim ve uyarlanabilir servis kalitesi kavramları bağlamında özellikle çokluortam uygulamaların ihtiyaçları göz önüne alarak geliştirilmiştir. İki Aşamalı Servis Farklılaştırma Mekanizması, acil gerçek zamanlı çokluortam trafiğinin uçtan uca gecikmesini düşürmektedir. Çekişmeleri ve kuyruk taşmalarını azaltmak için uygulama katmanında Uyarlamalı Veri İletim Hızı Oranı Ayarlama Mekanizması kullanılmaktadır. urgMAC CSMA/CA tabanlı kullanıma yönelik tasarlanmıştır. Aciliyet Temelli Çekişme Penceresi Boyutu Uyarlama enerji tüketimini düşürmekle birlikte acil trafiğe sahip düğümlere daha fazla ortam erişim şansı sağlamak için çekişme penceresi boyutunu dinamik ağ trafiği şartlarına göre uyarlamalı biçimde ayarlar. Trafik Tipi Uyarlamalı Görev Döngüsü gereksiz enerji tüketiminden kaçınmak için düğümün aktif zamanını baskın trafik tipine göre ayarlar. Çokluortam Mesaj Gönderimi büyük çokluortam paketlerini daha küçük parçalara böler ve paket kaybı etkisini azaltmak için patlamalı olarak gönderir.

urgMAC Riverbed Modeler modelleme ve benzetim yazılımı ile modellenmiş ve benzetimi yapılmıştır. Literatürdeki SMAC, Diff-MAC ve XL-WMSN adlı protokollerle karşılaştırılmıştır. Servis kalitesi gereksinim parametrelerinden olan kanal kullanımı ve ortalama uçtan uca gecikme sonuçlarında daha iyi başarımlar üretmektedir. urgMAC acil gerçek zamanlı trafiğe en yakın sonuçları veren Diff-

MAC'dan %14 daha düşük ortalama uçtan uca gecikme sağlamıştır. Küme lideri düğüm üzerinde ölçülen alınan trafik oranlarına göre ise urgMAC en yakın sonuçları veren Diff-MAC'dan %27 daha yüksek kanal kullanım oranına sahiptir. Ağın trafik yükü arttıkça AÇU mekanizması sayesinde bütün acil trafik sınıfları acil olmayan trafik sınıflarından daha yüksek başarımlar göstermişlerdir. Uyarlamalı Görev Döngüsü veri iletim hızı oranını ayarladığından acil trafik sınıfları tutarlı ortalama uçtan uca geçilme değerlerini sürdürme eğilimindedirler.

5.2. Tartışma Ve Öneriler

Tez çalışması kapsamında önerilen OEK protokolünde acil durum içeren senaryolarda acil olan trafiğin iletimi dikkate alınmaktadır. Kanalin düğümlere tahsisini eniyileyerek acil gerçek zamanlı trafiğe QoS desteği sağlanmaktadır. Gelecek çalışmalar urgMAC'in QoS farkındalıklı bir yönlendirme protokolü ile bütünleştirilmesi ve bir acil durum senaryosunda çoklu ortam içerik iletimi için başarımının test edilmesi olabilir. Yönlendirme protokolünün de acil durumları dikkate alan trafik farkındalıklı bir protokol olması durumunda urgMAC'in ürettiği sonuçlar ağın tamamında etkili olacaktır. urgMAC, uygulama katmanına çokluortam trafik kuyruğundaki paketlerin oranını ileterek QoS desteğini sürdürmek için çözünürlük ve fps parametrelerini ayarlamaktadır. Buna ek olarak çarpışma tahmini gibi başka parametreler de eklenerek veri iletim hızı uyarlama katsayısı geliştirilebilir.

KAYNAKLAR

- Abd El Kader, M. E. E. D. Youssif, A. A. A., Ghalwash, A. Z. 2016. Energy Aware and Adaptive Cross-Layer Scheme for Video Transmission Over Wireless Sensor Networks. *IEEE Sensors Journal*, 16(21): 7792-7802.
- Akyildiz, I. Melodia, T., Chowdhury, K. 2007. A survey on wireless multimedia sensor networks. *Computer Networks*, 51(4): 921-960.
- Al-Anbagi, I. Erol-Kantarci, M., Mouftah, H. T. 2016. A Survey on Cross-Layer Quality-of-Service Approaches in WSNs for Delay and Reliability-Aware Applications. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 18(1): 525-552.
- AlNuaimi, M. Sallabi, F., Shuaib, K. 2011. A survey of Wireless Multimedia Sensor Networks challenges and solutions. *Innovations in Information Technology (IIT)*, 2011 International Conference, Abu Dhabi, 191-196.
- Bhatnagar, S. Deb, B., Nath B. 2001. Service differentiation in sensor networks. In *Proc. Wireless Personal Multimedia Communications*.
- Chen, D. Varshney, P. K. 2004. QoS support in wireless sensor networks: A survey. In *Proc. ICWN'04, Las Vegas*, 609-619.
- Costa, D. G. Guedes, L. A. 2011. A Survey on Multimedia-Based Cross-Layer Optimization in Visual Sensor Networks. *Sensors*, 11(5): 5439-5468.
- Cucchiara, R. 2005. Multimedia surveillance systems. In *Proceedings of the third ACM international workshop on Video surveillance & sensor networks (VSSN '05)*, New York, 3-10.
- Demirkol, I. Ersoy, C., Alagoz, F. 2006. MAC protocols for wireless sensor networks: a survey. *IEEE Comm. Magazine*, 44(4): 115-121.
- Hamid, Z. Bashir, F. 2013. XI-WMSN: Cross-layer quality of service protocol for wireless multimedia sensor networks. *EURASIP J. Wireless Commun. Netw.*, 2013(1):174:1-174:16.
- Haqbeen, J. A. Ito, T., Arifuzzaman, M. Otsuka, T. 2017. An Intelligent Cross-Layer QoS-Aware Protocol with Traffic-Differentiation-Based for Energy Efficient Communication in WSNs. *International Journal of Networked and Distributed Computing*, 5(2): 80-92.
- Hayat, M. N. Khan, H., Iqbal, Z., Ur Rahman, Z., Tahir, M. 2017. Multimedia sensor networks: Recent trends, research challenges and future directions. *International Conference on Communication, Computing and Digital Systems (C-CODE)*, Islamabad, 157-162.
- Jurcik, P. Koubaa, A. 2009. The IEEE 802.15.4 OPNET Simulation Model: Reference Guide v2.0, IPP HURRAY Research Group, Tech. Rep. TR-070509.

- Kim, J. Lin, X., Shroff, N. 2011. Optimal anycast technique for delaysensitive energy-constrained asynchronous sensor networks. *IEEE/ACM Trans. Netw.*, 19(2): 484–497.
- Kim, H. Min, S. G. 2009. Priority-based QoS MAC protocol for wireless sensor networks. In *Proc. IEEE IPDPS*, Italy, 1–8.
- Li-minn, A. Seng, K.P., Chew L. W., Yeong, L.S., Chia, W.C. 2013. *Wireless Multimedia Sensor Networks on Recon-figurible Hardware*. İçinde: *Wireless Multimedia Sensor Network Technology*. 1. Baskı, Springer, UK, 5-14.
- Misra, S. Reisslein, M., Xue, G. 2008. A survey of multimedia streaming in wireless sensor networks. *IEEE Communication Surveys Tutorials*, 10(4): 18-39.
- Olifer, N. Olifer, V. 2005. *Computer Networks: Principles, Technologies and Protocols for Network Design*. İçinde: *Shared Media LANs*. 1. Baskı, John Wiley & Sons, UK, 472-479.
- Ozen, Y. Bayilmis, C., Bandirmali, N., Erturk, I. 2014. Two tiered service differentiation and data rate adjustment scheme for WMSNs cross layer MAC. 11th International Conference on Electronics, Computer and Computation (ICECCO 2014), Abuja, 97-100.
- Ozen, Y. Bayilmis, C., Bandirmali, N., Erturk, I. 2015. Two tiered service differentiation mechanism for wireless multimedia sensor network MAC layers. *Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU) 23th*, Malatya, 2318-2321.
- Ozen, Y. Bayilmis, C. 2017. urgMAC: A new Traffic and QoS-aware Cross Layer MAC protocol for Wireless Multimedia Sensor Networks. *The Computer Journal*.
- Rasyid, M. U. H. A. Nadhori, I. U., Sudarsono, A. Luberski, R. 2014. Analysis of slotted and unslotted CSMA/CA Wireless Sensor Network for E-healthcare system. *International Conference on Computer, Control, Informatics and Its Applications (IC3INA)*, Bandung, 53-57.
- Saxena, N. Roy, A., Shin, J. 2008. Dynamic duty cycle and adaptive contention window based QoS-MAC protocol for wireless multimedia sensor networks. *Computer Networks*, 52(13): 2532–2542.
- Wang, F. Li, D., Zhao, Y. 2009. Analysis and Compare of Slotted and Unslotted CSMA in IEEE 802.15.4. 2009 5th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, Beijing, 1-5.
- Ye, W. Heidemann, J., Estrin, D. 2004. Medium access control with coordinated adaptive sleeping for wireless sensor networks. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 12(3): 493-506.
- Yigitel, M. A. Incel, O. D., Ersoy, C. 2011. Design and Implementation of a QoS-aware MAC Protocol for Wireless Multimedia Sensor Networks. *Elsevier Computer Comm.*, 34(16):1991-2001.
- Yigitel, M. A. Incel, O. D., Ersoy, C. 2011. QoS-aware MAC protocols for wireless sensor networks: A survey. *Computer Networks*, 55(8):1982- 2004.

ÖZGEÇMİŞ

Yunus ÖZEN, 1982'de Antalya'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Antalya'da tamamladı. 1999 yılında Antalya Anadolu Teknik Lisesi'nden mezun oldu. 1999 yılında başladığı Kocaeli Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Bilgisayar Öğretmenliği bölümünü 2003 yılında tamamladı. Kocaeli Üniversitesi Elektronik Bilgisayar Eğitimi Enstitü Anabilim Dalında başladığı yüksek lisans eğitimini 2011 yılında bitirdi. Doktora eğitimine Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar ve Bilişim Mühendisliğinde 2011 yılında başladı. Lisans eğitiminin ardından Milli Eğitim Bakanlığı'nda Bilişim Teknolojileri Öğretmeni olarak 2009 yılına kadar çalıştı. 2009 – 2011 yılları arasında İçişleri Bakanlığı'nın E-Devlet uygulaması olan E-İçişleri projesinde proje sorumlusu olarak görev aldı. Halen Yalova Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümünde Öğretim Görevlisi olarak çalışmaktadır. Bilişim Teknolojileri Öğretmeni Göksu Zekiye Özen ile evlidir.