



**T.C. İSTANBUL T CARET
ÜNİVERSİTESİ**

FEN B LİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**İNSANSIZ HAVA ARAÇLARININ HAREKET VE YÖNLENDİRME
PROTOKOLLERİNE GÖRE PERFORMANS ÖLÇÜMÜ**

Nurullah Onurhan YALÇIN

**Danışman
Dr.   r. Üyesi Ali BOYACI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
İSTANBUL - 2020**

KABUL VE ONAY SAYFASI

Nurullah Onurhan YALÇIN tarafından hazırlanan "**İnsansız Hava Araçlarının Hareket ve Yönlendirme Protokollerine Göre Performans Ölçümü**" adlı tez çalışması 13/07/2020 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri önünde başarı ile savunularak, İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman **Dr. Öğr. Üyesi Ali BOYACI**
İstanbul Ticaret Üniversitesi

Jüri Üyesi **Dr. Öğr. Üyesi M. Alper ÖZPINAR**
İstanbul Ticaret Üniversitesi

Jüri Üyesi **Dr. Öğr. Üyesi G. Zeynep AYDIN**
İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa

Onay Tarihi: 24/07/2020

İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsünün 24.07.2020 tarih ve 2020/288 numaralı Yönetim Kurulu Kararının 1. maddesi gereğince, ders yüklerini ve tez yükümlülüğünü yerine getirdiği belirlenen "Nurullah Onurhan YALÇIN" (TC:19622187938) adlı öğrencinin mezun olmasına oy birliği ile karar verilmiştir.

Prof. Dr. Necip ŞİMŞEK
Enstitü Müdürü

AKADEMİK VE ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada,

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversitede veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

24/07/2020

Nurullah Onurhan YALÇIN

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER.....	i
ÖZET	ii
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
ŞEKİLLER	v
ÇİZELGELER.....	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	vii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ.....	3
3. KABLOSUZ AD-HOC AĞLARI.....	5
3.1. Kablosuz Örgü Ağları (WMNs).....	6
3.2. Mobil Ad-Hoc Ağları (MANETs)	7
3.2.1. Araç Ad-Hoc ağları (VANETs)	7
3.3. Kablosuz Duyarga Ağları (WSNs)	8
3.4. İHA'ların Ad-Hoc Mimarisi Üzerinden Değerlendirilmesi	9
3.4.1. Tekli İHA sistemleri.....	10
3.4.2. Çoklu İHA sistemleri	11
4. AD-HOC YÖNLENDİRME VE HAREKETLİLİK MODELLERİ	13
4.1. Yönlendirme Protokolleri.....	13
4.1.1. Tablo tabanlı (Proaktif) yönlendirme protokolleri	14
4.1.1.1. Dinamik hedef sıralı uzaklık vektörü (DSDV)	15
4.1.1.2. İyileştirilmiş bağ durumu yönlendirme protokolü (OLSR)	15
4.1.2. Talep tabanlı (Reaktif) yönlendirme protokolleri	16
4.1.2.1. Eşe-eş isteğe bağlı uzaklık vektörü (AODV)	17
4.1.3. Hybrid yönlendirme protokolleri	18
4.2. İHA İletişimindeki Olası Hareketlilik Modelleri	18
4.2.1. Varlık hareketlilik modelleri	19
4.2.1.1. Random waypoint hareketlilik modeli	19
4.2.1.2. Random walk 2D hareketlilik modeli.....	20
4.2.1.3. Gauss Markov hareketlilik modeli	21
4.2.2. Grup hareketlilik modelleri	22
5. KULLANILAN SİSTEM VE SİMULASYON ORTAMI.....	23
6. UYGULAMA ÇIKTILARI VE ANALİZİ	25
6.1. Random Waypoint Modelinin Performans Ölçümü	25
6.2. Random Walk 2D Modelinin Performans Ölçümü	27
6.3. Gauss Markov Modelinin Performans Ölçümü	29
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	31
KAYNAKLAR	33
ÖZGEÇMİŞ.....	35

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

İNSANSIZ HAVA ARAÇLARININ HAREKET VE YÖNLENDİRME PROTOKOLLERİNE GÖRE PERFORMANS ÖLÇÜMÜ

Nurullah Onurhan YALÇIN

İstanbul Ticaret Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Ali BOYACI

2020, 35 sayfa

Kablosuz ağların gelişmesi ve yaygın kullanımındaki artışlar beraberinde küresel ihtiyaçlara göre şekillenen İnsansız Hava Araçları (İHA) kullanımını yaygınlaştırmıştır. İHA'lar günümüzde askeri ve coğrafi keşifler, sağlık, arama kurtarma ve ulaşımı zor noktalardan görüntü aktarımını sağlamaktadır. Kritik görevler üstlenebilmesinden ötürü İHA'lar hızlı ve dinamik hareketlilik modellerine ve bu hareketlilik modellerine uygun yönlendirme protokollerine ayak uydurabilmeli, kaliteli ve kesintisiz bağlantılar için uygun protokollerle çalışmalıdır. Hareketlilik konusunda sınırı olmayan bu araçların yaygınlaşmasıyla günümüzde kapsama, iletişim ve etkin paket yönlendirmeleriyle ilgili protokoller araştırma konusu olmuştur. Bu araştırma konumuzda mobil İHA'ların farklı hareketlilik modelleri baz alınarak çeşitli yönlendirme protokollerine göre kıyaslamaları yapılmış, çıkan sonuçların paket boyutu ve düğüm sayıları referans alınarak kıyaslamalı grafikler elde edilmiştir. Senaryomuz için AODV, DSDV ve OLSR yönlendirme protokolleri kullanılmış, bu yönlendirme protokolleri için Gauss Markov, Random Waypoint ve Random Walk 2D hareketlilik modelleri kullanılmıştır. Simülasyonumuzdaki trafik modellemesi NS3 Network Simulator yazılımı üzerinde test edilerek gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: AODV, Drone, DSDV, Gauss Markov, İHA, MANET, NS3, OLSR, random walk 2D, random waypoint.

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

PERFORMANCE MEASUREMENT OF HUMAN AIRCRAFT ACCORDING TO MOTION AND DIRECTION PROTOCOLS

Nurullah Onurhan YALÇIN

**İstanbul Commerce University
Graduate School of Applied and Natural Sciences
Department of Computer Engineering**

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Ali BOYACI

2020, 35 pages

The development and widespread use of wireless networks have increased the use of Unmanned Aerial Vehicles (UAV) that are shaped according to global needs. Today, UAVs provide images from military and geographical discoveries, health, search and rescue and hard to reach places. Because they can undertake critical tasks, UAVs must be able to keep up with the fast and dynamic mobility models and the routing protocols appropriate to these mobility models, and work with the appropriate protocols for quality and uninterrupted connections. With the spread of these tools, which have no limits in terms of mobility, protocols related to coverage, communication and effective packet routing have been the subject of research. In this research topic, mobile UAVs were compared according to various routing protocols based on different mobility models, and comparative graphs were obtained by reference to packet size and node numbers of the results. AODV, DSDV and OLSR routing protocols were used for our scenario and Gauss Markov, Random Waypoint and Random Walk 2d mobility models were used for these routing protocols. The traffic modeling in our simulation was tested on NS3 Network Simulator software.

Keywords: AODV, Drone, DSDV, Gauss Markov, MANET, NS3, OLSR, random walk 2D, random waypoint, UAV.

TEŞEKKÜR

Lisansüstü eğitimimde ve tezin hazırlanma sürecinde benden yardımını esirgemeyen, özveriyle çalıştığım ve kendisiyle çalışmaktan gurur duyduğum hocam Dr. Öğr. Üyesi Ali BOYACI'ya, eğitimlerim sırasında her zaman yardımcı olan tüm İstanbul Ticaret Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Ana Bilim Dalı hocalarıma ve benden manevi desteğini esirgemeyen aileme teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Nurullah Onurhan YALÇIN
İSTANBUL, 2020

ŞEKİLLER

	Sayfa
Şekil 3.1. Kablosuz Ad-Hoc ağlarının sınıflandırılması	5
Şekil 3.2. Kablosuz örgü ağ yapısı	6
Şekil 3.3. VANET trafik modellemesi	8
Şekil 3.4. Kablosuz duyarga ağ yapısı	9
Şekil 3.5. Tekli İHA sistemi.....	11
Şekil 3.6. Çoklu İHA sistemi	12
Şekil 4.1. Ad-Hoc yönlendirme protokolleri.....	14
Şekil 4.2. Hareketlilik modelleri.....	19
Şekil 4.3. Random waypoint hareketlilik modeli.....	20
Şekil 4.4. Random walk 2D hareketlilik modeli	21
Şekil 4.5. Gauss Markov hareketlilik modeli	22
Şekil 6.1. Düğümlerin simülasyon hareketliliği	25
Şekil 6.2. Random waypoint gecikme grafiği	26
Şekil 6.3. Random waypoint paket kaybı grafiği	27
Şekil 6.4. Random walk 2D gecikme grafiği.....	28
Şekil 6.5. Random walk 2D paket kaybı grafiği	29
Şekil 6.6. Gauss Markov gecikme grafiği.....	29
Şekil 6.7. Gauss Markov paket kaybı grafiği	30

ÇİZELGELER

	Sayfa
Çizelge 3.1. Tasarsız ağlar ve İHA ağları	10
Çizelge 3.2. Tekli ve çoklu İHA sistemlerinin karşılaştırılması.....	12
Çizelge 5.1. Simülasyon ortamı gereksinimleri.....	23
Çizelge 5.2. Simülasyon parametreleri.....	24

SİMGELER VE KISALTMALAR

ABR	Associativity Based Routing
AODV	Ad hoc On-Demand Distance Vector
A2A	Air to Air
A2G	Air to Ground
CBR	Constant Bit Rate
CGSR	Cluster-Head Gateway Switch Routing
CMM	Community Mobility Model
DSDV	Destination-Sequenced Distance Vector
DSR	Dynamic Source Routing
FSR	Fisheye State Routing Protocol
G2A	Ground to Air
İHA	İnsansız Hava Araçları
LMR	Light-Weight Mobile Routing
MAC	Medium Access Control
MANET	Mobile Ad hoc Network
NS3	Network Simulator 3
OLSR	Optimized Link State Routing Protocol
OS	Operating System
RAM	Random Access Memory
RPGM	Reference Point Group Model
SSR	Self Selective Routing
TBRPF	Topology Dissemination Based on Reverse-Path Forwarding
TORA	Temporally Ordered Routing Algorithm
UAV	Unmanned Aerial Vehicles
VANET	Vehicular Ad Hoc Network
ZRP	Zone Routing Protocol

1. GİRİŞ

Daha düşük maliyetli ve yüksek hızlı verilerin popülerleştiği son yıllarda kablosuz iletişim teknolojilerine duyulan ihtiyaçlar giderek artmakta ve bu artışla beraber İnsansız Hava Araçları (İHA) popülerlik kazanmıştır. Bir mobil ad-hoc ağı (MANET) olarak değerlendirilen İHA'lar kablosuz iletişim kullanan, sabit bir coğrafi konumlandırmaya gereksinim duymadan bağımsız hareket ederek verilerin aktarımını sağlayan son derece dinamik bir ağ parçalarıdır. İletişime duyulan ihtiyaçların arttığı ve bu artışla beraberinde gelen maliyet problemlerine çözüm olabilen İHA'lar; sivil havacılık, askeri, coğrafi bilgi toplama, hobi amaçlı ve arama kurtarma gibi hayatımızın olmazsa olmazları arasında yer alırken, askeri sistemlerde de kullanımı yaygınlaşmaktadır. İnsanların erişemeyeceği veya insanların ulaşmasının riskli olduğu yerlerden bilgi toplama konusunda son derece etkililerdir.

Hızla artan nüfusa paralel olarak artan ihtiyaçların başında gelen haberleşme ve bilgi toplama konusunda yeri göz ardı edilemeyecek kadar önemli olan İHA'ların bilimsel kullanımlarındaki artışın başındaki temel sebepler, ağ topolojisine istenildiği kadar düğüm ekleme çıkarma hakkı (ölçeklendirilebilir), hata toleranslarının olması ve istenilen yerde altyapı gereksinimi olmaksızın konumlandırılabilmesidir. Yapılan çalışmanın şartlarına göre ağ topolojisinde tek bir İHA olabilirken, birden fazla İHA'ların senkron bir şekilde çalıştığı sistemler de mevcuttur. Bunlar hareket ve ses sensörü yüklü cihazlar olabilirken, belirli bir bölgeden bilgi toplayan ve eş zamanlı birbirlerine veri transferi yapan ağ yapıları da olabilir. Birden fazla çalışan sistemler arasında her MANET'te olduğu gibi İHA'lar da aralarında geçici bir ağ yapısı oluşturur ve ağdaki her düğüm bir yönlendirici görevini üstlenir. Bu kritik görevleri üstlenen İHA'lar daki haberleşmelerin devamlılığını sağlamak ve veri kayıplarını minimuma indirmek için çok sayıda araştırmalar halen yapılmaktadır.

Bağımsız çalışan İHA'lar konum değiştirme planlamalarını kendileri yapabilirken güzergâhlarında karşılaştıkları engel ve problemlerden kaçınabilme özellikleri vardır. Özerk çalışmayan İHA'larda ise güzergâh ve görev

planlaması önceden yapılmaktadır. Bu zorunluluğun sebebi İHA'nın yönlendirme karar mekanizmasının önceden verilmesidir. Bu sistemlerde atılacak her adım optimizasyon problemlerini çözmeye yönelik olmalıdır (Alotaibia vd., 2017).

Kablo altyapısı tabanlı ağlara bağımlılığı olan mobil telefonlar gibi normal kablosuz erişim ağlarının aksine, İHA'lar diğer kablosuz erişim ağına nispeten daha bağımsızdır, çünkü hava yoluyla tam bir bağlantı sağlayamamaları bile, topolojilerini ve bağlantı mesafelerini dinamik olarak değiştirebilirler (Hildmann ve Kovacs, 2019).

Genel açıdan bakıldığında İHA'ların mobil algılama platformları olarak adlandırılmış otonom çalışan ve verileri toplama başarısındaki artışlarıyla son dönemlerde birçok araştırmaya referans olmuştur. Yaygın olarak kullanılan üç yönlendirme protokolüne üç hareketlilik modelini simülasyon üzerinde uygulayıp aralarındaki paket kayıplarını ve gecikmeleri ölçmek bu tez kapsamının konusudur.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

İHA'lar otonom yazılımlarla çalışan, teknolojik ihtiyaçlara göre donanımları bulunan ve üzerinde bir pilotun olmadığı hava araçlarıdır. Son 20 yılda sensör ağlarının sağladığı kolaylıklar ve düşük maliyetler tespit edildiğinden bu alana yönelik yatırımlar ve araştırma-geliştirme çalışmaları yoğun bir şekilde devam etmektedir. Bu hava araçları kendi kendine karar verme yetkisine sahip olduğu kadar bir istisasyonla da komuta edilebilirler.

Son derece dinamik ve konum bağımlılığı olmayan bu sistemlerin kendine has hareketlilik modelleri ve yönlendirme protokolleri bulunmaktadır. 3 boyutlu, hızı ve pozisyonu sürekli değişebilen sistemler olduğundan standartların aksine kendine özel ağ yapılarıyla haberleşmeleri gerekir. Ağ yapılarında ölçeklendirilebilirlik Bu hareketli yapıların doğası gereği paket kayıpları ve gecikmeler iletişimde problemler doğurmaktadır. Durum böyle olunca bu ağ yapıları farklı bir boyutta incelenmeli, standartların aksine özel protokollerle haberleşmelidirler.

Sabit konumlu ağların aksine hareketli ağlarda paket iletiminde yaşanan güçlükler azımsanamayacak kadar fazladır. Bu ağların doğasında paket iletimlerinde gecikmeler, paket kayıpları ve altyapısal sorunlar oluşabilmektedir. Hizmet kalite çalışmalarında üstüne düşülmesi gereken en önemli husus en az gecikme ve paket kayıplarıyla İHA'ların üzerindeki verilerin bir başka İHA'ya veya istastona iletebilmesi olarak tasarlanmalıdır. Tasarım zorlukları bu denli fazlayken bu sistemlerin mimarilerini, yönlendirme protokollerini ve hareketlilik modellerini detaylı incelemeli, İHA'larda yaşanan problemler veya bir İHA'nın paket iletiminde başarısız olması durumunda tekrar kendini düzenleyebilmesi için çerçeveye geniş bir açıdan bakmak gerekir.

Tek çalışan bir İHA ile çoklu İHA sistemlerini karşılaştırdığımızda çoklu görev yeteneği, uzun ağ ömrü ve yüksek ölçeklenebilirlikleriyle çoklu sistemlerin daha verimli olduğu gözlemlenmiştir. İHA'ların eşsiz özellikleri birçok sorunuda beraberinde getirmektedir. En önemli temel sorunlardan biri İHA'lar arasındaki

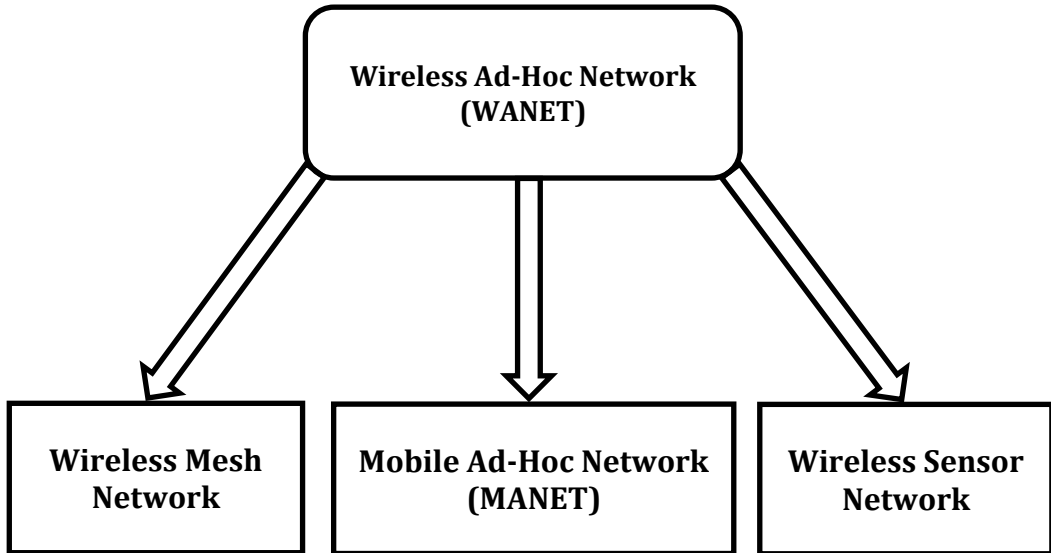
iletişimlerin karmaşıklığıdır. İHA'lar arasında etkili bir iletişim, hareketlilik modeli veya yönlendirme protokolü, veri iletiminde, gerçek hayatta ve çeşitli pratik uygulamalarda önemli bir rol oynar (Jiang ve Han, 2018).

İHA ağlarında düğüm sayısındaki yoğunluk ve aralarındaki mesafelere bağlı olarak, hareketlilik modeline göre aralarında bir ağ oluşturacak ve bu yapıdaki zorluklar arasında depolama, g ve bant genişliği gibi sistem kaynaklarının kullanımını sınırlayan etkenlerle birlikte mesajları güvenilir bir şekilde yönlendirme olacaktır (Kuiper, 2008).

Araştırmamızda mobil İHA' lara uygun bir hareketlilik modeli ve hareketlilik modeline uygun bir yönlendirme protokolü bulmayı hedeflemekteyiz. İncelediğimiz yapı Gauss Markov, Random Waypoint ve Random Walk 2D hareketlilik modelleri uygulanırken bu modellere uygun bir yönlendirme protokolü bulmaktır. Her hareketlilik modeli için farklı yönlendirme protokolleri düğüm sayıları arttırılarak çıkan sonuçların raporlanması hedeflenmektedir. Bu yazımız toplamda 7 bölümden oluşacak olup, üçüncü bölümde kablosuz ad-hoc ağları ve İHA'ların haberleşmelerinin hangi noktada yer aldığı, dördüncü bölümde bu ağların yönlendirme protokolleri ve hareketlilik modelleri, beşinci bölümde simülasyon ortamımız, altıncı bölümde uygulamalarımızın analizi ve yedinci bölümde sonuçlardan bahsedeceğiz.

3. KABLOSUZ AD-HOC AĞLARI

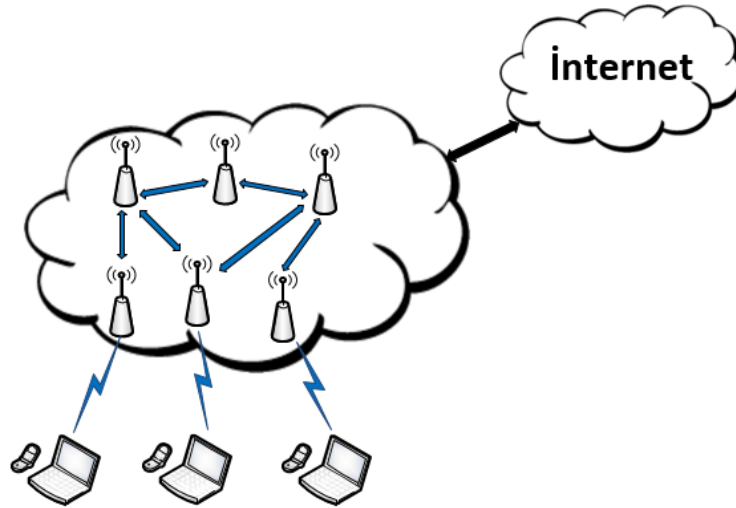
İHA haberleşmeleriyle ilgili çalışmaya giriş yapmadan önce bu ağların genel değerlendirilmesinin özel dinamik ağlar (Ad-Hoc) olarak sınıflandırıldığı birçok bilimsel araştırmada mevcuttur. Ad-Hoc ağları birbiriyle sabit topoloji (altyapı) olmadan ve önceden belirlenmiş bir organizasyon olmadan iletişim kuran bir grup iletişim cihazı veya düğümdür. Bireysel düğümler doğrudan diğer düğümlerle iletişim kurma kapasitesine sahiptir. Bu ağlar Bluetooth, Wi-Fi vb. kablosuz teknolojiler kullanılarak oluşturulabilir (Sharmila ve Shanthi, 2016). Doğrudan bağlı olmayan düğümler, trafiklerini ara düğümler üzerinden ileterek iletişim kurar. Her özel düğüm bir yönlendirici görevi görür. Özel ağların ana avantajları esneklik, düşük maliyet ve sağlamlıktır. Özel ağlar, ıssız yerlerde bile kolayca kurulabilir ve doğal felaketlere ve savaşa dayanabilir (Marcelo vd., 2006). Kablosuz Ad Hoc ağları (Wireless Ad-Hoc Networks) genel olarak Hareketli Ad-Hoc Ağları (MANET), Kablosuz Duyarga Ağları (WSN) ve Kablosuz Örgü Ağları (WMN) olmak üzere 3 kategoride sınıflandırılmaktadır. Sınıflandırmanın genel yapısı Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Kablosuz Ad-Hoc ağlarının sınıflandırılması

3.1. Kablosuz Örgü Ağları (WMNs)

Kablosuz örgü ağları (Wireless Mesh Networks) ağ yönlendiricileri ve istemci tarafından oluşan, dinamik olarak kendilerini yapılandıran ve otomatik olarak Ad-Hoc ağı oluşturan sistemlere denir. Geleneksel bir kablosuz yönlendiricideki gibi ağ geçidi işlevleri için yönlendirme yeteneği dışında, bir kafes yönlendiricisi, kafes ağını desteklemek için ek yönlendirme işlevleri içerir. Çok sıçramalı iletişim sayesinde, aynı kapsama çok daha düşük iletim gücüne sahip bir ağ yönlendiricisi tarafından sağlanabilir. Ağın esnekliğini artırmak için, ağ yönlendiricisi genellikle aynı veya farklı kablosuz erişim teknolojilerine dayanan birden çok kablosuz arabirim ile donatılmıştır. Ağ yönlendiricileri minimum hareketliliğe sahiptir ve ağ istemcileri için ağ omurgasını oluşturur. Bu nedenle, ağ istemcileri bir yönlendirici olarak çalışabilse de, onlar için donanım platformu ve yazılımı ağ yönlendiricileri için olanlardan çok daha basit olabilir. Ağ istemcilerinde ağ geçidi veya köprü işlevleri yoktur, ağ istemcisinde yalnızca tek bir kablosuz arabirim gerekir (Akyıldız, 2005).



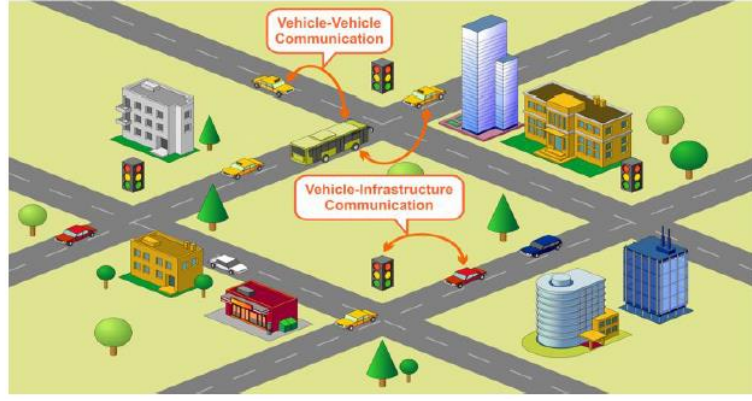
Şekil 3.2. Kablosuz örgü ağ yapısı

3.2. Mobil Ad-Hoc Ağları (MANETs)

Ad-Hoc ağlarının bir alt türü olan MANET'ler, rastgele veya önceden çizilmiş bir rotayı takip edebilen kablosuz altyapı kullanan mobil cihazlar kümesidir. Bu ağlarda her cihaz bir düğüm kabul edilirken her düğüm kendi yönlendirme protokolünü ve kendi hareketlilik modelini kullanarak serbest dolaşım özgürlüğüne sahip olurlar. MANET'ler son derece esnektir ve her düğüm bağımsız olarak, herhangi bir rasgele yönde hareket etmekte serbesttir. MANET'teki her bir düğüm, trafiği düzgün bir şekilde yönlendirmek için gereken bilgileri sürekli olarak tutar (Timcenko ve Stojanovic, 2009). Herhangi bir coğrafi noktadan bağımsız olarak istenen bilgilere çok rahat bir şekilde erişebilirlerken yer-zaman bağımsız bir şekilde kullanılabilirlerdir. Birçok avantajının yanında paket yönlendirmelerdeki kayıplar, ağ haberleşmelerindeki güvenlik, topolojisinin çok sık değişmesinden doğan iletişim kopuklukları gibi dezavantajları da bulunmaktadır.

3.2.1. Araç Ad-Hoc ağları (VANETs)

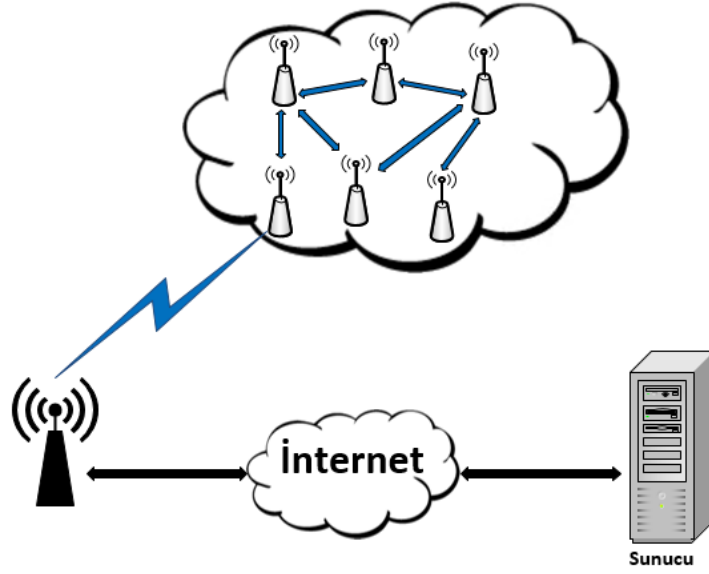
VANET'ler işlevsel olarak MANET'lerin bir alt kategorisi olarak değerlendirilebilir. Birbirinden bağımsız mobil araçların ve diğer bağlantı cihazlarının sensörlü kablosuz bir ortam üzerinden bağlandığı ve birbirleri arasında ihtiyaç duyulan bilgilerin alışverişini yapan ağlar anlamına gelmektedir. Bu sistemlerde araçlar kendi aralarında bir ağ oluşturur ve araçlar üzerlerinde bulunan verileri diğer araçlara aktarır. Aktarılan bu verilerde işlendikten sonra diğer araçlara benzer metotla iletilir (Tomar ve Prateek, 2017). Bu yapılarda araçlar arası bilgileri toplayan veya komut gönderen bir istasyonda bulunmaktadır. Sürüş güvenliği, kaza önleme, alkollü sürücü tespit ve askeri araçların rota keşif bilgilerinin paylaşımında sıklıkla kullanılmaktadır.



Şekil 3.3. VANET trafik modellemesi

3.3. Kablosuz Duyarga Ağları (WSNs)

Çeşitli ölçüm, otomasyon, takip ve savunma sanayi sistemlerinde kullanılan birden fazla duyarganın oluşturduğu ad-hoc ağlarıdır. Duyarga düğümleri birbirleriyle ve bir baz istasyonu ile iletişim kurar. Belirli bir karara varmak için işbirliği yapan algılayıcıların toplamına Kablosuz Duyarga Ağları (WSN) denmektedir. Bu tür kararlar için bilgiler, baz istasyonları olarak bilinen çok sayıda merkezi konumlu düğümden toplanır (Bhende ve Wagh, 2014). Düğümler, kablosuz telsizlerini kullanarak birbirleriyle iletişim kurarak uzaktan işleme, görselleştirme, analiz ve depolama sistemlerinin duyarga verilerini yaymalarına olanak tanır. Günümüzde en çok hareket, ışık, sismik hareketler, basınç algılama gibi veri toplama amaçlarıyla kullanılır. Her MANET’de olduğu gibi bu ağlarda enerjiden beslenir ve enerjisi tükenen duyargaların genelde ömrü dolar.



Şekil 3.4. Kablosuz duyurga ağ yapısı

3.4. İHA'ların Ad-Hoc Mimarisi Üzerinden Değerlendirilmesi

İHA'ları en etkili bir biçimde kullanmak için çoklu yapıların içinde değerlendirmek gerekir. Bu yapılarla ilgili yapılan araştırmaların çoğunda İHA ağları ad-hoc olarak ele almaktadır. MANET'ler ve VANET'lerle ilgili araştırmalarda genellikle İHA ağlarına atıfta bulunulur fakat bu ağlar İHA'ların özelliklerini tam olarak ele alamaz. İstenilen tasarıma göre İHA'lar yavaş, sabit veya yüksek hareketlilik gösterir ve bu ağın çok daha dinamik değiştiğini göstermektedir. İHA'lar aynı zamanda birbirleri arasında iletişimi sürdürebilmek için havada baz istasyonu (sunucu) olma görevini üstlenebilmektedir. Bu görevi devralan düğüm, yer istasyonu ile diğer düğümlerin haberleşmesine olanak sağlayabilmek için diğer tüm düğümlerle yeni bir topoloji oluşturarak iletişimin yeniden şekillenmesine olanak sağlar. Bu eşiz yapı nedeniyle İHA'lar, MANET ve VANET ağlarının aksine, altyapı tabanlı ağlar gibi davranabilir. Altyapı tabanlı çalışmasının getirisi olarak bu sistemler kontrol istasyonu ve kendi içlerinde iletişim ve etkileşim halinde olmasına olanak sağlarlar.

Diğer ad-hoc ağlarından farklı olarak bu sistemler özel ağ omurga yapısı oluşturup kendi kendilerini düzenleyebilirlerken kumanda veya kontrol

merkezlerinden gelen mesajlarda yönlendirebilmektedirler. Kontrol merkezi acil durumlarda kararların desteklenmesi için bilgi çıkarmak üzere veri işleyebilir. Yukarıda açıklanan İHA düğümlerinin benzersiz özellikleri nedeniyle mobil geçici ağlar (MANET'ler) için tasarlanmış olan mevcut ağ yönlendirme algoritmaları güvenilir iletişim sağlayamaz. İHA mobilitesi gerektiren uygulamalarda, daha fazla kesinti olasılığı vardır (Raj ve Vaszkun, 2016). İHA ağlarının ve tasarsız ağların değerlendirilmesi Çizelge 3.1’de özetlenmiştir.

Çizelge 3.1. Tasarsız ağlar ve İHA ağları

	Tasarsız Ağlar		İHA Ağları
	VANET	MANET	
Yönetim Zorluğu	Kolay	Orta	Zor
Altyapı	Sunucu - İstemci	Sunucu - İstemci	Hem sunucu hem istemci olabilirler
Hareketlilik Modeli	Düzenli	İsteğe bağlı	Önceden belirlenmiş
Topoloji değişimi	Orta	Düşük	Hızlı
Topolojik Hareketlilik	2D	2D	3D
Hareketlilik	Orta	Düşük	Yüksek
Kullanım Alanları	Trafik bilgisi, araçlardan bilgi toplama, araç tanıma, kontrolsüz kavşak kazalarını önleme	Sensor ağları, ticari sektörler, ev veya işyeri ağları, askeri, arama kurtarma - afet	İnsan erişiminin tehlikeli olduğu tüm sivil ve askeri uygulamalar, arama-kurtarma, gözlem
Yönetim Zorlukları	Orta	Kolay	Zor
Düğüm Hızları	Yüksek	Düşük	Değişken

3.4.1. Tekli İHA sistemleri

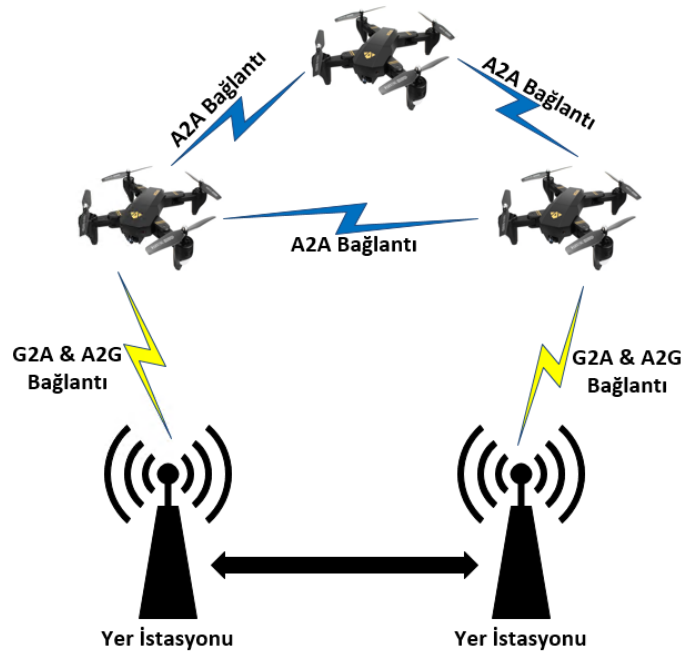
Tekli İHA sistemleri isminden de anlaşılacağı gibi tek bir İHA’nın belirli bir amaç için sabit veya mobil bir istasyon tarafından kontrol edilip yönlendirmesiyle oluşan sistemlerdir. Bu sistemler genelde askeri ve sivil keşifler, gözlem ve hobi amaçlı kullanılırlar. İHA üzerindeki ses ve görüntü alıcılarındaki bilgiler istasyona aktarılıp istenen amaca hizmet etmiş olurlar. Buradaki problem eğer İHA’nın arızalanması veya güç kaynağının tükenmesi durumunda toplamış olduğu bilgilerin kaybolabilme ihtimalidir.



Şekil 3.5. Tekli İHA sistemi

3.4.2. Çoklu İHA sistemleri

Çoklu sistemler birden fazla İHA'nın belirli bir amaç için senkron ve koordineli bir şekilde çalışmasıdır. Tekli sistemlere göre yedekli yapıda olduklarından kritik görevlerde daha etkin rol oynarlar. Doğası gereği enerjiyle beslenen bu sistemlerde enerji tükenmesi veya farklı bir hatadan doğan bir arıza İHA'yı kullanamaz hale getirirse, arızalı İHA üzerindeki dataları en yakınındaki istasyona veya topolojideki diğer İHA'ya göndererek veri kayıplarının minimuma indirilmesi hedeflenir. Tekli İHA sistemlerindeki gibi bir istasyona veriler akarken bu sistemlerde farklı olarak İHA'lar birbirleriyle de koordineli bir şekilde iletişim kurmaktadır. Topolojilerde dinamik olarak kendilerini yapılandırılırken kendi aralarında havadan yere (A2G), havadan havaya (G2A), havadan havaya (A2A) ve yerden yere (G2G) olmak üzere 4 farklı iletişim türü vardır. A2G bağlantıları havadan havaya görüntü ve video gibi verileri iletir. G2A iletişimi genellikle kontrol sinyalini bir yer istasyonundan İHA'lara iletir. Çoklu İHA'lı ağlarda İHA'lar, geçici kararlar almak ve A2A iletişim bağlantı yoluyla veri alışverişi yapmak için İHA'ların kendi aralarında iletişim kurarak özel bir şekilde çalışabilirler. G2G bağlantıları, çok topraklı istasyonlar arasındaki iletişimi sağlar (Arafat ve Moh, 2019).



Şekil 3.6. Çoklu İHA sistemi

Tekli ve çoklu İHA ağ yapılarının incelenmesi Çizelge 3.2' de özetlenmiştir.

Çizelge 3.2. Tekli ve çoklu İHA sistemlerinin karşılaştırılması

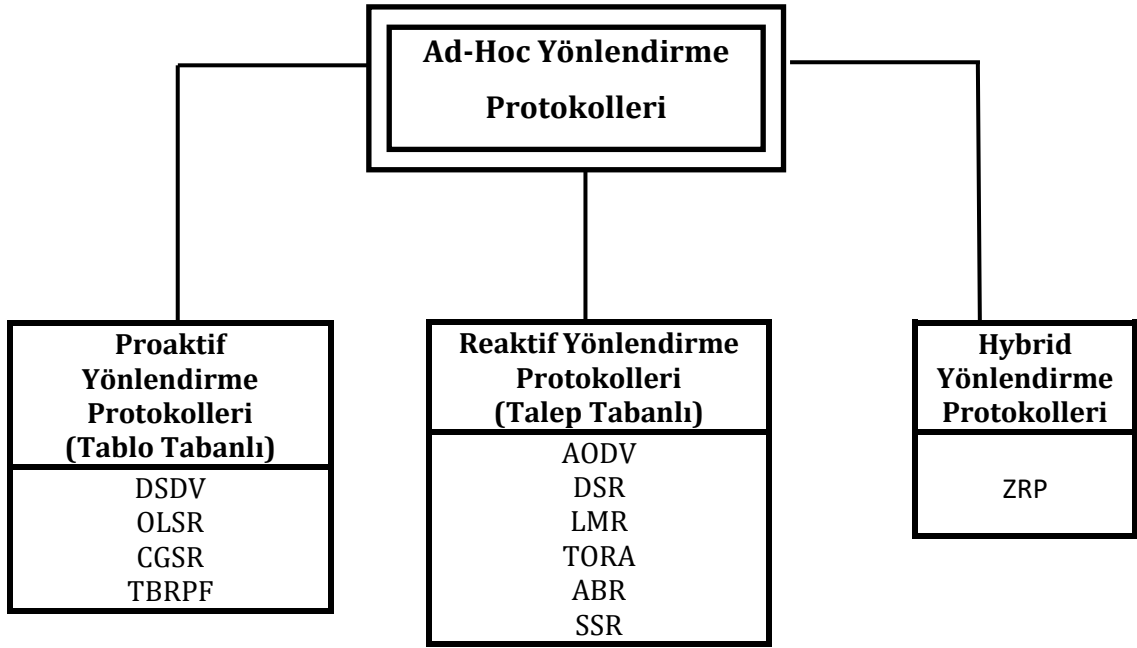
Sistemsel Özellikler	Tekli İHA Sistemleri	Çoklu İHA Sistemleri
Maliyet	Orta	Düşük
Uygulama Alanları	Dar alanlar	Geniş alanlar
Data Kalıcılığı	Düşük	Yüksek
Hata Toleransı	Düşük	Yüksek
Ağ Yapısı	Basit yapı	Karmaşık yapı
Yönetim Zorluğu	Kolay	Zor
Kendini Programlayabilme	Desteklemiyor	Destekliyor
Ölçeklendirilebilirlik	Düşük	Yüksek
Bant Genişliği (Bandwidth)	Yüksek	Orta
Kritik Görev Üstlenebilme	Önerilmez	Önerilir

4. AD -HOC YÖNLENDİRME VE HAREKETLİLİK MODELLERİ

4.1. Yönlendirme Protokolleri

Ad-Hoc ağları sabit bir altyapısı olmadan iletişim kuran hareketli düğümlerin işbirliği içinde çalıştığı ağlardır. Bu ağlarda düğümler bağımsız ve rastgele hareket ettiğinden çok sık rota değişimi olmakta ve ağın mevcut altyapısında sürekli olarak topolojik değişimler beklenmektedir. Bu sistemlerin tabiatı gereği oluşan farklılıklarda her düğüm aktif olarak diğer düğümlerin konum bilgisini tespit etmekle ve kendi konum bilgisini diğer düğümlerle paylaşmakla yükümlüdür. Her düğüm başlı başına bir yönlendirici görevini üstlenir, yönlendirme tablosunu üstünde tutar ve dinamik olarak diğer düğümlere bu bilgiyi gönderir. Burada yaşanan problemler düğümler arasında doğru ve etkili bir yol oluşturmak ve paketlerin doğru ve zamanında teslim edilmesini sağlamaktır.

Ad-Hoc ağlarındaki yönlendirmenin temel amacı, önceden belirlenmiş topoloji veya merkezi kontrol olmadan veri paketlerinin düğümler arasında verimli bir şekilde sunulmasıdır (Sahadevaiah ve Ramanaiah, 2010). Ad Hoc ağları görev, işlev veya performanslarına göre üç ana sınıfa ayrılır. Bunlar Proaktif (tablo güdümlü), Reaktif (isteğe bağlı), ve bunların kesişimi gibi düşünülen Hibrit yönlendirme protokolleri olarak maddelere ayrırabiliriz.



Şekil 4.1 Ad-Hoc yönlendirme protokolleri

Tez çalışmasının bu kısmında yaygın olarak kullanılan Ad-Hoc ağlarında proaktif yönlendirmelerden olan DSDV ve OLSR, reaktif yönlendirmelerden AODV protokollerinin temel kısımları ele alınacaktır.

4.1.1. Tablo tabanlı (Proaktif) yönlendirme protokolleri

Proaktif (tablo tabanlı) yönlendirme her düğümün hedef nokta için yönlendirme bilgisini kendi tablolarında tuttukları protokollerdir. Düğümler aktif olarak diğer düğümlere kendi tablosunu ileterek tüm ağa konum bilgilerini anons eder ve bu periyodik olarak devam eder. Ağdaki düğümlerin düzeninin aktif bir şekilde bildirilmesi gereken yapılarda ve rota bilgilerinin sık bir şekilde anons edilmesi gereken yerlerde tercih edilir.

Bu protokolün avantajları arasında rotaların hazır bulunması ve rota bilgilerinin aktif aktarımları sırasında uçtan uca gecikmenin az olması, dezavantajları arasında da fazla hareketli ağlarda ek kontrol yüklerinin olması gösterilebilir (Qadri ve Liotta, 2009).

4.1.1.1. Dinamik hedef sıralı uzaklık vektörü (DSDV)

DSDV protokolündeki tüm istasyonlar yönlendirme tablosunu belirli bir periyodlarda güncelleyip göndermekle yükümlüdür. Topolojideki her düğüm hedef istasyona erişmek için ulaşılabilir istasyonların listesini çıkarır ve bu istasyona erişmek için kaç düğümden atlama yapması gerekiyorsa listesini oluşturup diğer düğümlere sürekli olarak yayınlar.

DSDV mobil ad hoc ağları için bilinen en önemli yönlendirme protokollerinden biridir. Bu protokol mevcutta bulunan tüm varış yerlerini, varış noktasına ulaşacak düğüm sayısını ve hedef düğüm tarafından atanan sıra numarasını listeleyen bir yönlendirme tablosunu tutar. Sıra numarası eski rotaları yenilerinden ayırmak ve böylece ilmek oluşumunu önlemek için kullanılır. Bu nedenle, güncelleme hem zamana dayalı hem de olaylara göre düzenlenmiştir. Hızlı değişen bir ağda, artan paketler büyüyebilir (Saxena vd., 2013). Ağda performanslı çalışması için orta veya düşük derecede hareketlilik modeli ve birkaç düğüm sayısı ile çalışmalıdır. Avantajları arasında yönlendirme döngülerinin oluşmaması ve bu sebepten ötürü gecikmenin oluşmaması gösterilebilirken dezavantajları arasında yönlendirme tablosunu sürekli olarak güncelleme gereksiniminden ötürü yüksek trafik yükü problemi oluşmakta ve buda fazla enerji kullanımına yol açmaktadır. Düğüm sayısı fazla olan ve hareketliliği yüksek olan topolojilere pek uygun değildir.

4.1.1.2. İyileştirilmiş bağ durumu yönlendirme protokolü (OLSR)

OLSR protokolü ağda gerçekleşen değişikliklerin tüm düğümlere taşınmasını sağlayan ve ağın kararlılığını optimum seviyede tutan bir yönlendirme protokoldür. Düğümlerin üzerinde bulunan yönlendirme tabloları diğer yönlendirme protokollerinde olduğu gibi periyodik olarak diğer düğümlere iletilir fakat bu protokolde bu iletim frekansı daha kısa tutularak değişikliklerin algılanması en optimum seviyede tutulur.

OLSR protokolünde düğümler komşularını tanır ve ağdaki adreslerini kaydedip gecikmeleri veya maliyetleri ölçüp bilgilerin temsil eden bir paket oluşturarak bilgi alışverişinde bulunur. Bu paketleri tüm yönlendiricilere gönderir ve diğer tüm yönlendiricilere en kısa rotayı hesaplar. Sadece kontrol mesajlarını gönderdiğinden ağdaki bant genişliğini optimum seviyede tutar. Dinamik hareketliliği destekleyen yoğun düğümlerin kullanıldığı merkezi bir istasyona bağlı kalmayan kararlı bir protokoldür (Fotahi vd., 2013). Avantajları arasında noktadan noktaya gecikmenin az olması, hızlı değişen topolojilere uyumlu olması ve sadece kontrol paketlerinin iletilmesi sebebiyle gecikmelerin az olması gösterilir. Düğümlerin gideceği güzergâhların artması yönlendirme protokolündeki yükü arttırmaz ve bu da rota bulmak için gecikmelere yol açmaz. Dezavantajları arasında ise topolojide yaşanan kopukluklarda tekrardan iletişimin sağlanması için zaman harcanması, gecikmelere sebep olabilmesi ve komşuluk bilgisini daimi olarak üzerinde tutma gereksinimi gösterilebilir. Topolojide güncellenme olması durumunda bu bilgiyi tüm ağa gönderir, bu da daha fazla bant genişliği kullanımına yol açar. Optimum yolları bulmak ve hesaplamak için fazladan işlem gücü harcar.

4.1.2. Talep tabanlı (Reaktif) yönlendirme protokolleri

Reaktif yönlendirme sadece ihtiyaç halinde diğer düğümlere rota bilgisinin iletildiği bir Ad Hoc yönlendirme protokolüdür. Ağda rota bilgisi bulunmayan herhangi bir düğümün bu bilgiye sahip olan başka bir düğümden topolojideki rota bilgilerini talep etmesiyle mesaj alışverişi başlar.

Reaktif protokoller, proaktif yönlendirme protokollerindeki gibi aşırı kullanılan gücü korumak için tasarlanmıştır. Reaktif yönlendirme protokolünün tasarımında rota bilgisi anlık olarak keşfedilir. Bir düğümün diğer düğümlerle iletişim kurması gerektiğinde rota keşif işlemi olarak adlandırılan bir işlemi başlatır ve gönderici düğümden hedefe giden yolu belirler (Saxena vd., 2013).

Topolojideki bir düğüm bir hedefe ulaşmak veya veri gönderimi gerçekleştirmek isterse rota belirleme işlemi devreye girer ve istek paketlerini

başlatır. Herhangi bir düğüme giden istek paketleri başarısız olursa diğer düğümler bunu yönlendirme tablosundan silerler. Bu çalışma prensibinin getirisi olarak proaktif yönlendirme protokolüne göre daha az bellek ve depolama alanı harcar, ağdaki trafik yükünü hafifletir. Ancak düğüm sayısı artarsa bu rota bilgi paketlerinin iletiminde gecikmelere yol açar.

4.1.2.1. Eşe-eş isteğe bağlı uzaklık vektörü (AODV)

AODV protokolü MANET'lerde talep tabanlı çalışan, düğümler arasındaki rotaların ihtiyaç halinde kurulduğu bir protokoldür. Minimuma indirgenmiş ek kontrol paket yükleriyle minimum paket gecikmeleri sağlayarak verimli iletişimi sağlayan bir yönlendirme protokolüdür. Yönlendirme bilgilerinde aktif rotaları saklar ve sadece daha önce iletişime girmedeği bir düğüme paket iletileceğinde rota belirleme algoritmasını çalıştırır. DSDV protokolünden farklı olarak tüm rota listesini tablosunda tutmaz, talep gelmesiyle gideceği rotayı oluştur ve böylelikle ağdaki minimum kontrol yükleriyle gecikmeleri azaltırken performansı arttırabilir.

AODV, esas olarak hem DSR hem de DSDV algoritmalarının bir kombinasyonu olmasına karşın farklı olarak AODV'de paketler sadece hedef adresi taşır. Bu AODV'nin potansiyel olarak DSR'den daha az yönlendirme giderine sahip olduğu anlamına gelir. Diğer bir fark ise DSR'deki rota cevaplarının rota boyunca her düğümün adresini taşımasıdır, oysaki AODV'de rota cevapları sadece varış IP adresini ve sıra numarasını taşır. Bununla birlikte, düğüm yol yapımı sırasında büyük gecikmeler yaşayabilir ve bağlantı hatası, ek gecikmelere neden olan ve ağın boyutu arttıkça daha fazla bant genişliği tüketen başka bir rota keşfi başlatabilir (Sahadevaiah ve Ramanaiah, 2010). Avantajları arasında hızlı ve dinamik değişen ağlarda uygulanabilmesi, rota keşiflerinin hızlı ve düşük gecikmeli olması, aynı zamanda hedefe giden rotayı bulmak için sıra numaraları kullanması gösterilebilirken, dezavantajları arasında gideceği hedef rota için fazla sayıda mesaj iletmesi sebebiyle ek kontrol paket yükü gereksinimi doğar ve topolojideki değişimlerde eski sıra numaraları tutarsız paket iletimine yol

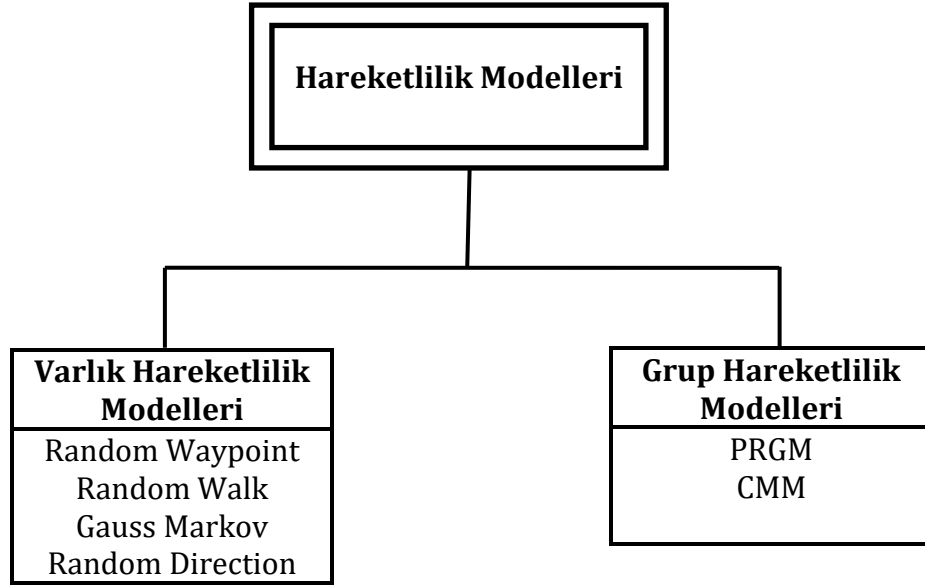
açabilmesi gösterilebilir. Topolojideki düğümlerin sayısının fazla olması ekstra gecikmelere yol açabilir.

4.1.3. Hybrid yönlendirme protokolleri

Hybrid yönlendirme protokolü proaktif ve reaktif yönlendirme protokolleri gibi davranan, ağın belirli birbirine yakın düğümlerin haberleşmesi için proaktif, uzak bölgelerdeki düğümlerle haberleşirken reaktif çalışan bir yönlendirme protokolüdür. Hem reaktif hem de proaktif yönlendirme protokollerinin özelliklerini birleştirir ve proaktif yönlendirme protokolündeki kontrol paketlerinin yükünü azaltmak, reaktif yönlendirme protokolündeki keşif mekanizmasından doğacak gecikmeleri azaltır (Sagtani ve Kumar, 2014). ZRP, FSR gibi yaygın kullanılan protokoller mevcuttur. Avantajları arasında ölçeklendirilebilir olmaları, ağın alt bölgelere ayrılıp kendi aralarında haberleşme olması sebebiyle gecikmelerle yükün az olması gösterilebilirken dezavantajları arasında karmaşıklık olması gösterilebilir.

4.2. İHA İletişimindeki Olası Hareketlilik Modelleri

Hareketlilik modellerinin ana rolü, gerçek kullanıcıların hareket davranışlarını taklit etmektir. İHA'lar kontrol mekanizmasına göre hızlı veya yavaş hareket edebilen parametrelerle donatılmış yazılım tabanlı ağ cihazlarıdır. Ağdaki her hareketli düğümün başlangıçtaki konumu, hız değişimleri ve hareket ettiği yön bir bütün olarak değerlendirilmeli, yine bu parametrelerin İHA yapılarına göre bağımsız veya planlı bir güzergâhta grup olarak hareket ettikleri göz önünde bulundurulmalıdır. Hareketlilik modelleri İHA'ların yön ve hızlarının değişimlerinin nasıl olması gerektiğiyle ilgili tasarıma olanak sunar. İhtiyaca göre yönetilecek bu sistemler için en uygun hareketlilik modelinin seçilmesi, bu modele en uygun yönlendirme protokollerinin belirlenmesi, düğümlerin mevcut konumları, hız değişimleri çeşitli matematiksel formüllerle hesaplanabileceği gibi çeşitli simülasyon ortamlarında da test edilebilir. Tezimizin bu kısmında seçtiğimiz 3 hareketlilik modeli açıklanacaktır.



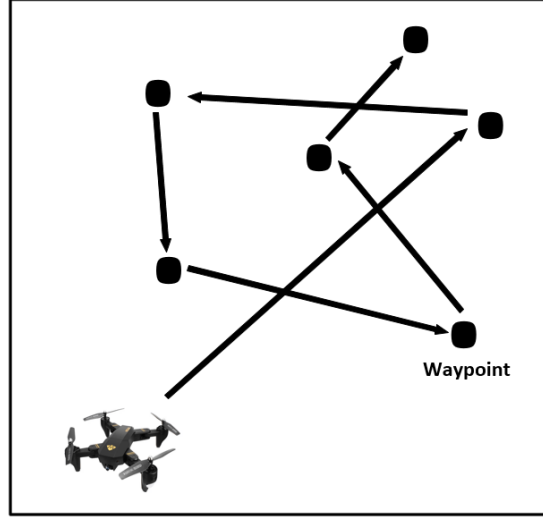
Şekil 4.2. Hareketlilik modelleri

4.2.1. Varlık hareketlilik modelleri

Varlık hareketlilik modelleri, bir topolojideki hareketli düğümlerin bağımsız davranışlar gösterdiği senaryolarda kullanılır. Random Waypoint, Random Walk, Gauss Markov ve Random Direction hareketlilik modelleri yaygın kullanılanlar arasındadır.

4.2.1.1. Random waypoint hareketlilik modeli

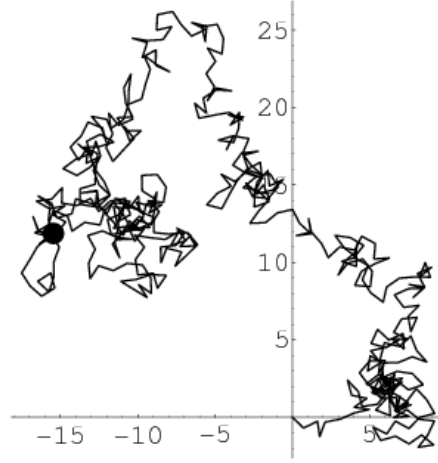
Random Waypoint hareketlilik modeline göre topolojideki tüm düğümler rastgele bir hedef seçer, bu hedefe doğru yine rastgele seçilen bir hız ve düzgün bir çizgide hareket eder. Hedefe ulaştıktan sonra, duraklama süresi olarak belirlenen bir zaman dilimi içerisinde belirli bir süre durur ve işlem kendini tekrar eder. Topolojideki her düğüm hedefini seçer ve alan içinde rastgele hareket eder. Mobil Ad-Hoc ağlarının simülasyonunda çok sık kullanılmaktadır çünkü insanların belirli bir alanda cep telefonu kullanma durumunu taklit ederken aynı zamanda alan içinde rastgele hareket ederler (Pramanik vd., 2015). İHA modellemesine uygulanırken her İHA simülasyon yapılan alan içerisinde herhangi bir yöne rastgele hareket ederken diğer İHA düğümlerinden bağımsız bir şekilde hedefini, hızını, varış yerini ve yönünü seçer.



Şekil 4.3. Random waypoint hareketlilik modeli

4.2.1.2. Random walk 2D hareketlilik modeli

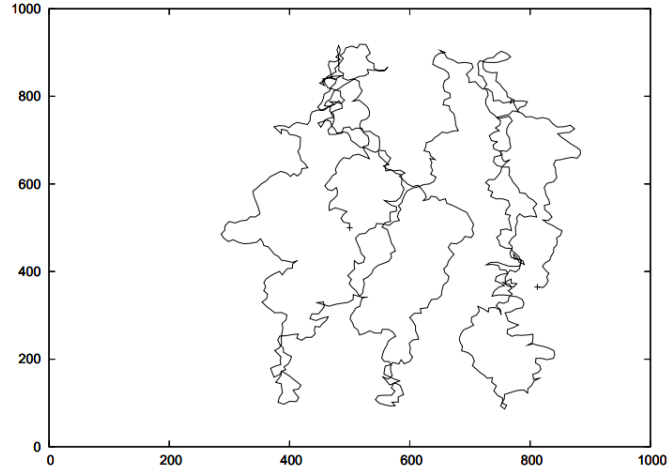
Random Walk hareketlilik modeline mobil düğümler bir yerden diğerine herhangi bir kısıtlama olmaksızın rastgele ve serbestçe hareket eder. Doğadaki canlıların taklit mekanizması olarak düşünülüp, hedef, hız ve yön rastgele ve ağdaki diğer tüm düğümlerden bağımsız olarak seçilir. Bu hareketlilik modelinde bir mobil düğüm seyahat etmek için bir yön ve hız rastgele seçerek mevcut konumundan yeni bir konuma hareket etmektedir. Yeni hız ve yeni yönün her ikisi de önceden tanımlanmış aralıklardan seçilir (Mohan ve Sharma, 2015). Dinamik hareket eden Ad-Hoc ağlarında oluşan tıkanıklığın kontrolü bu hareketlilik modeli için zorluk teşkil eder, aynı bağlantıların sağlanması için birden fazla paketler iletildiğinden diğer paketlerin düşmesine yol açmaktadır. Tasarımsal olarak Dünya yüzeyinin 2 boyutlu olarak modellenmesiyle oluşturulan bir yapı için idealdir. Düğümlerin hız karar mekanizmasında düğümün bir önceki hızı referans alınmaz rastgele seçilir. Bu tutarsız yaklaşımların ortadan kalkması için Gauss-Markov hareketlilik modeli daha uygun olacaktır.



Şekil 4.4. Random walk 2D hareketlilik modeli

4.2.1.3. Gauss Markov hareketlilik modeli

Gauss-Markov hareketlilik modeli MANET’lerde topolojideki İHA’ların davranışlarını simüle etmek için kullanılan hareketlilik modelidir. Bu yapıda simülasyon yapılan alanın boyutu değişken olup düğümlerin konumu hareketliliğin yüksek olması sebebiyle önceki konumlarına yönlendirilir. İHA’ların gideceği güzergâh, Gauss-Markov modelinin belleği tarafından önceden belirlenirken düğümlerin hareketliliği belirli bir hız ve rota ile hesaplanır (Kumari vd., 2015). Düğümler harekete başladıktan sonra hızdaki bağlaşımlar ve ani yön değişimleri yeni bir parametre olarak öngörülüp yeniden hesaplama yoluna gidilir. Özet olarak her İHA ilk olarak belirlenmiş bir hıza ve yöne göre ayarlanır, hareketlilik modeli çalışmaya başladıktan sonraki geçen süre içerisinde düğümlerin hareket yönü ve hızı rastgele olarak son konuma göre güncellenir.



Şekil 4.5. Gauss Markov hareketlilik modeli

4.2.2. Grup hareketlilik modelleri

Grup hareketlilik modellerinde hareketli düğümler mantıksal olarak bir çapın kapsama alanında ayrı gruplara ayrılır ve bu çapın içine dâhil olan düğümler bir grubun içinde kabul edilir. Bu sanal grupların içindeki düğümler aynı grubun üyesi kabul edilir ve her grup ağ içinde belirli bir konuma giderken, düğümler bu sanal çapın içinde hareket ederler (Aung ve Seet, 2015).

Bu hareketlilik modellerinde temel amaç mobil düğümler arasında mantıklı ilişkiler kurmak, aynı çapın içine dâhil olan düğümlere bir tane merkez atama düğüm atamak ve merkez seçilen düğümün aynı çaptaki diğer düğümlerin hareketini kontrol ettirmektir. Tercih Noktası Grup Hareketliliği (RPGM) ve Topluluk Hareketliliği Modeli (CMM) yaygın kullanılan modellerdendir.

5. KULLANILAN SİSTEM VE SİMULASYON ORTAMI

Son yıllarda havai fişeklerin çevreye verdiği zararlar göz önüne alındığından ve yasaklanması gündem olduğundan, yerini eğlence amaçlı, istenilen şekiller ve ışıklandırmalarla gösteri amaçlı kullanılabilen, İHA olarak sınıflandırılan drone'lara bırakabilmektedir. Her Ad-Hoc ağında olduğu gibi bu amaçla kullanılan hareketli ağlarda da düğüm sayısı arttıkça koordinasyon, haberleşme problemleri ve gecikmeler artmaktadır. Bu olumsuzluklar altında drone'ların veri kaybının en az olduğu şekilde birbirleriyle çarpışma gibi durumlara karşı gerçek zamana yakın tepki vermesi gerekmektedir.

Bu tarz senaryolar için yapılan İHA simülasyonlarında 3 farklı hareketlilik modeline 3 farklı yönlendirme protokolü uygulanmış ve ölçümleri yapılmıştır. Birinci senaryoda Gauss-Markov için sırasıyla AODV, DSDV ve OLSR, ikinci senaryoda Random Waypoint hareketlilik modeli için sırasıyla AODV, DSDV ve OLSR, son olarak üçüncü senaryoda Random Walk 2D hareketlilik modeli için sırasıyla AODV, DSDV ve OLSR uygulanmış ve bu üç farklı senaryoların performans ölçümü yapılmıştır. Senaryoların oluşması için C++ dilinde konfigürasyonlar yapılmış ve modellememizin çalışması için python yazılım diliyle simülasyon başlatılmıştır. Simülasyon ortamı için Network Simulator (NS) yazılımı kullanılmış olup işletim sistemi ve gereksinimleri aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

Çizelge 5.1. Simülasyon ortamı gereksinimleri

Simulator	NS 3.28
OS	Ubuntu
Kernel	18.04.3 LTS
RAM	4 GB
Processor	4 GB
Hard Disk	15 GB

Bu simülasyon ortamında toplam 9 modelleme yapılmış olup her modelleme için sırasıyla 20'den başlayıp 20'şer artarak 200'e kadar olan düğüm sayılarıyla ölçüm yapılmış ve bu ölçüm sonuçlarının ortalamaları alınıp grafiksel

değerlendirilmeleri yapılmıştır. Simülasyon ortamımızın parametreleri aşağıdaki çizelgede paylaşılmıştır:

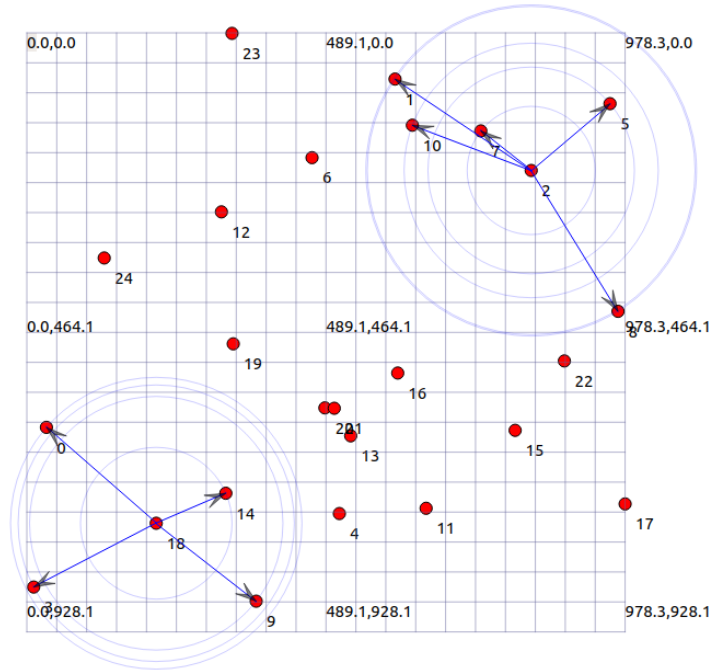
Çizelge 5.2. Simülasyon parametreleri

Parametreler	Değer
Simülasyon	NS 3.28
Yönlendirme Protokolü	AODV, DSDV, OLSR
Hareketlilik Modeli	Random Waypoint, Random Walk 2D, Gauss Markov
Paket Boyutu	1000 byte
Düğüm Sayısı	20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180, 200
Simülasyon Süresi	50 sn
Kanal Yayını	Wireless 802.11b
Düğüm Hızı	50 ms
String Rate	8 kbps
Simülasyon Alanı	1500*1500
Performans Çıktıları	Düğüm sayısı, Yönlendirme Protokolü, Hareketlilik, Avaraj Bitrate, Avaraj Kayıp, Avaraj Gecikme
Trafik Tipi	CBR
Pause Time	5 sn
Ağ Protokolü	IPv4

Simülasyonun C++ kodlarında gerekli düzenlemeleri yapıldıktan sonra 10 farklı düğüm kümesine göre senaryolar üretilmiştir. Senaryo üretirken python script'i kullanılmış ve performans çıktıları txt dosyasına yazdırılarak ortalamaları alınmıştır. Alınan ortalamalar hareketlilik modeli ve yönlendirme protokolüne göre çizelgeye oturtulup, düğüm sayısına bağlı ortalama gecikme (delay) çıktısı ve ortalama paket kayıpları alınmıştır.

6. UYGULAMA ÇIKTILARI VE ANALİZİ

20 ile 200 arasında 20'şer artarak yükselen düğüm sayılarının olduğu simülasyonda düğüm sayısı - gecikme (delay) - ortalama paket kayıpları grafiklerinin hareketlilik modellerine göre çıktıları incelenmiştir ve düğüm sayısına göre grafikler oluşturulmuştur. Simülasyonumuzda hareketli topolojiyi görüntüleyebilmek için bir XML dosyası ürettirilmiş ve bu dosyayla düğümlerin hareketlilik sırasındaki davranışları gözlemlenmiştir.

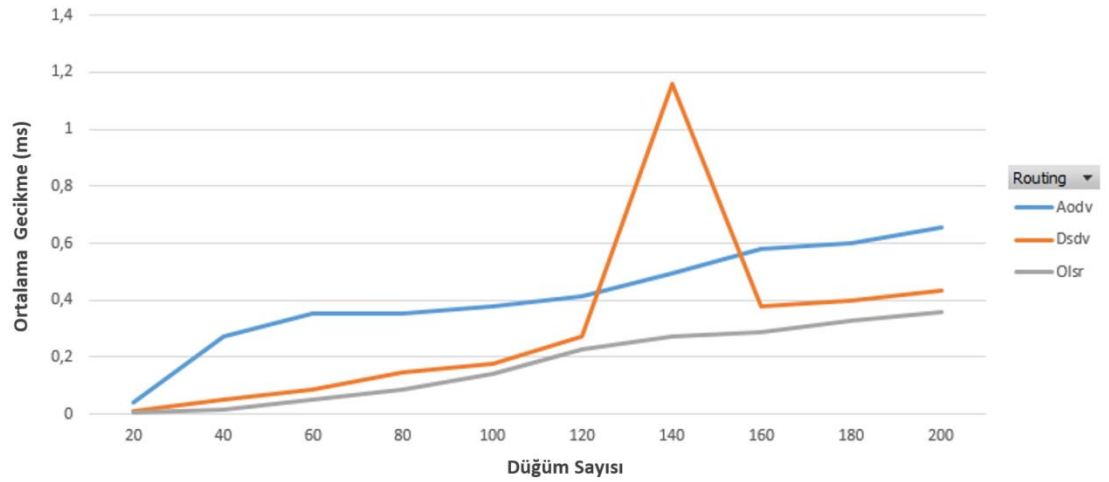


Şekil 6.1. Düğümlerin simülasyon hareketliliği

6.1. Random Waypoint Modelinin Performans Ölçümü

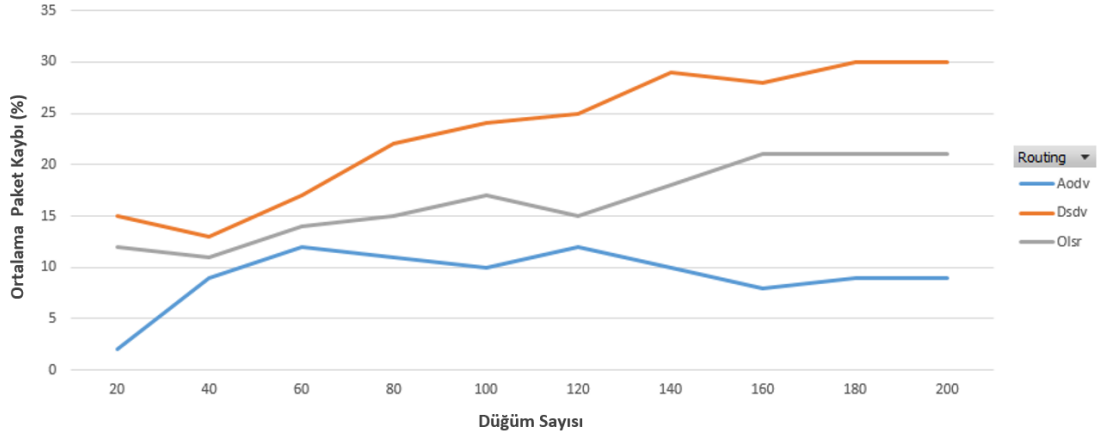
Random Waypoint hareketlilik modelinde düğüm sayısı arttıkça uçtan uca gecikme süreleri artış gösterirken OLSR protokolü en iyi sonucu vermiştir. Bunun sebebi heterojen hareketlilik gösteren Random Waypoint modelinde OLSR yönlendirme protokolünün noktadan noktaya gecikmelerinin az olması ve düğümlerin güzergahlarda sadece kontrol paketleri göndermesi olarak düşünülebilir.

İkinci en iyi performans sonuçları ise DSDV protokolünün verdiği gözlemlenmiştir. DSDV yönlendirme protokolünde yönlendirme döngülerinin olmamasından dolayı performansı AODV'ye göre daha yüksek çıkmış, yönlendirme tablosunu sürekli olarak güncelleme gereksiniminden ötürü performansı OLSR' den düşük çıkmıştır. Düğüm sayılarının artması AODV protokolündeki kontrol paketlerinde artışa yol açtığından performans daha düşük çıkmıştır.



Şekil 6.2. Random waypoint gecikme grafiği

Aynı şekilde Random Waypoint hareketlilik modelinde düğüm sayılarını arttırarak ve farklı yönlendirme protokolleri uygulanarak paket kayıp ortalamaları alınmış ve grafiği oluşturulmuştur. Yaptığımız simülasyonlarda bu hareketlilik modeli için paket kayıpları en düşük AODV, en yüksek DSDV çıkmıştır. Bunun sebebi AODV daha çok rota bilgileriyle ilgilenip periyodik olarak rota bilgilerini kontrol ettiğinden paketlerin daha az kaybolmasını sağladığı, DSDV'nin ise hedefe gidecek paketlerden daha fazla yönlendirme bilgilerini tutması, haliyle büyük ağlarda bu yönlendirme protokolünün tıkanıklığa yol açtığı olarak yorumlanabilir. OLSR'de ise tablo tabanlı çalıştığından düğüm sayılarının artmasıyla birlikte yönlendirme bilgileri artar. Bu durum ağda gönderilen paketlerin alınandan fazla olmasına yol açıp paket kaybına neden olduğundan performansı AODV'den düşük çıkmıştır. İletişim sırasında ise her düğüm kontrol paketlerini sıklıkla iletmez, bu durum DSDV'den daha iyi performans sağlar.

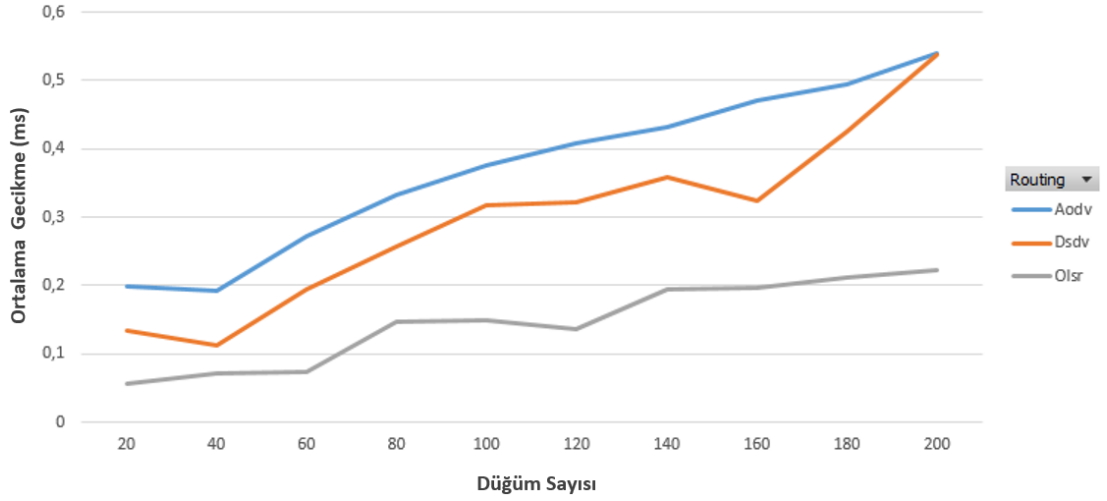


Şekil 6.3. Random waypoint paket kaybı grafiği

6.2. Random Walk 2D Modelinin Performans Ölçümü

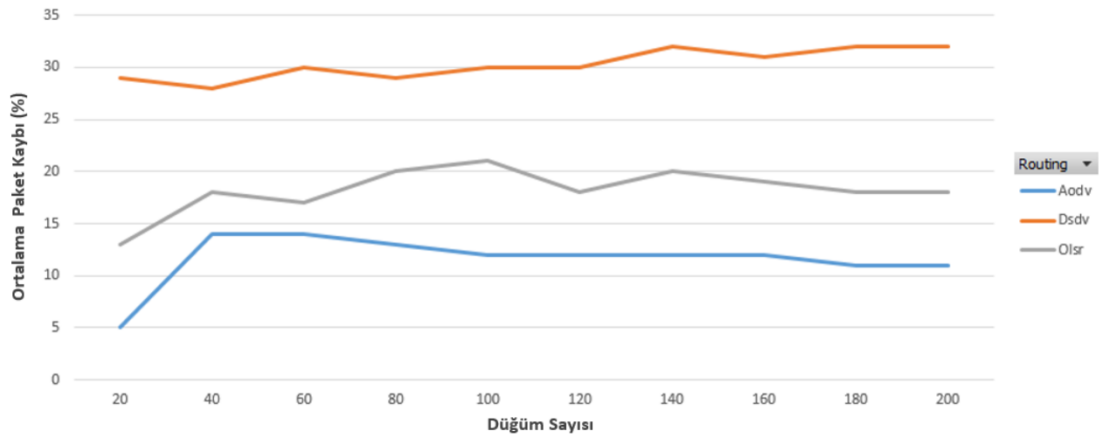
Random Walk 2D hareketlilik modelinde düğüm sayısı arttıkça uçtan uca gecikme süreleri artış gösterirken OLSR protokolü en iyi sonucu vermiştir. Hareketlilik modelinde düğümlerin hareketleri, düğümün bir önceki hareketinden bağımsız olarak gerçekleşen Random Walk 2D hareketlilik modelinde OLSR, düğümlerin gideceği güzergâhların artması yönlendirme protokolündeki yükü arttırmaması ve bu da rota bulmak için gecikmelere yol açmaması olarak değerlendirilebilir.

İkinci en iyi performans sonuçları ise DSDV protokolünün verdiği gözlemlenmiştir. DSDV yönlendirme protokolünde yönlendirme döngülerinin olmamasından dolayı performansı AODV'ye göre daha yüksek çıkmış, düğüm sayısı fazla olan ve hareketliliği yüksek olan topolojilere pek uygun olmamasından ötürü performansı OLSR'den düşük çıkmıştır.



Şekil 6.4. Random walk 2D gecikme grafiği

Aynı şekilde Random Walk 2D hareketlilik modelinde düğüm sayılarını arttırarak ve farklı yönlendirme protokolleri uygulanarak paket kayıp ortalamaları alınmış ve grafiği oluşturulmuştur. Yaptığımız simülasyonlarda bu hareketlilik modeli için paket kayıpları en düşük AODV, en yüksek DSDV çıkmıştır. Bunun sebebi AODV gideceği hedef için oluşturduğu taleplerde kaynak-hedef adresleri aynı ise tekrardan rota yanıtı için mesaj oluşturmamasıdır. OLSR ise paket iletimlerindeki sıra numaralarını tek tek kontrol eder ve sıra numarası büyük olana bakarak tablosunu günceller. Bu durum OLSR'nin AODV'ye göre daha fazla paket kaybı oluşmasına yol açar. DSDV'nin paket kaybının ise en yüksek çıkmasının sebebi düğüm sayısı fazla olan ağlarda rota dalgalanmalarının önüne geçmek için rota güncellemelerini bekletmesidir.

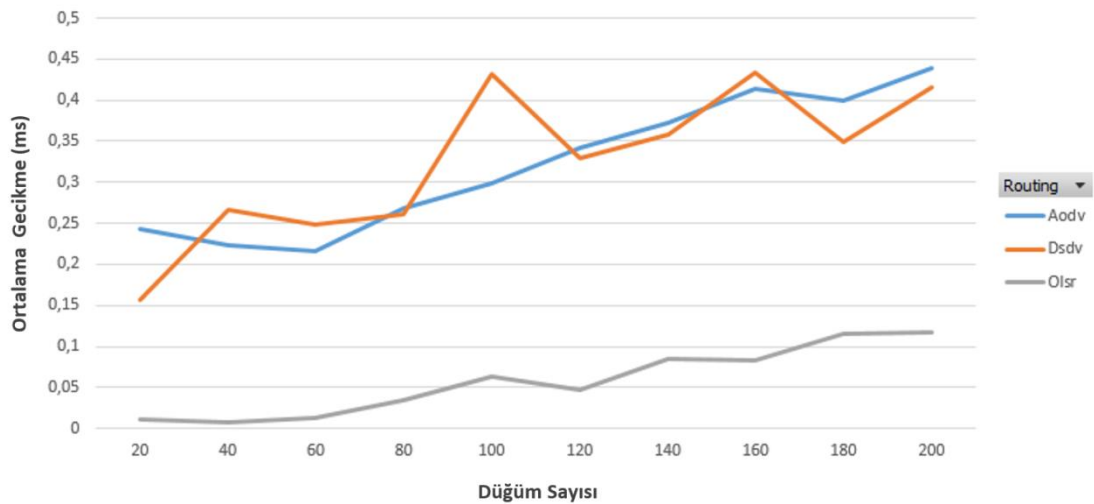


Şekil 6.5. Random walk 2D paket kaybı grafiği

6.3. Gauss Markov Modelinin Performans Ölçümü

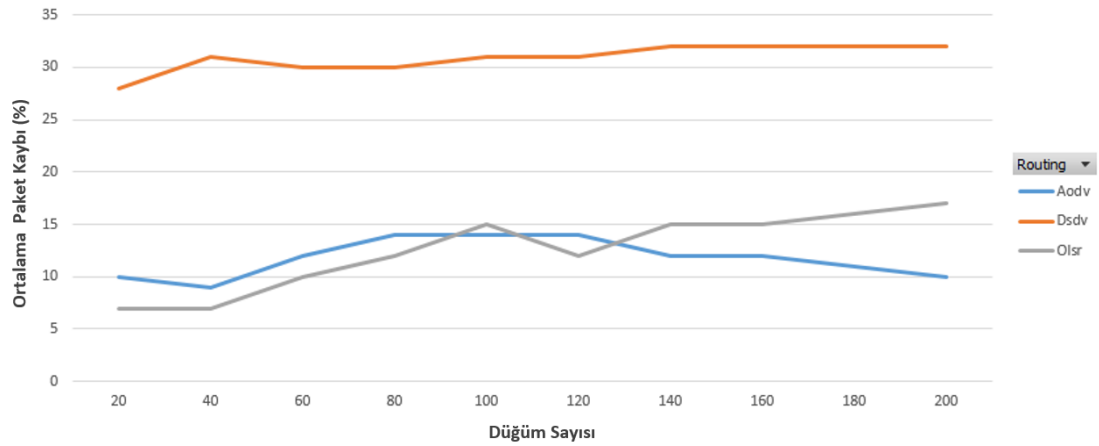
Gauss Markov hareketlilik modelinde düğüm sayısı arttıkça uçtan uca gecikme süreleri artış gösterirken OLSR protokolü en iyi sonucu vermiştir. Bunun sebebi keskin dönüşler ve beklenmedik duruşların Gauss Markov modelinde OLSR yönlendirme protokolünde düğümlerin topolojideki değişimleri en kısa atlama yollarını kullanması ve ağdaki tüm düğümler için bir sonraki atlama hedeflerini hesaplaması olarak yorumlanabilir.

İkinci en iyi performans sonuçları değerlendirilirse DSDV ve AODV protokollerinin ortalama aynı değerler verdiği gözlemlenmiştir.



Şekil 6.6. Gauss Markov gecikme grafiği

Aynı şekilde Gauss Markov hareketlilik modelinde düğüm sayılarını arttırarak ve farklı yönlendirme protokolleri uygulanarak paket kayıp ortalamaları alınmış ve grafiği oluşturulmuştur. Yaptığımız simülasyonlarda bu hareketlilik modeli için paket kayıpları düğüm sayısı artışına göre en düşük AODV çıkarken, OLSR buna yakın bir performans göstermiş ve DSDV'nin paket kayıpları en yüksek seviyede çıkmıştır. Talep üzerine güzergahını çizen AODV, paketlerdeki sıra numaralarını kullanarak hedefe varır. Böylece bağlantı gecikmelerinin sebep olduğu paket kayıpları görülmez. OLSR'de ise bu sıra numaraları periyodik olarak gönderilirken bu paketler belirli bir sırada olması gerekmez ve gecikmelerin sonucu olan paket kayıpları fazla oluşmaz. DSDV'de periyodik kontrol mesajları bir gerekliliktir. Bu periyodik gönderim ve yönlendirme tablolarındaki fazla bilgiler ağ içerisinde bant genişliğinin fazla kullanımına yol açar ve paket kayıplarının yüksek olmasına sebep olur.



Şekil 6.7. Gauss Markov paket kaybı grafiği

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Her Ad-Hoc ağlarının kendine özgü bir yapısı vardır. Konu bu ağlar olunca hareketlilik modelleri ve yönlendirme protokolleri de bu mimariye dahil edilmeli, uygun tasarım ve modellemelerle birlikte gerçekçi bir simülasyon ortamı oluşturularak elde edilen sonuçlar gerçeği yansıtmalıdır. Bu çalışmalarda kilit unsur gerçek bir ortamın davranışlarını taklit etmekten geçer. İHA ağlarındaki düğümlerin dinamik olması, ağdaki haberleşme protokolünün kesinti olması halinde kendini yeniden organize etmesi ve kullanılacak yönlendirme protokolünün bu eşsiz ağlardaki istikrarı arttırmak için en iyi hareketlilik modelini kullanması gerekir. Kullanılacak hareketlilik modeli ve yönlendirme protokolü, gerçekçi ve doğru protokol simülasyonlarını desteklemedeki önemi her zaman göz önünde bulundurulmalıdır. Her modellemenin farklı özellikleri ve farklı amaçlara hizmet etmesi beklendiğinden bu çalışmalara başlamadan önce tüm modelleme olasılıklarının araştırılması yapılmalıdır.

Bu araştırmamızda belirli bir amaca hizmet eden ve otonom çalışan İHA'ların oluşturduğu farklı sistemler inşa edip İHA'lar için kullanılan 3 hareketlilik modeline sırasıyla 3 yönlendirme protokolü uygulayarak düğüm sayılarındaki artışa göre en iyi sonuç vereni araştırdık ve haberleşmeleri sırasındaki gecikme-paket kayıpları verilerini ölçtük. OLSR yönlendirme protokolü kullanırken paket iletiminde görülen gecikme süresi en düşük Gauss Markov hareketlilik modelinde, en yüksek gecikme süresi ise Random Waypoint hareketlilik modelinde olduğu gözlemlenmiştir. DSDV yönlendirme protokolü kullanılırken paket iletiminde görülen gecikme süresi en düşük Random Waypoint hareketlilik modelinde, en yüksek gecikme süresi ise Random Walk 2D hareketlilik modelinde olduğu gözlemlenmiştir. AODV yönlendirme protokolü kullanırken paket iletiminde görülen gecikme süresi en düşük Gauss Markov hareketlilik modelinde en yüksek gecikme süresi ise Random Waypoint hareketlilik modelinde olduğu gözlemlenmiştir.

Paket kayıplarında ise Random Waypoint hareketlilik modeli kullanılırken AODV yönlendirme protokolü en iyi sonucu vermiş, Random Walk 2D hareketlilik modelinde ise paket kayıpları en fazla görülmüştür.

Genel ortalamalara bakarsak 20-200 arası değişen İHA düğümlerinden oluşan bu Ad-Hoc ağlarındaki paket iletim gecikmelerine karşı en iyi performansı elde edebilmek için Gauss Markov hareketlilik modeli ve OLSR yönlendirme protokolü kullanılabilirken, paket kayıpları söz konusu olursa Random Waypoint hareketlilik modeli ve AODV yönlendirme protokolü kullanılabilir.

Bu yazımızda NS3 yazılımını kullanarak gerçekçi bir İHA simülasyon ortamı oluşturduk ve elde ettiğimiz verileri karşılaştırarak belirlediğimiz üç yönlendirme protokolüne ve üç hareketlilik modeli uygulayarak en iyi performans vereni seçtik. Bu tür ağlar için araştırmalarda odaklanması gereken birçok soru vardır; hangi protokoller bu ağlar için en uygundur? Ağ yapısı ölçeklendirilebilir mi? İletişimin en uzun süre devam etmesi için ağ ömrünün optimum yapılandırılabilmesi ve hangi mimarilerin geliştirilmesi gerektiği gibi birçok incelenmesi gereken konu vardır. Bu ağlar için önerilebilecekler ise SDN ile yönetilebilen bir cluster yapısı, paket iletiminde yaşanan sorunlarda hata toleransları, tüm İHA'ların koordinasyon ve kontrolünün en optimum düzeyde tutulması için düzgün bir şekilde görev planlaması yapılması, yoğun kullanılan sistemlerdeki karmaşıklığın giderilebilmesi için uygun algoritma seçimi gösterilebilir.

KAYNAKLAR

- Akyıldız, I., Wang, X., 2005. A Survey on Wireless Mesh Networks. IEEE Communications Magazine, 43(9), S23–S30.
- Alotaibia, K., Rosenbergerb J., 2017. Mattinglyc S., Unmanned Aerial Vehicle Routing in the Presence of Threats. Elsevier, 360-8352.
- Arafat, M.Y., Moh S., 2019. A Survey on Cluster-Based Routing Protocols for Unmanned Aerial Vehicle Networks. IEEE Access, 10.1109(7), 2169-3536.
- Aung, C.Y., Seet, B.C., Zhang, M., Xie, L.F., Chong, P.H.J., 2015. A Review of Group Mobility Models for Mobile Ad Hoc Networks. Wireless Personal Communications, 85(3), 1317–1331.
- Bhende, M., Wagh, S., Utpat, A., 2014. A Quick Survey On Wireless Sensor Networks. Fourth International Conference on Communication Systems and Network Technologies, 2014.40.
- Borah, A.M., Sharma, B., 2015. A Survey of Random Walk Mobility Model for Congestion Control in MANET's. International Journal of Computer Applications, 111(7), 975 – 8887.
- Fotohi, R., Jamali, S., Sarkohaki, F., 2013. Performance Evaluation of AODV, LHC-AODV, OLSR, UL-OLSR, DSDV Routing Protocols. I.J. Information Technology and Computer Science, Modern Education and Computer Science Press, 10, 21-29.
- Gupta, L., Jain, R., Vaszkun, G. 2016. Survey of Important Issues in UAV Communication Networks. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 18(2), 1123–1152.
- Hildman, H., Kovacs, E., 2019. Using Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) as Mobile Sensing Platforms (MSPs) for Disaster Response, Civil Security and Public Safety. MDPI, 3, 59.
- Jiang, J., Han, G., 2018. Routing Protocols for Unmanned Aerial Vehicles. IEEE Communications Magazine, 10.1109.
- Kuiper, E., 2008. Mobility and Routing in a Delay-tolerant Network of Unmanned Aerial Vehicles. Linköping Institute of Technology, SE-581 83.
- Kumari, K., Sah, B., Maakar, S., 2015. A Survey: Different Mobility Model for FANET. International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering, 5(6), 1170-1173.

- Pramanik, A., Choudhury, B., Choudhury, T.S., Arif, W., Mehedi, J., 2015. Simulative Study of Random Waypoint Mobility Model for Mobile Ad Hoc Networks. 2015 Global Conference on Communication Technologies (GCCT), gcct.2015-7342634.
- Qadri, N., Liotta, A., 2009. Analysis of Pervasive Mobile Ad Hoc Routing Protocols. *Pervasive Computing: Innovations in Intelligent Multimedia and Applications*, 599-4, Springer, Verlag.
- Rubinstein, M., Moraes, I., 2006. A Survey on Wireless Ad Hoc Networks. *IFIP International Conference on Mobile and Wireless Communication Networks*, 211, 1-33.
- Sagtani, V., Kumar, S., 2014. Modern Approach to Enhance Routing Recitation in MANET. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 4(7), 2250-2459, IJETAE.
- Sahadevaiah, K., Ramanaiah, O., 2010. An Empirical Examination of Routing Protocols in Mobile Ad Hoc Networks. *International Journal of Communications, Network and System Sciences*, 3, 511-522.
- Saxena, T., Raj, R., Kumar, P., 2013. Qualitative Analysis of Different Routing Protocols in Mobile AD HOC Network. *Cyber Times International Journal of Technology&Management* 6(1).
- Sharmila, S., Shanthi, T., 2016. A Survey on Wireless Ad Hoc Network: Issues and Implementation. *ICETETS*, 10.1109.
- Tomar, R., Prateek, M., Sastry, G., 2017. Vehicular Adhoc Network (VANET) - An Introduction. *International Journal of Control Theory and Applications*. International Science Press, 9(18),8883-8888.
- Valentina, T., Stojanovic, M., Rakas, S., 2009. MANET Routing Protocols vs. Mobility Models: Performance Analysis and Comparison. *WSEAS International Conference*, 1790-5109.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Nurullah Onurhan YALÇIN

Doğum Yeri ve Yılı : Şanlıurfa, 22/11/1989

Medeni Hali : Bekâr

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : nonurhan.yalcin@istanbulticaret.edu.tr



Eğitim Durumu

Lise : Osmangazi Lisesi, 2007

Lisans : Uluslararası Kıbrıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilişim Sistemleri Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans : İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü

Mesleki Deneyim

Acıbadem Sağlık Grubu 2015-2016

İstanbul Takasbank A.Ş. 2016-...(devam ediyor)

Yayınları

Yalçın N. O., Boyacı A., 2020. İnsansız Hava Araçlarının Hareket ve Yönlendirme Protokollerine Göre Performans Ölçümü. İstanbul Ticaret Üniversitesi Teknoloji ve Uygulamalı Bilimler Dergisi, Basımda.