

AD-HOC AĞLARDA HAREKETLİLİK YÖNETİMİ PROTOKOLÜ

İbrahim Alper DOĞRU

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**NİSAN 2007
ANKARA**

İbrahim Alper DOĞRU tarafından hazırlanan AD-HOC AĞLARDA HAREKETLİLİK YÖNETİMİ PROTOKOLÜ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. M. Ali AKCAYOL
Tez Yöneticisi

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

Başkan: : Prof. Dr. Sezai DİNÇER

Üye : Doç. Dr. M. Ali AKCAYOL

Üye : Yrd. Doç. Dr. Hasan Şakir BİLGE

Tarih : 30/04/2007

Bu tez, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.

TEZ BİLDİRİMİ

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

İbrahim Alper DOĞRU

AD-HOC AĞLARDA HAREKETLİLİK YÖNETİMİ PROTOKOLÜ

(Yüksek Lisans Tezi)

İbrahim Alper DOĞRU

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Nisan 2007

ÖZET

Bu tezde, ad-hoc ağlarda yönlendirme işlemi ve hareketlilik yönetimi ele alınmış ve hareketli kablosuz ağlar için bir hareketlilik yönetimi protokolü geliştirilmiştir. Geliştirilen protokol ihtiyaç olduğu anda devreye girerek düğümlerin hareketliliğinden kaynaklanacak olası bağlantı kopukluklarını engellemektedir. Benzetim aracı olarak Network Simulator 2 (ns-2) kullanılmıştır. Önerilen protokol, C++ programlama dili kullanılarak geliştirilmiş, Ad-hoc on Demand Distance Vector (AODV) ve Destination Sequenced Distance Vector (DSDV) yönlendirme protokolleriyle karşılaştırılarak benzetim sonuçları elde edilmiştir. Deneysel sonuçlar, geliştirilen protokolün tasarsız ağlarda hareketlilik yönetiminde başarılı olduğunu göstermiştir.

Bilim Kodu : 902.1.014
Anahtar Kelimeler : Ad-hoc Ağ, Hareketlilik, Yönlendirme, Protokol
Sayfa Adedi : 92
Tez Yöneticisi : Doç. Dr. M. Ali AKCAYOL

MOBILITY MANAGEMENT PROTOCOL FOR AD-HOC NETWORKS
(M.Sc. Thesis)

İbrahim Alper DOĞRU

GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
April 2007

ABSTRACT

In this thesis, routing and mobility management for ad-hoc networks have been investigated and a mobility management protocol has been developed for mobile wireless networks. Developed protocol has been activated whenever it needs and thus, it prevents disconnection due to mobility of nodes. Network simulator 2 (ns-2) has been used as simulation tool. Proposed protocol has been developed using C++ programming language and compared with Ad-hoc on Demand Distance Vector (AODV) and Destination Sequenced Distance Vector (DSDV) routing protocols. The experimental results have shown that the developed protocol has been successfully applied to mobility management for ad-hoc networks.

Science Code	: 902.1.014
Key Words	: Ad-hoc networks, Mobility, Routing, Protocol
Page Number	: 92
Adviser	: Assoc.Prof.Dr. M. Ali AKCAYOL

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren Hocam Doç.Dr. M. Ali AKCAYOL'a, Yüksek Lisans Öğrenimim boyunca yardımlarını esirgemeyen değerli hocalarım Doç.Dr. Şeref SAĞIROĞLU'na ve Yrd.Doç.Dr. Hasan Şakir BİLGE'ye değerli arkadaşlarım Sinan TOKLU ve Mehmet ŞİMŞEK'e, her zaman yanımda olan aileme ve kıymetli varlığım Tuğba GÖKDOĞAN 'a teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR	xiv
1. GİRİŞ	1
1.1. Ad-Hoc Kablosuz Ağların Tarihçesi	2
2. AD-HOC AĞLAR'DA HAREKETLİLİK YÖNETİMİ	5
2.1. Ad-Hoc Ağlar İşletim Prensipleri	6
2.2. Hareketlilik Yapıları	11
2.2.1. Hareketliliğin özellikleri	11
2.2.2. Hareketlilik çeşitleri	13
2.3. Hareketlilik Yönetimi	19
2.3.1. PLMN için hareketlilik yönetimi	22
2.3.2. Mobil IP'nin hareketlilik yönetimi	23
3. AD-HOC AĞLARDA HAREKETLİLİK İÇİN GELİŞTİRİLEN PROTOKOL	27
3.1. Radyo Dalgaları Yayılım Modelleri	27
4. GELİŞTİRİLEN YÖNLENDİRME PROTOKOLÜ İLE HAREKETLİLİK YÖNETİMİNİN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ	35
4.1. Sinyal Seviyesine Göre Bağlantı Kopukluğuna Karar Verilmesi ve Hareketlilik Yönetimi	35

Sayfa

4.2.Sinyal Seviyesine Göre Bağlantı Kopukluğuna Karar Verilmesi ve Hareketlilik Yönetimi	36
4.3. Benzetimin Gerçekleştirilmesi	37
4.3.1. Benzetim ortamı	37
4.3.2. ns-2 ağ benzetim aracı	38
4.3.3. Benzetimde kullanılan AODV yönlendirme protokolü	38
4.3.4. Benzetimde kullanılan DSDV yönlendirme protokolü	41
4.3.5. Benzetim yöntemi	44
4.3.6. Performans ölçütleri	44
4.3.7. Gerçekleştirilen benzetim	46
5. DENEYSEL SONUÇLAR	67
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	87
KAYNAKLAR	89
ÖZGEÇMİŞ	92

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.1. 1 numaralı düğümün yönlendirmesi	42
Çizelge 4.2. Güncelleme sonrası 1 numaralı düğümün yönlendirme	43

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Ad-hoc ağlara örnek.....	7
Şekil 2.2. Bağlantı kopması meydana geldiğinde topology güncellemesi.....	9
Şekil 2.3. Hareketliliğin genel sınıflandırılması	14
Şekil 2.4. Kolon modeli	15
Şekil 2.5. Hareketli düğüm için belirtilen kolon modeli.....	16
Şekil 2.6. Rasgele hareket düğüm	16
Şekil 2.7. Ad-hoc ağ örneği	18
Şekil 2.8. Konum yönetim çalışması	20
Şekil 2.9. Aktarım yönetimi çalışması	21
Şekil 2.10. Mobil IP Mimarisi	24
Şekil 2.11. Mobil IP konum yönetimi	25
Şekil 4.1. AODV’de yol kurma	40
Şekil 4.2. AODV’de yol hatası	41
Şekil 4.3. DSDV örnek ağ yapısı	43
Şekil 4.4. DSDV örnek ağ yapısı	44
Şekil 4.5. Nam programının ekran görüntüsü	47
Şekil 4.6. İlk senaryonun ilk görünümü.....	48
Şekil 4.7. İlk senaryonun ikinci görünümü.....	48
Şekil 4.8. Benzetimde kullanılan topoloji	49
Şekil 4.9. İlk senaryoda düğümlerin aldıkları paket sayıları dağılımı	52
Şekil 4.10. İlk senaryoda ağda yönlendirilen paket sayısının düğümlere göre dağılımı	52
Şekil 4.11. İlk senaryoda AODV protokolü ile yeniden yol kurma durumu	53
Şekil 4.12. İlk senaryoda AODV protokolü ile yaşanan paket atılma durumu	54

Şekil	Sayfa
Şekil 4.13. İlk senaryoda DSDV kullanımı	55
Şekil 4.14. İlk senaryoda DSDV ile 0 numaralı düğümden paket atılması	55
Şekil 4.15. İlk senaryoda DSDV ile 2 numaralı düğümden paket atılması.....	56
Şekil 4.16. Geliştirilen protokolün ilk senaryodaki çalışma görüntüsü	57
Şekil 4.17. Geliştirilen protokolün bağlantı aktarımı yapması	58
Şekil 4.18. İkinci senaryonun temsili ilk görünümü	59
Şekil 4.19. İkinci senaryonun temsili ikinci görünümü	59
Şekil 4.20. İkinci senaryo için benzetim ekranı	60
Şekil 4.21. İkinci senaryoda düğümlerin aldıkları paket sayıları dağılımı	62
Şekil 4.22. İkinci senaryoda ağda yönlendirilen paket sayısının düğümlere göre dağılımı	62
Şekil 4.23. İkinci senaryoda AODV protokolü ile yaşanan 0 ve 2 numaralı düğümlerde paket atılma durumu.....	63
Şekil 4.24. İkinci senaryoda AODV protokolü ile yaşanan 1 numaralı düğümden paket atılma durumu	64
Şekil 4.25. İkinci senaryoda DSDV protokolü ile yaşanan paket atılma durumu	65
Şekil 4.26. İkinci senaryoda geliştirilen protokolle paket atılma durumu	66
Şekil 5.1. AODV protokolü ile ilk senaryoda atılan paket sayıları.....	67
Şekil 5.2. DSDV protokolü ile ilk senaryoda atılan paket sayıları	68
Şekil 5.3. Geliştirilen protokol ile ilk senaryoda atılan paket sayıları	69
Şekil 5.4. İlk Senaryoda atılan paket sayıları karşılaştırması.....	70
Şekil 5.5. AODV protokolü ile ilk senaryoda gerçekleştirilen uçtan uca gecikme frekans dağıtım benzetimi	72
Şekil 5.6. DSDV protokolü ile ilk senaryoda gerçekleştirilen uçtan uca gecikme frekans dağıtım benzetimi	72
Şekil 5.7. Geliştirilen protokol ile ilk senaryoda gerçekleştirilen uçtan uca gecikme frekans dağıtım benzetimi	73

Şekil	Sayfa
Şekil 5.8. AODV protokolü kullanılarak ilk senaryo ile gerçekleştirilen benzetimde olay zamanına karşılık uçtan uca gecikme süreleri	74
Şekil 5.9. DSDV protokolü kullanılarak ilk senaryo ile gerçekleştirilen benzetimde olay zamanına karşılık uçtan uca gecikme süreleri	75
Şekil 5.10. Geliştirilen protokol ile birinci senaryo ile gerçekleştirilen benzetimde olay zamanına karşılık uçtan uca gecikme süreleri	76
Şekil 5.11. AODV protokolü kullanılarak ikinci senaryo ile gerçekleştirilen benzetim sonucunda elde edilen atılan paketler grafiği	77
Şekil 5.12. DSDV protokolü kullanılarak ikinci senaryo ile gerçekleştirilen benzetim sonucunda elde edilen atılan paketler grafiği	78
Şekil 5.13. Geliştirilen protokol kullanılarak ikinci senaryo ile gerçekleştirilen benzetim sonucunda elde edilen atılan paketler grafiği	79
Şekil 5.14. İlk Senaryoda atılan paket sayıları karşılaştırması	80
Şekil 5.15. AODV protokolü ile ikinci senaryoda gerçekleştirilen uçtan uca gecikme frekans dağıtım benzetimi.....	81
Şekil 5.16. DSDV protokolü ile ikinci senaryoda gerçekleştirilen uçtan uca gecikme frekans dağıtım benzetimi.....	81
Şekil 5.17. Geliştirilen protokol ile ikinci senaryoda gerçekleştirilen uçtan uca gecikme frekans dağıtım benzetimi.....	82
Şekil 5.18. AODV protokolü kullanılarak ikinci senaryo ile gerçekleştirilen benzetimde olay zamanına karşılık uçtan uca gecikme süreleri	83
Şekil 5.19. DSDV protokolü kullanılarak ikinci senaryo ile gerçekleştirilen benzetimde olay zamanına karşılık uçtan uca gecikme süreleri	84
Şekil 5.20. DSDV protokolü kullanılarak ikinci senaryo ile gerçekleştirilen benzetimde olay zamanına karşılık uçtan uca gecikme sürelerinin ayrıntılı görünümü.....	85

Şekil**Sayfa**

Şekil 5.21. Geliştirilen protokol ile ikinci senaryo ile gerçekleştirilen benzetimde olay zamanına karşılık uçtan uca gecikme süreleri	86
---	----

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler

Açıklama

s

Saniye

α

Vektör Sapma

Kısaltmalar

Açıklama

ACK

Geri Bildirim Paketi

ATM

Asynchronous Transfer Mode

AODV

Ad-hoc On-demand Distance Vector

CBR

Constraint Based Routing

CSMA

Carrier Sense Multiple Access

DARPA

Defense Advanced Research Projects Agency

DSR

Dynamic Source Routing

DSDV

Destination-Sequenced Distance Vector

EA

Ev Ajanı

FTP

File Transfer Protocol

FSM

Free Space Model

GRM

Ground Reflection Model

HLR

Home Location Register

IETF

Internet Engineering Task Force

IP

Internet Protocol

LEO

Low Earth Orbit

LOS

Line Of Sight

MAC

Media Access Control

MANET

Mobile Ad Hoc Networks

MCN

Multi-hop Cellular Networks

Kısaltmalar**Açıklama**

MCS	Mobile Switching Center
Mobile IP	Mobile Internet Protocol
NAM	Network Animator
QoS	Quality of Service
PCS	Personel Communication Systems
WRP	Wireless Routing Protocol
TORA	Temporally Ordered Routing Algorithm
PLMN	Public Land Mobile Networks
VLR	Visitor Location Register
SS7	Signal System 7
SIG	Special Interest Group
SM	Shadowing Model
SOPRANO	Self Organizing Packet Radio Ad-hoc Networks
SURAN	Survivable Radio Network
TCP	Transmission Control Protocol
TGR	Two Ray Ground Model
YA	Yabancı Ajan
ZRP	Zone Routing Protocol

1. GİRİŞ

Günümüzde bilgi çok büyük boyutlarda ve dağınık olarak bulunmaktadır. İnsanlar ihtiyaç duydukları bilgilere istedikleri zaman ve mekândan bağımsız olarak ulaşmak istemektedirler. Bu ihtiyacın her yerde karşılanabilir olması kablolu ağlarda mümkün olmamaktadır. Bu yüzden ilk defa askeri amaçlarla kullanılmaya başlanan kablosuz iletişim daha sonra ticari amaçla da kullanılmaya başlanmış ve her yerden bilgiye ulaşma ihtiyacı karşılanmıştır. Kablosuz ağlardaki gelişimin devamlı olarak artış göstermesi, bu sayede yeni fikirlerin ve teknolojilerin ortaya çıkması kablosuz ağları günümüzün vazgeçilmez teknolojisi haline getirmiştir.

Kablosuz ağlar, hizmet veren ve hizmet alan kullanıcıların birbirine bulundukları konuma bağlı olmaksızın erişimlerini sağlamaktadır. Kablosuz ağlar iki sınıfa ayrılmaktadır. Bunlar altyapılı ve ad-hoc ağlar olarak adlandırılmaktadır. Altyapılı ağlarda bulunan kullanıcılar sabit baz istasyonları veya farklı erişim yöntemleriyle iletişim kurmaktadır. Baz istasyonlarının hareketli olduğu bir ortamda hizmet alan kullanıcılar kapsama alanlarının içinde olduğu sürece hizmet alırlar. Ancak bir istasyonun kapsama alanının dışına çıkan kullanıcı diğer istasyonun kapsama alanına girerse hizmet almaya devam etmektedir. Ad-hoc ağlarda ise belli bir altyapı bulunmamaktadır. Burada istasyonlar düğümlerden oluşmaktadırlar. Düğümler hem birbirleriyle iletişim kurabilmekte hem de kendi üzerlerinden yönlendirme yapabilmektedirler.

Ad-hoc ağlar sunduğu imkân ve olanaklardan dolayı birçok alanda kullanılmaktadır. Ancak yapılarının dinamik ve her an değişebiliyor olmasından dolayı kullanımı sırasında birçok problemle karşılaşmaktadır. Bu yüzden başta akademik olmak üzere birçok alanda ad-hoc ağlar ile ilgili çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmaların en önemlilerinden birisi Internet Engineering Task Force (IETF) tarafından ad-hoc ağlarda yönlendirme protokolleri konusunda araştırma yapan Mobile Ad-hoc Networks (MANET) adlı grubun kurulmasıdır. Ad-hoc ağlar için birçok yönlendirme protokolü oluşturulmuş ve uygulanmaya başlanmıştır. Bu

protokollerden en çok kullanılanlar ise Destination Sequenced Distance Vector (DSDV) [1], Wireless Routing Protocol (WRP) [2], Temporally Ordered Routing Algorithm (TORA) [3], Zone Routing Protocol (ZRP) [4], Dynamic Source Routing (DSR) [5] ve Ad hoc On Demand Distance Vector (AODV) [6] protokolleridir. Bu protokoller sadece tıkanıklığı çözmek için kullanılmaktadır. Ancak ad-hoc ağlardaki düğüm hareketliliği bu protokollerde göz önüne alınmamaktadır. Ad-hoc ağlarda hareketli düğümlerden meydana gelebilecek problemlerin çözümüne yönelik yeterli çalışma yapılmamıştır. Genel olarak günümüzde düğümlerin hem hareketli hem de sabit ortamda iyi bir performans göstermesi gerekmektedir.

Bu tezin temel amacı ad-hoc ağlarda düğümlerin hareketliliğinden kaynaklanan sinyal zayıflaması ve bağlantı kopuklukları nedeniyle meydana gelen veri kaybını en aza indirmektir. Anlık sinyal seviyesi değişimleri, düğümlerin hareket yönü ve birbirlerine olan uzaklıkları hakkında bilgi verilmektedir. Bu bilgiden faydalanılarak olası bağlantı kopuklukları tahmin edilip, veri aktarımı için yeni yolların bulunması sağlanmaktadır.

1.1. Ad-Hoc Kablosuz Ağların Tarihçesi

Ad-hoc ağların arkasındaki prensip, çok atlamalı aktarımdır. Çok atlamalı aktarımın kökeni M.Ö. 500'e kadar gitmektedir. İran kralı 1. Darius döneminde, krallığın başkentinden, uzak köylere mesaj ve haber gönderilebiliyordu [7]. Yüksek yapılar veya yüksekliklere yerleştirilen insanlar bağırarak birbirlerine mesajları iletliyordu. Bu sistem o zamanlar mevcut olan haberciyle mesaj yollama yönteminden 25 kat daha hızlıydı. Ad-hoc iletişim, davullar, trompetler yardımıyla pek çok eski/kabile şeklinde topluluklarda kullanılmıştır.

1970'de Norman Abramson ve araştırmacı arkadaşları Hawai Üniversitesi'nde ALOHA net'i geliştirmişlerdir. ALOHA net tek atlamalı kablosuz paket anahtarlama ve tek bir kanal paylaşımı için erişim seçeneğini kullanmıştır. Aslında

ALOHA net belirli tek sıçramalı kablosuz ağ için tasarlanmasına rağmen temel altyapısı olmayan farklı ortamlarda iletişimi ve kaynaklara erişimi sağlamaktır.

ALOHA net'in başarısı ve yeniliği bilgisayar iletişiminin farklı yönlerinde geniş çaplı ilgiye yol açmıştır, örnek olarak Robert Metcalfe'nin Ethernet'i geliştirmesi ve Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA) tarafından geliştirilen PRNET'de bulunmaktadır [7]. PRNET projesinin amacı askeri uygulamalar için kablosuz ağ paketi geliştirmektir. İlk baştaki girişimin merkezileştirilmiş bir kontrolü olmasına rağmen, geniş bir coğrafi alanda kullanılan yayılmış çok atlamalı kablosuz iletişim sistemine dönülmüştür. Her bir hareketli düğüm için tek bir kanal kullanımı, daha basit kanal yönetimi teknikleri ve devinimi kolaylaştırıcı gibi avantajlar sağlayan broadcast radyo arabirimi bulunmaktadır.

PRNET ortak radyo kanalına erişim için ALOHA kombinasyonunu ve Carrier Sense Multiple Access'i (CSMA) kullanmıştır [7]. Sistem belirli altyapıdan destek almadan yönlendirme protokolünün dinamik işletimi için radyo bağlanabilirliğini bulmak, kendi kendini yapılandırmak ve kendi kendini organize etmek üzere tasarlanmıştır. PRNET projesinin karşılaştığı temel konular, topoloji bilgisini elde etme, sürdürme ve bundan faydalanma, kablosuz linklerin hata ve akış kontrolü, düğümlerin işlem ve depolama kapasitesi ve dağıtılan kanal paylaşımını içermektedir. PRNET'in başarılı demoları, sivil ve askeri amaç için uygulamaların ve altyapısız ağların etkili kullanımını kanıtlamıştır [8].

DARPA, Survivable Radio Network (SURAN) projesi ile tek atlamalı kablosuz ağ üzerindeki çalışmayı genişletmiştir. SURAN projesi ad-hoc ağına küçük, düşük maliyetli, az güç harcayan aygıtlar sağlamak amacıyla tasarlanmıştır. 1980'ler boyunca askeri uygulamalar üzerine yapılan araştırmalar tüm dünyada finanse edilmiştir [7]. Bilgisayar iletişimde ortaya çıkan bu alanına getirilecek açık standartların ihtiyacının farkına varan IETF grubu ve MANET grubu telsiz kablosuz ağların işlevsel özelliklerini ve protokollerini standartlaştırmak yoluna gitmiştir [8]. Kablosuz ağlarda amaç, kendi kendini organize eden mobil ağ altyapısını

desteklemek için geliştirilmiş standart yönlendirme fonksiyonelliğini geliştirmeyi sağlamaktır.

1994'te, İsveçli iletişim aygıtı üreticisi Ericsson, düşük güç harcayan, karmaşık ve pahalı olmayan radyo arabirimi geliştirmeyi önermiş ve Bluetooth denilen iletişim protokollerini birleştirmiştir [7]. Bunu daha sonra Special Interest Group'da (SIG) denemiştir. SIG'e 3Com, Ericsson, IBM, Intel, Lucent, Microsoft, Motorola, Nokia ve Toshiba dahildir. Bluetooth SIG heterojen aygıtlar arasında bağlantı için evrensel çözümler geliştirmeyi amaçlamaktadır. Bu, telsiz kablosuz ağın gerçekleştirdiği ilk ticari olaydır. Bluetooth tek atlamalı kablosuz linki standartlaştırmaktadır [7].

Telsiz kablosuz ağlar, belirli altyapıların olmadığı durumlarda kullanılmak istenmesine rağmen, kablosuz ağ yapıları alanındaki son gelişmelere bakılırsa, hareketli telsiz ağlar düğümlerinin altyapı olduğu zamanlarda da kullanılabileceği ilginç çözümler üretilmektedir. Multi-hop cellular networks (MCNs) ve kendi kendini organize eden Self Organizing Packet Radio Ad-hoc Networks (SOPRANO) bunlara birer örnektir [9-10]. Bu karma yapılar (hücreli ve ad-hoc kablosuz ağları birleştiren) sistemin kapasitesini önemli oranda artırmaktadır. Ad-hoc kablosuz ağın sunduğu imkânlar olsa da, başarılı ticari yayılımlar farklı problemlere gerçekçi çözümler istemektedir. Bunlara örnek gerçek zamanlı uygulamalar ile hizmet kalitesi olarak gösterilebilir.

2. AD-HOC AĞLAR'DA HAREKETLİLİK YÖNETİMİ

Kablosuz hareketli ad-hoc kablosuz çok atlamalı iletişim yolları ile birbirine bağlanan hareketli düğümlerden oluşmaktadır. Bu kablosuz ağlar kendi kendini oluşturan, kendi kendini organize eden ve kendi kendini yöneten ağlardır. Ad-hoc ağlar belirli ortamlar ve uygulamalar için çok büyük faydalar ve çok yönlülük sunmaktadır. Sabit alt yapı veya baz istasyonlar ön gereksinimler olmaksızın, herhangi bir yerde ve herhangi bir anda oluşturulabilmekte ve kullanılabilir. Bu ağlar sabit bir ağ yapısına sahip değildir. Bu nedenle bu ağlar kendi içerisinde meydana gelebilecek arızalara dayanıklıdır. Düğümlerin eklenmesi veya silinmesi sadece diğer düğümlerle etkileşimlerle meydana gelmektedir. Bu özelliklerinden dolayı bu ağ tipleri sabit kablolu ağların kullanılmadığı alanlarda birçok avantaj sunmaktadır. Bu avantajlar askerlerin, polislerin ve kurtarma kuruluşlarının kendi aralarında veya birbirleri arasında ve özellikle münferit felaket ya da silahlı çatışma olaylarında dahil olmak üzere organize olmamış alanlarda başarılı şekilde kullanılabilir. Yakın tarihlerde ev ya da küçük ofis ağları veya küçük bir alan da diz üstü bilgisayarın işbirliği ile oluşturulan bir hesaplama uygulaması sayesinde aynı yöntem kullanılarak birçok uygulama alanı ortaya çıkarılmıştır. Ayrıca, insanlar başlangıçtan itibaren mobil hesaplamanın bütün geleneksel alanlarda da açık ve potansiyel bir kullanımının yapılabileceğini görmüşlerdir.

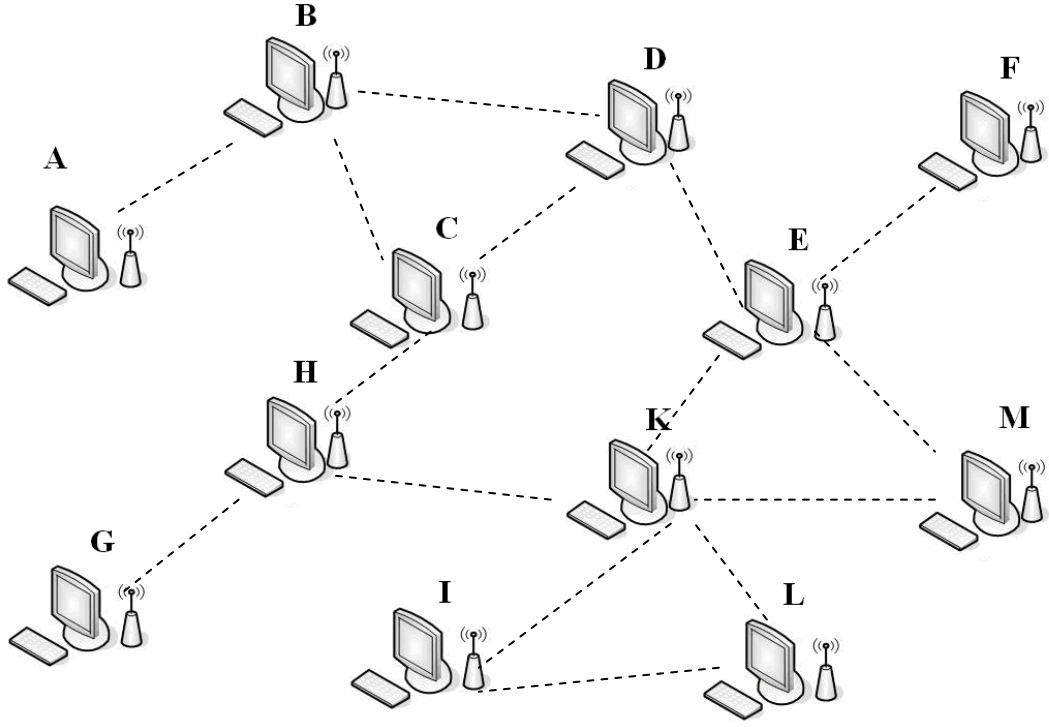
Hareketli ad-hoc ağ kavramı ise geleneksel internet'in kablosuz hareketli ortamda da hizmetlerinden yararlanılabilmesi için ortaya çıkmıştır. Bütün geçerli çalışmalarda ad-hoc ağların her yerde Internet Protocol (IP) ağ mekanizmaları ve protokollerine dayalı olarak internetin kablosuz ortamda da kullanılabildiği görülmüştür. Tanım itibariyle hareketli ad-hoc ağda bütün ağ elemanları hareket eder. Ad-hoc ağların sunduğu hizmetlerden daha çok yararlanabilmek için bu alanda meydana gelen ve gelebilecek problemlerin çözülmesi gerekmektedir.

Düğümlerin hareketliliği, düğümlerin güç kapasitesi ve dolayısıyla iletim menzilleri üzerinde bazı sınırlamalar meydana getirmektedir. Ad-hoc ağlarda bu hareketli düğümler birer uç sistem değildir. Bu düğümler diğer düğümler tarafından oluşturulan paketleri kendi üzerlerinden aktarma için kullanılmaktadırlar. Bu sayede her bir düğüm aynı zamanda bir yönlendirici işlevi de görmektedir. Bu düğümler hareket halinde olduklarından dolayı birbirlerinin menziline girdiklerinde oluşacak yeni topolojileri birbirlerine bildirmektedirler. Hareketli düğümler devamlı olarak menzil değiştirebilecekleri için her yeni topolojide birbirlerine paket yollayarak zaten düşük olan bant genişliğinin verimliliğini azaltmaları da önlenmelidir.

Hareketli ad-hoc ağlarda daha karmaşık uygulamalar için çalışmalar yapılırken, bu uygulamaların servis kalitesi için kullanılan özellikleri önceden belirlenmiş olmalı ve bu özelliklere göre hizmet sunulmalıdır. Ayrıca ad-hoc ağların asker veya kolluk kuvvetleri tarafından artan oranda kullanılması ve aynı zamanda ticari olarak kullanımın artmasıyla bu ağlardaki meydana gelen güvenlik açıkları da önemli bir nokta olarak karşımıza çıkmaktadır.

2.1. Ad-hoc Ağlar İşletim Prensipleri

Hareketli bir ad-hoc ağın genel işletim prensibi en iyi, bir ad-hoc ağın noktadan noktaya çok sıçramalı olayında görülebilmektedir. Şekil 2.1’de bu işletim prensibi gösterilmiştir. Burada A düğümü, düğümler arasında bir telsiz kanalının uygun hale gelmesiyle diğer bir düğüm olan B düğümü ile doğrudan iletişim kurmaktadır. Aksi takdirde, iletişim kuran düğümler arasında bir ya da daha fazla düğümün bir yönlendirici olarak hizmet vermesi gereken durumlarda çok sıçramalı bir iletişim meydana gelecektir. Şekil 2.1’de gösterildiği gibi A ve C düğümleri veya A ve E düğümleri arasında hiç bir doğrudan telsiz kanalı bulunmamaktadır. B ve D düğümleri, sırasıyla A ve C veya A ve E düğümleri arasındaki iletişim için ara yönlendirme olarak hizmet görmektedirler.



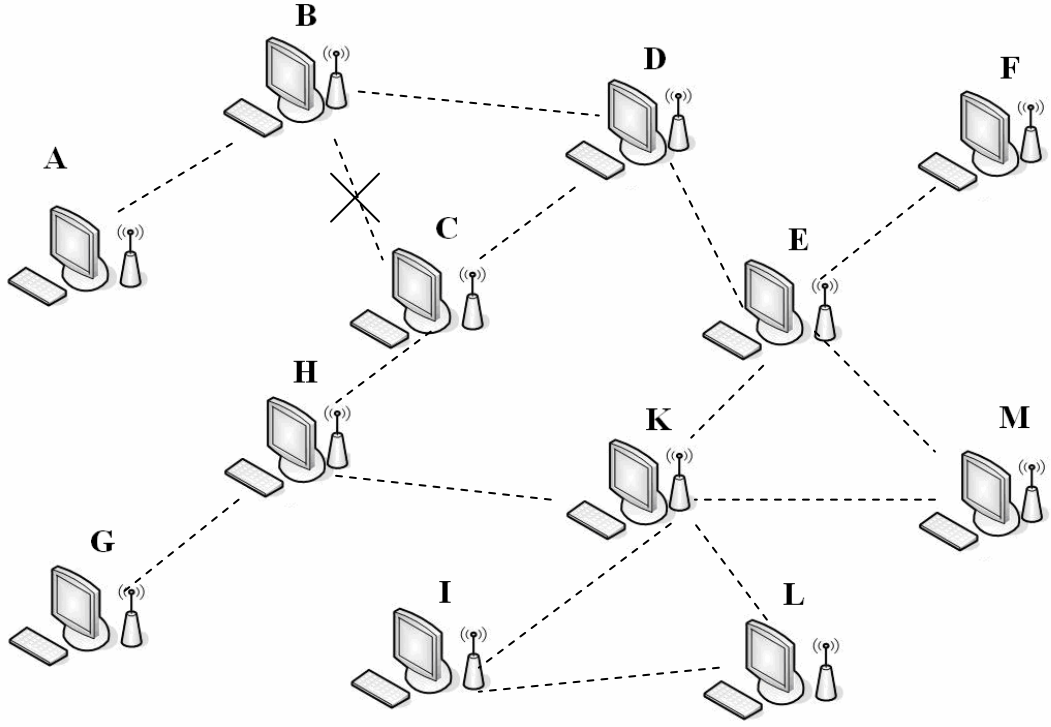
Şekil 2.1. Ad-hoc ağlara örnek

Ad-hoc ağların ayırt edici özelliklerinden en önemlisi bütün düğümlerin paketler için kaynak ve varış noktası olarak hizmet görebilmesinin yanında yönlendirici olarak ta hizmet verebilmesidir. Paketlerin uzun yollarda sonsuza kadar hareket etmesini önlemek için, seçilen yolun en önemli gereklerinden birisi de döngüsüz olmasıdır.

Bir ad-hoc ağ, ilgili adres bilgileri ile en az 2 adet düğümün haberleşmesiyle oluşur. Eğer A düğümü, aralarında uygun kontrol mesajlarının gönderilip alınmasıyla Şekil 2.1’de gösterildiği gibi B düğümü ile doğrudan iletişim kurabiliyorsa, her iki düğüm de yönlendirme tablolarını güncellemektedirler. Üçüncü bir düğüm C düğümü ağa işaret sinyali ile katıldığında, iki senaryo ortaya çıkmaktadır. Bu senaryolardan ilki hem A hem de B’nin C ile tek sıramalı iletişim yapabileceği senaryodur. İkinci senaryo ise düğümlerden yalnızca biri, mesela; B düğümü C’den gelen işaret sinyalini tanır ve C ile doğrudan iletişim kurarsa, hem adres hem de yol güncellemelerinden oluşan yeni topoloji güncellemelerinin hemen arkasından her üç düğüm de birbiriyle iletişim kurabilecek hale gelmektedir. İlk durumda bütün yollar

doğrudan düğümlere bağlıdır. İkincisinde ise, yol güncellemesi ilk olarak B ve C düğümleri daha sonra B ve A düğümleri ve daha sonrasında tekrar B ve C düğümleri arasında meydana gelmektedir ve B üzerinden A ve C düğümlerinin karşılıklı ulaşılabilirliği teyit doğrulanmaktadır.

Düğüm hareket ederken, zaman içerisinde erişilebilirlik ilişkileri değişebilmektedir. Bu durum tekrardan yol güncellemelerinin yapılmasını gerektirmektedir. Bazı nedenlerden dolayı B ve C arasındaki bağlantı Şekil 2.2’de gösterildiği gibi kullanılamaz hale gelirse, A ve C düğümleri hala birbirlerine ulaşılabilir ve iletişim yapabilirler ancak bu defa yalnızca D ve E düğümleri üzerinden birbirlerine ulaşabilmektedirler. Eşlenik olarak orijinal döngüsüz yolun ($A \leftrightarrow B \leftrightarrow C$) yerini artık yeni döngüsüz yol ($A \leftrightarrow D \leftrightarrow E \leftrightarrow C$) almaktadır. Ağdaki bu değişikliklerden sonra her düğümün yeni oluşan topolojiyi kendi yönlendirme tablolarına entegre etmeleri gerekmektedir. Düğümler arasındaki bu ulaşılabilirlik ilişkisi ayrıca başka nedenlerden dolayı da değişebilmektedir. Örneğin bir düğüm kapsama alanından çok fazla uzaklaşabilir, bataryası tükenebilir ya da yazılım veya donanım arızasından dolayı düğümler arasındaki ilişki değişebilir. Ağa giderek daha fazla sayıda düğüm katıldıkça ya da bazı mevcut düğümler ayrıldıkça, topoloji güncellemeleri giderek daha fazla sayıda, daha karmaşık hale gelerek, kullanıcı verilerini takas etmek üzere kullanılabilir olan ağ kaynaklarını ortadan kaldırmaktadır. Eğer ağ topolojisinde sık sık değişiklikler meydana gelirse, kaynak - hedef düğümleri arasında döngü oluşmayan bir yol bulmak imkânsız hale gelebilmektedir. Bundan dolayı, düğümler arası iletişim kurma, artan hareketlilikle zayıflamakta ve sonuç olarak ağ topolojisi bilgisi artan oranda uyumsuz hale gelmektedir. Eğer bir ağ topoloji değişimi bütün topoloji güncellemelerinin gerektiği şekilde başarıyla aktarılmasına izin verecek kadar yavaşsa veya yönlendirme algoritması sonraki değişim meydana gelmeden önce ağdaki değişiklikleri başarıyla aktarmaya yetecek kadar verimli ise kombinasyon olarak dengelidir denilebilir.



Şekil 2.2. Bağlantı kopması meydana geldiğinde topoloji güncellemesi

Açık bir şekilde kombinasyon dengesi ağların yalnızca bağlantı özellikleri ile belirlenmemekte aynı zamanda diğer pek çok ağ arasında kullanılmakta olan yönlendirme protokolünün verimi ve düğümlerin anlık hesaplama kapasitesi tarafından da belirlenmektedir. Böylece kombinasyon dengesi bir ad-hoc ağ içerisindeki verimli yönlendirme amaçlarını başarmak için göz önünde bulundurulması gereken hayati bir işlevi gerçekleştirmektedir.

Yönlendirme algoritmalarının özellikleri

Ad-hoc ağlar için şu ana kadar pek çok yönlendirme protokolü önerilmiştir. Bu önerilen protokollerin her biri bir önceki yaklaşıma göre bazı avantajlar sunmaktadır. Ancak genel olarak bir ad-hoc ağ yönlendirme protokolünün sahip olması gereken özellikler vardır. Bunlar;

Döngüsüzlük: Kaynaktan hedef noktasına giden yolda döngülerin olması verimsiz yönlendirmeye neden olmaktadır. En kötü durum senaryosunda, paketler döngüde süresiz olarak gidip gelmeye devam eder ve asla varış noktalarına ulaşamazlar.

Dağıtık kontrol: Merkeziyetçi yönlendirme planında bir düğüm bütün topolojik bilgileri alıp kaydetmekte ve bütün yönlendirme kararlarını bu düğüm vermektedir. Dolayısıyla ölçeklenebilir değildir. Bir merkezi yönlendirici olduğu için tek noktada olabilecek bir başarısızlık sistemin tıkanmasına sebep olmaktadır. Ayrıca merkezi yönlendiricinin yakınlarındaki ağ yönlendirme sorguları ve yanıtlarının oluşturacağı trafikten dolayı ağ tıkanabilmektedir.

Hızlı yönlendirme: Yönlendirme kararlarının çok hızlı verilmesi ve yeni oluşan topolojinin düğümlere bildirilmesinin hızlı olması hatta oluşabilecek trafiği azaltmaktadır. Bu sayede yönlendirme çok hızlı şekilde yapılabilmekte ve daha çok veri gönderilebilmektedir.

Topoloji değişiklikleri sırasında oluşabilecek tepkiler: Ağın bir bölümünde meydana gelen topoloji değişiklikleri ağın uzakta bulunan diğer kısımlarındaki yönlendirme stratejisinde fazla değişiklik meydana getirmemelidir. Bu durum yönlendirme tablolarının güncelleme olaylarını kontrol altında tutmakta ve algoritmayı daha ölçeklendirilebilir hale getirmektedir.

Yolların çokluluğu: Düğüm hareketliliği bazı yollarda kesintiye neden olsa bile, diğer yollar paketin teslim edilmesi için kullanılabilir olmalıdır.

Güç açısından verimli: Bir yönlendirme protokolü güç açısından verimli kullanılmalıdır. Yani protokol yükü eşit dağıtılmalıdır, aksi takdirde bağlantısı kopan düğümler topolojilerin parçalanarak bazı yolların erişilemez hale gelmesine neden olabilmektedirler.

Güvenlik: Yönlendirme protokolleri güvenli olmalıdır. İletişim düğümleri için kimlik doğrulama, hattın dinlenmesi, yönlendirmenin hatalı yapılmasını gibi olayları önlemek ve hattın daha güvenli olması için veri iletişiminin şifreli şekilde yapılmasını sağlamak gerekmektedir.

Hizmet kalitesi: Yönlendirme protokollerinin hizmet kalitesi üst seviyede olmalıdır. Hizmet kalitesi, bir kaynak ve hedef düğümünde meydana gelebilecek gecikmeleri ve işlem kapasitesi hakkında bilgi sahip olmalı ve gerçek zamanlı bir uygulamanın başarılı olabileceği süreyi doğrulayabilmelidir.

2.2. Hareketlilik Yapıları

Önceki bölümde, ad-hoc ağlarda yönlendirmenin nasıl gerçekleştirildiği incelenmiştir. Bu inceleme neticesinde düğümlerin hareketliliği nedeniyle ortaya çıkan zorlukların yönlendirme algoritmalarıyla nasıl uygun ve düzgün çalışabileceği ortaya konmuştur. Bu bölümde, hareketliliğin ad-hoc ağlarda yönlendirmeyi nasıl etkilediği ve bunlarla başa çıkmak üzere nelerin yapılabileceği incelenecektir.

2.2.1. Hareketliliğin özellikleri

Ad-hoc ağlardaki yapılan bütün araştırmalar şu ana kadar tek bir hedefi takip etmektedir. Yani minimum olası gereksiz yükü ağın işleme kapasitesini artırmaya çalışmaktadırlar. Yönlendirme protokollerinin verimli bir şekilde kullanımı ve bu sayede paketlerin gönderen ve alıcı arasında doğru bir şekilde yönlendirilebilmesi için ağdaki düğümler açısından doğru ağ topolojisinin kullanılması gerekmektedir. Düğümlerin, ağın doğru topoloji görünümüne sahip olması için, kendi çevrelerindeki düğümler hakkında makul oranda doğru bir konum bilgisine sahip olması gerekmektedir. Eğer düğümler hareketsizse bu durumda düğümlerin konum bilgisi değişmeden kalarak ağın topoloji görünümünün doğru olmasına sağlamakta ve yönlendirme sabit kablolu ağlarda olduğu kadar iyi çalışmaktadır. Ancak ad-hoc ağlarda, düğümler zaman içerisinde farklı konumlara hareket etmektedirler. Bundan

dolayı devamlı olarak farklı ağ topolojileri oluşmaktadır. Hemen hemen bütün iyi bilinen yönlendirme protokolleri topolojinin rasgele değiştiği ağda kötü performans göstermektedir.

Ağ hareketliliğinin önemi anlaşıldıktan sonra, ad-hoc ağların yönlendirme sürecinde olan mobil düğümlerin hareketliliğinin karakterize edilmesi için çok fazla miktarda çalışma yapılmıştır. Bu hareketlilik karakterizasyon araştırmalarında düğümlerin hareketliliğindeki rastgelelik incelenmiştir [11-12]. Bununla birlikte hareketlilik karakterizasyonunun bu alanındaki araştırmaların çoğu bireysel düğümlerin hareketliliğinin karakterizasyonuna yönelik olmaktadır [13].

Ad-hoc ağlardaki düğümlerin uyumlu özellikler sergilemesi nedeniyle bireysel düğüm hareketliliğinin göz önünde bulundurulması ad-hoc ağlarda çok az bir öneme sahiptir. Bu gözlem doğrudan ad-hoc ağların varlığıyla ve grup etkinliklerini desteklemekle ilgilidir. Komşu düğümlerin hareketinin bir bireysel düğümün hareketi üzerindeki etkisi Tan D.S. ve arkadaşları tarafından 2002 yılında yapılan “Design and Evaluation of an Individually Simulated Mobility Model in Wireless Ad Hoc Networks” araştırmasında ele alınmıştır [14]. Bu araştırmada düğümlerin hareketliliğinin veya ağın hareketliliğinin bir bütün olarak ele alınmasının bir birey tarafından izlenen hareketlilik modeline göre önemi üzerinde durulmuştur. Ancak bu araştırmada yapılan hareketlilik bilgilerinin yönlendirme algoritmasının performansını iyileştirmede nasıl kullanılabileceği konusunu aydınlatılmamaktadır.

Şu ana kadar önerilen yönlendirme algoritmalarının çoğunun etkisi yalnızca hareketlilik nedeniyle ortaya çıkan etkileri veya ağdaki düğümlerde meydana gelen en son çevre bilgilerinin sürekli olarak güncellemesine izin vererek oluşturulan etkilerdir. Her iki olayda da gereksiz yüklerin ağda artışı meydana gelmektedir. Ayrıca, şu ana kadar önerilen algoritmaların çoğu topolojide dengesizliğe neden olan düğümlerin hareketliliğini göz ardı etmektedir.

Ad-hoc ağlarda sabit olmayan ağ topolojisi nedeniyle ortaya çıkan yönlendirme sorununun olası bir çözümü ise sınıflandırma yoluyla olmaktadır. Sınıflandırma hareketli yapıları tamamen rasgele olanlara göre bir miktar daha sabit olanların ayrılabilmesi ile mümkün olabilmektedir. Bu sayede, düğüm hareketlerinin bir dereceye kadar sabit olduğu bir dizi ağa sahip olunabilir ve bu ağ tiplerinde düğüm hareketlerinde kullanılan yönlendirme yükleri optimum hale getirebilir.

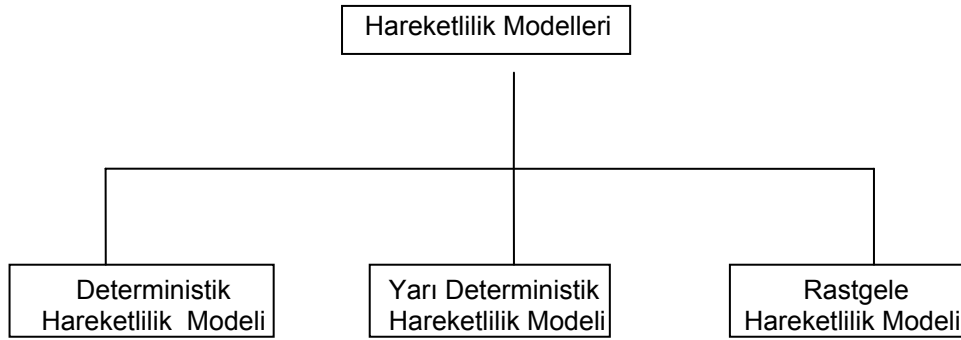
2.2.2. Hareketlilik çeşitleri

Mobil ad-hoc ağlar için etkili bir yönlendirme algoritması gerçekleştirme çalışmaları, düğüm hareketliliğinin önemini göz önünde bulunduran hareketlilik karakterizasyonuna doğru kaymaktadır [13-14]. Bununla birlikte ad-hoc ağlar üzerinde yapılan önceki araştırmaların çoğunda düğümlerin rasgele hareket modelini takip ettiği varsayılmıştır [1-6]. Bu rasgele model, sonraki hareketin yönü ve hızı ile düğümler tarafından yapılan önceki hareketlerden bağımsız olacak şekilde “durakla ve hareket et” olarak gerçekleştirilmiştir. Bununla birlikte, gelecek ve geçmiş hareket hızları ve yönleri arasında yüksek bir korelasyon derecesi beklemek mümkündür. Böylece her bir düğüm diğer varlıklardan ayrı bir şekilde hareket ederken, sonraki hareket için verdiği karar bir şekilde içinde bulunduğu bağlam ve onu çevreleyen hareketler tarafından etkilenmektedir. Eğer bu bağımlılık faktörü alınabilirse, düğümün yapacağı sonraki harekete bir miktar tahmin edilebilirlik eklenebilmesi mümkün olabilir.

Hareketlilik yapılarının tahmin edilebilirliğini göstermek için, bir otobüs filosu incelenebilir. Her bir otobüsün hareketi tamamen rasgele değildir, eğer rasgele olursa otobüs servisinin tüm amacı boşa çıkmış olmaktadır. Bundan dolayı, hız sınırları, izlenecek güzergâh ve zaman kontrolleri gibi parametreler verildiğinde, herhangi bir anda otobüslerin konumunu makul bir doğruluk oranıyla tahmin etmek oldukça mümkündür. Diğer yandan düğümlerin önceden belirlenen bir şekilde hareket etmediği durumlar meydana gelebilmektedir. Örneğin bir deprem kurtarma görevindeki asker mümkün olduğu kadar alanı kapsam altına almak üzere rasgele bir

yol izleyebilir ve belki de kurtarma ekibinin diğer üyeleriyle iletişim kurabilir. Bu durumda, hareketlilik yapıları daha tahmin edilemez hale gelme eğilimindedir [15].

Böylece tamamen rastgele hareketlilikten oldukça tahmin edilebilir rasgele hareketliliğe kadar değişim gösteren bütün hareketlilik yapısı senaryolarını kapsama altına almak için, hareketlilik üç yapıda sınıflandırılabilir. Bunlar; deterministik hareketlilik modeli, yarı deterministik hareket modeli ve rasgele hareketlilik modelidir [15]. Sınıflandırma Şekil 2.3'te gösterilmiştir.



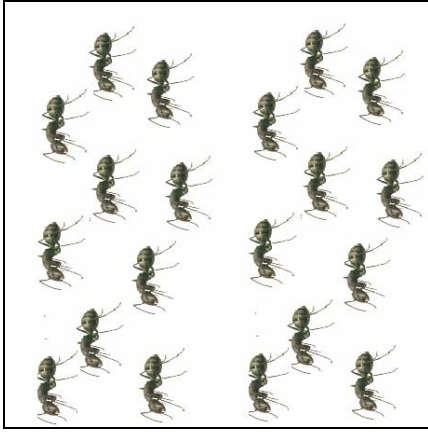
Şekil 2.3. Hareketliliğin genel sınıflandırılması

Deterministik hareketlilik modeli

Sabit hareketlilik modeli en tahmin edilebilir hareket tipi ve bütün hareketlilik modelleri arasında en basit olanıdır. Örneğin hareketli düğümler düz bir çizgide hareket ediyorsa (yani sabit bir modeli izliyorsa), mobil düğümlerin aynı yönde hareket etmeye devam etmesi nedeniyle herhangi iki konum ile bağlantılı olan yön vektörlerinin sapması sıfır olmalıdır. Sabit modeli izleyen bir örnek ise, arabaların hızının sınırlı olduğu ve arabaların hareket edebileceği yönlerin önceden tanımlı olduğu yani arabaların ya düz bir çizgide ya da kavşak lambalarında dönüş yaptığı şehir trafiğinin olduğu alandır [15].

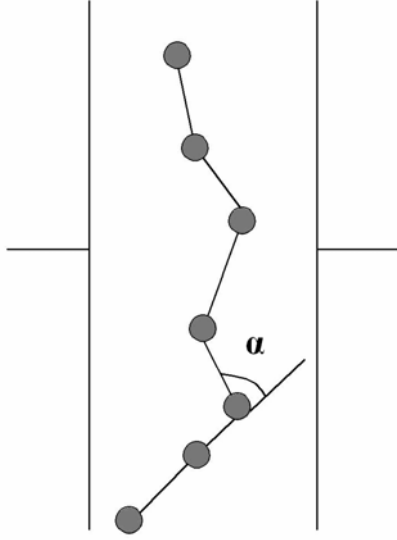
Yarı deterministik hareketlilik modeli

Diğer bir model, düğümler tarafından takip edilen hareketlilik yapısının çok fazla sabit olmadığı modeldir. Örneğin ileri doğru hareket etmekte olan bir savaş tankı taburu olsun. Burada her bir tank tarafından takip edilen yol tanımlı değildir, ancak bunlar genel bir yönde hareket etmektedirler. Her bir tankın tanımlı bir yönü olmasa bile, bu hareketten türetilen genel bir askeri kol düzeninde hareket yapısı görülür. Bu gibi bir hareketlilik yapısı askeri kol modeli olarak adlandırılmaktadır. Şekil 2.4 karıncaların bir askeri kol düzeninde genel bir hedef yönünde hareket ettiği tanklar olarak ele alındığı askeri kol modeli gösterilmektedir [15].



Şekil 2.4. Kolon modeli

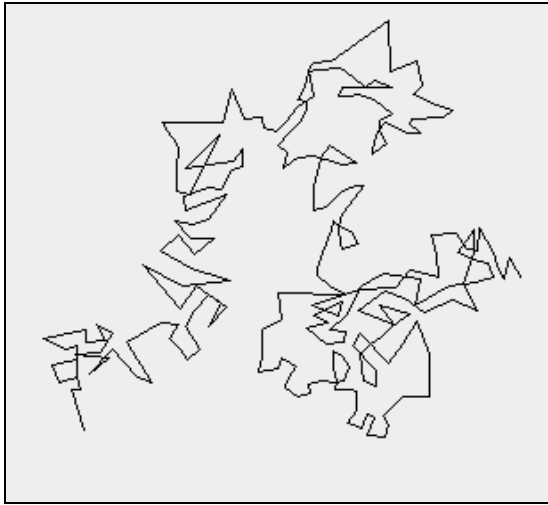
Bu durumda, iki konumun yön vektörleri arasındaki sapma, Şekil 2,5'deki α sapması ile gösterildiği gibi askeri kolun genişliğine bağlı olarak -90 ila $+90$ derece arasında değişim gösterebilmektedir. Bu sapma ayrıca sabit olmama miktarını da belirtmektedir, yani sapma ne kadar ortalama olursa hareketlilik yapısı o kadar sabit olmaz ya da tahmin edilemez hale gelir. Askeri kol genişliğinde meydana gelen artmayla maksimum olası sapma da artmaktadır. Burada yapılan varsayım, eğer düğümler bir askeri kol modelini takip ediyorsa, genel bir yol izleyip düğümlerin varış noktasının karşıt yönünde 180 derece hareket etmeyeceği anlaşılmaktadır. Burada, sapmayı (yani yarı deterministik modeldeki α değerini) değiştirerek, çeşitli hareketlilik yapıları oluşturulabilmektedir.



Şekil 2.5. Hareketli düğüm için belirtilen kolon modeli

Rastgele hareketlilik modeli

Şekil 2.6'daki rasgele hareket ele alınacak olursa, bu hareket tamamen durumsuzdur, yani yapılacak hareketler tamamen önceki hareketlerden bağımsızdır ve böylece düğümlerin sonraki hareketlerinde alabilecekleri maksimum sapma üzerine empoze edilmiş hiç bir sınır yoktur. Sonraki yön vektörünü seçmedeki bu rasgelelik bu tipten hareketi tamamen tahmin edilemez hale getirmektedir [15].



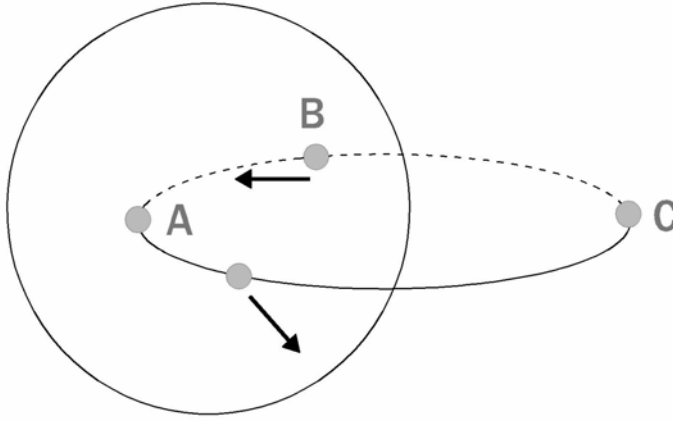
Şekil 2.6. Rastgele hareket düğümü

Konum tahmin etme

DSDV, DSR, AODV ve TORA gibi mobil ortamlarda yönlendirme gerçekleştirmek üzere bir yol bulmaya çalışmış olan ve ad-hoc ağlar için basit yönlendirme protokollerine ek olarak, gerek konum bilgilerini gerekse yakın çevre bilgilerini kullanarak hareketlilikten kaynaklanan problemlere çözümler sunan bazı değişik yönlendirme protokolleri de bulunmaktadır. Bu çalışmalarda hareketlilik merkezi yönlendirme algoritmalarının performansı, topoloji değişikliklerini aktarmak için harcanan süre, yönlendirme başarısızlıklarının akıllıca ele alınması, ölçeklendirilebilirlik gibi konuları göz önünde bulundurmalarından dolayı kesinlikle basit yönlendirme algoritmalarından daha iyi sonuç elde edilmektedir. Ancak şu ana kadar bu algoritmaların hiç birinde düğümler tarafından izlenen hareketlilik yapılarının yönlendirme algoritmaları üzerinde verebileceği fazladan bilgiler üzerinde yapılmış bir çalışma bulunmamaktadır. Bundan dolayı, çeşitli hareketlilik yapılarında izlenen yolların çabuk geçilmesi, yönlendirme yükünün azaltılması üzerindeki etkisi, servis kalitesini garanti etmedeki kolaylığı ya da ekstra hareketlilik yükünün bütün yönlendirme algoritmaları üzerindeki verimi araştırılmak zorundadır.

Örnek bir ad-hoc ağı gösteren Şekil 2.7’de gösterilen A ve C düğümleri dengededir ancak B düğümü A düğümüne doğru çok düşük bir hızla hareket ederken, D düğümü hızla A ve C düğümlerinden uzaklaşmaktadır. Bu senaryoda A düğümünün C düğümüne bir yönlendirme talebi yolladığını varsayalım. Böylece A düğümüne iki sıçrama uzakta olan C düğümüne giden yol ya B düğümü ya da D düğümü üzerinden yönlendirilebilir ve buradaki görev her ikisi de iyi olan bu iki yoldan birini seçmektir. Eğer yönlendirme algoritması A düğümünden C düğümüne giden yol üzerinde ara sıçrama noktası olarak D düğümünü seçerse, D düğümünün A düğümünün ulaşma menziline dışına çıkacak olmasından dolayı bu yolun ömrü çok kısa olacaktır ve A düğümü yakında yol belirleme sürecini tekrar başlatacaktır. Ancak yönlendirme algoritması C düğümüne giden yolda ara düğüm olarak B düğümünü seçerse, bu yol daha uzun bir ömre sahip olacaktır. Böylece yolların daha uzun süre sabit kalması istenilen bu durumda, eğer yollar için ara düğümler akıllıca

seçilecek olursa daha iyi sonuç elde edilebilir. Bu noktada düğümler tarafından takip edilmekte olan hareketlilik yapısı hakkında bilgilerin varlığı nedeniyle artık mümkün olan konum tahmini devreye girmektedir.



Şekil 2.7. Ad-hoc ağ örneği

Yönlendirme algoritmasının B ve D düğümleri tarafından izlenmekte olan ve var olan hareketlilik yapısının bilincinde olduğunu varsayalım. Yönlendirme algoritması artık belirgin bir doğruluk miktarıyla B ve C düğümlerinin olası gelecek konumlarını tahmin edebilecek bir konuma gelecektir. Yönlendirme algoritması C düğümüne ilişkin olarak B ya da D düğümleri arasında bir seçim yapma seçeneğiyle karşı karşıya kaldığında, D düğümünün hem A hem de C düğümlerinin menziline dışarı doğru hareket etmesinden dolayı artık kendi başına C düğümüne gidecek yol için ara düğüm olarak B düğümünü seçmenin iyi bir fikir olduğuna karar verebilmektedir [15].

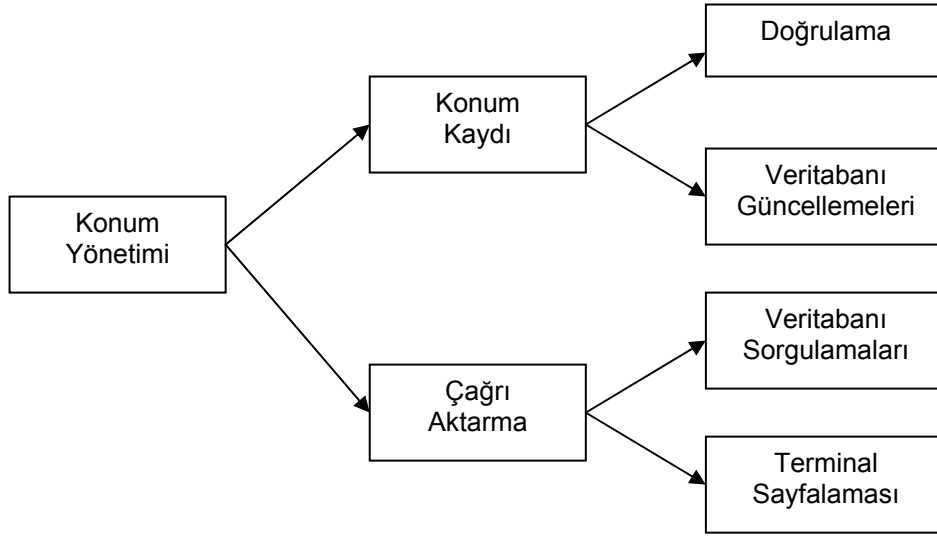
Aynı şekilde, mobil düğümlerin hareketini bir hareketlilik yapısına yaklaştırmamanın pek çok avantajı bulunmaktadır. Yani geçerli bağlantı kesilmeden önce artık bir bağlantının durumunu tahmin edebiliyor olmasından dolayı varış noktasına giden yollar önceden hesaplanabilmekte ve servis kalitesi garanti edilebilmektedir. Bu sayede ad-hoc ağlarda oluşabilecek gereksiz yük trafiğinden kaçınılabilmektedir.

2.3.Hareketlilik Yönetimi

Ağlarda sınırsız iletişimin ve hesaplamanın önündeki en önemli ve zorlayıcı problemlerden biri hareketlilik yönetimidir. Hareketlilik yönetimi telekomünikasyon ağlarının çağrı aktarmak için dolaşım terminallerinin belirlemesi ve terminal yeni bir hizmet alanına hareket ederken bağlantıları muhafaza etmeyi sağlamasıdır. Böylece hareketlilik yönetimi hareketli terminalleri destekleyerek kullanıcıların dolaşım yapmasına izin verirken eş zamanlı olarak kullanıcılara gelen çağrıları sunmakta ve devam eden çağrıları da desteklemektedir. Hareketlilik yönetimi iki bileşenden oluşmaktadır. Bunlar konum yönetimi ve aktarım yönetimidir.

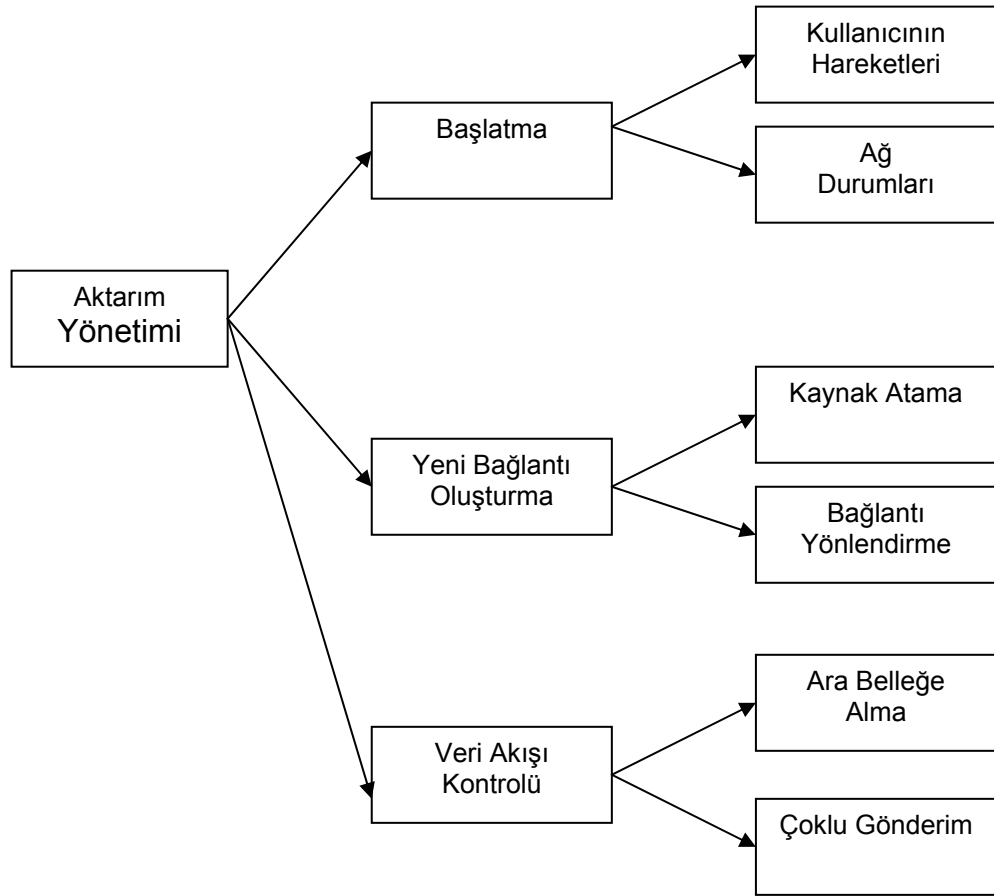
Konum Yönetimi: Konum yönetimi ağı Şekil 2,8’de gösterildiği gibi hareketli kullanıcının geçerli bağlantı noktasını belirlemesini sağlayan iki aşamalı bir süreçtir. İlk aşama konum kayıdır. Bu aşamada hareketli terminal periyodik olarak ağa yeni erişim noktasını bildirerek, ağın kullanıcıyı onaylamasını ve kullanıcının konum profilini gözden geçirmesini sağlamaktadır. İkinci aşama ise çağrı aktarımıdır. Bu aşamada ağ kullanıcısı konum profili açısından sorgulanmakta ve hareketli ana sistemin geçerli konumu bulunmaktadır.

Konum yönetimi için şu an geçerli olan teknikler veritabanı mimari tasarımını ve bir sinyal ağının çeşitli parçaları arasında sinyal mesajlarının iletilmesini içermektedir. Hareketli abonelerin sayısı artarken, artan sayıdaki abone nüfusunu etkili bir şekilde desteklemek üzere yeni ya da iyileştirilmiş programlara gereksinim duyulmaktadır. Konum yönetimindeki diğer önemli faktörler de şunlardır; güvenlik, dinamik veritabanı güncellemeleri, terminal çağrı yöntemleri ve çağrı gecikmeleri. Şekil 2.8 bu araştırma konularını ilgili konum yönetim işlemleriyle ilişkilendirmektedir. Konum yönetiminin veritabanı ve sinyalleşme konularıyla ilgili olmasından dolayı, konuların çoğu protokole dayalı değildir ve gereksinime dayalı olarak Public Land Mobile Networks (PLMN) ve Asynchronous Transfer Mode (ATM) ağları gibi çeşitli ağlara uygulanabilmektedir [16].



Şekil 2.8. Konum yönetim çalışması

Aktarım Yönetimi: Aktarım yönetimi, mobil kullanıcı hareket etmeye ve ağa erişim noktasını değiştirmeye devam ettikçe ağın kullanıcı bağlantısını muhafaza etmesini sağlamaktadır. Aktarımın üç aşamalı süreci ilk olarak kullanıcının, bir ağ temsilcisinin veya değişen ağ koşullarının aktarım gereksinimini tanımladığı başlatma aşamasını içermektedir. İkinci aşamada ise ağın bağlantıyı aktarmak için yeni kaynaklar bulmasının gerektiği yeni bir bağlantı kurulması gerekmektedir. Hareketli Kontrol Aktarımı ya da Hareketli Yardım Aktarımı olarak adlandırılan yeni bir bağlantı oluşturularak, aktarım için yeni kaynaklar bulur ve bu ağ tarafından onaylanır. Son aşama ise veri akışı kontrolüdür. Aktarım yönetimi işlemleri Şekil 2.9’da sunulmaktadır.



Şekil 2.9. Aktarım yönetimi çalışması

Aktarım yönetiminde, devam eden çağrılar iki koşul altında değişikliğe uğratılmaktadır. Bunlar sinyal kuvvetinin bozulması ve kullanıcının hareketleridir. Radyo kanalının bozulması, çağrıların aynı hücre içerisindeki uygun kuvvetteki yeni radyo kanallarına aktarıldığı hücre içi aktarıma ya da bütün hareketli terminal bağlantılarının komşu hücreye aktarıldığı hücreler arası aktarıma neden olmaktadır. Kullanıcının hareketleri daima hücreler arası aktarıma neden olur. Her durumda, hareketli terminal bağlantıları eski yer istasyonu ile iletişimi kesmeksizin yeni yer istasyonuna aktarılabilir. Bu işlem yumuşak aktarma (soft handoff) olarak adlandırılmaktadır. Diğer yandan, eğer bağlantılar eski yer istasyonunda kesintiye uğrar ve daha sonra yeni yer istasyonunda tekrar oluşturulursa, bu süreç sert aktarım (hard handoff) olarak adlandırılır [17]. Aktarım yönetimi araştırması, verimli ve hızlı paket işleme, ağ üzerindeki sinyal yükünün en aza indirgenmesi, her bir bağlantı rotasının optimum hale getirilmesi, verimli bant genişliği tayini, mevcut

standartlaştırma yöntemlerinin değerlendirilmesi ve kablosuz iletişim hizmetinin kalitesinin iyileştirilmesi gibi konularla ilgilidir [16].

2.3.1. PLMN için hareketlilik yönetimi

Telefon şebekesi gibi geleneksel kablolu ağlarda, bir terminal ve konumu arasında sabit bir ilişki bulunmaktadır. Bir terminalin konumunun değiştirilmesi genel olarak ağ yönetimini ilgilendirmektedir ve kullanıcı tarafında kolaylıkla gerçekleştirilememektedir. Belirli bir terminalin gelen çağrıları, terminal ve konumu arasında hiç bir ayrım olmaması nedeniyle daima bağlantılı konuma yönlendirilmektedir. Buna karşın, hareketli terminaller hareket etmekte serbesttir ve hareketli terminalin erişim noktası ağ kapsama alanı etrafında hareket ederken değişmektedir. Sonuç olarak bir hareketli terminalin kimlik numarası hareketli terminal'in konum bilgilerini açık bir şekilde sağlamamaktadır ve doğrulama süreci daha karmaşık hale gelmektedir. PLMN tabanlı Personel Communication Systems (PCS) ağlarındaki şu anki konum yönetimi yöntemleri her bir Hareketli Terminal'in ağa konumunu periyodik olarak kayıt ettirmesini gerektirmektedir. Kayıt ve yukarıda tanımlanan güncelleme ve çağrı aktarma işlemlerini gerçekleştirmek için, ağ konum veritabanlarında her bir hareketli terminal'in konum bilgileri saklanmalıdır. Bu bilgiler çağrı aktarma sırasında konum güncellemesi ve terminal çağrı işlemi için geri alınabilir.

Konum kaydı

Çağrıları doğru bir şekilde aktarmak için, PLMN her bir hareketli terminalin konumunu izlemelidir. Daha önceden tanımlandığı şekilde, konum bilgileri Visitor Location Register (VLR) ve Home Location Register (HLR) olmak üzere iki veri tabanı tipinde saklanmaktadır. Hareketli terminal ağ kapsama alanı içerisinde hareket ederken bu veritabanlarında kaydedilmiş olan veriler artık doğru olmayabilir. Çağrıların başarıyla aktarılmasını sağlamak üzere, veritabanları konum kaydı olarak adlandırılan bir süreç yardımıyla periyodik olarak güncellenmektedir.

Çağrı aktarma

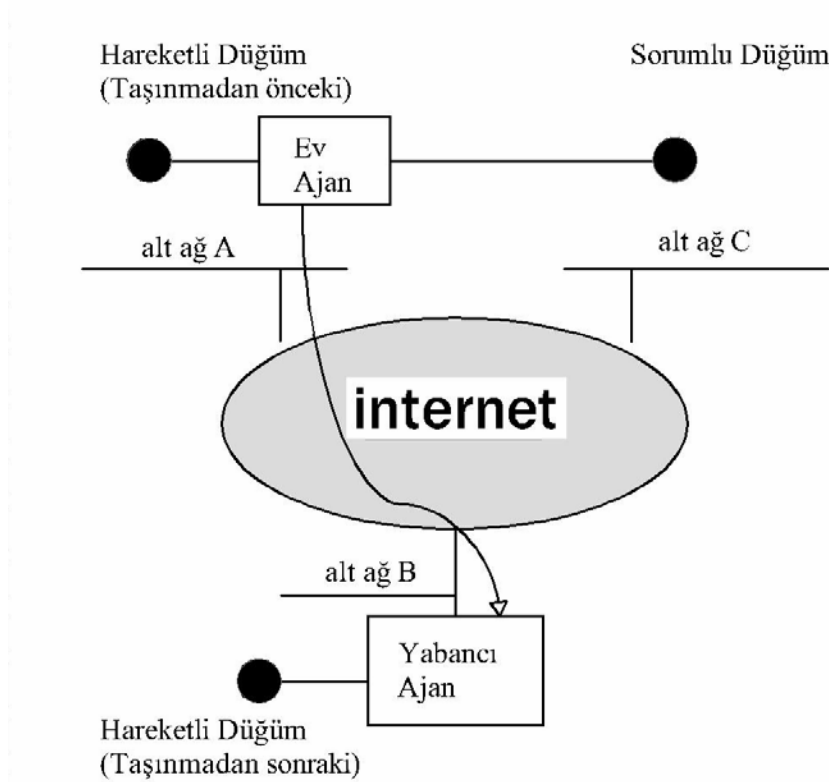
Çağrı aktarmada iki ana adım vardır. Bunlar; çağrı yapılan hareketli terminalin hizmet sağlayan VLR'sinin belirlenmesi ve çağrı yapılan hareketli terminalin ziyaretçi hücresinin konumunun belirlenmesidir. Hareketli terminalin hizmet sağlayan VLR'sinin konumunun belirlenmesi aşağıdaki veritabanı arama işlemini içerir.

- Çağrıda bulunan hareketli terminal yakındaki yer, istasyon aracılığıyla hareketli terminalin hizmet veren Mobile Switching Center'ına (MSC) bir başlatma sinyali gönderir.
- MSC çağrıda bulunan hareketli terminalin HLR'sinin adresini global başlık çevirisi ile belirler ve HLR'ye bir konum talebi mesajı gönderir.
- HLR çağrıda bulunan hareketli terminalin hizmet sağlayan VLR'sini belirler ve VLR'ye yönlendirme talebi mesajı gönderir. Bu VLR hareketli terminale hizmet sağlayan MSC'ye bu mesajı iletir.
- MSC, geçici yerel rehber numarası olarak adlandırılan geçici bir tanımlayıcı tahsis eder ve geçici yerel rehber numarası ile birlikte HLR'ye bir yanıt gönderir.
- HLR bu bilgiyi çağrı yapan hareketli terminalin MSC'sine iletir.
- Çağrıda bulunan MSC signal system 7 (SS7) ağı üzerinden çağrı yapılan MSC'ye bir çağrı kurulumu talebi gönderir.

2.3.2. Mobil IP'nin hareketlilik yönetimi

İnternet üzerinde terminal hareketliliği IETF tarafından geliştirilmiştir. Kablolu internet protokolünde IP içerisinde, sabit terminaller alt ağ konumlarına dayalı olarak farklı bir şekilde iletilmektedir. Aynı alt ağ üzerindeki terminaller paketleri doğrudan gönderirken, farklı alt ağlara ait olan terminaller paketlerini anahtarlama işlevlerini gerçekleştiren IP düğümleri ya da yönlendiriciler üzerinden göndermektedirler. İnternet için hareketliliği mümkün kılan protokol, Mobile Internet Protocol (Mobil IP) paketler gönderilirken, paket gönderme sürecini kesintiye uğratmaksızın

terminallerin bir alt ağdan diğerine hareket etmesini sağlama vaadinde bulunmaktadır. Mobil IP'deki değişimler IPv4'ü ve IPv6'yı içermektedir. IPv4'le karşılaştırıldığında IPv6 daha fazla adres ve daha fazla hareketlilik desteği sağlamaktadır.



Şekil 2.10. Mobil IP Mimarisi

Bir hareketli düğüm IP adresini değiştirmeksizin bir alt ağdan diğerine bağlantı noktasını değiştiren bir düğüm ya da yönlendiricidir. Hareketli Düğüm, ev ajanı (EA), ya da yabancı ajan (YA) üzerinden Internet'e erişmektedir. EA ev ağı üzerindeki hareketli düğüm bir internet yönlendiricisiyken, YA ziyaret edilen ağ üzerindeki bir yönlendiricidir. Bağlantının diğer ucundaki düğüm muhabir düğümdür. Basit bir Mobil IP mimarisi Şekil 2.10'da gösterilmiştir. Bu örnekte, sorumlu düğüm hareketli düğümün EA ve YA aracılığıyla hareketli düğüme paketleri göndermektedir.

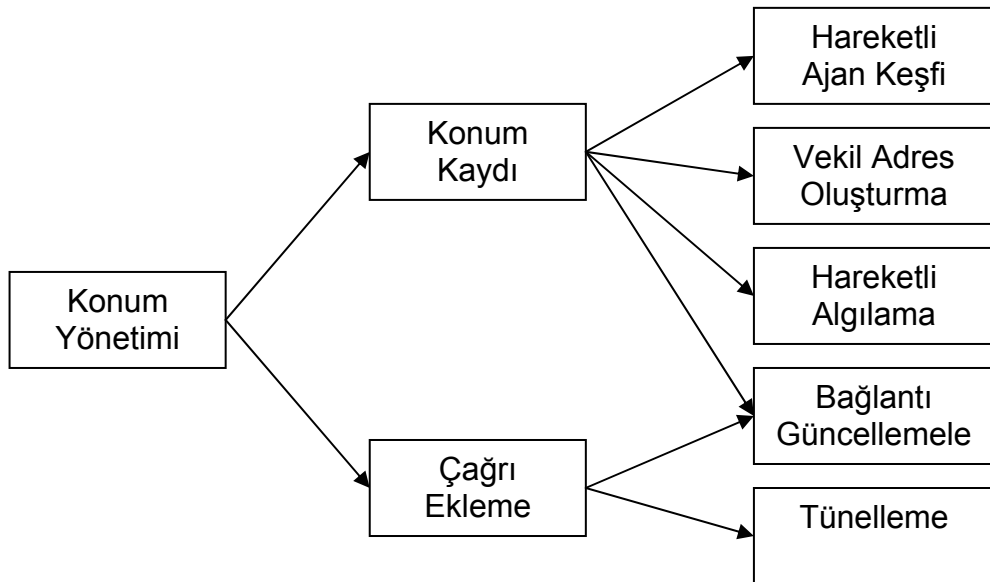
Mobil IP, konum ve aktarım yönetimi için yeni işlemler tanımlamaktadır. Bu işlemler şunlardır;

Keşif: Bir hareketli düğüm bir yerden diğerine hareket ederken nasıl yeni bir internet bağlantı noktası bulduğudur.

Kayıt: Hareketli düğümün ev ağı üzerindeki bir internet yönlendiricisine nasıl kayıt olduğudur.

Yönlendirme ve Tünelleme: Hareketli düğümlerin evinden uzak olduğunda datagramları nasıl alacağını gösterir.

Kayıt işlemleri Hareketli Ajan Keşfi, Hareketli Algılama, Vekil Adres Oluşturma ve Bağlantı Güncellemelerini içerirken, aktarma işlemleri yönlendirme ve tünellemeyi içermektedir. Mobile Ip konum yönetimi Şekil 2.11’de gösterilmiştir.



Şekil 2.11. Mobil IP Konum Yönetimi

Konum Kaydı

Ev sahibi alandan uzaktayken ve bir ağı ziyaret ederken, her bir hareketli düğüm bir EA'ya sahip olmalıdır. Hareketli düğüm, hareketli düğümün geçerli adresini izleyebilmek için kendisini ev ajanına kaydettirmektedir. Her bir hareketli düğüm ile biri konumlandırma diğeri ise tanımlama için olan iki IP adresi ilişkilendirilmektedir. Yabancı bir bağlantıyı ziyaret ederken hareketli düğümle ilişkili olan yeni IP adresi vekil adres olarak adlandırılmaktadır. Geçerli vekil adres ve hareketli düğümün ev adresi arasındaki ilişkilendirme, hareketli düğüm için olan paketler hareketli düğümün geçerli olan internet bağlantı noktasına bakılmaksızın geçerli geçici adres kullanılarak yönlendirilebilmesi için hareketlilik bağlantısı tarafından muhafaza edilmektedir. Her bir bağlantı hareketli düğümün kaydı sırasında kararlaştırılan bir ömre sahiptir ve bu ömürden sonra kayıt silinir. Vekil adres ile hizmete devam edebilmesi için hareketli düğümün bu süre içerisinde tekrar kayıt olması gerekmektedir.

Bağlantı yöntemine bağlı olarak hareketli düğüm doğrudan EA'ya gönderebildiği gibi, kayıt bilgilerini EA'ya gönderen bir YA aracılığıyla da konum kayıt mesajlarını göndermektedir. Her iki durumda, hareketli düğüm IPv4'e dayalı Kayıt Talep ve Kayıt Yanıt mesajlarını takas etmektedir:

1. Hareketli düğüm, Kayıt Talep Mesajını kullanarak EA'ya kayıt olur
2. EA, hareketli düğüm için yeni ömre sahip bir hareketlilik bağlantısı oluşturur ya da mevcut olanı değiştirir.
3. EA ya da YA bir Kayıt Yanıt Mesajı gönderir. Yanıt mesajı hareketli düğüme talebinin durumu hakkında bilgi vermek ve EA tarafından verilen ömrü sağlamak üzere gerekli kodları içerir [16].

3. AD-HOC AĞLARDA HAREKETLİLİK İÇİN GELİŞTİRİLEN PROTOKOL

3.1 Radyo Dalgaları Yayılım Modelleri

Ns-2 içerisinde tanımlanmış radyo yayılım modelleri mevcuttur. Bu modeller her bir pakette alınan sinyallerin gücünü tahmin etmede kullanılır. Her bir kablosuz bağlantının fiziksel katmanında radyo sinyali eşik seviyesi vardır. Alınan paketin sinyal seviyesi gücü daha önceden belirlenmiş olan eşik sinyal seviyesinden düşük ise, bu paket Media Access Control (MAC) katmanı tarafından atılır.

ns-2 29'da tanımlanmış 3 yayılım modeli bulunmaktadır. Bunlar: Serbest Uzay Modeli (Free Space Model-FSM), İki Yönlü Yerden Yansıma Modeli (Two-Ray Ground Reflection Model -TGR), Gölgeleme Modeli (Shadowing Model-SM) [18].

Free Space Model

Bu model gönderici ve alıcı arasında sadece birbirlerini açıkça görebildikleri boş alan üzerindeki ideal yayılım modeli olarak düşünülebilir. Aşağıda sunulan formülde free space içerisinde göndericinin alıcıya olan uzaklığına göre sinyal gücü hesaplanabilmektedir [19]. P_t 'nin bulunduğu yer sinyalin üretildiği düğümdür. G_t ve G_r göreceli olarak gönderici ve alıcının anten kazançlarıdır. L ise sistem kaybıdır ve λ dalga boyudur. Genellikle ns-2 benzetimlerinde $G_t=G_r=1$ ve $L=1$ olarak seçilir [20].

$$P_r(d) = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2 L} \quad (3.1)$$

Model temelde iletici çevresindeki küre olarak iletişim alanını temsil etmektedir. Eğer alıcı kürenin içerisindeyse alıcı tüm paketleri alır. Aksi taktirde alıcı tüm paketleri kaybeder.

Benzetimlerimizde yayılım modellerinden faydalanmak için Otel ara yüzü node-config komutu kullanılır.

Thisisa büyük ölçek modeli. Alınan güç, yalnızca aktarılan güce P_t , anten kazancına (G_{sand} G_r) ve alıcıyla gönderici arasındaki mesafeye bağlıdır. Esas olarak göndericiden gelen radyo dalgalarının geniş bir alanı kaplaması olgusunu dikkate alır. Böylece alınan güç, mesafenin karesiyle birlikte azalır.

Two Ray Ground Model

İki tane mobil düğüm arasında çok nadiren birbirini göre düz bir yol oluşur. TGR Modeli doğrudan yol ve zemin yansıma modeli olarak düşünülebilir. Bu model uzun mesafelerde FSM'den daha doğru sonuç verir [20]. Alınan paketin sinyal seviyesi d uzaklığına bağlı olarak aşağıdaki formüldeki gibi hesaplanır. H_t ve H_r gönderici ve alıcı antenlerin yükseklikleridir. FSM ile uyumlu olması için $L=1$ olarak seçilir

$$P_r(d) = \frac{P_t G_t G_r h_t^2 h_r^2}{d^4 L} \quad (3.2)$$

Yukarıdaki eşitlikte mesafe arttıkça FSM'deki eşitlikten daha hızlı güç kaybı meydana gelebilir. Ancak TRM kısa mesafelerdeki doğrudan ve yerden yansıyan dalgaların zayıflatıcı ve kuvvetlendirici etkilerinden dolayı iyi sonuç vermez. Yani d 'nin küçük olduğu durumlarda FSM'yi kullanmak daha iyidir.

Bu yüzden FSM'nin veya TRM'den hangisinin kullanılacağına karar vermek için bir DC değeri hesaplanabilir. Benzetimde kullandığımız mesafe DC değerinden küçükse FSM'nin DC değerinde büyükse TRM'ni kullanmak doğru olacaktır. DC değeri aşağıdaki eşitlikte gösterildiği gibi hesaplanır.

$$d_c = (4\pi h_t h_r) / \lambda \quad (3.3)$$

İki Işın Zemin modeli de büyük ölçekli modeldir. Alınan enerjinin, göndericiyle alıcı arasındaki bir yansıma dahil görüş yolunun doğrudan hattıyla yolun toplamı olduğu düşünülür. ns-2'deki sınırlama, alıcıyla göndericinin aynı yükseklikte olması gerektiğidir.

Shadowing model

FSM ve TRM'leri iletişim alanını ideal bir daire olarak belirlerler. Gerçekte ise alınan sinyalin gücü fading efect olarak bilinen çok yollu yayılım etkileri nedeniyle rastgele bir değişken olarak düşünülebilir. Yukarda anlatılan iyi model alınan sinyal gücünü d uzaklığına bağlı olarak tahmin eder. SM daha genel ve geniş kullanım alanına sahiptir. Bu modeli kullanmadan önce kullanıcı kullanıcı yol kayıp alanındaki değerleri seçmeli ve benzetimi yapılan çevreye göre sapmayı gölgelendirmelidir. SM kullanmak için Otel ara yüzünden node-config komutu kullanılır [20].

ns-2'nin izleme modeli, normal kütük izleme modelini gerçekleştirir. Alınan ortalama sinyal gücünün mesafeyle logaritmik olarak azaldığı kabul edilir. Gaussian rasgele değişkeni, alıcı ve göndericideki ortam etkilerini dikkate almak için bu yol kaybına eklenir.

Kapalı alanlar için önerilen deterministik yayılma öngörü yöntemi, genellikle karmaşık geometrilere sahip olan gerçek ortamlarda ortalama yayılma kaybının tahmin edilmesi için yararlıdır. Diğer taraftan bu yöntemler, kapalı ortam pikosellerinde önemli bir yayılma etkisine sahip olan insan vücudunun izlenmesinde genellikle başarısızdır. İnsan vücudunu tanımlayacak birkaç ampirik model bildirilmiştir. Ancak deterministik yayılma öngörüsü yöntemleriyle kombinasyonda kullanılabilen uygun bir model literatürde belirtilmemiştir.

Son zamanlarda kapalı alan kablosuz iletişimleri için çok sayıda yayılma öngörüsü yöntemi önerilmiştir. Görüntüleme yöntemi ışın izleme ve ışın bölme yöntemlerine

tipik örneklerdir [21,22]. Bu yöntemler, esas olarak sistem planlama amacıyla, örneğin pratik kapalı alan ortamlarında baz istasyonu yerlerinin seçimi için tasarlanmıştır. Bu deterministik öngörü yöntemlerinin asıl faydası, gerçek yer geometrisine açıkça bağımlılığı başarılı bir şekilde göstermesidir. Bu, yerlerin soyut tanımı (örneğin “görüş çizgili/çizgisiz fabrika” “sert/yumuşak bölünmeli ofis”, vs.) temelinde olan bazı ampirik modellerin tersidir. İnsan vücudu izleme, kapalı alan pikosellerinde önemli bir yayılma etkisidir. Mevcut dış alan cep telefonları sisteminin aksine aktarım gücü ve baz istasyonlarının yüksekliği, pikosellerde çok daha düşüktür. Bu yüzden vücut gölgelenmesiyle kaybolan yayılma, alınan güce çeşitli ışınların katkıda bulunduğu yerlerde çok yollu ortam dikkate alındığında bile alınan sinyal gücünü büyük ölçüde etkiler.

Vücut izlemesi için bazı ampirik modeller literatürde mevcuttur. Bultitude, alınan sinyal genişliğinin çeşitli binalarda alınan ölçüm verilerine uygun (çok yollu bileşenlerde bunun için sabit sinyaldeki gücün oranı olan) Rician olasılık yoğunluğuna sahip olduğunu düşünmüştür [23]. Roberts ve arkadaşları, hareket eden insanların neden olduğu bölünen zamanın değişen özelliklerini açıklamak için iki durumlu Rician modelini ileri sürdüler [24]. Bultitude tarafından yapılan araştırmada yapılan ölçüm sonucu iki farklı K değeri belirlenmiştir [23].

Ancak bu ampirik modeller, ne baz istasyonu, terminal, duvarlar ve binadaki diğer engeller arasındaki konumunda gerçek ilişkiye bağlılığı ne de her bir trafiğin nasıl etkilendiğini gösterebildiler. Ayrıca gerçekçi şartlarda alınan sinyal gücünün alan ölçümü olmadan belli bir kapalı ortam için belirli bir K değerini belirlemek zordur.

Işın determinasyon yöntemlerini öngörülen insan vücudu izleme etkileriyle birleştirmek amacıyla yapılan literatürdeki tek girişim, sürekli enstantane hesaplamaların hareketli engeller için kullanılmasıdır [25]. Bu yaklaşım açıkça birçok hesaplama gücü gerektirmektedir ve dolayısıyla bu yöntemin kullanılabileceği sorunun boyutu sınırlıdır.

Yukarıda detayları anlatılan çalışmada vücut izleme etkilerini tahmin etmek için yeni ve çok daha pratik bir yöntemi anlatılmıştır. Bu yöntem, mevcut ışın determinasyon yöntemleriyle birlikte kullanılmaktadır. Önerilen modelin iletişim bağlantısının kesinti oranıyla yakından ilgili olan vücut izlemesine bağlı yayılma kaybında en kötü durumu tahmin edebildiğini gösterilmiştir.

Kablosuz ağ benzetimi, mevcut çalışmanın önemli bir bölümüdür. Çok sayıda algoritma, önce ns-2 gibi çeşitli ağ benzetim araçları kullanılarak uygulanıp değerlendirilmiştir [26]. Birçok MANET yönlendirme protokolleri, bu yolla geliştirilip test edilmiş ve daha sonra gerçek dünya uygulamalarına dahil edilmiştir. Benzetim araçlarının kullanımı, bazen doğru sonuçların elde edilemediği şeklinde eleştirilmiş olsa da yeni protokollerin ve ağların etkin gelişimi için ayrılmaz bir parça olmuştur. Özellikle mobil ağların düzinelerce ya da yüzlerce düğüm kullanması durumunda yeni algoritmaların tasarım aşaması sırasında gerçek yaşam testi uygulanabilir değildi. Bu yüzden benzetim araçlarının mümkün olduğunca doğru olması ihtiyacı ortaya çıkmıştır.

Birçok araştırma grubu, kablosuz ağlarının benzetimi için ns-2 ağ benzetim aracı kullanmaktadır [26]. 802.11 ve 802.15 benzetim modellerini ve AODV, DSR ve DSDV gibi çeşitli Ağ yönlendirme protokollerini sunar. Bunların birçoğu halka açık uzantılar ve modifikasyonlar hazırlamıştır, böylece elde edilebilen çok sayıda protokol ve uygulama bulunmaktadır. Genelde insanların ns-2 kullanan çok sayıda yayında gösterildiği gibi bu benzetim araç sonuçlarına çok fazla güvendiğine dikkat edilebilir.

Radyo kanallarının analizi kablolu kanallardan çok daha karmaşıktır. Özellikleri rasgele ve hızlı bir şekilde değişebilir. Bakış doğrultusunda (line of sight-LOS) basit yollarla göndericiyle alıcı arasındaki binalar veya asansörler gibi engellere sahip olanlar arasında büyük farklılıklar vardır. Radyo dalgası yayılmasında birçok fenomen, yansımayla, kırılmayla ve saçılmayla açıklanabilir.

Genelde bir kanal modelini uygulamak için iki durum dikkate alınır: geniş ölçekli ve küçük ölçekli yayılma modelleri. Büyük ölçekli yayılma modelleri, radyo dalgasının, göndericiye olan mesafe artarken genişleyen alanı kapsamı gerektiği olgusu için dikkate alınır. Küçük ölçek modelleri (genellikle azalan modeller olarak adlandırılır), küçük hareketlere (dalga boyları sırasındaki hareketler) veya küçük zaman çerçevelerine bağlı sinyal gücünü hesaplar. Radyo dalgalarının çok yollu yayılmasına bağlı olarak alıcının küçük hareketleri, alınan sinyal gücü üzerinde büyük etkilere sahip olabilir. Aşağıda ns-2 ağ simülatörü için genellikleri modelleri kullanan dördü daha ayrıntılı şekilde açıklanmıştır.

Rician ve Rayleigh azalması: Bu iki model, alınan sinyal gücünün zaman-korelasyonunu açıkladıkları anlamına gelen azalan modellerdir. Azalma, çoğunlukla radyo dalgalarının çok yollu yayılmasından kaynaklanır. Alıcıyla gönderici arasında çoklu dolaylı yollar varsa Rayleigh azalması meydana gelir. Bir baskın (LOS) yolu ve çoklu dolaylı sinyal varsa Rician azalması meydana gelir.

Sunulan modellerin genel bir sınırlandırması, ortamdaki engelleri belirtmeye olanak sağlamaması olgusudur. Simülasyon alanıyla birlikte bütün benzetim süresi için bir model kullanılmaktadır, böylece uzamsal ve geçici değişkenler modellenemezler.

Özellikle rasgele sayı üreteçlerinin ve benzetim tipinin kullanımı genellikle bildirilmez. Yaygın olarak kablosuz ağ benzetimleri için kullanılan aksiyomlar, gerçek dünya ölçümleri temelinde açıklanmakta ve değerlendirilmektedir [27]. Sonuç olarak, daha gerçekçi radyo dalgası yayılma modellerinin kullanılması gerekmektedir. Ayrıntılı radyo ve ortam modellemesi zor olduğundan ve bu çalışmanın dışında kaldığından dolayı bu çalışmanın kapsamı dışındadır.

Işın izleme (Ray-tracing) yaklaşımları, dalga yayılma benzetimleri için önerilmiştir [28-29]. M. Catedra ve arkadaşları tarafından yapılan çalışma da algoritma daha geniş sahnelerle ve devasa hedef grid çözünürlükleriyle ölçeklendirilmektedir. M. Schmeink ve R. Mathar tarafından yapılan çalışma etkilidir fakat ışın izleme

adımının doğruluğu seçilen grid çözünürlüğüne bağlıdır. R. Wahl ve arkadaşları tarafından 2005 yılındaki yapıları iki çalışmada iki yayın bu soruna sahip değildir fakat algoritma kapalı ve açık alan senaryoları için genişletilmelidir [28-29].

J.-M Dricot ve P. D. Doncker tarafından 2004 yılında yapılan çalışmasında ışın izleme teknolojisini kullanan bir yaklaşım açıklanmaktadır [30]. Yazarlar, alıcıdaki ortalama sinyal gücünü hesaplamak için yayılma modelini ışın izini kullanan ns-2'ye dahil ettiler. Işın izleme algoritmasını ns-2'ye dahil ettiler ve her 0.05 saniyede bir ışın izleme adımını tekrarladılar. Benzetim araçlarının çalışma süresi, ışın izleme adımı olmadan yapılandan 100 kat daha fazla arttı. Bu hesaplamaların sonuçları, aynı senaryonun tekrarlanan benzetimleri için korunamadı. Ön işlem çalışmasının, ışın izleme sonuçlarının tekrar kullanılmasına nasıl izin verdiğini ve böylece benzetim etkisi oluşturduğunu gösterdik. Yayılma modelinin, sunulan benzetim sonuçlarının güvenilirliğini nasıl arttırdığını ve hata performans karşılaştırmalarının önceki yorumları nasıl geçersiz hale getirebildiğini de göstereceğiz.

Işın izleyicisi tarafından üretilen sonuçları kullanabilmek için ns-2 kablosuz bileşenleri için bazı modifikasyonlar uygulanmalıdır. İhtiyaç duyulan değişiklikleri daha iyi anlamak için burada mevcut uygulamaya kısaca değinilmiştir.

Bir düğüm bir paketin aktarımını isterse bu paket, ağ yığımında ele alınacak ve nihayet kablosuz objesine varacaktır. Sonuçta kablosuz kanalı, gönderici düğümün girişim alanı içinde bulunan bütün düğümleri araştırarak etkilenen bütün düğümleri tanımlar. Girişim alanı, yayılma modeliyle tanımlanır. Bu, gönderilen sinyalin başka bir aktarımdan etkilenebileceği azami mesafedir. Bu, göndericinin aktarım gücüne ve alıcının taşıyıcı duyarlılık eşiğine bağlıdır. Eğer bir sinyal, taşıyıcı duyarlılık eşiğinin altında ise alıcı düğüm tarafından göz ardı edilir.

Yayılma modeli, girişim meydana gelen aralıkta her düğüm tarafından alınan sinyal gücünü hesaplamak için kullanılabilir. Bu hesaplama düğümlerin, pozisyonunu belirlemekte kullanılabilir. Sinyal seviyesi, anten yüksekliği, anten kazancı gibi

bileşenler ile bu hesaplama yapılır.

Değiştirilen yayılma modeli benzetimi kullanıldığında diğer modifikasyonları da gerektirmektedir. Bunlardan biri, düğüm hareketlerinin engellerle sınırlandırılmasıdır. Düğümler, engel üzerinden hareket edemezler. Bu nedenle bu sınırlamaya uyan üretcin hareketi geliştirilmiştir. Üreteç, düğümlerin hareket ettiği ve düğümlerin buradan hareket etmesini önleyen engellerin bulunduğu bölgeleri tanımlama olasılığını sunar. Her bölge için özel bir hareketlilik modeli seçilebilir. Engeller iki değerle ayarlanır: şeffaflık ve ışın izleyicisi tarafından ihtiyaç duyulan yansıtma parametresi. radyo dalgası yayılma modelinin daha yüksek tabaka protokollerinin performansı üzerinde sahip olduğu etkiyi incelemek için yalnızca radyo dalgası yayılma modelinde farklılaşan benzetimler çalıştırılabilir.

4.GELİŞTİRİLEN YÖNLENDİRME PROTOKOLÜ İLE HAREKETLİLİK YÖNETİMİNİN GERÇEKLEŞTİRİLEMESİ

4.1. Geliştirilen Hareketlilik Haberdar Yönlendirme Protokolü

Hareketli ad-hoc ağlarda hareketlilik haberdar yönlendirme protokolü C++ kodu ve Tcl/Tk kodu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Karar verme aşaması şu şekilde gerçekleştirilmiştir; hareketli olan düğümler harekete başlamadan önce veya hareket anında birbirlerine gönderdikleri merhaba mesajları sayesinde konum belirlenmesi yapmıştır. Bu sayede birbirlerine olan en yakın mesafeler bulunmuş ve yeni topoloji bilgileri her bir düğümün tablosunda güncellenmiştir. Ancak, devamlı hareket halinde olan düğümler nedeniyle devamlı değişen topoloji bilgilerinin güncellenmesi sırasında bazı değişiklikler yapılmıştır. Yapılan bu değişiklikler her bir düğümün gönderdiği merhaba mesajlarından gelen sinyallerin ölçülmesi ve bu sinyaller üzerinde yapılan çeşitli hesaplamaların ışığında yönlendirme işlemine karar verilmesi olmuştur şeklinde olmuştur. Bu yeni durumda düğüm, iletişimde olduğu diğer düğümden uzaklaştıkça gönderdiği mesajların sinyal seviyesi azalmaktadır. Bunun anlamı belirli bir zaman geçtikten sonra bu düğümlerin aynı yolu kullanarak iletişim yapmasının imkânsız hale gelmesi demektir. Bu durumda devamlı güncellenen topoloji tablosunda var olan ve daha yakın olan diğer düğümlerin gönderdiği mesaj sinyallerinin kuvvetliliği kontrol edilir ve hedef düğüme giden başka bir yol sinyal seviyeleri kullanılarak bulunur. Yeni yol bulunduktan sonra eski yoldaki bağlantı kopana kadar iki yoldan da iletişim yapılır.

Bununla beraber, sinyali zayıflayan yoldan daha az paket yeni belirlenen yoldan daha fazla paket gönderilmektedir. Bu işlem devamlı olarak yapılmakta ve sinyali zayıf olan yolun bağlantısı koptuğunda yeni yol devrede olduğundan paket kaybı olmadan iletişimin devamlılığı sağlanmaktadır. Eğer ki yeni yol bulunamazsa sinyalin zayıfladığı bilgisi, topolojide mesajın geçtiği her düğüme bir önceki düğüm şeklinde bildirilir. Bu mesajı alan her bir düğüm kendisi iletişimi devam ettirmek için

yeni yol arar. Bu işlem yeni yol bulunana kadar veya kaynak düğümüne bu sinyal zayıflama bilgisi gelene kadar devam etmektedir.

Önerilen hareketlilik yönetme yöntemi temel olarak 2 aşamadan oluşmaktadır. Bunlar: aktif bağlantıdan gelen paketlerin alınma sinyal seviyelerinin okunması ve daha önce alınmış olan paketlerin alınma sinyal seviyeleri ile karşılaştırılması, hedef düğümüne giden ve bağlantı sinyal seviyesi güçlü olan bir başka yolun belirlenmesidir. Bu işlemlerden sonra ilk bağlantı kopmadan ikinci bağlantı üzerinden iletişim devam ettirilmektedir.

4.2. Sinyal Seviyesine Göre Bağlantı Kopukluğuna Karar Verilmesi ve Hareketlilik Yönetimi

Hareketli kablosuz ağlarda düğümlerin konumlarının belirlenmesi, hareket yönlerinin ve hızlarının önceden tahmin edilmesi son derece güç olduğu için iyi bir hareketlilik yönetimi yaklaşımı bu tür ağlarda kritik bir öneme sahiptir. Önerilen yöntemde aktarımda bulunan düğümler aktif bağlantılarından gelen paketlerin alınma sinyal seviyelerini sürekli olarak takip etmekte ve iletişimde bulundukları düğümden uzaklaşma veya bu düğümüne yaklaşma durumlarına karar vermektedirler. Kullanılan radyo dalgası modeline göre paketlerin ihmal edileceği bir alt sinyal seviyesi mevcuttur. Bu seviyeden daha aşağı bir sinyal seviyesiyle alınan paketler ihmal edilir. Yani paketi gönderen düğüm artık iletişim menzili dışındadır. Yöntemdeki temel amaç bağlantı kopukluğu yaşanmadan aktarımın kesintisiz olarak devam etmesi ve ağ kaynaklarını korunmasıdır. Bu yüzden arda arda alınan paketlerin sinyal seviyelerinde sürekli olarak bir düşüş yaşıyorsa ve sinyal seviyeleri alt seviyeye yaklaşıyorsa bu bağlantının bir süre sonra kopacağına karar verilerek daha sağlam bir bağlantı kurulur. Yöntemde paket sinyal seviyeleri için bir alt eşik değeri belirlenmiş ve bu değere ulaşılması durumunda bağlantının kopacağı var sayılmıştır.

```

if ((Alınan Paket Sinyal Seviyeleri düşüyorsa)&&
    (Son Alınan Paket Sinyal Seviyesi <= Alt Eşik))
{
    Bağlantı Kopacak
}

else
{
    Bağlantı Kopmayacak
}

```

Bağlantının kopup kopmayacağına karar verildikten sonra trafik buna göre şekillendirilir. Eğer bağlantının kopacağına karar verilmişse yeni bir yol kurularak buradan iletişime geçilir, bağlantının kopmayacağına karar verilirse aktarım olduğu gibi devam eder.

```

while (Tüm paketler bitene kadar)
{
    if (Bağlantı Kopacak != 0)
    {
        Mevcut bağlantıyı kullan
    }

    else
    {
        yeni_yol ara;
        if (Bağlantısı güçlü bir yol varsa)
            Yeni bağlantıyı kullan;
        else Mevcut bağlantıyı kullan;
    }
}

```

4.3 Benzetimin Gerçekleştirilmesi

4.3.1. Benzetim ortamı

Benzetim aracı olarak ns-2'nin seçilmesinin nedeni, gerçek bir ağ ortamı sunması, ortamın esnekliğinin çok iyi olması, literatürdeki çoğu çalışmanın bu benzetim aracı kullanılarak yapılmış olmasıdır. Ayrıca, AODV, DSDV gibi protokollerin ns-2 içerisinde tanımlanmış olması yeni geliştirilen protokolün performansının diğer yönlendirme protokolleri ile karşılaştırılması esnasında bir çok kolaylık sağlamıştır.

4.3.2. ns-2 ağ benzetim aracı

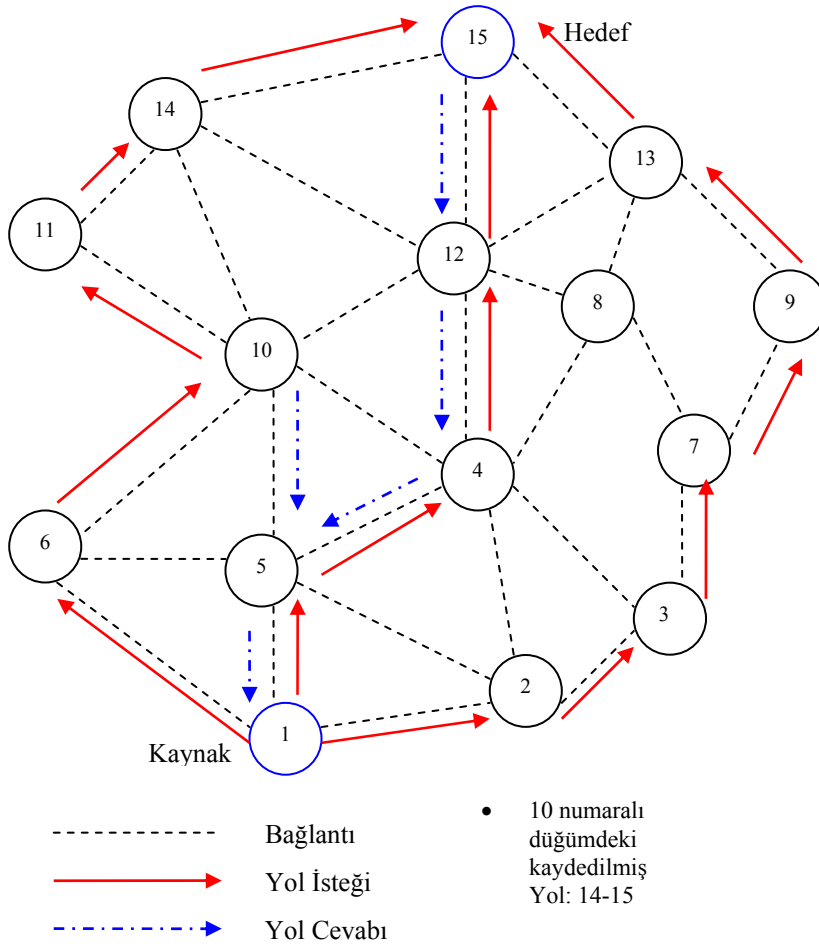
Berkley Üniversitesi tarafından geliştirilen ns-2 bir kesikli olay benzetim aracıdır. Hem kablosuz ağlar hem de kablolu ağlar için gerçek ortam desteği vermektedir. Script dili olarak Otcl/tk kullanan C++ dilinde yazılmış nesne tabanlı bir benzetim yazılımıdır. Farklı yönlendirme algoritmaları veya hareketlilik gibi değişik senaryolar altında deneyleri, var olan protokoller üzerine taşımak için düğümler, linkler, protokoller, trafik gibi çeşitli bileşenlerin tanımlandığı ve çalıştırıldığı bir Otcl scripti geliştirilebilir ve uygulanabilir. Bununla birlikte var olan bir yönlendirme algoritmasını değiştirmek veya yeni bir yönlendirme protokolü geliştirmek isteniyorsa bu C++ ile yapılmak zorundadır. Her olayın benzetim süresince ns-2’da kaydı tutulmaktadır.

4.3.3. Benzetimde kullanılan AODV yönlendirme protokolü

Benzetimde kullanılan Tasarsız Talep Üzerine Uzaklık Vektörü Kullanan Yönlendirme Protokolü (Ad Hoc On Demand Distance Vector – AODV) yol bulmak için isteğe bağlı olarak harekete geçer. Bir diğer düğümle heberleşmek istediği zaman bir yol kurma isteğini ağa sel şeklinde gönderir. Gönderilen isteğe cevap olarak gelen ilk paketin geldiği yol kullanılarak haberleşmeye başlanır. Elde edilen yolların güncelliklerini tanımlamak için her yola bir sıra numarası verilir. Sıra numarası en büyük olan yol en güncel yol demektir. AODV’de paketlerin gönderileceği yol kaynakta belirlenmez. Bunun yerine kaynak düğüm ve her ara düğümde yalnızca bir sonraki düğümün adresi tutulur. İsteğe bağlı bir yönlendirme protokolünde yol, istenen hedef için kullanılabilir olmadığı zaman kaynak düğüm ağa bir yol istek mesajı yayınlar. Bir yol istek mesajı’nda şu alanlar bulunur: Kaynak tanımlayıcı (Src ID), hedef tanımlayıcı (Dest ID), kaynak sıra numarası (SrcSeqNum), hedef sıra numarası (DestSeqNum), yayın tanımlayıcı (Bcast ID), ve yaşam süresi (TTL). DestSeqNum, kaynağın istek kabul ettiği yolun güncelliğini gösterir. Bir ara düğüm bir yol istek mesajı aldığında zaman bu mesajı ya komşularına iletir ya da hedefe doğru geçerli bir yola sahipse bir yol cevap mesajı

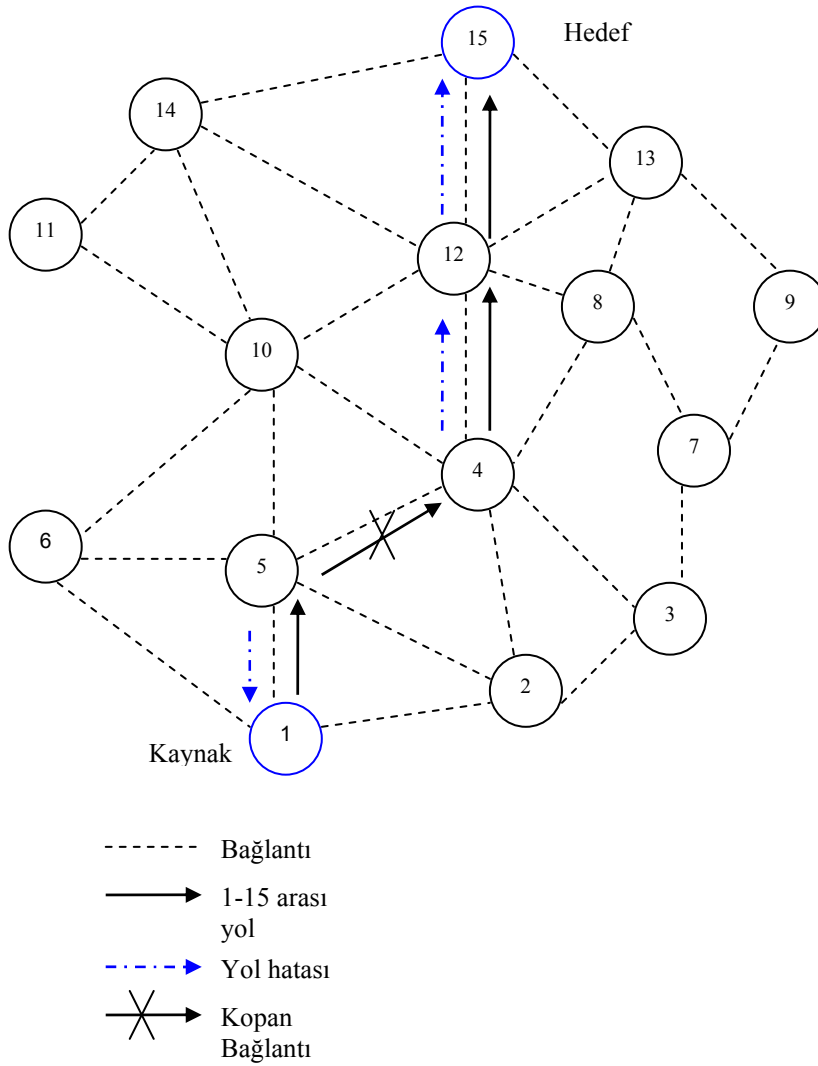
gönderir. Ara düğümdeki yolun geçerliliği, ara düğümdeki sıra numarası ile yol istek mesajı paketinde yer alan DestSeqNum alanının karşılaştırılması ile elde edilir. Hedefe doğru geçerli yollara sahip olan düğümler ya da hedefin kendisi kaynağa yol cevap mesajı yollayabilir. Her ara düğüm kendisine gelen yol istek mesajını yönlendirirken pakete önceki düğümün adresini ve kendi Bcast ID'sini girer. Bu sayede ara düğümde aktif bir yol saklanır ve kaynaktan yönlendirmeye gerek duyulmaz. Bir ara düğüm yol cevap mesajı aldığı zaman, kendisine mesajı gönderen düğümü, hedefe giden bir sonraki düğüm olarak kaydeder. Şekil 4.1'de 1 numaralı düğüm kaynak düğüm olarak 15 numaralı hedef düğüm için bir yol istek mesajını tüm komşularına sel şeklinde gönderilmektedir. Yol istek mesajının DestSeqNum değerinin 3 olduğu ve SrcSeqNum değerinin 1 olduğu kabul edilmektedir. 2, 5 ve 6 numaralı düğümler yol istek mesajını aldıkları zaman hedefe doğru olan yollarını kontrol ederler. Bcast ID ve Src ID alanları aynı olan birden fazla yol istek mesajı alınır, tekrar eden paketler var demektir ve fazla paketler yok edilir. Hedefe doğru bir yolları yoksa, yol istek mesajını komşularına iletirler. 3 ve 10 numaralı düğümlerin hedefe doğru daha önceden kaydedilmiş yol bilgileri olduğunu ve 3 numaralı düğümdeki DestSeqID değerinin 1, 10 numaralı düğümdeki DestSeqID değerinin 4 olduğunu varsayalım. Kaynaktan belirtilen DestSeqID değeri 3 olduğu için yalnızca 10 numaralı düğümdeki yol kabul edilebilir durumdadır [7].

Hedef düğüme bir başka düğüm üzerinden de ulaşılabilirse (bu örnekte 4 numaralı düğüm) hedef düğüm kaynak düğüme yol cevap mesajı gönderir. Bir yol istek mesajı ile birden fazla yol bulunabilir. Bu yollardan en kısa olan seçilir. AODV kopan bir bağlantıyı yerel olarak onaramaz.



Şekil 4.1. AODV’de yol kurma

Şekil 4.2’de 4 numaralı düğüm ile 5 numaralı düğümler arasındaki bağlantı koptuğu zaman kaynak ve hedef düğümleri bilgilendirmek adına 4 ve 5 numaralı düğümler tarafından yol hata mesajı oluşturulur ve ilgili düğümlere yollanır. Kaynak düğüm yeni bir BcastID ile önceki DestSeqID ile yol bulma işlemini yeniden başlatır. Bağlantı koptuğu zaman, kopukluğun olduğu yerdeki düğümler kaynak ve hedef düğümleri sonsuz atlama sayısına sahip yol hata mesajı ile bilgilendirir. Bu mesajı alan kaynak ve hedef düğümler ilgili girişleri silerler. Kaynak düğüm, hedefe giden bir başka yol bulabilmek için yeni bir yol istek mesajı yayınlar [7].



Şekil 4.2. AODV’de yol hatası

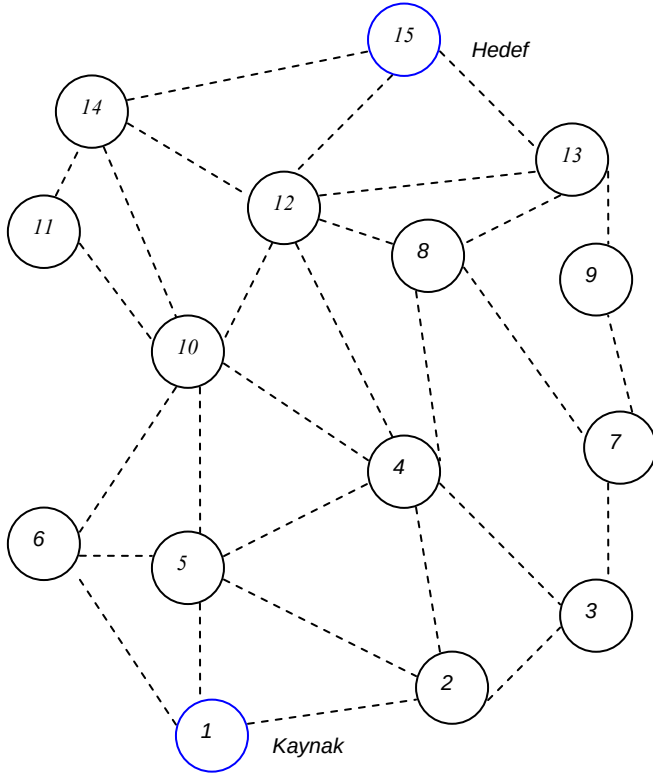
4.3.4. Benzetimde kullanılan DSDV yönlendirme protokolü

Benzetimde kullanılan DSDV kablosuz ağlar için tasarlanan ilk protokollerden biridir. Her bir düğüm, ağdaki diğer düğümler için bir yol bulunan tablo tutar. Her satırda hedef düğüm, sonraki düğüm, uzaklık ve sıra numarası kayıtlıdır. Sıra numarası o yolun güncelliğini gösterir. Bir düğüm topolojide anlamlı bir değişiklik gördüğü zaman kendi tablosunu diğer düğümlere gönderir. Değişiklik büyük ise bütün tablo gönderilir, değilse sadece o parçası gönderilir. Bir düğüme giden yol ile ilgili bir değişiklik olduğu zaman bu durum komşu düğümlere daha yüksek bir sıra

numarası ile bildirilir. Bu değişikliği alan her düğüm, yönlendirme tablosunu günceller ve değişikliği kendi komşularına bildirir. Bu şekilde bütün ağ bu değişiklikten haberdar olur [1,7].

Çizelge 4.1. 1 numaralı düğümün yönlendirmesi

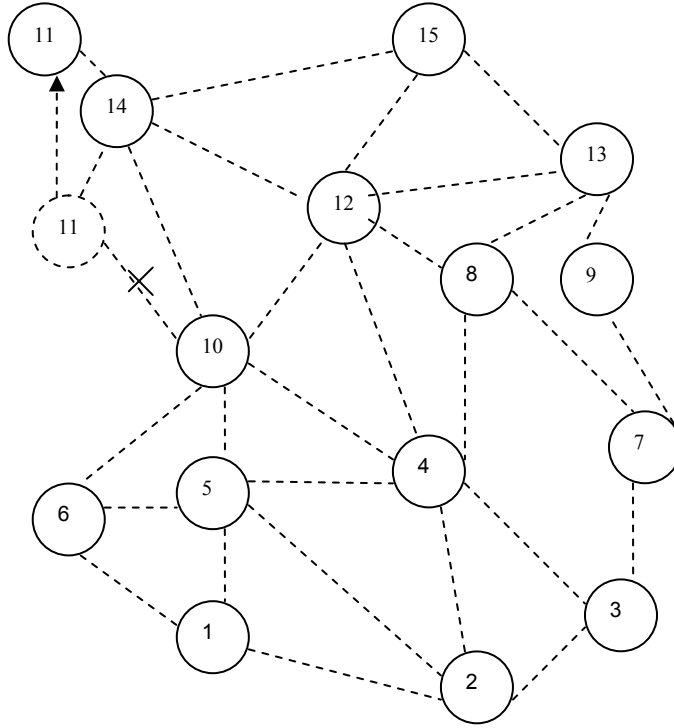
Hedef	Sonraki Düğüm	Uzaklık	Sıra Numarası
2	2	1	22
3	2	2	26
4	5	2	32
5	5	1	134
6	6	1	144
7	2	3	162
8	5	3	170
9	2	4	186
10	6	2	142
11	6	3	176
12	5	3	190
13	5	4	198
14	6	3	214
15	5	4	256



Şekil 4.3. DSDV Örnek ağ yapısı

Çizelge 4.2. Güncelleme sonrası 1 numaralı düğümün yönlendirme

Hedef	Sonraki Düğüm	Uzaklık	Sıra Numarası
2	2	1	22
3	2	2	26
4	5	2	32
5	5	1	134
6	6	1	144
7	2	3	162
8	5	3	170
9	2	4	186
10	6	2	142
11	5	4	180
12	5	3	190
13	5	4	198
14	6	3	214
15	5	4	256



Şekil 4.4. DSDV örnek ağ yapısı

4.3.5. Benzetim yöntemi

Benzetimde kullanılacak düğüm sayısı, veri trafiğinin miktarı, veri paketlerinin boyutu, paketlerin sinyal seviyeleri ve link kapasite sabiti burada belirlenmektedir. Temel hareketlilik yapıları değiştirilerek farklı senaryolar elde edilebilir ve bu sayede gerçek ağ ortamında karşımıza çıkan problemlerin çözümü bulunabilmektedir. Bu sayede yönlendirme algoritmasının farklı senaryolarda farklı standart yönlendirme protokol kullanımları, bunların nasıl çalıştığı ve grafiksel çıktıları görülebilmektedir.

4.3.6. Performans ölçütleri

Çeşitli hareketli ad-hoc ağlar yönlendirme protokollerinin performanslarını değerlendirmek için literatürde yaygın olarak kullanılan üç parametre vardır. Bunlar:

Paket Dağıtım Oranı: Uygulama katmanının Constraint Based Routing (CBR) kaynakları tarafından oluşturulan paket sayısı ile son hedefteki CBR havuzu tarafından alınan paket sayısı arasındaki orandır.

Yönlendirme Yüğü: Benzetim boyunca iletilen yönlendirme paketlerinin toplam sayısıdır.

Ortalama Gecikme: Kaynak düğümde IP katmanına bir veri paketi verildiği zaman ile hedefin IP katmanına paketin ulaştığı zaman arasındaki ortalama gecikme süresidir.

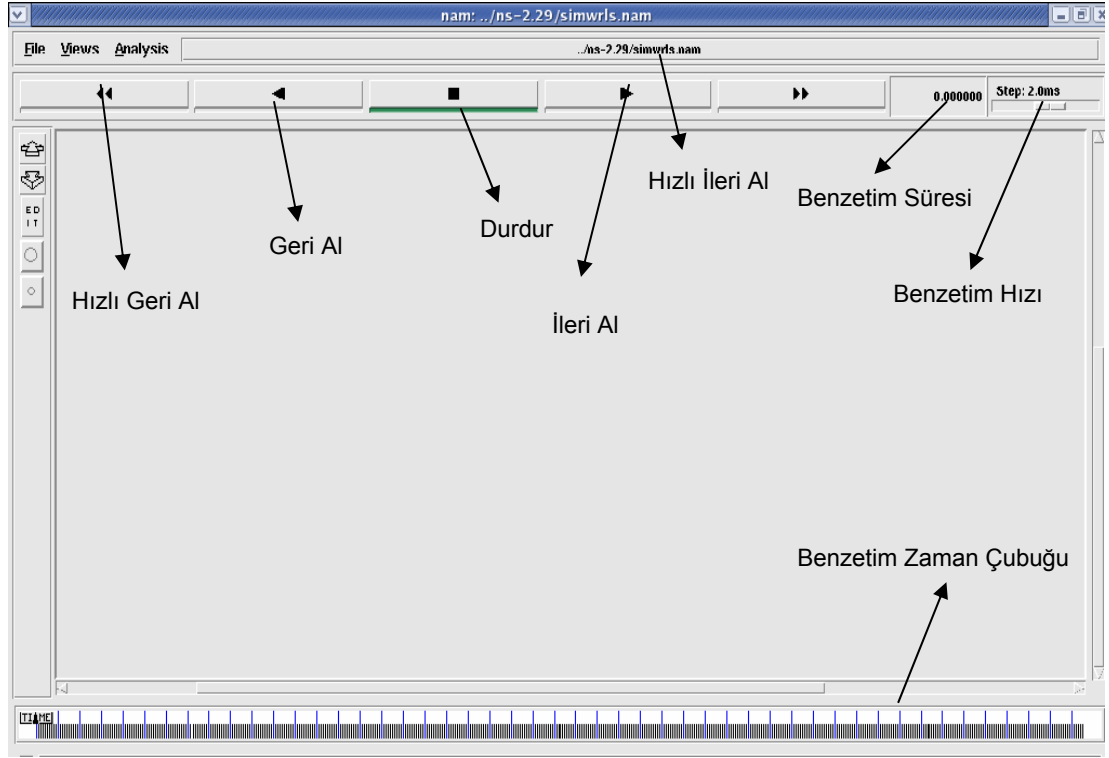
Paket dağıtım oranı önemli bir ölçüttür. Ağ katmanının en üstünde çalışan iletim protokolleri tarafından anlaşılabilecek kayıp oranını tanımlar. Böylece paket dağıtım oranı ağın destekleyebileceği maksimum işlem hacmini dolaylı olarak gösterir. Benzetim ölçütlerini tanımlarken de bahsettiğimiz gibi paket dağıtım oranı bütün düğümlerde alınan veri paketlerinin toplam sayısının CBR kaynakları tarafından dışarı gönderilen veri paketlerinin toplam sayısına bölümüyle hesaplanır. Paket dağıtım oranı bir ad hoc yönlendirme protokolünün performans değerlendirmesi için önemli bir ölçüt oluşturur; çünkü verilen benzer senaryolarda hedeflere başarılı olarak dağıtılan veri paketlerinin sayısı çoğunlukla yol elverişliliğine bağlıdır. Yol elverişliliği ise dolaylı olarak bir mobil senaryosu içinde temel yönlendirme algoritmasının ne kadar etkili olduğuna bağlıdır. Yönlendirme yükü, paketleri yönlendirirken dışarı gönderilen toplam yönlendirme paketlerin sayısı şeklinde hesaplanabilir. Burada yönlendirme taşması için benzetim gidişatı boyunca ağ katmanında gönderilen yönlendirme paketlerinin toplam sayısı temel alınmıştır.

Daha fazla yönlendirme taşması olursa, hedeflerine ulaşmakta olan veri paketlerinin sahip olacağı gecikme miktarı tıkanıklık, çarpışma ve kuyruk gecikmesi olacağından artacaktır. Ama yönlendirme taşması azaltılırsa doğal olarak daha iyi paket dağıtım sürelerine ulaşılabilecektir.

Ortalama gecikme bir veri paketinin kaynak düğümünden gönderilip hedef düğümde alınmasına kadar geçen süredir. Bu ölçüt sel yönlendirme algoritmasının ne kadar etkili olduğunun bir ölçümüdür, çünkü her şeyden önce gecikme seçilen yolun en iyiliğine, ara yüz kuyruklarının yaşadıkları gecikmelerine ve çarpışmalar yüzünden olan fiziksel katmandaki yeniden iletimlerin neden olduğu gecikmeye bağlıdır.

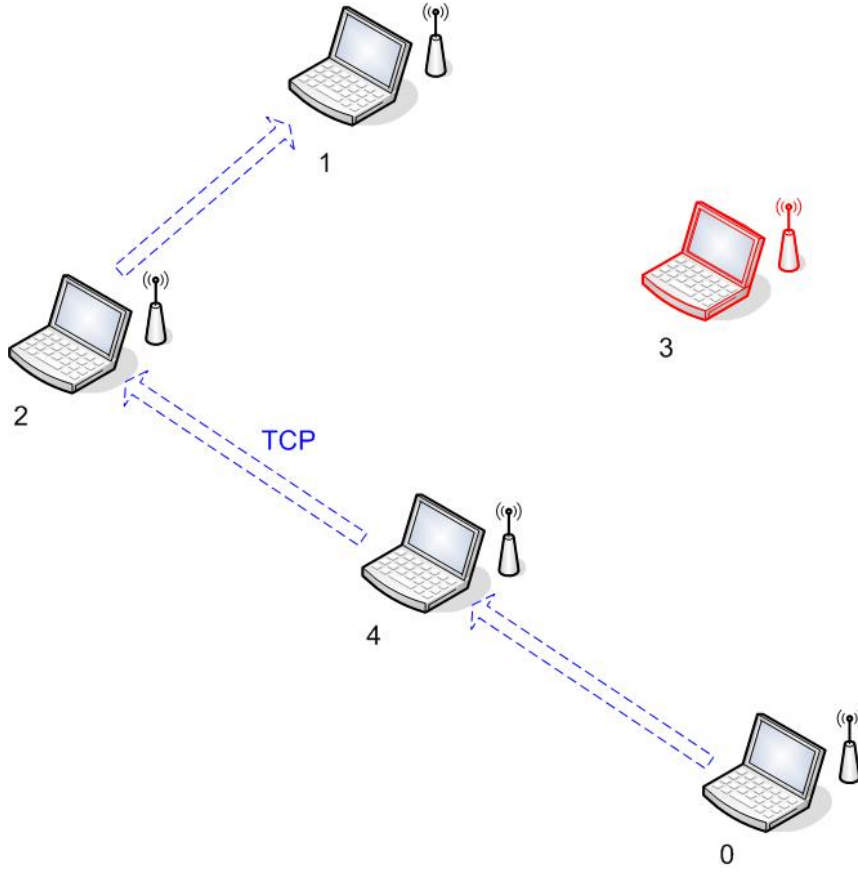
4.3.7. Gerçekleştirilen benzetim

ns-2 ile gerçekleştirilen benzetimler sonucunda meydana gelen ağ yapısını ve trafiği görebilmek için uzantısı “nam” olan bir takip dosyası üretilir. Bu dosyada, benzetimde belirtilen zaman aralıklarında benzetimde gerçekleşen olayların kayıtları tutulur. Örnek olarak; iletilen paketlerin, atılan paketlerin hangi sürelerde gerçekleştikleri, bağlantıların hangi sürelerde koptukları, düğümler hareketli ise düğümlerin hangi hızda nereden nereye doğru hareket ettikleri gibi bilgiler bu dosyada yer alır. Network Animator (nam) olarak isimlendirilen yardımcı bir program bu dosyaları okuyarak görsel hale getirir. Nam programının ekran görüntüsü ve programda yer alan düğmelerin ne işe yaradıkları aşağıdaki Şekil 4.5’de gösterilmektedir.

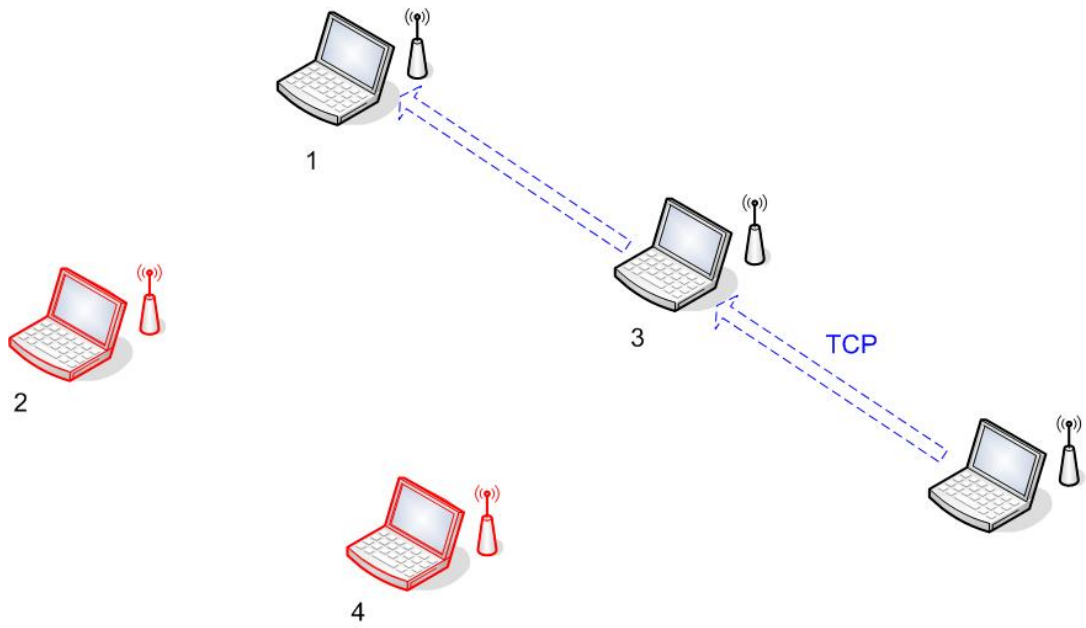


Şekil 4.5. Nam programının ekran görüntüsü

Geliştirilen protokolü test etmek için iki adet senaryo üretilmiştir. Bu senaryolarda birbirleri ile eşdeğer bilgisayarların kablosuz ve altyapısız haberleştikleri varsayılmıştır. Benzetim ortamına aktarılan senaryolarda bu bilgisayarlardan düğüm olarak bahsedilmektedir. İlk senaryo biraz daha basit yapıdadır ve daha az düğüm sayısına sahiptir. İlk senaryo ile gerçekleştirilen benzetimde 5 tane eş değer düğüm kullanılmış ve bu düğümlerden iki tanesi haberleştirilmiştir. İlk senaryo için 0 numaralı düğümün harekete geçmeden önce oluşturulan temsili görünüş Şekil 4.6'da, ilk senaryo için 0 numaralı düğümün hareketini tamamlamasından sonra oluşturulan ağ yapısının görünüşü Şekil 4.7'de görülmektedir.



Şekil 4.6. İlk senaryonun ilk görünümü



Şekil 4.7. İlk senaryonun ikinci görünümü

Her bir düğümün oluşturulma parametreleri aşağıda gösterilmektedir.

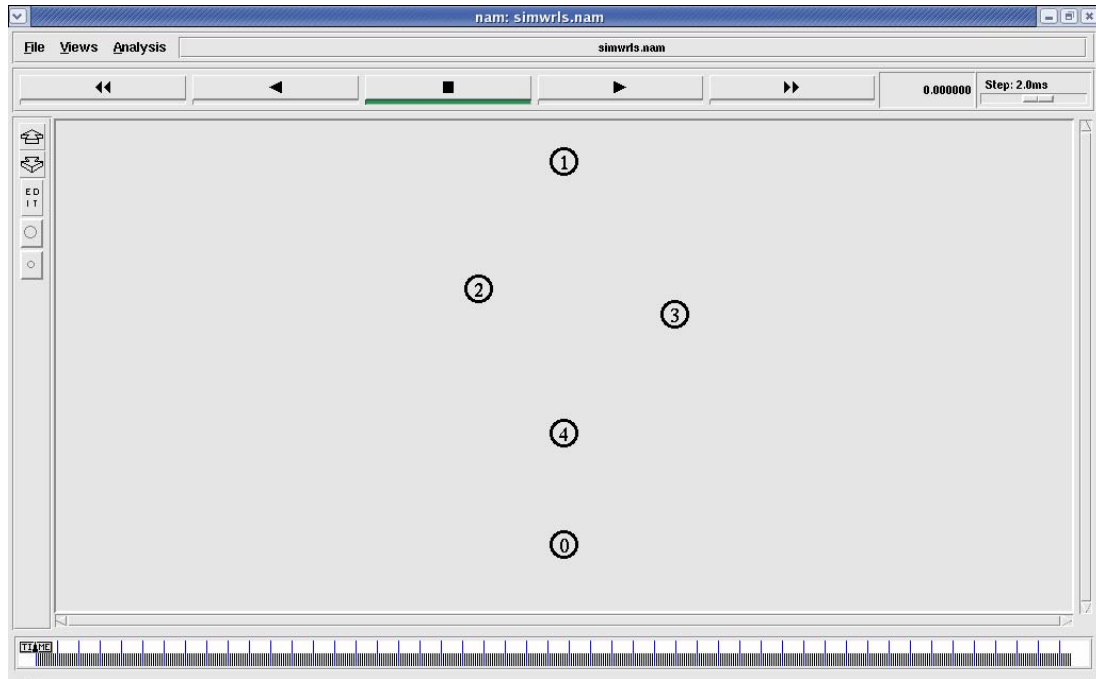
```

set val(chan)          Channel/WirelessChannel  ;# kanal tipi
set val(prop)          Propagation/TwoRayGround ;# radioyayılım modeli
set val(netif)         Phy/WirelessPhy         ;# ağ arayüz tipi
set val(mac)           Mac/802_11             ;# MAC tipi
set val(ifq)           Queue/DropTail         ;# arayüz kuyruk tipi
set val(ll)            LL                     ;# veri bağı katmanı tipi
set val(ant)           Antenna/OmniAntenna    ;# anten modeli
set val(ifqlen)        50                    ;# arayüz kuyruğu max. uzunluğu
set val(nn)            5                     ;# düğümlerin sayısı
set val(rp)            AODV                   ;# yönlendirme protokolü
set val(x)             1000                  ;# benzetim alanı X boyutu
set val(y)             1000                  ;# benzetim alanı Y boyutu
set val(stop)          150                   ;# benzetim süresi

```

Yukarıdaki parametrelerden Propagation/TwoRayGround parametresi, Benzetimde kullandığımız yayılım modelini belirtir. Alınan paketlerin sinyal seviyesi elde etmek için bu yayılım modelindeki bazı parametreler kullanılmıştır.

Benzetimin başlangıç ekran görüntüsü Şekil 4.8’de gösterilmektedir. Benzetim aracının genel yapısı şekilde açıklanmıştır.



Şekil 4.8. Benzetimde kullanılan topoloji

Gerçekleştirilen benzetimde oluşturulan düğümler, gönderdikleri yol istek mesajları ile hedefe gidecek yolu temin etmektedirler ve yeni topoloji tablolarını oluşturmaktadırlar. Bunun için, kaynak düğümler yol istek paketlerini sel biçiminde ağa yollarlar. En kısa sürede ve sinyali kuvvetli gelen cevap paketi veri aktarımında kullanılacak yol olarak seçilir.

Benzetimdeki düğümlerin topolojide nerede bulunacakları, benzetim aracına bildirilmelidir. Eğer düğümler hareketli olarak oluşturulacaklarsa, düğümlerin varacakları noktanın koordinatları, harekete başlama zamanları ve hareketleri esnasındaki hızları da benzetim aracına bildirilmelidir. Üç boyutlu topolojiler de tanımlanabilir. Bunun için $Z_$ parametresi sıfırdan başka bir değere ayarlanabilir. Gerçekleştirilen benzetimde düğümlerin iki boyutta hareket ettikleri kabul edilerek $Z_$ parametresi sıfır olarak ayarlanmıştır. Şekil 4.8'deki topolojiyi oluşturan Otel kodu aşağıdaki gibidir.

```
$node_(0) set X_ 250.0
$node_(0) set Y_ 50.0
$node_(0) set Z_ 0.0
$node_(1) set X_ 250.0
$node_(1) set Y_ 500.0
$node_(1) set Z_ 0.0
$node_(2) set X_ 200.0
$node_(2) set Y_ 350.0
$node_(2) set Z_ 0.0
$node_(3) set X_ 380.0
$node_(3) set Y_ 320.0
$node_(3) set Z_ 0.0
$node_(4) set X_ 250.0
$node_(4) set Y_ 180.0
$node_(4) set Z_ 0.0
```

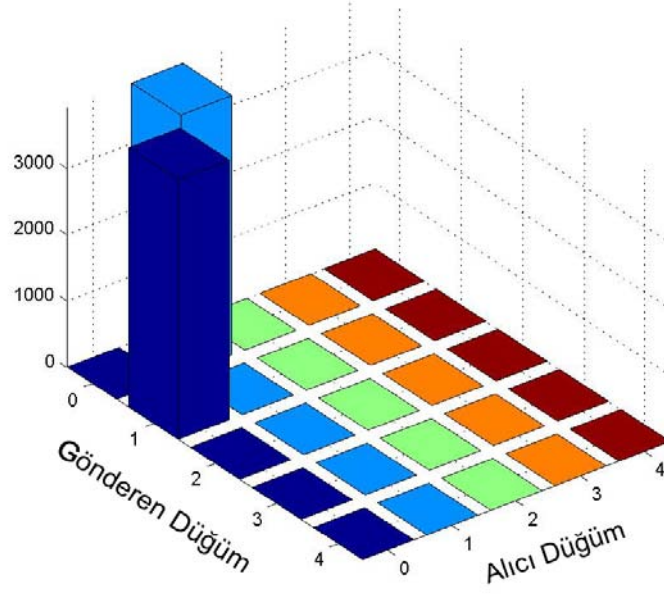
0 numaralı düğüme hareketlilik kazandırmak için yazılan Otel kodu aşağıda verilmektedir. Bu kodla 0 numaralı düğüm 50 saniyede $x = 490$ $y = 400$ koordinatına 5 m/s hızla harekete geçer.

```
$ns at 50.0 "$node_(0) setdest 490.0 400.0 5.0
```

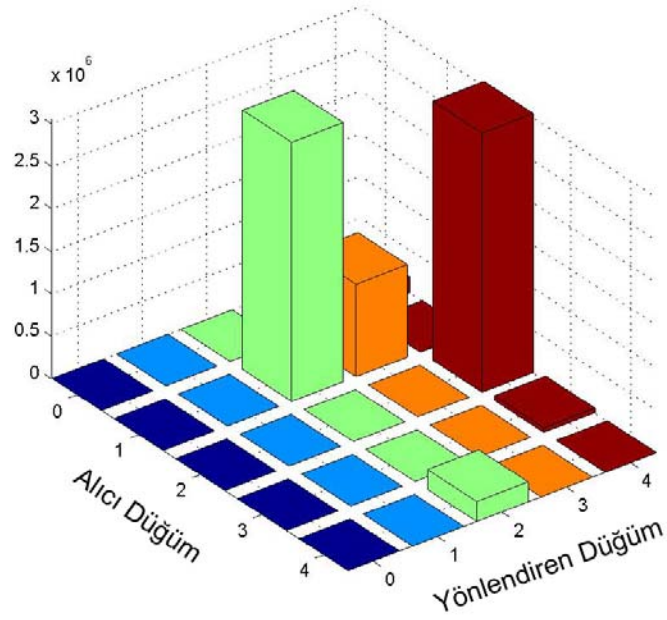
Veri trafiğini yaratmak için uygulama katmanında FTP (File Transfer Protocol) kullanılmıştır. Benzetimin 10. saniyesinde 0 numaralı düğüm ile 1 numaralı düğüm arasında kurulan Transmission Control Protocol (TCP) bağlantısı üzerinden FTP trafiği başlamaktadır. Bu TCP bağlantısında veri aktarımı için belirlenen yol “0-4-2-1” şeklindedir. Bahsedilen veri trafiğini oluşturan Otel kodları aşağıda verilmektedir.

```
set tcp(0) [new Agent/TCP/Newreno]
$tcp(0) set class_1
set sink(0) [new Agent/TCPSink]
$ns attach-agent $node_(0) $tcp(0)
$ns attach-agent $node_(1) $sink(0)
$ns connect $tcp(0) $sink(0)
$tcp(0) set maxcwnd_15
set ftp [new Application/FTP]
$ftp attach-agent $tcp(0)
$ns at 10.0 "$ftp start"
$ns at 145.0 "$ftp stop"
proc plotWindow {tcpSource file} {
global ns
set time 0.1
set now [$ns now]
set cwnd [$tcpSource set cwnd_]
puts $file "$now $cwnd"
$ns at [expr $now+$time] "plotWindow $tcpSource $file" }
$ns at 0.01 "plotWindow $tcp(0) $windowVsTime2"
```

Geliştirilen senaryoda ağda alınan tüm paket sayısının düğümlere göre grafiği Şekil 4.9’da, ağdaki düğümler tarafından yönlendirilen tüm paket sayısının grafiği Şekil 4.10’da gösterilmektedir. Şekil 4.9’da 0 numaralı düğümün gönderdiği paketler 1 numaralı düğüm tarafından alınmaktadır. 1 numaralı düğümün gönderdiği paketler 0 numaralı düğüm tarafından alınmaktadır. Bu nedeni de 0 ile 1 numaralı düğüm arasında kurulan bağlantıdır. 0, 2 ve 3 numaralı düğümler tarafından paket gönderilmediği görülmektedir. Şekil 4.10’da 0 numaralı düğümün aldığı paketler 2 ve 3 numaralı düğümler tarafından yönlendirilmektedir. 4 numaralı düğümün aldığı paketler 2 numaralı düğüm tarafından yönlendirilmektedir. 0 ve 3 numaralı düğümlerde paket alınmadığı ve bu yüzden yönlendirilme yapılmadığı görülmektedir.

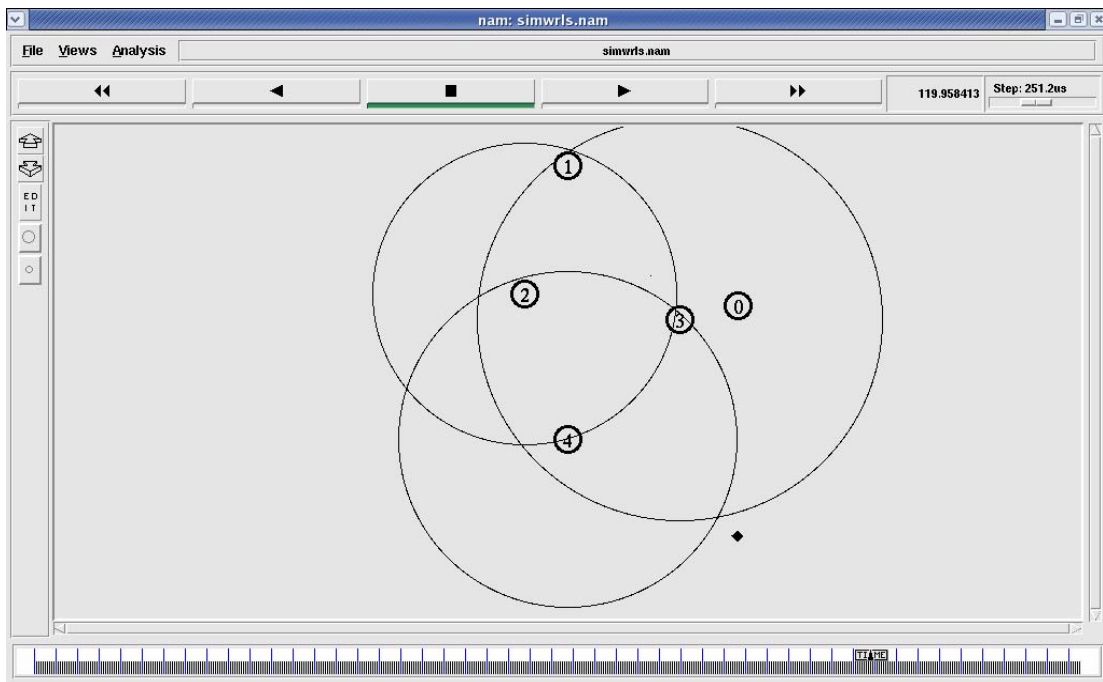


Şekil 4.9. İlk senaryoda düğümlerin aldıkları paket sayıları dağılımı



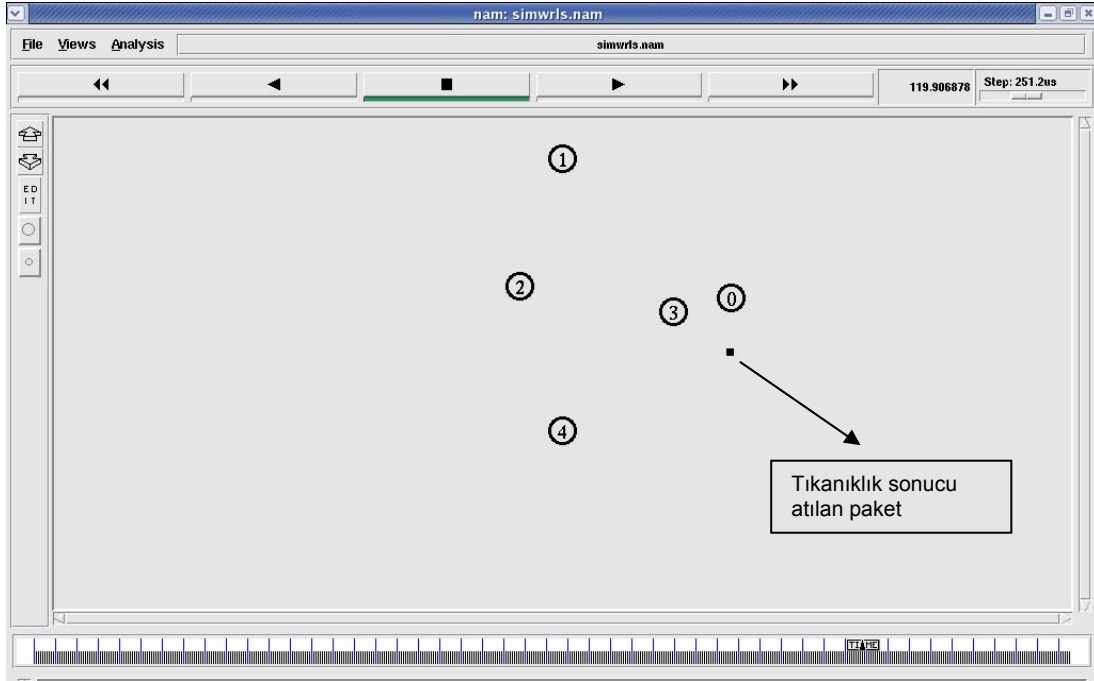
Şekil 4.10. İlk senaryoda ağda yönlendirilen paket sayısının düğümlere göre dağılımı

İlk olarak, AODV protokolü bahsedilen senaryo ile denenerek sonuçlar elde edilmiştir. Benzetimin 10. saniyesinde 0 ile 1 numaralı düğümler arasında 0-1 yönünde bir FTP uygulaması başlatılmıştır. Benzetimin 50. saniyesinde 0 numaralı düğüm harekete geçerek 4 numaralı düğümden uzaklaşarak 3 numaralı düğüme yaklaştırmaya başlamıştır. Bir süre sonra 0 numaralı düğüm 4 numaralı düğümün iletişim menziline çıkmış ve hedefe giden bir başka yol aramak durumunda kalmıştır. Bu yol arama süreci Şekil 4.11’de gösterilmektedir.



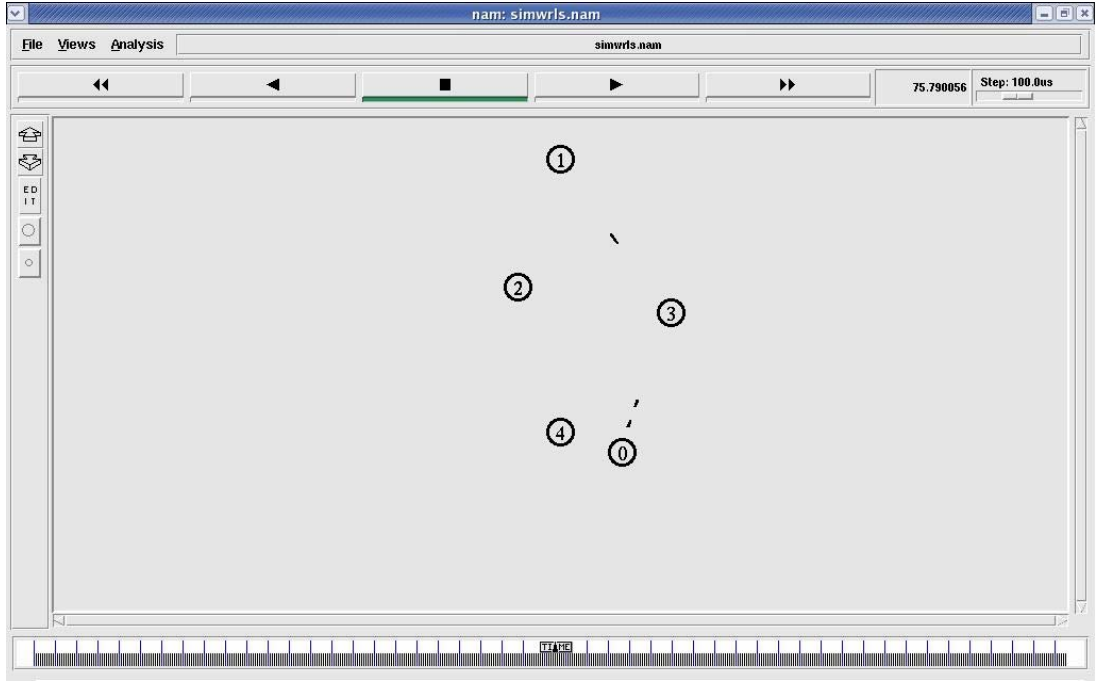
Şekil 4.11. İlk senaryoda AODV protokolü ile yeniden yol kurma durumu

Bu süreç içerisinde paket atılmaları yaşanmış ve yeniden yol kurma süresi kadar beklenmiştir. Yaşanan paket atılma durumu Şekil 4.12’de gösterilmektedir.



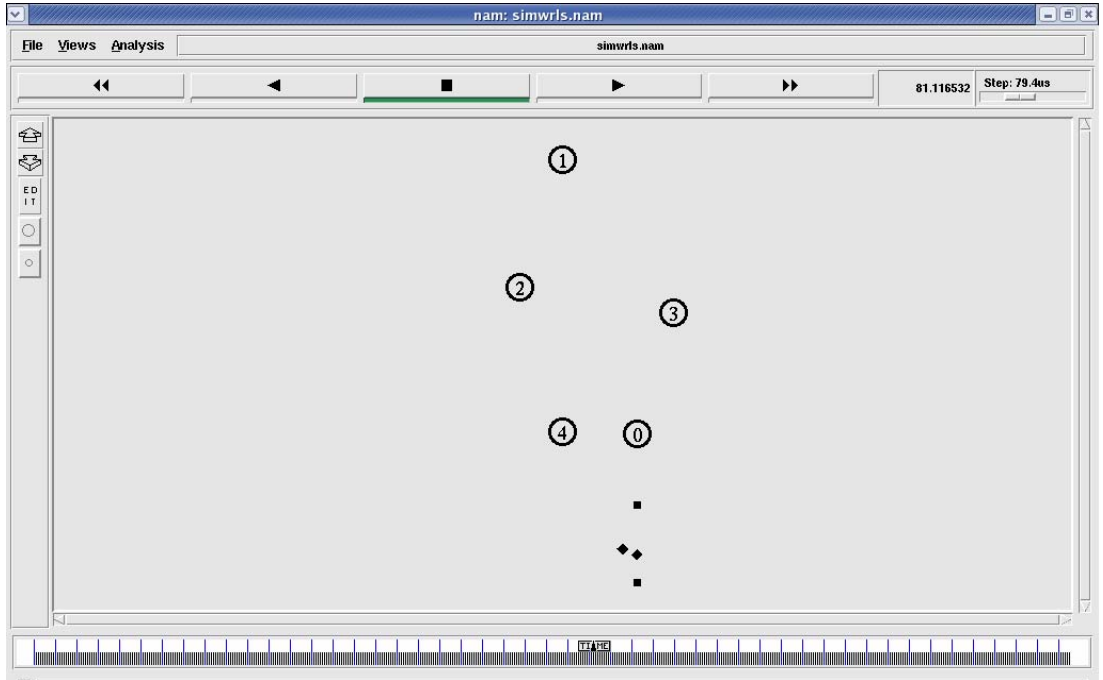
Şekil 4.12. İlk senaryoda AODV protokolü ile yaşanan paket atılma durumu

İkinci olarak DSDV protokolü ile ilk senaryo test edilmiştir. 10 saniyede TCP üzerinden 0-1 düğümlerin arasında FTP bağlantısı oluşturulmasına rağmen iletim 36 saniyede başlamıştır. İlk olarak 0-4-2-1 düğümleri üzerinden aktarım gerçekleşmekte 38.5 saniyede yol 0-4-3-1 düğümleri üzerine kaymaktadır. Benzetimin 50 saniyesinde 0 numaralı düğüm harekete geçmekte ve 3 numaralı düğüme yaklaşmaktadır. Bu yaklaşma neticesinde benzetimin 67 saniyesinde 0 ile 3 numaralı düğümler arasında doğrudan bağlantı kurulmakta ve iletişim buraya aktarılmaktadır. 1, 3 ve 0 numaralı düğümler arasında gönderilen paketler görülmektedir. Bu durum Şekil 4.13'de gösterilmektedir.



Şekil 4.13. İlk senaryoda DSDV kullanımı

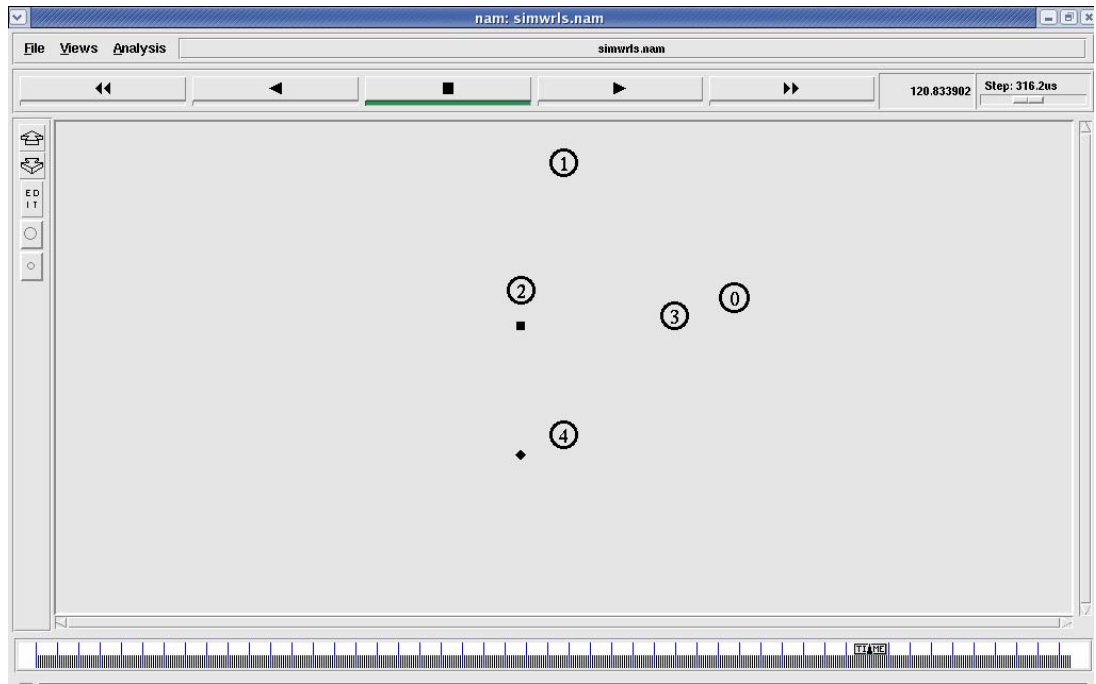
Bu aktarım esnasında paket kayıpları yaşandığı Şekil 4.14’de gösterilmektedir.



Şekil 4.14. İlk senaryoda DSDV ile 0 numaralı düğümden paket atılması

Şekil 4.14’de gösterildiği gibi benzetimin 85 saniyesinde 0 numaralı düğüm ile 2 numaralı düğüm arasındaki mesafe iletişim mesafesine düştüğü için 0 numaralı düğüm ile 2 numaralı düğüm arasında bağlantı kurulmakta ve iletişim buraya aktarılmaktadır. Bu aktarım esnasında paket kayıpları yaşandığı görülmüştür.

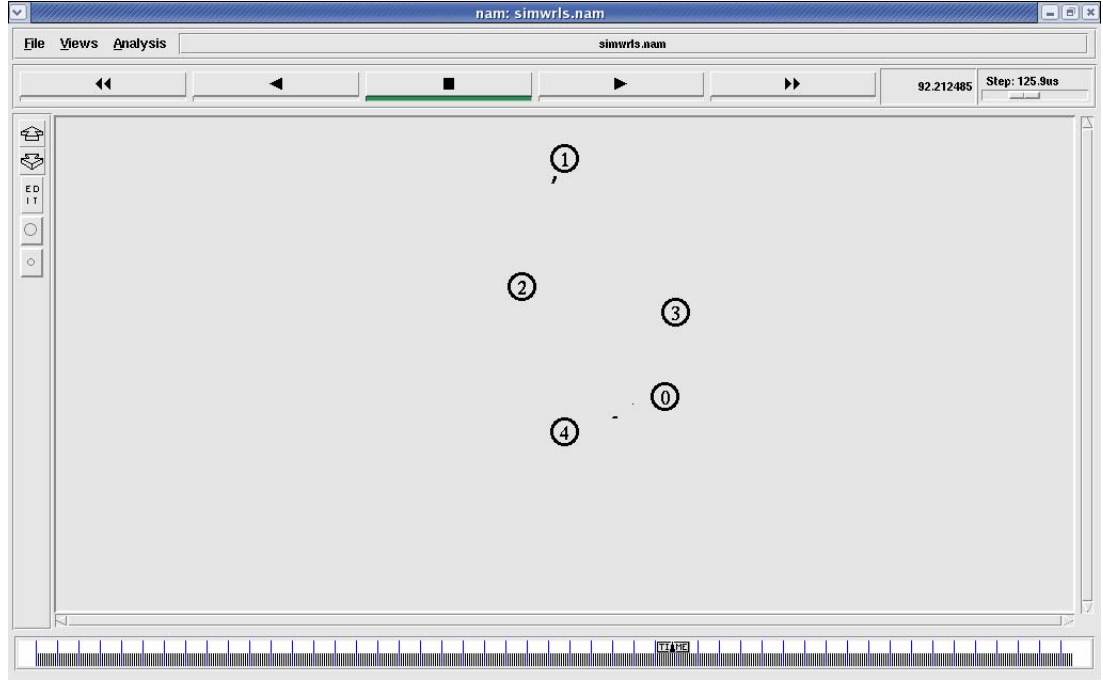
Benzetimin 107.7 saniyesinde iletişim yeniden 0-3-1 güzergahına aktarılmakta 120.4 saniyesinde 0-2-1 güzergahına aktarılmaktadır bu aktarım neticesinde de iki ve sıfır numaralı düğümlerde paket atılması yaşandığı gözlemlenmiştir. Bu durum Şekil 4.15’de gösterilmektedir.



Şekil 4.15. İlk senaryoda DSDV ile 2 numaralı düğümden paket atılması

Bu saniyeden sonra 137.7 saniye kadar yeni yol kurulamamakta ve bu süre içerisinde aktarım kesilmektedir. 137.7 saniyede iletişim 0-3-1 düğümleri üzerinden yeniden başlamaktadır ve benzetimin sonuna kadar buradan devam etmektedir.

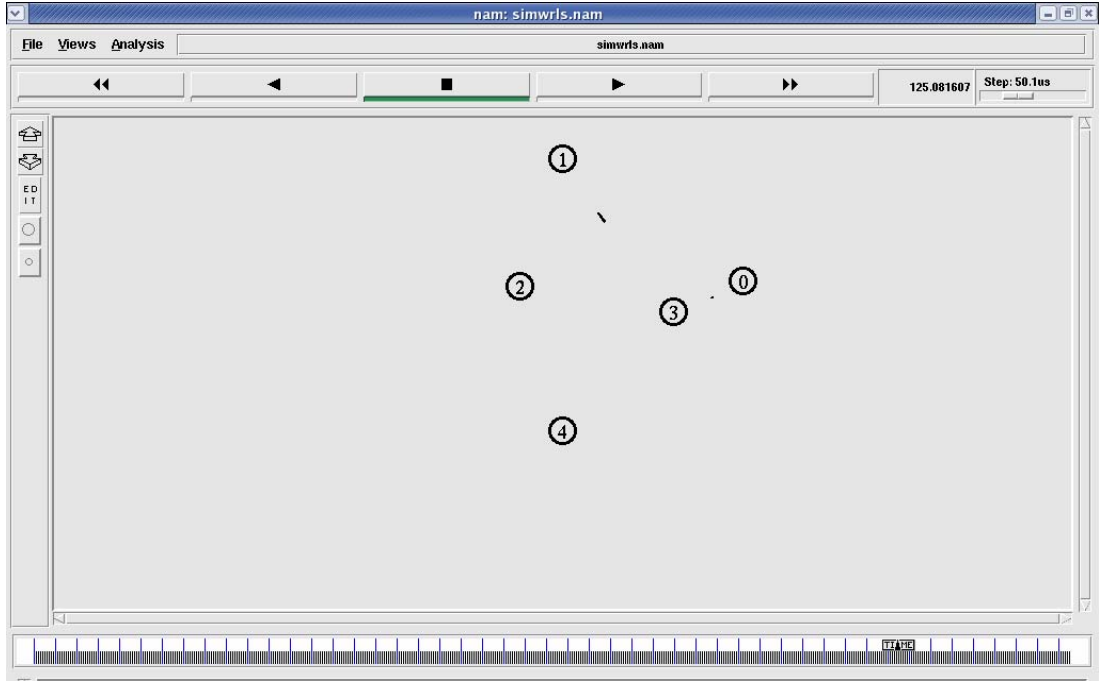
Daha sonra geliştirilen protokol kullanılarak benzetim yeniden gerçekleştirilmiştir. Benzetimin 10 saniyesinde 0-1 düğümleri arasında FTP trafiği başlamaktadır. Şekil 4.16’da yukarıda anlatılan durum gösterilmektedir.



Şekil 4.16. Geliştirilen protokolün ilk senaryodaki çalışma görüntüsü.

Şekil 4.16’da da gösterildiği gibi benzetimin 145 saniyesine kadar FTP trafiği devam etmektedir. Benzetimin 50 saniyesinde 0 numaralı düğüm 3 numaralı düğüme doğru hareket etmekte ve 4 numaralı düğümden uzaklaşmaktadır.

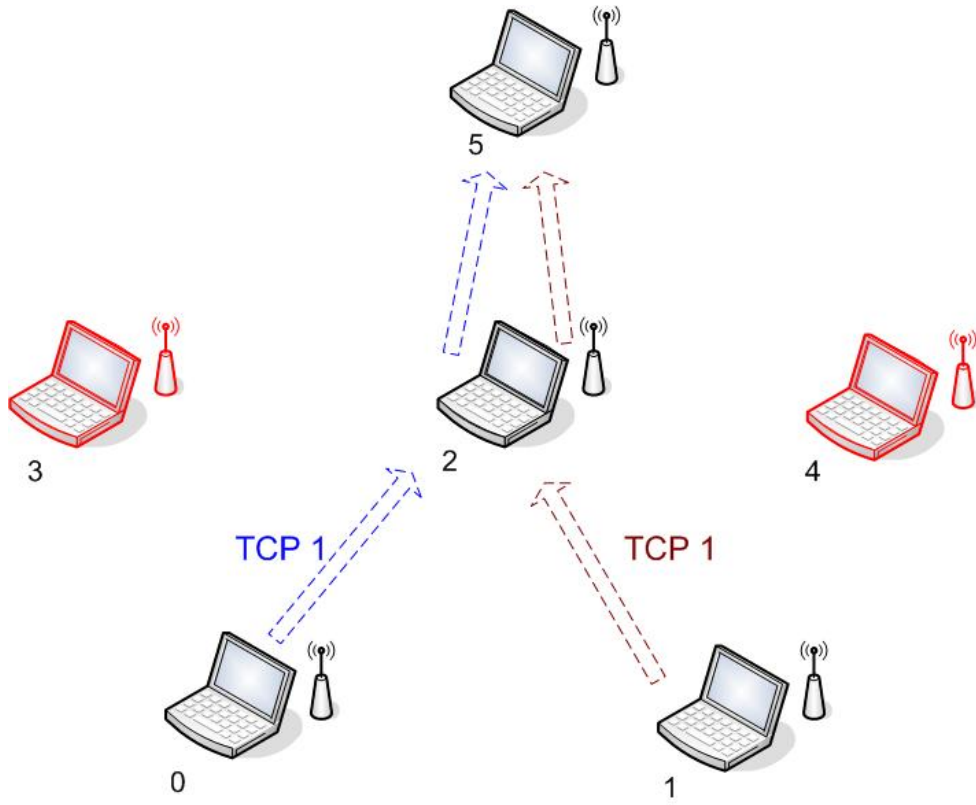
Benzetimin 117 saniyesinde 0-4 düğümleri arasındaki bağlantının kopacağına karar verilerek yeni bir yol aranmış ve 3 numaralı düğüm üzerinden güçlü bir yol bulunması neticesinde iletişim bu yola aktarılmıştır. Böylece hiç bağlantı kopukluğu yaşanmadan aktarım kesintisiz olarak devam ettirilmiştir. Yukarıda anlatılan durum Şekil 4.17’de gösterilmektedir.



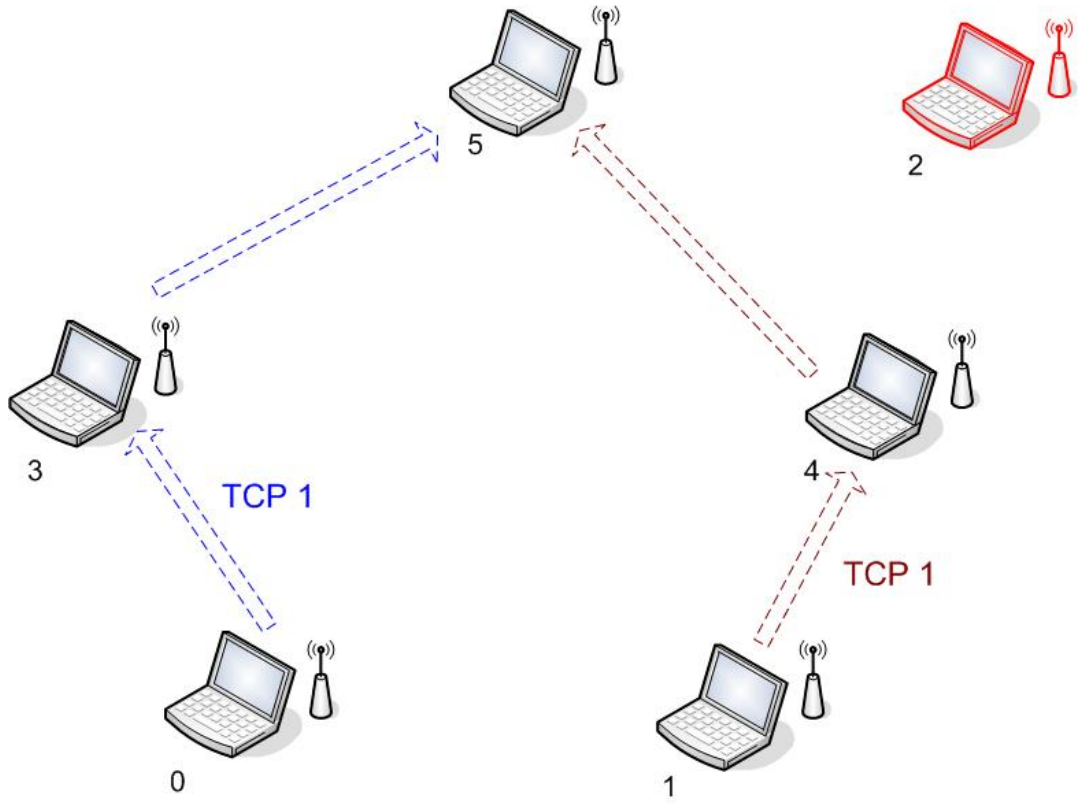
Şekil 4.17. Geliştirilen protokolün bağlantı aktarımı yapması

İkinci senaryo ile gerçekleştirilen benzetim daha karmaşık yapıdadır ve daha fazla düğüm sayısına sahiptir. İkinci senaryo ile gerçekleştirilen benzetim 6 tane eş değer düğüm kullanılmış ve bu düğümlerden üç tanesi haberleştirilmiştir. İkinci senaryo için 2 numaralı düğümün harekete geçmeden önce oluşturulan temsili görünüş Şekil 4.18’de, ikinci senaryo için 2 numaralı düğümün hareketini tamamlamasından sonra oluşturulan temsili görünüşü Şekil 4.19’da gösterilmektedir.

Şekil 4.19’da gösterildiği gibi iletişim 2 numaralı düğümün hareketini tamamladıktan sonra bağlantı kopmadan yeni yol kurularak 0-3-5 ve 1-4-5 düğümleri üzerinden kesintisiz sağlandığı görülmektedir.



Şekil 4.18. İkinci senaryonun temsili ilk görünümü



Şekil 4.19. İkinci senaryonun temsili ikinci görünümü

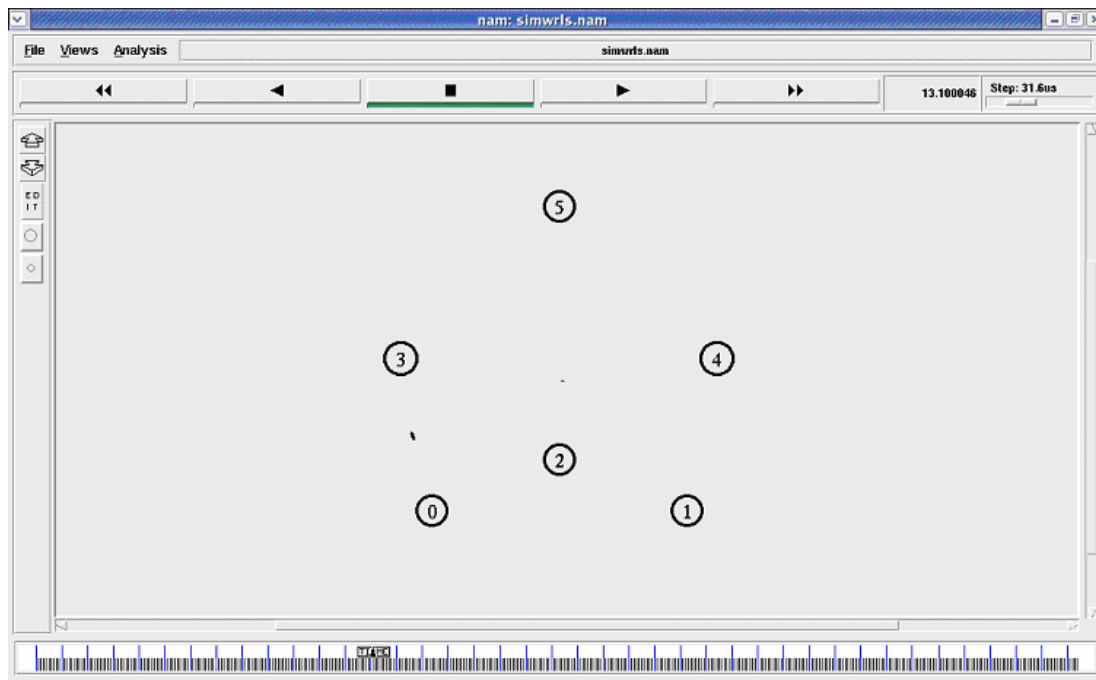
Benzetimin 10 saniyesinde 0 numaralı düğüm ile 5 numaralı düğüm arasında ve 1 numaralı düğüm ile 5 numaralı düğüm arasında 2 adet TCP üzerinden FTP trafiği başlatılmaktadır. Başlangıçta bu trafikler 2 numaralı düğüm üzerinden akmaktadır. Benzetimin 20. saniyesinde 2 numaralı düğüm harekete geçerek 450,450 koordinatına 10m/s hızla ilerlemektedir. Bu hareket neticesinde bir süre sonra bağlantılar kopmakta ve 0 ile 1 numaralı düğümler yeni yol aramaya başlamaktadır. Her bir düğümün oluşturulma parametreleri aşağıda gösterilmektedir.

```

set val(chan)      Channel/WirelessChannel    ;# kanal tipi
set val(prop)      Propagation/TwoRayGround    ;# radio-yayılmamodeli
set val(netif)      Phy/WirelessPhy           ;# ağ arayüz tipi
set val(mac)        Mac/802_11                ;# MAC tipi
set val(ifq)        Queue/DropTail            ;# arayüz kuyruk tipi
set val(ll)         LL                        ;# veribağı katmanı tipi
set val(ant)        Antenna/OmniAntenna       ;# anten modeli
set val(ifqlen)     50                       ;# arayüz uzunluğu
set val(nn)         6                        ;# düğümlerin sayısı
set val(rp)         DSR                      ;# yönlendirme protokolü
set val(x)          700                      ;# benzetim alanı X boyutu
set val(y)          700                      ;# benzetim alanı Y boyutu
set val(stop)       100                     ;# benzetim süresi

```

İkinci senaryonun ekran görüntüsü Şekil 4.20’de gösterildiği gibidir.

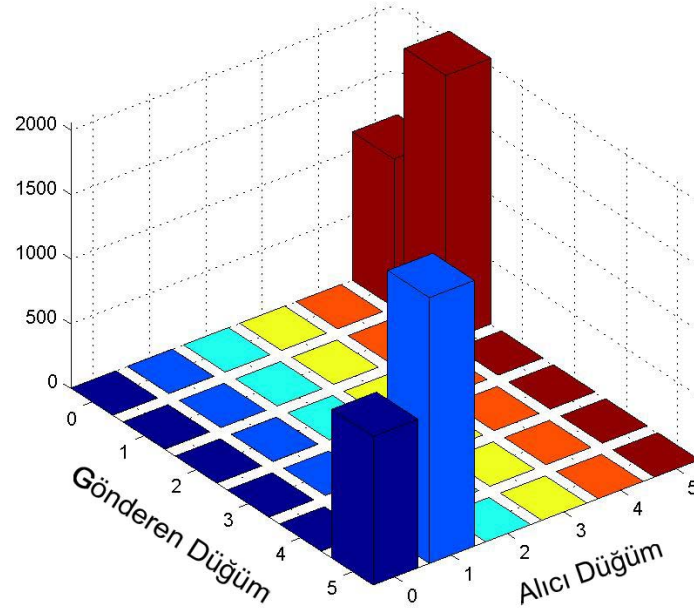


Şekil 4.20. İkinci senaryo için benzetim ekranı

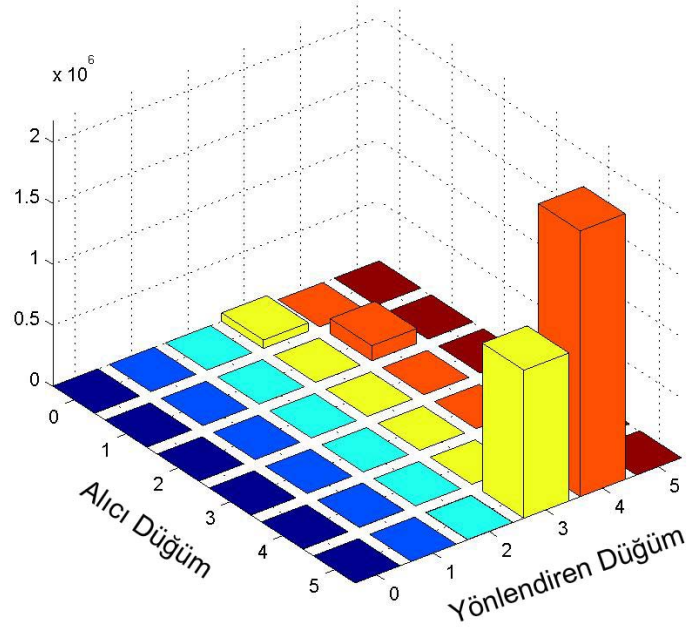
Veri trafiğini yaratmak için uygulama katmanında FTP kullanılmıştır. Benzetimin 10. saniyesinde 0 numaralı düğüm ile 5 numaralı düğüm arasında ve 1 numaralı düğüm ile 5 numaralı düğüm arasında kurulan TCP bağlantısı üzerinden FTP trafiği başlamaktadır. Bahsedilen veri trafiğini oluşturan Otcl kodları aşağıda verilmektedir.

```
set tcp(0) [new Agent/TCP/Newreno]
$tcp(0) set class_1
set sink(0) [new Agent/TCPSink]
$ns attach-agent $node_(0) $tcp(0)
$ns attach-agent $node_(5) $sink(0)
$ns connect $tcp(0) $sink(0)
$tcp(0) set maxcwnd_15
set ftp0 [new Application/FTP]
$ftp0 attach-agent $tcp(0)
$ns at 10.0 "$ftp0 start"
$ns at 90.0 "$ftp0 stop"
set tcp(1) [new Agent/TCP/Newreno]
$tcp(1) set class_2
set sink(1) [new Agent/TCPSink]
$ns attach-agent $node_(1) $tcp(1)
$ns attach-agent $node_(5) $sink(1)
$ns connect $tcp(1) $sink(1)
$tcp(1) set maxcwnd_15
set ftp1 [new Application/FTP]
$ftp1 attach-agent $tcp(1)
$ns at 10.0 "$ftp1 start"
$ns at 90.0 "$ftp1 stop"
```

İkinci senaryoda ağda alınan tüm paket sayısının düğümlere göre grafiği Şekil 4.21’de, ağdaki düğümler tarafından yönlendirilen tüm paket sayısının grafiği Şekil 4.22’de gösterilmiştir.

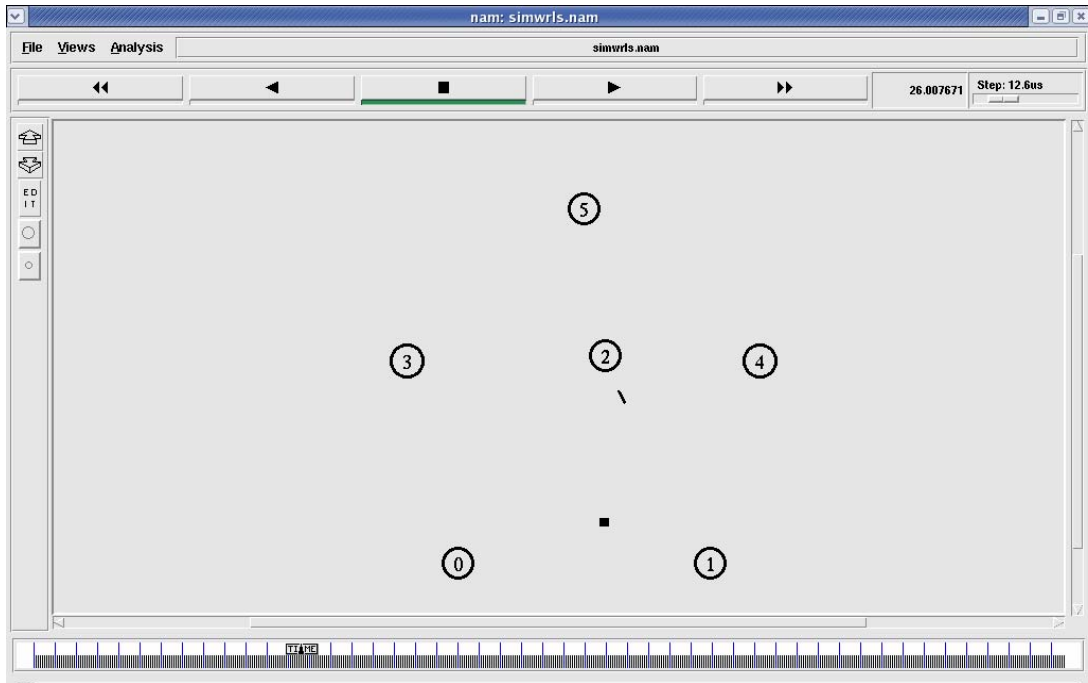


Şekil 4.21. İkinci senaryoda düğümlerin aldıkları paket sayıları dağılımı



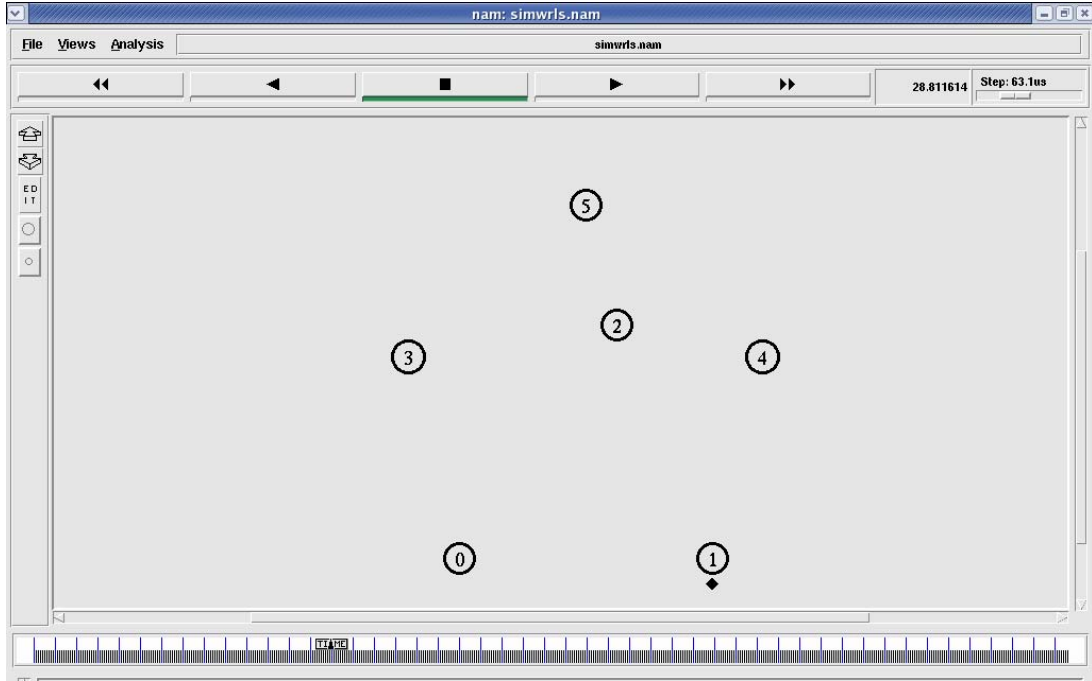
Şekil 4.22. İkinci senaryoda ağda yönlendirilen paket sayısının düğümlere göre dağılımı

İlk olarak, AODV protokolü bahsedilen senaryo ile denenerek sonuçlar elde edilmiştir. Benzetimin 10. saniyesinde 0-5 düğümleri arasında ve 1-5 düğümleri arasında TCP bağlantılar için üzerinden 2 tane FTP bağlantısı kurulmuştur. Bu bağlantılar için kullanılan yollar 0-2-5, 1-2-5 yollarıdır. Benzetimin 20. saniyesinde 2. numaralı düğüm harekete geçerek 5 numaralı düğüme yaklaşmaya başlamakta ve 0 ile 1 numaralı düğümlerden uzaklaşmaktadır. Benzetimin 25.9 saniyesinde 0 numaralı düğüm ile 2 numaralı düğüm arasındaki bağlantı kopmakta, 0 ve 2 numaralı düğümlerde paket atılması yaşanmaktadır. Bu durum Şekil 4.23 gösterilmektedir.



Şekil 4.23. İkinci senaryoda AODV protokolü ile yaşanan 0 ve 2 numaralı düğümlerde paket atılma durumu

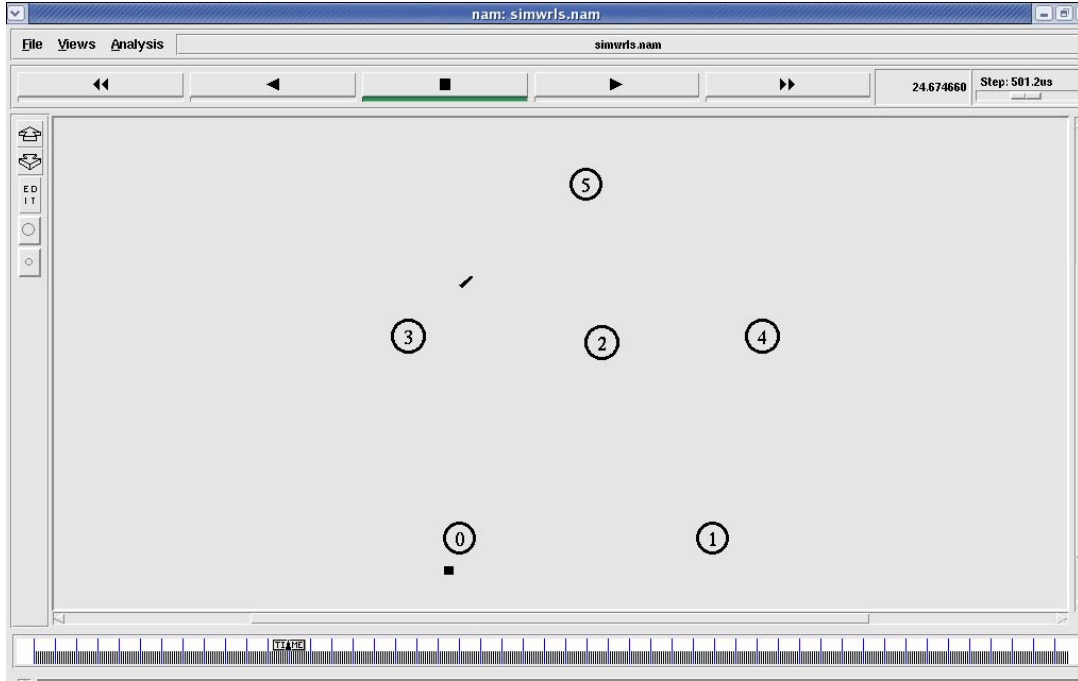
Benzetimin 28.3 saniyesinde 0 numaralı düğüm ile 3 numaralı düğüm arasında bağlantı kurulmakta ve iletişim 0-3-5 güzergahına aktarılmaktadır. Benzetimin 28.8 saniyesinde 1 numaralı düğüm ile 2 numaralı düğüm arasında bağlantı kopmakta ve 1 numaralı düğümden paket atılması yaşanmaktadır. Bu durum Şekil 4.24’de gösterilmektedir.



Şekil 4.24. İkinci senaryoda AODV protokolü ile yaşanan 1 numaralı düğümde paket atılma durumu

Bu paket atılmasının hemen ardından benzetimin 25.85 saniyesinde bir numaralı düğüm ile 0 numaralı düğüm arasında bağlantı kurulmakta, iletişim 1-0-3-5 güzergahına aktarılmaktadır. Benzetimin 29.37 saniyesinde 1 numaralı düğüm iletişimi 4 numaralı düğüm üzerinden 1-4-5 güzergahına taşımaktadır ve benzetimin sonuna kadar iletişim buradan devam ettirilmektedir. AODV protokolü ile ikinci senaryo neticesinde görülen sık bağlantı kopuklukları ve yeniden yol kurma çabaları sistem için kaynak israfı anlamına gelir.

İkinci olarak, DSDV protokolü bahsedilen senaryo ile denenerek sonuçlar elde edilmiştir. Benzetimin 10. saniyesinde 2 FTP bağlantısında başlatılıyor olmasına rağmen benzetimin 24.67 saniyesine kadar yol kurma çabaları devam etmiş ve yol ancak bu saniyede kurula bilmiştir. Yol kurulmasının hemen ardından 0 numaralı düğümde bir paket kaybı yaşanmıştır. Bu durum Şekil 4.25’de gösterilmektedir.

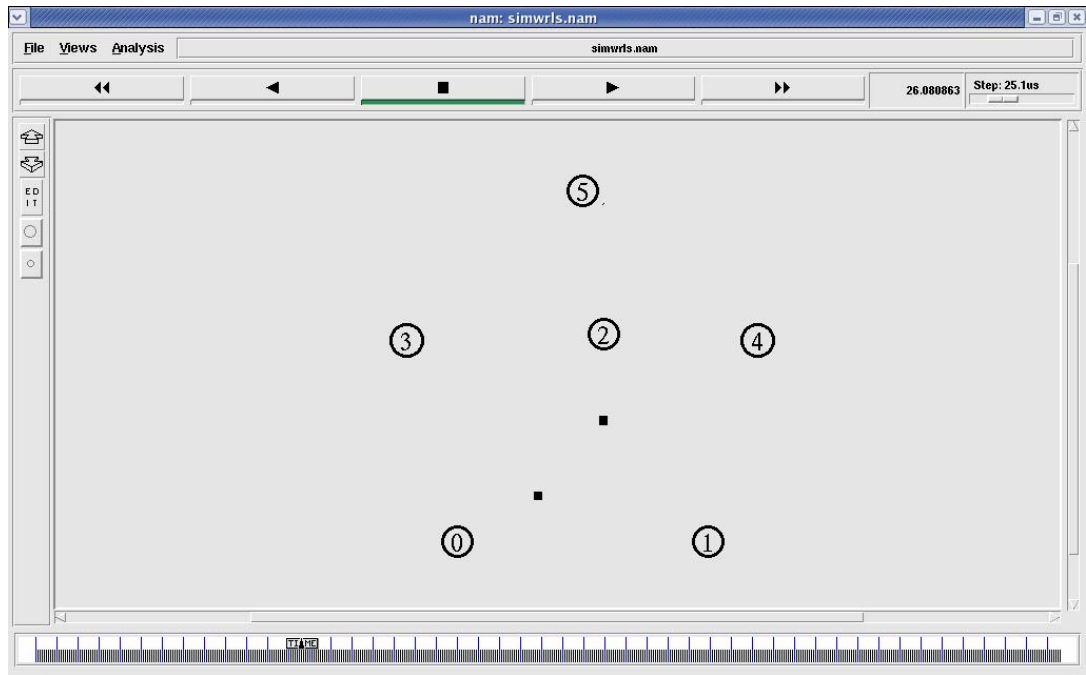


Şekil 4.25. İkinci senaryoda DSDV protokolü ile yaşanan paket atılma durumu

1 numaralı düğüm benzetimin 25.69 saniyesinde 0 numaralı düğüm üzerinden 1-0-3-5 yolunu kurmuş fakat 25.85 saniyesinde bu yolu bırakıp 4 numaralı düğüm üzerinde 1-4-5 yolunu kurmuştur. 0 numaralı düğüm ile 1 numaralı düğüm benzetimin sonuna kadar sırası ile 0-3-5 ve 1-4-5 güzergahlarını kullanarak iletişimi devam ettirmişlerdir. Başlangıçta 2 numaralı düğüm 0 ve 1 numaralı düğümlere daha yakın olmasına rağmen 2 numaralı düğüm üzerinden hiç aktarım yapılmamış ve ağdaki diğer düğümler kullanılmıştır.

Son olarak geliştirilen protokol ile denenerek sonuçlar elde edilmiştir. Benzetimin 10. saniyesinde 0 numaralı düğüm ile 5 numaralı düğüm arasında ve 1 numaralı düğüm ile 5 numaralı düğüm arasında TCP üzerinden FTP trafiği başlamıştır. 2 numaralı düğümün hareketliliği neticesinde 0. düğüm ile 2 inci düğüm arasındaki mesafe açılmış, geliştirilen yöntem gereği bağlantının kopmak üzere olduğunu tespit eden 0 numaralı düğüm yeni bir yol aramış ve iletişimi 3 numaralı düğüm üzerinden 0-3-5 güzergahına kaydırmıştır. Bu aşamada paket atılması yaşanmamıştır. 2 numaralı düğüm hareketine devam ederek 27.5 saniyede 1 numaralı düğümün menzilinden çıkmaya yaklaşmış bunun üzerine 1 numaralı düğüm yeni bir yol

arayarak trafiği 4 numaralı düğüm üzerinden 1-4-5 güzergahına kaydirmiştir. Benzetimin 26. saniyesinde 2 numaralı düğümde paket atılmaları meydana geldiği görülmüştür fakat bu paket atılmaları yol kopukluğundan değil ağda meydana gelen çatışma veya zaman aşımı gibi nedenlerden dolayıdır. Zaten trafiğin 27.5 saniyede başka bir yola aktarılması da bunu göstermektedir. Bu paket atılma durumu Şekil 4.26’da gösterilmiştir. Benzetimin kalan süresince trafiklerde bir değişiklik olmamış ve benzetim bu şekilde sona ermiştir.

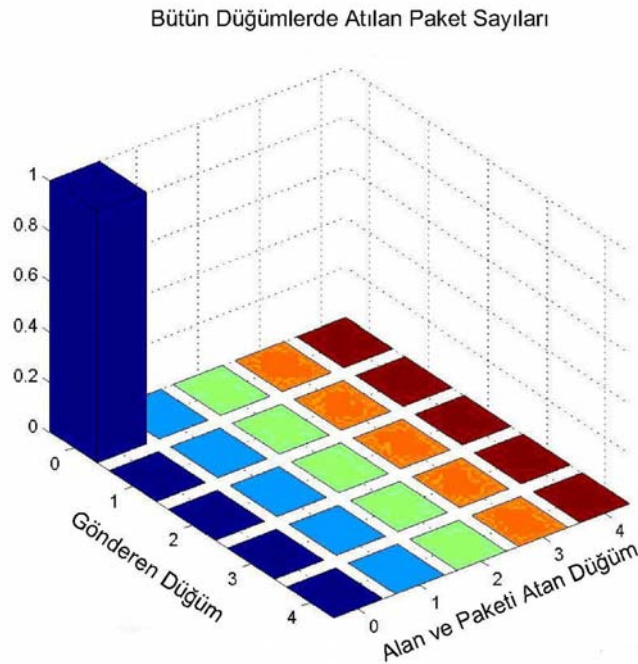


Şekil 4.26. İkinci senaryoda geliştirilen protokolle paket atılma durumu.

5.DENEYSEL SONUÇLAR

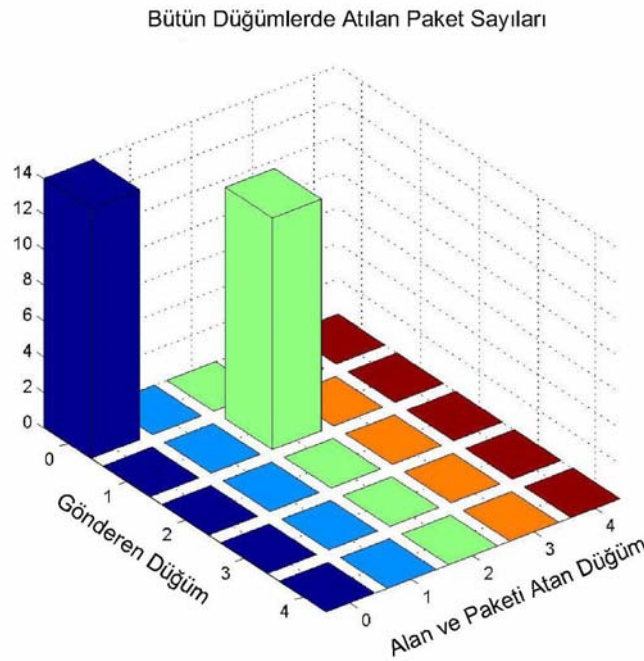
Geliştirilen protokol ile AODV ve DSDV protokolleri karşılaştırılarak çeşitli sonuçlar elde edilmiştir. Bir protokolün hareketlilik durumunda nasıl tepki verdiğini görmek için üç kriter göz önüne alınmıştır. Bunlardan birincisi tüm ağda meydana paketlerin atılma durumudur. İkinci kriter ise yeniden bağlantı kurma süresidir. Üçüncü kriter ise uçtan uca gecikme durumudur.

AODV protokolü ve ilk senaryo ile gerçekleştirilen benzetim sonucunda elde edilen atılan paketler grafiği Şekil 5.1’de gösterilmektedir. 0 numaralı düğümün oluşturduğu paketlerin 0 numaralı düğümde atıldığı görülmektedir. 0 numaralı düğüm 4 numaralı düğüme paketi yollamaya çalışmaktadır. Bağlantı koptuğu için Paketi yollayamıyor ve bağlantının koptuğunu anlıyor. Yeniden yol bulmaya çalışıyor. Bu yüzden oluşturduğu paketi atıyor. AODV protokolüyle 1 paket atılmıştır.



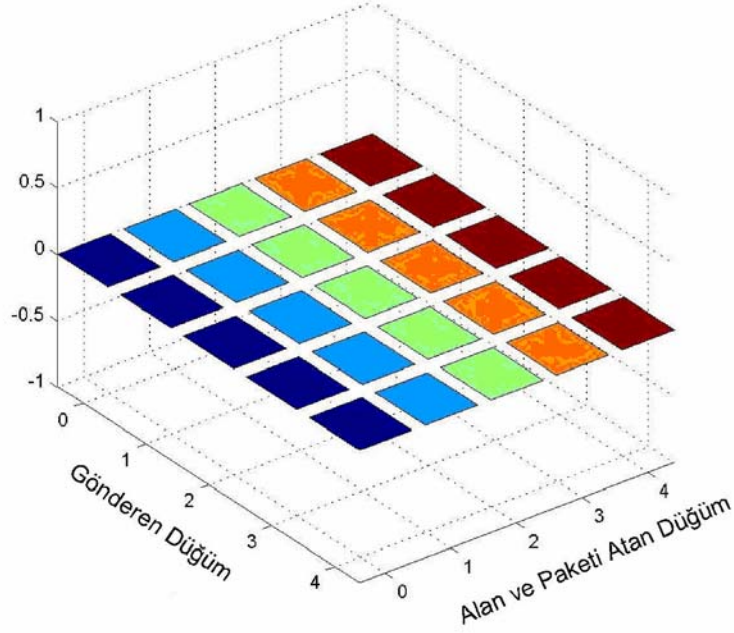
Şekil 5.1. AODV protokolü ile ilk senaryoda atılan paket sayıları

DSDV protokolü ve birinci senaryo ile gerçekleştirilen benzetim sonucunda elde edilen atılan paketler grafiği Şekil 5.2’de gösterilmektedir. 0 numaralı düğümün oluşturduğu paketlerin 0 numaralı düğümde atıldığı görülmektedir. 1 numaralı düğümün oluşturduğu paketlerin 2 numaralı düğümde atıldığı görülmektedir. Bu atılan paketlerde Geri Bildirim Paketi (ACK) paketleridir. 0 numaralı düğüm 4 numaralı düğümüne paketi yollamaya çalışmaktadır. Bağlantı koptuğu için paketi yollayamıyor ve bağlantının koptuğunu anlıyor. Yeniden yol bulmaya çalışıyor. Bu yüzden oluşturduğu paketi atıyor. DSDV protokolüyle 24 paket atılmıştır.



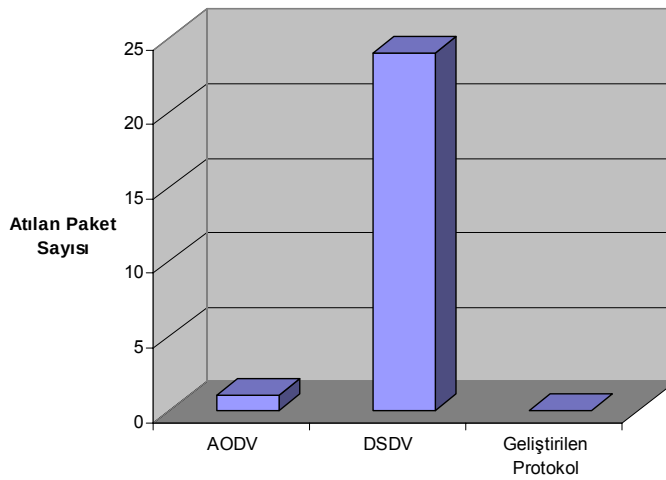
Şekil 5.2. DSDV protokolü ile ilk senaryoda atılan paket sayıları

Geliştirilen yönlendirme protokolü ve ilk senaryo ile gerçekleştirilen benzetim sonucunda elde edilen atılan paketler grafiği Şekil 5.3’de gösterilmektedir. Şekilde 5.3’de atılan paket olmadığı görülmektedir. AODV yönlendirme protokolünde bağlantı kopup bağlantının sağlanması için belli bir süre geçtiği için paket atılmaktadır. Geliştirilen protokolde ise bağlantının kopacağı önceden tahmin edilip farklı bir yol bulunarak iletişim kesintisiz devam ettirildiği için paket atılması yaşanmamıştır.



Şekil 5.3. Geliştirilen protokol ile ilk senaryoda atılan paket sayıları

Ağın toplamında atılan paket sayılarının yönlendirme protokollerine göre dağılımı şekil 5.4 gösterilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi geliştirilen protokolden hiç paket atılması yaşanmamıştır. Paket atılma oranlarında geliştirilen protokolün ilk senaryo için daha iyi sonuç verdiği görülmüştür.



Şekil 5.4. İlk Senaryoda atılan paket sayıları karşılaştırması

İkinci kıstas olan yeniden bağlantı kurma süresi AODV protokolü ile gerçekleştirilen senaryoda bağlantının kopması 119,44 saniyede gerçekleşmekte ve tekrar bağlantının kurulması 119,98 saniyede gerçekleşmektedir. Bağlantının kurulması için 0.548 saniye geçmektedir. Bu süre içerisinde bağlantı sekteye uğramakta ve ağ kaynakları boşa tüketilmektedir.

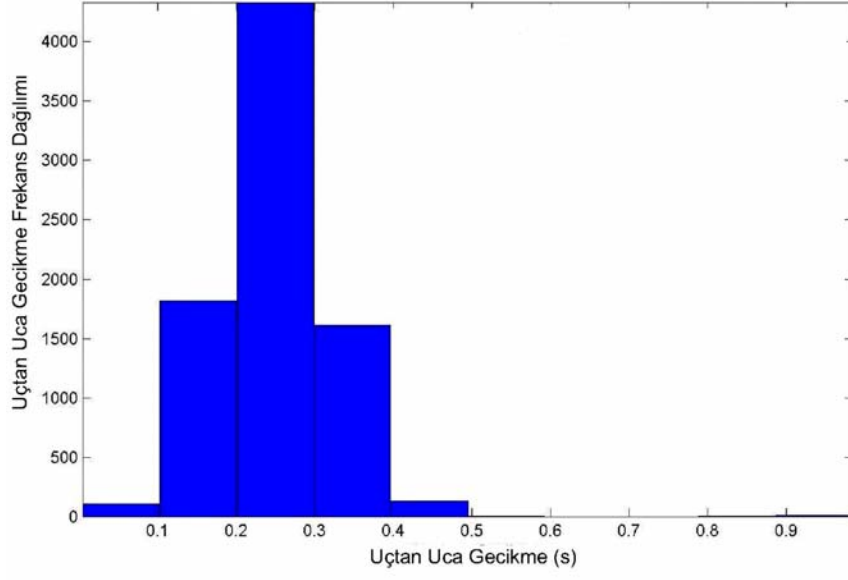
DSDV protokolü ile birinci senaryoda elde edilen benzetim sonuçları neticesinde 10. saniyede başlaması gereken veri trafiğinin 36. saniyede başladığı görülmüştür. Bu durum kaynakların 16 saniye boyunca boşa kullanıldığını göstermektedir. Ayrıca birçok defa yaşanan yeniden yol kurma süreci de ağa ek maliyet getirmektedir.

Geliştirilen protokolün 1 senaryosunda elde edilen benzetim sonuçları neticesinde bağlantının kopacağına önceden karar verilip farklı bir yol bulunması ve aktarımın bu yol üzerinden devam etmesi ile herhangi bir bekleme yaşanmadığı görülmüştür. Düğümler arasında oluşturulan fiziksel bağlantının hızı 2Mbit olduğu düşünülürse yaklaşık olarak bu senaryoda 1Mbitlik toplam bir kayıp söz konusudur. Bağlantı kopmalarının daha sık yaşandığı durumlarda 1Mbitlik kaybın katlanarak artacağı görülebilir.

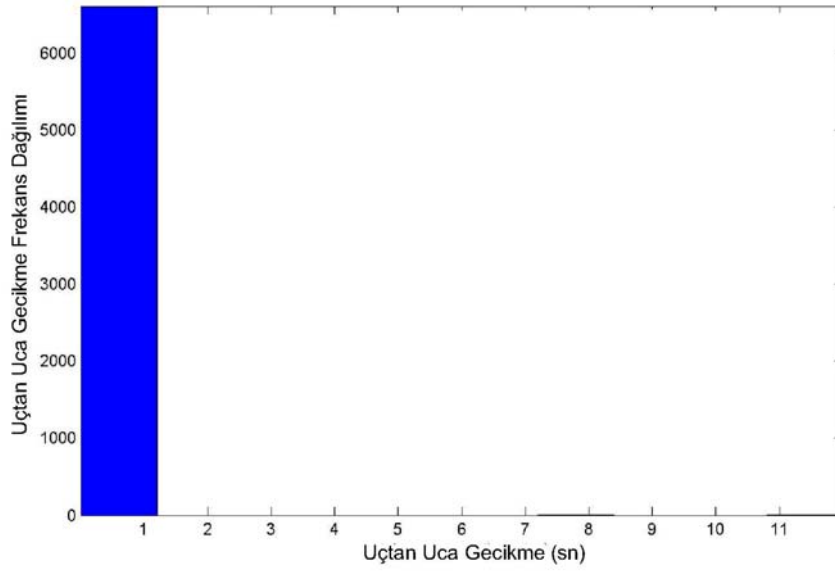
AODV ve DSDV protokolleri ile ilk senaryoda gerçekleştirilen uçtan uca gecikme frekans dağıtım benzetimi Şekil 5.5 ve Şekil 5.6'da gösterilmektedir. Geliştirilen protokol ile ilk senaryoda gerçekleştirilen uçtan uca gecikme frekans dağıtım benzetimi Şekil 5.7'de gösterilmektedir.

Bir diğer kıstas olan uçtan uca gecikme durumu: AODV protokolünde 0 ile 0.1 saniye gecikme değerine sahip olan 100 tane paket vardır. Geliştirilen protokol ile ilk senaryoda ise 0 ile 0.1 saniye gecikme değerine sahip olan 500 tane paket vardır. Ancak bu tür küçük gecikmeler yönlendirme protokoller için önemli değildir. AODV protokolünde 0.1 ile 0.2 saniye gecikme değerine sahip olan 1800 tane paket vardır. Geliştirilen protokol ile ilk senaryoda ise 0.1 s ile 0.2 s arasında gecikme değerine sahip olan 1400 tane paket vardır. Görüldüğü gibi geliştirilen protokolde gecikmeye sahip olan paket sayısı daha düşüktür. AODV protokolünde 0.2 s ile 0.3 s arasında

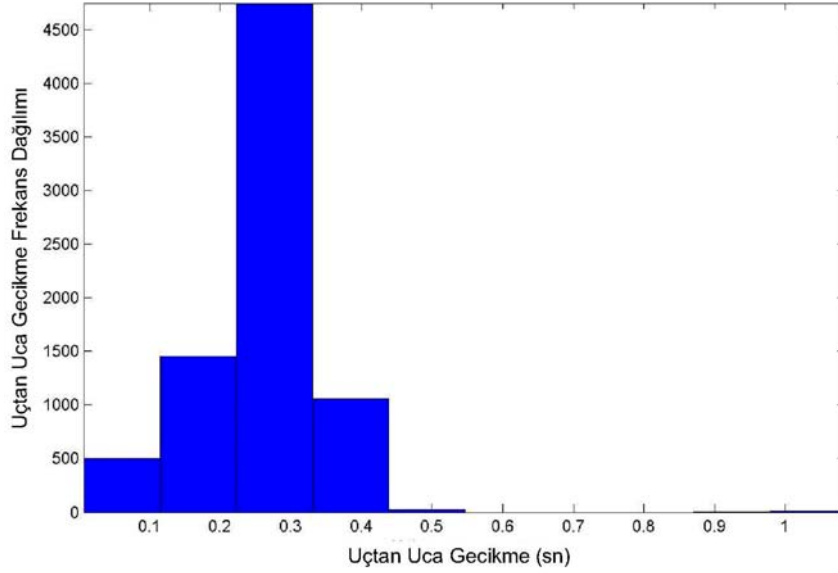
gecikme değerine sahip olan 4500 tane paket vardır. DSR protokolünde 0.2 s ile 0.25 s arasında gecikme değerine sahip olan 1500 tane paket ve 0.25 s ile 0.3 s arasında 1200 tane paket vardır. Geliştirilen protokol ile ilk senaryoda ise 0.2 s ile 0.3 s arasında gecikme değerine sahip olan 4750 tane paket vardır. AODV protokolünde 0.3 s ile 0.4 s arasında gecikme değerine sahip olan 1500 tane paket vardır. Geliştirilen protokol ile ilk senaryoda ise 0.3 s ile 0.4 s arasında gecikme değerine sahip olan 1000 tane paket vardır. AODV protokolünde 0.4 s ile 0.5 s arasında gecikme değerine sahip olan 200 tane paket vardır. Geliştirilen protokol ile ilk senaryoda ise 0.4 s ile 0.5 s arasında gecikme değerine sahip olan paket sayısı yok denecek kadar azdır. AODV protokolü ve geliştirilen protokolde 0.5 s ve 1 s arasında gecikme değerine sahip olan paket sayısı yok denecek kadar azdır. DSDV protokolünde 0 ile 1 saniye gecikme değerine sahip olan 6000 taneden fazla paket vardır. Geliştirilen protokol ile ilk senaryoda ise 0.5 s ile 1 s arasında gecikme değerine sahip olan paket sayısı yok denecek kadar azdır.



Şekil 5.5. AODV protokolü ile ilk senaryoda gerçekleştirilen uçtan uca gecikme frekans dağıtım benzetimi



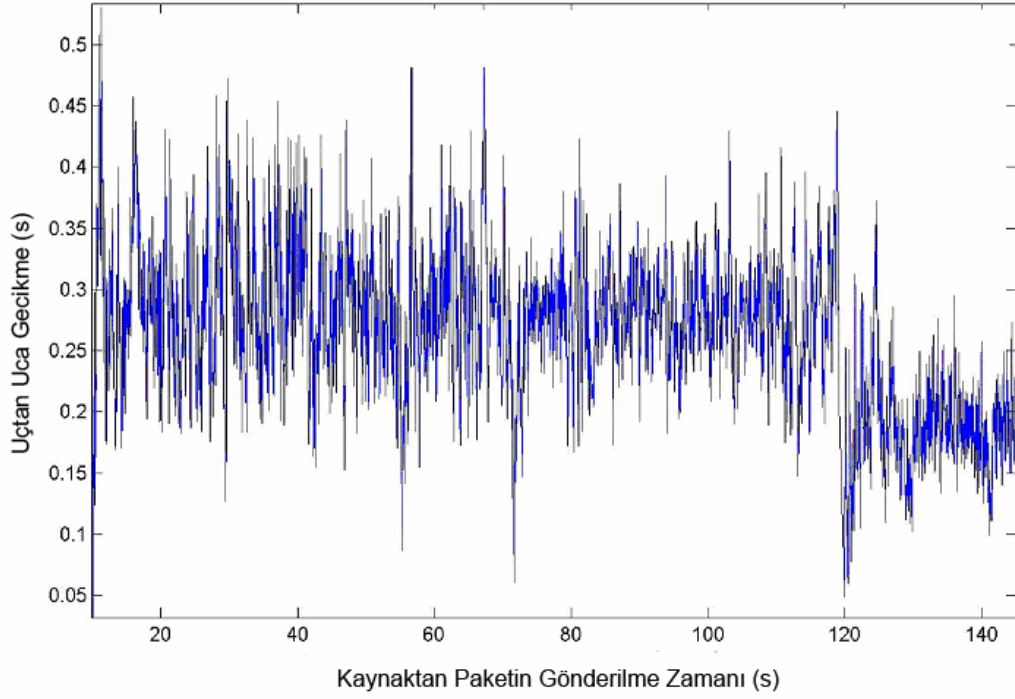
Şekil 5.6. DSDV protokolü ile ilk senaryoda gerçekleştirilen uçtan uca gecikme frekans dağıtım benzetimi



Şekil 5.7. Geliştirilen protokol ile ilk senaryoda gerçekleştirilen uçtan uca gecikme frekans dağıtım benzetimi

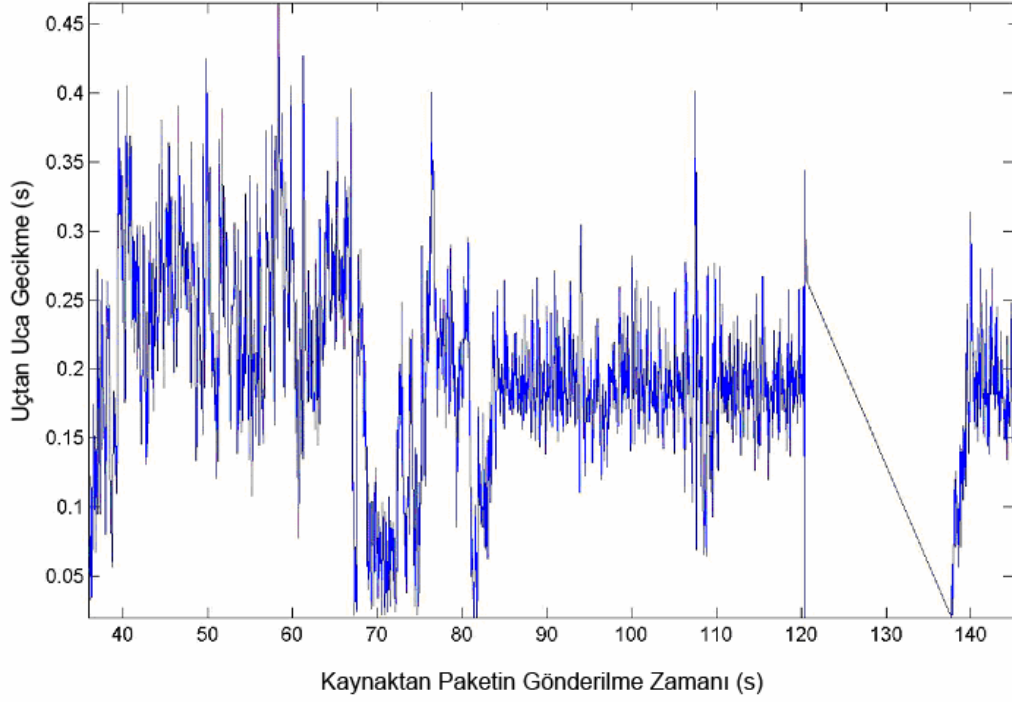
Uçtan uca gecikme frekans dağıtım benzetimi grafiğinde geliştirilen protokolle AODV’de daha az uçtan uca gecikmeye sahip olduğu görülmüştür. Bu da paket bekleme sürelerinin daha az olduğunu gösterir. DSDV protokolü ile hemen hemen aynıdır.

AODV protokolü kullanılarak ilk senaryo ile gerçekleştirilen benzetimde olay zamanına karşılık uçtan uca gecikme süreleri grafiği Şekil 5.8’de gösterilmiştir. Uçtan uca gecikme değerleri 119-120 saniyeler arasında küçük bir yükselişten sonra 0 değerine yaklaşmaktadır. Çünkü bağlantı kopmakta ve yeniden kurulmaktadır. Bağlantı yeniden kurulunca uçtan uca gecikmeler azalır. Bu durumun nedeni daha yakın bir düğüm üzerinden aktarımın devam etmesidir. Yeniden kurulan yol daha kısa olduğu için uçtan uca gecikmeler azalmaktadır. Uçtan uca gecikmeler 0 seviyesine yaklaşıyor. 120 saniyede ani bir yükseliş vardır. Uçtan uca gecikmeler 120 saniyeden sonra tekrar yükselmekte ve aynı seviyede gitmektedir.



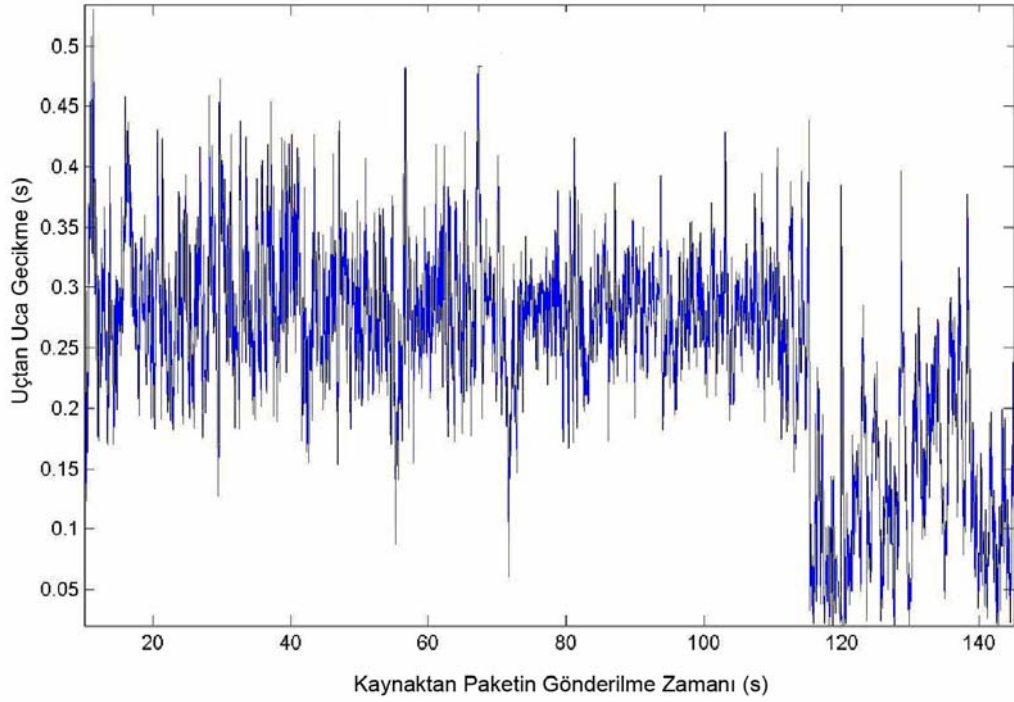
Şekil 5.8. AODV protokolü kullanılarak ilk senaryo ile gerçekleştirilen benzetimde olay zamanına karşılık uçtan uca gecikme süreleri

DSDV protokolü kullanılarak ilk senaryo ile gerçekleştirilen benzetimde olay zamanına karşılık uçtan uca gecikme süreleri grafiği Şekil 5.9’da gösterilmiştir. Uçtan uca gecikme değerleri bağlantı kopmadan hemen önce 120 saniyede 0 yaklaşıyor. Sonra tekrar eski seyrine dönüyor. 120-140 saniyeler arasında bağlantı kurulamadığı için herhangi bir uçtan uca gecikme değeri elde edilememiş ve bu durum grafiğe boşluk olarak yansımıştır. 120 saniyede 2. düğümün hareketinden dolayı bağlantı koptuğu için 0 numaralı düğüm yeni bir yol aramakta, 140 saniyede bulmakta ve grafikte uçtan uca gecikme değerleri görülmektedir.



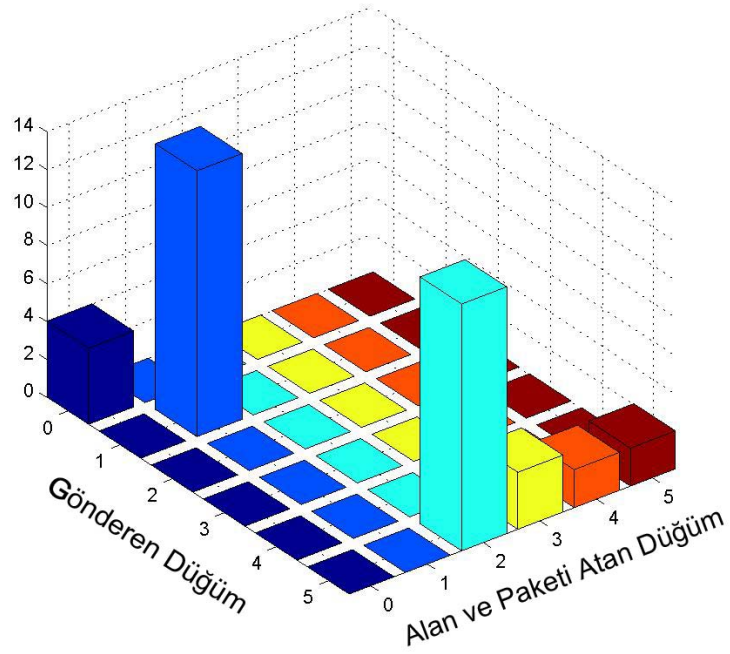
Şekil 5.9. DSDV protokolü kullanılarak ilk senaryo ile gerçekleştirilen benzetimde olay zamanına karşılık uçtan uca gecikme süreleri

Geliştirilen protokol ile birinci senaryo ile gerçekleştirilen benzetimde olay zamanına karşılık uçtan uca gecikme süreleri grafiği Şekil 5.10'da gösterilmiştir. 0 numaralı düğüm 115 saniyede bağlantının kopacağını anlıyor. 115 saniyede bağlantı kopmadan yeni yol bularak aktarımı buraya aktarıyor. Bu yüzden uçtan uca gecikmeler azalıyor. Geliştirdiğimiz protokolde uçtan uca gecikmeler daha düşüktür. AODV Protokolü için uyguladığımız bu protokolde 1 kere bağlantı kopmuştur. Daha fazla düğümün olduğu ve düğümlerin sık sık hareket ettiği senaryolar göz önünde bulundurulduğunda paket atılmalarının, uçtan uca gecikmelerin ve yeni bağlantı kurma maliyetlerinin önemi daha iyi görülmektedir.



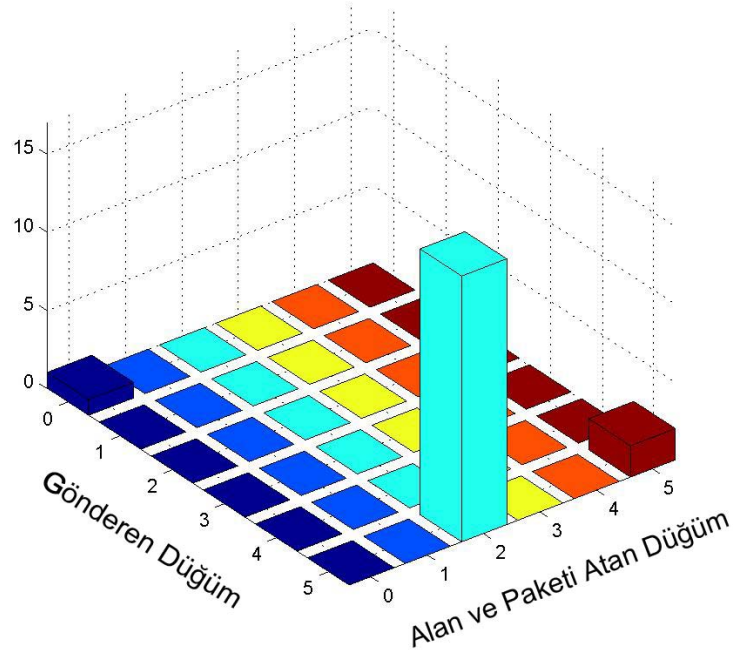
Şekil 5.10. Geliştirilen protokol ile birinci senaryo ile gerçekleştirilen benzetimde olay zamanına karşılık uçtan uca gecikme süreleri

AODV protokolü ve ikinci senaryo ile gerçekleştirilen benzetim sonucunda elde edilen atılan paketler grafiği Şekil 5.11’de gösterilmektedir. 0 numaralı düğümün oluşturduğu paketlerin 0 numaralı düğümde atıldığı görülmektedir. 1 numaralı düğümün oluşturduğu paketlerin 1 numaralı düğümde atıldığı görülmektedir. 5 numaralı düğümün oluşturduğu paketlerin 2,3,4 ve 5 numaralı düğümde atıldığı görülmektedir. AODV protokolünde 30 paket atılmıştır.



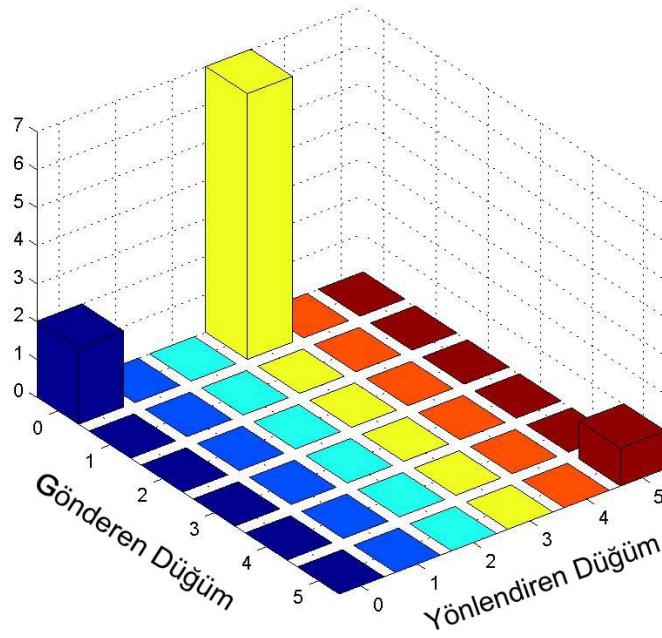
Şekil 5.11. AODV protokolü kullanılarak ikinci senaryo ile gerçekleştirilen benzetim sonucunda elde edilen atılan paketler grafiği

DSDV protokolü ve ikinci senaryo ile gerçekleştirilen benzetim sonucunda elde edilen atılan paketler grafiği Şekil 5.12’de gösterilmektedir. 0 numaralı düğümün oluşturduğu paketlerin 0 numaralı düğümde atıldığı görülmektedir. 5 numaralı düğümün oluşturduğu paketlerin 2 ve 5 numaralı düğümde atıldığı görülmektedir. DSDV protokolüyle 18 paket atılmıştır.



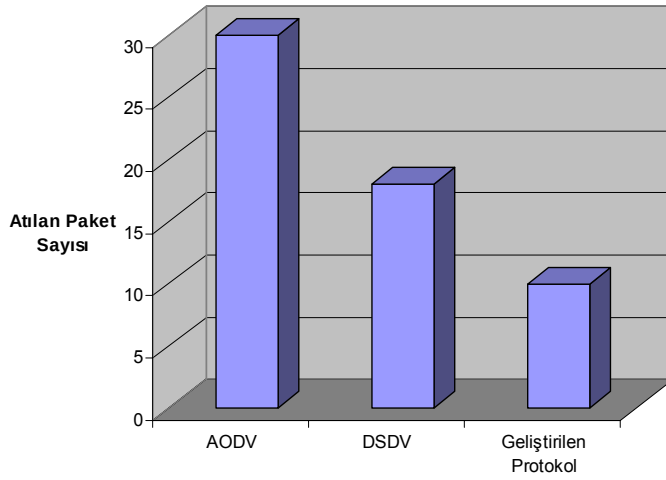
Şekil 5.12. DSDV protokolü kullanılarak ikinci senaryo ile gerçekleştirilen benzetim sonucunda elde edilen atılan paketler grafiği

Geliştirilen protokol kullanılarak ikinci senaryo ile gerçekleştirilen benzetim sonucunda elde edilen atılan paketler grafiği şekil 5.13’de gösterilmektedir. 0 numaralı düğümün oluşturduğu paketlerin 0 ve 3 numaralı düğümlerde atıldığı görülmektedir. 5 numaralı düğümün oluşturduğu paketlerin 5 numaralı düğümden atıldığı görülmektedir. Geliştirilen protokolde 10 paket atılmıştır.



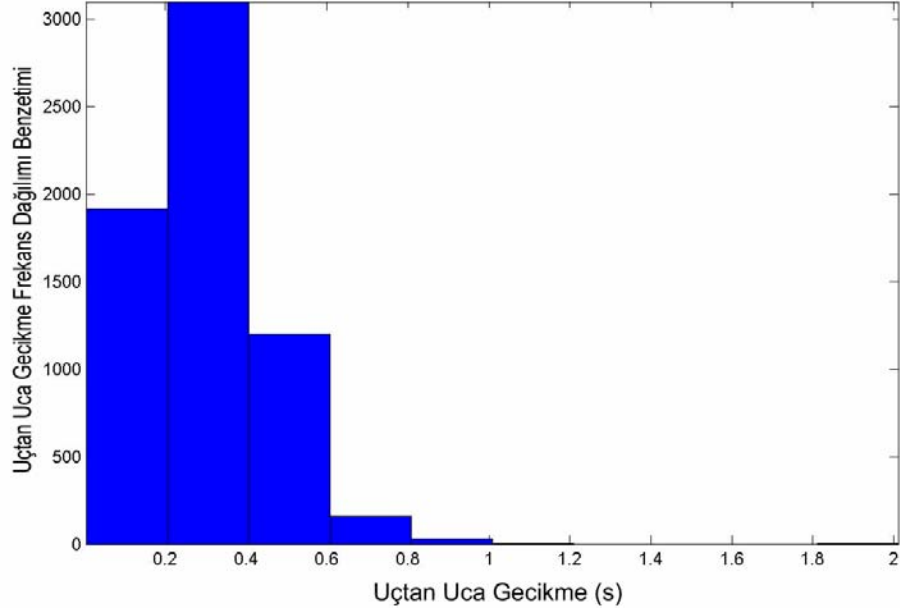
Şekil 5.13. Geliştirilen protokol kullanılarak ikinci senaryo ile gerçekleştirilen benzetim sonucunda elde edilen atılan paketler grafiği

Ağın toplamında atılan paket sayılarının yönlendirme protokollerine göre dağılımı Şekil 5.14’te gösterilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi geliştirilen protokolün diğer protokollerden daha az paket atılması neden olduğu görülmektedir. Paket atılma oranlarında geliştirilen protokolün ikinci senaryo için daha iyi sonuç verdiği görülmüştür.

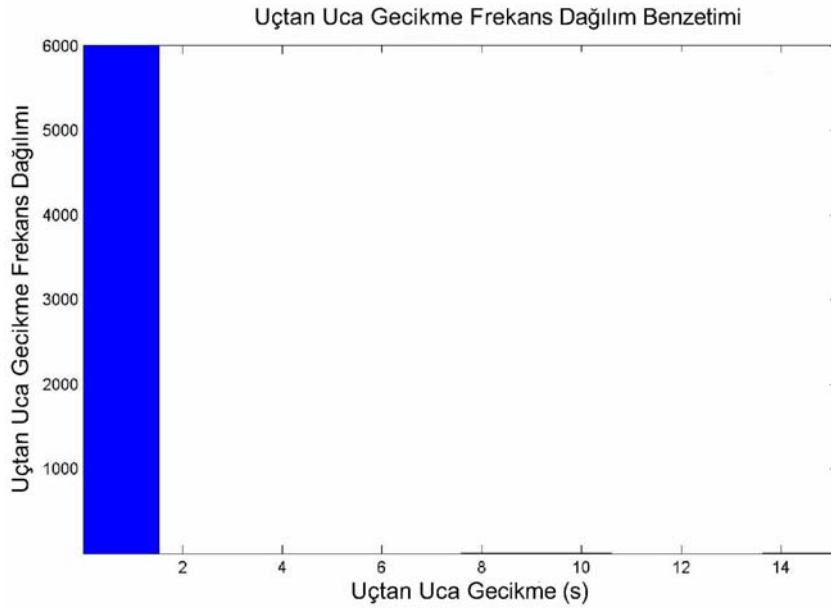


Şekil 5.14. İlk Senaryoda atılan paket sayıları karşılaştırması

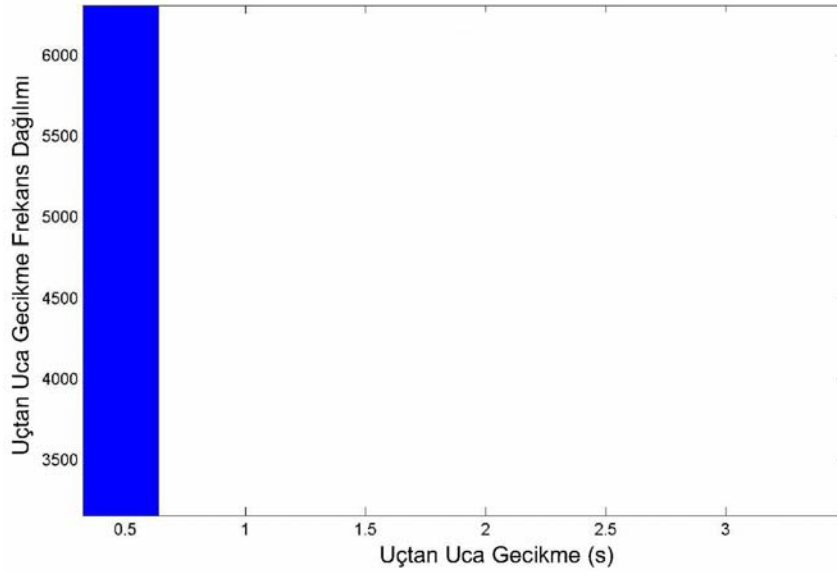
AODV ve DSDV protokolleri ile ikinci senaryoda gerçekleştirilen uçtan uca gecikme frekans dağıtım benzetimi Şekil 5.15 ve 5.16’da gösterilmektedir. Geliştirilen protokol ile ilk senaryoda gerçekleştirilen uçtan uca gecikme frekans dağıtım benzetimi Şekil 5.17’de gösterilmektedir. Bu grafikler neticesinde ilk senaryoda da görüldüğü gibi bağlantılarda yaşanan uçtan uca gecikmelerin geliştirilen protokol ile önemli ölçüde azaltıldığı görülmüştür. Bir yönlendirme protokolü için en önemli kriterlerden biri olan uçtan uca gecikme değerlerinin mümkün olduğu kadar düşük tutulması çok önemlidir. Ayrıca yaşanan gecikmelerin sürelerinin geliştirilen protokol için paketlerin büyük bir kısmında düşük seyrettiği de bu grafiklerden görülmektedir.



Şekil 5.15. AODV protokolü ile ikinci senaryoda gerçekleştirilen uçtan uca gecikme frekans dağıtım benzetimi



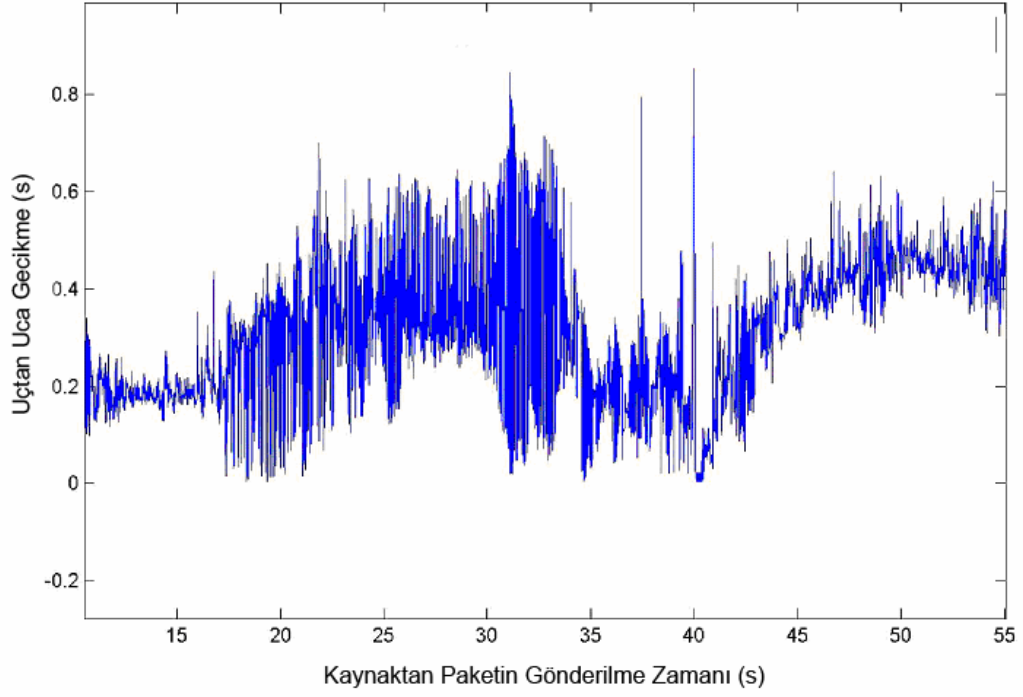
Şekil 5.16. DSDV protokolü ile ikinci senaryoda gerçekleştirilen uçtan uca gecikme frekans dağıtım benzetimi



Şekil 5.17. Geliştirilen protokol ile ikinci senaryoda gerçekleştirilen uçtan uca gecikme frekans dağıtım benzetimi

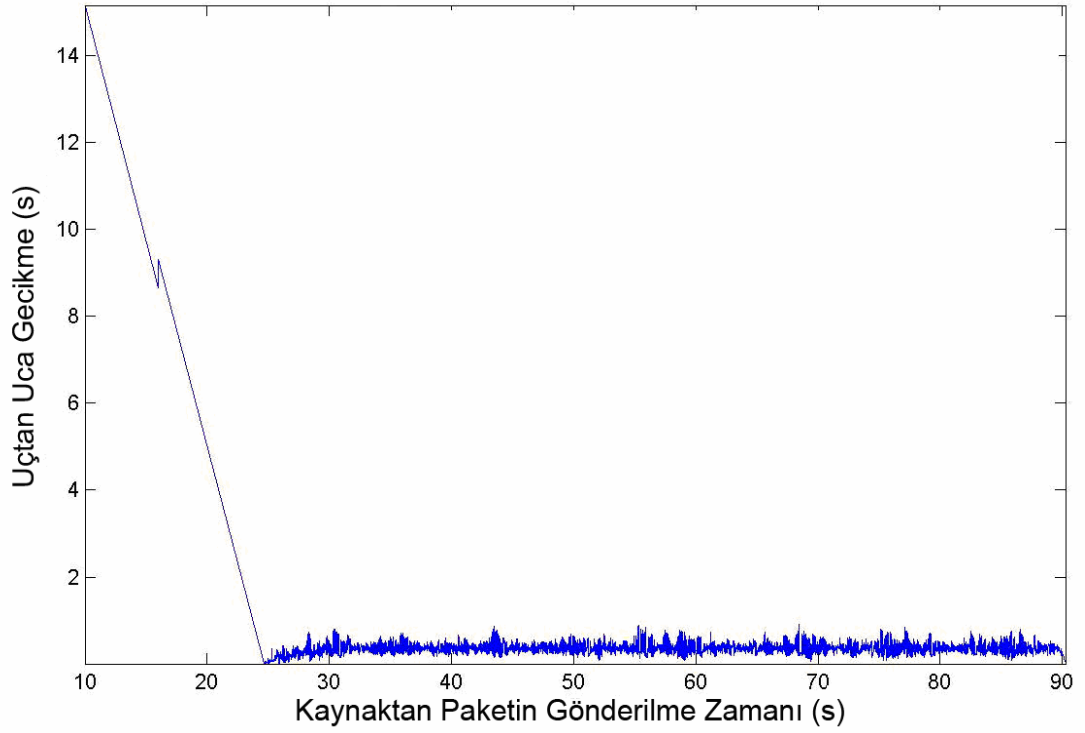
AODV ve DSDV protokolleri ile ikinci senaryoda gerçekleştirilen benzetimde olay zamanına karşılık uçtan uca gecikme süreleri Şekil 5.18, 5.19 ve 5.20’de gösterilmektedir. Geliştirilen protokol ile ikinci senaryo ile gerçekleştirilen benzetimde olay zamanına karşılık uçtan uca gecikme süreleri Şekil 5.21’de gösterilmektedir.

Şekil 5.18’de AODV protokolünün uçtan uca gecikmelerinin 2 numaralı düğümün hareket zamanı olan 20. saniye ile birlikte artmaya başladığı görülmektedir. Yaşanan bağlantı kopuklukları ve yeniden yol kurma işlemleri neticesinde uçtan uca gecikmelerin azalma ve artma gösterdiği görülmektedir. Genel olarak uçtan uca gecikmelerin seyri yüksek olarak gözlemlenmiştir.



Şekil 5.18. AODV protokolü kullanılarak ikinci senaryo ile gerçekleştirilen benzetimde olay zamanına karşılık uçtan uca gecikme süreleri

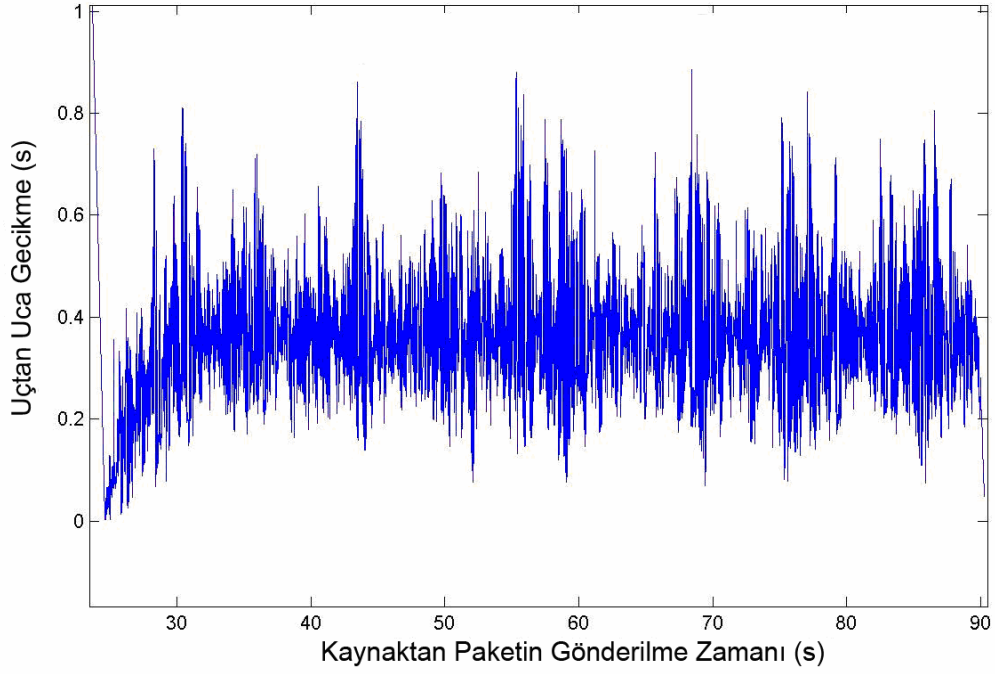
Şekil 5.19’da DSDV protokolünün uçtan uca gecikmesinin 10.saniye ile 25. saniyeler arasında düştüğü fakat bu aralıkta bir iletişimin olmadığı görülmektedir. 10. saniye ile 25. saniyeler arasında bağlantı kurulamadığından dolayı uçtan uca gecikme süreleri düşüktür. Yani DSDV protokolü bu aralığı boşa harcamıştır.15 saniye kadar bağlantı kurulamamıştır.



Şekil 5.19. DSDV protokolü kullanılarak ikinci senaryo ile gerçekleştirilen benzetimde olay zamanına karşılık uçtan uca gecikme süreleri

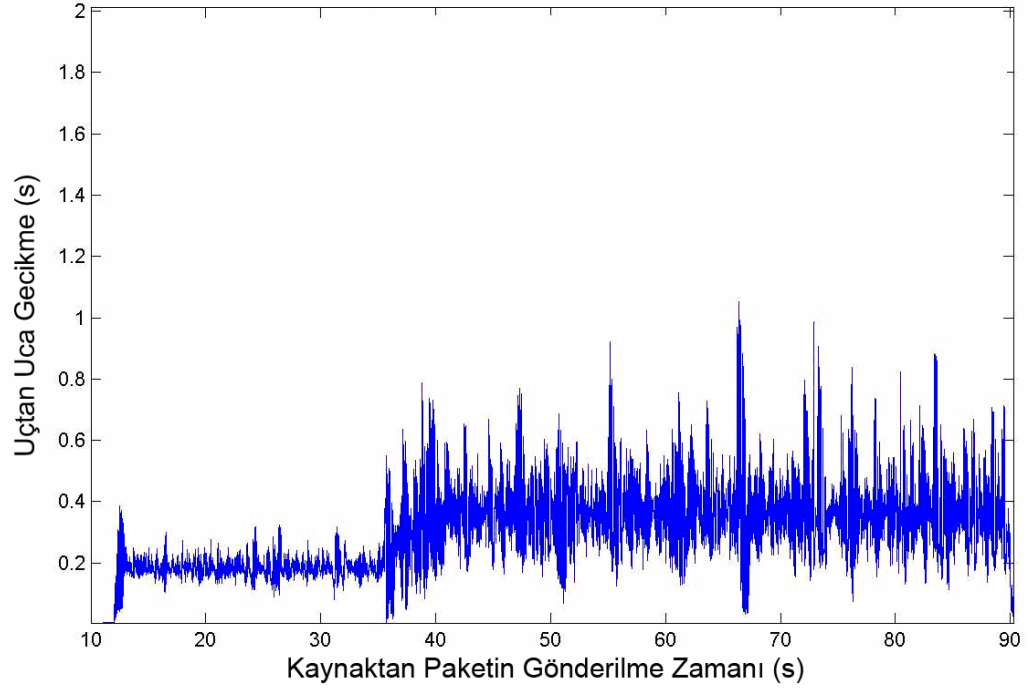
Şekil 5.19’da 25 saniyeden sonra uçtan uca gecikmeleri tekrar yükseldiği görülmektedir

25 saniyede iletişimin başlamasıyla birlikte daha detaylı olarak gösteren Şekil 5.20’ye bakıldığında uçtan uca gecikmelerin AODV protokolünde olduğu gibi yüksek değerlerde seyrettiği görülmektedir.



Şekil 5.20. DSDV protokolü kullanılarak ikinci senaryo ile gerçekleştirilen benzetimde olay zamanına karşılık uçtan uca gecikme sürelerinin ayrıntılı görünümü

Şekil 5.21’de geliştirilen protokolün uçtan uca gecikmelerine bakıldığında benzetimin başlarında uçtan uca gecikmelerin çok düşük seyrettiği görülmektedir. Yeni bağlantıların kurulması ile birlikte uçtan uca gecikmelerde bir artış yaşanmıştır ve benzetimin sonuna kadar aynı düzeylerde seyretmiştir.



Şekil 5.21. Geliştirilen protokol ile ikinci senaryo ile gerçekleştirilen benzetimde olay zamanına karşılık uçtan uca gecikme süreleri

3 protokolün de olay zamanına karşılık uçtan uca gecikme süreleri grafiklerine bakıldığında burada da en iyi sonuçları veren protokolün geliştirilen protokol olduğu görülmektedir.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tezde ad-hoc kablosuz ağlarda hareketlilik yönetimi için bir protokol geliştirilmiştir. Geliştirilen protokol ns-2 benzetim aracı kullanılarak test edilmiş ve kablosuz ağlarda yaygın olarak kullanılan AODV ve DSDV protokolü ile karşılaştırılmıştır. Yaygın olarak kullanılan yönlendirme protokolleri en kısa yol üzerinden iletişim kurmayı amaçlamaktadır. Ancak hareketlilik açısından bakıldığında her zaman en kısa yolu kullanmak iyi sonuç vermeyebilir. Geliştirilen protokol başlangıçta yol kurma aşamasında en kısa yola göre karar vermekte, hareketlilik neticesinde değişen topolojiye ayak uydurabilmek için aktarım anında da yeni bir yol kurmak için hazırda beklemektedir. Mevcut bağlantının kopacağına karar verildikten sonra yeni bir yolun kurulması ve kopmadan önce bu yolun kullanılması bağlantı aktarımını daha yumuşak bir biçimde gerçekleştirmesini sağlamaktadır.

Deneysel çalışmaların sonucunda geliştirilen protokolün mevcut bağlantı tamamen kopmadan başka bir yol kurup iletişimi buraya taşıması sonucunda uçtan uca gecikmelerin azaldığı, atılan paket sayısının düştüğü ve yeniden yol kurma sürecinde bekleme yaşanmadığı görülmüştür. Çoklu yol kurma ve sadece tek yol kurma yaklaşımıyla çalışan protokollerin önemli sakıncaları bulunmaktadır. Başlangıçta çoklu yol kurma yaklaşımlarında, bağlantılardaki kopukluklara uyum sağlanamamakta, yol kurma ve iletişim maliyeti yüksek olmaktadır. Sadece bir yol kurma ile iletişim yapan yaklaşımlarda ise tıkanıklık olması durumunda veya bağlantıların kopması durumunda iletişim tamamen kesilebilmektedir.

DSDV protokolünde bir defa yol kurulduğunda bu yol üzerinden iletişime geçilmekte fakat belirli aralıklarla en kısa yol arama prosedürü çalıştırılmaktadır. Bunun neticesinde henüz bir bağlantı kopmadan iletişim diğer bir bağlantıya aktarılabilir. Bu davranışın hareketlilik yönetimi için olumlu sonuçlar vermesine rağmen periyodik olarak yeni bir bağlantısı kurulması gerekmesi bile bağlantı kurulması ağı ek maliyet getirmektedir.

Sonuç olarak geliştirilen protokolün atılan paket sayısı, yeniden yol kurma süresi ve uçtan uca gecikme gibi üç önemli kriterde AODV ve DSDV protokollerinden daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

Geliştirilen protokolde, sinyal seviyesi için sabit bir eşik değeri alınarak, bu değerin altına düştüğünde yeni yol kurulmuştur. Bunun yerine, farklı ağ uygulamalarında değişken eşik değerleri alınarak daha iyi sonuçlar elde edilebilir.

KAYNAKLAR

1. C. E. Perkins, and P. Bhagwat, "Highly Dynamic Destination-Sequenced Distance Vector Routing", *ACM SIGCOMM Computer Commun. Rev.*, 24(4): 234-244 (1994).
2. S. Murthy, and J. J. Garcia-Luna-Aceves, "An Efficient Routing Protocol for Wireless Networks," *ACM Mobile Networks and Applications Journal, Special Issue on Routing in Mobile Communication Networks*, 1(2): 183-197 (1996).
3. V. D. Park, and M. S. Corson, "A Highly Adaptive Distributed Routing Algorithm for Mobile Wireless Networks", *Proc. 16th Annual Joint Conf. of IEEE Computer and Communications Societies (INFOCOM 1997)*, Kobe, 1405-1413 (1997).
4. Z. J. Haas and M. R. Pearlman, "Determining the Optimal Configuration for the Zone Routing Protocol", *IEEE J. Select. Areas Commun.*, 17(8): 1395-1414 (1999).
5. D. Johnson and D. A. Maltz, "Dynamic Source Routing in Ad-hoc networks", in Mobile Computing, *Kluwer Academic Publishers*, Dordrecht, 153-181 (1996).
6. C.E. Perkins and E.M. Royer, "Ad-Hoc On-Demand Distance Vector Routing", *Proceedings of IEEE WMCSA'99*, New Orleans, 90-100 (1999).
7. C. Siva Ram Murthy, B. S. Manoj, "Ad-Hoc Wireless Networks - Architectures And Protocols", *Prentice Hall*, New Jersey, 0-13-147023-X (2004).
8. "IETF MANET Working Group Information", <http://www.ietf.org/html.charters/manet-charter.html>
9. Y.D. Lin and Y. C. Hsu, "Multi-Hop Cellular: A New Architecture for Wireless Communications", *Proceedings of IEEE INFOCOM 2000*, 1273-1282 (2000).
10. A.N. Zadeh, B. Jabbari, R. Pickholtz, and B. Vojcic, "Self-Organizing Packet Radio Ad Hoc Networks with Overlay", *IEEE Communications Magazine*, 40(6): 140-157 (2002).
11. A.B. McDonald and T. Znati, "Predicting Node Proximity in Ad-Hoc Networks: A Least Overhead Adaptive Model for Selecting Stable Routes", *In Proceedings of ACM/MobiHoc2000*, Boston, 29-33 (2000).
12. A.B. McDonald and T. Znati, "A Path Availability Model for Wireless Ad-Hoc Networks", *In Proceedings of the IEEE Wireless Communications and Networking Conference 1999*, New Orleans, 21-24 (1999).

13. T. Liu, P. Bahl, and I. Chlamtac, "Mobility modeling, location tracking, and trajectory prediction in wireless ATM networks", **IEEE J. Sel. Areas in Commun**, 16(6): 922-936 (1998).
14. Tan D.S., Zhou S., Ho, J, Mehta, J.S. Tanabe, "Design and Evaluation of an Individually Simulated Mobility Model in Wireless Ad Hoc Networks", **Communication Networks and Distributed Systems Modeling and Simulation Conference** , San Antonio, 1-8 (2002).
15. Savyasachi Samal, "Mobility Pattern Aware Routing in Mobile Ad Hoc Networks", **Master of science in computer science**, Virginia, 23-24 (2003).
16. I.F. Akyildiz, J. McNair, J.S.M. Ho, H. Uzunalioglu, and W. Wang, "Mobility Management in Next Generation Wireless Systems", **IEEE Proceedings Journal**, 87(8): 1347-1385 (1999)
17. G. Fleming, A. Hoiydi, J. de Vriendt, G. Nikolaidis, F. Piolini, and M. Maraki, "A, Flexible Network Architecture for UMTS", **IEEE Personal Communications Magazine**, 5(2): 8-15 (1998)
18. Kekfin Fall, Kannan Varadhan, "The NS Manual", <http://www.isi.edu/nsnam/ns/doc/index.html>
19. Anja Feldmann, Anna C. Gilbert, Polly Huang, and L. Walter Willinger. "Dynamics of IP traffic: A study of the role of variability and the impact of control", Cambridge, **ACM Pres**, New York, 301-313 (1999)
20. J. Liebeherr ve N. Christin, Joint buffer management and scheduling for differentiated services, **In Proceedings of IWQoS 2001**, Karlsruhe, 404-418 (2001)
21. J. W. McKnown and R. L. Hamilton, Jr., "Ray tracing as a design tool for radio networks", **IEEE Network Mag.**, 5 : 27–30 (1991).
22. S. Takahashi, K. Ishida, H. Yoshiura, and A. Nakagoshi, "An evaluation point culling algorithm for radio propagation simulation based on the imaging method", **in Proc. Virginia Tech 5th Symp. Wireless Personal Commun.**, Blacksburg, 13 (1995).
23. R. J. C. Bultitude, "Measurement, characterization and modeling of indoor 800/900 MHz radio channels for digital communications", **IEEE Communicat. Mag.**, 25: 5–12 (1987).

24. J. A. Roberts and J. R. Abeysinghe, "A two-state Rician model for predicting indoor wireless communication performance", **in Proc. IEEE Int. Conf. Communicat, Seattle**, WA, 40–43 (1995)
25. Y. Kanada, "The influence of a moving obstacle upon indoor radio propagation", **in Proc. Inst. Electron., Inform. Commun. Eng. FallConf.**, Sapporo, 2–19 (1993).
26. K. Fall and K. Varadhan, "The ns-2 manual. Technical report", **The VINT Project**, UC Berkeley, 177-181 (2003).
27. K. Pawlikowski, H.-D. J. Jeong, and J.-S. R. Lee, "On credibility of simulation studies of telecommunication", **IEEE Communications**, 40(1):132–139 (2002).
28. R. Wahl, G. Wolfle, P. Wertz, P. Wildbolz, and F. Landstorfer, "Dominant path prediction model for urbanscenarios", **14th IT Mobile and Wireless Communications Summ**, Dresden, (2005).
29. P. Wertz, R. Wahl, G. Wolfle, P. Wildbolz, and F. Landstorfer, "Dominant path prediction model for indoor scenarios", **German Microwave Conference GeMiC**, University of Ulm, (2005).
30. J.-M. Dricot and P. D. Doncker, "High-accuracy physical layer model for wireless network simulations in ns-2", **In Proceedings of the International Workshop on Wireless Ad-hoc Networks**, (2004).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : DOĞRU, İbrahim Alper
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 04.05.1980 Erbaa
 Medeni hali : Bekâr
 Telefon : 0 (312) 4920518
 Faks : 0 (312) 4920518
 e-mail : alper.dogru@tbs.gov.tr

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Atılım Üniversitesi / Bilgisayar Mühendisliği	2004
Lise	Tokat Gazi Osman Paşa Lisesi	1998

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2004-	Emniyet Genel Müdürlüğü	Bilgisayar Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

Akçayol M.A., Şimşek M., Bay İ., Toklu S., Doğru İ.A., "Genetic Algorithm Based Location Optimization of Emergency Service Units", 4th FAE International Symposium, European University of Lefke