

**MOBİL IPV6 AĞLARINDA AKTARIM YÖNTEMLERİNİN
PERFORMANSLARININ SİMÜLASYON ARAÇLARI
KULLANILARAK İNCELENMESİ**

**PERFORMANCE ANALYSIS OF HANDOVER METHODS IN
MOBILE IPV6 NETWORKS BY USING SIMULATION TOOLS**

ABDİL BURAK BAŞLI

Hacettepe Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim - Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin

ELEKTRİK ve ELEKTRONİK Mühendisliği Anabilim Dalı İçin Öngördüğü

YÜKSEK LİSANS TEZİ

olarak hazırlanmıştır.

2006

**MOBİL IPV6 AĞLARINDA AKTARIM YÖNTEMLERİNİN
PERFORMANSLARININ SİMÜLASYON ARAÇLARI
KULLANILARAK İNCELENMESİ**

**PERFORMANCE ANALYSIS OF HANDOVER METHODS IN
MOBILE IPV6 NETWORKS BY USING SIMULATION
TOOLS**

ABDİL BURAK BAŞLI

Hacettepe Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim - Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin

ELEKTRİK ve ELEKTRONİK Mühendisliği Anabilim Dalı İçin Öngördüğü

YÜKSEK LİSANS TEZİ

olarak hazırlanmıştır.

2006

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü'ne,

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

Başkan :

Yrd. Doç. Dr. Harun Artuner

Üye :

Yrd. Doç. Dr. Ali Ziya Alkar

Üye :

Yrd. Doç. Dr. Mehmet Demirer

Üye :

Dr. Cenk Toker

Üye :

Dr. Umut Sezen (Tez Danışmanı)

ONAY

Bu tez/...../2006 tarihinde Enstitü Yönetim Kurulunca belirlenen yukarıdaki jüri üyeleri tarafından kabul edilmiştir.

....../...../2006

Prof. Dr. Ahmet R. ÖZDURAL
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

MOBİL IPV6 AĞLARINDA AKTARIM YÖNTEMLERİNİN PERFORMANSLARININ SİMÜLASYON ARAÇLARI KULLANILARAK İNCELENMESİ

Abdil Burak Başlı

ÖZ

Yakın gelecekte IPv4 ve MIPv4 internet protokollerinin yerini alması düşünülen IPv6 ve MIPv6 protokolleri, IPv4 ve MIPv4 protokollerindeki önemli eksikleri giderse de gezgin düğümlerin gerçek zamanlı iletişimlerinde yeterli servis kalitesini sağlayamamıştır. Servis kalitesini düşüren en büyük etken, ağ katmanındaki aktarım işlemi sırasında oluşan paket kayıplarıdır. Aktarım gecikmesi ne kadar fazla olursa paket kayıpları da aynı oranda artmaktadır. Aktarım gecikmesini azaltmak için standart MIPv6 protokolüne eklentiler ve yeni aktarım protokolleri önerilmiştir. Öneriler arasında önemli olarak değerlendirilen, yüksek sıklıkta gönderilen RA paketleri, ODAD, L2 tetikleme, Hızlı RA ve EBU eklentileri ve Sıradüzensel Gezgin IPv6 (HMIPv6) ve Hızlı Aktarım (FMIPv6) protokolleri incelenmiştir.

Bu tez çalışmasında bilgisayar tabanlı ağ simülasyon aracı olan OMNeT++ kullanılarak standart MIPv6 protokolü modellenmiş ve oluşturulan bu model kuramsal olarak doğrulanmıştır. Daha sonra doğrulanan standart modele aktarım gecikmesini azaltıcı eklentiler (yüksek sıklıkta gönderilen RA paketleri, ODAD, L2 tetikleme, Hızlı RA ve EBU) eklenip ayrı ayrı ve birlikte sınamaları yapılarak aktarım performans parametreleri (aktarım gecikmesi, paket kayıpları ve paket uçtan uca gecikme süresi) karşılaştırılmıştır. İlişme noktasını çok sık değiştiren gezgin düğümlerin ağda sebep oldukları sinyal yükünü azaltmak için tasarlanmış HMIPv6 aktarım protokolü de modellenerek aktarım performansı standart MIPv6 protokolünün aktarım performansı ile karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: IPv6, MIPv6, aktarım gecikmesi, paket kaybı, uçtan uca gecikme süresi, L2 tetikleme, ODAD, EBU, Hızlı RA, HMIPv6, FMIPv6

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

PERFORMANCE ANALYSIS OF HANDOVER METHODS IN MOBILE IPV6 NETWORKS BY USING SIMULATION TOOLS

Abdil Burak Başlı

ABSTRACT

Although IPv6 and MIPv6 internet protocols, that are foreseen to supercede the IPv4 and MIPv4 internet protocols in the near future, remove the important lacks of the IPv4 and MIPv4 protocols, they do not satisfy the sufficient QoS level in the real time multimedia communications of mobile nodes. The most important effect that decreases the QoS level of the real time communications is the packet losses during the network layer handover. There is a linear relationship between packet losses and handover latency. In order to reduce the handover latency, some MIPv6 handover extensions and protocols have been proposed. Fast RA beacons, ODAD, L2 trigger, Fast RA and EBU extensions and the Hierarchical Mobile IPv6 (HMIPv6) and Fast Mobile IPv6 (FMIPv6) protocols were analysed.

In this thesis, the MIPv6 protocol had been modelled by using OMNeT++ computer based network simulation tool and then this standart model created had been verified theoretically. After the extensions (Fast RA beacons, L2 trigger, ODAD, Fast RA and EBU) were integrated with the standart model, they had been tested one by one and together and then their handover performance parameters (handover latency, packet loss, end to end delay) had been compared. The HMIPv6 protocol, designed specifically to reduce signalling load arising from the mobile nodes which change their attachment point very frequently, had also been modelled and its handover performance had been compared with the handover performance of the standard MIPv6 protocol.

Keywords: IPv6, MIPv6, handover delay, packet loss, end to end delay, L2 trigger, ODAD, EBU, Fast RA, HMIPv6, FMIPv6

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

TEŐEKKÜR

Öncelikle bu alışmaya gösterdiği büyük ilgisinden ve değerli katkılarından dolayı tez danışmanım Dr. Umut Sezen'e teőekkür ederim.

Manevi desteği ve gösterdiği anlayıştan dolayı sevgili arkadaşım Hatice Küçük'e ve bu çalışmamda benden desteklerini ve yorumlarını hiçbir zaman esirgemeyen değerli arkadaşlarım İbrahim Demir ve Özkan Ünver'e çok teőekkür ederim.

Ayrıca verdikleri değerli desteklerle çalışmamda ilerlememi sağlayan OMNeT++ geliştirme ve iletişim grubunda bulunan herkese teőekkür ederim.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

1.	GİRİŞ.....	1
2.	MOBİL İNTERNET PROTOKOLLERİ.....	5
2.1.	Mobil IPv4 Protokolü	6
2.2.	Gelecek Nesil Mobil İnternet Protokolü (MIPv6).....	7
2.2.1.	IPv6 Protokolü	8
2.2.2.	Mobil IPv6 Protokolü	9
2.2.3.	MIPv6 Aktarım İşlemi	13
2.3.	Mobil IPv6 Aktarım Eklentileri ve Protokolleri.....	18
2.3.1.	Yüksek Sıklıkta Gönderilen Periyodik RA İletileri	19
2.3.2.	Hızlı RA İletileri.....	19
2.3.3.	L2 Tetikleme.....	20
2.3.4.	İyimser Çift Adres Tespit İşlemi (ODAD)	20
2.3.5.	Erken İlişkilendirim Güncellemesi (EBU)	20
2.3.6.	Sıradüzensel Gezgin IPv6 (HMIPv6) Protokolü.....	21
2.3.7.	Hızlı Aktarım (FMIPv6) Protokolü	23
3.	MOBİL IPv6 AKTARIM YÖNTEMLERİNİN ANALİZİ	28
3.1.	Standart MIPv6 Aktarım İşlemi.....	28
3.1.1.	Aktarım Sezim Süresi.....	28
3.1.2.	Adres Yapılandırma ve DAD Süresi	29
3.1.3.	Ev Üstlenicisi Kayıt Süresi.....	30
3.1.4.	Yol Eniyileme Süresi	30
3.2.	Yüksek Sıklıkta Gönderilen Periyodik RA İletileri	31
3.3.	Hızlı RA Paketleri	33
3.4.	L2 Tetikleme.....	33
3.4.1.	L2 Aktarım (Yatay aktarım).....	33
3.4.2.	L3 Aktarım (Dikey aktarım).....	34
3.5.	İyimser Çift Adres Tespiti (ODAD).....	36
3.6.	Erken İlişkilendirim Güncellemesi (EBU).....	37
3.7.	Sıradüzensel Gezgin IPv6 (HMIPv6).....	41
3.7.1.	HMIPv6 İşlemi	41
3.7.2.	MAP Keşfi.....	42
3.7.3.	Dağıtımlı-MAP Ortamında MAP Seçim Yöntemi	43
3.7.4.	Sıradüzensel Gezgin IPv6 Yönteminin Dezavantajları	44
4.	AKTARIM YÖNTEMLERİNİN MODELLENMESİ VE PERFORMANSLARININ DEĞERLENDİRMESİ.....	45
4.1.	İletişim Ağlarının Modellenmesi	45
4.2.	Gerçek Zamanlı İletişim Performans Parametreleri.....	46
4.3.	Standart MIPv6 Modelinin Doğrulanması.....	48
4.3.1.	MIPv6 Simülasyon Modeli	51
4.4.	Mobil IPv6 Aktarım Eklentileri Performans Sınamaları.....	54
4.4.1.	Yüksek Sıklıkta Gönderilen Periyodik RA İletileri	55
4.4.2.	Hızlı RA Paketleri	56
4.4.3.	L2 Tetikleme.....	57
4.4.4.	İyimser Çift Adres Tespit İşlemi (ODAD)	58

4.4.5.	Erken İlişkilendirim Güncellemesi (EBU)	59
4.4.6.	L2 Tetikleme + Hızlı RA.....	60
4.4.7.	L2 Tetikleme + ODAD	61
4.4.8.	L2 Tetikleme + ODAD + Hızlı RA	62
4.4.9.	L2 Tetikleme + ODAD + Hızlı RA + EBU.....	63
4.4.10.	Eklentilerin değerlendirilmesi	64
4.5.	Sıradüzensel Gezgin IPv6 (HMIPv6) Protokolü	68
4.5.1.	HMIPv6 sınamaya senaryoları	71
4.6.	Benzetim Sonuçlarının Değerlendirmesi	78
5.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	81
	EKLER	89
	EK A. IPv6SuiteWithInet Kütüphanesinde Yapılan Değişiklikler.....	89
	EK B. IPv6 Protokol Detayları.....	95
	Otomatik Adres Yapılandırması.....	95
	Otomatik Yapılandırmada Adres Durumları.....	95
	Komşu Keşfi (ND).....	96
	EK C. Mobil IPv6 Protokol Detayları	101
	Gezginlik Başlığı.....	101
	Ev Adresi Varış Seçeneği.....	101
	MIPv6 Kavramsal Veri Yapıları.....	102
	EK D. IPv6 ve MIPv6 Değişkenleri	103
	EK E. Sözlük Dizini.....	104

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1 Gezgın düğümün farklı ağlar arasındaki aktarımı.....	2
Şekil 2.1 MIPv4 üçgen yönlendirme problemi.....	7
Şekil 2.2 MIPv6 iletişim modları.....	10
Şekil 2.3 Dönüş yönlendirilebilirliği yordamı.....	12
Şekil 2.4 MIPv6 temel aktarım senaryosu	13
Şekil 2.5 MIPv6 aktarım işlem bölümleri	14
Şekil 2.6 Ev üstlenicisine kayıt işlemi	18
Şekil 2.7 HMIPv6'da ağ elemanlarını yerleşimi	22
Şekil 2.8 FMIPv6 ve standart MIPv6 aktarım süreleri	24
Şekil 2.9 Öngörüşel hızlı aktarım işlemi.....	25
Şekil 2.10 Tepkisel hızlı aktarım işlemi.....	26
Şekil 3.1 Standart MIPv6 aktarım bölümleri.....	28
Şekil 3.2 IPv6 yönlendirici RS iletisi işleme.....	32
Şekil 3.3 L2 aktarım ağ topolojisi.....	34
Şekil 3.4 L3 aktarım ağ topolojisi.....	35
Şekil 3.5 L2 tetiklemesinin aktarım süresine etkisi	35
Şekil 3.6 Standart karşı düğüm kayıt işlemi.....	38
Şekil 3.7 EBU ile karşı düğüm kayıt işlemi	40
Şekil 3.8 Gezgın düğüm MAP kayıt işlemi.....	42
Şekil 4.1 MIPv6 simülasyon modeli.....	51
Şekil 4.2 Fiberoptik ve Cat5 kablolarının iletim gecikme süreleri.....	52
Şekil 4.3 Standart MIPv6 model aktarım süreleri	53
Şekil 4.4 Ping paket RTT değerleri	54
Şekil 4.5 HMIPv6 simülasyon modeli	69
Şekil 4.6 Aktarım gecikme süresi ($d_{MAP} = 0.002sn$).....	74
Şekil 4.7 Aktarım gecikme süresi ($d_{MAP} = 0.02sn$).....	74
Şekil 4.8 Yerel ve global aktarım sürelerinin karşılaştırılması	75
Şekil 4.9 Paket yitim oranları ($d_{MAP} = 0.002 sn$ ve $d_{MAP} = 0.02 sn$)	76
Şekil 4.10 Ping Paket RTT değerleri ($d_{MAP} = 0.002 sn$ ve $d_{MAP} = 0.02 sn$).....	77
Şekil A.1 Otomatik olarak yapılandırılmış adresin durumları	96
Şekil A.2 Yönlendirici istemi ileti (RS) formatı	97
Şekil A.3 Yönlendirici bildirisi (RA) ileti formatı	98
Şekil A.4 Komşu istemi ileti (NS) formatı.....	98
Şekil A.5 Komşu bildirisi ileti (NA) formatı	99
Şekil A.6 Adres çözümleme işlemi.....	100

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 4.1 ITU-T uçtan uca gecikme limitleri.....	48
Çizelge 4.2 Standart MIPv6 simülasyon parametreleri	49
Çizelge 4.3 Standart MIPv6 parametreleri doğrulama değerleri.....	50
Çizelge 4.4 Standart MIPv6 aktarım süresi asgari ve azami değeri	50
Çizelge 4.5 Yüksek sıklıkta gönderilen RA iletili model simülasyon parametreleri	55
Çizelge 4.6 Hızlı RA paketli simülasyon parametreleri	56
Çizelge 4.7 L2 Tetiklemeli simülasyon parametreleri.....	57
Çizelge 4.8 ODAD simülasyon parametreleri.....	58
Çizelge 4.9 EBU simülasyon parametreleri	59
Çizelge 4.10 L2 Tetikleme + Hızlı RA simülasyon parametreleri	60
Çizelge 4.11 L2 Tetikleme + ODAD simülasyon parametreleri	61
Çizelge 4.12 L2 Tetikleme + ODAD + Hızlı RA simülasyon parametreleri.....	62
Çizelge 4.13 L2 Tetikleme + ODAD + Hızlı RA + EBU simülasyon parametreleri	63
Çizelge 4.14 MIPv6 eklentileri aktarım süreleri	64
Çizelge 4.15 MIPv6 eklentileri paket kayıp oranları	67
Çizelge 4.16 MIPv6 eklentileri paket RTT değerleri	68
Çizelge 4.17 HMIPv6 simülasyon parametreleri	70
Çizelge 4.18 HMIPv6 aktarım süreleri (sn)	73
Çizelge 4.19 HMIPv6 paket kayıp oranları (%).....	75
Çizelge 4.20 HMIPv6 ping paket RTT değerleri (sn).....	77

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

3G	3rd Generation (Üçüncü Nesil)
AAA	Authentication/Authorization/Accounting (Tanıma/Yetkilendirme/Hesaplama)
AP	Access Point (Erişim Noktası)
AR	Access Router (Erişim Yönlendiricisi)
ARP	Address Resolution Protocol (Adres Çözümleme Protokolü)
BA	Binding Acknowledgement (İlişkilendirim Onayı)
BC	Binding Cache (İlişkilendirim Önbelleği)
BU	Binding Update (İlişkilendirim Güncellemesi)
BUL	Binding Update List (İlişkilendirim Güncelleme Listesi)
CDS	Conceptual Data Structures (Kavramsal Veri Yapıları)
CN	Correspondent Node (Karşı Düğüm)
CoA	Care-of Address (Güncel Konum Adresi)
DAD	Duplicate Address Detection (Çift Adres Tespiti)
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol (Devingen Konak Yapılandırma İletişim Kuralı)
DHCPv6	Dynamic Host Configuration Protocol for IPv6 (IPv6 Devingen Konak Yapılandırma İletişim Kuralı)
DRL	Default Routers List (Varsayılan Yönlendiriciler Listesi)
EBA	Early Binding Acknowledgement (Erken İlişkilendirim Onayı)
EBU	Early Binding Update (Erken İlişkilendirim Güncellemesi)
FA	Foreign Agent (Yabancı Üstlenici)
FBACK	Fast Binding Acknowledgement (Hızlı İlişkilendirim Onayı)
FBU	Fast Binding Update (Hızlı İlişkilendirim Güncellemesi)
FMIP	Fast Handovers for Mobile IPv6 (MIPv6 Hızlı Aktarım)
FTP	File Transfer Protocol (Dosya Aktarım İletişim Kuralı)
HA	Home Agent (Ev Üstlenicisi)

HACK	Handover Acknowledge (Aktarım Onay)
HAL	Home Agent List (Ev Üstlenici Listesi)
HDO	Home Address Destination Option (Ev Adresi Varış Seçeneği)
HI	Handover Initiate (Aktarım Başlat)
HMIPv6	Hierarchical Mobile IPv6 (Sıradüzensel Gezgin Mobil IPv6)
HoA	Home Address (Ev Adresi)
ICMP	Internet Control Message Protocol (İnternet Kontrol İleti İletişim Kuralı)
IEEE	Institute of Electrical and Electronic Engineers (Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü)
IETF	Internet Engineering Task Force (İnternet Mühendisliği Görev Grubu)
IP	Internet Protocol (İnternet İletişim Kuralı)
IPSec	IP Security (IP Güvenliği)
IPv6	Internet Protocol Version 6 (İnternet İletişim Kuralı Sürüm 6)
ITU-T	International Telecommunications Union (Uluslararası Telekom Birliği)
L2	Layer 2 (Katman 2)
L3	Layer 3 (Katman 3)
LAN	Local Area Network (Yerel Alan Ağı)
LCoA	Local Care-of Address (Yerel Güncel Konum Adresi)
LMA	Localised Mobility Agent (Yerelleştirilmiş Gezginlik Üstlenicisi)
LMM	Localised Mobility Management (Yerelleştirilmiş Gezginlik Yönetimi)
MAC	Medium Access Control (Ortama Erişim Kontrolü)
MAP	Mobility Anchor Point (Gezginlik Çapa Noktası)
MIP, MIPv4	Mobile Internet Protocol Version 4 (Mobil İnternet İletişim Kuralı Sürüm 4)

MIPv6	Mobile Internet Protocol Version 6 (Mobil Internet İletişim Kuralı Sürüm 4)
MN	Mobile Node (Gezgin Düğüm)
NA	Neighbour Advertisement (Komşu Bildirisi)
NAR	Next Access Router (Gelecek Erişim Yönlendiricisi)
NAT	Network Address Translation (Ağ Adres Çevirimi)
NCoA	New Care-of Address (Yeni Güncel Konum Adresi)
ND	Neighbour Discovery (Komşu Keşfi)
NIC	Network Interface Card (Ağ Arayüz Kartı)
NS	Neighbour Solicitation (Komşu İstemi)
NS-2	The Network Simulator
NUD	Neighbour Unreachability Detection (Komşu Erişilemezlik Tespiti)
ODAD	Optimistic Duplicate Address Detection (İyimser Çift Adres Tespiti)
OMNeT++	Objective Modular Network Testbed in C++
OPNET	Optimized Network Engineering Tool
PAR	Previous Access Router (Önceki Erişim Yönlendiricisi)
PCoA	Previous Care-of Address (Önceki Güncel Konum Adresi)
PCoAF	Previous Care-of Address Forwarding (Önceki Güncel Konum Adres Yönlendirme)
PDU	Protocol Data Unit (Protokol Veri Birimi)
PrRtAdv	Proxy Router Advertisement (Vekil Yönlendirici Bildirisi)
PSTN	Public Switched Telephone Network (Kamusal Anahtarlamalı Telefon Ağı)
QoS	Quality of Service (Servis Kalitesi)
RA	Router Advertisement (Yönlendirici Bildirisi)
RBU	Regional Binding Update (Bölgesel İlişkilendirim Güncellemesi)
RCoA	Regional Care-of Address (Bölgesel Güncel Konum Adresi)

RFC	Request For Comments (Yoruma Çağrı)
RO	Route Optimisation (Yol Eniyileme)
RR	Regional Registration (Bölgesel Kayıt)
RS	Router Solicitation (Yönlendirici İstem)
RtSolPr	Router Solicitation for Proxy (Yönlendirici İstem Vekili)
RTT	Round Trip Time (Gidiş Dönüş Süresi)
TCP	Transmission Control Protocol (İletim Denetimi Kontrol İletişim Kuralı)
UDP	User Datagram Protocol (Kullanıcı Verikatarı İletişim Kuralı)
VoIP	Voice over IP (IP Üzerinden Ses)
WLAN	Wireless Local Area Network (Kablosuz Yerel Alan Ağı)

1. GİRİŞ

İnternet günümüzde coğrafi sınırlardan bağımsız olarak dünya üzerinde yayılmış şirket, askeri organizasyonlar, üniversiteler ve kişisel kullanıcıları birbirine sayısal olarak bağlayarak vazgeçilmez bir bilgi iletişim ortamı haline gelmiştir. İnternetin sağladığı ortamla insanlar interneti, veri iletişimi dışında ses ve görüntü gibi çokluortam iletişimlerinde de kullanmaktadırlar.

Dizüstü bilgisayarların, PDA'ların ve 3G cep telefonların kullanımının artması ve mobil iletişim teknolojilerinin kullanıcılara bilgiye her yerden ve her koşulda (durağan veya hareketli) erişebilmeyi sağlamalarından ötürü, internetin mobil iletişim teknolojisiyle kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Bunlardan IP tabanlı mobil iletişim teknolojisinin yüksek altyapı maliyeti gerektirmemesi, mevcut internet protokolleriyle çalışabilmesi ve aynı fiziksel ortamdan farklı çokluortam tiplerini (veri, ses ve görüntü) taşıyabilmesi, bu teknolojiyi geleceğin mobil iletişim teknolojileri arasında en büyük aday yapmaktadır [20]. Günümüzde üniversiteler, özel şirketler hatta ev kullanıcıları mobil IP teknolojisinin getirdiği kullanım kolaylığından faydalanmak için mevcut internet altyapılarına bu teknolojiyi kolayca entegre ederek internet altyapılarını mobil hizmet verecek şekilde genişletmektedirler.

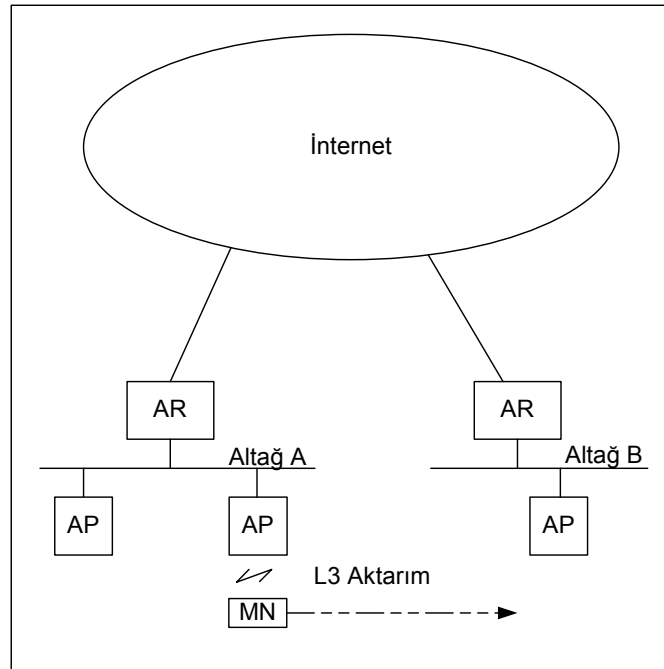
Mobil IP teknolojisinin veri aktarımında olduğu gibi gerçek zamanlı çokluortamların taşınmasında da yaygınlaşması ve kabul görmesi için bu teknolojinin, gerçek zamanlı iletişimde servis kalite seviyesini son kullanıcıları tatmin edici düzeye getirmesi gerekmektedir. Fakat Mobil IP teknolojisi (Mobil IPv4) şu anki mevcut yapısıyla gerçek zamanlı çokluortamları taşımak için gerekli servis kalitesini yeterince sağlayamamaktadır.

Mevcut MIPv4 protokolünün IPv4 protokolünden kaynaklanan bazı dezavantajları ve çıkmazları bulunmaktadır [26]. Bu çıkmazlardan en önemlisi internette giderek artan cihaz sayısına karşın IPv4'teki 2^{32} IP adres sayısının artık yetersiz kalmasıdır. Yakın gelecekte IP tabanlı mobil cihaz sayısının artacağını da düşünürsek şu andaki 2^{32} IP sayısı kesinlikle yetmeyecektir. IPv4 protokolündeki çıkmazlarından bir diğeri ise bu protokolün tasarlandığı yıllarda mobil işlemlerin öngörülememesi ve daha sonradan hazırlanan Mobil IPv4 protokolünün ve bu

protokole önerilen yama yöntemlerin mobil iletişimde beklenen servis kalitesini karşılayamamış olmasıdır.

Yakın gelecekte temelde IPv4 internet protokolündeki IP adres yetersizliğini çözümlmek ve mobil işlemlerdeki Mobil IPv4 [36] internet protokol kaynaklı eksiklikleri gidermek için, bu protokollerin yerlerini IETF çalışma grubunun hazırladığı gelecek nesil IPv6 ve Mobil IPv6 [18] internet protokollerinin alması düşünülmektedir. IP adres ihtiyacı IPv6 protokolünde tanımlanan 128 bitlik adres alanıyla çözümlenmektedir [8]. Aynı şekilde mobil işlemlerdeki IPv4 ve MIPv4 protokol kaynaklı eksikliklerin ve problemlerin bir çoğu MIPv6 protokolünde giderilmiştir.

Her ne kadar IPv6 ve MIPv6 protokolleri IPv4 ve MIPv4'te varolan önemli eksikleri (adres yetersizliği, mobil iletişimdeki yetersizlikleri,...) giderseler de gerçek zamanlı çokluortamların mobil ortamlarda taşınmasında son kullanıcıları tatmin edecek düzeyde servis kalitesini sağlayamamışlardır. Servis kalitesini düşüren en büyük etken gezgin düğümlerin aktarım işlemi sırasında oluşan paket kayıplarıdır.



Şekil 1.1 Gezgin düğümün farklı ağlar arasındaki aktarımı

Şekil 1.1'de gezgin düğümün (MN) farklı ağlar arasındaki hareketi gösterilmektedir. MN iletişim halinde olduğu cihazlardan, yeni ilişme noktasında (Altağ B) aktarım

işlemine tamamlayıncaya kadar paket alamaz. Bu sürede MN'un önceki konumuna (Altağ A) gönderilen IP paketleri düşer. Aktarım gecikmesi ne kadar fazla olursa paket kayıpları da aynı oranda artmaktadır. Aktarım gecikmesini azaltmak için standart MIPv6 protokolüne eklentiler ve yeni aktarım protokolleri önerilmiştir. Önerilen eklentiler arasında yüksek sıklıkta gönderilen RA paketleri [18], ODAD [31], L2 tetiklemesi [22] [50] [51] [53], Hızlı RA [23] ve EBU [47] [48] [49] en önemli eklentilerdir. Önerilen aktarım protokolleri ise Sıradüzensel Gezgin IPv6 (HMIPv6) [39] ve Hızlı Aktarım (FMIPv6) [24] 'dır.

Bu tez çalışmasında aktarım gecikmesini azaltan aktarım eklentileri ve protokolleri bilgisayar tabanlı ağ simülasyon aracı olan OMNeT++ [43] kullanılarak modellenmiş ve bu yöntemlerin aktarım performansları (aktarım gecikme süreleri, paket kayıpları, paket gidiş dönüş süreleri) karşılaştırılmıştır.

Öncelikle standart MIPv6 [18] modellenmiş ve oluşturulan bu model kuramsal olarak doğrulanmıştır. Doğrulan standart modele aktarım gecikmesini azaltıcı eklentiler (yüksek sıklıkta gönderilen RA paketleri, ODAD, L2 tetiklemesi, Hızlı RA ve EBU) eklenip ayrı ayrı ve birlikte sınamaları yapılarak aktarım performansları karşılaştırılmıştır. İlişme noktasını çok sık değiştiren gezgin düğümlerin iletişimleri çok sık kesintiye uğramakta ve aktarım işlemleri sırasındaki mesajlaşmalar nedeniyle ağda sinyal yüküne sebep olmaktadır. Bu dezavantajları gidermek için HMIPv6 aktarım protokolü modellenmiş ve aktarım performansı diğer yöntemlerin aktarım performansı ile karşılaştırılmıştır.

Bölüm 2'de MIPv4, IPv6 ve MIPv6 protokolleri incelenmiş, MIPv6 protokolünün MIPv4 protokolüne göre avantajlarından bahsedilmiştir. Bölüm 3'de MIPv6 aktarım yöntemleri detaylı olarak incelenmiş ve bu yöntemlerin kuramsal analizleri yapılmıştır. Daha sonra Bölüm 4'de ilk olarak günümüzde en çok tercih edilen ağ simülasyon araçları incelenmiş ve bu çalışmada tercih edilen OMNeT++ simülasyon aracı ile ilgili bilgiler verilmiş ve IPv6 ağlarını modellemede büyük kolaylıklar sağlayan OMNeT++ simülasyon aracıyla bütünleşik çalışabilen IPv6SuiteWithInet¹ kütüphanesinden de bahsedilmiştir. Daha sonra aktarım eklentileri ve protokollerini sınamak için OMNeT++ ortamında oluşturulan

¹ <http://ctiware.eng.monash.edu.au/twiki/bin/view/Simulation/Documentation>

simülasyon modelleri anlatılmış ve simülasyon modellerinden elde edilen aktarım sonuçları incelenerek performansları karşılaştırılmıştır.

Son olarak Bölüm 5'te oluşturulan simülasyon modellerinden elde edilen sonuçlar değerlendirilmiş ve bu çalışmanın devamında yapılabilecek çalışmalarla ilgili önerilerde bulunulmuştur.

2. MOBİL İNTERNET PROTOKOLLERİ

Bu bölümde varolan Mobil IP protokolleri hakkında yapılan araştırmalardan bahsedilecek, özellikle de Mobil IP'deki aktarım problemleri üzerinde yoğunlaşan güncel çalışmalar ve aktarım performansını geliştirici yöntemler anlatılacaktır.

Son yıllarda mobil internet hizmetlerine talebin artması, mobil IP alanındaki eksikliklerin ve problemlerin giderilmesi için yapılan çalışmaları hızlandırmıştır. 1970 ve 1980'li yıllarda internete sabit ilişme noktalarından bağlanmak için tasarlanmış IPv4 internet protokolü, mobil ortamlardan verilerin taşınması için gerekli tasarım altyapısına sahip değildir. IPv4'te ağlar arasında hareket esnasında kesintisiz iletişimi zorlaştıran bir çok etken mevcuttur. Hareketli düğümler ağ üzerinde farklı bir ilişme noktasına (farklı altağ maskeli bir ağa) geçtiklerinde önceki ağda tanımlı IP adreslerini kullanamazlar. Bu düğümler yeni ilişme noktasında tanımlı bir IP adres edininceye kadar iletişimlerine devam edemezler ve bu düğümlerin bir önceki adreslerine gönderilen paketler düşer.

IPv4'te yaşanan temel sorunlardan bir diğeri, giderek artan IP adres ihtiyacını karşılayacak adres kapasitesine IPv4 protokolünün sahip olmamasıdır. Son yıllarda, hareket özgürlüğü sağlamasından dolayı mobil internet hizmetlerine ilginin artması, mobil internet kullanıcı sayısında büyük bir artışa sebep olmuştur. Bu da giderek artan IP adres ihtiyacını doğurmaktadır. Mevcut ve gelecekteki yeni IP tabanlı mobil hizmetlere talebin artmasıyla birlikte yakın gelecekte IP adres yetersizliğinin daha da yoğun yaşanacağı ve bu adres yetersizliğinin IP tabanlı mobil hizmetlerin yayılmasını engelleyeceği öngörülmektedir.

IETF organizasyonu 2002 yılında hareketli düğümlerin yeni ilişme noktalarında iletişimlerine devam edebilmeleri için Mobil IPv4 protokolünü tanımlayan yeni bir RFC ıkarmıştır [36]. Bu protokole göre gezgin düğümün hareketliliğini sağlayacak yeni fonksiyonlar tanımlanmıştır. Fakat tanımlanan bu fonksiyonlar mobil işlemlerde kritik problemlere (üçgen yönlendirme, her paketin sarmalanıp tünellenerek gönderilmesi gerekliliği) sebep olmaktadır. Ayrıca bu fonksiyonları mevcut internet yapısına entegre etmek için ağ elemanlarında büyük değişiklikler yapılması gerekmektedir [1] [35].

IPv4'teki adres yetersizliğinin üstesinden gelinmesi, mobil hizmetlerin desteklenmesi, güvenlik ve servis kalitesinin artırılması gibi ihtiyaçların karşılanması için IETF tarafından IPv6 internet protokolü geliştirilmiştir [8]. IPv6, IPv4'te bulunmayan ve mobil işlemlerde gereksinim duyulan mobil destek verimliliği için gerekli birçok altyapıyı kalıtsal olarak içermektedir. Diğer yandan MIPv4 protokolünün tasarımıdaki ve uygulamadaki eksiklikleri gözönüne alınarak, IPv6 protokolüyle tamamen uyumlu MIPv6 protokolü tasarlanmıştır [18].

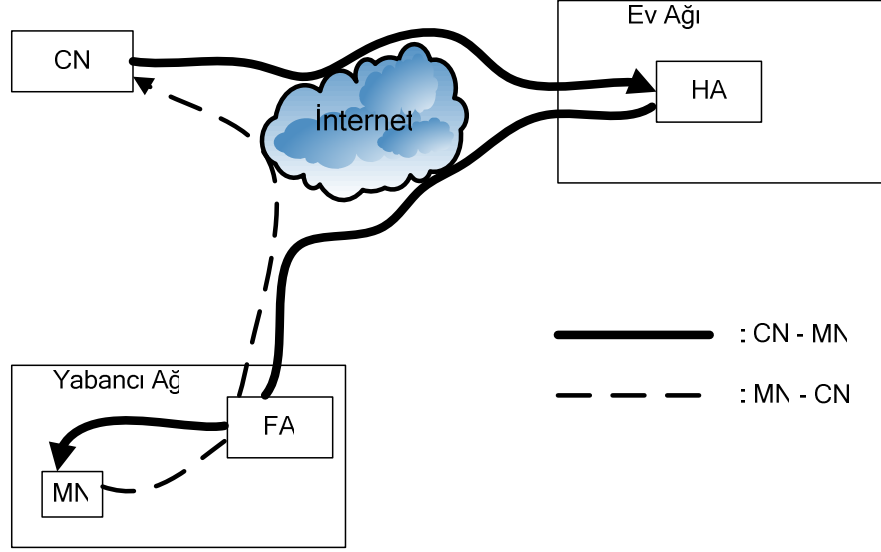
2.1. Mobil IPv4 Protokolü

Gezgin düğümlerin ağdaki ilişme noktaları değiştiiğinde, iletişimlerinin devam etmesi için IP adreslerinin de değişmesi gerekir. Mobil IPv4 protokolü adres değişikliğini yönetebilmek için gezgin düğümün ev ağında ve yabancı ağlarda kullanabileceği iki tip adres tanımlamıştır. Bunlar sırasıyla ev adresi (HoA) ve güncel konum adresidir (CoA). HoA, sistem yöneticisi tarafından gezgin düğüme verilen kalıcı ev adresidir. CoA ise ziyaret edilen yabancı ağda geçici olarak atanan IP adresidir. CoA gezgin düğümün ağdaki yerini belirten adresi olarak düşünülebilir ve yabancı ağda bulunan gezgin düğüme gelen paketleri yönlendirmek için kullanılır.

Ev ağında bulunan gezgin düğüme gelen paketler ev üstlenicisi (HA) tarafından alınarak gezgin düğüme gönderilir. Bu durumdaki tüm mesajlaşma işlemleri durağan haldeki düğümün mesajlaşma işlemleriyle aynıdır. Gezgin düğüm HA'a yeni CoA'ni başarılı olarak kayıt edene kadar yada tekrar ev ağına dönünceye kadar ev ağından uzaktaki gezgin düğüme ulaşılamaz. Yeni ilişme noktasındaki gezgin düğüm yabancı üstleniciden (FA) üstlenici bildirisini aldıktan sonra HA'a ilişkilendirim güncelleme (BU) iletisini göndererek kayıt olur. BU iletisini alan HA, gezgin düğüm için ilişkilendirim önbelleğinde (BC) gezgin düğümün CoA, HoA ve ilişkilendirim süre bilgilerini tutan bir kayıt oluşturduktan sonra gezgin düğüme ilişkilendirim onayı (BA) gönderir.

Kayıt işleminden sonra gezgin düğüme gelen IP paketleri HA tarafından yakalanıp sarmalanarak yabancı ağdaki FA'a gönderilir. Sarmalanmış paketleri alan FA paketleri açarak gezgin düğüme gönderir. Gezgin düğüm ise iletişimde olduğu karşı düğüme (CN) paket göndermek istediğinde HA'e göndermeden direk CN'a gönderebilir. Fakat gelen ve giden paketlerin farklı yolları izlemesi Şekil 2.1'de de

görüldüğü üzere üçgen yönlendirme problemine sebep olur. Burada gezgin düğüm (MN), CN'dan gelen paketleri HA üzerinden alır, paket göndereceği zaman CN'a direk gönderir.



Şekil 2.1 MIPv4 üçgen yönlendirme problemi

Gezgin düğümüne gelen paketlerin HA üzerinden sarmalanıp tünellenerek gezgin düğümüne gönderilmesi ağda fazladan işlem ve trafik yüküne neden olmaktadır. Üçgen yönlendirmede, CN'dan HA'e gönderilen paketler fazladan gecikmeye sebep olmaktadır. Ayrıca üçgen yönlendirmede, gelen ve giden paketler farklı ağ yollarını izlemesi servis kalitesini iyileştirici çalışmaların gerçekleştirilmesini zorlaştırmaktadır. Üçgen yönlendirme problemini gidermek için yol eniyileme (RO) yöntemleri önerilmiştir. Fakat bu yöntemlerde önerilen çözüm yolları gerçek zamanlı çokluortamların taşınması için gerekli QoS seviyesini sağlamada yeterli bulunmamış [6] ve bu yöntemlerin halihazırda kurulu ağ elemanlarına (MN, CN) eklenmesi fazla işgücü ve yüksek maliyet gerektirdiğinden uygulanması zor görünmektedir [15]. MIPv4 protokolünün yukarıda belirtilen problemlerinden dolayı mobil IP üzerinde yapılan araştırmalar ve çalışmalar, üçgen yönlendirme gibi problemleri zaten yapısında barındırmayan, MIPv6 protokolünün aktarım performansının daha da iyileştirilmesi yönünde ilerlemektedir [46].

2.2. Gelecek Nesil Mobil İnternet Protokolü (MIPv6)

IPv6 protokolünün doğmasına neden olan en büyük etken internet kullanıcı sayısının giderek artmasıyla beraber IP adres sayısına olan ihtiyacın artması ve

IPv4 protokolünün 32 bitlik adres alanıyla bu ihtiyacı karşılayamayacak olmasıdır. Diğer yandan mobil işlemleri desteklemesi için IPv4 protokolüne sonradan eklenen MIPv4 protokolü de mobil işlemleri desteklemede yeterli düzeyde servis kalitesi sağlayamamıştır. Bu nedenle IETF çalışma grubu IPv4 protokolünün eksikliklerini gözönüne alarak IPv6 protokolünü hazırlamıştır. Mobil işlemlerdeki sorunları gidermek ve aktarım performansını iyileştirmek için de IPv6 protokolüyle tamamen tümleşik çalışabilen MIPv6 protokolünü hazırlamıştır. Aşağıdaki bölümlerde bu protokollerini inceleyeceğiz.

2.2.1. IPv6 Protokolü²

IPv4 protokolünün en büyük çıkmazlarından bir tanesi evrensel IP adres sayısının yetersiz olması ve mevcut adreslerin dengesiz dağıtılmasıdır. Adres yetersizliği sorununu çözmek için, internete giriş ve çıkışta Ağ Adres Çevrim (NAT) yöntemi [40] geliştirilmiştir ve bu yöntem günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemle, sadece yerel alan ağında geçerli IP adresleri tanımlanmakta, internete ulaşım ise bir veya birkaç evrensel IP adres üzerinden gerçekleşmektedir. Bu yöntem, görevdeşler arası uygulamalarda (MSN Messenger, Skype gibi) ve mobil IP uygulamalarında sorun yaratmaktadır. Bu problemi gidermek için de port eşleşmesi yapabilen cihazlara ihtiyaç duyulmaktadır.

IPv4 protokolündeki 2^{32} olan adres sayısı IPv6 protokolünde 2^{128} 'e çıkarılmıştır. 128 bitlik adres alanı, uzun gelecekte internete bağlanabilecek mobil veya sabit internet aygıtlarına (ofis veya ev aygıtlarına) yetebilecek IP adres kapasitesine sahiptir. IPv6, adres yetersizliği problemini çözmekle beraber mobil işlemlere kolaylık sağlama ve otomatik adres yapılandırma gibi birçok alanda IPv4'e göre geliştirilmiş yeni fonksiyonlar sunmaktadır. Aşağıda IPv6 protokolünün IPv4 protokolüne göre bazı avantajları sıralanmıştır [13]:

- Adres kapasitesinin artırılması
- Başlık format sadeliği
- Otomatik olarak ağ elemanlarının adreslerinin yapılandırılması
- Eklentiler ve seçenekler için geliştirilmiş esnek yapı desteği

² IPv6 protokolü ile ilgili detaylı bilgiler EK B' de verilmiştir.

- Kalıtsal olarak mobil desteğinin sağlanması
- İstenen paketlerin etiketlenerek özel olarak taşınması
- Yetki doğrulama ve gizlilik kapasitesi

2.2.2. Mobil IPv6 Protokolü³

Mobil IPv6 protokolü, MIPv4 protokolünün tasarımıdaki ve uygulamadaki eksiklikleri de gözönüne alınarak yeniden tasarlanmıştır. MIPv6 protokolü, MIPv4 protokolüne benzemekle beraber MIPv4 protokolüne göre birçok üstünlük içermekte ve IPv6 protokolüyle tümleşik olarak çalışabilmektedir [18].

Gezgin düğümler, IPv6 protokolünün sağladığı Komşu Keşfi (ND) ve otomatik adres adres yapılandırma özellikleri sayesinde yabancı ağdaki herhangi bir yönlendiriciden Yönlendirici Bildirisi (RA) iletilmesiyle CoA'lerini yapılandırabilirler. Ayrıca MIPv6 protokolüyle gezgin düğüm CN'la arada başka bir üstleniciye gerek duymadan iletişim yapabilir. Dolayısıyla MN paketlerinin FA tarafından alınıp tünellenmesine veya açılmasına da gerek kalmamıştır. Sonuç olarak MIPv4'te özel olarak işletilen yabancı ev üstlenicisinin (FA) MIPv6 ağlarında işletilmesine gerek kalmamıştır.

MIPv6'da üst katmanlara IP adres şeffaflığını sağlamak için IPv6 başlığına bazı yeni seçenekler eklenmiştir [18]. Ev ağından uzaktaki MN'un, karşı düğümlere gönderdiği paketler içinde ev adresini de (HoA) göndermesi için IPv6 başlığına Ev Adresi Varış Seçeneği (HDO) eklenmiştir. MN'dan HDO içeren paketleri alan karşı düğümler, gelen paketin kaynak adresiyle (CoA) HDO alanındaki adresin (HoA) yerlerini değiştirerek üst katmanlarına kaynak adresi gezgin düğümün HoA'i olan paketler gönderirler. Bu sayede karşı düğümdeki uygulamalar gezgin düğümün hareketliliğini farkedemezler.

MIPv6 protokolünde karşı düğümler, ev ağından uzaktaki MN'a paket gönderecekleri zaman, MIPv4 protokolündeki sarmalama yöntemi yerine, gönderecekleri paketlere IPv6 yönlendirme başlığını da (tip 2 yönlendirme başlığı)

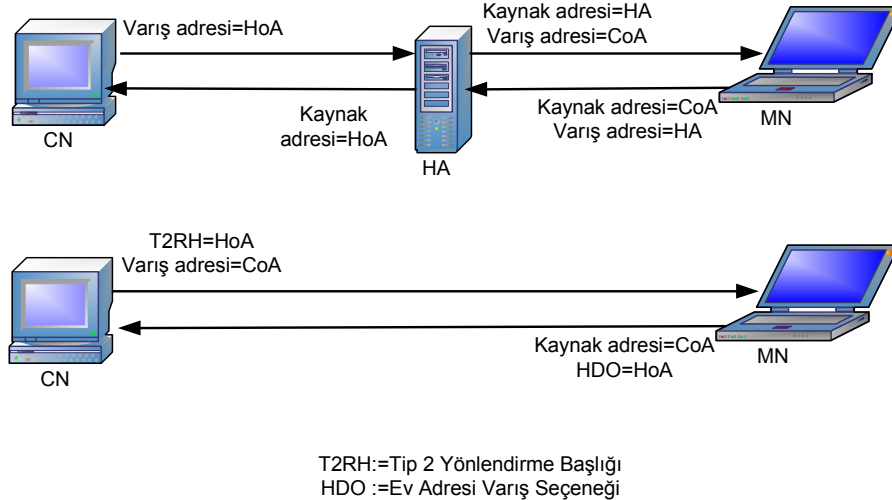
³ MIPv6 protokolü ile ilgili detaylı bilgiler EK C'de, IPv6 ve MIPv6 protokol değişkenleri EK D'de verilmiştir.

ekleyerek gönderirler. Yönlendirme başlığı IP başlığında daha az yer kaplar ve daha az trafiğe sebep olur.

MIPv4 protokolündeki üçgen yönlendirme problemini ortadan kaldırmak için protokole daha sonradan eklenen yol eniyileme (RO) yordamının kullanılabilmesi için mevcut ağ aygıtlarında değişiklik yapılması gerekir. Yol eniyileme (RO) yordamı MIPv6 protokolünün temel bir bileşeni olduğu için, MIPv4'ün aksine, ağ elemanlarında herhangi bir değişiklik gerektirmez. Ayrıca yol eniyileme yordamı, MIPv4 protokolündeki gibi iki ayrı işlem yerine (kayıt ve MIPv4 yol eniyileme) tek bir yordamla (dönüş yönlendirilebilirliği yordamı) gerçekleştirilir. Bölüm 2.2.2.1'de MIPv6'da varolan iletişim tiplerini ve yol eniyileme yordamını inceleyeceğiz.

2.2.2.1. Çift yönlü tünelleme ve yol eniyileme yordamı

MIPv6'da MN ve CN arasında iki tarzda iletişim mevcuttur. İlk tarz, çift yönlü tünelleme iletişimidir. Bu tarz iletişim herhangi bir Mobil IPv6 desteği veya MN ve CN arasında kayıt işlemi gerektirmez. CN'un gönderdiği paketler HA'ya yönlendirilir ve sonra HA tarafından sarmalanıp tünelden MN'a gönderilir. CN'a gönderilecek paketler sarmalanarak tünelden HA'a gönderilir (reverse tunnelled) ve sonra ev ağından CN ağına yönlendirilir.



Şekil 2.2 MIPv6 iletişim modları

İkinci tarz iletişim ise yol eniyileme (RO) yordamının gerçekleştirildiği durumdur. Bu tarz iletişimde MN'un CN'a güncel ilişkilendirim bilgileriyle kayıt olması gerekir. CN'dan gelen paketler HA'a uğramadan direk olarak gezgin düğümün CoA'ne yönlendirilir. Bu tarz iletişimde gerekli optimizasyonu sağlamak için Ev Adresi Varış Seçeneği (HDO) ve tip-2 yönlendirme başlığı kullanılmıştır. HDO gezgin düğümün ev adresini içerir. Şekil 2.2'de iletişim tarzları ve iletişim halinde adres seçeneklerinin durumları gösterilmiştir.

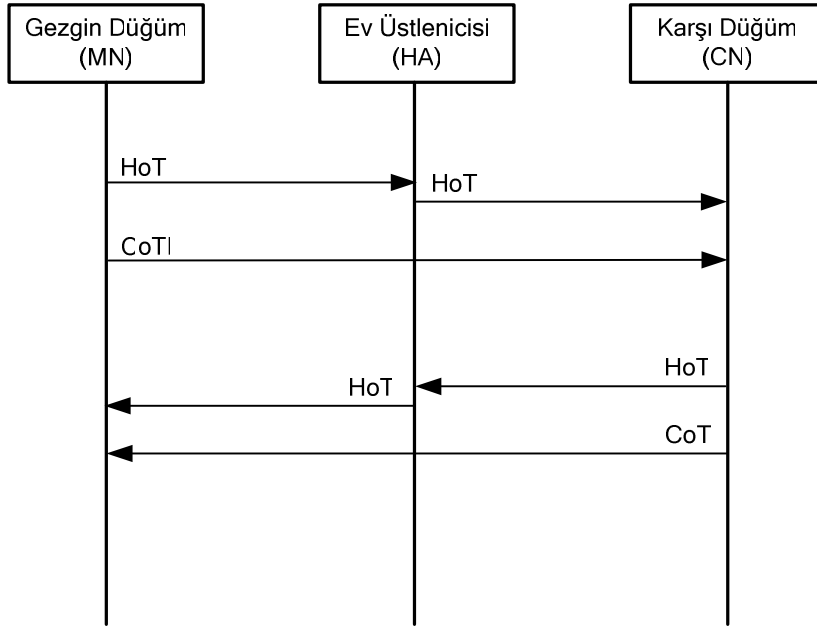
Gezgin düğüm göndereceği paketlerin kaynak adresine CoA, HDO alanına HoA bilgisini koyar. Gezgin düğümden gelen paketleri alan karşı düğümler, paketlerin kaynak adres alanındaki adresle (CoA), HDO alanındaki adresi (HoA) değiştirerek paketi üst katmanlara aktarırlar. Bu sayede karşı düğümdeki uygulamalar gezgin düğümün hareketliliğini farkedemezler. Ayrıca bu sayede MN, topolojik olarak doğru CoA kaynak adresli paketlerini yönlendiricilerin ağ giriş filtre kurallarından takılmadan geçirirler [18].

CN'da çalışan uygulamalar MN'a paket göndereceği zaman gezgin düğümün ev adresine (HoA) göndermek isteyecektir. Fakat CN'un ağ katmanı, herhangi bir IPv6 hedefine paket göndereceği zaman ilişkilendirim önbelleğine (BC) bakıp bu hedefin CoA'i olup olmadığına bakar. Eğer hedefin varış adresini (CoA) bulursa tip-2 yönlendirme başlığını kullanarak paketi MN 'a gönderir [18].

MN tip-2 yönlendirme başlığı içeren paket aldığı anda, paketin varış adres alanındaki adresle (CoA), tip-2 yönlendirme başlığı ev adres alanındaki adresi (HoA) değiştirerek üst katmanlara her zaman varış adresi gezgin düğümün HoA'i olan paketler gönderir. Bu sayede MN'daki uygulamalar da gezgin düğümün hareketliliğini farkedemezler ve gezgin düğümün hareketliliğinden etkilenmezler.

MN ve CN arasındaki iletişimi direk (yol eniyileme) gerçekleştirmek için gezgin düğümün yeni CoA'ni içeren BU mesajını CN'a göndererek kayıt olması gerekir. CN tarafından alınan bu adres CN'un ilişkilendirim önbelleğine kayıt edilir. Başka kötü niyetli düğümlerin MN gibi davranmasını engellemek için bu kayıt işlemi belirli kurallar ve mesajlaşmalar çerçevesinde gerçekleştirilmelidir. Yapılan bu işleme "dönüş yönlendirilebilirliği" yordamı denir. Şekil 2.3'de dönüş yönlendirilebilirliği yordamı gösterilmiştir.

MN, dönüş yönlendirilebilirliği yordamını başlatmak için CN'a başlatma mesajlarını (HoTI, CoTI) aynı anda gönderebilir. HoTI mesajını HA üzerinden, CoTI mesajını CN'a direk gönderir. Bu mesajları alan CN, "ev adres anahtarını oluşturma jetonu" ile "güncel adres anahtarını oluşturma jetonu" nu oluşturur. İçinde "ev adres anahtarı oluşturma jetonu" bulunduran HoT mesajını HA üzerinden, içinde "güncel adres anahtarını oluşturma jetonu" bulunduran CoT mesajını direk olarak MN'a gönderir. Burada HoTI ve HoT paketlerinin HA üzerinden gönderilmesinin amacı gerçekten ev üstlenicisine kayıtlı olmayan kötü niyetli düğümlerin engellenmesidir. Kötü niyetli düğümlerden ev üstlenicisine ileti paketleri geldiğinde, bu düğümler ev üstlenicisine kayıtlı olmadığı için gelen paketler düşürülecek ve kötü niyetli düğüme CN'un "ev adres anahtarını oluşturma jetonu" içeren HoT iletisinin ulaşması engellenecektir.



Şekil 2.3 Dönüş yönlendirilebilirliği yordamı

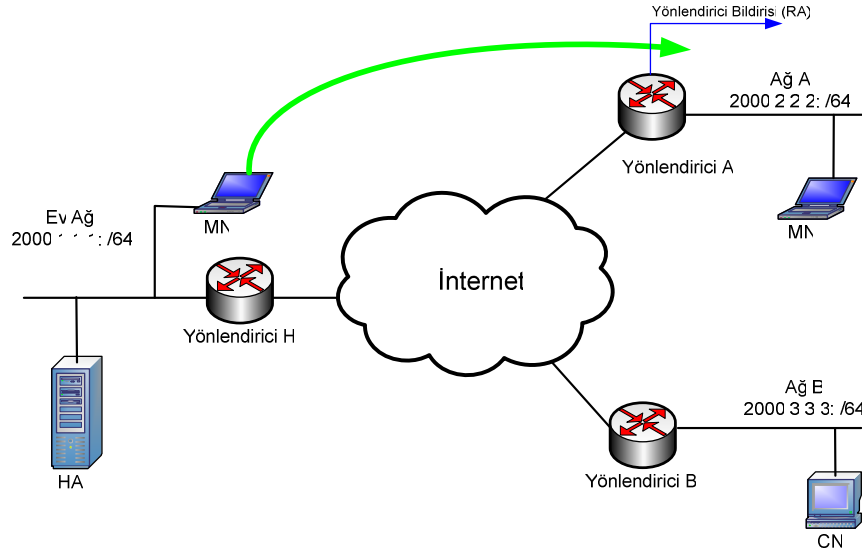
MN kendisine iki farklı yoldan gelen HoT ve CoT iletilerindeki anahtar oluşturma jetonlarını birleştirerek "ilişkilendirim yönetim anahtarı (Kbm)" oluşturur ve bu anahtarı göndereceği BU iletisi içine koyarak CN'a gönderir. BU iletisini alan CN içindeki Kbm doğruysa MN'un ilişkilendirim güncellemesini kabul ederek MN'a BA iletisi döndürür.

MIPv6 protokolünde üçgen yönlendirme problemi giderildiği için paketlerin gidiş dönüş süreleri (RTT) ve düğümlerin iletişim performansları MIPv4 protokolüne

göre artmıştır. Fakat MIPv6'daki aktarım gecikmesini azaltarak aktarım verimliliğini daha da arttırmak için standart MIPv6 protokolüne eklentiler ve aktarım protokolleri önerilmiştir. Bu tez çalışmasında incelenen aktarım eklentileri genellikle ağ elemanlarında küçük değişiklikler gerektirdiği için IPv6 ağ elemanlarına uygulanması ve daha sonradan değiştirilmesi kolaydır. Aktarım eklentilerinden ve protokollerinden Bölüm 2.3'de detaylı olarak bahsedilecektir.

2.2.3. MIPv6 Aktarım İşlemi

Şekil 2.4'de gösterilen senaryoda gezgin düğümün (MN) ev ağından (Ev ağı) yabancı ağa (Ağ A) hareketi gösterilmiştir. MN ev ağındayken gezgin düğümüne gönderilen paketler sabit düğümlere gönderilen paketler gibi işlem görürler.

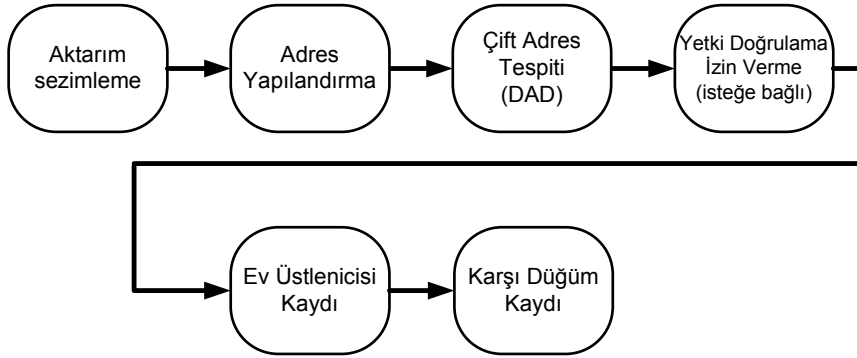


Şekil 2.4 MIPv6 temel aktarım senaryosu

MN ev ağından yabancı ağa hareket ettiğinde bu ağdaki yönlendiriciden (Yönlendirici A) aldığı RA iletisindeki bilgileri kullanarak ulaşılabilir bir CoA oluşturur ve Çift Adres Tespit (DAD) [42] işlemiyle bu adresin benzersizliğini doğrular. Oluşturduğu CoA'ı, CN ve HA adreslerine BU iletileri göndererek ev üstlenicisi ve karşı düğüm kayıt işlemlerini gerçekleştirir. MN yabancı ağda kaldığı sürece CoA'ya gönderilen paketler MN'a yönlendirilir.

Aktarım işlemleri gezgin düğümün başka bir ağa hareketini sezimlemesiyle yeni ağda iletişimini sürdürebilmesi için ağ katmanında yapması gereken işlemlerin

tamamıdır. Aktarım işleminin daha iyi anlaşılması için Şekil 2.5’de aktarım işlemi bölümler halinde gösterilmiştir.



Şekil 2.5 MIPv6 aktarım işlem bölümleri

2.2.3.1. Akarım sezimi

Gezgin düğüm bir ilişme noktasından bir diğerine hareket ettiğinde aktarım süresini etkileyen en önemli etken aktarımı nasıl ve daha da önemlisi ne zaman sezimlediğidir. Gezgin düğüm ancak aktarımı sezimledikten sonra aktarım işlemlerine (yeni adres edinme işlemi, HA ve CN’la ilişkilendirim güncellemeleri) başlayabilir. Aktarım ne kadar önce sezimlenirse aktarım gecikme süresi aynı oranda azalmaktadır. Aktarımı sezimlemek her zaman çok kolay bir işlem değildir. Gezgin düğümlerin aktarımı sezimlemesine karar vermesi için aşağıdaki kuralları uygulaması tavsiye edilir [18]:

- varolan yönlendiriciye artık ulaşamaz olduğunda, ve
- yeni ve farklı bir yönlendiricinin varlığı tespit edildiğinde

Akarımı sezimlemek için MIPv6 protokolü bazı yöntemler tanımlamıştır. Bu yöntemler aşağıda açıklanmıştır :

- **Komşu erişilemezlik tespiti (NUD):** Gezgin düğüm varolan yönlendiriciye çift yönlü ulaşamadığında Komşu Erişilemezlik Tespit (NUD) işlemini [33] başlatır. Fakat NUD işlemi sadece gezgin düğümün paket göndereceği zaman başlatılabilmektedir. Bu durum için en kötü senaryo düşünüldüğünde gezgin düğümün yeni bir ağa hareketinden sonra göndereceği paket yoksa, yeni yönlendiriciden RA paketleri alıncaya kadar hareketinin farkına varamayacaktır. Bu sürede gezgin düğüme gönderilen paketler düşecektir

ve aktarım geç farkedildiği için aktarım gecikme süresi de artacaktır [10]. Bu nedenle gezgin düğümler aktarımı sezimlemek için sadece NUD işlemine bel bağlamamalıdır [15].

Ayrıca gezgin düğüm varolan yönlendiriciden eksik alınan periyodik RA iletilerini sayarak, bu iletilerin sayısı daha önceden belirlenmiş bir değeri geçtiğinde, varolan yönlendiricinin erişilemez olduğuna karar verebilir. Özellikle periyodik RA iletilerinin gönderilme aralığı küçükse, varolan yönlendiricinin ulaşılamazlığını NUD işlemine göre çok daha kısa sürelerde tespit edebilir.

- **Yönlendirici keşfi:** Gezgin düğüm yeni bir ağa hareket ettiğinde aktarımı sezimlemede kullandığı yöntemlerden bir diğeri ağdaki yeni yönlendiriciyi algılamasıdır. Gezgin düğüm ağdaki yönlendiriciyi, yönlendiriciden periyodik RA paketleriyle yada istenen RA paketiyle (RS paketi göndererek) algılar. İki metod arasında her zaman bir yarış durumu vardır. Eğer bir önceki yönlendiricinin ulaşılamaz olduğu belirlenmişse (komşu önbelleğinde artık “ULAŞILABİLİR” değilse), MN varış adresi tüm yönlendiriciler olan RS paketi gönderir ve yeni yönlendiriciden RA paketi alır. Ya da bu süre içerisinde yeni yönlendiriciden periyodik RA paketi alır. Hangi metodun önce olacağı belli değildir. Gezgin düğümün ne zaman hareket ettiğine, ağın trafik durumuna ve yönlendiricinin periyodik RA paketlerinin gönderilme aralığına ve yönlendirici zamanlayıcılarının aktarım anındaki değerlerine bağlıdır [10].

Periyodik RA paketlerinin arasındaki süre ne kadar az olursa aktarım sezimlemesi daha kısa sürede gerçekleşebilir. Fakat daha çok sıklıkta yayılan RA paketleri ağda trafiğe veya düşük kapasiteli kablosuz ağlarda tıkanıklığa sebep olabilir. Yeni yönlendiriciyi algılamak için RS paketlerinin gönderilmesi ve yönlendiriciden RA cevap iletilerinin alınması belirli bir süre alır [18]. Dolayısıyla RS ve RA mesajlaşmaları sırasında geçen süre aktarımın geç sezimlenmesine sebep olur.

- **Katman 2 (L2) göstergesi :** Aktarımı sezimlemek için önerilen bir diğer yöntem ise alt katmanlardan gönderilen aktarım göstergesidir. Özellikle bu

yöntem bağ katman seviyesinde IEEE 802.11 standardında kablosuz erişim teknolojisinin koştığı düğümler için önemlidir. Bu düğümler, bağ katmanından aldıkları sinyal seviyelerinin belli bir eşiğin altına düşmesi veya sinyal kalitesinin düşmesine bağlı olarak üst katmana (ağ katmanına) aktarım tetikleme göstergeleri gönderebilirler [50] [51] [53]. Bu göstergeler aktarım sezimlemesini erken farkedilmesi açısından çok önemlidir. Fakat bağ katmanından alınan her gösterge ağ katmanında aktarıma sebep olmayabilir [53]. Bu katmandan alınan göstergelerin ağ katmanında aktarıma sebep olup olmadığını anlamak için gezgin düğümler ağdaki yönlendiricilere RS ileti paketi gönderirler ve yönlendiricilerden gelen RA iletilerine bakarak ağ katmanında aktarım olup olmadığına karar verirler.

2.2.3.2. Adres yapılandırma

Gezgin düğüm aktarımı sezimledikten sonra, yeni yönlendiriciden aldığı RA iletilerindeki bilgilerle CoA oluşturur. Adres yapılandırma işleminde durum korumalı yada durum korumasız adres yapılandırma işlemi kullanılabilir. Fakat durum korumalı adres yapılandırma işleminin daha uzun sürdüğü ve aktarım gecikmesini arttırdığı gözlenmiştir [10].

2.2.3.3. Çift adres tespiti (DAD)

Yeni ağda adres oluşturan gezgin düğüm adresinin başka bir düğüm tarafından kullanılıp kullanılmadığını belirlemek zorundadır. DAD işlemi aşağıdaki gibi gerçekleşir:

- Gezgin düğüm hareket ettiği yeni ağdaki yönlendiriciden aldığı RA iletilerinde bilgilerle geçici bağlantı yerel adresi oluşturur. Geçici bağlantı yerel adresi, bağlantı yerel öneki (FE80::/64) arabirim tanımlayıcı adresi (MAC adres) eklenerek türetilir. Oluşturulan bu adrese geçici adres denir.
- Düğüm, tüm düğümlerin çoğa gönderim grubuna (all-nodes multicast group, FF02::1) ve istenen düğümlerin çoğa gönderim grubuna (solicited-node multicast group) katılır.
- Gezgin düğüm, oluşturduğu geçici adresin ağda başka bir düğüm tarafından kullanılıp kullanılmadığını kontrol etmek için komşu düğümlere Komşu İstemi (NS) ileti gönderir. NS paketinin IP kaynak adresinde belirsiz adres

(::), varış adres alanında gezgin düğümün geçici adresi yer alır. Gezgin düğüm RetransTimer (Yeniden Gönderim Zamanlayıcısı) [33] süresi boyunca komşu düğümlerden cevap bekler. Gönderilen NS paketini alan komşu düğümlerden herhangi birisi bu adresi kullanıyorsa cevap olarak NA iletisi atar ve otomatik adres yapılandırması sonlandırılır. Bu durumda düğümün adres yapılandırma işlemi sistem yöneticisi tarafından el ile yapılandırılır. Komşu düğümlerden cevap gelmemesi durumunda DupAddrDetectTransmits (Çift Adres Algılama Gönderimleri) [42] sayacı birer azaltılarak RetransTimer aralıklarıyla NS iletileri gönderilmesine devam edilir. DupAddrDetectTransmits sayacı sıfırlanınca geçici adresin durumu tercih edilen adres durumuna çevrilir. Yapılan bu işlemlere Çift Adres Tespiti denir [42].

DAD işlemi başarılı olursa, geçici adresin benzersiz ve geçerli olduğu varsayılır. Benzersizliği doğrulanmış bu geçici adrese tercih edilen adres denir ve gezgin düğüm tarafından serbestçe kullanılabilir.

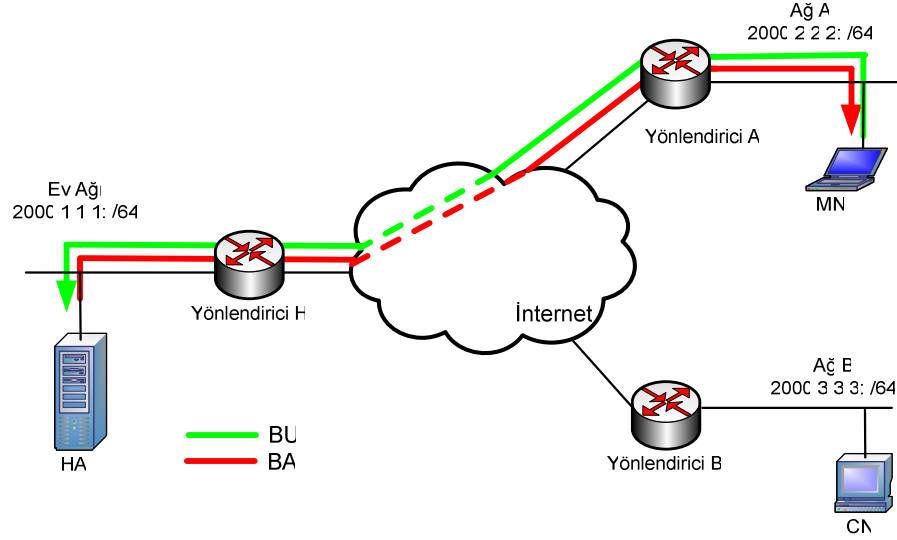
2.2.3.4. Yetki doğrulama ve izin verme

Farklı yönetim alanlarında hareket eden gezgin düğüm AAA altyapısıyla karşılaşabilir. Bu durumda yeni ağda iletişimi devam ettirebilmek için kimlik doğrulama ve izin alma işlemlerini başarıyla tamamlaması gerekir. Yetkilendirme işlemleri sırasında AAA sunucusuyla karşılıklı mesajlaşmalar yapılması gerekir ve bu mesajlaşmalar aktarım gecikmesini artırır.

Şu anki IPv6 protokolünde yetki doğrulama ve izin verme işlemi zorunlu değildir. Bu tez çalışmasında yetki doğrulama ve izin verme işlemi dikkate alınmamıştır.

2.2.3.5. Ev üstlenicisi kaydı

MN, adres oluşturma ve DAD işlemi tamamlandıktan sonra ev üstlenicisine yeni adresini bildirerek kayıt olur. Fakat kayıt işlemine kadar geçen sürede MN'a HA üzerinden gelen tüm paketler düşer. MN kendisine gönderilecek paketlerin yeni ilişme noktasındaki yeni CoA'ne gönderilmesi için HA'a kayıt olur. Şekil 2.6'da ev üstlenicisine kayıt işlemi gösterilmiştir.



Şekil 2.6 Ev üstlenicisine kayıt işlemi

MN HA'a BU iletisi göndererek kayıt işlemini başlatır. BU mesajını alan HA MN'ın yeni CoA'ni HoA'yle ilişkilendirir ve cevap olarak BA iletisi gönderir. Bundan sonra HA'a gelen MN paketleri tünellenerek MN'a gönderilir.

2.2.3.6. Karşı düğümlere kayıt işlemi

Aktarım işlemi HA'dan BA iletisi alındığında tamamlanmış olur. Fakat gönderilecek ve alınacak paketlerin ağda en iyi yolu takip etmeleri için gezgin düğümün karşı düğümlere de kayıt olması gerekir.

MN ilişkilendirim güncelleme listesindeki (BUL) karşı düğümlere yeni yerini ve ulaşılabilir olduğunu bildirmek için her bir düğüme BU iletisi göndermesi gerekir. Fakat kötü niyetli düğümlerin MN gibi davranmasını engellemek için kayıt işlemi belirli kurallar ve mesajlaşmalar çerçevesinde yapılmalıdır. Bunun için dönüş yönlendirilebilirliği yordamı gerçekleştirilir. Bölüm 2.2.2.1'de dönüş yönlendirilebilirliği yordamından detaylı olarak bahsedilmiştir. Dönüş yönlendirilebilirliği yordamı başarıyla tamamlandıktan sonra MN ilişkilendirim CN'a BU iletisi göndererek kayıt olur.

2.3. Mobil IPv6 Aktarım Eklentileri ve Protokolleri

Her ne kadar standart MIPv6 protokolü, MIPv4 protokolüne göre gezgin düğümlerin aktarım işleminde köklü değişiklikler yaparak aktarım performansını iyileştirse de gerçek zamanlı çokluortamların taşınması için gerekli servis kalitesini sağlayamamıştır. Bu nedenle standart MIPv6 protokolüne bazı aktarım eklentileri

ve protokolleri önerilerek istenen servis kalitesinin sağlanması yoluna gidilmiştir. Önerilen eklentiler arasında yüksek sıklıkta gönderilen RA paketleri, ODAD, L2 tetikleme, Hızlı RA ve EBU eklentileri yer almaktadır.

İlişme noktasını çok sık değiştiren gezgin düğümler, çok sık iletişim kesintisine uğramakta ve aktarım sırasındaki mesajlaşmalardan dolayı ağda fazladan sinyal yüküne sebep olmaktadır. Bunun için Sıradüzensel Gezgin IPv6 (HMIPv6) aktarım protokolü önerilmiştir. Ayrıca gezgin düğümün yeni ağa hareket etmeden önce aktarım işlemlerinin bazılarını tamamlayarak aktarım süresinin kısaltılması amacıyla Hızlı Aktarım (FMIPv6) protokolü önerilmiştir. Bu bölümde aktarım eklentileri ve protokollerinden kısaca bahsedeceğiz.

2.3.1. Yüksek Sıklıkta Gönderilen Periyodik RA İletileri

Gezgin düğüm L3 aktarımını, NUD işlemiyle varolan yönlendiricinin artık ulaşılamaz olduğunu tespit ederek veya varolan yönlendiriciden eksik alınan periyodik RA iletilerini sayarak algılar. Aktarımı sezimlemede, NUD işlemi fazla gecikmeye sebep olduğu için genellikle tercih edilen bir yöntem değildir [47]. Periyodik RA iletileri arasındaki süre ne kadar az olursa aktarım sezimlemesi daha önce gerçekleşir. Bunun için RA iletilerinin gönderilme aralığını belirleyen MaxRtrAdvInterval (Azami Yönlendirici Bildiri Aralığı), MinRtrAdvInterval (Asgari Yönlendirici Bildiri Aralığı) parametrelerinin, [33]'de belirtilen asgari sınır değerleri [18]'de esnetilerek gezgin düğümün daha kısa sürelerde RA iletileri alması ve aktarımı daha erken farketmesi amaçlanmıştır.

2.3.2. Hızlı RA İletileri

Gezgin düğüm yeni ağdaki yönlendiriciden henüz periyodik RA iletisi almamışsa ağdaki yönlendiricilere RS paketi gönderir. RS iletisini alan yönlendiriciler ağdaki diğer yönlendiricilerin göndereceği RA cevap paketleriyle çakışmaması için RA paketi göndermeden önce 0 ile MAX_RA_DELAY_TIME⁴ (Azami Yönlendirici Bildirisi Gecikme Süresi) arasında rasgele bir süre beklerler. Bu bekleme ve karşılıklı mesajlaşma süreleri aktarım süresini arttırır.

⁴ Varsayılan değeri 500 msn [33].

Aktarım süresindeki bu gecikmeyi azaltmak için ağda en fazla bir yönlendiricinin, gelen RS ileti paketlerine beklemeden RA cevap ileti göndermesi sağlanarak aktarımdaki bu gecikmenin giderilmesi önerilmiştir [23].

2.3.3. L2 Tetikleme

Sadece ağ katmanına bağlı aktarım sezimleme teknikleri, aktarımı ağ katman seviyesinde oluşan hareketlere (kaçırılan periyodik RA ileti sayısı, NUD işlemi gibi) göre belirledikleri için aktarımı L2 katmanından çok sonra farketmektedirler [53]. L2 katmanında hareket sezimlendiğinde L3 katmanı tetiklenerek gezgin düğümün aktarım işlemine daha önce başlaması sağlanarak aktarım gecikmesinin azaltılması amaçlanmıştır [50] [51].

2.3.4. İyimser Çift Adres Tespit İşlemi (ODAD)

Gezgin düğüm yeni ağda oluşturduğu CoA'ni iletişimde kullanmadan önce benzersizliğini doğrulaması gerekir. Bunun için DAD işlemi yapması gerekir. DAD işlemi aktarım süresinde gecikmeye⁵ sebep olur. Aktarım işlemindeki bu gecikmeyi azaltmak için DAD işlemi yerine İyimser Çift Adres Tespit yönteminin (ODAD) [31] kullanılması önerilmiştir.

ODAD yöntemi adreslerin iyi dağıtıldığı bir ağda aynı adresin başka bir arabirim tarafından kullanılma olasılığının düşük olması prensibine dayanır. Bu prensibe göre yeni ağda oluşturulan geçici adres, normal DAD işleminin bitmesi beklenmeden bazı sınırlamalarla kullanıma açılır. Bu sayede gezgin düğümün yeni ağda iletişime kısa sürede tekrar başlanması sağlanır. Gerçekten adreslerin iyi dağıtıldığı bir ağda normal DAD işlemi seyrek olarak başarısız olarak sonuçlanır [31]. Kullanılan bu geçici adrese iyimser adres (optimistic address) bu adresi kullanan düğümlere iyimser düğüm (optimistic node) denir. Normal DAD işlemi tamamlanıp adresin benzersizliği doğrulandıktan sonra adres tercih edilen adres (preferred address) durumuna geçer ve adres sınırsız olarak kullanıma açılır.

2.3.5. Erken İlişkilendirme Güncellemesi (EBU)

Gezgin düğüm oluşturduğu yeni CoA'ni güvenli olarak karşı düğüme kayıt edebilmesi için dönüş yönlendirilebilirliği yordamını gerçekleştirmek zorundadır.

⁵ Asgari 1000 msn.

Bunun için CN'la yaptığı ev adres (HoTI-HoT) ve güncel adres (CoTI-CoT) sınamalarını başarıyla geçmesi gerekir. MN, sınama işlemlerinden alınan ev adres anahtarını oluşturma ve güncel adres anahtarını oluşturma jetonlarını birleştirerek "ilişkilendirim yönetim anahtarı (Kbm)" oluşturur ve bu anahtarı CN'a göndereceği BU iletisi içine koyarak CN'a kayıt olur.

Yapılan sınama işlemlerin sürelerine ve CN'a gönderilen BU iletisi iletim süresine bağlı olarak aktarım süresinde asgari iki gidiş-dönüş süresi (büyüklüğü MN-HA, HA-CN ve MN-CN arasındaki iletim gecikmelerine bağlı) kadar gecikmeye sebep olabilir. Hatta bu gecikme HoTI ve HoT iletisinin ev ağında tekrar yönlendirilmesinden dolayı iki gidiş-dönüş süresinden daha fazla olabilmektedir. Bu gecikme atlantikaşırı aramalarda 200 msn'lere kadar çıkabilmektedir [49]. Tek başına bu gecikme dahi gerçek zamanlı iletişimin servis kalitesini büyük oranda etkilemektedir.

Ev adres sınamasıyla CN'dan alınan ev adres anahtarını oluşturma jetonu gezgin düğümün hareketine bağlı değildir ve alındıktan sonra belirli bir süre⁶ daha tazeliğini korur [18]. Bu nedenle ev adres sınamasının aktarım sırasında yapılmasına gerek yoktur. Ayrıca EBU eklentisinde erken ilişkilendirim güncellemesi (EBU) ve erken ilişkilendirim onay (EBA) iletileri tanımlanmıştır. MN EBU iletisini güncel adres sınaması bitmeden göndererek CN'a geçici kayıt olur. Böylece MN CN'la direk iletişime daha erken geçebilir. MN güncel adres sınamasını tamamladığında CN'a BU iletisi göndererek karşı düğüm kayıt işlemini tamamlar.

Önerilen bu yöntemle ev adres sınamasının aktarım öncesinde gerçekleştirilmesi sağlanarak ev adres sınamasının aktarım süresini etkilememesi ve yeni tanımlanan EBU iletisiyle CN'a geçici olarak kayıt yapılarak karşı düğümle daha erken direk iletişime geçilmesi amaçlanmıştır [48].

2.3.6. Sıradüzensel Gezgin IPv6 (HMIPv6) Protokolü

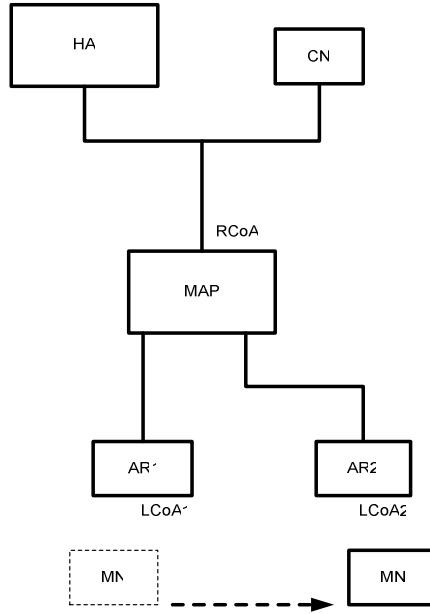
Gezgin düğüm yeni bir ağa hareketinden sonra ev üstlenicisiyle ve karşı düğümle olan iletişimini devam ettirebilmek için HA ve CN'a yeni yerini bildiren BU iletileri gönderir [18]. Gezgin düğüm ev üstlenicisine ve karşı düğümüne kayıt için en iyi

⁶ 210 msn [18].

ihtimalle iki gidiş-dönüş süresine (dönüş yönlendirilebilirliği yordamının ev kayıt işlemiyle beraber başlatıldığında) ihtiyacı olur. İlişme noktasını çok sık değiştiren gezgin düğümlerin her aktarımda HA ve CN'a BU iletisi göndermeleri ağda sinyal yüküne ve aktarım süresinin artmasına sebep olacaktır.

Aktarım sırasında HA ve CN'a BU iletilerinin gönderilmemesi MIPv6 aktarım performansını arttırdığı gibi ve ağdaki sinyal trafiğini de azaltacaktır [39]. HMIPv6 protokolüyle ağda belirli noktalara Gezginlik Çapa Noktaları (MAP) konularak, bu mesajlaşma yükünün hafifletilmesi amaçlanmıştır. MAP'ler gezginlik yönetimini iç alan gezginlik (intra-domain mobility) ve alanlararası gezginlik (inter-domain mobility) yönetimi olarak ikiye ayırır [14].

Sıradüzensel ağ yapısında herhangi bir seviyeye yerleştirilen MAP'ler aslında gezgin düğüme yabancı ağda bölgesel ev üstlenicisi gibi davranır. Şekil 2.7'de MAP'in ve diğer ağ elemanlarının ağ mimarisindeki olabilecek basit bir yerleşimi gösterilmiştir.



Şekil 2.7 HMIPv6'da ağ elemanlarını yerleşimi

Ağdaki MAP'ler düzenli aralıklarla MAP seçeneği ve MAP evrensel IP adres bilgilerini de içeren RA iletileri yayar. Gezgin düğüm, MAP alanına girdiğinde MAP seçeneği ve MAP evrensel IP adres bilgilerini de içeren RA iletileri alır. Gezgin

düğüm RA iletilerine bakarak L3 aktarımını sezimleyebildiği gibi iletiyle gelen MAP seçeneğine göre farklı bir MAP alanına hareket edip etmediğini de anlayabilir.

Yeni bir MAP alanına giren MN, bölgesel güncel konum adresi (RCoA) ve yerel güncel konum adresi (LCoA) oluşturur. RCoA'ı MAP'den aldığı RA iletilerinin içindeki MAP altağ örneklerine göre oluşturur ve aynı MAP alanında kaldığı sürece RCoA'ı değişmez. LCoA'ı gezgin düğümün MAP alanı içinde bağlı olduğu konuma (bağlı olduğu AR'a) göre değişebilir.

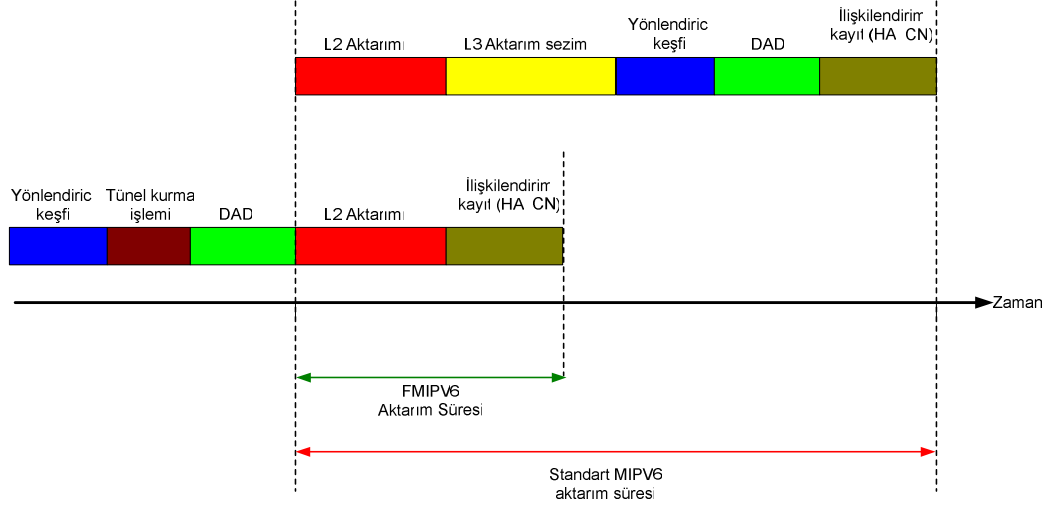
Aynı MAP alandaki AR'lar arasında hareket eden gezgin düğüm HA'a ve CN'lara gönderdiği BU iletileri yerine sadece bağlı olduğu MAP'e LCoA değişikliğini bildirmek için BU iletileri gönderir. Bu sayede aynı MAP alanı içindeki her aktarımda CN'lara ve HA' a BU mesajları gönderilmeyerek MAP yerel alanı dışına gönderilen sinyalleşmeler kısıtlanmış olur.

HMIPv6 protokolüyle gezgin düğümün aktarım sırasında CN ve HA arasındaki sinyalleşme yükünün azaltılması ve aktarım süresinin azaltılması amaçlanmıştır.

2.3.7. Hızlı Aktarım (FMIPv6) Protokolü

FMIPv6 protokolüyle gezgin düğümün yeni ağa hareket etmeden yeni ağda kullanacağı CoA'ni oluşturup benzersizliğini doğrulaması ve eski erişim yönlendiricisi (PAR) ve yeni erişim yönlendiricisi (NAR) arasında çift yönlü geçici tünel oluşturarak aktarım performansının artırılması amaçlanmıştır [24]. MN yeni ağa geçer geçmez edindiği CoA'ı vakit kaybetmeden kullanmaya başlayabilir. Ayrıca aktarım sırasında oluşabilecek paket kayıplarını azaltmak için arada oluşturulan tünel sayesinde MN'un eski güncel konum adresine (PCoA) gelen paketler PAR tarafından tünellenerek NAR üzerinden MN'un yeni güncel konum adresine (NCoA) yönlendirilebilir.

FMIPv6 protokolüyle MN yeni ağa hareket etmeden önce Yönlendirici Keşfi, Adres Yapılandırma ve DAD gibi aktarım işlemlerini tamamlayabilir. Şekil 2.8'de FMIPv6 ve MIPv6 aktarım süreleri sembolik olarak karşılaştırılmıştır.



Şekil 2.8 FMIPv6 ve standart MIPv6 aktarım süreleri

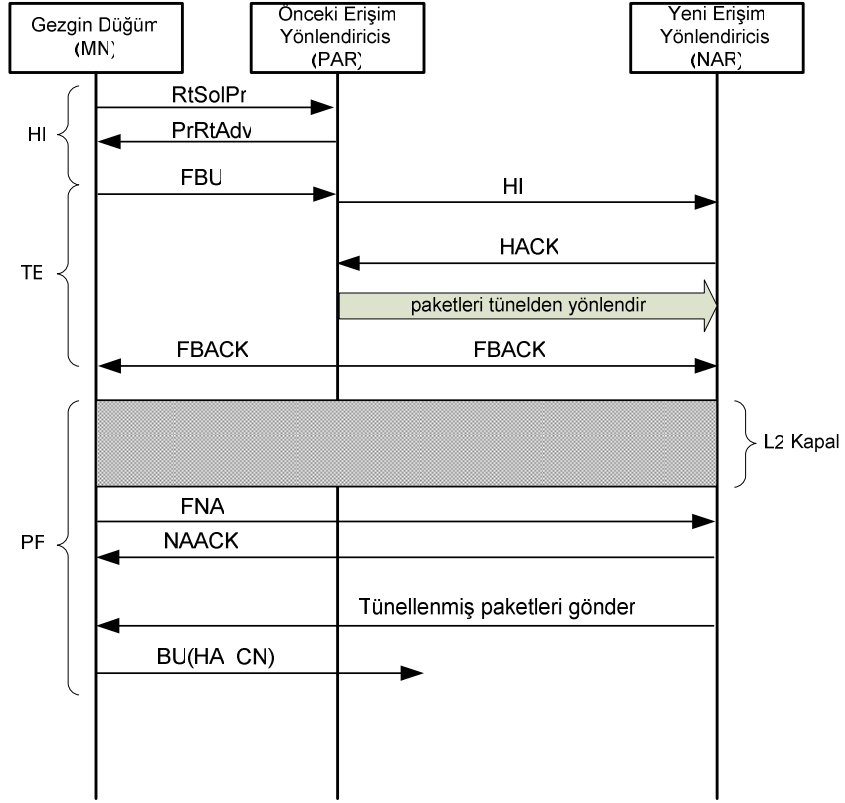
2.3.7.1. Öngörüşel hızlı aktarım

Öngörüşel hızlı aktarım işlemi üç basamaktan oluşur: aktarım başlatma (HI), tünel kurma (TE), paket yönlendirme (PF). Şekil 2.9'da öngörüşel hızlı aktarım işlemi gösterilmiştir.

MN L2 tetikleme ile aktarımı sezimlediğinde [22] [34] [50] komşu yönlendiricilerle ilgili bilgi almak için PAR'a Yönlendirici İstem Vekil (RtrSolPr) iletisi gönderir. RtrSolPr iletisi MN'un algıladığı tüm AP'lerin bilgilerini tutan bir liste içerir. PAR bu listedeki AP'lerle ilişkili olan tüm yönlendiricilerin bilgilerini Vekil Yönlendirici Bildirisi (PrRtAdv) iletisinde MN'a gönderir. Gönderilen yönlendirici bilgilerinin içinde NAR'ların bağ katman adresi, IP adresi ve MN'un yeni ağda kullanacağı NCoA'ni oluşturabilmesi için gerekli tüm ağ önekleri bulunur.

PrRtAdv iletisini alan MN hangi AP'e bağlanacağına (ve hangi NAR'a bağlanacağına) karar verdikten sonra PAR'a Hızlı İlişkilendirme Güncelleme (FBU) iletisi gönderir. PAR, FBU iletisini alınca NAR'a HI iletisi gönderir. HI iletisinin amacı PAR ve NAR arasında çift yönlü tünel kurmak ve MN'un oluşturduğu NCoA'nin NAR ağında benzersizliğinin kontrol edilmesidir. Ayrıca FBU iletisini alan PAR MN'un PCoA'ne gelen tüm paketleri NCoA'ne çift yönlü tünel aracılığıyla yönlendirir.

NAR, HI iletisini aldıktan sonra NCoA'in benzersizliğini kontrol eder ve MN'un PCoA'ne gelen paketleri arabelleğe alır. NAR cevap olarak PAR'a HACK iletisi gönderir. HACK iletisini alan PAR MN'a FBACK iletisi döndürür.



Şekil 2.9 Öngörüselsel hızlı aktarım işlemi

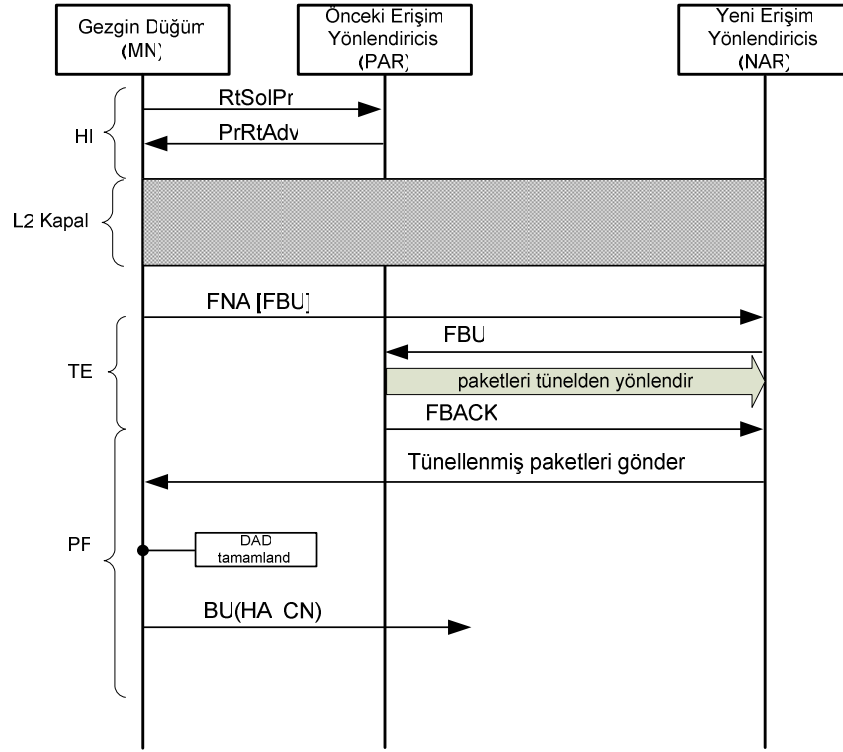
MN yeni ilişme noktasındaki varlığını göstermek için NAR'a Hızlı Komşu Bildiri (FNA) iletisi gönderir. FNA iletisini alan NAR, daha önce tamponladığı tüm paketleri MN'un PCoA'ne gönderir. Ayrıca MN yeni ağdaki NCoA'ini HA ve CN'lara kayıt edene kadar göndereceği paketlerin kaynak adresi PCoA'dir ve bu paketleri çift yönlü tünelden gönderir.

2.3.7.2. Tepkisel hızlı aktarım

MN bazen PAR'a FBU iletisi gönderdikten sonra FBACK iletisini beklemeden NAR ağına hareket edebilir. Bu durumda FBU iletisinin PAR tarafından alınıp başarılı olarak işlendiğinden emin olmak için MN NAR ağına geçer geçmez FNA iletisinin içine FBU iletisini sarmalayarak gönderir. Bu iletiyi alan NAR FBU iletisinin içinde gönderilen NCoA'inin benzersizliğini doğrular ve PAR'la tünel kurmak için işlemleri başlatır. Şekil 2.10'da tepkisel hızlı aktarım işlemi gösterilmiştir.

Tepkisel hızlı aktarımda hareket öncesinde adres oluşturma (NCoA) ve tünel kurma işlemleri tamamlanmamış olabileceği için aktarım süresi öngörüselsel hızlı aktarıma göre fazla olacaktır. Fakat kurulan çift yönlü tünel sayesinde DAD işlemi,

HA ve CN kayıt işlemleri sırasında oluşabilecek paket kayıplarından iletişimin etkilenmemesi sağlanmış olur [26].



Şekil 2.10 Tepkisel hızlı aktarım işlemi

FMIPv6 aktarım protokolüyle gezgin düğümün L2 katmanından aldığı aktarım uyarısıyla yeni ağa hareket etmeden önce aktarım işlemlerinin bazılarını (bağlanacağı yeni yönlendiriciyi bulması, yeni ağda kullanacağı CoA'ni oluşturması gibi) tamamlayarak ve PAR ve NAR arasında geçici çift yönlü tünel oluşturarak aktarım süresinin ve aktarım sırasındaki paket kayıplarının en aza indirilmesi amaçlanmıştır.

Aktarım performansı üzerinde FMIPv6 protokolü ile HMIPv6 protokolünün faydalarını birleştirmek için H+FMIPv6 protokolü önerilmiştir. Bu karma protokolde, MN'un aktarım işlemlerini başlatmak için gönderdiği FMIPv6 aktarım mesajları (RtSolPr, FBU, ...) PAR yerine MAP'a gönderilir ve PAR ve NAR arasında oluşturulan çift yönlü tünel bu protokolde MAP ile NAR arasında oluşturulur. Ayrıca HMIPv6 protokolünde olduğu gibi MN, kaydolduğu MAP alanında gerçekleşen aktarımlarda LCoA'lerini her defasında HA'a ve CN'a bildirmek zorunda değildir. H+FMIPv6 protokolüyle aktarım sırasındaki yapılan işlemlerin aktarımdan daha

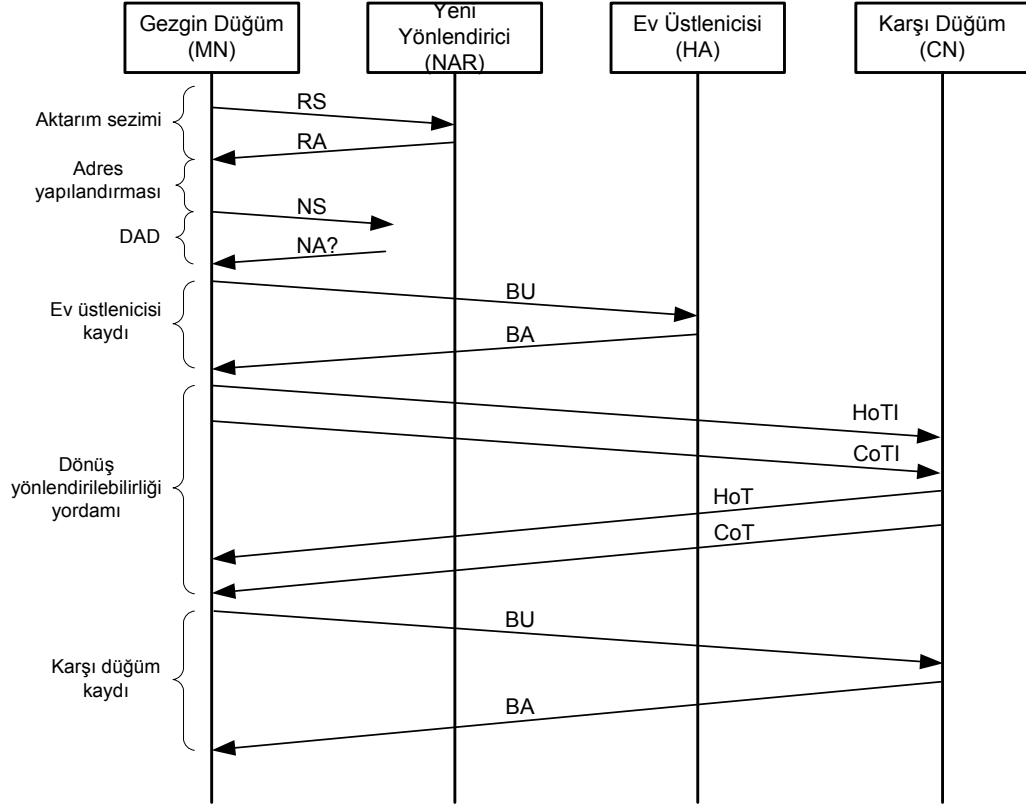
nce tamamlanması ve oluşturulan tünel sayesinde paket kayıplarının azaltılması sağlanırken, aktarım sırasındaki sinyalleşmenin azaltılmasıyla da ağdaki sinyal trafiği azaltılmış olur [19] [47].

3. MOBİL IPv6 AKTARIM YÖNTEMLERİNİN ANALİZİ

Bu bölümde standart MIPv6 aktarım işleminin daha iyi anlaşılması için aktarım bölümlerinin kuramsal analizleri yapılacaktır. Ayrıca standart MIPv6 aktarım performansını iyileştirmek için önerilen eklentilerden ve protokollerden detaylı olarak bahsedilecektir.

3.1. Standart MIPv6 Aktarım İşlemi

Aktarım süresi, gezgin düğümün eski ağından ayrılıp yeni ağında iletişime tekrar başlayıncaya kadar geçen süre olarak tanımlanmıştır [32]. Aktarım işleminin kuramsal olarak daha iyi anlaşılması için bölümlere ayrılırsa dört ayrı bölüm olarak ifade edilebilir. Bu bölümlerden aşağıdaki bölümlerde detaylı olarak bahsedeceğiz. Şekil 3.1'de standart MIPv6 aktarım senaryosu ve aktarım bölümleri gösterilmiştir.



Şekil 3.1 Standart MIPv6 aktarım bölümleri

3.1.1. Aktarım Sezim Süresi

Gezin düğümün varolan yönlendiriciye ulaşamadığını algılaması ve yeni ağdaki yönlendiriciden RA iletisi almasına kadar geçen süredir. Gezin düğüm yeni

ağdaki yönlendiriciyi, yeni yönlendiricilerden gönderilen istenen RA iletileriyle veya periyodik RA iletileriyle algılar.

Aktarım sezim süresi aşağıdaki bileşenlerden oluşur:

- Varolan yönlendiriciye ulaşılamazlık tespit süresi (T_{RUD}) : Yönlendiriciler belirli aralıklarda RA paketleri yayarlar. Ardışık gönderilen iki RA paket arasındaki süre $MinRtrAdvInterval$ ve $MaxRtrAdvInterval$ [18] arasında rasgele seçilir. Gezgin düğüm her $RtrAdvInterval$ (Yönlendirici Bildiri Aralığı) süresi sonunda ardışık olarak kaçırdığı periyodik RA paket sayısını bir arttırır. MN'un ardışık kaçırdığı periyodik RA sayısı $AllowedMissedRtrAdv$ (Kaçırılabilen Yönlendirici Bildiri Sayısı) [33] sayaç değerini geçtiğinde aktarım sezimlemesi gerçekleşmiş olur ve gezgin düğüm aktarım işlemine başlar. Bu süre Eşitlik (3.1)'deki gibi ifade edilir:

$$t_{RUD} = RtrAdvInterval \times (AllowedMissedRtrAdv + 1) \quad (3.1)$$

- İstenen RA iletisi alma gecikme süresi ($t_{delayRA}$): Yeni bir ağa hareket sezimlendiğinde ve yeni yönlendiricilerden periyodik RA iletileri henüz alınmamışsa gezgin düğüm ağdaki potansiyel yönlendiricilere RS paketi gönderir. RS iletisini alan yönlendiriciler ağdaki diğer yönlendiricilerin göndereceği RA paketleriyle çakışmaması için RA paketi göndermeden önce 0 ile $MAX_RA_DELAY_TIME$ [33] arasında rasgele bir süre beklerler. Bu süre Eşitlik (3.2)'deki gibi ifade edilir:

$$0 \leq t_{delayRA} \leq MAX_RA_DELAY_TIME \quad (3.2)$$

Bu durumda toplam aktarım sezim süresi (t_d) Eşitlik (3.3)'deki gibi ifade edilir:

$$t_d = T_{RUD} + T_{delayRA} \quad (3.3)$$

3.1.2. Adres Yapılandırma ve DAD Süresi

Gezgin düğümün RA iletisi aldıktan sonra CoA'ni oluşturup DAD işlemini tamamlaması esnasında geçen süredir. Adres yapılandırma ve DAD süresi Eşitlik (3.4)'deki gibi ifade edilir:

$$t_a = T_{AddrConfig} + T_{DAD} \quad (3.4)$$

$T_{AddrConfig}$ süresi gezgin düğümün geçici bağlantı yerel adresini, ve arabirim tanımlayıcı adresini (MAC adres) kullanarak geçici adres oluşturması sırasında geçen zamandır. Gezgin düğümün işlemci hızına bağlıdır ve genellikle toplam aktarım süresine göre ihmal edilebilir bir süredir.

T_{DAD} süresi gezgin düğümün oluşturduğu adresin (geçici CoA) benzersizliğinin doğrulanması için geçen süredir. MN oluşturduğu geçici CoA'ı NS paketinin içine koyarak tüm düğümlerin çoğa gönderim adresine gönderir ve RetransTimer süresince [33] cevap bekler. RetransTimer süresince veya sonrasında geçici CoA'ı kullanan komşu düğümlerden Komşu Bildirisi (NA) iletisi gelmezse DupAddrDetectTransmits sayacı [42] bir azaltılır ve bu işlem DupAddrDetectTransmits sayacı sıfırlanıncaya kadar devam ettirilir. İşlem sonunda adresin benzersiz olduğu kabul edilir ve adres kullanıma açılır. DAD süresi (T_{DAD}) aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$T_{DAD} = RetransTimer \times DupAddrDetectTransmits \quad (3.5)$$

3.1.3. Ev Üstlenicisi Kayıt Süresi

Ev üstlenicisi kayıt süresi (t_r) gezgin düğümün ev üstlenicisine yeni CoA'ni kayıt ettirmesi sırasında geçen iletim süresidir. Ev üstlenicisine gönderilen BU ve BA mesajlarının gidiş-dönüş süresine (RTT) ve bu mesajların işleme süresine bağlıdır. Mesajların işleme süreleri aktarım gecikme sürelerine göre çok küçük olduğundan ihmal edilebilir. Bu durumda ev üstlenicisi kayıt süresi (t_r) aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$t_r = RTT_{MN-HA} \quad (3.6)$$

3.1.4. Yol Eniyileme Süresi

Yol eniyileme süresi (t_o) gezgin düğümün ilişkilendirim güncelleme listesindeki en uzak karşı düğüme yeni adresini (CoA) kayıt ettirmesi sırasında geçen süredir. Bu süre (t_o) BU iletisinin kötü niyetli bir MN 'dan gelip gelmediğini anlamak için kimlik doğrulamasının (dönüş yönlendirilebilirliği yordamının) yapılıp yapılmamasına göre iki farklı şekilde hesaplanır.

BU iletisine kimlik doğrulaması yapılmadığında:

$$t_o = RTT_{MN-CN} \quad (3.7)$$

BU iletisine kimlik doğrulaması yapıldığında:

$$\begin{aligned} t_o &= \max(T_{HoTI-HoT}, T_{CoTI-CoT}) + RTT_{MN-CN} \\ &= T_{HoTI-HoT} + RTT_{MN-CN} \end{aligned} \quad (3.8)$$

MN dönüş yönlendirilebilirliği yordamını başlatmak için CN'a sırasıyla HoTI, CoTI iletileri gönderir ve HoT CoT iletileri alır (Bkz. Bölüm 2.2.2.1). Bu mesajlaşmalar sırasında geçen süre $T_{HoTI-HoT}$ ve $T_{CoTI-CoT}$ olarak gösterilmiştir. Ev sınaması, güncel adres sınamasına göre büyük olduğu için $\max(T_{HoTI-HoT} + T_{CoTI-CoT})$ süresinin değeri $T_{HoTI-HoT}$ değerine eşittir. Kimlik doğrulama işleminden sonra MN, karşı düğümlere BU iletisi gönderir ve BA iletisi alır. Bu mesajlaşmalar sırasındaki geçen süre RTT_{MN-CN} olarak gösterilmiştir.

Bu durumda toplam aktarım gecikme süresi (t_h) Eşitlik (3.9)'daki gibi ifade edilir.

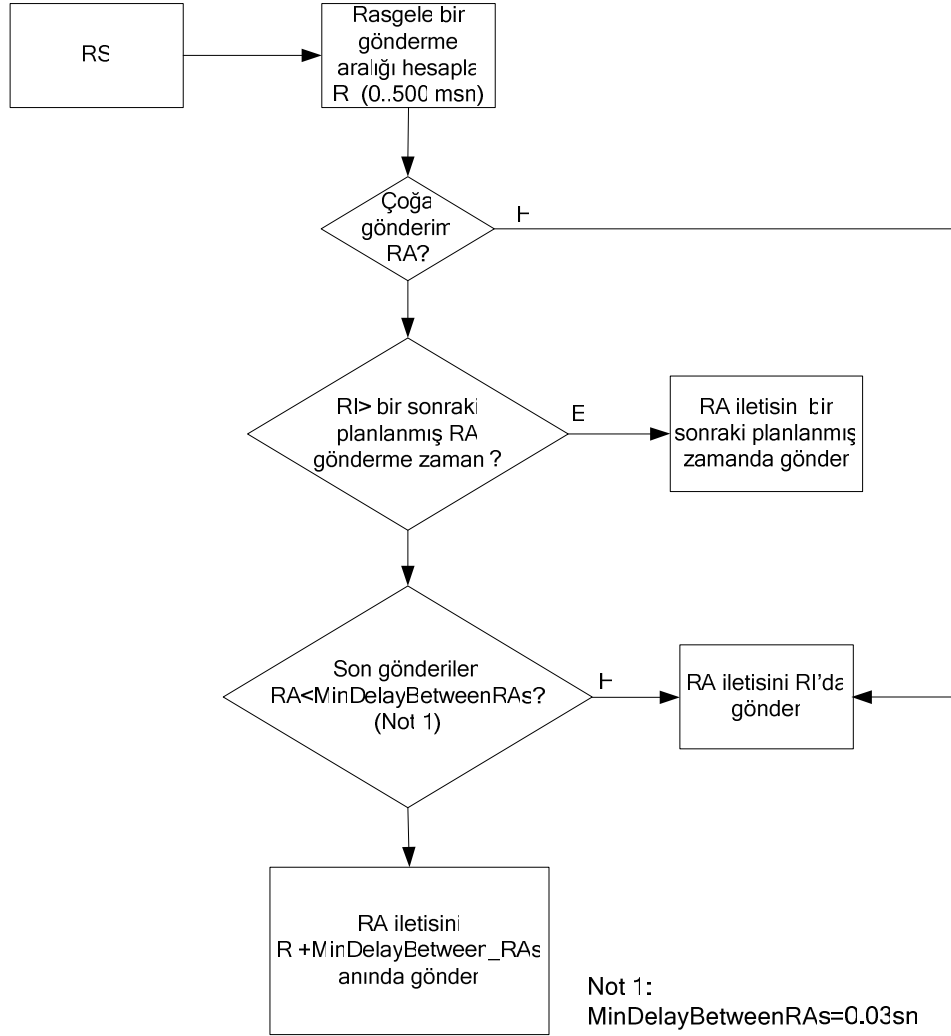
$$t_h = t_d + t_a + t_r + t_o \quad (3.9)$$

3.2. Yüksek Sıklıkta Gönderilen Periyodik RA İletileri

Gezgin düğüm ağdaki yönlendiricileri, yönlendiriciden alınan periyodik RA paketleriyle yada istenen RA paketiyle algılar. Eğer MN aktarımı istekli RA paketiyle sezimliyorsa gezgin düğümle yönlendiriciler arasındaki mesajların karşılıklı iletim süreleri (T_{RS} , T_{RA}) aktarım süresini arttıracaktır. Ayrıca RS iletisini alan yönlendiriciler ağdaki diğer yönlendiricilerin göndereceği RA paketleriyle çakışmaması için RA paketi göndermeden önce 0 ile MAX_RA_DELAY_TIME [33] arasında rasgele bir süre beklerler. Rasgele bekleme süresi, T_{RS} , T_{RA} iletim süreleri aktarım gecikme süresini arttırır.

Gezgin düğüm yönlendiriciden istenen RA iletisini beklerken yönlendiriciden periyodik RA paketi alabilir. Bu durum gezgin düğümün ne zaman hareket ettiğine, ağın trafik durumuna ve yönlendiricinin gönderdiği periyodik RA paketleri arasındaki aralığa ve aktarım anındaki yönlendiricinin zamanlayıcılarının

değerlerine bağlıdır [10]. Şekil 3.2’de bir yönlendiricinin gelen RS paketini işlemesi ve RA paketini göndermesi ile ilgili işlemler dizisi gösterilmiştir.



Şekil 3.2 IPv6 yönlendirici RS iletisi işleme

RS paketi gönderilmeden önce periyodik RA paketi alındığında RS paketine ve rasgele bekleme süresini beklemeye gerek kalmamaktadır. Fakat bu yöntemle aktarım tespit süresi periyodik RA paketlerinin sıklığına bağlıdır. Bunun için RA paketlerinin gönderilme aralığını belirleyen MaxRtrAdvInterval, MinRtrAdvInterval parametrelerinin [33]'de belirtilen asgari sınır değerleri [18] 'de esnetilmiştir⁷.

Periyodik RA paketleri arasındaki süre ne kadar az olursa aktarım sezimlemesi daha kısa sürede gerçekleşebilir. Fakat daha çok sıklıkta gönderilen RA paketleri ağda trafiğe ve düşük kapasiteli kablosuz ağlarda tıkanıklığa sebep olabilir.

⁷ MaxRtrAdvInterval : 0.07 sn ve MinRtrAdvInterval : 0.03 sn olarak esnetilmiştir.

3.3. Hızlı RA Paketleri

Yeni bir ağa hareket eden gezgin düğüm yeni ağdaki yönlendiriciden halihazırda periyodik RA iletisi almamışsa ağdaki potansiyel yönlendiricilere RS paketi gönderir. RS iletisini alan yönlendiriciler ağdaki diğer yönlendiricilerin göndereceği RA paketleriyle çakışmaması için RA paketi göndermeden önce 0 ile MAX_RA_DELAY_TIME [33] arasında rasgele bir süre beklerler. Ortalama rasgele bekleme süresi MAX_RA_DELAY_TIME/2⁸ kadardır.

Aynı ağda en fazla bir yönlendiricinin, gelen RS ileti paketlerine beklemeden RA cevap paketi göndermesi sağlanarak aktarımdaki bu gecikmenin giderilmesi önerilmiştir [23]. RS ileti isteği yapan göndericinin tekil adresine beklenmeden gönderilen bu yönlendirici bildirisi iletilerine Hızlı RA (fast RA) iletileri denir.

Gönderilen Hızlı RA paketleri ağda tıkanıklığa sebep olmamaları için belirli aralıklarda belirli sayıda gönderilir. Ardışık iki periyodik RA iletisi arasında gönderilen Hızlı RA paketlerinin sayısı MAX_FAST_RAS⁹ (Azami Hızlı Yönlendirici Bildirileri) sayaç değerini geçmemesi gerekir. Bu değerden sonra gelen RS ileti paketleri, Şekil 3.2'de gösterilen normal RS ileti paketi gibi işlem görürler.

3.4. L2 Tetiklemesi

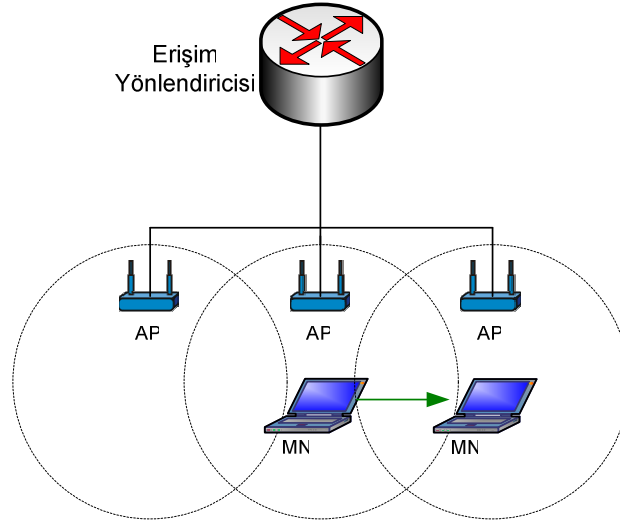
Ağ katmanında aktarımın önceden farkedilmesi ve aktarım işleminin erkenden başlatılması aktarım gecikme süresinin azaltılması dolayısıyla da süren bir iletişimin servis kalitesi açısından çok önemlidir. Bunun için L2 katmanında olan bir aktarımın L3 katmanında da bir aktarıma sebep olabileceği düşünülerek ağ katmanının erkenden uyarılması önerilmiştir [12]. Fakat her L2 katmanında olan aktarım ağ katmanında aktarıma sebep olmayabilir. Aşağıda aktarım tiplerinden ve L2 tetiklemesinin aktarım performansına etkilerinden bahsedeceğiz.

3.4.1. L2 Aktarım (Yatay aktarım)

Gezgin düğümün bağ katmanındaki bağlantısını koparıp diğer bir bağ katmanına bağlanma işlemidir. Örneğin Şekil 3.3'de gösterilen gezgin düğüm aynı erişim yönlendiricisine bağlı bir erişim noktasından bir diğer erişim noktasına bağlanmış ve IP adresinde herhangi bir değişiklik gerekmemektedir.

⁸ 250 msn.

⁹ Varsayılan değeri 10 [23].



Şekil 3.3 L2 aktarım ağ topolojisi

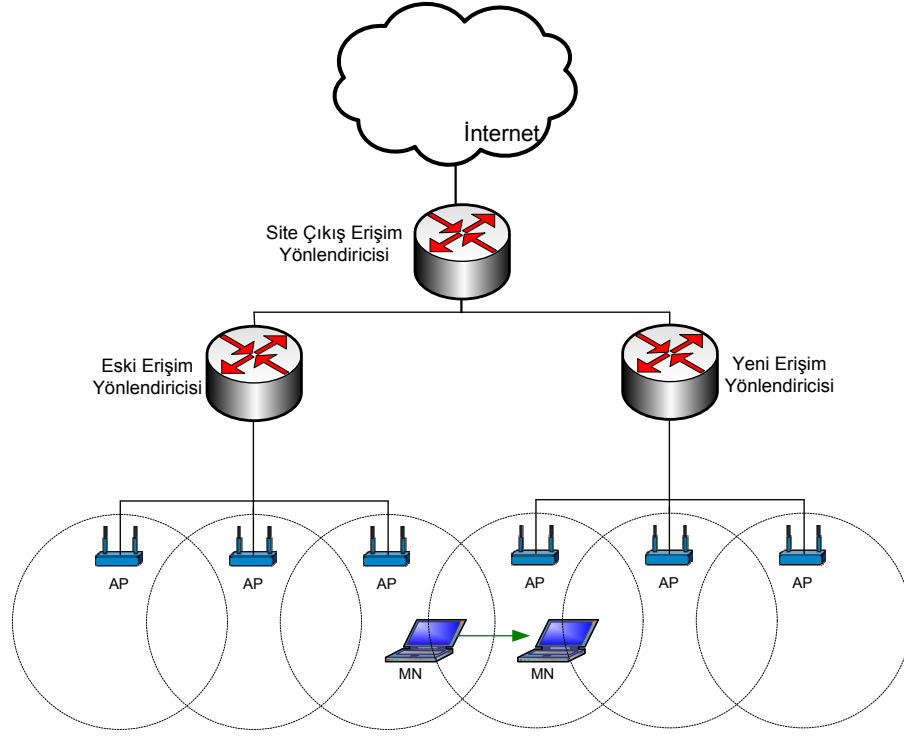
Sadece L2 aktarımının olduğu durumlarda ağ katmanında herhangi bir değişiklik olmaz. MN aynı IP adresini kullanmaya devam eder.

3.4.2. L3 Aktarım (Dikey aktarım)

Genelde L2 aktarımından sonra gerçekleşir ve gezgin düğüm ağ katmanındaki bağlantısını koparır diğer bir ağ katmanına bağlanır. Bu değişiklik gezgin düğümün altağ önekinde değişikliğe ve dolayısıyla IP adresinde değişikliğe sebep olur. Örneğin Şekil 3.4'de gösterilen gezgin düğüm (MN) bir erişim yönlendiricisinden bir diğer erişim yönlendiricisine bağlanmıştır. Bu aktarımda MN yeni erişim yönlendiricisinden RA iletisini alır almaz yeni bir CoA oluşturur.

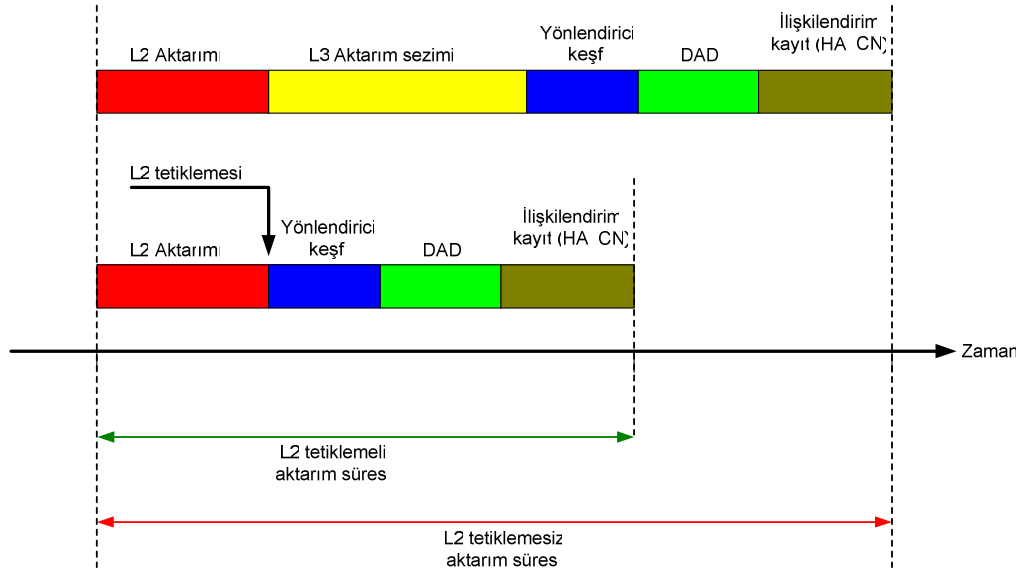
Her L2 aktarım belirtisi veya aktarımı, L3 aktarımına sebep olmayabilir. L2 aktarımının L3 aktarımına da sebep olması kablosuz ağ topolojisine bağlıdır [18]. Fakat her L3 aktarımı bir L2 aktarımı olduğunu gösterir.

Sadece ağ katmanına bağlı aktarım sezimleme teknikleri, aktarımı ağ katman seviyesinde oluşan hareketlere (ardışık olarak eksik alınan RA paketleri gibi) göre belirledikleri için aktarım hareketini sezimlemeleri L2 katmanın kopmasından ve yeniden kurulmasından çok sonra olmaktadır. Şekil 3.5'de L3 aktarım sezim süresi sarı renkli çubukla gösterilmiştir.



Şekil 3.4 L3 aktarım ağ topolojisi

Şekil 3.5'de L2 tetiklemeli aktarım süresi ile L2 tetiklemez aktarım süresi sembolik olarak karşılaştırılmıştır.



Şekil 3.5 L2 tetiklemesinin aktarım süresine etkisi

Aktarım sezimleme işlemini kısaltmak için L2 katmanında aktarım sezimlendiğinde (sinyal seviyesinin belli bir eşiğin altına düşmesi veya sinyal kalitesinin düşmesi), L3 katmanı tetiklenerek zaman kaybetmeden gezgin düğümün potansiyel

yönlendiricilere RS iletisi göndermesi (yönlendirici keşfinin başlatılması) sağlanır. Böylece, ağdaki yönlendiriciden daha erken RA iletisi alınmış ve daha önce aktarım işlemine başlanmış olur. Eğer aynı ağda hareket edilmişse (sadece L2 aktarımı olmuşsa) fazladan RS ve RA paketleri gönderilmiş olunur.

3.5. İyimser Çift Adres Tespiti (ODAD)

T_{DAD} süresi gezgin düğümün oluşturduğu geçici CoA'in benzersizliğinin doğrulanması için geçen süredir. Gezgin düğüm oluşturduğu geçici CoA'i NS paketinin içine koyarak tüm düğümlerin çoğa gönderim adresine gönderir ve RetransTimer süresince [33] cevap bekler. RetransTimer süresince veya sonrasında geçici CoA'i kullanan komşu düğümlerden NA iletisi gelmezse DupAddrDetectTransmits sayacı [42] bir azaltılır ve bu işlem DupAddrDetectTransmits sayacı sıfırlanıncaya kadar devam ettirilir. İşlem sonunda adresin benzersiz olduğu kabul edilir ve adres kullanıma açılır.

DAD işlem süresini (T_{DAD}) hesaplamak için DAD işleminde kullanılan parametrelerin varsayılan değerleri alınmıştır. RetransTimer¹⁰ süresinin ve DupAddrDetectTransmits¹¹ sayacının varsayılan değerleri Eşitlik (3.5)'de yerlerine konulduğunda DAD işlem süresi 1000 msn çıkar. Bu süreye ek olarak mesajların iletim süreleri ve iletilerin ağ aygıtları tarafından işleme süreleri vardır.

DAD işlemi aktarım süresinde 1000 msn'lik fazladan gecikmeye sebep olmaktadır. Aktarım işlemindeki bu gecikmeyi azaltmak için İyimser Çift Adres Tespit yöntemi (ODAD) [31] önerilmiştir. ODAD işlemi varolan protokollerle [33] [42] uyumlu çalışabilecek şekilde tasarlanmıştır.

ODAD işlemi adreslerin iyi dağıtıldığı bir ağda aynı adresin başka bir arabirim tarafından kullanılma olasılığının düşük olması prensibine dayanır. Bu prensibe göre yeni ağda oluşturulan geçici adres, ODAD işleminin bitmesi beklenmeden kullanılır. Bu sayede gezgin düğümün yeni ağda iletişime kısa sürede tekrar başlaması sağlanır. Gerçekten adreslerin iyi dağıtıldığı bir ağda normal DAD işlemi seyrek olarak başarısız sonuçlanır [31]. Kullanılan bu geçici adrese iyimser

¹⁰ Varsayılan değeri 1000 msn [33].

¹¹ Varsayılan değeri 1 [42].

adres (optimistic address) bu adresi kullanan düğümlere iyimser düğüm (optimistic node) denir.

Fakat normal DAD işlemi tamamlanmadan kullanılan bu iyimser adreslerin kullanımına, ağda bu adresi halihazırda kullanmakta olan düğümün iletişimini kesintiye uğratmamak için ve komşu düğümlerin komşu önbelleklerindeki bilgilerin bozulmasını engellemek için, bazı sınırlamalar getirilmiştir [31]. Bu sınırlamalar aşağıda belirtilmiştir.

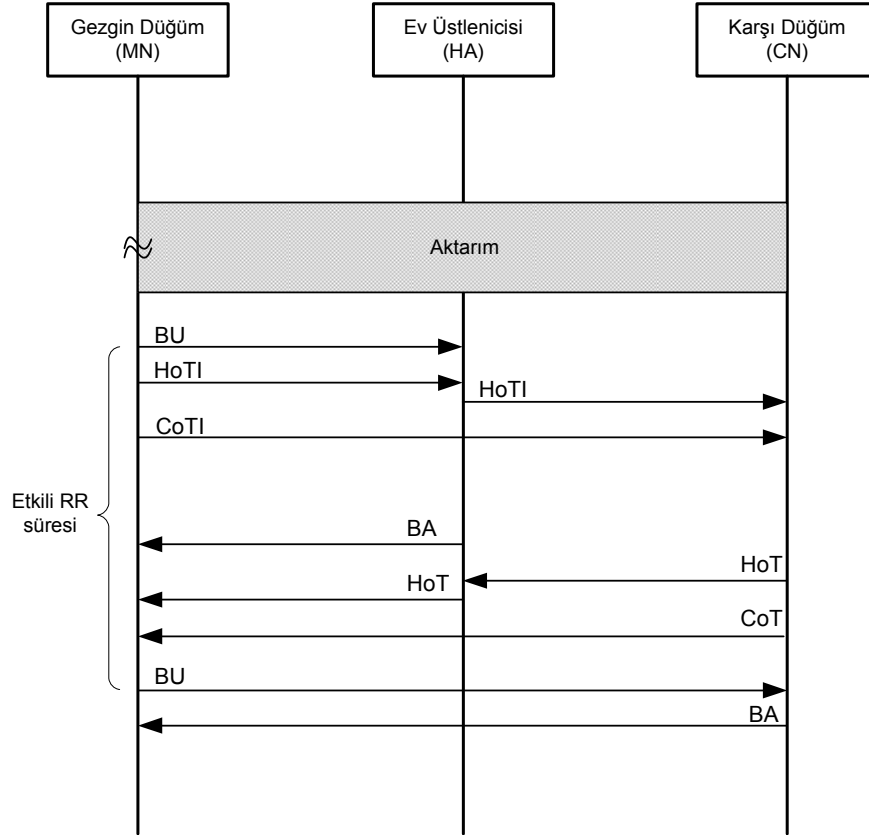
- İyimser düğümler tarafından, iyimser adresler için gönderilen NA iletilerinde “Geçersiz Kıl” [33] bayraklarının temiz olarak gönderilmesi gerekir. Bu sayede komşu düğümlerin komşu önbelleklerindeki halihazırda bu adresi kullanan geçerli düğüm bilgilerinin üstüne iyimser düğüm bilgilerinin yazılmaması sağlanır. Ayrıca iyimser düğümlerin gönderdiği NA iletilerini alan ve zaten iyimser adresi kullanmakta olan geçerli düğüm “Geçersiz Kıl” bayrakları dolu NA iletilerini çoğa göndererek adresini savunur. Geçerli düğüm tarafından gönderilen NA iletilerini alan iyimser düğüm bu adresin zaten kullanılmakta olduğunu fark eder ve bu adresi kullanmayı bırakır.
- Komşu önbelleklerinde bozulmaya sebep olduğu için, iyimser adresden Kaynak Bağlantı-Katman Adres Seçeneği (Source Link-Layer Address Option- SLLAO) içeren NS iletileri kesinlikle gönderilmemesi gerekir.
- Kaynak Bağlantı-Katman Adres Seçenekli olan istekli RS iletilerinde kaynak adresi kesinlikle iyimser adres olmamalıdır. Gönderilecek olan iletilerin adresi belirsiz adres (::) veya başka bir adres seçilmelidir veya iletiler SLLAO seçeneksiz gönderilmelidir.

3.6. Erken İlişkilendirim Güncellemesi (EBU)

MN aktarımdan sonra CN'la direk iletişim kurmak için ev adres ve güncel adres sınamalarını başarıyla tamamlamak zorundadır. Bu sınamalarda MN karşı düğümden ev adres anahtarını oluşturma ve güncel adres anahtarını oluşturma jetonlarını alır. Bunlardan ev adres anahtarını oluşturma jetonu MN'un iddia ettiği HoA'ne gerçekten sahip olup olmadığını doğrulamak için kullanılır. Güncel adres anahtarını oluşturma jetonu ise MN'un iddia ettiği CoA'nde gerçekten bulunup

bulunmadığını doğrulamak için kullanılır. Daha sonra MN, bu jetonları birleştirip BU iletişi içerisinde CN'a göndererek kayıt işlemini tamamlar.

MIPv6 RFC protokolü [18] karşı düğüm kayıt işleminin ev kayıt işlemiyle paralel olarak yapılmasına izin vermektedir. Gezgin düğüm HA' a kayıt olmak için gönderdiği BU iletişinin cevabını (BA) beklemeden ev adres ve güncel adres sınamalarını başlatabilir. Bu sayede dönüş yönlendirilebilirliği yordamının daha erken tamamlanması sağlanarak aktarım süresi azaltılabilir. Fakat ev kayıt işlemi başarısız olduğunda fazladan HoTI ve CoTI iletileri gönderilmiş olur [47]. Bu tez çalışmasında yapılan sınamalarda karşı düğüm kayıt işlemiyle ev adres kayıt işlemi paralel yapılmıştır. Şekil 3.6'da paralel yapılan standart karşı düğüm kayıt işlemi gösterilmiştir.



Şekil 3.6 Standart karşı düğüm kayıt işlemi

Karşı düğüm kayıt işleminin ev üstlenicisi kayıt işlemiyle paralel yapıldığı süreyi eşitlikle ifade etmek istersek:

$$\begin{aligned}
t_r + t_o &= \max(T_{MN-HA}, T_{HoTI-HoT}, T_{CoTI-CoT}) + RTT_{CN} \\
&= T_{HoTI-HoT} + RTT_{CN}
\end{aligned} \tag{3.10}$$

Burada ev kayıt işlemi sırasında geçen süre T_{MN-HA} olarak, ev adres ve güncel adres sınamaları sırasında geçen süreler sırasıyla $T_{HoTI-HoT}$ ve $T_{CoTI-CoT}$ ($=RTT_{CN}$) olarak gösterilmiştir. Ayrıca CN'a BU iletisi gönderilmesi ve CN'dan ilk paketin alınması sırasında geçen süre RTT_{CN} olarak gösterilmiştir. Ev adres sınaması, güncel adres sınaması ve ev kayıt işlemine göre her zaman büyük olduğu için $\max(T_{MN-HA} + T_{HoTI-HoT} + T_{CoTI-CoT})$ süresinin değeri $T_{HoTI-HoT}$ değerine eşittir.

MN ev adres sınamasını aktarım sırasında yapmak zorunda değildir. Çünkü ev adresi MN'un hareket ettiği ağa göre değişen bir adres değildir. Dolayısıyla bu sınamanın aktarım sırasından başka bir zamana kaydırılması aktarım süresini azaltacaktır [48]. Bunun için MN, L2 katmanından aldığı aktarım tetiklemeyle ev adres sınamasını yeni ağa geçmeden tamamlayabilir veya belirli aralıklarda ev adres sınamasını yaparak ev adres anahtarını oluşturma jetonunun tazeliğini koruyabilir [48]. MN, $MAX_TOKEN_LIFETIME^{12}$ (Azami Jeton Yaşam Süresi) [18] süresinden daha az aralıklarda, ev adres sınamalarını periyodik olarak tekrarlayarak ev adres anahtarını oluşturma jetonunun tazeliğini koruyabilir.

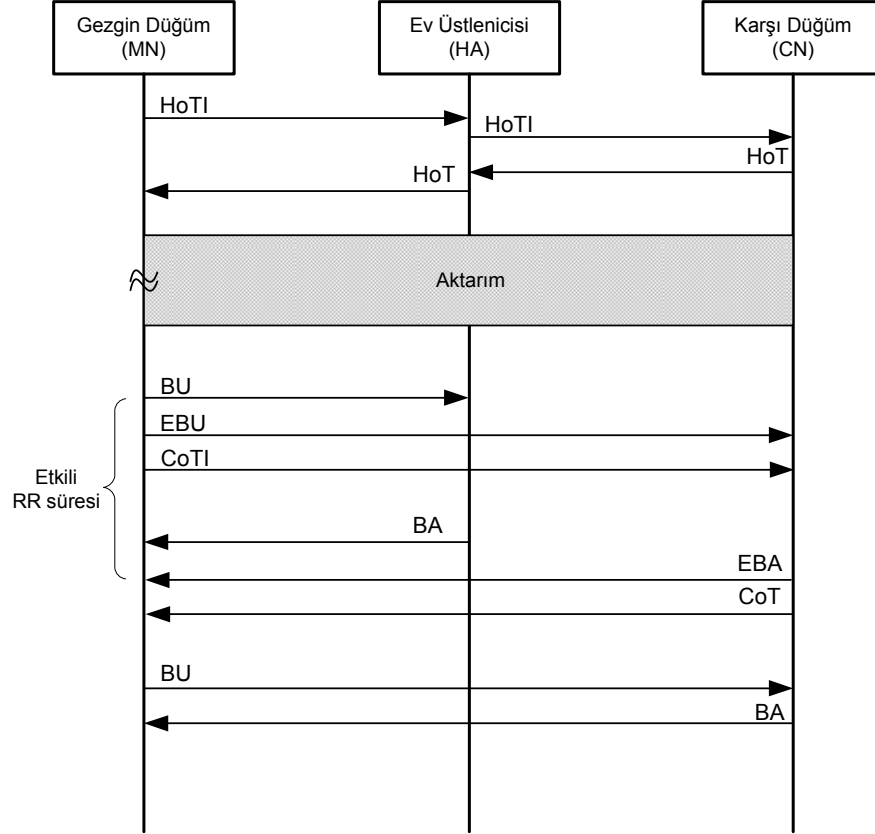
MN yeni CoA'ni oluşturduktan sonra ev kayıt ve karşı düğüm kayıt işlemlerini yapmak için arka arkaya üç ileti gönderir. BU iletisini HA'a, EBU ve CoTI iletilerini CN'a gönderir. Şekil 3.7'de EBU ile karşı düğüm kayıt işlemi gösterilmiştir.

EBU iletisini alan CN ilişkilendirim güncelleme listesinde, MN'un CoA'nin durumunu "DOĞRULANMAMIŞ" olarak işaretleyerek MN'u geçici olarak kaydeder. Çünkü MN'un güncel adres sınaması hala devam ettiği için MN'un iddia ettiği adreste olduğu kesin olarak henüz doğrulanmamıştır. Bu geçici kayıt işleminden sonra CN, MN'a göndereceği paketleri direk olarak gönderebilir. Bu sayede MN ve CN arasındaki iletişimin performansı aktarımın tamamen tamamlanması beklenmeden arttırılmış olur.

MN, HA'dan BA iletisini ve karşı düğümden CoT iletisini aldıktan sonra ev adres anahtarını oluşturma ve güncel adres anahtarını oluşturma jetonlarını birleştirip

¹² 210 sn

standart BU iletisi içinde CN'a gönderir. BU iletisini alan CN, MN'un CoA'nin "DOĞRULANMAMIŞ" durumunu "DOĞRULANMIŞ" olarak değiştirir. Böylece dönüş yönlendirilebilirliği yordamı ve karşı düğüm kayıt işlemi tamamlanmış olur.



Şekil 3.7 EBU ile karşı düğüm kayıt işlemi

CN EBU iletisini alır almaz MN'un yeni CoA'ne direk paket gönderebilir. EBU iletisinin CN'a varış süresi $0.5 RTT_{CN}$ dir. EBU iletisini alan CN'un MN'un yeni CoA'ne göndereceği ilk paketin MN'a ulaşması için gereken süre $0.5 RTT_{CN}$ dir. Bu durumda karşı düğüm kayıt işleminin EBU eklentisiyle gerçekleştirildiğinde geçen süreyi ifade etmek istersek işlem süresi aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$t_r + t_o = RTT_{CN} \quad (3.11)$$

Eşitlik (3.10) ve (3.11)'den görülebildiği üzere, karşı düğüm kayıt işlemi EBU eklentisiyle yapıldığında standart karşı düğüm kayıt işlem süresinin $T_{HoTI-HoT}$ kadar daha az olması beklenmektedir. EBU iletisi sayesinde MN'un CN'a kayıt işlemi geçici de olsa daha erken yapılarak aktarım performansının daha erken artırılması amaçlanmıştır.

3.7. Sıradüzensel Gezgin IPv6 (HMIPv6)

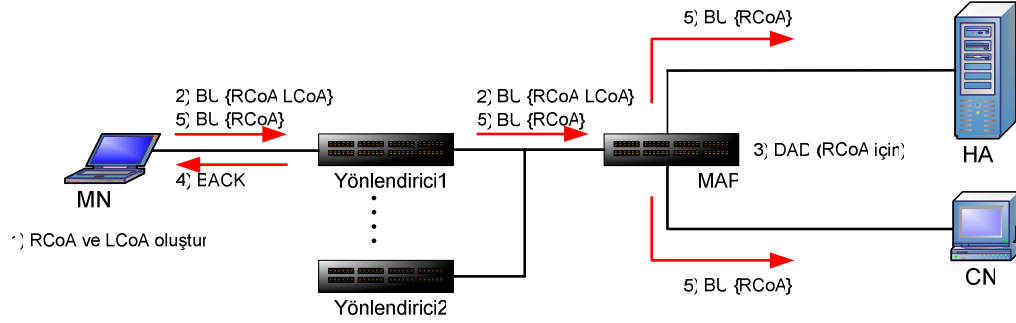
HMIPv6 protokolüyle ilişme noktasını çok sık değiştiren gezgin düğümlerin aktarım sırasında CN ve HA arasındaki sinyalleşme yükünün ve aktarım süresinin azaltılması amaçlanmıştır. Bunun için ağda belirli noktalara MAP'ler konularak ağ iç alan gezginlik alanlarına bölünmüştür. Gezgin düğümlerin bu alanlar içinde yaptıkları yerel aktarımlarda sadece MAP'i bilgilendirmeleri sağlanarak mesajlaşma sayısında ve aktarım süresinde tasarrufa gidilmiştir.

3.7.1. HMIPv6 İşlemi

Ağdaki MAP'ler düzenli aralıklarla MAP seçeneği ve MAP evrensel IP adres bilgilerini de içeren RA iletileri yayar. MAP seçenekli RA iletilerini alan ağdaki diğer yönlendiriciler bu iletileri alt arayüzlerine yayarlar.

Gezgin düğüm, MAP alanına girdiğinde MAP seçeneği ve MAP evrensel IP adres bilgilerini de içeren RA iletileri alır. Gezgin düğüm RA iletilerine bakarak L3 aktarımını sezimleyebildiği gibi iletideki MAP seçeneğine göre farklı bir MAP alanına hareket edip etmediğini de anlayabilir.

şekil 3.8'de HMIPv6 eklenti işlemini destekleyen bir gezgin düğümün MAP, HA ve CN'a kayıt işlemleri sırasıyla gösterilmektedir. Gezgin düğüm MAP'den aldığı bilgilerle yerel güncel konum adresini (LCoA) ve bölgesel güncel konum adresini (RCoA) oluşturarak MAP'e bu bilgileri içeren BU iletisi gönderir. BU iletisini alan MAP, gezgin düğümün RCoA'ni DAD işlemine tabi tuttuktan sonra cevap olarak gezgin düğüme BA iletisi gönderir ve bu işlemden sonra gezgin düğümün LCoA'ni RCoA'yle ilişkilendirir. Bu ilişkilendirim işlemi başarıyla tamamlandıktan sonra gezgin düğümle MAP arasında çift yönlü tünel kurulur. MAP gezgin düğümün RCoA'ne ait bir paket aldığında paketi sarmalayarak gezgin düğümün LCoA'ne gönderir. Gezgin düğüm paket göndereceği zaman dıştaki paketin kaynak adres alanında LCoA'i, varış adres alanında MAP adresi, içteki paketin kaynak adres alanında RCoA'i varış adres alanında paketin alınacağı uç düğüm adresi alır.



Şekil 3.8 Gezgin düğüm MAP kayıt işlemi

MAP'dan BA iletisini alan gezgin düğüm yeni RCoA'ni HA ve CN'a BU iletisi göndererek kaydeder. BU paketini alan HA ve CN gezgin düğümüne paket gönderecekleri zaman varış adres alanına RCoA adresini girerler.

Gezgin düğüm LCoA'ni kayıtlı olduğu MAP alanı içinde değiştirirse sadece MAP'e adres değişikliğini kaydetmesi yeterlidir. Bu sayede aynı MAP alanı içinde dolaşan gezgin düğümün hareketi CN'e göre anlaşılmaz [39]. Başka bir MAP alanına geçiş RCoA'ni değiştirdiğinde gezgin düğümün ev üstlenicisine ve karşı düğümüne adres değişikliğini tekrar kaydettirmesi gerekir.

Gezgin düğüm MAP seçeneklerine göre ağda kendine uygun uzaklıktaki MAP'i seçer veya farklı karşı düğüm grupları için birden fazla MAP seçip RCoA'leri oluşturarak kayıt olabilir.

3.7.2. MAP Keşfi

Gezgin düğüm hareket ettikçe farklı ağlarda farklı MAP'lerden farklı adresler ve farklı altağ örnekleri alır. Temel olarak Dinamik MAP keşfi ve Manuel MAP keşfi olmak üzere iki çeşit MAP keşfi vardır.

3.7.2.1. Manüel MAP keşfi

MAP seçenek bilgileri ağdaki MAP ve erişim yönlendiricilerine elle girilerek konfigüre edilir. Varsayılan yöntemdir.

3.7.2.2. Dinamik MAP keşfi

Bu yöntemde RA ileti paketlerinin içinde MAP seçeneklerini alan erişim yönlendiricileri bu MAP seçeneklerini yine RA ileti paketlerinin içinde arayüzleri aracılığıyla ağa yayarlar. Bu işlemi yapabilmeleri için MAP'lerin ve erişim

yönlendiricilerin MAP seçeneklerini hangi arayüzlerinden yayacaklarının konfigürasyonu manuel olarak yapılandırılması gerekir [39].

Dinamik MAP keşfi için RA paketlerine yeni ileti seçeneği (MAP seçeneği) eklenmiştir. Dinamik MAP keşfini destekleyen erişim yönlendiricileri aşağıda belirtilen MAP seçeneklerini yaydıkları RA iletileri içinde göndermeleri gerekir [39].

- Uzaklık vektörü (distance vector) : MAP'den gezgin düğüme kadar olan hoplama sayısı
- MAP yeğlenme
- MAP evrensel adresi ve altağ öneki

Uzaklık vektörü MAP'den gezgin düğüme kadar olan hoplama sayısıdır. Varsayılan MAP yeğlenme değeri 10 dur. Fakat MAP, üzerindeki trafik yüküne bağlı olarak bu değeri arttırıp azaltabilir. Yeğlenme değeri sıfır olan MAP'in gezgin düğümler tarafından seçilmemesi gerekir. Gezgin düğüm yeğlenme değeri en yüksek olan MAP'e kayıt olmalıdır Fakat uzaklık vektör değerine bakarak yeğlenme değeri sıfırdan farklı bir MAP'i de seçebilir [39].

MAP seçenekli RA paketini alan erişim yönlendiricisi, gelen seçeneği kopyalarak ve uzaklık vektörünü bir arttırarak tekrar arayüzlerine gönderir. MAP seçenekli paketi alan erişim yönlendiricisinin kendisi de MAP ise aldığı MAP seçeneğiyle beraber kendi MAP seçeneğini de gelen RA paketine koyarak yeniden gönderir.

3.7.3. Dağıtımli-MAP Ortamında MAP Seçim Yöntemi

Birden fazla MAP'in olduğu durumlarda gezgin düğümün en uygun MAP'i seçmesi için bazı yöntemler ve kurallar mevcuttur.

Uzaklık temelli (distance based) seçim yönteminde gezgin düğümün sık sık tekrar kayıt yenileme işlemi yapmaması için en uzak MAP seçilir. Uzaklık temelli MAP seçimi için aşağıdaki işlemler takip edilir [39]:

1. MAP'ler uzaklık vektör değerleri azalacak şekilde dizilir.
2. Listedeki ilk MAP seçilir (Uzaklık değeri en büyük olan MAP seçilir).

3. Seçilmiş MAP'in yeğlenme değeri veya geçerlilik süresi sıfırlanınca listedeki bir sonraki MAP seçilir.

3.7.4. Sıradüzensel Gezgin IPv6 Yönteminin Dezavantajları

HMIPv6 yönteminin avantajlarının yanı sıra bazı dezavantajları da bulunmaktadır: [26].

- **Konfigürasyon yükünün fazla olması** : Dinamik MAP keşfi için ağ kurulum sırasında MAP'lerin konfigürasyonlarının ve erişim yönlendiricilerinin hangi arayüzlerinin MAP seçeneğini tekrar gönderip göndermeyeceğinin konfigürasyonlarının elle yapılandırılması gerekir. Bu işlem büyük ağlarda fazla iş yükü gerektirir.
- **Optimal olmayan rota kullanılması** : Gezgin düğümlerden gönderilen tüm paketlerin MAP üzerinden yollanması MAP'in arızalanması durumunda iletişimin kesilmesine sebep olur.
- **Zayıf MAP seçim algoritması** : Uzaklık temelli [39] MAP seçim algoritmasıyla gezgin düğümler aynı MAP'i seçerler. Gezgin düğüm yoğunluğunun fazla olduğu ağlarda aynı MAP'da aşırı yüklenmeye sebep olacaktır. Bu tıkanıklığı engellemek için yükü fazla olan MAP, yeğlenme değerini düşürse de ortamdaki gezgin düğümlerin hepsi uzaklık vektörü en büyük olan listedeki bir diğer MAP'i tercih edeceklerinden tıkanma problemi bir MAP'den başka bir MAP'e geçmiş olacaktır. Bu problemi gidermek için bazı alternatif MAP seçim algoritmaları geliştirilmiştir [21] [29] [41].

4. AKTARIM YÖNTEMLERİNİN MODELLENMESİ VE PERFORMANSLARININ DEĞERLENDİRMESİ

Bu bölümde iletişim ağlarının performanslarını değerlendirmek için kullanılan bilgisayar tabanlı simülasyon araçlarından, standart MIPv6 aktarım eklentileri ve protokollerinin aktarım performanslarını değerlendirmek için OMNeT++ ortamında oluşturduğumuz modellerden bahsedilecektir. Daha sonra bu modellerden elde edilen sınaama sonuçları değerlendirilecek ve diğer çalışmalarda yapılmış sınaamaların sonuçlarıyla karşılaştırılacaktır.

4.1. İletişim Ağlarının Modellenmesi

Genellikle iletişim ağlarının değerlendirme ve iyileştirme çalışmaları yapılırken üç yol takip edilmektedir. Bunlardan birincisi iletişim ağının matematiksel olarak modellenmesidir. Çoğu zaman büyük ağları matematiksel olarak modellemek mümkün olmamaktadır. Diğer bir yöntem gerçek ağ elemanları kullanarak sınaama ortamlarının oluşturulmasıdır. Fakat büyük ve karmaşık ağların kurulumu yüksek maliyet ve zaman gerektirmektedir. Gerçek ağ sınaama ortamlarının kurulamadığı durumlarda en çok tercih edilen yol, bilgisayar ortamında ağ simülasyon araçları kullanılarak ağların modellenmesidir.

İletişim ağlarını simüle etmek için birçok yazılım simülasyon aracı mevcuttur. Bunlardan günümüzde en çok tercih edilenlerinden aşağıda bahsedilmiştir:

OPNET¹³: Birçok hazır model ve protokolü içeren kütüphanesi ve esnek programlama yapısıyla iyi bir ağ simülasyon aracıdır. Fakat en büyük dezavantajı ticari bir yazılım olması ve lisans ücretinin yüksek olmasıdır [2].

ns-2¹⁴: Güney Kaliforniya Üniversitesi tarafından geliştirilmiş ücretsiz açık kaynak kodlu ağ simülasyon aracıdır. Daha çok TCP/IP modellemesi gelişmiştir. Fakat hataya açık bir tasarım altyapısı vardır. ns-2'de modüllerin (class yapılarının) birbirine bağımlı olması, modüllerin herhangi birinde değişiklik yapılması gerektiğinde ilişkili olduğu tüm modüllerde de değişiklik yapmayı gerektirmektedir [44] [45]. Ayrıca ns-2 ortamında kod geliştirip işletebilmek için C++ programlama dilini bilmenin yanında, TCL script dilini de bilmeyi gerektirmektedir [2].

¹³ <http://www.opnet.com>

¹⁴ <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>

OMNeT++ [43]: Modüler yapısı sayesinde esnek mimariye sahip, gelişmiş kullanıcı arayüzleri olan, açık kaynak kodlu ve ücretsiz bir simülasyon aracıdır. Birçok geliştirilmiş ve geliştirilmekte olan kütüphanesinin yanında tasarım yapısının esnekliği ve sağladığı diğer kullanım arayüzleriyle, gelecekte en çok kullanılan simülasyon araçları arasında olacağı öngörülmektedir [6]. OMNeT++ 'da modüller birbirinden bağımsız olarak tasarlanır ve modüller arasındaki iletişim mesajlaşmalar sayesinde gerçekleşir. Bu nedenle varolan modüllerin değiştirilmesi ve tekrar kullanılması daha kolaydır. Ayrıca "TKENV" grafik kullanıcı arayüzü sayesinde kod hata ayıklama ve doğrulama işlemleri diğer simülasyon araçlarına göre çok daha kolaydır [44] [45]. Bu çalışmada açık mimari yapısına sahip olması, hata ayıklama arayüzünün kullanışlı olması, akademik çalışmalar için ücretsiz kullanılabilmesi ve gerçekleştirilmiş protokollerin iyi belgelenmesinden dolayı OMNeT++ yazılımı ağ modelleme aracı olarak seçilmiştir.

OMNeT++ geliştiricileri, şu ana kadar değişik ağ teknolojilerini ve protokollerini modellemek için açık kaynak kodlu kütüphaneler geliştirmişlerdir. Bu tez çalışmasında IPv6SuiteWithInet kütüphanesinin 19/01/2006 tarihli sürümü kullanılmıştır. Bu kütüphanede birçok temel IPv6 ve Mobil IPv6 protokol kodları mevcuttur. Fakat IPv6SuiteWithInet kütüphanesi sınamalarında dönüş yönlendirilebilirliği yordamının doğru çalışmadığı gözlenmiş ve kütüphane kodları dönüş yönlendirilebilirliği yordamı doğru çalışacak şekilde düzeltilmiştir¹⁵. Ayrıca EBU eklentisinin çalışabilmesi için kütüphane kodlarına yeni kodlar eklenerek EBU eklentisinin sınamaları için gerekli simülasyon ortamı oluşturulmuştur. IPv6SuiteWithInet kütüphanesinde eklemeler ve değişiklikler yapıldıktan sonra performans sınamaları için MIPv6 ve HMIPv6 modelleri oluşturulmuştur.

4.2. Gerçek Zamanlı İletişim Performans Parametreleri

Mobil IP teknolojilerinin veri aktarımında olduğu gibi gerçek zamanlı çokluortamların taşınmasında da yaygınlaşması ve kabul görmesi için bu teknolojilerin yeterli düzeyde servis kalitesini sağlamaları gerekmektedir. Ses (VoIP) ve görüntü gibi gerçek zamanlı çokluortamların servis kalitesini etkileyen en önemli parametrelerden (aktarım süresi, uçtan uca gecikme süresi, paket kaybı) aşağıda bahsedilmiştir:

¹⁵ IPv6SuiteWithInet kütüphanesinde yapılan değişiklikler EK A'da detaylı olarak gösterilmiştir.

Aktarım gecikmesi : MN'un yeni ağa hareketinden aktarım işlemlerini tamamlayıncaya kadar yapması gereken işlemler sırasında geçen süre olarak alınmıştır. Aktarım süresi boyunca MN paket alıp gönderemediği için aktarım gecikmesi ne kadar uzun olursa gerçek zamanlı iletişim için bu süre kayıp olarak ifade edilebilir. Simülasyon sınamalarında MN'un aktarım işlemine başlamadan önce aldığı en son ping cevap paket zamanı ile aktarım bitiminde aldığı ilk ping cevap paket zamanı arasındaki süre aktarım süresi olarak kaydedilmiştir.

Paket kaybı : MN'un aktarım sırasında CN'a başarıyla gönderemediği alamadığı toplam paket sayısıdır. Aktarım süresiyle doğru orantılı olarak artar ve azalır. Simülasyon sınamalarında tüm paket kayıpları ve sadece aktarım sırasındaki paket kayıpları ayrı ayrı kayıt edilmiştir. Günümüzde paket kayıplarını telafi eden veya önleyici yöntemler (karmaşık açık döngü hata telafi algoritmaları, servis kalitesi kontrolü sağlayan yöntemler) geliştirilmiştir [3] [17] [37] [52].

Uçtan uca gecikme süresi : IP paketlerinin gönderici tarafından çıkıp alıcı tarafına tamamen ulaşması sırasında geçen süredir. Çizelge 4.1'de ITU-T organizasyonu tarafından önerilen uçtan uca gecikme limitleri gösterilmiştir [16]. ITU-T standardında gerçek zamanlı uygulamaları desteklemek için kabul edilebilir uçtan uca gecikme süresinin 0-150 msn arasında olması gerektiği belirtilmiştir. Aynı standartta kullanıcı tatminine bağlı olarak bazı uygulamalar için 150-400 msn'lik uçtan uca gecikme süresinin kabul edilebilir olduğu belirtilmiştir. Uydulu iletişim sistemlerinde gönderilen paketlerin uyduya ulaşması 250 msn, uydudan tekrar yere dönmesi 250 msn almaktadır. Toplamda uçtan uca gecikme süresi 500 msn'yelere kadar çıkmaktadır [5] [7].

Simülasyon sınamalarında MN'dan CN'a başarıyla olarak gönderilen/alınan ping paketlerinin RTT değerleri kaydedilmiştir. RTT değeri MN'dan gönderilen ping paketlerinin CN'a ulaşıp geri dönmesi sırasında geçen süredir. Paketlerin uçtan uca gecikme süreleri RTT değeri ikiye bölünerek bulunur.

Çizelge 4.1 ITU-T uçtan uca gecikme limitleri

Uçtan uca gecikme (sn)	Öneriler ve açıklamalar
0-150	Kabul edilebilir
150-400	Kullanıcı tatminine dikkat edilmelidir. Uydu üzerinden ses ve görüntü iletişimi gibi bazı uygulamalar için kabul edilebilir. Ağ yöneticisinin iletişim gecikmesinden ve bu gecikmenin kullanıcı uygulamasının iletişim kalitesine etkisinin farkında olması gerekir.
400-	Genel ağ planlaması için uygun değildir. Fakat bu limitin de bazı istisnai uygulamalar için aşıldığı görülmüştür.

4.3. Standart MIPv6 Modelinin Doğrulanması

Oluşturulan simülasyon modellerinin ve kullanılan kodların sınamalarda kullanılmadan önce doğrulanması gerekmektedir. Simülasyon ortamını doğrulamak için standart Mobil IPv6 aktarım gecikme süresini etkileyen etkenler Bölüm 3.1'de eşitliklerle ifade edilmişti. Bu eşitliklere göre toplam aktarım gecikme süresinin alt ve üst sınırları kuramsal olarak hesaplanmıştır. Simülasyondan elde edilen aktarım gecikme süresi, kuramsal aktarım gecikme süresiyle ve gerçek ağ sınaama düzeneklerinden elde edilen aktarım süreleriyle karşılaştırılarak oluşturulan modelin doğrulanmasına gidilmiştir [27].

Aktarım sezim süresi (t_d): Eşitlik (3.3)'de belirtildiği gibi hesaplanmıştır.

Adres yapılandırma ve DAD işlem süresi (t_a): gezgin düğümün RA iletisini aldıktan sonra yeni CoA'ni oluşturup DAD işlemini tamamlaması esnasında geçen süredir. Aktarım süresini en çok etkileyen işlem DAD işlemidir. $T_{AddrConfig}$ süresi çok az olması nedeniyle hesaplamalara katılmamıştır. Bu durumda Eşitlik (3.4)'de $T_{AddrConfig}$ süresi ihmal edildiğinde t_a süresi T_{DAD} süresine eşit olur.

$$t_a \approx t_{DAD} = RetransTimer \times DupAddrDetectTransmits \quad (4.1)$$

Dönüş yönlendirilebilirliği yordam süresi (t_o) ve ev üstlenicisi kayıt süresi (t_r) ağ elemanlarının birbirlerinden uzaklıklarına ve ağ trafiğine bağlı olduğu için MIPv6 modelinde bu süreleri tam olarak hesaplamak mümkün olmamıştır. Bu nedenle bu sürelerin değerleri simülasyon sınamalarından elde edilen t_o ve t_r değerlerinin ortalamaları alınarak belirlenmiş ve hesaplamalarda bu değerler kullanılmıştır. Standart MIPv6 sınamalarında ev üstlenicisi kayıt süresi ve dönüş yönlendirilebilirliği yordamı için geçen ortalama süre 240 msn olarak hesaplanmıştır. Bu durumda toplam aktarım gecikmesi süresi Eşitlik (4.2)'deki gibi ifade edilir.

$$t_h = t_{RUD} + t_{delayRA} + t_{DAD} + t_r + t_o \quad (4.2)$$

Çizelge 4.2'de standart MIPv6 protokolü sınamalarında kullanılan simülasyon parametreleri gösterilmiştir.

Çizelge 4.2 Standart MIPv6 simülasyon parametreleri

Parametre	Değer
MinRtrAdvInterval (sn)	1.0
MaxRtrAdvInterval (sn)	1.5
AllowedMissedRtrAdv	1
RetransTimer (msn)	1000
DupAddrDetectTransmits	1
Ping gönderme aralığı (msn)	50
Gezgin düğüm hızı (m/sn)	3
ODAD eklentisi	kapalı
Hızlı RA eklentisi	kapalı
L2 tetikleme eklentisi	kapalı
EBU eklentisi	kapalı
MAX_FAST_RAS	10
MAX_RA_DELAY_TIME (msn)	500

Doğrulama sınamalarını gerçekleştirmek için sınama ortamı standart MIPv6 protokolüne göre yapılandırılmıştır. MaxRtrAdvInterval ve MinRtrAdvInterval değerleri TCP/UDP uygulamalarını destekleyecek şekilde seçilmiştir [11]. Diğer parametreler standart MIPv6 protokolündeki [18] varsayılan değerlerine göre yapılandırılmıştır.

Aktarım gecikme süresinin asgari ve azami değerleri hesaplanırken MIPv6 parametrelerinin asgari ve azami değerleri Çizelge 4.3'deki gibi alınmıştır:

Çizelge 4.3 Standart MIPv6 parametreleri doğrulama değerleri

Parametre	Asgari Değer	Azami Değer
RtrAdvInterval (sn)	0	1.5
AllowedMissedRtrAdv	1	1
DupAddrDetectTransmits	1	1
RetransTimer (msn)	1000	1000

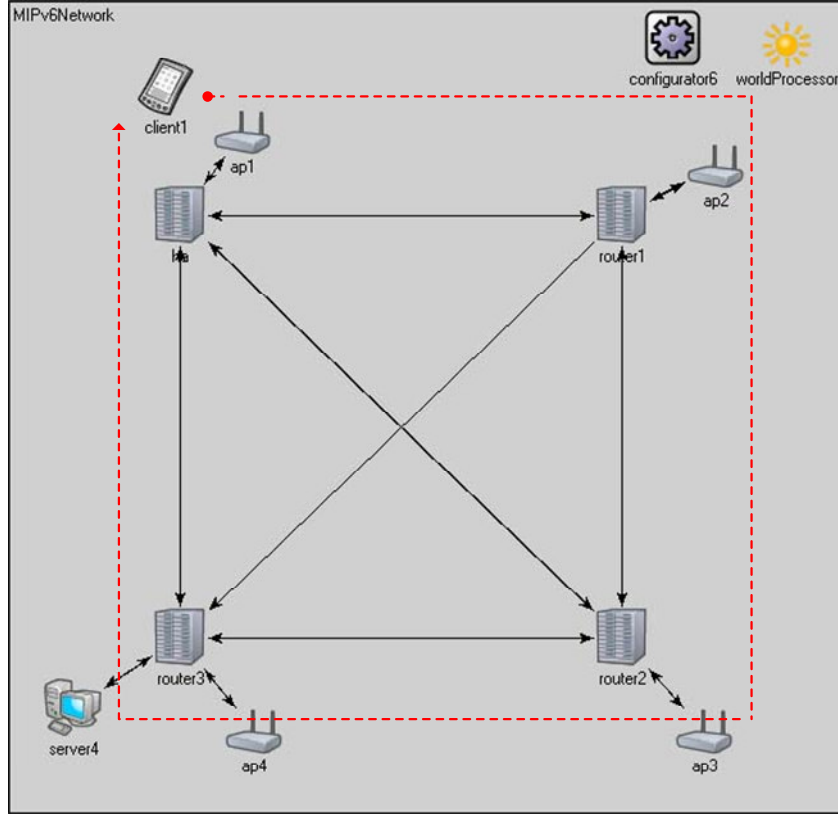
Çizelge 4.3'deki değerler Eşitlik (3.3) (4.1) (4.2)'de yerlerine konulduğunda toplam aktarım süresinin (t_h) asgari ve azami değeri Çizelge 4.4'deki gibidir:

Çizelge 4.4 Standart MIPv6 aktarım süresi asgari ve azami değeri

Parametre	Asgari Değer	Azami Değer
t_{RUD} (sn)	0	$=1.5 \times (1+1) = 3$
$t_{delayRA}$ (sn)	0	0.5
t_{DAD} (sn)	1	1
$t_r + t_o$ (sn)	0.240	0.240
t_h (sn)	$=0+0+1+0.240$ $=1.240$	$=3+0.5+1.0+0.240$ $=4.740$

4.3.1. MIPv6 Simülasyon Modeli

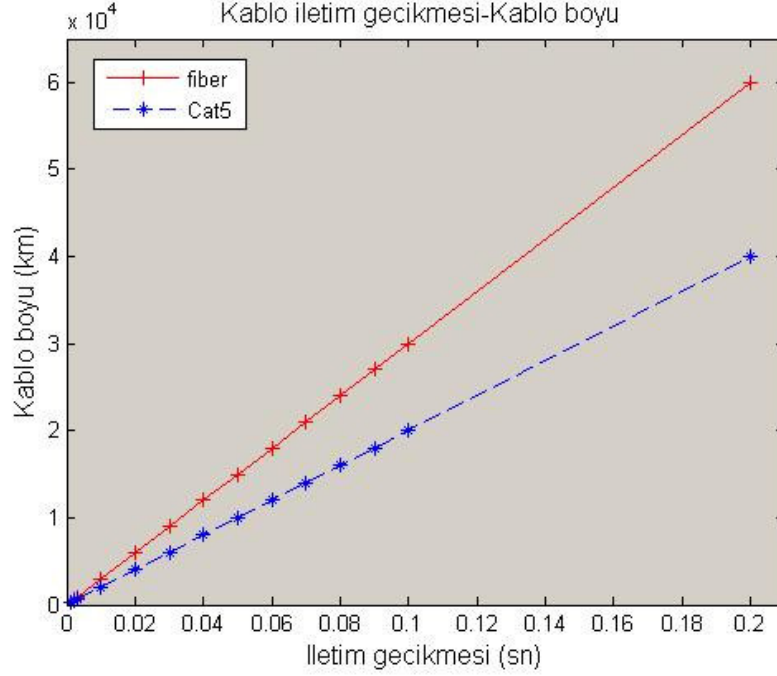
Doğrulama sınamalarında ve MIPv6 eklenti sınamalarında Şekil 4.1'de gösterilen MIPv6 simülasyon modeli kullanılmıştır. Simülasyondaki ağ elemanları Çizelge 4.2'ye göre yapılandırılmıştır.



Şekil 4.1 MIPv6 simülasyon modeli

Şekil 4.1'de gösterilen simülasyon modelinde her yönlendirici (ha, router1, router2, router3) erişim noktalarına (ap1, ap2, ap3, ap4) bağlanarak IEEE 802.11 standardında taşıma kapasitesi 11 Mbit'lik kablosuz yerel ağlar oluşturulmuştur. Yönlendiriciler arasındaki internet kablolarının veri taşıma kapasitesi 100Mbit, iletim gecikmesi 0.03 sn, yönlendiriciler ve AP'ler arasındaki intranet kablolarının taşıma kapasitesi 10Mbit ve iletim gecikmesi 0.01 sn olarak yapılandırılmıştır. Şekil 4.2'de internet (fiberoptik) ve intranet (Cat5) kablolarının iletim gecikme sürelerine göre kablo boyları gösterilmiştir¹⁶.

¹⁶ internet kablolarının gecikme süresi hesaplanırken fiberoptik kablosunun iletim gecikmesi ölçü alınmıştır (kilometre başına 3.33 μ s). İnanet kabloların gecikme süresi hesaplanırken Cat 5 bükümlü telli kablo iletim gecikmesi ölçü alınmıştır (kilometre başına 5 μ s) [25].



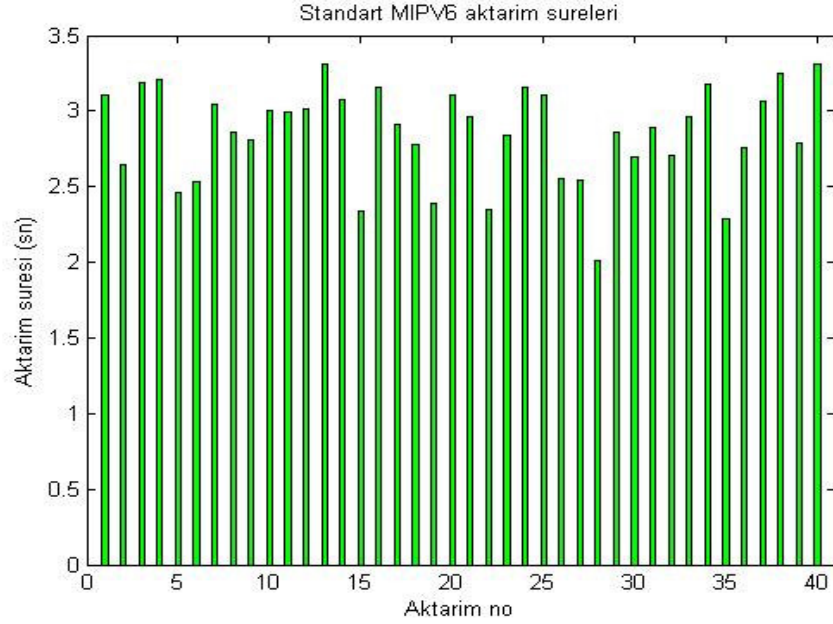
Şekil 4.2 Fiberoptik ve Cat5 kablolarının iletim gecikme süreleri

Gezgin düğüm (client1) oluşturulan ağlarda ev üstlencisinden (ha) başlayarak sırasıyla router1, router2 ve router3 ağlarında hareket etmektedir. CN olarak router3'e bağlı server4 düğümü tanımlanmıştır. Simülasyon süresince gezgin düğüm farklı ağlarda gezerken server4 düğümüne belirli aralıklarla ping istek paketleri (ICMP ping request) gönderir. Server4 düğümünde bu pakete karşılık ping cevap paketleri (ICMP ping reply) gönderir.

Gezgin düğümün aktarım sırasında en son ping cevap paketini aldığı zaman ile aktarım bitiminde aldığı ilk ping cevap paket zamanı arasındaki süre aktarım süresi olarak kaydedilmiştir. Simülasyon sınamalarında aktarım sırasındaki paket kayıpları ve tüm paket kayıpları ayrı ayrı kayıt edilmiştir. Ayrıca gezgin düğümden (client1) karşı düğümüne (server4) başarılı olarak gönderilen/alınan ping paketlerinin RTT değerleri kaydedilmiştir.

MN'un ev ağından-yabancı ağa, yabancı ağdan-yabancı ağa ve yabancı ağdan-ev ağına aktarımlar yapması sağlanarak farklı aktarım tiplerinin toplam aktarım performansına etkilerinin görülmesi amaçlanmıştır. Bu nedenle simülasyondaki her sınamada, gezgin düğümün ev ağından (ha) başlaması, "router1", "router2" "router3" yabancı ağlarında gezmesi ve tekrar ev ağına dönmesiyle sonlandırılmıştır. Sınamalar 10 defa tekrarlanarak gezgin düğümün toplamda 40 aktarım yapması

sağlanmıştır. MIPv6 modelindeki rasgele değişkenlerin, her sınamada birbirinden farklı olması için her bir sınama için farklı bir rasgele tohum kullanılmıştır.



Şekil 4.3 Standart MIPv6 model aktarım süreleri

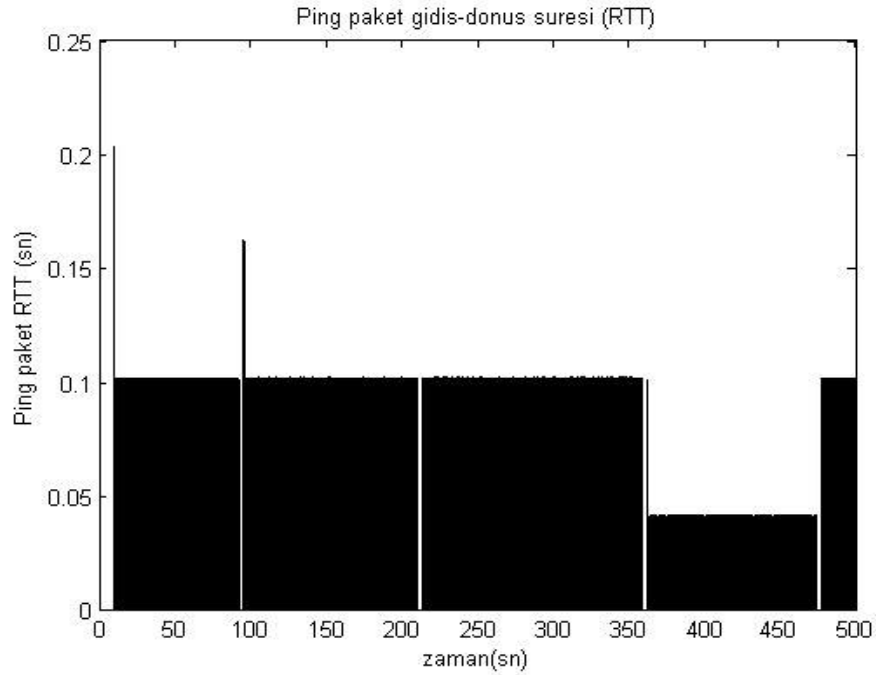
Gezgin düğümün ev ağından yabancı ağa, yabancı ağdan yabancı ağa ve yabancı ağdan ev ağına yaptığı hareketleri sırasındaki aktarım süreleri, paket kayıpları ve ping paket RTT değerleri kaydedilmiştir. Simülasyondan elde edilen aktarım süreleri Şekil 4.3’de gösterilmiştir.

Standart MIPv6 simülasyon sonuçlarından elde edilen aktarım sürelerinin ortalaması alındığında 2.856 sn elde edilmiştir. Bu değer kuramsal olarak hesaplanan aktarım süre sınırları arasında (1.240 sn ile 4.740 sn arasında) kalmaktadır. Aynı zamanda bu süre [10]’daki gerçek sınama ortamından elde edilen 2.448 sn aktarım süresine ve [30]’da tek gezgin düğümlü sınama senaryosundan elde edilen 2.698 sn’lik aktarım süresine yakındır. Bu sonuçlar kullandığımız simülasyon ortamının doğruluğunu ve güvenilirliğini göstermektedir.

Aktarımda sırasındaki paket kayıplarının oranı %2.276, ping paket RTT değerlerinin ortalaması 87.3 msn olarak kaydedilmiştir. Uçtan uca gecikme süresi (RTT/2) gerçek zamanlı iletişimde servis kalitesini etkileyen en önemli parametrelerden biridir. ITU-T tarafından [16] gerçek zamanlı uygulamaları desteklemek için uçtan uca gecikme süresi için tavsiye edilen değer 0-150 msn

arasındadır. IPv6SuiteWithInet kütüphanesine dönüş yönlendirilebilirliği yordamının eklenmesi sonucunda ping paketlerinin RTT değeri 160 msn'den ortalama 87 msn'ye düşürülmüştür. Bu değer ITU-T standardının gerçek zamanlı uygulamalar için tavsiye ettiği uçtan uca gecikme süresini rahatlıkla sağlamaktadır. Bir sınaama sırasında kaydedilen ping RTT değerleri Şekil 4.4'de örnek olarak gösterilmiştir.

Şekil 4.4'den de görülebildiği üzere aktarım sırasındaki paket kayıplarından dolayı grafikte bazı kesintiler (92., 210., 358. ve 473. sn'lerde) gözlenmektedir. Ayrıca aktarımdan hemen sonraki bazı ping RTT değerleri henüz dönüş yönlendirilebilirliği işlemi tamamlanmadığı için diğerlerine göre daha büyük çıkmıştır. MN karşı düğümün bulunduğu ağa (router3 ağına) hareket ettikten sonraki ping RTT değeri ortalama 40 msn civarına düşmüştür.



Şekil 4.4 Ping paket RTT değerleri

4.4. Mobil IPv6 Aktarım Eklentileri Performans Sınamaları

Mobil IPv6 protokolü aktarım eklentilerini sınamak için Şekil 4.1'deki MIPv6 simülasyon modeli kullanılmış ve model sınaması yapılacak eklenti tipine göre Çizelge 4.2'deki parametrelerden bazılarının değerleri değiştirilerek tekrar yapılandırılmıştır.

4.4.1. Yüksek Sıklıkta Gönderilen Periyodik RA İletileri

RFC 2461 Neighbor Discovery for IP Version 6 [33] protokolünde belirtilen MaxRtrAdvInterval ve MinRtrAdvInterval sınır değerleri gezgin düğümlerin aktarım sezimlemesini geciktirdiği için RFC 3775 Mobility Support in IPv6 [18] protokolünde bu değerler Çizelge 4.5’de gösterildiği gibi esnetilmiştir. Bu sayede gezgin düğümlerin aktarımı daha çabuk farketmeleri ve yeni ağdaki yönlendiriciden daha erken RA paketleri alarak aktarım işlemlerine daha erken başlamaları amaçlanmıştır. MIPv6 simülasyon modelinde MaxRtrAdvInterval ve MinRtrAdvInterval parametreleri Çizelge 4.5’e göre yapılandırılmıştır. Bunun dışındaki parametreler Çizelge 4.2’ye göre yapılandırılmıştır.

Çizelge 4.5 Yüksek sıklıkta gönderilen RA iletili model simülasyon parametreleri

Parametre	Değer
MinRtrAdvInterval (sn)	0.03
MaxRtrAdvInterval (sn)	0.07

Simülasyon sonuçlarından elde edilen aktarım sürelerinin ortalaması alındığında 1.397 sn çıkmıştır. Aktarım süresinde, standart MIPv6 aktarım süresine (2.856 sn) göre yaklaşık 1.46 sn’lik kaydedeğer bir ilerleme olduğu görülmektedir. Aktarım süresindeki bu düşüş, gezgin düğümün kısa sürede eski yönlendiricinin erişilemez olduğunu tespit etmesi ve yeni yönlendiriciden kısa süre içinde RA iletili alarak aktarımı daha erken farketmesi sayesinde olmuştur.

Standart MIPv6 senaryosunda, gezgin düğüm aktarım sezimlemesine RtrAdvInterval¹⁷ sürelerinde mevcut yönlendiriciden alamadığı periyodik RA iletilerinin sayısına bakarak karar vermektedir. Bu eklentide, RtrAdvInterval¹⁸ süresi daha az olduğu için gezgin düğüm L3 aktarımını daha erken farketmekte ve yeni ağdaki yönlendiriciden daha kısa sürelerde RA iletili almaktadır. Ayrıca yeni ağdaki yönlendiriciden kısa sürede RA iletili alındığı için istenen RA iletilinin beklenmesine de gerek kalmamıştır.

¹⁷ $RtrAdvInterval \leq MaxRtrAdvInterval$

¹⁸ Azami 0.07 sn.

Aktarım sırasındaki paket kayıplarının oranı %1.097 olarak hesaplanmıştır. Aktarım sırasındaki paket kayıpları aktarım süreleriyle doğru orantılı olduğundan standart MIPv6 senaryosuna göre paket kayıpları da aynı oranda daha az çıkmıştır. Aktarım sırasında olmayan paket kayıplarının oranı %1.650 olarak hesaplanmıştır. Standart MIPv6 sınavında bu değer % 1.587 olarak kaydedilmiştir.

Yüksek sıklıkta gönderilen RA iletilerinin aktarım gecikmesini azaltırken ağ bant genişliğine mal olmaktadır. Önek bilgi seçeneği ve RtrAdvInterval bilgi seçeneği içeren RA paketi 96 bayt'dan oluşmaktadır. Saniyede ortalama 20 RA iletisi gönderildiğini düşünürsek mevcut ağ bant genişliğinin 15.36 kbps'lik kısmının yüksek sıklıkta gönderilen RA iletilerine ayrılması gerekmektedir. Sık gönderilen RA paketlerinin dezavantajlardan bir diğeri bu paketlerin tüm düğümlerin çoğa gönderim adresine gönderilmesinden dolayı ağdaki tüm bağ bölütlerinin üzerindeki anahtarları ve düğümleri fazladan meşgul etmesidir. Diğer yandan istenen RA iletileri sadece isteği yapan düğüme gönderildiğinden daha az sayıda ağ bölütlerini meşgul etmektedir [47].

4.4.2. Hızlı RA Paketleri

MIPv6 simülasyon modelinde "Hızlı RA eklentisi" parametresi Çizelge 4.6'ya göre yapılandırılmıştır. Bunun dışındaki parametreler Çizelge 4.2'ye göre yapılandırılmıştır.

Çizelge 4.6 Hızlı RA paketli simülasyon parametreleri

Parametre	Değer
Hızlı RA eklentisi	açık

Simülasyon sonuçlarından elde edilen aktarım sürelerinin ortalaması alındığında 2.678 sn çıkmıştır. Standart MIPv6 protokolüne göre aktarım süresinde 178 msn'lik bir gelişme olduğu gözlenmiştir. Hızlı RA paketlerinin aktarım süresine beklenen katkısı Bölüm 3.3'de de açıklandığı üzere yaklaşık $MAX_RA_DELAY_TIME/2^{19}$ dir. Beklenen $MAX_RA_DELAY_TIME/2$ 'lik bir gelişmenin olmaması, gezgin düğümün

¹⁹ 250 msn.

RS paketini L3 aktarımını sezimlemesinden sonra göndermesidir. L3 aktarım sezimlemesi varolan yönlendiriciden ardışık olarak kaçırılabilen RA iletilerinin sayısına ve RtrAdvInterval süresine bağlıdır. Gezgin düğüm L3 aktarımına kaçırılan periyodik RA iletilerini sayarak karar verinceye kadar geçen sürede²⁰ yeni ağdaki yönlendiriciden RA iletisini genellikle almış olur. Bu nedenle L3 aktarım sezimlemesinden sonra RS iletisi göndermek fayda sağlamamakta ve aktarım süresinde beklendiği gibi bir düşüşe sebep olmamaktadır.

Fakat bazı aktarımlarda Hızlı RA iletilerinin, aktarım süresindeki 178 ms'nlik ilerlemeden de anlaşılacağı üzere, periyodik RA iletilerinden önce alındığı gözlenmiştir. Hızlı RA yada periyodik RA iletilerinden hangisinin önce alınacağı, gezgin düğümün aktarımı ne zaman farketmesine ve yeni yönlendiricinin RA iletilerini gönderme zamanlarına bağlı olarak değişir.

Sonuçlardan da anlaşılacağı üzere Hızlı RA eklentisinin, aktarımın sezimlemesinin L2 tetiklemede olduğu gibi periyodik RA iletileri alınmadan önce farkedildiği aktarım eklentileriyle birlikte kullanılması daha doğru olacaktır. Diğer durumda Hızlı RA iletilerinin aktarım süresine çok fazla faydası olmadığı gibi ağa fazladan sinyalleşme yükü getirecektir.

4.4.3. L2 Tetiklemesi

MIPv6 simülasyon modelinde "L2 Tetikleme eklentisi" parametresi Çizelge 4.7'ye göre yapılandırılmıştır. Bunun dışındaki parametreler Çizelge 4.2'ye göre yapılandırılmıştır.

Çizelge 4.7 L2 Tetiklemeli simülasyon parametreleri

Parametre	Değer
L2 Tetikleme eklentisi	açık

Simülasyon sonuçlarından elde edilen aktarım sürelerinin ortalaması alındığında 1.609 sn çıkmıştır. Aktarım süresinde Çizelge 4.14'den de görülebileceği gibi standart MIPv6 protokolüne göre 1.247 sn'lik kaydedeğer bir ilerleme olduğu görülmektedir. Gezgin düğüm bağ katmanından L2 tetiklemesini alır almaz ağa RS

²⁰ Eşitlik (3.1) 'e göre hesaplandığında azami 3 sn yapmaktadır.

iletisi göndererek yeni yönlendiricilerden gelen RA iletilerindeki bilgilere göre L3 aktarımına karar vermiştir. Dolayısıyla aktarıma karar vermek için eksik alınan RA iletilerinin sayılması için gereken zaman aşımı değerini beklemeye de gerek kalmamıştır.

Gezgin düğüm L2 tetiklemesinden sonra yeni yönlendiriciden aldığı istenen RA iletilerindeki altağ önek bilgilerine bakarak L3 katmanında aktarım olup olmadığına karar verir. L2 tetiklemesinin tek dezavantajı, L2 tetiklemesinin L3 aktarımına sebep olmadığı durumlarda ağa fazladan RS ve RA iletilerinin gönderilmesidir. Fakat L2 tetiklemesinin aktarım süresine kazandırdığı iyileştirme gözönüne alındığında bu mesajlaşmalar rahatlıkla gözardı edilebilir.

Çizelge 4.14'deki sonuçlardan da görülebileceği üzere, L2 tetiklemeli aktarım süresiyle yüksek sıklıkta gönderilen RA paketli aktarım süresi birbirine yakın çıkmaktadır. Fakat yüksek sıklıkta gönderilen RA paketleri ağda trafiğe ve paket kayıplarına sebep olduğundan L2 tetiklemesinin kullanılması daha uygundur.

Aktarım sırasındaki paket kayıplarının oranı Çizelge 4.15'den de görülebileceği üzere %1.256 olarak hesaplanmıştır. Aktarım sırasındaki paket kayıpları da aktarım süresiyle orantılı olarak azalmıştır.

4.4.4. İyimser Çift Adres Tespit İşlemi (ODAD)

MIPv6 simülasyon modelinde "ODAD eklentisi" parametresi Çizelge 4.8'e göre yapılandırılmıştır. Bunun dışındaki parametreler Çizelge 4.2'ye göre yapılandırılmıştır.

Çizelge 4.8 ODAD simülasyon parametreleri

Parametre	Değer
ODAD eklentisi	açık

Simülasyon sonuçlarından elde edilen aktarım sürelerinin ortalaması alındığında Çizelge 4.14'den de görülebileceği gibi 2.591 sn çıkmaktadır. Standart MIPv6 protokolüne göre aktarım süresinde 265 ms'n'lik bir ilerleme olduğu görülmektedir. ODAD işleminin, aktarım süresine beklenen etkisi (1000 msn) olmamıştır. Gezgin

düğüm kaçırdığı periyodik RA iletilerinin sayısına bakarak aktarıma karar verir. MN aktarıma karar verinceye kadar geçen bu sürede²¹

ilerleme olduğu gör÷lmektedir. EBU eklentisinin aktarım süresinde kuramsal olarak beklenen etkisi gözlenmiştir.

EBU eklentisi özellikle aralarında uzun mesafeler bulunan gezgin düğüm için çok faydalı bir eklentidir. Ayrıca aktarım süresini azaltmasının yanında L2 tetikleme ve ODAD gibi sadece gezgin düğümlerde yazılımsal değişiklik gerektirmesi ve L2 tetikleme eklentisinin açık yada kapalı olmasına bağlı olmaması diğer avantajları arasındadır.

4.4.6. L2 Tetikleme + Hızlı RA

Hızlı RA ileti eklentisinin aktarım süresine beklenen olumlu etkisinin olmaması, gezgin düğümün L3 aktarımını sezimledikten sonra RS paketi göndermesi ve yönlendiriciden Hızlı RA cevabı beklemesidir. Gezgin düğüm L3 aktarımını sezimleyinceye kadar, genellikle yeni yönlendiriciden periyodik RA paketini almış olduğu için Hızlı RA iletisine gerek kalmaz.

L2 tetiklemeli durumda ise, L3 katmanı L2 tetiklemesini alır almaz yönlendiricilere RS iletisi gönderir. Eğer ağda Hızlı RA iletisi gönderen yönlendirici varsa, bu yönlendirici beklemeden gezgin düğüme RA cevap paketi gönderir. Böylece aktarım işlemleri daha erken başlatılarak aktarım süresindeki gecikme azaltılır.

L2 tetiklemeli ve Hızlı RA paketlerinin aktarım performansına ortak etkisini gözlemek için Şekil 4.1'deki MIPv6 simülasyon modelinde "L2 tetikleme eklentisi" ve Hızlı RA eklentisi" parametreleri Çizelge 4.10'a göre yapılandırılmıştır. Bunun dışındaki parametreler Çizelge 4.2'ye göre yapılandırılmıştır.

Çizelge 4.10 L2 Tetikleme + Hızlı RA simülasyon parametreleri

Parametre	Değer
L2 tetikleme eklentisi	açık
Hızlı RA eklentisi	açık

Simülasyon sonuçlarından elde edilen aktarım sürelerinin ortalaması alındığında 1.370 sn çıkmıştır. Sadece L2 tetiklemeli aktarım süresi 1.609 sn'dir. İki değerin farkını aldığımızda Hızlı RA paketlerinin L2 tetiklemeli aktarım süresine etkisinin

239 msn olduğunu görebiliriz. Bu süre, kuramsal olarak Hızlı RA eklentisinden beklenen aktarım gecikmesini iyileştirici süreye çok yakındır.

L2 tetiklemeyle, Hızlı RA paketlerinin aktarım süresinde beklenen olumlu etkisinin ortaya çıkmasının sebebi, L3 aktarımını sezimlemek için eksik alınan RA iletilerinin zaman aşımını beklemeye gerek kalmaması ve kısa sürede yeni ağdaki yönlendiriciden Hızlı RA iletilerinin alınmış olmasıdır.

4.4.7. L2 Tetikleme + ODAD

Daha önce yapılan ODAD performans sınavında, ODAD işleminin aktarım süresine 265 msn'lik olumlu etkisinin olduğu görülmüştü. Kuramsal olarak ODAD eklentisinden beklenen 1000 msn'lik bir ilerlemenin olmamasının sebebi, L3 aktarımını sezimleninceye kadar geçen sürede normal DAD işleminin rahatlıkla tamamlanması ve ODAD işlemine gerek kalmamasıdır.

L3 aktarımının L2 tetiklemeyle tespit edildiği durumda ise, gezgin düğüm L2 tetiklemesini alınca ağdaki yönlendiricilere RS paketi gönderir. RS iletilerini alan potansiyel yönlendiriciler cevap olarak RA iletilerini döndürürler. RA iletilerini alan gezgin düğüm yeni CoA'ni oluşturur ve ODAD işlemine göre CoA'ni kullanmaya başlar.

L2 tetikleme ve ODAD eklentisinin aktarım performansına ortak etkisini gözlemlemek için MIPv6 simülasyon modelinde "L2 tetikleme eklentisi" ve "ODAD eklentisi" parametreleri Çizelge 4.11'a göre yapılandırılmıştır. Bunun dışındaki parametreler Çizelge 4.2'ye göre yapılandırılmıştır.

Çizelge 4.11 L2 Tetikleme + ODAD simülasyon parametreleri

Parametre	Değer
L2 tetikleme eklentisi	açık
ODAD eklentisi	açık

Simülasyon sonuçlarından elde edilen aktarım sürelerinin ortalaması alındığında 0.798 sn çıkmaktadır. Sadece L2 tetiklemeli aktarım süresi 1.609 sn'dir. Bu iki sürenin farkını aldığımızda ODAD işleminin aktarım süresine etkisini buluruz. Bu

süre (811 msn), ODAD işleminden beklenen 1000 msn'lik kuramsal iyileştirme süresine yakındır.

ODAD işleminin L2 tetiklemeyle beraber kullanıldığı bu senaryoda, ODAD işleminin aktarım gecikmesi üzerinde beklenen iyileştirici etkisi görülmüştür. Sebebi ise L2 tetiklemeden dolayı L3 aktarımını sezimlemek için eksik alınan periyodik RA iletilerinin sayısını beklemeye gerek kalmamış ve DAD işlemi yerine ODAD işlemi kullanılmıştır.

Aktarım sırasındaki paket kayıplarının oranı %0.584 olarak hesaplanmıştır. Aktarım gecikmesi azaldığı için standart MIPv6 paket kayıplarına göre paket kayıpları da orantılı olarak azalmıştır.

4.4.8. L2 Tetikleme + ODAD + Hızlı RA

L2 Tetikleme ve ODAD işleminin aktarım süresine ortak etkisi Bölüm 4.4.7'de incelenmişti. Aktarım sezimlemesinin L2 tetiklemeyle tespit edildiği durumda MN L2 aktarımını tamamladıktan sonra RS paketi gönderir. Ağdaki potansiyel yönlendiriciler cevap olarak 0 ila MAX_RA_DELAY_TIME arasında rasgele bir süre sonra RA cevap paketi gönderirler. Buradaki gecikmeyi de ortadan kaldırmak için Hızlı RA iletileri kullanılabilir. Böylece L2 tetikleme, ODAD ve Hızlı RA eklentilerinin aktarım gecikmesine iyileştirme etkileri birlikte alınarak aktarım gecikmesi daha da azaltılabilir. L2 tetiklemeli, ODAD ve Hızlı RA iletilerinin aktarım performansına ortak etkisini gözlemlemek için MIPv6 simülasyon modelinde "L2 tetikleme eklentisi", "ODAD eklentisi" ve "Hızlı RA eklentisi" parametreleri Çizelge 4.12'ye göre yapılandırılmıştır. Bunun dışındaki parametreler Çizelge 4.2'ye göre yapılandırılmıştır.

Çizelge 4.12 L2 Tetikleme + ODAD + Hızlı RA simülasyon parametreleri

Parametre	Değer
L2 tetikleme eklentisi	açık
ODAD eklentisi	açık
Hızlı RA eklentisi	açık

Simülasyon sonuçlarından elde edilen aktarım sürelerinin ortalaması alındığında 0.630 sn çıkmaktadır. Çizelge 4.14'den de görülebileceği üzere standart MIPv6'ya göre aktarım süresinde 2.260 sn'lik büyük bir ilerleme kaydedildiği gözlenecektir. L2 tetikleme eklentisinin açılmasıyla birlikte aktarım süresinde hem ODAD eklentisinin hem de Hızlı RA paketlerinin etkileri birlikte görülmüştür.

Aktarım sırasındaki paket kayıplarının oranı %0.457 düşmüştür. Aktarım sırasında oluşan paket kayıplarının sayısı ise ortalama 10.9'a düşmüştür.

4.4.9. L2 Tetikleme + ODAD + Hızlı RA + EBU

EBU eklentisi MN'un ev adres sınavasını aktarımdan önce tamamlamasını sağlayarak ve güncel adres sınavasının tamamlanmasını beklemeden EBU iletisi göndererek karşı düğümle daha erken direk iletişime geçilmesini sağlamaktadır. Böylece aktarım işleminin tamamen bitmesi beklenmeden karşı düğümle direk iletişime geçilmiş olur. Daha önceki bölümde yapılan L2 Tetiklemesi + ODAD + Hızlı RA birleşim sınavasına EBU eklentisi eklenerek dört eklentinin de aktarım süresine olumlu etkisi gözlenebilir.

L2 tetiklemeli, ODAD, Hızlı RA ve EBU eklentilerinin aktarım performansına ortak etkisini gözlemek için MIPv6 simülasyon modelinde "L2 tetikleme eklentisi", "ODAD eklentisi", "Hızlı RA eklentisi" ve "EBU eklentisi" parametreleri Çizelge 4.13'e göre yapılandırılmıştır. Bunun dışındaki parametreler Çizelge 4.2'ye göre yapılandırılmıştır.

Çizelge 4.13 L2 Tetikleme + ODAD + Hızlı RA + EBU simülasyon parametreleri

Parametre	Değer
L2 tetikleme eklentisi	açık
ODAD eklentisi	açık
Hızlı RA eklentisi	açık
EBU eklentisi	açık

Simülasyon sonuçlarından elde edilen aktarım sürelerinin ortalaması alındığında 0.455 sn çıkmıştır. Çizelge 4.14'den de görülebileceği üzere standart MIPv6

protokolüne göre aktarım süresinde 2.401 sn'lik büyük bir ilerleme kaydedildiği gözlenecektir. EBU eklentisinden dolayı L2 Tetikleme + ODAD + Hızlı RA birleşim aktarım süresine (0.630 sn) göre 175 ms'nlik kaydedeğer bir ilerleme daha olduğu gözlenmiştir.

Aktarım sırasındaki paket kayıplarının oranı %0.235 olarak hesaplanmıştır. Aktarım sırasında oluşan paket kayıplarının sayısı ortalama 7.67'ye düşmüştür. Aktarım süresi büyük oranda azaldığı için paket kayıpları da standart MIPv6 protokolüne göre aynı oranda azalmıştır.

4.4.10. Eklentilerin değerlendirilmesi

Sınama sonuçları Çizelge 4.14'den de görülebileceği üzere aktarım süresini en çok azaltan yöntem "L2 Tetiklemesi+ODAD+Hızlı RA+EBU" birleşimi olmuştur. Bu birleşim 2.856 sn olan standart MIPv6 aktarım gecikme süresini 455 ms'ye düşürmüştür.

Çizelge 4.14 MIPv6 eklentileri aktarım süreleri

Aktarım Eklenti Tipi	Aktarım Süresi (sn)
Standart MIPv6	2.856
Yüksek Sıklıkta Gönderilen RA İleti	1.397
Hızlı RA İleti	2.678
L2 Tetikleme	1.609
ODAD	2.591
EBU	2.678
L2 Tetikleme + Hızlı RA	1.370
L2 Tetikleme + ODAD	0.798
L2 Tetikleme + ODAD+ Hızlı RA	0.630
L2 Tetikleme + ODAD+ Hızlı RA + EBU	0.455

[10]'daki gerçek sınaama ortamından elde edilen standart aktarım gecikme süresi 2.448 sn'dir. Bizim simülasyondan elde edilen standart aktarım gecikme süresi (2.856 sn) gerçek düzeneklerle yapılan aktarım sınamalarına göre daha büyük çıkmıştır. Bu farkın nedeni kullandığımız MIPv6 modelde internet kablolarının iletim gecikmeleri birbirlerinden çok uzak düğümlerin iletişim gecikmelerini içerecek şekilde modellenmesidir (modelde internet kablolarının iletim gecikmeleri atlantikaşırı iletim gecikmelerine yakın seçilmiştir).

ITU-T standardında [16] gerçek zamanlı uygulamaları desteklemek için uçtan uca gecikme süresinin kabul edilebilir olması için 0-150 msn arasında olması gerektiği belirtilmiştir. IPv6SuiteWithInet kütüphanesine dönüş yönlendirilebilirliği yordamının eklenmesi sonucunda ping paketlerinin RTT değeri 160 msn'den 87 msn'eye düşürülmüştür. Bu değer ITU-T standardının gerçek zamanlı uygulamalar için tavsiye ettiği uçtan uca gecikme süresini rahatlıkla sağlamaktadır. Ayrıca dönüş yönlendirilebilirliği yordamı sayesinde MN ve CN arasında direk iletişim sağlanarak düğümlerin iletişim performansı artırılmıştır.

"L2 Tetiklemesi+ODAD+Hızlı RA+EBU" birleşiminde aktarım sırasındaki paket kayıpları ise aktarım süresiyle orantılı olarak ortalama 7.67'ye düşmüştür Sabahın erken saatleri veya haftasonu gibi internet kullanımının az olduğu zamanlarda dahi ardışık paket kayıplarının ağırlıklı olarak 6 paket civarında olduğu belirtilmiştir [3]. Ağ kullanımının daha yoğun olduğu hafta içi gibi çalışma saatlerinde ise sıralı paket kayıplarının sayısının daha yüksek olduğu belirtilmiştir. Günümüzde bu tür sıralı paket kayıplarını telafi edici karmaşık açık döngü hata telafi algoritmaları ve servis kalitesi kontrolü sağlayan yöntemler yaygın olarak kullanılmakta ve bu yöntemler sürekli geliştirilmektedir [3] [17] [37] [52]. Belirtilen paket kayıplarını telafi edici yöntemler kullanılarak "L2 Tetiklemesi+ODAD+Hızlı RA+EBU" birleşiminde aktarım sırasında oluşan paket kayıplarının iletişim üzerindeki etkisi azaltılabilir.

[26]'da yapılan sınaama sonuçlarında "L2 Tetiklemesi+ODAD+Hızlı RA" birleşiminin aktarım süresi 355 msn bulunmuştur. Kullandığımız MIPv6 model sınamalarında bu değer 0.630 sn bulunmuştur. Fakat [26]'da yapılan sınamalarda dönüş yönlendirilebilirliği yordamı dikkate alınmamıştır. Dönüş yönlendirilebilirliği yordamı, başka kötü niyetli düğümlerin MN gibi davranıp CN'a kaydolmasını engellemek için gerçekleştirilmesi gereken önemli bir yordamdır. Kullandığımız

simülasyon düzeneğinde dönüş yönlendirilebilirliği yordamının ortalama değerini 250 msn civarında alırsak elde ettiğimiz aktarım sonuçlarının [26]'dan elde edilen sonuçlara çok yakın olduğu gözlenebilir.

Elde edilen aktarım verilerine göre, L2 tetikleme eklentisinin olabilecek aktarımları bağ katmanında erkenden farketmesi ve ağ katmanını hemen uarması sonucunda aktarım gecikmesini büyük oranda azalttığı gözlenmiştir. Aynı şekilde yüksek sıklıkta gönderilen RA paketleri de aktarım gecikmesini azaltmaktadır fakat yüksek sıklıkta gönderilen RA paketleri ağ paket trafiğini arttırmaktadır. Ayrıca sık gönderilen RA paketlerinin dezavantajlardan bir diğeri bu paketlerin tüm düğümlerin çoğa gönderim adresine gönderilmesinden dolayı ağdaki tüm bağ bölütlerinin üzerindeki anahtarları ve düğümleri fazladan meşgul etmesidir. Bu nedenle yüksek sıklıkta gönderilen RA paketlerin, düşük bant genişliğine sahip ağlarda ve yoğun paket trafiği olabilecek ağlarda kullanılması doğru olmayacaktır.

MN yeni CoA'ni güvenli olarak karşı düğümlere kayıt edebilmesi için dönüş yönlendirilebilirliği yordamını gerçekleştirmesi gerekir. Bunun için CN'un yaptığı ev adres (HoTI-HoT) ve güncel adres (CoTI-CoT) sınamalarını başarıyla geçmesi gerekir. MN'un HoA'i MN'un hareket ettiği ağa göre değişmediği için ev adres sınamasının aktarım sırasında yapılması zorunlu değildir. EBU eklentisiyle ev adres sınaması aktarım dışındaki zamanlarda periyodik olarak gerçekleştirilerek aktarım gecikme süresini etkilememesi sağlanmıştır. Ayrıca yeni tanımlanan EBU iletilisiyle MN'un CN'a geçici kaydı yapılarak MN ile CN'un daha erken direk iletişime geçmeleri sağlanmıştır. EBU eklentisi standart karşı düğüm kayıt işlemine göre 175 msnlik kaydedeğer bir ilerleme sağlamıştır. EBU eklentisinin etkisi özellikle aralarında uzun mesafe bulunan gezgin düğümler için avantajlı bir eklentidir.

Yapılan sına sonuçlarına göre tek başlarına ODAD ve Hızlı RA eklentisinin aktarım gecikme süresinde beklenen etkileri görülmemiştir. Ancak L2 tetiklemesiyle birlikte kullanıldıklarında beklenen iyileştirme etkileri açığa çıkmıştır. Sebebi ise L2 tetiklemesiz aktarım durumunda ağ katmanında aktarım sezimleninceye kadar geçen sürede normal DAD işlemi tamamlayacak kadar yeterli sürenin olmasından ve periyodik RA paketlerinin bu sürede alınmış

olmasından dolayı ODAD ve Hızlı RA eklentilerinin aktarım süresine beklenen etkileri görülememiştir.

L2 tetikleme, ODAD ve EBU eklentilerinin sadece gezgin düğümlerde küçük yazılım değişikliği gerektirdiğinden standart MIPv6 protokolüne eklenmesi kolay olacak ve yüksek maliyet getirmeyecektir. Hızlı RA eklentisinin de ağdaki herhangi bir yönlendiricide sadece yapılandırma işlemi gerektirdiğinden standart protokole eklenmesi daha kolay olacaktır.

Çizelge 4.15'den de görüldüğü üzere L2 Tetikleme+ODAD+Hızlı RA+EBU birleşiminin paket kayıpları en az çıkmıştır. Simülasyonda paket kayıplarının büyük çoğunluğu aktarım sırasında oluştuğu için paket kayıpları aktarım süreleriyle doğru orantılı olarak artıp azalmaktadır.

Çizelge 4.15 MIPv6 eklentileri paket kayıp oranları

Aktarım Eklenti Tipi	Tüm Paket Kayıp Oranı (%)	Aktarım Paket Kayıp Oranı (%)
Standart MIPv6	3.863	2.276
Yüksek Sıklıkta Gönderilen RA İleti	2.747	1.097
Hızlı RA	3.702	2.127
L2 Tetikleme	2.905	1.256
ODAD	3.687	2.102
EBU	3.712	1.486
L2 Tetikleme + Hızlı RA	2.699	1.059
L2 Tetikleme + ODAD	2.210	0.584
L2 Tetikleme + ODAD+ Hızlı RA	2.012	0.457
L2 Tetikleme + ODAD+ Hızlı RA + EBU	1.939	0.235

Paket RTT değerlerinin Çizelge 4.16'dan da görüldüğü gibi eklenti tipine göre değişmediği gözlenmiştir.

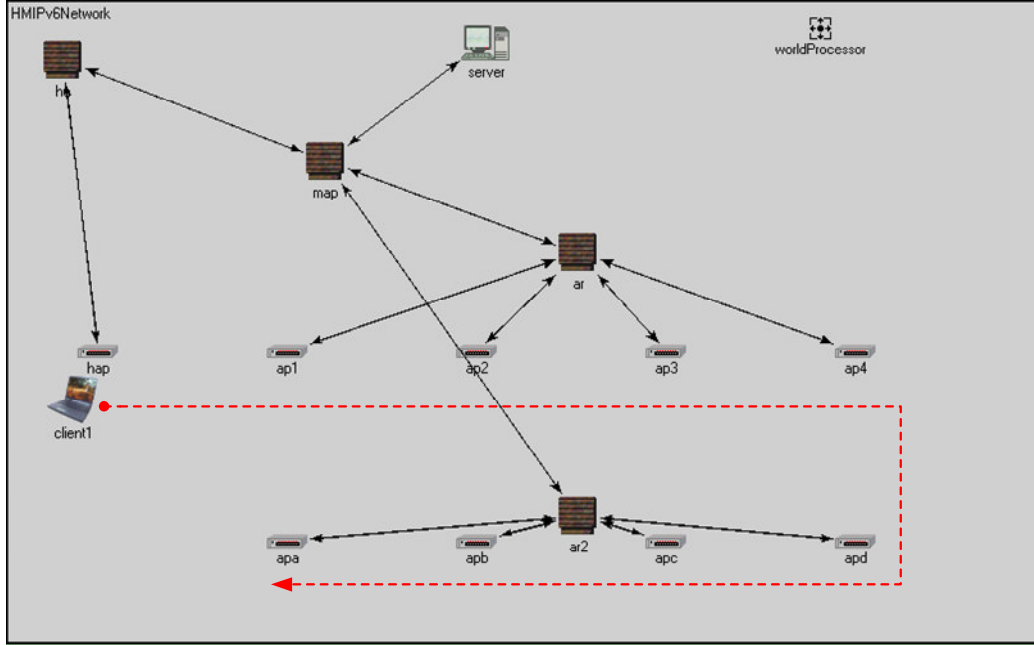
Çizelge 4.16 MIPv6 eklentileri paket RTT değerleri

Aktarım Eklenti Tipi	Ping Paket RTT (sn)
Standart MIPv6	0.0873
Yüksek Sıklıkta Gönderilen RA İleti	0.0872
Hızlı RA İleti	0.0873
L2 Tetikleme	0.0873
ODAD	0.0873
EBU	0.0873
L2 Tetikleme + Hızlı RA	0.0873
L2 Tetikleme + ODAD	0.0873
L2 Tetikleme + ODAD+ Hızlı RA	0.0873
L2 Tetikleme + ODAD+ Hızlı RA + EBU	0.0873

4.5. Sıradüzensel Gezgin IPv6 (HMIPv6) Protokolü

Sıradüzensel Gezgin IPv6 protokolü aktarım performans sınamalarını gerçekleştirmek için IPVSuiteWithInet kütüphanesi kullanılarak Şekil 4.5'deki HMIPv6 simülasyon modeli oluşturulmuş ve model konfigürasyon parametreleri MIPv6 ve HMIPv6 [18] [39] protokollerine göre yapılandırılmıştır.

Şekil 4.5'deki gösterilen simülasyon modelinde her yönlendirici (ar1, ar2) erişim noktalarına bağlanarak veri taşıma kapasitesi 11Mbit'lik IEEE 802.11 standardında kablosuz yerel ağlar oluşturulmuştur. MAP (map modülü) ve HA/CN arasındaki internet bağlantısından kaynaklanan internet kablolarının veri taşıma kapasitesi 10000Mbit, MAP'le yönlendiriciler arasındaki intranet kablolarının veri taşıma kapasitesi 1000Mbit ve AR'lar ile AP'lar arasındaki intranet kablolarının veri taşıma kapasitesi 100Mbit olarak yapılandırılmıştır.



Şekil 4.5 HMIPv6 simülasyon modeli

Simülasyonda gezgin düğümün hareketi ev ağından (ha) başlayarak sırasıyla hap, ap1, ap2, ap3, ap4, apd, apd, apc, apb erişim noktalarından geçerek apa erişim noktasına gelmesiyle sonlanmaktadır.

Gezgin düğümün hareketi sırasında yerel ve global aktarım tipleri ve bu aktarım tiplerinin farkları gözlenebilir. Yerel aktarım, gezgin düğümün aynı MAP alanı içinde hareketi sırasında gerçekleşen aktarım tipidir. Global aktarım ise gezgin düğümün daha iyi seçenekli MAP keşfettiğinde veya bağlı bulunduğu MAP'den bağlantısı kopup yeni bir MAP'e bağlandığında gerçekleştirdiği aktarımdır. Yerel aktarımda gezgin düğümün sadece LCoA'i değiştiği için sadece MAP'e BU iletileri göndermesi yeterlidir. Global aktarımda ise hem LCoA ve RCoA'i değiştiği için ek olarak ev üstlenicisine ve karşı düğüme BU iletileri göndermesi gerekmektedir [28]. Bu sebeple global aktarım süresi genellikle yerel aktarım süresinden büyüktür.

Simülasyonda farklı aktarım tiplerini karşılaştırmak için 'map' modülünün arayüzleri farklı adres ve farklı MAP seçenekleriyle yapılandırılarak iki farklı MAP hizmeti vermesi sağlanmıştır. 'ar' ve bağlantılı olduğu erişim yönlendiricileri birinci MAP alanını, 'ar2' ve bağlantılı bulunduğu erişim noktaları ikinci MAP alanını oluşturmaktadır. Ayrıca 'ar' ve 'ar2' yönlendiricilerinin tüm arayüzleri farklı IP

örnekleriyle yapılandırılmıştır. ap1►ap2►ap3►ap4 ve apd►apd►apc►apb arasındaki aktarımlar yerel aktarım, hap►ap1 ve ap4►apd arasındaki aktarımlar global aktarımdır. Simülasyondaki bu yapılandırma sayesinde yerel aktarım değerlerini global aktarım değerleri ile karşılaştırma olanağı doğmuş ve değişik aktarım tiplerinin toplam aktarım performansı üzerindeki etkisinin gözlemlenmesi sağlanmıştır.

Simülasyonda kullanılan parametreler ve çalışma senaryolarına göre alabilecekleri değerler Çizelge 4.17’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.17 HMIPv6 simülasyon parametreleri

Parametre	Değer
MinRtrAdvInterval (sn)	1.5
MaxRtrAdvInterval (sn)	1.0
AllowedMissedRtrAdv	1
RetransTimer (msn)	1000
DupAddrDetectTransmits	1
Ping gönderme aralığı (sn)	0.05
Gezgin düğüm hızı (m/sn)	3
ODAD eklentisi	açık veya kapalı
L2 tetikleme eklentisi	açık veya kapalı
Hızlı RA eklentisi	açık veya kapalı
MAX_FAST_RAS	10
MAX_RA_DELAY_TIME (msn)	500
MAP ilk uzaklık vektör değeri	1
MAP yeğlenme değeri	10
d_{MAP} (sn)	0.02 (4×10^3 km), 0.002 (4×10^2 km)
$d_{internet}$ (sn)	0.01 (3×10^3 km), 0.03 (9×10^3 km), 0.05 (15×10^3 km), 0.1 (3×10^4 km), 0.2 (6×10^4 km)

MAP alanının büyüklüğü (MAP'lerin erişim yönlendiricilerine uzaklığının) ve internet gecikmesinin aktarım süresine etkisinin gözlemlenmesi için farklı d_{MAP} ve $d_{internet}$ iletim gecikme sürelerinde aktarım süreleri kaydedilmiştir. d_{MAP} , erişim yönlendiricisiyle MAP arasındaki iletişim ortamından kaynaklanan iletim gecikme süresidir ve d_{MAP} iletim gecikmesi 0.02 sn ve 0.002 sn olarak alınmıştır. $d_{internet}$ ise MAP ve HA/CN arasındaki internet bağlantısından kaynaklanan iletim gecikme süresidir ve $d_{internet}$ iletim gecikmesi 0.01 sn, 0.03 sn, 0.05 sn, 0.1 sn ve 0.2 sn olarak alınmıştır. Aktarım süresine etkilerini gözlemlemek için d_{MAP} ve $d_{internet}$ iletim gecikme süreleri özellikle büyük değerlerde seçilmiştir. Bu sürelerle göre farklı sına senaryoları oluşturularak aktarım performansları incelenmiştir. Çizelge 4.17'de d_{MAP} ve $d_{internet}$ iletim gecikme süreleri ve bu sürelerin karşılık geldiği uzaklık değerleri verilmiştir. d_{MAP} ve $d_{internet}$ iletim gecikme sürelerine göre kablo boyları bulunurken Şekil 4.2'deki fiberoptik ve cat5 kablolarının iletim gecikmeleri kaynak alınmıştır.

4.5.1. HMIPv6 sına senaryoları

HMIPv6 protokolünün standart MIPv6 performansına katkısını ve ondan farklılığını gözlemlemek için simülasyon düzeneği dört farklı şekilde yapılandırılmıştır. Simülasyonlarda MN ve CN arasındaki dönüş yönlendirilebilirliği yordamı sadece global aktarımlarda gerçekleştirildiği ve global aktarımların sayısı yerel aktarımların sayısına göre az olduğu için EBU eklentisinin HMIPv6 protokolüne etkisi gözardı edilmiştir.

Aşağıda farklı yapılandırılmış MIPv6 ve HMIPv6 sına senaryoları açıklanmıştır:

'MIPv6 ALL OFF' senaryosu: Bu senaryoda 'map' modülünün MAP desteği kapatılarak sıradan bir yönlendirici gibi davranması sağlanmıştır. Bu sayede simülasyon düzeneğinin standart MIPv6 gibi davranması sağlanmıştır. Ayrıca L2 tetiklemesi, ODAD işlemi ve Hızlı RA paketlerinin aktarım süresini etkilememesi için ilgili bayraklar kapatılmıştır.

'MIPv6 ALL ON' senaryosu: Bu senaryoda da 'map' modülünün MAP desteği kapatılmış fakat MIPv6 yöntemiyle birlikte L2 tetiklemesi, ODAD ve Hızlı RA paketlerinin aktarım süresine etkisinin görülebilmesi için ilgili bayraklar açılmıştır.

‘HMIPv6 ALL OFF’ senaryosu: Bu senaryoda ‘map’ modülünün MAP desteği açılarak HMIPv6 protokolünün aktarım süresine etkisinin görülmesi amaçlanmıştır. Sadece HMIPv6 protokolünün aktarım süresine etkisinin görülebilmesi için L2 tetiklemesi, ODAD ve Hızlı RA paketlerinin ilgili bayrakları kapatılmıştır.

‘HMIPv6 ALL ON’ senaryosu: Bu senaryoda ‘map’ modülünün MAP desteği açılarak HMIPv6 protokolünün aktarım süresine etkisinin görülmesi amaçlanmıştır. Ayrıca HMIPv6 protokolüyle birlikte L2 tetiklemesi, ODAD ve Hızlı RA paketlerinin aktarım süresine etkisinin görülebilmesi için ilgili bayraklar açılmıştır.

Ayrıca MAP’in gezgin düğüme uzaklığının (ağ üzerindeki konumunu) ve internet gecikmesinin aktarım süresine etkisinin gözlemlenmesi için yukarıdaki sına senaryolarında d_{MAP} ve $d_{internet}$ iletim gecikme süreleri değiştirilerek aktarım süreleri kaydedilmiştir.

Her sına senaryosu farklı d_{MAP} ve $d_{internet}$ iletim gecikme sürelerinde 5 defa yapılarak gezgin düğümün 40 aktarım yapması sağlanmış ve aktarım performans değişkenlerinin ortalaması alınmıştır. Yukarıdaki her bir sına senaryosu için toplamda 400 aktarım değeri kaydedilmiştir. Yapılan testlerin birbirinden farklı olabilmesi için farklı rasgele tohumlar kullanılmıştır.

Gezgin düğümün değişik sına senaryolarında aktarım performans parametreleri (aktarım süresi, paket kayıp oranı, ping RTT değeri) kaydedilmiştir. Aşağıda simülasyondan elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

Çizelge 4.18’de her bir hücredeki değerler yukarıdan aşağıya sırasıyla ‘MIPv6 ALL OFF’, ‘MIPv6 ALL ON’, ‘HMIPv6 ALL OFF’, ‘HMIPv6 ALL ON’ senaryolarından elde edilen aktarım sürelerinin ortalama değerlerini göstermektedir. Sına senaryolarından elde edilen aktarım değerleri d_{MAP} ve $d_{internet}$ değerlerine göre Şekil 4.6 ve Şekil 4.7’de grafiksel olarak gösterilmiştir.

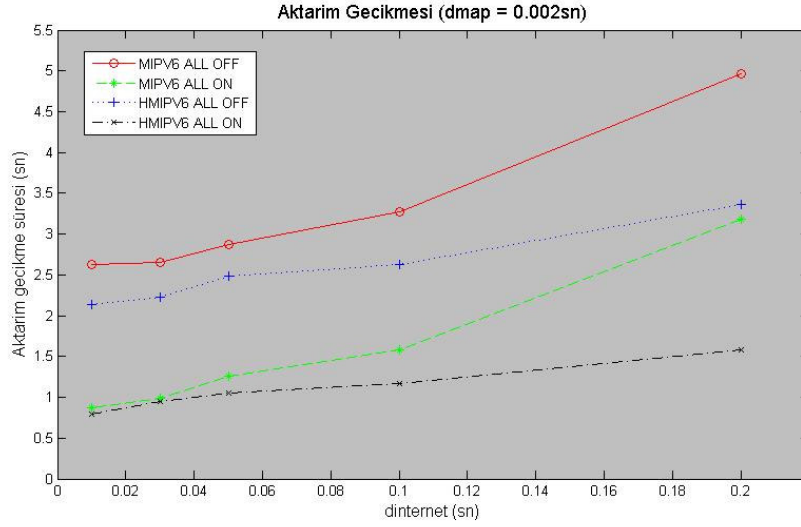
Şekil 4.6 ve Şekil 4.7’deki grafiklerden de gözlenebildiği gibi ‘HMIPv6 ALL OFF’ ve ‘HMIPv6 ALL ON’ senaryolarının aktarım süreleri sırasıyla ‘MIPv6 ALL OFF’ ve ‘MIPv6 ALL ON’ senaryolarının aktarım sürelerine göre daha az çıkmıştır. Simülasyondaki aktarım süreleri ayrı ayrı incelendiğinde global aktarım süreleri yerel aktarım sürelerinden fazla çıkmıştır. [26]’da yapılan HMIPv6 simülasyon

sonuçlarına göre global aktarım süreleri standart MIPv6 aktarım süresine göre fazla çıkmıştır. Sebebi ise global aktarım sırasında MAP'e gönderilen BU ve MAP'den alınan BA iletileri standart aktarım süresinde fazladan gecikmeye sebep olmaktadır. Burada gerçekleştirilen senaryolarda ise yerel aktarımların global aktarımlardan sayıca daha fazla olmasından dolayı ortalama aktarım süresine global aktarımların etkisi çok fazla görülmemektedir.

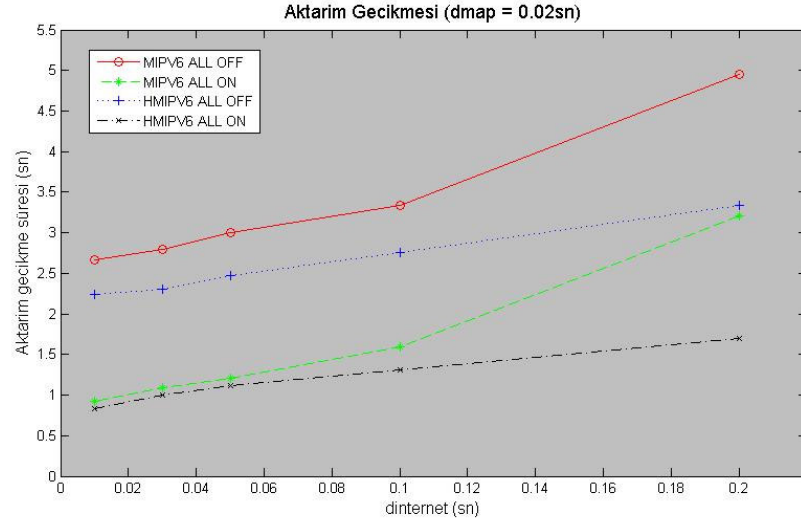
Çizelge 4.18 HMIPv6 aktarım süreleri (sn)

		$d_{internet}$ (sn)				
		0.01	0.03	0.05	0.1	0.2
d_{MAP} (sn)	0.002	2.632	2.648	2.872	3.279	4.968
		0.875	0.987	1.254	1.587	3.182
		2.143	2.226	2.487	2.623	3.358
		0.791	0.944	1.056	1.174	1.588
	0.02	2.669	2.801	3.003	3.336	4.945
		0.917	1.086	1.203	1.599	3.212
		2.244	2.304	2.468	2.760	3.336
		0.827	1.002	1.114	1.313	1.699

Yine Şekil 4.6 ve Şekil 4.7'deki grafiklerden gözlenebildiği gibi $d_{internet}$ gecikme süresinin artışına bağlı 'HMIPv6 ALL OFF' ve 'HMIPv6 ALL ON' aktarım gecikmelerinin artış ivmesi 'MIPv6 ALL OFF' ve 'MIPv6 ALL ON' aktarım değerlerinin artış ivmesine göre daha azdır. Bunun sebebi gezgin düğümün yerel aktarımlar sırasında ev üstlenicisine ve karşı düğümlere BU ve BA ileti paketleri göndermesine gerek olmamasıdır.



Şekil 4.6 Aktarım gecikme süresi ($d_{MAP} = 0.002sn$)

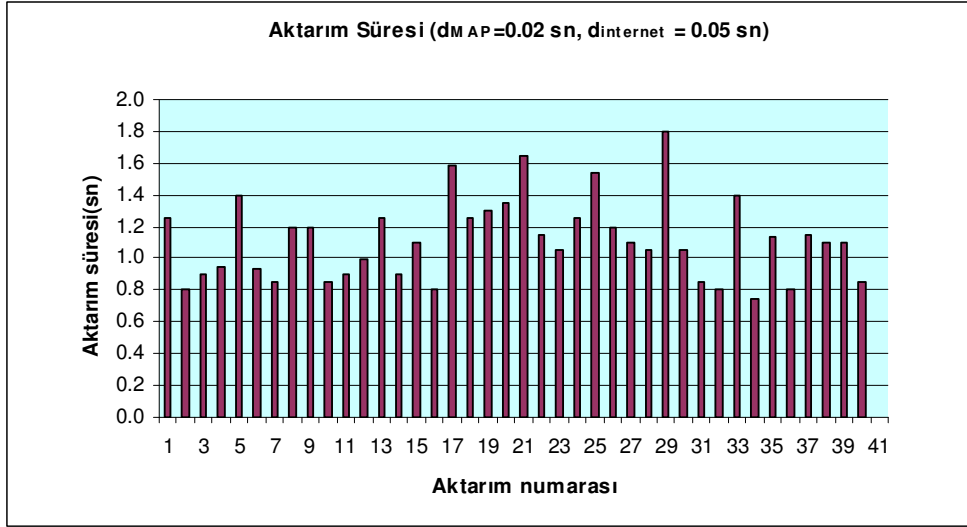


Şekil 4.7 Aktarım gecikme süresi ($d_{MAP} = 0.02sn$)

d_{MAP} iletim gecikme süresinin artırılması aktarım süresini artırmaktadır. Daha çok alanı kapsamaları için daha uzağa yerleştirilen MAP yönlendiricileri yerel aktarımlarda mesajlaşmalarda avantaj sağlarken mesajlaşma sırasında daha fazla gecikmeye sebep olmaktadır. MAP'in ağ topolojisinde yeri seçilirken aktarım süresine olan etkisinin de gözönüne alınması gereklidir.

Yerel aktarım değerlerinin global aktarım değerleri ile karşılaştırılması için 'HMIPv6 ALL ON' senaryosu ($d_{MAP} = 0.02 sn$ ve $d_{internet} = 0.05 sn$) kullanılarak yapılan sınamalarından elde edilen aktarım sonuçları Şekil 4.8'de gösterilmiştir. Burada

her sekiz aktarımdan birinci (hap►ap1) ve beşinci (ap4►apd) aktarımlar global diğer aktarımlar yerel aktarımlardır



Şekil 4.8 Yerel ve global aktarım sürelerinin karşılaştırılması

Şekil 4.8 'den de görüldüğü üzere global aktarımların (1, 5, 9, 13, 17, 21, 25,...) gecikme süreleri yerel aktarımlara göre büyük çıkmıştır.

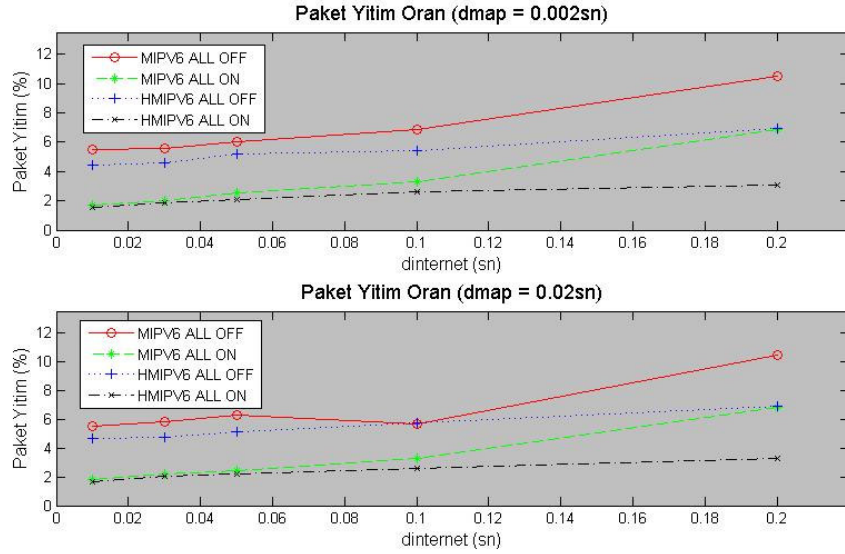
Çizelge 4.19 HMIPv6 paket kayıp oranları (%)

		d _{internet} (sn)				
		0.01	0.03	0.05	0.1	0.2
d _{MAP} (sn)	0.002	5.488	5.547	5.995	6.885	10.539
		1.744	1.984	2.533	3.285	6.835
		4.472	4.624	5.171	5.435	6.949
		1.565	1.880	2.117	2.624	3.048
	0.02	5.554	5.859	6.256	5.669	10.480
		1.816	2.197	2.424	3.293	6.824
		4.664	4.781	5.120	5.717	6.893
		1.651	2.013	2.232	2.600	3.317

Çizelge 4.19'da her bir hücredeki değerler yukarıdan aşağıya sırasıyla 'MIPv6 ALL OFF', 'MIPv6 ALL ON', 'HMIPv6 ALL OFF', 'HMIPv6 ALL ON' senaryolarından

elde edilen paket kayıplarının ortalama değerlerini gstermektedir. Bu senaryoların aktarım değerleri d_{MAP} ve $d_{internet}$ değerlerine g-re Şekil 4.9'da grafik olarak gsterilmiştir.

Şekil 4.9'daki grafikler incelendiğinde paket kayıplarının aktarım süre grafiğine benzer olduğu gözlenecektir. Çünkü paket kayıplarının tamamına yakını aktarım sırasında oluşmaktadır.



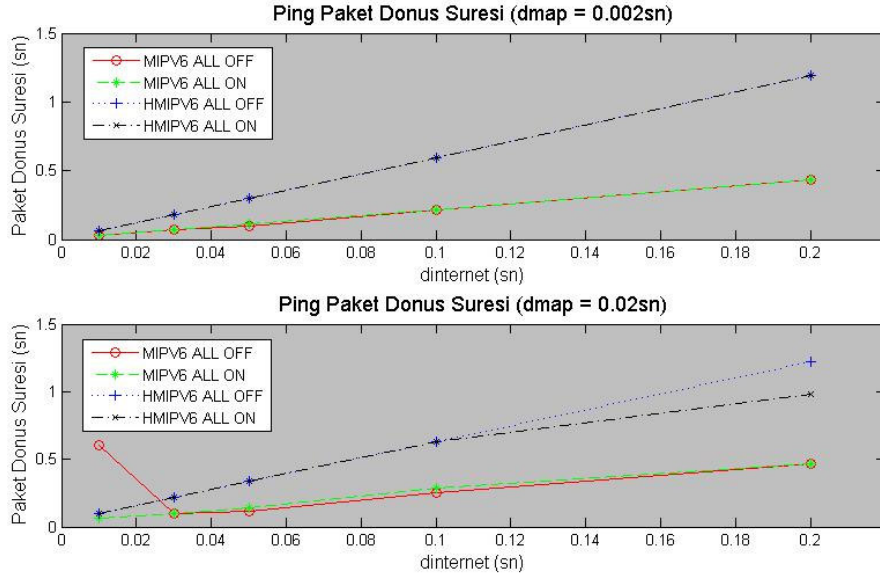
Şekil 4.9 Paket yitim oranları ($d_{MAP} = 0.002$ sn ve $d_{MAP} = 0.02$ sn)

Çizelge 4.20'de her bir hücredeki değerler yukarıdan aşağıya sırasıyla 'MIPv6 ALL OFF', 'MIPv6 ALL ON', 'HMIPv6 ALL OFF', 'HMIPv6 ALL ON' senaryolarının ping paketlerinin RTT değerlerini gstermektedir. Şekil 4.10'da bu senaryoların aktarım değerleri d_{MAP} ve $d_{internet}$ değerlerine g-re grafik olarak gsterilmektedir.

'HMIPv6 ALL OFF', 'HMIPv6 ALL ON' senaryolarından elde edilen ping paketlerinin RTT değerlerinin 'MIPv6 ALL OFF', 'MIPv6 ALL ON' ping paketlerinin RTT değerlerine g-re yüksek çıkmasının sebebi MAP'in gezgin düğüme gelen ve gezgin düğümden giden paketleri tünellemesinden kaynaklanmaktadır. Her paketin tünellenip gönderilmesi ping gidiş-dönüş süresini arttırması yanında MAP'lere fazladan iş yükü getirmektedir.

Çizelge 4.20 HMIPv6 ping paket RTT değerleri (sn)

		$d_{internet}$ (sn)				
		0.01	0.03	0.05	0.1	0.2
d_{MAP} (sn)	0.002	0.0260	0.0680	0.1010	0.2160	0.4350
		0.0259	0.0677	0.1098	0.2164	0.4336
		0.0643	0.1826	0.3010	0.5972	1.1906
		0.0643	0.1827	0.3012	0.5981	1.1914
	0.02	0.0603	0.1020	0.1160	0.2510	0.4700
		0.0604	0.1020	0.1440	0.2860	0.4690
		0.0989	0.2171	0.3355	0.6317	1.2251
		0.0990	0.2172	0.3357	0.6326	0.9805



Şekil 4.10 Ping Paket RTT değerleri ($d_{MAP} = 0.002$ sn ve $d_{MAP} = 0.02$ sn)

Sonuçlardan da görülebileceği gibi HMIPv6 protokolüyle aktarım süresinde MIPv6 protokolüne göre ortalama 100 msn'lik bir ilerleme olduğu görülmektedir. Fakat $d_{internet}$ gecikme süresinin artışıdan HMIPv6 protokolü standart MIPv6 protokolüne göre daha az etkilenmektedir. Çünkü yerel aktarım sırasında MN'un sadece MAP'e BU iletişi göndermesi, HA ve CN'lara BU iletileri göndermesine gerek kalmaması

aktarım süresini düşürmektedir. Diğer yandan d_{MAP} gecikme süresinin artırılması aktarım süresini arttırmıştır. Bu nedenle MAP'ler ağda konumlandırılırken aktarım süresine yaptığı etki gözönüne alınmalıdır.

HMIPv6 protokolünün en büyük dezavantajı MN'a gelen ve giden paketlerin MAP üzerinden yönlendirilme zorunluluğudur. Bu işlem paketlerin ağda en iyi yolu takip etmelerini kısıtlamakta ve paketlerin MAP'de tünellenerek gönderilmesi paketlerin RTT değerlerini arttırmaktadır. Ayrıca bağlı olunan MAP'de olabilecek tıkanma veya bir arıza durumunda bu MAP üzerinden iletişim yapan tüm MN'ların iletişimi yeni bir MAP keşfedinceye kadar kesintiye uğrayacaktır.

4.6. Benzetim Sonuçlarının Değerlendirmesi

Simülasyon sınamalarından elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde aktarım performansının artırılması için önerilen eklentiler arasında aktarım süresini en çok iyileştiren L2 tetiklemesi ODAD, Hızlı RA ve EBU eklentilerinin birlikte kullanıldığı birleşim olmuştur. [4]'deki sınama sonuçlarına göre aktarım süresinin %87'sini L3 katmanındaki aktarım işlemlerinin oluşturduğu ve bu sürenin büyük bir kısmını da L3 katmanının aktarımı L2 katmanından çok sonra farketmesinden kaynaklandığı belirtilmiştir.

L2 tetiklemesinin desteklenmediği düğümlerde aktarıma karar vermek için standart MIPv6 protokolünde önerilen iki yöntem vardır. Bunlar varolan yönlendiriciye NUD işlemi kullanarak artık ulaşılamazlığını tespit etmek ve varolan yönlendiriciden eksik alınan RA iletilerini sayarak (belli bir zaman aşımını bekledikten sonra) sonra ulaşılamazlığına karar vermektir [18]. İlk yöntemde kullanılan NUD işlemi MN'un sadece paket göndereceği zaman başlatılabilmektedir. Eğer MN'un yeni bir ağa hareketinden sonra göndereceği paket yoksa, varolan yönlendiricinin artık ulaşılamaz olduğu paket gönderilinceye kadar anlaşılacaktır ve bu sürede gezgin düğüme gönderilen paketler düşecektir. Aktarım geç farkedildiği için de aktarım gecikme süresi artacaktır. Önerilen ikinci yöntemde ise aktarım varolan yönlendiriciden belirli aralıklarda alınamayan RA iletilerinin sayısına bakılarak karar verilmektedir. Bu zaman aşımı değeri yönlendiricinin RtrAdvInterval ve AllowedMissedRtrAdv sayaç değişkenlerinin değerlerine bağlıdır. Bu değişkenlerin MIPv6 protokolüne göre asgari değerleri alındığında bile aktarım yine de geç tespit edilmektedir. L2 tetiklemesi aktarımı erkenden farkedip L3 katmanını uyararak

aktarım gecikmesini büyük oranda azaltmaktadır. ODAD ve Hızlı RA eklentilerinin L2 tetiklemeyle birlikte kullanılmadığı senaryolarda L3 aktarımını geç farketmelerinden dolayı bu eklentilerin aktarım süresindeki kuramsal olarak hesaplanan etkileri ortaya çıkmamıştır.

Yeni ilişme noktasında edinilen CoA'i kullanmadan önce benzersizliğini doğrulamak için kullanılan DAD işleminin aktarım süresinde yarattığı gecikmeyi azaltmak için ODAD işlemi önerilmiştir. ODAD yöntemi adreslerin düzgün dağıtıldığı bir ağda oluşturulan CoA'in başka bir arabirim tarafından kullanılma olasılığının düşük olması prensibine dayanır. Buna göre MN yeni oluşturduğu CoA'i, normal DAD işleminin bitmesini beklemeden sınırlı olarak kullanabilir. Normal DAD işlemi bittiğinde ise CoA'ni sınırsız olarak kullanabilir. ODAD işlemi kullandığımız senaryoya göre aktarım süresinde 805 msn'lik kaydedeğer bir ilerleme sağlamıştır. ODAD eklentisi sadece MN'da yazılım değişikliği gerektirdiğinden uygulanması ve değiştirilmesi kolaydır.

Yönlendiriciler istenen RA iletilerini diğer yönlendiricilerin RA iletileriyle çakışmaması için gecikmeli olarak gönderirler. Hızlı RA eklentisi bu gecikmeyi ortadan kaldırmak için ağda bir yönlendirici tanımlamıştır. Bu yönlendiricinin gelen RS iletilerine beklemeden RA cevap ileti göndermesi sağlanarak aktarımdaki gecikmenin giderilmesi sağlanmıştır. Hızlı RA eklentisiyle aktarım süresinde 209 msn'lik bir düşme sağlanmıştır. Hızlı RA eklentisi ağda sadece bir yönlendiricinin bazı değişkenlerinin tekrardan yapılandırmasını gerektirdiğinden standart MIPv6 protokolüne eklenmesi diğer eklentilere göre çok daha kolaydır.

MN'un CN'la direk iletişime geçmesi için yapılması gereken dönüş yönlendirilebilirliği yordam süresini azaltmak için IPv6SuiteWithInet kütüphanesine eklenen EBU eklentisiyle dönüş yönlendirilebilirliği yordam süresi yaklaşık %50 oranında azaltılmıştır. Aktarım süresinde de 175 msn'lik kaydedeğer bir ilerleme sağlanmıştır. EBU eklentisiyle ev adres sınaması aktarım dışındaki zamanlarda periyodik olarak gerçekleştirilerek, ev adres sınamasının aktarım süresini etkilememesi sağlanmıştır. Ayrıca yeni tanımlanan EBU iletiyle MN'un CN'a geçici kaydı yapılarak MN ile CN'un daha erken direk iletişime geçmeleri sağlanmıştır. EBU eklentisi özellikle aralarında uzun mesafe bulunan gezgin düğümler için avantajlı bir eklentidir. L2 tetikleme ve ODAD gibi EBU eklentisi de

sadece gezgin düğümde yazılımsal değişiklik gerektirdiğinden varolan ağ elemanlarına eklenmesi kolay olacak ve yüksek maliyet gerektirmeyecektir.

Yüksek sıklıkta gönderilen RA iletilerinin aktarım gecikmesini azaltırken ağ bant genişliğine mal olmaktadır. Bu nedenle RA paketlerinin gönderilme aralığının ve bu paketleri gönderecek yönlendirici sayısının, hizmet verilecek gezgin düğümlerin ihtiyaçlarına ve ağın bant genişlik kapasitesine göre planlanması daha doğru olacaktır.

Aktarım sırasındaki sinyalleşmeyi azaltmak için önerilen HMIPv6 protokolü sinyalleşmeleri azalttığı gibi aktarım süresini de azaltmıştır. Fakat daha çok alanı kapsamaları için daha uzak noktaya yerleştirilen MAP'ler aktarım sırasındaki sinyalleşmelerin süresini arttırdığı için aktarım süresini arttırmaktadır. Bu nedenle MAP'ler ağda konumlandırılırken aktarım süresine yaptıkları etki gözardı edilmemelidir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında öncelikle MIPv4 ve MIPv6 aktarım protokolleri incelenmiştir. Yapılan araştırmalar sonucunda mevcut IPv4 ve MIPv4 internet protokollerinin, internetin yaygınlaşmasıyla beraber son kullanıcıların internete her yerden ve her koşulda ulaşabilme isteklerini yeterli düzeyde karşılayamadıkları görülmüştür. IPv4 protokolünün dezavantajları ve eksiklikleri incelenmiş, IPv4 protokolünün günümüzde giderek artan IP adres ihtiyacını artık karşılayamaz olduğu ve kablosuz iletişim için gerekli olan esnek tasarım altyapısına sahip olmadığı görülmüştür. Kablosuz iletişimi desteklemek için sonradan IPv4 protokolüne entegre edilen MIPv4 protokolünün ise gerçek zamanlı iletişim için yeterli düzeyde servis kalitesini sağlayamadığı gözlenmiştir.

IPv4 ve MIPv4 protokolündeki eksikleri gidermek ve internetin farklı IP hizmet alanlarındaki beklentilere cevap verebilmesi için yakın gelecekte IPv4 ve MIPv4 protokollerinin yerini alması öngörülen IPv6 ve MIPv6 protokolleri detaylı olarak incelenmiştir. Kullanılması düşünülen MIPv6 protokolünde karşılaşılan büyük zorluklardan bir tanesi aktarım sırasında paket kayıplarından dolayı oluşan iletişim kopukluğudur. Yapılan çalışmalar sonucunda paket kayıplarının sayısının aktarım gecikmesiyle doğru orantılı olarak arttığı gözlenmiştir.

Aktarım gecikmesini azaltmak için önerilen yöntemler arasında önemli olan aktarım eklentileri ve protokolleri belirlenmiş ve bunlar detaylı olarak incelenmiştir. Önerilen yöntemler arasında önemli olarak değerlendirilen, yüksek sıklıkta gönderilen RA paketleri, ODAD, L2 tetikleme, Hızlı RA ve EBU eklentilerinin ve Sıradüzensel Gezgin IPv6 (HMIPv6) protokolünün performansları bilgisayar tabanlı ağ simülasyon aracı kullanılarak incelenmiş ve simülasyonlardan elde edilen sonuçlar diğer çalışmaların sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.

Bu tez çalışmasında IP kütüphanesi olarak da IPv6 ve MIPv6 protokolünün birçok temel kısımlarını gerçekleştirmiş ve OMNeT++ ağ simülasyon aracıyla entegre çalışabilen IPv6SuiteWithInet kütüphanesi kullanılmıştır. IPv6SuiteWithInet kütüphanesiyle yapılan sınamalarda dönüş yönlendirilebilirliği yordamının doğru çalışmadığı gözlenmiş ve kütüphane kodları dönüş yönlendirilebilirliği yordamı doğru çalışacak şekilde düzeltilmiştir. Ayrıca EBU eklentisinin aktarım

performansını değerlendirmek için kütüphane kodlarına yeni kodlar eklenerek EBU eklentisinin çalışması sağlanmıştır.

İlk olarak OMNeT++ simülasyon ortamı ve IPv6SuiteWithInet kütüphanesi kullanılarak standart bir MIPv6 ve HMIPv6 sına ma modelleri oluşturulmuştur. Oluşturulan MIPv6 sına ma modelinin aktarım sonuçları, kuramsal ve gerçek ağ ortamlarından elde edilen aktarım sonuçlarıyla karşılaştırılarak modelin doğrulanmasına gidilmiştir. Çıkan sonuçlardan oluşturulan MIPv6 aktarım modelinin kuramsal olarak hesaplanan aktarım süre sınırları arasında olduğu ve gerçek ağ ortamından elde edilen aktarım süresine yakın olduğu görülmüştür.

Daha sonra yapılan simülasyonlarla aktarım gecikmesini arttıran en büyük nedenin, L3 aktarımının yeni ağa hareket edildikten çok sonra farkedilmesinden kaynaklandığı tespit edilmiştir. Bu nedenle L3 aktarımını daha erken farkedilmesini sağlayan yöntemlerin (L2 tetikleme si, yüksek sıklıkta gönderilen RA ile tileri) aktarım süresinde büyük iyileştirmeler yaptığı fark edilmiştir. L2 tetiklemesinin olabilecek aktarımları bağ katmanında erkenden farketmesi ve ağ katmanını hemen uyarması sonucunda aktarım gecikmesini büyük oranda azalttığı gözlenmiştir. Aynı şekilde yüksek sıklıkta gönderilen RA paketleri de aktarım gecikmesini azaltmaktadır fakat bu RA paketleri ağ paket trafiğini arttırarak ağın etkin bant genişliğini azaltmaktadır.

Diğer yapılan sına ma sonuçlarına göre de tek başına ODAD işlemi ve tek başına Hızlı RA paketlerinin aktarım gecikme süresine beklenen etkileri görülmemiştir. Ancak L2 tetikleme siyle birlikte kullanıldıklarında beklenen etkileri açığa çıkmıştır. Sebebi ise L2 tetikleme siz aktarım durumunda ağ katmanında aktarım sezimleninceye kadar geçen sürede normal DAD işlemi tamamlayacak sürenin olması ve periyodik RA paketlerinin bu sürede alınmış olması ve Hızlı RA paketlerine ihtiyacın kalmamış olmasıdır.

L2 tetiklemesinin ODAD ve Hızlı RA eklentileri ile birlikte kullanıldığında aktarım süresinde kaydedeğer bir ilerleme sağladıkları görülmüştür. Gezgin düğümlerin aktarım performansını daha da iyileştirmek için IPv6SuiteWithInet kütüphanesine EBU eklentisi eklenmiştir. Bu sayede MN'un karşı düğümlere kaydolması sırasında gerçekleştirmesi gereken dönüş yönlendirilebilirliği yordamından kaynaklanan

gecikme %50 oranında azaltılarak MN'un CN'la daha erken direk iletişime geçmesi sağlanmıştır.

Bu eklentilerin yanı sıra, ilişme noktasını çok sık değiştiren gezgin düğümler için tasarlanmış aktarım sırasında CN ve HA arasında oluşan sinyalleşme yükünün ve aktarım gecikmesinin azaltılmasını amaçlayan HMIPv6 protokolü için de bir model oluşturulmuş ve performansı diğer yöntemlerle karşılaştırılmıştır. Kullanılan modeldeki ağın belirli noktalarına MAP'ler konularak ağ daha küçük hücrese alanlara bölünmüştür. Elde edilen verilere bakıldığında HMIPv6 yönteminin aktarım gecikme süresini çok fazla azaltmadığı fakat gezgin düğümlerin yerel aktarımlar sırasındaki sinyalleşme yükünü azalttığı gözlenmiştir. Çünkü yerel aktarımlarda gezgin düğümün sadece LCoA'i değiştiği için sadece MAP'e BU iletileri göndermesi yeterlidir. Global aktarımda ise hem LCoA ve RCoA'i değiştiği için ek olarak ev üstlenicisine ve karşı düğüme BU iletileri göndermesi gerekmektedir. Ayrıca MAP kapsama alanının büyüklüğü ve internet gecikmesinin aktarım süresine etkisinin gözlemlenmesi için farklı d_{MAP} ve $d_{internet}$ gecikme sürelerinde aktarım sınamaları gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde d_{MAP} gecikme süresinin artışı aktarım gecikme süresini arttırdığı gözlenmiştir. Daha çok alanı kapsamaya için daha uzağa yerleştirilen MAP'ler global aktarım sayısını azaltarak mesajlaşma yükünü azaltırken uzaklığın artması nedeniyle mesajlaşma sırasında daha fazla gecikmeye sebep olmakta ve aktarım süresini de arttırmaktadır. MAP'in ağ topolojisinde yeri planlanırken aktarım süresine olan etkisinin de gözönüne alınması gereklidir. Ağ yapısı ve ihtiyaçları incelenerek MAP'lerin en iyi aktarım performansını sağlayacak şekilde yerleştirilmeleriyle ağdaki paket trafiği azaltılabilir. Sonuç olarak, çok sayıda MN'ların bulunduğu ve aktarımın sık olduğu büyük ağlarda belirli noktalara MAP'ler konularak bu ağların daha küçük hücrese IP ağlara bölünmeleri sağlanır. Böylece aktarım sırasında oluşan mesajlaşma trafiği büyük oranda azaltılabilir.

Simülasyon sonuçlarından elde edilen veriler ışığında aktarım süresini en çok iyileştiren birleşimin L2 tetiklemesinin ODAD, Hızlı RA ve EBU eklentileriyle birlikte kullanıldığı yöntem olduğu gözlenmiştir. Ayrıca L2 tetiklemesi, ODAD ve EBU eklentilerinin sadece gezgin düğümlerde yazılımsal değişiklik gerektirdiğinden şu anki standart MIPv6 protokolüne uygulanması kolaydır ve yüksek maliyet gerektirmemektedir. Aynı şekilde ağda sadece bir yönlendiricinin bazı

değişkenlerinin tekrardan yapılandırmasını gerektiren Hızlı RA eklentisinin de uygulanması kolaydır. Çok sayıda gezgin düğümün ve aktarım sayısının fazla olduğu küçük hücreli IP ağlara bölünmüş ağlarda da mesajlaşma trafiğini azaltmak için sade HMIPv6 protokolü yerine HMIPv6 protokolü ile “L2 Tetikleme+ODAD+Hızlı RA” eklentilerinin birleşiminin kullanılmasının aktarım performansını arttırdığı gözlenmiştir.

MIPv6 aktarım protokolleri ile ilgili farklı yönlerde de çalışmalar gerçekleştirilebilir. Olası çalışmalardan bazıları aşağıda önerilmiştir:

- Birden fazla gezgin düğümün olduğu ve bunların gelişigüzel harekete ettiği bir ağ modellemesi yapılarak aktarım performans değişkenleri incelenebilir.
- L2 tetiklemesini kullanan Öngörülen FMIPv6 ve Tepkisel FMIPv6 protokollerinin modellemeleri yapılarak aktarım performansına etkisi gözlemlenebilir.
- “L2 Tetikleme+ODAD+Hızlı RA”, HMIPv6 ve FMIPv6 protokolünün birleşiminden oluşan bir MIPv6 modellemesi yapılarak aktarım performansları incelenebilir.
- “L2 Tetikleme+ODAD+Hızlı RA+EBU”, FMIPv6 protokolünün birleşiminden oluşan bir MIPv6 modellemesi yapılarak aktarım performansları incelenebilir.
- Değişik MAP seçim algoritmalarına göre HMIPv6 sına modelini değiştirilerek, MAP’ler ve ağ üzerindeki paket trafiği incelenip bu algoritmaların performansları incelenebilir.

KAYNAKLAR

- [1] A. C. et al. "Comparison of IP Micro-mobility Protocols", IEEE Wireless Communications Magazine, Vol. 9, Şubat 2002.
- [2] Bernat M., "Network Modeling and Evaluation Tools for Higher Education", Diploma Tezi, Eylül 2004, Information Management FH JOANNEUM Gesellschaft mbH University of Applied Sciences, Graz, Avusturya.
- [3] Bolot J.-C., Crepin H., Garcia A. V., "Analysis of Audio Packet Loss in the Internet",. In Proceedings of the International Worskshop on Network and Operating System Support for Digital Audio and Video (NOSSDAV) Durham, New Hampshire, pp. 163–174, Nisan 1995.
- [4] Cabellos-Aparicio A., Serral-Gracia R., Jakab L. ve Domingo-Pascual J., "Measurement based analysis of the handover in a WLAN MIPv6 scenario Passive and Active Measurements", LNCS 3431, pp 203-214, Springer, 2005.
- [5] Cisco Systems, "Understanding Delay in Packet Voice Networks", White Paper, Döküman numarası: 5125, Şubat 2006. <http://www.cisco.com/warp/public/788/voip/delay-details.html>.
- [6] Çetinbaş E. İ., "Simulation Based Investigation of Mobile Improvement", Y. Lisans Tezi, Haziran 2005, The Graduate School of Natural and Applied Sciences, Middle East Technical University, Ankara, Türkiye.
- [7] Davidson J., "Voice over IP Fundamentals", 2nd Edition ISBN: 1587052571, Cisco Press, Ağustos 2006.
- [8] Deering S. ve Hinden R., "Internet Protocol Version 6 (IPv6)" RFC 2460, 1998. <http://www.ietf.org/rfc/rfc2460.txt>.
- [9] Droms R., Bound J., Volz B., Lemon T., Perkins C. ve Carney M., "Dynamic Host Configuration Protocol for IPv6 (DHCPv6)" RFC 3315, Haziran 2003. <http://www.ietf.org/rfc/rfc3315.txt>
- [10] Dunmore M., Pagtzis T. ve Edwards C. "Deliverable D4.1.3 mobile IPv6 handovers: performance analysis and evaluation", IST-2001-32603 6NET 32603/ULANC/DS/4.1.1/A1, Haziran 2005. <http://www.6net.org>
- [11] Dunmore M., Ruppelt R., Saarinen C., "Deliverable D4.1.4 Final MIPv6 Support Guide", IST-2001-32603 6NET 32603/ULANC/DS/4.1.4/A1, Şubat 2005. <http://www.6net.org>.
- [12] Gupta V. G., Johnston D. ve Intel Corporation, "A Generalized Model for Link Layer Triggers", IEEE 802.21 Working Group, Mart 2004
- [13] Hagen S., "IPv6 Essentials" O'Reilly & Associates Yayınevi, 2003.

- [14] Hsieh R., Z. Zhou G. ve Seneviratne A., "S-MIP: A Seamless Handoff Architecture for Mobile IP", In Proceedings IEEE INFOCOM, vol.3, pp.1774–1784, 2003.
- [15] Hunskaar J. ve Lunde T. A., "Mobility in IPv6", Yüksek Lisans Tezi, Haziran 2001, Information & Communication Technology, Agder University College, Norway.
- [16] ITU-T Recommendation G.114, "One-way Transmission Time", Mayıs 2003.
- [17] Jiang W., Schulzrinne H., "Modeling of Packet Loss and Delay and Their Effect on Real-Time Multimedia Service Quality", Department of Computer Science, Columbia University, Aralık 2003.
- [18] Johnson D., Perkins C. ve Arkko J., "Mobility Support in IPv6", RFC 3775, Haziran 2004. <http://www.ietf.org/rfc/rfc3775.txt>.
- [19] Jung H. Y., Kim E., Yi J. ve Lee H. "A Scheme for Supporting Fast Handover in Hierarchical Mobile IPv6 Networks", ETRI Journal, vol.27, no.6, Aralık. 2005, pp.798-801.
- [20] Kato T., Takechi R. ve Ono H., "A Study on Mobile IPv6 Based Mobility Management Architecture", Fujitsu Scientific & Technical Journal, pp. 65--71, Haziran 2001.
- [21] Kawano K., Kinoshita K., ve Murakami K., "A multilevel hierarchical distributed IP mobility management scheme for wide area networks," in Proceedings of the Eleventh IEEE International Conference on Computer Communications and Networks, pp. 480–484, Ekim 2002.
- [22] Kempf J., Funato D., El-Malki K., Gwon Y., Petterson M., Roberts P., Soliman H., Takeshita A. ve Yegin A., "Supported optimized handover for IP mobility – requirements for underlying systems", Internet Engineering Task Force (IETF) draft-manyfolks-l2-mobilereq-01.txt, Kasım 2001.
- [23] Kempf J., Khalil M. M. ve Pentland B., "IPv6 fast router advertisement", Kasım 2003. <http://www.watersprings.org/pub/id/draft-mkhalil-ipv6-fastra-05.txt>.
- [24] Koodli R., "Fast handovers for Mobile IPv6 (FMIPv6)", RFC 4068, Haziran 2005. <http://www.ietf.org/rfc/rfc4068.txt>.
- [25] Kurose J.F. ve Ross K.W., "Computer Networking -- A top-down approach featuring the internet", Pearson Education Inc., ISBN 0-321-26976-4, 2005.
- [26] Lai M. J., "Performance Evaluation of Mobility Management Protocols for the Next Generation Internet (IPv6)", Yüksek Lisans Tezi, Ocak 2004, School of Electrical & Computer Systems Engineering Monash University, Australia.

- [27] Lai M. J., Wu E. ve Şekercioglu Y. A., "An Accurate Simulation Model for Mobile IPv6", School of Electrical & Computer Systems Engineering Monash University, Australia, Ekim 2004.
- [28] Lai M. J., Wu E. ve Şekercioglu Y. A., "A Tutorial for HMIPv6 Modelling and Simulation in IPV6Suite", School of Electrical & Computer Systems Engineering Monash University, Australia.
- [29] Lee H. C. J, Thing V. L. L. ve Xu Y, "A Local Mobility Agent Selection Algorithm for Mobile Networks", IEEE International Conference on Communications (ICC), Mayıs 2003.
- [30] Montavont N. ve Noel T., "Handover Management for Mobile Nodes in IPv6 Networks", IEEE Comm Magazine, Volume 40, Num. 8, Ağustos 2002.
- [31] Moore N. S., "Optimistic Duplicate Address Detection (ODAD) for IPv6", RFC 4429, Nisan 2006. <http://www.ietf.org/rfc/rfc4429.txt>.
- [32] Nakajima N., Dutta A., Das S. ve Schulzrinne H., "Handoff delay analysis and measurement for SIP based mobility in IPv6," in Proceedings of the IEEE International Conference on Communications (ICC 2003). Anchorage, Alaska, USA: IEEE, pp. 1085–1089, Mayıs 2003.
- [33] Narten T., Nordmark E. ve Simpson W., "Neighbor Discovery for IP Version 6 (IPv6)", RFC 2461, Aralık 1998. <http://www.ietf.org/rfc/rfc2461.txt>.
- [34] Natarajan N. ve Singh A., "Support of Layer 2 Triggers for Faster Handoffs", IEEE 802.20 Working Group on Mobile Broadband Wireless Access, Kasım 2003. <http://grouper.ieee.org/groups/802/20>.
- [35] Perez-Costa X., Torrent-Moreno M. ve Hartenstein H., "A performance comparison of Mobile IPv6, Hierarchical Mobile IPv6, fast handovers for Mobile IPv6 and their combination", ACM Mobile Computing & Communications Review, Ekim 2003.
- [36] Perkins C., "IP Mobility Support for IPv4", RFC 3344, Ağustos 2002.
- [37] Perkins C., Hodson O. ve Hardman V., "A survey of packet loss recovery techniques for streaming audio," IEEE Network, vol. 12, pp. 40-48, Aralık 1998.
- [38] Plummer D., "An Ethernet Address Resolution Protocol", RFC 826, C/IETF Network Working Group, Kasım 1982. <http://www.ietf.org/rfc/rfc826.txt>.
- [39] Soliman H., Castelluccia C., El-Malki K. ve Bellier L., "Hierarchical Mobile IPv6 mobility management (HMIPv6)", RFC 4140, Ağustos 2005. <http://www.ietf.org/rfc/rfc4140.txt>.

- [40] Srisuresh P. ve Holdrege M., "IP Network Address Translator (NAT) Terminology and Considerations", Internet informational RFC 2663, Ağustos 1999.
- [41] Thing V. L. L., Lee H. C. J. ve Xu Y., "Performance Evaluation of Hop-by-Hop Local Mobility Agents Probing for Mobile IPv6", iscc, p. 576, Eighth IEEE Symposium on Computers and Communications, 2003.
- [42] Thomson S. ve Narten T., "IPv6 Address Autoconfiguration", RFC 2462, Aralık 1998. <http://www.ietf.org/rfc/rfc2462.txt>.
- [43] Varga A., "OMNeT++ Discrete Event Simulation System Version 3.2 User Manual", 2005. <http://www.omnetpp.org>.
- [44] Varga A., OMNeT++ grup mail listesi arşiv mesaj no: 6361, Ocak 2006. <http://www.omnetpp.org/listarchive/msg06361.php>.
- [45] Varga A., OMNeT++ grup mail listesi arşiv mesaj numarası: 3934. Kasım 2004. <http://www.omnetpp.org/listarchive/msg03934.php>.
- [46] Vaughan-Nichols S. J., "Mobile IPv6 and the future of Internet access", IEEE Computer, vol. 36, no. 18, pp. 18–20, Şubat 2003.
- [47] Vogt C., "A Comprehensive Delay Analysis for Reactive and Proactive Handoffs with Mobile IPv6 Route Optimization", Institute of Telematics, Universität Karlsruhe (TH), Technischer Bericht, Nr. TM-2006-1, Haziran 2006.
- [48] Vogt C., "Early Binding Updates for Mobile IPv6", Internet Draft draft-vogt-mip6-earlybinding- updates, Şubat 2006.
- [49] Vogt C., Bless R., Doll M. ve Kuefner T., "Early Binding Updates for Mobile IPv6", IEEE Wireless Communications and Networking Conference, Sayfalar: 1440- 1445 Vol. 3, Mart 2005.
- [50] Wu G. ve Yegin A., "Link Layer Triggers for Fast Handovers", IEEE P802 Handoff EMSG Meeting, Mayıs 2003.
- [51] Wu G. ve Yegin A., "Requirements to Support Network Layer Mobility", IEEE 802.20 Working Group on Mobile Broadband Wireless Access, Mayıs 2003. <http://grouper.ieee.org/groups/802/20>.
- [52] Yajnik M., Moon S., Kurose J., Towsley D., "Measurement and Modelling of the Temporal Dependence in Packet Loss", Department of Computer Science, University of Massachusetts, Amherst, MA 01003 USA, Aralık 2003.
- [53] Yegin A., Njedjou E., Veerepalli S., Montavont N. ve Noel T., "Link-layer Triggers and Hints for Detecting Network Attachments", IETF Internet Draft draft-yegin-dna-l2-hints-01.txt, Ağustos 2004.

EKLER

EK A. IPv6SuiteWithInet Kütüphanesinde Yapılan Değişiklikler

Aşağıdaki değişiklikler bu tez çalışmasının yapılması sırasında IPv6SuiteWithInet kütüphanesinin 19/01/2006 tarihli sürümünde yapılan değişiklikleri göstermektedir.

IPv6SuiteWithINET\Applications\PingApp\PingApp.h dosyası satır 67'ye kaybedilen ping paketlerinin sayısını gösteren sayaç vektörü eklendi:

```
cOutVector* cOutVector dropJumpVector;
```

IPv6SuiteWithINET\Network\IPv6\IPv6Mobility.h dosyası satır 245'e dönüş yönlendirilebilirliği yordam ve EBU eklentisi göstermek için OMNET++ vektörleri eklendi:

```
cOutVector* hotiVector = new cOutVector("HoTI sent");
cOutVector* cotiVector = new cOutVector("CoTI sent");
cOutVector* ebuVector = new cOutVector("EBU sent");
cOutVector* hotVector = new cOutVector("HoT rcvd");
cOutVector* cotVector = new cOutVector("CoTI rcvd");
cOutVector* buToCNVector = new cOutVector("BU sent to CN");
```

IPv6SuiteWithINET\Network\MIPv6\MIPv6MNEEntry.h dosyası satır 96'ya EBU eklentisi için aşağıdaki sabit eklendi:

```
const int MAX_TOKEN_LIFETIME = 210;
```

IPv6SuiteWithINET\Network\MIPv6\MIPv6MStateMobileNode.cc dosyası satır 282'ye EBU eklentisi için aşağıdaki kodlar eklendi:

```
if (mob->earlyBindingUpdate() && homeReg)
{
    PingApp*pingmod=check_and_cast<PingApp*>
(OPP_Global::findModuleByName(mob, "pingApp"));
    ipv6_addr cna = IPv6_ADDR_UNSPECIFIED;
    IpvXAddressdestAddr=IPAddressResolver().resolve
(pingmod->par("destAddr"));
    cna = c_ipv6_addr(destAddr.get6().str().c_str());
```

```

bu_entry* CNbule = mipv6cdsMN->findBU(cna);
if (NULL==CNbule)
    mstateMN->sendEarlyInits(cna, coa, MIPv6MHT_HoTI, true,
        mob);
else if(false == CNbule->isPerformingRR)
    mstateMN->sendEarlyInits(cna, coa, MIPv6MHT_HoTI,true,
        mob);
}

```

IPv6SuiteWithINET\Network\MIPv6\MIPv6MStateMobileNode.cc dosyası satır 951'ye EBU eklentisi için aşağıdaki kodlar eklendi:

```

if (mob->earlyBindingUpdate())
{
    bule->setToken(MIPv6MHT_CoT, UNSPECIFIED_BIT_64);
    bule->isPerformingRR = false;
}

```

IPv6SuiteWithINET\Network\MIPv6\MIPv6MStateMobileNode.cc dosyası satır 1121'e EBU eklentisi için aşağıdaki fonksiyon eklendi:

```

void MIPv6MStateMobileNode::sendEarlyInits(const ipv6_addr&
dest, const ipv6_addr& coa, MIPv6MobilityHeaderType ht, bool
homeReg,IPv6Mobility* mob)
{
    OPP_Global::ContextSwitcher switchContext(mob);
    std::vector<ipv6_addr> addrs(2);
    addrs[0] = dest;
    addrs[1] = coa;
    MIPv6CDSMobileNode* mipv6cdsMN =
    boost::polymorphic_downcast<MIPv6CDSMobileNode*>(mob->
mipv6cds);
    bu_entry* bule = mipv6cdsMN->findBU(dest);
    bool isNewBU = false;
    bool hometokenvalid = false;
    if(!bule)

```



```

{
    isNewBU = true;
    bule = new bu_entry(dest, mipv6cdsMN->homeAddr(), coa,
mob->rt->minValidLifetime(), 0, 0, false);
    if ( mob->isEwuOutVectorHODelays() )
        bule->regDelay = new cOutVector("CN reg (including
RR) ");
    mipv6cdsMN->addBU(bule);
    TIRetransTmr* hotiTmr;
    hotiTmr = new TIRetransTmr(Sched_SendHoTI, mob, this,
&MobileIPv6::MIPv6MStateMobileNode::sendHoTI,
"Sched_SendHoTI");
    Loki::Field<1> (hotiTmr->args) = mob;
    bule->hotiRetransTmr = hotiTmr;
    TIRetransTmr* cotiTmr;
    cotiTmr = new TIRetransTmr(Sched_SendCoTI, mob,
this, &MobileIPv6::MIPv6MStateMobileNode::sendCoTI,
"Sched_SendCoTI");
    Loki::Field<1> (cotiTmr->args) = mob;
    bule->cotiRetransTmr = cotiTmr;
}
Loki::Field<2> (bule->hotiRetransTmr->args) = mob->
simTime();
Loki::Field<2> (bule->cotiRetransTmr->args) = mob->
simTime();
if (homeReg)
    bule->isPerformingRR = true;
simtime_t hotiScheduleTime = mob->simTime() +
SELF_SCHEDULE_DELAY;
simtime_t cotiScheduleTime = mob->simTime() +
SELF_SCHEDULE_DELAY;
if (!isNewBU && bule->hotiRetransTmr->isScheduled())
    hometokenvalid=true;
Loki::Field<0> (bule->hotiRetransTmr->args) = addrs;

```

```

Loki::Field<0> (bule->cotiRetransTmr->args) = addrs;
if (!mob->earlyBindingUpdate() && bule->hotiRetransTmr->
isScheduled())
{
    Dout(dc::rrprocedure|flush_cf, " RR procedure ERROR: At
    "<< mob->simTime()<< " sec, " << mob->nodeName() << "
    moves to a new foreign network but still retransmits the
    HoTI for the previous CoA. The timer message is
    canceled");
    bule->hotiRetransTmr->cancel();
}
if (bule->cotiRetransTmr->isScheduled())
{
    Dout(dc::rrprocedure|flush_cf, " RR procedure ERROR: At
    " << mob->simTime()<< " sec, " << mob->nodeName() << "
    moves to a new foreign network but still retransmits the
    CoTI for the previous CoA. The timer message is
    canceled");
    bule->cotiRetransTmr->cancel();
}
if ((!hometokenvalid || isNewBU)&& ht==MIPv6MHT_HoTI)
    bule->hotiRetransTmr->reschedule(hotiScheduleTime);
else if(ht==MIPv6MHT_CoTI || (hometokenvalid &&
ht==MIPv6MHT_HoTI))
    bule->cotiRetransTmr->reschedule(cotiScheduleTime);
}

```

IPv6SuiteWithINET\Network\MIPv6\MIPv6MStateMobileNode.cc dosyası satır
1398'e EBU eklentisi için aşağıdaki kodlar eklendi:

```

if (mob->earlyBindingUpdate())
{
    sendEBU(dest, coa, mipv6cdsMN->homeAddr(), mob->rt->
minValidLifetime(), false, 0, mob);
}

```

```

Dout(dc::rrprocedure|flush_cf, "RR Procedure (Early BU)
At" << mob->simTime()<< " sec, " << mob->rt->nodeName()
<<" Correspondent Registration: sending BU to CN (Route
Optimisation) dest= " << IPv6Address(dest));
bule->isPerformingRR = false;
mob->ebuVector->record(mob->simTime());
}

```

IPv6SuiteWithINET\Network\MIPv6\MIPv6MStateMobileNode.cc dosyası satır 1840'a EBU eklentisi için aşağıdaki kodlar eklendi:

```

if (mob->earlyBindingUpdate() && homeReg)
{
    PingApp* pingmod = check_and_cast<PingApp*>
(OPP_Global::findModuleByName(mob, "pingApp"));
    ipv6_addr cna = IPv6_ADDR_UNSPECIFIED;
    IPvXAddress destAddr =
IPAddressResolver().resolve(pingmod->par("destAddr"));
    cna = c_ipv6_addr(destAddr.get6().str().c_str());
    bu_entry* CNbule = mipv6cdsMN->findBU(cna);
    if (NULL==CNbule)
        sendEarlyInits(cna, coa, MIPv6MHT_HoTI, true, mob);
    else if(false == CNbule->isPerformingRR)
        sendEarlyInits(cna, coa, MIPv6MHT_HoTI, true, mob);
}

```

IPv6SuiteWithINET\Network\MIPv6\MIPv6NDStateHost.cc dosyası satır 1265'e dönüş yönlendirilebilirliği yordamı ve EBU eklentisinin doğru çalışması için aşağıdaki kodlar eklendi:

```

if (!mob->routeOptimise() || !mipv6cdsMN->primaryHA())
    return;

```

IPv6SuiteWithINET\Network\MIPv6\MIPv6NDStateHost.cc dosyası satır 1395'den dönüş yönlendirilebilirliği yordamı ve EBU eklentisinin doğru çalışması aşağıdaki kod satırları çıkarıldı:

```
if (tunPacket->transportProtocol() == IP_PROT_IPv6_ICMP )
    return;
```

IPv6SuiteWithINET\Network\MIPv6\MIPv6NDStateHost.cc dosyası satır 1498'e dönüş yönlendirilebilirliği yordamı ve EBU eklentisinin doğru çalışması için aşağıdaki kodlar eklendi:

```
for (MIPv6CDSMobileNode::BULI it = mipv6cdsMN->bul.begin(); it
!= mipv6cdsMN->bul.end(); it++)
{
    if (tunPacket->srcAddress() == (*it)->addr())
    {
        Dout(dc::mipv6|flush_cf, rt->nodeName()<<" "<<rt->
simTime()<<" BU in progress. Not doing RO again");
        return;
    }
}
if (mob->earlyBindingUpdate())
    mstateMN->sendEarlyInits(cna, coa, MIPv6MHT_HoTI, false,
mob);
else if (mob->returnRoutability())
    mstateMN->sendInits(cna, coa, mob);
```

IPv6SuiteWithINET\NetworkInterfaces\Wireless\

WirelessEtherDataReceiveMode.cc dosyası satır 311, 316, 351, 356'ya L2 tetikleme eklentisi için aşağıdaki kodlar eklendi:

```
cMessage *linkDownTimeMsg = new cMessage;
linkDownTimeMsg->setTimestamp();
linkDownTimeMsg->setKind(LinkDOWN);
mod->sendDirect(linkDownTimeMsg, 0,
OPP_Global::findModuleByName(mod, "mobility"), "l2TriggerIn");
```

EK B. IPv6 Protokol Detayları

Otomatik Adres Yapılandırması

IPv6 protokolünün IPv4 protokolüne göre en önemli avantajlarından bir tanesi, Devingen Konak Yapılandırma İletişim Kuralı (DHCP) gibi durum korumalı bir yapılandırma iletişim kuralı kullanmadan otomatik olarak kendisini yapılandırma yeteneğidir.

IPv6 konakları/düğümüleri her bir arabirimi için bağlantı yerel adresi yapılandırabilir. Konaklar, yönlendirici bulma işlemi kullanarak yönlendiricilerin adres öneklerini, yönlendirici ve ağla ilgili başka parametreleri de edinebilirler. RA ileti paketlerinde, durum korumalı adres yapılandırma iletişim kuralının kullanılıp kullanılmayacağına ilişkin bir gösterge bulunur [42]. Bu bilgileri alan IPv6 konakları adreslerini kendileri oluşturup, oluşturdukları adresler için DAD işlemi başlatabilirler. Otomatik adres yapılandırması yalnızca çoğa yayın yapabilen arabirimlerde gerçekleştirilebilir.

Durum korumalı adres yapılandırması

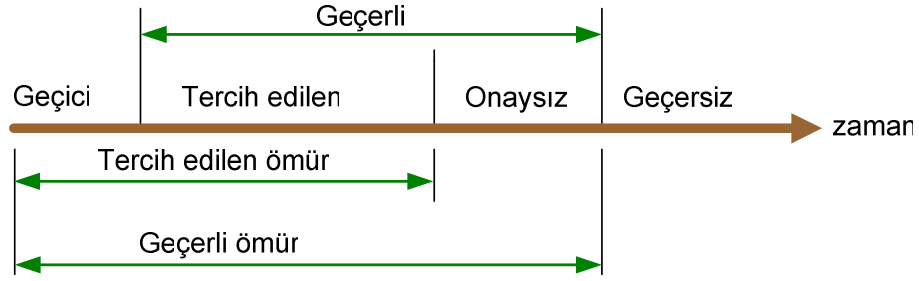
Durum korumalı adres yapılandırması, adres bilgisi ve diğer yapılandırma seçeneklerini edinmek için DHCPv6 [9] gibi bir sunucuya ihtiyaç duyar. Konaklar, durum korumalı adres yapılandırma iletişim kuralı kullanmasını gerektiren RA iletileri aldığı anda bu adres yapılandırma işlemi kullanır.

Durum korumasız adres yapılandırması

Konaklar adreslerini yönlendiricilerden aldıkları RA iletilerindeki bilgilere göre kendileri oluşturabilirler. RA iletileri durum korumasız adres önekleri içerir. Konaklar RA paketlerinden aldıkları önek bilgisini ve arabirim tanımlayıcılarıyla birleştirerek tek adres oluştururlar. Daha sonra oluşturdukları bu adreslerin benzersizliğini doğrulamak için DAD işlemine tabi tutarlar.

Otomatik Yapılandırmada Adres Durumları

Otomatik olarak yapılandırılan bir adresin zaman içerisindeki durumu Şekil A.'da gösterilmiştir.



Şekil A.1 Otomatik olarak yapılandırılmış adresin durumları

Geçici adres - Adresin benzersizlik doğrulama işlemi devam etmektedir. Adresin doğrulanması veya arabirime atanması DAD işlemiyle gerçekleştirilir.

Tercih edilen adres - Benzersizliği doğrulanmış olan adres. Üst katmanlar tarafından sınırsız şekilde kullanılabilir. Bir düğüm/konak, tercih edilen bir adrese yayın trafiği gönderebilir veya tercih edilen adresten gelen yayın trafiğini alabilir.

Onaysız adres - Geçerli olmaya devam eden ancak yeni iletişimlerde kullanılması önerilmeyen adres. Varolan iletişim oturumları onaysız adresi kullanmaya devam edebilir. Bir düğüm, onaysız bir adrese tek noktaya yayın trafiği gönderebilir veya onaysız adresten gelen tek noktaya yayın trafiği alabilir.

Geçerli adres - Tercih edilen veya onaysız adres. Tek noktaya yayın trafiğinin gönderilebileceği ve alınabileceği bir adres. Geçerli durumu, hem tercih edilen hem de onaysız durumlarını kapsar. Bir adresin geçici ve geçerli durumlarında kalabileceği zaman süresi RA iletilisinde yer alır. Geçerli ömür, tercih edilen ömürden büyük veya bu süreye eşit olmalıdır [42].

Geçersiz adres - Düğümün tek noktaya yayın trafiği gönderip alamayacağı bir adrestir. Bir adres, geçerli ömürü sona erdikten sonra geçersiz duruma geçer.

Komşu Keşfi (ND)

ND işleminin amacı komşu konakların yerel altağda olup olmadığını anlamak ve onların bağlantı katman adreslerini öğrenmektir. Ayrıca düğümler/konaklar, paketlerini üzerlerinden göndermek istedikleri yönlendiricileri öğrenmek, komşuların ulaşılabilir olup olmadıklarını ve bağlantı katman adreslerindeki değişiklikleri takip etmek içinde ND işlemini kullanırlar. ND işlemi için gerekli olan ileti tipleri aşağıda açıklanmıştır.

Yönlendirici istemi (RS) iletisi

Yönlendirici İstemi (RS) iletisi düğümlerin Yönlendirici Bildirisi (RA) iletilerini normal yayılma zamanlarını beklemeden almak için gönderilen istek paketleridir. Şekil A.2'de ileti formatı aşağıda gösterilmiştir.

8 bit	8 bit	16 bit
Tip	Koc	Sağlama Toplamı
Yedek		
Seçenekler ...		

Şekil A.2 Yönlendirici istemi ileti (RS) formatı

İletinin kaynak adresi ileti gönderenin arayüz adresi, eğer daha belli değilse belirsiz adresidir. Varış adresi ise tüm yönlendirici adresidir.

Yönlendirici bildirisi (RA) iletisi

Yönlendirici Bildirisi (RA) iletileri, ağdaki yönlendiricinin varlığını gösteren, yönlendirici tarafından periyodik olarak çoğa gönderilen veya istemciler tarafından gönderilen RS paketlerine cevap olarak gönderilen ICMP ileti paketleridir.

RA iletileri yönlendirici ve ağla ilgili bilgiler içerir. IPv6 konakların adreslerini nasıl oluşturacaklarıyla ilgili bilgileri, otomatik adres yapılandırma kullanılan örnek bilgilerini, hoplama limit değerleri gibi bilgileri içerir [33]. Gezgin düğümler yönlendiricilerden aldıkları RA iletilerindeki bilgilere bakarak yeni bir ağa hareket edip etmediklerini tespit edebilirler.

RA paketlerini alan konaklar RA bilgilerini gönderen yönlendiriciyi varsayılan yönlendirici listelerine (DRL) eklerler. RA ileti formatı Şekil A.3'de gösterilmiştir.

İletinin kaynak adresi ileti gönderenin bağlantı yerel adresi, varış adresi ise RS iletisi gönderen düğümün adresidir. Eğer periyodik RA iletisi ise varış adresi tüm düğümlerin çoğa gönderim adresidir.

8 bit	8 bit	16 bit
Tip	Koc	Sağlama Toplamı
Hoplama sınırı	M O Yedek	Yönlendirici Ömrü
Ulaşılabilirlik süresi		
Yeniden Gönderim Zamanlayıcısı		
Seçenekler ...		

Şekil A.3 Yönlendirici bildirisi (RA) ileti formatı

Gezgin düğüm aldığı RA paketlerine bakarak bulunduğu ağdan farklı bir ağda olup olmadığını anlayabilir. Aldığı RA paketleri yeni bir ağla ilgili bilgileri içeriyorsa bu ağla ilgi yeni bir IP adresi (CoA) oluşturur ve bu yeni adresi, DAD işlemine tabi tutar. Gezgin düğüm yeni bir ağa geçtiğini sezimlediğinde eğer yeni geçtiği ağdaki yönlendiriciden henüz periyodik RA paketleri almamışsa varış adresi tüm yönlendiricilerin çoğa gönderim adresine RS iletisi gönderir. Yeni ağdaki yönlendirici de belli bir süre sonra MAX_RA_DELAY_TIME [33] kadar bir süre sonra cevap olarak gezgin düğümüne RA paketi gönderir.

Komşu istemi (NS) iletisi

Komşu İstemi (NS) iletisi komşu düğümlerin bağlantı katman adreslerini belirlemek için veya komşu düğümlerin ulaşılabilirliğini kontrol etmek için kullanılır. Ayrıca DAD işleminde de kullanılırlar. NS ileti formatı Şekil A.4'de gösterilmiştir.

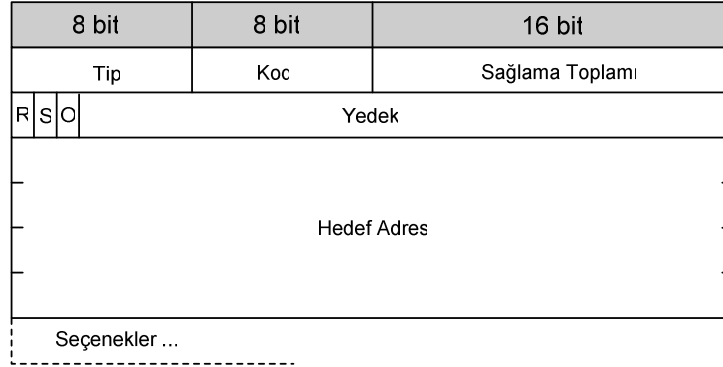
8 bit	8 bit	16 bit
Tip	Koc	Sağlama Toplamı
Yedek		
Hedef Adres		
Seçenekler ...		

Şekil A.4 Komşu istemi ileti (NS) formatı

Kaynak adresi ileti gönderenin arayüz adresi, DAD işlemi için gönderiliyorsa belirsiz adrestir. Varış adresi, DAD işlemi için kullanıldığında hedef adresiyle ilişkili istenen düğümlerin çoğa gönderim adresi veya hedef adresinin kendisidir.

Komşu bildirisi (NA) iletisi

Komşu Bildirisi (NA) iletisi NS ileti paketlerine cevap olarak yada bağlantı yerel adresindeki değişikliği diğer ağ elemanlarına bildirmek için gönderilen ileti paketidir. NA ileti formatı Şekil A.5’de gösterilmiştir.



Şekil A.5 Komşu bildirisi iletisi (NA) formatı

İletinin kaynak adresi ileti gönderenin adresi, varış adresi ise NS iletisini gönderen düğümün adresidir. Eğer NS iletisine cevap olarak gönderilmiyorsa varış adres tüm düğümlerin çoğa gönderim adresidir.

Komşu erişilemezlik tespiti (NUD)

Komşu Erişilemezlik Tespiti (NUD) işlemi komşu düğümün veya varsayılan yönlendiricinin çift yönlü ulaşılamaz olduğunu tespit etmek için kullanılır [33].

IPv6 konakları bir paket göndereceği zaman öncelikle komşu düğümün bağlantı katman adresini bulmak için komşu önbelleğine bakar. Komşu önbelleğindeki her komşu girdisinin ulaşılabılır olup olmadığına dair bir durum bilgisi yer alır. Ulaşılabilir komşunun durumu “ULAŞILABİLİR” olarak işaretlenmiştir. Durumu “ULAŞILABİLİR” olmayan bir komşuya paket gönderileceği zaman NUD işlemi başlatılır.

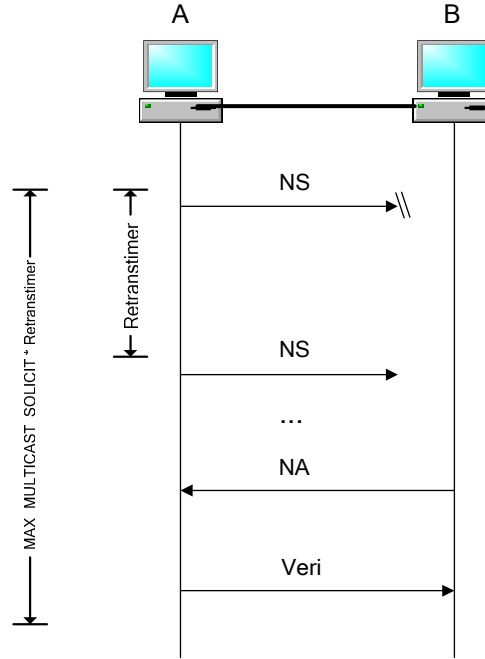
Bir komşunun bağlantı katmanı adresi belirlendikten sonra, girdinin komşu önbelleğindeki durumu izlenir. Komşu paketleri alıp geri göndermiyorsa, komşu önbelleğindeki komşu düğümle ilgili girdi kaldırılır.

Adres çözümleme

Adres çözümleme işlemi IPv4 protokolündeki ARP protokolüne [38] denk düşmektedir. Adres çözümleme işleminin amacı sadece IP adresi bilinen komşu

düğümün NS ve NA iletilerini kullanarak bağlantı katmanı adreslerini öğrenmektir. İşlem sonunda bulunan her bağlantı katmanı adresi düğümün komşu önbelleğine kaydedilir.

Şekil A.6'da adres çözümü işlemi gösterilmiştir. A düğümü aynı yerel bağlantıdaki B düğümüne paket göndermek istediğinde NS iletisi gönderir. Gönderilen NS paketinin varış adresi, B düğümünün IP adresinden oluşturulan istenen düğümlerin çoğa gönderim adresidir. Aynı zamanda paketin kaynak bağlantı katmanı adresi seçeneğinde A düğümünün bağlantı katmanı adresi yer alır. Bu adresi alan B düğümü, A düğümüne cevap olarak teke gönderim NA iletisi gönderir. NS paketini alan B düğümü bağlantı katmanı adresini NA mesajının hedef bağlantı katmanı adres seçeneği alanın içine koyarak A düğümüne gönderir. B düğümünden gelen NA paketini alan A, B'ye göndereceği IP paketlerini gönderir [26] [33].



Şekil A.6 Adres çözümü işlemi

A düğümü gönderdiği NS paketlerine RetransTimer [33] süresi boyunca cevap alamazsa tekrar NS iletisi gönderir ve MAX_MULTICAST_SOLICIT (Azami Çoğa Gönderim İstemi) [33] sayacını bir azaltır. Bu işlemi, NA mesajı alamazsa MAX_MULTICAST_SOLICIT sayacı sıfırlanıncaya kadar devam ettirir.

EK C. Mobil IPv6 Protokol Detayları

Standart IPv6 protokolünün mobil fonksiyonları desteklemesi için farklı düğümler arasında bilgi değişimi için eklenti başlıkları, varış seçenekleri, gezgin düğüm güncel bilgilerinin düğümlerde saklanması için kavramsal veri yapıları (CDS) tanımlanmıştır [18]. Bunlar aşağıda bölümlerde açıklanmıştır.

Gezginlik Başlığı

MIPv6 protokolüyle beraber, gezgin düğüm, CN ve HA arasında arasındaki ilişkilerin kurulması, yönetilmesi ve mobil fonksiyonların yerine getirilmesi için yeni bir gezginlik başlığı tanımlanmıştır. Bu başlıkta aşağıdaki ileti tipleri taşınır:

Ev Adres Sınamasını Başlat (HoTI), Karşı Adres Sınamasını Başlat (CoTI), Ev Adres Sınaması (HoT), Karşı Adres Sınaması (CoT): Dört ileti de dönüş yönlendirilebilirliği (RR) yordamını gerçekleştirmek için kullanılır.

İlişkilendirim Güncellemesi (BU): Gezgin düğüm yeni ilişme noktasındaki edindiği adresini (yeni CoA) HA ve CN'lara bildirmesi için kullanılır.

İlişkilendirim Güncelleme Onayı (BA): CN veya HA tarafından BU paketine cevap olarak gönderilir.

İlişkilendirim Tazeleme İsteği (BRR): CN tarafından, gezgin düğüme CN ile olan ilişkilendirimini yeniden güncellemesi için gönderilir. Genellikle ileti önbellek ilişkilendirmesinin aktif, fakat ilişkilendirim süresinin bitmesine yakın bir zamanda gönderilir.

İlişkilendirim Hatası (BE): Hata durumlarında CN tarafından gezgin düğüme gönderilir.

Ev Adresi Varış Seçeneği

Gezgin düğüm ev ağından uzakta olduğu durumlarda karşı düğümlere gönderdiği paketler içinde ev adresini de (HoA) göndermek için Ev Adresi Varış Seçeneği (HDO) tanımlanmıştır.

MIPv6 Kavramsal Veri Yapıları

MIPv6 üç tip kavramsal veri yapısı (CDS) tanımlamıştır. Bu veri yapıları aşağıda açıklanmıştır:

İlişkilendirim Ön Belleği (BC): Tüm IPv6 düğümleri tarafından tutulur. Bu ön bellek, karşı düğüm kayıtlarını ve ev kayıtlarının ikisini birden tutar. Gezgin düğüme paket gönderileceği zaman bu bellek araştırılır ve ilgili adres bulunursa gezgin düğümün CoA'ne paket gönderilir. Gezgin düğüm adresi bulunamazsa adres çözümleme işlemi başlatılır. BU mesajlarından alınan gezgin düğüm adresleri ve bilgileri bu ön belleğe kaydedilir.

İlişkilendirim Güncelleme Listesi (BUL): Her gezgin düğüm tarafından tutulur. Listede gezgin düğümün ilişkide olduğu veya olacağı düğümlerle ilgili bilgilere karşılık bir kayıt tutulur. Ayrıca listede karşı düğüm kayıtları ve ev kayıtlarının ikisi birden tutulur. Gezgin düğüm listedeki kayıtların zaman aşımı değerlerine bakarak ilgili konak veya yönlendiricilere BU iletisi gönderir. Zaman aşımına uğrayan kayıtlar silinirler.

Ev Üstlenici Listesi (HAL): Ev üstlenicisinin aynı bağlantıda başka ev üstlenicilerinin olup olmadığını bilmesi gerekir. Bu bilgiler HAL'de tutulur. Daha sonra HA bu bilgileri gezgin düğümün Devingen Ev Üstlenicisi Adresi Keşfi [18] işlemi sırasında gezgin düğümle paylaşır.

EK D. IPv6 ve MIPv6 Değişkenleri

AllowedMissedRtrAdv	Kaçırılabilen Yönlendirici Bildiri Sayısı
DupAddrDetectTransmits	Çift Adres Algılama Gönderimleri
MAX_MULTICAST_SOLICIT	Azami Çoğa Gönderim İstemi
MAX_FAST_RAS	Azami Hızlı Yönlendirici Bildirileri
MAX_RA_DELAY_TIME	Azami Yönlendirici Bildirisi Gecikme
MAX_TOKEN_LIFETIME	Azami Jeton Yaşam Süresi
MaxRtrAdvInterval	Azami Yönlendirici Bildiri Aralığı
MinRtrAdvInterval	Asgari Yönlendirici Bildiri Aralığı
RetransTimer	Yeniden Gönderim Zamanlayıcısı
RtrAdvInterval	Yönlendirici Bildiri Aralığı

EK E. Sözlük Dizini

access point	erişim noktası
address autoconfiguration	otomatik adres yapılandırması
address resolution protocol	adres çözümlleme iletişim kuralı
ad-hoc	plansız
all-node multicast address	tüm düğümlerin çoğa gönderim adresi
all-router multicast address	tüm yönlendiricilerin çoğa gönderim adresi
application layer	uygulama katmanı
attachment point	ilişme noktası
authentication	kimlik doğrulama
authorization	izin verme
bidirectional tunnelling	çift yönlü tünelleme
binding acknowledgement	ilişkilendirim onayı
binding cache	ilişkilendirim önbelleği
binding management key	ilişkilendirim yönetim anahtarı
binding refresh request message	ilişkilendirim tazeleme isteği iletisi
binding update list	ilişkilendirim güncelleme listesi
binding update message	ilişkilendirim güncelleme iletisi
care-of address test	güncel adres sınaması
care-of address	güncel konum adres
care-of keygen token	güncel adres anahtarını oluşturma jetonu
care-of test init message	karşı düğüm sınaması başlat iletisi
care-of test message	karşı düğüm sınaması iletisi
collision	çarpışma
congestion	tıkanıklık
correspondent node	karşı düğüm
correspondent registrations	karşı düğüm kayıtları

deprecated address	onaysız adres
destination address	varış adresi
destination cache	hedef önbelleği
destination option	varış seçeneği
dual homed host	iki evli konak
early binding acknowledgement	erken ilişkilendirim onayı
early binding update	erken ilişkilendirim güncellemesi
encapsulation	sarmalama
end to end delay	uçtan uca gecikme
extension headers	eklenti başlıkları
firewall	saldırı duvarı
foreign agent	yabancı üstlenici
global unicast address	global teke gönderim adresi
hierarchical mobile IPv6	sıradüzensel gezgin IPv6
home address destination option	ev adresi varış seçeneği
home address test	ev adres sınaması
home agent list	ev üstlenicisi listesi
home agent	ev üstlenicisi
home registrations	ev kayıtları
home test init message	ev sınaması başlat iletisi
home test message	ev sınaması iletisi
home-keygen token	ev adres anahtarını oluşturma jetonu
host	konak
hot spot	kızgın nokta
IP header	IP başlığı
ingress filter	ağ giriş filtresi
initialization	ilkendirme

interface	arabirim
interface identifier	arabirim tanımlayıcısı
invalid address	geçersiz adres
jitter	seğirme
L2 trigger	L2 tetiklemesi
link - layer address	bağlantı katman adres
link - local address	bağlantı yerel adres
link layer	bağ katmanı
local area network	yerel alan ağı
local binding update message	yerel ilişkilendirim güncelleme iletisi
local care-of address	yerel güncel konum adres
local domain	yerel alan
loopback address	geridönüş (doğrulama) adresi
mobile node	gezgin düğüm
mobility anchor point	gezginlik çapa noktası
mobility header	gezginlik başlığı
mobility	gezginlik
movement detection	aktarım sezimi
multicast address	çoğa gönderim adresi
neighbour advertisement message	komşu bildirisi iletisi
neighbour cache	komşu önbelleği
neighbour discovery	komşu keşfi
neighbour solicitation message	komşu istemi iletisi
neighbour unreachability detection	komşu erişilemezlik tespiti
node	düğüm
override	geçersiz kıl(ma)
payload	yararlı yük

peer to peer communication	görevdeşler arası iletişim
personal digital assistant	kişisel sayısal asistan
plain text	şifresiz veri
preferred address	tercih edilen adres
prefix	önek
public switched telephone network	kamusal anahtarlmalı telefon ağı
quality of service	servis kalitesi
random seed	rasgele tohum
reachable	ulaşılabilir
real time multimedia	gerçek zamanlı çokluortam
regional care-of address	bölgesel güncel konum adres
return routability	dönüş yönlendirilebilirliği
round trip time	gidiş dönüş süresi
route optimisation	yol eniyileme
router advertisement message	yönlendirici bildirisi iletisi
router discovery	yönlendirici keşfi
router solicitation message	yönlendirici istemi iletisi
site - local address	site yerel adresi
solicited router advertisement	istenen yönlendirici bildirisi
solicited-node multicast address	istenen düğümlerin çoğa gönderim adresi
source address	kaynak adresi
specification	belirtim
stack	yığıt
subnet mask	altağ maskesi
subnet-router anycast address	altağ-yönlendirici rasgele gönderim adresi
suffix	sonek
target address	hedef adresi

tentative address	geçici adres
timestamp	zaman damgası
triangle routing	üçgen yönlendirme
tunnelling	tünelleme
unicast address	tek nokta adres
unsolicited router advertisement	istenmemiş yönlendirici bildirisi
unspecified address	belirsiz adres
unverified	doğrulanmamış
valid address	geçerli adres
verified	doğrulanmış

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Abdil Burak Başlı

Doğum Yeri : Tarsus

Doğum Yılı : 1976

Medeni Hali : Bekar

Eğitim ve Akademik Durumu :

Lisans : 1995 – 2000 ODTÜ Mühendislik Fakültesi Elektrik ve Elektronik
Mühendisliği Bölümü

Yabancı Dil : İngilizce

İş Tecrübesi :

2000 – 2002 : Test Mühendisi, MST-TMM, ASELSAN A. Ş. , Ankara

2003 – 2005 : Yazılım Mühendisi, İletişim Teknolojileri, Karel A. Ş. , Ankara

2005 – : Yazılım Mühendisi, Ar-Ge Bölümü, SYS A. Ş. , Ankara