



**MOBİL AĞLAR İÇİN MOBİL IP_v6 TABANLI YÖNLENDİRME
OPTİMİZASYON ŞEMASININ ANALİZİ VE SENTEZİ TESPİTİ**

Mohamed M. MJAHDİ

**DOKTORA TEZİ
BİLGİSAYAR MÜHENDİSİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

OCAK 2020

Mohamedi M. MJAHIDI tarafından hazırlanan “MOBİL AĞLAR İÇİN MOBİL IPV6 TABANLI YÖNLENDİRME OPTİMİZASYON ŞEMASININ ANALİZ VE SENTEZİ TESPİTİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Ana Bilim Dalında DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Cemal KOÇAK

Bilgisayar Mühendisliği Ana bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Başkan: Prof. Dr. İlyas ÇANKAYA

Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana bilim Dalı, Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Üye: Prof. Dr. Ayhan ERDEM

Bilgisayar Mühendisliği Ana bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Üye: Doç. Dr. Baha ŞEN

Bilgisayar Bilimleri Mühendisliği Ana bilim Dalı, Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Üye: Doç. Dr. İ. Alper DOĞRU

Bilgisayar Mühendisliği Ana bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Tez Savunma Tarihi: 24/01/2020

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Doktora Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Mohamed M. MJAHIDI

24/01/2020

MOBİL AĞLAR İÇİN MOBİL IPV6 TABANLI YÖNLENDİRME OPTİMİZASYON ŞEMASININ ANALİZ VE SENTEZİ TESPİTİ

(Doktora Tezi)

Mohamedi M. MJAHIDI

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ocak 2020

ÖZET

Mobil IPv6 (MIPv6) ve Network Mobility Basic Support (NEMO-BS), İnternet Mühendisliği Görev Grubu (Internet Engineering Task Force-IETF) tarafından sunulan ve internet altyapısı üzerinde ana bilgisayar hareketliliğini sağlayan protokollerdir. MIPv6 ve NEMO-BS protokol desteği sayesinde mobil ana bilgisayarlar devam etmekte olan oturumları kesmeden bir ağdan diğerine geçebilmektedir. Ancak bu protokoller, dikdörtgen yönlendirme ve IP-IP kapsülleme nedeniyle ağ performansının düşmesine neden olan uzun gecikmelere sebep olmaktadır. Ayrıca, devir işlemi sırasında mobilite nedeniyle paket kaybı yüksek olduğundan dolayı video konferans, VoIP gibi gerçek uygulamaların performanslarını negatif etkilemektedir. Bütün bu problemleri aşmak, dikdörtgen yönlendirmeyi önlemek ve böylece gecikmeyi ve tünel ek yükü azaltmak, paket teslimatını iyileştirmek için yönlendirme optimizasyon yöntem uygulanmaktadır. Bu doktora tezinde, performansındaki bozulmaya karşı koymak için, MIPv6 ve NEMO-BS'nin mevcut devir ve yönlendirme optimizasyon mekanizmalarının tasarımı, analizi ve sentezi yeniden ele alarak incelenmiş ve yeni bir yöntem ortaya konulmuştur. MIPv6 ve Network Mobility (NEMO) ağlarında farklı devir işlemleri ve yönlendirme optimizasyon mekanizmaları ortaya çıkarılıp, iyileştirmeler ortaya konulmuştur. Çalışma sonucunda Early Predictive Binding Update (EPBU) dayanarak MIPv6'da yönlendirme optimizasyon mekanizmasının daha pozitif sonuçlar çıkaracağını bu yeni yapının kullanılması gerekliliği ortaya çıkarılmıştır. NEMO-BS'de herhangi bir çözüm önermeden önce, ev sahibi iletişimini iç içe NEMO-arası (inter nested NEMO) ve iç içe NEMO-içi (intra nested NEMO) olmak üzere iki senaryoda sınıflandırılması gerektiği ortaya çıkmıştır. Bu sınıflandırmadan sonra inter nested NEMO ve intra nested NEMO senaryosuna dayanarak, Top Level Mobile Router (TLMR) ve Adhoc tabanlı yönlendirme optimizasyon mekanizması kullanılması gerektiği ortaya konulmuştur. Son olarak önerdiğimiz mekanizmanın, uçtan uca gecikme, paket kaybı, tünel, sinyal ve yönlendirme optimizasyonu ek yükü açısından avantajları nitel ve nicel olarak sunulmuştur.

Bilim Kodu : 92407
Anahtar Kelimeler : Mobil Ağ, MIPv6, NEMO-BS, Yönlendirme Optimizasyonu, MN, MR, CN, HA.
Sayfa Adedi : 122
Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Cemal KOÇAK

ANALYSIS AND SYNTHESIS OF MOBILE IPv6 BASED ROUTING OPTIMIZATION SCHEMES FOR MOBILE NETWORKS

(Ph. D. Thesis)

Mohamed M. MJAHIDI

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

January 2020

ABSTRACT

Mobile IPv6 (MIPv6) and Network Mobility Basic Support (NEMO-BS) are protocols presented by the Internet Engineering Task Force (IETF) to enable host mobility on Internet infrastructure. With MIPv6 and NEMO-BS support, mobile hosts can move from one network to another without interrupting ongoing sessions. But these protocols exhibit long delay due to rectangular routing and IP-in-IP encapsulation resulting in network performance degradation. Furthermore, during handover packet loss due to mobility is high which eventually hinder the performance of real application such as video conference, VoIP. Route optimization method is applied in mobile network to avoid rectangular routing thus reducing delay, tunneling overhead and improving packet delivery. In order to contend with the mobile network performance degradation, thesis concerns designing, analyzing, synthesizing and evaluating MIPv6 and NEMO-BS existing handover and route optimization mechanisms. First, we extract and present different handover and route optimization, discussing the related works. Then, we present MIPv6 and Network Mobility (NEMO) operations, a single node and whole network support respectively. Later, we proposed route optimization mechanism in MIPv6 based on Early Predictive Binding Update (EPBU). The NEMO communications are categorized in to two scenarios, inter nested NEMO and intra nested NEMO. The Top Level Mobile Router (TLMR) and Adhoc based routing optimization mechanism were proposed based on inter nested NEMO and intra nested NEMO scenario respectively. To evaluate the proposed mechanism, we carry out qualitative analysis as well as quantitative analysis in terms of end-to-end latency, packet loss, tunneling overhead, signaling overhead and route optimization overhead.

Science Code : 92407

Key Words : Mobile Network, MIPv6, NEMO-BS, Route Optimization, MN, MR, CN, HA

Page Number : 122

Supervisor : Assist. Prof. Dr. Cemal KOÇAK

TEŞEKKÜR

Doktora çalışmasını inişli, çıkışlı ve zorlu bir süreci geride bırakarak 6 yılda tamamlamış bulunmaktayım. Bu zorlu dönemde Türkiye’de birçok insandan destek ve rehberlik aldım. Çok iyi arkadaşlıklar edinip, çok büyük mutluluklar yaşayıp, mükemmel bir deneyim elde ettim.

Öncelikle ve en önemlisi danışman hocam Dr. Cemal KOÇAK’a desteklerinden dolayı çok teşekkür ediyorum. Tez çalışması boyunca gerek teknik açıdan, gerek insani açıdan yapmış olduğu yardımlar, tavsiyeler, bana vermiş olduğu cesaret ve sürekli desteğinden dolayı kendisine şükranlarımı sunuyorum. Doktora çalışmam için kendisinden daha iyi bir danışman hayal edemezdim. Ayrıca doktora çalışması boyunca tez izleme komitesinde yer alan jüri üyelerine (Prof. Dr. Ayhan ERDEM ve Doç. Dr. Baha ŞEN) değerli destek ve cesaretlendirmelerinden ve araştırmamı çeşitli açılardan genişletmemizi teşvik eden içgörüsels yorumlarından dolayı çok teşekkür ediyorum.

Danışmanım ve jüri üyelerimin yanı sıra, Bilgisayar Mühendisliği Bölümündeki öğretim üyelerine, derslerimi alırken verdikleri destek ve tavsiyeler için teşekkür ederim. Saygılarımla, özellikle Türkiye’de ilk günlerde arı yetiştiriciliğinin yorucu destekleri için idari personele gidiyor. Türk Dilini iyi konuşamadığım ve anlayamadığım zamanlar, ancak beni anlamak ve dersleri ve diğer bölüm konularını anlamak için mümkün olan her şeyi yapmak için çabalarını kullanıyorlar. Ayrıca Türkiye’ye ilk geldiğim günlerde yorulmadan her işime destek olan ve problemlerimi çözen Gazi Üniversitesinin idari personellerine çok teşekkür ediyorum. İlk geldiğim zaman diliminde henüz Türkçe’ye hakim değilken efor sarfederek beni anlamış olmaları ve bütün problemlerimi çözmelerinden ötürü teşekkür ediyorum.

Ayrıca sınıf arkadaşlarıma, ders ve tez aşamasında birlikte çalıştığımız ve uykusuz geceler geçirdiğimiz bütün öğrenci arkadaşlarıma ve 6 yıl boyunca beraber geçirdiğimiz mutlu zaman dilimleri için kendilerine ayrıca teşekkür ediyorum. Son olarak ve benim için büyük önem taşıyan aileme; anne ve babama, kardeşlerime, çocuklarıma ve eşime doktora çalışması boyunca verdikleri cesaret ve desteklerinden dolayı sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum. Bunca senedir sevgi ve desteklerini esirgemedikleri, zor zamanlarıma katlandıkları ve bana ilham verdikleri için çok teşekkür ediyorum.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiv
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜRDE YER ALAN ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	11
2.1. Hücreler Arası Aktarma	11
2.1.1. MIPv6 hücreler arası aktarma.....	12
2.1.2. NEMO hücreler arası aktarma	21
2.2. Yönlendirme Optimizasyonu.....	24
2.2.1. Dönüş yönlendirilebilirlik prosedürü	24
2.2.2. Gelişmiş MIPv6 yönlendirme optimizasyon mekanizmaları	26
2.2.3. NEMO yönlendirme optimizasyon mekanizması.....	30
3. MOBİL AĞLAR	39
3.1. Uzantı Başlıkları ve Hareketlilik Mesajları.....	39
3.2. MIPv6 Ağ Operasyonları	42
3.3. NEMO Ağ Operasyonları.....	43
3.3.1. NEMO adres yapılandırması	45
3.3.2. İç içe olmayan NEMO ağı.....	46
3.3.3. İç içe NEMO ağı	46
4. ÖNERİLEN YÖNLENDİRME OPTİMİZASYON MEKANİZMALARI.....	49

4.1. Önerilen Mobil ağlarda MIPv6 Ağı Yönlendirme Optimizasyon Mekanizması	49
4.1.1. Yeni mobilite mesajları	49
4.1.2. Detaylı MIPv6 ağ modeli	50
4.1.3. Erken öngörücü bağlama güncellemesi yönlendirme optimizasyon Mekanizması	51
4.2. NEMO Ağlarında Önerilen Yönlendirme Optimizasyon Mekanizması.....	53
4.2.1. Üst Düzey MR tabanlı yönlendirme optimizasyon mekanizması	55
4.2.2. Adhoc tabanlı yönlendirme optimizasyon mekanizması.....	57
5. SİMÜLASYON ÇERÇEVESİ	59
5.1. OPNET'te Simülasyon Modellemesi	60
5.2. OPNET'te Mobil Ağ Simülasyon Düzeni	60
5.3. MIPv6 Ağın Simülasyonu	61
5.3.1. Sinyal mesajlarının konfigürasyonu.....	61
5.3.2. MIPv6 proses modelleri	63
5.3.3. MPv6 düğüm modelleri.....	66
5.3.4. MIPv6 ağın modelleri.....	68
5.4. NEMO Ağın Simülasyonu	69
5.4.1. NEMO işlem modelleri	69
5.4.2. NEMO düğüm modelleri.....	70
5.4.3. NEMO ağ modeli	71
6. SAYISAL ANALİZ VE ANALİTİK SONUÇLAR	73
6.1. MIPv6 Sayısal Analizi ve Simülasyon Sonuçları.....	73
6.1.1. Hücreler arası aktarma gecikmesi	74
6.1.2. Uçtan uca gecikme	77
6.1.3. Paket kaybı	82

	Sayfa
6.1.4. Sinyal ek yükü	83
6.1.5. Tünel ek yükü	84
6.1.6. Yönlendirme optimizasyonu ek yükü	87
6.2. NEMO Sayısal Analizi ve Simülasyon Sonuçları	90
6.2.1. Uçtan uca gecikme	91
6.2.2. Paket kaybı	95
6.2.3. Tünel ek yükü	97
6.2.4. Sinyal ek yükü	101
6.2.5. Yönlendirme optimizasyonu ek yükü	103
7. SONUÇ VE ÖNERİLER	107
KAYNAKLAR	113
ÖZGEÇMİŞ	121

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. IPv6 eklenti başlıkları ve bir paket için önerilen sıraları	40
Çizelge 4.1. Yerel bağlama önbellesi	55
Çizelge 6.1. MIPv6 ağlarında simülasyon parametreleri	73
Çizelge 6.2. Hücreler arası aktarma ve HA'da BU kaydı gecikmesi	76
Çizelge 6.3. CN'ye BU kayıt gecikmesi	76
Çizelge 6.4. NEMO ağları için simülasyon parametreleri	90

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Pinball yönlendirme.....	6
Şekil 1.2. Birden çok IP-in-IP paket kapsülleme	7
Şekil 2.1. Prediktif fast hücreler arası aktarma	13
Şekil 2.2. Reactif fast hücreler arası aktarma	14
Şekil 2.3. Arabellek prediktif fast hücreler arası aktarma	18
Şekil 2.4. Medya bağımsız el değiştirmesi destekli vertikal hücreler arası aktarma	20
Şekil 2.5. HMIPv6 hücreler arası aktarma işlemi	22
Şekil 2.6. RRP operasyonel akışlarını kullanarak MIPv6 yönlendirme optimizasyonu	25
Şekil 3.1. IPv6 uzantılı başlık biçimi	41
Şekil 3.2. MIPv6 ağı.....	43
Şekil 3.3. NEMO ağı.....	44
Şekil 3.4. İç içe olmayan NEMO ağı	46
Şekil 3.5. İç içe yerleştirilmiş NEMO ağı	47
Şekil 4.1. MN_Location ve Agent_Location mesaj formatı	50
Şekil 4.2. Düğüm pozisyonla D_1 ağ modeli.....	50
Şekil 4.3. Yönlendirme optimizasyonu mesajı sırası	51
Şekil 4.4. Inter nested NEMO yönlendirme optimizasyonu mesaj sırası.....	56
Şekil 4.5. Intra nested NEMO yönlendirme optimizasyonu mesaj sırası.....	57
Şekil 5.1. OPNET Modeller’de simülasyon modellemesine genel bakış.....	60
Şekil 5.2. Mobil IP dinamik işlemleri	61
Şekil 5.3. IPv6_extension_header_defs.h dosyasında mobilite uzantısı başlığının tanımı.....	62
Şekil 5.4. <i>mip6_defs.h</i> dosyasında MIPv6 ağı için mobilite mesajları türünün tanımı	62
Şekil 5.5. Mobilite mesajların sayısı	62

Şekil	Sayfa
Şekil 5.6. <i>mipv6_support.h</i> dosyasında Mipv6T_Bind_Location_Msg'un tanımı	63
Şekil 5.7. Standart <i>mipv6_mgrproses</i> modeli	64
Şekil 5.8. Modifiye <i>mipv6_mgrproses</i> modeli	64
Şekil 5.9. Standart <i>mipv6_mn</i> proses modeli	65
Şekil 5.10. Modifiye <i>mipv6_mn</i> proses modeli	65
Şekil 5.11. <i>wlan_wkstn_adv</i> düğüm modeli	67
Şekil 5.12. <i>mipv6_ethernet_server_adv</i> düğüm modeli	67
Şekil 5.13. <i>wlan_ethernet_slip4_adv</i> düğüm modeli	68
Şekil 5.14. MIPv6 ağ topolojisi	69
Şekil 5.15. MR (<i>mipv6_mr</i>) proses modeli	70
Şekil 5.16. <i>wlan2_router_adv</i> düğüm modeli	71
Şekil 5.17. Inter NEMO ağ modeli	72
Şekil 5.18. Intra NEMO ağ modeli	72
Şekil 6.1. Eski-MIPv6 için paket yönlendirme	78
Şekil 6.2. RRP mekanizması için paket yönlendirme	79
Şekil 6.3. EPBU mekanizması için paket yönlendirme	79
Şekil 6.4. Kümülatif uçtan uca gecikmesi	82
Şekil 6.5. Paket kaybı	83
Şekil 6.6. Kümülatif sinyal ek yükü	84
Şekil 6.7. CN ve MN arasında normal IPv6 paket iletimi	85
Şekil 6.8. CN'den MN'ye kapsüllenmiş IPv6 paket iletimi	85
Şekil 6.9. Ters Tünel	85
Şekil 6.10. Kümülatif tünel ek yükü	87
Şekil 6.11. T2RH kullanılarak yapılan yönlendirme optimizasyonu	88

Şekil	Sayfa
Şekil 6.12. Yönlendirme optimizasyon ek yükü.....	89
Şekil 6.13. Inter nested NEMO iletişiminde uçtan uca gecikmesi	93
Şekil 6.14. Intra nested NEMO iletişiminde uçtan uca gecikmesi	94
Şekil 6.15. Inter nested NEMO iletişimi için paket kaybı.....	96
Şekil 6.16. Intra nested NEMO iletişiminde paket kaybı.....	97
Şekil 6.17. Inter nested NEMO iletişiminde tünel ek yükü.....	100
Şekil 6.18. Intra nested NEMO iletişiminde tünel ek yükü.....	101
Şekil 6.19. Intra nested NEMO iletişiminde sinyal ek yükü	102
Şekil 6.20. Intra nested NEMO iletişiminde sinyal ek yükü	103
Şekil 6.21. Inter nested NEMO iletişiminde yönlendirme optimizasyonu ek yükü	105
Şekil 6.22. Intra nested NEMO iletişiminde yönlendirme optimizasyonu.....	106

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler

Açıklamalar

km	Kilometre
Sm	Saniyede metre
Sn	Saniye
bayt/sn	Saniyedeki bayt sayısı

Kısaltmalar

Açıklamalar

ANP	Access-Router Network Prefix
AODV	Ad Hoc On-Demand Distance Vector
AP-ID	Access Point Identification
AR	Access Router
AR-Info	Access Router Information
BA	Binding Acknowledgement
BC	Binding Cache
BE	Binding Error
BREQ	Binding Request
BU	Binding Update
BUL	Binding Update List
BUT	Binding Update Tree
CAR	Access Router
CCoA	Care-of Address
CCRE	Complex Conversion Routine Encoding
CGA	Cryptographically Generated Address
CMR	Call-to-Mobility Ratio

Kısaltmalar	Açıklamalar
CN	Correspondent Node
CoA	Care-of Address
CoT	Care-of Test
CoTI	Care-of Test Init
CR	Correspondent Router
DAD	Duplicate Address Detection
DSDV	Destination-Sequenced Distance-Vector
DSR	Dynamic Source Routing
ECDH	Ecliptic Curve Diffie Hellman
E-E	Egress – Egress Attachment
EfNEMO	Enhancement Fast-Handover for Network Mobility
E-I	Egress –Ingress Attachment
EI-EI	Egress Ingress – Egress Ingress Attachment
EMI	Extended Mobile IP
EPBU	Early Predictive Binding Update
ER	Exit Router
FA	Foreign Agent
FBAck	Fast Binding Acknowledgement
FBU	Fast Binding Update
FCoA	Future Care-of Address
FMIPv6	Fast Mobile Internet Protocol Version 6
FN	Fixed Node
FNA	Foreign Network Advertisement
FRONEMO	Fast and Route Optimized NEMO
HA	Home Agent
HAck	Handover Acknowledgement
HADOH	Home Address Option Header
H-FNEMO	Hierarchical Fast Handover for NEMO

Kısaltmalar	Açıklamalar
HI	Handover Initialization
HMIP	Hierarchical Mobile Internet Protocol
HN	Home Network
HNP	Home Network Prefix
HoA	Home Address
HoT	Home of Test
HoTI	Home-of Test Init
ICMP	Internet Control Message Protocol
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineering
IETF	Internet Engineering Task Force
I-I	Ingress –Ingress Attachment
IPv4	Internet Protocol Version 4
IPv6	Internet Protocol Version 6
LBA	Local Binding Acknowledgement
LBC	Local Binding Cache
LBU	Local Binding Update
LDE	Link Detection Event
LFN	Local Fixed Network
LGD	Link Going Down
LMA	Local Mobile Anchor
LPR	Link Parameter Report
LROS	Localized Route Optimization Scheme
MAG	Mobile Access Gateway
MANEMO	Mobile Adhoc NEMO
MANET	Mobile Ad-hoc Network
MAP	Mobile Anchor Point
MH	Mobility Header
MIH	Media Independent Handover

Kısaltmalar**Açıklamalar**

MIPv4	Mobile Internet Protocol Version 4
MIPv6	Mobile Internet Protocol Version 6
MIRON	Mobile IP Route Optimization for NEMO
MN	Mobile Node
MNN	Mobile Network Node
MNP	Mobile Network Prefix
MR	Mobile Router
MR-ID	Mobile Router Identification
MROS	Mobile Anchor Point Route Optimization Scheme
MTU	Maximum Transmission Unit
NAR	New Access Router
NCM	NEMO-Centric MANEMO
NCoA	New Care-of Address
NEMO	Network Mobility
NEMO-BS	Network Mobility Basic Support
NERON	Nest Route Optimization for NEMO
NLMA	New Local Mobile Anchor
NMAG	New Mobile Access Gateway
NP	Network Prefix
NPT	Network Prefix Test message
NS_REQ	Sending Node's Status Request
OPA	Option Post Authentication
PAR	Previous Access Router
PB-FMIPv6	Proactive Binding for Fast Mobile Internet Protocol version 6
PCoA	Previous or Past Care-of Address
PDAD	Parallel Duplicate Address Detection

Kısaltmalar	Açıklamalar
PHA	Proxy Home Agent
PLMA	Previous Local Mobile Anchor
PMAG	Previous Mobile Access Gateway
PMIP	Proxy Mobile Internet Protocol
PrNAR	Proxy New Access Router
PrRtAdv	Proxy Router Advertisement
RCoA	Regional Care-of Address
RFC	Request for Comments
rMR	Root Mobile Router
ROTIO	Route Optimization based on Tree Information Option
RREPV6	Route Reply
RREQv6	Route Request
RRH	Reverse Routing Header
RRP	Return Routability Procedure
RRR	Robust/Revised Return Routability
RtSolPr	Router Solicitation for Proxy
SD-TLMR	Sub-Domain Top Level Mobile Router
T2RH	Type 2 Routing Header
TBU	Tentative Binding Update
TCP	Transmission Control Protocol
TDP/NINA	Tree Discovery Protocol/Network in Node Advertisement
TDPBU	Traffic Driven Pseudo Binding Update
TIAC	Topologically Incorrect Address Configuration
TLMR	Top Level Mobile Router
TOTP	Time-based One-time Password
TTL	Time-to-Live
UDP	User Datagram Protocol
UMU-PKIv6	University of Murcia-Public Key Infrastructure Version 6

Kısaltmalar**Açıklamalar****UNA**

Unsolicited Network Advertisement

VANET

Vehicular Ad-Hoc Network

VMN

Visiting Mobile Network



1. GİRİŞ

Mobil ağlar, internet altyapısındaki gezici düğümler veya alt ağları gezen ve düğümlerin konumunu başka bir konum ile değiştirebilen hücresele ağlardır. İnternete geçici olarak bağlı ad-hoc basit düğümleri veya ağları ile bu hücresele ağlar arasında dolaşan düğümler arasında farklar bulunmaktadır. Düğümler veya ağlar, Ad Hoc On-Demand Distance Vector (AODV), Destination-Sequenced Distance-Vector (DSDV) ve Dynamic Source Routing (DSR) vb. protokollerini kullanarak internet ortamı olmadan birbirlerine bağlanabilmektedirler. Bu tür mobil ağlar genel olarak Mobile Ad-hoc Network (MANET) ve Vehicular Ad-hoc Network (VANET) olarak bilinmektedirler. Bu ağlar ilk olarak Mobil Düğümler (Mobile Nodes - MNs) veya internet mimarisi aracılığıyla iletişim kuran mobil ağları içermektedir. Bu ağlar tek düğüm mobilitesi için Mobil IP (MIP), Proxy Mobil IP (PMIP) ve Hiyerarşik Mobil IP (HMIP) ve ağ mobilitesi için Network Mobility Basic Support (NEMO-BS) protokollerini kullanmaktadırlar.

Kablosuz teknolojilerdeki hızla artan eğilimlere bakıldığında, hızlı erişim ve mobil cihazların internet erişimi için kullanımında yapılan birçok çalışma da Internet Protocol version 4 (IPv4) adreslerinin sınırlı kullanılabilirliği [1] ve Mobil IPv4'te (MIPv4) yönlendirme optimizasyon yöntemlerinin [2] kullanıldığı görülmektedir. Bu çalışmalar internet mühendisliğine öncülük etmektedir. Tek düğümün hareketliliğini desteklemek için yapılan çalışmalarda ise Mobil IPv6 tanıtımında (MIPv6) RFC 3775 ve 6275'de [3, 4] yöntemleri kullanılmıştır. MIPv6, Internet Protocol version 6 (IPv6) paketlerinin Düğüm Noktasından (Correspondent Node – CN'den) MN'ye yarı saydam olarak yönlendirilmesini sağlayan mobil ağ için bir IPv6 protokolü geliştirilmesi demektir. Bu protokol IPv6 tarafından sunulan imkanlardan yararlanmaktadır. IPv6'da özel mobilite desteği olmadan, CN'den bir MN'ye gönderilen paketler, Internet'te bir ağdan diğerine geçerken MN'ye ulaşamamaktadır. MN internetteki bağlanma noktası değişiminde, yeni IP adresinin yapılandırmasının tekrar yapılması gerekecektir. Yeni IP yapılandırılması yapıldığında MN tarafından önceki oturumlar sonlandırılmaktadır. Tüm katmanlardaki oturumlar sonlanacağı için MN taşıma ve yük katmanlı bağlantıyı koruyamaz. Bundan dolayı bütün oturumlar sonlanarak yeni bağlantılar kurulmaktadır.

Hareketliliğine rağmen MN iletişimini sürdürmektedir. Bu iletişimde CN ile olan iletişimde yabancı ağlarda veya ev ağında Ev Adresini (Home Address - HoA) korumaktadır ve HoA'yı "Care" olarak bilinen ekstra bir adresle yani, yabancı ağlarda ise adres geçici adres (Care of Address - CoA) ile ilişkilendirmektedir. Eski-MIPv6'ya göre MN ile olan iletişim iki yönlü tünellemeye maruz kalmaktadır [5]. MN'ye ulaşmadan önce, paketler önce MN'nin Ev Ajansı (Home Agent - HA) tarafından ele geçirilir ve MN dış ağına tünellenir. Bu durum ağ gecikmesini ve ek yükünü artırarak ağ performansını azaltmaktadır ve üçgen yönlendirmede gerçekleşen IP-in IP kapsüllemesi meydana gelmektedir. Bu performans kayıplarını önlemek için MIPv6'da yönlendirme optimizasyon mekanizmalarının geliştirilmesi gerekmektedir. Veri paketleri HA'dan geçmeden doğrudan CN ve MN arasında değiştirilerek bu durum önlenabilir.

MIPv6 mobilite desteği sunsa da, mobilite desteği internette dolaşımdaki tek düğüm içindir. Gerçekte ve birçok durumda, mobilite desteği, Mobil Yönlendiriciye (Mobile Router - MR) bağlı otobüs, tren ve uçaktaki MN gruplarını içerir. MR ile birlikte, bu MN grubu mobil ağ olarak kabul edilir ve bir veya birden fazla Mobil Ağ Düzümüne (Mobile Network Node - MNN), Ziyaret Eden Mobil Düzümlere (Visiting Mobile Node - VMN) veya Yerel Sabit Düzümlere (Local Fixed Node - LFN) hizmet veren en az bir MR'e sahiptir. Ağ mobilitesini desteklemek için IETF, NEMO-BS [6] olarak bilinen MIPv6'nın bir uzantısı olarak ekstra bir hareketlilik protokolü başlatmıştır. MR ile hareket eden alt ağdan paketleri muhabir ağına yönlendirmek için yönlendirme yetenekleri de ayrıca mevcuttur.

NEMO-BS protokolü, MIPv6 ile aynı şekilde çalışır, ancak NEMO-BS MR'da yeni bir işlevsellik gerektirir. Bu protokollerin her ikisi de, MN veya mobil ağ ev ağından uzakta olduğunda veri paketlerini iletmek için HA'ya dayanmaktadır. NEMO-BS protokolünde MR, mobil ağında tanıtımını vermek için ev ağında bir Mobil Ağ Öneki (Mobile Network Prefix - MNP) atar ve bu MNN'ler ilan edilen MNP'den adresleri yapılandırır [7]. Mobil ağ yabancı bir ağa taşındığında, MR çıkış ağındaki yabancı ağdan elde edilen CoA ile giriş arayüzünden bu haritalarını HA haritası MNP'ye gönderir. Daha önce tarif edildiği gibi, NEMO-BS protokolü aynı zamanda suboptimal yönlendirme ve IP-in-IP kapsüllemesinden geçirilmektedir. Mobil ağ ev ağından uzaktayken, HA, MR öneki tarafından ilan edilen ve yabancı ağdaki yeni mobil ağa tünellenmiş MNP'ye gönderilen tüm veri paketlerini durdurur.

Mobil ağ yeni bir yabancı ağa taşındığında, doğrudan bir Erişim Yönlendiriciye (Access Router – AR) veya iç içe yerleştirme (nesting) şeklinde sonuçlanan başka bir mobil ağa bağlanmak mümkündür. Bir mobil ağ yönlendiricisinin (alt ağ) başka bir mobil ağ yönlendiricisine (ana ağ) doğrudan AR'ye bağlı olması durumunda, bir mobil ağın iç içe yerleştirme NEMO'da olduğu bilinmektedir. Bu tür bir bağlantıda, alt mobil ağ/yönlendirici için tasarlanan veri paketleri ilk önce çocuk mobil ağın HA'sına ve daha sonra ana mobil ağın HA'sına göstermektedir [8]. Bu nedenle veri paketleri verimsiz yönlendirme'de ve çoklu IP-IP kapsüllemesinde önde gelen birden fazla HA aracılığıyla tünellenir. İç içe yerleştirme seviyesi arttıkça, bu verimsizlikler başlar ve gecikme, langırt güzergahı, olası ağ bölümleri, muhtemel paket parçalanması ve sonunda tüm iletişimi kesebilecek trafik sıkışıklığına yol açan darboğaz bağlantı bağlantıları gibi paket teslimatı ile ilişkili çoklu verimsizliklerle sonuçlanır [9, 10]. Buna ek olarak, mobil şebekeler eğilimden dolayı iç içe yerleştirme NEMO'dayken, ağda çıkmaz bir durum ortaya çıkabilir [6].

Bazı durumlarda, mobil ağ iki iletişim düğümünün aynı ağ etki alanında görüldüğü yabancı ağa taşınmaktadır. Bu durumlarda, veri paketlerinin ilk önce mobil ağ HA'lara yönlendirilmeden ağ etki alanı içinde yönlendirilmesi büyük avantaj sağlamaktadır. Bu tür bir durumlarda, MANET ve NEMO-BS protokollerinin kapasitesini birleştiren Mobil Adhoc NEMO (MANEMO Fringe Stuf-MFS) teknolojisi kullanılabilir [11-14]. Kablosuz olarak bağlanmış NEMO özellikli MR'lar bulutu ve Internet'in kenarında bir saplama olarak bilinen bir kavram oluşturur [13]. Mobil ağda uzun yönlendirmeden, gecikme ve çoklu paketlerin kapsüllemesi kaçınmak için MANET yönlendirme protokolleri ve NEMO-BS protokolü kullanmak yerine, MFS içindeki veri paketlerini değiştirmek için kullanılabilir.

Daha önce belirtildiği gibi, MIPv6 ve NEMO-BS protokolleri, mobil ağ iç içe yerleştirme NEMO'ya bağlandığında, uzun yol nedeniyle gecikme ve çoklu paket kapsülleme gibi performans verimsizliğine sahiptir. Bu kısıtlamalara alternatif olarak mobil ağda bir yönlendirme optimizasyonu kullanılmaktadır. Yönlendirme optimizasyonu, veri paketlerini MN ile CN arasında HA yönlendirmeden doğrudan takas etme yöntemidir. Kablosuz ağlarda bant genişliği genellikle sınırlı olduğundan, yönlendirme optimizasyon tekniği mobil ağda önemlidir. Ek olarak, gereksiz masraf ve gecikmeleri önlemek için kablosuz ağdaki kaynaklar ekonomik olarak kullanılmalıdır. Mevcut MIPv6 ve NEMO-BS protokollerini geliştirmek için yönlendirme optimizasyon teknikleri üzerine birkaç araştırma önerilmiştir. Internet Engineering Task Force (IETF) tarafından önerildiği gibi bu tür geleneksel

teknikler, [3, 4, 15] ayrıntılı olarak açıklanmaktadır. Ancak, MIPv6'da özellikle hücreler arası aktarma tesliminde ek yükü ve uçtan uca gecikme süresinde paket kaybı yaşanmaktadır [16]. Goswami, S., & Das, C. B. [17], çözümlerin çoğunda bazı eksiklikler olduğu için benzersiz ve eksiksiz olarak bildirilmelerin yetersiz olduğunu öne sürmüşlerdir. Sinyal yükü, karmaşıklık, gecikme ve çoklu paketlerin kapsülleme sorunları henüz tamamen çözülememiştir. Şimdiye kadar hiçbir yönlendirme optimizasyon çözümü, mobil ağdaki tüm zayıflıkların üstesinden gelmeyi başaramamıştır.

Hareketliliği desteklemek için, önerilen yönlendirme optimizasyon çözümlerinden bazıları, daha iyi ağ performansları elde etmek için mevcut mimarilerin ve altyapıların değiştirilmesini, diğerleri ise yüksek sinyal eklenmesini gerektirmektedir. Mobil ağ yolu optimizasyon yöntemlerinde hareketlilik yönetimi, paket storm neden olan sinyal iletilerinin miktarını artırır [18]. Örneğin, MN hareketi olmadığında bile, MIPv6'daki Dönüş Yönlendirilebilirliği Prosedürü (Return Routability Procedure - RRP) tekniği periyodik sinyal mesajları verir. MN'nin sabit bir CN ile iletişim kurması durumunda, sinyal tepesinin 7.16 bayt/sn'ye eşit olduğu tahmin edilmektedir [19]. Bununla birlikte, RRP yönteminde hücreler arası aktarma işleminden kaynaklanan gecikme mobil ağda istenmeyen bir durumdur çünkü gerçek zamanlı uygulamaları veya VoIP, video konferans vb. gibi etkileşimli uygulamaları etkileyebilir. Hali hazırdaki altyapılar ve mimariler üzerine mobil ağlarda sinyal tepkisi, uçtan uca gecikme, paket kaybı, yönlendirme optimizasyonu ve mobil ağlarda verimi artırmada daha iyi bir azalma sağlayabilen daha iyi yönlendirme optimizasyon yöntemlerine hala ihtiyaç duyulmaktadır.

MIPv6, ana bilgisayar tabanlı mobilite yönetimi protokolü için IETF Standartıdır. Perkins ve diğ. [4]'de, RRP mekanizmasını kullanarak MIPv6 için yönlendirme optimizasyon işlemini belirtmişlerdir. Eski protokolün geliştirilmesi, uçtan uca gecikme yolu gibi ağ performansları iyileştirilerek paketlerin ev ağında kapsülmesi önlenir. Bununla birlikte, paket kaybı, tepeden tünelleme ve uçtan uca gecikme, özellikle hücreler arası aktarma teslimindeki problemler devam etmektedir [16]. Bağlama ve veri paketleri MN ve CN arasında değişmeden önce, önce RRP mekanizması MN ve CN arasında Evde Test ve Test Bakım mesajlarının değişimini içerir. Daha sonra MN ve CN bağlayıcı mesaj (Binding Update (BU) ve Binding Acknowledgement (BA)) alışverişinde bulunur ve son olarak veri paketlerini optimize edilmiş bir yönlendirme'de değiştirir.

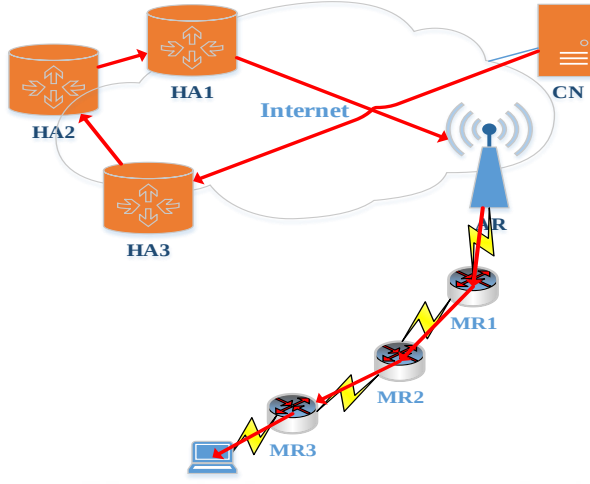
Mevcut MIPv6 protokolünü geliştirmek için çeşitli yönlendirme optimizasyon yöntemleri önerilmiştir. Bu tür mler [20-26] yapılan çalışmalarda önerilmiştir. Ancak, bu araştırma çalışmalarından bazıları belirli bir soruna odaklanmaktadır; diğerkleri mevcut mimarilerin ve altyapıların modifikasyonunu içerirken, diğerkleri daha iyi ağ performansları elde etmek için yüksek ek sinyal eklemesi gerektirir. Halen mevcut altyapı ve mimariler üzerine mobil ağlarda ek yük mesajlarının daha fazla azaltılmasını sağlayan daha iyi bir yönlendirme optimizasyon yöntemine ihtiyaç duyulmaktadır.

MIPv6 protokolü gibi, i içe yerleştirme olmayan NEMO protokolünde de mobil ağ ile CN arasındaki iletişim, üçgen şeklinde gerçekleşmektedir. Yani, CN'den gelen tüm paketlerin önce HA'ya geçmesi ve ardından mobil ağa tnellenmesi gerektiği anlamına gelir.

- Daha uzun yönlendirme, mobil şebeke ve CN birbirine yakın olsalar da, gecikme ve ek altyapı yükünün artması nedeniyle bağlantı kopmasına olan duyarlılığı arttırır.
- Paket MTU'yu aştığında paket parçalanma olasılığını artıran kapsülleme işleminden ötürü paket yükü, HA tarafından CN'den alınan herhangi bir paketin işlenmesi ve mobil ağa tnellenmesi gerekir.

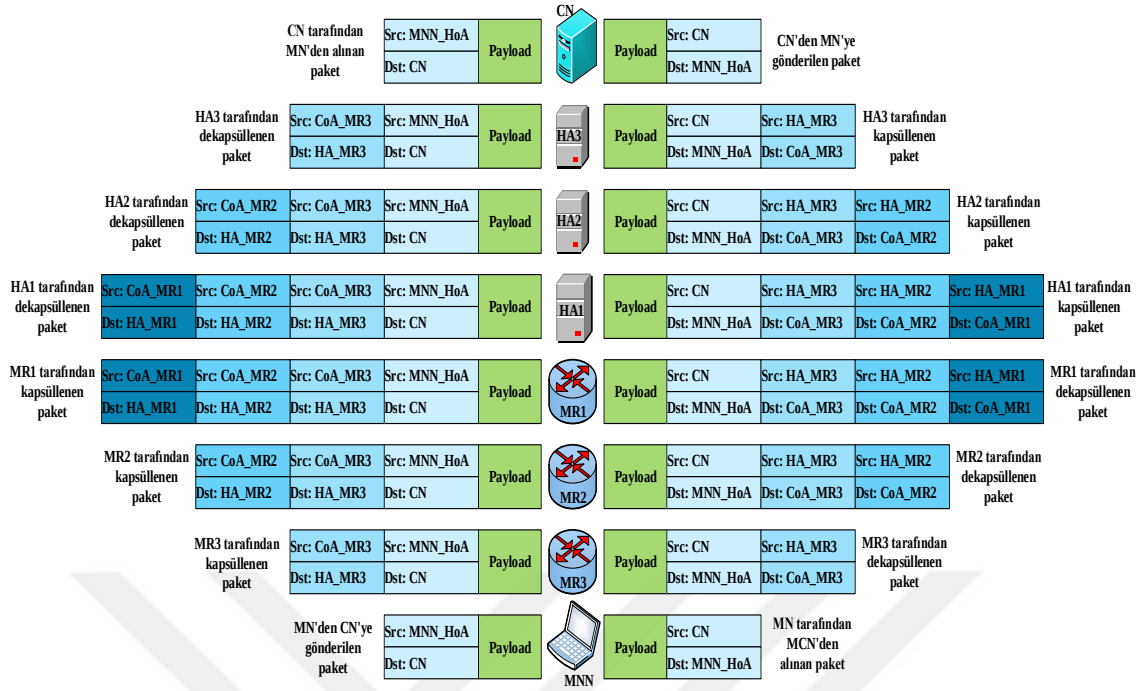
NEMO ağlarda, bir veya daha fazla mobil ağın veya MN, şekil 1.1'de gösterildiği gibi düz veya i ie yerleştirme bir yerleştirme seviyelerinde diğerk mobil ağa katılmasına izin verilir. Böyle bir durumda, NEMO-BS'nin kullanılması, yönlendirmeyi daha da karmaşık hale getirir. Bu sorun, paketlerin i içe yerleştirme NEMO içindeki rotalarda tüm MR'lerin HA'larından aktıkları bir yönlendirme olan langırt yoluna yol açar. HA'dan gelen her paketin tnellenmesi gerektiğinden, şekil 1.2'de gösterildiği gibi ağda çoklu paket kapsüllenmesine de yol açar.

NEMO-BS, Ibrahim, Seh. ve diğerkleri, tarafından yapılan çalışmada [27], i içe yerleştirme NEMO'nun bir sonucu olarak, daha az uçtan ua gecikme ve %5 daha fazla verim elde etmişleridir. st düzey i ie yerleştirme MR'da %20, orta seviye MR'da %10 ve %18 ve üçüncü seviye MR'da %14 ve %15'tir. Yönlendirme optimizasyon mekanizması uygulanmış olsa bile, mobil ağın i içe yerleştirme geçmiş bir ağ içinde yaşadığı uçtan ua gecikme ve verim verimliliğinin belirgin olduğu açıktır.



Şekil 1.1. Pinball yönlendirme

Yukarıdaki sorunların dışında, eğer HA ev ağından uzakta birçok mobil ağına sahipse tıkanmalar meydana gelebilir. BU ve diğerleri gibi tüm mobil ağıdan mobil ağına doğru kayıt ve kontrol paketlerinin kullanımı, veri iletimi gibi sebepler eve giden toplu trafik için tıkanmaya neden olabilir. Bu durum ek paket kaybına ve paket gecikmesine yol açacaktır. MR'nin HA'sından farklı bir yol kullanarak MN ve CN arasındaki iletişimi sağlayan NEMO-BS yönlendirme optimizasyon mekanizması ile, HA'ya giden rotadan ve HA'dan gelen tünel paketlerinden kaçınarak, alt-optimallik veya yükseltilmiş alt-optimallik iç içe yerleştirme NEMO ve HA veya ev bağlantındaki tıkanıklıklar hafifletilebilir ve hatta önlenir.



Şekil 1.2. Birden çok IP-in-IP paket kapsülleme

Bu çalışmanın temel amacı, mobil ağ ortamında hem MIPv6 hem de NEMO-BS protokolleri için en uygun yönlendirme mekanizmasını analiz etmek, sentezlemek ve önermektir. Bir yönlendirme optimizasyonu, bir ağ ya da mobil yönlendirici, ev ağından yabancı bir ağa ya da bir yabancı ağdan diğerine geçerken paket kaybını ve uçtan uca gecikmeyi azaltmak, langırt yolunu ve paket kapsüllemesini önlemek için önemli bir mekanizmadır.

Bu çalışmanın spesifik amaçları aşağıda verilmiştir:

- Hem MIPv6 hem de NEMO-BS'deki mevcut optimum yönlendirme mekanizmasını kavramak ve analiz etmek.
- MIPv6 ve NEMO-BS ağında optimum yönlendirme mekanizması için en iyi yaklaşımı sentezlemek ve önermek.
- Simülasyon ortamında önerilen yönlendirme optimizasyonunu uygulamak ve değerlendirmek ve standart RRP ile geçmiş yönlendirme optimizasyon mekanizmalarını karşılaştırmak.

Bu çalışma, Mobil IP'nin (destek sağlamak için mobil ajanlar kullanır), sorunsuz hücreler arası aktarma ve IP adreslerini değiştirmeden mobil ana bilgisayarların alt ağdan diğerine

dolaşmalarını mümkün kılarak, kullanıcının kötü bağlantı kurma deneyimini anlama ve değerlendirmeye yardımcı olacaktır. Telsizlerle donatılmış mobil bilgisayar cihazlarıyla birlikte ortaya çıkan bir başka kablosuz mimari, bu cihazlardan iki veya daha fazlasının iletim menzili içerisinde kendilerini bulduklarında MANET'ü oluşturur ve çoğu ortamda altyapı baz istasyonlarına ihtiyaç duyulmadan esnek bir şekilde konuşlandırılabilir. MANET'ler, transmitter menzilinin dışındaki düğümlere ulaşmak için çok atlamalı iletişimi kullanan bağımsız, özerk ağlardır.

Altyapı tabanlı ağların aksine, MANET dinamiktir. Bu ağların heterojen yapısına rağmen, MANET'leri İnternet'e entegre etmek İnternetin ağ kapsama alanını genişletir ve MANET'lerin uygulama alanına ekler. MANET'leri İnternet ile birleştirmenin birçok yolundan biri, MANET yönlendirme protokolüyle birlikte Mobil İnternet Protokolü'nü (Mobil IP), İnternet ve MANET arasındaki paketleri Ağ Geçidi aracılığıyla [28] yönlendirmek için kullanmaktır. Bu iki mimariyi birleştirmek, tüm IP kablosuz ortamına geçme eğilimini kolaylaştıracaktır. Ayrıca, MANET, afet durumunda kurtarma sırasında en önemli uygulama olabilir. Afet durumlarında, ağ altyapısını ve hassas uygulamalar için verimlilik, uçtan uca gecikme gibi önemli ölçümlerin performansının azaltılmasını içerebilecek bir altyapının yıkılması söz konusudur. Böyle bir durumda, Mobil IP ile entegre olan MANET, kurtarma işlemlerine yardımcı olmak ve kolaylaştırmak amacıyla afet bölgesi trafiklerine ulaşmak için kullanılabilir.

Çalışmada, uygulama ve simülasyon senaryolarının amacı yerine getirebilmesi için birçok hipotez olduğu varsayılmıştır. Bu varsayımların bazıları MIPv6 protokolleri üzerinde çalışırken belirlenmiştir bunlar:

- Yabancı Ajan'lar (Foreign Agent - FA'ler) ve HA'lar yakındaki ağ yönlendiricileri ile MN sinyal gücünü kaybetmeden bir yönlendiriciden diğerine kolayca dolaşabilir. Yönlendirme tablosu güncellemeleri gibi ağ yapılandırma iletilerini değiş tokuş etmek için de uygundur.
- Tüm FA'ler HA ile aynı özelliklere sahiptir, bazı düğümler için HA ve diğer düğümler için FA olarak işlev görebilir.
- NEMO-BS yönlendirme optimizasyonu mekanizmasıyla çalışırken, iletişim kuran mobil ağlar veya yönlendiriciler bir ağ alanında buluşabilir ve geçici ağı oluşturabilir.

Bu çalışma, hem MIPv6 hem de NEMO-BS protokolleri için mobil ağ için yönlendirme optimizasyon mekanizmasını bulmayı amaçlamaktadır. MIPv6, Proxy Mobile Internet Protocol (PMIPv6) veya HMIPv6 protokolü, düğüm mobilitesini desteklemek için kullanılabilir, ancak ağlar ve düğüm mobiliteleri için birlikte sadece NEMO-BS protokolü kullanılır. Ayrıca, bu protokoller ana bilgisayar veya ağ hareketliliği desteği olarak sınıflandırılır. MIPv6, ana bilgisayar tarafındaki düğüm hareketliliğini destekler. PMIPv6, ağ tarafındaki düğüm mobilitesini desteklerken, PMIPv6, hem ana bilgisayar hem de ağ tarafındaki düğüm hareketliliğini destekleyen hibrid protokoldür. NEMO-BS, birlikte ağ ve düğüm hareketliliğini desteklemek için MIPv6 protokollerinin uzantısıdır. Çalışmada sadece MIPv6 ve NEMO-BS protokolleri için düğüm tarafındaki düğüm ve ağ hareketliliğini destekleyen yönlendirme optimizasyonuna odaklanılmıştır. Bu nedenle, PMIPv6 ve HMIPv6 protokolleri (ağ desteği ve hibrit destek) mekanizmaları bu çalışmanın dışındadır.

Bununla birlikte, IETF WG tarafından sağlanan spesifikasyonda [29], bir mobil ağ tipik olarak kablolu ve dolayısıyla daha az güvenilir bağlantılar vasıtasıyla bağlanır; MR'ın arkasında birçok düğüm olabilir. Sonuç olarak, bağlantı kaybı ya da İnternete bağlanmanın başarısız olması bu nedenle tek bir mobil düğümden daha önemli bir etkiye sahiptir. Bu nedenle, mobil ağlara sürekli erişim sağlamak, tipik olarak çoklu arayüzlerin veya çok evli teknolojilerin kullanılmasını içerir. Bu çalışmada MR'ın çok evli durumlarda bağlantısı düşünülmemiş ve tartışılmamıştır.

Bu tez yedi (7) bölüm halinde yapılandırılmıştır. Birinci Bölümde (1), mobil ağların bağlantı yapılarını, mobil ağlardaki yönlendirme optimizasyonunun araştırma konularını, amaçlarını, varsayımlarını, bu tez çalışmasının önemini ve kapsamı açıklanmıştır. İkinci Bölüm (2) de, hücreler arası aktarma tekniklerini ve mobil ağlarda yönlendirme optimizasyonu ile ilgili kullanılmış son teknolojiler anlatılmıştır. Bu yönlendirme optimizasyon mekanizmalarının güçlü ve zayıf yanları, tek düğüm, alan arası ve alan içi mobilite gibi farklı senaryolarda da tanımlanmaktadır. Üçüncü Bölüm (3) de, IPv6 uzantılarını ve mobilite mesajlarını, MIPv6 ve NEMO-BS ağ işlemleri verilmiştir. Bu bölümde ayrıca iç içe yerleştirme NEMO-arası ve iç içe yerleştirme NEMO-içi ağ yapılandırması açıklanmaktadır.

Dördüncü Bölüm (4) de, tasarım, metodolojiler ve MIPv6 ve NEMO ağları için önerilen çözümler yönlendirme optimizasyonu verilmiştir. Beşinci Bölüm (5), Riverbed (OPNET) Simülatöründe tasarım, konfigürasyon ve programlanabilirlik içeren simülasyon

alışmalarını sunulmuştur. Altıncı Bölüm (6), önerilen yönlendirme optimizasyon mekanizmasının etkinliklerini ve performanslarını mevcut mekanizmalarla tartışılmış analiz edilmiş ve karşılaştırılmıştır. Performans analizi, uçtan uca gecikme, paket kaybı, sinyal verme ve tünel açma ve yönlendirme optimizasyonu ek yüklerinde verilmektedir. Ek olarak, önerilen mekanizmalarla elde edilen gelişmeleri sayısal analiz ve matematiksel olarak tartışmakta ve hesaplamaktadır. Son olarak, Yedinci Bölüm (7) de sonuçlar ve gelecekteki çalışmalar için önerilere yer verilmiştir.



2. LİTERATÜRDE YER ALAN ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Kablolu ağın aksine mobil ağ ya da MN hareketlilik nedeniyle uygun olmayan (suboptimal) yönlendirmeye uğrar. MIPv6 ve NEMO-BS sırasıyla tek MN veya mobil ağ için tasarlanmıştır, böylece alt optimal yönlendirme problemi ortaya çıkar. Çeşitli optimizasyon mekanizmaları mobil ağda alt optimum yönlendirme problemi ile mücadele etmek için literatürde bir çok çalışmaların yapıldığı görülmüştür. Fakat ağda AP'nin sık sık değişikliği nedeniyle mobil ağda veri kayıpları devam etmektedir.

Mobil ağda veri kaybı, hücreler arası aktarma gecikmesi, var olan uçtan uca gecikme, uç düğümler arasında güvenlik seviyesi, eklenen işlem gecikmesi, azaltılan sinyal ek yükü, yönlendirme optimizasyonu ek yükü, ek yük tünel kapsamı kantitatif ölçümü olmadan önerilen yöntemler değersiz olacaktır. Fakat kablosuz iletişim sistemlerinin olduğu gibi, hareketlilik nedeniyle hücreler arası aktarma paket teslim ve gecikme etkileyen ciddi sorunlar mevcuttur. Literatürdeki bakış açılarından, mobil ağda uygun olmayan azaltmak veya kaldırmak için düzgün hücreler arası aktarma ve yönlendirme optimizasyonu kullanarak en iyi performans elde edilebilir. Hücreler arası aktarma ve yönlendirme optimizasyonu mekanizmaları aşağıdaki bölümlerde açıklanmıştır.

2.1. Hücreler Arası Aktarma

Mobil ağ veya MN hareketlilik nedeniyle bir AP'den diğerine geçebilmektedir. Geçiş sırasında mobil ağ veya MN hücreler arası aktarma işlemi gerçekleştirmelidir. Düzgün bir hücreler arası aktarma olmadan yüksek hücreler arası aktarma gecikmesi nedeniyle paketler çok düşecektir. Hücreler arası aktarma gecikmesi, MN'nin son aldığı olan paketi önceki ağdan yeni ağa alınan ilk paket arasındaki zaman farkının alınmasıyla elde edilen zamandır. Bu gecikme zamanı iki türden oluşur:

- i. Kayıt gecikmesi; MN veya MR'nin yeni AR'ye kaydolması için geçen süredir.
- ii. Çözünürlük gecikmesi; Bir MN veya MR'nin CoA'yı yabancı ağda yapılandırması için geçen süredir.

Bu süre içinde, MN/mobil ağ HA ve CN'den paket gönderimi ve lımı yapamaz. MN/mobil ağ için hedeflenen tüm uçuş paketleri kaybolur. Bir sonraki alt bölümlerde, MIPv6 ve NEMO-BS için literatürdeki hücreler arası aktarma mekanizmaları açıklanmaktadır.

2.1.1. MIPv6 hücreler arası aktarma

Hücreler arası aktarma standart MIPv6 üzerinde MN iki AR arasında hareket ettiğinde gerçekleşir. Hücreler arası aktarma işlemi, MN mevcut link sinyaline göre yeni ve güçlü bir link sinyali tespit ettiğinde başlar. Özellikle gerçek zamanlı uygulama hassas uygulamalar sesli ve video konferans gibi hücreler arası aktarma gecikmesi ve paket kaybını azaltmak için IETF'a göre [30] MIPv6 üzerinde Fast-MIPv6 hücreler arası aktarma (FMIPv6) adı verilen hücreler arası aktarma mekanizması tanıtılmıştır. FMIPv6, MN'nin yeni bir alt ağ bağlantısı tespit ettiği anda ve Yeni Erişim Yönlendiricisi (New Access Router - NAR) bağlantıya olan bağlantısını tespit ettiğinde paketleri göndermesini ve teslim etmesini sağlamaktadır.

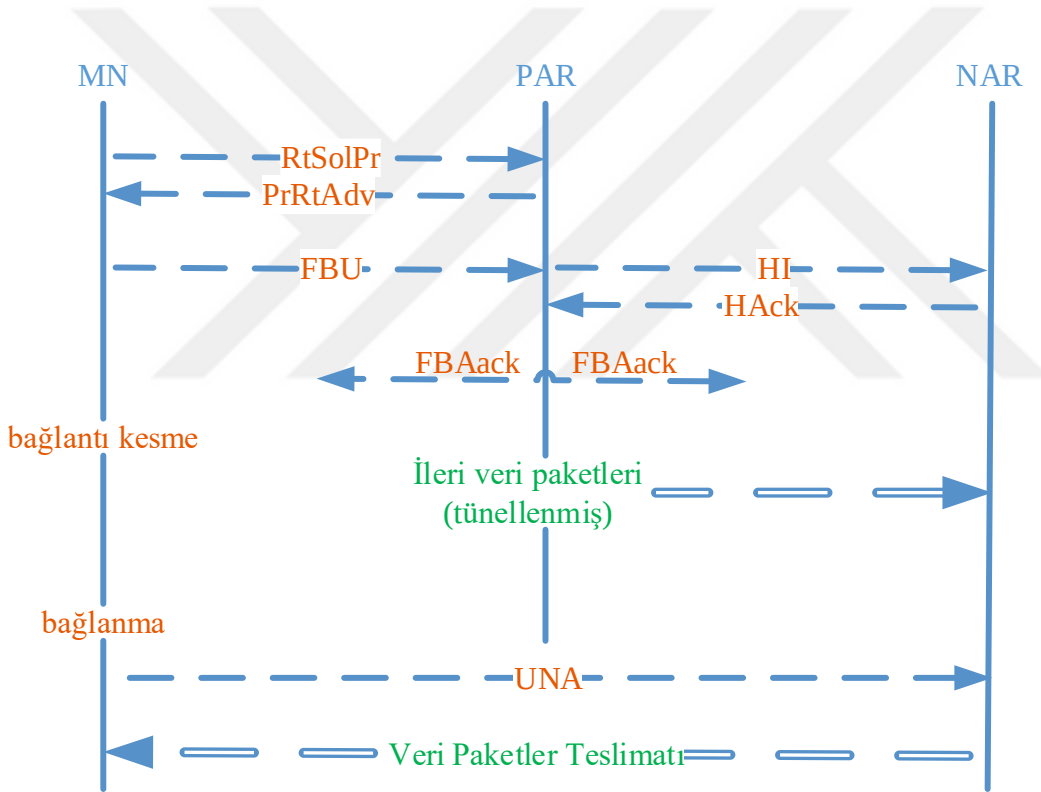
MN, yeni bir link alt ağı tespit ettiğinde veya yönlendirici bulma işlemi gerçekleştirdikten sonra Proxy için Yönlendirici İsteme (Router Solicitation for Proxy - RtSolPr) mesajı gönderdiğinde hücreler arası aktarma işlemi başlamaktadır. Yanıt olarak, NAR içeren bir veya daha fazla Erişim Noktası Kimliği ve Erişim Yönlendirici Bilgisi (Access Point-Identification and Access Router-Information - [AP-ID, AR-Info]) tanımlama grubu için AR Proxy Yönlendirici Reklamı (Proxy Router Advertisement - PrRtAdv)) mesajı gönderir. PrRtAdv mesajında verilen bilgilerle MN gelecekteki bir Yeni CoA (New CoA - NCoA) hazırlar ve Hızlı BU'yu (Fast Binding Update - FBU) Önceki Erişim Yönlendiricisiya (Previous Access Router -PAR'ya) iletir. FBU'nun amacı PAR'ın Geçmiş CoA'yı (Previous CoA - PCoA'yı) MN'nin NCoA'sı ile eşleştirmesini sağlamaktır ve gerektiğinde FBU'nun PAR'ın ağından gönderilmesi gerekir. Bu mümkün değilse FBU yeni link alt ağından gönderilebilir. Aşağıdaki olasılıklara göre FMIPv6 üzerinde iki adlı olan prediktif ve reaktif çalışma modlar vardır:

- FMIPv6'da önceki çalışma modu ile MN'nin PAR'dan Hızlı Bağlama Onayısı (Fast Binding Acknowledgement - FBack'ı) almasıdır. PAR, FBack'ı MN'ye iletmeden önce Hücreler arası aktarma başlatma (Handover Initialization - HI) ve hücreler arası aktarma onay (Handover Acknowledgment - HAck) mesajlarını paylaşarak CoA'nın NAR

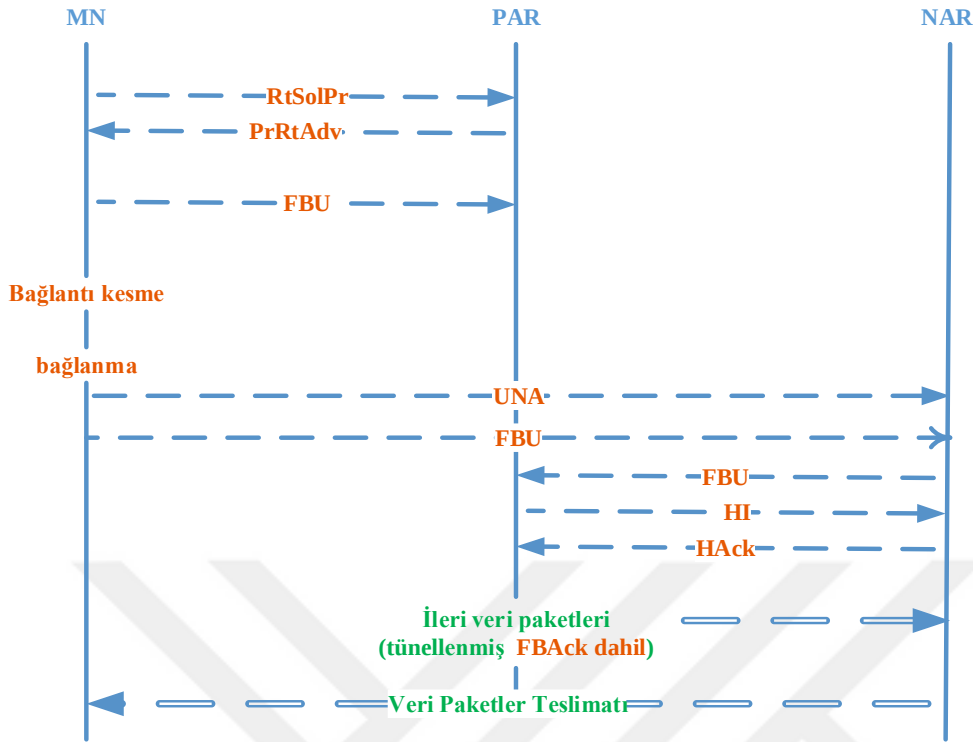
tarafından kabul edip etmediğini belirler. FBAck'ı aldıktan ve NAR'a bağladıktan sonra, MN hem gelen hem de arabellekteki paketlerin MN'ye tünellenebilmesi için İstenmeyen Ağ Reklamını (Unsolicited Network Advertisement - UNA) PAR'a gönderir.

- FMIPv6'da sonraki çalışma modu ile MN'nin önceki bağlantı alt ağında FBAck'ı almadığından dolayı MN FBU'yu göndermemiştir ya da MN FBU'yu gönderdikten sonra ağ bağlantısını bırakmıştır. PAR'ın FBU'yu başarıyla işlediğini veya kaybedildiğini onaylamadan önce ve MN sonraki olaydan FBAck almazsa, MN UNA mesajını gönderdikten sonra hemen FBU mesajını PAR'a gönderir.

Bu iki çalışma modu Şekil 2.1 ve Şekil 2.2'de gösterilmektedir.



Şekil 2.1. Prediktif fast hücreler arası aktarma



Şekil 2.2. Reactif fast hücreler arası aktarma

Alnas, M., ve Ark., göre [31] paket kaybını ve hücreler arası aktarma gecikmesini azaltmak için bağlantı katmanı bilgisine dayalı FMIPv6 hücreler arası aktarma geliştirilmesini önermektedir. Yeni bir ağ bağlantısı tespit edildikten sonra, MN'nin yakında L2 hücreler arası aktarma yapması için MN'nin L2-tetikleyicisi bağlantı katmanından tetiklenir. L2-tetikleyiciyi aldıktan sonra, MN FMIPv6 hücreler arası aktarma işlemini başlatır L2 hücreler arası aktarma gerçekleştirilmeden önce CoA (Prediktif MIPv6 için) yapılandırmasını bitirir. Bu MN'ye bazı karmaşık ve zaman kaybına neden olur. Çünkü MN, yeni CoA'nın tamamlanmasından sonra başlayacak olan L2 ve L3 hücreler arası aktarması arasında ilk hangisi olduğunu bilmesi için hiçbir ipucu olmaz. MN'nin PAR'dan yeni bir CoA elde ettikten sonra L2 ve L3 hücreler arası aktarma arasında karar vermek için link katmanından elde edilen bilgilere dayanarak MIPv6 üzerinde hızlı hücreler arası aktarma sistemi tanımlamak için Pi-Calculus algoritması kullanılmıştır. Önerilen FMIPv6 yaklaşımı hücreler arası aktarma gecikmesi ve paket kaybı açısından iyi performans göstermiştir. Hızlı hücreler arası aktarma protokolü, paket kaybını ve kanal mevcudiyeti ortaya çıktığında hücreler arası aktarma sırasındaki gecikmeyi en aza indirmeyi amaçlasa da simüle edilmiş tüm MIPv6 protokolleri bakımından daha kötü performans kaydedilmiştir.

FMIPv6 ile ilgili diğer literatür çalışmaları, hücreler arası aktarma sırasındaki performansı arttırmak için önerilmiştir. Hung ve Duong [32] Yinelenen Adres Algılama (Duplicate Address Detection - DAD) işlemini azaltarak hücreler arası aktarma gecikme süresini azaltmaya odaklanmaktadır. Hücreler arası aktarma işleminde alıcıların çoğunun DAD işlemidir. Toplam MIPv6 gecikme değerinin 1295,2 ms olduğunu yerde DAD gecikme değerinin 1000 ms olduğunu açıklamışlardır. DAD ve CoA yeniden yapılandırmasını gerçekleştirmemek için CoA'yı saklanabilir ve sonraki bağlantı ile yeniden kullanılabilir. MN'deki AR önbellek ilavesi, MN'nin geçmişte bağlandığı tüm AR'yi depolamak için önerilmiştir. AR önbellek kayıtları, MN'nin bağlandığı AR, kullanılan CoA adresi, bağlantı anında ve bağlantı aralığı gibi bilgileri içerir. MN hareket ettiğinde, hareket yönünü tahmin etmek için AR önbelleğinde veri madenciliği kullanılmıştır. Tahmin edilen yön, MN'nin en çok bağlandığı AR'ye ve AR önbelleğinin bağlantı anında önceliğine bağlı olduğu belirtilmiştir.

NAR'ın keşfedildiğinde MN, NAR'a RS mesajı gönderir. NAR'dan RA mesajı aldıktan sonra MN, alınan RA'ya göre CoA'yı yeniden yapılandırmak yerine ilgili CoA'yı AR önbelleğinde arar. Aksi takdirde MN, algılandığında NAR'da yeni olduğunu kararlaştırır. Bunun için yeni CoA konfigürasyonu alınan RA'ya göre bağlanıp DAD gerçekleştirilecektir. Bu yöntem FMIPv6 üzerinde yalnızca reaktif çalışma modunda mümkündür. Ancak prediktif çalışma modunda mümkün değildir. Prediktif FMIPv6, önceki link alt ağında FBAck'ı aldıktan sonra, NAR'ın NCoA'yı MN'ye tahsis ettiğini ve DAD işleminin atlanabileceğini garanti etikten sonra PAR ve NAR zaten HI ve HAck'i değiştirmiştir. Ayrıca, MN'nin hareketliliği, sadeliği ve kapasitesi nedeniyle MN'ye AR önbelleği uygulaması MNS'yi tüketecektir.

Alassaf ve Mellor göre [33] FMIPv6 üzerinde, Institute of Electrical and Electronics Engineering standart 802.11 (IEEE 802.11) protokolü ile entegre edildiğinde, her zaman reaktif hücreler arası aktarma işlemi nedeniyle IEEE 802.11 protokolü ile prediktif hücreler arası aktarma prosedürünü gerçekleştiremediğini belirtmiştir. Hücreler arası aktarma gecikme süresini ve gereksiz paket kaybını azaltmak için IEEE 802.11 protokolünün en uzun aşamasından kaçınmaya odaklanmıştır. Prosedür, standart FMIPv6 ile farklı değildir. Tek fark NAR, PAR'dan gönderilen tüm paketleri tamponlamaktır. Daha sonra MN, NAR'dan arabelleğe alınan tüm paketleri iletmesini istemek için Yabancı Ağ Reklamı (Foreign Network Advertisement - FNA) mesajı gönderir. Prosedür, NAR'ya arabellek büyüklüğü ile birlikte verimin %90'a ulaştığı belirtilmiştir.

Boutabia ve Afifi [34], reaktif hücreler arası aktarma işlemi modunu iki seçenekte sınıflandırmıştır: kayıplı reaktif mod ve kayıpsız reaktif mod. Kayıpsız mod, FBU'nun başarılı bir şekilde teslim edildiği ve tünelin PAR ve NAR arasında kurulduğu (HI/HACK vasıtasıyla) yerdir. Böylece L2 hücreler arası aktarma sırasında paketlerin kaybolmadığı MN yeni ağı bağlanana kadar NAR içinde tamponlandığı ve iletildiği belirtilmiştir. Kayıplı reaktif hücreler arası aktarma işlemi modu durumunda tünel PAR ve NAR arasında kurulmadığından FBU mesajı kablosuz bağlantıda kaybolmuş ya da HI/HACK mesajlarından biri kaybedilmiştir.

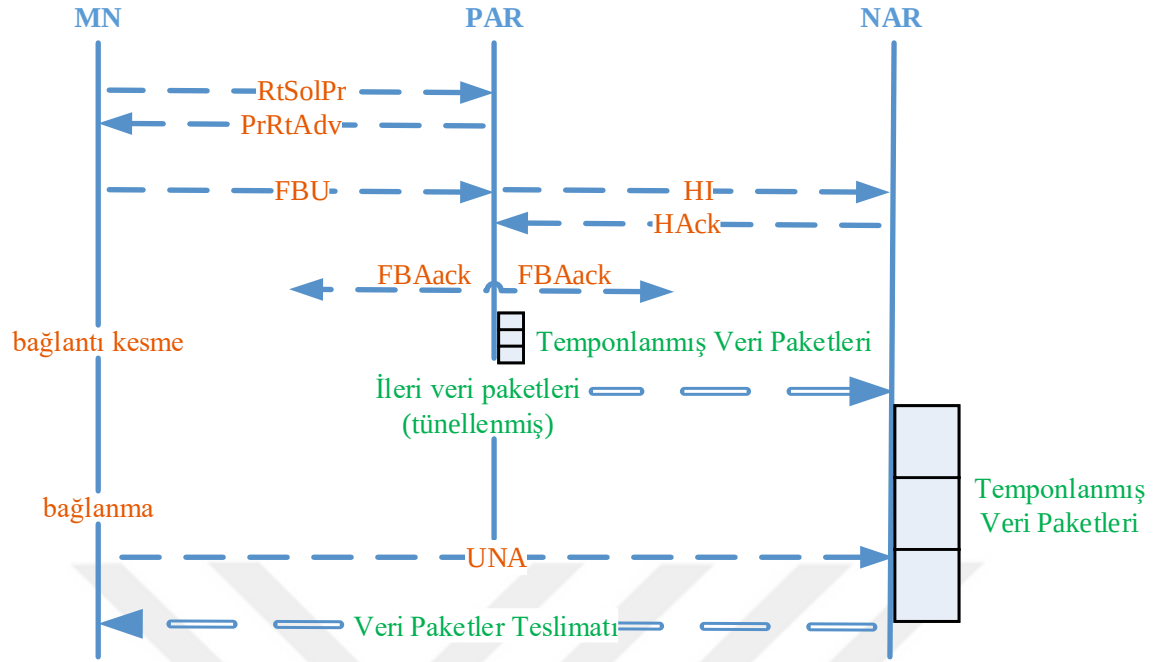
Standart FMIPv6 prediktif ve reaktif modda çalışır. Prediktif mod mobil ağda gerçekleştirildiğinde FMIPv6 hücreler arası aktarması sorunsuz şekilde başlar. Prediktif mod gerçekleştirilemeyen ağ, hücreler arası aktarma performansını düşürür. İletişimi ölçü derecesinde bozar. Boutabia M. ve Afifi H.'ye göre [34], MN'nin yeni yerine FBACk'ı ileterek prediktif mod olasılığını en üst düzeye çıkaran gelişmiş FMIPv6'yı önermektedir. Çözüm, hem MN hem de ağda medyadan bağımsız hücreler arası aktarma hizmetlerinin kullanılmasına dayanmaktadır. MN'nin geliştirme gereksinimini karşılaması için yeni durum makinesi tanımlanmıştır. FMIPv6 üçüncü katman protokolüdür, Transmission Control Protocol'ye (TCP'ye) benzer güvenilir taşıma hizmetleri kullanmadığından mesajların doğru teslim edilmesini sağlamaz. FBU veya FBACk gibi kaybolan mesajların yeniden iletilmesini sağlamak için geri-çekme (back-off) mekanizması tanıtılmıştır. FBU gibi mesaj gönderdikten sonra MN, belirtilen zaman aşımıyla geri-çekme zamanlayıcısı başlatır. Zamanlayıcı süre bitmeden önce MN, FBACk alamazsa FBI'yı tekrar gönderir. MN, geri-çekme zamanlayıcısını iki katına çıkarmaya devam eder, FBU'yu maksimum yeniden iletim denemelerine ulaşana kadar yeniden iletir ve NAR'ın FMIPv6'yı desteklemediği açıklanmıştır.

PAR'dan ayrılmadan önce MN'nin prediktif modda FBACk aldığı ve PAR ve NAR arasındaki tünelin kurulduğu bilinmektedir. Bir önceki ağ bağlantısından FBACk alınmamış olsa bile, FBU'nun başarılı bir şekilde alır ve PAR ve NAR arasında tünel kurulduğu halde prediktif mod olasılığını arttırmak için, Boutabia & Afifi [34], FBACk'ın MN'ye yeni ağ bağlantısına bağlanır bağlanmaz iletilmesini önermiştir. Sıradan FMIPv6'den farklı olarak, FBACk MN'nin eski ağ bağlantısına bağlı değilse FBACk kaybına neden olabilecek mevcut konumu güvenceye alınmadan paketleri tamponlama ve iletmeye başlamadan önce eski ağ bağlantısında MN'ye gönderilmiştir. PoA, MN'nin konumu hakkında AR'yi bilgilendirir.

FBAck buna göre teslim edilebilir. Bu durumda kontrol paketine yüksek öncelik verilir, FBAck yeni ağ bağlantısına tünellenecekse, kapsüllenmiş paketlerden ya da en azından birkaç kayıp paketten önce MN'ye teslim edilecektir. Önerilen hücreler arası aktarma mekanizması, FBU'yu PAR'a yeniden iletme gibi hücreler arası aktarma reaktif işletimi moduna koymalarını engellemek amacıyla FBAck'ın alınmasını beklemek üzere Bağlantı Aşağı Gider (Link Going Down - LGD) tetikleyicisinin durum makinesine MN'yi koyar. Bu PAR'da başarılı FBU teslimatına ve PAR ile NAR arasında tünelin kurulmasına bağlıdır. Dolayısıyla reaktif hücreler arası aktarma moduna MN'yi zorlamıştır.

Barbudhe ve ark'a göre [16], mevcut MIPv6 protokolünde hücreler arası aktarma gecikme ve paket kaybı problemini azaltmak için kullanılan mevcut yöntemlerden bazılarını analiz etmişler ve karşılaştırmışlardır. Tek bir mekanizmanın hücreler arası aktarma gecikmesini azaltma kabiliyetine sahip olmadığını aynı zamanda uçtan uca gecikme ve paket kaybı gibi tüm özellikleri azalttığı sonuçlandırılmıştır. Üstelik MN, CN'den hareketlilik tahmininin ve HA'dan tamponlama mekanizmasının yararlı olabileceği, KHan ve Andresen tarafından önerilen [35, 36] paket kaybı yöntemi probleminin azaltılması için önermişlerdir. Khan ve Andresen'in [35] mekanizması, düğüm mobilitesini ve paket kaybı sorununu azaltmayı destekler ancak gecikmeyi desteklememektedir.

Hücreler arası aktarma işlemi, mobil ağda yönlendirme optimizasyon işlemiyle entegre edilebilir. PAR tarafından CN'ye gönderilen FBU ile tamponlanmış paketler PAR'dan iletilebilir ve CN'den optimize edilmiş paketler sıra dışı MN'ye ulaşabilir. Sıra dışı paketlerinin MN'ye teslim edilmesi CN'nin onları ağdaki yoğunluk olarak göz önüne almasına neden olur ve TCP yoğunluk kontrol mekanizmasını başlatır. Böylece iletim penceresini kısıtlanması nedeniyle performansın düşmesine yol açar. Imran, S., ve Ko, YB'nin [37], NAR ve PAR'da arabelleği kullanan (Şekil 2.3'de gösterilmiştir.) yönlendirme optimizasyon mekanizması ile entegre hücreler arası aktarma mekanizmasını önermişlerdir. Paketlerin MN'de sekans dışı kalmasını önlemek için son paketin gelişi ile, MN'de sıra dışı paketleri ve CN'de TCP yoğunluğu kontrolü deneyim edilmemiştir. Ek olarak, 630 ms hücreler arası aktarma gecikmesine göre %100 verim kazanılmıştır. Çalışmada 1098 paket, PAR'a bir arabellek (PAR giden tamponlanmış paketler için arabellek uygular) ve NAR'a iki arabellek (PAR ve CN'den gelen paketler için) maliyetle iletilmiş ve teslim edilmiştir.



Şekil 2.3. Arabellek prediktif fast hücreler arası aktarma

FMIPv6 stratejisi hücreler arası aktarma sırasında paket kayıplarını etkin bir şekilde en aza indirmesine rağmen artan MN'lerde ve artan trafik hacminde, PAR ve NAR arasında sınırlı taşıma bağlantısı üzerinden yüksek tünel ek yükü maruz olur. Bu, paketler tünel işleme, paketlerin parçalanması olasılığı, sırasız paketleri, MN ve PAR arasında kablosuz bağlantının hata olasılığı, PAR ve NAR arasında bağlantının tıkanma ve tampon taşması gibi çeşitli performans bozulmalarına neden olur. Diğer taraftan, prediktif işleminin performans etkinliğinin MN hızına bağlı olduğu ve bu nedenle prediktif işleminin başlatılmasının zamanlaması yüzünden tünel yükü nedeniyle bağlantı kullanımına yol açtığı dikkate alınmıştır.

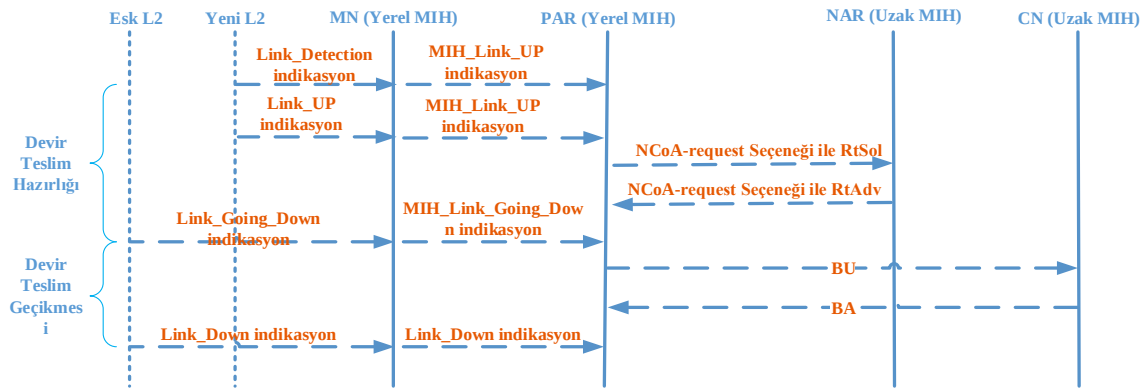
Yousaf, F. Z., ve ark. [38] tarafından FMIPv6 prediktif modundaki yüksek tünel yükü nedeniyle performansın karşılaştırmasını gerçekleştirmişlerdir. Prediktif FMIPv6 hücreler arası aktarma protokolünde PAR ve NAR arasında Proaktif Bağlamalar (Proactive Binding for Fast Mobile Internet Protocol version 6 - PB-FMIPv6) adı verilen optimize edilmiş tünel yönetimi önerilmiştir. PB-FMIPv6'nın üzerindeki konsept, NAR'ın MN yerine proxy mobilite hizmetleri yürütmesini sağlamaktadır. MN, ekli IPv6 Adres seçeneklerinde MN'nin HoA'yı, HA'yı ve CN (leri)'yi adresini taşıyan P-Flag setiyle PAR'a FBU mesajı gönderir. Proxy NAR (PrNAR), MN normal olduğu yerde hücreler arası aktarma işlemini tamamladıktan ve NAR'ın ağında IP yeteneğine sahip olduktan sonra MN'nin NCoA

kaydını HA'ya ve CN'ye gerçekleştirir. Bu hipotezin üzerindeki motivasyon, NAR'ın PAR'dan HI mesajını en kısa zamanda aldıktan sonra, MN için proxy etme şansı olduğunda, MN'nin NCoA'sının farkına varmasıdır. MN, PAR'dan verilmiş bilgiler alındığında, MN, PAR'dan uzaklaşırken ve NAR ile bağlantı işlem kurma sürecinde NAR kendi adına proaktif olarak bağlanmayı gerçekleştirir. Genel olarak NAR, PAR ve NAR arasındaki bağlantıda tünel açma olasılığını önlemek ve CN'den MN'ye olan yönlendirmeyi optimize etmek için öncesi-yönlendirme optimizasyon prosedürünü yürütülmüştür.

Yousaf F. Z., ve ark. [38] yapmış oldukları çalışmada, simülasyon sonuçları, bağlanma gecikmesi ve MN hızına bağlı olarak önerilen PB-FMIPv6'nın ve standart FMIPv6'ya karşılaştırıldığında azaltma hatırı sayılır derecede değişen tünelleme yükü %48'den %95'e kadar yükseldiği gösterilmiştir. PrNAR'daki datagram işleme mantığı daha karmaşıktır. Çünkü sıradan IPv6 data gramlarını ağdan başka herhangi bir yerden veya yalnızca PAR-NAR tüneli vasıtasıyla gelen IPv6 data gramlarını işlemez. Ancak MIPv6 kurallarına göre proxy etme ve işleme için MN'ye özgül mobilite mesajlarını ayırt etmenin ekstra yüküyle fark etmek zorundadır. Ve tüm işlem tek bir başarısızlık noktasına bağlanmıştır.

FMIPv6, prediktif ve reaktif olmak üzere iki mod'da çalışır. Hücreler arası aktarma işlemi prediktif mod'da gerçekleşirse, paket kaybı ve hücreler arası aktarma gecikmesi AR'lere küçük arabellek boyutu uygulaması veya arabellek uygulamasız olarak aslında azalacaktır. Buna karşılık, PAR ağındaki FBU başarısız olursa, MN yeni ağ bağlantısından tekrar FBU'ya göndermelidir. Bu durumda hücreler arası aktarma işlemi reaktif modda olacaktır. Bu işlem hücreler arası aktarma gecikmesini azaltacaktır. FBU başarımının olasılığını artıracak ve hücreler arası aktarma işleminin genel performansını olumsuz etkilemesinden kaçınacaktır. Paket kaybı, MN'nin eski ağ bağlantısındaki erişilemezliğine sebep olabilir ya da arabellek NAR'da aşırı yüklenebilir. FMIPv6 hücreler arası aktarmanın reaktif modu sırasında bu paket kaybını önlemek için PAR ve NAR'da mantıksal bir arabellek boyutu uygulanabilir. Prediktif hücreler arası aktarma işleminin MIPv6'da sıklıkla gerçekleştiği durumlarda, arabellek NAR'da uygulanmalıdır. Arabellek, reaktif hücreler arası aktarma işlemi sırasında PAR'da ya da hem PAR'da hem de NAR'da uygulanmalıdır. Her ikisi de uygulanırsa MN hücreler arası aktarma işleminin tamamlanmasından önce yönlendirme optimizasyonu etkinleştirilmişse, NAR tarafında sıra dışı önlem alınmalıdır.

FMIPv6 hücreler arası aktarma mekanizmasının dışında, Luo ve Nie [39] Şekil 2.4'te gösterildiği gibi, medya bağımsız el değiştirmesi desteğiyle dikey hücreler arası aktarmaya dayanan MIPv6 üzerinde gelişmiş hücreler arası aktarma mekanizması önerilmiştir. Bu mekanizmada MN'nin iki arayüzü vardır: Arayüzlerinden biri mevcut AR ile iletişim kurar diğeri ise yeni ağ bağlantısını dinler. MN yeni ağ bağlantı alanına herhangi bir zamanda taşınırsa ikinci ara yüz oluşturduğu tetikleyiciyi (Bağlantı Tespiti Olayı) raporlayıp yeni ağ bağlantısı tarafından L2 bağlantısı kurar. L2 hücreler arası aktarma işleminden sonra MN'deki ikinci arayüz NCoA istekte bulunarak L3 hücreler arası aktarma işlemine hazırlanabilir. NCoA için NAR'dan bir yanıt almasının zamanında, MN'nin ikinci arayüzü CoA'yı yapılandırır ancak BU'yu hem HA hem de CN'ye göndermez. Bunun yerine, MN'nin QoS'un (yani, LGD, LPR olayı) degradasyonu/bozulduğunu gösteren ara yüzden bildirilen L2 olayı olana kadar PAR ile birinci ara yüz üzerinden iletişimi sürdürmesi gerekir. Medya bağımsız el değiştirmesi herhangi bir ara yüzden rapor aldığı anda hemen ikinci ara yüze geçip MN, CN'den ikinci ara yüzde başarılı bir şekilde paketlerini başarıyla aldığı anda BU önce CN'ye sonra HA'ya gönderir. Bu durumda, L2 hücreler arası aktarma gecikme süresi atlanarak ve en çok zaman alan L3 hücreler arası aktarma işlemi sırasındaki DAD işlemi atlanarak hücreler arası aktarma gecikmesi azaltılabilir. Bu mekanizması hücreler arası aktarma gecikmesi yalnızca BU'nun gönderilmesi ve CN'den BA alınması ile etkilenmiş fazlasıyla azaltılmıştır.



Şekil 2.4. Medya bağımsız el değiştirmesi destekli vertikal hücreler arası aktarma

Gupta ve ark. ve Khan ve Andresen [35, 40] taraftan hücreler arası aktarma işlem sürecinde gecikmeyi azaltmak için değiştirilen mesajlara odaklanmaktadır. Gupta ve ark, DAD'yi kaldırarak ve MN kendine yönlendiricinin CoA'yı yapılandırmasına izin vererek hücreler arası aktarma gecikmesini azaltmak için mimari yapılandırmasını önermiştir. Khan ve ark,

tarafından, CN'de MN hareketlilik prediktif ve tamponlanma mekanizması önerilmiştir. CN, MN'nin olasılık hareketini bir yerden diğerine hesaplamaktan sorumludur. Mobil CN, MN'lerin demetiyle/grupla haberleşirse bu çözüm kaynak sorunu problemi ile karşı karşıya kalabilir. CN geçici belleği, hesaplanan tüm verileri korumak için çok kısa gecikmeye sebep olabileceği belirtilmiştir.

2.1.2. NEMO hücreler arası aktarma

Daha önce açıklandığı gibi NEMO-BS, MIPv6, PMIPv6 ve HMIPv6 protokollerinin uzantısıdır. NEMO ağlarındaki hücreler arası aktarma mekanizması, minimum hücreler arası aktarma gecikme ve mobil ağda paket kaybı elde etmek için ana bilgisayar ya da ağ desteğinin kullanılmasını içerir. Aslında NEMO tarafından önerilen hücreler arası aktarma mekanizmalarının çoğu, tek düğüm mobilitesini destekleyenlere benzerdir. Prashanthi ve Kayalvizhi [41] Geçici Bağlama Güncelleme (Tentative BU - TBU) mekanizması kullanılarak PMIPv6 ve Ağ Mobilite için geliştirme hızlı hücreler arası aktarmada (Extended Fast Handover for NEMO -EfNEMO'da), hızlı hücreler arası aktarmanın geliştirilmesini önermiştir. Çalışmada NAR'dan gelen TBU, NCoA'yu içeren FBU'da kapsüllenen hızlı hücreler arası aktarma geliştirilme mekanizmasında HA'ya iletilmiştir.

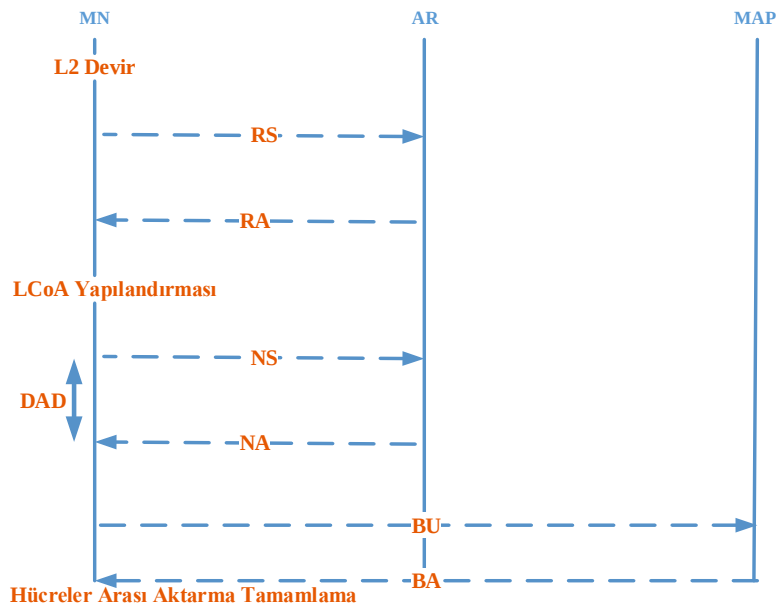
Önerilen bir başka mekanizmada [41], MN ya da MR'ın aynı Ev Ağı Önekini (Home Network Prefix - HNP'ni) yerleştirilmiş alanda tutmasını, MN ya da MR'nın mevcut yerini HA'da saklamasını ve MN ya da MR yerinin ön kaydını gerçekleştirmesini sağlar. MN yada MR, ikinci katman tetiklenip TBU'yu kapsüllenen Yeni Mobil Erişim Ağ Geçidine (New Mobile Access Gateway NMAG'a) FBU mesajı gönderdikten sonra Önceki Mobil Erişim Ağ Geçitinden (Previous Mobile Access Gateway - PMAG'dan) TBU'yu başlatır. NMAG HI mesajını alır, NCoA'yı doğrulayıp mesaja cevap verir. Bundan sonra NMAG, NCoA'yı kaydetmek için TBU mesajını Yerel Mobilite Bağlaya (Local Mobile Anchor - LMA'ya) gönderir. TBU doğrulanırsa, CoA BCE'deki geçici CoA alanı içinde saklanır ve LMA geçici ve Erken BA (TBA) mesajını MN'ye geri gönderir. TBA'yı aldıktan sonra MN, bağlama bilgiyi güncellemek için LMA ile genel NCoA kaydını başlatmaktadır.

Tang, W., ve ark. [42] PMIPv6 ağında etki alan-arası hücreler arası aktarma mekanizmasının eksikliği ve uzun hücreler arası aktarma gecikme problemini çözmek için prediktif hızlı hücreler arası aktarmaya dayalı yeni NEMO çözümü önermişlerdir. Paket kaybı sorunu hem

Önceki Mobil Bağlantı Noktası (PMAP) hem de Yeni Mobil Bağlantı Noktasına (New Mobile Anchor Point - NMAP'a) arabelleklerin tanıştması ile tamamen kaldırılmıştır. MR, LMA alanı içinde hareket ettiğinde paket kaybını azaltmak için hem PMAG hem de NMAG'de arabellek uygulanmış dışında PMIPv6'da öngörülen hızlı hücreler arası aktarma işlemi ile aynı olduğu görülmüştür.

İç etki alanı geçiş durumunda Eski-MIPv6 hızlı hücreler arası aktarma kullanılırsa, DAD işlemi nedeniyle uzun hücreler arası aktarma gecikmesine neden olabilir. HI/HACK mesajı, mesajın alan-arası geçiş olarak kullanıldığını belirtmek için yeni bir "I" bayrağı eklenecek şekilde değiştirilmiştir. PMAG'dan HI mesajı aldıktan sonra Önceki LMA (Previous LMA - PLMA), Yeni LMA (New LMA - NLMA) ile temasa geçmiştir. Bunun NLMA'yı, bağlantı tetikleyicisi gerçekleşmeden önce Mobil Yönlendirici-Kimliği (Mobile Router ID – MR-ID) ve HNP'ye başarması için sağlar. Simülasyon ve analiz sonuçları, önerilen mekanizmanın hücreler arası aktarma gecikmesini azaltabileceğini ve iletişim performanslarını geliştirebileceğini göstermektedir.

Literatürlerdeki diğer çalışmalarda [43, 44] HMIPv6 kullanarak hücreler arası aktarma mekanizmaları önermiştir. Şekil 2.5'te HMIPv6 hücreler arası aktarma olarak mesaj sıralaması gösterilmektedir.



Şekil 2.5. HMIPv6 hücreler arası aktarma işlemi

Mustakim ve Juhana [43], Paralel Çoğalt Adres Tespiti'ni (PDAD) kullanarak hücreler arası aktarma gecikmesini azaltmak için hücreler arası aktarma mekanizmasını önermişlerdir. Bu mekanizmaya göre, NCoA ve Bölgesel CoA'yı (Regional CoA'yı – RCoA'yı) yapılandırmak için, MN ya da MR, NMAP'ye başlatılmış LCoA ve DAD işlemi oluşturmadan önce hem PAR hem de NAR'a RS gönderilir. Hem PAR hem de NAR'dan RA aldıktan sonra, MN ya da MR, BU'yı HA ve CN'ye gönderebilir. Chaki ve Niyogi [44] tarafından, MR aynı AR ve Mobil Bağlantı Noktası (Mobile Anchor Point - MAP) altında başka MR'ye (yani yuvalanmış NEMO-BS'de) taşırken MAP'dan Hierarchical Fast Handover for NEMO (H-FNEMO) kullanarak fazla yükü azaltmak için hücreler arası aktarma mekanizmasını önermişlerdir. Buna göre MR, AR'ye RtSolPrt ve FBU mesajı gönderdikten sonra AR, NCoA'yı oluşturup NCoA'nın var olup olmadığını kontrol etmek için HI düşük seviye MR'sine gönderir. Bu işlemden sonra AR, MR'ye PrRtAdv mesajını geri gönderir ve aynı zamanda düşük MR, HI mesajına cevap olarak HAck mesajını AR'ye geri gönderilir. Düşük MR'den HAck aldıktan sonra AR, MR tarafta bilgiyi güncellemek için bu mesajı MAP'a gönderir ve aynı zamanda her iki MR'a FBA mesajı göndermektedir.

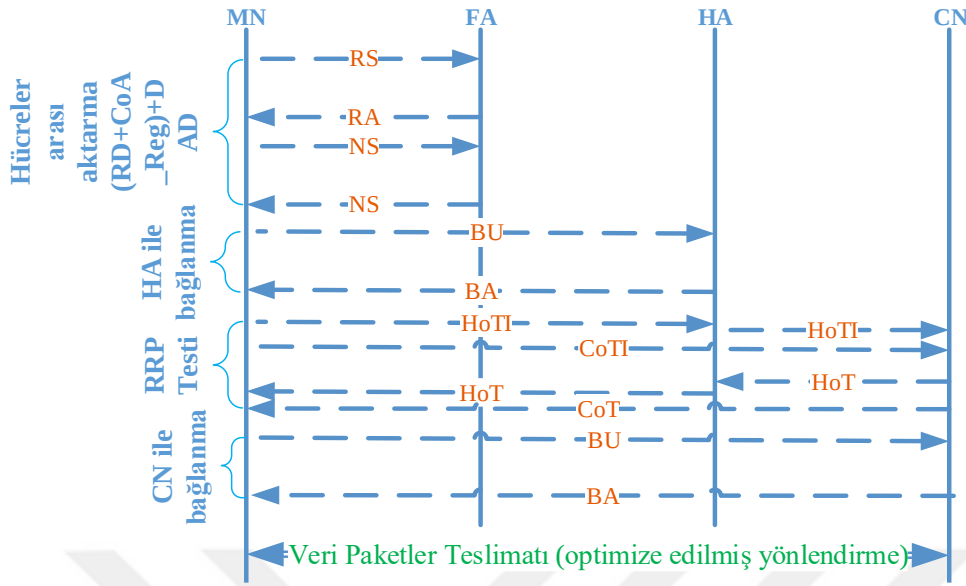
Mitra ve ark. [45] beklenen gelecek hücrelerden CoA elde etmek için Fast and Route Optimized EMO NEMO (FRONEMO) hücreler arası aktarma mekanizmasını önermişlerdir. Minimum kontrol sinyalleriyle yönlendirme optimizasyonunda önek yetkilendirme tekniğini kullanılmıştır. AR'lerin periyodik olarak koordinatlarını ve IP adreslerini değiştirmesi varsayımıyla her bir AR, komşu AR'ler niyetine karşılığı olan koordinatlarını ve IP adreslerinin bağlanma tablosunu tutar. MR, Geçmiş CoA (Previous CoA - PCoA), Şimdiki CoA (Current CoA - CCoA) ve Gelecekteki CoA (Future CoA - FCoA) adlandırılan üç CoA ile yapılandırılmıştır. Aynı zamanda her bir AR, DAD mekanizmasına ihtiyacını ortadan kaldırmak için idari alanlarındaki MR'ler tahsis edilmiş IP adresleri yerine bir önbellet tablosu tutmaktadır. MR, PAR koordinatlarını içeren mobil ağın varlığını bildiren UNA (Unsolicited Network Advertisement) modifikasyonunu Şimdiki Erişim Yönlendirici'ye (Current AR - CAR) gönderir. FRONEMO ve NEMO-BSP arasındaki analitik simülasyon sonuçları daha yüksek verim, düşük paket kaybı, daha önemli ölçüde düşük hücreler arası aktarma gecikmesi ve aynı anda FRONEMO'nun daha yüksek araç hızını destekleyebileceğini göstermiştir.

2.2. Yönlendirme Optimizasyonu

Yönlendirme optimizasyonu, MN ve MR arasında HA'ları ile bulunabilecek çift yönlü tüneli önleyerek etkisiz yönlendirme, gecikme ve paket tünel ek yükü gibi alt-optimal üstesinden gelmek için kavramsal yaklaşımdır. Bu etkisizliği önlemek için CN'den MN'ye ya da mobil ağa gelen paketlerin ev ağı vasıtasıyla geçmesi gerekmez. CN ve MN ya da mobil ağ arasındaki paketler HA'ya geçmeden direkt olarak değiştirilir. Atık durumu, NEMO-BS kullanan mobil ağın yuvalanmış şekilde bağlanması zamanında ortaya çıkar. Standart NEMO-BS protokolü için, MN'ye ulaşmadan önceki paketler çoklu kapsülleme ile çok HA'lara geçmektedir. Literatür olarak hem MIPv6 hem de NEMO-BS ağlarında yönlendirme optimize etmek için çeşitli yönlendirme mekanizmaları tanıtılmıştır. Bu mekanizmalar aşağıdaki alt bölümde tartışılmaktadır:

2.2.1. Dönüş yönlendirilebilirlik prosedürü

Dönüş Yönlendirilebilirlik Prosedürü (Return Routability Procedure - RRP), IETF [3, 4] tarafından tanıtılan standart yönlendirme optimizasyon mekanizmasıdır. Talep edilen MN CoA'yı MN'den BU'yu kabul etmesi için CN taraftan güvence verir. Şekil 2.6'da gösterildiği gibi CN, jetonları MN ile değiştirilip iki ayrı mesaj gönderdikten sonra BU'yu MN'den kabul edebilir; Ev Test Başlangıcı (Home Test Init - HoTI) ve Test Bağımlı Başlangıcı (Care-of Test Init - CoTI). Bu mesajların her birini kendi jetonu gizli anahtarı ile (K_{mn} -- sadece MN tarafından bilinen) şifrelenmiştir. Bundan sonra CN gizli anahtar K_{cn} oluşturmak için her iki jetonu kullanıp iki ayrı mesajı geri gönderir: Ev Sına (Home Test - HoT) ve Sına Bağımlı (Care-of Test - CoT). Bu iki mesaj her birine kendi jetonu ile MN'ye gönderilmiştir.



Şekil 2.6. RRP operasyonel akışlarını kullanarak MIPv6 yönlendirme optimizasyonu

İki mesaj (HoTI ve CoTI), CN'den HoT ve CoT talep etmek için MN tarafından CN'ye gönderilir. HoTI, kaynak adresi olarak HoA kullanılarak HA'ya tünellenir aynı anda CoTI, kaynak adresi olarak CoA ile doğrudan CN'ye iletilir. HA, HoTI'yı MN'den kapsül çıkarıp CN'ye iletir. CN, bu iki mesajı (HoT ve CoT) ile aynı yolu kullanarak yanıtlar. Tüm bu mesajlar mobilite başlığı tip 1 içinde taşınır. Bu işlemten sonra MN, paylaşılan jetonu kullanarak CN ile BU'ya gönderebilir. Diğer taraftan CN, talep edilen CoA ile MN'den BU'yu kabul edebilir. Daha sonra CN, tüm paketleri doğrudan MN CoA ağına gönderir.

RR Testi işlemi başlamadan önce MN, FA CoA'yı edinerek yeni bir yönlendiriciye taşındığını ve ev ağında olduğunu keşfetmek için Yönlendirici Buluş işlemini kullanır. MN, yönlendirici isteme mesajı gönderip yönlendiriciden "Yönlendirici Reklamı veya Ajan Reklamı" yanıt olarak alır. Bazı durumlarda yönlendiriciler düzenli olarak Ajan Reklamı göndermek için yapılandırılmıştır yada Ajan Reklamı göndererek alınan herhangi bir yönlendirici isteme mesajına yanıt vermek için kullanılmıştır. Yönlendirici buluş işleminden sonra MN, yabancı ağdaki herhangi ana bilgisayar ile herhangi çift kopya adresi önlemek için yeni yönlendirici DAD ile CoA Kaydı birlikte gerçekleştirir. Daha önce açıklandığı gibi bu üç işlem, (Yönlendirici Buluş, CoA Kaydı ve Çift Kopya Adres Tespiti) MN'nin yeni bir ağa hücreler arası aktarma sırasında bazı mantıksal gecikmeyide ilave eder. HA'ya yönlendirilen tüm paketlerin paket kaybını azaltmak için MN, RR Testi yapmadan önce BU'yu HA'ya gönderir.

Mobil olmayan ağı aksine MIPv6'nın RRP'nin, CN'den MN'ye giden yönlendirmeyi optimize etmediğini ve belirli MIPv6 ağı güvenlik seviyesi sağlamak için kullanıldığı bilinmektedir. RRP temeli yönlendirme optimizasyonu, hafif mekanizması ve önceden paylaşılmış kimlik doğrulama anahtarları gerektirmemesi avantajına sahiptir ve ayrıca CN statüsünü korumamaktadır [19]. Bunun nedeni, adrese evi testi ve adrese bağımlı testinin MN ile CN arasında, MN ile HA arasında ve HA ile CN arasında mesaj değiştiğini kapsamasıdır. MN her iki test tamamlanana kadar CN ile doğrudan iletişime geçemediği için hücreler arası aktarma işlemi zamanında yüksek gecikmeler olmaktadır.

Al-Saedi ve ark. ve Le ve ark. [46, 47] tarafından MIPv6 ağı için RRP yönlendirme optimizasyon yöntemi kullanarak bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Goettingen Üniversitesi Enformatik Enstitüsü tarafından geliştirilen ağ yapısına dayanarak, Al-Saedi ve ark. [46], verim ve gecikmeye dayalı RRP mekanizmasının sonuçlarını analiz etmesine karşın Le ve ark. [47], mobil ağda ek yük ve akış kontrolü sinyallerinin sonuçlarını değerlendirmişlerdir.

2.2.2. Gelişmiş MIPv6 yönlendirme optimizasyon mekanizmaları

RRP mekanizmasının dışından, mobil ağdaki alt optimallik etkilerini azaltmak için literatür tarafından çeşitli geliştirilmiş yönlendirme optimizasyon yöntemleri önerilmiştir. Böyle bir öneri, [24] yönlendirme optimizasyonu için mevcut güvenlik çözümlerini, tehdit modelini açıklanmıştır. Güçlü/Değiştirilmiş Dönüş yönlendirilebilirlik (Robust/Revised Return Routability - RRR) olarak bilinen geliştirilmiş bir yönlendirme optimizasyonu önerilmiştir. RRR, IPsec'e dayanarak sunulmuş basit güvenlik çözümüne sahip yönlendirme optimizasyonudur. CN'nin, MN'den BU aldıktan sonra keygen jetonu hesaplamak yerine herhangi MN durumunu depolaması gerektirmez. Güvenlik mekanizması sağlamak için, mobil ağa katılan tüm oyuncuların (yani HA, CN ve MN) saldırıyı atlatacak bir biçimde güvence altına alınmış ve hiçbir güvenlik açığı bırakmaması için doğrulanmış ve ispatlanmış olmasını gerektirmektedir. Mekanizma, IPv6 için University of Murcia-Public Key Infrastructure (UMU-PKIPv6) adı verilen Kamusal Anahtar Altyapısı (PKI), MN'nin onaylanması, CN ve değiştirilmiş RRP, HA ve MN arasındaki güvenli bağlantıya dayalıdır. Bu prosedür, daha az sayısı kontrol mesajı kullanması dışında mesaj değiştiği olarak RRP'ye benzer. Keygen jetonu HA tarafından üretilmiş nedeniyle ev test mesajlarını ve MN ile CN arasındaki keygen jetonunu ortadan kaldırmaktadır.

Le D. ve Chang J. ve Zolfagharnasab H. [23, 26], tarafından hem MN HoA'sı hem de CN HoA'sını taşımak için Tip 2 Yönlendirme Başlığı (Type 2 Routing Header - T2RH) ve Ev Adresi Seçenek Başlığı (Home Address Option Header - HADOH) yerine tünel başlığına dayalı yönlendirme optimizasyon mekanizması önermişlerdir. Mekanizma, hem MN hem de CN'nin mobil cihaz olduğunu durumlarda önerilmiştir. Zolfagharnasab [26], tarafından üç mekanizma; çift yönlü tünelleme, yönlendirme optimizasyonu (T2RH ve HADOH kullanır) ve tünel-dayanmış yönlendirme optimizasyon yöntemlerinin etkinlikleri ve performansları tartışılmıştır. Üç mekanizma, paket ek yük %100, %6.6, %3.3, %2.74 ve gecikme %3, %1 ve %1 olarak gösterilmiştir. İyileştirilmiş tünel-dayanmış, paket yönlendirme optimizasyonu ek yük %0 ve gecikme 1 sn olduğu belirtilmiştir. Geliştirilmiş tünel-dayanmış yönlendirme optimizasyonu, paket yönlendirme optimizasyon ek yükünün azaltılmasında daha iyi olmasına rağmen hala üçgensel ve paket kapsülleme (tünel ek yükü) mevcuttur.

Bo ve ark. [21] tarafından, HA eve dönüş testi başarısız olduğunda MN'nin erişilebilirliğini sağlamak için MIPv6 iletişimi olarak geliştirilmiş yönlendirme optimizasyon mekanizması önerilmiştir. Bu mekanizma, HA'ya erişilemese bile paketlerin MN ve CN arasında değiştirilmesini sağlar. CN'ye MN bağlanma kaydı prosedürü, yalnızca bağımlı-testini yapılmadan ev-testini Kriptografik olarak Üretilmiş Adres (Cryptographically Generated Address - CGA) doğrulamasına dayanmaktadır. Ancak CN'deki prosedür, evdeki keygen jetonun normal doğrulanmadan, gelen BU'yi doğrulamak için güncelleştirilmiştir. Bağlama önbelleğine bir bit fazladan eklenmesi önerilmiştir. HA'ya ulaşılamazsa ve ev dönüş-testi yapılamazsa ya da HA'ya ulaşılabilirse ve ev dönüş-testi gerçekleştirilebilirse eklenen bit değerinin tamamlanmamış ya da tamamlanmış durumu ile bağlama vardır. Bit değeri, MN'ye daha fazla veri iletme olasılığı olduğu sürece önbellek girdisini tutmalı ve durum tamamlanmadığında bağlama önbelleğini sona erdiğinde CN'nin işlemlerini etkilemektedir.

Jia, W. K. [22] tarafından, hem BU hem de güvenlik prosedürlerinin tersine dayanan Trafik Kontrollü/Tahrikli Sözde Bağlama Güncellemesi (Traffic Driven Pseudo Binding Update - TDPBU) yönlendirme optimizasyonu önermiştir. Bu mekanizmada MN, HA'dan tünellenmiş paket aldıktan sonra BU'yu yalnızca HA'ya (MN, BU'yu CN'ye göndermez) gönderir. MN doğrudan CN'ye paket gönderip kaynak adres olarak CoA'yı kullanır ve HADOH'de HoA'yı koyar. Bu paketleri aldıktan sonra CN, CoA'yı hedef adres olarak ve HoA'yı T2RH'ye yerleştirip paketleri doğrudan MN'ye göndermeye başlayabilir. Güvenlik

ile ilgili olarak yani MN ve CN arasında her ikisinin de aynı güveni paylaştığı zaman, RRP testinden kaçınılabilmek için statik anahtarın yapılandırılmasını önermişlerdir. CN MN'den gelen bağlayıcı bilgilere güvenmezse MN ve MN'nin HA'sı güven ilişkisine sahip olması anlamında MN'nin HA'sı kullanılarak İsteğe Bağlı Posta Doğrulama (Option Post Authentication - OPA) prosedürü yapılır. Bu mekanizma, MN yabancı ağına ulaşan ilk paketlerin suboptimal yönlendirme ve tünellerinden geçmekte olduğu görülmektedir.

Al-Farabi K. M. ve Kabir M. H. [20] yapmış oldukları çalışmada, ağ geçişi sırasında MN hücreler arası aktarmasından dolayı paket kaybı azaltma mekanizmasını önermişlerdir. Mekanizma, CN taraftan hareketlilik öngörüsü ayrılışına ve HA taraftan tamponlama mekanizmasına dayanır. CN, MN'nin ayrılma olasılığını hesaplamak için Bağlama Önbelleğinde (Binding Cache - BC) üç özellik daha tutar. Bu özellikler; sayaç (*c*), olasılık (*p*) ve uyarlanır eşik (*th*) tir. Sayaç, her zaman CN Zamanaşım Süresi (Time to Live - TTL) ile BU birlikte MN'den alındığında yeniden başlar. Aynı MN'nin CoA'sından BU aldığı zaman artırır ve eşik hesaplamak için kullanır. CN gönderilen TTL süresi boyunca paketleri MN'ye göndermesine izin verilir ve kayıt yaşam süresini hesaplaması gerekir. Sonra olasılık ve eşik tamponlama mekanizması aktivasyon noktasını ayarlar. CN, ayrılmayı tespit ettikten sonra veri paketlerinin kopyalarını HA'ya göndermeye başlayabilir. HA, CN tarafından gönderilen paketleri tamponlar ve BU'nun TTL değerinden alınan yaşam süresine dayanarak tamponlama yaşam süresini ayarlar. HA, BU'yu MN'nin yeni CoA'sından aldıktan sonra paketleri bırakacaktır. Mekanizma, MN'nin yeni CoA ağından bağlama alınmadan önce paketleri tamponlamak için HA'yı kullanır, HA'da tamponlanmış paketlerin kopyaları alt-optimal yönlendirmeye geçtiğinden uçtan uca gecikmeyi arttırdığı belirtilmiştir.

Shah ve ark. [25] tarafından, Zaman-Dayalı Bir-Zaman Şifre (Time-based One-time Password - TOTP) yönlendirme optimizasyonu iki fonksiyon ile birlikte kullanıldığı bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. İletişimin başında Düğümün Durum İsteği (NS_REQ) göndererek, CN MIPv6 uyumluluğunu ve paylaşılan gizli jeton hesaplamasını doğrulamak için MN ile CN arasında sinyal verilir. Bu mekanizmadaki jeton, iletişim başlangıcında Eliptik Kavis Diffie-Hellman (Ecliptic Curve Diffie Hellman - ECDH) anahtar değişimi kullanılarak hesaplanmıştır. MN, yabancı ağdan CoA adresi aldıktan sonra RRP'deki gibi BU'ya göndererek CN'ye CoA kaydı yapabilir. Bu mekanizma, BU doğrulamak için herhangi üçüncü parçaya güvenmez. ECDH kamusal anahtarının oluşturulması, rastgele sayı seçilip kullanılan Karmaşık Dönüştürme Rutin Kodlaması (Complex Conversion Routine

Encoding - CCRE) kodlanarak gerçekleştirilir. Mekanizma hücreler arası aktarma sinyalini ek yükü düşürür çünkü, diğer tarafın doğrulanması gerekmedikçe, hücreler arası aktarma için yalnızca bir kez gerçekleştirilir. MN, bağlanma yaşam süresi girişi süre bitecek yerine düğümler (HA ve CN) BC'de bağlanma girişi olup olmadığını kontrol eder ancak periyodik BU'yu HA ve CN'ye göndermez. BC girişi için trafik varsa, düğüm yaşam süresi önceki ilk değerine basitçe sıfırlandığı belirtilmiştir.

Meng R., ve ark. [48] tarafından, gelecekteki mobilite yönlü uygulamalar uygun olarak altta düşük-gecikme hücreler arası aktarma ve yönlendirme optimizasyon yöntemini elde etmeye çalışmışlardır. PMIPv6 ve MIPv6'ye göre iki geliştirilmiş mekanizma önermişlerdir. MIPv6'daki güvenilirlik yalnızca MN ile HA arasında korunmuştur. Bu mekanizmada, MN yeni bir Ağ geçidine bağlandığında MN ağ geçidi ile güven bağı kurar. Bu yönlendirme optimizasyon yöntemi, özellikle MN'nin HA'dan uzakta olduğu durumlarda hücreler arası aktarma gecikmesini iyileştirir. Hücreler arası aktarma gecikmesi Eski-MIPv6'nın yarısıdır. Diğer durumlarda önerilen yöntemin, kısa-yaşam-süresi bağlantılarıyla ağlarda standart MIPv6 ile karşılaştırıldığında ek yükü azaltması beklenmiştir. Bu yönlendirme optimizasyon yöntemi, HoTI ve HoT mesajlarının HA yerine aktif ağ geçidi aracılığıyla değiştirilmiş RRP'ye benzemektedir.

Hata M. ve ark. [49] tarafından, MIPv6 yönlendirme optimizasyon problemlerine odaklanılmıştır. RRP yerine hareketlilik yönetimi için belirtilen Yazılım Tanımlı Ağlar (Software Defined Networks – SDN) dayalı uçtan uca yönlendirme mekanizması önerilmiştir. Önerilen yöntem, MN'nin SDN alanlar karşıya hareket etmesinden sonra mobilite için akış işlemleri, bant genişliği ve alan sayısı gibi çeşitli parametrelere dayanarak uçtan uca gecikmeyi optimize etmektedir. Bu mekanizmadaki düğümler, etki-alanları hücreler arası aktarmadan sonra düşük gecikmeyle iletişim kurar ve yönlendirmesi sık sık değişerek oluşabilecek bağlantı kesilmesini önler. Bu yöntem, RRP yöntemi yerine standart MIPv6 protokolüne odaklanmıştır.

Barbudhe, A. K., ve ark. [16] tarafından, farklı yönlendirme optimizasyon mekanizmaları karşılaştırılmıştır. Barbudhe, A. K., ve ark, yönlendirme optimizasyonlarının temel probleminin, ciddi paket kaybına sonuçlandıran sinyal kontrol mesajı değişimi nedeniyle hücreler arası aktarma gecikmesi ve kayıt gecikmesi olduğunu belirtmişlerdir. Daha iyi bir yönlendirme optimizasyon mekanizması geliştirmek için minimum hücreler arası aktarma

gecikme süresi, CoA kayıt süresi, içerik oluşturma süresi, bağlama kayıt süresi, güvenlik sağlama ve sinyal gecikme süresini iyileştirme gibi önemli özelliklerin dikkate alınması önerilmiştir.

2.2.3. NEMO yönlendirme optimizasyon mekanizması

IETF [6] tarafından, NEMO-BS protokolünde yönlendirme optimizasyonunu dahil etmemişlerdir. Ancak Ng, Zhao ve ark. [15], yönlendirme optimizasyon mekanizması önerirken veya tasarlarlarken iç içe yerleştirme olmayan NEMO, iç içe yerleştirme NEMO, NEMO-Arası, NEMO-içi iletişim, iletişim yolundaki HA sayısının azaltılması (yani, pinball yönlendirmesi), tünel sayısının azaltılması, protokol sinyali ek yükünü azaltması ve altyapı ek yükünü azaltması kriterleri dikkate alınması gerektiğini belirtmişlerdir. Bu kriterler dikkate alındığında, önerilen yönlendirme optimizasyon mekanizmasının ev ağında darboğazdan kaçınması, verimli veri teslim etmesi, bağlantı arızasına yatkınlığının azaltılması, genel ağ kaynaklarının tüketimini azaltması ve gecikmeyi azaltması gibi faydaları sağlaması gerektiğini belirtmişlerdir. Yukarıda sayılan farklı kriterler nedeniyle, literatürde birçok araştırma önerisi mevcuttur.

NEMO-BS, MIPv6, PMIPv6 ve HMIPv6 protokollerinin bir uzantısı olarak, NEMO-BS'daki yönlendirme optimizasyon mekanizmalarının önerileri yaklaşımını dikkate almaktadır. Bu yaklaşımı [50], Mobile IP Route Optimization for NEMO (MIRON) [51], NEst Route Optimization for NEMO (NERON) [52] ve [53-55], Üst Seviye Mobil Yönlendirici (Top Level Mobile Router - TLMR) kullanan RRP dayanan yönlendirme optimizasyon mekanizması önermişlerdir. NIRON, MIPv6 Dönüş Yönlendirmesinin dışında standart IPv6 Komşu Keşfi (Neighbor Discovery - ND) protokol işlemlerini de kullanmıştır. Mobil ağda döngü oluşumunu, rakip MR'ler arasındaki yarış koşullarını, pinbal yollarını, çoklu kapsüllemeleri ve özyinelemeli IP datagram parçalanmasını önlemek için iki yaklaşım kullanılmıştır. Buna göre, NERON'un sıfır tünel ek yükü üstüne çektiği ve herhangi yeni varlık ya da propriyete/tescilli destek protokolü tanıştırmadığı sonucuna varılmıştır. Ancak önerilen çözüm, iç içe yerleştirme mobil ağ için yönlendirme optimizasyonunu iyileştirmemektedir.

Prakash A. ve ark. [53, 54] tarafından, iç içe yerleştirme mobil ağlarda yönlendirme optimizasyonunu gerçekleştirmek için kök-MY'ın (root MR - rMR) CoA'sını kullandığı bir

çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bu mekanizmada, tüm MR arkasındaki iç içe yerleştirme MR'ler için bağlama önbellek tutmaktadır. rMR, CN'lerle devam eden iletişim oturumları olan tüm aktif MNN'ler için bağlama önbellekte tutar. CN'den rMR'ye haberleşme, MNN'nin HoA adresine ayarlanan sonraki sıçrama noktasıyla T2RH/seyrek yönlendirmeyi kullanır. LFN'ler de yönlendirmeyi optimize etmek için bu mekanizmayı kullanır. MR, LFN'ler yerine yönlendirme optimizasyonu görevi gerçekleştirmek için proxy olarak çalışmaktadır. Bu mekanizma, iki tip bağlama önbellekler kurulması gibi MR'lerin ve MNN'lerin hafif değiştirilmesini gerektirir. Prakash ve ark. [53] tarafından, iç içe yerleştirme mobil ağ içinde iletişim kuran MN'ler arasındaki yönlendirme optimizasyonu belirtilmemiştir. Bu durumda Genişletilmiş Mobil IP (Extended Mobile IP - EMI) [53] tarafından, iç içe yerleştirme mobil ağı geçiş yapmaya MR'lerin yol bilgisini içeren genişletilmiş T2RH'yi inşa etmesine izin vermek için yerel bağlama güncelleme bilgisinin kullanılmasını önermişlerdir.

Ayrıca, Sornlertlamvanich ve ark. [50] tarafından, MNN ve CN arasındaki üst düzey MR için, BU MIPv6 yönlendirme optimizasyonu yönetimi önerilmiştir. Bu mekanizma, mobil ağlarda iç içe yerleştirme düzeyinin paket ek yükü üzerinde bir etkisi olmadığı sonucuna varılmıştır. Ek olarak, Dinakaran, M., ve Balasubramanie, P. [56] tarafından, düşük düzey MR MNN'si ve yüksek düzey MR arasında, yüksek düzey MR ve yüksek düzey HA tünel arasında ve yüksek düzey HA ve CN arasında bağlantı kurmak için TLMR ve HA'ların kullanılmasını önermişlerdir. Bu mekanizmada, üst düzey MR ve yüksek düzey HA arasında tek tünel vardır. Kabir ve Atiquzzaman [57] taraftan, her MR için iki CoA'ya ve iki tür yönlendirme tablosu girişine (sayıdüzenle ve ziyaret eden) dayalı yönlendirme optimizasyon mekanizması önermişlerdir. Her MR için CoA'lar, Yerel-CoA (Local CoA - LCoA) ve kök-CoA'dır (root CoA - rCoA). rMR alanı altında, normal CoA yerine rCoA'yı MR'nin HoA'sı ile eşleştirilmiştir. Sadece bir BU mesajının kullanıldığı mekanizmada, iç içe yerleştirme NEMO içindeki pinball yönlendirmesini ve tünelleri kaldırmaktadır. CN'den gelen ilk datagram, ilgili HA ile TLMR arasındaki tek tünelden MNN'ye ulaştığı belirtilmiştir.

Bauer ve Liu L. Ve Zhang [58, 59] tarafından, havacılık ortamı için uygun yönlendirme optimizasyon mekanizması tanıtılmıştır. Mekanizma, yüksek düzey güvenlik sağlamak için sertifika kimlik doğrulamasına dayanmaktadır. Bu mekanizmada Yönlendirici Noktası (Correspondent Router -CR) tanıtılmıştır. CR, CN'nin ağında bulunur ve MR ile yönlendirme optimizasyon işlemini gerçekleştirir. MNN'ler ve CN arasındaki iletişim, CR

ve MR arasında ya da RRP kullanan CR ve MNN'lerin HA'ları arasında kurulur. Buradaki RR yöntemi, MIRON, NERON, vb. tarafından benimsenen MIPv6 tanıtılana benzemektedir. Ancak HoTI, MR'ın (Mobile Network Prefix - MNF) taşıyan önek alt-seçeneği içerir. Bu mekanizma, NEMO-BS temel protokolü üzerinde uygulanmasını diskalifiye edebilecek yeni varlık ortaya koymaktadır.

NEMO tarafından diğer yaklaşım ise, [60, 61] önerilen proxy mobilite desteğidir. Barman ve ark. [60] tarafından, ağ elemanları sadece Ağaç Kök Tanımlamasına (Tree Root Identification - TRI) dayanan bir mekanizma ile değerlendirilmiştir. Teklifin ana odağı, ağ katmanı mobilite şeffaflığını sağlamaktadır. Ve iç içe yerleştirme ağ hiyerarşisinde çoklu tünellerin azaltılmasını sağlamaktadır. Mobil ağ iç içe yerleştirme moda bağlandığında hiçbir yönlendirme optimizasyonu mekanizması düşünülmemiştir. Buna karşılık, Mousa ve ark. [61], NEMO-Centric MANEMO'ya (NCM) dayalı yönlendirme optimizasyon mekanizması fikrini ortaya koymuştur. Bu fikir, inter NEMO ve intra NEMO iletişim için bir yönlendirme optimizasyonu olarak değerlendirilmiştir. Proxy Ev Ajansı (Proxy Home Agent - PHA) kullanarak mevcut altyapıları kullanmaktadır. PHA internet altyapısına dağıtıldıkça, PHA, ulaşabilecekleri MR ve MR'nin arkasındaki MNN'leri kolayca bilgi değiştirebileceğini varsaymıştır. Bu yaklaşım, pinball yönlendirmesi ve çoklu başlık kapsüllemesini azaltmış ve mevcut proxyleri kullanmıştır. Ancak, MR ve CN arasında trafik değişimi olduğunda, tek yönlü tünel oluşturmaktadır. Ayrıca, PHA çalışan herhangi bir HA cihazı olarak yüksek bellek ve yüksek işlem toplanmasını gerektirmektedir.

Mohammed ve ark. [62] tarafından, iç içe yerleştirme ağ mobilite problemlerini bahsedilen mevcut NEMO yönlendirme optimizasyon tekniklerini araştırmışlardır. Tünelleme ek yükünü, hücreler arası aktarma gecikme süresini ve paket iletim gecikmesini azaltmak için genel ağ performansını artırmak için yeni yönlendirme optimizasyon mekanizmasını geliştirmişlerdir. Önerilen yönlendirme optimizasyon mekanizması, PMIPv6 protokolü ve Alt-Alan Üst Düzey MR (Sub-Domain Top Level MR - SD-TLMR) arasındaki karma yaklaşım kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ve BU uzantı mesajı biçiminde kısa süreli güncelleme ile her alt-alanının SD-TLMR ön-kaydını önceden kullanmaktadır. BU mesajı SD-TLMR'den HA'ya gönderildiğinde, kesintisiz mobiliteyi genişletmek için mesaj biçiminde yeni bayrak eklenmiştir. Ek olarak önerilen yönlendirme optimizasyon mekanizması, PMIPv6 alanı ile birleştirilmiş iç içe yerleştirme NEMO'de MNN'lerin alt-

alanı MNP'sini bulunan mobil ağın HA'sına (HA = LMA) kaydetmek için MNP seçeneğinde BU ve BA mesaj biçimini genişletmektedir.

Yapılan çalışmalarda [63-66] Hiyerarşik yaklaşımlar önerilmiştir. Senan ve ark. [63], iç içe yerleştirme NEMO için yönlendirme optimizasyon mekanizması önermektedir. Mekanizma Yönlendirme Optimizasyon Ağacı Bilgi Seçeneğine (Route Optimization Tree Information Option - ROTIO) dayanmaktadır. İç içe yerleştirme mobil ağdaki MR'ler ve MNN'ler, TLMR'nin (MAP) mobil ağ önekinde dayanan RCoA ve AR'sinin mobil ağ önekinde dayanan Yerel CoA (LCoA) olarak yapılandırılmıştır. İç içe yerleştirme mobil ağ içindeki MNN'lerin iletişimi için yönlendirme optimizasyonu belirtilmemiştir. Hiyerarşik yaklaşıma ek olarak, [67, 68] tarafından sırasıyla Mobil Bağlantı Noktası Yönlendirme Optimizasyon Düzeni (Mobile Anchor Point Route Optimization Scheme - MROS) ve Yerelleştirilmiş Yönlendirme Optimizasyon Düzeni (Localized Route Optimization Scheme - LROS) önerilmiştir. Bu düzenler, MN'nin bölgesel yönetimde kayıt maliyetini azaltmak için MAP yaklaşımını faydalı hale getirmektedir. MR'deki tüm mobil ağ, yerel MAP alanı haline gelir. MAP seçeneği, HoA_MR'yi içeren MR'den bütün MN'ye Yönlendirici Reklamı (RA) ile yayılır. Bu düzene göre VMN, BU'yu inşa eder, HoA'nın kendisini ve MR'ı birleştirir ve bunu bağlamak için HA'ya gönderir: yani HoA_VMN <-> HoA_MR eder. VMN, MAP alanı içinde hareket ederse, önce yeni CoA (LCoA_VMN) alıp BU'yu bağlamak için MR'a gönderir: HoA_VMN <-> LCoA_VMN. BU'yu VMN'nin HA'sına göndermesini gerektirmemektedir. VMN'nin MAP alanının dışında hareket ederse, BU'yu VMN'nin HA'sına göndermesi gerekmektedir. Ancak, MNN-CN listesi ve CN listesi sırasıyla MR ve VMN'de veri yapısı asistanı ile korunan MROS ve LROS, NEMO-BS ile ilgili pinball yönlendirmeyi ortadan kaldırmaktadır. Bu mekanizmalar, alan-içi içinde dolaşım yapan MNN'lere en iyi şekilde uygulanabilir. Ancak, alandaki iki MNN'nin intra nested NEMO iletişiminde uygulanamaz.

Ayrıca, Senan ve ark. [63] tarafından, Bağlama Güncelleme Ağacı (Tree BU - TBU) ile hiyerarşik yapı kullanan iç içe yerleştirme NEMO ağı için yönlendirme optimizasyon mekanizması önermektedir. İç içe NEMO'nun TLMR'si, iç içe yerleştirme NEMO için HMIPv6 üzerinde MAP olarak teklif edilmiştir. Böylece, iç içe yerleştirme NEMO'nun tamamı TLMR altında yerel MAP alanı haline gelir. MAP, tüm MNN'ler/MR'lar için BC'yi muhafaza edecektir. Ve ROTIO'nunki gibi iç içe yerleştirme NEMO'da CN'tan MNN'ye optimum yönlendirmeyi elde edecektir. MR'ler ve MN'ler, iç içe yerleştirme mobil ağdaki

iki CoA'yı TLMR'nin (MAP) mobil ağ öneğine dayalı olarak RCoA ve Erişim yönlendiricisinin (MR veya sabit yönlendirici) mobil ağ öneğine dayalı olarak LCoA (On-link CoA) yapılandırır. Hiyerarşik yaklaşıma ek olarak [69], ağ yapımına dayalı olarak diğerlerinden farklı yönlendirme optimizasyon mekanizması önermiştir. MR'lerin CoA'sı, rMR öneğine göre (yani topolojik olarak yanlış adres konfigürasyonu (Topologically Incorrect Address Configuration – TIAC)) yapılandırılır. Ancak TLMR örneklerini hiyerarşik düzenler dayalı olarak yapılandırmaz. Dolayısıyla, MR aynı iç içe yerleştirme mobil ağ içinde dolaştığında, yönlendirme bilgilerini yalnızca TLMR'sine günceller ve adresini değiştirmek zorunda kalmaz. Bu mekanizmada her MR, yerel BU ve küresel BU olarak iki tip BU mesajı gönderir. Yerel BU ve küresel BU sırasıyla rMR'ye ve HA ve CN'ye MR tarafından gönderilir. Bu düzen TIAC adres yapılandırmasını kullandığı için, rMR değiştiğinde adres konfigürasyonu nedeniyle paketlere ek yük getirmektedir.

Gao ve Guo [70] tarafından, hiyerarşik hareketlilik yönetimi mimarisi önerilmiştir. Standart NEMO-BS ve HMIPv6'yı birleştiren iç içe yerleştirme NEMO'da (inter NEMO ve intra NEMO) yönlendirmeyi optimize etmek için yeni mobilite kayıt düzeni önerilmiştir. Ayrıca mekanizma, HMIPv6'da kullanılan MAP'nı benimsemiştir. MAP, mobilite yönetimini iç içe yerleştirme NEMO içindeki yerel yayılma aralığıyla sınırlar. MAP işlevi, TLMR'da uygulanır. NEMO-BS'deki çift yönlü tünelin bulunmasını önlemek için, TLMR ile HA arasında tek yönlü tünel kurulur. Ek olarak, hiyerarşik mimari ağ kaynağı kullanımını ve genel mobilite kaydı yükünü azaltır. Bu alandaki her MR'ın adresini içeren genişletilmiş MAP seçenek mesajı (MAP'nin CoA'sını ve tüm aşağı akım MR'larını depolamak için daha fazla adres yuvaları genişletir) tanıtılmıştır. Mesaj, MR'lar arasındaki bağlantı ilişkisini oluşturmak için yönlendirici reklam mesajı yoluyla iç içe yerleştirme NEMO'daki MAP'tan MN'ye yayılır. Genişletilmiş MAP seçeneğini göndermeden önce, MAP'nın CoA'sı seçeneğin ilk adres alanına ekler. Bu seçeneği MR'dan aldıktan sonra, ortadaki MR'ler CoA'larını art arda konsekan yuvalara ekler. MN'ye ulaşana kadar seçeneği düşük akımı anahtarlara iletir. Hiyerarşik kayıt düzeni daha sonra iç içe yerleştirme NEMO içindeki yönlendirme optimizasyonu gerçekleştirmek için MR'lar arasındaki topoloji ilişkisini kullanır. MN, önce MR'den bağlı olan Yerel-CoA (LCoA_MNN) alarak, hiyerarşik mimari altında MAP'a yerel kayıt elde edebilir. BU'yu uzak HA'sına göndermek yerine ve bağlamak için Yerel Bağlama Güncellemesi (LBU) MAP'ye HoA_MNN :: LCoA_MNN'yi gönderir: Bundan sonra MAP, yerel kaydı tamamlamak için MNN'ye Yerel Bağlama Onay (LBA) ile

yanıt verir. Uzaktan BU (RBU), yalnızca MNN MAP'nın alanından çıktığında HA'ya gönderilir. Ve RBU'nun bağlama ilişkisi HoA_MNN :: HoA_MAP'dir.

NEMO'daki yönlendirme optimizasyonu için yerel mobilite yönetimi mesajı olan Kaynak Yönlendirme BU (Source Routing BU - SRBU) [71] önerilmiş çalışmada MR veya MNN MAP alanına taşındığında, LBU yerine SRBU'yu MAP'a göndermektedir. Yerel kayıt yapmak için genişletilmiş T2RH ile gönderme işlemi gerçekleştirilmiştir. Yoldaki orta MR'ler, bağlanma önbelleklerini SRBD içeriğine göre tutarlar. Orta MR'ler SRBU aldığı zaman, MNN'nin (yani HoA_MNN :: LCoA_MNN) bağlanma ilişkisini kendi bağlanma önbelleklerine kaydederler. Aynı şekilde MR, MAP alanına girdikten sonra MNN ile aynı işi yapacaktır. Aradaki fark, bağlanma ilişkisinin MR'nin CoA'sı ve iç içe yerleştirme NEMO öneki (yani MNP) olmasıdır. Örneğin, MRi'den SRBU CoA_MRi'yi içerir. Son olarak, SRBU katılımı tamamlandığında MAP, MR ve MN'nin bütün bağlanma ilişkilerini depolayacaktır. Analitik sonuçlar, NEMO-BS ve Ters Yönlendirme Başlığına (Reverse Routing Header - RRH) göre daha düşük mobilite kayıt maliyetini ve paket teslimatı ek yükünün olduğunu göstermiştir.

Zhi ve ark. [72] tarafından, HMIPv6 ve NEMO-BS'e dayalı yeni yönlendirme optimizasyon düzeni önermiştir. Üçgen yönlendirme problemini çözmesi ve paket ek yükü ve iletişim bağlantısının gecikme performansını iyileştirmek için Havacılık Telekomünikasyon Ağı (Aeronautical Telecommunication Network - ATN) önermiştir. Bu mekanizmada yönlendirmeyi optimize etmek için LMA yönetim alanını kullanır. Mekanizma LMA kullanım nedeniyle paket NEMO yerleşik düğümlerinden ya da Paket NEMO yerleşik düğümlerine HA'lar tarafından gönderilmesine gerek yoktur. TLMR, NEMO'daki MN'ler için proxy olarak çalışır ve CoA'yı MNN için yapılandırır. LMA, MNN'lerin çok noktaya yayın bilgilerini saklar. LMA, çok noktaya yayın grubuna katılmak için proxy olarak çalışır. Daha sonra çok noktaya yayın paketlerini MNN'leri bağlayan NEMO alanına yönlendirir. MN yeni NEMO alanına hareket ettiğinde veya yeni çok noktaya yayın grubuna katılmak istediğinde, MN LBU yoluyla aracılığıyla NEMO alanının TLMR'sine kaydolar. LBU, MN'nin HoA'sı, Mobil Ağ Önek Seçeneği (Mobile Network Prefix Option - MNPO) ve Çok Noktaya Yayın Destek Seçeneğini (Multicast Support Option - MSO) içerir. MNP, HA tarafından mobil ağ olarak önek bilgisini göstermektedir.

DHCPv6'yı kullanarak, TLMR yerel CoA'sını otomatik olarak yapılandırır. MN, optimize edilmiş yönlendirme ile yeni çok noktaya yayın grubuna katılmak isterse, MSO ile LBU'yu TLMR'ye göndermesi gerekir. TLMR LBU'yu aldığı anda, BCE'yi güncellemek için yeni çok noktaya yayın grup kimliğini (ID) BCE'ye eklenir. TLMR, yeni çok noktaya yayın bilgilerini içeren, LBU'yu LMA'ya teslim eder. LMA, LBU'yu alır ve çok noktaya yayın alanına katılan MN için proxy olarak davranır. Çok noktaya yayın kaynağı LMA'nın birleşim prosedürünü onayladıktan sonra, çok noktaya yayın paketlerini LMA'ya gönderir. Daha sonra LMA, paketleri BCE'ye göre TLMR'ye iletir. TLMR paketleri herhangi bir zaman alırsa, BCE'yi kontrol eder ve paketleri istenilen MN hedefine iletir.

Bhattacharya ve ark. [73] tarafından, iç içe yerleştirme NEMO senaryosunda yeni hiyerarşik bağlantı mekanizması önermiştir. Mekanizma, daha iyi hizmet kalitesi için uygun iç içe yerleştirme seviyesine bağlanması için açıkça yeni MNN'ye bilgilendirir. Yeni önerilen bağlantı mekanizması, iç içe yerleştirme NEMO ortamında hücreler arası aktarma gecikme süresini geliştirir. Bu mekanizmada, her MR yeni MNN özgü kılmak için mevcut IP adreslerinin listesini içeren tablo tutar. Ve iç içe yerleştirme NEMO'daki MR'dan herhangi birine bağlanmak için MNN'nin başlangıçta RA mesajı aldığı varsayılmıştır. Bundan sonra MNN, üst MR'sini keşfeder ve MR'ın altındaki konumlandırılan IP adresini bulmak için sorgu mesajını gönderir. Bu sorgu mesajı, TLMR'ye ulaşana ya da mevcut MR'daki müsait IP bulunana kadar tekrarlı olarak mevcut MR'ın üst MR'sine taşınır. Uygun iç içe yerleştirme seviyesini (yani *n-seviyesini*) tanımlandıktan sonra, ikinci kopyalan adres algılama/tespiti için çalışır ve MNN'nin kayıt işlemi ile en sonunda hücreler arası aktarma sonlandırır.

Phang ve ark. [74] tarafından, AODVv6 yönlendirme protokolünü kullanarak inter NEMO ve intra NEMO yönlendirme optimizasyon mekanizmasını önermiştir. Yönlendirme keşfi, izlemesi ve bakımı için AODV yönlendirme protokollerinde var olan özellikleri kullanırlar. İç içe yerleştirme ağdaki pinball yönlendirme ve paket ek yükü (IP-in IP kapsüllemesi) gibi performans verimsizliği yok sayılmıştır. NEMO'daki, ajan başına paket kapsüllemesi orijinal NEMO-BS kullanılması ile sadece paket kapsüllemesinin ek yükü tahmin edilmiştir. Bu mekanizmada mobil ağ internete bağlıysa konuyla ilgili değildir. AODV yönlendirme protokolü yalnızca MANET üzerinde uygulanmaktadır. Çünkü internet ortamında uygulanan çözümü diskalifiye edtmektedir. Yol keşfi, paket teslimatının başlangıcında ve her hücreler arası aktarma sonrasında ekstra gecikme meydana getirmiştir.

Mosa ve ark. [13] tarafından yapılan çalışmada ise yönlendirme optimizasyonu sorunları açıklanmıştır. NEMO yönlendirme optimizasyonunun farklı senaryolarını vurgulanmış ve önerilen çeşitli yönlendirme optimizasyon mekanizmalarını analiz edilmiştir. Pinball yönlendirme problemlerine çözüm sağlamak için iç içe yerleştirme NEMO'daki yönlendirme optimizasyon mekanizmaları tartışılmış ve simülasyon sonuçları karşılaştırılmıştır. Her mekanizmanın kısmi çözüm sağladığı ve önerilen mekanizmaların çoğunun gerçek hayatta test edilmediği sonucuna varmışlardır. MANET'in MN veya MR aralarında yerel bağlantı sağladığından, iç içe yerleştirme NEMO moda'da ve aynı alanda bağlıysa, iki MR arasındaki yönlendirmeyi iyileştirdiğini önermişlerdir. Böylece OLSR, iç içe yerleştirme NEMO için daha esnek yönlendirme optimizasyonu sağladığı belirtilmiştir. Çünkü aynı alanda iki MR bağlandığında (NEMO-arası iletişimi) internet altyapısı üzerinden iletişimi önlemektedir.

Kong ve ark. [75] tarafından, RRH, Optimize edilmiş Yönlendirme Önbellek (Optimized Route Cache - ORC) protokolü ve optimize edilmiş oturumlar için kota mekanizmasının (Quota Mechanism for Optimized Sessions - OWR) kullanımını kombinasyon içeren yeni NEMO yönlendirme optimizasyon mekanizması önerilmiştir. Yönlendirme optimizasyonu sırasında, körlüğü önlemek için oturum seçimi mekanizmasında bazı iyileştirmeler yapılmıştır. Önerilen mekanizma için elde edilen simülasyon sonuçlarından, ORC ve RRH ile benzediği belirtilmiştir. Fakat OWR'in performansı en azından iyi olmuştur. İç içe NEMO'daki optimal yönlendirme maliyeti, RRH'inkine kıyasla daha düşüktür. OWR mekanizması, belirli oturum sayısı için en uygun yönlendirme ayarları alabilmiştir.

Qiang ve ark. [76] tarafından, veri iletişimi yönlendirme sürecini optimize etmeye ve uçtan uca gecikmeyi minimize etmeye odaklanan bir çalışma önermişlerdir. Adaptif düzen iki alt-düzenden, yükselmiş mobilite senaryoları için iyi çalışan mobilite-şeffaflık alt-düzeni ve düşük mobilite, büyük iletişim trafiği senaryosu için iyi çalışan zaman-kazandırıcı alt-düzen oluşmuştur. Mevcut durumda hangi alt-düzenin uygulanması gerektiğini belirlemek için eşik μ kullanılmıştır. Zaman-kazandırıcı alt-düzen n değeri 1 olduğunda varsayılmıştır. Mobilite-şeffaflık n değeri 2 olduğu belirtilmiştir. Burada n , iç içe yerleştirme veya HA sayısıdır. TreeID alanı yeniden tanımlanarak Ağaç Bilgisi Seçeneği (Tree Information Option - TIO) mesajı kullanılmış ve yeni alanı F eklenmiştir. TreeID değeri, TLMR'nin (CoA-TLMR) CoA'sı veya TLMR HoA'sı olarak ayarlanmıştır. Bu sırada, alanının F değeri, TreeID'nin adres kategorilerini göstermektedir. TreeID'nin değeri CoA-TLMR ise, F, 1'e eşittir. Aksi

takdirde, F , 0'e eşittir. Hareketlilik Çağrı Oranı (Call-to-Mobility Ratio - CMR) tanımlanmıştır. TreeID ve F değerlerine ayarlanan her zaman diliminde TLMR eşik değeri ile karşılaştırılmıştır. $CMR(t_i) \leq \mu \text{ TreeID}$, HoA-TLMR'ye ayarlanırsa, mobilite şeffaflığı, $CMR(t_i) > \mu \text{ TreeID}$ CoA-TLMR'ye ayarlanırsa, zaman-kazandırıcı alt-düzeni olacağı belirtilmiştir.

Ibrahim ve ark. [27] tarafından, iç içe yerleştirme NEMO ağlarının performansını artırmak için yeni bir model önermişlerdir. Mekanizma, iç içe yerleştirme düzeyi arttıkça iç içe yerleştirme NEMO sorununu açıklamaktadır. Simülasyon sonuçlarına göre, iç içe yerleştirmenin üst düzeyi NEMO-BS'den %5 daha az ve %20 daha fazla verim elde edilmiştir. İç içe'nin orta düzeyi NEMO-BS'den %10 daha az ve %18 daha fazla verim elde edilmiştir. Son olarak, iç içe yerleştirme'nin üçüncü düzeyi NEMO-BS'den %14 daha az ve %15 daha fazla verim elde edilmiştir. Sadece üç iç içe yerleştirme'nin düzeyi göz önüne alındığında, iç içe yerleştirme düzeyinin arttığında sonuçlar değersiz haline gelmiştir. Bu mekanizma, iç içe yerleştirme mobil ağların yönlendirme sınırlamaları için donanımsal karşılaştırma olarak kullanılabilir. Ayrıca bu mekanizma, iç içe yerleştirme mobil ağdaki performansı optimize etmek için daha akıllı yönlendiriciler için en iyi mekanizmayı geliştirmek amacıyla kullanılabilir.

Sardar ve Saha [77] tarafından hücreler arası aktarma gecikmesi ve verimini belirlemek için NEMO-BS'yi iç içe yerleştirme NEMO senaryosunda analiz etmek amacıyla analitik model geliştirilmiştir. Hasan ve ark. [78] tarafından, PMIPv6 alanındaki üç NEMO-BS mekanizmasının (NEMO-etkin PMIPv6, PMIPv6-dayalı NEMO ve Ağ-dayalı NEMO) varlık- maliyet değerlendirmesini gerçekleştirmek için analitik çerçeve geliştirmiştir. Mosa ve ark. [79] tarafından, NEMO-BS protokolü için yönlendirme optimizasyonu sağlamak için tanıtılan mevcut yöntemleri araştırmışlardır. Yaklaşımların güçlü yönlerini ve sınırlarını vurgulamışlardır. Önerilen mekanizmanın hem niteliksel hem de niceliksel gelişimi incelenmiştir.

3. MOBİL AĞLAR

Mobil ağ, internet mimarisinde tek bir düğümün bir ağdan diğerine hareketliliği olarak kabul edilir. Otobüs, tren vb. toplu taşıma araçlarında mobil cihazların ve kablosuz teknolojilerin kullanımının artması nedeniyle, tek düğümlü gezgin desteği önemli bir durum haline gelmiştir. Bunun nedeni, araba, otobüs veya tren içindeki insanlar gibi düğüm gruplarının desteğine olan talebin artmasıdır. Ernst, T. [80]'e göre, mobil bir ağ, bağlantı noktalarını internete dinamik bir şekilde geçişi tek bir ünite olarak hareket eden ve böylece topolojideki erişilebilirliğini koruyan bütün bir ağıdır. Bir hareketlilik desteği olmadan, bir mobil düğüm (yani MN) veya mobil ağ bir alt ağdan diğerine geçişinde önceki adresini bırakarak IP adresini yeniden yapılandırması gerekir. Bu bir IP adresi serbest bırakıldığı her an üst katman oturumlarının sonlandırılmasını sağlar.

MN'nin internet mimarisindeki hareketliliği desteklemek için MN tarafından IETF'de [3] MIPv6 protokollerini tanıttıktan sonra Ağ Hareketlilik Temel Desteği (Network Mobility Basic Support- NEMO-BS) protokolünü [4] çıkarmışlardır. Bu hareketlilik protokolleri ağ operasyonları ile birlikte aşağıdaki bölümlerde ele alınmıştır:

3.1. Uzantı Başlıkları ve Hareketlilik Mesajları

IPv6, ile IP paket başlığına ekstra bilgi eklemek için kullanılabilecek çeşitli uzantı başlık türleri gelmiştir. Bunlardan en önemlilerinden olan MN veya mobil ağın hareketliliği hakkında kolay bir şekilde bilgi taşıyan, IPv4'te yaşanan hareketlilik ve yönlendirme sorunlarını hafifleten başlıklardır. Örneğin, IPv6, paket yönlendirme başlığı, hedef seçenek başlığı ve hareketlilik başlığı içerebilir. Çizelge 3.1'de farklı amaçlarla kullanılan birkaç uzantı başlığı gösterilmektedir. MIPv6 ağında, hareketlilik başlığı, hedef seçenek başlığı ve özellikle yönlendirme tip 2 başlığı yaygın olarak kullanılmaktadır.

Çizelge 3.1. IPv6 eklenti başlıkları ve bir paket için önerilen sıraları

Sıra	Başlık Tip	Sonraki Başlık Kodu
1	Basit IPv6 Başlıkları	-
2	Hop-by-Hop seçenekleri	0
3	Hedef Seçenekleri (Yönlendirme Seçenekleri ile)	60
4	Yönlendirme Başlıkları	43
5	Parça Başlığı	44
6	Kimlik Doğrulama Başlığı	51
7	Kapsülleme Güvenlik Yüğü Başlığı	50
8	Hedef Seçenekleri	60
9	Hareket Başlığı	135
	Sıradaki Başlık Yok	59
Üst Katman	TCP	6
Üst Katman	UDP	17
Üst Katman	ICMPv6	58

IPv6'daki gibi uzantı başlıkları, zorunlu bir sabit başlıktan sonra isteğe bağlı başlıklardır. Çoğu durumda, bir paket üst katman bilgisini / yükünü taşıdığında, daha sonra üst katman başlığı ile son başlık olarak tanımlanır (yani, TCP, UDP veya ICMPv6). Buna karşılık, bir paket ağ yapılandırma başlıkları içerdiğinde, herhangi bir paket yükü içermez. Bu durumda, MN'ler için ağ yapılandırma mesajı veriyorsa ve yönlendirme optimizasyonu etkinleştirildiyse, yönlendirme başlık tipi 2'yi içerecektir. Bu nedenle, bir pakette üst katman başlığı olmayacak ve “Sıradaki Başlık Yok” paket yükünü son uzantı başlığı olarak tanımlayacaktır. Bir mobil ağda bir paketin Sıradaki Başlık olmayan bir hareketlilik başlığına sahip olması mümkündür. Bir hareketlilik başlığının yapısı Şekil 3.1'de gösterilmiştir.

Next Header	Hdr Ext Length	MH Type	Reserved
Checksum		Message Data	

Şekil 3.1. IPv6 uzantılı başlık biçimi

Bu hareketlilik uzantı başlıkları, hareketlilik verilerinden veya mesajlardan birini taşıyabilmektedir ve hareketlilik verileri adı mobilite başlığı tipi alanında tanımlanır. Aşağıda, IPv6 hareketlilik genişletme başlığında taşınabilen mobil şebeke için hareketlilik mesajları (Mobilite başlığı türü) verilmiştir.

- Binding Refresh Request Message (BREQ)
- Home Test Init Message (HoTI)
- Home Test Message (HoT)
- Care-of Test Init Message (CoTI)
- Care-of Test Message (CoT)
- Binding Update Message (BU)
- Binding Acknowledgement Message (BA)
- Binding Error Message (BE)

Sekiz hareketlilik mesajı, RFC 3775'te açıklanmıştır [3]. Varsayılan olarak, Mipv6C_Bind_Update ve Mipv6C_Bind_Ack, sırasıyla optimizasyon yolunun etkin olup olmadığı, MN ve HA tarafından gönderilir. Mipv6C_Bind_Ref_Req ve Mipv6C_Bind_Error, sırasıyla binding refresh istekleri ve HA veya CN tarafından bildirilen binding errors için kullanılır. Kalan dört mesaj (Mipv6C_Home_Test_Init, Mipv6C_Home_Test, Mipv6C_Care_of_Test_Init ve Mipv6C_Care_of_Test), MN ile CN'nin kimliğini doğrulamak ve bağlamak için RRP yönlendirme optimizasyon yönteminde kullanılır. Bu hareketlilik mesajları, Mesaj Verileri alanında Mobilite Başlığı olarak bilinen Uzantı Başlığında kodlanır. Diğer mobilite başlığı tiplerinde olduğu gibi (yani, Mesaj veri alanı), aşağıda verilen Hareketlilik seçeneklerini içerir:

- Binding refresh advice
- Alternate Care-of Address

- Nonce Indices
- Binding authorization data

Adresin bakımı, IPv6 başlığındaki kaynak adres alanı veya varsa alternatif adres seçeneği tarafından belirtilir.

3.2. MIPv6 Ağ Operasyonları

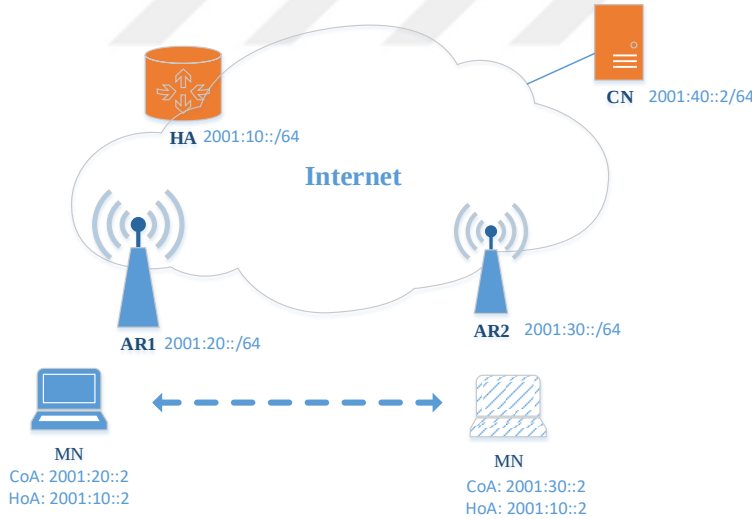
MIPv6, düğümlerin erişilebilir olmasını sağlamak ve ağ gereksinimlerini karşılamak için, özellikle üst katmanlara karşı saydam olmak üzere internet konumlarını değiştirirken devam eden bağlantıları sürdürmeyi amaçlar. MN'ye iki IPv6 adresi, HoA ve bir CoA atanmıştır. HoA, ev alt ağlarındayken düğümlere atanır ve iki nedenden dolayı kullanılır: birincisi, bir MN'nin iletişim yoluyla sabit bir oturum yaparak erişilebilir olmasını sağlamak ve ikincisi, IP katman hareketliliğini üst katmanlardan gizlemek için. HoA'yı MN'de kalıcı olarak tutmanın avantajı, tüm CN'nin, mobil düğümün gerçek konumunu bilmeden HoA'yı kullanarak mobil düğüme erişmeye çalışmasıdır; paket, MN'nin fiziksel olarak bir ev alt ağına bağlı olup olmadığına bakılmaksızın MN'ye iletilir. Mobil düğüm ana alt ağına bağlı değilse, paketleri MN'nin CoA'sına tünellemek HA'nın sorumluluğundadır.

MN, ana alt ağından yabancı bir alt ağa geçtiğinde CoA kullanılır, yabancı alt ağın önekiye bağlı olarak MN bir CoA alır. CoA, durumsuz veya durum bilgisi olan otomatik konfigürasyona dayalı olarak MN'ye atanabilir. Konum değişikliği ve yeni adres konfigürasyonunun ardından mobil düğüm, bir BU mesajı göndererek, bu tür hareketlilik konusunda HA'yı bilgilendirmelidir. BU, mobilite başlığı olarak bilinen isteğe bağlı bir uzantı başlığında kodlanan MIPv6 ağ yapılandırma mesajıdır. BU'da yer alan bilgiler MN'nin HoA ve CoA'sıdır. HoA, ev adresi seçeneği adı verilen yeni bir seçeneğe dahil edilmektedir ve CoA, IPv6 başlığındaki kaynak adresinde veya alternatif adresleme seçeneği olarak adlandırılan yeni seçeneğe dahil edilir. HoA seçeneği, hedef seçenekleri uzatma başlığının bir parçası iken, alternatif CoA seçeneği hareketlilik başlığına dahil edilmiştir.

BC girişi, MN'nin HoA ve CoA'sı, kullanım ömrü, BC girişinin bir ev kayıt girişi olup olmadığını belirten bayrak, önceki BU'da alınan alanların sayı sırasının maksimum değeri ve BC girişi için kullanım bilgisi gibi bilgileri içerir. BU'yı aldıktan sonra HA, BU'yı onaylamak için bir takım eylemler gerçekleştirir. Eğer BU kabul edilirse, HA, MN'nin

HoA'sı için mevcut bir giriş olup olmadığını görmek için BC'yi arar. Bir giriş varsa, HA girişi alınan yeni BU ile günceller, aksi takdirde yeni bir tane oluşturulur. Bu noktadan itibaren, HA ana link üzerindeki MN için bir proxy olarak davranır.

Bununla birlikte, MN bağlama için onay almayı sağlarsa ve BU'de onay isterse, HA ile bağlantı kurulmalıdır. BA mesajı, gönderilen ve onaylanmayan BU'nun durumunu belirleyerek MN'ye bilgi sağlar. HA'dan bir BA aldıktan sonra, MN bağlanmadan önce yeniden bağlanabilmesi için bilgileri saklamalıdır. Bu durumda, MN Bağlama Güncelleme Listesi (Binding Update List - BUL) olarak bilinen bir veri yapısını korur. BUL, BU'nun gönderildiği düğümün adresi, HoA, CoA, ilk yaşam süresi, kalan yaşam süresi, önceki BU'da gönderilen alanların sıra sırasının maksimum değeri, bir BU'nun en son gönderildiği zaman, yeniden gönderim durumu ve gelecekteki BU'nun gönderilip gönderilmeyeceğini belirten bayrak gibi bilgileri içerir. MN ve HA bir bağlayışa sahip olduktan sonra, HA onları MN'ye yönlendiren tüm paketleri tünellemektedir. MIPv6 Network operasyonunun gösterimi Şekil 3.2'de gösterilmektedir.



Şekil 3.2. MIPv6 ağı

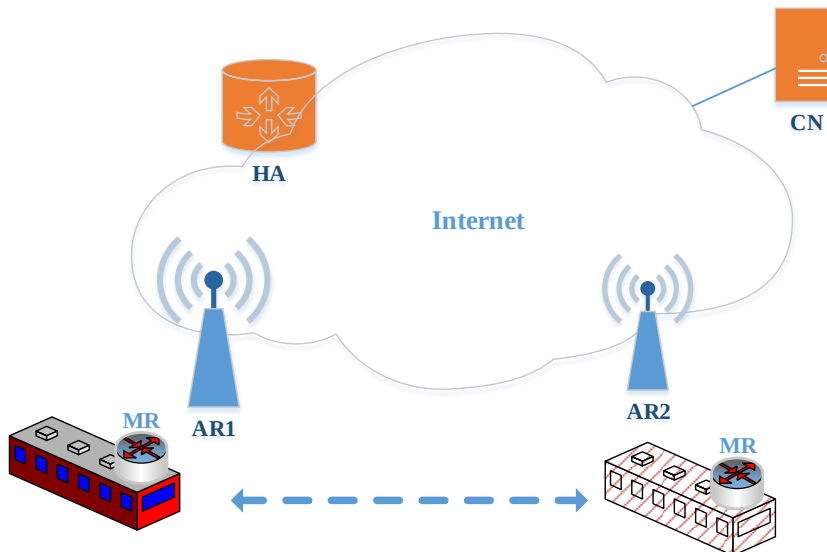
3.3. NEMO Ağ Operasyonları

NEMO-BS, ağ hareketliliğini desteklemek için MIPv6'nın bir uzantısıdır. Yalnızca tek bir düğümün değil, tüm ağın Şekil 3.3'de gösterildiği gibi yaptığı bazı durumlar vardır. Bu, toplu taşıma sistemlerinde her yerde bulunan İnternet erişimine olan talep arttıkça yaygınlaşmaktadır. Çoğu işlem MIPv6'da olduğu gibi kalsa da, NEMO-BS bir MR'a bağlı

bir grup düğüm olduğunu varsayar ve MR aracılığıyla İnternet'e erişimi sağlanır. MR, bağlantı noktasında mobil ağ yollarını altyapıya dağıtmadığı, mobil ağların altyapıya toplanmasını ilan eden HA'ya iki yönlü bir tüneli oluşturduğu anlaşılmalıdır.

Ana link birden fazla öneke sahipse, MR'da birden fazla HoA bulunabilir. MR, ekli mobil ağda bir veya daha fazla önekin duyurusunu yapar. MR, mobil ağdaki tüm düğümler için varsayılan ağ geçididir. Bununla birlikte, eğer düğüm MR olarak hareket etmek ve mobil ağdaki düğümlere bağlantı sağlamak istiyorsa, BU'da bir bayrak (R) ayarlayarak HA'yı bilgilendirmek zorundadır. BU'da MNP ile ilgili bilgileri de içerebilir, böylece HA, mobil ağdaki düğümlere yönelik paketleri MR'ye iletebilir.

Mobil ağda birden fazla IPv6 öneki varsa ve HA, öneklerin tümü için iletmeyi ayarlamayı amaçlıyorsa, tek bir BU'da birden çok önek bilgi seçeneği içermelidir. HA, bu ön eklerin her biri için MR'nin CoA'sına iletmeyi ayarlar. Bazı durumlarda HA, statik konfigürasyon olarak bilinen alternatif bir mekanizma tarafından hangi öneklerin MR'ye ait olduğunu zaten bilmektedir. Bu durumda MR, BU'da hiçbir önek bilgisi içermez. HA, MR'dan bir MR Bayrağı (R) aldığı bir MR aldığında MR'a ait olan tüm önekler için gönderim yapar. Mobil ağ yabancı bir ağa taşınırsa, kendisini başka bir mobil ağa bağlayabilir ve iç içe yerleştirme NEMO-BS ağı oluşturabilir veya doğrudan AR'ye bağlayabilir. Mobil ağ yönlendiricisine başka bir mobil ağ ya da MR bağlı değilse, ağ, aşağıdaki alt bölümlerde açıklandığı gibi iç içe yerleştirme NEMO-BS ağı olarak kabul edilir.



Şekil 3.3. NEMO ağı

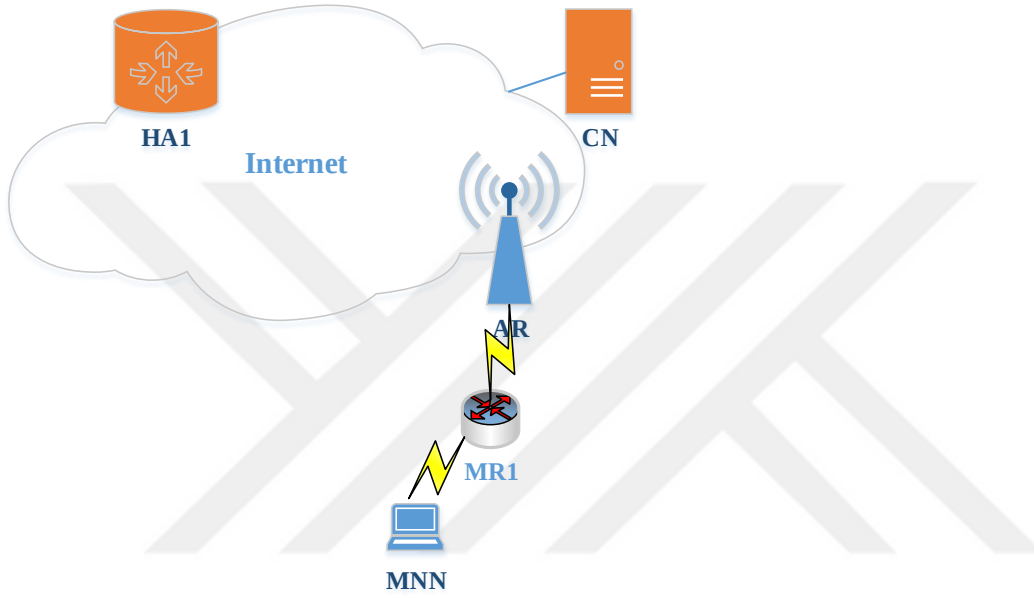
3.3.1. NEMO adres yapılandırması

NEMO-BS'de MR'ın giriş ve çıkış olmak üzere iki fiziksel farklı arayüze sahip olduğu varsayılmaktadır. Bununla birlikte, gerçek uygulamada, giriş ve çıkış ara yüzleri aynı fiziksel ara yüz üzerinde rolü yapmaktadır. MR, mobil ağ önekini, aynı arayüzde (Çıkış Girişi - Çıkış Girişi (EI-EI) eki olarak adlandırılır) bir geçici adres alma işlemindeki arabirime gösterir. NEMO BS için, Çıkış – Giriş (E-I) eki, çıkış arabiriminin CoA ile yapılandırılmış olduğu ve girişin mobil ağ önekini MNN'lere ve diğer MR'lara maruz bırakma rolü olduğu en yaygın yapılandırma. MR, NEMO'dan MANET yönlendirmesine geçtiğinde, MR bağlantı eki, 802.11b geçici modu veya 802.11s gibi geçici arabirim türü veya çıkış arabirimi gibi geçici arabirimler kullanıldığında, Ç-G (Egress-Ingress – E-I) veya Çıkış – Çıkış (Egress-Egress – E-E) veya Giriş - Giriş (Ingress-Ingress – I-I) arabirim bağlantı modunda olabilir. NEMO-BS'de iki adresleme yaklaşımı vardır:

- i. HoA'nın ev ağı'ndan elde edildiği NEMO-BS adresleme yaklaşımı ve giriş ağındaki HNP'ni yapılandırmak için kullanılması HNP :: / 48 ise, mobil ağ öneki HNP'den toplanabilir ve :: / 64 olabilir. Ev ağından uzaktayken, MR'ın çıkış arayüzü, bağlı ağına ağ öneğine bağlı olarak AR'den CoA veya diğer MR'dan CoA olarak yapılandırılmıştır. Bu durumda, mobil ağ yabancı ağa geçtiğinde iki adres yapılandırma durumu vardır; toplanan HNP'nin giriş arabiriminde mi yoksa yeni Ağ Öneki (Network Prefix - NP) toplanmış AR'nin kullanılacağı EI :: / 64 ile tüm NP kullanılabilir. MR1 :: / 48 ise o zaman MR2 alabilir: 1 :: / 64 I-arayüzünde ve buna benzer şekilde NP'yi ikiye ayırma, biri MN ataması, diğeri MR ataması için kullanılır. Bu adresleme yaklaşımı hem iç içe yerleştirme hem de iç içe yerleştirme olmayan NEMO-BS ağlarında kullanılabilir.
- ii. AUTOCONF adresleme yaklaşımı sadece iç içe yerleştirme NEMO-BS ağında geçerlidir. Her MR geçici olarak çıkış arabirimiyle bağlanır ve MR çıkışları, MANET topluluğundaki gibi internet ağ geçidi olarak adlandırılan AR'den çıkış arabiriminde bir IPv6 adresi alır. Böylece, sonunda MR'ler, AR'nin ön ekinden türetilmiş bir adres alır (Erişim Yönlendirici Ağ Öneki (Access Router Network Prefix - ANP) :: / 64). Bu durumda, her bir MR'ın AR'den bir IPv6 adresini aldığını ve komşulardan (diğer MR'lar) almadığını unutulmamalıdır. Eğer MR'lar adreslerini Ç-G şeklinde alırsa, MR, biri erişim yönlendiricisinden diğeri de üst MR'sinden iki ayrı adres alabilir.

3.3.2. İç içe olmayan NEMO ağı

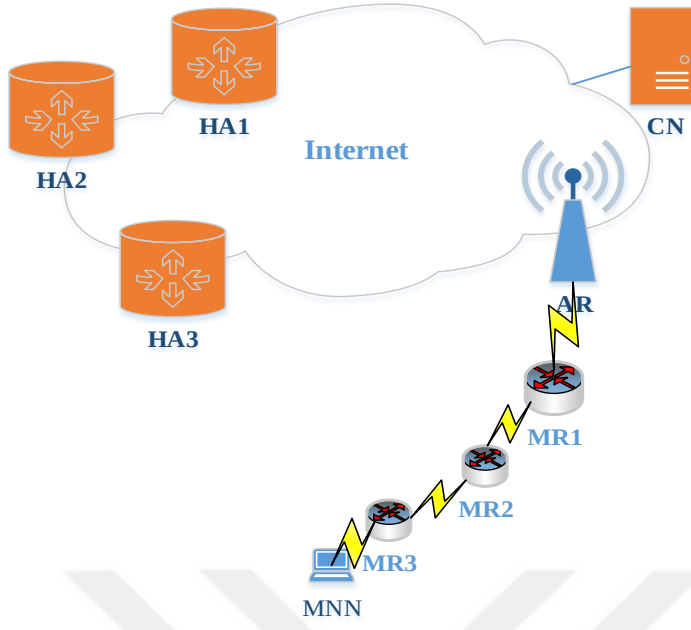
Eğer MR doğrudan AR'ye bağlanırsa ve MR'a başka bir MR eklenmemişse, bu durumda bir mobil ağın iç içe yerleştirme NEMO-BS şeklinde olduğu söylenir. Bu senaryoda, mobil ağ MIPv6 ağı gibi davranır, ancak HNP ve MR'ın CoA'sı, MN'de HoA ve CoA yerine BU'da sağlanır. Şekil 3.4 iç içe yerleştirme geçmiş NEMO ağına mimarisini göstermektedir.



Şekil 3.4. İç içe olmayan NEMO ağı

3.3.3. İç içe NEMO ağı

Bir mobil ağın (alt NEMO), daha büyük bir mobil ağı (ana NEMO) bağlandığında ve aynı alanda bağlı bir mobil ağ grubu oluşturuyorsa bu ağlar iç içe yerleştirme ağlar olarak adlandırılmaktadır. Şekil 3.5'te gösterildiği gibi, mobil ağların toplu hiyerarşisi, birden fazla MR iç içe yerleştirme şekilde birbirine bağlandığında tek bir iç içe yerleştirme NEMO haline gelir. İç içe geçmiş bir NEMO, birinci bölümde Şekil 1.2'de gösterildiği gibi, en düşük yönlendirme sorunlarını (langırt yönlendirme sorunu/pinball routing problem) artıran trafik yönlendirmesinde kısıtlamalara sahiptir. Teknik olarak, bir yönlendirme optimizasyon mekanizması bu langırt problemine ve diğerlerine tamamlayıcı bir çözüm sunmaktadır [13].



Şekil 3.5. İç içe yerleştirilmiş NEMO ağı



4. ÖNERİLEN YÖNLENDİRME OPTİMİZASYON MEKANİZMALARI

Bu bölümde, MIPv6 ve NEMO ağları için önerilen yönlendirme optimizasyon mekanizmaları sunulmaktadır. NEMO ağlarında yönlendirme optimizasyon mekanizması önerisi iki senaryoya göre kategorize edilir; iç içe yerleştirme geçmiş NEMO ve iç içe yerleştirme NEMO iletişimi. Bu mekanizmalar aşağıdaki alt bölümlerde tartışılmıştır.

4.1. Önerilen Mobil ağlarda MIPv6 Ağı Yönlendirme Optimizasyon Mekanizması

MN bağlanma noktasını değiştirirken devam eden IP oturumunu korumak için bir ağdan diğerine dolaştığında oturum devamlılığı mümkündür. Hipotez şudur ki; ağ komşu yönlendiricisi (yani FA'ler), MN'nin sinyal yönlendirmeyi kaybetmeden bir yönlendiriciden diğerine kolayca dolaşabileceği ve yönlendirme tablosu güncellemeleri ve diğerleri gibi ağ yapılandırma mesajlarını değiş tokuş etmeleri sağlanacaktır. Ajan yönlendirici terimi, hem HA hem de FA'yi temsil etmek için kullanılır. Kullanılan ek hipotez, tüm FA'lerin HA ile aynı işlevselliğe sahip olduğu varsayımına dayanmaktadır.

4.1.1. Yeni mobilite mesajları

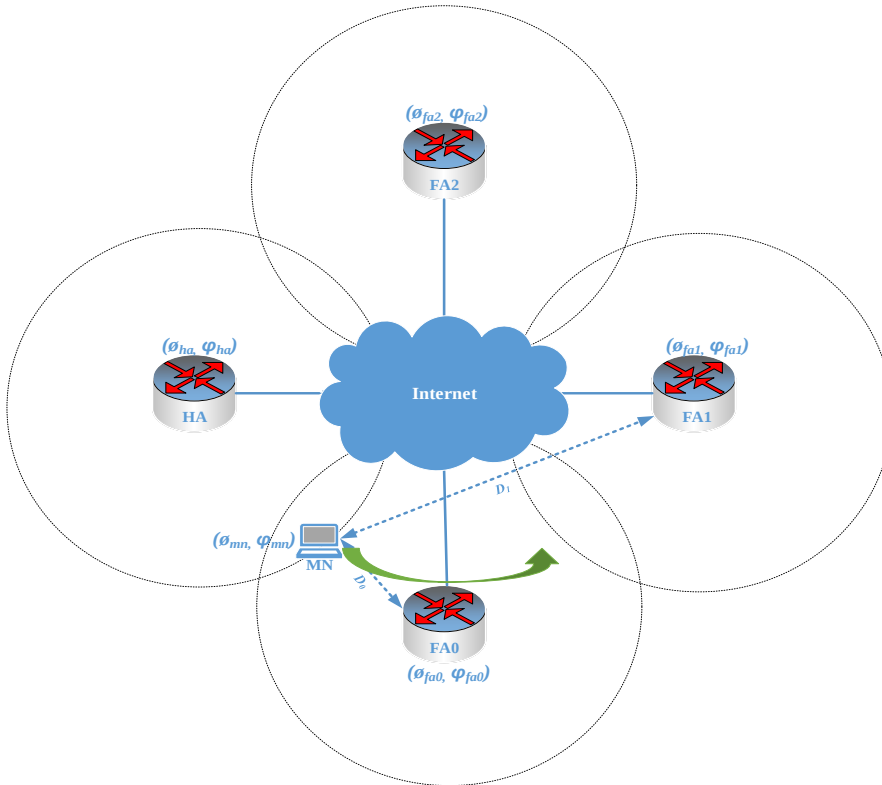
MIPv6 ağları için önerilen çözümün uygulanmasını desteklemek için iki mobilite mesajı sunulmuştur; MN_Location ve Agent_Location mesajı. Bu iki mesaj, Şekil 4.1'de gösterilen format ile aynıdır. Agent_Location mesajları, FA tarafından komşu AR'ye HA olarak hizmet vermek üzere yapılandırılmış bir arayüz ile gönderilirken, MN_Location MN ile HA'ya ağ geçişi yapmak üzere olduğunda (yani aktarma gerçekleştirirken) HA'ya gönderilir. Bu mesajlar sıra numarası, rezerve, enlem, boylam, yükseklik ve hareketlilik seçenekleri alanlarına sahiptir. Hareket seçeneklerinin veri alanı, MN ile bağlantı kuracak CN'nin veya MN_Location veya Agent_Location iletilisindeki sırasıyla bir Tahmini FA'nin (PFA) kablosuz arayüzü ile iletişim kuran adresi taşır. Bu iki mesajın boyutu, veri alanında taşınan adreslerin sayısına bağlı olarak değişir. Veri alanında bir adres varsa, mesajın boyutu 20 bayt olacaktır.

	Sequence #
Reserved	Latitude
Longitude	Altitude
Mobility Options	

Şekil 4.1. MN_Location ve Agent_Location mesaj formatı

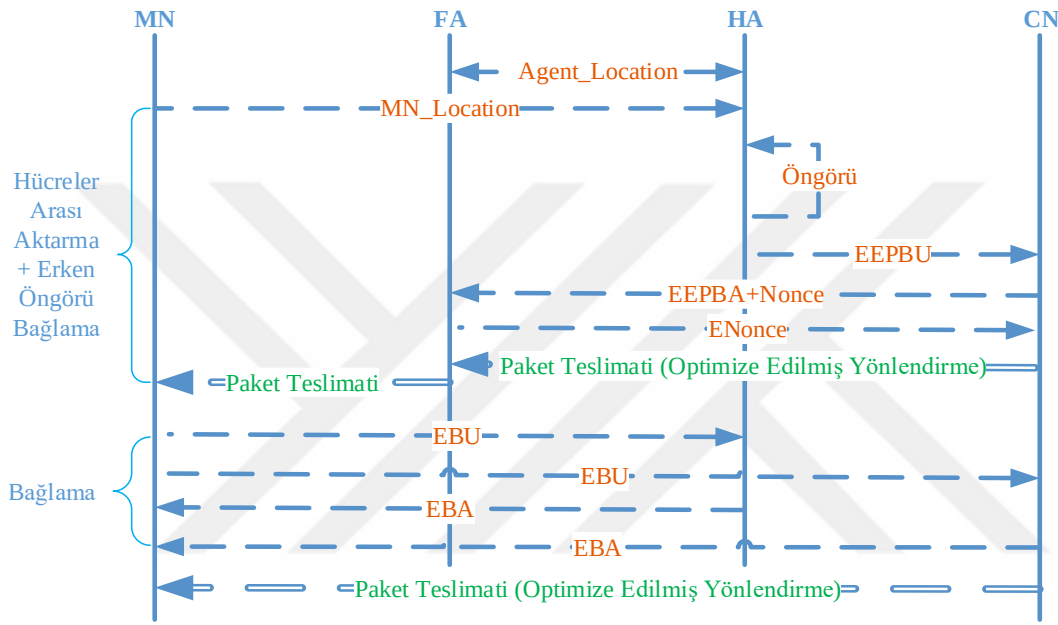
4.1.2. Detaylı MIPv6 ağ modeli

Simüle edilmiş MIPv6 ağ modeli, Şekil 4.2’de gösterilmiştir. Burada, düğüm konumlarında ev ağından yabancı ağa düğüm hareketliliğine sahip ağ modelini göstermektedir. CN, HA ve FA yönlendiricileri sabit düğümler olduğu için konumları değiştirilemez. Simülasyon sadeliği için sadece enlem ve boylam kullanılmıştır. Nokta (θ_x, φ_x) , enlem ve boylam ile x düğümünü temsil eder. D_0 ve D_1 , sırasıyla FA0 ve FA1'den büyük daire mesafesini temsil eder.

Şekil 4.2. Düğüm pozisyonla D_1 ağ modeli

4.1.3. Erken öngörücü bağlama güncellemesi yönlendirme optimizasyon Mekanizması

Önerilen EPBU yönlendirme optimizasyonu, MN ile bağlanacak olan bir sonraki FA'nın tahmini, HA tarafından gerçekleştirilen EPBU'nun iletilmesi, HA ve CN'ye MN kaydı, ve MN ve CN arasında iki faz veri iletimi gibi temel işlemlere dayanmaktadır. Şekil 4.3'te önerilen EPBU yönlendirme optimizasyon mekanizması için mesaj dizisini göstermektedir.



Şekil 4.3. Yönlendirme optimizasyonu mesajı sırası

Herhangi bir iletişim sisteminin gizliliğini sağlamak için, gizlilik, orjinallik, bütünlük, reddedilmeme ve erişim kontrolü gibi güvenlik hedeflerine ulaşılmalıdır [81]. Mobil ağda aynı güvenlik hedefine ulaşmak için, BU, yönlendirme optimizasyonunu, HA, FA, CN, MR ve MN gibi iletişimde yer alan düğümleri Replaying BU, gizli dinleme, Hizmet Reddi (Denial of Service - DoS), Yansıma, Amplifikasyon, Sel, Adres Çalma ve ortadaki adam saldırısı tehditlerine karşı güvence altına almak (HA, FA, CN, MR ve MN, Replaying BU kaynaklı tehditlere karşı, gizli dinleme, DoS, Yansıma, Amplifikasyon, Sel, Adres Çalma ve ortadaki adam saldırısı) gerekir [82-84].

Genel ve özel anahtarlar [24, 83-86] PK altyapısı olmadan kullanılmış, bunun yerine HA bir Sertifika Yetkilisi (Certification Authority - CA) gibi davranır. FA / AR'ler özel ve ortak anahtar çifti oluşturur ve genel anahtarlarını HA'ya kaydeder. CN ve MN ayrıca ortak ve özel anahtar çifti oluşturur ve ortak anahtarlarını HA'ya kaydeder. İnternetteki ortak anahtar

şifrelemesinde ise, başka bir düğümün ortak anahtarını doğrulamak için herhangi bir düğüme gerek yoktur. HA, MN iletişimine katılan her düğüm için ortak anahtarı sağlar. Önerilen yönlendirme optimizasyonunun mesaj dizisi aşağıda açıklanmıştır.

Tüm AR'ler bir defa Agent_Location'a karşılık gelmektedir. AR'ler MN olmadığından, bilgileri diğer tüm FA/AR ile temasını kaybedinceye kadar önbellek tablosunda saklamaktadırlar. MN yeni bir link alt ağı (subnet) tespit ettiğinde (MN bir yönlendirici bulma işlemi yapmak üzere), işlem başlar, HA'ya MN_Location mesajı gönderir. MN'den MN_Location mesajı aldıktan sonra HA, MN'nin denklem 1'i kullanarak MN'den en kısa mesafeyi hesaplayarak MN'nin bağlanacağını tahmin ettiği bir sonraki FA'yi öngörecektir. MN'ye yakın olan FA'nin uzak mesafeden FA'den daha güçlü bir Sinyal gücüne sahip olacağı açıktır.

$$D = 2R * \arcsin \left(\sqrt{\sin^2 \left(\frac{\phi_{mn} - \phi_{fa}}{2} \right) + \cos(\phi_{fa}) \cos(\phi_{mn}) \sin^2 \left(\frac{\phi_{mn} - \phi_{fa}}{2} \right)} \right) \quad (1)$$

HA, EEPBU = [ECN_pk (EPBU + PFA_pk)] olarak CN ortak anahtarını kullanan PFA'nın genel anahtarı ve şifreli bir EPBU anahtarını gönderir. Bu EPBU, MN adına HA tarafından, EPBA'da kullanılmak üzere kablosuz sonraki FA arabirim adresli ve veri iletiminin ilk çoklu atlama adresi olarak veri iletiminin ilk aşamasında kullanılan MN tarafından gönderilir [87, 88]. CN, EPBU'yu BU mesajında verilen yeni bayrak alanı (F) ile tanımlar. F bayrağı BU'da ayarlanmışsa, CN bunu EPBU olarak tanır, aksi takdirde MN'den gelen normal BU olur.

CN, MN'nin yabancı ağda EEPBA + Nonce = [EPFA_pk (EPBA + CN_pk)] EPFA_pk (Nonce) olarak bağlanma güvencesini elde etmek için PFA'ya bir Şifrelenmemiş Erken Öngörülü Bağlayıcı Onay (EPBA) ve PFA'ya gönderilmez. MN, yabancı ağda CoA konfigürasyonu için Yönlendirici İsteme Mesajı (Router Solicitation Message - RSM) gönderirse, FA, MN'nin yabancı şebekeye bağlantıyı kısa sürede tamamlayacağını garantisini verir. FA, veri iletiminin birinci aşamasının ENonce = ECN_pk (Nonce) olarak gönderilmesini onaylamak için aynen CN'ye geri döndürür.

Geri dönüşü almayan CN, paketleri MN'nin yeni ağına ileterek veri iletiminin ilk aşamasına başlar ve hedef adresi olarak HoA ile genişletilmiş T2RH [16, 89] ve paketin içindeki çoklu atlama adreslerinden biri olarak FA'in kablosuz arayüzü kullanılarak piggyback yapar. MN,

katman 3 hücreler arası aktarma tescili tamamlandığında, bir CoA edildiğinde ve HoA'sini FA'ye kaydettirdiğinde, FA hemen CN'den MN'nin kamu anahtarının yanı sıra CN'den MN'ye ortak anahtarını da iletir. Öte yandan, katman 3 hücreler arası aktarma işlemi tamamlandıktan sonra MN, BU gönderir ve HA ve CN'nin genel anahtarını kullanarak sırasıyla HA ($EBU = EHA\_pk(BU)$ ve $EBA = EMN\_pk(BA)$) ve CN ($EBU = [ECN\_pk(BU + MN\_pk)]$ ve $EBA = EMN\_pk(BA)$)'den BA alır. HA ve CN'den BA aldıktan sonra, MN ve CN, direkt olarak aralarında FA atlayarak paketleri değiştirerek ikinci aşama veri iletimini başlatır.

RRP mekanizmasında CN, MN'nin BU'dan ancak HoA ve CoA'da MN'nin adreslenebileceği garanti edilirse kabul edebilir. EPBU mekanizmasında, HA'nın MN tarafından eklenecek yabancı ağa dair öngörüsü, CN'nin MN'nin HoA ve CoA'da adreslenebilir olmasını sağlar. Bu nedenle, MN'den BU almadan önce, CN'de evde test ve testte bakım gereksinimi atlanmıştır. HA'nın MN'nin bir sonraki yabancı ağa bağlanma öngörüsü yanlış ise, MN yine de BU'yu HA'ya ve CN'ye gönderir ancak CN'den gelen bazı paketleri kaybeder.

Veri iletimi sırasındaki saldırıları tespit ederken, önerilen güvenli bir yöntem kullanılmasını önerilmektedir [82]. Bir CN paketleri gönderdiğinde, rastgele bazı paketleri kopyalayıp kaydeder ve MN'ye geri göndermelerini bildirmek için üzerlerine bayrak koymaktadır. Paketler geri iletdikten sonra, CN bunları kaydedilenlerle karşılaştırır ve paketlerde herhangi bir değişiklik olması durumunda CN, paketleri koruma için şifrelemeye karar vermektedir.

4.2. NEMO Ağlarında Önerilen Yönlendirme Optimizasyon Mekanizması

Daha önce belirtildiği gibi, NEMO-BS protokolü, bir ağ mobilitesini desteklemek için MIPv6 protokolünün bir uzantısı olarak tanıtıldı. Protokol hem tekli hem de mobil ağları destekleyebilir. Ancak protokol öncelikle mobil ağları (yani MR) bağlı olan MN veya Sabit Düğüm grupları desteklemesi için önerilmiştir. Dolaşımlar doğrudan bir FA'ye veya başka bir MR'a bağlanabildiği zaman bir MR doğrudan bir FA'ye bağlandığında, MR tek bir düğüm gibi davranacak ve ona bağlı MN'ler için bir geçit işlevi görecektir. Bu durumda, kısım 4.1.3'de tartışıldığı gibi yönlendirme optimizasyonu için önerilen bir MIPv6 çözümü kullanılması önerilir. Bununla birlikte, yönlendirme optimizasyonu için önerilen MIPv6 çözümü, bir MR yabancı ağdaki diğer MR'ye bağlandığında uygulanamaz. Bu durumda, iç

içe yerleştirme NEMO için TLMR ve iç içe yerleştirme NEMO iletişimi için AdHoc'u temel alan bir yönlendirme optimizasyonu öneriyoruz. Bu mekanizma ile ilgili bilgiler aşağıda tartışılmıştır.

NEMO-BS, yalnızca MR'in çıkış arayüzünün dolaşım halindeki CoA'yı yapılandırmasını gerektirir; Oysa girilen arayüz adresi, ev ağında edinilen ile aynı kalmalıdır. MR'ın ev ağında hem giriş hem de çıkış arabirimleri, ev temsilcisinin (agent) önekini kullanarak adresi yapılandırır. MR, çıkış arayüzünde bir adres alacak ve giriş arayüzünde birden fazla önek adresinin reklamını yapacak şekilde yapılandırılabilir. Bu çalışmada, her bir MR, iletişim senaryosuna bağlı olarak, AR bir diğeri gibi TLMR'sinden çıkış arabiriminde değişen adresleri olan birden fazla (iki) elde eder. MNN'ler ve MR'lar için iç içe yerleştirme NEMO'da yapılandırılmış iki CoA: Yerel-CoA (LCoA) ve Düz-CoA (Flat CoA - FCoA).

LCoA, erişim yönlendiricisinin ağ öneğine (erişim yönlendiricisi bir MR veya TLMR olabilir), FCoA ise AR'nin ağ ön ekine (yani, etki alanındaki herhangi bir TLMR'nin bir CoA'sının ağ ön eki) dayanmaktadır. Mobil ağlar, bilinmeyen ve muhtemelen güvenilmeyen ağlara ev ağlarından uzakta olduğunda güvenlik NEMO'nun kritik bir yönüdür. MNN'ler mobilitenin farkında olmadıklarından, NEMO'nun ağ uzaktayken güvenlik sağlaması önemlidir. NEMO-BS Protokolü, MNN'lere konum gizliliği sağlar. Tünel kullanımı nedeniyle, MNN'lerin mevcut konumu CN'lere gösterilmez. NEMO-BS Protokolü ayrıca birkaç başka güvenlik özelliği gerektirir. Öncelikle, hem MR hem de HA, tünellenmiş tüm paketlerin kaynak ağ ile eşleşen bir kaynak adresi içerdiğini kontrol etmelidir. Bu, MNN'lerin IP sahtekârlık saldırısı gerçekleştirmek için tüneli kullanmalarını sağlar. İkincisi, bir BU alımı üzerine, HA'lar, bir önek iletmeyi etkinleştirmeden önce bir MR'ın bir ön eke bağlanma yetkisine sahip olduğunu kontrol etmelidir.

Mevcut NEMO güvenlik protokolleri genel olarak iki kategoriye ayrılabilir: sinyal kontrol mesajı koruması ve veri yolu koruması. Güvenlik protokollerinin temel amaçlarından biri, NEMO ağında kullanılan sinyal kontrol mesajını korumaktır. Saldırganlar ağa ciddi güvenlik konuları eklemek için bu sinyal kontrol mesajını akıllıca kullanabilirler. Sinyalleme kontrol mesajını korumak NEMO ağında sıkı güvenlik sağlamak için çok önemlidir. Bu çalışmanın kapsamında IPsec, bu mesajları alıp veren düğümler arasında sinyal kontrol mesajını korumak için kullanıldı. IPsec, sinyal kontrol mesajlarının doğrulanmasının yanı sıra tünelli paketlerin şifrlenmesine de izin verir. IPsec IPv6'nın

gerekli bir bileşeni olduğundan, NEMO protokolleri ayrıca sinyal kontrol mesajlarının IPSec kullanılarak doğrulanmasını gerektirir. IPSec, mimarisi altında güçlü şifreleme bileşenleri sağlar. Bu durumda, NEMO ağ katmanı protokolleri IPSec'in güvenlik gücünün üstüne kurulabilir.

4.2.1. Üst Düzey MR tabanlı yönlendirme optimizasyon mekanizması

İç içe yerleştirilmiş geçmiş mobil ağlarda yönlendirmeyi optimize etmek için, sinyal mesajları TLMR alanı içinde yerleştirilir ve sadece gerekli sinyal mesajları internete TLMR tarafından gönderilir. İç içe yerleştirilmiş geçmiş mobil ağ iletişiminde TLMR'nin, MR'lerin ve MNN'lerin bütün bağlarını gerçekleştirmesi önerilmektedir. MR iç içe yerleştirme geçmiş mobil ağa katıldığında ve bir CoA yapılandığında, LBU TLMR'ye gönderir. TLMR'nin CoA'sı Router Keşfi sırasında MR erişimi tarafından MR'a gönderilir. TLMR, MR'ın LBU'da sağlanan bilgilerini kullanır ve MR için BU'yu oluşturur ve MR'ın HA ve CN'sine iletir.

TLMR, tüm MR'ler ve MNN'ler için bağlanma bilgilerinin kayıtlarını tutar. Tüm ciltleme bilgilerini depolamak için Yerel Ciltleme Önbelleği (Local Binding Cache - LBC) kullanılır. Ayrıca, paketlerin TLMR'den MNN'nin MR'sine geçmesi ve tersi durumda, iç içe yerleştirme ağdaki tüm MR'ler, Çizelge 4.1'de gösterildiği gibi tüm alt MR'larının çıkış ve giriş arayüzlerinin bilgilerini depolar.

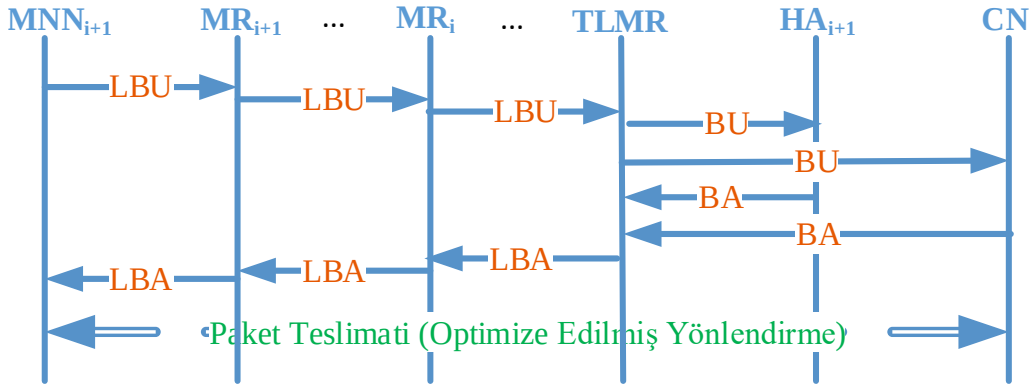
Çizelge 4.1. Yerel bağlama önbelleği

MR	Düşük MR'nın CoA'sı	MNP düşük MR altında
TLMR	CoA_MR1	MNP1, MNP2, MNP3
MR1	CoA_MR2	MNP2, MNP3
MR2	CoA_MR3	MNP3
MR3	NIL	NIL

LBC, ekli tüm MR'lerin MR's CoA ve MNP'leri hakkında bilgi tutar. LBC, MR'a özellikle TLMR'nin alan dışına veya alanın içinde kalmaya yada kalmamaya karar verecek paketlere karar vermesinde yardımcı olacaktır. Herhangi bir ağ değişikliği varsa, LBC güncellenir. Bu

nedenle, LBC kalıcı bir bağlanma değildir, MR ağ alanından çıktığında veya iç içe yerleştirme geçmiş ağ içindeki konumunu değiştirdiğinde kaldırılır.

Her MR kendi CoA'sını yapılandırdıktan sonra, bir BU çocuk alt MR'larından alınan her LBU için TLMR tarafından gönderilir. TLMR, HA veya CN'den BA aldıktan sonra LBA'yı çocuk MR'a iletir. Diğer tarafta, MR'lerin her bir HA'sı, MR'n HoA ve LCoA arasındaki haritalama ile BC'ye giriş yapmak için TLMR'den normal bir BU alır. Ek olarak, MR'ın HA veya CN'si, MR'ın HoA ile eşleşmesi için TLMR'nin CoA'nı BC'lerinde tutar. Bu durumda, CN ve MR'ın HA'sı, TLMR'nin CoA'sı olan çocuk MR'ların tüm HoA'larını TLMR'nin CoA'sı ile eşleyecektir. CN, MNN'ye bir paket gönderdiğinde, paket önce TLMR tarafından alınacaktır. Bundan sonra TLMR, MNN'nin hedef adresini kullanarak iç ağ içindeki MNN'nin MR konumunu bulmak için MNP'de LBC'yi arayacaktır. Tüm MR, tüm alt MR kayıtlarını LBC içerisinde tuttuğundan, paket iç içe yerleştirme geçmiş mobil ağda mevcut konumdan tam olarak MNN'nin MR'sine iletilecektir. Bu nedenle, CN'den MNN'ye olan yönlendirme optimize edilecektir ve iç içe yerleştirme geçmiş mobil ağda hiçbir tünel yaşanmayacaktır. Sinyalleşme mesajı için mesaj dizisi, Şekil 4.4'te gösterilmektedir.



Şekil 4.4. Inter nested NEMO yönlendirme optimizasyonu mesaj sırası

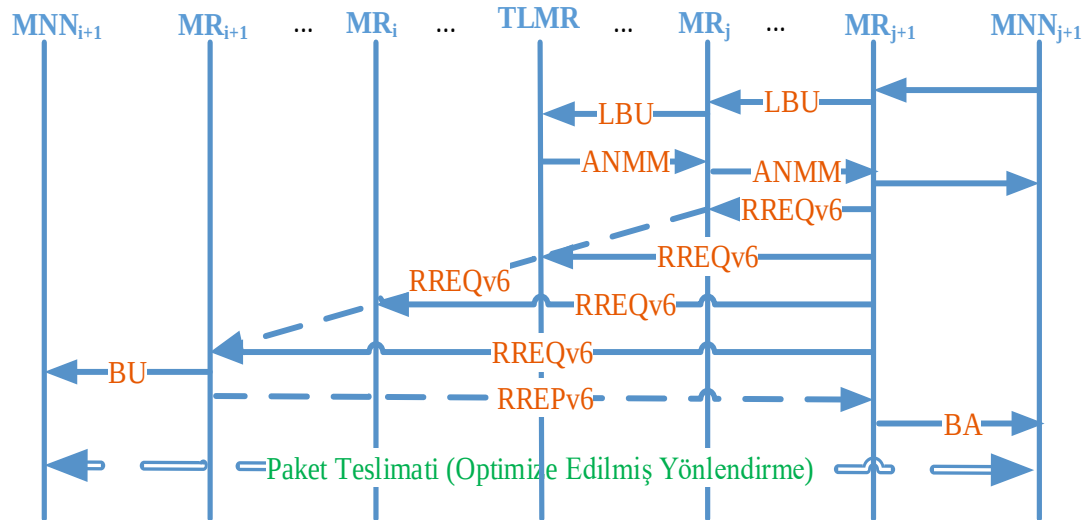
MR etki alanı içinde hareket ederse, MR TLMR'ye yalnızca LBU gönderir. TLMR, LBC içinde MNP'yi arayacaktır, eğer giriş varsa, LBC'yi günceller ancak TLMR normal BU'yu HA ve CN'ye göndermez. Ayrıca, mevcut MR için tüm ebeveynler MR'leri LBC'lerini güncellemek zorunda kalacak. Diğer yandan, eğer MR alanın dışına çıkar ve başka bir alana katılırsa, prosedür yukarıda açıklandığı gibidir. TLMR'nin iç içe yerleştirme geçmiş mobil ağı terk etmesi durumunda, şu anda AR'ye bağlı olan MR, TLMR olarak davranacaktır. Daha

sonra, MR ağ değişikliğinin tüm alt MR'larını bilgilendirir ve tüm alt MR'lerin LBU'larını göndermelerini ister.

4.2.2. Adhoc tabanlı yönlendirme optimizasyon mekanizması

Harici CN ile MNN alışverişi paketlerinin aksine, bazı senaryolarda bir MNN düğümü ağ etki alanı içinde diğer MNN ile paket alışverişi yapar. Düz adres yapılandırması, MR yerine CoA'yı yapılandırmak için MR yerine kullanılacaktır. Erişim MR'dan CoA yapılandırılmışsa, veri paketleri önce TLMR'ye gitmelidir, böylece daha uzun bir rotaya yol açabilecek başka bir MNN'ye iletilebilirler. Düz adres yapılandırması, özellikle iletişim düğümleri MANET oluşturduğunda mobil ağda kullanılır. MANET farklı adres yapılandırması için çalışmadığından, MR aynı ağ adresi önceki adresle yapılandırılmalıdır. Bu durumda, etki alanındaki tüm MR'lar adreslerini TLMR CoA'ya (yani, AR ağ adresi önceki) ve EUI64'e göre yapılandırılacaklardır. EUI64, MR arayüzünün MAC adresinden alınmıştır.

Şekil 4.5'te gösterildiği gibi, MNN3, TLMR (MR0) içindeki MNN6 ile iletişim kurar. Trafiğin, internet'e yönlendirilmeden TLMR alanı içerisinde kalması büyük yarar sağlayacaktır.



Şekil 4.5. Intra nested NEMO yönlendirme optimizasyonu mesaj sırası

Bu gereksiz gecikmeleri, tünel açmayı ve ağa yükü azaltır. MR, ilgili MNN'nin TLMR alanına girdiğinde başlar. MR, LBU'yu her zamanki gibi gönderir. Bu, MNN'nin, karşılık

gelen MNN'nin aynı alanda olduğu bilgisine sahip olmadığı anlamına gelir. Her MR, LBC'yi tuttuğu için LBU, TLMR'ye ulaşır, karşılık gelen ağ düğümü (MNP yoluyla) aynı alanda mevcutsa, TLMR, LBC'sini arar. Giriş LBC'de yoksa, TLMR BU'yu ilgili HA ve CN'ye ya da ilgili MNN'ye gönderir. Ayrıca, TLMR, geçici iletişimi kurabilmesi için ilgili kuruluşun aynı alanda olduğunu bildirmek üzere MANET'e (Adhoc Notification Message for MANET- ANMM) Anlık Bildirim Mesajı gönderir.

Adhoc yönlendirme protokolünün çalışması, Şekil 4.5'de önerildiği gibi MANET'te Adhoc On-Demand yönlendirme protokollerininkine benzer. Bunun dışında Yönlendirme Talebi (RREQv6), Yönlendirme Yanıtı (RREPv6), Yönlendirme Hatası (RERRv6) ve Yönlendirme Yanıtı (RREP-ACK) tipi değeri ve adres alanları değişir. 1, 2, 3 ve 4 yerine, RREQv6, RREPv6, RERRv6 ve RREP-ACK için tür değeri 16, 17, 18 ve 19 olur. Kaynak ve hedef adresleri için adres alanı 32 bit yerine 128 bit olur. Bu sinyal kontrol mesajlarındaki sıra numarası ve diğer alanlar aynı kalır.

TLMR'den ANMM mesajları alındığında, kaynak MNN, RREQv6 mesajını yayınlar ve geçici olarak talep protokolleri için teklif çalışması olarak, hedeften RREPv6 mesajını bekler. Ara MR, RREQv6 mesajını hedef MNN'ye ulaşana kadar taşır. Çünkü MR, kaynak MNN'ye giden ters rotayı tutar. RREPv6 mesajı ağda akış olmaz (not flooded), mesaj tek noktaya yayın modunda gönderilir. İletişim kuran kuruluşlar, etki alanı içindeki en iyi rotayı belirledikten sonra iletişime başlayabilir. Daha önce açıklandığı gibi, MNN aynı etki alanındaki bir başka MNN'ye bir paket gönderdiğinde, paket TLMR'nin dışına çıkmaz. Talep protokolüne göre Adhoc önerisi olarak, tüm düğümler aktif yolu kaynak ve hedef düğüm arasında tutarlar, paketleri TLMR'ye gerek kalmadan doğrudan MNN'ler arasında iletmeleri kolay hale gelir.

MR etki alanının dışına çıkarsa, TLMR'ye her zamanki gibi LBU gönderir ve ciltleme işlemi kısım 4.2.1'te açıklandığı gibi başlar. Fakat eğer MR ağ alanı içinde hareket ederse, ağda hiçbir sinyal kontrol mesajı saldırısı gösterilmeyecektir. Rotayı güncellemek için Adhoc protokol prosedürü olarak sadece "HELLO" mesajı gönderilmiştir. Aynı şekilde, eğer TLMR alanın dışına çıkarsa, iki MNN'nin iletişimini etkilemez. Öte yandan, eğer TLMR iki MNN arasındaki en iyi yolu içermiyorsa, ağda hiçbir sinyal kontrol mesajı gösterilmez.

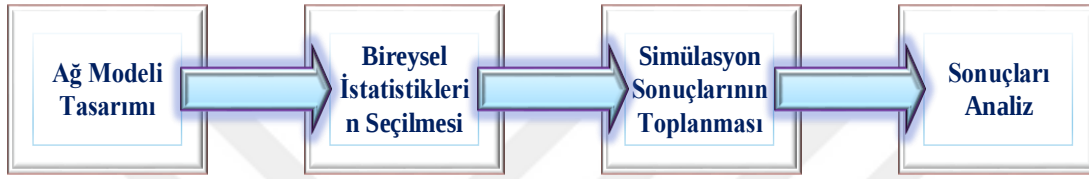
5. SİMÜLASYON ÇERÇEVESİ

Ağ simülasyonları için kullanılan NS-2, NS-3, OMNeT ++, GloMoSim, QualNet ve OPNET gibi farklı ağ simülasyon platformları bulunmaktadır. Tez çalışmasında, MIPv6 ve NEMO-BS ağlarının simülasyonu OPNET Modeler 14.0 (Optimized Network Engineering Tool version 14.0) kullanılarak yapılmıştır. Simülatör, alternatif olarak düğümlerdeki her protokolü yapılandırarak mobil ağ modellerini tasarlamak, simüle etmek, analiz etmek ve performans değerlendirmeleri yapmak için kullanılır. OPNET Modeler, kullanıcı-dostu grafiksel kullanıcı arayüzü (GUI) ile dinamik ayrık-olay-tabanlı simülatör ağ uygulamasıdır. Aynı zamanda nesneye-yönelimli, saat ayıklama, hiyerarşik modelleme, hata ayıklayıcı ve analizleri desteklemektedir [90]. Simülatör, araştırmacılar ve mühendisler tarafından hibrit simülasyonu, analitik simülasyonu, 32 bit ve 64 bit tamamen paralel simülasyonu desteklemenin yanı sıra diğer birçok özelliği sağlamak için yaygın kullanılmaktadır. Simülasyon modellemesi için OPNET Modeler'in seçilmesinin nedeni:

- Araştırma çalışmaları, ağ modellemesi, R&D operasyonları ve yönlendirme protokollerinin performans analizi için uygun olan çok çekici sanal ağ ortamı sağlamaktadır.
- Günümüzün gelişen teknik dünyasında, kablosuz protokollerin geliştirilmesi ve iyileştirilmesinde önemli bir rol sağlamaktadır.
- MIPv6 ve NEMO-BS protokollerinin değerlendirilmesi ve tasarımı ve çekirdek ağ teknolojilerinde geliştirmeler uygundur.
- Diğer simülatörlerle karşılaştırıldığında daha güvenilir, sağlam ve etkilidir.
- Kullanıcı koşullarına bağlı olarak mevcut sistemler arasında performans çalışması için uygundur.
- Ağ davranışlarını çeşitli senaryolarda anlamak için nispeten daha kolaydır.
- Çok esnektir ve sonuçları görüntülemek için kullanıcı dostu grafik arayüz sağlar.
- GUI ile sanal gerçek zamanlı ortam sağlamaktadır.
- Yeni ağ modelleri ve mimarileri için tasarımların değerlendirilmesinde faydalıdır.
- Eğitim ve gelişim için önceden tanımlanmış ağ modelleri ve mevcut tasarımların olması sebebiyle modelleme de kolaylıklar sağlamaktadır.

5.1. OPNET'te Simülasyon Modellemesi

Ayrık olay simülatörü olan OPNET tam modelleme prosedürü içinde dört bölümden oluşmaktadır. Aşağıdaki Şekil 5.1'te ağ modeli tasarımı, bireysel istatistiklerin seçimi, simülasyon sonuçlarının toplanması ve elde edilen sonuçların analizi gösterilmiştir. Simülasyon modellemesinden çalışmanın amaçlarını yerine getirmek için önce modelin tasarımı, konfigürasyonu ve programlanması yapılmalıdır.



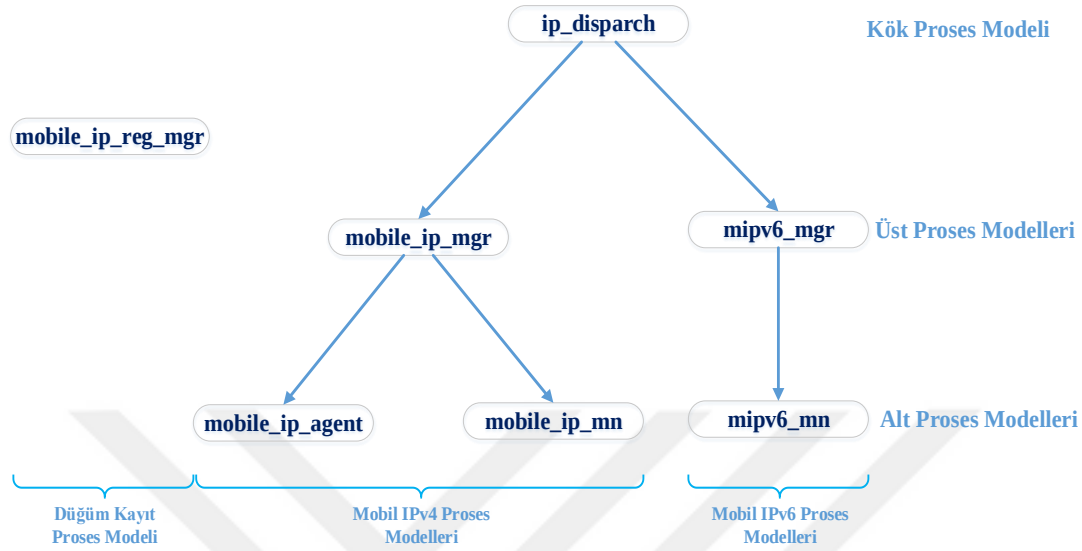
Şekil 5.1. OPNET Modeler'de simülasyon modellemesine genel bakış

5.2. OPNET'te Mobil Ağ Simülasyon Düzeni

Tüm mobil IP proses modelleri (*mobile_ip_mgr* ve *mip6_mgr*) IP proses modelinin (*ip_dispatch*) alt proses modelleridir. Mobil IP parametreleri *mobile_ip_reg_mgr* içinde konfigüre edildikten sonra bu proses modelleri çalışmaktadır. *Mobile_ip_reg_mgr* içinde konfigüre edilen parametreler IPv4 mobilite ise, *mobile_ip_mgr*, *ip_dispatch* proses modeli tarafından çağrılır. *Mobile_ip_reg_mgr* içinde konfigüre edilen parametreler IPv6 mobilite ise, *mip6_mgr*, *ip_dispatch* proses modeli tarafından çağrılır. Düğümün Ajan veya CN ve MN olması durumlarında, *mobile_ip_agent* ve *mobile_ip_mn* sırasıyla, *mobile_ip_mgr* proses modeli tarafından çağrılır. MIPv6 için ajan ve CN her ikisi de aynı proses modelini (*yanimip6_mgr*) kullanmaktadır. Eğer düğüm MN ise, *mip6_mn* proses modeli *mip6_mgr* proses modeli tarafından çağrılır. Bu proses modelleme hiyerarşisi Şekil 5.2'de gösterilmiştir.

OPNET'te mobil ağların simülasyonu uygulamasında çeşitli veri yapıları ve fonksiyonlar/özellikler bulunmaktadır. Bunlar arasında *mip6_defs*, *mip6_support*, *mip6_signaling_sup*, *mobile_ip_support*, *ipv6_ra*, *ipv6_extension_headers_defs* ve *ipv6_extension_headers_sup* olmak üzere sıralanabilir. Bu dosyalar başlık dosyaları (*.h) ve çalıştırılabilir dosyaları (*.exe.c) içermektedir. Bunların kısmı dinamik olarak oluşturulmuş birkaç proses modelini ve diğerleri alt proses modeli olarak çağrılanları da

bulunmaktadır. Şekil 5.2 gösterildiği gibi, Mobil IP proses modelleri otomatik ve alt proses olarak ana proses IP modelinden (*ip_dispatch*) çağrılır.



Şekil 5.2. Mobil IP dinamik işlemleri

5.3. MIPv6 Ağı Simülasyonu

MIPv6 simülasyon modelinde ağ simülasyonunu kapsayan düğümler MN, CN ve HA/FA'dır. İnternet bulutu, modelin internet altyapısındaki mobil ağ simülasyonunun parçası olarak simüle etmek için kullanılmıştır. İnternet altyapısında mobil ağ, simülasyonun gerekliliğini yerine getirmek için sadece simülasyonun parçası olarak alınmıştır. Bu nedenle bazı konfigürasyonlar dışında herhangi bir düzenleme ve değişiklikler dikkate alınmıştır. *Mipv6_mgr* ve *mipv6_mn* proses modelleri gibi gerekli modeller yeniden tasarlanmıştır. Simülasyon için uygun düğüm modelleri bulunduğundan düğümleri simülasyon modeline en uygun şekilde dikkatlice seçilmiştir. Simülasyonun diğer önemli kısımları kontrol mesajları gibi tanıtılmıştır. Tüm konfigürasyonlar aşağıdaki alt bölümlerde anlatılmaktadır.

5.3.1. Sinyal mesajlarının konfigürasyonu

OPNET'te; uzatma başlıkları, mobilite mesajları ve diğer sinyal mesajları veri yapıları olarak yürütülmektedir. Örneğin, mobilite uzantısı başlıkları *ipv6_extension_header_defs.h* dosyasına diğer IPv6 uzantısı başlıklarıyla birlikte uygulanır. Programlama parçası, Şekil 5.3 mobilite uzantısı başlık uygulanmasını *ipv6_extension_header_defs.h* göstermektedir.

```

/* Data structure that represents the mobility */
/* header body. */
typedef struct Ipv6T_Mobility_Hdr_Info
{
    IpT_Protocol_Type      next_hdr;
    Mipv6T_Mobity_Hdr_Type mh_type;      /* Mobility header */
                                        /* type. */
    Mipv6T_Mobility_Msg    msg_data;      /* Actual mobility */
                                        /* message. */
} Ipv6T_Mobility_Hdr_Info;

```

Şekil 5.3. IPv6_extension_header_defs.h dosyasında mobilite uzantısı başlığının tanımı

Uzantı başlıkları, mobilite mesajları, yönlendirme mesajları gibi vb. ağ kontrol mesajlarını taşımak için şifrelenmiştir. OPNET Modeler simülatöründe MIPv6 simülasyonu, mobilite mesajları Şekil 5.4'de gösterildiği gibi *mipv6_defs.h* dosyasında tanımlanmıştır. 4.bölümde açıklandığı gibi *Mipv6C_Agent_Location* ve *Mipv6C_MN_MR_Location* gibi iki yeni mobilite mesajı tanıtılmıştır. Bu durumda, *mipv6_support.h* dosyasında programlama parçasının Şekil 5.5'te gösterildiği gibi mobilite mesajlarının sayısı 8'den (2.bölüm belirtildiği gibi) 10'a yükselmiştir.

```

/* Constants that identify the mobility message */
/* types. */
typedef enum Mipv6T_Mobity_Hdr_Type
{
    Mipv6C_Bind_Ref_Req,
    Mipv6C_Home_Test_Init,
    Mipv6C_Care_Of_Test_Init,
    Mipv6C_Home_Test,
    Mipv6C_Care_Of_Test,
    Mipv6C_Bind_Update,
    Mipv6C_Bind_Ack,
    Mipv6C_Bind_Error,
    Mipv6C_Agent_Location,
    Mipv6C_MN_MR_Location
} Mipv6T_Mobity_Hdr_Type;

```

Şekil 5.4. *mipv6_defs.h* dosyasında MIPv6 ağı için mobilite mesajları türünün tanımı

```

#define MIPV6C_MOB_MSG_COUNT 8
#define MIPV6C_MOB_MSG_COUNT 10

```

Şekil 5.5. Mobilite mesajların sayısı

Bu iki mesajın aynı biçime sahip olduğundan aynı veri yapısı ile *Mipv6T_Bind_Location_Msg* olarak tanımlanmıştır. Şekil 5.6'ta *mipv6_support.h* dosyasında yapılandırılma işlemi gösterilmiştir.

```

/** Location Update Message.                                */
typedef struct
{
    OpT_uInt16    lat, lon, alt;
    InetT_Address addr;
} Mipv6T_Bind_Location_Msg;

```

Şekil 5.6. *mipv6_support.h* dosyasında Mipv6T_Bind_Location_Msg'un tanımı

Agent_Location ve *MNN_MR_location* güncelleme mesajı *mipv6_signaling_sup* dosyasında oluşturulmuştur. Tanımlanan iki yeni mesajın *mipv6_signaling_sup.h* içindeki işlevi Şekil 5.4, 5.5 ve 5.6'ta gösterildiği gibi *mipv6_signaling_sup.ex.c* dosyasında tanımlanmıştır.

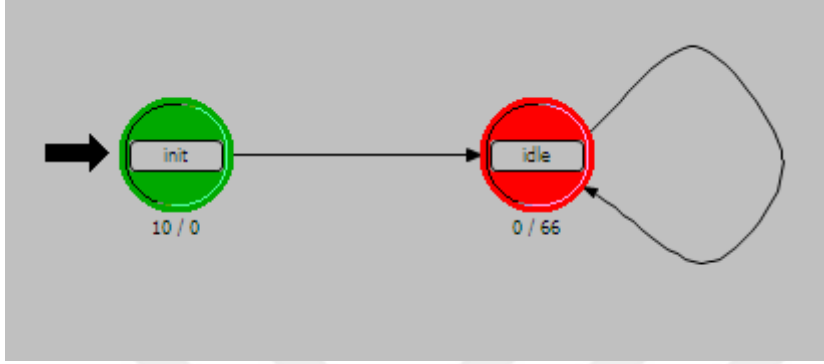
5.3.2. MIPv6 proses modelleri

Düğüm düzenleyicide oluşturulan düğüm modellerinin altında yatan işlevleri kontrol eden proses modelleri oluşturmak için proses düzenleyicisi kullanılmaktadır. İşlem modelleri Sonlu Durum Makineleri (Finite State Machines - FSM'ler) ile temsil edilir. Proses modelleri, durumları temsil eden ikonlarla ve durumlar arasındaki geçişleri temsil eden çizgilerle oluşturulmuştur. Her durumda veya geçişte gerçekleştirilen işlemleri, gömülü C veya C++ programlama bloklarında açıklanmıştır.

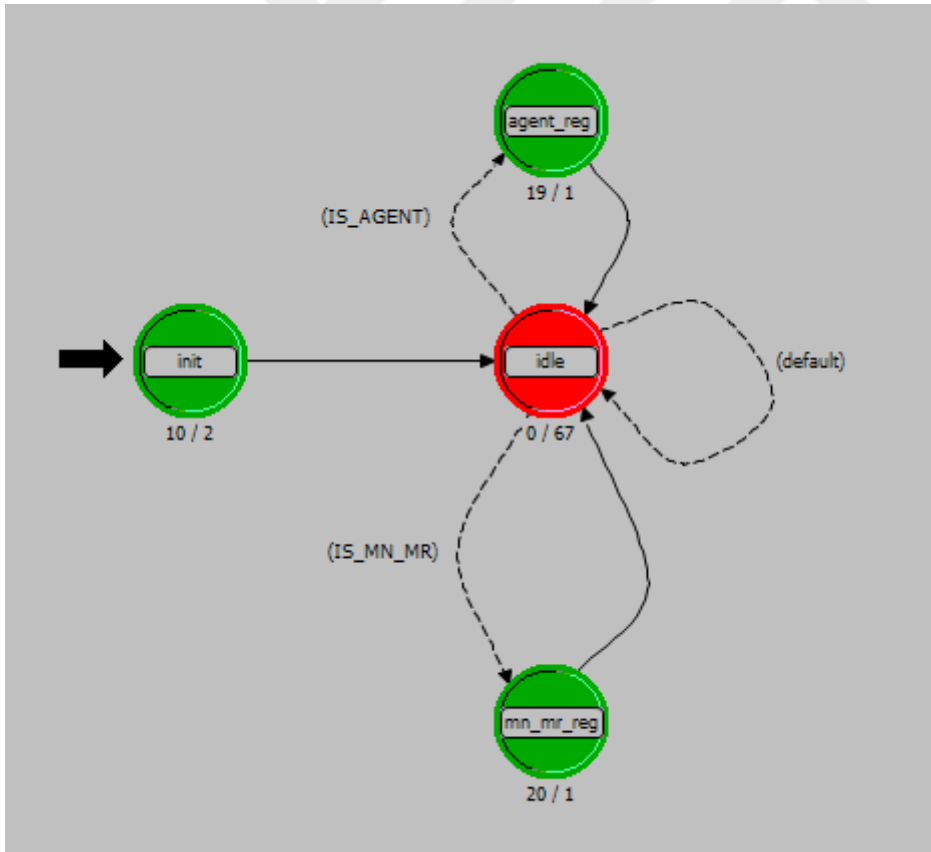
MIPv6'daki tez çalışmasına uyacak şekilde sadece iki standart proses modeli yeniden-tasarlanmış ve yeniden yapılandırılmıştır. Bu iki proses modeli *mipv6_mgr* ve *mipv6_mn*'dir. Düğümler HA, CN veya MN ise, *mipv6_mgr* proses modeli IP proses modeli (*ip_dispatch* proses modeli) tarafından çağrılmaktadır. Eğer bu düğümler *mobile_ip_reg_mgr* içinde IPv6 hareketlilik parametreleriyle yapılandırılmışsa *mipv6_mgr* çağrılır. Daha önce belirtildiği gibi eğer bir düğüm MN olarak yapılandırılmışsa *mipv6_mgr* proses modelinin *mipv6_mn* proses modelini de kullanarak çalışmaktadır. Bu proses modelleri (*mipv6_mgr* ve *mipv6_mn*) *ip_dispatch* proses modeliyle birlikte tüm mobil ağ işlemlerini gerçekleştirir. Fakat *mobile_ip_reg_mgr* proses modeli sadece ağdaki düğümlerin herhangi biri HA, CN veya MN olmak üzere tasarlanmış ise ve yönlendirme optimizasyonu veya RRP gibi diğer konfigürasyonlarda yapılandırmaktadır.

Standart *mipv6_mgr* proses modeli Şekil 5.7'de gösterilmiştir. Proses modeli, araştırma çalışması için uygun olan yönlendirme optimizasyonu, Şekil 5.8'de gösterildiği gibi yeniden tasarlanmıştır. Şekil 5.8'de gösterildiği gibi proses modeli *Mipv6C_Agent_Location* alırsa

idle durumdan *agent_state* durumuna geçecektir. Aynı zamanda MN gelecekteki bağlantıyı öngörmek için ajan düğümleri tarafından alınan her lokasyonu kullanarak saklamaktadır. Alınan mesaj MN tarafında ise *idle* durumdan *mn_mr_reg* durumuna geçecek ve hemen CN'ye EPBU gönderecektir.



Şekil 5.7. Standart mipv6_mgrproses modeli



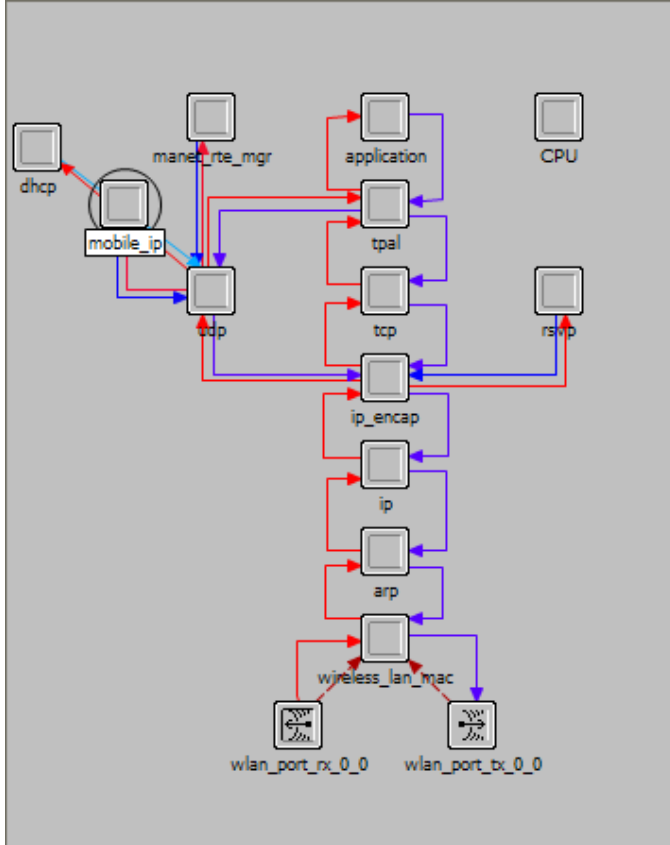
Şekil 5.8. Modifiye mipv6_mgrproses modeli

Standart *mipv6_mn* proses modeli Şekil 5.9’de gösterilmektedir. Bu proses modeli, RRP yönlendirme optimizasyonunu gerçekleştirmek için tasarlanmıştır. Araştırma gereksinimi

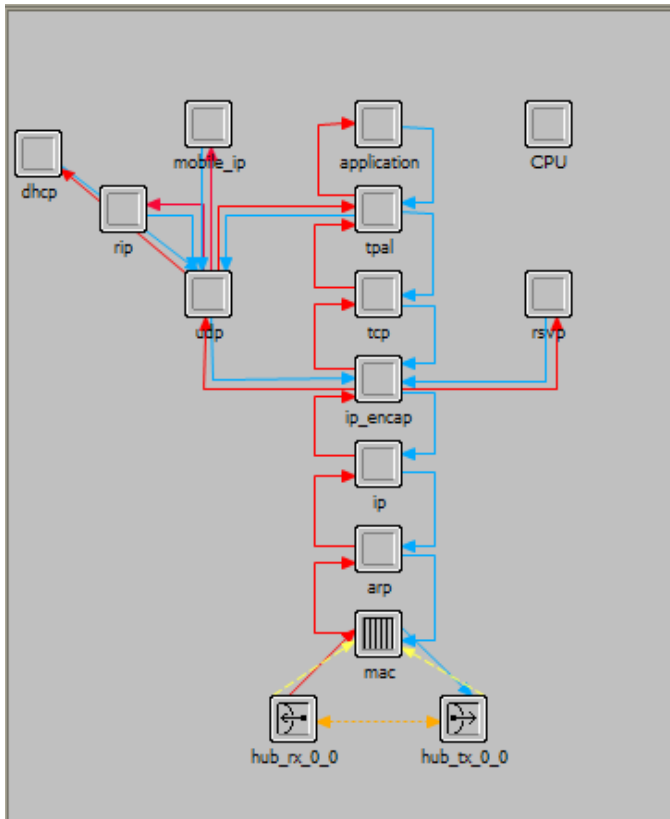
5.3.3. MPv6 düğüm modelleri

Düğüm düzenleyici, düğüm modelleri oluşturmak için kullanılır. Düğüm modelleri daha sonra proje düzenleyicisinde ağ içinde düğüm örnekleri oluşturmak için kullanılır. OPNET düğüm modelleri modüler bir yapıya sahiptir. Çeşitli modülleri paket akışlarına ve istatistik kablolarına bağlayarak düğüm tanımlanır. Modüller arasındaki bağlantılar, paketler ve durum bilgilerinin modüller arasında değiştirilmesine izin verir. Düğüme yerleştirilen her modül; paket üretmesi, paketleri sıraya koyması, paketleri işlemesi veya paketleri iletmesi ve alması gibi belirli amaçlara hizmet etmektedir.

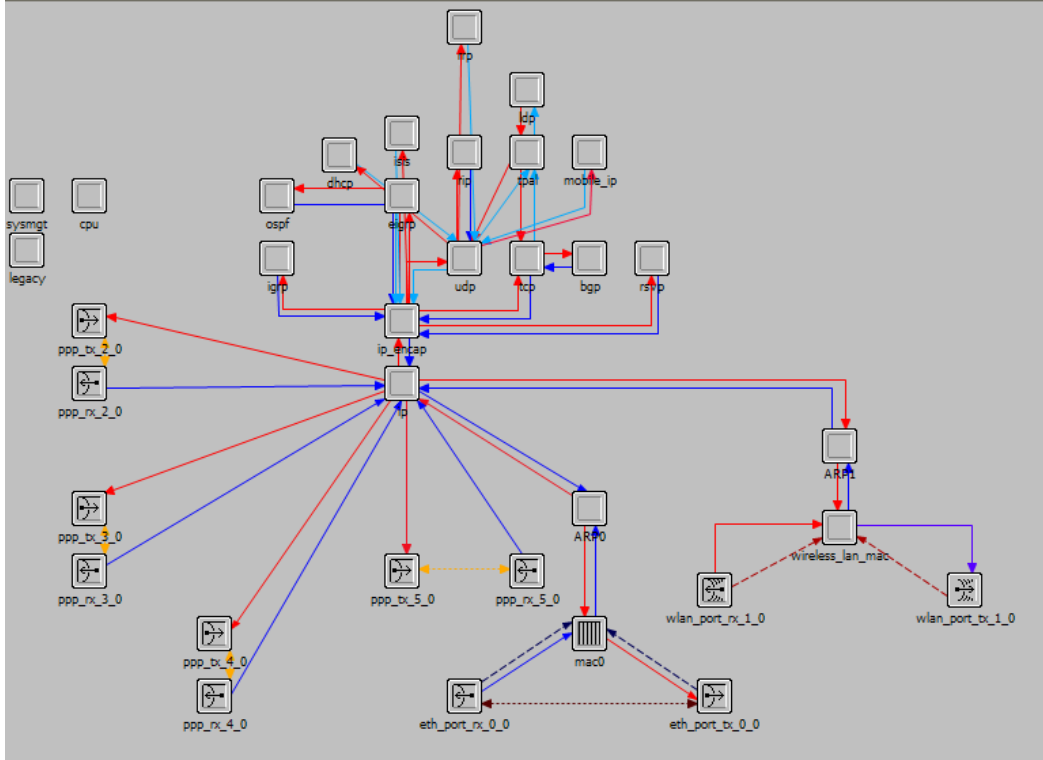
Daha önce belirtildiği gibi MIPv6 ağ simülasyonunda yer alan düğümler HA/FA, CN ve MN'dir. Bu kısımda, simülasyondaki ağ düğümleri için düğüm modelleri sunulmaktadır. Şekil 5.11, Şekil 5.12 ve Şekil 5.13'te sırasıyla: MN, CN ve HA (FA) düğüm modelleri gösterilmektedir. MN için düğüm modeli *wlan_wkstn_adv* tarafından sunulmuştur. Bu düğüm modeli, farklı ağlarda dolaşmak için bir kablosuz arayüz ve mobilite işlevselliğinden oluşmaktadır. CN için düğüm modeli *mip6_ethernet_server_adv* tarafından sunulmuştur. Bu düğüm modelinde bir ethernet arayüzü bulunmakta, ancak kablosuz arayüz bulunmamaktadır. Ayrıca, video konferans uygulamasını çalıştırma yeteneğine sahiptir. Son düğüm modeli olarak HA/FA kullanılmıştır. Bu düğüm modelini *wlan_ethernet_slip4_adv* temsil etmektedir. Bu düğüm modeli, kablosuz ve ethernet arayüzlerinden oluşmaktadır. Farklı ağlardan paketleri yönlendirmek ve HA işlevlerini gerçekleştirmek için yönlendirici işlevine sahiptir.



Şekil 5.11. `wlan_wkstn_adv` düğüm modeli



Şekil 5.12. `mipv6_ethernet_server_adv` düğüm modeli

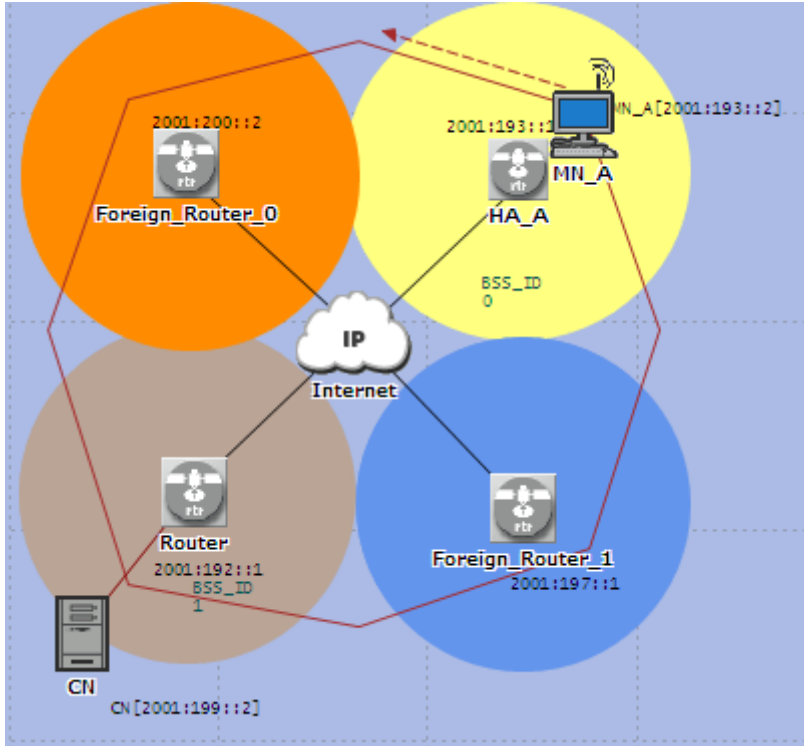


Şekil 5.13. wlan_ethernet_slip4_adv düğüm modeli

5.3.4. MIPv6 ağı modelleri

Ağ simülasyonu oluşturmak için temel olarak kullanılan alan proje düzenleyicisidir. Bu düzenleyicide, standart modelleri kullanarak ağ modeli tasarlamak için kullanılmaktadır. Ayrıca ağ hakkında istatistikleri toplamakta, simülasyonu çalıştırmakta ve sonuçları görüntülemektedir. Proje editöründen erişilebilen özel editörleri kullanarak, düğüm ve proses modelleri, paket formatları, filtreler ve parametreler oluşturulabilmektedir.

MIPv6 için ağ modeli Şekil 5.14'te gösterilmektedir. Eski-MIPv6, RRP ve önerilen yönlendirme optimizasyon mekanizmasını simüle etmek için kullanılmıştır. Topoloji dört yönlendirici yani HA/FA, CN ve MN kullanılarak yapılandırılmıştır. Şekildeki HA, MN için router görevi görmektedir. Router ise hem FA hemde CN için ağ geçidi görevi yapmaktadır. Böylece MN kendi HA'sından Foreign_Router_0'a, Router'a, ve Foreign_Router_1'den geçerek geri HA'sına döner.



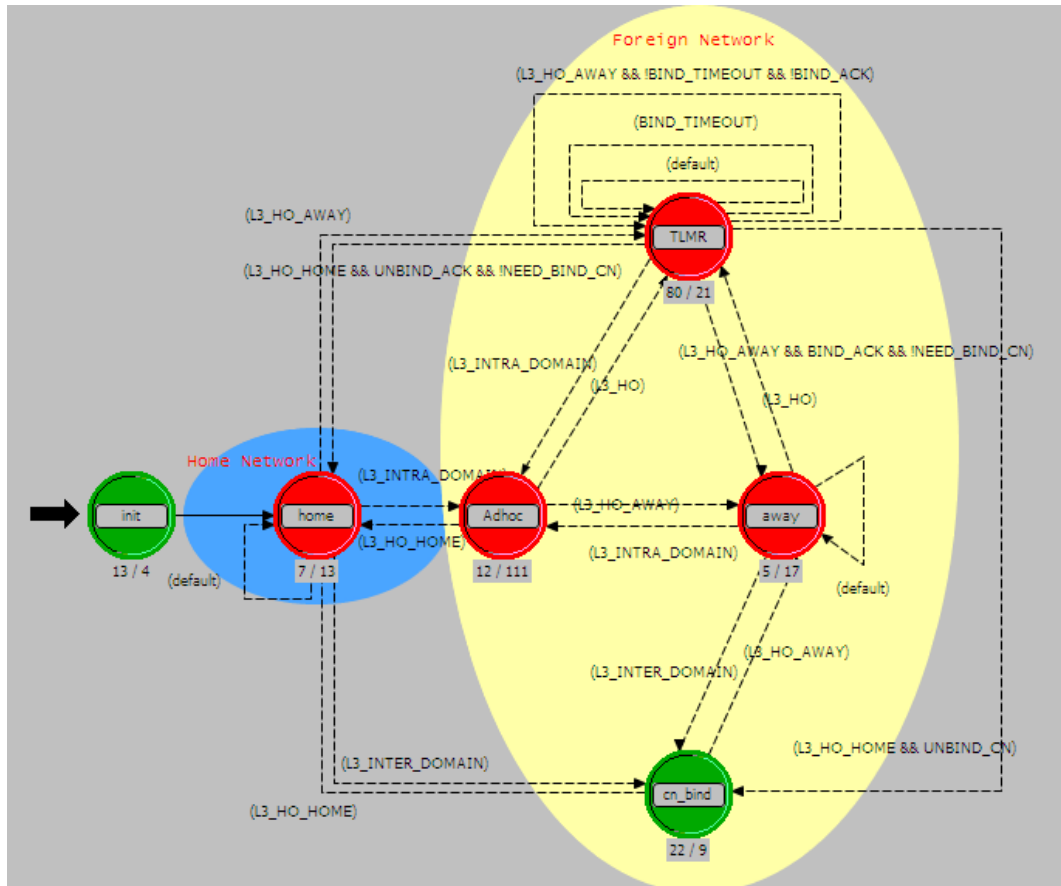
Şekil 5.14. MIPv6 ağ topolojisi

5.4. NEMO Ağın Simülasyonu

NEMO ağının OPNET Modeler 14.0'deki simülasyonu, MIPv6 ağında farklı değildir. Tek fark, NEMO-BS'nin ağdaki diğer varlıkları tanıtmaktadır. Ağdaki fazla varlık, tüm MNN'yi mobil ağ etrafına bağlayan MR'dir. Ayrıca tüm MNN'ler için proxy görevini yerine getirmektedir. Bu durumda, MR için inter NEMO ve intra NEMO iletişimde tüm MR işlevselliğini gerçekleştirerek başka proses modeli olarak tasarlanmıştır. Ek olarak, MR için mevcut uygun düğüm modeli kullanılmıştır. Bunların dışında kalan tüm düğümlerde küçük değişiklikler olmuş ve önceki MIPv6 simülasyon modelleri kullanılmıştır.

5.4.1. NEMO işlem modelleri

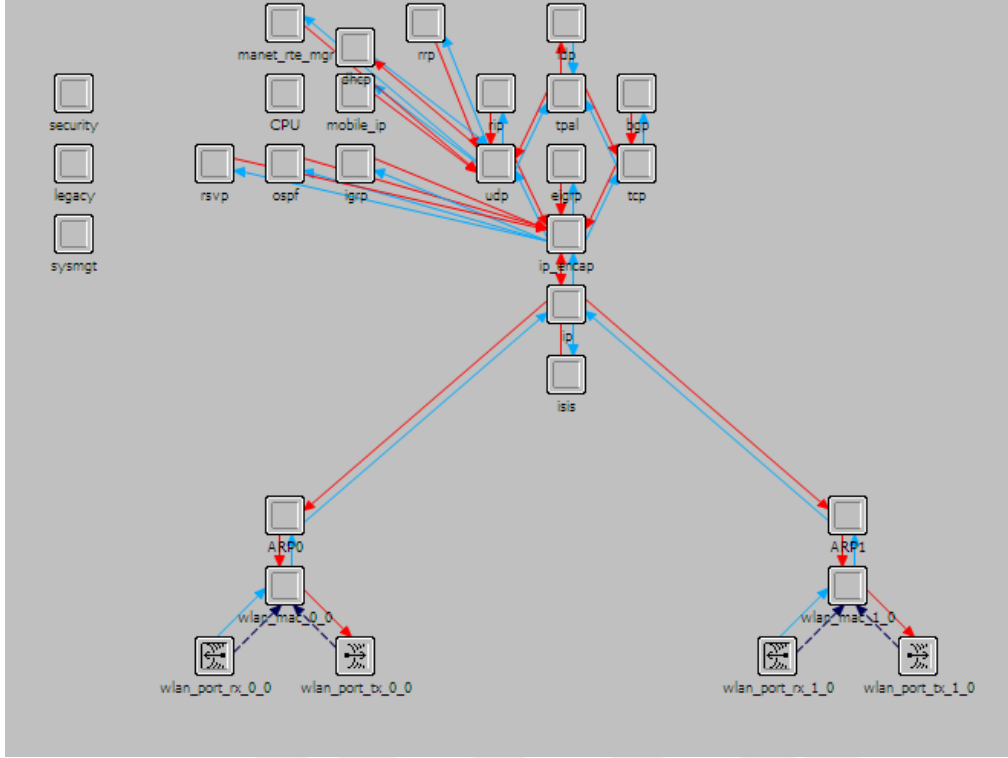
NEMO simülasyon modelleri için, OPNET Modeler 14.0'te proses modeli tasarlanmamıştır. NEMO-BS, MIPv6 protokolleri uzantısı olduğu için, Şekil 5.2'deki aynı simülasyon kategorisine dahil edilmiştir. MR Proses modeli tasarımı Şekil 5.15'te, gösterilmiştir. Proses modeli inter NEMO ve intra NEMO haberleşmede yönlendirme optimizasyon işlemini gerçekleştirir. Düğümlerin (HA/FA, MN ve CN gibi) proses modelleri aynı kalmıştır. Ancak küçük değişiklikler NEMO simülasyonuna uyacak şekilde yapılandırılmıştır.



Şekil 5.15. MR (*mipv6_mr*) proses modeli

5.4.2. NEMO düğüm modelleri

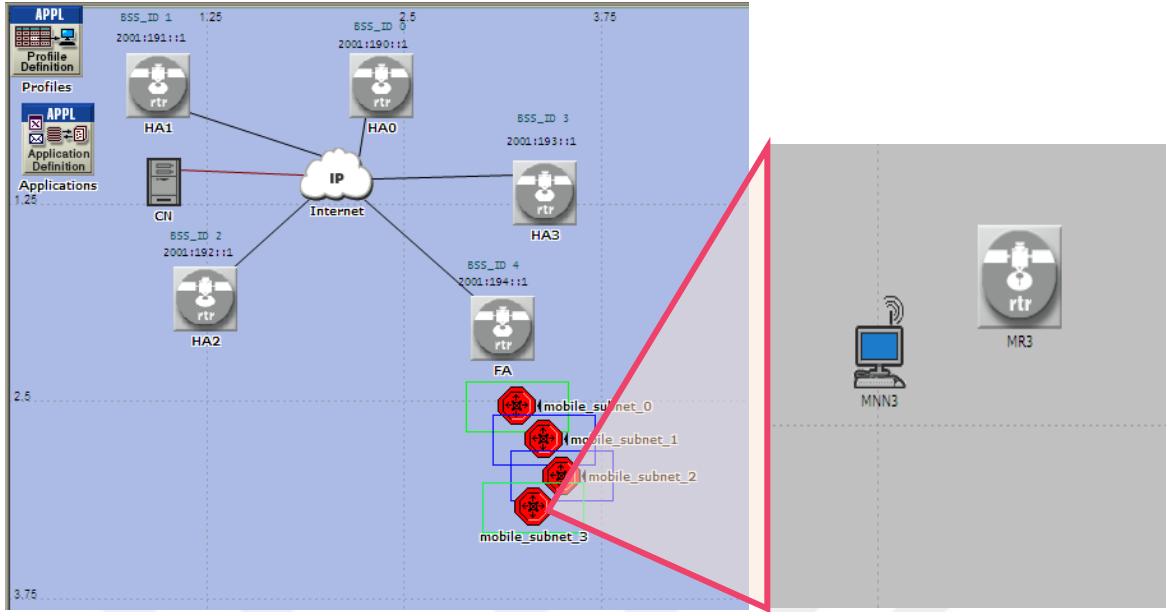
Düğüm modeli, düğümlerin iç yapılarını belirtir. Gelişmiş ileri düğüm modeli, iç düğüm modeli detay yapıları uygulanmış ve OPNET simülasyon yazılımında geliştirilmiştir. Şekil 5.16, MR için düğüm modelini göstermektedir. MR, wlan2_router_adv tarafından sunulmaktadır. Düğüm modeli biri çıkış arayüzü, diğeri giriş arayüzü olmak üzere iki kablosuz arayüzden oluşur. Ek olarak düğüm modeli bir ağdan diğerine dolaşma kabiliyetine sahiptir ve kapsamında yer alan tüm MNN'ler için yönlendirici görevi görmektedir.



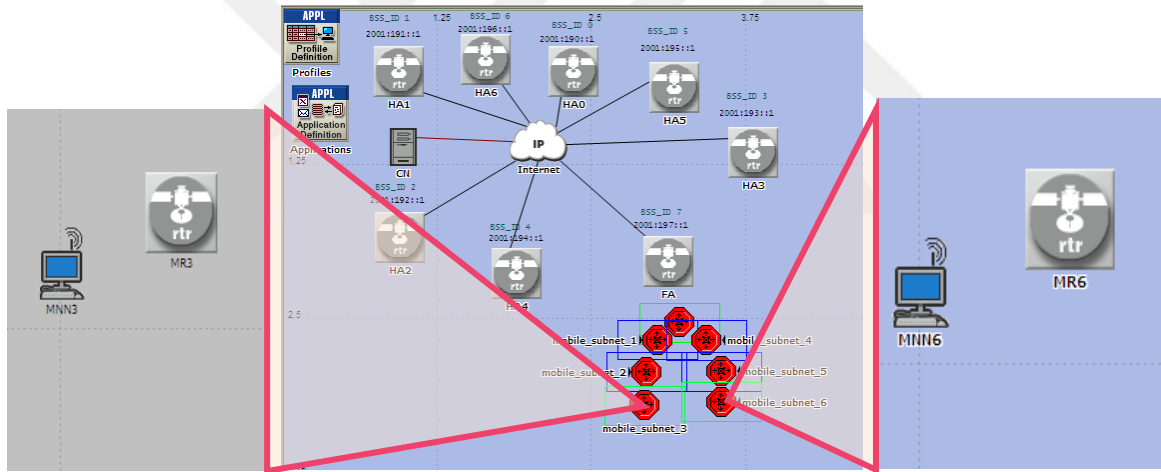
Şekil 5.16. wlan2_router_adv düğüm modeli

5.4.3. NEMO ağ modeli

Modellenen ağın türüne bağlı olarak, ağ modeli alt ağlar ve noktadan noktaya bağlı düğümler, veriyolu veya radyo bağlantıları ile oluşabilir. Alt ağlar, düğümler ve bağlantılar, alt ağlara yerleştirilebilir ve bunlar ağ modelinde tek nesne olarak ele alınabilir. Bu ağ diyagramını yönetilebilir parçalara ayırmak için yararlı olmakla beraber, düğüm ve bağlantı gruplarını çoğaltmanın da hızlı yolunu sağlamaktadır. Şekil 5.17 ve Şekil 5.18 sırasıyla inter NEMO ve intra NEMO ağ iletişimi için ağ modelini göstermektedir. Önceki, FA alanı altındaki dört mobil alt ağından oluşmaktadır. Mobile_subnet_0 altındaki MR0, TLMR işlevini görür ve MR3 altındaki MNN3 harici CN ile iletişim kurmaktadır. Daha sonraki ağ modeli yedi mobil alt ağdan oluşmaktadır. Önceki senaryoda olduğu gibi MR0, TLMR işlevini yerine getirmektedir. MR3 altındaki MNN3 ve MR6 altındaki MNN6, birbirlerinin FA alanı içerisinde iletimi sağlamaktadır.



Şekil 5.17. Inter NEMO ağ modeli



Şekil 5.18. Intra NEMO ağ modeli

6. SAYISAL ANALİZ VE ANALİTİK SONUÇLAR

Bu bölümde, analitik sonuçlar ve tartışmalar sunulmuştur. Ayrıca, bazı parametrelerin sayısal sonuçları analiz edilmiştir. Mobil ağda hücreler arası aktarma gecikmesi, uçtan uca gecikme, tünel açma ve yönlendirme optimizasyonu ek yükü gibi birçok parametrenin etkisi incelenmiştir. Analiz edilen sayısal sonuçlar, özellikle ağda gösterilen genel değerler formül veya yüzde cinsinden verilmiştir. MIPv6 ve NEMO ağlarında önerilen mekanizmalar, ayrık olay simülatörü olan OPNET Modeler 14.0'da simüle edilmiştir. Önerilen mekanizmalarda, gerçek uygulama (hafif video konferans) kullanılarak etkinlik açısından da incelenmiştir. Hafif video konferans uygulaması; uçtan uca gecikme ve paket kaybı parametreleri de incelenmiştir. Herhangi bir yönlendirme optimizasyon mekanizması, ağda tanıtılan ek yük mesajlarına göre incelenmiştir. Böylece, önerilen mekanizmaların etkinliğini ortaya çıkartmak için sinyalizasyon, yönlendirme optimizasyonu ve tünel ek yükü kullanılmıştır. Bu parametreler aşağıdaki alt bölümlerde analiz edilmiş, sunulmuş ve tartışılmıştır.

6.1. MIPv6 Sayısal Analizi ve Simülasyon Sonuçları

Bu bölümde MIPv6'daki önerilen yönlendirme optimizasyonundan (EPBU) elde edilen sonuçlar verilmiştir. Sonuçların Eski-MIPv6 ve RRP yönlendirme optimizasyonu ile karşılaştırılmış ve değerlendirilmiştir. Ancak, MIPv6 ağındaki sayısal sonuçlar zamana göre verilmiştir. Sonuçlar, 4. bölümdeki Şekil 4.2'de gösterilen ağ modeline göre incelenmiştir. Çizelge 6.1'de simülasyon parametreleri gösterilmektedir.

Çizelge 6.1. MIPv6 ağlarında simülasyon parametreleri

Parametre	Değer
Topoloji boyutu	Kampus (10km×10km)
Yörünge	Vektör
Yer hızı	28 Sm
Uygulama	Video konferansı (hafif)
Yönlendirme Optimizasyonu Yöntemi	Eski-MIPv6, RRP ve EPBU
Simülasyon zamanı	720 Sn

6.1.1. Hücreler arası aktarma gecikmesi

MN bir ağdan diğerine geçiş yaparken, devam eden oturumu yeniden yönlendirmek için geçen süre, hücreler arası aktarma gecikmesi olarak dikkate alınmaktadır. Hücreler arası aktarma gecikmesi iki bölümden oluşmaktadır. MN'nin yabancı ağda yeni adresi (CoA'yı) yapılandırması için geçen süre (çözünürlük gecikmesi) ve MN'nin HA'ya veya CN'ye kayıt yapması veya yapmaması için geçen süreyi (kayıt gecikmesi) belirtmektedir. Hücreler arası aktarma gecikmesi, aşağıdaki denklem 2 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$T_H = T_{Res} + T_{Reg} \quad (2)$$

T_H	= Hücreler arası aktarma gecikmesi
T_{Res}	= Çözünürlük gecikmesi
T_{Reg}	= Kayıt gecikmesi

Bu çalışmada, yönlendirmeyi en iyi şekilde ayarlamak için (optimizasyon) oluşturulan mekanizmanın odağı çözünürlük gecikmesi yerine kayıt gecikmesidir. Çözünürlük gecikmesi tüm mekanizmalar için aynıdır. Çözünürlük gecikmesi, Yönlendirici Bulma, DAD ve CoA Kaydı gibi etmenlerden kaynaklanmaktadır. Çözünürlük gecikmesi için denklem 3 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$T_{Res} = T_{RD} + T_{DAD} + T_{CoA-Reg} \quad (3)$$

T_{RD}	= Yönlendirici Bulma Gecikmesi
T_{DAD}	= Çift kopya Adres Algılama Gecikmesi
$T_{CoA-Reg}$	= CoA Kayıt Gecikmesi

MN'nin HA ile paketleri geçmeden ve doğrudan CN ile iletişim kurmak için meydana gelen kayıt gecikmesi, kullanılan yönlendirme optimizasyon şemasına bağlıdır. Eski-MIPv6 protokolünün yönlendirme optimizasyon mekanizması olmadığından dolayı kayıt işlemi sadece HA'da yapılmaktadır. Eski-MIPv6 için yaşanan kayıt gecikmesi, HA'da kayıt sırasında geçen süredir. Bu süreye aşağıdaki 4.denkleme yer verilmiştir.

$$T_{Reg} = T_{Reg_{MN \rightarrow HA}} \quad (4)$$

$$T_{Reg_{MN \rightarrow HA}} = \text{MN'nin HA'ya Kayıt Gecikmesi}$$

Elde edilen bilgilerden yola çıkılarak, Eski-MIPv6 protokolünün hücreler arası aktarma gecikmesi denklem 5'te verilmiştir.

$$T_H = T_{RD} + T_{DAD} + T_{CoA-Reg} + T_{Reg_{MN \rightarrow HA}} \quad (5)$$

RRP yönlendirme optimizasyon mekanizması yapısında, öncelikle HA'da kayıt olmak için MN başlatılır. MN tünelde HA yoluyla paket alırsa, MN, CN'de kayıt işlemine başlamadan önce RRP'yi başlatır. Böylece, RRP yönlendirme optimizasyon mekanizması için kayıt gecikmesi denklemde 6 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$T_{Reg} = T_{Reg_{MN \rightarrow HA}} + T_{RRP} + T_{Reg_{MN \rightarrow CN}} \quad (6)$$

$$T_{RRP} = \text{RRP gecikmesi}$$

Ek olarak, RRP mekanizması için hücreler arası aktarma gecikmesi için denklem 7 kullanılmıştır.

$$T_H = T_{RD} + T_{DAD} + T_{CoA-Reg} + T_{Reg_{MN \rightarrow HA}} + T_{RRP} + T_{Reg_{MN \rightarrow CN}} \quad (7)$$

Önerilen EPBU yönlendirme optimizasyon mekanizması için kayıt işlemi, çözünürlük işlemiyle aynı zamanda gerçekleşmektedir. Kayıt işlemi, çözünürlük işlemi tamamlanmadan önce tamamlanabilmektedir. MN, EPBU işleminden sonra HA ve CN'de kayıt işlemi gerçekleştirirse bile, kayıt gecikmesi yok sayılacaktır veya yaklaşık olarak sıfıra eşit ($T_{Reg} \cong 0$) alınacaktır. Bunun nedeni, kayıt işlemine başlamadan önce paketlerin yabancı yönlendirici aracılığıyla alınabilmesidir. Bu nedenle, EPBU yönlendirme optimizasyon mekanizması için hücreler arası aktarma gecikmesi, denklemde 8'de gösterildiği gibi çözünürlük gecikmesine eşit olacaktır.

$$T_H = T_{Res} = T_{RD} + T_{DAD} + T_{CoA-Reg} \quad (8)$$

Hücreler arası aktarma işlemi sırasında MN, HA veya CN ile bağlama işlemi tamamlanana kadar CN'den herhangi bir paket alınamaz. Çizelge 6.2'de Yönlendirici Bulma, CoA Kayıt,

DAD ve HA ile BU kayıt işlemi nedeniyle hücreler arası aktarma işlemi gecikme değerleri gösterilmiştir. Bu dört işlem ile hücreler arası aktarma işlemi sırasında gecikme değeri (21,6 sn değeri) aynıdır. Bu gecikme işleminde tüm mekanizmalar dikkate alınmaktadır. Çünkü, HA'ya bağlanma kaydıyla ve herhangi bir yönlendirme optimizasyon işleminden önce yapılmıştır. FA_3 ile HA arasındaki gecikme değeri farkı ise 14.4 sn değerine sahiptir. Bunun nedeni MN ev ağına geri dönmesidir. Dolayısıyla, HA'da hiçbir BU kayıt işlemi gerçekleştirilmemiştir. HA'daki BU kayıt işlemi $21.6 - 14.4 = 7.2$ sn gecikme değerine sahip olduğu gözlenmiştir.

Çizelge 6.2. Hücreler arası aktarma ve HA'da BU kaydı gecikmesi

Nu.	Hücreler arası aktarma	Zaman Aralığı (Sn)	Gecikme (Sn)
i	HA_A ile Foreign_Agent_0	129.6 ile 151.2	21.6
ii	Foreign_Agent_0 ile Router	295.2 ile 316.8	21.6
iii	Router ile Foreign_Agent_1	460.8 ile 482.4	21.6
iv	Foreign_Agent_1 ile HA_A	626.4 ile 640.8	14.4

Çizelge 6.3, CN tarafından BU kayıt işleminden kaynaklanan hücreler arası aktarma gecikme değerini göstermektedir. Eski-MIPv6, BU'yu CN'ye göndermez. Bunun nedeni CN'ye BU kaydı gözardı edilmiştir. CN'ye BU kaydı için RRP'nin gecikmesi ve EPBU'nin gecikmesi iki kez olduğu gözlenmiştir. RRP mekanizması, BU'yu göndermeden önce HoTI ve CoTI'yı CN'ye göndermelidir. MN “ev ağı”na döndüğündeki gecikme ile aynıdır. Bunun nedeni hiçbir RR testi ve BU'nun CN'ye gönderilmemesidir.

Çizelge 6.3. CN'ye BU kayıt gecikmesi

Nu.	Hücreler arası aktarma	RRP (Sn)	EPBU (Sn)
i	HA_A ile Foreign_Agent_0	14.6	7.2
ii	Foreign_Agent_0 ile Router	14.6	7.2
iii	Router ile Foreign_Agent_1	14.6	7.2
iv	Foreign_Agent_1 ile HA_A	0	0

6.1.2. Uçtan uca gecikme

Uçtan Uca Gecikme veya Tek Yönlü Gecikme (One-Way Latency - OWL), her yönlendiriciden hedefe giden yolda yaşanan gecikmelerin toplamını ifade etmektedir. Ayrıca paketin kaynaktan hedefe iletilmesi için geçen süreyi de ifade etmektedir. Kaynak ve hedef arasında yaşanan uçtan uca gecikme ne kadar azsa, paketin hedefe hızlı teslim edileceği anlamına gelir. Uçtan uca gecikme, aşağıda belirtildiği gibi faktörlerin sayısına göre kategorize edilir.

- İletim gecikmesi, paketin kablolu bağlantıya iletilmesi için geçen süredir. İletim gecikmesi, Dijital Abone Hattı (Digital Subscriber Line - DSL) veya T1 hatları gibi düşük hızlı erişim bağlantıları üzerinden büyük paketler için yüksek belirtici olabilir. Örneğin, 380 Kbayt/sn DSL yukarı yönde bağlantısı üzerinden iletilen 1500-baytlık paket yaklaşık 32 ms sürebilir. İletim gecikmesi yüksek hızlı bağlantılar için oldukça düşük olur. Örneğin, 155 Mbayt/sn STM-1/OC-3 bağlantısı üzerinden iletilen 1500-baytlık paket sadece 0.08 ms sürebilir.
- Paket İşleme gecikmesi, paketin ağ düğümlerinde (atlama noktalarında) işlenmesi için geçen süredir. Örneğin, kuyruklama, tabloda arama, kapsülleme veya kapsül bozma gibi kaynak ve hedef arasında çok fazla atlama sayısı varsa, kuyruklama, yönlendirme gibi sorunlar paketlerin ağa aktarılma hızlarında büyük yük haline gelir.
- Yayılım gecikmesi, sinyalin kablosuz bağlantı üzerinden geçmesi için geçen süredir. Bilindiği gibi mobil ağ, kablolu ve kablosuz ortamdan oluşur. Bundan dolayı, kablosuz bağlantı paketlerin AR'dan ve MN'ye yayılması sırasında bir miktar gecikmeyi de ekler.

Uçtan uca gecikme için denklem 9 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$T_{E2E} = T_{TL} + T_{PPL} + T_{PL} \quad (9)$$

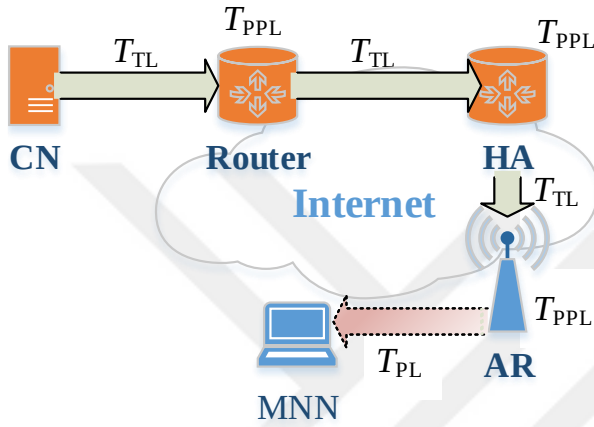
$$T_{E2E} = \text{Uçtan uca gecikmesi}$$

$$T_{TL} = \text{İletim gecikmesi}$$

$$T_{PPL} = \text{Paket İşleme gecikmesi}$$

$$T_{PPL} = \text{Yayılım gecikmesi}$$

İnternet bulutunda yönlendirici AR ve HA arasında başka atlama olmadığı varsayılır. Tüm kablolu bağlantılar için iletim gecikmesi aynıdır ve tüm ara cihazlar için işlem gecikmesi aynıdır. Eski-MIPv6 protokolündeki paketler üçgen şeklinde iletildiğinden dolayı paketler kaynaktan hedefe kadar uzun yol alırlar. Şekil 4.2 ve Şekil 5.14'deki ağ modeli göz önüne alındığında, Eski-MIPv6 protokolündeki paketlerin yönlendirilmesi Şekil 6.1'de gösterilmiştir.

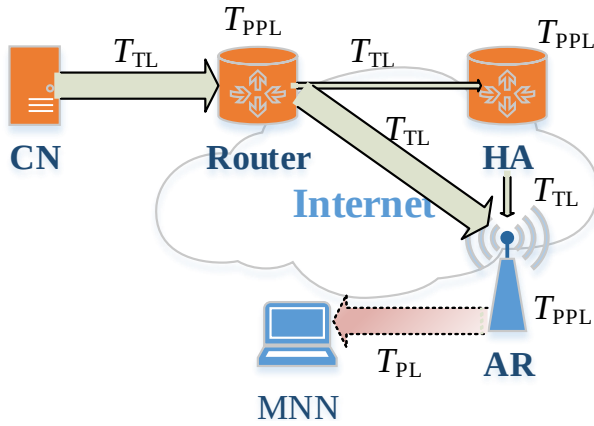


Şekil 6.1. Eski-MIPv6 için paket yönlendirme

MN ev ağından uzak olduğunda, Eski-MIPv6 protokolü için uçtan uca gecikme denklem 10 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$T_{E2E} = 3(T_{TL} + T_{PPL}) + T_{PL} \quad (10)$$

RRP mekanizmasındaki paket yolu, kısa süre dışında, optimize edilmiş yönlendirmeyi takip eder. MN'nin RRP testini gerçekleştirdiği zaman elde ettiği paket yönlendirme Eski-MIPv6 ile aynıdır. T'nin, MN'nin ve t'nin, yabancı bir ağda tam zamanlı olarak RRP testi yapmasını ele aldığımızda RRP mekanizması için paketlerin yönlendirilmesi Şekil 6.2'de gösterildiği gibi gerçekleşmektedir.



Şekil 6.2. RRP mekanizması için paket yönlendirme

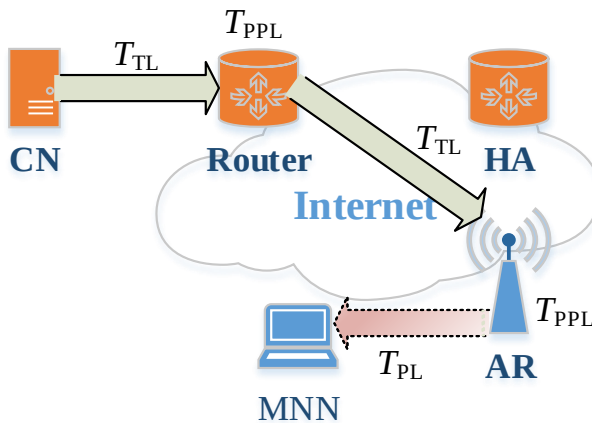
RRP mekanizması için uçtan uca gecikme için denklem 11 kullanılmıştır.

$$T_{E2E} = 2 \left(\frac{T-t}{T} \right) (T_{TL} + T_{PPL}) + 3 \frac{t}{T} (T_{TL} + T_{PPL}) + T_{PL} \quad (11)$$

T = Kaynaktan hedefe gönderilen paket için harcanan toplam süre

t = Paketlerin HA aracılığıyla geçen süre

EPBU mekanizmasındaki paket yolu, MN'nin ev ağından uzak olduğu zaman optimize edilmiş yönlendirmeyi takip edmektedir. Bu optimize edilmiş yönlendirme, MN'nin hücreler arası aktarma işlemini gerçekleştirdiği zamanı da içermektedir. EPBU mekanizmasında CN, EPBU mesajı aldığı anda paketler hemen MN yabancı ağına iletilir, böylece tüm paketler optimize edilmiş yoldan geçer. EPBU mekanizmasındaki paket yolu Şekil 6.3'te gösterilmektedir.



Şekil 6.3. EPBU mekanizması için paket yönlendirme

EPBU mekanizması için uçtan uca gecikme için denklem 12 kullanılmıştır.

$$T_{E2E} = 2(T_{TL} + T_{PPL}) + T_{PL} \quad (12)$$

Eski-MIPv6 ve EPBU mekanizmasının uçtan uca gecikmesi karşılaştırılarak, aralarındaki uçtan uca gecikme farkı hesaplanır. Bunun için 13. denklem kullanılmıştır.

$$\begin{aligned} T_{E2E_C} &= T_{E2E_{LMIPv6}} - T_{E2E_{EPBU}} \\ &= (3(T_{TL} + T_{PPL}) + T_{PL}) - (2(T_{TL} + T_{PPL}) + T_{PL}) \end{aligned} \quad (13)$$

$$T_{E2E_C} = 3T_{TL} - 2T_{TL} + 3T_{PPL} - 2T_{PPL} + T_{PL} - T_{PL}$$

$$T_{E2E_C} = T_{TL} + T_{PPL}$$

Yukarıdaki denklemden, Eski-MIPv6 için uçtan uca gecikme, EPBU mekanizmasına kıyasla daha yüksektir. Ağ modeli ile ilgili olarak, Eski-MIPv6 ile EPBU mekanizması karşılaştırıldığında daha fazla atlama ve gecikme süresi elde edilmiştir.

Ayrıca RRP ve EPBU mekanizmasının uçtan uca gecikmesi karşılaştırılarak, aralarındaki uçtan uca gecikme farkını hesaplamak için 14. denklem kullanılmıştır.

$$\begin{aligned} T_{E2E_C} &= T_{E2E_{RRP}} - T_{E2E_{EPBU}} \\ &= \left(2 \left(\frac{T-t}{T} \right) (T_{TL} + T_{PPL}) + 3 \frac{t}{T} (T_{TL} + T_{PPL}) + T_{PL} \right) \\ &\quad - (2(T_{TL} + T_{PPL}) + T_{PL}) \end{aligned} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} T_{E2E_C} &= \left(\frac{2TT_{TL} + 2TT_{PPL} - 2tT_{TL} - 2tT_{PPL}}{T} + \frac{3tT_{TL} + 3tT_{PPL}}{T} + T_{PL} \right) \\ &\quad - (2T_{TL} + 2T_{PPL} + T_{PL}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_{E2E_C} &= \frac{2TT_{TL} - 2tT_{TL} + 2TT_{PPL} - 2tT_{PPL} - 2tT_{TL} - 2tT_{PPL}}{T} + \frac{3tT_{TL} + 3tT_{PPL}}{T} + T_{PL} \\ &\quad - T_{PL} \end{aligned}$$

$$T_{E2E_C} = \frac{-2tT_{TL} - 2tT_{PPL}}{T} + \frac{3tT_{TL} + 3tT_{PPL}}{T}$$

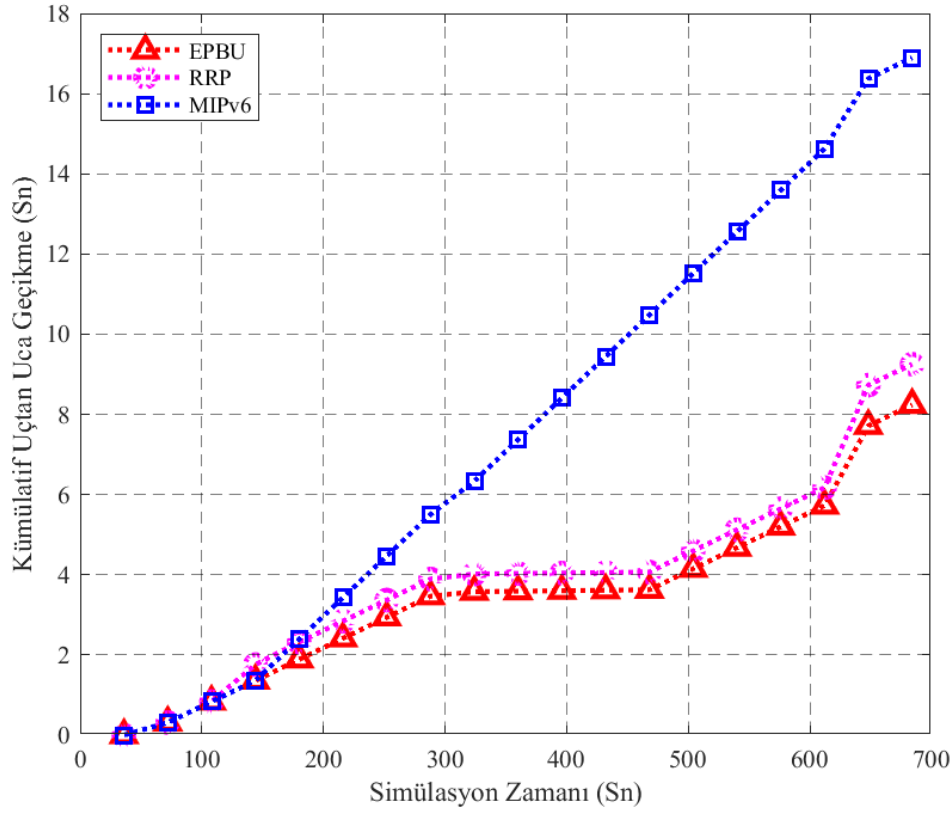
$$T_{E2E_C} = \frac{3tT_{TL} - 2tT_{TL} + 3tT_{PPL} - 2tT_{PPL}}{T}$$

$$T_{E2E_C} = \frac{tT_{TL} + tT_{PPL}}{T}$$

$$T_{E2E_C} = \frac{t}{T} (T_{TL} + T_{PPL})$$

RRP mekanizması, denklemde gösterildiği gibi EPBU mekanizmasına kıyasla $\frac{t}{T} (T_{TL} + T_{PPL})$ daha yüksek uçtan uca gecikmeye sahiptir. Ağ modeline göre RRP'nin uçtan uca gecikmesi, RRP testi gerçekleştirildiğinde EPBU'yu aşmaktadır.

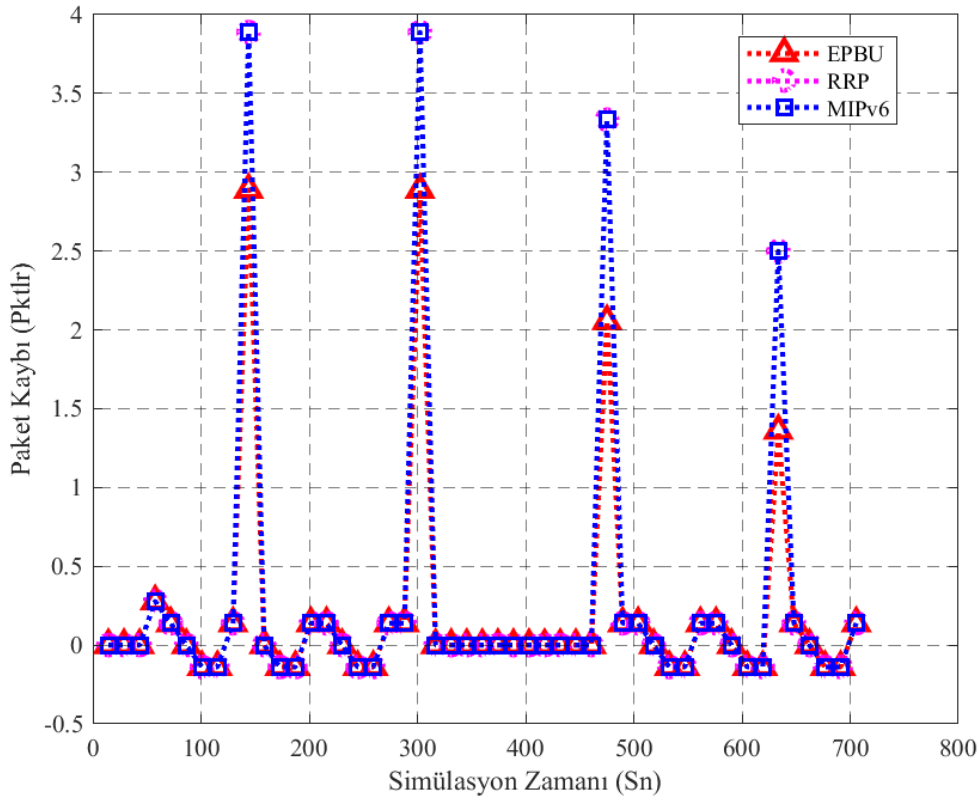
Şekil 6.4, EPBU, Eski-MIPv6 ve RRP mekanizması için sn olarak kümülatif uçtan uca gecikmeyi göstermektedir. Eski-MIPv6 için uçtan uca gecikme çok yüksektir. Bunun nedeni, Eski-MIPv6'nın yönlendirme optimizasyon özelliğine sahip olmamasıdır. Bu nedenle tüm paketlerin üçgen yönlendirmeden geçmesi gerektiği anlamına çıkmaktadır. RRP, özellikle ağ geçişi sırasında EPBU yönlendirme optimizasyonuna kıyasla uçtan uca yüksek seviyeyi gösterir. Bunun nedeni ise bağlama işleminin başlatılmasından önce paketlerin üçgen yönlendirmeden geçmesidir. Ağ geçişinden ayrı olarak uçtan uca gecikmeler RRP ve EPBU için aynıdır, çünkü CN paketleri doğrudan MN yabancı ağa iletmektedir. 324 sn ve 468 sn aralığında, uçtan uca gecikme sıfıra eşittir (EPBU $3,5 - 3,5 = 0$ ve RRP $4 - 4 = 0$ için). Çünkü MN ve CN aynı ağda bulunmaktadır.



Şekil 6.4. Kümülatif uçtan uca gecikmesi

6.1.3. Paket kaybı

EPBU, Eski-MIPv6 ve RRP yönlendirme optimizasyonu için paket kayıplarının karşılaştırılması Şekil 6.5'te verilmiştir. 129 sn ile 158 sn, 302.4 sn, 475.2 sn ve 633.6 sn arasında MN'nin hücreler arası aktarma işlemini başlattığı zamanları göstermektedir. Paket kaybı, Eski-MIPv6 ve RRP ile EPBU yönlendirme optimizasyon mekanizmasına kıyasla daha yüksektir. Bunun nedeni, MN'nin, CN'ya veya HA'ya BU gönderene kadar hiçbir paket almamasıdır. Eski-MIPv6 ve standart RRP tarafından MN, HA ile bağlandığında, tünelde paketler alınmaya başlar. RRP'den daha sonra MN, DönüşYönlendirilebilirliği (RR) testinin ve bağlama işleminin CN ile tamamlanmasından sonra doğrudan CN'den paketi almaktadır. EPBU'daki, yabancı ağda CoA kayıt işleminin tamamlanmasından sonra MN tarafından paketler alınır. Ağ geçişinin olmadığı sürelerde, EPBU ve RRP yönlendirme optimizasyon mekanizmalarının paket kaybı yaklaşık olarak aynıdır ve sıfıra da hemen hemen eşittir.

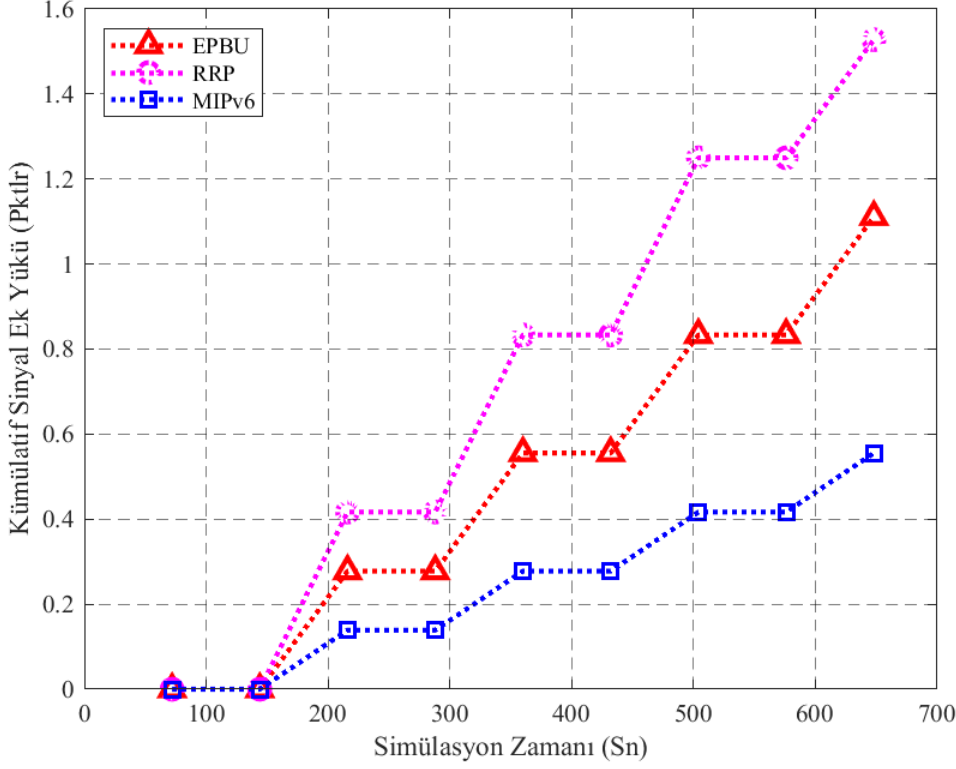


Şekil 6.5. Paket kaybı

6.1.4. Sinyal ek yükü

Sinyal ek yükü, MN ve HA veya MN ve CN arasında değiştirilen kontrol mesajlarını temsil etmektedir. Bu mesajlar ve paketler tünel halinde veya optimize edilen rotanın iletilmesi için bağlama işlemini ve MN mobiliteyi kolaylaştırır. Bu mobilite mesajları, BU mesajlarını, Yönlendirme Testi mesajlarını veya Konum Güncelleme (Location Update - LU) mesajlarını içerir. LU mesajı, MIPv6 ağı için 4. bölümde tanıtılmıştır. Şekil 6.6, EPBU, Eski-MIPv6 ve RRP yönlendirme optimizasyon mekanizması için saniyedeki paketler olarak kümülatif sinyalleşme ek yükünü göstermektedir. Şekil 6.6'da, yeni yabancı ağa MN hareketi olmadığında hiçbir ek yük olmadığı açıktır. Bu, 72 sn-144 sn, 216 sn-288 sn, 360 sn-432 sn ve 504 sn-576 sn zaman aralıklarında gösterilmektedir. MN geçişi sırasında, sinyal ek yükü 144 sn-216 sn, 288 sn-360 sn, 432 sn-504 sn ve 576 sn-648 sn'de arttığı görülmektedir. RRP-MIPv6 düzeni tarafından oluşturulan ek yükün, Eski-MIPv6 ve EPBU mekanizmalarına kıyasla yüksek olduğu görülmektedir. EPBU mekanizması, RRP'ya kıyasla daha az ek yük oluşturmaktadır. Bunun nedeni yalnızca BU'yu HA'ya ve CN'ya göndermesi ve BA'yı HA'dan ve CN'dan almayı kapsamamasından kaynaklanmıştır. BU'nun sadece HA'ya gitmesi

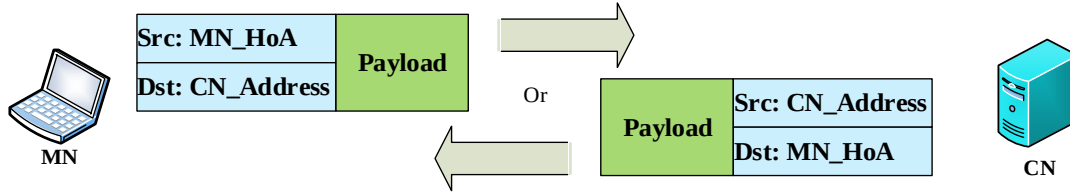
ve BA'nın da HA'yı kapsaması nedeniyle Eski-MIPv6 yönlendirme optimizasyonu en az ek yüke sahiptir.



Şekil 6.6. Kümülatif sinyal ek yükü

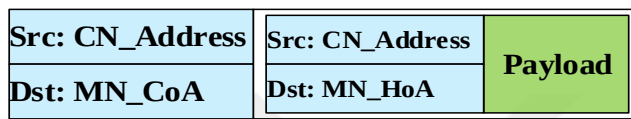
6.1.5. Tünel ek yükü

Tünel ek yükü, MN ev ağından uzaktayken IPv6 başlık kapsüllenmesinin ek yük oranını temsil eder. İlk önce, MN'ye gelen paketler, MN'nin ev ağına gönderilir. Paketleri aldıktan sonra HA kapsülleme yapar ve bunları MN yabancı ağına gönderir. Çift yönlü tünel veya ters tünel olarak adlandırılan, CN'den gelen paketler HA'dan MN'ye tünel ile iletilir ve aynı tünel yolunda MN'den HA'ya gönderilir. IPv6 paketi her tünelleme yapıldığında, tünel paketi diğer tarafına yönlendirmek için 40 bayt ekler. MN ev ağındayken, paketler Şekil 6.7'de gösterildiği gibi CN'den MN'ye ve ters şekilde tünelsiz olarak alınır ve gönderilir.



Şekil 6.7. CN ve MN arasında normal IPv6 paket iletimi

MN ev ağından uzaklaşırsa ve kullanılan yönlendirme optimizasyon mekanizması yoksa, Şekil 6.8'de gösterildiği gibi paketler HA'da kapsülendir.

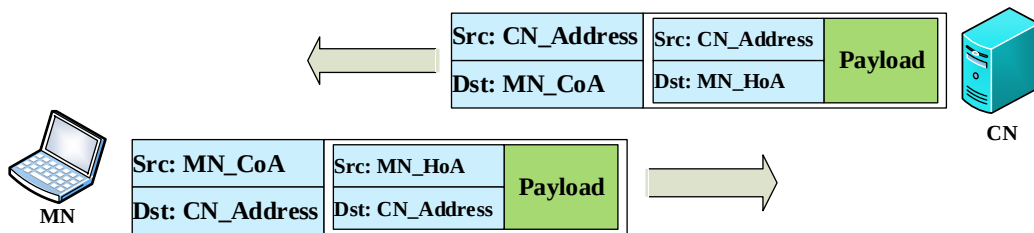


Şekil 6.8. CN'den MN'ye kapsüllenmiş IPv6 paket iletimi

İç paket başlığı, hedef adres olarak MN'nin HoA'sını ve kaynak adres olarak CN adresini oluştur. Dış paket başlığı, hedef adres olarak MN'nin CoA'sını ve kaynak adres olarak CN'nin adresini oluşturur. Tünel ek yük oranı için, denklem 15 kullanılmıştır.

$$\text{Tünelleme\_Ek\_Yükü} = \frac{\text{Dış\_Paket\_IPv6\_başlık\_boyutu}}{\text{İç\_Paket\_toplam\_boyut}} \times 100 \quad (15)$$

İki yönlü tünelde, Şekil 6.9'da gösterildiği gibi paketin hedefe ulaşması için iki kez tünelleme işlemi yapılır. Böylece her iletişim yönüne göre ağa toplam 80 bayt eklenmiş olur.



Şekil 6.9. Ters Tünel

Eski-MIPv6 için tünel ek yükü, denklem 16'te gösterildiği gibi hesaplanmıştır.

Tünelleme_Ek_Yükü

$$= \left(\frac{\text{tünel\_başlık\_boyutu}_{EA \rightarrow MD}}{\text{Orijinal\_paket\_boyutu}} + \frac{\text{tünel\_başlık\_boyutu}_{MD \rightarrow EA}}{\text{Orijinal\_paket\_boyutu}} \right) \times 100 \quad (16)$$

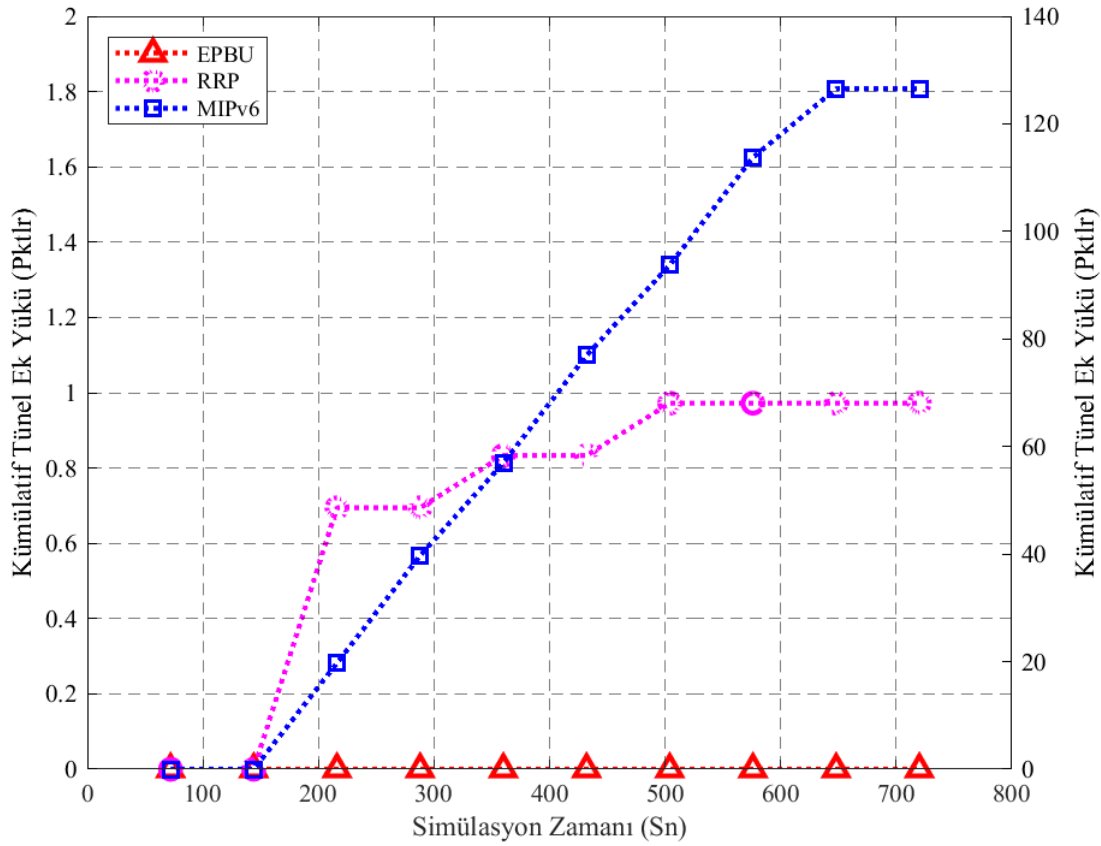
$$Tünelleme\_Ek\_Yükü = \frac{40}{1500 - 40} + \frac{40}{1500 - 40} = 5,48\%$$

MN ev ağından uzaktayken, tüm iletişim için ağda %5,48'lik tünel ek yükü meydana gelmektedir. RRP mekanizmasında, bu tünel ek yükü ağda kısa sürede (yani RRP'nin yapıldığı zaman) meydana gelmiştir. EPBU mekanizmasında, paketler asla MN'nin HA'sına iletilmez. Böylece, gerçekleşen tünelleme için denklem 17 kullanılmıştır.

$$Tünelleme\_Ek\_Yükü = \frac{0}{1500 - 0} = \frac{0}{1500} = 0\% \quad (17)$$

EPBU mekanizması kullanılırken ağdaki orijinal pakete hiçbir bayt eklenmediğinden, karşılaşılan tünel ek yükü sıfıra eşittir.

Yönlendirme Optimizasyonunun hedeflerinden biri de, mobil ağda tünel ek yükünü mümkün olduğunca azaltmaktır. Bunun nedeni tünel ek yükünün paket parçalanmasını arttırmasıdır. Şekil 6.10'da EPBU, Eski-MIPv6 ve RRP yönlendirme optimizasyon mekanizmaları için saniyede işlenen kümülatif tünel ek yükü gösterilmiştir. Şekil 6.10'te iki eksen, sol eksen ve sağ eksen vardır. Sol eksen, EPBU ve RRP yönlendirmeoptimizasyon mekanizmalarının okumasını temsil eden eksendir. Sağ eksen ise Eski-MIPv6 için elde edilen değerleri temsil etmektedir.



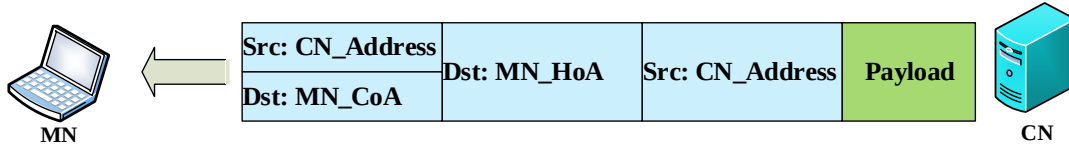
Şekil 6.10. Kümülatif tünel ek yükü

EPBU, düzenin tüm mekanizmalara kıyasla her MN hareket ettiği zaman sıfır tünel oluşturduğu gösterilmiştir. RRP'da tünel ek yükü, RR testinin başlamasından önce ve RR testinin tamamlanmasından sonra gerçekleşmektedir. Yani CN, BC'sini günceller ve doğrudan MN'ye yolunu tanır. Eski-MIPv6'da, MN'den MN'ye paketler, MN ile CN arasındaki HA yoluyla tünelden iletilmektedir. EPBU mekanizmasında, CN HA'dan EPBU mesajı aldığı anda paketler MN yeni yabancı ağa iletilir. Böylece, MN'ye tünellenmiş hiçbir paket iletilmez.

6.1.6. Yönlendirme optimizasyonu ek yükü

Ağ üzerindeki paket yönlendirmesini yapılandırmak için birkaç ek yük mesajı kullanılır. Bunlardan biri, RRP veya başka yönlendirme Optimizasyon yöntemi kullanılarak veri paketleri gönderirken daha fazla IPv6 uzantı başlığının ek yük oranını temsil eden yönlendirme Optimizasyonu ek yüküdür. IPv6 paketleri birden fazla uzantı başlığına sahip olabilir. IPv6 protokolündeki uzantı başlıklarının sayısında sınırlama yoktur. Her iki düğümün mobil olması durumunda, yönlendirme optimizasyonu HADOH ve T2RH

kullanılır. CN tarafından, MN'nin HoA'sını taşıyarak yabancı ağda paketleri göndermek için T2RH kullanılır. CN mobil düğümü ise, MN tarafından CN'nin HoA'sını taşıyarak CN yabancı ağına paket göndermek için HADOH kullanılır. MIPv6 ağ modelinde, CN mobil değildir. Böylece, yönlendirme optimizasyon mekanizması sadece T2RH kullanır. T2RH kullanılarak CN tarafından gönderilen paketler Şekil 6.11'de gösterilmiştir.



Şekil 6.11. T2RH kullanılarak yapılan yönlendirme optimizasyonu

Yönlendirme Optimizasyonu ek yükü için aşağıdaki 18.denklem kullanılmıştır.

$$YO\_Ek\_Yükü = \frac{Toplam\_Uzatma\_Başlığı\_Boyutu}{Orijinal\_paket\_boyutu} \times 100 \quad (18)$$

Daha önce açıklandığı gibi, Eski-MIPv6'daki paketler, MN ev ağından uzaktayken, çift yönlü tünel olarak tüm iletişim kullanılarak iletilir. Bu, hiçbir paketin optimize edilmiş yönlendirme yapamayacağı anlamına gelir. Eski-MIPv6 için yönlendirme optimizasyonu 19. denklem kullanılarak hesaplanmıştır.

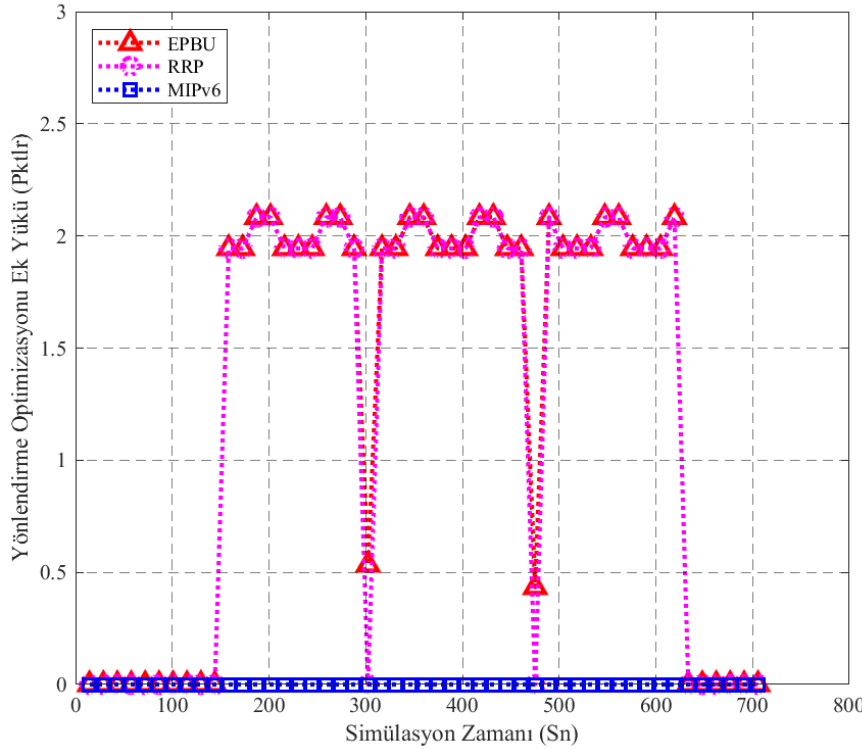
$$YO\_Ek\_Yükü = \frac{0B_{Tip2}}{1500 - 0} = \frac{0}{1500} = 0\% \quad (19)$$

Eski-MIPv6, RRP ve EPBU mekanizmalarına kıyasla sıfır yönlendirme optimizasyon ek yüküne sahip olur. Bir düğüm mobil olduğundan ve uzantı başlığı boyutu 24 bayt olduğundan, IPv6 paketine eklenen toplam T2RH başlığı 24 bayttır. Böylece yönlendirme optimizasyonu ek yükü hesaplanması için denklem 20 kullanılmıştır.

$$YO\_Ek\_Yükü = \frac{24B_{Tip2}}{1500 - 24} = \frac{24}{1476} = 1,6\% \quad (20)$$

Paket, optimize edilmiş yönlendirme ilettiğinde, RRP ve EPBU'da %1,6'lık yönlendirme optimizasyonu ek yük getirmektedir.

Şekil 6.12, saniyede işlenen paket sayısındaki yönlendirme optimizasyon yükünü göstermektedir. Yönlendirme optimizasyonu ek yükü, CN ve MN arasında veri paketleri gönderilirken daha fazla IPv6 uzatma başlığının ek yükünü temsil etmektedir. Tüm mekanizmalar, Eski-MIPv6 hariç, yönlendirme optimizasyonu ek yüküne sebep olmaktadır. Çünkü paketler T2RH kullanılarak gönderilir.



Şekil 6.12. Yönlendirme optimizasyon ek yükü

Şekil 6.12'den de anlaşıldığı gibi, MN'nin AR değiş tokuş etmediğinde, yönlendirme optimizasyon ek yükünün hem EPUB hem de RRP mekanizmaları için aynı olduğu görülmektedir. AR değişimi sırasında EPBU için yönlendirme optimizasyonu ek yükü biraz daha yüksek çıkmaktadır. Çünkü MN yabancı ağa kaydolurken bazı paketler hemen alınmaktadır. Dolayısıyla daha fazla IPv6 uzatma başlığı alınmıştır. Paketler üçgen yönlendirmeye gönderilmediği için Eski-MIPv6 için yönlendirme optimizasyonu ek yükü ile karşılaşılmamıştır.

6.2. NEMO Sayısal Analizi ve Simülasyon Sonuçları

NEMO ağındaki sayısal analiz ve simülasyon sonuçlar katman seviyesine göre verilmiştir. Aynı zamanda NEMO, CN'nin ve MR arkasındaki MNN arasındaki iletişimi içermektedir. NEMO iletişiminde iki ayrı senaryo dikkate alınmıştır. Sonuçlar, Bölüm 5, Şekil 5.17 ve 5.18'de sunulan ağ modeline göre tartışılmaktadır. İç içe yerleştirilmemiş NEMO iletişimi MIPv6 iletişiminden çok farklı olmadığından, deneyler için dikkate alınan NEMO iletişimi senaryoları;

- Inter nested NEMO iletişimi; MNN'nin harici sabit CN ile iletişimi ve
- Intra nedted NEMO iletişimi; TLMR alanı içindeki iki MNN'nin arasındaki iletişimi.

NEMO-BS, RRP ve Önerilen çözümlerin (TLMR ve Adhoc) analizi ve değerlendirilmesi için ortalama uçtan uca gecikme, paket kaybı, tünel, sinyal ve yönlendirme optimizasyonu ek yükü kullanılmıştır. Simülasyon deneyi, dört iç içe yerleştirme derinliği seviyesi (d) için değerler; $d = 0$, $d = 1$, $d = 2$ ve $d = 3$ alınarak gerçekleştirilmiştir. Basit video konferans uygulaması için paketler CN'den MNN'ye ileterek gerçekleştirilmiştir. Diğer simülasyon parametreleri çizelge 6.4'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.4. NEMO ağları için simülasyon parametreleri

Parametre	Değer
Topoloji boyutu	Kampus (10km×10km)
Yörünge	Vektör
Yer hızı	28 Sm
Uygulama	Video konferansı (hafif)
1.Senaryo	Inter nested NEMO iletişimi
Yönlendirme Optimizasyonu Yöntemi	NEMO-BS, RRP ve TLMR
2.Senaryo	Intra nested NEMO iletişimi
Yönlendirme Optimizasyonu Yöntemi	NEMO-BS, RRP ve Adhoc
Simülasyon zamanı	720 Sn

6.2.1. Uçtan uca gecikme

NEMO ağ performansını değerlendirmenin bir yolu, uçtan uca gecikmeyi ölçmektir. MIPv6'daki gibi NEMO-BS protokolündeki paketler üçgen şekilde iletilir. Mobil ağlar katmanlarla bağlı olduğundan, paketler kaynaktan hedefe çok daha uzun bir yol izler. NEMO-BS ağının $d = 3$ iç içe yerleştirme derinlik düzeyine sahip olduğunu ve CN'den MNN'ye (CN sabit düğüm olduğu varsayılarak) tek yönlü paket yolunun;

$$CN \rightarrow HA_{MR3} \rightarrow HA_{MR2} \rightarrow HA_{MR1} \rightarrow HA_{TLMR} \rightarrow TLMR \rightarrow MR1 \rightarrow MR2 \rightarrow MR3 \rightarrow MNN3$$

Ters yönde, paket yolu;

$$MNN3 \rightarrow MR3 \rightarrow MR2 \rightarrow MR1 \rightarrow TLMR \rightarrow HA_{TLMR} \rightarrow HA_{MR1} \rightarrow HA_{MR2} \rightarrow HA_{MR3} \rightarrow CN$$

olacaktır.

Bu yüzden, katman sayısına bağlı olarak, MR ana ağdan uzaktayken, NEMO-BS protokolü için uçtan uca gecikme değerleri için denklem 21 kullanılmıştır.

$$T_{E2E} = T_{TL} + \sum_{i=0}^l (T_{TL} + T_{PPL}) + \sum_{i=0}^l (T_{PPL} + T_{PL}) \quad (21)$$

$l = 0, 1, 2, 3, \dots$ için

İntra NEMO iletişiminde, uçtan uca gecikme iki katına çıkacaktır çünkü paketlerin yolu;

$$MNN6 \rightarrow MR6 \rightarrow MR5 \rightarrow MR4 \rightarrow TLMR \rightarrow HA_{TLMR} \rightarrow HA_{MR4} \rightarrow HA_{MR5} \rightarrow HA_{MR6} \rightarrow HA_{MR3} \rightarrow HA_{MR3} \rightarrow HA_{MR2} \rightarrow HA_{MR1} \rightarrow HA_{TLMR} \rightarrow TLMR \rightarrow MR1 \rightarrow MR2 \rightarrow MR3 \rightarrow MNN3$$

gibi olacaktır.

Bu durumda uçtan uca gecikme için denklem 22 kullanılmıştır.

$$T_{E2E} = 2 \left(T_{TL} + \sum_{i=0}^l (T_{TL} + T_{PPL}) + \sum_{i=0}^l (T_{PPL} + T_{PL}) \right) \quad (22)$$

RRP mekanizmasında, tilt veya dikdörtgen yönlendirme, sırasıyla NEMO veya intra NEMO iletişimi için bir veya iki HA kullanılarak gerçekleşecektir. Bu nedenle, NEMO iletişiminde iç içe yerleştirme geçme seviyesi $d = 3$ ise, paket yolu;

$CN \rightarrow HA_{MR3} \rightarrow TLMR \rightarrow MR1 \rightarrow MR2 \rightarrow MR3 \rightarrow MNN$ olarak düşünülebilir.

İntra NEMO iletişimi durumunda, paket yolu;

$MNN6 \rightarrow MR6 \rightarrow MR5 \rightarrow MR4 \rightarrow TLMR \rightarrow HA_{MR6} \rightarrow HA_{MR3} \rightarrow TLMR \rightarrow MR1 \rightarrow MR2 \rightarrow MR3 \rightarrow MNN3$ olarak düşünülebilir.

Böylece, uçtan uca gecikme için aşağıdaki 23 ve 24.denklemler kullanılmıştır.

$$T_{E2E} = \left(\frac{t}{T}\right) \left(2T_{TL} + T_{PPL} + \sum_{i=0}^l (T_{PPL} + T_{PL}) \right) + \left(\frac{T-t}{T}\right) \left(T_{TL} + \sum_{i=0}^l (T_{PPL} + T_{PL}) \right) \quad (23)$$

ve

$$T_{E2E} = \left(\frac{t}{T}\right) \left(3T_{TL} + 2T_{PPL} + 2 \sum_{i=0}^l (T_{PPL} + T_{PL}) \right) + 2 \left(\frac{T-t}{T}\right) \sum_{i=0}^l (T_{PPL} + T_{PL}) \quad (24)$$

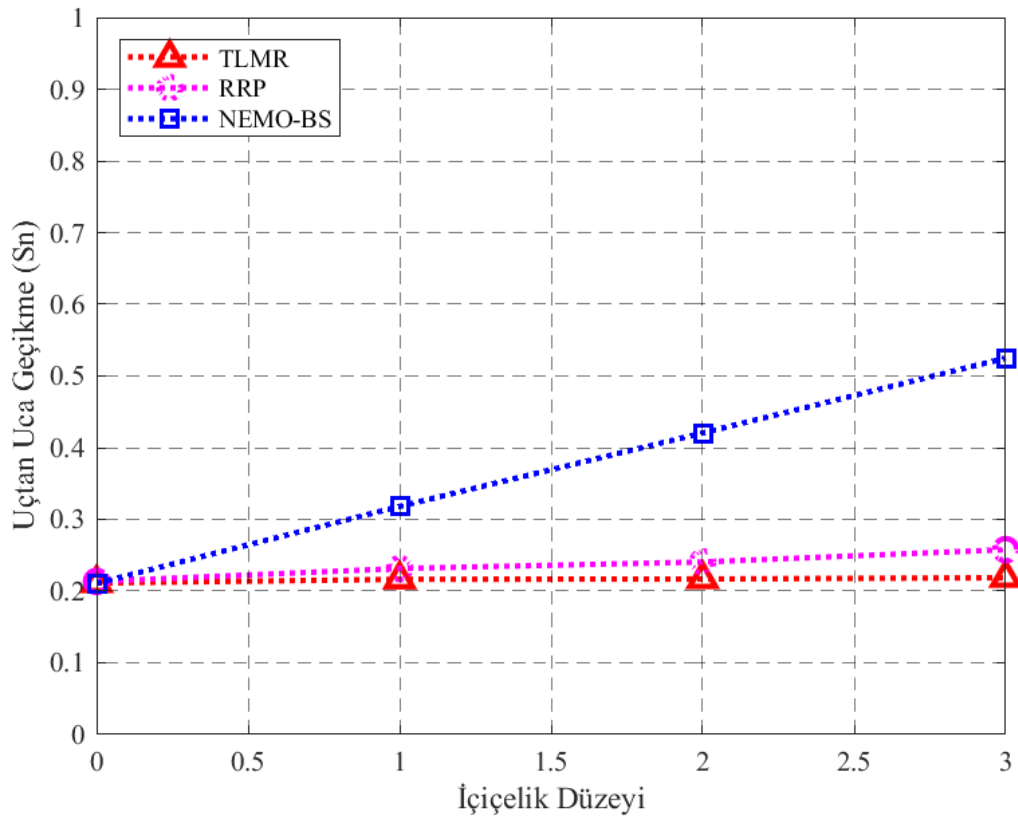
İnter NEMO iletişiminde TLMR mekanizması, dikdörtgen yoldan hiçbir paket iletilmezse düşük gecikme sağlar, aksi takdirde RRP mekanizmasıyla aynı uçtan uca gecikme elde edilmesini sağlar. Ancak intra NEMO iletişimde, Adhoc mekanizması, ara MR'lara bağlı olarak uçtan uca gecikme sergileyecektir. Bu durumda uçtan uca gecikme, aşağıdaki 25.denklem kullanılarak hesaplanabilir.

$$T_{E2E} = T_{PL} + \sum_{i=0}^m (T_{PPL} + T_{PL}) \quad (25)$$

m = ara MR sayısı için

NEMO-BS, yönlendirme optimizasyonu dikkate alınmamıştır. Böylece tüm paketler MR'lar ve MR'ların HA'ları arasındaki çift yönlü tünelden geçmesi gerekecektir. Şekil 6.13, NEMO-arası iletişiminde mobil ağın farklı derecelerde iç içe yerleştirme seviyesi için uçtan

uca gecikmeyi göstermektedir. Şekil 6.13'den görülebileceği gibi, NEMO-BS en yüksek uçtan uca gecikmeye sahiptir. Gecikme, iç içe yerleştirme derinliğindeki artışla (0,210866537 sn'den 0,524946424 sn'ye) artmaktadır. Uçtan uca gecikmedeki hızlı yükseliş nedeniyle NEMO-BS'nin yönlendirme optimizasyonunu desteklememektedir. Bu pinball yönlendirme sorununa yol açmaktadır. Yani paketler, ağ topolojisine ve mobil ağın ev ağına olan mesafesine bağlı olarak her iç içe yerleştirme MR'larının HA'sini ve TLMR'nin en az bir kez ve bazen iki kez geçirmelidir.

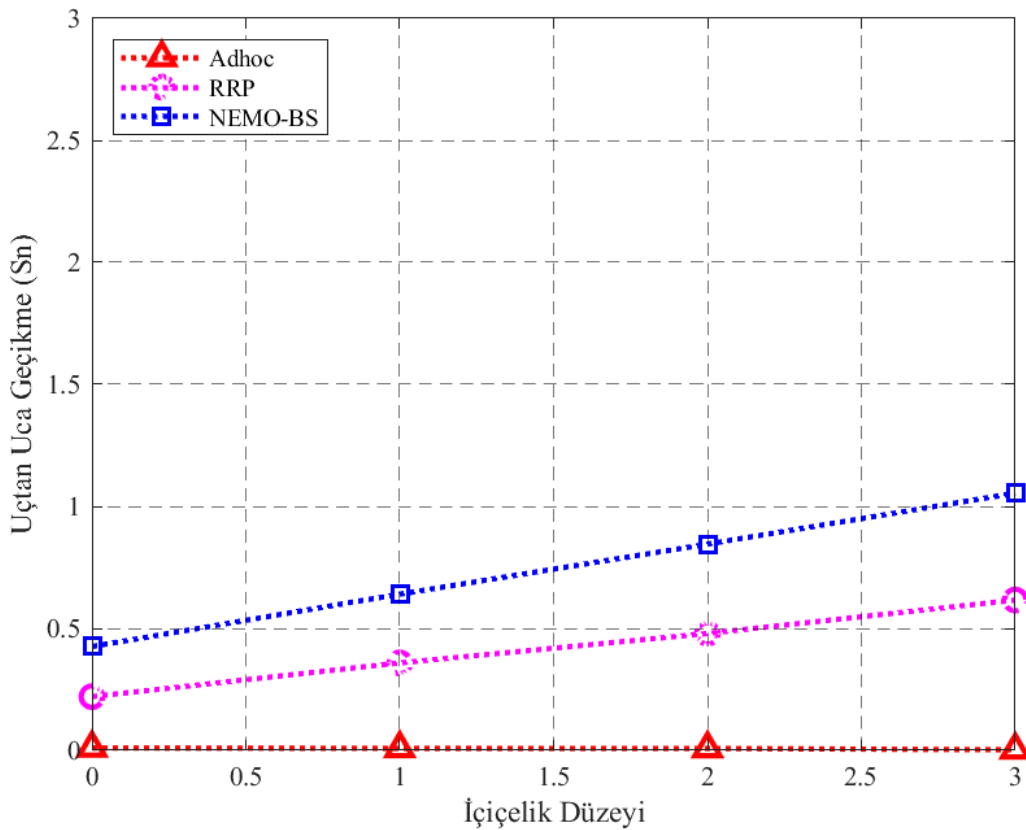


Şekil 6.13. Inter nested NEMO iletişimde uçtan uca gecikmesi

NEMO-BS'nin aksine, RRP yönlendirme optimizasyonunun uçtan uca gecikmesi küçük artış (0,213436974 sn'den 0,257763474 sn'ye) göstermektedir. Bunun nedeni bazı paketlerin, MN, CN ile bağlanma tespit edinceye kadar CN tarafından hücreler arası aktarma sırasında HA yoluyla iletilmesidir. Bağlamanın oluşumu gecikmelere sebep olabilmektedir. Çünkü MR, ilk BU'yu CN'ye göndermeden önce RR testi (MR hücreler arası aktarma işleminden sonra hemen BU göndermez) yapmalıdır. Bu sırada tüm paketler, uçtan uca gecikmenin artmasına yol açan HA aracılığıyla gönderilmiştir. Bununla birlikte önerilen TLMR yönlendirme optimizasyon mekanizması için TLMR'nun minimum uçtan uca gecikme

(0,21121445 sn'den 0,21865126 sn'ye) elde edilmiştir. Bunun nedeni TLMR yönlendirme optimizasyon mekanizmasının paketlerin optimum yolla iletilmesini sağlamasıdır. Paketler, birbirini takip eden HA'lar üzerine tünellenmelerini zorunlu kılmadan optimum yolu takip etmektedir. Çünkü TLMR, MR hücreler arası aktarma işleminden sonra hemen BU'yu CN'ye göndermektedir. Uçtan uca gecikmenin daha az oranda yükselişinin sebebi ağdaki iç içe yerleştirme seviyesinin yükselmesidir.

Şekil 6.14, NEMO-BS, RRP ve Önerilen Adhoc yönlendirme optimizasyon mekanizmasında paketlerin uçtan uca gecikmesini göstermektedir. İki MNN, TLMR alanı içerisinde iletişim kurmaktadır. Harici bir CN ile iletişim kurmak yerine ilk MNN, başka bir MNN ile iletişim kurar. Diğer MNN, aynı alanda bulunur fakat ayrı ve iç içe yerleştirme alt ağda bulunmaktadır.



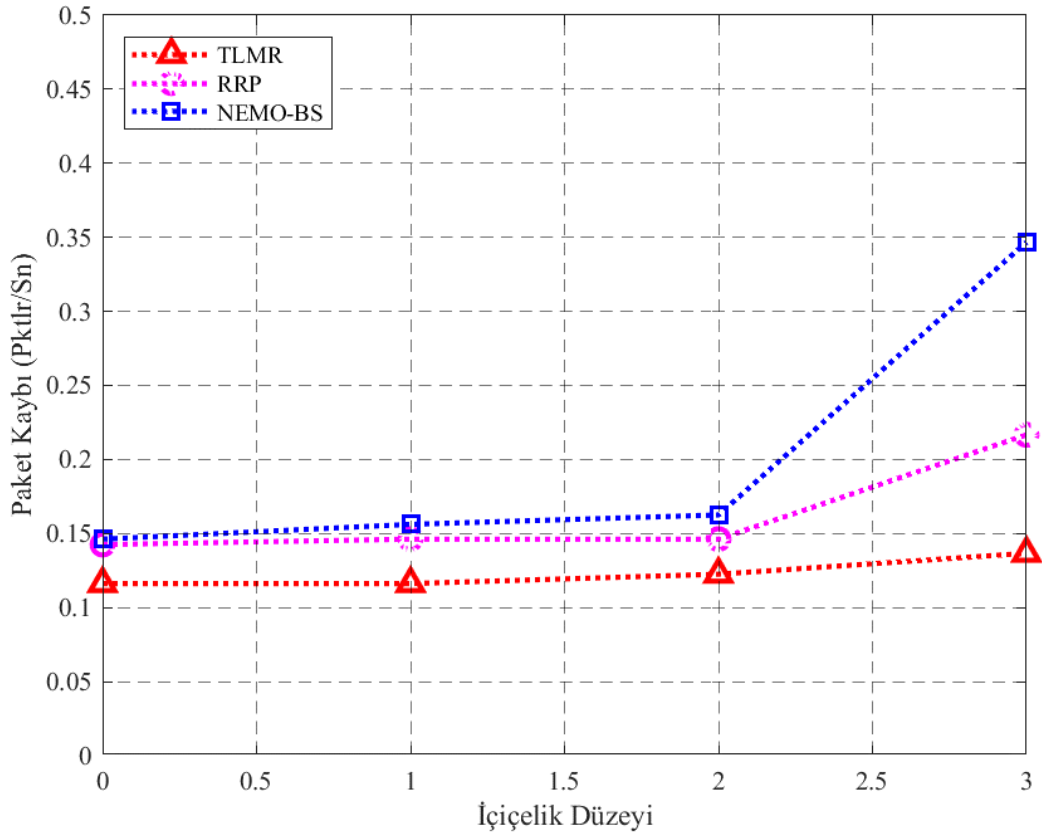
Şekil 6.14. Intra nested NEMO iletişiminde uçtan uca gecikmesi

Bu senaryo için dikkate alınan mobil ağları gösteren ağ mimarisi Şekil 5.18'de gösterilmiştir. Şekil 5.18'de gösterildiği gibi, birbiriyle bağlantılı iki MNN (yani, MNN3 ve MNN6) iki ayrı alt ağda bulunmaktadır. İki alt ağ, $d = 1, 2$ ve 3 derinliğinde TLMR'nin arkasına

yuvalanmış MR'larla (MR1 ve MR6) karakterize edilmiştir. Şekil 6.14'de gösterildiği gibi NEMO-BS'nin en yüksek uçtan uca gecikmeye sahip olduğu (0,425594481 sn – 1,054200591 sn aralığında) gözlemlenmiştir ve RRP, orta uçtan uca gecikme süresine (0,220215742 sn – 0,616084256 sn. aralığında) sahiptir. Oysaki önerilen Adhoc yönlendirme optimizasyonu, en düşük uçtan uca gecikme (0,009817627 sn – 0,002380817 sn aralığında) sergilemektedir. Bu farkın nedeni, NEMO-BS'deki paketlerin her zaman mobil ağ alanından sadece tünelleşip geri yönlendirerek bırakmasıdır. Bununla birlikte, RRP yönlendirme optimizasyon mekanizmasında, paketler RRP testi sırasında mobil ağ alanından bırakır. Böylece RRP testi sırasında paketler tünelleşir ve mobil ağ alanına geri yönlendirilir. Önerilen Adhoc yönlendirme optimizasyon mekanizmasının Adhoc yönlendirme bildirim süreci sayesinde, paketler mobil ağ alanından ayrılmadan yerel olarak yönlendirilir. Böylece, önerilen Adhoc yönlendirme optimizasyon mekanizması sadece en düşük uçtan uca gecikmeyi değil, aynı zamanda sıfır (0) paket tünel ek yüküne de maruz kalmaktadır.

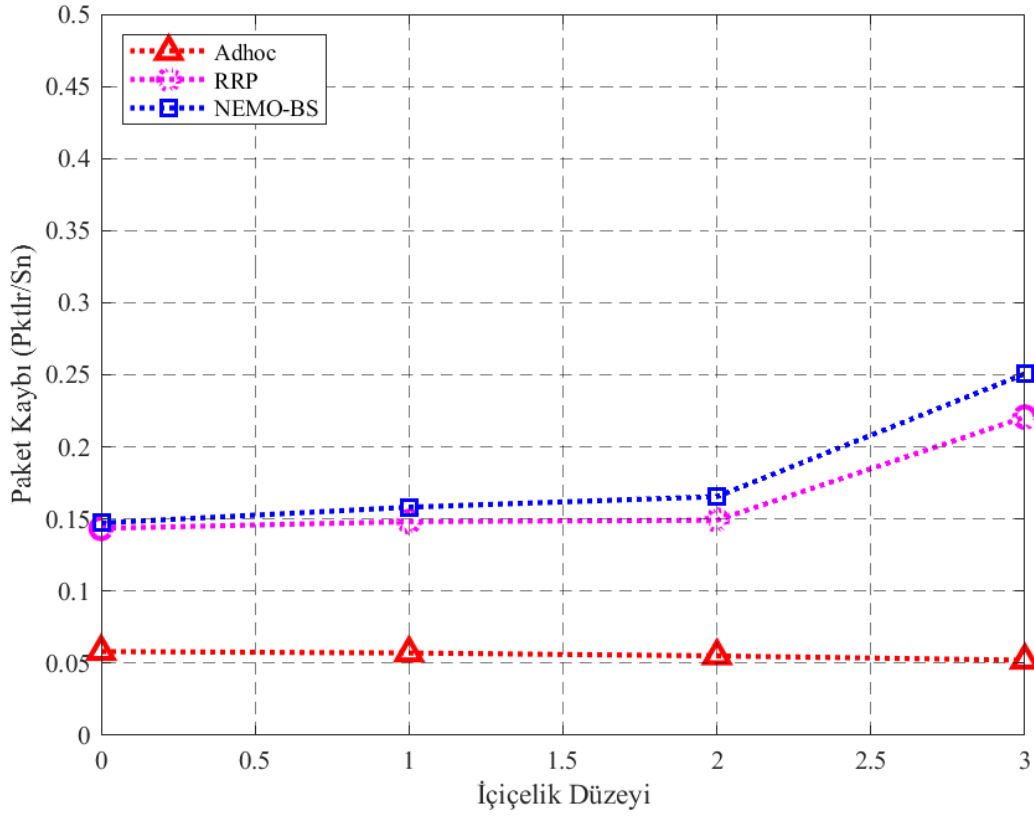
6.2.2. Paket kaybı

Şekil 6.15, NEMO-BS, RRP ve önerilen TLMR yönlendirme optimizasyon mekanizmasını göstermektedir. Şekil 6.15'de gösterildiği gibi, TLMR mekanizması NEMO-BS ve RRP mekanizmalarından daha iyi performans göstermiştir. Bunun nedeni bağlamanın, MR'ın yabancı ağda hücreler arası aktarma işlemini RRP mekanizmasına kıyasla tamamladıktan hemen sonra gerçekleştirmesidir. NEMO-BS ve RRP mekanizmalarında iç içe yerleştirme seviyesi 2 ve 3 olduğunda paket kaybı yüksektir, çünkü HA'nın BU'sının MR'ye ulaşması çok uzun zaman (MR iç içe yerleştirme derinliğinde tüm HA'nın yolunu alarak) almaktadır.



Şekil 6.15. Inter nested NEMO iletişimi için paket kaybı

MNN'lerin birbirine yakın olduğu zaman dilimindeki haberleşme, uzak olduğu zaman dilimindeki haberleşmeye oranla daha fazla paket dağıtım şansı bulmaktadır. Paket kaybı olasılığı, aralarındaki atlamalar sayısı, tıkanıklık trafik vb. nedeniyle yüksektir. NEMO-BS ve RRP mekanizması için, paketlerin önce alanından ayrılması ve yeniden alanına geri dönmesi gerekmektedir. Böylece diğer MNN'lerle bağlanma gecikmeye neden olmaktadır. Şekil 6.16, her iki iletişim düğümü aynı alanı olduğunda NEMO-BS, RRP ve Adhoc mekanizması için paket kaybını göstermektedir. Adhoc mekanizması, daha az paket kaybına sahip olduğunu göstermektedir. Çünkü diğer MNN, alan içindeki ilk MNN'ye yaklaşmaktadır.



Şekil 6.16. Intra nested NEMO iletişiminde paket kaybı

6.2.3. Tünel ek yükü

NEMO uygulamalarının en dikkate değer performans karakteristiklerinden biri (IP-IP kapsülleme) tünel maliyetidir. Çoğu durumda, fazladan tünel ek yükü, mobil ağın katman düzeyi nedeniyle ortaya çıkar. NEMO-BS, NEMO'nun yalnızca iç içe yerleştirme geçmiş ağ olmadığında temel işlevselliklerini düşünür ancak iç içe yerleştirme geçmiş mobil ağlar gibi daha karmaşık senaryoları göz önüne almaz. Böylece, inter NEMO iletişiminde NEMO-BS için, tünel maliyeti, aşağıda gösterildiği gibi denklem 26 kullanılarak hesaplanmıştır.

Tünelleme_Ek_Yükü

$$\begin{aligned}
 &= 100 \sum_{i=0}^l \left(\frac{Tünel\_Hdr\_Boyutu_{HA \rightarrow MN}}{Orijinal\_Packet\ Boyutu} \right. \\
 &\quad \left. + \frac{Tünel\_Hdr\_Boyutu_{MN \rightarrow HA}}{Orijinal\_Packet\ Boyutu} \right)
 \end{aligned} \tag{26}$$

$$T\u00fcnelleme\_Ek\_Y\u00fc_k\u00fc = 100 \sum_{i=0}^l \left(\frac{40}{1500-40} + \frac{40}{1500-40} \right) = \left(5,48 \sum_{i=0}^l 1 \right) \%$$

$l = 0, 1, 2, 3, \dots$ 'den başlayan i\u00e7 i\u00e7e yerleştirme seviyesidir.

NEMO iletişiminde, NEMO-BS t\u00fcnel overhead i\u00e7in 27.denklem kullanılarak hesaplanmıştır.

T\u00fcnelleme_Ek_Y\u00fc_k\u00fc

$$= 100 \sum_{i=0}^{l_1+l_2} \left(\frac{T\u00fcnel\_Hdr\_Boyutu_{HA \rightarrow MN}}{Orijinal\_Packet\ Boyutu} + \frac{T\u00fcnel\_Hdr\_Boyutu_{MN \rightarrow HA}}{Orijinal\_Packet\ Boyutu} \right) \quad (27)$$

$$T\u00fcnelleme\_Ek\_Y\u00fc_k\u00fc = 100 \sum_{i=0}^{l_1+l_2} \left(\frac{40}{1500-40} + \frac{40}{1500-40} \right) = \left(5,48 \sum_{i=0}^{l_1+l_2} 1 \right) \%$$

Burada, l_1 ve l_2 , bir kenarın ve diğeri MNN'lerin i\u00e7 i\u00e7e yerleştirme seviyesini ifade etmektedir.

G\u00f6m\u00fcl\u00fc ve i\u00e7 NEMO iletişiminde NEMO-BS i\u00e7in t\u00fcnel overhead değeri $(5,48 \sum_{i=0}^l 1) \%$ ve $(5,48 \sum_{i=0}^{l_1+l_2} 1) \%$ 'dir. G\u00f6r\u00fclebileceği gibi, NEMO-BS protokol\u00fc i\u00e7in i\u00e7 NEMO iletişiminin \u00fcst\u00fcndeki t\u00fcnel, NEMO-BS protokol\u00fcn\u00fcn yaklaşık iki katıdır.

RRP ve TLMR mekanizmasında, t\u00fcnel overhead yalnızca bir paket bağlanmadan \u00f6nce en alt yoldan iletildiğinde ger\u00e7ekleşir. Bu, mobil ağın CN'ye bağlanması ne kadar hızlı olduğuna bağlıdır. \u00c7oğu durumda t\u00fcnel varsa, yaklaşık bir IP-in IP kaps\u00fcllemesi ger\u00e7ekleşir. B\u00f6ylece, NEMO iletişiminde RRP ve TLMR mekanizması i\u00e7in g\u00f6m\u00fcl\u00fc t\u00fcnel, i\u00e7in 28.denklemden verilebilir (bir IP-in-IP kaps\u00fcllemesi varsayarak).

T\u00fcnelleme_Ek_Y\u00fc_k\u00fc

$$= \left(\frac{T\u00fcnel\_Hdr\_Boyutu_{HA \rightarrow MN}}{Orijinal\_Packet\ Boyutu} + \frac{T\u00fcnel\_Hdr\_Boyutu_{MN \rightarrow HA}}{Orijinal\_Packet\ Boyutu} \right) \times 100 \quad (28)$$

$$Tünelleme\_Ek\_Yükü = \left(\frac{40}{1500 - 40} + \frac{40}{1500 - 40} \right) = 5,48\%$$

İç NEMO iletişimi durumunda, RRP için tünel overhead için 29.denklem kullanılabilir (iki IP-in-IP kapsüllemesi varsayılarak).

$$Tünelleme\_Ek\_Yükü = 2 \left(\frac{Tünel\_Hdr\_Boyutu_{HA \rightarrow MN}}{Orijinal\_Packet\ Boyutu} + \frac{Tünel\_Hdr\_Boyutu_{MN \rightarrow HA}}{Orijinal\_Packet\ Boyutu} \right) \times 100 \quad (29)$$

$$Tünelleme\_Ek\_Yükü = 2 \left(\frac{40}{1500 - 40} + \frac{40}{1500 - 40} \right) = 10,96\%$$

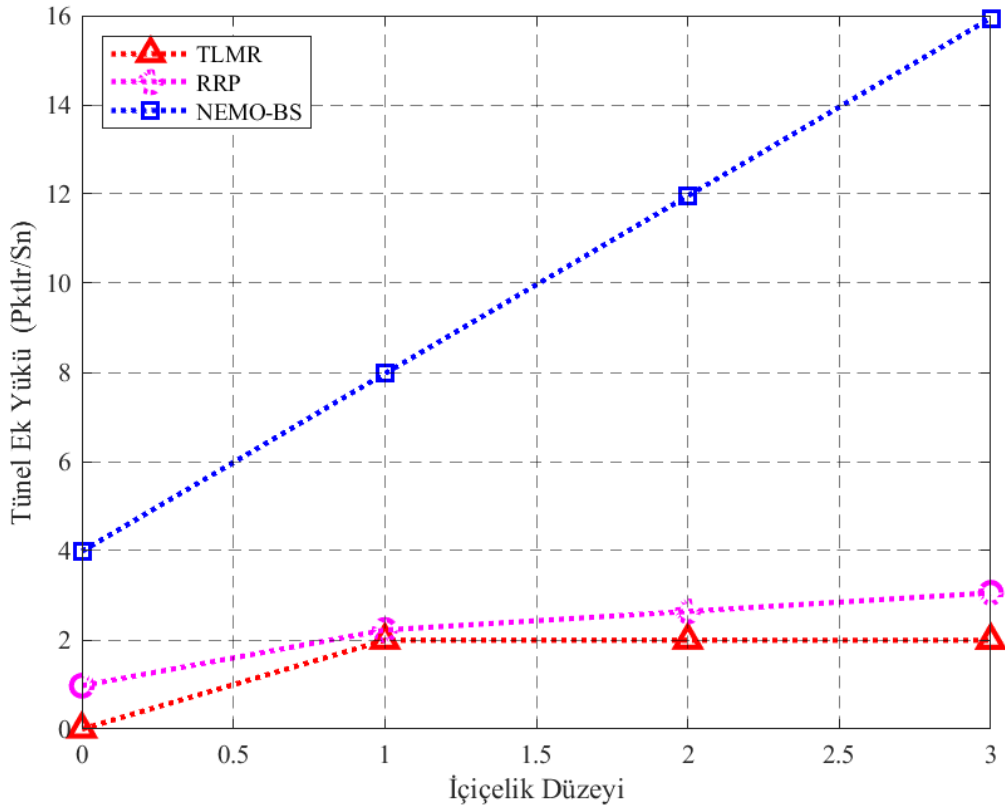
Adhoc mekanizmasındaki paketler etki alanı içerisinde geçici olarak iletildiğinden, hiçbir paket kapsüllenmez. Bu nedenle, NEMO iletişiminde Adhoc mekanizması için ek yük tüneli hesaplanması için denklem 30 kullanılmıştır.

$$Tünelleme\_Ek\_Yükü = \frac{0}{1500 - 0} = \frac{0}{1500} = 0\% \quad (30)$$

En alt yoldan iletilen zaman paketlerine bağlı olarak, NEMO iletişim senaryosunda TLMR ve RRP tünel overhead %5,48'e eşittir. NEMO içi iletişim senaryosu durumunda, RRP mekanizması için tünel overhead oranı %10,96'ya eşittir. Adhoc mekanizması kullanıldığında, NEMO içi iletişim için ağdaki orijinal pakete hiçbir Bayt eklenmediğinden, tünel overhead sıfıra eşit olduğu kabul edilmiştir.

MNN ve CN arasındaki iletişim NEMO-BS'deki iki yönlü tünelde kurulmuştur. Böylece paketler birden fazla HA'ya kapsülленir. MR iç içe yerleştirme şeklinde takılırsa, iç içe yerleştirme MR derinliğine göre paketler enkapsüle edilir. Örneğin, eğer MR iç içe yerleştirme derinliğinde 1 ($d = 1$) ise, paketler iki HA içine kapsüllenecektir. Şekil 6.17, RRP ve TLMR mekanizması ile karşılaştırıldığında NEMO-BS'nin en yüksek tünel ek yüküne sahip olduğu görülmektedir. Bunun nedeni, paketlerin iç içe yerleştirme MR'lerin tamamı boyunca iki yönlü tünellerde iletilmesinden kaynaklanmaktadır. RRP'nin testinin tamamlanmasından sonra paketler optimize edilmiş yönlendirmeye iletilir ve bu da tünel ek yükünün azalmasına neden olur. Önerilen TLMR mekanizması en düşük tünel ek yüküne

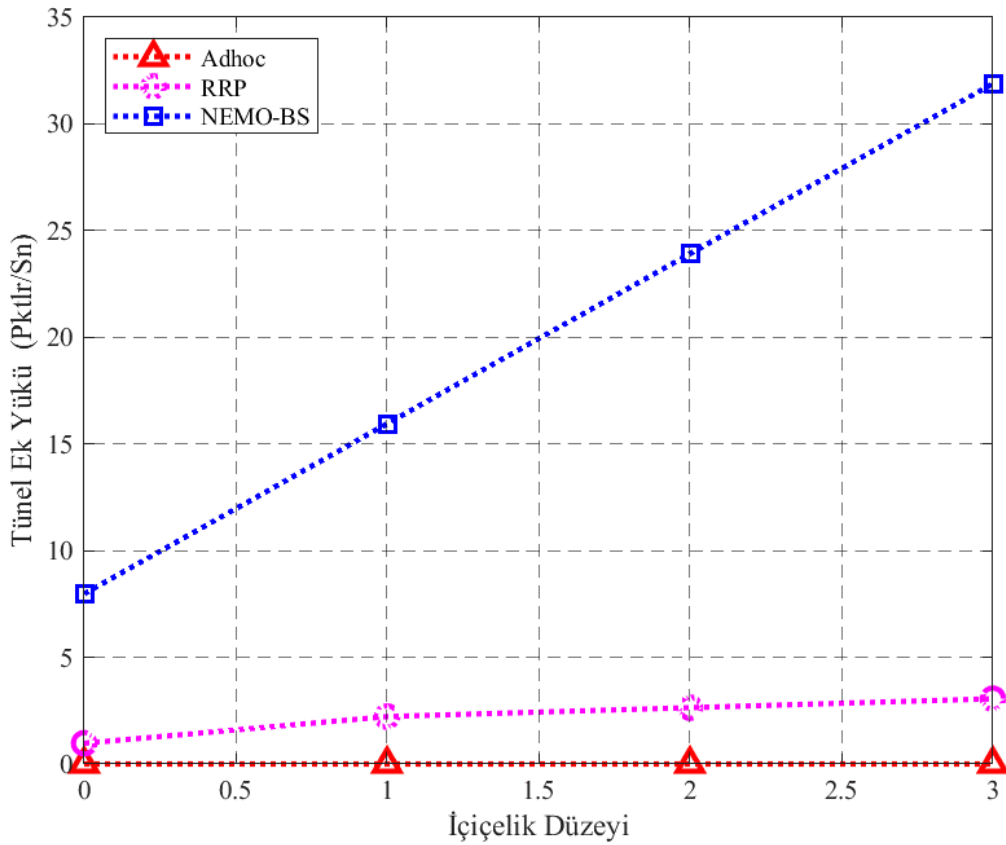
sahip olduğunu göstermektedir. Bunun nedeni, MNN'nin optimize edilmiş yollar üzerinden paketler iletmesine ve almasına izin vererek pinball yönlendirme problemini çözmek için tasarlanmasıdır. Ayrıca, iç içe yerleştirme derinliği sıfır olduğunda, sıfır tünel ek yükü elde edilmiştir. İç içe derinliği 1-3'ten başlarken, tünel ek yükünde biraz artış göstermiştir. CN ile bağlanma küçük gecikme nedeniyle bazı paketlerin iki yönlü tünel halinde alınmasına neden olmuştur.



Şekil 6.17. Inter nested NEMO iletişiminde tünel ek yükü

Mobil ağda yönlendirme optimizasyon mekanizması uygulanmadığında, ağda maruz olan tünel ek yükü miktarı, iç içe yerleştirme düzeyi ile orantılıdır. Ayrıca ikisinin birbiriyle haberleşme düğümü mobil olduğundan, tünel ek yükünün değeri takriben ikiye katlanacaktır. Haberleşen MNN'ler birbirine yakın olursa ve aynı TLMR alanının arkasına yerleştirilmiş olsa bile çift tünelleme ek yüküne de maruz kalacaktır. Şekil 6.18, intra nested NEMO iletişiminde NEMO-BS, RRP ve TLMR mekanizması için elde edilen tünel ek yükünü göstermektedir. Klasik NEMO-BS için tünel ek yükü, tüm haberleşme düğümleri mobil olduğu için ikiye katlanır. Bunun nedeni, paketlerin haberleşme yapan düğümlerinde her iki tarafında aynı sayıda iç içe yerleştirme MR içinde kapsüllenmesinden

kaynaklanmaktadır. Paketler çoğu RRP mekanizmasında optimize edilen yönlendirme iletilmiş olsa bile, tünelleme ek yükü küçük artış göstermektedir. Çünkü bazı paketlerin alanından tünel olarak bırakıp yeniden geri alanına iletilmektedir. Önerilen Adhoc mekanizması, sıfır tünel ek yüküne sahip olduğunu göstermektedir. Bunun nedeni, paketlerin alanı içinde iletilmesidir ve hiçbir paket ilgili HA'lara yönlendirilmez ve tünellenerek iletilmez.

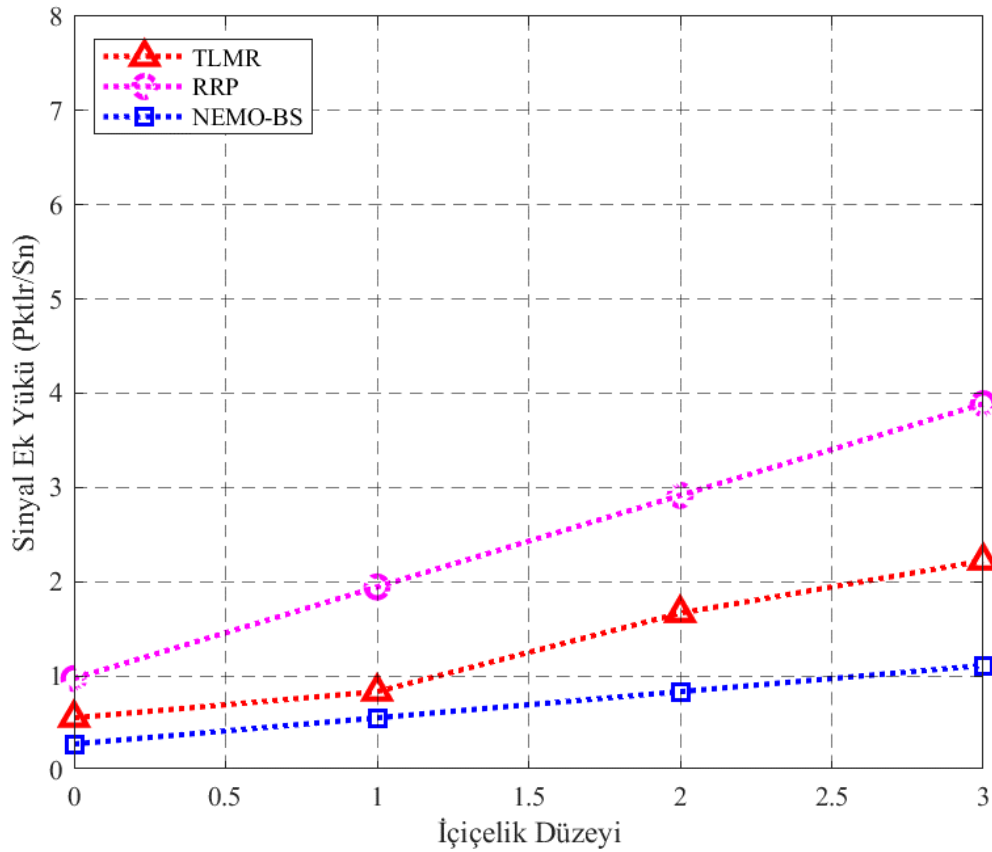


Şekil 6.18. Intra nested NEMO iletişiminde tünel ek yükü

6.2.4. Sinyal ek yükü

Mobil ağdaki sinyal ek yükü konfigürasyon mobilite mesajı ile tetiklenir. Çekirdek ağa çok ağır yük getirerek ek işlem yükü ile sonuçlanır. Şekil 6.19'da NEMO-BS'nin, RRP ve TLMR mekanizmasına kıyasla en düşük sinyalleşme yüküne sahip olduğu görülmektedir. Bunun nedeni klasik NEMO-BS MR yalnızca HA'ya BU ve HA'dan BA'ya pakaeleri sırasıyla göndermesi ve almasından kaynaklanmaktadır. CN'ye MR tarafından hiçbir BU gönderilmez, en düşük sinyal ek yüküne sahiptir. RRP mekanizması en yüksek sinyalleme ek yüküne sahiptir. Bunun nedeni, MR'ın yabancı ağda hücreler arası aktarma işlemi

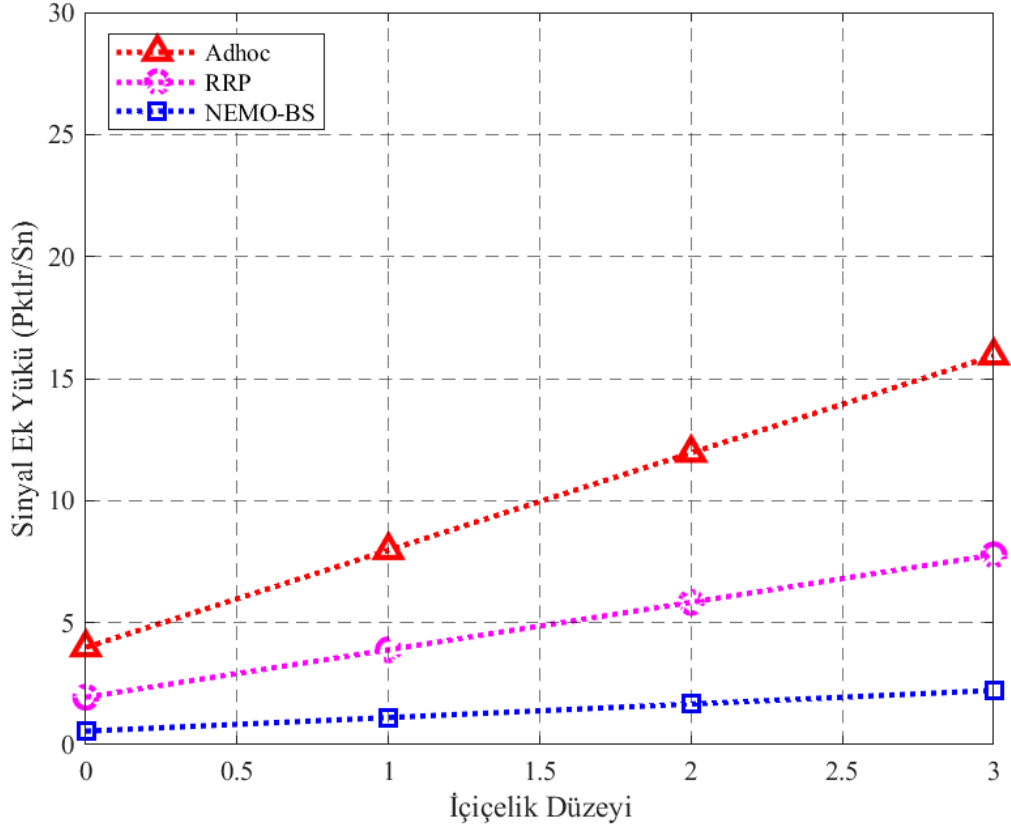
tamamladıktan sonra, BU'yu HA'ya gönderip BU'yi CN'ye göndermeden önce RR testi gerçekleştirilmesinden kaynaklanmaktadır. Bu durum fazla miktarda kontrol mesajı kullanmasına neden olmaktadır. Önerilen TLMR mekanizması orta seviyede sinyal ek yüküne sahiptir. Bunun nedeni, yalnızca LBU ve LBA sırayla TLMR'ya ve TLMR'dan gönderilmesinden dolayıdır. BU HA'ya ve CN'ye ve BA HA'dan ve CN'den gönderim yapmaktadır. Bu mesajlar farklı ağ segmentleri kullanılarak gönderilmiştir.



Şekil 6.19. Intra nested NEMO iletişiminde sinyal ek yükü

BU, BA, HoTI, CoTI, HoT, CoT, LBU ve LBA konfigürasyon hareketliliği/mobilité mesajları dışında, Adhoc yönlendirme optimizasyon mekanizmasındaki RREQv6 ve RREPv6 konfigürasyon mesajları ve aynı zamanda sinyal mesajları olarak da dikkate alınır. Mesajlar Adhoc esasına göre çok noktada yayınlandığı için, ağ alanı ile çarpılır. Şekil 6.20'den de görüleceği gibi Adhoc yönlendirme optimizasyon mekanizması için en yüksek sinyal yüküne sahiptir. Bunun nedeni, mesajların hedef MR'ye ulaşana kadar her MR tarafından yayınlanmasıdır. RREQv6 ve RREPv6'nın birden çok kopyasını ağ alanındaki MR'ler tarafından gönderilmesi ve alınmasından kaynaklanmaktadır. RRP mekanizması,

önerilen Adhoc mekanizmasına kıyasla sinyal ek yükünde artış, yönelim olarak düşük olduğunu göstermektedir. Bunun nedeni, ağdaki MR sayısı arttıkça, kontrol mesajlarının kendi HA'larına iletilmesinin de artmasıdır. Diğer yandan, iki iletişim yapan MNN, RR testinden dolayı sinyal yükünü de arttırmaktadır. NEMO-BS, en düşük sinyalleme ek yüküne sahiptir. Çünkü MR'ler yalnızca BU'ları kendi HA'larına göndermektedir.



Şekil 6.20. Intra nested NEMO iletişiminde sinyal ek yükü

6.2.5. Yönlendirme optimizasyonu ek yükü

Yönlendirme optimizasyonu, İnternet üzerinden MR'lerden HA'larına gönderilen tünel açma paketlerinin CN'ye gönderilmeden önce verimsizliği ortadan kaldırmak için bir çözüm sunar. Yönlendirme optimizasyonu, MR'lardan veya MNN'lerden çıkan paketlerin HA'ya uğramadan CN'ye paket göndermesine izin veren bir mekanizma sağlar. Ayrıca, yönlendirme optimizasyonu yönlendirme gecikmesini, ağ yükünü azaltabilir ve HA'lardaki oluşabilecek yoğunluğu önleyebilir. Bununla birlikte, NEMO-BS protokolü bu sorunu çözmediğinden dolayı paketler optimize edilmiş bir yolda iletilmez. Her iki senaryoda

NEMO-BS için yönlendirme optimizasyonu ek yükü 31.denklem kullanılarak hesaplanmıştır.

$$YO\_Ek\_Yükü = \frac{0B_{Tip2}}{1500 - 0} = \frac{0}{1500} = 0\% \quad (31)$$

NEMO-BS, NEMO haberleşmesi ağı arasında çalışan RRP, TLMR ve NEMO haberleşmesi içerisinde yer alan Adhoc ile karşılaştırıldığında sıfır yönlendirme optimizasyon ek yüküne sahiptir. NEMO haberleşmesinde kullanılan başlık boyutu 24 byte değerine sahip olacaktır. IPv6 paketine eklenen toplam T2RH başlığı 24 byte olacaktır. Bu nedenle, yönlendirme optimizasyonu ek yükü 32.denklem kullanılarak hesaplanmıştır.

$$YO\_Ek\_Yükü = \frac{24B_{Tip2}}{1500 - 24} = \frac{24}{1476} = 1,6\% \quad (32)$$

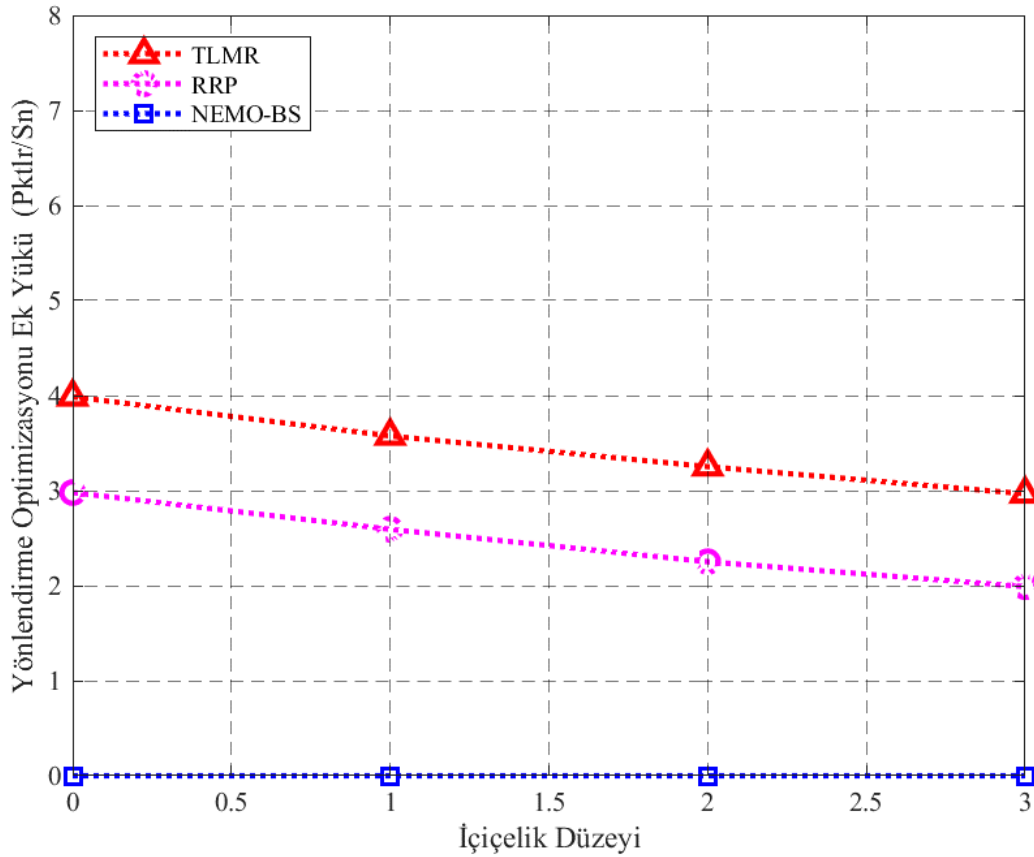
NEMO haberleşme ağı arasında kullanılacak paketin optimize edilmiş yönlendirme aracılığıyla iletildiğinde, yönlendirme optimizasyon yük değerinin %1,6'sı TLMR ve EPBU tarafından deneyimlenecektir. Ancak bu durumda NEMO haberleşme ağı içerisindeki uzantı başlığı 24 byte olacaktır. Toplamda T2RH ve HADOH 48 byte olacaktır. Sonuç olarak yönlendirme optimizasyon yükü 33.denklem kullanılarak hesaplanmıştır.

$$YO\_Ek\_Yükü = \frac{24B_{Tip2}}{1500 - 24} + \frac{24B_{EASB}}{1500 - 24} = \frac{48}{1476} = 3,2\% \quad (33)$$

Sadece NEMO haberleşme ağı içerisindeyken yönlendirme optimizasyon ek yükünün %3,2'si RRP tarafından deneyimlenecektir. Paketler alan içinde ve T2RH veya HADOH olmadan iletilmesinden dolayı Adhoc mekanizmasında yönlendirme optimizasyon ek yükü olmayacaktır.

İç içe yerleştirilmiş NEMO ağında herhangi bir yönlendirme optimizasyon çözümü yoksa, paketlerin tünelleşmesine neden olacaktır. Yönlendirme optimizasyon işlemi çekirdek ağa ek yükü getirse bile, yönlendirme optimizasyon mekanizması kullanılmamışsa eklenecek olan tünel ek yükünden daha çok yüksek olacaktır. MNN'nin optimize edilmiş yönlendirme sabit CN ile iletişim durumunda, paketler ekstra ek yükü olarak T2RH kullanılarak iletilir. Şekil 6.21, inter nested NEMO iletişimi için NEMO-BS, RRP ve önerilen TLMR mekanizmasının ek yükünün yönlendirme optimizasyonunu ile karşılaştırılmasını

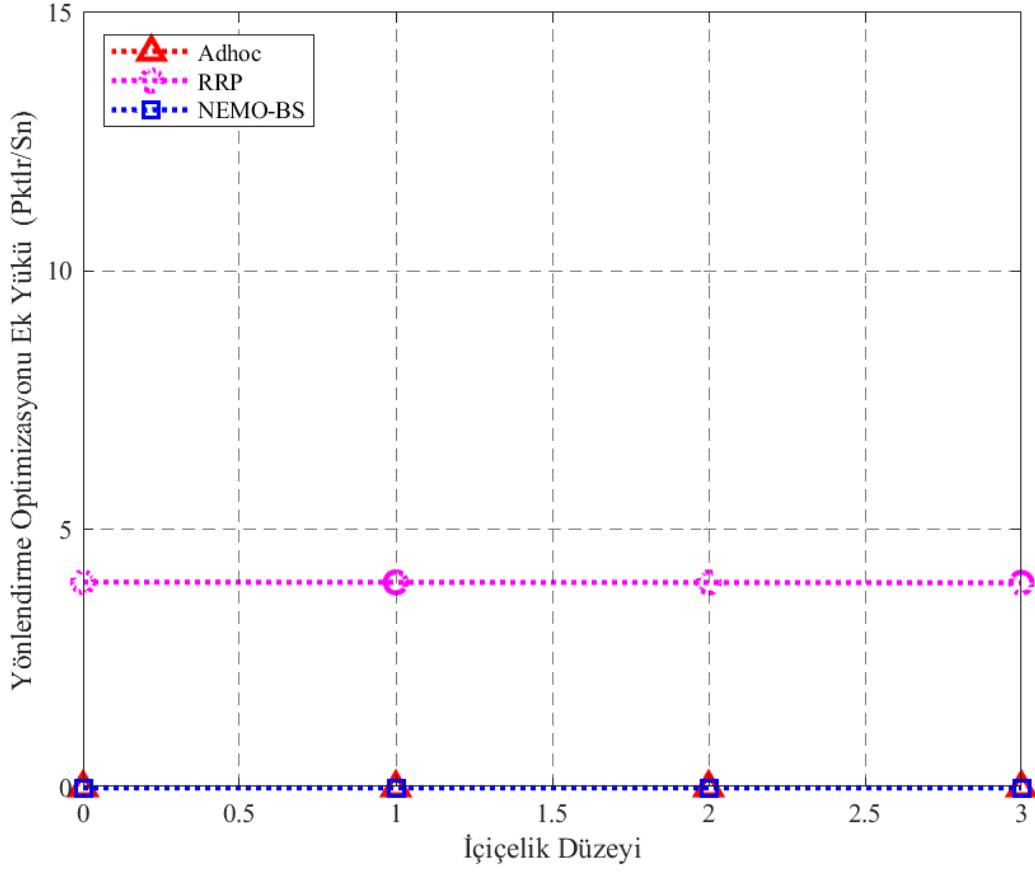
göstermektedir. TLMR mekanizması için yönlendirme optimizasyon ek yükünün, NEMO-BS ve RRP mekanizmasına kıyasla yüksek olduğu görülmektedir. Bunun nedeni, TLMR mekanizmasındaki paketlerin çoğunun optimize edilmiş yolda iletilmesidir. RRP mekanizması, TLMR mekanizmasına kıyasla daha düşük yönlendirme optimizasyonu ek yüküne sahiptir. Bunun nedeni, bazı paketlerin optimize edilmiş yolda iletilmemiş olmasından kaynaklanmıştır. NEMO-BS, sıfır yönlendirme optimizasyonu ek yüküne sahiptir. Çünkü optimize edilmiş yönlendirmede hiçbir paket iletilmemiştir.



Şekil 6.21. Inter nested NEMO iletişimde yönlendirme optimizasyonu ek yükü

İki MNN'nin intra nested NEMO iletişimde veya farklı alanlardan iletişim durumunda, optimize edilmiş yönlendirmedeki paketler bir yönden T2RH kullanılarak ve diğer yönden HADOH kullanılarak iletilir. Şekil 6.22'de, NEMO-BS ve önerilen Adhoc mekanizmasına kıyasla RRP mekanizması için en yüksek yönlendirme optimizasyon yüküne sahip olduğu görülmektedir. Bunun nedeni, NEMO-BS'deki paketlerin optimize edilmiş yönlendirmede iletilmemesidir. Önerilen Adhoc mekanizmasında ki paketler, TLMR alanı içindeki ekstra ek yük olmadan Adhoc olarak iletilir. Böylece, NEMO-BS ve önerilen Adhoc mekanizması,

sıfır yönlendirme optimizasyonu ek yükünü sergiler. RRP mekanizması, ekstra yönlendirme optimizasyonu ek yükü sergiler çünkü paketlerin T2RH ve HADOH ile her iki yönde optimize edilmiş yönlendirme kullanarak iletilmektedir.



Şekil 6.22. Intra nested NEMO iletişiminde yönlendirme optimizasyonu

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Mobil ağlarda artan araştırmalar sonucunda mevcut teknolojide verimliliğin artması ile birlikte yeni platformlar icat edilmeye başlanmıştır ve gelecekte de bu iyileştirmelerin devam etmesi beklenilmektedir. Bununla birlikte, mobil ağ protokollerinin mevcut durumu sınırlara sahiptir. Bu yüzden ağ hareketlilik protokollerinin incelenmesine ve uygulamaları kolaylaştırıcı yenilikçi tekniklere ihtiyaç duyulmaktadır. Mobil bilgi işlem cihazlarının taşınabilirliğinin yanında kablosuz ağ altyapısının yaygın olması uygulamalarda ağ hareketliliğinin kullanımı için fırsatlar sunmaktadır. Mobil ağların avantajlarından dolayı Bu tür uygulamalar keşfedilmeye değerdir fakat günümüzde TCP / IP yığımında çekirdek bir ağ özelliği olarak desteklenmemektedir. Bu yüzden internet altyapısında ağ hareketliliğine destek sağlama konusunda bir sorun bulunmaktadır.

Tez çalışmasında, MIPv6 ve NEMO ağlarına ve bunların temel işlemlerine, ana yetersizliklerine ve ağ katmanındaki mobil yönetim sorunlarına genel bir bakış açısı sunmuştur. Yönlendirme optimizasyon mekanizmaları da MIPv6 ve NEMO ağlarının performansını artırmak için kullanılabilir araçlar olarak tartışılmıştır. Ayrıca, hücreler arası aktarma işleminin etkisini analiz etmek ve değerlendirmek için MIPv6 hücreler arası aktarma teslimi incelenmiş ve denenmiştir. Bu işlem, mobil ağdaki aktarım gecikmesini ve paket kaybını içermektedir. CN'ye MN kayıt gecikmesi de mobil ağın genel performansına katkıda bulunan bir unsur olarak kabul edilmiştir.

Dikkate alınması gereken önemli nokta, hareketlilik nedeniyle büyük olayların meydana gelebilmesi durumu ve kablosuz mobil iletişim ortamındaki büyük sorunların dikkate alınması gerekliliğidir. MIPv6 ve NEMO protokollerinde hücreler arası aktarma, yönlendirme ve güvenlik her zaman en kritik zorluklar olarak karşımıza çıkmaktadır. İnternet altyapısında MN veya mobil ağ dolaşımının devredilmesi gereklidir. Hücreler arası aktarma teslim yapılırken, uç düğümler arasındaki iletişim şeklindeki gibi sorunsuz ilerlemelidir. Aynı zamanda, MN'nin bir ucundan diğer ucuna paket yönlendirmesi en iyi şekilde gerçekleştirilmelidir. MN veya mobil ağ farklı ağlara bağlanacağı için, MN veya mobil ağın gizliliği ve güvenliği genel olarak iletişim sırasında yüksek risk altında olabilir. Herhangi kötü amaçlı bir saldırıya karşı korunmak için mobil ağda güvenlik mekanizmasının kullanılması tavsiye edilmiştir.

Entegre IP tabanlı erişim ağlarındaki genel aktarım işlemi, protokol yığınının neredeyse her katmanında meydana gelen çok karmaşık bir işlemdir. Düzgün ve verimli bir aktarım yapılması için, MN ve CN arasındaki iletişimin çok fazla etkilenmemesi ve aktarım sinyali mesajlarının değiştirilmemesi önemlidir. Bu çalışmada hücreler arası aktarma teslim mekanizması önerilmemesine rağmen hücreler arası aktarma teslim gecikmesi mobil ağlar üzerinde performansa etki ettiği görülmüştür.

Simülasyon sonuçları ile toplam hücreler arası aktarma teslim gecikmesinin 21.6 saniye olduğu gösterilmiştir. Bu hücreler arası aktarma teslim gecikmesi değeri, Router Discovery, CoA kaydı, DAD, HA ve BU kayıt işlemlerini içerir. Bununla birlikte, bu hücreler arası aktarma teslim gecikmesi, MIPv6 ağında herhangi bir yönlendirme optimizasyon işlemi yapılmadan önce gerçekleştiği için tüm yönlendirme optimizasyon mekanizmasını ve HA'daki bağlanma kaydını açıklamıştır. Öte yandan MN'nin CN'deki bağlanma kaydı RRP ve EPBU mekanizmalarında da değerlendirilmiştir. EPBU mekanizmasının, RRP mekanizmasına (14.6 saniye) kıyasla CN'de BU kaydı için kayıt gecikmesinde yarı yarıya azalma (7,2 saniye) sağladığı görülmüştür. EPBU mekanizmasında MN, CN ile erken kayıt yapmasına rağmen, daha sonra MN, kaydı doğrulamak için CN ile bağlayıcı kayıt gerçekleştirir. Eski MIPv6, Eski MIPv6 kullanan MN'nin CN'ye bağlayıcı mesaj göndermemesi nedeniyle dikkate alınmamıştır.

Yönlendirme optimizasyon süreci, hücreler arası aktarma işleminden sonra mobil ağdaki bir diğer önemli noktadır. MIPv6 mobil yönetim teknikleri bir dizi yönlendirme optimizasyon mekanizması sağlamıştır. Bununla birlikte, bu mekanizmaların doğasında var olan bazı problemler tam olarak çözülmemiştir. Bunlar, MIPv6 mobil yönetim ortamını bir arada barındıran tipik ve kapsamlı çözümleri olmayan verimsiz yönlendirme optimizasyon prosedürlerini içerir. Önerilen mekanizma, gerçekleştirilebilir uygulama ve dağıtım, CN'de çok daha düşük bağlayıcı kayıt süresi, uçtan uca gecikme süresi, erken yol optimizasyonu, sinyal maliyetlerini en aza indirme, bağlayıcı güncelleme mesajı fırtınasını ortadan kaldırma ve ek altyapı olmadan dağıtım maliyetini azaltma açılarından avantajlara sahiptir. MN'lerin ikamet ettiği ortak MIPv6 ağ ortamına bakılmaksızın ağ operatörlerinin, tüketicilerin, kuruluşların ve müşterilerin teknik yükünden kaçınmak gerekmektedir.

Mobil ağlarda gerçekleştirilen yönlendirme optimizasyonu ile Legacy MIPv6'da dikkörtgen yönlendirme ve çift yönlü tünelleme önenebilmektedir. RRP mekanizmasındaki

yönlendirme optimizasyon işlemi, en iyi hale getirilmiş bir yoldan paketler iletilmeden önce bağlantıyı kurmak için çok uzun sürer. Yapmış olduğum doktora tez çalışmasında MIPv6'da HA ve FA tarafından gerçekleştirilen ve EPBU'ya dayanarak yeni bir yönlendirme optimizasyon mekanizması önerilmiştir. Bu yönlendirme optimizasyon mekanizmasında bağlantı MN'nin kendisi tarafından gerçekleştirilmiştir. FA ve HA arasındaki bağlantı ve ilişki, RRP mekanizmasındaki gibi evde test ve test bakımı yapma ihtiyacını ortadan kaldırmıştır.

Önerilen yönlendirme optimizasyon mekanizmaların performans verimliliği benzetimlerle değerlendirilmiştir. EPBU mekanizmasının benzetim sonuçları Legacy MIPv6 ve RRP mekanizması ile karşılaştırılmıştır. Eski MIPv6 için biriken uçtan uca gecikmenin, 9 sn'lik RRP mekanizmasına ve EPBU mekanizması için 8 sn'ye kıyasla en yüksek 16 sn'ye ulaştığı gözlemlenmiştir. Bunun nedeni Eski MIPv6'da hiçbir yönlendirme optimizasyonunun uygulanmamış olmasıdır. EPBU mekanizması, RRP mekanizmasına göre benzetiminin 1 sn birikmiş uçtan uca gecikme verimini marjinal olarak azaltır. EPBU ve RRP mekanizması arasındaki bu küçük fark MN'nin hücreler arası aktarma teslim işlemini gerçekleştirmesiyle katkıda bulunmuştur. Her iki mekanizmada MN ve CN arasında yönlendirme optimizasyonu uyguladığından, hücreler arası aktarma işleminden sonra yaşanan uçtan uca gecikme aynıdır.

Buna karşılık, EPBU mekanizması RRP mekanizması ve Eski MIPv6 ile karşılaştırıldığında 3000 Bayttan (2 paket) daha az paket kaybını iyileştirmiştir. RRP mekanizmasına göre benzetim sonunda 600 Bayt (0,4 paket) toplam sinyalleme yükünü azaltır. Ancak Eski MIPv6'ya kıyasla 825 Bayttan (0,55 paket) fazla birikmiş sinyal yükü vardır. Ayrıca sıfır bayt tünelleme yükü ve RRP mekanizmalı aynı 3000 baytlık (2 paket) yönlendirme optimizasyon yükü vardır. Paketler Eski MIPv6 üzerinde en iyi hale getirilmiş bir yönlendirmede iletilmediğinden, simülasyon sonuçları, paketlerin IP-in-IP kapsülleme içinde biriken tünelleme yükü $1,875 \times 10^5$ Bayt (125 paket) ve sıfır bayt yolla iletildiğini açıkça göstermektedir.

Öte yandan, NEMO'daki TLMR ve Adhoc tabanlı yönlendirme optimizasyon mekanizması, inter nested NEMO ve intra nested NEMO için sırasıyla önerilmiştir. Önerilen TLMR mekanizması, MN ve CN arasında, internet yönlendirme protokolleri tarafından belirlenen şekilde, arka arkaya HA'lar üzerinde tünellemeye gerek kalmadan optimum yollar üzerinden veri paketlerinin alışverişini mümkün kılmıştır. Adhoc mekanizması, paketlerin aynı NEMO

alanı içinde kalan iki MNN arasında doğrudan iletişimi sağlamaktadır. Bu iletişimi farklı alt ağlarda, veri alanlarının “domain”den ayrılmadan geri tünelleme yaparak sağlamaktadır. Bu durum TLMR alanı altındaki MR'ların birbirlerine bildirdikleri, yönlendirme tablolarını ve komşu önbelleği geçici olarak oluşturabildikleri için mümkün olmaktadır.

NEMO ağında benzetim, mobil ağın 3 seviyeye kadar iç içe yerleştirme yerleştirilmesi ile gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar NEMO-BS'nin her iki senaryoda da uçtan uca en yüksek gecikmeye maruz kaldığını göstermektedir. TLMR mekanizması genel olarak iç içe yerleştirme bulunan derinliklerden bağımsız olarak makul bir performans sergilemiştir. Inter-NEMO senaryosunda, yuva derinliğinde 0,21 sn ile 0,53 sn arasındaki artışla uçtan uca gecikme artmaktadır. RRP mekanizmasının uçtan uca gecikmesi 0,21 sn'den 0,26 sn'ye hafif bir artış göstermektedir. TLMR mekanizması, yuvalama derinliğinden bağımsız olarak makul bir performans sergilemiştir. 0,21 saniye ile 0,22 saniye arasında uçtan uca daha az gecikme yaşanmıştır. NEMO-senaryosunda, NEMO-BS 0,43 saniye ile 1,05 saniye aralığında bir uçtan uca gecikme kaydetmiş ve RRP önerilen Adhoc mekanizması en düşük değeri kaydederken uçtan uca 0,2 saniye ile 0,62 saniye gecikme kaydetmiştir. Ayrıca önerilen Adhoc mekanizması uçtan uca en düşük iken uçtan uca en düşük paketi 0,01 saniye ile 0,002 saniye aralığında kaydetmiştir. TLMR mekanizması, yuvalama seviyesi 0 ile 2 arasında olduğunda RRP ve NEMO-BS'ye kıyasla 37,5 bayt/sn'den fazla paket kaybı sağlamıştır. Bu başarı, yuvalama seviyesi 3 olduğu halinden daha fazla kaydedilmiştir. Yuvalama seviyesi 0 ile 2 arasında olduğunda 150 bayt/sn ve yuvalama seviyesi 3'e eşit olduğunda 150 bayt/sn'den fazla elde edilmiştir.

TLMR mekanizması, tünel açma yükünü RRP mekanizmasına ve NEMO-BS'ye göre sırasıyla $1,5 \times 10^3$ bayt/sn ve $6,0 \times 10^3$ ile $2,1 \times 10^4$ bayt/sn'ye düşürmüştür. Diğer tarafta, Adhoc mekanizması, iki MNN arasında tünel açma yükü olmadan (sıfır tünelleme yükü) en iyi hale getirilmiş bir iletişim kurmuştur. Bu performans, RRP mekanizmasına kıyasla 1500 bayt/sn'lik daha düşük sinyalleme yükü olan TLMR mekanizması kullanılarak elde edilmiştir. Ancak Adhoc mekanizması için sinyalleme yükü, RRP mekanizmasına kıyasla $2,0 \times 10^3$ bayt/sn'den fazladır. Bununla birlikte, yönlendirme optimizasyon yükü, RRP mekanizmasına kıyasla TLMR mekanizması için $1,5 \times 10^3$ bayt/sn yüksek kaydedilmiştir. Adhoc mekanizması, paketler T2RH ve HADOH kullanmak yerine Adhoc bazında iletildiğinden yönlendirme optimizasyon yükünü kaydetmemiştir.

Genel olarak, EPBU yönlendirme optimizasyon mekanizması, MIPv6'da, paket kaybı ve tamamen tünel ek yükünü gibi işlevleri tamamen ortadan kaldırarak uçtan uca gecikmeyi önemli ölçüde azaltmıştır. EPBU yönlendirme optimizasyon mekanizması, önceki AR'den başlamadan ve ayrılmadan önce CN'ye bir EPBU gerçekleştirir ve yeni AR'ye bağlanır ve bu şekilde uçtan uca gecikme, paket kaybı ve sıfır tünelleme maliyetinin düşmesine neden olur. NEMO ağında önerilen bu mekanizma, mobil ağın iç içe yerleştirme olup olmasına bakılmaksızın performansı zaten iyileştirmektedir. Oturum sayısı belli ise MR'lar, çok katmanlı ve iç içe yerleştirme olsa bile mobil ağ yönlendirme optimizasyonunu ayarlayabilmektedir. Tünel oluşması durumunda, paket NEMO için performansı kabul edilebilir olmasına rağmen birden fazla tünel tarafından iletilmemektedir. Bununla birlikte, Adhoc mekanizması yüksek performans vermektedir çünkü tüm paketler geçici bildirim mesajının ek masrafı ile birlikte "domain" içinde iletilmektedir.

EPBU mekanizması ile FA ağ önbellek uygulaması olmadan, gönderilen tüm paketlerin bellekte tutulması için umut vaat eden sonuçlar elde edilmiştir. EPBU mekanizması, FA uygulamasının etkisini analiz etmek için erken gelen paketleri saklama çalışmalarında kullanılmak üzere genişletilerek geliştirilebilir. Ayrıca gelecekteki yapılacak çalışmalarda, MN'nin bağlanacağı bir sonraki ağın HA tahmini, CN'ye genişletilebilen HA tarafından gerçekleştirilir. Öngörülen MN'nin CN ve HA'daki bir sonraki yabancı ağ bağlantısının etkisi de incelenebilir ve analiz edilebilir, böylece her ikisinin de verimliliği incelenebilir.

Son zamanlarda MANET ve Yazılım Tanımlı Ağ (Software Defined Network - SDN) gibi ağ teknolojisinde büyük ilerlemeler yaşanmaktadır. Bunların çoğu bir dereceye kadar bazı benzerliklere sahiptir ancak herbiri başka tür ağ kurma paradigmasına göre performans iyileştirme yeteneğine sahiptir ve faydalı olabilmişlerdir. SDN, ağı programlanabilir hale getirdiğinden, operatöre özelleştirme ve optimizasyon için altyapısı üzerinde daha fazla kontrol sağlamaktadır. MANET, mobil düğümlere yerlerini kendilerinin değiştirmelerine izin verdiği ve kendilerini konfigüre etmelerini sağladığı için internet ortamlarına gerek kalmadan mobil düğümlerin birbirleriyle iletişim kurabilmeleri sağlamaktadır. Önermiş olduğumuz NEMO protokolü bu özellikleri entegre etmek için genişletilebilir. Ayrıca entegre olan NEMO ve entegre olmayan NEMO performans durumlarını değerlendirmek için kullanılabilir.



KAYNAKLAR

1. Jora, N. (2015). Mobile ip and comparison between mobile ipv4 and ipv6. *Journal of Network Communications and Emerging Technologies (JNCET)*, 2(1).
2. Gunasundari, R. and Shanmugavel, S. (2009). *Performance Comparison of Mobile IPv4 and Mobile IPv6 protocols in wireless systems*. 2009 First International Communication Systems and Networks and Workshops. IEEE. Bangalore, India. 1-8.
3. Johnson, D., Perkins, C., and Arkko, J. (2004). RFC 3775: Mobility support in IPv6. *Network Working Group IETF Tools*.
4. Perkins, C., Johnson, D., and Arkko, J. (2011). RFC 6275: Mobility support in IPv6. *Network Working Group IETF Tools*.
5. Ahmad, H. A. (2014), Design and analysis of distributed mobility management in ipv6 mobile networks. *Networking and Internet Architecture, Télécom Bretagne, Université de Rennes 1*.
6. Devarapalli, V., Wakikawa, R., Petrescu, A., and Thubert, P. (2005). RFC 3963: Network Mobility (NEMO) Basic Support Protocol. *Network Working Group IETF Tools*.
7. Shahriar, A. Z. M., Hossain, M.S., and Atiquzzaman, M. (2012). A cost analysis framework for NEMO prefix delegation-based schemes. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 11(7), 1192-1206.
8. Shahriar, A. Z. M., Atiquzzaman, M., and Ivancic, W. (2010). Route optimization in network mobility: Solutions, classification, comparison, and future research directions. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 12(1), 24-38.
9. Kim, J., Jung, H., and Lee, J. (2008). *Route Optimization Using Collective Binding Update and Mobile Network Prefix for Nested Mobile Networks*. ITC-CSCC: International Technical Conference on Circuits Systems, Computers and Communications. Shimonoseki City, Yamaguchi, Japan.
10. Park, C. and Oh, S. (2019). *Multicasting optimization using an improved binding update list in mobile hosts for nested mobile networks*. International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering, 8(3C), 231-235.
11. Dinakaran, M. and Balasubramanie, P. (2010). A Route Optimization technique for registered and unregistered CN's in NEMO. *Journal of Computing*, 2(5).
12. Mosa, A. A., Hassan, A., Saeed, R. A., and Khalifa, O. O. (2011). *Evaluation of NEMO-based approaches for route optimization*. 2011 4th International Conference on Mechatronics (ICOM). IEEE. Kuala Lumpur. 1-7.
13. Mosa, A. A., Abdalla, A. H., and Saeed, R. A. (2012). Evaluation of MANEMO route optimization schemes. *Journal of Network and Computer Applications*, 35(5), 1454-1472.
14. Mahmood, Z., Hashim, A., Khalifa, O., Anwar, F., and Hameed, S. (2013). *Review paper of gateway selection schemes for MANET of NEMO (MANEMO)*. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing.

15. Ng, C., Zhao, F., Watari, M., and Thubert, P. (2007). RFC 4889: Network mobility route optimization solution space analysis. *Network Working Group IETF Tools*.
16. Barbudhe, A.K., Barbudhe, V.K., and Dhawale, C. (2015). *Comparison of Mechanisms for Reducing Handover Latency and Packet Loss Problems of Route Optimization in MIPv6*. 2015 International Conference on Computational Intelligence & Communication Technology. IEEE. Ghaziabad, India. 323-329.
17. Goswami, S. and Das, C.B. (2014). Performance Evaluation on various Route Optimization Techniques in Network Mobility (NEMO). *International Journal of Modern Computer Science (IJMCS)*, 2(6).
18. Cabellos-Aparicio, A. and Domingo-Pascual, J. (2007). *Mobility Agents: Avoiding the Signaling of Route Optimization on Large Servers*. 2007 18th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications. IEEE. Athens, Greece. 1-5.
19. Kong, R. and Zhou, H. (2006). *Analysis and improvement of return routability procedure for network mobility*. 2006 IEEE International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing. Wuhan, China. 1-4.
20. Al-Farabi, K. M. and Kabir, M. H. (2011). *Reducing packet loss in Mobile IPv6*. 14th International Conference on Computer and Information Technology (ICCIT 2011). IEEE. Dhaka, Bangladesh. 38-43.
21. Bo, C., Elz, R., and Kamolphiwong, S. (2010). *Mobile IPv6 without home agent*. ECTI-CON2010: The 2010 ECTI International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology. IEEE. Chiang Mai, Thailand. 904-908.
22. Jia, W. K., Chen, C. Y., Yang, Y. R., and Chen, Y. C. (2011). *TDPBU: Route optimization for coexisting mobility managements in IPv6 networks*. Proceedings of the 7th International Wireless Communications and Mobile Computing Conference, IWCMC 2011. Istanbul, Turkey.
23. Le, D. and Chang, J. (2010). *Tunnelling-based route optimization for mobile IPv6*. 2010 IEEE International Conference on Wireless Communications, Networking and Information Security. Beijing, China. 509-513.
24. Radhakrishnan, R., Jamil, M., and Mehfuz, S. (2008). A robust return routability procedure for mobile IPv6. *International Journal of Computer Science and Network Security*, 8, 234-240.
25. Shah, P. A., Hasbullah, H. B., Lawal, I. A., Aminu Mu'azu, A., and Tang Jung, L. (2014). A totp-based enhanced route optimization procedure for mobile IPv6 to reduce handover delay and signalling overhead. *The Scientific World Journal, Hindawi Publishing Corporation*. (volume 2014).
26. Zolfagharnasab, H. (2012). Reducing packet overhead in mobile IPv6. *International Journal of Distributed and Parallel Systems (IJDPS)*. 3(3).
27. Ibrahim, S. E. H., Mohammed, Y. A., and Abualgasim, S. D. A. (2018). *Design of a New Model for Enhancement of the Performance of Nested Mobile Networks*. 2018 International Conference on Computer, Control, Electrical, and Electronics Engineering (ICCCEEE). IEEE. Khartoum, Sudan. 1-4.

28. Ofori, K. K., Abdulai, J. D., and Katsriku, F. A., (2018). Mobile IP on Mobile Ad Hoc Networks: An Implementation and Performance Evaluation Using NS2. *Advanced Computing: An International Journal (ACIJ)*, 9(2).
29. Ng, C., Paik, E., Ernst, T., and Bagnulo, M. (2007). RFC 4980: Analysis of multihoming in network mobility support. *Network Working Group IETF Tools*.
30. Koodli, R. (2009). RFC 5568: Mobile IPv6 fast handovers. *Network Working Group IETF Tools*.
31. Alnas, M., Awan, I., and Holton, R. (2010). Performance evaluation of fast handover in mobile IPv6 based on link-layer information. *Journal of Systems and Software*, 83(10), 1644-1650.
32. Hung, T.C. and Duong, V.T. (2011). *Mobile IPv6 fast handover techniques*. 13th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT2011). IEEE. Seoul, South Korea. 1304-1308.
33. Alassaf, K. and Mellor, J. (2011). *Fast Mobile IPV6 handoff using cross layer interaction*. 2011 IEEE GCC Conference and Exhibition (GCC). IEEE. Dubai, United Arab Emirates. 449-452.
34. Boutabia, M. and Afifi, H. (2013). *Maximizing predictive mode probability in fast handovers for mobile IP*. ICT 2013. IEEE. Casablanca, Morocco. 1-5.
35. Khan, M.Q. and Andresen, S.H. (2011). *The implications of zero scanning time on mipv6 handover delays by using media independent information server (miis)*. The 17th Asia Pacific Conference on Communications. IEEE. Sabah, Malaysia. 324-329.
36. Khan, M.Q. and Andresen, S.H. (2012). Pros and cons of route optimization schemes for network mobility and their implications on handovers. *IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering*, 7(6), 622-632.
37. Imran, S. and Ko, Y. B. (2016). *Optimizing fast handover in MIPv6 through buffered packet forwarding and out of sequence packets reduction*. 2016 International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC). IEEE. Jeju, South Korea. 156-161.
38. Yousaf, F. Z., Wietfeld, C., and Mahmud, S. A. (2016). Optimizing tunnel management in predictive handover protocols. *Computer Networks*, 104, 198-212.
39. Luo, J., Li, Y., and Nie, G. (2016). *Discussion and performance simulation of an enhanced handover scheme in HMIPv6 networks*. 2016 International Conference on Progress in Informatics and Computing (PIC). IEEE. Shanghai, China. 566-570.
40. Gupta, S. and Gambhir, S. (2010). *An improved architecture for minimizing handover latency in MIPv6*. 2010 International Conference on Methods and Models in Computer Science (ICM2CS-2010). IEEE. New Delhi, India. 106-111.
41. Prashanthi, S. and Kayalvizhi, S. (2015). *Enhancing fast handover by utilizing PMIPv6 and TBU Scheme*. 2015 Seventh International Conference on Ubiquitous and Future Networks. IEEE. Sapporo, Japan. 938-943.
42. Tang, W., Tang, H., and Chen, L. (2013). *Network mobility solution based on predictive fast handover in PMIPv6 domain*. 2013 IEEE 4th International Conference on Software Engineering and Service Science. IEEE. Beijing, China. 587-590.

43. Mustakim, H.U. and Juhana, T. (2016). *Simulation of Parallel Duplicate Address Detection (PDAD) for macro handover in HMIPv6*. 2016 10th International Conference on Telecommunication Systems Services and Applications (TSSA). IEEE. Denpasar, Indonesia. 1-5.
44. Chaki, R. and Niyogi, N.G. (2011). *An improved scheme towards fast handover in a hierarchical mobile network*. 2011 XXXth URSI General Assembly and Scientific Symposium. IEEE. Istanbul, Turkey. 1-4.
45. Mitra, A., Sardar, B., and Saha, D. (2013). *Fast and Route Optimized NEMO (FRONEMO): A proposal to improve handoff performance in network mobility*. 2013 International Conference on Control Communication and Computing (ICCC). IEEE. Thiruvananthapuram, India. 5-10.
46. Al-Saedi, F.A.T. and Asem, M.M. (2014). Performance Study of Mobile IPv6 Using OPNET. *International Journal of Engineering Research and Technology*, 3(8), 549-557.
47. Le, D., Fu, X., and Hogrefe, D. (2005). *Evaluation of Mobile IPv6 Based on an OPNET Model*. In Proceedings of The 8th International Conference for Young Computer Scientists (ICYCS'05). Beijing, China.
48. Meng, R., Da, B., and Wang, C. (2017). *IP mobility enhancements for MIPv6 and PMIPv6*. 2017 Tenth International Conference on Mobile Computing and Ubiquitous Network (ICMU). IEEE. Toyama, Japan. 1-6.
49. Hata, M., Soylu, M., Izumi, S., Abe, T., and Suganuma, T. (2018). SDN Based End-to-End Inter-Domain Routing Mechanism for Mobility Management and Its Evaluation. *Sensors*, 18(12), 4228.
50. Sornlertlamvanich, P., Elz, R., Kamolphiwong, S., and Angchuan, T. (2008). *Performance of route optimization in nested NEMO*. 2008 8th International Conference on ITS Telecommunications. IEEE. Phuket, Thailand. 210-215.
51. Bernardos, C.J., Bagnulo, M., and Calderón, M. (2004). *MIRON: MIPv6 route optimization for NEMO*. 2004 4th Workshop on Applications and Services in Wireless Networks (ASWN 2004). IEEE. Boston, MA, USA. 189-197.
52. Yousaf, F.Z., Tigyo, A., and Wietfeld, C. (2009). *NERON: a route optimization scheme for nested mobile networks*. 2009 IEEE Wireless Communications and Networking Conference. IEEE. Budapest, Hungary. 1-6.
53. Prakash, A., Verma, R., Tripathi, R., and Naik, K. (2009). *A mobile ipv6 based route optimization scheme for mobile networks*. 2009 Annual IEEE India Conference. IEEE. Gujarat, India. 1-4.
54. Prakash, A., Verma, R., Tripathi, R., and Naik, K. (2009). *Extended Mobile IPv6 route optimization in nested mobile networks*. 2009 Fifth International Conference on Wireless Communication and Sensor Networks (WCSN). IEEE. Allahabad, India. 1-6.
55. Yousaf, F.Z. and Wietfeld, C. (2012). Solving pinball routing, race condition and loop formation issues in nested mobile networks. *Computer Networks*, 56(4), 1357-1375.
56. Dinakaran, M. and Balasubramanie, P. (2009). *A Route Optimization technique for Nested NEMO*. 2009 IEEE International Advance Computing Conference. IEEE. Patiala, India. 697-701.

57. Kabir, M.H., Mukhtaruzzaman, M., and Atiquzzaman, M. (2013). Efficient route optimization scheme for nested-NEMO. *Journal of Network and Computer Applications*, 36(3), 1039-1049.
58. Bauer, C. (2009). *Network mobility route optimization with certificate-based authentication*. 2009 First International Conference on Ubiquitous and Future Networks. IEEE. Hong Kong, China. 189-194.
59. Liu, Y., Li, J., and Zhang, H. (2011). *NEMO route optimization for aeronautical passenger communications*. Proceedings 2011 International Conference on Transportation, Mechanical, and Electrical Engineering (TMEE). IEEE. Changchun, China. 310-2314.
60. Barman, S., Ghosh, A., and Biswas, S. (2015). *A transparent tree root identification scheme to support route-optimization and network mobility in PMIPv6 Domain*. 2015 IEEE 2nd International Conference on Recent Trends in Information Systems (ReTIS). IEEE. Kolkata, India. 532-537.
61. Mousa, A.A., Abdalla, A.H., Al Khateeb, K., Khalifa, O., and Adibah, H. (2014). *Design a New Proposed Route Optimization Scheme Based NEMO-Centric MANEMO (NCM)*. 2014 3rd International Conference on Advanced Computer Science Applications and Technologies. IEEE. Amman, Jordan. 172-178.
62. Mohammed, A.A., Elbashir, M.K., Ahmed, A.M., and Ali, M.M. (2017). *Enhancement of seamless mobility in nested network mobility*. 2017 International Conference on Communication, Control, Computing and Electronics Engineering (ICCCCEE). IEEE. Khartoum, Sudan. 1-5.
63. Senan, S., Hashim, A.A., Saeed, R.A., Hameed, S.A., Zeki, A.M., and Daoud, J.I. (2012). *Route optimization scenario of a new scheme based on nested mobile network*. 2012 International Conference on Computer and Communication Engineering (ICCCE). IEEE. Kuala Lumpur, Malaysia. 717-721.
64. ul Haq, Z. and Baig, A. (2012). *Route Optimization Technique for Nested Mobile Networks*. 2012 Fourth International Conference on Computational Intelligence, Communication Systems and Networks. IEEE. Phuket, Thailand. 393-398.
65. Ye, H., Gong, C., and Tan, K. (2013). *Research on route optimization for ATN/IPS*. 2013 6th International Conference on Information Management, Innovation Management and Industrial Engineering. IEEE. Xi'an, China. 296-299.
66. Gao, T., Zhu, Z., and Guo, N. (2008). *Hierarchical route optimization scheme in mobile network*. IET 2nd International Conference on Wireless, Mobile and Multimedia Networks (ICWMMN 2008). IEEE. Beijing, China. 5-8.
67. Gao, T., Guo, N., and Zhu, Z. (2008). *A MAP Based Route Optimization Scheme for Mobile Networks*. 2008 First International Conference on Intelligent Networks and Intelligent Systems. IEEE. Wuhan, China. 280-283.
68. Gao, T. and Guo, N. (2008). *LROS: Localized route optimization scheme for NEMO*. TENCON 2008-2008 IEEE Region 10 Conference. IEEE. Hyderabad, India. 1-4.
69. Chuang, M.-C. and Lee, J.-F. (2011). DRO: domain-based route optimization scheme for nested mobile networks. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, 2011(1), 70.

70. Gao, T. and Guo, N. (2011). *A local registration scheme for route optimization in nested NEMO*. Fourth International Conference on the Applications of Digital Information and Web Technologies (ICADIWT 2011). IEEE. Stevens Point, WI, USA. 70-74.
71. Gao, T., Guo, N., and Zhu, Z. (2009). *A hierarchical route optimization scheme in nested mobile network with source routing binding update*. 2009 First International Conference on Future Information Networks. IEEE. Beijing, China. 92-96.
72. Zhi, C., Gao, J., Xie, G., Liu, H., and Liu, Y. A. (2016). *A Network Mobility route optimization scheme for consumer multicast traffic in aeronautical communication*. 2016 2nd IEEE International Conference on Computer and Communications (ICCC). IEEE. Chengdu, China. 2042-2045.
73. Bhattacharya, A., Das, S., Gayen, A., and Chakraborty, N. (2017). *HAP: Hierarchical attachment process for mobile nodes in nested network mobility*. 2017 IEEE Region 10 Symposium (TENSYPMP). IEEE. Cochin, India. 1-4.
74. Phang, S.-Y., Lee, H., and Lim, H. (2008). *Route optimization for NEMO based on AODV*. 2008 10th International Conference on Advanced Communication Technology. IEEE. Gangwon-Do, South Korea. 1396-1400.
75. Kong, R., Feng, J., Gao, R., and Zhou, H. (2012). A new route optimization scheme for network mobility: Combining ORC protocol with RRH and using quota mechanism. *Journal of Communications and Networks*, 14(1), 91-103.
76. Qiang, L., Li, J., Guizani, M., and Ji, Y. (2014). *An adaptive route optimization scheme for nested mobile IPv6 NEMO environment*. 2014 12th International Symposium on Modeling and Optimization in Mobile, Ad Hoc, and Wireless Networks (WiOpt). IEEE. Hammamet, Tunisia. 373-380.
77. Sardar, B. and Saha, D. (2013). *Performance analysis of basic support protocol (bsp) in nested network mobility (NeNEMO)*. 2013 International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI). IEEE. Mysore, India. 1430-1435.
78. Hasan, M.K., Sharif, M.T., Hossain, M.S., and Atiquzzaman, M. (2016). *Comparison of NEMO Schemes in Proxy Mobile IPv6 Domain*. 2016 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM). IEEE. Washington, DC, USA. 1-6.
79. Mosa, A., Abdalla, A.H., Saeed, R., and Okhalifa, O. (2011). Investigation of route optimization for mobile ad hoc nemo (manemo) based proposals. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*. 5(6), 814-838.
80. Ernst, T. (2007). RFC 4885: Network mobility support terminology. *Network. Network Working Group IETF Tools*.
81. Barbudhe, A.K., Barbudhe, V.K., and Dhawale, C. (2014). *Comparative analysis of security mechanism of mobile IPv6 threats against binding update, Route Optimization and Tunneling*. 2014 IEEE 6th International Conference on Adaptive Science & Technology (ICAST). IEEE. Ota, Nigeria. 1-7.
82. Mehdi, M. T. R. H., Afzal, S. R., Mukhtar, H., Yoo, S. W., Kim, D. K., and Kim, K. H. (2007). Mobile IPv6 (MIPv6) Route Optimization Security Design Protocol. *Ubiquitous Computing and Communication Journal*. 2(1).

83. Modares, H., Moravejosharieh, A., Lloret, J., and Salleh, R. (2014). A survey of secure protocols in mobile IPv6. *Journal of Network and Computer Applications*, 39, 351-368.
84. Modares, H., Moravejosharieh, A., Salleh, R.B., and Lloret, J. (2014). Enhancing security in mobile IPv6. *ETRI Journal*, 36(1), 51-61.
85. Arkko, J., Vogt, C., and Haddad, W. (2007). RFC 4866: Enhanced route optimization for mobile IPv6. *Network Working Group IETF Tools*.
86. Tripathi, A.K., Srivastava, A.P.H., Tiwari, S., and Pandey, S. (2012). *Security issues in mobile IPv6*. National conference on development of reliable information systems, techniques and related issues (DRISTI). Delhi, India.
87. Kavitha, D., Murthy, K.S., and ul Huq, S.Z. (2010). *Security analysis of binding update protocols in route optimization of MIPv6*. 2010 International Conference on Recent Trends in Information, Telecommunication and Computing. IEEE. Kochi, Kerala, India. 44-49.
88. Mehdizadeh, A., Khatun, S., Ali, B.M., Abdullah, R.R., and Kurup, G. (2008). Route optimization security in mobile IPv6 wireless networks: A test-bed experience. *Advances in Computer Science and Engineering, In Computer Society of Iran Computer Conference (CSICC 2008), Communications in Computer and Information Science*. Springer, Berlin, Heidelberg. 6, 153-159.
89. Thubert, P. (2003). IPv6 reverse routing header and its application to mobile networks. *Network Working Group IETF Tools*.
90. Lu, Z. and Yang, H. (2012). *Unlocking the power of OPNET modeler*. Cambridge University Press.



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : MJAHDİ, Mohamedi M.
 Uyruğu : Tanzania
 Doğum tarihi ve yeri : 15.08.1979, Tanga
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0 (552) 243 03 08
 e-mail : mmjahidi@gmail.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Doktora	Gazi Üniversitesi / Bilgisayar Mühendisliği	Devam ediyor
Yüksek lisans	Dodoma Üniversitesi / Telek. Mühendisliği	2011
Lisans	Dar es Salaam Üniversitesi / Bilgisayar Bilimi	2006
Lise	Usagara Lisesi ve Yüksek Lisesi	1999 ve 2002
İlkokul	Usagara İlkokulu	1996

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2011-Halen	Dodoma Üniversitesi	Öğretim Görevlisi
2008-2011	Dodoma Üniversitesi	Öğretici Asistanı
2007-2008	İçişleri Bakanlığı	Sistem yöneticisi

Yabancı Dil

İngilizce

Svahilice

Yayınlar

1. MJAHDİ, M. M. (2015). A Survey on Security Solutions of AODV Routing Protocol against Black Hole Attack in MANET. *International Journal of Computer Applications*, 113(15).
2. KOÇAK, C., and MJAHDİ, M. M. (2019). Evaluation of Route Optimization Method in Mobile IPv6 Networks. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 23(6), 1207-1217.

Hobiler

Futbol, Yüzme, Voleybol.





GAZİ GELECEKTİR..

