

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KABLOSUZ AĞLARDA EL DEĞİŞTİRME

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Müh. Sevgi ERMAN

Anabilim Dalı : BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ

Programı : BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ

KASIM 2008

KABLOSUZ AĞLARDA EL DEĞİŞTİRME

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Sevgi ERMAN
(504031526)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 15 Eylül 2008
Tezin Savunulduğu Tarih : 14 Kasım 2008

Tez Danışmanı : Prof.Dr. Emre HARMANCI
Diğer Jüri Üyeleri: Prof.Dr. Coşkun SÖNMEZ
Yrd.Doç.Dr. Feza BUZLUCA

KASIM 2008

ÖNSÖZ

Kablosuz iletişim konusu her geçen gün önemini daha da arttırmaktadır. Bu hizmet alınırken kullanıcılar tarafından hizmetin kalitesi ön plana çıkmaktadır. Özellikle gerçek zamanlı uygulamalarda gönderilen bilginin eş zamanlı alınması önemlidir. Günümüzde kullanıcılar hareketli durumdayken bilgi alış verişi yapmak istemektedir. Hareketliliğin sağlanması sırasında bilgilerin eş zamanlı olarak kendilerine ulaşmaları istenir. Bu tezde günümüz teknolojilerinde mobilite ve eş zamanlı bilgi alışverişinin sağlanması incelenmiştir. Tezi hazırlamamda bana büyük destek veren ve emeğini esirgemeyen tez hocam Prof. Dr. Emre Harmancı' ya sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

Kasım, 2008

Sevgi Erman
Elektronik ve Haberleşme Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

KISALTMALAR	vi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	x
ÖZET.....	xiv
SUMMARY.....	xv

1.GİRİŞ.....	1
--------------	---

2. TCP/ IP PROTOKOLÜ TEMELLERİ.....	2
-------------------------------------	---

2.1 TCP/ IP Tarihçesi.....	4
2.2 TCP/ IP’ nin Tasarım Amaçları.....	4
2.3 TCP/ IP’ nin Kullanım Amaçları.....	4
2.4 TCP/ IP Mimarisi.....	5
2.5 TCP – Transmission Control Protocol.....	6
2.6 UDP – User Datagram Protocol.....	7
2.7 UDP ve TCP’ nin Farkları.....	8
2.7.1 Segment ile Datagram Arasındaki Farklar.....	9
2.8 IP Adresi.....	10
2.8.1 Statik ve Dinamik IP Adresi.....	10

3. GSM’ DE EL DEĞİŞTİRME.....	11
-------------------------------	----

3.1 GSM Sistem Yapısı.....	12
3.2. GSM Şebeke Elemanları.....	14
3.2.1 MS (Mobile Station - Mobil İstasyon).....	14
3.2.2 BTS (Base Transceiver Station – Baz İstasyon Alıcı – Vericisi...)	15
3.2.3 BSC (Base Station Controller – Baz İstasyonu Kontrolörü).....	15
3.2.4 MSC (Mobile Switching Center – Mobil Anahtarlama Merkezi)..	16
3.2.5 GMSC (Gateway MSC – Ara MSC).....	16
3.2.6 HLR (Home Location Register – Abone Bölge Kaydı).....	17
3.2.7 VLR (Visitors Location Register – Misafir (Geçici) Bölge Kaydı..	17
3.2.8 EIR (Equipment Identity Register – Cihaz Tanımlama Kaydı).....	17
3.2.9 AuC (Authentication Center – Doğrulama Merkezi).....	18
3.3 GSM’ de Konuşmanın Gerçeklenmesi.....	18

3.4 LAC (Location Area Code).....	19
3.5 El Değişirme (Handover).....	22
3.5.1 BSC İçinde El Değişirme (Intra – BSC Handover).....	22
3.5.2 BSC’ ler Arası El Değişirme (Inter – BSC Handover).....	23
3.5.3 MSC İçinde El Değişirme (Inter - MSC Handover).....	23
3.6 Konum Güncelleme (Location Update).....	23
4. MOBİL IP (MIP).....	25
4.1 Mobil IP Uygulaması.....	27
4.2 Ağlar Arası Geçiş.....	30
4.3 El Değişirme Gerçekleme Örneği.....	31
4.4 Şebekeleşme – Ağ Yapısı.....	31
4.4.1 Hücresel İnternet için IP Telsiz Şebeke.....	32
4.4.2 Mobil IP ile Telsiz LAN Servisi.....	32
4.5 TCP (Transmission Control Protocol) ile İlgili Sorunlar.....	33
4.5.1 Uç Nokta Stratejisi.....	34
4.5.2 Arayüz Destekli Strateji.....	34
4.5.3 İki Handoff Arasında Geçen Sürenin TCP Performansına Etkisi.....	34
4.6 Mobil IP Güvenliği.....	35
4.7 El Değişirme Konusunda Yapılan Çalışmalar.....	36
5.SİMULASYON.....	38
5.1 Parametre Seçimi.....	38
5.2. HA ve FA Uzaklık Seçimi.....	39
5.3. Topoloji Belirlenmesi.....	40
5.4 TCP Trafikte Topoloji 1.....	41
5.5. TCP Trafikte Topoloji 2.....	42
5.6. UDP Trafikte Topoloji 1.....	44
5.6.1 MH Durağan iken HA ve FA ile Haberleşmesi.....	45
5.6.2. MH’ un 0,5 br/s Hız ile Hedef Konuma Hareket Ettiği Durum.....	46
5.6.3. MH’ un 1 br/s Hız ile Hedef Konuma Hareket Ettiği Durum.....	49
5.6.4. MH’ un 2 br/s Hız ile Hedef Konuma Hareket Ettiği Durum.....	51
5.6.5. MH’ un 4 br/s Hız ile Hedef Konuma Hareket Ettiği Durum.....	53
5.6.6. MH’ un 6 br/s Hız ile Hedef Konuma Hareket Ettiği Durum.....	55
5.6.7 MH’ un HA VE FA Yer Değiştirdiğinde 2 br/s Hız ile Hareket Ettiği Durum.....	57
5.6.8. MH’ un UDP Trafikte Birden Fazla Gidip Geldiği Durum.....	60
5.6.9. UDP Trafikte HA ve FA Arası Uzaklık Değişimi.....	61
5.7. UDP Trafikte Topoloji 2.....	64

5.7.1. MH' un 0,5 br/s Hız ile Hedef Konuma Hareket Ettiği Durum.....	65
5.7.2. MH' un 1 br/s Hız ile Hedef Konuma Hareket Ettiği Durum.....	67
5.7.3. MH' un 2 br/s Hız ile Hedef Konuma Hareket Ettiği Durum.....	70
5.7.4. MH' un 4 br/s Hız ile Hedef Konuma Hareket Ettiği Durum.....	72
5.7.5. MH' un 6 br/s Hız ile Hedef Konuma Hareket Ettiği Durum.....	74
6. SONUÇ.....	77
KAYNAKLAR.....	79
EKLER.....	80
ÖZGEÇMİŞ.....	81

KISALTMALAR

AGCH	: Access Grant Channel
AMPS	: Advanced Mobile Phone System (Cellular System)
ATM	: Asynchronous Transfer Mode
AUC	: Authentication Center
BCCH	: Broadcast Channel
BGP	: Border Gateway Protocol
BGW	: Billing Gateway
BSC	: Base Station Controller
BSCS	: Business Support Control System
BSIC	: Base Station Identity Code – Baz İstasyon Tanımlama Kodu
BTS	: Base Transiever Station
BU	: Binding Updates
CC	: Country Code
CDMA	: Code Division Multiple Access
CDR	: Commission on Dietetic Registration
CDR	: Call Detail Record
CH	: Corresponding Host
CID	: Cell Identity – Hücre Tanımı
CLIP	: Caller ID Presentation
CLIR	: Caller ID Restriction
CoA	: Care-of Address, geçici IP adresi
CSD	: Circuit Switced Data
DARPA	: Defense Advanced Research Projects Agency
DCS	: Digital Cellular System
DHCP	: Dynamic Host Configuration Protocol
DoD	: Department of Defence
EDGE	: Enhanced Data Rate for GSM Evolution
EIR	: Equipment Identity Register
ETSI	: European Telecommunications Standards Institute
FA	: Foreign Agent
FTP	: File Transmisiion Protocol
GGSN	: Gateway GPRS Support Node
GMSC	: Gateway MSC
GPRS	: General Packet Radio Service
GSM	: Global System for Mobile
HA	: Home Address, sabit IP adresi
HCS	: High Speed Circuit Switched Data
HLR	: Home Location Register
HO	: Handover
IAB	: Internet Activities Board
IC	: Integrated Circuit
IETF	: Internet Engineering Tast Force

IMSI	: International Mobile Subscriber Identity
IP	: Internet Protokol
ISDN	: Integrated Services Digital Network
ISP	: Internet Service Provider
LA	: LocationArea
LAC	: Location Area Code
LAI	: Location Area Identitiy - Bölge Tanımı
LU	: Location Update
MCC	: Mobile Country Code
MIP	: Mobil IP
MIP/RO	: MIP with routing optimization
MIPv4	: Mobil IP versiyon 4
MIPv6	: Mobil IP versiyon 6
MN	: Mobile Node, mobil düğüm
MNC	: Mobile Network Code
MS	: Mobile Station
MSC	: Mobile Services Switching Center
MSIC	: Mobile Subscriber Identitiy Code
MSIN	: Mobile Subscriber Identity Number
MSISDN	: Mobile Station International ISDN Number
MSRN	: Mobile Subscriber Roaming Number
NDC	: National Destination Code
NMT	: Nordic Mobile Telephone
OSI	: Open Systems Interconnection
OSPF	: Open Shortest Path First
PAGCH	: Packet Access Grant Channel
PCH	: Paging Channel
PCMCIA	: Personal Computer Memory Card International Association
PPP	: Point-to-Point Protocol
PSH	: Phase Shift Keying
RACH	: Random Access Channel
RF	: Radio Frequency
RFC	: Request For Comments
RIP	: Routing Information Protocol
RNC	: Radio Network Controller
SCP	: Service Control Point – Servis Kontrol Noktası
SDCCH	: Stand Alone Dedicated Control Channel
SGSN	: Serving GPRS Support Node
SMS	: Short Message Service
SMTP	: Simple Mail Transfer Protocol
SN	: Subscriber Number
SS7	: Signalling System no7
SSP	: Service Switching Point – Servis Anahtarlama Noktası
STP	: Signal Transfer Point – Sinyal Transfer Noktası
Tc	: Traffic Channel
TCH	: Traffic Channel
TCP	: Transmission Control Protocol
TDMA	: Time Division Multiple Access
TLLI	: Temporary Logical Link Identity
TMSI	: Temporary Mobile Subscriber Identity

TRU	: Transmitter/ Receiver Unit
TS	: Time Slot
UDP	:User Datagram Protocol
UMTS	: Universal Mobile Telecommunication System
VLR	: Visitor's Location Register
WAN	: Wide Area Network
WAP	: Wireless Application Protocol

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Çizelge 2.1 TCP ile UDP' nin Farkları	9

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1	: TCP/ IP Protokol Kümesi.....	3
Şekil 2.2	: TCP/ IP Protokol Kümesi ve OSI Katmanları.....	3
Şekil 2.3	: TCP/ IP Mimarisi.....	5
Şekil 2.4	: OSI Başvuru Modelinde UDP’ nin Konumu.....	7
Şekil 2.5	: TCP ile UDP’ nin Katmanlarda Gösterimi.....	8
Şekil 3.1	: Makro, Micro ve Pico Hücreler.....	12
Şekil 3.2	: SS7 Haberleşmesi.....	13
Şekil 3.3	: GSM Şebeke Elemanları.....	14
Şekil 3.4	: GSM Sistemini Oluşturan Birinci Temel Parça.....	14
Şekil 3.5	: GSM Sistemini Oluşturan İkinci Temel Parça.....	15
Şekil 3.6	: BSC Baz İstasyonu Kontrolörü.....	15
Şekil 3.7	: GSM Sistemini Oluşturan Üçüncü Temel Parça.....	16
Şekil 3.8	: Gateway Mobile Switching Center.....	16
Şekil 3.9	: GSM’ de Konuşma Gerçeklenmesi.....	18
Şekil 3.10	: Hücreler Arası Girişim.....	20
Şekil 3.11	: Location Update (Yer Güncelleme) İsteği.....	22
Şekil 4.1	: Mobil IP Çalışma Sistemi Benzetimi.....	26
Şekil 4.2	: Mobil IP Uygulaması.....	27
Şekil 4.3	: Üçgen Mobil IPv4 Yönlendirme.....	28
Şekil 4.4	: MIP/RO’ nun Çalışma Prensipleri.....	29
Şekil 4.5	: MIPv6 Çalışma Prensipleri.....	30
Şekil 4.6	: Mobil IP/ Hücresel IP Yapısı.....	32
Şekil 4.7	: Mobil IP ile Telsiz LAN Servisi.....	33
Şekil 4.8	: Telsiz LAN Erişiminde Farklı Taşıyıcı Şebekeleri.....	35
Şekil 5.1	: BS Çekim Alanı Belirleme.....	38
Şekil 5.2	: HA ve FA Uzaklık Seçimi.....	39
Şekil 5.3	: Topoloji 1.....	40
Şekil 5.4	: Topoloji 2.....	40
Şekil 5.5	: TCP Trafikte Topoloji 1’ de Mobil IP Simülasyonu.....	41
Şekil 5.6	: TCP Trafikte Topoloji 1’ de Paket Gecikme Zamanı.....	42
Şekil 5.7	: TCP Trafikte Topoloji 2’ de Mobil IP Simülasyonu.....	42
Şekil 5.8	: TCP Trafikte Topoloji 2’ de Paket Gecikme Zamanı.....	43

Şekil 5.9	: UDP Trafikte Topoloji 1' de Mobil IP Simülasyonu.....	44
Şekil 5.10	: UDP Trafikte Topoloji 1' de Paket Gecikme Zamanı.....	45
Şekil 5.11	: UDP Trafikte MH Durağan iken HA ve FA ile Haberleşmesi.....	45
Şekil 5.12	: UDP Trafikte MH 0,5 br/s Hız ile Hareket Halinde Topoloji 1.....	46
Şekil 5.13	: UDP Trafik Topoloji 1'de 0,5 br/s Hız ile Zamana Göre Paket Gecikmesi.....	47
Şekil 5.14	: UDP Trafik Topoloji 1'de 0,5 br/s Hız ile Konuma Göre Paket Gecikmesi.....	48
Şekil 5.15	: UDP Ters Trafik Topoloji 1'de 0,5 br/s Hız ile Zamana Göre Paket Gecikmesi.....	48
Şekil 5.16	: UDP Trafikte MH 1 br/s Hız ile Hareket Halinde Topoloji 1.....	49
Şekil 5.17	: UDP Trafik Topoloji 1'de 1 br/s Hız ile Zamana Göre Paket Gecikmesi.....	50
Şekil 5.18	: UDP Trafik Topoloji 1'de 1 br/s Hız ile Konuma Paket Gecikmesi....	50
Şekil 5.19	: UDP Ters Trafik Topoloji 1'de 1 br/s Hız ile Zamana Göre Paket Gecikmesi	51
Şekil 5.20	: UDP Trafikte MH 2 br/s Hız ile Hareket Halinde Topoloji 1.....	51
Şekil 5.21	: UDP Trafik Topoloji 1'de 2 br/s Hız ile Zamana Göre Paket Gecikmesi	52
Şekil 5.22	: UDP Trafik Topoloji 1'de 2 br/s Hız ile Konuma Göre Paket Gecikmesi	52
Şekil 5.23	: UDP Ters Trafik Topoloji 1'de 2 br/s Hız ile Zamana Göre Paket Gecikmesi.....	53
Şekil 5.24	: UDP Trafikte MH 4 br/s Hız ile Hareket Halinde Topoloji 1.....	53
Şekil 5.25	: UDP Trafik Topoloji 1'de 4 br/s Hız ile Zamana Göre Paket Gecikmesi	54
Şekil 5.26	: UDP Trafik Topoloji 1'de 4 br/s Hız ile Konuma Göre Paket Gecikmesi	54
Şekil 5.27	: UDP Ters Trafik Topoloji 1'de 4 br/s Hız ile Harekette Paket Gecikmesi.....	55
Şekil 5.28	: UDP Trafikte MH 6 br/s Hız ile Hareket Halinde Topoloji 1.....	55
Şekil 5.29	: UDP Trafik Topoloji 1'de 6 br/s Hız ile Zamana Göre Paket Gecikmesi	56
Şekil 5.30	: UDP Trafik Topoloji 1'de 6 br/s Hız ile Konuma Göre Paket Gecikmesi	56
Şekil 5.31	: UDP Ters Trafik Topoloji 1'de 6 br/s Hız ile Konuma Göre Paket Gecikmesi.....	57
Şekil 5.32	: UDP Trafikte HA ve FA Yer Değiştirdiğinde MH 2 br/s Hız ile Hareket Halinde.....	57

Şekil 5.33 : UDP Trafik HA, FA Yer Değiştirdiğinde 2 br/s Hız Konuma Göre Paket Gecikmesi.....	58
Şekil 5.34 : UDP Trafik HA, FA Yer Değiştirdiğinde MH 2 br/s Hızda Ters Yönde Harekette.....	58
Şekil 5.35 : UDP Trafik HA, FA Yer Değiştirdiğinde MH 2 br/s Hızda Tersde Paket Gecikmesi.....	59
Şekil 5.36 : UDP Trafikte MH 2 br/s Hız ile Ters Yönde Hareket Halinde.....	59
Şekil 5.37 : UDP Trafik 2 br/s Hız ile Ters Yönde Harekette Paket Gecikmesi.....	60
Şekil 5.38 : UDP Trafikte MH 2 br/s Hız ile Hareket Halinde Birden Fazla Gidip Gelme.....	60
Şekil 5.39 : UDP Trafikte HA, FA Yakınlaştırıldığında MH 2 br/s Hız ile Hareket Halinde.....	61
Şekil 5.40 : UDP Trafik HA, FA Yakınlaştırıldığında 2 br/s Hız ile Harekette Paket Gecikmesi.....	61
Şekil 5.41 : UDP Trafikte HA, FA Çok Yakınlaştırıldığında MH 2 br/s Hız ile Hareket Halinde.....	62
Şekil 5.42 : UDP Trafik HA, FA Çok Yakınlaştığında 2 br/s Hız ile Harekette Paket Gecikmesi.....	62
Şekil 5.43 : UDP Trafikte HA ve FA Yer Değiştirdiğinde MH 2 br/s Hız ile Harekette.....	63
Şekil 5.44 : UDP Trafik HA ve FA Yer Değiştirdiğinde 2 br/s Hızda Paket Gecikmesi.....	63
Şekil 5.45 : UDP Trafikte Topoloji 2' de Mobil IP Simülasyonu.....	64
Şekil 5.46 : UDP Trafikte Topoloji 1' de Paket Gecikme Zamanı.....	65
Şekil 5.47 : UDP Trafikte MH 0,5 br/s Hız ile Hareket Halinde Topoloji 2.....	65
Şekil 5.48 : UDP Trafik Topoloji 2'de 0,5 br/s Hız ile Zamana Göre Paket Gecikmesi.....	66
Şekil 5.49 : UDP Trafik Topoloji 2'de 0,5 br/s Hız ile Konuma Göre Paket Gecikmesi.....	66
Şekil 5.50 : UDP Ters Trafik Topoloji 2'de 0,5 br/s Hız ile Zamana Göre Paket Gecikmesi.....	67
Şekil 5.51 : UDP Trafikte MH 1 br/s Hız ile Hareket Halinde Topoloji 2.....	67
Şekil 5.52 : UDP Trafik Topoloji 2'de 1 br/s Hız ile Zamana Göre Paket Gecikmesi.....	68
Şekil 5.53 : UDP Trafik Topoloji 2'de 1 br/s Hız ile Konuma Göre Paket Gecikmesi.....	69
Şekil 5.54 : UDP Ters Trafik Topoloji 2'de 1 br/s Hız ile Zamana Göre Paket Gecikmesi.....	69
Şekil 5.55 : UDP Trafikte MH 2 br/s Hız ile Hareket Halinde Topoloji 2.....	70

Şekil 5.56 : UDP Trafik Topoloji 2’de 2 br/s Hız ile Zamana Göre Paket Gecikmesi	71
Şekil 5.57 : UDP Trafik Topoloji 2’de 2 br/s Hız ile Konuma Göre Paket Gecikmesi	71
Şekil 5.58 : UDP Ters Trafik Topoloji 2’de 2 br/s Hız ile Zamana Göre Paket Gecikmesi	72
Şekil 5.59 : UDP Trafikte MH 4 br/s Hız ile Hareket Halinde Topoloji 2	72
Şekil 5.60 : UDP Trafik Topoloji 2’de 4 br/s Hız ile Zamana Göre Paket Gecikmesi	73
Şekil 5.61 : UDP Trafik Topoloji 2’de 4 br/s Hız ile Konuma Göre Paket Gecikmesi	73
Şekil 5.62 : UDP Ters Trafik Topoloji 2’de 4 br/s Hız ile Zamana Göre Paket Gecikmesi	74
Şekil 5.63 : UDP Trafikte MH 6 br/s Hız ile Hareket Halinde Topoloji 2	74
Şekil 5.64 : UDP Trafik Topoloji 2’de 6 br/s Hız ile Zamana Göre Paket Gecikmesi	75
Şekil 5.65 : UDP Trafik Topoloji 2’de 6 br/s Hız ile Konuma Göre Paket Gecikmesi	76
Şekil 5.66 : UDP Ters Trafik Topoloji 2’de 4 br/s Hız ile Zamana Göre Paket Gecikmesi	76

KABLOSUZ AĞLARDA EL DEĞİŞTİRME

ÖZET

Kablosuz ağ teknolojilerinde ve hücresel haberleşmede gerçekleşen hızlı gelişmeler sonucunda mobil cihazlarla internet erişimi gündeme gelmiş ve son yıllarda oldukça yaygınlaşmıştır. Bu amaçla mobil kullanıcıların hareket halinde iken internet bağlantısı kurup bağlantıyı sürdürebilmelerini sağlayacak çalışmalar yapılmış ve mobil internet protokolleri geliştirilmiştir. İnternet erişimi için kullanılan IP protokolünde, mobil iken bilgi alışverişinin devamlılığı için aynı IP'ye sahip olmak gerekmektedir, fakat kullanıcı mobil iken farklı ağlara bağlandığında IP'si değişmektedir. Kullanıcının sabit IP'li hizmet alması sonucu IP' i değişmez. Bu çalışmada internette gezginliği desteklemek için MIPv4 ele alınmıştır ve gerçek zamanlı uygulamalarda yeterliliği network simülatöründeki bir simülasyon ile sorgulanmıştır. Mobil IP ziyaret ettiği ağda yabancı düğüm, yerel olarak bulunduğu ağda yerel düğüm olarak adlandırılır. Mobil IP, paket veri ağından verilerin mobil düğüme iletimi için tünelleme protokolü kullanmaktadır. Bu protokol, paketlerin düğümün bulunduğu ağda oluşturulan geçici IP adresine gönderilmesi ile gerçekleşmektedir. Simülasyonda paketin hedefe varış gecikmeleri değişken olduğundan kullanıcının mobil olduğu gerçek zamanlı sistemlerde gecikmenin değişken olduğu sonucuna varılmıştır. Günümüzde kullandığımız hücresel haberleşme teknolojilerinin nasıl uygulandığı ve bu teknolojilerde mobilliğin nasıl sağlandığı anlatılmıştır.

İkinci bölümde TCP IP protokolü özellikleri anlatılmıştır. Üçüncü bölümde hücresel haberleşme (GSM) ve el değiştirme incelenmiştir. Dördüncü bölümde mobil IP'nin gerçekleşmesi açıklanmıştır. Beşinci bölümde mobil IP'yi kullanan bir ağ simülasyonu gerçekleştirilmiştir.

HANDOVER IN WIRELESS NETWORKS

SUMMARY

With the advent of packet based mobile data applications and the increase of wireless computing, there is a corresponding need for the ability for seamless communication between the mobile node device and the packet data network (PDN) such as the Internet. Mobile Internet protocols are developed for the mobile users to establish Internet connection. In IP protocol mobile users should have the same IP to be able to take the packets in a connection, however IP of the user changes when it connects to another network. IPv4 is developed for this problem. In this study MIPv4 is obtained and its effectiveness is observed by a Network Simulator. Mobile IP established the visited network as a foreign node and the home network as the home node. Mobile IP uses a tunneling protocol to allow messages from the PDN to be directed to the mobile node's IP address. This is accomplished by way of routing messages to the foreign node for delivery via tunneling the original IP address inside a packet destined for the temporary IP address assigned to the mobile node by the foreign node. The delays of the packets arrivals are variable in the simulation so at the end it has been seen that the delays of the packets arrivals are variable. Application of the cellular communication and the problem how the user can be mobile is studied.

In the second chapter TCP IP protocol is studied. In the third chapter cellular telecommunication and handover are studied. In the fourth chapter application of the Mobile IP is described. In the fifth chapter Mobile IP is studied in a network Simulator.

1. GİRİŞ

İnternette mobillliği sağlamak son yıllarda büyük gelişmeler olmasına rağmen hala önemli bir sorundur. İnternet, IP (İnternet Protokol) yönlendiricileri tarafından birbirine bağlanan çok sayıda ağdan oluşur. Mobil kullanıcıya atanan IP adresi internette yönlendirme yapılmasını sağlar. Ağlar arasında hareket eden mobil kullanıcının IP adresi dinamik olarak değişir. Hareket eden ve IP adresi değişen mobil kullanıcıya gönderilen veriler kaybolabilir. Doğru yönlendirme ve kesintisiz haberleşme sağlamak için veri gönderen makinelere alıcının IP adresindeki değişiklikler bildirilmelidir. Bunun için ağda mobil kullanıcıyı sürekli takip edecek cihazlara ihtiyaç vardır. Ancak bu adres değişikliklerinin güncellenmesi için geçen süre bir gecikmeye sebep olur. Bu durum o anda alıcıya gönderilmekte olan paketlerin kaybolmasına, hatta bağlantının kopmasına sebep olabilir. Dolayısıyla, bu sorunu an aza indirecek ve kullanıcı ile onu takip eden cihazlar arasında mobillik desteği sağlayacak çözüm önerilerine gerek vardır.

802.11, 3G, Bluetooth ve GPRS gibi telsiz teknolojilerinin gelişmesiyle, İnternet'e telsiz ve mobil erişimin sağlanması için çalışmalar da başlamıştır. Eğer herhangi bir telsiz teknoloji kullanılıyorsa, bu hemen mobil (Hareketli) olunabileceği anlamına da gelmemektedir. Evlere servis verilirken kullanılan sabit telsiz (Fixed - Wireless) geniş-bant erişim buna iyi bir örnektir. Öte yandan, eğer mobillik var ise, telsiz bir teknoloji kullanıldığını düşünmek yerinde olmaktadır. Sadece telsiz erişimi, fiziksel seviye (Physical Layer) protokollerle çözmek mümkündür. Fakat eğer işin içine bir de hareketlilik de girerse başka problemler de çıkacaktır. Bu problemlerin çözümü için de ağ seviyesi (Network Layer, IP temelli) protokollere başvurulması gerekecektir.

Hareket halindeyken İnternet'e erişebilmek oldukça faydalıdır. Bu faydaları ürün geliştiriciler ve servis sağlayıcılar da görmüşlerdir. Telsiz iletişimin de yaygınlıkta olması beklentiler arasındadır. Bu iki teknolojinin, telsiz iletişim ve İnternet'in, birbiriyle iç içe geçmesi beklenmektedir. Cep bilgisayarlarıyla telefonların

entegrasyonu, ses trafiğinin bile IP paketleriyle taşınması telekomünikasyon ile Internet'in birbirinden ayrılmaz bir bütün haline gelmesini sağlamıştır.

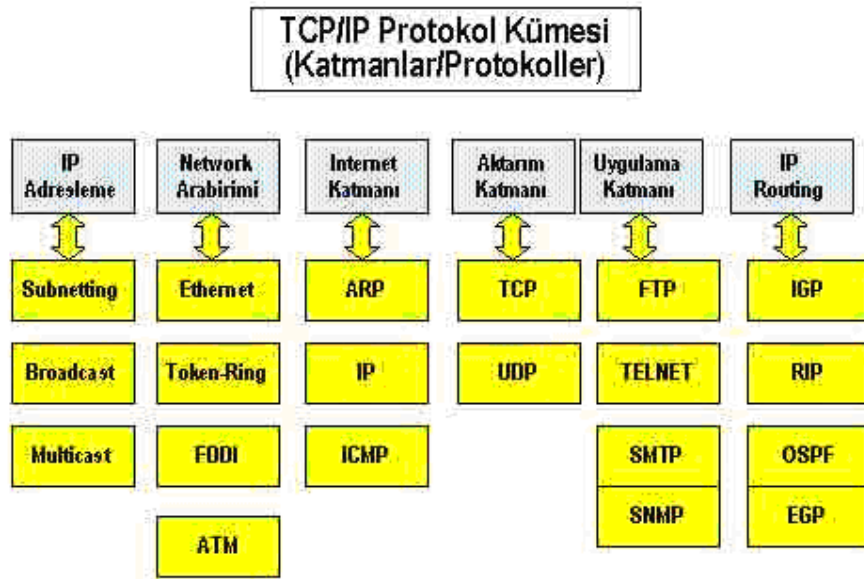
Bu teknolojilerin sağladığı faydalara problemsizce ulaşmak mümkün olmamaktadır. Telsiz ve mobil erişim, var olan bazı problemleri daha öne çıkarmakla kalmayıp, beraberlerinde yeni problemler de getirmektedir. Bunlar arasında güvenlik, erişim, yönlendirme, dolaşım, mahremiyet sayılabilir. İlk çözülmesi gereken problem erişimdir. Cihaz ile ağ arasındaki kabloyu ortadan kaldıran teknolojilere ihtiyaç vardır. Bu konuda hazırdaki çözümler mevcuttur: 802.11, 3G, vs. Arada kablo olmadan da veri ulaşımı sağlanabildiğine göre cihazın hareketliliği sağlandığında karşılaşılan sorunlar ele alınmalıdır. İlk karşılaşılan problem, IP paketlerinin doğru alıcıya yönlendirilmesidir. Bu konuda da çözüm Mobil IP' dir.

Bu çalışmada, mobil kullanıcıların hareket halindeyken internet bağlantılarını sürdürebilmelerini sağlamak amacıyla geliştirilmiş mobil internet protokolü ele alınmıştır. Bu protokolün kablosuz sistemlerde karşılaşılan gecikme sorunu ortaya konmuştur. İki mobil kullanıcının karşılıklı veri iletişimini sağlamak için kurulan TCP bağlantısı kablosuz ortamlarda performansın düşmesine neden olmaktadır, bu neden ile daha çok UDP bağlantısının üzerinde durulacaktır.

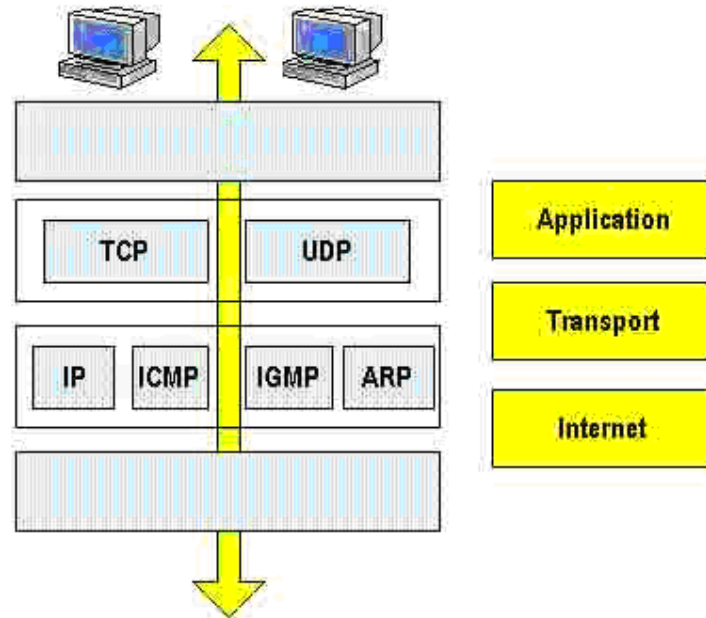
2. TCP/ IP PROTOKOLÜ TEMELLERİ

Başta Internet olmak üzere, farklı teknolojilere sahip ağların olması, bağımsız olarak yönetilmesi ve geliştirilmesi gibi TCP/ IP protokolünün en yaygın kullanılan protokol olmasına neden olmuştur.

Aslında TCP/ IP protokolü diye adlandırmak çok doğru değildir. Çünkü TCP/ IP çok sayıda protokol ve yardımcı programlardan oluşan bir protokol kümesidir (Protocol Stack). Şekil 2.1' de TCP/ IP Protokol kümesi görülmektedir. Şekil 2.2' de ise OSI katmanları ile TCP IP protokolü ilişkisi yer almaktadır.



Şekil 2.1 : TCP/ IP Protokol Kümesi



Şekil 2.2 : TCP/ IP Protokol Kümesi ve OSI Katmanları

2.1. TCP/ IP Tarihçesi

TCP/ IP, endüstri standardı olan bir protokoldür. Bütün ağlar için geliştirilmiştir. TCP/IP protokolü A.B.D Savunma Bakanlığı projesi olarak 1970' lerde temelleri atılmıştır. U.S. Department of Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA) projesi daha sonra ARPANET olarak kullanılmaya başlanmıştır. ARPANET adı verilen proje Üniversite ve kamu kuruluşlarını bir birine bağlamayı sağlayacak bir ağ geliştirme amacını taşımaktaydı.

TCP/ IP, DARPA' nın farklı bilgisayarlar arasında iletişim kurması gerektiğinde geliştirilmiştir. TCP/ IP işletim sistemi ve bilgisayardan bağımsız olarak bilgisayarların iletişim kurmasını planlamıştır.

O zamanların TCP/ IP standartları ve amaçları DoD (Department of Defence) olarak anılır. Ardından yapılan gelişmeler IAB (Internet Activities Board) adı verilen gruplar tarafından yapılmaktadır.

Şu anda da RFC (Request For Comments) adı verilen makalelerce TCP/ IP'nin gelişmesi devam ettirilmektedir.

2.2. TCP/ IP' nin Tasarım Amaçları

İlk başta U.S Savunma Bakanlığı (Department of Defence) TCP/ IP çalışmalarına başladığında çok sayıda tasarım amaçlarına sahipti. Bunlardan bazıları aşağıda sıralanmıştır:

- Donanım ve yazılım firmalarından bağımsız olmalıdır.
- Yerleşik bir hata dayanıklılığına sahip olmalıdır. Ağın bir kısmı çöktüğünde diğer bir kısmı çalışabilmelidir.
- Etkin bir veri aktarım hızına sahip olmalıdır.

2.3. TCP/ IP' nin Kullanım Amaçları

TCP/ IP' nin seçilmesinin nedenleri aşağıda sıralanmıştır:

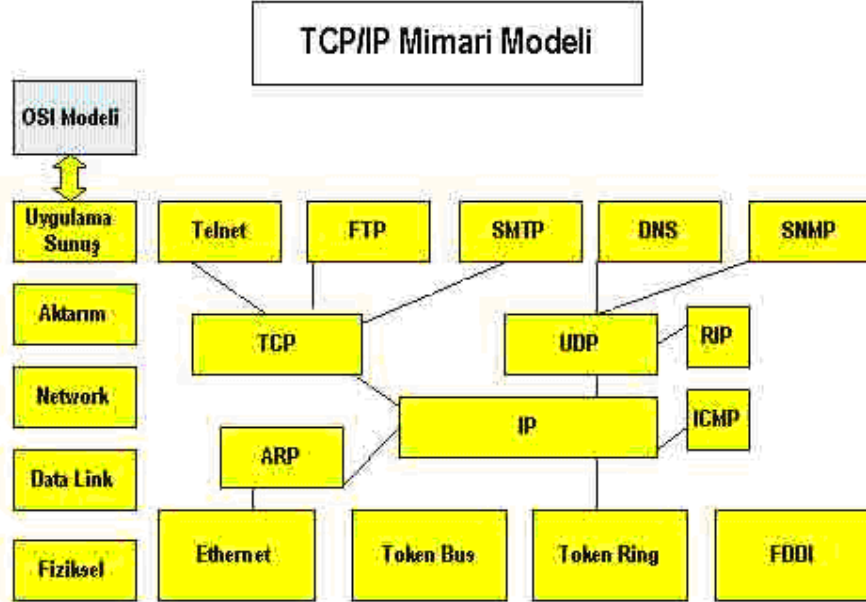
- Üreticiden bağımsız olması,
- Değişik ölçekli bilgisayarları birbirine bağlayabilmesi,

- Farklı işletim sistemleri arasında veri alışverişi için kullanılabilmesi,
- UNIX sistemleriyle tam uyumlu olması,
- Birçok firma tarafından birinci protokol olarak tanınması ve kullanılması,
- İnternet üzerinde kullanılması,
- Yönlendirilebilir (routable) protokol olması,
- Yaygın bir adresleme şemasına sahip olması

TCP/ IP’ nin yaygın olarak kullanılmasını sağlamaktadır.

2.4. TCP/ IP Mimarisi

TCP/ IP, OSI 3. ve 4. katmanda çalışan bir protokoldür. TCP/ IP veri bağı (data link) ve fiziksel katmanda bağımsız olarak çalışmaktadır. Şekil 2.3’ de TCP/ IP mimarisi görülmektedir.



Şekil 2.3 : TCP/ IP Mimarisi

2.5. TCP – Transmission Control Protocol

TCP yani Transmission Control Protocol yedi katmanlı OSI referans modelinin, aktarım katmanında yer alır. TCP iki konağın birbirleriyle güvenilir ve bağlantılı haberleşmesini sağlar.

Bağlantılı haberleşmede bilgisayarlar iletişime geçmeden önce aralarında bir oturum açarlar. Oturumun açılması sırasında bilgisayarlar kendi iletişim parametrelerini birbirlerine iletirler ve bu parametreleri dikkate alarak iletişimde bulunurlar. Güvenilirlikli haberleşme ise bilginin karşı tarafa gittiğinden emin olunması durumudur. Bu güvenilirlik, bilginin alındığına dair karşı taraftan gelen bir onay mesajı ile sağlanır. Eğer bilgi gönderildikten belli süre sonra bu mesaj gelmezse paket yeniden gönderilir.

Telnet, FTP (File Transmission Protocol) , SMTP (Simple Mail Transfer Protocol) gibi protokoller TCP' yi kullanır.

TCP' de tanımlı temel görevleri aşağıdaki şekilde sıralayabiliriz:

- Bir üst katmandan gelen verinin uygun uzunlukta parçalara bölünmesi,
- Her bir parçaya alıcı kısımda aynı biçimde sıraya koyulabilmesi amacıyla sıra numarası verilmesi,
- Kaybolan veya bozuk gelen parçaların tekrarlanması,
- Uygulamalar arasında yönlendirme yapılması,
- Güvenilir paket dağıtımın sağlanması,
- Konaklarda veri taşmasının önlenmesi.

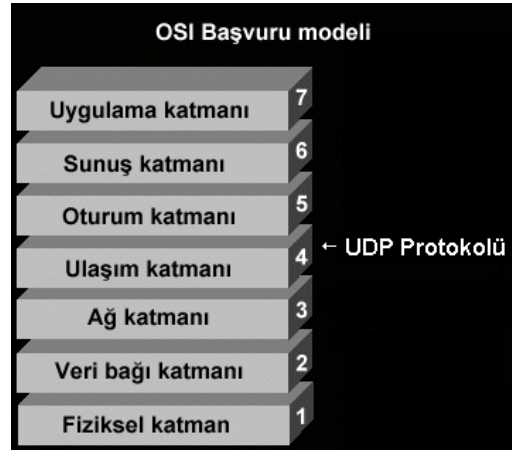
TCP kendisine atanmış olan bu görevleri yapabilmek amacıyla aktarım katmanında veri parçalarının önüne başlık bilgisi ekler. Başlık bilgisi ve veri parçası birlikte TCP segmenti olarak anılır. Her segmente sıra numarası verilir. Bu segmentler belli sayılarda gönderilir. Alıcı bilgisayar da frameler yani segmentler kendine ulaştıkça bunları tampon belleğine yerleştirir. İki ardışık çerçeve tampon belleğe yerleşince alıcı bilgisayar gönderilen en son çerçeve için bir onay mesajını gönderici bilgisayara yollar.

2.6. UDP – User Datagram Protocol

UDP, TCP / IP protokol grubunun iki aktarım katmanı protokolünden birisidir.

Gelişmiş bilgisayar ağlarında paket anahtarlama bilgisayar iletişimde bir datagram modu oluşturabilmek için UDP protokolü yazılmıştır. Bu protokol minimum protokol mekanizmasıyla bir uygulama programından diğerine mesaj göndermek için bir prosedür içerir. Paketin teslim garantisini isteyen uygulamalar TCP protokolünü kullanır. Şekil 2.4’ de OSI başvuru modeline göre UDP’ nin yeri görülmektedir.

- Geniş alan ağlarında (WAN – Wide Area Network) ses ve görüntü aktarımı gibi gerçek zamanlı veri aktarımlarında UDP kullanılır.
- UDP bağlantı kurulum işlemlerini, akış kontrolü ve tekrar iletim işlemlerini yapmayarak veri iletim süresini en aza indirir.
- UDP ve TCP aynı iletişim yolunu kullandıklarında UDP ile yapılan gerçek zamanlı veri transferinin servis kalitesi TCP’ nin oluşturduğu yüksek veri trafiği nedeniyle azalır.



Şekil 2.4 : OSI Başvuru Modelinde UDP’ nin Konumu

Uygulama programcıları birçok zaman UDP’ yi TCP’ ye tercih ederler. Çünkü UDP ağ üzerinde fazla bant genişliği kaplamaz.

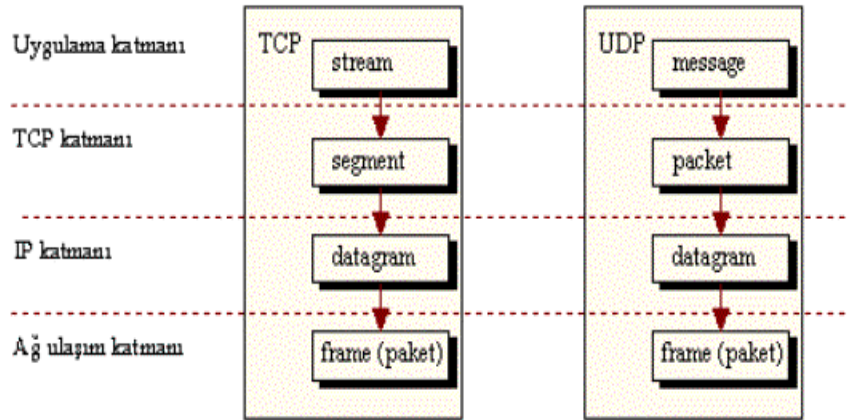
UDP güvenilir olmayan bir aktarım protokolüdür. UDP protokolü ağ üzerinden paketi gönderir ve gidip gitmediğini takip etmez ve paketin yerine ulaşp ulaşmayacağına onay verme yetkisi yoktur.

UDP protokolü basit bir protokol olduğu için hızlı iletişim kurulması gereken yerlerde kullanılır. Buradaki basitlik, TCP protokolü gibi verinin gönderilmesi gibi kontrolleri içermediği içindir.

UDP datagramların belirli sıralara konmasının gerekli olmadığı uygulamalarda kullanılmak üzere tasarlanmıştır. TCP’de olduğu gibi UDP’ de de bir başlık vardır. Ağ yazılımı bu UDP başlığını iletilecek bilginin başına koyar. Ardından UDP bu bilgiyi IP katmanına yollar. IP katmanı kendi başlık bilgisini ve protokol numarasını yerleştirir. Fakat UDP, TCP’ nin yaptıklarının hepsini yapmaz. Bilgi burada datagramlara bölünmez ve yollanan paketlerin kaydı tutulmaz. UDP’ nin tek sağladığı port numarasıdır. Böylece pek çok program UDP’ yi kullanabilir. Daha az bilgi içerdiği için doğal olarak da UDP başlığı TCP başlığına göre daha kısadır. UDP’ de başlık, kaynak ve varış port numaraları ile kontrol toplamını içeren tüm bilgidir.

2.7. UDP ve TCP’ nin Farkları

UDP; gönderilen paketin yerine ulaşıp ulaşmadığını kontrol etmediğinden güvenilir olmayan bir protokoldür. “User Datagram Protocol” un TCP’den farkı sorgulama ve sınaama amaçlı, küçük boyutlu verinin aktarılması için olmasıdır; veri küçük boyutlu olduğu için parçalanmaya gerek duyulmaz. UDP protokolü ağ üzerinde fazla bant genişliği kaplamaz. UDP başlığı TCP başlığına göre daha kısadır. Şekil 2.5’ de TCP ve UDP’ nin katmanlara göre gösterimleri görülmektedir.



Şekil 2.5 : TCP ile UDP’ nin Katmanlarda Gösterimi

2.7.1. Segment ile Datagram Arasındaki Farklar

Aktarım katmanında UDP' nin oluşturduğu veri bütününe datagram, TCP' nin oluşturduğu veri bütününe segment adı verilir. İkisi arasındaki temel fark, segmenti oluşturan veri grubunun başında sıra numarası bulunmasıdır.

Her bir datagram veya segment IP tarafından kendi başlığı eklenerek IP paketi haline getirilir ve her bir IP paketi birbirinden bağımsız olarak hedef konağa gönderilir. Çizelge 2.1' de TCP ve UDP arasında temel farklılıklar çizelge halinde görülmektedir.

Çizelge 2.1 : TCP ile UDP' nin Farkları

Servis	TCP	UDP
Bağlantı kurulumu	Zaman alır, fakat güvenli şekilde yapılır.	Bağlantıya gerek yoktur.
Teslim garantisi	Gönderildiğini onaylar.	Onay mesajı göndermeden, alıcı paketin alındığına dair sinyal göndermez, kaybolan paketler tekrar iletilmez.
Paket ardışıklığı (Paketlerin doğru sırası hakkında bilgi)	Ardışık numaralanmış paketler vardır.	Ardışıklık numarası vermez., paketlerin sürekli ulaştığı veya kaybolduğu düşünülür.
Akış kontrolü	Alıcı göndericiye yavaşlaması için sinyal gönderebilir.	Paket akış kontrolü için TCP' de kullanılan onay UDP' de kullanılmaz.
Tıkanıklık kontrolü	Network cihazları TCP onayları sayesinde göndericilerin tavrını kontrol edebilir.	Onay olmadan network tıkanıklık sinyali gönderemez.

UDP bu kadar dezavantajına rağmen daha çok kullanılmaktadır. TCP bir veriyi karşı tarafa 6 x 32+ veri boyu kadar bir paket olarak göndermektedir. Yani her paket fazladan 192 bit başlık (header) bilgisi taşımaktadır. Oysa UDP paketleri 64 bitlik başlık (header) bilgisine sahiptir.

UDP kullanmanın en önemli nedeni az protokol yüküdür. Video sunucu gibi gerçek zamanlı veri akışı gerektiren bir uygulama için TCP fazla yük getirir ve görüntü gerçek zamanlı oynamaz. Bu nedenle multicast uygulamalarında datagram socketler kullanılır. Ayrıca video ve ses görüntülerinde genelde az veri kaybı sesi veya görüntüyü bozmaz. Bu nedenle sıkı paket kontrolüne gerek yoktur. Eğer iyi bir

fiziksel bağlantı varsa hata oranı düşük olacaktır ve bu nedenle TCP' nin yaptığı hatalı paket kontrol işlemleri fazladan yük olacaktır.

2.8. IP Adresi

Internet' te bağlı her bilgisayarın bir IP (Internet Protokol) adresi vardır. IP adresi, noktalarla ayrılan dört rakamdan oluşur; 205.154.120.29 şeklinde olabilir.

Bir bilgisayar ip adresi aldığı andan itibaren, Internet üzerindeki tüm bilgisayarlar bu adrese kolayca bağlanabilir. Yani bir sitenin IP adresini biliniyorsa, Web tarayıcısına bu adresi yazarak da bağlanılabilir. Demek oluyor ki web adreslerinin aslında arkasında gizli olan birer ip adresleri var. Ancak bu rakamları akılda tutmak zor olduğundan her bir IP adresine karşılık gelen alan adları verilmiştir. Çoğu Internet Servis Sağlayıcılarda bulunan özel sunucu bilgisayarlarından (Alan Adı Sunucuları - Domain Name Server- DNS) oluşan bir ağ, hangi alan adının hangi IP adresine karşılık geldiği bilgisini tutar ve kullanıcıları doğru adreslere yönlendirir.

Internet' te trafiğin işlemesi bu IP adreslerine bağlıdır. Böylece hiçbir karışıklık olmaz. Internet' e bağlanıldığında bilgisayara bir IP adresi atanır. Ancak çoğu kullanıcının IP adresi dinamikdir, yani servis sağlayıcısında o an boş bulunan bir IP adresi atanır. Bu yüzden her internete bağlanıldığında IP adresinin son numarası değişir.

2.8.1. Statik ve Dinamik IP Adresi

Sürekli olarak bir kullanıcıya tahsis edilen ve kullanıcının her bağlantı girişiminde aldığı IP adresi statik ip adresi olarak adlandırılır. IP adreslerinin daha ekonomik kullanılması için her kullanıcıya bir statik ip adresi tahsisi yerine belirli bir IP bloğundan kullanılmayan bir IP adresi de verilebilir ki bu da dinamik IP adresi olarak adlandırılır. Bu durumda kullanıcının her bağlantı girişiminde aldığı IP adresi farklı farklı olabilir. Statik IP genelde WEB server, mail server gibi IP adresinin başkaları tarafından bilinmesini gerektiren uygulamalar için kullanılmaktadır. Ev kullanıcıları içinse dinamik IP kullanımı daha uygundur.

3. GSM' DE EL DEĞİŞTİRME

GSM; Global System for Mobile communication, halk dilinde mobil iletişim sistemidir. GSM sisteminin, analog telefon sistemlerine göre en büyük özelliği güvenlik sisteminde bulunmaktadır. Sisteme dışarıdan girerek konuşmaları dinleme olasılığı yok denecek kadar azdır. Sistemin bir başka üstünlüğü ise ses kalitesindedir, konuşma sırasında arka planda gürültü, uğultu olma ihtimali diğer sisteme göre çok azdır [2].

Seksenli yıllarda Avrupa ülkelerinde birbirinden farklı ve uyumsuz birçok mobil sistem kullanılmaktaydı. Zamanla tek bir mobil sistem ihtiyacı duyulmaya başlanmıştır. Bin dokuz yüz doksanlı yıllarda ise, tüm bu haberleşme tekniklerinin bir anlamda ortak ürünü olan mobil telefonlar geliştirilmiş ve yaygınlaşmıştır. Sayısal hücreli haberleşme denilen bu sistemlerde geçmiş tüm haberleşme teknikleri birleştirilmiştir. Bu sistemde kullanıcı ne zaman haberleşmek isterse, tam istediği anda ve istediği gizlilikle haberleşme hakkını kullanmaktadır. Avrupa Birliği fikrinin yaygınlaşmasıyla beraber bu kullanışlı ama alt yapısı pahalı sistemin de standartlaşması gündeme gelmiştir. NMT 1978' de Avrupa ülkelerinin posta idarecilerinden oluşan Avrupa Telekom Uzaktan iletişim Konferansına 900 Mhz' de böyle bir standartın oluşturulmasını teklif etmiştir. Fikrin kabul edilmesiyle 1982 yılında Avrupa çapında uygulanabilecek bir hücreli haberleşmenin standartlarını oluşturmak için bir grup kurulmuştur. Bu gruba da GSM (Group Speciale Mobile) adı verilmiştir. Grup hedeflerini ortaya koymaktadır ve hedefi gerçekleştirmek üzere protokoller belirlenmektedir. Geliştirilen yeni sisteme Global System for Mobile (GSM; mobil haberleşmede evrensel sistem) adı verilir.

Doksanlı yılların başında GSM tüm dünyaya yayılmaya başlamıştır. Amerika ve Japonya ise GSM ile uyumlu olmayan kendi mobil sistemlerini kurmuşlardır.

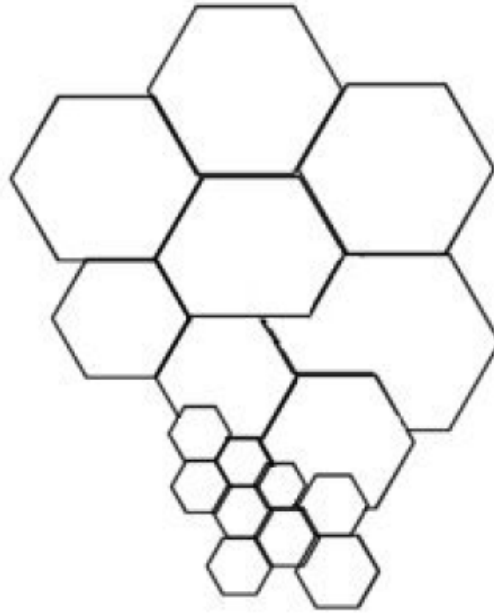
GSM' in avantajları aşağıda sıralanmıştır:

- Radyo frekansını verimli bir şekilde kullanır.
- Ses kalitesi analog sistemlere göre daha iyidir.
- Veri iletimi sistem içinde sağlanır.
- Konuşma şifrelenir, abonenin güvenliği sağlanır.

- Uluslararası dolaşım ile dünyanın diğer lkelerinin GSM şebekeleri de kullanılabilir.

3.1. GSM Sistem Yapısı

GSM sistemi istasyonlardan oluşmuştur. Her bir istasyon bir hücreyi temsil eder. şekil 3.1' de bu hücreler görülmektedir Sistemin kullanabileceği frekans aralığı sınırlı olduğu için sistemde kullanılan frekanslar tekrarlanır. Bu ise karışmaya sebep olur. Bunu engellemek için hücrelerin çıkış gleri ve bulundukları yere bağlı olarak üç farklı tipe ayrılır. Makro, mikro ve piko hücreler.



şekil 3.1 : Makro, Micro ve Pico Hücreler

Makro hücreler yerleşimin seyrek olduğu (taşra) bölgelerinde 25 – 35 km çapında bir alana hizmet verebilir. ıkış gleri 40 - 60 Watt olabilir. Büyük alanlar kapsayan istasyonlardır. şehir dışındaki antenler buna örnektir.

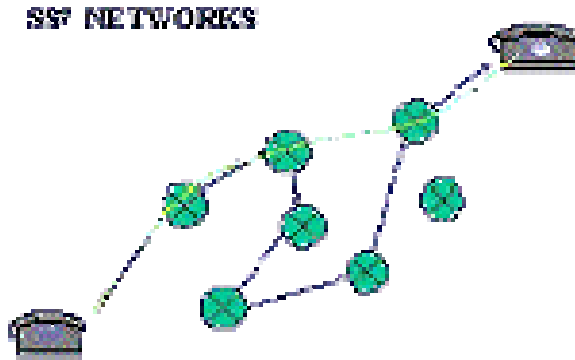
Mikro hücreler, daha çok yerleşimin yoğun olduğu ve makro hücresel kapsamayı geliştirici ve tamamlayıcı olarak kurulan sistemlerdir. Havaalanı, ana tren istasyonlara, büyük alış veriş merkezleri gibi yerlerde kurulur. Birkaç yüz metrelik yarıçapa sahip alanları kapsar ve çıkış gleri makro hücrelere göre düşüktür. ıkış gleri 5 - 10 Watt civarındadır.

Piko hücreler ise daha çok bina içi haberleşmelerde kullanılır ve birkaç Watt çıkış gücüne sahiptir.

Şehir içine konumlandırılan antenlerin sayıca fazla olmasının sebebi olarak konuşma kapasitesinin artırılması örnek verilebilir.

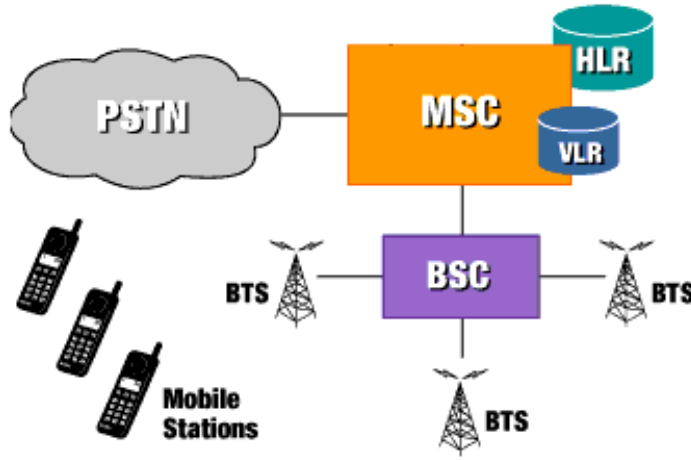
GSM networku SS7 (Signalling System no7) mantığı üzerine oturtulmuştur. SS7 sisteminde bir a numarası, b numarasını aradığında, numara adım adım değerlendirip, her seferinde bir diğer santrale sorarak arama yapılır. SS7 sisteminde, dijit çevrimi yapılırken bir santralden diğerine sanal bir kanal oluşur. Bu esnada hiçbir zaman konuşma kanalı meşgul edilmez. Sonuçta b numarası santrale ulaşıp telefonun boş olduğu görülünce, konuşma kanalı alınır ve atanır. Bu sayede konuşma kanalı daha ekonomik kullanılır [5].

Santral sistemi kendi elemanları arasında şekil 3.2’ de görülen SS7 üzerinden haberleşir. Cep telefonu ve baz istasyonu arasında ise telsiz taşıması yapılır. Özel ayrılmış frekans bandı üzerinden dijital haberleşme gerçekleştirilir. Baz istasyonundan sonra yere inen konuşma bilgisi SS7 teknolojisi ile ait olduğu santrale aktarılır.



Şekil 3.2 : SS7 Haberleşmesi

3.2. GSM Şebeke Elemanları



Şekil 3.3 : GSM Şebeke Elemanları

GSM sistemi birçok bağımsız birimden oluşmaktadır. Şekil 3.3’ de sistemi oluşturan şebeke elemanları görülmektedir. Temel olarak bir GSM ağı, mobil istasyon, baz istasyonu ve network alt sistemi denilen santral birimi olarak üç temel parçadan oluşmaktadır.

3.2.1. MS (Mobile Station - Mobil İstasyon)



Şekil 3.4 : GSM Sistemini Oluşturan Birinci Temel Parça

Şekil 3.4 GSM sistemini oluşturan birinci temel parçayı göstermektedir. Cep telefonu – MS (Mobile Station) aboneler tarafından taşınılan mobil istasyondur. Mobil telefon ve SIM kart mobil istasyonu oluşturur. Bu mobil istasyonların çıkış güçleri en fazla 2 W olarak belirlenmiştir.

Abone kimlik doğrulama modülü olarak bilinen SIM kartında, şebeke tarafından verilen ve şebekeye giriş için kullanılan aboneyle ilgili bilgiler bulunur. Bunun dışında konuşmaların nasıl kodlanacağı da SIM’ de tutulur.

3.2.2. BTS (Base Transceiver Station – Baz İstasyon Alıcı – Vericisi)



Şekil 3.5 : GSM Sistemini Oluşturan İkinci Temel Parça

Şekil 3.5 GSM sistemini oluşturan ikinci temel parçayı göstermektedir. Baz istasyonu – BS (Base Station) Mobil telefonlarla devamlı haberleşen, radyo arabirimini kontrol eden birimdir. Özetle mobil telefon ve santral arası bağlantıyı hava ara yüzü ile kuran birim olarak adlandırılabilir.

3.2.3. BSC (Base Station Controller – Baz İstasyonu Kontrolörü)



Şekil 3.6 : BSC Baz İstasyonu Kontrolörü

Baz istasyonlarını denetleyen santraldir. Şekil 3.6’ da baz istasyonu kontrolörü görülmektedir. Güç kontrolü ve frekansla ilgilenir.

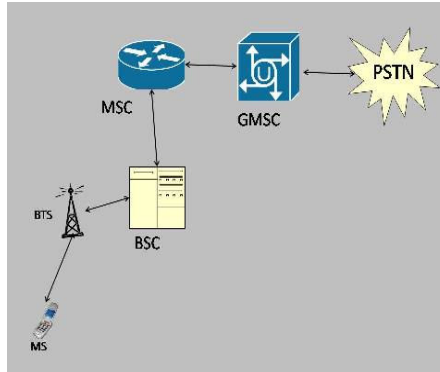
3.2.4. MSC (Mobile Switching Center – Mobil Anahtarlama Merkezi)



Şekil 3.7 : GSM Sistemini Oluşturan Üçüncü Temel Parça

Şekil 3.7 GSM sistemini oluşturan üçüncü temel parçayı göstermektedir, bu parça santral – MSC (Mobile Services Switching Center)' i içerir. Mobil telefondan - mobil telefona, kablolu telefon ya da ISDN' ler arası görüşmeleri sağlamak amacıyla bağlantının kurulduğu ana birimdir, anahtarlama merkezidir. Bir ya da iki BSC, MSC' ye bağlı olarak çalışır. Karşılıklı görüşmeleri kontrol eder. Sabit telefon şebekesi ve diğer şebekelerle bağlantılıdır. MSC ayrıca GSM ağının operasyon ve yönetiminden de sorumludur.

3.2.5. GMSC (Gateway MSC – Ara MSC)



Şekil 3.8 : Gateway Mobile Switching Center

Geçiş santralidir. Şekil 3.8' de GMSC konumlandırması görülmektedir. Bir abone aranacağı zaman santral, GMSC' den abone bilgisinin tutulduğu veritabanına bağlanıp gerekli bilgilerin alınmasını talep eder ya da diğer şebekelerden gelen aramalar önce GMSC' ye aktarılır ve daha sonra gerekli MSC' ye bağlanır.

3.2.6. HLR (Home Location Register – Abone Bölge Kaydı)

Yer kaydı tutulan, abonenin bilgilerinin bulunduğu veritabanıdır. Bu veritabanında abonenin bulunduğu santral, IMSI numarası, yönlendirme yapıldıysa onunla ilgili bilgiler, ön ödemeli abonelerin kontör bilgileri, güvenlik, şifreleme ve doğrulama ile ilgili bilgiler tutulur. HLR, abonenin ülke genelinde nerede olduğu bilgisine sahiptir.

Bir veya birkaç MSC' ye birden hizmet veren HLR' da, abone sayısının fazla olması sebebi ile bu numaralar parçalara bölünmüş halde tutulmaktadır. Örneğin; HLR1 üzerinde ilk bir milyon abone vardır gibi.

IMSI (International Mobile Subscriber Number – Mobil Abone Numarası) uluslararası abone tanımlama numarasıdır. Bu numarada abonenin ve şebekenin numarası birliktedir. MCC diye tanımlanan şebekenin uluslararası kodu ve MNC diye tanımlanan şebekenin ülke içi numarasıdır. MSIC ise abonenin numarasıdır.

Türkiye' de bulunan şebekeler için :

MCC : 286

MNC : Turkcell : 01

Telsim : 02

Avea : 03

IMSI = MCC + MNC + MSIC

Örnek : 28601905322103186

3.2.7. VLR (Visitors Location Register – Misafir (Geçici) Bölge Kaydı)

MSC' lerde bulunan bir veritabanıdır. HLR' a benzer fakat geçici bilgileri tutar. Sadece içinde bulunduğu MSC bölgesi sınırları içerisinde bulunan abonelerin bilgilerini geçici olarak içerir ve abonenin tam yer bilgisine sahiptir. HLR' ın trafiğini azaltır.

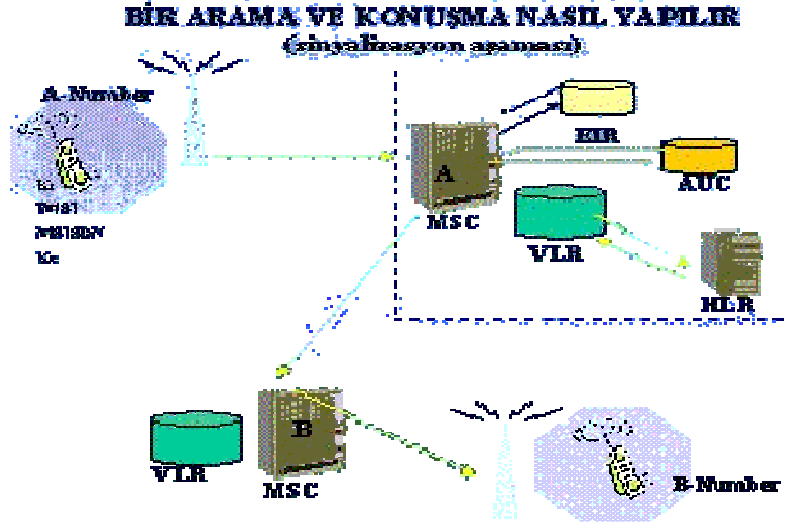
3.2.8. EIR (Equipment Identity Register – Cihaz Tanımlama Kaydı)

SIM' deki numara dışında ayrıca telefonlarda da bir tanımlama numarası vardır. IMEI olarak bilinen bu numara telefonun markası ve seri numarasını tutar. Arama sırasında bu IMEI numarası kontrol edilir. Gerekirse cihaz aramaya durdurulur.

3.2.9. AuC (Authentication Center – Doğrulama Merkezi)

Doğrulama ve şifreleme algoritması burada üretilir ve HLR' a bildirilir.

3.3. GSM' de Konuşmanın Gerçeklenmesi



Şekil 3.9 : GSM' de Konuşma Gerçeklenmesi

Konuşma her zaman şekil 3.9' da görüldüğü üzere iki safhadan oluşur;

1. Sinyalizasyon safhası

Bu esnada a numarasını tanımlanır, security check yapılır, b numarasının yerini tespit edip onun serbest veya meşgul olduğuna bakılır.

2. Call established (konuşma)

a numarası öncelikli olarak bir baz istasyonu servis alanı (hücre) içinde olmalıdır. Hücreden alınan arama bilgisi radyo arabirimi üzerinden BS (baz istasyonu) vasıtası ile yere indirilir. BS bu yolla sinyali MSC' ye iletir. Cep telefonu sinyalizasyon kanalı üzerinden Ki tanıtım anahtarı ile beraber IMSI / MSISDN ve görüşme yapmak istediği b numarasını yollar. MSC, gelen talebi kontrol ettikten sonra onaylamasını yapar (IMSI, Ki) ve aranan b numarasını inceleyerek onun önce nerede olduğunu bulmak amacı ile VLR' dan bilgi alır. Eğer b numarası VLR' ın kendi servis alanında değil ise, HLR 'a sorar. HLR, ülke genelinde bir cep telefonunun nerede bilgisine sahip bir veritabanıdır.

Kontrol safhasında MSC, EIR (Equipment Identity Register) database' inden aboneyi sorar. EIR, ağ üzerinde servis alan abonelerin ve aynı zamanda çalıntı telefonların ve giriş izni olmayan abonelerin numaralarının olduğu bir veritabanıdır. Telefon tanımlı ve kullanılan bir numara ise tamam verir, çalıntı ya da borç yüzünden kapalı ise tamam verilmez. Son olarak, AUC (Authentication Center) veritabanından abone araştırılır. AUC, tüm abonelerin SIM kartında bulunan güvenlik numarasının bulunduğu, abonenin radyo kanalının kullanımı aşamasında, onay ve kod çözme safhalarında kullanılan, bir veritabanıdır. Tüm bu kontrollerden geçen abone için MSC-a aldığı bilgi ile diğer servis alanına bakan MSC - b 'ye başvurur. MSC-b gelen aramayı devam ettirmek için önce b-numarasının meşgul ve o hücre içinde tahsis edilecek boş kanal olup olmadığının kontrolünü yapar. Tüm kontrollerin yapılması sonucu, gerekli şartların sağlanması durumunda a-numarasının, b-numarası ile konuşması için gereken trafik kanalı verilir ve konuşma başlar. Konuşma boyunca A+ arabiriminde (hava telsiz yüzü) yapılan tüm konuşma Kc şifresi ile gönderilir bu şifre ancak cep ile MSC arasında bilinir ve MSC gelen şifreli mesajları bu anahtar ile açar. Konuşma bitince tahsis edilen tüm trafik ve sinyalizasyon kanalları geri alınır.

3.4. LAC (Location Area Code)

GSM Sistemi “cellular” yani hücresel bir sistemdir. Hücre (cell); GSM ağının en temel ünitesidir ve bir baz istasyonu (BS) tarafından kapsama alanı içine alınan ve servis verilen en küçük kara parçasına verilen addır. Bir hücre ortalama, 200 m - 30 km arasında değişen çapta bir bölgeye servis alanı olarak tahsis edilebilir. Alanın büyüklüğü bölgedeki popülasyona ve trafiğe göre değişiklik göstermektedir.

Birkaç hücre bir grup oluşturarak bir MSC' ye bağlı olarak çalışabilir. Her bir MSC' nin altında çalışan baz istasyonu bir bölge sınırı tanımlar. Her bir sınıra Location Area ya da MSC/ VLR sınırı denir. Her LA içerisindeki hücrelere tahsis edilen frekanslar birbirinden farklıdır.



Şekil 3.10: Hücreler Arası Girişim

Şekil 3.10’ da görüldüğü üzere komşu hücreler arası girişimi olabildiğince azaltabilmek için frekans ayarlaması yapılır.

Bir baz istasyonu birden fazla hücreye servis verebilir. Baz istasyonlarının bağlı oldukları birimlere BSC (Base Station Controller) denir. BSC’ ler konuşma için tahsis edilen kanallardan iki tanesini kullanarak baz istasyonlarının kontrollerini yapar. Baz istasyonu kontrol merkezleri MSC’ lere bağlıdır ve baz istasyonları için yapmış olduğu kontrol bilgilerini aktarır. Böylelikle MSC’ ler hizmet verdikleri bölgelerinde hangi baz istasyonunun aktif olup olmadığı, kullanılan kanalları kontrol eder.

Açık ve kapsama alanı içerisinde bulunan mobil telefon, çağrı geldiğini hücrenin PAGCH kanalı üzerinden yollanan uyarı/ bilgilendirme mesajıyla anlar. Bu uyarı/ bilgilendirme mesajlarının yollanması konusunda iki uç nokta vardır:

- Bunlardan birincisi mobil telefona yapılacak her yeni çağrıda ağa dahil olan her hücrenin uyarılması/ bilgilendirilmesi - ki bu durumda mevcut band genişliği boşu boşuna harcanmış olmaktadır.
- Diğer bir uç nokta ise abonenin yer değiştirmesi durumunda yer değişikliği bilgilerinin hücre düzeyinde sisteme iletilmesidir. Böyle bir yaklaşımın

sonucunda çok fazla sayıda yer değişikliği mesajının sisteme iletileceği açıktır.

Anlatılan bu iki uç noktanın çözümü hücreleri gruplayarak bölgeler (lokasyonlar) yaratmaktan geçer. Böyle bir çözümde yer güncelleme bilgisinin üretilmesi sadece bölge değiştirildiğinde gerekli olduğundan dolayısıyla yukarıda zararları anlatılan iki uç duruma çözüm getirilmiş olur. Böylelikle LA (Location Area) kavramı ortaya çıkar. Location Area; hücre gruplarının oluşturduğu gruba verilen addır.

Bir LA bölgesinde bir MSC ve bir de VLR bulunmaktadır. LA içerisinde bulunan abonelerin bilgileri VLR database' inde geçici olarak tutulmaktadır. Abone servis alacağı LA içerisine girdiğinde bilgileri VLR' a, o bölgeye servis veren HLR tarafından bir kopyası alınarak aktarılır. Abone LA dışına çıktıktan bir süre sonra VLR' daki bilgileri silinir. Avantaj olarak, hareketli bir telefon bir MSC/ VLR sınırı içerisinde bulunan baz istasyonları arasında gezdiği sürece santrale her seferinde anten değiştirme bilgisini göndermez. Boş yere trafik oluşturmayı ve telefonun uzun süre dayanmasını sağlar. Mobilite yönetim katmanı abonenin mobillik bilgilerine ilişkin fonksiyonlarını yürütmektedir. Yürütülen bu fonksiyonlar arasında yetki denetimi ve güvenlik gibi konular da vardır. Yer (lokasyon) yönetimi, gelen çağrıların cihazı açık ve kapsama alanı içinde olan aboneye yönlendirilmesi prosedürleriyle ilgilidir.

GSM network sistemi her hücre için ayrı frekansların tahsis edilmesi mantığı üzerine kurulmuştur. Bu sebepten dolayı konuşma esnasında yer değişimi söz konusu olduğunda radyo kanallarının fix link olarak tahsis edilmesi mümkün değildir. Bu durum handover kavramını ortaya çıkarır.

Ankara' nın altıya bölündüğünü ve her bir bölgede 6 MSC ve bu MSC' lerin kontrol ettiği 600 tane anten düşünüldüğünde; birinci bölgedeki telefon kendi bölgesinde kaldığı sürece yer değiştirme bilgisi gönderilmeye ihtiyaç yoktur. Ancak bu telefonun kendi bölgesi dışına geçtiği düşünüldüğünde; telefon bağlı olduğu baz istasyonun ID' sini, frekansını ve bölge numarasını bir önceki bağlı olduğu istasyonla karşılaştırmaktadır. Eğer bölge numara farklılığı varsa telefon başka bir bölgeye geçiş yapmak istediğini santrale bildirir. Onaylandığında telefon diğer bölgeye geçmiş olur.



Şekil 3.11 : Location Update (Yer Güncelleme) İsteği

Telefon bölge geçişi yaparken Location Update isteği gönderir yani yer güncellemesi yapar. Şekil 3.11’ de telefonun ekranında görüldüğü gibi LAC (Locatin Area Code) değeri 31206’ dan 32406’ ya değişmiştir.

3.5. El Değiştirme (Handover)

Telefon sürekli çevresinde bulunan istasyonlarla bağlantılıdır ve yedi tane baz istasyonunun sinyal seviye listesini tutar. En verimli iletişim için telefon çevresinde bulunan istasyonları en güçlüden en zayıfa doğru sıralar. Sinyal seviyesi en yüksek olan baz istasyonunu seçer. Telefon bu istasyondan uzaklaştıkça sinyal seviyesi azalır, buna karşın başka bir baz istasyonunun sinyal seviyesi artmaktadır. İkinci istasyonun gücü birincininkinden fazla ise (aynı bölge içinde 3 dBm farklı bölgeler arası 6 ± 1 dBm) ikinci istasyon birincinin yerini alır. BSC tarafından bu talep işleme konur ve diğer antene geçiş sinyal kaybı olmadan sağlanır. Bu el değiştirme işlemidir ve üç türdür.

3.5.1. BSC İçinde El Değiştirme (Intra – BSC Handover)

Aynı BSC’ de bulunan iki BTS’ in arasında yapılan geçiştir

Konuşma sırasında MS yeni antenin sinyal gücünü BTS’ e gönderir. BTS bu bilgiyi BSC’ ye gönderir.

BSC el değiştirme gerektiğini fark ederse, MS’ nin gönderdiği listede var olan BTS’ in sinyal seviyesi bağlı olduğu antenden daha iyi ise bu BTS’ den konuşma kanalı açmasını ister. BSC daha sonra telefonun bağlı olduğu istasyona frekans ve TS

değişikliği için gerekli bilgiyi gönderir. MS bu değişikliği uygun TS' de gerçekleştirir.

MS değişikliği gerçekleştirdikten sonra bunu BTS üzerinden BSC' ye gönderir. BSC eski BTS' e trafik kanalını kapatmasını bildirir. BSC bilgi amaçlı bu değişikliği MSC' ye bildirir.

3.5.2. BSC' ler Arası El Değiştirme (Inter – BSC Handover)

Aynı MSC ve farklı BSC' de bulunan iki BTS' in arasında yapılan geçiştir.

Intra – BSC Handover' dan farklı olarak iki BSC üzerinden yapılan el değiştirmedir. BSC tarafından ölçülen sinyal değerleri sırasında eğer MS' nin başka bir BSC' ye bağlı bir BTS' e geçmesini gerektiğini fark ederse MSC' ye başka bir BSC' ye geçilmesi gerektiğini bildirir. MSC bu geçişi diğer BSC' ye bildirir, boş kanal bulup bir trafik kanalını aktive etmesini ister. Yapılan aktivasyon (frekans ve TS) MSC' ye bildirilir. MSC eski BSC' ye bu bilgiyi gönderir. MS' e yeni trafik kanalı bildirilir. MS el değiştirme bilgisini gönderirken BTS, MS' e çıkış gücünü ve TA değerini bildirir. Eski trafik kanalları durdurulur ve LU yapılır.

3.5.3. MSC İçinde El Değiştirme (Inter - MSC Handover)

Farklı MSC' de bulunan iki BTS' in arasında yapılan geçiştir.

BSC, MS' ten aldığı el değiştirme mesajını MSC' e bildirir. MSC diğer MSC' ye el değiştirme bilgisini gönderir ve geçici bir numara ister. El değiştirme talebi yeni BSC' ye gönderilir. BSC yeni BTS' e kanal açmasını ister. MSC bu bilgileri alır. El değiştirme mesajı MS' e bildirilir. MS yeni trafik kanalı üzerinde el değiştirme mesajı gönderir. Eski trafik kanalları geri alınır ancak bu sırada eski MSC kontrole devam eder. Konuşma bitiminde LU yapılır ve HLR' a bildirilir.

3.6. Konum Güncelleme (Location Update)

Cep telefonu BCCH (Broadcast Channel) kanalını devamlı olarak dinler. BCCH kanalı, baz istasyonu kimlik bilgilerini, tahsis edilmiş yada boşta olan frekans bilgilerini tutan bir kanaldır.

Sim kart içinde bulunan LA identity ile BCCH kanalından gelen ID tanımları birbirini tutmadığı zaman MS harekete geçer ve MSC ile bağlantı kurarak konum güncelleme talebi yapar ve kendini tanıtır. Yeni konum bilgileri VLR ve HLR' a

gönderilir. HLR ve arkasından VLR bu bilgileri günceller GSM, TDMA (Time Division Multiple Access) teknolojisini kullanarak, her konuşma kanalını 8 adet time slot' a ayırarak, bu slotlar üzerinden veri taşır. 8 time slot, aynı anda 8 kişi için görüşmeyi olanak sağlar. Fakat bu slotlardan biri kontrol amaçlı kullanılır.

1. Öncelikle abone (MS) konuşmaya başlamadan önce logical kanallardan biri olan Random Access Channel (RACH) ile sinyalleşme kanalı sorar.
2. Eğer boş bir sinyalleşme kanalı varsa BSC bu abone için bir yer ayırır.
3. Bu aşamadan sonra MS servis aldığı MSC/ VLR' a çağrı kurulması için talepte bulunur.
4. MSC bu talebe karşılık BSC' ye giderek boş TCH (konuşma kanalı) olup olmadığını kontrol eder. Bu bilgiler BTS (Base Transiever Station) ve MS' e TCH (konuşma kanalının) aktive edilmesi için gönderilir. Bundan sonra çağrı senaryosu başlar. Aranana numaranın cevap vermesi ile konuşma kurulur.

Konuşma sonunda MSC bir CDR (konuşma bilgileri kaydı) üretir. MSC' de üretilen bu kayıtlar bir dosya içinde toplanır. Bu dosya ya her saat veya dolup belirli bir büyüklüğe erişince (1MB) Billing Gateway' e (BGW) yollar. BGW gelen kayıtları standart bir formata dönüştürdükten sonra bunları BSCS' e yollar. BSCS, her bilcycle' da bir fatura üretir. Fatura etme öncesinde senaryo kısaca aşağıdaki şekilde gelişir. CDR içinde olan bilgiler sayesinde BSCS rating yapar. Bu bilgiler aşağıda sıralanmıştır:

- Aranana numara cep veya sabit telefon olduğu
- Aranana numara cep ise hangi bölgede bulunduğu
- Aranana numara ile kaç saniye konuşulduğu
- Arayan numaranın hangi tarife sınıfında bulunduğu

Bu bilgiler ışığında BSCS gelen kaydı inceleyip fatura eder.

4. MOBİL IP (MIP)

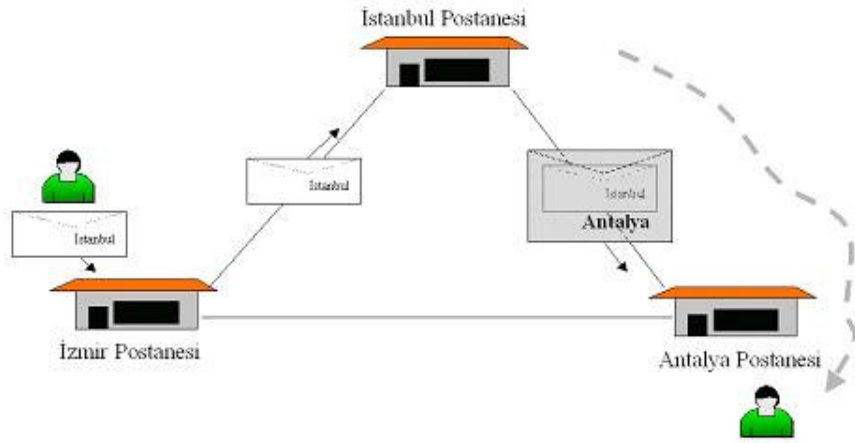
Internet protokolü (IP), ağların ve bu ağlara bağlı cihazların sabit olduğu prensibine göre düzenlenmiştir. Cihaz ulaşılabilir olmak istediği sürece sabit bir ağa bağlanmalı ve sabit bir adres kullanmalıdır. Eğer bağlandığı ağı değiştirir ve hala iletişim kurabilmek isterse, yeni bağlandığı ağa uygun bir adres kullanmalıdır. Bu prensibe dayanılarak OSPF, RIP, BGP gibi yönlendirme protokolleri geliştirilmiştir [3].

Şu ana kadar bu yapı ihtiyaçları karşılamış olmasına rağmen, hareketli ve telsiz cihazların ve ihtiyaçların artmasıyla yeni problemler doğmaya başlamıştır. İletişimin kesintisiz sağlanabilmesi için, cihazın ağ değiştirmesine rağmen sabit ve bilinen adresini korumak isteyecektir. Bu adresin sabitliği, TCP gibi bağlantı temelli (connection oriented) protokoller için şarttır. TCP bağlantısının herhangi bir uçundaki adres değişirse bağlantı kopar. Çünkü bu bağlantıyı tanımlayan unsurlardan biri uç noktaların IP adresidir. Öte yandan bu adresin bilinir olması da cihazda sunucu çalıştırabilmek için şarttır. Eğer sunucu IP adresi sürekli değişirse, istemciler sunucuya ulaşamayacaktır [4].

Bu yönlendirme probleminin çözümü Mobil IP protokolünün kullanılmasıyla mümkündür. Mobil IP, ağ seviyesi (network layer) bir çözüm olup, IP protokolünün üzerinde çalıştığı her türlü bağlantı teknolojileri (Ethernet, ATM, 802.11, 3G, vb.) üzerinde çalışmaktadır. Internet çapında uygulanabilecek, bir uçtan bir uca hareketliliği idare edebilecek bir protokol olması sebebiyle de tercih edilen çözüm olmuştur. Değişik bağlantı teknolojilerinin kendilerine has hareketlilik protokolleri de vardır. Ancak bunların, teknolojiler arası geçişe elverişli olmadıkları ve dar alanlarda geçerli oldukları için uygulama alanları kısıtlıdır.

Mobil IP protokolünün çalışma prensibi hayattan bir örnekle açıklanabilir. Posta servisi düşünülürse, adres (örneğin İstanbul'da) ve kullanılan bir postane vardır. İzmir' den bir mektup gönderildiğinde, bu mektup yerel postane üzerinden doğru adrese ulaştırılmaktadır, ta ki geçici bir süre için bile olsa o adres değişene kadar. Örneğin o adres kısa bir süreliğine Antalya olarak değişirse hiçbir şey yapılmazsa mektup İstanbul' a gelecek ve orada kalacaktır. Eğer İstanbul adresine yollanan mektupların Antalya adresine ulaşması isteniyorsa, o zaman yeni adresin İstanbul' daki postaneye bildirilmesi gerekecektir. Bunda sonra, İstanbul postanesi yollanan mektubu, üzerine Antalya' daki adresin yazılı olduğu bir başka zarfa koyarak doğru

kişiy e yollayabilir. İstanbul postanesinden gelen zarflar açıldığında içinden İstanbul adresine yollanan orijinal mektup bulunacaktır. Daha sonra eğer Antalya’ dan Side’ ye geçilirse yine İstanbul postanesine durumu bildirmek suretiyle mektuplar yeni adrese ulaşacaktır. Görüldüğü gibi basit bir mekanizmayla, sürekli yer değiştirilmesine rağmen sanki hala orijinal adresteymişçesine iletişim kurulabilir. Şekil 4.1’ de postanenin Mobil IP’nin çalışma sistemine benzetimi görölmektedir.



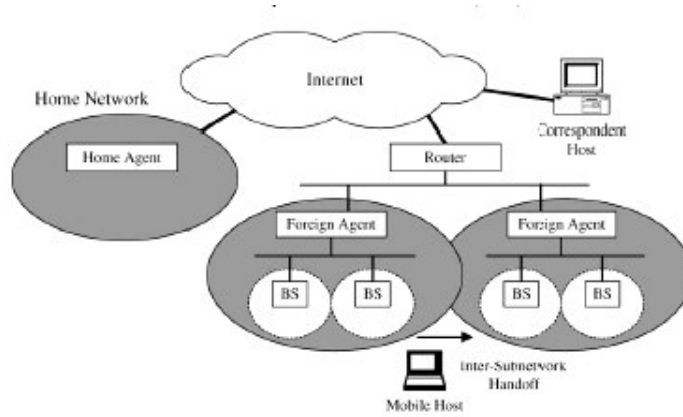
Şekil 4.1 : Mobil IP Çalışma Sistemi Benzetimi

Bu mekanizma birebir IP’ e uygulandığında protokolün adı Mobil IP olmaktadır. Ev adresi cihazın sabit IP adresi (home address), tatilde gidilen yerlerdeki adresler geçici IP adresi (care-of address), İstanbul’ daki postane her zaman konum bilgisinden haberdar olan yuva sunucusu (home agent), ve zarfı bir başka zarfın içine koyup yollamak da IP tünellemesi olmaktadır.

Cihaz, evdeyken kullandığı sabit adres içinde bulunduğu ağı bir parçası olduğu için kendisine yollanan paketlere ulaşabilecektir. İnternet’ teki yönlendiriciler bu adrese yollanmış bir paketin fiziksel olarak hangi ağda olduğunu bilirler (BGP ve RIP sayesinde). Ne zaman ki cihaz yuva ağından (home network) ayrılır, o zaman kendisine yollanan paketler ulaşmamaya başlar. Nitekim bu paketler hala yuva ağına gitmekte ve orada sahipsiz kalmaktadırlar. Cihazın ilk olarak yapması gereken yeni

bağlandığı ağı keşfetmesidir (movement detection, router discovery). Daha sonra, PPP veya DHCP gibi protokolleri kullanarak bir geçici adres edinir. Bu geçici adres bağlandığı ağdan bir adrestir. Bu topolojisi doğru (topologically correct) adrese yollanan paketler cihazımıza ulaşacaktır. Şimdi geriye kalan, cihazın bu geçici adresi yuva sunucusuna bildirmesidir. Bu da kayıt (registration) paketinin yollanmasıyla olur. Bu kayıt paketini alan yuva sunucusu artık cihazın evde olmadığını bilir ve cihazın ev adresine yollanan paketleri onun adına almaya başlar. Her yakaladığı paketi kendi hazırladığı başka bir IP paketinin içine koyar. Bu yeni paketin varış adresine de cihazın geçici adresini yazar. Böylece karşı tarafın yolladığı paketler, hiç değiştirilmeden IP tünellemesiyle cihazın yeni bulunduğu ağa yollanır. Cihaz her ağ değişikliğinde bu protokolü takip ederek kendisini “erişilebilir” (reachable) konumda tutar.

4.1. Mobil IP Uygulaması

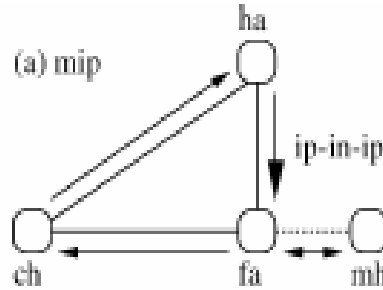


Şekil 4.2 : Mobil IP Uygulaması

Internet' e bağlı sabit düğümlerin (node) bulundukları yer, dolayısıyla, yönlendirme bilgisini içeren IP adresleri vardır. Internet Protocol (IP), bu adresleri kullanarak paketlerin gidecekleri yere yönlendirilmelerini sağlar. Ancak mobil düğümler (MN) hareket ettikleri için yer bilgileri sürekli değişir. Buna bağlı olarak her bağlantı noktasında mobil kullanıcıya farklı bir IP adresi atanması gerektiği düşünülebilir. Fakat bu durumda kullanıcı her yer değiştirdiğinde veri iletişimi için oluşturulmuş TCP bağlantısı kopacaktır. Bu nedenle mobil düğümlerin TCP bağlantılarını kaybetmeden IP domenler arasında hareket edebilmelerini sağlayacak yeni bir yönlendirme protokolüne ihtiyaç duyulmuştur. Mobil ağ teknolojileri bir coğrafi

bölge (bina, kampus, şehir veya tüm dünya) içinde hareket eden kullanıcıların kesintisiz internet bağlantısı sağlamalarını amaçlanır. Mobil internet kullanıcılarının bir yerden bir yere hareket ederken haberleşmeye devam edebilmelerini sağlamak amacıyla IETF (Internet Engineering Task Force) tarafından mobil IP protokolü geliştirilmiştir. Bu protokolün farklı versiyonları vardır. Mobil IPv4 (MIPv4) sistemlerde bir mobil kullanıcıya (mobile host – MH), bağlandığı ağ (home network) tarafından kalıcı bir IP adresi atanır. Bu adres MH' un kimliğini belirler. Home network' de bulunan ve Home Agent (HA) adı verilen cihaz uzaktaki bir makineden (Corresponding Host – CH) MH' a gönderilen paketleri alır ve MH' un o anda bulunduğu noktaya yönlendirir, yani MH' un bulunduğu yeri takip eder. Mobilliyi destekleyen her ağda Foreign Agent (FA) denilen cihazlar bulunur. Bir MH yabancı bir ağa girdiğini anladığı zaman, bu yeni ağın FA' na kayıt olma isteğini bildirir (registration request) . Yeni FA, MH' a kendi adresini atar. MH' un o anda bulunduğu noktayı tanımlayan bu yeni adrese Care-of Address (CoA) denir. Yeni FA atadığı CoA' i HA' a bildirir (re-registration) . Bu sayede HA, MH' un bulunduğu yerden haberdar olur ve kendisine gelen paketleri yeni FA' a yönlendirebilir. Ancak 'Re-registration ' işlemi gecikmeye (latency) sebep olur. Şekil 4.2' de mobil IP uygulamasının gerçekleşmesi görülmektedir [7].

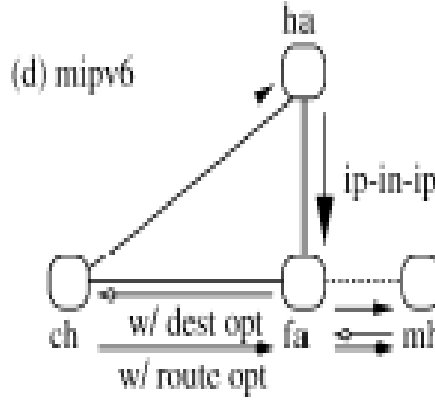
CH, MH' la haberleşmek için paketleri MH' un home network' una gönderir. HA bu paketleri alarak gidecekleri yerin adresini belirleyen bir IP başlığıyla enkapsüle eder. Bu işleme tünel oluşturma (tunneling) denir. Sonra MH' un bağlı olduğu yeni FA' a gönderir. FA paketleri dekapsüle ederek MH' a gönderir. MH' un CH' a gönderdiği paketler doğrudan FA tarafından yönlendirilir. Bu strateji en basit Mobil IP yönlendirme tekniğidir, şekil 4.3 bu üçgen yönlendirmeyi göstermektedir.



Şekil 4.3 : Üçgen Mobil IPv4 Yönlendirme

Bu stratejinin sağladığı en önemli avantaj gerçekleşmesinin oldukça kolay olmasıdır. Ancak üçgen yönlendirme optimal değildir. Yani, CH MH' a yakın olsa bile yine de paketleri önce HA' a göndermek zorundadır. Bu da gecikmeyi arttırır. Ayrıca paketlerin enkapsüle edilmeleri boyutlarının artmasına dolayısıyla daha fazla band genişliği kullanılmasına neden olur. 2002' de MIPv4 güncellenerek şekil 4.4' de görülen yönlendirme optimizasyonlu MIP (MIP with routing optimization) geliştirilmiştir (MIP/ RO) [8].

Şekil 4.4 : MIP/RO' nun Çalışma Prensibi



Şekil 4.5 : MIPv6 Çalışma Prensipleri

IPv6 protokolünde, MH yeni bir ağa girdiğinde yeni FA' in adresiyle kendi MAC adresini birleştirerek kendine özgü bir IP adresi oluşturur. IPv6' de MH' un otomatik olarak adres almasını sağlayan çeşitli adres konfigürasyonları vardır. Böylece FA' in yeni bir CoA atamasını beklemek gerekmez. IPv6 varış ve yönlendirme opsiyonlarını destekler. MH bulunduğu yeri bir destination option göndererek CH' a bildirir. Bu işleme Binding Updates (BU) gönderme denir. CH bunu bir yönlendirme bilgisi (routing option) olarak gönderdiği paketlere yerleştirir. Yani CH paketleri başlarına IPv6 Routing Header ekleyerek gönderir. Böylece, sonraki paketler enkapsüle edilmeden doğrudan MH' a gönderilmiş olur. MH, CH' a destination option göndermeden önce CH paketlerini HA üzerinden gönderir. Üçgen yönlendirme ve tünel oluşturma işlemleri yapılmadığından sistemin hızı artar.

4.2. Ağlar Arası Geçiş

Bir MH' un hareket ederken bir ağdan başka bir ağa geçerek yeni bir FA' a kaydolmasına “handover” (el değiştirme) denir. Eğer bu ağlar aynı tipse (her ikisi de IP temelli ağsa) bu handover işlemine “handoff” denir.

MH' un hareket ederken yabancı bir ağa girip girmediğini ya da home network' den ne kadar uzaklaştığını anlaması gerekir. Buna mobilite yönetimi denir. Mobile IP' de mobilite yönetimi şu şekilde çalışmaktadır: Ağlarda bulunan HA ve FA' lar sık sık kendilerini tanıtan işaret (agent advertisements) yayınlarlar. Bir MH, kayıtlı bulunduğu agent' dan arka arkaya üç işaret (advertisement) alamazsa el değiştirme yapması gerektiğine, yani yeni bir ağda bulunduğu karar verir ve yeni FA' a

kaydolma isteği gönderir. HA ve ya FA RFC 2002 standardına göre en az saniyede 1 işaret yayınlar. Dolayısıyla ortalama olarak bir handover işlemi için 2,5 sn' lik gecikme söz konusu olur. Bu da gerçek zamanlı uygulamalarda hizmet kalitesini düşüren önemli bir sorundur. Ayrıca gecikme nedeniyle el değıştirme sırasında MH' a gelen paketler kaybolabilir. Bu nedenlerle gecikmeyi azaltacak ve paket kayıplarını minimuma indirecek çözümler üzerinde çalışılmaktadır.

4.3. El Değıştirme Gerçekleme Örneği

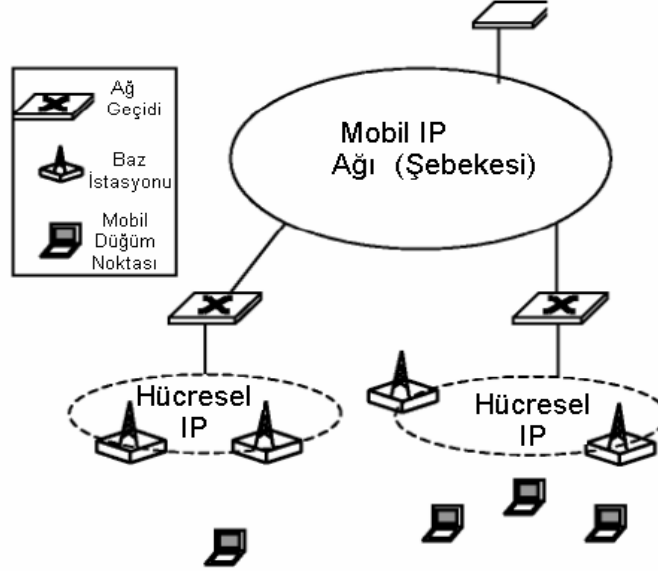
MH' a yeni bir FA' a kaydolmadan önce gelen son paketle, kaydolduktan sonra gelen son paket arasında geçen süreye el değıştirme gecikmesi denir. El değıştirme gecikmesini minimuma indirecek bir gerçekleme örneği verilecektir. Erişim teknolojileri olarak GPRS ve WLAN ağlarını seçilmiştir. Kullanılan cihazlar olarak kızılötesi ara yüzle GPRS telefon ile GPRS ağına, IEEE 802.11b PCMCIA kartıyla WLAN ağına erişim sağlayan bir dizüstü bilgisayar seçilmiştir. GPRS kısmındaki IP adresi PPP (Point to Point Protocol) ile tahsis edilir. GPRS bağlantısı her zaman açıktır. Bu sayede bu IP adresi sürekli kullanımdadır. MH' da (laptop) el değıştirme kontrol edicisi bulunur. MH' ın aldığı WLAN işareti eşik seviyesinin altına inerse kontrol edici, bu iki ara yüzü anahtarlama yapar. MH, önce WLAN ara yüzünü kullanarak HA ile haberleşmeyi dener, bunu başaramazsa WLAN' dan GPRS' e anahtarlama yapar ve Mobil IP' e kaydolur. Bu sayede handoff işlemi sırasında paket kayıpları olması önlenir. Çünkü GPRS gecikmesi oldukça iyi bir teknolojidir. Bir ağdan diğetine anahtarlama yapmak ağ topolojisine bağlıdır. Veri bağlantı katmanı, IP ağlar arasında anahtarlama yapıldığında bunu Mobile IP' e bildirirse; yani Mobil IP, veri bağlantı katmanı ile etkileşimli çalışırsa çok daha hızlı handoff temin edilir. Mobil IP tek başına kullanıldığında handoff performansının yavaşlamasına sebep olur.

4.4. Şebekeleşme – Ağ Yapısı

Mobil IP, farklı erişim teknolojileri arasında bağlantısız makro mobilite çözümleri sağlamaktadır. Makro mobilite idari çerçevesi dolaşımı gerekli kılmaktadır. Ziyaret edilen erişim şebekesi için ücretlendirme politikasına bağlı olarak, erişim sağlayıcısı mobil düğüm noktasını ücretlendirmeyi isteyebilmektedir.

4.4.1. Hücresel İnternet için IP telsiz şebeke

Bu yapı çekirdek şebeke için standart İnterneti kullanır. Hücresel IP, mikro mobilite ve çağrı idaresine destek olarak dahili alt ağ mobilitesi için kullanılırken; Mobil IP, makromobilite idaresi için bir alt ağ arası protokol olarak kullanılır. Şekil 4.6' da Mobil IP (mikro mobilite) ve hücresel IP (makro mobilite) yapısı görülmektedir.



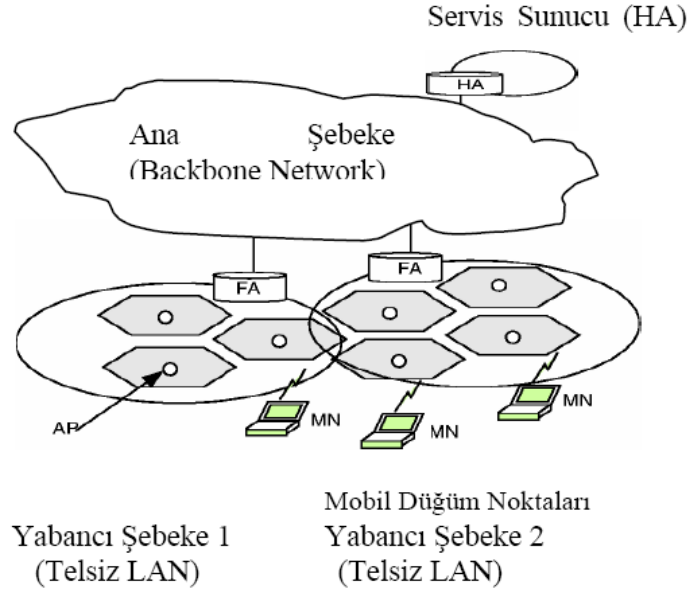
Şekil 4.6 : Mobil IP/ Hücresel IP Yapısı

4.4.2. Mobil IP ile Telsiz LAN Servisi

Telsiz LAN teknolojilerinde, mobil düğüm noktası aynı şebeke içinde bağlantının farklı noktaları etrafında hareket edebilir. Bununla beraber, daha geniş alanda daha fazla kullanıcıyı yerleştirmek için; geleneksel sabit IP şebekeleri kullanıcı sayısına göre alt ağlara bölündüğü gibi, geniş bir servis alanı da kullanıcı trafiğini belli bir alana (bölgeye) sınırlamak üzere farklı şebekelere bölünmelidir. Her bir şebeke farklı bir şebeke adresine sahip olduğu zaman, mobil düğüm noktası her zaman haberleşmenin sürekliliğine sahip olamayan IP adresini yeniden biçimlendiren başka bir şebekeye girer.

Mobil IP, taşıma dönemi bozulmaksızın mobil düğüm noktasının telsiz LAN' ların etrafında dolaşımına izin vermek için, IP seviyesinde mobiliteyi sağlar. Her bir telsiz LAN içinde bir yabancı servis sunucunun belli bir alana sınırlandırılmasıyla, mobil düğüm noktasına gönderilmesi planlanan paketler, mobil düğüm noktasının servis şebekesi içinde servis sunucu ve ziyaret edilen telsiz LAN içindeki yabancı servis

sunucu yoluyla gönderilir. Şekil 4.7’ de her bir telsiz LAN’ ın çoklu erişim noktalarının oluşturduğu ve onların yabancı servis sunucu ile bağlantılı olduğu böyle bir geniş alan telsiz erişim şebekesi görülmektedir.



4.5. TCP (Transmission Control Protocol) ile İlgili Sorunlar

TCP, pencereleme mekanizmasıyla tıkanıklık kontrolü yapan bir iletim katmanı protokolüdür. Ağdaki sıkışıklık nedeniyle bir paket kaybolduğunda TCP, pencere boyutunu daraltır. Gönderici yeniden alındı mesajları almaya başladığında pencere boyutunu artırır. TCP, kablosuz ağ ortamlarında kullanılmak üzere tasarlanmamıştır. Tüm paket kayıplarının ağdaki sıkışıklık sonucu meydana geldiğini sanır. Bu nedenle TCP, handoff sırasında meydana gelen paket kayıplarını da ağda bir sıkışıklık olarak yorumlayarak pencere boyutunu daraltır. Pencere boyutu küçülünce veri iletim hızı azalır. Bu da mobil ortamlarda performans düşüklüğüne yol açar. Ayrıca kablosuz ortamdan gönderilen paketler bozucu etkilere maruz kalarak alıcıya hatalı ulaşabilirler. Fiziksel ortamlarda bozulan paketler üst katmanlarda TCP performansını etkiler. Dolayısıyla TCP bağlantısına giren paketlerin mümkün olduğunca az hatalı olması sağlanmalıdır. Mobil ortamlarda TCP performansını iyileştirmek için bazı stratejiler önerilmektedir.

Bunlar; uç nokta (endpoint oriented) stratejisi, ara yüz destekli (intermediate assisted) stratejidir.

4.5.1. Uç Nokta Stratejisi

Bu yöntem handofflardan kaynaklanan paket kayıplarının telafi edilmesini sağlar. Uç nokta stratejisine (endpoint - oriented strategy) göre bir TCP bağlantısının uç noktaları TCP alıcı ve TCP göndericidir. Bu stratejide bir MH el değiştirme yapıp yeni bir ağa geçer geçmez gönderen TCP' ye arka arkaya çok sayıda alındı (dupack) gönderir. Eğer el değiştirme sırasında paket kaybı olmuşsa dupack mesajları sayesinde CH kaybolan paketleri yeniden gönderir. Bu stratejiye dayanan başka bir yöntem de şöyledir: Bir MH el değiştirme yapmadan hemen önce gönderen TCP' ye sıfır pencere büyüklüğü gönderir. Bunun üzerine CH, paket göndermeyi durdurur. MH el değiştirme yaptıktan sonra bir pencere (non - zero window) göndererek CH' un paket göndermeye kaldığı yerden devam etmesini sağlar.

4.5.2. Arayüz Destekli Strateji

Bu yöntem paketlerin fiziksel ortamda bozularak alıcıya hatalı ulaşmasını önlemek için kullanılır. Bu stratejiye dayanarak ayrık bağlantı (split connection) yaklaşımı geliştirilmiştir. Bu yaklaşıma göre CH ve MH arasındaki TCP bağlantısı bir kablolu/ kablosuz ortam ara yüzü (intermediate) ile iki ayrı kısma ayrılır. Bu iki TCP bağlantısı ara yüzde birleşir. İki TCP bağlantısında iletim katmanı akış, hata ve tıkanıklık kontrolleri ayrı ayrı yapılır. Böylece alıcıya ulaşan paketlerde daha az sayıda hata olur. Ara yüz kendine paketler gelir gelmez alındı gönderir. Paketlerin alıcıya ulaşmasını sağlamak ara yüzün görevidir. Bu yaklaşıma benzer uçtan uca alındılı yaklaşım da geliştirilmiştir

Uçtan uca yaklaşıma göre, alıcı paketleri alıp ara yüze alındı gönderir. Bunun üzerine ara yüz göndericiye alındı mesajı gönderir.

4.5.3. İki Handoff Arasında Geçen Sürenin TCP Performansına Etkisi

Handoffların oluşma süresi kablosuz ağın fiziksel büyüklüğüne ve mobil kullanıcının hızına bağlıdır. Ağ boyutları küçüldükçe ve mobil kullanıcının hızı arttıkça handoffların sıklığı da artar. Eğer handofflar çok sıklaşırsa buffering tekniği paket kayıplarını önlemek güçleşir. Çünkü eski FA biriktirdiği paketleri yeni FA' a daha göndermeden MH başka bir ağa handoff yapmış olur. Handofflar sıklaştıkça gönderici TCP' nin pencere boyutu yeterince büyümeden yeni bir handoff meydana

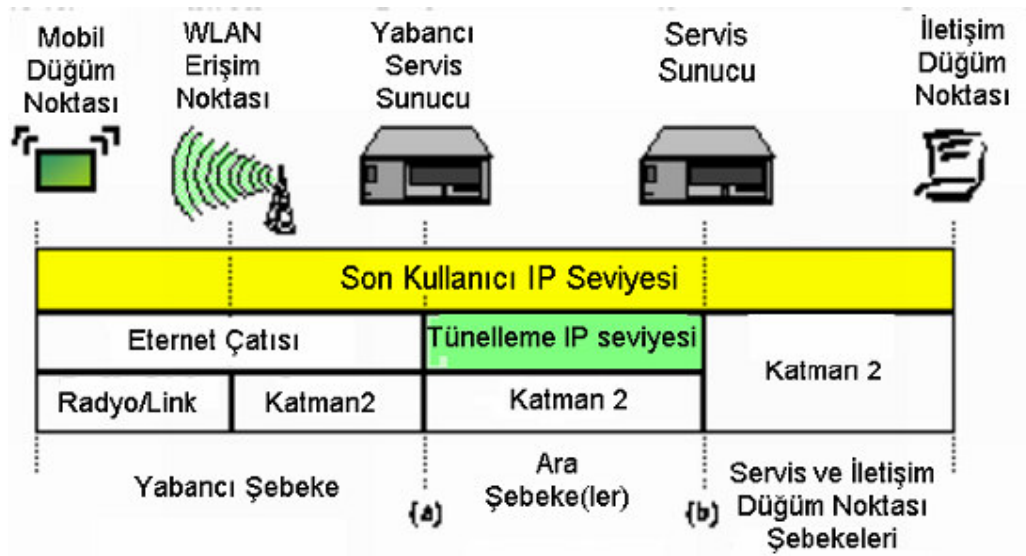
gelir ve pencere boyutu hep küçük kalır. Bu nedenle az sayıda paket gönderilmiş olur.

4.6. Mobil IP Güvenliği

Mobil IP için IP güvenlik uygulaması, mobil düğüm noktasına gönderilen veya gelen yeniden yönlendirilmiş paketleri pasif veya aktif saldırılara karşı korumak içindir.

Bir “IP şebekesi” çok sayıda farklı şebekelerden oluşur. İlgili olanların çoğu ve normal IP şebekesi için uygulanan güvenlik mekanizmaları, Mobil IP’yi olanaklı kılan şebekelere doğrudan uygulanabilir.

Mobil IP şebeke güvenliği, çoğunlukla taşıyıcı şebekelerle ilgilidir. Bütün karakteristikleri taşıyan bir Mobil IP şebekesinde, her biri oldukça farklı güvenlik karakteristikleri ile çok sayıda taşıyıcı şebeke olacaktır. Şekil 4.6’ da yabancı şebekenin telsiz WLAN (Wireless Local Area Network - Telsiz LAN) erişimini gerçekleştirdiği, farklı bazı taşıyıcı şebekeleri gösterilmektedir.



Şekil 4.8 : Telsiz LAN Erişiminde Farklı Taşıyıcı Şebekeleri

Haberleşme güvenliği, farklı protokol katmanlarında gerçekleştirilebilir. Bu hizmetler güvenlik hizmetini sağlayan taşıyıcıya geldiği zaman, son kullanıcı IP seviyesinin altında sağlanır. Bununla beraber, son kullanıcı IP seviyesinin altında sağlanan güvenlik servisleri hop-by-hop biçiminde konuşlandırılabilir. Örneğin, yabancı şebeke, radyo-link üzerinden gizliliği, güvenilirliği ve kimlik belirlemeyi sağlama gibi özel telsiz LAN güvenlik servislerini yerine getirebilirler. Mobil

IPv6’da ara şebekeler içinde IP Güvenlik protokolü gibi başka bir güvenlik projesi, yabancı servis sunucu ile servis sunucu arasında sinyalleme ve ulaşımı korumak için tünellenen IP katmanı üzerinde gerçekleştirilebilir. Bundan başka, Servis ve İletişim Düğüm Noktası şebekeleri, fiziksel şebeke ayrımını esas alan güvenliğe dayanabilir. Bununla beraber, güvenliği sağlayan taşıyıcı mimari ve mekanizmaları, özel şebekeleşme senaryoları içinde yerleşen değişik gerçek şebekeler üzerine dayandırılabilir.

Mobil IP alanında kullanılan tipik güvenlik mekanizmaları aşağıda sıralanmıştır:

- Mobil IP özel güvenliği (Mobil IP’ye olanak tanıyan düğüm noktaları arasında kimlik belirleme, davet cevabı protokolleri)
- AAA (Authentication, Authorization and Accounting - son kullanıcı kimlik belirleme ve yetkilendirme ve hesaplamasını Mobil IP ile paketleme)
- IP Güvenlik (Taşıyıcı seviyesi ve son kullanıcı seviyesi)
- Ulaştırma seviyesi güvenliği (Güvenli soket-priz katmanı)
- Uygulama seviyesi güvenliği (Oldukça iyi kişisel gizlilik)

MIPv4 kendi güvenlik mekanizmalarını sağlar, MIPv6 gelişmiş ağ güvenliği desteği sağlar ve IP güvenlik protokol takımını kullanılır. IPv6 paketinin başlığı ikiye ayrılır: Basit Başlık ve Ek Başlık. Ek başlık Tanıma Başlığı ve Gizlilik başlıklarından oluşur. Gizlilik başlığında şifreleme işlemi yapılır.

4.7. El Değiştirme Konusunda Yapılan Çalışmalar

Günümüzde yapılan çalışmalar, el değiştirmeyi başlatma zamanını tanımlamamıştır ve BS’ i aramak için hem gereksiz zaman kaybı, hem de gereksiz trafik yaratmaktadır. 802.16 üçüncü jenerasyon ve dördüncü jenerasyon için ideal bir teknolojidir ve 60 Km/saat’ hıza kadar destek vermektedir. Önerilen yöntemle göre el değiştirmeden önce baz istasyonu komşuların birbirinden haberdar olabilmesi için network topolojisini yayınlar. Mobil istasyon uygun baz istasyonunu bulmak için taramaya başlar, kendisine uygun baz istasyonunu baz istasyonlarının sinyal varış zaman farklarını ve sinyal gücünü değerlendirerek en yakın olanını seçer, burada el değiştirme için gerekli eşik güç sorgulanırken mobil istasyonun hızı da değerlendirilmelidir. Tarama işlemi yapılırken veri aktarımı kesilir, fakat aktarımın kesilmeyip anlaşma sinyalleri ile gönderilmesi önerilir. Mobil istasyon hedef baz istasyonunu durumu için sorgular, uygun ise anlaşır. El değiştirme başlar,

parametrelerde anlaşılır ve mobil istasyon yeni baz istasyonuna kayıt olur, son olarak da eski baz istasyonu ile ilişkiyi keser [9].

Network topolojisi ortak bir kaynaktan bir kere gönderilir. Mobil istasyon hücre sınırından belli bir uzaklıktayken el değiştirme olsun denir. Fakat sinyal seviyesi belirli bir seviyeye düştüğünde hücre sınırına istenilen uzaklık olmasa bile el değiştirme olsun denilebilmelidir. Hücre sınırına uzaklık belirlenirken hız, yön ve sinyal seviyesi ele alınır [10].

El değiştirmenin başlama süresi, el değiştirmenin gerçeklemedeki gecikmesinden imtiyaz verilerek çeşitli yöntemler bulunmuştur. Başlangıçta hedef baz istasyonuna bildiri yapılırsa el değiştirmenin başlaması gecikir. Bu nedenle bu tarz yöntemler data trafiğini taşıyan ağlar için uygundur. Eğer uzlaşma trafiği azaltılırsa el değiştirme gecikmesi de azalır, bu yöntemler ise VoIP gibi ses taşıyan ağlar için uygundur [11].

El değiştirme için yol kaybı, anten kazancı ve gölgeleme ölçümü yapılarak ortalama yol kazancı algoritması ile karar verilir. Alınan sinyal seviyesi algoritmasında ise bu ölçümlere ek olarak alınan sinyal seviyesi de hesaplanır. Alınan sinyal seviyesi algoritmasında daha az el değiştirme olmaktadır, fakat pin pon etkisi gözlenmektedir [12].

Sistem parametreleri gelecek için öngöründe bulunulur. Öngörü yapılırken bir önceki ana bağımlı olarak hesaplama yapılır [13].

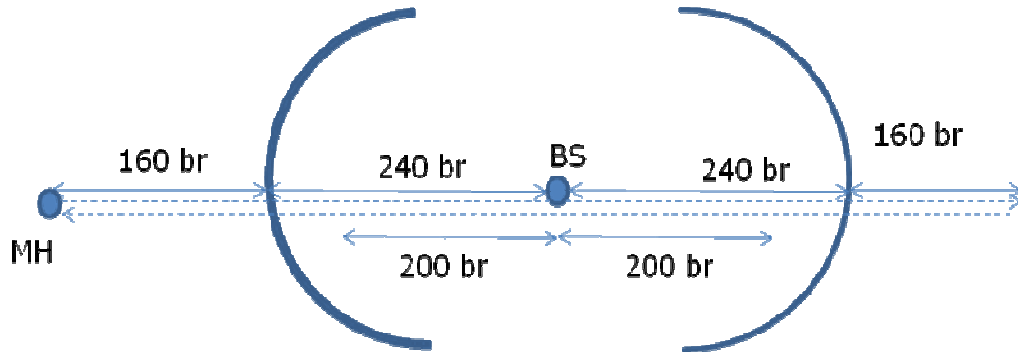
Günümüzdeki el değiştirmeler alınan sinyal seviyesi, bit hata oranı, sinyal gürültü oranı ele alınarak yapılır. İlerde gerçek zamanlı, çok bant genişliği gerektiren uygulamaların kullanımı ile el değiştirme yapılırken geçiş yapılan yönlendiricinin hangi servisi verdiği, bant genişliği, bu servisi hangi maliyet ile verdiği gibi bağlantı özellikleri kullanılarak el değiştirme yapılacaktır [14].

5. SİMULASYON

Mobil IP için simülasyonlar Compaq N800V modelindeki bilgisayarda yapılmıştır. Bilgisayar Pentium 4 1,8 GHz işlemciye ve 60 GB sabit diske sahiptir. Bilgisayara Suse Linux 10 kurulmuştur ve üzerine ns 2.29 kurulmuştur. Simülasyonlarda 802.11b standardı telsiz haberleşme ve telli haberleşme kullanılmıştır, oluşturulan trafik CBR (Constant Bit Rate)

5.1. Parametre Seçimi

Baz istasyonlarının çekim alanı çeşitli denemeler yapılarak bulunmuştur. Hareketli konak (MH) 400 birim uzaklıktan telsiz elemana (BS) doğru hareket ettirilmiş ve yine 400 metre sağına kadar gidip, gittiği yolu geri dönmesi sağlanmıştır. Bu yol boyunca MH' ın BS' e 240 birim kala haberleşebildiği gözlemlenmiştir. Gerçeklenen yapı şekil 5.1' de görülmektedir.



Şekil 5.1 : BS Çekim Alanı Belirleme

Telsiz elemanın çekim alanı 240 birim olarak gözlemlenmiştir, standartlarda telsiz elemanın çekim alanı tam olarak çektiği alan olarak belirlendiği için telsiz elemanın çekim alanı 200 birim olarak alınmıştır. Standartlara bakıldığında açık alanda telsiz elemanın çekim alanının 400 metre, kapalı alanda telsiz elemanın çekim alanının ise 100 metre olduğu görülmüştür. Yapılan simülasyonların gerçek hayatla ilişkisini kurmak için ise açık alanda 200 birim 400 metreye karşılık düşürülmüştür (0,5 birim -> 1 metre); kapalı alanda 200 birim 100 metreye karşılık düşürülmüştür (2 birim -> 1 metre)

Yürüme hızının 1 m/ s olduğu gözlemlenmiştir. MH' un hareket hızı yürüme hızı, yürüme hızından daha düşük ve daha yüksek hızlar olarak alınmıştır. Aşağıda alınan hızlar sıralanmıştır:

○ Açık Alanda MH Hızları

- 0,5 br/s -> 1 m/s -> 3,6 km/h
- 1 br/s -> 2 m/s -> 7,2 km/h
- 2 br/s -> 4 m/s -> 14,4 km/h
- 4 br/s -> 8 m/s -> 28,8 km/h
- 6 br/s -> 12 m/s -> 43,2 km/h

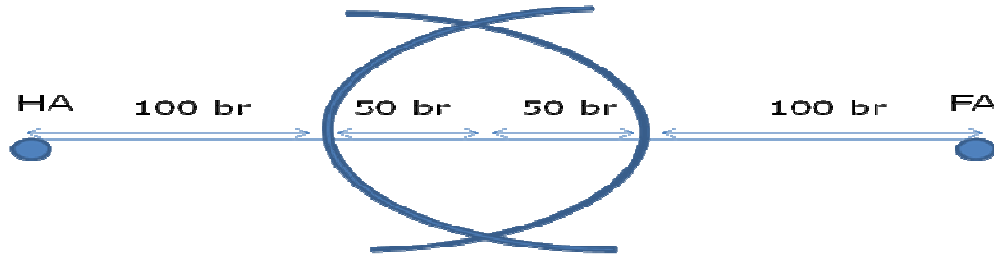
○ Kapalı Alanda MH Hızları

- 0,5 br/s -> 0,25 m/s -> 0,9 km/h
- 1 br/s -> 0,5 m/s -> 1,8 km/h
- 2 br/s -> 1 m/s -> 3,6 km/h
- 4 br/s -> 2 m/s -> 7,2 km/h
- 6 br/s -> 3 m/s -> 10,8 km/h

Trafik akış hızı saniyede 100 Kbit gönderilecek şekilde düzenlenmiştir. 0,01 saniye aralıklar ile 1 Kbit gönderilmektedir.

5.2. HA ve FA Uzaklık Seçimi

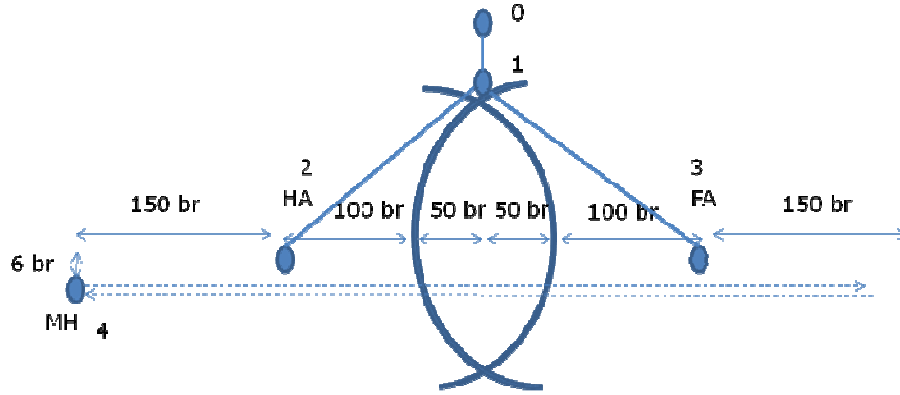
Mobil IP uygulamasını simülasyonda tasarlarken HA ve FA arası 300 birim seçilmiştir. Böylece 100 birimlik bir ortak alanda HA ve FA' ın ortak olarak telsiz çekim alanlarının bulunması sağlanmıştır. Bu işlemlere göre açık alanda seçilen 300 birim 600 metreye, kapalı alanda ise 300 birim 150 metreye karşılık gelmektedir. Uzaklık seçimi şekil 5.2' de görülmektedir.



Şekil 5.2 : HA ve FA Uzaklık Seçimi

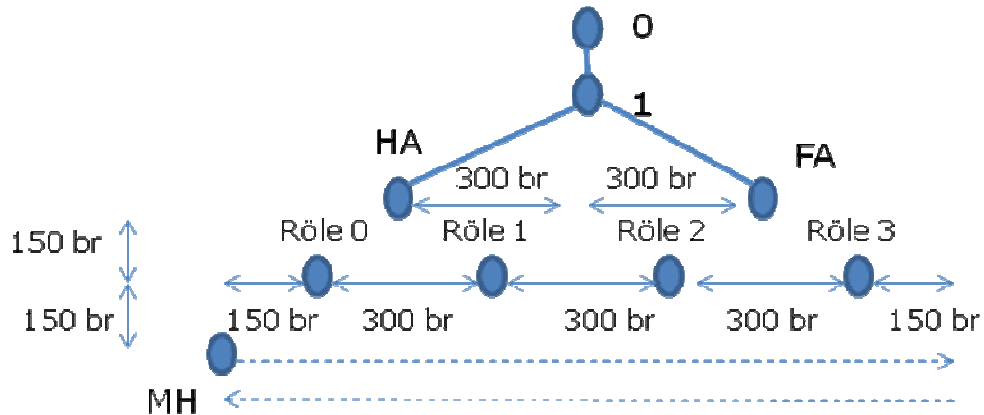
5.3. Topoloji Belirlenmesi

Topolojilerde öncelikli olarak teli ve telsiz bağlantılar seçilmiştir. 0, 1, HA (2) ve FA (3) telli bağlantı ile bağlıdır. HA (2) ve MH (4), FA (3) ve MH (4) birbirine telsiz bağlantı ile bağlıdır. Şekil 5.3’ de belirlenen topoloji 1 görülmektedir. Trafik kaynağı bazı durumlarda 0, bazı durumlarda ise MH seçilmektedir.



Şekil 5.3 : Topoloji 1

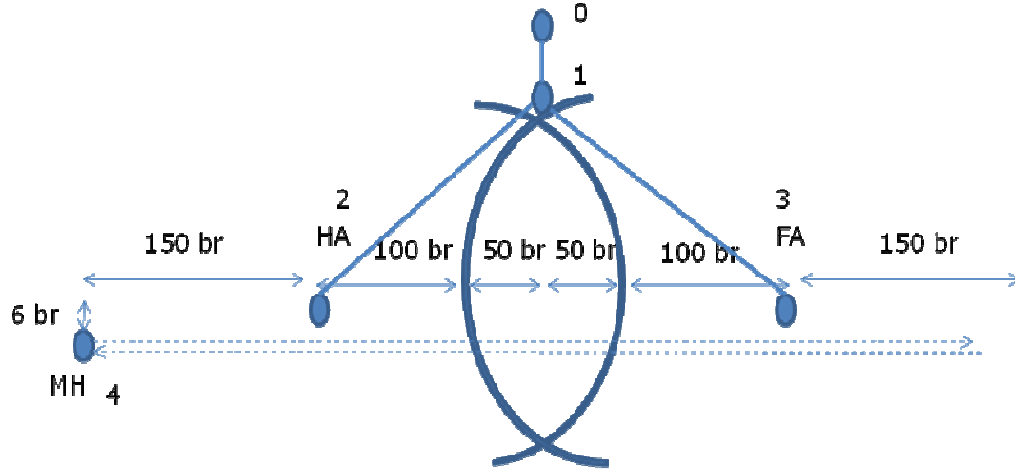
Uygulanan diğer topolojide ise 0, 1, HA ve FA telli bağlantı ile bağlıdır. HA ile Röle 0 arası, HA ile Röle 1 arası, FA ile Röle 2 arası, FA ile Röle 3 arası, Röle 0 ile MH arası, Röle 1 ile MH arası, Röle 2 ile MH arası, Röle 3 ile MH arası telsiz bağlantı ile bağlıdır. Şekil 5.4’ de topoloji 2 görülmektedir. Trafik kaynağı bazı durumlarda 0, bazı durumlarda ise MH seçilmektedir.



Şekil 5.4: Topoloji 2

5.4. TCP Trafikte Topoloji 1

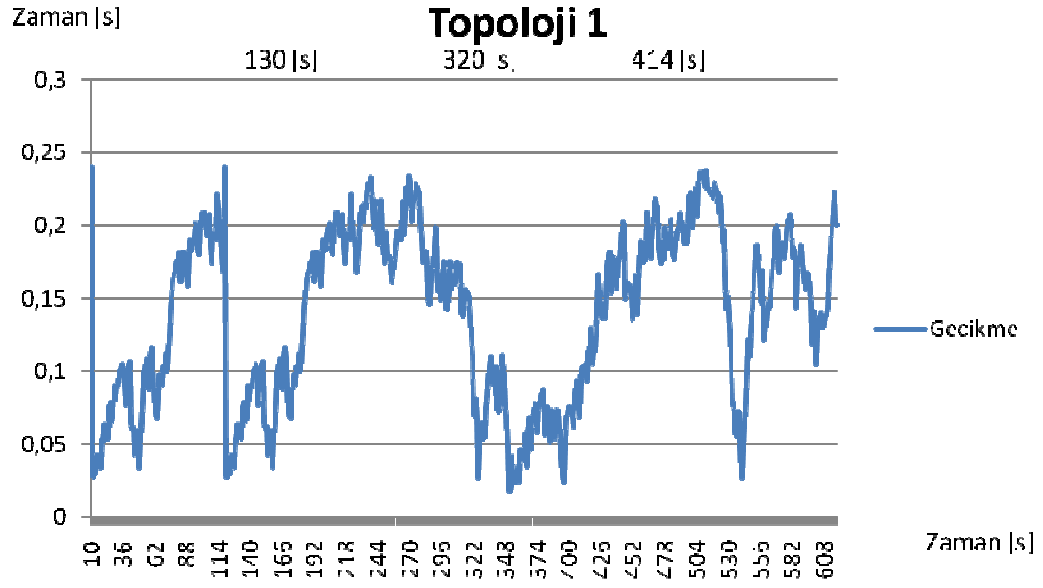
Aşağıda Şekil 5.5' de görülen topoloji ns 2.29 da gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.5 : TCP Trafikte Topoloji 1' de Mobil IP Simülasyonu

MH 2 br/s hız ile FA doğru hareket etmektedir, 320. Saniyede MH ters yöne harekete başlamıştır. W(0), HA ve FA birbirine telli bağlantı ile bağlıdır. W(0) ve MH arasında bir TCP trafik kurulmuştur, trafik W(0)' dan MH' a akmaktadır. MH' ın hareket etmesi ile bilgi akışının gecikmesi arasındaki ilişki incelenmektedir. Gecikme paketin varışa ulaşma zamanı ile paketin yaratılma zamanı arasındaki farktır.

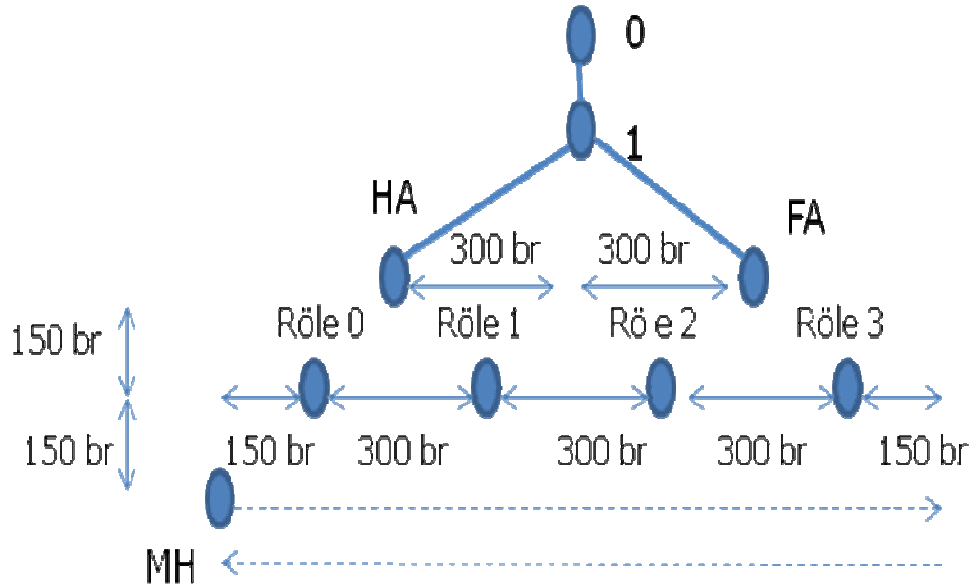
Şekil 5.6' daki grafikten görüldüğü üzere paketlerin ulaşmasındaki gecikmeler farklılık göstermektedir. Veri paketlerinin ulaşmasındaki farklı gecikmeler TCP' de verilerin gönderim hızını belirleyen pencere boyunun düzenlenmesinden dolayı oluşmuştur. 130. Saniyede tünelleme vardır, 414. saniyede ise bu tünelleme ortadan kalkmıştır. Fakat gecikmelerde farklılık olduğu için bu tünelleme şekil 5.6' da fark edilememektedir. Şekil 5.6' daki grafikten de anlaşılacağı gibi mobil ip yöntemi ile tcp trafiğin iletilmesi gecikmenin önemli olduğu durumlarda kötü sonuç vermektedir. Gecikme 0,25 saniyeye kadar çıkmaktadır.



Şekil 5.6 : TCP Trafikte Topoloji 1’ de Paket Gecikme Zamanı

5.5. TCP Trafikte Topoloji 2

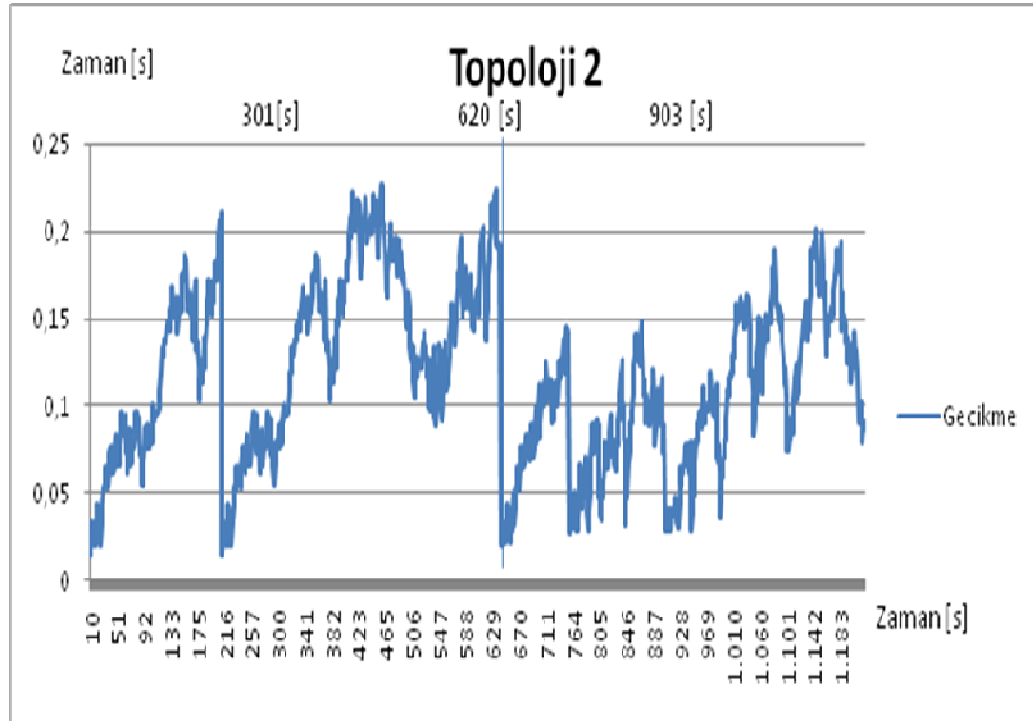
Aşağıda Şekil 5.7’ de görülen topoloji ns 2.29 da gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.7 : TCP Trafikte Topoloji 2’ de Mobil IP Simülasyonu

MH 2 br/s hız ile FA yakınına hareket etmektedir, 620. Saniyede MH ters yöne harekete başlamıştır. W(0), HA ve FA birbirine telli bağlantı ile bağlıdır. W(0) ve MH arasında bir TCP trafik kurulmuştur. Bu topolojide ek olarak 4 adet röle istasyon bilgi akışının sürekliliğine yardım etmektedir. MH' ın hareket etmesi ile bilgi akışının gecikmesi arasındaki ilişki incelenmektedir. Gecikme paketin varışa ulaşma zamanı ile paketin yaratılma zamanı arasındaki farktır.

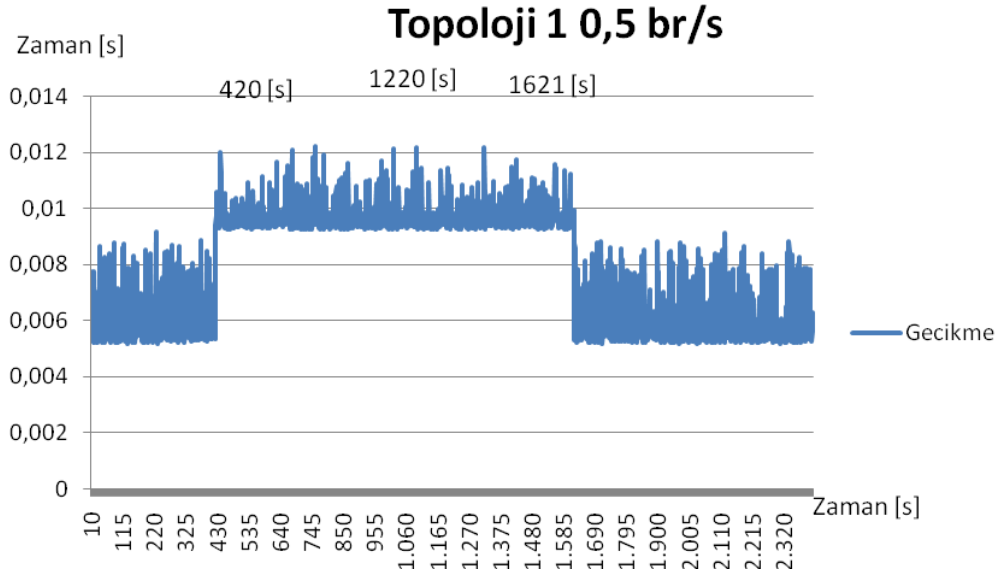
Şekil 5.8' deki grafikten görüldüğü üzere paketlerin ulaşmasındaki gecikmeler farklılık göstermektedir. Veri paketlerinin ulaşmasındaki farklı gecikmeler TCP' de verilerin gönderim hızını belirleyen pencere boyunun düzenlenmesinden dolayı oluşmuştur. 301. Saniyede tünelleme vardır, 903. saniyede ise bu tünelleme ortadan kalkmıştır. Fakat gecikmelerde farklılık olduğu için bu tünelleme şekil 5.8' de fark edilmemektedir. Şekil 5.8' deki grafikten de anlaşılacağı gibi mobil ip yöntemi ile tcp trafiğin iletilmesi gecikmenin önemli olduğu durumlarda kötü sonuç vermektedir. Gecikme 0,25 saniyeye kadar çıkmaktadır.



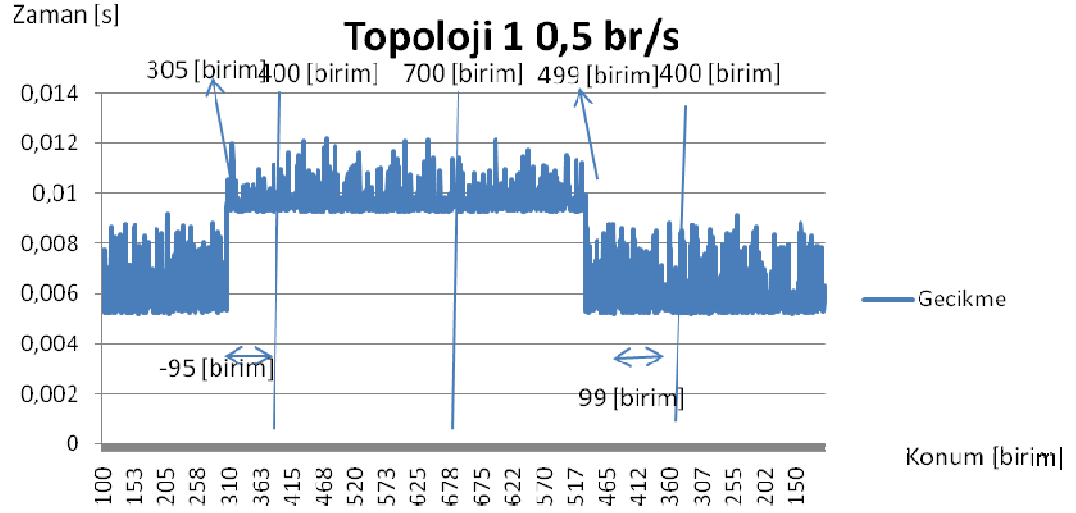
Şekil 5.8 : TCP Trafikte Topoloji 2’de Paket Gecikme Zamanı

dan MH' a akmaktadır ve 10. Saniyede başlamıştır. 10. Saniyede MH hedeflediği konuma doğru hareket etmektedir ve 1220. Saniyede ise MH hedeflediği konumdan geri dönmektedir.

MH' ın hareket etmesi ile bilgi akışının gecikmesi arasındaki ilişki incelenmektedir. Simülasyonda 420. saniyeden itibaren tünelleme yapılmaktadır. 1621. Saniyeden itibaren tünelleme ortadan kalkmaktadır. Tünelleme yapılması ile gecikmenin de arttığı görülmektedir. Çünkü MH' a gönderilen paketler önce HA' a gelmektedir, buradan FA' a yönlendirilmektedir. Şekil 5.13' deki zamana karşı gecikmenin incelendiği grafikten de anlaşılabacağı gibi mobil ip yöntemi ile udp trafiğin iletilmesi gecikmenin önemli olduğu durumlarda kötü sonuç vermektedir. Şekil 5.14' de ise HA' ın gittiği mesafe ile o anda aldığı paketlerin gecikmesi arasındaki ilişki gösterilmektedir. Gecikme tünelleme olduğunda maksimum 0.012 saniye, ortalama olarak ise 0,01 saniye; tünelleme olmadığında maksimum 0.008 saniye, ortalama olarak ise 0,006 saniyedir.

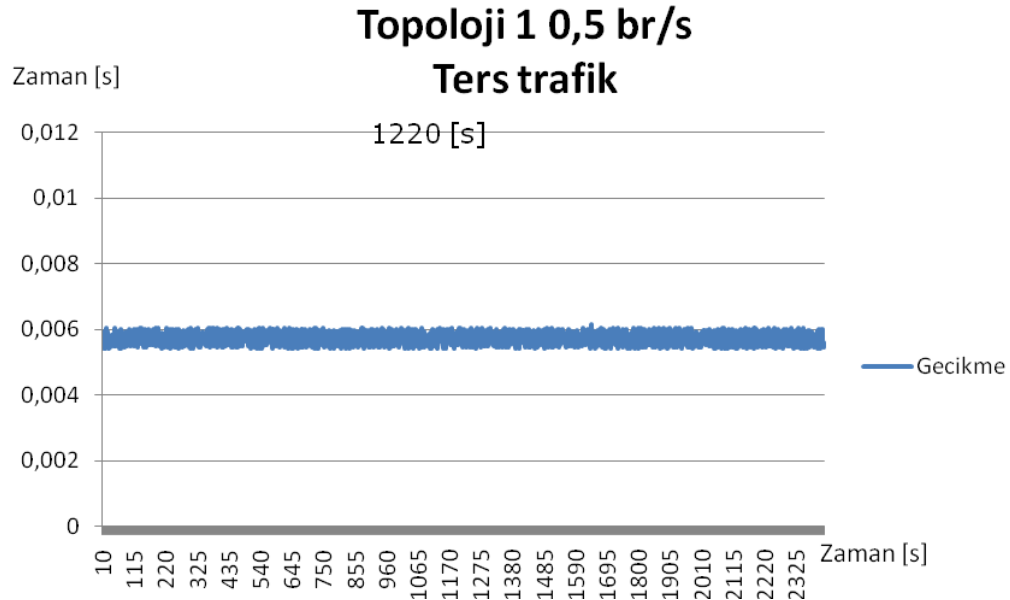


Şekil 5.13 : UDP Trafik Topoloji 1'de 0,5 br/s Hız ile Zamana Göre Paket Gecikmesi

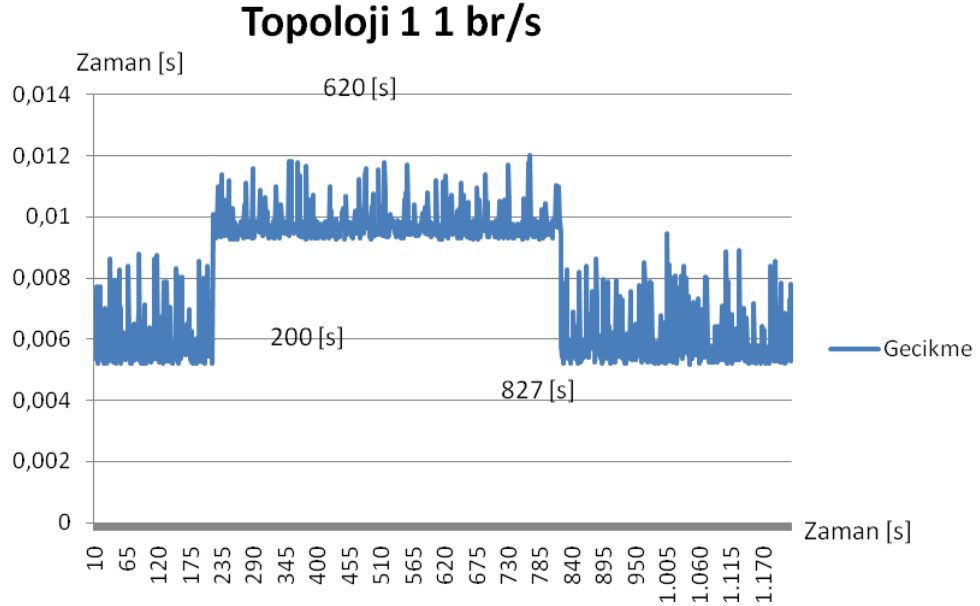


Şekil 5.14 : UDP Trafik Topoloji 1'de 0,5 br/s Hız ile Konuma Göre Paket Gecikmesi

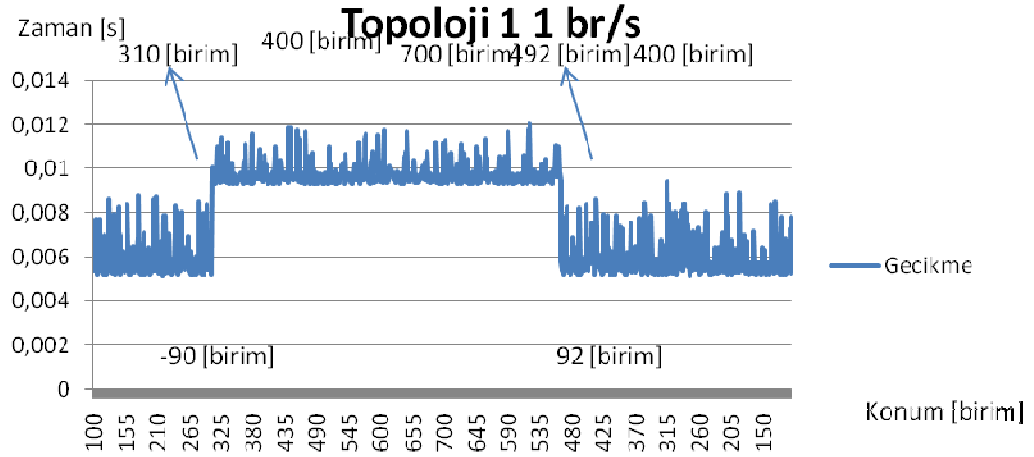
Şekil 5.15 ise trafik MH' dan W(0)' a akmaktadır. Gecikme ortalama olarak 0,006 saniyedir. MH HA' ın kapsama alanındayken trafikte oluşan paketler MH' dan HA' a, buradan 1' e, buradan da 0' a geçmektedir. MH FA' ın kapsama alanındayken trafikte oluşan paketler MH' dan FA' a, buradan 1' e, buradan da 0' a geçmektedir.



Şekil 5.15 : UDP Ters Trafik Topoloji 1'de 0,5 br/s Hız ile Zamana Göre Paket Gecikmesi



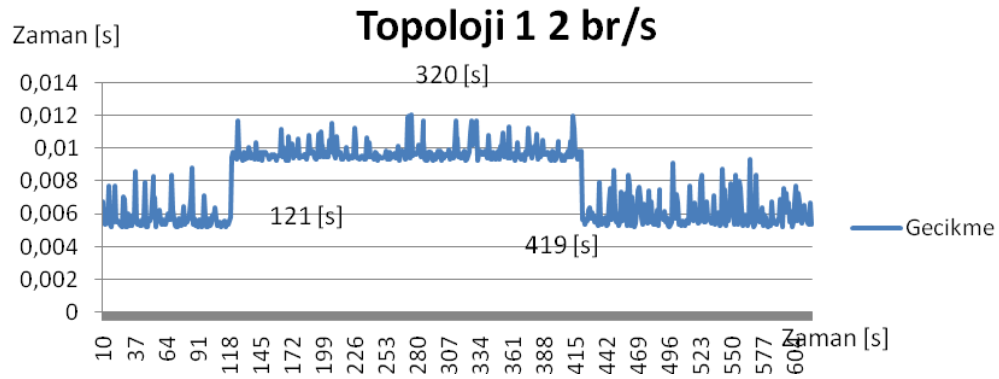
Şekil 5.17 : UDP Trafik Topoloji 1’de 1 br/s Hız ile Zamana Göre Paket Gecikmesi



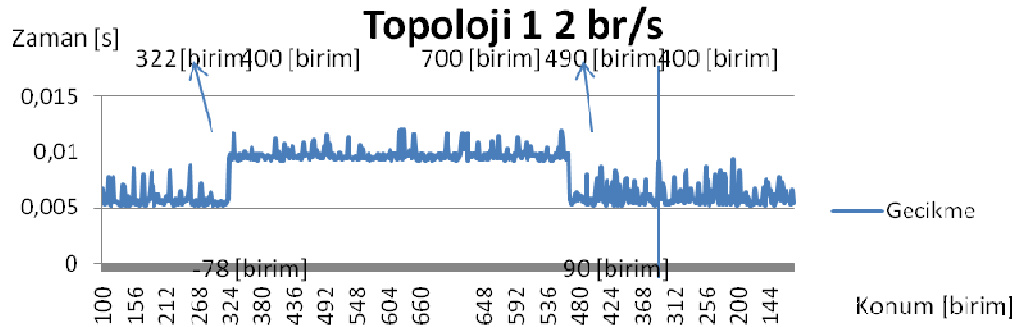
Şekil 5.18 : UDP Trafik Topoloji 1’de 1 br/s Hız ile Konuma Paket Gecikmesi

Şekil 5.19 ise trafik MH’ dan W(0)’ a akmaktadır. Gecikme ortalama olarak 0,006 saniyedir. MH HA’ ın kapsama alanındayken trafikte oluşan paketler MH’ dan HA’ a, buradan 1’ e, buradan da 0’ a geçmektedir. MH FA’ n kapsama alanındayken trafikte oluşan paketler MH’ dan FA’ a, buradan 1’ e, buradan da 0’ a geçmektedir.

arttığı görülmektedir. Çünkü MH' a gönderilen paketler önce HA' a gelmektedir, buradan FA' a yönlendirilmektedir. Şekil 5.21' deki zamana karşı gecikmenin incelendiği grafikten de anlaşılabacağı gibi mobil ip yöntemi ile udp trafiğin iletilmesi gecikmenin önemli olduğu durumlarda kötü sonuç vermektedir. Şekil 5.22' de ise HA' ın gittiği mesafe ile o anda aldığı paketlerin gecikmesi arasındaki ilişki gösterilmektedir. Gecikme tünelleme olduğunda maksimum 0.012 saniye, ortalama olarak ise 0,01 saniye; tünelleme olmadığında maksimum 0.008 saniye, ortalama olarak ise 0,006 saniyedir.

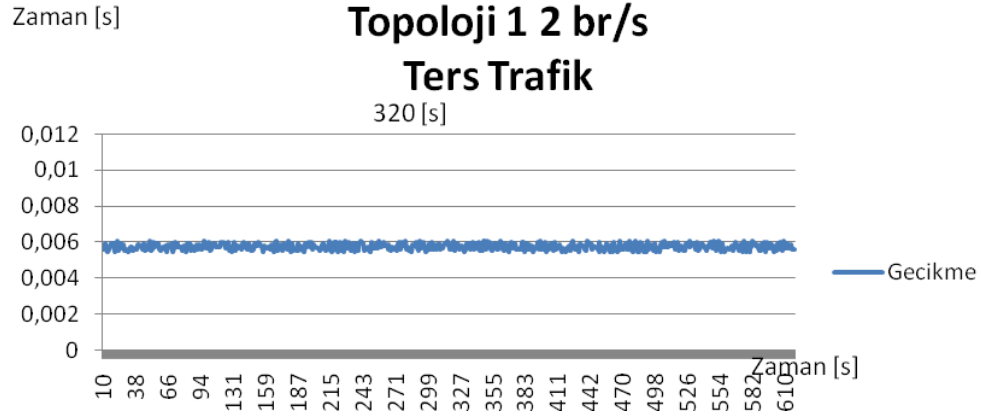


Şekil 5.21 : UDP Trafik Topoloji 1’de 2 br/s Hız ile Zamana Göre Paket Gecikmesi



Şekil 5.22 : UDP Trafik Topoloji 1’de 2 br/s Hız ile Konuma Göre Paket Gecikmesi

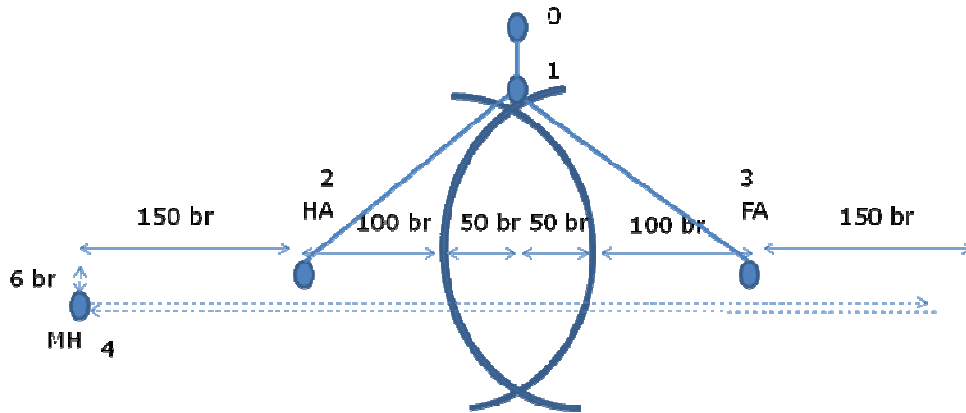
Şekil 5.23 ise trafik MH' dan W(0)' a akmaktadır. Gecikme ortalama olarak 0,006 saniyedir. MH HA' ın kapsama alanındayken trafikte oluşan paketler MH' dan HA' a, buradan 1' e, buradan da 0' a geçmektedir. MH FA' ın kapsama alanındayken trafikte oluşan paketler MH' dan FA' a, buradan 1' e, buradan da 0' a geçmektedir.



Şekil 5.23 : UDP Ters Trafik Topoloji 1'de 2 br/s Hız ile Zamana Göre Paket Gecikmesi

5.6.5. MH' un 4 br/s Hız ile Hedef Konuma Hareket Ettiği Durum

Aşağıda Şekil 5.24' de görülen topoloji ns 2.29 da gerçekleşmiştir.

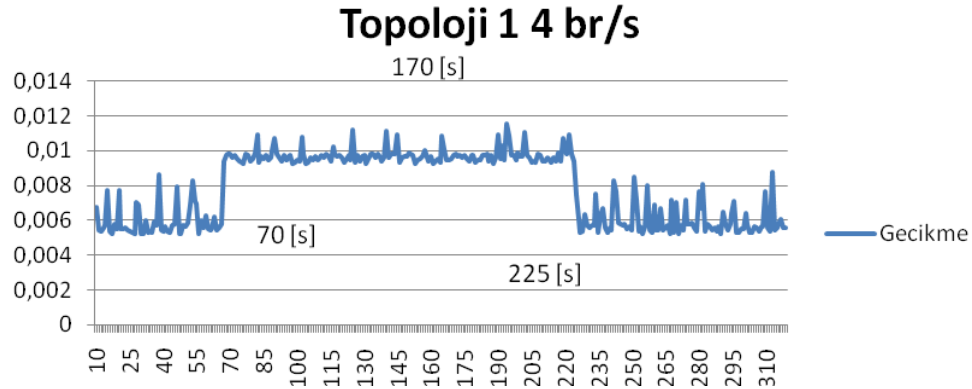


Şekil 5.24 : UDP Trafikte MH 4 br/s Hız ile Hareket Halinde Topoloji 1

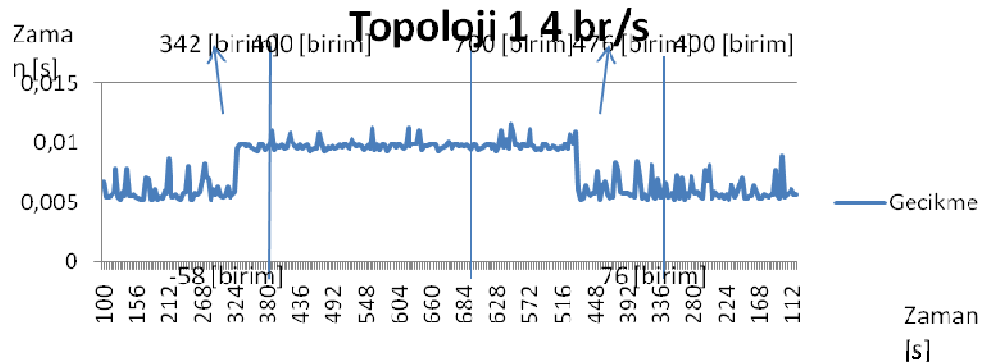
MH 4 br/s hız ile FA doğru hareket etmektedir. W(0), HA ve FA birbirine telli bağlantı ile bağlıdır. W(0) ve MH arasında bir UDP trafik kurulmuştur, trafik W(0)' dan MH' a akmaktadır ve 10. Saniyede başlamıştır. 10. Saniyede MH hedeflediği konuma doğru hareket etmektedir ve 170. Saniyede ise MH hedeflediği konumdan geri dönmektedir.

MH' ın hareket etmesi ile bilgi akışının gecikmesi arasındaki ilişki incelenmektedir. Simülasyonda 70. saniyeden itibaren tünelleme yapılmaktadır. 225. Saniyeden itibaren tünelleme ortadan kalkmaktadır. Tünelleme yapılması ile gecikmenin de arttığı görülmektedir. Çünkü MH' a gönderilen paketler önce HA' a gelmektedir,

buradan FA' a yönlendirilmektedir. Şekil 5.25' deki zamana karşı gecikmenin incelendiği grafikten de anlaşılacağı gibi mobil ip yöntemi ile udp trafiğin iletilmesi gecikmenin önemli olduğu durumlarda kötü sonuç vermektedir. Şekil 5.26' de ise HA' ın gittiği mesafe ile o anda aldığı paketlerin gecikmesi arasındaki ilişki gösterilmektedir. Gecikme tünelleme olduğunda maksimum 0.012 saniye, ortalama olarak ise 0,01 saniye; tünelleme olmadığında maksimum 0.008 saniye, ortalama olarak ise 0,006 saniyedir.

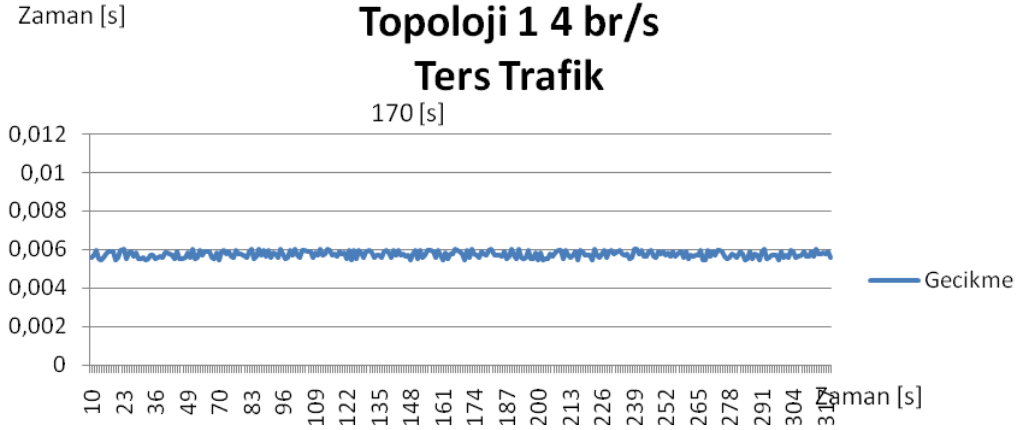


Şekil 5.25 : UDP Trafik Topoloji 1'de 4 br/s Hız ile Zamana Göre Paket Gecikmesi



Şekil 5.26 : UDP Trafik Topoloji 1'de 4 br/s Hız ile Konuma Göre Paket Gecikmesi

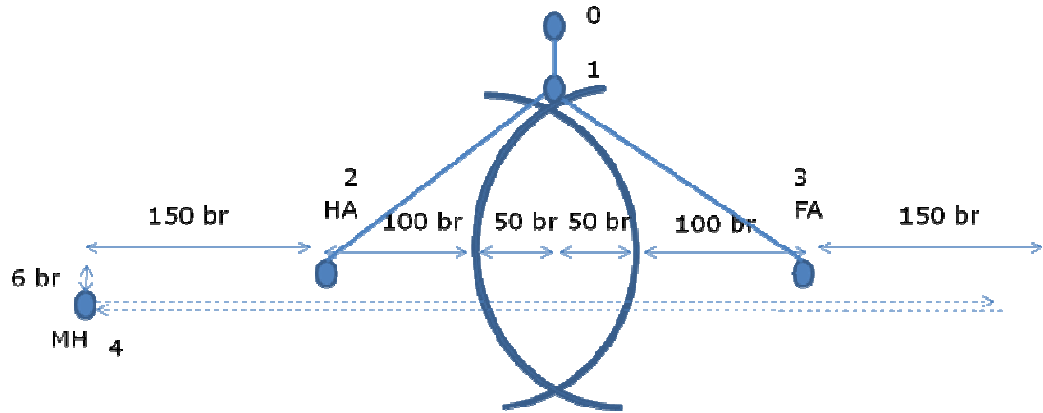
Şekil 5.27 ise trafik MH' dan W(0)' a akmaktadır. Gecikme ortalama olarak 0,006 saniyedir. MH HA' ın kapsama alanındayken trafikte oluşan paketler MH' dan HA' a, buradan 1' e, buradan da 0' a geçmektedir. MH FA' ın kapsama alanındayken trafikte oluşan paketler MH' dan FA' a, buradan 1' e, buradan da 0' a geçmektedir.



Şekil 5.27 : UDP Ters Trafik Topoloji 1’de 4 br/s Hız ile Harekette Paket Gecikmesi

5.6.6. MH’ un 6 br/s Hız ile Hedef Konuma Hareket Ettiği Durum

Aşağıda Şekil 5.28’ de görülen topoloji ns 2.29 da gerçekleşmiştir.

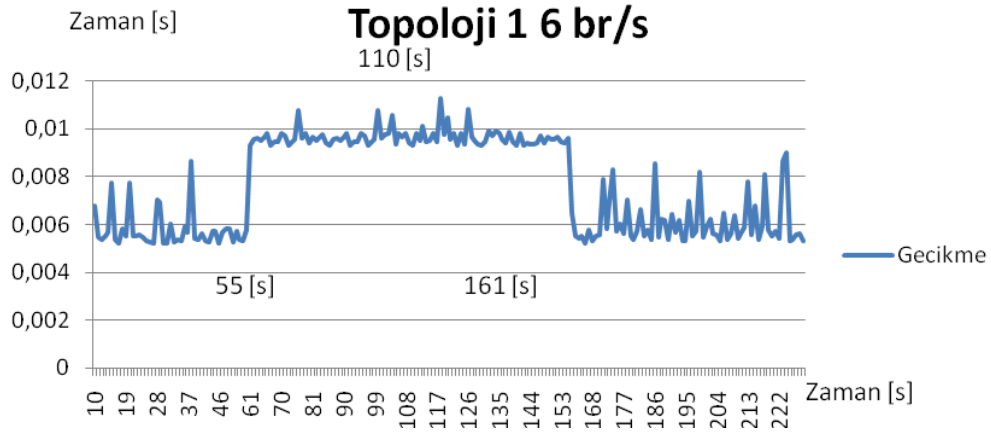


Şekil 5.28 : UDP Trafikte MH 6 br/s Hız ile Hareket Halinde Topoloji 1

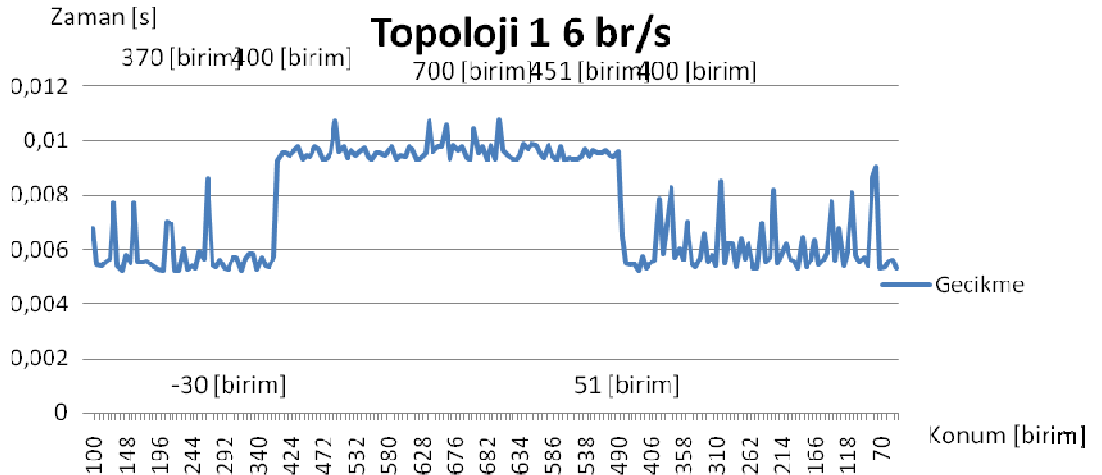
MH 6 br/s hız ile FA doğru hareket etmektedir. W(0), HA ve FA birbirine telli bağlantı ile bağlıdır. W(0) ve MH arasında bir UDP trafik kurulmuştur, trafik W(0)’ dan MH’ a akmaktadır ve 10. Saniyede başlamıştır. 10. Saniyede MH hedeflediği konuma doğru hareket etmektedir ve 110. Saniyede ise MH hedeflediği konumdan geri dönmektedir.

MH’ ın hareket etmesi ile bilgi akışının gecikmesi arasındaki ilişki incelenmektedir. Simülasyonda 55. saniyeden itibaren tünelleme yapılmaktadır. 161. Saniyeden itibaren tünelleme ortadan kalkmaktadır. Tünelleme yapılması ile gecikmenin de arttığı görülmektedir. Çünkü MH’ a gönderilen paketler önce HA’ a gelmektedir,

buradan FA' a yönlendirilmektedir. Şekil 5.29' deki zamana karşı gecikmenin incelendiği grafikten de anlaşılacağı gibi mobil ip yöntemi ile udp trafiğin iletilmesi gecikmenin önemli olduğu durumlarda kötü sonuç vermektedir. Şekil 5.30' de ise HA' ın gittiği mesafe ile o anda aldığı paketlerin gecikmesi arasındaki ilişki gösterilmektedir. Gecikme tünelleme olduğunda maksimum 0.012 saniye, ortalama olarak ise 0,01 saniye; tünelleme olmadığında maksimum 0.008 saniye, ortalama olarak ise 0,006 saniyedir.

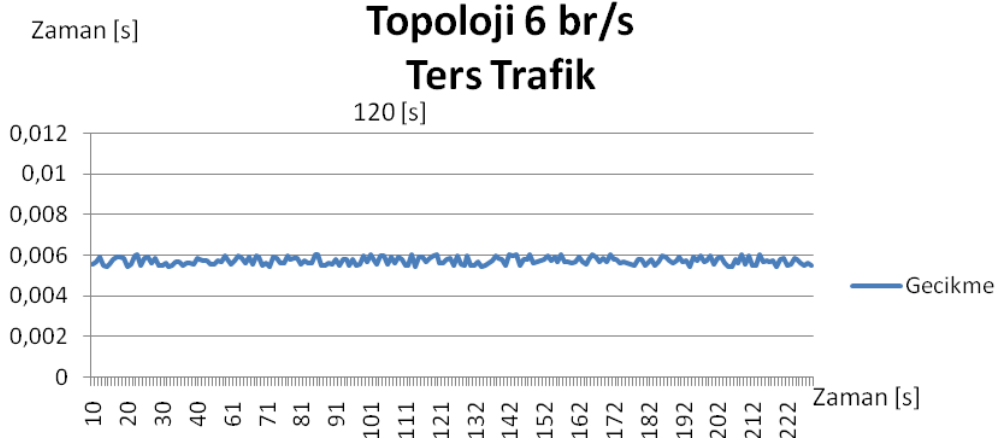


Şekil 5.29 : UDP Trafik Topoloji 1'de 6 br/s Hız ile Zamana Göre Paket Gecikmesi



Şekil 5.30 : UDP Trafik Topoloji 1'de 6 br/s Hız ile Konuma Göre Paket Gecikmesi

Şekil 5.31 ise trafik MH' dan W(0)' a akmaktadır. Gecikme ortalama olarak 0,006 saniyedir. MH HA' ın kapsama alanındayken trafikte oluşan paketler MH' dan HA' a, buradan 1' e, buradan da 0' a geçmektedir. MH FA' ın kapsama alanındayken trafikte oluşan paketler MH' dan FA' a, buradan 1' e, buradan da 0' a geçmektedir.

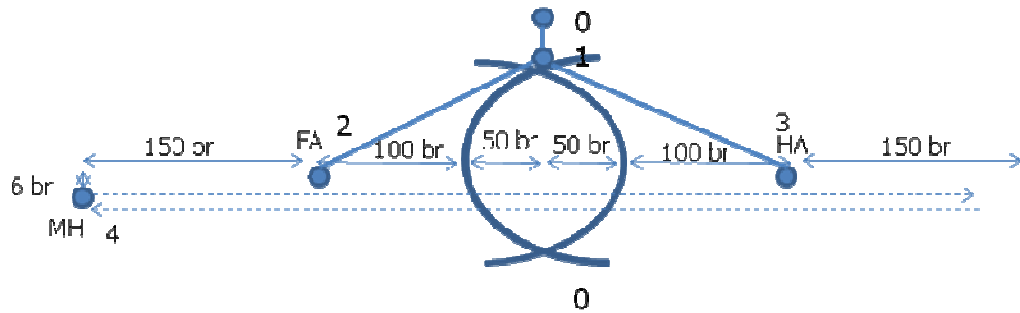


Şekil 5.31 : UDP Ters Trafik Topoloji 1' de 6 br/s Hız ile Konuma Göre Paket Gecikmesi

5.6.7 HA VE FA Yer Değiştirdiğinde MH' un 2 br/s Hız ile Hareket Ettiği

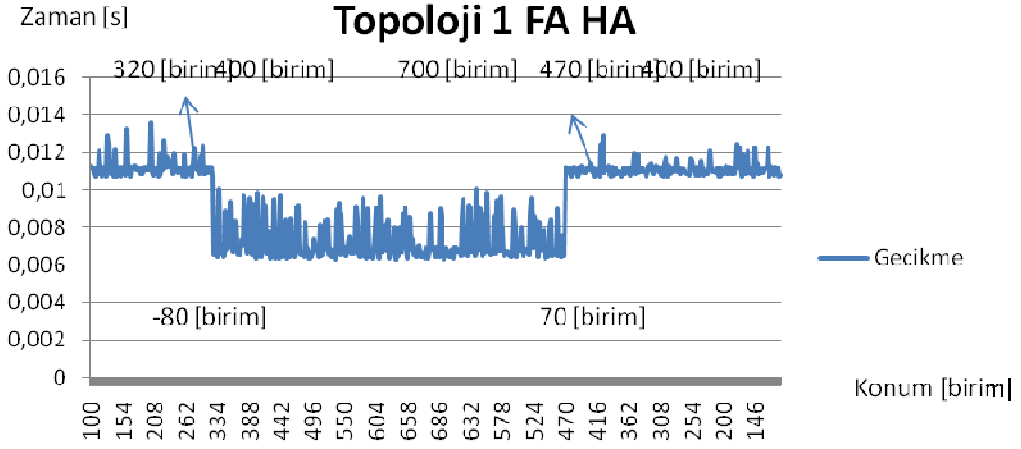
Durum

Aşağıda Şekil 5.32' de görülen topoloji ns 2.29 da gerçekleşmiştir. Önceki topolojilerden farkı HA ve FA' ın yer değiştirmiş olmasıdır.



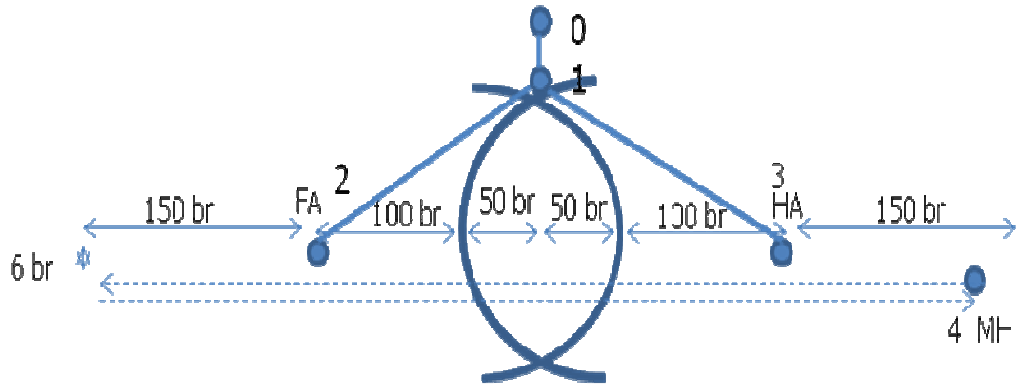
Şekil 5.32 : UDP Trafikte HA ve FA Yer Değiştirdiğinde MH 2 br/s Hız ile Hareket Halinde

Şekil 5.33' deki gecikme grafiği incelendiğinde başlangıçta MH FA' dan sinyal aldığı için kaynak 0' dan çıkan paketlerin HA üzerinden MH' a ulaştığı görülmektedir. 320 birime kadar tünelleme vardır, dönüşte 470 birimden sonra tekrar tünelleme başlamıştır.



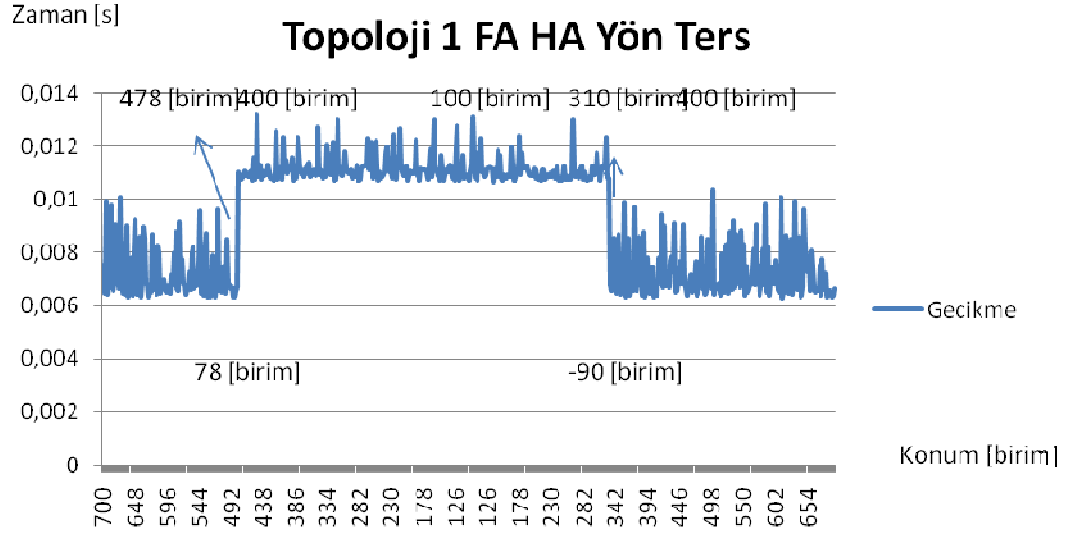
Şekil 5.33 : UDP Trafik HA, FA Yer Değiştirdiğinde 2 br/s Hız Konuma Göre Paket Gecikmesi

Aşağıda Şekil 5.34’ de görülen topoloji ns 2.29 da gerçekleşmiştir. Önceki topolojilerden farkı HA ve FA’ ın yer değiştirmiş olması ve MH’ un başlangıç konumudur.



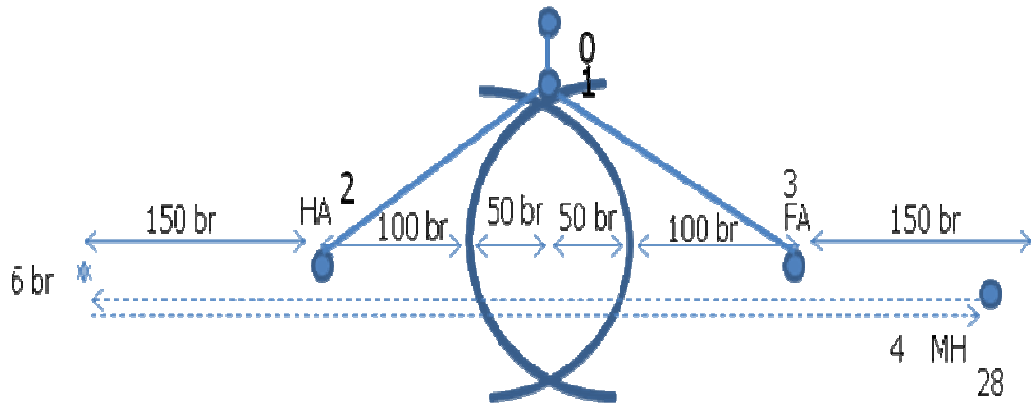
Şekil 5.34 : UDP Trafik HA, FA Yer Değiştirdiğinde MH 2 br/s Hızda Ters Yönde Harekette

Şekil 5.35’ deki gecikme grafiği incelendiğinde başlangıçta MH HA’ dan sinyal aldığı için kaynak 0’ dan çıkan paketlerin direkt MH’ a ulaştığı görülmektedir. Fakat MH FA’ a yaklaştıktan sonra paketlerin HA üzerinden MH’ a ulaştığı görülmektedir. 478 birim ile dönüşteki 310 birime kadar tünelleme vardır.



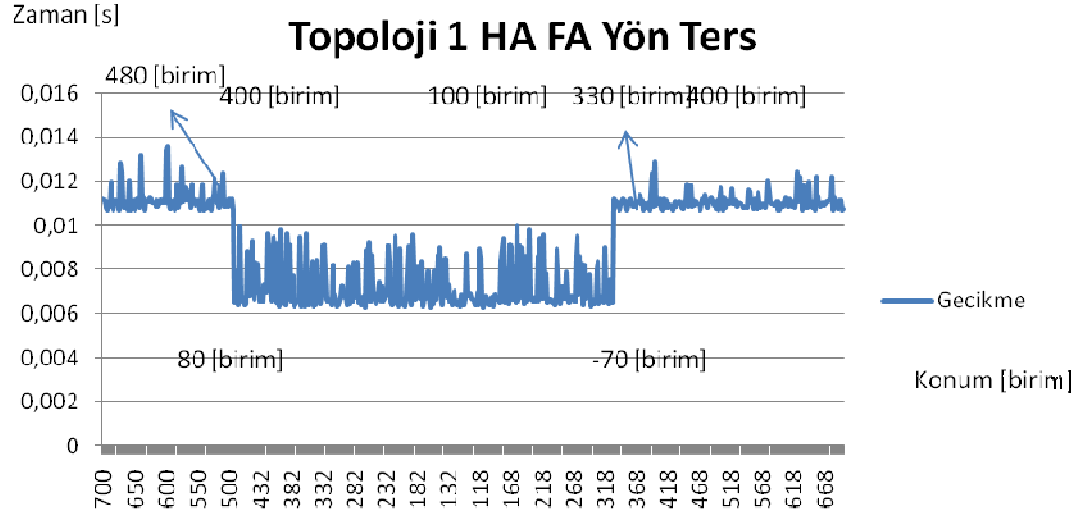
Şekil 5.35 : UDP Trafik HA, FA Yer Değiştirdiğinde MH 2 br/s Hızda Tersde Paket Gecikmesi

Aşağıda Şekil 5.36’ da görülen topoloji ns 2.29 da gerçekleşmiştir. Önceki topolojilerden farkı MH’ un harekete başlangıç konumudur.



Şekil 5.36 : UDP Trafikte MH 2 br/s Hız ile Ters Yönde Hareket Halinde

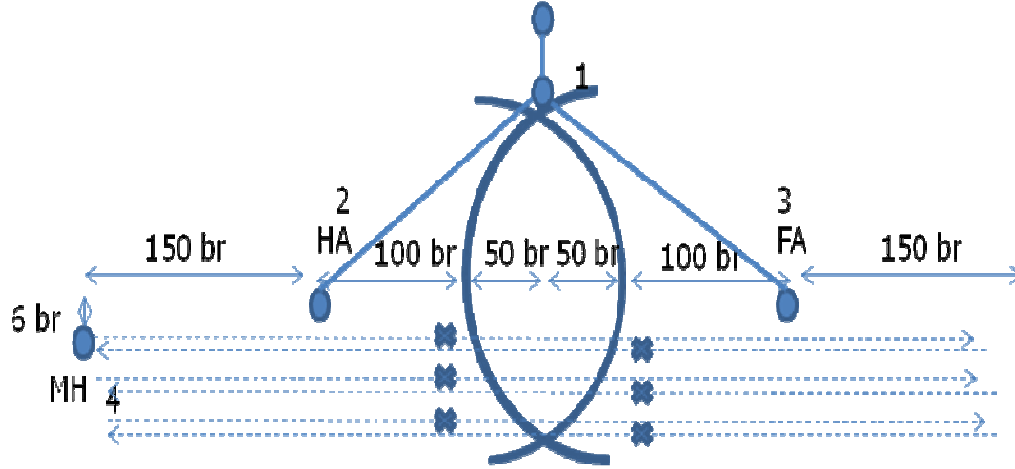
Şekil 5.37’ deki gecikme grafiği incelendiğinde başlangıçta MH FA’ dan sinyal aldığı için kaynak 0’ dan çıkan paketlerin HA üzerinden MH’ a ulaştığı görülmektedir. 480 birime kadar tünelleme vardır, dönüşte 330 birimden sonra tekrar tünelleme başlamıştır.



Şekil 5.37 : UDP Trafik 2 br/s Hız ile Ters Yönde Harekette Paket Gecikmesi

5.6.8. MH' un UDP Trafikte Birden Fazla Gidip Geldiği Durum

Aşağıda Şekil 5.38' de görülen topoloji ns 2.29 da gerçekleşmiştir. MH' un 3 kere gidip geldiği durum ve el değiştirme yaptığı konumlar incelenmiştir.

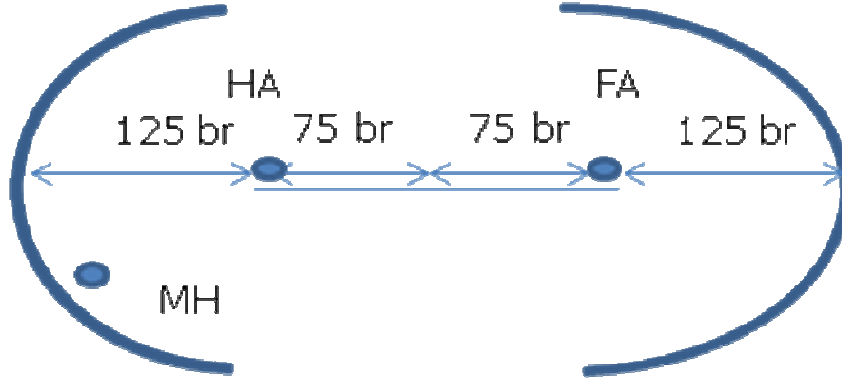


Şekil 5.38 : UDP Trafikte MH 2 br/s Hız ile Hareket Halinde Birden Fazla Gidip Gelme

Gidişlerde HA' ın FA' a geçişi orta noktaya (400 birime) 104 ile 88 birim uzaklıkta gerçekleşmektedir. Dönüşlerde ise HA' a geçiş orta noktaya (400 birime) 106 ile 96 birim uzaklıkta gerçekleşmektedir.

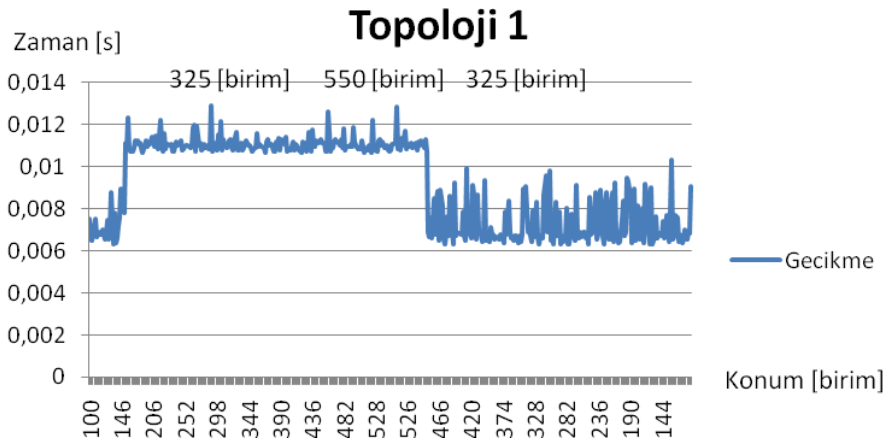
5.6.9. UDP Trafikte HA ve FA Arası Uzaklık Değişimi

Aşağıda Şekil 5.39’ da görülen topoloji ns 2.29 da gerçekleşmiştir. Önceki topolojilerden farkı HA ve FA’ ın birbirine yaklaşmış olmasıdır. MH hareket ettiği bölge içinde aslında hem HA’ dan hem de FA’ dan sinyal alabilmektedir.



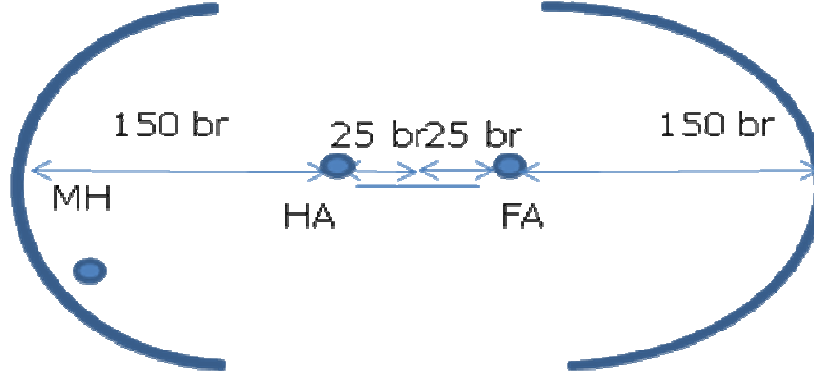
Şekil 5.39 : UDP Trafikte HA, FA Yakınlaştırıldığında MH 2 br/s Hız ile Hareket Halinde

Şekil 5.40’den MH’ un FA’ dan sinyal alır almaz FA’ a bağlandığı görülmektedir.



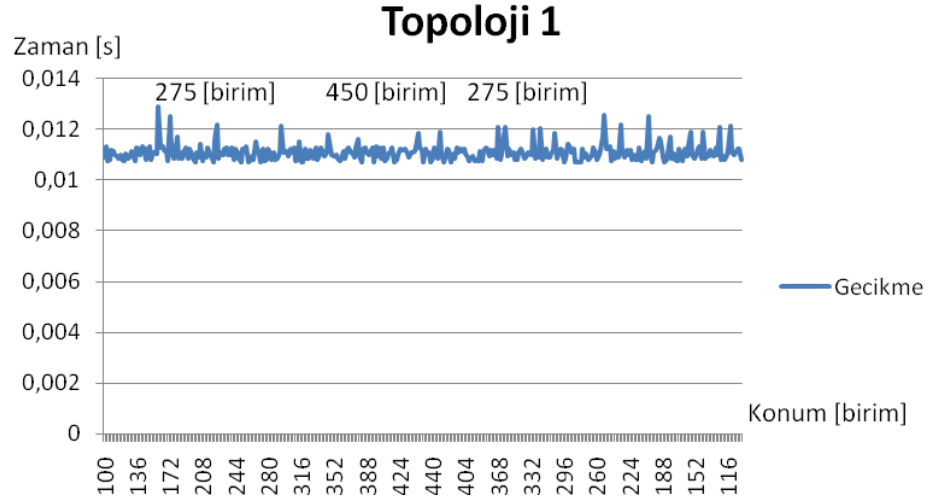
Şekil 5.40 : UDP Trafik HA, FA Yakınlaştırıldığında 2 br/s Hız ile Harekette Paket Gecikmesi

Aşağıda Şekil 5.41’ da görülen topoloji ns 2.29 da gerçekleşmiştir. Önceki topolojilerden farkı HA ve FA’ ın birbirine yaklaşmış olmasıdır. MH hareket ettiği bölge içinde aslında hem HA’ dan hem de FA’ dan sinyal alabilmektedir. Bu durumda hep FA üzerinden trafik akışı olduğu gözlemlenmiştir.



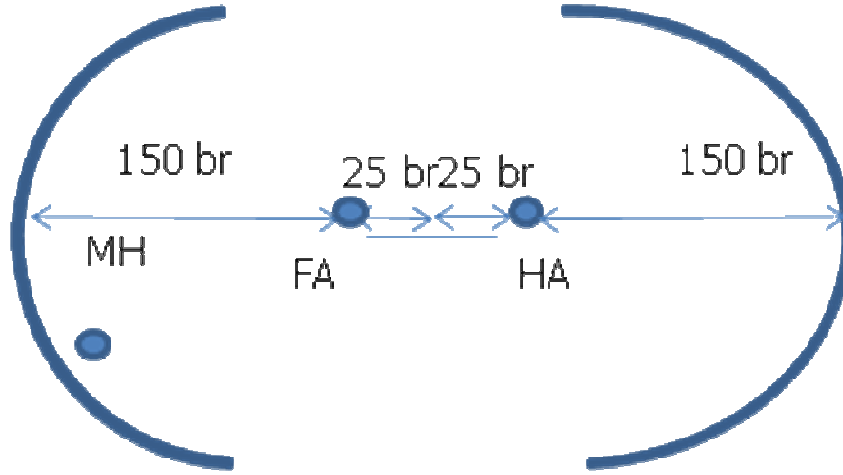
Şekil 5.41 : UDP Trafikte HA, FA Çok Yakınlaştırıldığında MH 2 br/s Hız ile Hareket Halinde

Şekil 5.42'den MH' un FA' dan sinyal alır almaz FA' a bağlandığı görülmektedir.



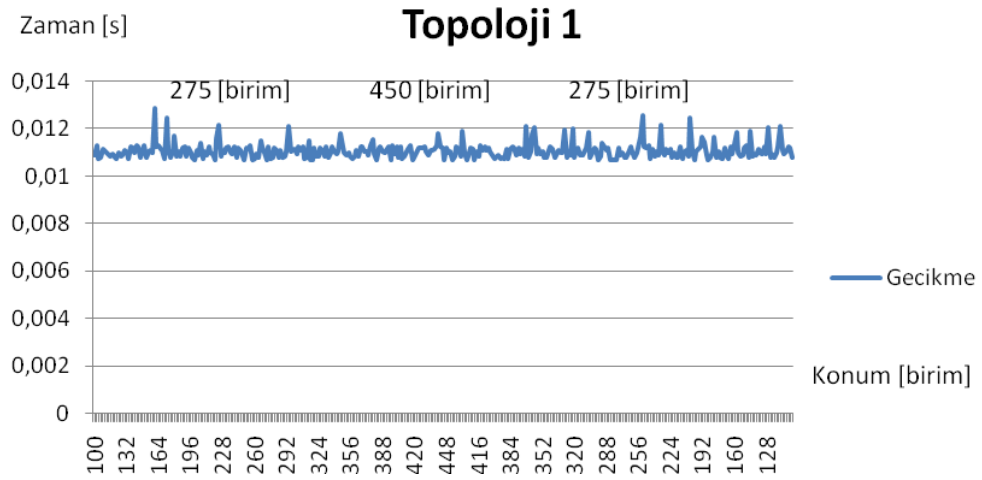
Şekil 5.42 : UDP Trafik HA, FA Çok Yakınlaştığında 2 br/s Hız ile Harekette Paket Gecikmesi

Aşağıda Şekil 5.43' da görülen topoloji ns 2.29 da gerçekleşmiştir. Önceki topolojilerden farkı HA ve FA' ın birbirine yaklaşmış olması ve FA ve HA' ın yer değiştirmiş olmasıdır. MH hareket ettiği bölge içinde aslında hem HA' dan hem de FA' dan sinyal alabilmektedir. Bu durumda hep FA üzerinden trafik akışı olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 5.43: UDP Trafikte HA ve FA Yer Değiştirdiğinde MH 2 br/s Hız ile Harekette

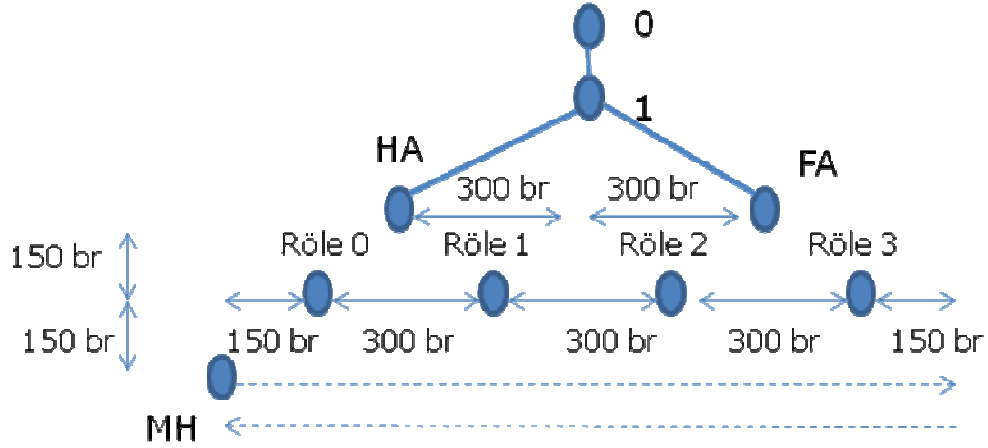
Şekil 5.44'dan MH' un FA' dan sinyal alır almaz FA' a bağlandığı görülmektedir.



Şekil 5.44 : UDP Trafik HA ve FA Yer Değiştirdiğinde 2 br/s Hızda Paket Gecikmesi

5.7. UDP Trafikte Topoloji 2

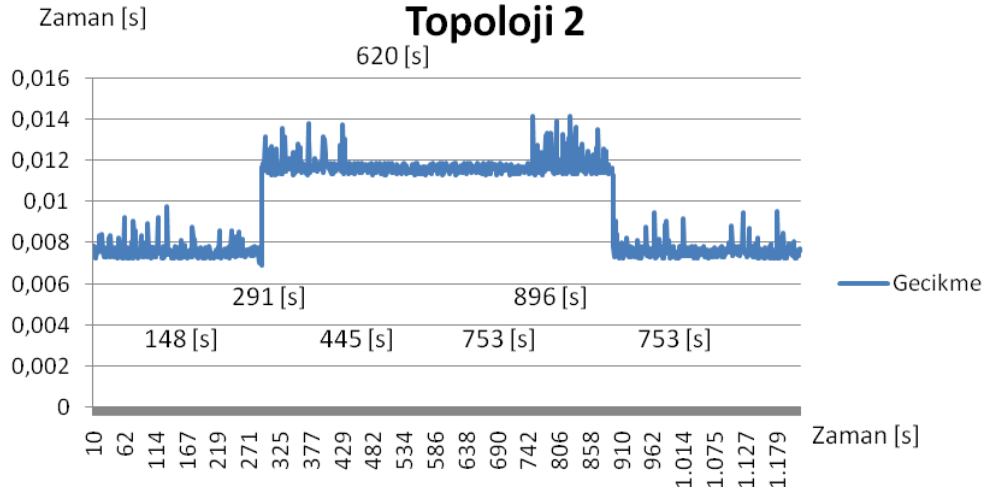
Aşağıda Şekil 5.45’ de görülen topoloji ns 2.29 da gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.45 : UDP Trafikte Topoloji 2’ de Mobil IP Simülasyonu

MH 2 br/s hız ile FA doğru hareket etmektedir, 620. Saniyede MH ters yöne harekete başlamıştır. W(0), HA ve FA birbirine telli bağlantı ile bağlıdır. W(0) ve MH arasında bir UDP trafik kurulmuştur, trafik W(0)’ dan MH’ a akmaktadır. 10. Saniyede MH hedeflediği konuma doğru hareket etmektedir ve 620. Saniyede ise MH hedeflediği konumdan geri dönmektedir. MH’ ın hareket etmesi ile bilgi akışının gecikmesi arasındaki ilişki incelenmektedir. Gecikme paketin varışa ulaşma zamanı ile paketin yaratılma zamanı arasındaki farktır.

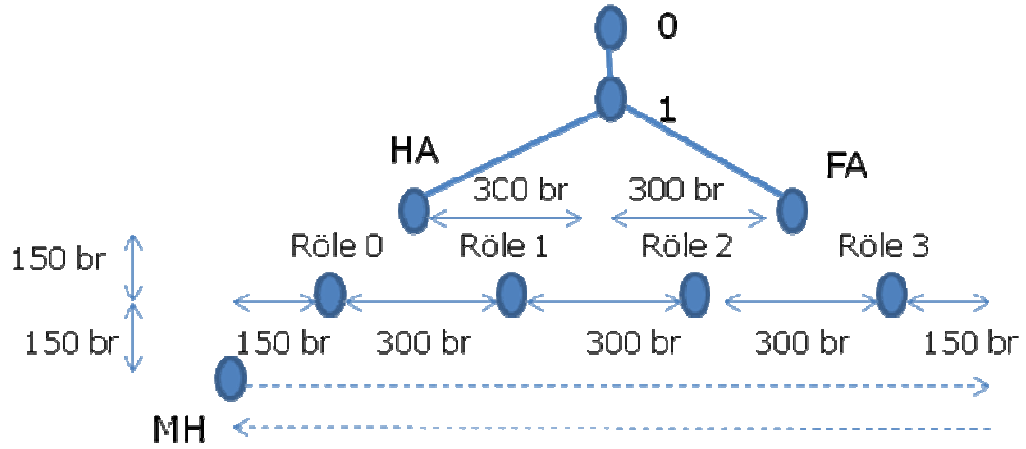
Şekil 5.46’ daki grafikten görüldüğü üzere paketlerin ulaşmasındaki gecikmeler farklılık tünellemenin fark edilebileceği şekilde düzenlidir. 291. Saniyede tünelleme vardır, 896. saniyede ise bu tünelleme ortadan kalkmıştır. Şekil 5.46’ da tünelleme gecikmenin fazlalaşması ile fark edilmektedir. Gecikme tünellemenin olduğu durumlarda 0,012 saniyeye kadar çıkmaktadır. El değiştirmenin olduğu durumları incelemek için UDP CBR trafik uygun bir trafiktir.



Şekil 5.46 : UDP Trafikte Topoloji 1' de Paket Gecikme Zamanı

5.7.1. MH' un 0,5 br/s Hız ile Hedef Konuma Hareket Ettiği Durum

Aşağıda Şekil 5.47' de görülen topoloji ns 2.29 da gerçekleşmiştir.

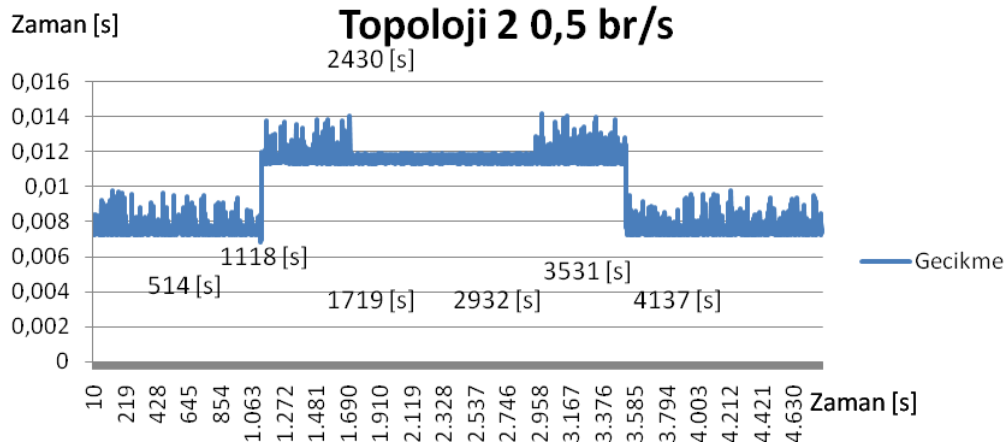


Şekil 5.47 : UDP Trafikte MH 0,5 br/s Hız ile Hareket Halinde Topoloji 2

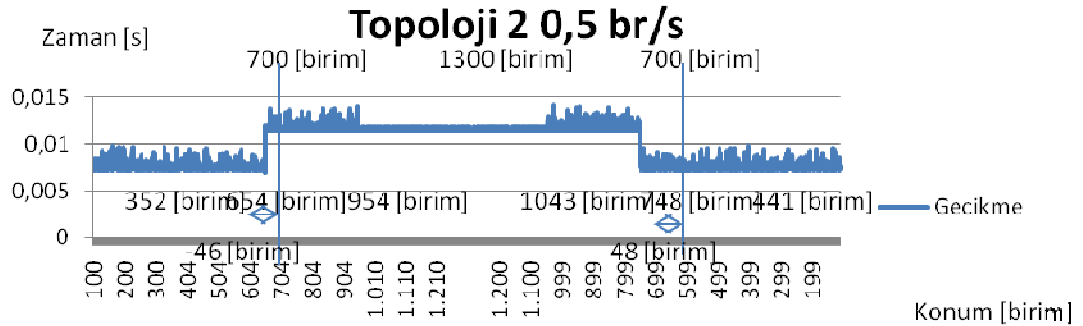
MH 0,5 br/s hız ile FA doğru hareket etmektedir. W(0), HA ve FA birbirine telli bağlantı ile bağlıdır. W(0) ve MH arasında bir UDP trafik kurulmuştur, trafik W(0)' dan MH' a akmaktadır ve 10. Saniyede başlamıştır. 10. Saniyede MH hedeflediği konuma doğru hareket etmektedir ve 2430. Saniyede ise MH hedeflediği konumdan geri dönmektedir.

MH' ın hareket etmesi ile bilgi akışının gecikmesi arasındaki ilişki incelenmektedir. Simülasyonda 118. saniyeden itibaren tünelleme yapılmaktadır. 3531. Saniyeden

itibaren tünelleme ortadan kalkmaktadır. Tünelleme yapılması ile gecikmenin de arttığı görülmektedir. Çünkü MH' a gönderilen paketler önce HA' a gelmektedir, buradan FA' a yönlendirilmektedir. Şekil 5.48' deki zamana karşı gecikmenin incelendiği grafikten de anlaşılabacağı gibi mobil ip yöntemi ile udp trafiğin iletilmesi gecikmenin önemli olduğu durumlarda kötü sonuç vermektedir. Şekil 5.49' de ise HA' ın gittiği mesafe ile o anda aldığı paketlerin gecikmesi arasındaki ilişki gösterilmektedir. Gecikme tünelleme olduğunda maksimum 0.014 saniye, ortalama olarak ise 0,012 saniye; tünelleme olmadığında maksimum 0.01 saniye, ortalama olarak ise 0,008 saniyedir. Burada gecikmenin topoloji 1' deki gecikmeden daha fazla olduğu görülmektedir.

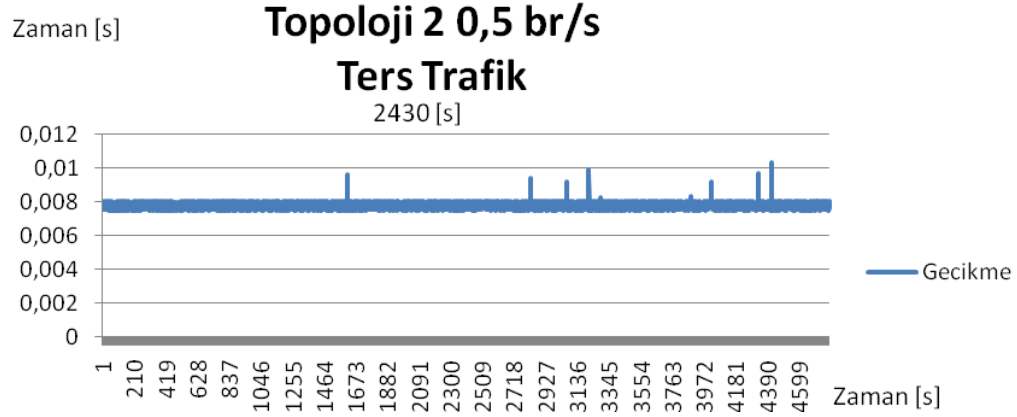


Şekil 5.48 : UDP Trafik Topoloji 2' de 0,5 br/s Hız ile Zamana Göre Paket Gecikmesi



Şekil 5.49 : UDP Trafik Topoloji 2' de 0,5 br/s Hız ile Konuma Göre Paket Gecikmesi

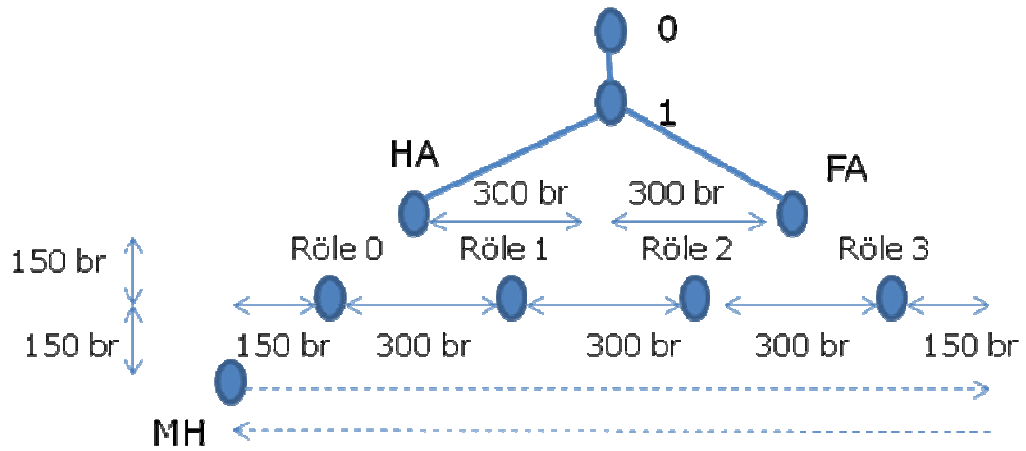
Şekil 5.50 ise trafik MH' dan W(0)' a akmaktadır. Gecikme ortalama olarak 0,008 saniyedir. MH HA' ın kapsama alanındayken trafikte oluşan paketler MH' dan HA' a, buradan 1' e, buradan da 0' a geçmektedir. MH FA' ın kapsama alanındayken trafikte oluşan paketler MH' dan FA' a, buradan 1' e, buradan da 0' a geçmektedir.



Şekil 5.50 : UDP Ters Trafik Topoloji 2’de 0,5 br/s Hız ile Zamana Göre Paket Gecikmesi

5.7.2. MH’ un 1 br/s Hız ile Hedef Konuma Hareket Ettiği Durum

Aşağıda Şekil 5.51’ de görülen topoloji ns 2.29 da gerçekleşmiştir.

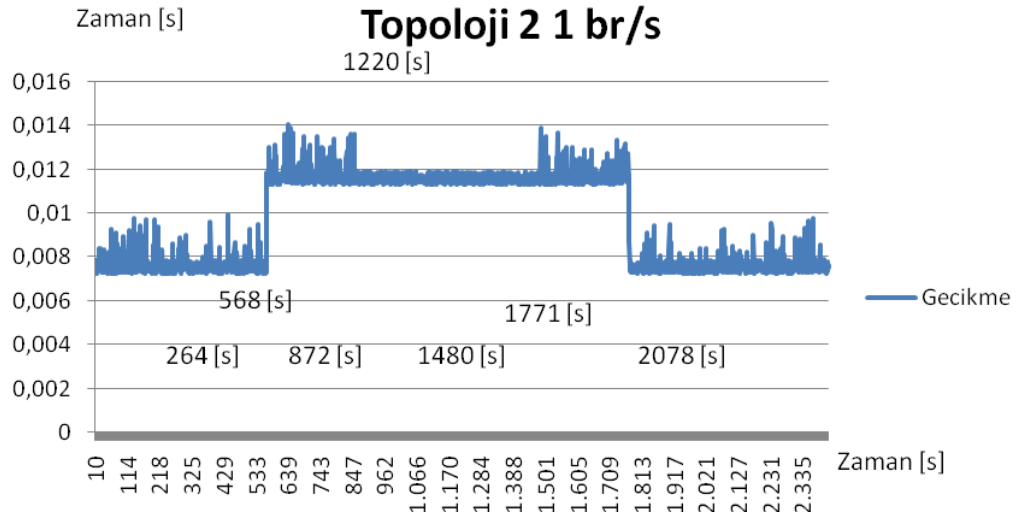


Şekil 5.51 : UDP Trafikte MH 1 br/s Hız ile Hareket Halinde Topoloji 2

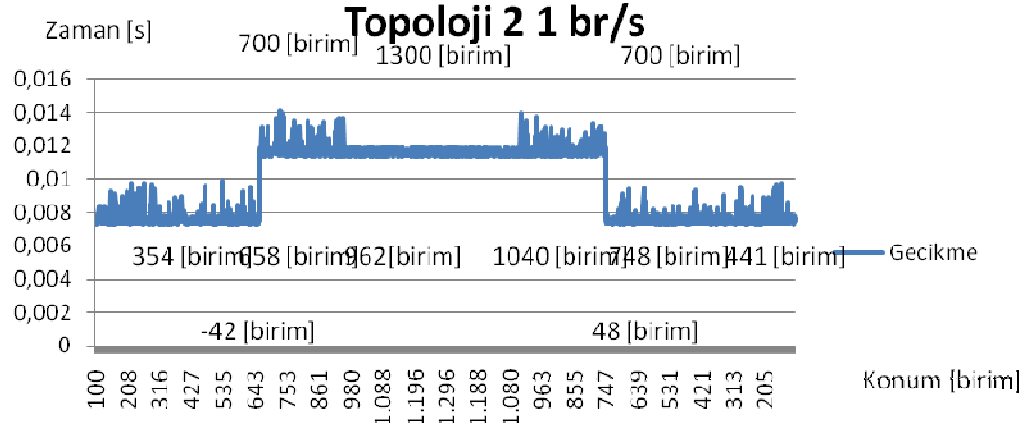
MH 1 br/s hız ile FA doğru hareket etmektedir. W(0), HA ve FA birbirine telli bağlantı ile bağlıdır. W(0) ve MH arasında bir UDP trafik kurulmuştur, trafik W(0)’

dan MH' a akmaktadır ve 10. Saniyede başlamıştır. 10. Saniyede MH hedeflediği konuma doğru hareket etmektedir ve 1220. Saniyede ise MH hedeflediği konumdan geri dönmektedir.

MH' ın hareket etmesi ile bilgi akışının gecikmesi arasındaki ilişki incelenmektedir. Simülasyonda 568. saniyeden itibaren tünelleme yapılmaktadır. 1771. Saniyeden itibaren tünelleme ortadan kalkmaktadır. Tünelleme yapılması ile gecikmenin de arttığı görülmektedir. Çünkü MH' a gönderilen paketler önce HA' a gelmektedir, buradan FA' a yönlendirilmektedir. Şekil 5.52' deki zamana karşı gecikmenin incelendiği grafikten de anlaşılabileceği gibi mobil ip yöntemi ile udp trafiğin iletilmesi gecikmenin önemli olduğu durumlarda kötü sonuç vermektedir. Şekil 5.53' de ise HA' ın gittiği mesafe ile o anda aldığı paketlerin gecikmesi arasındaki ilişki gösterilmektedir. Gecikme tünelleme olduğunda maksimum 0.014 saniye, ortalama olarak ise 0,012 saniye; tünelleme olmadığında maksimum 0.01 saniye, ortalama olarak ise 0,008 saniyedir. Burada gecikmenin topoloji 1' deki gecikmeden daha fazla olduğu görülmektedir.

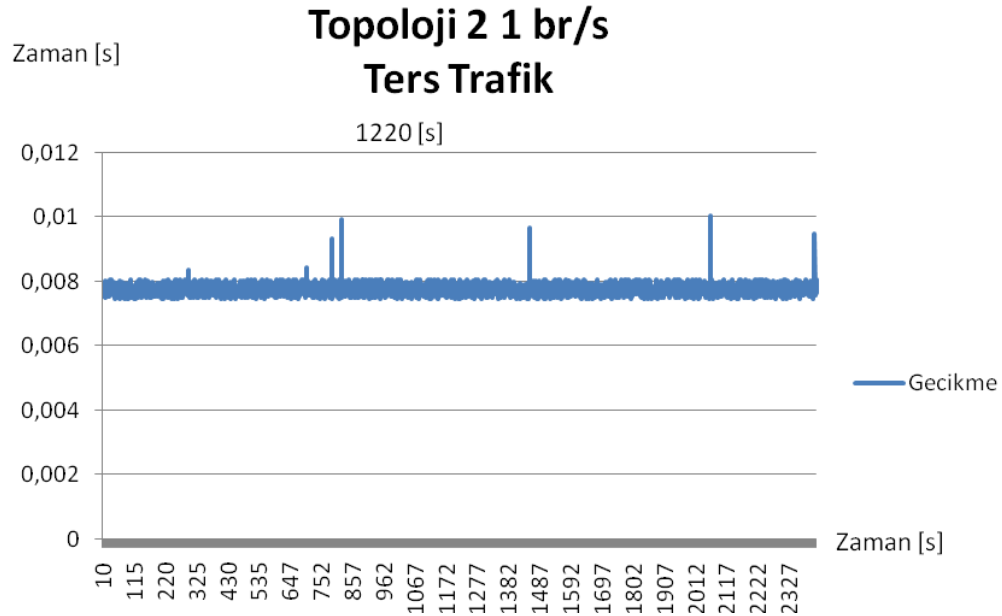


Şekil 5.52 : UDP Trafik Topoloji 2’de 1 br/s Hız ile Zamana Göre Paket Gecikmesi



Şekil 5.53 : UDP Trafik Topoloji 2’de 1 br/s Hız ile Konuma Göre Paket Gecikmesi

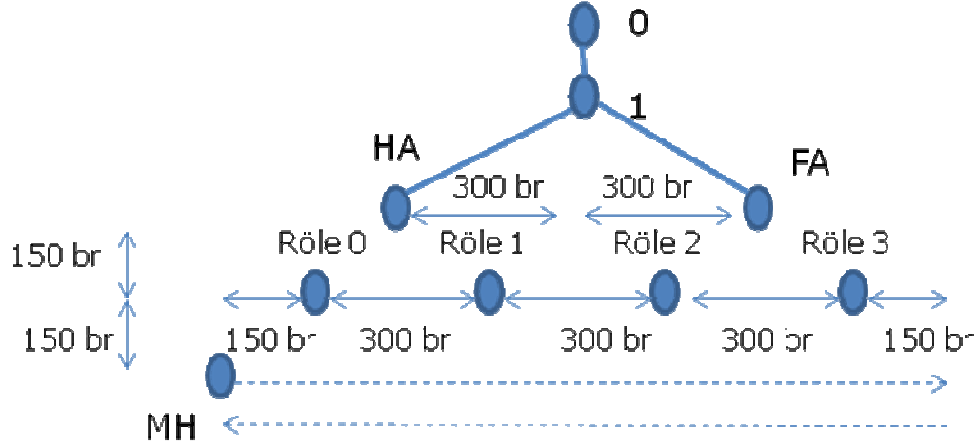
Şekil 5.54 ise trafik MH’ dan W(0)’ a akmaktadır. Gecikme ortalama olarak 0,008 saniyedir. MH HA’ ın kapsama alanındayken trafikte oluşan paketler MH’ dan HA’ a, buradan 1’ e, buradan da 0’ a geçmektedir. MH FA’ ın kapsama alanındayken trafikte oluşan paketler MH’ dan FA’ a, buradan 1’ e, buradan da 0’ a geçmektedir.



Şekil 5.54 : UDP Ters Trafik Topoloji 2’de 1 br/s Hız ile Zamana Göre Paket Gecikmesi

5.7.3. MH' un 2 br/s Hız ile Hedef Konuma Hareket Ettiği Durum

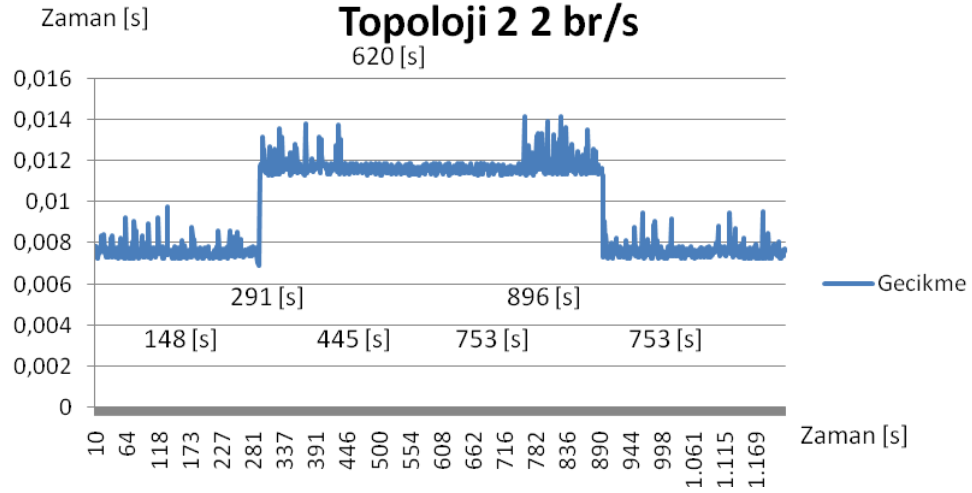
Aşağıda Şekil 5.55' de görülen topoloji ns 2.29 da gerçekleşmiştir.



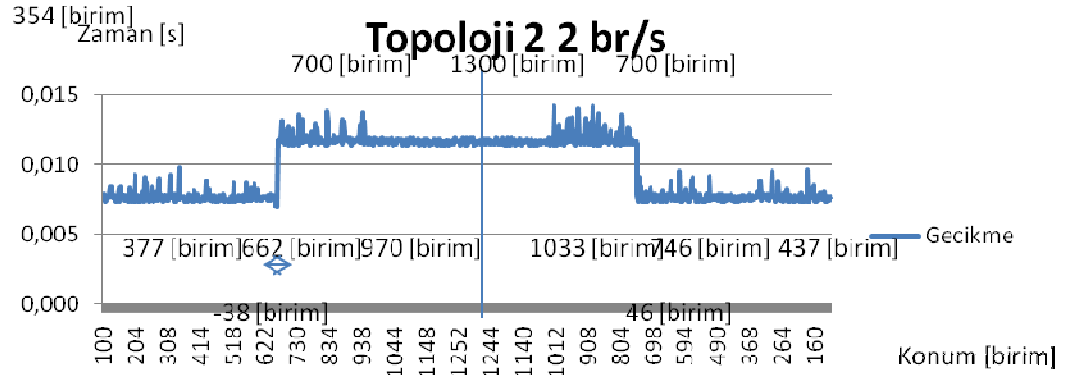
Şekil 5.55 : UDP Trafikte MH 2 br/s Hız ile Hareket Halinde Topoloji 2

MH 2 br/s hız ile FA doğru hareket etmektedir. W(0), HA ve FA birbirine telli bağlantı ile bağlıdır. W(0) ve MH arasında bir UDP trafik kurulmuştur, trafik W(0)' dan MH' a akmaktadır ve 10. Saniyede başlamıştır. 10. Saniyede MH hedeflediği konuma doğru hareket etmektedir ve 1220. Saniyede ise MH hedeflediği konumdan geri dönmektedir.

MH' ın hareket etmesi ile bilgi akışının gecikmesi arasındaki ilişki incelenmektedir. Simülasyonda 291. saniyeden itibaren tünelleme yapılmaktadır. 896. Saniyeden itibaren tünelleme ortadan kalkmaktadır. Tünelleme yapılması ile gecikmenin de arttığı görülmektedir. Çünkü MH' a gönderilen paketler önce HA' a gelmektedir, buradan FA' a yönlendirilmektedir. Şekil 5.56' deki zamana karşı gecikmenin incelendiği grafikten de anlaşılabileceği gibi mobil ip yöntemi ile udp trafiğin iletilmesi gecikmenin önemli olduğu durumlarda kötü sonuç vermektedir. Şekil 5.57' de ise HA' ın gittiği mesafe ile o anda aldığı paketlerin gecikmesi arasındaki ilişki gösterilmektedir. Gecikme tünelleme olduğunda maksimum 0.014 saniye, ortalama olarak ise 0,012 saniye; tünelleme olmadığında maksimum 0.01 saniye, ortalama olarak ise 0,008 saniyedir. Burada gecikmenin topoloji 1' deki gecikmeden daha fazla olduğu görülmektedir.

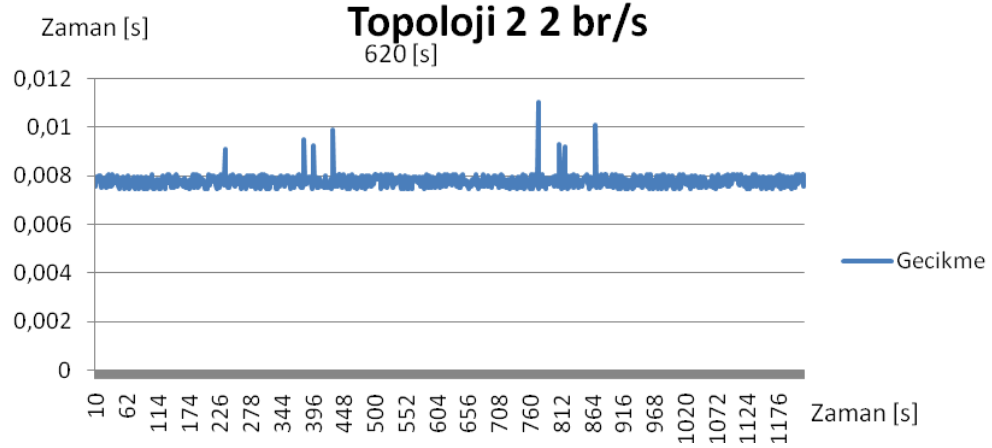


Şekil 5.56 : UDP Trafik Topoloji 2' de 2 br/s Hız ile Zamana Göre Paket Gecikmesi



Şekil 5.57 : UDP Trafik Topoloji 2' de 2 br/s Hız ile Konuma Göre Paket Gecikmesi

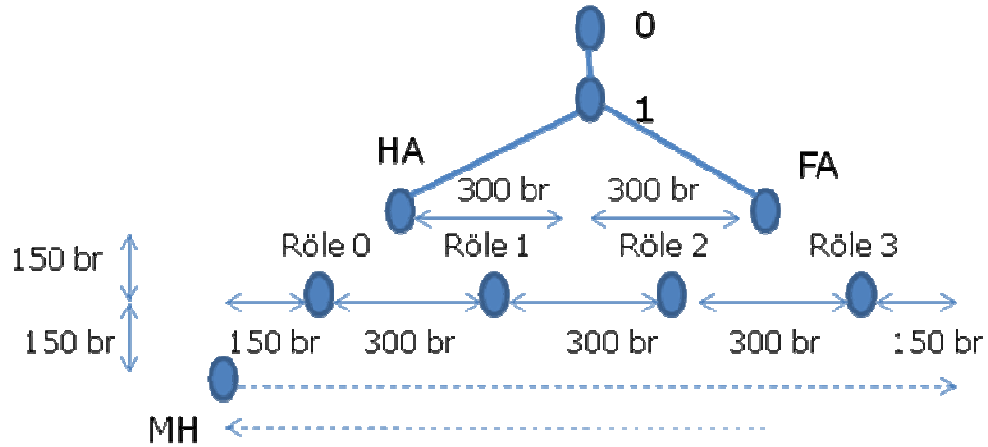
Şekil 5.58 ise trafik MH' dan W(0)' a akmaktadır. Gecikme ortalama olarak 0,008 saniyedir. MH HA' ın kapsama alanındayken trafikte oluşan paketler MH' dan HA' a, buradan 1' e, buradan da 0' a geçmektedir. MH FA' ın kapsama alanındayken trafikte oluşan paketler MH' dan FA' a, buradan 1' e, buradan da 0' a geçmektedir.



Şekil 5.58 : UDP Ters Trafik Topoloji 2’de 2 br/s Hız ile Zamana Göre Paket Gecikmesi

5.7.4. MH’ un 4 br/s Hız ile Hedef Konuma Hareket Ettiği Durum

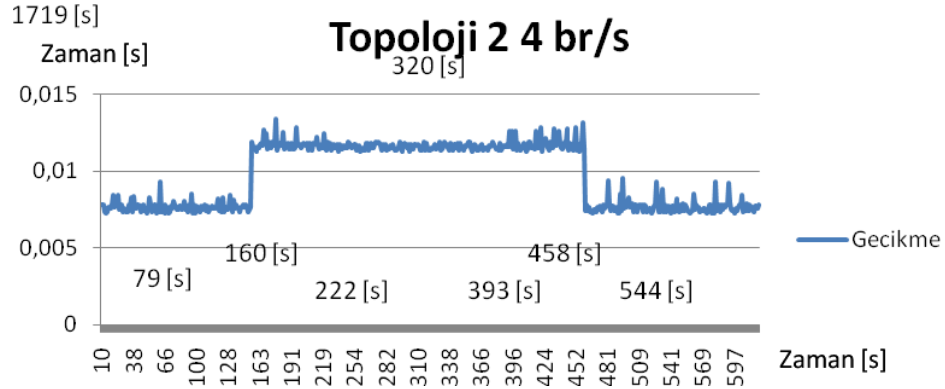
Aşağıda Şekil 5.69’ de görülen topoloji ns 2.29 da gerçekleşmiştir.



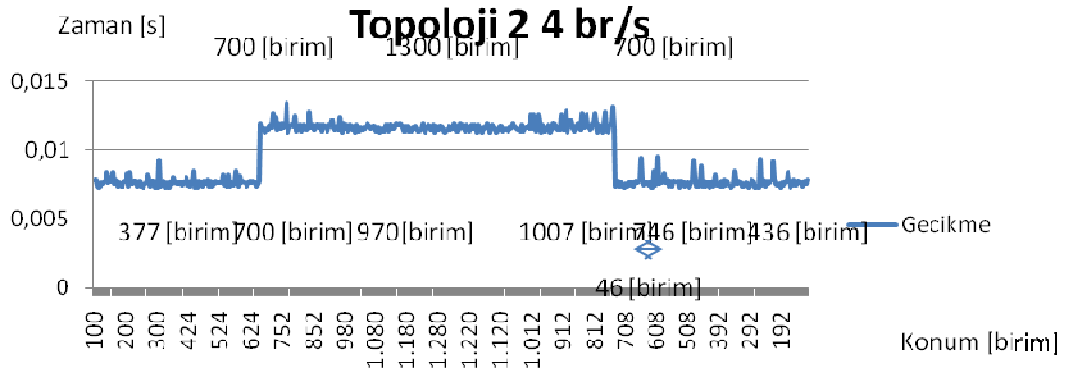
Şekil 5.59 : UDP Trafikte MH 4 br/s Hız ile Hareket Halinde Topoloji 2

MH 4 br/s hız ile FA doğru hareket etmektedir. W(0), HA ve FA birbirine telli bağlantı ile bağlıdır. W(0) ve MH arasında bir UDP trafik kurulmuştur, trafik W(0)’ dan MH’ a akmaktadır ve 10. Saniyede başlamıştır. 10. Saniyede MH hedeflediği konuma doğru hareket etmektedir ve 320. Saniyede ise MH hedeflediği konumdan geri dönmektedir.

MH' in hareket etmesi ile bilgi akışının gecikmesi arasındaki ilişki incelenmektedir. Simülasyonda 160. saniyeden itibaren tünelleme yapılmaktadır. 458. Saniyeden itibaren tünelleme ortadan kalkmaktadır. Tünelleme yapılması ile gecikmenin de arttığı görülmektedir. Çünkü MH' a gönderilen paketler önce HA' a gelmektedir, buradan FA' a yönlendirilmektedir. Şekil 5.60' deki zamana karşı gecikmenin incelendiği grafikten de anlaşılabileceği gibi mobil ip yöntemi ile udp trafiğin iletilmesi gecikmenin önemli olduğu durumlarda kötü sonuç vermektedir. Şekil 5.61' de ise HA' ın gittiği mesafe ile o anda aldığı paketlerin gecikmesi arasındaki ilişki gösterilmektedir. Gecikme tünelleme olduğunda maksimum 0.014 saniye, ortalama olarak ise 0,012 saniye; tünelleme olmadığında maksimum 0.01 saniye, ortalama olarak ise 0,008 saniyedir. Burada gecikmenin topoloji 1' deki gecikmeden daha fazla olduğu görülmektedir.

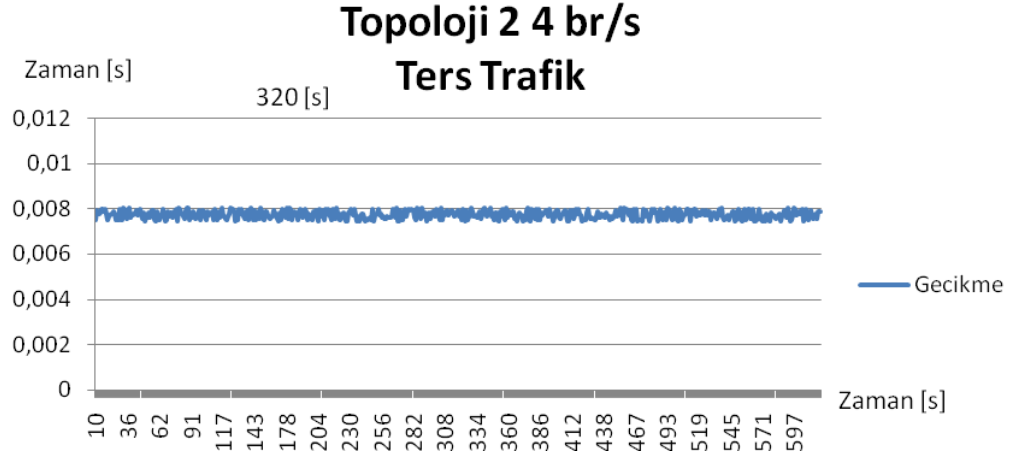


Şekil 5.60 : UDP Trafik Topoloji 2' de 4 br/s Hız ile Zamana Göre Paket Gecikmesi



Şekil 5.61 : UDP Trafik Topoloji 2' de 4 br/s Hız ile Konuma Göre Paket Gecikmesi

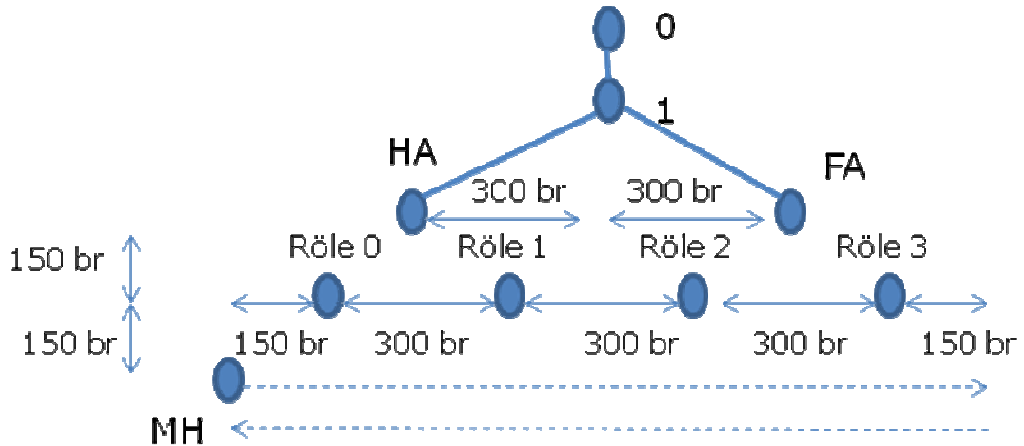
Şekil 5.64 ise trafik MH' dan W(0)' a akmaktadır. Gecikme ortalama olarak 0,008 saniyedir. MH HA' ın kapsama alanındayken trafikte oluşan paketler MH' dan HA' a, buradan 1' e, buradan da 0' a geçmektedir. MH FA' ın kapsama alanındayken trafikte oluşan paketler MH' dan FA' a, buradan 1' e, buradan da 0' a geçmektedir.



Şekil 5.62 : UDP Ters Trafik Topoloji 2'de 4 br/s Hız ile Zamana Göre Paket Gecikmesi

5.7.5. MH' un 6 br/s Hız ile Hedef Konuma Hareket Ettiği Durum

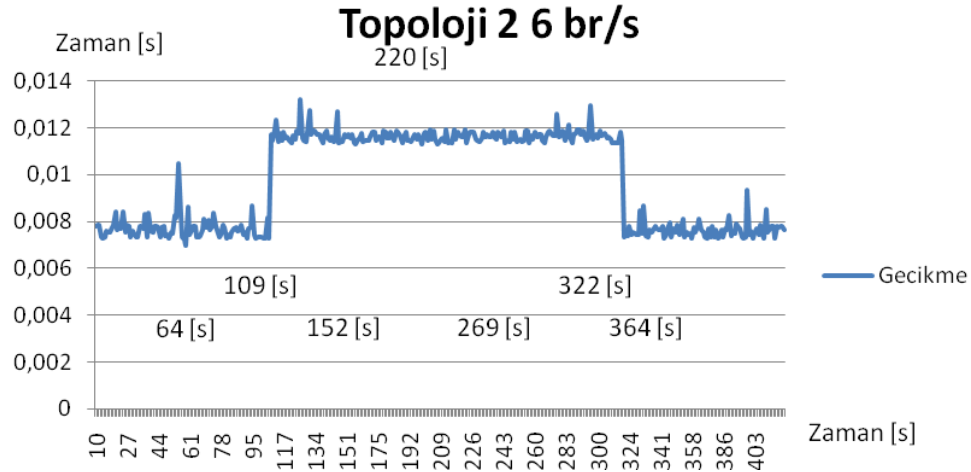
Aşağıda Şekil 5.63' de görülen topoloji ns 2.29 da gerçekleşmiştir.



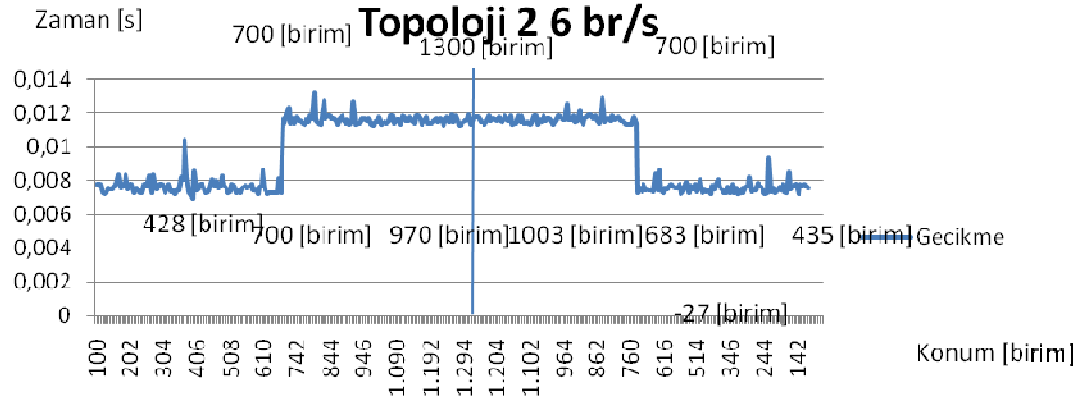
Şekil 5.63 : UDP Trafikte MH 6 br/s Hız ile Hareket Halinde Topoloji 2

MH 6 br/s hız ile FA doğru hareket etmektedir. W(0), HA ve FA birbirine telli bağlantı ile bağlıdır. W(0) ve MH arasında bir UDP trafik kurulmuştur, trafik W(0)' dan MH' a akmaktadır ve 10. Saniyede başlamıştır. 10. Saniyede MH hedeflediği konuma doğru hareket etmektedir ve 220. Saniyede ise MH hedeflediği konumdan geri dönmektedir.

MH' ın hareket etmesi ile bilgi akışının gecikmesi arasındaki ilişki incelenmektedir. Simülasyonda 109. saniyeden itibaren tünelleme yapılmaktadır. 322. Saniyeden itibaren tünelleme ortadan kalkmaktadır. Tünelleme yapılması ile gecikmenin de arttığı görülmektedir. Çünkü MH' a gönderilen paketler önce HA' a gelmektedir, buradan FA' a yönlendirilmektedir. Şekil 5.64' deki zamana karşı gecikmenin incelendiği grafikten de anlaşılacağı gibi mobil ip yöntemi ile udp trafiğin iletilmesi gecikmenin önemli olduğu durumlarda kötü sonuç vermektedir. Şekil 5.65' de ise HA' ın gittiği mesafe ile o anda aldığı paketlerin gecikmesi arasındaki ilişki gösterilmektedir. Gecikme tünelleme olduğunda maksimum 0.014 saniye, ortalama olarak ise 0,012 saniye; tünelleme olmadığında maksimum 0.01 saniye, ortalama olarak ise 0,008 saniyedir. Burada gecikmenin topoloji 1' deki gecikmeden daha fazla olduğu görülmektedir.

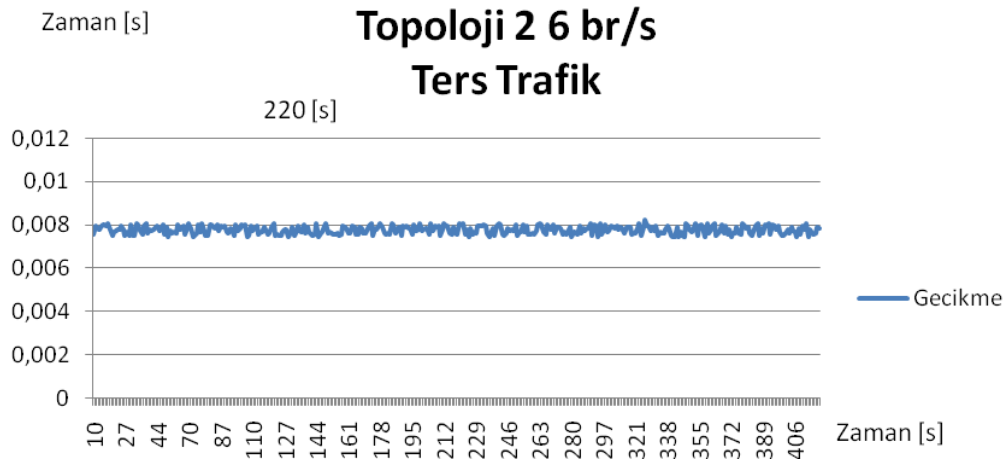


Şekil 5.64 : UDP Trafik Topoloji 2’de 6 br/s Hız ile Zamana Göre Paket Gecikmesi



Şekil 5.65 : UDP Trafik Topoloji 2’de 6 br/s Hız ile Konuma Göre Paket Gecikmesi

Şekil 5.66 ise trafik MH’ dan W(0)’ a akmaktadır. Gecikme ortalama olarak 0,008 saniyedir. MH HA’ ın kapsama alanındayken trafikte oluşan paketler MH’ dan HA’ a, buradan 1’ e, buradan da 0’ a geçmektedir. MH FA’ ın kapsama alanındayken trafikte oluşan paketler MH’ dan FA’ a, buradan 1’ e, buradan da 0’ a geçmektedir.



Şekil 5.66 : UDP Ters Trafik Topoloji 2’de 4 br/s Hız ile Zamana Göre Paket Gecikmesi

6. SONUÇ

Bu çalışmada internette mobillliği sağlamak amacıyla geliştirilmiş olan Mobile Internet Protocol (MIP) ele alınmıştır. Ancak hattaki gecikmeler ve IP ağlar arasında dolaşırken meydana gelebilecek paket kayıpları konusunda sorunsuz çalışmadığı görülmüştür. Bu problemleri mümkün olduğunca iyileştiren çözüm önerileri ele alınmıştır.

MIP simülasyonlarında FA' dan haberleşirken hareketli konağın daha fazla gecikme ile paket aldığı gözlemlenmiştir, simülasyonlarda bu gecikme 4 milisaniyedir. MIP kullanılıyor ise FA' üzerinden veri akışında gecikmenin fazla olacağı hesaplanmalıdır.

MIP ile yapılan simülasyonlarda HA' a bağlı iken HA' dan FA' a yaklaşırken hız arttıkça HA' ı geç bıraktığı, FA' a bağlı ise FA' dan HA' a yaklaşırken hız arttıkça FA' ı geç bıraktığı gözlemlenmiştir. FA' a bağlı olduğu sürece kaynaktan hareketli konağa iletilen verinin gecikmesinin arttığı gözlemlenmektedir. Fakat ters yönde bir trafikte gecikme gözlemlenmemektedir. Çift yönlü bir trafikte FA' dan haberleşirken verinin alınış ve gönderiliş hızının farklı olacağı hesaplanmalıdır. Hız arttıkça hareketli konağın FA' ı daha geç bıraktığı gözlemlenmiştir, bu durumda yüksek hızlarda FA' dan haberleşmenin konum olarak daha fazla olacağı göz önünde tutulmalıdır.

Kablosuz haberleşmede araya röleler ekleniyor ise gecikmenin artacağı göz önde tutulmalıdır, yapılan simülasyonlarda gecikme artışı 2 milisaniye olmuştur.

Telsiz elemanlar kendi kapsama alanlarına giren hareketli konaklara seslerini duyurabilmek için sürekli sinyal gönderirler. Hareketli konak bir FA' dan sinyal alırsa iletişim kurmak için sürekli sinyal gönderir. FA bu sinyali belirlediği bir sayı kadar almayınca cevap vermez, çünkü hareketli konak rasgele uzak bir bölge sınırından geçerken sinyalini almış ve cevap vermiş olabilir. Telsiz eleman, kendi kapsama alanında uzun süre kalacak bir hareketli konak ile iletişim kurmak ister.

Kablolu ortamlar için tasarlanmış bir veri iletim protokolü olan TCP protokolünün mobil ortamlarda performans düşüklüğüne sebep olduğu ortaya çıkmıştır.

Gerçek zamanlı uygulamaların kullanılacağı noktalarda mobil IP gecikme yaratacağından kullanım için uygun değildir.

İkinci nesil sistemlerde kullanılan MIPv4' un güncellenmesiyle oluşturulan MIPv6, üçüncü nesil sistemler için gereken hızlı ve kesintisiz internet bağlantısını desteklemek için iyi bir adaydır.

Cep telefonlarının gelişmesi ve avuç içi bilgisayarlarını bünyelerinde barındırmaları ile istemci tarafında telsiz ve mobil Internet'e olan talep artmaktadır. İlk planda geciken 3G' nin boşluğunu dolduran yerel telsiz ağlar (WLAN, 802.11 gibi) bu konuda talebi karşılamaya hazırdır. 3G' nin de uygulamaya geçmesiyle artık her zaman her yerde Internet temasına ulaşılması mümkün olacaktır. Sesin bile veri paketlerinde taşınmasıyla (VoIP) IP ortak taşıyıcı rolünü üstlenmektedir. IP temelli iletişim hareketlilik başta olmak üzere birçok problemin bu protokol üzerinden çözülmesini gerektirmektedir. Bu noktada IP protokolünün çalıştığı her yerde çalışabilecek, Internet çapında uygulamaya açık hareketlilik protokolü mobil IP incelenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] **Çölkesen, Rifat, ve Örencik, Bülent** 2000. Bilgisayar Haberleşmesi ve Ağ Teknolojileri, Papatya Yayıncılık, İstanbul.
- [2] **Koç, Taner ve Bayır, Nuhi.**, 2003. GSM, Beta Basım Yayım Dağıtım, İstanbul.
- [3] **Tanenbaum, Andrew S.**, 2003. Computer Networks, Pearson Education, New Jersey.
- [4] **Garcia, Alberto Neon and Widjaja, Indra**, 2004. Communicaiton Networks, McGraw Hill, New York.
- [5] **Laiho, Jaana, Wacker, Achim and Novosad Tomas**, 2005. Radio Network Planning and Optimisation for UMTS, John Wiley & Sons, Engand.
- [6] **Garcia, Alberto Neon and Widjaja, Indra**, 2004. Communicaiton Networks, McGraw Hill, New York.
- [7] **Çelik, Birol, ve Öner, Demir**, 2006. Mobil internet protokolunda yönlendirme en iyilemesi ile elde edilen başarıım artışı, *EMO Asansör Sempozyumu*, Eloc, Ankara, 14 - 16 Nisan.
- [8] **Yeğin, Alper E.** 2001. Mobil Internet Protokolü, Ankara, Turkey.
- [9] **Lee, Doo Hwan, Kyamakya, Kyandoghere and Umondi, Jean Paul**, 2006. Fast Handover Algorithm for IEEE 802.16e Broadband Wireless Access System, IEEE, Wireless Pervasive Computing, 2006 1st International Symposium on (2006), pp. 1-6.
- [10] **Christophorou, Christophoros and Pitsillides, Andreas**, 2006. An Efficient Handover Algorithm for MBMS Enabled 3G Mobile Cellular Networks, IEEE, Proceedings of the 11th IEEE Symposium on Computers and Communications Pages: 187 - 193
- [11] **Dong, Guojun and Dai Jufeng**, 2007. An Improved Handover Algorithm for Scheduling Services in IEEE802.16e, IEEE, Mobile WiMAX Symposium, Volume , Issue Page(s):38 - 42
- [12] **Anas, Mohmmad, Calabrese, Francesco D., Mogensen, Preben E., Rosa, Claudio and Pedersen, Klaus I.**, 2007. Performance Evaluation of Received Signal Strength Based Hard Handover for UTRAN LTE, IEEE, Vehicular Technology Conference. VTC2007-Spring. IEEE 65th
- [13] **Rinaldi Claudia, Santucci Fortunato, Fischione, Carlo and Johansson, Karl Henrik**, 2007. Hybrid Model of Least Sqaes Handover Algorithms in Wireless Networks, IEEE, Vehicular Technology Conference. VTC2007-Spring. IEEE 65th
- [14] **Chalmers, Robet C., Krishnamurthi, Govind and Almeroth, Kevin C.**, 2006. Enabling Intelligent Handovers in Heterogeneous Wireless Networks, IEEE, Mobile Networks and Applications archive Volume 11 , Issue 2

EKLER

[1] Yapılan Simülasyon Kodlarını İçeren CD

SEVGİ ERMAN

KİŞİSEL BİLGİLER

Doğum yeri ve yılı: Malatya 1980

Adres: Çalışlar Cad. NO: 6/ 10 Bahçelievler/ İstanbul

Cinsiyeti: Bayan

Medeni Durumu: Bekar

Sürücü Belgesi: B sınıfı

e-mail: sevgierman@hotmail.com



ÖĞRENİM BİLGİLERİ

İstanbul Teknik Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Yüksek Lisans

Yıldız Teknik Üniversitesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği (1998 – 2003)

Cağaloğlu Anadolu Lisesi (1991-1998)

PROJELER

İş: Turkcell İletişim Hizmetleri A.Ş. , Kurumsal Proje Yöneticisi, 2004- Devam
DorukNet Proje Satış Sorumlusu, 2003- 2004

Staj: Bolu Türk Telekom DMS (Digital Multiplex System) 100/200 Santrali -30 iş günü

NETAŞ AR-GE - 30 iş günü

ALCATEL AR-GE - 30 iş günü

Üniversitede Aldığı Bölüm Dışı Sosyal Ağırlıklı Dersler: Temel İşletmecilik Bilgileri, Sağlık Bilgisi, Temel Bilgisayar Bilimleri, Makine Teknoloji Tarihi, İleri İngilizce, Fransızca, Pascal Programlama dili, Çevre Sağlığı

YABANCI DİL

İngilizce: İleri düzeyde okuma, yazma, anlama, konuşma

Almanca: İleri düzeyde okuma, yazma, anlama, konuşma

Fransızca: Az düzeyde okuma, yazma, anlama

BİLGİSAYAR

Program ve Sistemler: Office XP, Elektronik Workbench, Çeşitli Grafik ve Yazılım Uygulamaları

Programlama Dilleri: Pascal, Matlab, Matcad, C, Perl