

Linux İşletim Sistemi Tabanlı Düşük Maliyetli Bir MIPv6 Test Yatağı Uygulaması

Gürcan ÇETİN, Aydın ÇETİN

Bilgisayar Mühendisliği, Teknoloji Fakültesi, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye

gcetin@gazi.edu.tr, acetin@gazi.edu.tr

(Geliş/Received: 02.04.2013; Kabul/Accepted: 12.04.2013)

Özet– Son yıllarda internet kullanıcı sayısı mobil cihazların yaygınlaşması ile önceki yıllara oranla aşırı artış göstermiştir. Ancak internet kullanıcı sayısındaki artışa karşılık IPv4 (Internet Protocol version 4) protokolü ile sunulan IP adresi sayısı tükenmiştir. İnternet kullanıcılarının IP adresi ihtiyaçlarını karşılayabilecek şekilde tasarlanan yeni nesil internet protokolü IPv6 (Internet Protocol version 6)'nın yakın gelecekte yerini alması beklenmektedir. IPv6 protokolüne geçiş için önemli adımlardan birisi IPv6 desteğine sahip uygulama ya da yazılımların test edilebileceği araştırma ağlarına sahip olunmasıdır. Bu ağlar geniş ölçekte kurumlar arasında olabileceği gibi ağ laboratuvarlarında daha küçük ölçekte de hazırlanabilirler. Bu çalışmada IPv6 protokolünün hareketlilik ile ilgili özelliklerini sağlayan MIPv6 (Mobile IPv6) protokolünün ve MIPv6 tabanlı geliştirilen uygulamaların testlerinin yapılabilmesi için düşük maliyetli bir test ortamı yapılandırılmıştır. Ayrıca, çalışmada oluşturulan test ortamının MIPv6 protokolü belirtilmelerine göre çalışabilirliği gezici düğümün hareketlilik senaryolarına göre test edilmiştir.

Anahtar Kelimeler– MIPv6, MIPL, test yatağı

A Low Cost MIPv6 Testbed Application Based on Linux Operation System

Abstract– The internet user number has been increased extremely in last few years with the fast spread of mobile devices. The number of IP addresses provided via IPv4 (Internet protocol version 4) has exhausted much earlier than expected due to outnumbered internet users. In near future, it is expected that the IPv4 will be replaced with a new generation internet protocol IPv6 (Internet protocol version 6) which meets the needs of the IP addresses. One of the important steps for transition to the IPv6 is to have research networks that are used to test application and software with IPv6 support. These research networks also can be set up in network laboratories as well as between institutions on a large scale. In this paper, a low cost test bed was configured to test MIPv6 (Mobile IPv6) protocol which supports the need of mobility in IPv6 and to implement applications based on MIPv6. Moreover, performance of the configured test bed was checked according to specifications of MIPv6 by using two mobility scenarios.

Keywords– MIPv6, MIPL, testbed

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

İnternete bağlı cihazların kullanımının artması ile son yıllarda internet kullanıcı sayısında çok ciddi artışlar gerçekleşmiştir. 2012 yılı internet kullanım oranlarına bakıldığında dünyadaki internet kullanıcı sayısı 2,4 milyara ulaşmıştır [1]. Türkiye’de ise 2008 yılında 6 milyon genişbant internet abonesi varken son dört yılda 3G teknolojisinin de desteğiyle kullanıcı oranında üç kattan daha fazla bir artışla internet abone sayısı 20 milyonu geçmiştir. Türkiye’de 2012 yılı son çeyreği verilerine göre toplam internet abone sayısının yıllık büyüme oranı %42,3’tür. Bu oran içerisinde mobil bilgisayar kullanılarak internete bağlanma oranı bir önceki yıla göre %23,4 oranında artışla 1.909.530 kişiye,

akıllı telefonlar kullanılarak cepten internete bağlanma oranı ise %108,9 artış göstererek 10.252.370 kişiye ulaşmıştır. Kullanım verilerine göre Türkiye’deki kullanıcıların %60,53’ünün internete mobil cihazlar üzerinden bağlantı sağlamaktadırlar [2].

Özellikle mobil internet kullanıcılarının artmasına paralel olarak internet abone sayısındaki artış eğilimi de devam etmektedir. Ancak IPv4 protokolüne dayanan internetin son yıllarda tahminlerinde ötesinde genişlemesi sonucu yeni kullanıcılar için verilebilecek IP adresi sayısı tükenme noktasına gelmiştir [3]. IPv4’ün adreslemede yetersiz kalması üzerine Aralık 1998 tarihinde IPv6 protokolü yayınlanmış ve bu protokol ile 32-bitlik adresleme alanı 128 bite çıkarılmıştır. Ayrıca IPv6

protokolünün IPsec özelliği, otomatik adres yapılandırması, basitleştirilmiş başlık bilgisi ve esnek uzantı başlıkları ile yeni nesil ihtiyaçlara cevap vereceği düşünülmektedir [4]. IPv4 adres yetersizliğinin yanı sıra mobil aygıtların kullanımının güç geçtikçe artması, mobil veri hizmetlerinin ve yeni nesil ağ teknolojilerinin ortaya çıkmasının da IPv6 protokolünün yaygınlaşmasında ayrıca katkısı olacağı ön görülmektedir [5].

IPv6'ya geçiş açısından Türkiye'de yapılan çalışmalara bakıldığında tüm kamu kurum ve kuruluşlarının internet üzerinden verdikleri kamuya açık hizmetlerini 31 Ağustos 2013 tarihine kadar IPv6'yı destekler hale getirmeleri 8 Aralık 2010 tarihli Başbakanlık Genelgesi'ne göre beklenmektedir [4]. Ayrıca ABD, Avrupa ve Uzakdoğu'daki birçok ülkenin de IPv6'ya geçiş altyapılarını tamamladıkları görülmektedir.

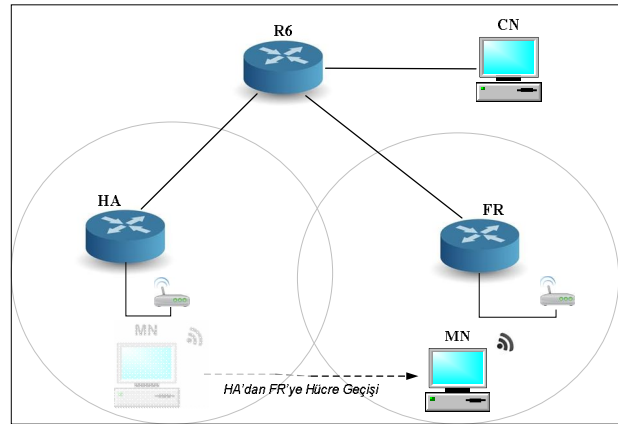
Özellikle IPv6 protokolü konusunda geri kalmak istemeyen ülkeler için IPv6'ya geçiş sürecinin önemli adımlarından birisi IPv6 desteğine sahip araştırma ve test ağlarına sahip olunmasıdır. Test ağlarının kurulumlarındaki temel amaç IPv6 protokolünün temel özelliklerinin çalışabilirliğinin denemesi, protokolda ön görülmeyen sorunların test edilerek çözümler üretilmesi, geçiş sırasında karşılaşılabilecek güvenlik problemlerinin araştırılması ve farklı ticari firmalar tarafından geliştirilen IPv6 desteği sağlayan cihazların ve yazılımların uygunluk testlerinin yapılmasıdır [6]. Bu amaçla Japonya ve Çin hükümetleri IPv6 konusunda işbirliği geliştirilmiş ve 2005 yılında Çin-Japonya IPv6 ağı protokol testleri için faaliyete geçirilmiştir. Ayrıca, Avrupa'da 6NET projesi kapsamında 16 Avrupa ülkesini birbirine bağlayan bir IPv6 ağı deneysel çalışmalar için oluşturulmuştur [7]. Türkiye'de ise IPv6 kullanımını yaygınlaştırmak, IPv6 geçiş yöntemleri ile ilgili test ve güvenlik analizleri yapmak ve IPv6 tabanlı uygulamaların testlerini gerçekleştirmek amacıyla TÜBİTAK, ULAKBİM, Gazi Üniversitesi ve Çanakkale 18 Mart Üniversitesi bünyesinde IPv6-GO adında test yatağı uygulaması hayata geçirilmiştir [6].

Son yıllarda mobil aygıt kullanım oranlarındaki artış ve IPv6'nın yakın gelecekte kullanıma başlanacağı durumları göz önünde bulundurularak bu çalışmada IETF (Internet Engineering Task Force – İnternet Mühendisliği Görev Gücü)'nin mobil aygıtlar için standart hale getirdiği MIPv6 protokolü ile ilgili çalışmalara katkı yapılması hedeflenmiştir. Bu amaçla MIPv6 protokolü alanındaki araştırmalarda kullanılacak, Linux işletim sistemi tabanlı düşük maliyetli bir test yatağının kurulumu gerçekleştirilmiştir. MIPv6 test yatağının yapılandırılmasında MIPL uygulaması kullanılarak ağa ait temel MIPv6 düğümleri oluşturulmuştur. Hazırlanan test yatağı üzerinde test yatağının kurulumu sırasında gerek duyulabilecek IPv6 desteğine sahip donanım ve yazılım özellikleri de bu çalışma kapsamında araştırılmıştır. Çalışmada ayrıca yapılandırılan test yatağının MIPv6 protokolüne göre çalışabilirliği gezgin düğümün ağdaki konumlarına göre iki ayrı senaryo ile kontrol edilmiştir. Bu çalışmada yapılandırılan test yatağı kullanılarak MIPv6 protokolü işleyişinin denemesi, hareketlilik

alanında MIPv6 protokolü tabanlı uygulamalarının geliştirilmesi, uygulanabilirliğinin gösterilmesi, karşılaşılabilecek sorunlar ve bu sorunlar için üretilen çözüm önerilerinin uygulanabilmesi araştırmacılar tarafından sağlanabilecektir.

2. MIPv6 (MIPV6)

IETF, IPv6 kullanıcılarının hareketlilik ile ilgili ihtiyaçlarını karşılamak ve gezici düğümlerin IP (Internet Protocol) katmanındaki ağ hizmetlerinin devamlılığını sağlamak amacıyla RFC 3775 belgesinde sunulan iletişim kurallarıyla MIPv6'yı standartlaştırmıştır [8]. Bu standarda göre bir MIPv6 ağının değişmez düğümleri bir MN (Mobile Node – Gezici Düğüm), ev ağında olan bir HA (Home Agent - Ev Yetkilisi) ve MN ile iletişime geçmek isteyen ya da iletişimde olan bir CN (Correspondent Node - Haberleşme Düğümü)'dir. Ayrıca bir MIPv6 ağı IPv6 paketlerini yönlendirme işlevini yerine getiren R6 (Router 6) düğümlerini de içerebilir. IETF tarafından kablosuz ağ ortamları için sunulan temel bir MIPv6 ağ yapısı Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Temel MIPv6 ağ yapısı
(Basic MIPv6 network structure)

Şekil 1'e göre tanımlanan düğümler ve MIPv6 protokolünde tanımlanan kavramlar aşağıda verilmiştir;

MN: İnternet topolojisinde hareketlilikleri sonucu ağdaki bağlantı noktaları değişen düğümlerdir [9].

CN: MN ile iletişimde olan düğümdür. Bir CN düğümü aynı zamanda ağda bulunan diğer bir MN'de olabilir.

HA: MN adına hücre geçişi işlemlerini gerçekleştiren MN'nin varsayılan yönlendiricisidir. HA yönlendiricisi CN'nin MN'ye gönderdiği tüm veri paketlerini MN'nin yeni konumundaki IPv6 adresini kullanılarak tüneller [9].

Ev Ağı: MN'nin ağa eklendiği başlangıç noktasıdır. MN'nin ev adresi öneki bu ağ tarafından yayınlanır.

FR (Foreign Router - Yabancı Yönlendirici): MN'nin hareketliliği sonucu geçtiği yeni ağında bağlantı kurduğu, MN için yönlendirme hizmeti sağlayan IPv6 işlevine sahip yönlendiricidir.

HoA (Home Address - Ev Adresi): MN'ye ait değişmez adrestir ve CN tarafından MN'ye erişmek için kullanılır.

CoA (Care of Address - Konuma Bağlı Adres): MN'nin yeni bir ağa geçtiği zaman yapılandırıldığı IPv6 adresidir.

Bağlama (Binding): MN'nin ev adresinin CoA'sı ile eşleştirilmesidir. MN yeni bir ağa geçtiği zaman gerçekleştirilen bağlama işlemi sonucu HA, MN'nin ev adresi için gönderilen veri paketlerini MN'nin CoA'sı için tünelleylebilir. Bağlama işlemi MN yeni bir CoA aldığı zaman yenilenir.

BC (Binding Cache - Bağlama Önbelleği): Bağlama önbelleği CN ve HA tarafından tutulur. Bu önbellek, bir ya da daha fazla MN için gerek duyulan bağlama kayıtlarını geçici olarak tutar.

BUL (Binding Update List - Bağlama Güncelleme Listesi): MN tarafından sürdürülür ve bir bağlama kaydının yenilenme zamanını gösterir. Ayrıca MN, bir CN ile doğrudan iletişim kurulacağı zaman doğru CoA'yı bu listeyi kullanarak seçer [9].

3. MIPv6 TEST YATAĞI (MIPv6 TESTBED)

Bu çalışmada MIPv6 test yatağının yapılandırmasında MIPL (Mobile IP for Linux - Linux için Gezgin IP) uygulaması kullanılmıştır. MIPL, Helsinki Teknoloji Üniversitesi'nde geliştirilen MIPv6'nın en bilinen uygulamalarından birisidir. MIPL açık kaynak koda sahiptir ve GNU GPL (General Public License – Genel Kamu Lisansı) ile ücretsiz olarak kullanılabilir. MIPL uygulamasının birlikte çalışabilirlik ve uyumluluk testleri ETSI (European Telecommunications Standards Institute - Avrupa Telekomünikasyon Standartları Enstitüsü) tarafından IPv6 Plugtest'e ve TAHI birlikte çalışabilirlik standartlarına göre test edilmiştir [10].

MIPL'de kod Linux işletim sisteminde çekirdeğin bir parçası olarak uygulanır. MIPL, RFC 3775 referansını temel alır ve HA, MN ve CN düğümlerinin işlevselliğini içerir. Ayrıca MIPL, MN ve HA arasında mesaj doğrulaması için IPsec özelliğini desteklemektedir [11].

Kurulumu tasarlanan MIPv6 test yatağı beş ayrı bilgisayardan oluşmaktadır. Bu bilgisayarlardan üç tanesi MN, HA ve CN düğümlerinin işlevlerini yerine getiren makinelerdir ve yapılandırılmalarında Linux tabanlı Fedora işletim sistemi üzerinde MIPL uygulaması kullanılacaktır. Test yatağı üzerindeki diğer iki makine ise IPv6 paketlerini yönlendirme özelliklerini destekleyecek şekilde yapılandırılacaklardır. Test yatağı kurulumunda Linux tabanlı yönlendiricilerin ticari IPv6 yönlendiricilerinin yerine kullanılmasının nedeni, yeni IPv6 özelliklerinin eklenmesinde ve yönlendirici yayın aralığı gibi ağ parametrelerinin ayarlanmasında kullanıcıya daha fazla esneklik sunmalarıdır [11].

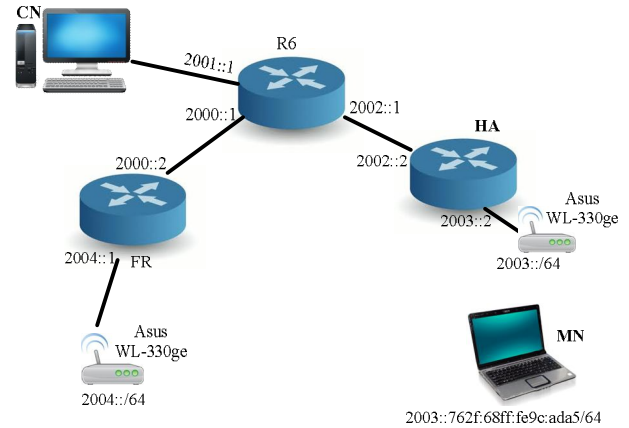
Test ortamında MN dışındaki tüm aygıtların birbirleriyle olan bağlantılarında *cat6* kablo kullanılmıştır. MN ise ağ üzerinde HA ve FR yönlendiricileri ile olan bağlantısını

IPv6 kablosuz ağ bağlantısını destekleyen bir AP ile sağlamaktadır. IPv6 desteğine sahip AP'lerin listesi Tablo 1'de verilmiştir ve bu AP'ler gerçek bir MIPv6 ağında kablosuz ağ bağlantılarının sağlanmasında kullanılabilirler.

Tablo 1. IPv6 desteği sunan AP'ler
(APs that supports IPv6)

Model	Kablosuz Protokol	Mbps
Apple AirPort Express	IEEE 802.11a, b, n, g	300
Apple AirPort Extreme	IEEE 802.11a, b, n, g	54
Asus WL-330gE	IEEE 802.11b, g	54
Cisco WAP4410N	IEEE 802.11b, g, n	300
Cisco WAP321	IEEE 802.11b, g, n	300
Ruckus ZoneFlex 7982	IEEE 802.11a, b, n, g	450
Cisco WAP121	IEEE 802.11b, g, n	300
D-Link N450	IEEE 802.11b, n, g	450
HP A-WA2620-AGN	IEEE 802.11a, b, n, g	300

Bu çalışmada, MIPv6 test yatağı üzerinde 2 adet ASUS WL-330ge AP'si kullanılarak HA ve FR yönlendiricilerinin RA iletilerini ağ ortamında yayınlamaları sağlanmıştır. Kurulan test ortamının fiziksel yapısını temsil eden ağ yapısı Şekil 2'de gösterilmektedir.



Şekil 2. MIPv6 test yatağı yapısı
(The structure of MIPv6 testbed)

Şekil 2'ye göre, test ortamı içerisinde MN'nin ev ağı HA alanıdır. HA ağ alanının RA iletileri ile yayınlanan IPv6 ağ adresi önceki 2003::/64 ve SSID bilgisi "EV_AGI" dir. MN'nin hareketliliği sırasında geçeceği yeni ağı için yayınlanan ağ adresi önceki 2004::/64 ve SSID bilgisi "FR"dir. Ayrıca test yatağı üzerinde CN düğümü 2001::8/64 ev adresini kullanarak MN ile iletişim kurmaktadır.

3.1. MIPL ile MIPv6 Düğümlerinin Yapılandırması (MIPv6's Nodes Configuration with MIPL)

Gerekli ağ alt yapısının (yönlendirici, kablo, erişim noktası) yanında bir MIPv6 test yatağı MIPL uygulamasına sahip HA, MN ve CN düğümleri için en az üç ayrı makine gerektirir [12]. Test yatağında kullanılan bu makineler ağ üzerinde RA (Router Advertisement – Yönlendirici Tanıtımı) iletileri alma ve gönderme, otomatik adres yapılandırma ve ters yönlendirilebilirlik süreçlerinin yönetimi gibi konularda görevlerini yerine

getirebilmelidirler. Bu amaçla yapılandırılan ağ ortamında bulunan MIPv6 düğümleri için *mip6.conf*, *radvd.conf*, *ripngd.conf* ve *zebra.conf* yapılandırma dosyaları kullanılmıştır.

3.1.1. HA Yönlendiricisinin Yapılandırılması (Configuration of HA Router)

HA, MN için ev ağı görevlerini de yerine getirebilme yeteneğine sahip bir IPv6 yönlendiricisidir. Bu nedenle HA'nın tüm ağ bağlantı ara yüzleri için yönlendirme özelliği açılarak otomatik yapılandırma ve RA alımı özellikleri aşağıda verilen Linux ağ komutları kullanılarak kapatılmaktadır [13].

```
# echo 1 > /proc/sys/net/ipv6/conf/all/forwarding
# echo 0 > /proc/sys/net/ipv6/conf/all/autoconf
# echo 0 > /proc/sys/net/ipv6/conf/all/accept_ra
# echo 0 > /proc/sys/net/ipv6/conf/all/accept_redirects
```

IPv6 yönlendirme işlevi, TCP/IP tabanlı yönlendirme protokolü sağlayan Zebra yazılımı kullanılarak hazırlanan *zebra.conf* dosyası ile gerçekleştirilmiştir [14]. HA düğümü için *zebra.conf* dosyanın içeriği aşağıdaki şekilde hazırlanmıştır.

```
interface lo
interface sit0
ipv6 nd suppress-ra
interface ip6tnl0
ipv6 nd suppress-ra
interface eth0
ipv6 address 2003::2/64
no ipv6 nd suppress-ra
ipv6 nd ra-interval 10
ipv6 nd prefix-advertisement 2003::/64
onlink autoconfig
interface eth1
ipv6 address 2002::2/64
no ipv6 nd suppress-ra
ipv6 nd ra-interval 10
ipv6 nd prefix-advertisement 2002::/64
onlink autoconfig
ipv6 route 2001::/64 2002::1
ipv6 route 2003::/64 2003::2
ipv6 route 2004::/64 2002::1
```

Test Yatağı üzerinde IPv6 yönlendirme protokolü için RIPng (Router Information Protocol next generation - Yeni Nesil Yönlendirme Bilgisi Protokolü) seçilmiştir [15]. RIPng yönlendirme işlemlerini *ripngd.conf* dosyasında tanımlanan yapılandırmaya göre gerçekleştirir. HA düğümü için *ripngd.conf* dosyasının içeriği aşağıda verilmiştir.

```
router ripng
network eth0
network eth1
redistribute connected
redistribute static
redistribute kernel
```

Test yatağı üzerinde MN'nin ev ağında olduğunu anlayabilmesi için HA yönlendiricisinin RA yayınlarını gönderecek şekilde yapılandırılması gerekmektedir. Bu

amaçla Linux ve BSD sistemlerin IPv6 yönlendiricisi gibi çalışmasını sağlayan RADVD (Router Advertisement Daemon - Yönlendirici Yayını Uygulaması) yazılımı kullanılır. RADVD yazılımı, RA iletilerini RFC 2461 belgelendirmesinde sunulan tanımlamalara göre yayınlar. Bu tanımlamalara göre RA iletileri belirli aralıklarla veya RS (Router Solicitation - Yönlendirici Yayını İsteği) iletileri geldiği zaman gönderilir [16]. RA iletilerini yayınlayacak şekilde HA yönlendiricisinin yapılandırma işlemi *radvd.conf* dosyası ile aşağıda verilen kod satırları kullanılarak sağlanmıştır.

```
interface eth0 {
  AdvSendAdvert on;
  AdvIntervalOpt on;
  MaxRtrAdvInterval 0.07;
  MinRtrAdvInterval 0.03;
  AdvHomeAgentFlag on;
  HomeAgentLifetime 10000;
  HomeAgentPreference 20;
  AdvHomeAgentInfo on;
prefix 2003::2 {
  AdvOnLink on;
  AdvAutonomous on;
  AdvRouterAddr on;
  AdvPreferredLifetime 10000;
  AdvValidLifetime 12000;
};};
```

HA yönlendiricisinin MIPv6 işlevselliğini yerine getirebilmesi için MIPL yazılımı tarafından kullanılacak yapılandırma dosyası *mip6d.conf* ile oluşturulur. Bu dosyanın içeriği aşağıdaki kod satırları ile verilmiştir.

```
NodeConfig HA;
DebugLevel 10;
Interface "eth1";
IPsec configuration
UseCnBuAck enabled;
UseMnHaIPsec disabled;
IPsecPolicySet {
  HomeAgentAddress 2003::2;
  HomeAddress 2003::1/64;
  IPsecPolicy HomeRegBinding UseESP 1 2;
  IPsecPolicy MobPfxDisc UseESP 3;
  IPsecPolicy TunnelMh UseESP;
}
```

3.1.2. MN Düğümünün Yapılandırılması (Configuration of MN Node)

MN, paket yönlendirme özelliklerine sahip bir düğüm olmadığından dolayı üzerinde sadece MIPL yapılandırma dosyasının çalıştırılması gereken bir MIPv6 düğümüdür. Bu nedenle MN için yönlendirme görevleri kapatılırken, otomatik adres yapılandırma ve RA iletileri alımı işlemleri etkinleştirilmiştir.

```
# echo 0 > /proc/sys/net/ipv6/conf/wlan0/forwarding
# echo 1 > /proc/sys/net/ipv6/conf/wlan0/autoconf
# echo 1 > /proc/sys/net/ipv6/conf/wlan0/accept_ra
# echo 1 > /proc/sys/net/ipv6/conf/wlan0/accept_redirects
```

MN düğümü üzerinde MIPL yazılımı için hazırlanan *mip6d.conf* yapılandırma dosyasının içeriği aşağıda verilen kod satırları ile sağlanmıştır.

```
NodeConfig MN;
DebugLevel 10;
DoRouteOptimizationMN enabled;
DoRouteOptimizationCN enabled;
MnDiscardHaParamProb enabled;
Interface "wlan0";
MnHomeLink "wlan0" {
    HomeAgentAddress 2003::2;
    HomeAddress 2003::1/64;
}
UseMnHaIPsec enabled;
UseCnBuAck enabled;
IPsecPolicySet {
    HomeAgentAddress 2003::2;
    HomeAddress 2003::1/64;
    IPsecPolicy HomeRegBinding UseESP1 2;
    IPsecPolicy MobPfxDisc UseESP 3;
    IPsecPolicy TunnelMh UseESP;
}
```

3.1.3. CN Düğümünün Yapılandırılması (Configuration of CN Node)

CN düğümü sadece MIPL yapılandırmasını gerektiren bir düğümdür. Bu nedenle MN ile benzer şekilde yapılandırılarak yönlendirme özellikleri kapatılır. CN düğümü üzerinde MIPL yazılımı için hazırlanan *mip6d.conf* yapılandırma dosyasının içeriği aşağıda verilen kod satırları ile sağlanmıştır.

```
NodeConfig CN;
DebugLevel 10;
Enable RO
DoRouteOptimizationCN enabled;
UseCnBuAck enabled;
```

3.1.4. IPv6 Yönlendiricilerinin Yapılandırılması (Configuration of IPv6 Routers)

MIPv6 test yatağı üzerinde IPv6 protokolünü destekleyen yönlendiriciler HA düğümü ile benzer bir şekilde yapılandırılırlar. Bu yönlendiriciler üzerinde yönlendirme işlemi *Zebra* yazılımı kullanılarak *RIPng* yönlendirme protokolü ile gerçekleştirilmiştir. Ağ kartı Ethernet ara yüzleri için IPv6 adreslerinin atanması ve RA iletilerinin yayınlanması işlemi için ise *RADVD* uygulaması kullanılır. Ancak, bu yönlendiricilerde HA'dan farklı olarak MIPL uygulamasının kullanılmasına gerek yoktur. Hazırlanan MIPv6 test yatağı üzerinde kullanılan R6 yönlendiricilerinin (R6, FR) tüm ağ bağlantı ara yüzleri için yönlendirme özelliği açılarak otomatik yapılandırma, RA iletileri alımı özellikleri HA düğümünde olduğu gibi kapatılır. R6 düğümünde yönlendirici işlevselliğinin sağlanması için hazırlanan *zebra.conf* dosyanın içeriği aşağıdaki verilmiştir.

```
interface eth0
ipv6 address 2001::1/64
no ipv6 nd suppress-ra
ipv6 nd ra-interval 10
interface eth1
```

```
ipv6 address 2002::1/64
no ipv6 nd suppress-ra
ipv6 nd ra-interval 10
interface eth2
ipv6 address 2000::1/64
no ipv6 nd suppress-ra
ipv6 nd ra-interval 10
interface lo
interface sit0
ipv6 nd suppress-ra
ipv6 forwarding
ipv6 route 2003::/64 2002::2
ipv6 route 2001::/64 2001::1
ipv6 route 2004::/64 2000::2
ipv6 route 2000::/64 2000::2
```

RIPng yönlendirme protokolü için hazırlanan *ripngd.conf* dosyasının içeriği R6 düğümü için aşağıda verilmiştir.

```
router ripng
network eth0
network eth1
network eth2
redistribute connected
redistribute static
redistribute kernel
```

R6 yönlendiricisinin RA yayınlarını belirli aralıklarla göndermesi için hazırlanan *radvd.conf* yapılandırma dosyası aşağıda verilmiştir.

```
interface eth0 {
    AdvSendAdvert on;
    MinRtrAdvInterval 1;
    MaxRtrAdvInterval 3;
    AdvHomeAgentFlag off;
    prefix 2001::/64 {
        AdvOnLink on;
        AdvAutonomous on;
        AdvRouterAddr on;
    };
};
interface eth1 {
    AdvSendAdvert on;
    MinRtrAdvInterval 1;
    MaxRtrAdvInterval 3;
    AdvHomeAgentFlag off;
    prefix 2002::/64 {
        AdvOnLink on;
        AdvAutonomous on;
        AdvRouterAddr on;
    };
};
interface eth2 {
    AdvSendAdvert on;
    MinRtrAdvInterval 1;
    MaxRtrAdvInterval 3;
    AdvHomeAgentFlag off;
    prefix 2000::/64 {
        AdvOnLink on;
        AdvAutonomous on;
        AdvRouterAddr on;
    };
};
```

Hazırlanan MIPv6 test yatağı üzerinde bulunan diğer bir IPv6 yönlendiricisi FR'dir. FR, MN'nin hücre geçişini gerçekleştirdiği düğümdür. FR bu özelliklerinden dolayı R6 yönlendiricisinde olduğu gibi yapılandırılır.

3.2. Paket Üretici Yazılımlar (Packet Generator Softwares)

Bir MIPv6 test yatağı üzerinde hücre geçişi (*handover*) testi, yönlendirme optimizasyonu, QoS (Quality of Service – Hizmet Kalitesi), ağ güvenliği, ağ trafiği problemlerinin iyileştirilmesi, bant genişliği, maliyet, kayıp oranı ve hata oranı gibi karakteristiklerin yönetilmesi için çalışmalar gerçekleştirilebilir. Bu çalışmalar sırasında ihtiyaç duyulacak veri paketlerinin üretilmesi ve analiz edilmesinde çeşitli paket üretici yazılımlara ihtiyaç vardır. Paket üretici yazılımlar farklı ağ protokolleri için veri paketlerinin üretilmesinde ya da protokol başlıkları üzerinde kullanıcıya tam bir denetim sağlama noktasında etkilidirler. Tablo 2’de yapılandırılan MIPv6 test yatağı üzerinde kullanılacak IPv6 protokolü desteği bulunan paket üretici yazılımlar gösterilmiştir.

Tablo 2. IPv6 desteği sunan paket üretici yazılımlar
(Packet generator softwares those supports IPv6)

Paket Üretici	GUI Desteği	TCP	UDP	ICMPv6
NPing	✓	✓	✓	✓
Paketh	✓	✓	✓	✓
D-ITG	✗	✓	✓	✓
SendIP	✗	✓	✓	✓
NetPerf	✗	✓	✓	✗
MGEN	✗	✓	✓	✗

3.3. Linux Tabanlı Kablosuz Ağ Yönetimi Yazılımları (Wireless Network Management Softwares based on Linux)

MIPv6 test yatağı üzerinde MN olarak yapılandırılan makinalar HA ve FR yönlendiricileri ile olan bağlantılarını kablosuz ağ bağlantısı üzerinden gerçekleştirirler. MN’lerin test yatağı üzerinde SSID bilgileri yayınlanan ağ alanlarına (EV_AGI ve FR) bağlanabilmeleri için üzerlerinde çalışabilecek ek kablosuz ağ yönetimi yazılımlarına ihtiyaçları vardır. Linux tabanlı işletim sistemleri üzerinde çalışabilen birçok kablosuz ağ yönetimi yazılımı vardır. Ancak tüm bu yazılımlar Tablo 3’de de gösterildiği gibi IPv6 protokolü için destek vermemektedirler.

Tablo 3. Kablosuz ağ yönetimi yazılımları
(Wireless Network Management Softwares)

Kablosuz Ağ Yönetimi Yazılımı	IPv6 Desteği
GNOME NetworkManager	✓
Wicd	✗
YaST2	✓
Wireless Assistant	✗
WiFi Radar	✗
GTKWifi	✗
BLINK	✗

Yapılandırılan MIPv6 test yatağı üzerinde MN düğümlerinin kablosuz ağ bağlantıları için Fedora işletim sistemi ile uyumlu çalışan *GNOME NetworkManager* yazılımı tercih edilmiştir.

4. TEST YATAĞI ÜZERİNDE MIPV6 PROTOKOL TESTLERİ (MIPV6 PROTOCOL TESTS ON TESTBED)

Hazırlanan MIPv6 test yatağı üzerinde, yapılandırılan düğümlerin MIPv6 protokolü belirtilmelerine göre çalışabilirliğini kontrol etmek amacıyla çeşitli testler gerçekleştirilmiştir. MIPv6 protokolü çalışabilirlik testleri aşağıda verilmiştir.

- *Test-1*: MN ev ağındadır ve MIPv6 protokolüne ait temel düğümlerin (HA, CN ve MN) işleyişleri MIPv6 protokolüne göre incelenmiştir.
- *Test-2*: MN hareketliliği sırasında yeni bir ağa (FR) geçerek ev ağı ile olan bağlantısını koparmıştır. Bu durumda MIPv6 protokolüne ait temel düğümlerin (HA, CN ve MN) işleyişleri ve hücre geçişi anında gerçekleştirilen MIPv6 protokolü süreçleri incelenmiştir.

Testler sırasında, ağ üzerinde gönderilen ve alınan paketlerin analizi için *WIRESHARK* paket yakalama yazılımı kullanılmıştır.

4.1. MN Ev Ağında (MN in Home Network)

Kurulumu tamamlanan test yatağı içerisinde HA, MN ve CN düğümleri üzerinde MIPv6 protokolünü etkinleştirmek için MIPL uygulaması aşağıda verilen komut satırı kullanılarak çalıştırılır.

```
# ./mip6d -c mip6d.conf
```

HA yönlendiricisi üzerinde MIPL uygulamasının çalıştırılması sonucu gerçekleşen çıktının özeti aşağıda verilmiştir. Bu çıktıya göre; (1) Düğüm bir HA’dır. (2) HA ve MN arasında RO (Route Optimization - Yönlendirme Eniyileme) aktiftir. (3) HA ve CN arasında RO aktiftir.

```
MIPL Mobile IPv6 for Linux started (Home Agent) (1)
conf_show: DefaultBindingAcPolicy = 0
conf_show: UseMnHaIPsec = disabled
conf_show: MnMaxHaBindingLife = 262140
conf_show: MnMaxCnBindingLife = 420
conf_show: MnRouterProbeTimeout = 0.000000
conf_show: InitialBindackTimeoutFirstReg = 1.500000
conf_show: InitialBindackTimeoutReReg = 1.000000
conf_show: UseCnBuAck = enabled
conf_show: DoRouteOptimizationMN = enabled (2)
conf_show: SendMobPfxAdvs = enabled
conf_show: SendUnsolMobPfxAdvs = enabled
conf_show: MaxMobPfxAdvInterval = 86400
conf_show: MinMobPfxAdvInterval = 600
conf_show: HaMaxBindingLife = 262140
conf_show: DoRouteOptimizationCN = enabled (3)
xfrm_cn_init: Adding policies and states for CN
xfrm_ha_init: Adding policies and states for HA
```

<
Frame 4: 66 bytes on wire (528 bits), 66 bytes captured (528 bits)
Ethernet II, Src: AsustekC_0e:61:68 (00:0e:a6:0e:61:68), Dst: Azurewav_9c:ad:a5 (74:2f:68:9c:ad:a5)
Internet Protocol Version 6, Src: 2001::8 (2001::8), Dst: 2003::762f:68ff:fe9c:ada5 (2003::762f:68ff:fe9c:ada5)
User Datagram Protocol, Src Port: 34472 (34472), Dst Port: 5000 (5000)

Şekil 3. UDP veri paketi içeriği
(UDP data packet content)

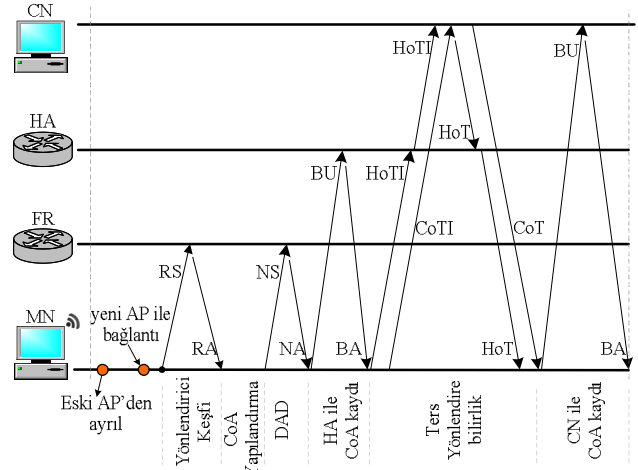
MN üzerinde MIPL uygulamasının çalıştırılması sonucu program tarafından üretilen çıktının özeti aşağıda verilmiştir. Bu çıktıya göre; (1) Düşüm bir MN'dir. (2) MN ve HA arasında RO aktiftir. (3) MN ve CN arasında RO aktiftir. (4) MN ve HA arasında tünelleme kurulumu tamamlanmıştır. (5) MN ev ağı üzerinde bulunmaktadır.

```
MIPL Mobile IPv6 for Linux started (Mobile Node) (1)
conf_show: MnMaxHaBindingLife = 262140
conf_show: MnMaxCnBindingLife = 420
conf_show: InitialBindackTimeoutFirstReg = 1.500000
conf_show: InitialBindackTimeoutReReg = 1.000000
conf_show: UseCnBuAck = enabled
conf_show: DoRouteOptimizationMN = enabled (2)
conf_show: MaxMobPfxAdvInterval = 86400
conf_show: MinMobPfxAdvInterval = 600
conf_show: DoRouteOptimizationCN = enabled (3)
xfrm_cn_init: Adding policies and states for CN
xfrm_mn_init: Adding policies and states for MN
conf_home_addr_info: HoA address
2003::762f:68ff:fe9c:ada5
conf_home_addr_info: HA address 2003:0:0:0:0:0:2
tunnel_add: created tunnel ip6tnl1 from
2003::762f:68ff:fe9c:ada5 to 2003::2 user count 1 (4)
conf_home_addr_info: Home address
2003::762f:68ff:fe9c:ada5
md_discover_router: discover link on iface wlan0
mn_addr_do_dad: DAD succeeded!
mn_move: in home net (5)
```

MIPL uygulaması en son CN düğümü üzerinde çalıştırılarak MIPv6 protokol özellikleri bu düğümler üzerinde sağlanır. MN düğümü ev ağındayken test yatağı üzerinde bulunan düğümler IPv6 protokolüne göre çalışır. MN ve CN düğümlerin arasındaki iletişim sırasında CN tarafından gönderilen veri paketleri doğrudan MN'ye iletilirler. MN için iletilen bir veri paketinin içeriği Şekil 3'te gösterilmiştir. Şekil 3'e göre UDP (User Datagram Packet) veri paketi 2001::8 adresinden 2001::762f:68ff:fe9c:ada5 adresine tünelleme işlemi kullanılmaksızın IPv6 protokolü kuralları ile doğrudan gönderilmiştir.

4.2. MN Yabancı Ağda (MN in Foreign Network)

MN düğümünün ağ üzerinde ilk eklendiği noktayı değiştirerek yeni bir ağa geçmesi olayına hücre geçişi denir [7]. MIPv6 protokolüne göre, hücre geçişinin tespit edilmesinden MN düğümü sorumludur ve bu nedenle hücre geçişi süreci MN tarafından başlatılır. MN düğümünün ağ üzerinde iletişimine kaldığı yerden devam edebilmesi için Şekil 4'te gösterilen hücre geçişi sürecinin başarılı bir şekilde tamamlanması gereklidir.



Şekil 4. MIPv6 hücre geçişi süreci
(MIPv6 handover process)

Şekil 4'e göre MIPv6'da hücre geçişi süreci aşağıdaki aşamalardan meydana gelir.

Yönlendirici Keşfi: MN için hücre geçişi süreci FR'nin ağ alanına girdiği zaman bu ağdan bir RA iletilmesiyle birlikte başlar. RA mesajı FR tarafından periyodik olarak yayınlanır ya da MN tarafından gönderilen RS iletilerine karşılık olarak gönderilebilir.

CoA Yapılandırma ve DAD (Duplicate Address Detection): MN düğümü FR'nin yayınladığı RA iletilisinden elde ettiği IPv6 adres ağ önekini ve kendi MAC adresini kullanarak bu ağ üzerinde kullanacağı bir CoA yapılandırır [22]. MN yapılandığı CoA'nın ağda eşsiz olup olmadığını sınamak amacıyla DAD sürecini başlatır. DAD sürecinde MN tarafından FR'ye NS (Neighbour Solicitation - Komşu İsteği) iletilisi gönderilir ve bu iletiye karşılık NA (Neighbour Advertisement - Komşu Yayınlama) iletilisi alınır. Eğer DAD süreci sonunda CoA'nın ağda eşsiz olduğu belirlenirse bu adres MN tarafından kullanılmaya başlanır.

BU ve RR (Return Routability - Ters Yönlendirilebilirlik): MN düğümünün ağdaki iletişim sürekliliği BU iletilerini sağlar. BU iletilerini MN'nin yapılandığı ve eşsizliğini doğruladığı CoA'sını HA ve CN'ye bildirmesi için kullanılır. HA bu iletilerini BA (Binding Acknowledgement - Bağlama Onayı) iletilisi ile yanıtlar ve MN'nin ev adresi ile CoA'sı arasında bir tünelleme oluşturur. CN ile BU süreci RR adında ek bir işlem daha gerektirir. HoT (Home Test Init - Ev Sınaması Başla) ve CoT (Care of Test - Duruma Bağlı Sınama) iletilerini RR işlemi sırasında kullanır [23]. MIPv6 protokolü hücre geçişi sırasında RR sürecinde alınan ve gönderilen iletiler ve bu iletilerin hareketlilik başlığı bilgileri Tablo 4'de verilmiştir.

Tablo 4. MIPv6 hareketlilik başlığı tipleri
(Types of MIPv6 mobility headers)

Hareketlilik Başlığı	İleti	Gönderen→Alan
MH Tip 1	HOTI	MN→CN (HA üzerinden)
MH Tip 2	COTI	MN→CN
MH Tip 3	HOT	CN→MN (HA üzerinden)
MH Tip 4	COT	CN→MN
MH Tip 5	BU	MN→HA ya da MN→CN
MH Tip 6	BA	HA→MN ya da HA→CN

Yapılandırılan MIPv6 test yatağı üzerinde MN, HA ve CN düğümlerinin protokol davranışları MN düğümünün ev ağından yabancı bir ağa hücre geçişi gerçekleştirmesi senaryosuna göre Test-2’de incelenmiştir. Test sırasında CN düğümü MN ile iletişimdeyken MN yeni bir ağa hücre geçişi gerçekleştirmiştir. MIPL uygulaması üzerinde MN’nin yeni ağna geçtiği zaman elde ettiği adresi (*Care-of address*) ve eski ağındaki adresi (*Home address*) için oluşturduğu BUL kaydı Şekil 5’te verilmiştir. Şekil 5’e göre, MN düğümü yeni ağna geçtiği zaman HA’ya yeni adresini bildirmek için BU iletilisini MH-Tip 5 ile göndermiştir.

```

Fri Dec 28 17:24:41 mn_get_home_lifetime: CoA lifetime 86399 s
Fri Dec 28 17:24:41 mn_ro_pol_add: Adding default R0 triggering
Fri Dec 28 17:24:41 process_first_home_bu: New bule for HA
Fri Dec 28 17:24:41 bul_add: Adding bule
== BUL_ENTRY ==
Home address 2003:0:0:0:762f:68ff:fe9c:ada5
Care-of address 2004:0:0:0:762f:68ff:fe9c:ada5
CN address 2003:0:0:0:0:0:0:2
lifetime = 11984, delay = 1500
flags: IP6 MH BU HOME IP6 MH BU ACK IP6 MH BU LLOCAL
Fri Dec 28 17:24:41 mn_send_home_bu: New bule for HA
Fri Dec 28 17:24:41 mh_send: sending MH type 5
from 2003:0:0:0:762f:68ff:fe9c:ada5
to 2003:0:0:0:0:0:0:2

```

Şekil 5. MIPL uygulamasında BUL kaydı
(BUL entry in MIPL application)

MN tarafından HA ve CN için gönderilen BU iletilerinin *Wireshark* paket yakalama yazılımında gösterimi Şekil 6’da ve bu iletilerin akış grafiği Şekil 7’de verilmiştir.

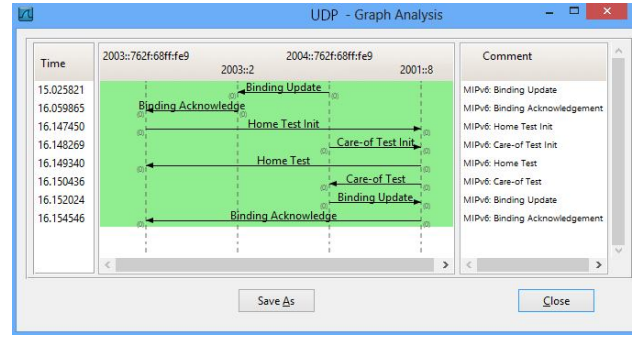
Time	Source	Destination	Protocol	Info
15.025821	2003::762f:68ff:fe9c:ada5	2003::2	MIPv6	Binding update
16.059865	2003::2	2003::762f:68ff:fe9c:ada5	MIPv6	Binding Acknowledgement
16.147450	2003::762f:68ff:fe9c:ada5	2001::8	MIPv6	Home Test Init
16.148269	2004::762f:68ff:fe9c:ada5	2001::8	MIPv6	Care-of Test Init
16.149340	2001::8	2003::762f:68ff:fe9c:ada5	MIPv6	Home Test
16.150436	2001::8	2004::762f:68ff:fe9c:ada5	MIPv6	Care-of Test
16.152024	2003::762f:68ff:fe9c:ada5	2001::8	MIPv6	Binding Update
16.154546	2001::8	2003::762f:68ff:fe9c:ada5	MIPv6	Binding Acknowledgement

Şekil 6. MN tarafından gönderilen BU iletileri
(BU messages that are sent by MN)

Şekil 6’ya göre MN düğümü FR ağna geçtikten sonra ilk olarak (15,02s) ev yetkilisi (2003::2) için “Binding Update” iletilisi göndermiştir. 2003::2 adresi ise “Binding Acknowledgement” iletilisi ile bağlama sürecini onaylamıştır.

Frame 270: 106 bytes on wire (848 bits), 106 bytes captured (848 bits)
Ethernet II, Src: Micro-St_c6:04:49 (00:13:d3:c6:04:49), Dst: Azurewaw_9c:ad:a5 (74:2f:68:9c:ad:a5)
Internet Protocol Version 6, Src: 2003::2 (2003::2), Dst: 2004::762f:68ff:fe9c:ada5 (2004::762f:68ff:fe9c:ada5)
Internet Protocol Version 6, Src: 2001::8 (2001::8), Dst: 2003::762f:68ff:fe9c:ada5 (2003::762f:68ff:fe9c:ada5)
User Datagram Protocol, Src Port: 45268 (45268), Dst Port: 5000 (5000)

Şekil 9. Tünelenmiş UDP paketi
(Tunnelled UDP packet)



Şekil 7. MIPv6 protokolü BU süreci akış grafiği
(Flow Graph of MIPv6’s BU process)

HA yönlendiricisi MN tarafından gönderilen BU iletilisini almasıyla birlikte MN’nin CoA’sı için Şekil 8’de gösterildiği gibi bir tünel kurulumu gerçekleştirir. Şekil 8’ye göre oluşturulan tünelin başlangıç noktası MN’nin ev ağı adresi ve tünelin bitiş noktası MN’nin CoA’sıdır. Bu noktada artık MN için gönderilen veri paketleri HA tarafından tutularak bu tünel üzerinden gönderilir.

```

== BUL_ENTRY ==
Home address 2003:0:0:0:762f:68ff:fe9c:ada5
Care-of address 2004:0:0:0:762f:68ff:fe9c:ada5
CN address 2003:0:0:0:0:0:0:2
lifetime = 11984, delay = 1500
flags: IP6 MH BU HOME IP6 MH BU ACK IP6 MH BU LLOCAL
tunnel_mod: modifying tunnel 5 end points with from 2004:0:0:0:762f:68ff:fe9c:ada5 to 2003::2
tunnel_mod: modified tunnel iface ip6tnl1 (5) from 2004:0:0:0:762f:68ff:fe9c:ada5 to 2003::2
md_update_router_stats: add coa 2004:0:0:0:762f:68ff:fe9c:ada5 on interface

```

Şekil 8. MIPL uygulamasında tünel kurulumu
(Tunnel established in MIPL application)

Tünel üzerinden MN’nin ev adresi için gönderilen bir UDP paketinin *Wireshark* yazılımı ile yapılan analizinin ekran görüntüsü Şekil 9’da verilmiştir. Şekil 9’a göre UDP paketi en iç IPv6 ağ katmanında 2001::8 kaynak adresinden (Src), 2003:762f:68ff:fe9c:ada5 hedef adresi (Dst) için gönderilmiştir. Ancak HA yönlendiricisi bu UDP paketini tünel üzerinden göndermek için başka bir IPv6 ağ katmanı içerisinde sarmalamıştır. Bu işlem sonucunda paketin yeni kaynak adresi 2003::2 (HA adresi) ve hedef adresi 2004::762f:68ff:fe9c:ada5 (CoA) olarak değişmiştir. Diğer bir anlamda, MN için gönderilen UDP paketi HA tarafından tutularak MN’nin CoA’sı için tünelenmiştir.

CN tarafından MN’ye gönderilen veri paketlerinin HA tarafından tutularak kurulan tünel üzerinden gönderilme işlemi MN ve CN arasındaki BU süreci gerçekleştirilene kadar devam eder. Bu nedenle MN düğümü Şekil 6 ve Şekil 7’de gösterildiği gibi CoA’sını BU süreci ile RR iletilerini de kullanarak CN (2001::8) için göndermiştir. CN ile BU süreci 16,15.s’de tamamlanmış ve CN tarafından gönderilen veri paketleri artık doğrudan MN’nin CoA’sına gönderilmeye başlanmıştır.

5. SONUÇLAR (CONCLUTIONS)

Bu çalışmada, IPv6 kullanıcılarının hareketlilikle ilgili ihtiyaçlarını karşılamak ve gezici düğümlerin IP katmanındaki ağ hizmetlerinin devamlılığını sağlamak için geliştirilen MIPv6 protokolü için düşük maliyetli, ağ laboratuvarı ortamlarında kolaylıkla yapılandırılabilir bir test yatağı kurulmuştur. Çalışmada hazırlanan MIPv6 test yatağının çalışabilirliği, protokolün vaat ettiği özelliklere göre iki ayrı senaryo ile test edilmiştir. Test sonuçlarına göre hazırlanan test yatağı bir MN'nin hareketlilik ile ilgili özelliklerini MIPv6 protokolüne göre desteklemektedir. Çalışma sonunda kurulumu gerçekleştirilen MIPv6 test yatağı kullanılarak araştırmacılar tarafından protokol üzerinde çalışmalar gerçekleştirilebilecek, MIPv6 protokolünü kullanan uygulamalar geliştirilip, test edilebilmesini sağlanacaktır.

6. TEŞEKKÜRLER (ACKNOWLEDGEMENTS)

Bu çalışma 07-2010-67 proje kodu ile Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri kapsamında desteklenmiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Bilgi Toplumu Dairesi, **Bilgi Teknolojileri Sektörü Ekseni Mevcut Durum**, T.C. Kalkınma Bakanlığı, Türkiye, 2013.
- [2] Sektörel Araştırma ve Strateji Geliştirme Dairesi Başkanlığı, **Üç Aylık Pazar Verileri Raporu 2012 Yılı 4. Çeyrek**, Türkiye, 2013.
- [3] İnternet: RIPE Network Coordination Centre, http://www.ripe.net/_internet-coordination/ipv4-exhaustion/ipv4-available-pool-graph, 10.01.2013.
- [4] İnternet: ULAKNET, "IPv6 El Kitabı", <http://www.ulakbim.gov.tr/ulaknet/ulak6net/>, 09.01.2013.
- [5] A. Bolat, **Mobil IP: Mevcut Düzenlemeler ve Türkiye Önerileri**, Yüksek Lisans Tezi, Telekomünikasyon Kurumu, 2004.
- [6] O. Bektaş, E. Yüce, N. K. Koç ve diğ., "IPv6-GO Test Ağı Kurulumu", **Haberleşme Teknolojileri ve Uygulamaları Sempozyumu**, İstanbul, 2009.
- [7] İnternet: Ulusal IPv6 Protokol Altyapısı Tasarımı ve Geçiş Projesi, "Dünyada ve Türkiye IPv6'nın durumu," http://www.ipv6.net.tr/index.php?option=com_content&view=article&id=61%3Aduyevada-ve-tuerkiye-ipv6nn_durumu&catid=41%3Aipv6-tarihi&Itemid=67, 09.01.2013.
- [8] H. H. Choi, D. H. Cho, "Mobility Management Based on Mobile IP in Mixed IPv4/IPv6 Networks", **IEEE 58. Vehicular Technology Conference**, 2048-2052, 2003.
- [9] H. Soliman, **Mobile IPv6 - Mobility in a Wireless Internet**, Addison-Wesley Professional, 2004.
- [10] İnternet: USAGI, "USAGI project - Linux IPv6 Development Project". <http://www.linux-ipv6.org>, 02.01.2013.
- [11] İnternet: 6NET Large-Scale International IP6 Pilot Network, "Deliverable D4.1.4 Final Mobile IPv6 Support Guide", <http://www.6net.org/publications/deliverables>, 01.12.2009.
- [12] İnternet: UMIP, "How to setup a Mobile IPv6 testbed with IPsec static keying", <http://umip.org/docs/umip-mip6.html>, 09.01.2013.
- [13] İnternet: The Linux Documentation Project, "Linux Mobile IPv6 How to", http://www.tldp.org/HOWTO/html_single/Mobile-IPv6-HOWTO, 02.01.2013.
- [14] İnternet: "GNU Zebra", <http://www.zebra.org/what.html>, 04.01.2013.
- [15] İnternet: Juniper Networks, "RIPng Overview", <http://www.jnpr.net/techpubs/software/junos/junos63/swconfig63-routing/html/ripng-overview.html>, 05.01.2013.
- [16] İnternet: "Linux IPv6 Router Advertisement Daemon", <http://www.litech.org/radvd/>, 07.01.2013.