

# IPv4/IPv6 변환 프로토콜의 구현 및 테스트

박석천, 김성주, 남기모, 박재권  
경원대학교 전자계산학과

## Implementation and Test of IPv4/IPv6 Translation Protocol

Seok-Cheon Park, Seong-Ju Kim, Ki-Mo Nam, Jae-Kyun Park  
Dept. of Computer Science, Kyungwon University

### 요약

인터넷이 전세계적으로 급속히 확대되면서 기존의 인터넷 망 계층 프로토콜인 IPv4에서 지원 하는 인터넷 주소공간은 얼마 가지 않아 고갈될 것으로 예상된다. 따라서 차세대 인터넷 망 계층 프로토콜인 IPv6로의 전이는 필연적으로 이루어질 것이다. 그러나 현재의 인터넷 환경에서 IPv6로의 동시 전환은 현실적으로 불가능하며 향후 IPv6 환경의 확산에 대처하기 위해서는 IPv4에서 IPv6로의 효과적이고 점진적인 전이 방안이 필요하다.

본 논문에서는 이러한 전이 방안 중에서 IPv4 및 IPv6 단일 구조를 지닌 호스트들로 구성된 네트워크간의 원활한 통신을 지원하기 위한 IPv4/IPv6 변환 프로토콜을 구현하고 테스트하였다. 이를 위하여 IP 패킷 구조를 분석하고 이를 토대로 IP 변환 프로토콜의 기능 구조 및 변환 동작 절차를 설계 및 구현하였고, 국부시험 방법을 사용하여 설계한 변환 프로토콜이 정상적으로 동작함을 확인하였다.

### 1. 서론

인터넷이 전세계적으로 급속히 확대되면서 기존의 IPv4에서 지원하는 인터넷 주소 공간의 제약문제를 해결할 수 있는 차세대 인터넷 망 계층 프로토콜에 대한 논의가 시작되었다. 이와 함께 인터넷상에서 실시간 멀티미디어 응용을 효과적으로 전송할 수 있는 통신 프로토콜에 대한 요구가 높아지자 이에 대한 연구가 본격화되었으며 차세대 망 계층 프로토콜로서 IPv6가 채택되었다. IPv6는 기존 IPv4가 제공하는 기능을 그대로 제공하면서 인터넷 주소 공간의 확대와 헤더 형식의 단순화, 인증과 데이터 보호기능 제공 등의 향상된 기능을 제공하며 이와 같은 IPv6 환경으로의 전환은 불가피하다고 할 수 있다[1][2].

그러나 현재 사용되고 있는 IPv4 환경에서 차세대 인터넷 프로토콜인 IPv6 환경으로의 동시 전환은 현실적으로 불가능하기 때문에 IPv4에서 IPv6로의 효과적이고 점진적인 전이 방안이 요구된다.

본 논문에서는 인터넷 표준화기구인 IETF의 RFC 및 Draft를 기반으로 IPv6로의 전이 방안 중 IPv4 및 IPv6 단일 구조를 지닌 호스트들로 구성된 망간의 원활한 통신의 지원이 가능한 IP 프로토콜 변환 방안

을 분석하여 IP 프로토콜 변환기능부의 기능 구조 및 동작 절차를 설계하였으며, 이를 토대로 IPv4 /IPv6 변환 프로토콜을 구현하고 테스트하였다.

### 2. IPv4/IPv6 변환 프로토콜 구조의 설계

#### 2.1 IPv4/IPv6 프로토콜의 변환

프로토콜 변환의 기본 동작은 원래의 패킷의 IP 헤더를 다른 버전의 IP 헤더로 교체하는 것이다. 그림 1은 IPv4 및 IPv6 헤더 필드간의 대응 관계를 나타낸다[3].

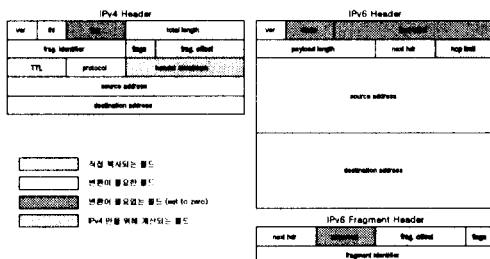


그림 1. IPv4 및 IPv6 헤더 필드간의 변환

IPv4와 IPv6간의 변환은 IP 헤더 크기의 차이로 인하여 IP 패킷 크기를 변화시키나, IPv6를 지원하는 라우터는 IP 패킷을 분할할 수 없기 때문에 본 논문에서는 IP 패킷의 크기를 IPv6의 MTU(Maximum Transmission Unit)인 1,280 바이트보다 작은 크기를 갖도록 제한하였다[4]. IP 주소 변환은 IPv6 표준 명세에 기술되어 있는 IPv4-mapped Address 형식을 토대로 변환하였다[3].

또한 IPv4/IPv6 프로토콜 변환은 ICMP의 변환을 수반한다. ICMP는 IP 패킷의 전송 상태에 대한 통지를 담당하기 때문에 IPv4 라우터나 IPv6 라우터로부터 요청, 반송되는 ICMP 메시지들에 대한 변환이 필요하게 되며, ICMP 메시지들은 버전간에 유사한 부분은 Type과 Code 필드를 재설정함으로써 변환을 수행하며 해당되지 않는 메시지들은 폐기된다.

## 2.2 IPv4/IPv6 변환 프로토콜의 구성

본 논문에서 설계 및 구현하는 변환 프로토콜은 그림 2와 같이 IPv4에서 IPv6로의 변환 기능부와 IPv6에서 IPv6로의 변환 기능부로 나눌 수 있다.

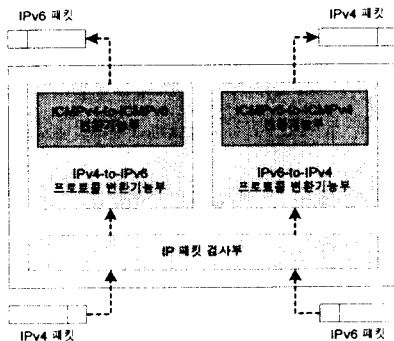


그림 2. IPv4/IPv6 변환 프로토콜의 구조

IP 패킷 검사부는 변환기능부로 유입되는 IP 패킷의 버전을 검사하여 각 버전에 따라 IP 변환기능부로 보내주는 역할을 담당한다. IP 변환기능부는 유입되는 IP 패킷을 다른 버전의 IP 패킷으로 변환시키는 역할을 담당하며 IPv4-to-IPv6 변환기능부와 IPv6-to-IPv4 변환기능부로 구분하였다. 이들은 각각 내부에 ICMP의 변환을 담당하는 부분을 포함하고 있다. 본 논문에서는 IPv4에서 IPv6로의 변환 기능부를 중심으로 변환 프로토콜을 기술한다.

## 2.3 IPv4-to-IPv6 변환 프로토콜의 설계

IPv4-to-IPv6 변환 프로토콜은 입력된 IPv4 패킷의 헤더를 IPv6 헤더로 변환한다. 이때 IP 패킷의 원래 IPv4 헤더는 제거되고 IPv6의 헤더로 교체되며, 상위 계층의 헤더와 데이터 부분은 변하지 않는다.

### (1) IP 헤더 변환

표 1은 IPv4에서 IPv6로의 변환에 있어서의 IP 헤더 필드값의 변환을 기술한 것이다.

표 1. IP 헤더 필드 변환(IPv4-to-IPv6)

IPv6 필드명	변환 내용
Version	6
Traffic Class	0
Flow Label	0
Payload Length	IPv4 헤더의 Total Length 필드값에서 IPv4 헤더의 IHL 필드값을 뺀 값 복사
Next Header	IPv4 헤더의 Protocol 필드값 복사
Hop Limit	IPv4의 TTL 필드값에서 1을 뺀 값 복사
Source Address	상위 96비트는 IP mapped prefix 하위 32비트는 IPv4 Source Address
Destination Address	상위 96비트는 IPv4 mapped prefix 하위 32비트는 IPv4 Destination Address

### (2) ICMP 변환

ICMPv4 메시지는 Query 메시지와 Error 메시지로 구분되어 각각 변환된다. 표 2는 IPv4에서 IPv6로 패킷이 전송될 경우 ICMPv4의 Query 메시지들이 변환되는 내용을 나타낸 것이다.

표 2. ICMPv4 Query 메시지 변환

ICMPv4 Query 메시지		변환 내용
메시지명	Type	
Echo / Echo Reply	8, 0	Type→128, 129
Information Request/Reply	15, 16	폐기
Timestamp / Timestamp Reply	13, 14	폐기
Address Mask Request/Reply	17, 18	폐기
ICMP Router Advertisement	9	폐기
ICMP Router Solicitation	10	폐기
Unknown ICMPv4 Types	.	폐기

### (3) IPv4-to-IPv6 프로토콜 변환기능부의 동작 절차

IPv4-to-IPv6 프로토콜 변환기능부의 전체적인 동작을 살펴보면 직접적으로 필드값의 변환 과정을 필요로 하는 부분과 IP 패킷의 분할에 대한 정보를 토대로 변환되는 부분으로 구분할 수 있으며, IP 패킷

변환 과정의 내부에 ICMP 변환(ICMPv4-to-ICMPv6) 기능부가 존재하게 된다.

그림 3은 본 논문에서 설계한 IPv4-to-IPv6 프로토콜 변환기능부의 동작 절차를 나타낸 것이다.

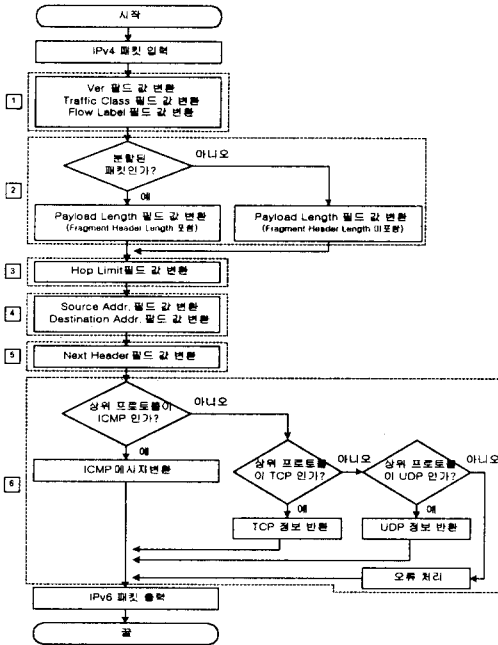


그림 3. IPv4-to-IPv6 프로토콜 변환기능부의 동작절차

### 3. IPv4/IPv6 변환 프로토콜의 구현 및 테스트

#### 3.1 IPv4/IPv6 변환 프로토콜의 구현

IPv4/IPv6 변환 프로토콜은 IPv4 프로토콜과 IPv6 프로토콜 사이의 상호 매핑을 지원하여야 하며, 본 논문에서 구현하는 IPv4/IPv6 변환 프로토콜은 IP 패킷 검사부와 IPv4-to-IPv6 프로토콜 변환 기능부 및 IPv6-to-IPv4 프로토콜 변환기능부로 구성되어 있다.

IPv4-to-IPv6 및 IPv6-to-IPv4 프로토콜 변환 기능부는 내부에 ICMP 메시지 변환 기능부를 포함하고 있으며 이는 입력되는 ICMP 메시지를 다른 버전의 ICMP 메시지로 변환하는 역할을 담당한다.

본 논문에서의 IPv4/IPv6 변환 프로토콜에 대한 구현은 기존에 정의된 Winsock와 Winsock2에 정의된 데이터 구조 및 API 들과의 효과적인 연계를 고려하여 C 언어를 이용하여 코딩하였다. 그림 4는 실제 프

로그램에서 전송되는 버전별 IP 패킷 헤더 및 ICMP 헤더, IPv6 확장 헤더 클래스를 정의한 것이다.

```

typedef struct IPv4Header {
    uchar ipv4h_ver; // IPv4 헤더 Version 필드
    uchar ipv4h_ihleng; // IPv4 헤더 Internet Header Length
    uchar ipv4h_tos; // IPv4 헤더 Type of Service 필드
    ushort ipv4h_tlen; // IPv4 헤더 Total Length 필드
    ushort ipv4h_fid; // IPv4 헤더 Fragment Identification 필드
    uchar ipv4h_flag; // IPv4 헤더 Flags 필드
    ushort ipv4h_offset; // IPv4 헤더 Fragment Offset 필드
    uchar ipv4h_ttl; // IPv4 헤더 Time to Live 필드
    uchar ipv4h_protocol; // IPv4 헤더 Protocol 필드
    ushort ipv4h_hchecksum; // IPv4 헤더 Header Checksum
    ip4addr ipv4h_srcaddr; // IPv4 헤더 Source Address 필드
    ip4addr ipv4h_desaddr; // IPv4 헤더 Destination Address
}

typedef struct ICMPv4Header {
    uchar icmpv4_type; // ICMPv4 헤더 Type 필드
    uchar icmpv4_code; // ICMPv4 헤더 Code 필드
    ushort icmpv4_checksum; // ICMPv4 헤더 Checksum 필드
}

typedef struct IPv6Header {
    uchar ipv6h_ver; // IPv6 헤더 Version 필드
    uchar ipv6h_tclass; // IPv6 헤더 Traffic Class 필드
    uchar ipv6h_flowlabel; // IPv6 헤더 Flow Label 필드
    ushort ipv6h_plen; // IPv6 헤더 Payload Length 필드
    uchar ipv6h_nheader; // IPv6 헤더 Next Header 필드
    uchar ipv6h_hoplimit; // IPv6 헤더 hop Limit 필드
    ipv6addr ipv6h_srcaddr; // IPv6 헤더 Source Address 필드
    ipv6addr ipv6h_desaddr; // IPv6 헤더 Destination Address
}

typedef struct ICMPv6Header {
    uchar icmpv6_type; // ICMPv6 헤더 Type 필드
    uchar icmpv6_code; // ICMPv6 헤더 Code 필드
    ushort icmpv6_checksum; // ICMPv6 헤더 Checksum 필드
}
    
```

그림 4. 버전별 헤더 클래스 정의

본 논문에서는 IPv4/IPv6 변환 프로토콜을 구현하기 위해 위와 같이 정의된 기본 클래스 및 ICMP의 Type 및 Code 필드값, IP 상위 프로토콜 및 IPv6 확장 헤더 등을 정의한 부가 클래스들을 사용하였다.

#### 3.2 IPv4/IPv6 변환 프로토콜의 테스트

본 논문에서는 오류 검출 능력이 가장 뛰어난 방법인 국부 시험 방법을 이용하여 구현 프로그램의 적합성 시험을 행하였고, 또한 실제 IP 패킷을 주고 받는 모의 실험을 통하여 프로토콜 변환기능을 확인하였다.

##### (1) 실험 모델의 구성

IPv4 패킷 생성 대체와 IPv6 패킷 생성 대체를 본 논문에서 구현한 IPv4/IPv6 변환 프로토콜로 연결하여 IP 프로토콜을 변환한다. 버전별 IP 패킷 생성 대체는 사용자 인터페이스를 통하여 임의의 IP 패킷을 생성하고 이를 IP 변환 프로토콜로 전송하며, 변환된 IP 패킷의 상태는 역시 사용자 인터페이스를 통해 화면으로 출력되도록 구성하였다. 본 시험은 Windows NT 환경에서 수행하였으며 그림 5에 실험을 위한 전체 시스템의 구성도를 나타내었다.

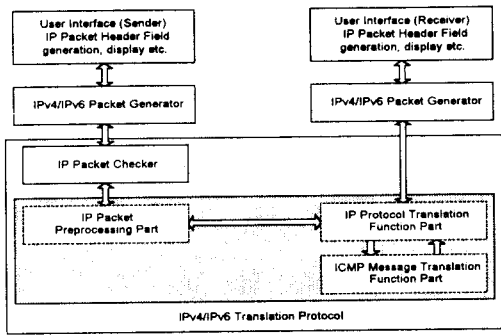


그림 5. 전체 시스템 구성도

(2) IPv4/IPv6 프로토콜 변환 시험

IPv4/IPv6 프로토콜 변환 시험에서는 사용자 인터페이스를 통해 IPv4와 IPv6간의 프로토콜 변환에 대한 기본 동작 및 변환 절차에 대해 시험을 수행하였다. 시험의 시나리오는 다음과 같다.

- IPv4와 IPv6간의 정상적인 변환 절차 시험
- 임의의 IP 패킷 오류 발생에 의한 IP 프로토콜 변환 절차 시험
- ICMP Error 메시지 발생 시의 IP 프로토콜 재 변환 절차 시험

각 시험에 대한 전체적인 진행 사항 및 변환 절차를 구성하는 각 클래스에서 송·수신되는 패킷 정보를 화면에 표시함으로써, 시험의 결과를 확인하였다. 그림 6에 IPv4 호스트측에서 IPv6로의 변환을 요구한 경우의 시험 결과 화면을 나타내었다.

```

Input IPv4 Packet Information
-----
Version : 4      ICS : General
Fragmentation Information : None
TTL Information : None
Protocol Information : ICMP
Source Address : IPv4 - 192.9.41.119
Destination Address : IPv4 - 192.9.41.115
-----

Translation tester : Packet is Received.
Translation tester : Version Checking.
Translation tester : Protocol translating..
Translation tester : Protocol translation available.

Translated IPv4 Packet Information
-----
Version : 6      TrafficClass : General
FlowLabel Information : None
NextHop Information : None
NextHeader Information : None
Source Address : IPv4 - 192.9.41.119
Destination Address : IPv6 - 192.9.41.115
    
```

그림 6. 시험 결과 화면

3.2 IPv4/IPv6 변환 프로토콜의 시험 결과 및 검토

본 시험 모델에서는 사용자 인터페이스를 통하여 IP 패킷의 정상적인 변환 결과를 확인할 수 있었다.

본 논문은 IP 프로토콜, 즉 망 계층의 부분을 대상으로 하고 있기 때문에 상·하위 프로토콜이 지원된 완전한 망에서 IPv4 호스트와 IPv6 호스트 종단간의 테스트는 수행할 수 없으나 본 시험결과를 통하여 정상적인 프로토콜 변환 역할을 수행함을 추정할 수 있다.

IP 패킷에 대한 정상적인 변환 시험의 경우 IP 패킷 헤더 내에 있는 각각의 필드값이 정확하게 변환되었으며, 상위 프로토콜인 ICMP 메시지 역시 표준 명세에 의거한 결과 메시지로의 변환이 수행되었다. 임의의 오류를 발생시킨 경우 변환 프로토콜 내부의 오류 처리 루틴에서 이를 발견하고 이에 따른 예외처리를 발생시켰으며 송신측으로 IP 패킷 재전송을 요구하는 메시지를 보내주도록 이상 없이 수행되었다. ICMP Error 메시지를 포함한 경우 본 논문에서 고려한 바와 같이 IP 패킷에 대한 재 변환 처리가 이상 없이 수행됨을 확인하였다.

4. 결론

본 논문에서는 인터넷이 급속히 확대되면서 요구되는 IPv4에서 IPv6로의 전이 방안 중에서 IPv4 및 IPv6 단일 구조를 지닌 호스트들로 구성된 네트워크 간에 효과적이고 원활한 상호통신을 지원하기 위한 IPv4/IPv6 변환 프로토콜을 설계 및 구현하였고, 국부 시험 방법에 의한 적합성 시험을 통하여 구현한 변환 프로토콜이 정상적으로 동작함을 확인하였다.

본 논문에서 구현한 IPv4/IPv6 변환 프로토콜은 기존의 수많은 호스트들에 대한 IP 프로토콜을 수정할 필요가 없다는 점에서 매우 효율적인 방안이라 할 수 있으며, 향후 차세대 인터넷 환경으로의 전이를 위한 기반 기술로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

[참고문헌]

- [1] S. Deering, R. Hinden, "Internet Protocol, Version (IPv6) Specification," RFC 2460, IETF, 1998.
- [2] A. Conta, S. Deering, "Internet Control Message Protocol (ICMPv6) for the Internet Protocol Version (IPv6) Specification," RFC 2463, IETF, December 1998.
- [3] Motoo Nishihara 외, "Mapping of IPv4 Packet to IPv6 and Its Usage for Future Internet," NEC 기술 Vol. 52 No. 6, 1999.
- [4] J. McCann, S. Deering, J. Mogul, "Path MTU Discovery for IP version 6," RFC 1981, IETF, August 1996.