

IPv4/IPv6 프로토콜 변환모듈의 설계 및 구현

박석천^o, 이주영, 남기모, 박재균,
경원대학교 전자계산학과
e-mail:scpark@mail.kyungwon.ac.kr

Design and Implementaion of IPv4/IPv6 Protocol Translation

Seok Cheon Park^o, Ju Yeong Lee, Ki Mo Nam, Jea Kyun Park,
Dept. of Computer Science, Kyungwon Univ.

요 약

인터넷이 전세계적으로 급속히 확대되면서 인터넷 사용자의 수는 기하급수적으로 증가하고 있으며 이로 인하여 기존의 인터넷 망 계층 프로토콜인 IPv4에서 지원하는 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 방안에 대한 연구가 필요하다.

본 논문에서는 이러한 전이 방안 중에서 IPv4 및 IPv6 단일 구조를 지닌 호스트들로 구성된 네트워크간의 원활한 통신을 지원하기 위한 IPv4/IPv6 프로토콜 변환모듈을 설계 및 구현 하였으며, 이를 위하여 IP 패킷 구조를 분석하고 이를 토대로 IP 프로토콜 변환모듈의 기능 구조를 정의하였다.

I. 서론

1983년 ARPANET이 TCP/IP를 새로운 통신 규약으로 채택함으로써 현재의 형태를 갖게 된 인터넷은 TCP/IP를 기반으로 1990년대를 거쳐 전세계 규모의 정보통신에 있어 핵심 기술이 되었다. 그러나 인터넷 사용자의 급증과 함께 정보 통신 관련 기술의 발전으로 대용량의 대역폭을 요구하고 초고속 전송 또는 실시간 전송을 필요로 하는 응용 프로그램이 등장함에 따라 기존 인터넷, 즉 IP 규약이 가지고 있던 확장성의 제한과 구현에 있어서의 구조적인 병목 현상이 문제점으로 대두되었고 이를 해결하기 위하여 차세대 인터넷 기술 개발이 활발하게 이루어지고 있다.

인터넷이 전세계적으로 급속히 확대되면서 기존의 인터넷 망 계층 프로토콜인 IPv4에서 지원하는 인터넷 주소 공간이 얼마 가지 않아 고갈되고 말 것이라는 예측이 1990년경에 제기되자 이러한 주소 공간의 제약문제를 해결할 수 있는 차세대 인터넷 망 계층 프로토콜에 대한 논의가 시작되었다.

이와 함께 새로운 멀티미디어 응용서비스가 개발, 제공되면서 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 여러 향상된 기능을 제공하는 형태로 제안되었다. IPv6의 주요 특징으로는 인터넷 주소 공간의 확대와 라우팅 기능의 확장, 헤더 형식의 단순화, 인증과 데이터 보호기능 제공 등이 있으며, 이와 같은 다양한 기능을 지닌 IPv6 환경으로의 전환은 불가피하다고 할 수 있다.

그러나 현재 사용되고 있는 IPv4 환경에서 차세대 인터넷 프로토콜인 IPv6 환경으로의 동시 전환은 현실적으로 불가능하기 때문에 IPv4에서 IPv6로의 효과적이고 점진적인 전이 방안이 필요하다. 이에따라 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 방안을 분석하고 이를 토대로 IPv4 /IPv6 프로토콜 변환모듈을 설계 및 구현 하였다. 이를 위하여 IPv4 및 IPv6의 프로토콜 패킷 구조를 분석하고 IP 프로토콜 변환모듈의 기능 구조를 정의하였다.

II. IP 개요

전세계에 걸친 거대 네트워크를 구성하고 있는 인터넷은 정보 고속도로라는 차세대 정보 통신망이 그 하부구조로 떠오르면서 일반 사용자의 관심이 더욱 증가되고 있으며, 각 기업의 상용 서비스가 연결되면서 발전의 기반이 더욱 튼튼히 다져지고 있다. 이러한 인터넷에서의 통신을 위하여 이질적인 망들의 연결 및 연결된 망들을 이용한 종단간 통신 등을 목표로 개발된 통신 프로토콜이 TCP/IP이며, 현재까지도 인터넷의 표준 프로토콜로서 사용되고 있다.

IP는 TCP/IP 프로토콜의 4계층에서 2번째 계층인 망 계층에 위치하고 있고 TCP/IP 프로토콜에서 가장 핵심이 되는 프로토콜이다.

IP가 속한 망 계층의 주요 역할은 하위 계층의 서비스를 이용하여 양쪽의 시스템 사이에 데이터 전송이나 중계를 하는 것이며, 네트워크상에서 주소 지정 및 경로 설정을 담당한다.

IP는 신뢰성 없는 비연결형 서비스를 제공한다. 비연결성 특징은 패킷을 전송하거나 수신하기 전에 상대방과 어떠한 신호 또는 제어 정보를 교환할 필요가 없다는 것을 의미한다. IP 사용자는 패킷을 최종 목적지의 IP 주소만 붙여서 보내면 된다. 만약에 사용자가 연결성 기능이 필요한 경우에는 TCP와 같은 상위 계층 프로토콜을 이용해야 한다. 그림 1은 TCP/IP 프로토콜군의 계층과 이를 구성하는 프로토콜들을 나타낸 것이다.

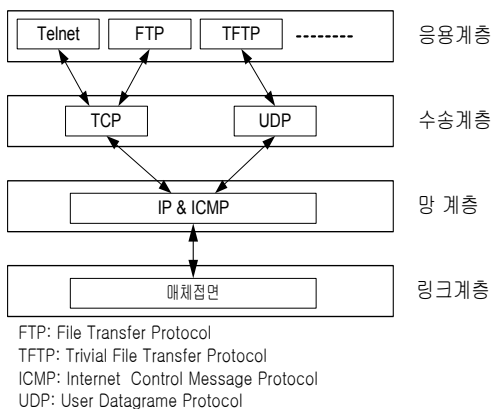


그림 1. TCP/IP 프로토콜 계층 및 구성

III. IPv4/IPv6구조

1. IPv4 헤더 구조

(1) IPv4 헤더 구조

IP 처리를 하는 데이터에는 반드시 IP 헤더가 붙어 있으며 상위 계층에서 넘겨받은 데이터를 IP 헤더에 포함시켜 하위 계층에 건네준다. 반대로 하위 계층에서 온 데이터는 IP 헤더의 내용을 해석하여 필요하면 상위 계층에 건네준다. 그림 2는 IPv4 패킷의 구조를 나타낸 것이다.

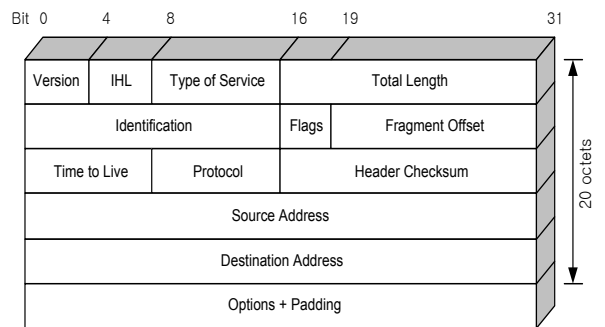


그림 2. IPv4 헤더 구조

(2) ICMPv4

ICMP (Internet Control Message Protocol)는 라우터나 노드 등에서 이상이 발생하여 패킷이 목적지까지 도달하지 못하는 경우 송신측에 상황을 통지하는 역할을 담당하며, IP 프로토콜과 함께 처리된다. ICMP 메시지는 Query 메시지와 Error 메시지로 구분되어 있다.

2. IPv6 헤더 구조

(1) IPv6의 개요

32 비트 길이의 IP 주소는 인터넷에 접속하는 호스트의 수가 폭발적으로 증가함에 따라 고갈위기에 놓여있다. 이를 지연시키기 위해 임시방편으로 C 클래스의 주소만을 할당하여 CIDR(Classless Inter-Domain Routing)을 사용하여 주소의 고갈을 지연시키고 있다.

이와 같은 주소의 고갈, 라우팅의 어려움 및 보안 등의 문제점들로 인해 현재 인터넷에서 사용되고 있는 IPv4를 개선한 것이 IPv6이다.

(2) IPv6 패킷의 헤더 구조

IPv6의 헤더는 IPv4 헤더의 몇몇 필드가 생략되거나 선택사항으로 추가함으로써 일반적인 경우 패킷의 처리 비용이 줄어들었고, 주소 길이가 IPv4에 비해 크게 늘어났음에도 불구하고 헤더의 대역폭 비용을 제한할 수 있게 되었다. 그림 3은 IPv6의 헤더 구조를 나타낸 것이다.

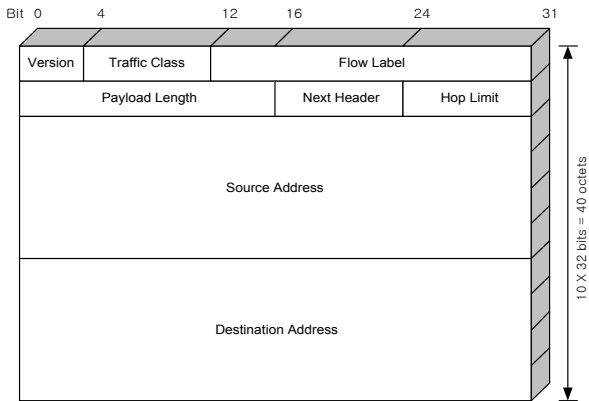


그림 3. IPv6 헤더 구조

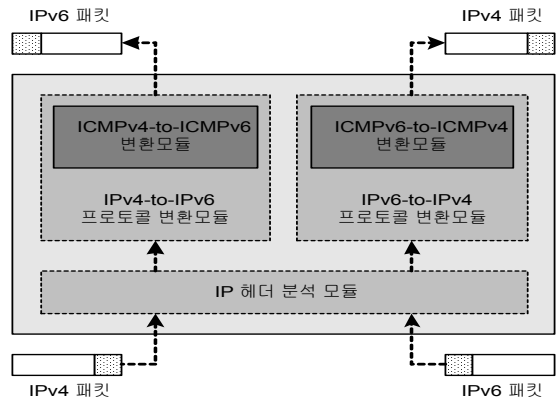


그림 5. IPv4/IPv6 프로토콜 변환모듈의 구조

(3) ICMPv6

ICMPv6는 현재 사용하고 있는 ICMPv4를 수정 및 보완하여 사용되는 프로토콜이며 IPv6 Next Header 필드값으로 58을 갖는다. ICMPv6는 패킷 처리 중에 발생하는 오류를 보고, 진단하는 기능을 수행한다.

ICMPv6 메시지는 Error 메시지와 Informational 메시지로 구분되며 Error 메시지는 메시지의 Type 필드값의 상위 비트에 0을 삽입함으로써 인식된다.

(1) IP 헤더 분석 모듈

IP 헤더 분석모듈은 변환 모듈로 유입되는 IP 패킷의 버전을 검사하여 IP 변환모듈로 보내주는 역할을 담당한다. IP 변환모듈은 유입되는 IP 패킷을 다른 버전의 IP 패킷으로 변환시키는 역할을 담당하며 IPv4-to-IPv6 변환모듈과 IPv6-to-IPv4 변환모듈로 구분된다. 이들 모듈은 내부에 ICMP의 변환을 담당하는 모듈을 포함하고 있다.

IV. IPv4/IPv6 변환 프로토콜의 설계

1. IPv4/IPv6 변환 프로토콜의 구성

본 논문에서 설계 및 구현되는 IPv4/IPv6 변환 프로토콜은 IPv4 호스트와 IPv6 호스트 사이의 통신을 위한 망계층 프로토콜이며 본 프로토콜 및 네트워크 구성을 그림 4에 나타내었다.

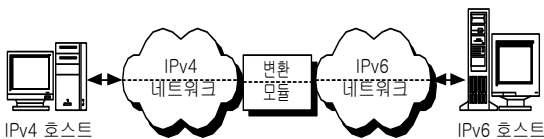


그림 4. 프로토콜 변환모듈 네트워크 구성도

그림 4에 나타낸 바와 같이 IPv4/IPv6 프로토콜 변환모듈은 IPv4 호스트와 IPv6 호스트간의 통신 및 IPv4로 이루어진 네트워크와 IPv6로 이루어진 네트워크간의 통신을 위해 IP 프로토콜 변환을 수행한다.

2. IPv4/IPv6 프로토콜 변환모듈의 기능 구조

본 논문에서 설계한 프로토콜 변환모듈은 그림 5와 같이 크게 IP 헤더 분석 모듈과 IPv4에서 IPv6로의 변환모듈, IPv6에서 IPv4로의 변환모듈로 나눌 수 있다.

(2) IPv4-to-IPv6 변환 프로토콜의 설계

① IP 헤더 변환

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

② ICMP 변환

ICMPv4와 ICMPv6은 유사한 헤더 형식을 가지고 있으며 대부분의 메시지들의 의미가 동일하므로 직접적인 변환이 이루어진다.

ICMPv4 메시지는 Query 메시지와 Error 메시지로 구분되어 각각 변환된다. 표 1에 IPv4에서 IPv6로 패킷이 전송될 경우 ICMPv4의 Query 메시지들이 변환되는 내용을 나타내었다.

표 1. 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

표 1에서 나타낸 바와 같이 변환되는 유일한 ICMP Query 메시지들은 Echo Request 와 Echo Reply 메시지이며, 나머지 메시지들은 모두 폐기된다.

다음의 표 2에 ICMPv4 Error 메시지의 변환을 나타내었다.

표 2. ICMPv4 Error 메시지 변환

ICMPv4 Error 메시지	변환 내용
Destination Unreachable (Type 3)	Code 0,1 Code→0 (no route to destination)
	Code 2 Type→4, Code→1 (parameter problem)
	Code 3 Code→4 (port unreachable)
	Code 4 Type→2, Code→0 (packet too big)
	Code 5 Code→2(not a neighbor)
	Code 6,7 Code→0 (no route to destination)
	Code 8 Code→0 (no route to destination)
	Code 9,10 Code→1 (communication with destination administratively prohibited)
Code 11,12 Code→0 (no route to destination)	
Redirect(Type 5)	폐기
Source Quench(Type 4)	폐기
Time Exceeded(Type 11)	Type→3
Parameter Problem(Type 12)	Type→4

표 2에서 나타낸 바와 같이 변환되는 ICMP Error 메시지들은 Destination Unreachable, Time Exceeded 및 Parameter Problem 메시지들이다. 이들 역시 ICMP Query 메시지의 변환과 같은 방식으로 변환된다.

(3) IPv6-to IPv4 변환 프로토콜의 설계

① 헤더 변환

IPv6-to-IPv4 변환 프로토콜은 입력된 IPv6 패킷의 헤더를 IPv4 헤더로 변환하는 기능을 수행한다. 이때 IPv6 헤더는 제거되고 IPv4의 헤더로 교체되며, 상위 계층의 헤더와 데이터 부분은 변하지 않는다. 표 3은 IPv6에서 IPv4로의 변환에 있어서의 IP 헤더 필드간 변환을 기술한 것이다.

표 3에 따라 IPv6에서 IPv4로의 각 필드간 변환이 이루어지게 된다.

표 3. IP 헤더 필드 변환 (IPv6 to IPv4)

필드명	변환되는 내용
Version	IPv4의 버전.(4)
IHL	기본값으로 설정. (5, IPv4 Option 들이 없을 경우)
TOS	IPv6헤더의 Class 필드 값을 복사.
Total Length	IPv6헤더의 Payload Length 필드 값에 IPv4의 크기를 더한 값 복사.
Identifier	모두 0으로 설정.
Flags	More Fragment Flag는 0으로 설정. Dont't Fragment Flag는 1로 설정.
Fragment Offset	모두 0으로 설정.
TTL	IPv6헤더의 Hop Limit 필드 값에서 1을 뺀 값 복사.
Protocol	IPv6 헤더의 Next Header 필드 값을 복사. IPv6헤더의 Next Header 필드 값이 58(ICMPv6)이면,1(ICMPv4)로 대체.
Header Checksum	IPv4 헤더가 생성될 때 한번 계산.
Source Address	IPv6 source Address의 하위 32비트를 복사.
Destination Address	IPv6 Destination Address의 하위 32비트 복사.

만일 IPv6 패킷 내에 Hop-by-Hop Option 헤더, Destination Option 헤더 혹은 Routing 헤더가 있다면 이들은 무시되며, 변환을 위한 시도가 일어나지 않는다. 그러나 IPv6 패킷이 Fragment 확장 헤더를 포함하고 있다면 아래의 표 4에 따라 예외 처리된다.

표 4. Fragment를 포함할 경우 변환되는 IPv4 필드값

필드명	변환되는 내용
Total Length	IPv6 헤더의 Payload Length 필드 값에서 Fragment 헤더를 위한 8비트를 뺀 다음 Ipv4 헤더의 크기를 더한 값을 복사.
Identification	IPv6 Fragment 헤더의 Identifier 필드 값의 하위 16비트를 복사.
Flags	More Fragments flags는 Fragment 헤더의 M Flag를 복사하고, Dont Fragment Flag는 0으로 설정.
Fragment Offset	IPv6 Fragment 헤더의 Fragment Offset 필드값 복사.
Protocol	IPv6 Fragment 헤더의 Next Header 필드 값 복사.

② ICMP 변환

표 5는 IPv4로 패킷이 전송될 경우 ICMPv6의 메시지들이 ICMPv4로 변환되는 내용을 기술한 것이다. ICMPv6 메시지는 Informational 메시지와 Error 메시지로 구분 할 수 있으며 각각 변환되는 내용을 표로 나타내었다.

표 5. ICMPv6 Informational 메시지의 변환

ICMPv6 Informational 메시지		변환되는 내용
메시지 명	Type	
Echo Request and Echo Reply	128, 129	type을 각각 0과 8로 변환
Group Membership Query/ Report/ Done	130~132	폐기
Neighbor Discover messages	133~137	폐기
Unknown Informational messages	.	폐기

표 6에 ICMPv6 Error 메시지들의 변환 내용을 나타내었다

표 6. ICMPv6 Error 메시지의 변환

ICMPv6 Error 메시지		변환되는 내용
Destination unreachable (type 1)	Code 0	Code를 1로 설정(host unreachable)
	Code 1	Code를 10로 설정(communication with destination host administratively prohibited)
	Code 2	Code를 5로 설정(source route failed)
	Code 3	Code를 1으로 설정(host unreachable)
	Code 4	Code를 3으로 설정(port unreachable)
packet Too Big (Type 2)		ICMPv4 Destination unreachable로 변환
Time Exceeded (Type 3)		Type을 11로 설정(Code는 변화 없음)
parameter problem (Type 4)		Code가 1이면 ICMPv4 Protocol Unreachable(Type 3, Code 2)로 변환하고 그렇지 않으면 Type을 12로, Code를 0으로 설정
Unknown Error messages		폐기

표 6에서 나타낸 바와 같이 변환되는 ICMPv6 Error 메시지들은 Destination Unreachable, Pack Too Big, Time Exceeded 및 parameter problem 메시지 들이며, ICMPv6 Informational 메시지의 변환과 마찬가지로 Type 필드 및 Code 필드의 변환을 통하여 메시지를 변환한다.

ICMPv4-to-ICMPv6 변환 기능부와 같이 ICMP Error 메시지의 변환시 IP 헤더에 대한 재변환을 고려하였다.

V. IPv4/IPv6 변환 프로토콜의 구현

본 장에서는 4장에서 설계한 IPv4/IPv6 변환 프로토콜을 구현한다. 본 장의 구성을 살펴보면 먼저 IP 변환 프로토콜의 구현을 위한 변환 상태 및 IP 패킷, ICMP 메시지를 정의하고 이를 토대로 IP 패킷 검사부 및 IPv4에서 IPv6와 IPv6에서 IPv4로의

프로토콜 변환 기능부로 구성되는 IP 변환 프로토콜을 구현하였다.

IPv4/IPv6 변환 프로토콜은 IPv4 프로토콜과 IPv6 프로토콜 사이의 상호 매핑을 지원하여야 한다. 또한 인터넷 망상의 다양한 환경 및 전송 오류 등에 대처할 수 있도록 지원해야 한다. 4장에서 기술한 바와 같이 본 논문에서 설계 및 구현하는 IPv4/IPv6 변환 프로토콜은 IP 헤더 분석 모듈과 IPv4-to-IPv6 프로토콜 변환 기능부 및 IPv6-to-IPv4 프로토콜 변환 기능부로 구성되어 있다.

- IP 헤더 분석 모듈은 입력되는 IP 패킷의 버전을 검사한 후 각 버전에 따라 IP 패킷을 IP 프로토콜 변환 기능부에 전달하는 역할을 담당한다.
- IPv4-to-IPv6 프로토콜 변환 기능부는 입력되는 IPv4 패킷을 IPv6 패킷으로 변환하는 기능을 담당하며 내부에 ICMPv4-to-ICMPv6 변환 기능부를 포함하고 있어 발생하는 ICMPv4 메시지를 ICMPv6 메시지로 변환하는 역할을 담당한다.
- IPv6-to-IPv4 프로토콜 변환 기능부는 입력되는 IPv6 패킷을 IPv4 패킷으로 변환하는 기능을 담당하며 내부에 ICMPv6-to-ICMPv4 변환 기능부를 포함하고 있어 발생하는 ICMPv6 메시지를 ICMPv4 메시지로 변환하는 역할을 담당한다.

본 논문에서의 IPv4/IPv6 변환 프로토콜에 대한 실제 구현은 기존에 정의된 Winsock와 winsock2에 정의된 데이터 구조 및 API 들과의 효과적인 연계를 고려하여 C 언어를 이용하였다.

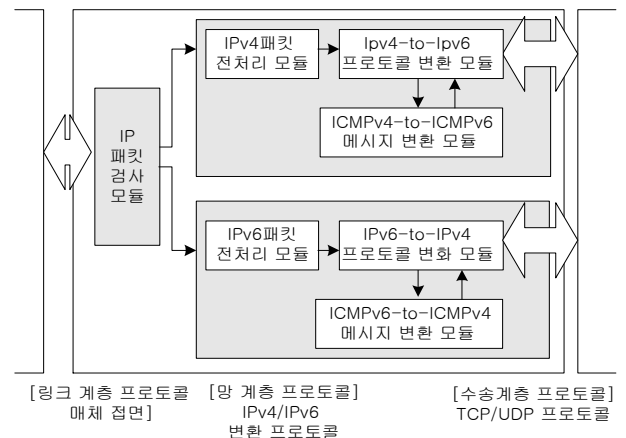


그림 6. IPv4/IPv6 변환 프로토콜의 기능 모듈구조

본 논문에서는 IPv4/IPv6 변환 프로토콜을 구현하기 위해 위와 같이 정의된 기본 클래스들을 사용하였고 그 외에 ICMP의 Type 및 Code 필드 값, IP 상위 프로토콜 및 IPv6 확장 헤더 등을 정

의한 부가 클래스들을 사용하였다. 4장에서 정의한 메시지 변환 동작 절차에 따라 본 장에서는 변환 모듈의 알고리즘을 생략하였으며, 그림 6은 본 논문에서 구현한 IPv4/IPv6 변환 프로토콜의 기능 모듈 구조를 나타낸 것이다.

VI. 결론

기존의 인터넷 망 계층 프로토콜인 IPv4는 기술적으로 안정이 되어 있다는 장점이 있으나, 차세대 인터넷이 추구하는 응용서비스 관점에서 볼 때 가용한 주소가 부족하며, QoS, 보안 문제 등은 기존 IPv4 프로토콜로는 기술적으로 해결이 어려운 상태이다. 따라서 이를 해결하기 위해서는 차세대 인터넷 프로토콜인 IPv6로의 전이가 필수적이다.

그러나 현재의 인터넷 환경에서 IPv6 환경으로의 동시 전환은 현실적으로 불가능하며 향후 IPv6 환경의 확산에 대처하기 위해서는 IPv4에서 IPv6로의 효과적이고 점진적인 전이 방안이 대한 연구가 필요하다. 특히 이러한 전이 방안 중 IP 프로토콜 변환은 IPv4 및 IPv6 단일 구조로 구성된 호스트들간에 효과적이고 원활한 상호통신을 제공할 뿐만 아니라 기존의 수많은 호스트들에 대한 IP 프로토콜을 수정할 필요가 없다는 점에서 매우 효율적인 방안이라 할 수 있다.

본 논문에서는 IPv4 및 IPv6 단일 구조로 구성된 호스트들간의 원활한 통신을 위해 IETF의 표준 문서 및 관련 기술을 기반으로 하는 IPv4/IPv6 프로토콜 변환모듈을 설계하였다. IPv4/IPv6 프로토콜 변환모듈의 설계를 위해 IETF의 IPv4 및 IPv6 관련 표준 문서에 따라 프로토콜 헤더를 분석하고 헤더 필드간 변환 상태를 정의하였으며 이를 토대로 프로토콜 변환모듈의 기능 구조와 변환 동작 절차를 IPv4에서 IPv6로의 변환과 IPv6에서 IPv4로의 변환으로 구분하여 각각 설계하고 구현을 하였다.

본 논문의 IPv4/IPv6 프로토콜 변환모듈은 IP 프로토콜의 기본 동작 절차만을 토대로 설계하였으며 보다 다양한 네트워크 환경을 고려한 폭넓은 연구가 필요하다. 또한 IP 주소 변환의 경우 DNS (Domain Name Service)와의 연계를 통해 효과적으로 주소변환을 지원할 수 있는 방안이 대한 고려 역시 지속적으로 연구되어야 할 것이다. 이와 함께 국내 망 환경에 적합한 차세대 인터넷 전이 방안이 대한 연구 역시 필수적으로 수반되어야 할 것이다. 본 논문에서 설계된 IPv4/IPv6 변환모듈은 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, December 1998.
- [2] A. Conta, S. Deering "Internet Control Message Protocol (ICMPv6) for the Internet Protocol Version (IPv6) Specification," RFC 2463, IETF, December 1998.
- [3] R. E. Gilligan, Erik Nordmark, "Transition Mechanism for IPv6 Hosts and Routers," Internet-Draft, IETF, May 31, 1999.
- [4] T. Larder, "Transition Scenarios and Solutions," Internet-Draft, IETF, April 1999.
- [5] K. Yamamoto, K. Sumikawa, "Categorizing Translator between IPv4 and IPv6," Internet-Draft, January 1999.
- [6] Erik Nordmark, "Stateless IP/ICMP Translator (SIIT)," Internet-Draft, IETF, June 24, 1999.
- [7] George Tsirtsis, Pyda Srishuresh, "Network Address Translation - Protocol Translation (NAT-PT)," Internet-Draft, IETF, June 1999.
- [8] J. Postel, "Internet Protocol-DARPA Internet Program Protocol Specification-," RFC 791, IETF, September 1981.
- [9] J. Postel, "Internet Control Message Protocol," RFC 792, IETF, September 1981.
- [10] Motoo Nishihara 외, "Mapping of IPv4 Packet to IPv6 and Its Usage for Future Internet," NEC技術 Vol.52 No.6, 1999.
- [11] Uyless D. Black, "Advanced Internet Technologies," Prentice Hall, p223-245, 1999.