

차세대 인터넷망에서 IPv6 와 IPv4 네트워크간

프로토콜 전환시스템 구축

김동욱⁰, 박성주, 최기섭, 공기석, 서대영
한국산업기술대학교 컴퓨터공학과
{dukim⁰, kh9u, pnuts, kskong, seody}@kpu.ac.kr

An Implementation of IPv6-IPv4 Protocol Transition Mechanism in the Next Generation Network

Dong-Uk Kim⁰, Sung-Ju Park, Ki-Sub Choi, Ki-Sok Kong, Dae-Young Seo

Dept. of Computer Engineering, Korea Polytechnic University

요 약

차세대 인터넷의 기반이 되고 있는 IPv6가 소개된 이후 IPv4 인터넷 세계에서 IPv6 네트워킹이 가능하게 되었다. 현재 IPv6 도입을 위한 시험망이 세계 각국에서 구축되고 있으며, 이러한 IPv6망을 인터넷 망에 연결하기 위한 IPv6로의 전이에 대한 연구가 활발하게 추진되고 있다. 성공적으로 IPv6 로 전환하기 위해 무엇보다 필요한 것이 기존에 동작되고 있는 IPv4 에서 IPv6 로의 자연스러운 이전을 지원해 주는 IPv6 전환 메커니즘이다. 본 논문에서는 이러한 IPv6 로의 전이 단계에서의 전환기법들 중 NAT-PT를 기반으로 한 양 방향 프로토콜 전환기법의 연구 및 실제 구축을 통한 NAT-PT의 기능에 대한 연구를 수행하였다.

1. 서 론

인터넷의 표준 프로토콜인 IPv4기반의 네트워킹에 IPv6(Internet Protocol Version 6)가 제안된 이후 관련 응용개발 및 라우팅, DNS, Mobile 등 여러 이슈들이 논의 되고 있다. 향후 IPv6로의 완전한 전환 이전에 IPv4와 IPv6는 상호공존하는 형태로 진입할 것이며, 이때 두 프로토콜간의 자연스러운 전이를 위해 필요한 것이 IPv6전환 메커니즘으로, 그중의 하나인 NAT-PT는 SIIT 프로토콜 변환과 NAT동적 주소 변환을 조합하여 IPv6 노드와 IPv4 노드 사이에서 상호 통신을 가능하도록 하며, 몇몇 응용레벨 프로토콜에 대한 ALG를 제공한다. 본 논문에서는 이러한 메커니즘을 어떻게 디자인하고 구현하였는지에 대하여 알아보고, 실제 동작을 통한 프로토콜 변환과정을 분석하였다.

2. 관련연구

2.1 IPv4 / IPv6 전환(Transition) 기법

향후의 IPv6망이 기존의 IPv4망과 통신하기 위한 방법과 양 망간의 라우팅 방법을 제공하는 것은 IPv6의 도입을 위해 우선적으로 요구되는 사항으로 IPv4에서 IPv6망으로 이전하는 전환기술에는 Dual Stack방식, 터널링(Tunneling)방식, 변환(Translation)방식이 있으며 이중 NAT-PT는 BIS, BIA, SOCKS, TRT등과 함께 변환 기술로 적용되고 있다. 이는 각 host나 네트워크에서 IPv6 패킷과 IPv4패킷간의 변환을 수행하며 게이트웨이 역할을 한다. 각 호스트나 네트워크에서 IPv6 패킷과 IPv4패킷간의 변환을 수행하며 게이트웨이 역할을 한다.

변환방식에는 네트워크 계층에서 헤더 변환 기능만 수행하는 헤더 변환 방법과 전송 계층에서 변환을 수행하는 Transport Reply 방법, 응용 프로그램에 따라 필요한 경우 변환 기능을 추가로 제공하는 ALG(Application Level Gateway) 또는 응용 프락시가 있다. 헤더 변환은 SIIT 알고리즘을 사용하여 구현하고, Transport Reply는 TCP/IPv6과 TCP/IPv4사이에 존재한다.

2.2 DSTM 전환기법

앞서 기술한 터널링 방식을 이용한 DSTM(Dual Stack Transition Mechanism)은 native IPv6 네트워크와 IPv4 네트워크간의 연동을 위한 트랜지션 메커니즘으로서 IPv4 애플리케이션들간의 변형 없는 패킷전달을 가능하게 한다. 이를 위해 IPv6 주소만을 가지는 듀얼 스택 IPv6 호스트가 IPv4 네트워크의 IPv4-only 호스트와 연결될 수 있도록 IPv6 호스트에서 DSTM 도메인의 경계 라우터까지 IPv6 터널이 구성되어야 한다. 그리고 IPv4 패킷 전송 시 IPv6 호스트가 IPv4 헤더의 IPv4 주소소를 구성하는데 필요한 임시 global IPv4주소를 DHCPv6 서버로부터 할당 받는 메커니즘이 추가로 구성되어야 한다 [5].

3. NAT-PT 설계

NAT-PT의 기본기능은 크게 주소 변환 기능(NAT), 프로토콜 변환기능(PT), 응용 프로그램 변환 기능(ALG)을 가진다. NAT-PT는 IPv6-IPv4 경계에서 SIIT 프로토콜 변환과 NAT 및 DNS-ALG 등 적절한 ALG의 동적 주소 변환을 조합하고, IPv4 주소 풀을 사용하여 동

적으로 IPv4 주소를 할당, IPv6 주소와 IPv4 주소를 서로 바인딩하여 IPv6 전용 노드와 IPv4 전용 노드 사이에서 상호 통신을 가능하도록 한다. 여기에서 각 네트워크 상의 단말 노드들의 변경이 필요가 없으며, IP 패킷 라우팅은 단말 노드에 있어서 완전히 투명하게 된다. 그러나 한 세션에서 들어오고 나가는 패킷은 동일한 NAT-PT 게이트웨이를 거쳐야만 한다 [1].

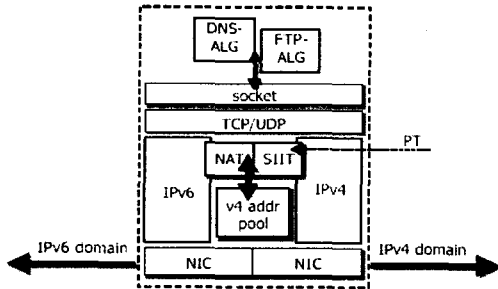


그림 1. NAT-PT 기능구조

3.1 SIIT(Stateless IP/ICMP Translation)

IPv4 와 IPv6간의 패킷 헤더 변환과 주소 변환 및 ICMP 헤더 변환을 담당한다. 즉 헤더의 영역별 변환 메커니즘을 제공하며 IPv6 host 마다 임시로 하나의 IPv4 주소가 필요하여 IPv4-mapped, IPv4-translated address IPv6 주소를 사용한다. SIIT의 문제점으로는 Checksum 재계산 문제와 IPv4 option 및 fragment 헤더를 제외한 IPv6 확장 헤더 기능을 이용하지 못하며, IPv6은 router에 의한 fragment를 지원하지 않으므로 fragmentation 과정이 복잡하다는 것이다. NAT-PT는 Protocol Translation에서 이 SIIT를 활용한다 [2].

3.2 DNS-ALG(Application Level Gateway)

양 망간에 위치한 DNS 서버간의 질의 및 응답 패킷을 받아 애플리케이션 레벨에서 변환해주는 방법이다. NAT와 같이 IPv6망에서 사용하는 주소와 IPv4 망에서 사용하는 주소가 다른 경우 필요하다. 즉, IPv4망과 IPv6망

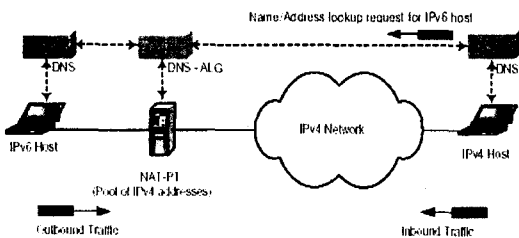


그림 2. DNS-ALG 기본동작

이 DNS 패킷을 주고받을 수 있도록 하기 위하여 필요하다. 그러기 위해서 질의, 응답문의 TYPE 필드를 변환되는 패킷 타입에 변환시켜주고, IPv6망에서 IPv4망으로 나가는 응답문의 경우에는 응답문의 주소가 변환되기 때문에 변환된 주소를 응답문 주소로 변환해 준다. 그림2

는 DNS-ALG의 동작원리를 나타내고 있다.

3.3 FTP-ALG

FTP 제어세션(control session)이 데이터 세션에 대한 TCP 포트 정보와 IP주소를 전달하기 때문에 이러한 애플리케이션에 대한 애플리케이션 레벨의 투명성(transparency)을 보장하기 위해 FTP-ALG가 필요하다. 기존의 IPv4 노드에서 운영되는 FTP 애플리케이션의 PORT command 변수와 PASV response 변수는 ASCII로 표현되는 IP주소와 TCP포트를 포함한다. 그러나 IPv6에서의 FTP는 PORT 변수와 PASV 변수 대신에 EPRT EPSV command 확장을 제안하고 있는데 이러한 확장은 IPv4와 IPv6 둘 다에 쓰일 수가 있기 때문에 FTP-ALG는 이러한 사항을 고려해야 한다 [3].

4. NAT-PT 개선 방안 (NAT64-NAT46)

NAT-PT의 주소변환, 토폴로지 제약 및 보안문제를 해결하고자 나온 NAT64는 IPv6 호스트가 IPv4 호스트에서 IPv6호스트로 통신을 개시할 때 사용되는 메커니즘이다. NAT64는 듀얼 스택 호스트의 IPv6 응용 프로그램이 IPv4주소로 패킷을 보낼 때 IPv4-mapped 주소를 사용하여 커널 레벨에서 IPv4 스택을 사용하는 메커니즘을 확장하여 적용한 변환 기술이고, NAT46은 주소 매핑을 목적지 IPv6 주소를 기준으로 하는 것이 아니라 출발지 IPv4 주소를 기준으로 하는 것이다. 따라서 IPv4호스트에서 IPv6 호스트로 패킷을 보내기 위해 DNS resolver로 DNS query를 보내면 DNS resolver가 IPv6 주소를 찾은 후, 할당된 IPv4 주소 블록에서 IPv4 주소를 선택하여 IPv6 주소와 매핑하고 매핑된 IPv4 주소를 IPv4 호스트로 되돌려 준다. IPv4호스트는 돌려받은 상대편 IPv4 주소로 IPv4 패킷을 보내면 DNS resolver에서 매핑된 정보를 바탕으로 변환하여 IPv6호스트에게 IPv6 패킷을 전송하게 된다 [4].

5. 구현 및 성능평가

이 절에서는 이제까지 이론적으로만 다루었던 IPv6와 IPv4를 지원하는 소규모 LAN을 구성해 보고 NAT-PT의 구현을 통해 양방향의 프로토콜 변환과정을 시험하였으며, DNS-ALG 와 FTP-ALG의 기능을 시험하기 위해 DNS 및 FTP 서버를 구축하였다. 또한 응용 어플리케이션에서의 변환을 실제 검증하기 위한 HTTP 서버를 구축하여 패킷의 흐름을 분석하였다.

5.1 시험 환경 구성

본 실험을 위해 IPv6 네트워크는 듀얼스택 IPv6 호스트를 Linux (Kernel version 2.4.x)와 IPv6가 내장된 Windows 2003(시험용)을 기반으로 자동 주소 할당 대신에 기 운용중인 6bone-Kr에서 할당 받은 Prefix로 각각 static하게 주소를 할당하였다. 그리고 IPv4 네트워크는 듀얼 스택 IPv6용 호스트가 NAT-PT를 거쳐 액세스 할 수 있도록 웹 서버(Apache 2.x)를 구축하였고, DNS-ALG의 변환과정을 위해 Bind 9.x를 이용 IPv6와

IPv4망용 DNS 서버를 설정하였다. NAT-PT의 구현은 6talk 프로젝트의 NAT-PT모듈을 사용하여 두 개의 NIC를 설치, 양 망간의 게이트웨이로 구축하였다. 그리고 각 호스트는 NAT-PT가 디폴트 게이트웨이가 되도록 라우팅 테이블을 수정하였다. 그림3은 NAT-PT의 동작 및 분석을 위해 실험 환경을 구성한 것이다.

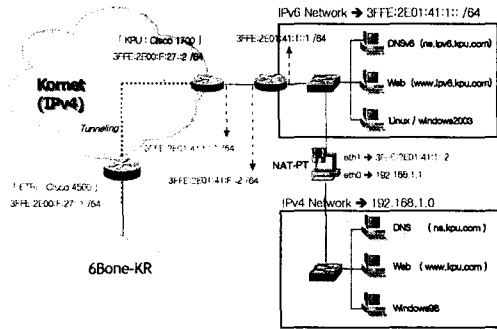


그림3. 실험 및 구현 환경

5.2 시험 결과 분석

실험 환경 구성 후 네트워크의 동작 여부를 확인하기 위해 IPv6 및 IPv4 네트워크의 각 호스트에서 NAT-PT 게이트웨이 까지 ICMP echo request/reply를 응용한 ping 실험을 하였고, NAT-PT의 기능 확인을 위해 IPv6 호스트에서 IPv4호스트 및 IPv4호스트에서 IPv6호스트로 ICMP echo request/reply PING 실험 및 각 호스트의 web 브라우저를 이용한 HTTP 서버로의 액세스를 실험하여 패킷의 변환과정을 확인하였다. 패킷의 필터링은 tcpdump를 이용하였으며, 프로토콜 및 주소변환 과정은 NAT-PT의 디버깅 모드를 이용하여 확인하였다.

```
Calling Protocol Translator function
PT_Translate_IPv6_Packet
ICMPv6 datagram found
In NAT_Translate_IPv6_To_IPv4
Current IPv6 address is 3ffe:2e01:41f:1::11
Passed IPv6 address to NAT_Create_New_Mapping is
3ffe:2e01:41f:1::22
Passed IPv6 port to NAT_Create_New_Mapping is 0
IPv4 address returned from NAT_Create_New_Mapping
192.168.1.100
Port returned from NAT_Create_New_Mapping 0
IPv4 header created
```

그림4. NAT-PT의 주소 매핑과정

그림4 는 IPv6 호스트에서 IPv4로 ICMP 테스트를 하였을 때의 NAT-PT 에서의 주소 매핑과정을 나타내고 있다. 이때 NAT-PT의 주소 Pool에 설정한 IPv4주소가 IPv6의 주소에 대응되어 주소 테이블에 저장되며, 그림 5는 DNS-ALG가 동작하는 과정으로 DNS Query 메시지 중 Header 및 Question 필드가 변환되는 과정을 디버깅 모드로 출력한 것이다.

```
IPv4 header created
dns_alg: Received UDP packet
dns_alg: Starting to translate message.
dns_alg: - Analysing header section
dns_alg: IN : Query, ID 22205, not truncated,
OPC: 0, RC: 0
dns_alg: QDCOUNT 1, ANCOUNT 0, NSCOUNT 0,
ARCOUNT 0
dns_alg: OUT: Query, ID 22205, not truncated,
OPC: 0, RC: 0
dns_alg: QDCOUNT 1, ANCOUNT 0, NSCOUNT 0,
ARCOUNT 0
dns_alg: - Processing query section
dns_alg: Translating query 1 of 1:
dns_alg: IN : QNAME www.kpu.com (13), QTYPE 28,
QCLASS 1
dns_alg: OUT: QNAME www.kpu.com (13), QTYPE 1,
QCLASS 1
dns_alg: - Processing answer section
dns_alg: - Processing authority section
dns_alg: - Processing additional section
dns_alg: Finished translating message.
dns_alg: Translated UDP packet successfully.
```

그림5. IPv6→IPv4 DNS ALG 과정

6. 결론

지금까지 IPv6 네트워크와 IPv4 네트워크 사이에서의 원활한 통신과 전이를 위한 변환기술에 대해 살펴 보았고 실제 구현을 통한 동작원리를 분석하여 연구의 실제 검증을 기했다. NAT-PT는 양방향 통신을 지원하고 확장이 가능하며 사용자 노드의 변경이 필요하지 않다는 장점이 있으나, 토폴로지에 따라 확장이 제한되어 대규모의 네트워크에서는 사용이 제한된다. 따라서 IP주소나 port의 pool 요구와 DNS의 look-up table query가 많은 지연을 발생시키므로 IPv4와 IPv6를 직접 연결시만 사용하는 것이 좋다. 향후 IP주소 pool의 한계에 대한 개선으로 port 기반의 NAT의 구현과 보안문제의 개선을 위해 IPv6의 AH/ESP 확장헤더를 이용하여 NAT-PT 에서의 전이 메커니즘을 구현 할 계획이다.

7. 참고 문헌

[1] G. Tsirtsis, "Network Address Translation - Protocol Translation (NAT-PT)", RFC2766, Feb 2000.
 [2] E. Nordmark, "Stateless IP-ICMP Translation Algorithm (SIIT)", RFC-2755, Feb2000.
 [3] 이주철,홍용근,신명기,김형준, "IPv6지원 FTP-ALG 설계 및 구현", 한국해양정보통신학회, 제6권 제2호 2002.
 [4] 홍용근,이주철,신명기,김형준, "IPv6 전환 기술 동향", IPv6 포럼 코리아 기술문서 2002-004, 2002.
 [5] 이승민, "차세대 인터넷을 위한 효율적인 DSTM 구현", 광운대 대학원, 2002