

# IPv6 전이를 위한 메커니즘들에 대한 성능 분석

김재은\*, 남상우\*\*, 이윤주\*\*, 강현국\*

\*고려대학교 전자 및 정보공학

\*\*한국전자통신연구원 무선방송기술연구소

{jindia, kahng}@tiger.korea.ac.kr

{namsw, yilee}@etri.re.kr

## Performance Analysis of Transition Mechanism to IPv6

Jae-Eun Kim\*, Sang-Woo Nam\*\*, Yoon-Ju Lee\*\*, Hyun-Kuk Kahng\*

\*Dept. of Electronics and Information Eng., Korea University

\*\*Radio & Research Laboratory, ETRI

### 요 약

현재 사용되고 있는 IPv4(Internet Protocol Version 4)의 주소의 고갈 문제가 대두 되면서 IPv6(Internet Protocol Version 6)[1]가 거론되기 시작하였다. IPv4 네트워크에 IPv6 적용시 IPv4 네트워크와의 상호 동작을 필요로 하고 있기 때문에 이를 위해서 IPv6 호스트와 라우터에서 IPv4를 지원하기 위한 메커니즘들이 연구되고 있다. 하지만 IPv6의 도입의 초기 단계에서 가장 우선적으로 요구되는 사항은 전체적으로 구축되어 있는 IPv4 네트워크와 소규모 IPv6 네트워크와 통신하기 위한 방법을 제공하는 것이다. 이를 위해서 현재까지 제안된 IPv6 전이 메커니즘들에 대한 성능 분석을 통하여 가장 합리적인 모델을 제시함으로써 IPv6 전이에 있어서의 모델을 제시하고자 한다.

### 1. 서 론

현재 인터넷의 네트워크 하부 구조는 IPv4를 기반으로 하고 있다. 따라서 이러한 환경에서 IPv6의 빠른 도입을 위하여 IPv4 라우팅 환경을 이용한 IPv6 패킷 전달 방법에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 이러한 전이 메커니즘은 크게 프로토콜 변화, 터널링, 이중 스택 구조를 사용하는 3가지 메커니즘으로 나눌 수 있으며[2], 그 종류로는 이동 IP 스택, 터널링, 6to4[5], 6over4, NAT-PT(Network address Translation-Protocol Translation)[3], SIIT(Stateless IP/ICMP Translation Algorithm), 트랜스 포트 변환기(Transport Relay Translation. TRT), 터널 브로커(Tunnel Broker), BIS(Bump-in-The-Stack, SOCK-base Ipv6/IPv4 게이트웨이 메커니즘, DSTM(Dual Stack Translation Mechanism)[4]들이 있다. 본 논문에서는 이들 전이 메커니즘들 중 프로토콜 변화를 사용하는 NAT-PT, 터널링에 의한 6to4, 이중 스택 구조를 이용하는 DSTM들의 오픈 소스를 이용하여 테스트 환경을 구축하고 각 메커니즘들에

대한 성능 분석 및 각 전이 환경에 따라 알맞은 전이 메커니즘 모델에 대해서 논의하려고 한다.

### 2. 관련연구

#### 2.1 NAT-PT

NAT-PT는 IPv6 네트워크 상의 노드와 IPv4 네트워크 상의 노드 사이의 통신을 위해 명시적인 라우팅을 제공하는 메커니즘이다. 이러한 라우팅은 프로토콜 변환 방법에 의해 제공 될 수 있으며, IPv4 주소들의 풀(Address Pool)을 사용하여 IPv6 주소에 대응하는 IPv4 주소를 할당하는 메커니즘을 사용한다. 이렇게 할당된 IPv4를 통해 IP 헤더를 변환하여 IPv4 패킷을 만들어 IPv4 호스트로 송신을 하여 통신하게 된다.[3]

#### 2.2 6to4

6to4는 명시된 터널설정 없이 IPv4 네트워크 상에서 IPv6 패킷을 전달하기 위해 6to4 라우터를 통한 라우터-라우터 터널링을 제공하여 IPv4 망을 통과

하는 전이 메커니즘이다.

이러한 6to4 라우터들에 따른 각각의 IPv6 사이트를 구별하기 위해서는 지정된 값을 가지는 6to4 접두부를 가지게 되고, 해당 사이트의 노드들은 6to4 접두부를 제외한 나머지 부분에 노드를 식별할 수 있는 인터페이스 식별자를 사용한다. 이러한 6to4 접두부는 FP(Format Prefix) 001, TLA(Top Level Aggregation) 0x0002, 6to4 라우터의 IPv4 주소(V4ADDR)을 조합하여 2002:V4ADDR::/48의 형태를 가진다. 따라서, 6to4 라우터는 6to4 프리픽스의 V4ADDR를 이용한 라우터-to-라우터 터널링을 설정하고 IPv6 호스트들간의 통신을 제공한다. 따라서 6to4 라우터를 사용한 IPv6 사이트 또는 호스트들은 IPv4-compatible IPv6 주소[1] 또는 터널의 설정 없이 통신할 수 있으며, 이렇게 하여 IPv6 사이트는 인터넷에 독립적이라고 할 수 있고, IPv4의 많은 흠을 거치지 않고 통신할 수 있는 장점을 가지고 있다. [5]

### 2.3 DSTM

DSTM은 임시 IPv4 주소들을 IPv6 네트워크 상의 IPv4 스택을 포함하고 있는 IPv6/IPv4 노드들에게 할당하기 위한 방법을 제공한다. IPv4/IPv6 노드는 통신하고자 하는 IPv4 노드에 대한 정보를 DNS를 통해 얻은 후에, DSTM 서버에게 자신이 사용할 임시 IPv4 주소를 요청한다. IPv4/IPv6 노드는 할당 받은 임시 IPv4 주소를 DTI(Dynamic Tunneling Interface)를 이용하여 패킷을 캡슐화 한 후 정해진 DSTM 보더 라우터의 TEP(Tunnel End Point)로 패킷을 송신한다. 캡슐화된 패킷을 수신한 DSTM 보더 라우터는 패킷을 역캡슐화 하고 해당되는 IPv4 주소로 패킷을 전달한다. [4]

## 3. 성능 측정

앞서 설명한 3가지 메커니즘들에 대한 테스트 환경을 구축하기 위해 각 전이 메커니즘들에 필요한 구성 요소들의 (IPv4 노드, IPv6 노드, IPv4/IPv6 노드, NAT-PT, 6to4 라우터, DSTM 서버.) 요구사항에 만족하도록 설정을 하여야 한다.

테스트 환경은 다음의 그림에서 나타나는 것과 같으며, 테스트는 ping6을 통한 RTT(Round-Trip Time)값을 측정하여 각 메커니즘들에 대한 성능측정을 수행하였다.

### 3.1 NAT-PT 성능측정

NAT-PT 성능측정은 FreeBSD[6] 상에 구현된 KAME 키트[7]를(일본의 Fujitsu Limited, Hitachi, Ltd., IJ Research Laboratory, NEC Corporation, Toshiba Corporation, Yokogawa Electric Corporation의 7개 회사들이 1998년부터 시작하여 지금까지 IPv4/IPv6/IPsec들에 대한 연구들 진행하면서 만든 IPv6 스택) 이용한 테스트 환경을 사용하였다. NAT-PT 변환기를 설치하기 위해서는 KAME를 이용하여 커널을 다시 컴파일 하여야 한다. NAT-PT 커널을 컴파일시 환경 설정 파일의 옵션 중에 NATPT 옵션을 설정하여야 한다.

NATPT 변환기를 동작시키기 위해서는 natconfig를 이용하여 NAT-PT 변환기에 대한 환경을 설정해 주어야 한다.

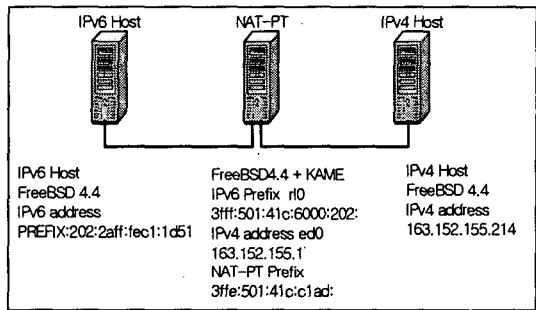


그림 1.a NAT-PT 환경

변환기에는 두 개의 인터페이스를 설정하여 한쪽은 IPv6로 다른 한쪽은 IPv4로 게이트 웨이 역할을 할 수 있도록 설정한다. 이때 NAT-PT 접두부를 설정하여 NAT-PT 변환기가 NAT-PT 접두부를 가지고 있는 패킷을 IPv4 패킷으로 변환하여 IPv4 게이트 웨이로 전달하게 된다.

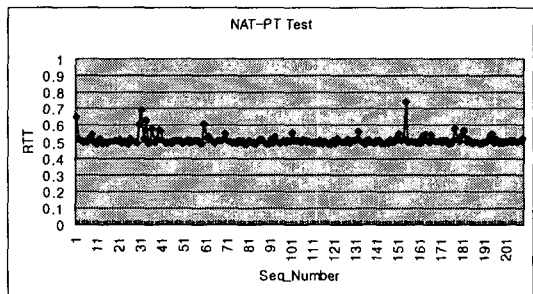


그림1.b NAT-PT 성능측정 결과

성능측정 결과는 각 패킷에 대한 RTT의 최소값 0.499 ms에서 최대값 0.745 ms 사이에 분포되어 있다. 그래프에서도 알수있듯이 패킷 초기화를 위한 일정한 시간이 나타나고 그 후에 이러한 상태를 유지하기 위한 주기적인 확인 과정이 일어난다는 것을 알 수 있다. NAT-PT를 이용한 IPv6 노드와 IPv4 노드의 실험적인 평균 RTT값은 0.508 ms이다.

### 3.2 6to4 성능측정

6to4도 NAT-PT와 마찬가지로 KAME 키트를 사용하여 테스트 환경을 구축하였다. 6to4의 경우에도 KAME 키트를 통한 커널 업그레이드를 통해 전이 메커니즘이 지원된다. 6to4는 커널 컴파일시 NAT-PT와는 달리 터널링을 위한 가상 인터페이스 모듈인 stf를 설정해 주어야 한다. 커널 업그레이드 후에 ifconfig를 통해 stf 가상 인터페이스의 IPv6 접두부를(2002:V4ADDR::/48)을 설정해 주고, 라우팅 테이블에 IPv6 사이트에서의 라우팅을 위해 6to4 라우터의 디폴트 루트를 설정한 후 사용하면 된다.

테스트 환경은 <그림 2.a>와 같이 6to4 라우터 두 대를 설정하고 각 사이트의 노드들 끼리의 통신을 측정하였다. 이때 각 6to4 라우터들은 IPv4 라우팅을 지원하여야 한다.

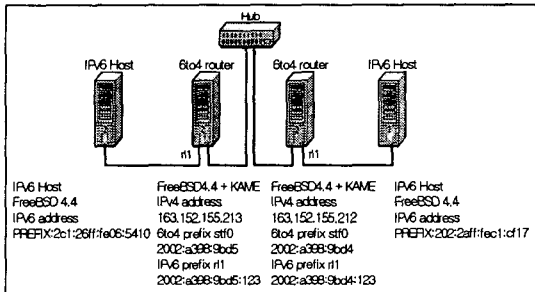


그림 2.a 6to4 환경

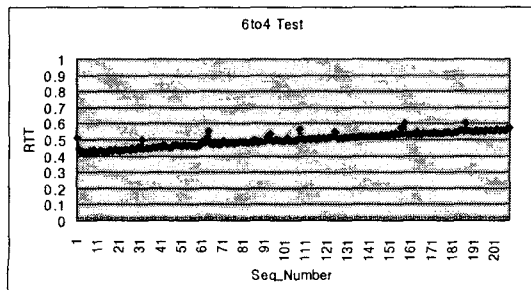


그림 2.b 6to4 성능측정 결과

6to4는 최소 0.418 ms에서 최대 0.605 ms의 사이에 분포되어 있으며, 초기화가 있는 후에 점차적으로 측정값이 증가하는 형태를 가지고 있다. 그리고, NAT-PT와 마찬가지로 IPv4 터널링을 유지를 위한 주기적인 패킷이 있음을 알 수 있다.

### 3.3 DSTM 성능측정

DSTM은 다른 전이 메커니즘과 마찬가지로 FreeBSD상의 IPv4/IPv6 스택을 사용하였다. 앞선 테스트들이 모두 DNS를 사용하지 않는 환경에서 측정하였기 때문에 원래의 DSTM의 동작 메커니즘에서 DSTM 서버를 통해 IPv4 노드에 대한 주소 및 IPv4/IPv6 노드에서 사용할 임시 IPv4 주소를 할당 받아야 하는 메커니즘을 생략하였다. 따라서 터널 인터페이스인 gif를 사용한 터널링을 설정한 후에 성능 측정을 수행 하였다.

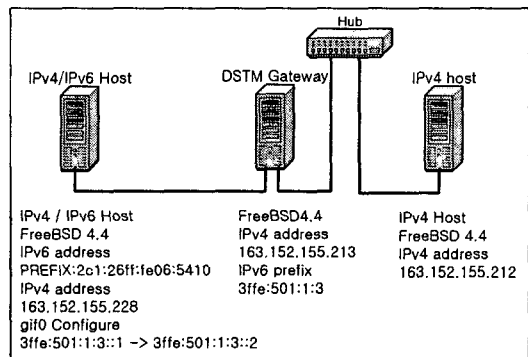


그림 3.a. DSTM 환경

DSTM은 IPv4 네트워크에서 IPv6 노드가 통신을 하기 위한 메커니즘이므로 IPv4/IPv6 노드에서의 터널링 설정이 요구된다. 하지만 IPv6가 나오게 된 주된 원인인 주소 고갈에 대한 문제를 해결하지 못하는 단점을 가지고 있다.

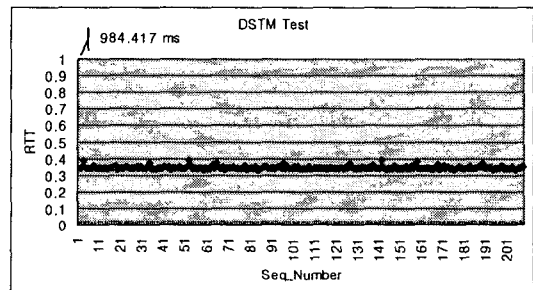


그림 3.b. DSTM 성능측정 결과

DSTM은 최소 0.334 ms에서 최대 984.417 ms 사이에 분포하며 메커니즘 중에 가장 큰 폭의 분포 형태를 나타냈다. 하지만 일단 초기화 설정이 있는 후엔 낮고 일정한 분포 형태의 RTT값을 가지고 있음을 알 수 있다.

#### 4. 성능 비교 및 결론

각 메커니즘들의 초기화에 걸리는 시간을 살펴보면 NAT-PT 0.647 ms, 6to4 0.511 ms, DSTM 984.417 ms로 6to4가 가장 우수하다. 그리고 DSTM의 경우에는 다른 메커니즘에 비해 너무나도 큰 초기화 시간이 소비됨을 알 수 있다.

	NAT-PT	6to4	DSTM
최소값	0.499 ms	0.418 ms	0.334 ms
평균값	0.508 ms	0.5 ms	4.123 ms
최대값	0.745 ms	986.417 ms	0.605 ms

표1. 전이 메커니즘에 대한 성능측정치

<그림 4>는 초기화 패킷을 제외한 각 메커니즘들에 대한 성능 비교이다. 초기화의 성능 비교에서와는 반대로 DSTM이 가장 좋은 통신 트래픽을 유지하고 있음 알 수가 있다.

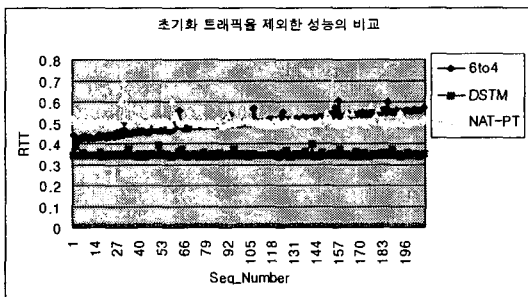


그림 4. 초기화 트래픽을 제외한 성능비교

하지만, 각 메커니즘들에 대한 평균값을 살펴보면 NAT-PT 0.5 ms, 6to4 0.508 ms, DSTM 4.123 ms으로 NAT-PT와 6to4는 비슷한 통신 트래픽을 가지고 있다. 하지만 DSTM의 경우 초기화에 걸리는 시간이 너무 크기 때문에 전체 통신 트래픽에 있어서는 가장 높은 값을 가지고 있다.

위와 같은 성능 측정의 결과를 분석한 결과로 많은 양의 IPv6 통신을 사용하지 않는 IPv6 도입 초기

시에는 DSTM을 사용하는 것이 적당할 것이고, 이후에는 6to4와 NAT-PT를 사용하는 것이 적당할 것으로 예상된다. 하지만 IPv6 네트워크가 더욱 커지게 되면 6to4 라우터들은 기존의 IPv4 주소를 가져야 하기 때문에 결국 IPv4의 주소 고갈 문제를 해결하지 못하는 문제가 발생한다. 따라서 IPv6 네트워크가 커질수록 NAT-PT를 사용하는 것이 적당할 것으로 예상된다.

이상 본 논문에서는 IPv6 전이 메커니즘들에 대한 성능 측정을 통한 결과값을 바탕으로 메커니즘들에 대한 성능 분석을 하였다. 하지만 각 메커니즘들의 동일한 환경에서의 성능 측정을 위해 RFC문서에서 요구하고 있는 구성요소들 중 DNS를 제외한 성능 측정이었기 때문에 완전한 환경에서의 성능 분석이라고는 할 수 없을 것이다. 앞으로 이러한 전이 메커니즘들이 복합적으로 구성되어 있는 시험망을 통한 성능 분석이 요구되며, 이를 위해 라우팅에 대한 고찰이 필요할 것으로 사료된다.

#### 참고문헌

- [1] Deering, S. and R. Hinden, "Internet Protocol Version 6(IPv6) Specification", RFC 2460, December 1998
- [2] Gilligan, R. and E. Normark, "Transition Mechanisms for IPv6 Host and Routers", RFC 2893. April 1996.
- [3] G. Tsirtsis. "Network Address Translation - Protocol Translation (NAT-PT)", RFC 2766. February 2000.
- [4] Jim Bound. "Dual Stack Transition Mechanism (DSTM)". <draft-ietf-ngtrans-dstm-07.txt>, February 2002
- [5] B. Carpenter and E. Moore, "Connection of IPv6 Domains via IPv4 Clouds", RFC 3056, February 2001
- [6] www.freebsd.org
- [7] www.kame.net