단방향 IP 성능 측정 도구 설계 및 구현

정재훈[?], 이영석*, 박재우*, 신효정[??], 서영일**, 최양희*

Design and Implementation of One-way IP Performance Measurement Tool

Jaehoon Jeong*, Youngsoek Lee*, Jaewoo Park*,
Hyojeong Shin**,Youngil Seo**, Yanghee Choi*

요 약

본 논문은 비대칭적인 인터넷에서의 단방향 지연시간, 지연시간 편차 및 손실률을 측정할 수 있는 측정구조를 제시하고, 구현된 도구를 이용하여 측정된 결과를 분석하였다. 제안된 구조에서는 단방향성 IP 성능 인자의 측정에 반드시 필요한 측정기계들간의 시간 동기화를 위해서 Global Positioning System(GPS)을 이용하여 microsecond 수준의 정확도를 제공한다. 그리고, 측정의 정확도를 향상시키기 위하여 송신자 및 수신자가 이더넷 프레임 처리 직전에 시간 정보를 기록함으로써 응용프로그램에서의 지연시간을 줄인다. 구현된 측정 도구는 한국통신 테스트베드를 이용하여 검증하였다.

I. 서 론

인터넷이 비대칭적인 구조라는 사실은 많은 논문에서 밝혀졌다[1]. 비대칭성을 갖고 있는 인터넷의 현재 상황을 잘 측정하기 위해 단방향 측정이 필요하게 되었다. IETF의 IPPM(IP Performance Metrics) 워킹 그룹(WG)은 단방향 메트릭(Metric)과 단방향 측정구조를 제시하고 있다[2]. 측정 메트릭으로는 단방향 지연시간(one way delay), 지연시간 편차(delay variation), 단방향 패킷 손실(one way packet loss), 패킷 손실 패턴(packet loss pattern) 등이 있다[3,4,5]. 단방향 측정은 능동적인 트래픽 측정에 속한다. 측정 메트릭을 얻기 위해서는 측정패킷을 측정할 구간에 능동적으로 투입하여 그것이 그 경로 상에서 서비스를 어떻게 받는지를 관찰하기 때문이다[6]. 이러한 능동적인 측정을 통해 얻은 단방향 메트릭을 가지고 네트워크 관리를 효율적으로 할 수 있다. 예를 들면, 단방향 측정시스템 종단간의 경로상에서 측정되는 단방향 지연시간을 지속적으로 관찰하여 평소보다 지연시간이 급증한다면 네트워크에 어떤 문제가 발생했다고 추측할 수 있다. 또한 장기간 네트워크를 관찰하여 얻은 측정 결과를 통해 병목 현상이 발생한 경로를 찾아서 자원의 재배치, 링크 용량 증대 그리고 라우터의 성능 개선 등을 통해 네트워크 전체 성능을 향상 시킬 수 있을 것이다. 이처럼 네트워크 관리에 필수적인 능동적인 측정시스템은 정확한 측정과 측정 데이터의 효과적인 관리 그리고 운영자가 쉽게 이용할 수 있는 사용자 인터페이스를 제공하는 것이 중요하다. 또한 안정적으로 측정을 할 수 있는 시스템이어야 한다.

본 논문은 이러한 능동적 측정을 효과적으로 할 수 있는 시스템 구조를 제시하고 실제로 구현한 내용과 이 시스템을 적용하여 얻은 결과를 제시하겠다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2 장에서는 이 논문과 관련된 연구를 소개하고 3 장에서는 본 논문의 측정시스템 구조와 실제 구현한 내용을 설명한다. 4 장에서는 한국통신 테스트베드에서 실험한 결과를 제시한다.

II. 관련 연구

능동적인 트랙픽 측정을 하기 위해 여러 가지 형태의 시스템이 제안되었다. 대표적인 예로는 skitter, surveyor 등이 있다.

Skitter 는 CAIDA(Cooperative Association for Internet Data Analysis) 그룹에서 제시한 측정시스템으로 인터넷 토폴리지와 성능을 분석하기 위해 인터넷에 측정패킷을 투입하여 그 패킷을 관찰한다[7]. Skitter 의 중요 기능은 다음과 같다. Forward IP Path 측정, RTT 측정, 라우팅 변화의 지속적인 추적 그리고 네트워크 연결도의 도식화 기능 등이 있다. 사용자 인터페이스가 사용하기 쉽게 잘 구성되어 있으나 측정 메트릭으로 양방향 인자인 RTT 만을 지원하고 있으므로 단방향 메트릭을 구할 수 없는 단점이 있다.

Surveyor 는 Advanced Network & Services 그룹에서 제시한 시스템으로 단방향 메트릭을 측정할 수 있다. 이 시스템은 IETF 의 IPPM WG 에서 제시하는 표준들을 기초로 한 측정 메트릭을 측정한다. 측정구조는 다음과 같다. GPS 위성의 시간 정보로 동기화된 측정시스템들과 측정 시스템을 제어하고 측정 결과를 수집하는 중앙 제어시스템으로 이루어져 있다. 측정시스템은 BSD 4.4 UNIX 를 탑재한 PC 이고 측정 프로그램은 OWDP(One-Way Delay and Packet loss protocol)에 따라 구현되었다[10,11]. 정확한 단방향 지연을 측정하기 위해 측정패킷의 타임스탬프를 네트워크 디바이스 드라이버에서 찍고 있다. 현재 가장 많이 사용되는 있는 시스템이지만 측정 메트릭이 적은 것이 단점이다.

[?] 서울대학교 전기컴퓨터 공학부 멀티미디어 통신 연구실
[??] 한국통신 인터넷 분석 연구실
? 본 논문은 2000 년도 두뇌한국 21, 국가지정연구실 프로젝트와 한국통신의 지원을 받아 수행되었음.

본 논문에서 제시하는 Active Measurement Tool(AMT)은 능동적인 트래픽 측정을 안정적으로 정확하게 할 수 있으면서도 확장성을 고려하여 쉽게 측정시스템을 추가할 수 있다. 또한 다양한 측정 메트릭을 산출할 수 있기 위해 데이터베이스 시스템을 두어 측정데이터를 관리하고 있다.

III. Active Measurement Tool(AMT)

AMT 는 인터넷상의 특정 경로상에서 IETF 의 IPPM WG 에서 제시한 단방향 메트릭을 측정할 수 있는 측정 인프라스트럭쳐(Infrastructure)이다. AMT 시스템은 FreeBSD UNIX 를 운영체제로 하는 PC 기반의 시스템이다. 데이터베이스 시스템으로는 MySQL 를 사용한다.

3.1 GPS 위성을 이용한 측정시스템의 동기화

두 시스템간의 양방향 지연인 RTT 를 측정하기 위해서는 두 시스템의 시간이 동기화 될 필요가 없지만 단방향 지연을 측정하기 위해서는 두 측정시스템간의 시스템 시간이 동기화 되어야 한다. 그림 1 은 GPS 위성을 이용한 측정시스템간의 동기화를 보여 주고 있다. 시스템간의 동기화를 쉽게 할 수 있는 방법으로써 GPS 위성의 시간 정보를 수신하여 그 시간을 가지고 주기적으로 측정시스템의 커널 시간을 보정하면 된다. GPS 위성의 시간 정보를 얻기 위해서는 사용된 하드웨어는 다음과 같다. Motorola 사의 Oncore Remote Antenna, Oncore GPS Receiver(UT)를 이용하여 GPS 시간 정보와 위성의 위치정보를 수신한다[12]. 수신된 시간 정보를 가지고 커널 시간을 보정하는 것은 Network Time Protocol 을 운영하는 ntpd 데몬이다[12]. 직렬 포트(Serial port)와 병렬 포트(Parallel port)에 수신되는 시간 정보는 PPS(Pulse Per Second)라는 신호로 부호화 되어 있다. 각 포트의 디바이스 드라이버는 이 신호를 바이너리 정보로 변환하여 ntpd 데몬에게 전달한다. ntpd 데몬은 포트 디바이스의 파일을 통해 들어오는 시간 정보를 수신하고, NTP 커널 시간 보정 알고리즘을 통해 주기적으로 커널 시간을 정정하여, GPS 위성과 측정시스템을 동기화 한다.

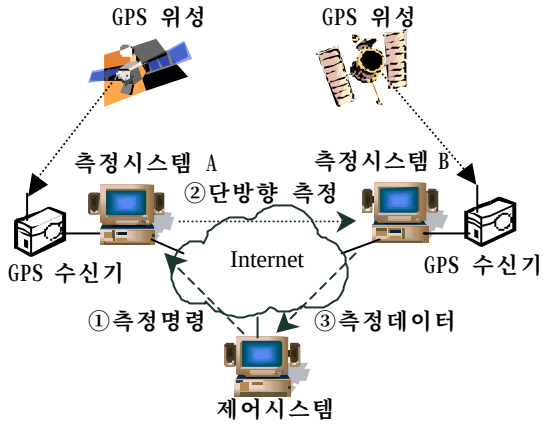


그림 1. 측정시스템의 동기화와 측정 과정

3.2 타임스탬프

정확한 지연시간을 측정하기 위해서는 송신자가 IP 패킷을 이더넷 프레임에 캡슐화하기 직전에 시간 정보를 기록해야 한다. 왜냐하면 응용 계층에서 타임스탬프를 기록하면, 계층간의 이동 지연이 발생하여 정확한 경로 지연시간을 측정할 수 없게 된다. 송신 타임스탬프는 네트워크 인터페이스 나가기 직전에 찍고, 수신 타임스탬프는 네트워크 인터페이스에서 받자마자 찍도록 이더넷 디바이스 드라이버를 수정하였다[9,13].

3.3 AMT 시스템 구조

AMT 시스템은 두가지 종류의 시스템으로 이루어져 있다. 측정 네트워크에 측정패킷을 투입하여 측정을 담당하는 측정시스템(Measurement System)과 이러한 측정시스템을 제어하고 측정데이터를 관리하는 제어시스템(Control System)이 있다. 그림 2 는 제어시스템과 측정시스템으로 이루어진 AMT 시스템 구조를 나타내고 있다. 그림 1 은 AMT 시스템을 이용한 측정 과정을 기술하고 있다.

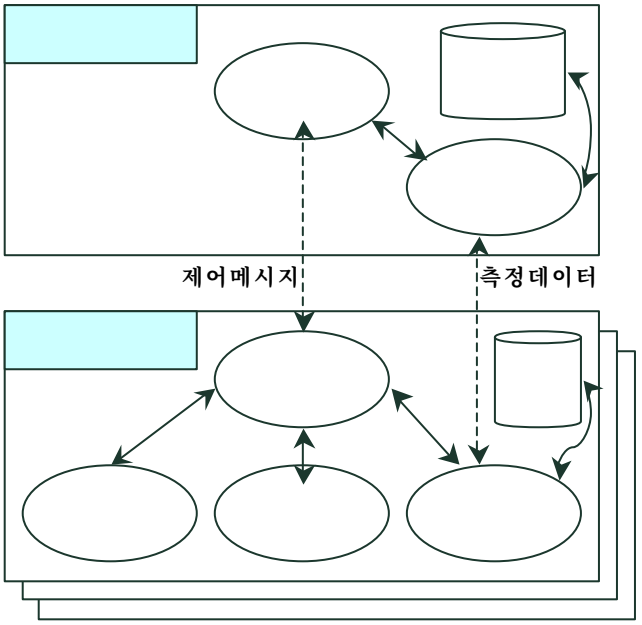


그림 2. AMT 시스템 구조

3.3.1 제어시스템(Control System)

제어시스템은 관리자의 명령을 받아서 측정시스템들을 제어하여 단방향 측정을 할 수 있게 하는 메인 시스템이다. 제어시스템은 제어서버(Control Server)와 저장서버(Storage Server) 프로세스로 구성되어 있다.

1) 제어서버(Control Server)

제어서버는 관리자로부터 받은 명령을 분석하여 요구되는 일을 처리한다. 제어서버는 메인 스레드(Main Thread)와 UI 스레드(User Interface Thread)로 구성되어 있다. UI 스레드는 관리자가 콘솔을 통해 입력하는 명령을 받아 메인 스레드에게 전달한다. 메인 스레드는 UI 스레드가 주는 명령과 제어서버의 Well-known 포트로 도착하는 작업을 select 시스템 콜을 이용하여 처리한다.

2) 저장서버(Storage Server)

저장서버는 각 측정시스템의 지역 데이터베이스(Local DB)에 저장된 측정데이터를 제어시스템의 중앙 데이터베이스로 수집하는 역할을 한다. 데이터 수집은 측정시스템의 전달 에이전트(Delivery Agent)의 도움을 받아서 수행된다. 저장서버는 데이터 수집시 제어서버에 의해 포크(Fork)되어 생성된다.

3.3.2 측정시스템(Measurement System)

측정시스템은 다음 4 개의 프로세스로 구성되어 있다.

1) AMT 데몬(AMT Daemon)
AMT 데몬은 측정시스템의 메인 프로세스로서 제어시스템과 연결을 한 뒤, 제어서버의 모든 제어 명령을 받아서 해당되는 일을 처리한다. 예를 들면, 단방향 측정시 제어서버가 측정에 참여하는 측정시스템의 AMT 데몬에게 측정 준비 명령을 내리면, AMT 데몬은 송신자(AMT Sender)와 수신자(AMT Receiver)를 포크하여 측정 준비를 시킨다. 제어서버와 제어메시지를 주고 받는 프로세스로 AMT 데몬을 따로 두어서 실제적인 측정을 하는 송신자와 수신자가 경량화 되게 하여 장시간동안 이상없이 실행되게 하였다. 측정데이터를 제어시스템으로 전송할 때는 전달 에이전트를 포크하여 전송을 전담하게 한다.

2) 송신자(AMT Sender)
송신자는 AMT 데몬으로부터 측정 시작 명령을 받으면, 측정패킷을 생성한다. 가상 랜덤 번호 생성기(Pseudo-random number generator)를 통해 측정패킷 발생이 포아송 프로세스(Poisson Process)로 램덤하게 발생되게 한다. 그렇게 생성된 패킷은 수신자들에게 전송된다.

3) 수신자(AMT Receiver)
수신자는 AMT 데몬으로부터 측정 시작 메시지를 받으면, 수신되는 측정패킷을 다음과 같은 레코드 포맷으로 지역 데이터베이스에 저장한다.
<일련 번호, 송신자 IP 주소, 송신 타임스탬프, 수신자 IP 주소, 수신 타임스탬프>
일련 번호는 측정패킷의 순서를 나타내는데 0 부터 시작하는 unsigned int 타입이다. 나중에 중복 패킷(Duplicate Packet)을 제거하거나 패킷 손실(Packet Loss)계산 등에 이용된다. 타임스탬프는 마이크로초 단위까지 포함하는 측정 시각이다.

4) 전달 에이전트(Delivery Agent)
전달 에이전트는 AMT 데몬으로부터 측정데이터 수집 메시지를 받으면, 지역 데이터베이스에 저장된 측정데이터를 저장서버에게 전송한다.

3.4 측정 과정
AMT 시스템이 단방향 지연을 측정하는 일련의 과정을 설명하겠다. 그림 3 은 단방향 지연 측정 과정을 나타내고 있다.

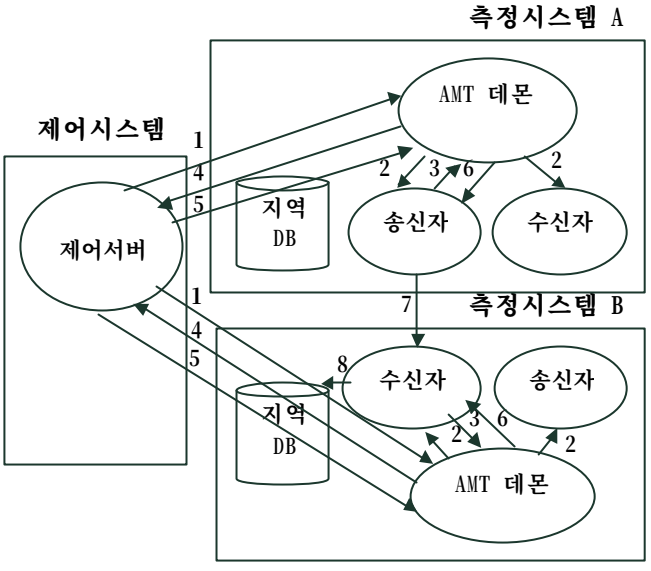


그림 3. 단방향 지연 측정 과정

(1)제어서버는 관리자가 선정한 측정에 참여할 측정시스템들에게 측정 준비 메시지를 보낸다. 이때 측정에 참여하는 시스템의 IP 주소 목록을 함께 보낸다.
(2)측정시스템의 AMT 데몬이 제어서버로부터 측정 준비 메시지를 받으면 측정을 담당할 송신자와 수신자를 포크한다.
(3)측정 준비가 된 송신자와 수신자는 부모 프로세스인 AMT 데몬과 UNIX 도메인 소켓을 이용하여 제어 채널을 형성한다.
(4)AMT 데몬은 다시 제어서버에게 측정 준비 완료 메시지를 보낸다.
(5)제어서버는 측정에 참여하는 모든 측정시스템들로부터 측정 준비 완료 메시지를 받으면, 각 측정시스템의 AMT 데몬에게 측정 시작 메시지를 보낸다.
(6)AMT 데몬은 송신자와 수신자가 측정 준비상태에 있게 한다.
(7)송신자는 측정패킷을 생성하여 측정시스템의 IP 주소 목록을 보고 측정패킷을 전송한다.
(8)수신자는 수신한 측정패킷에서 측정 레코드 정보를 추출하여 지역 데이터베이스에 저장한다.

3.5 측정데이터 수집 과정
모든 측정시스템의 전달 에이전트가 지역 데이터베이스에 저장된 측정데이터를 제어시스템의 저장서버에게 전송한다. 그림 4 는 측정데이터 수집 과정을 나타내고 있다.

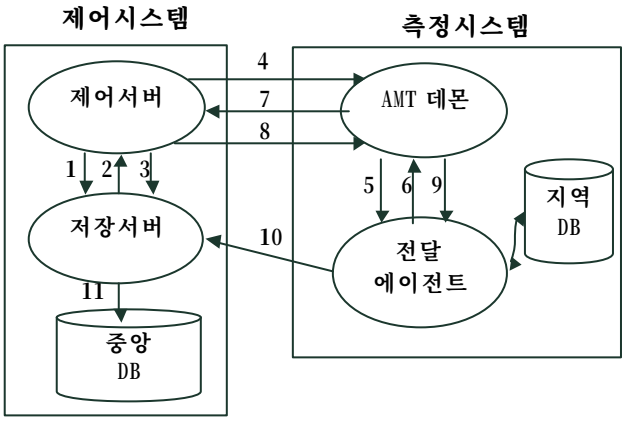


그림 4. 측정데이터 수집 과정

o
(1) ~ (2)제어서버는 저장서버를 포크하고 저장서버와 제어채널을 형성한다.
(3)제어서버가 저장서버에게 측정데이터 수집 메시지를 보내면 저장서버는 수집 준비상태에 있게 된다.
(4) ~ (5)제어서버가 AMT 데몬에게 측정데이터 전송 준비 메시지를 보내면, AMT 데몬은 전달 에이전트를 포크한다.
(6)전달 에이전트는 AMT 데몬과 제어 채널을 형성한다.
(7) ~ (8)제어서버가 AMT 데몬으로부터 전송 준비가 되었음을 통보받으면 AMT 데몬에게 전송 시작 메시지를 보낸다.
(9) ~ (11)AMT 데몬의 전송 시작 명령을 받은 전달 에이전트가 저장서버와 연결을 맺고 난 후, 지역 데이터베이스에 저장된 측정데이터를 저장서버에게 전송한다. 저장서버는 그 데이터를 중앙 데이터베이스에 저장한다.

IV. 실험 환경 및 결과

AMT 시스템을 한국통신 테스트베드에 설치한 후 단방향 지연을 측정해 보았다. 그림 5 는 실험 네트워크를 나타내고 있다. AMT1 의 IP 주소는 203.232.126.130 이고 AMT2 의 IP 주소 203.232.126.74 로 두 측정시스템은 다른 서브네트에 있다. AMT1 이 AMT2 로 측정패킷을 보내면 대전 KT 제 2 연구소의 라우터 CREDOS 를 지나 ATM 망을 통해 서울 우면동 KT 연구소의 AMT Switch 를 거치고 같은 곳에 있는 라우터 TIBURON 를 거쳐서 POS(Packet Over SONET)망을 통해 다시 대전 KT 제 2 연구소의 라우터 CARNIVAL 을 통해 AMT2 에 도착하게 된다. 그림 6 은 포아송 분포의 Lambda 를 2 로 해서 샘플 패킷을 발생시켜서 단방향 지연을 실험한 결과이다.

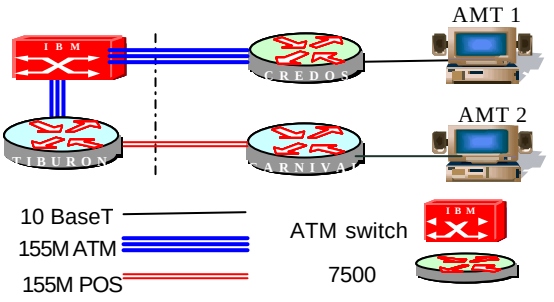
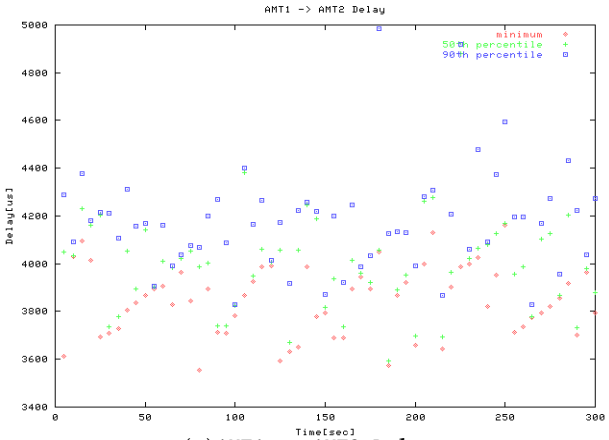
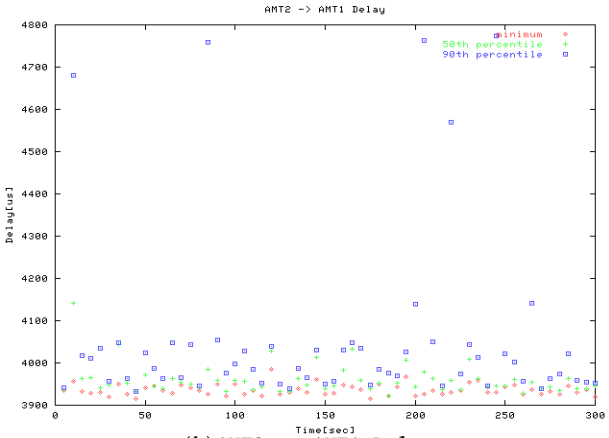


그림 5. 실험 네트워크



(a)AMT1 -> AMT2 Delay



(b)AMT2 -> AMT1 Delay

그림 6. 단방향 지연 측정 결과

그래프의 X 축은 초단위의 시간축이고 Y 축은 마이크로초 단위의 지연값에 대한 대표값축이다. 5 초 동안의 수신된 샘플에서 대표값을 선택했다. 대표값으로 Minimum Delay, 50^{th} Percentile Delay 그리고 90^{th} Percentile Delay 을 사용하였다. 이 실험에서 단방향 측정의 중요성을 찾을 수 있었다. 그림 6-(a)로부터 AMT1 에서 AMT2 까지의 단방향 지연은 안정적이지 않으나, 반대 방향 (b)는 비교적 안정적이었다. 이와 같이 같은 구간에서도 단방향 지연의 패턴이 다름을 알 수 있었다. 이러한 결과는 트래픽 엔지니어링을 위한 정보로 사용될 수 있을 것이다. 그리고 이 실험에서는 패킷 손실은 없었다.

V. 결 론

인터넷은 비대칭적인 구조이기 때문에 네트워크 상태를 정확히 진단하기 위해서는 단방향 메트릭(Metric) 측정이 필요하다. 네트워크에 측정패킷을 투입하여 단방향 메트릭을 측정하는 능동적 트래픽 측정을 통해 네크워크상의 다양한 문제점을 찾아낼 수 있다. 라우팅 문제나 자원 배치 문제를 파악하게 하여 네트워크 운영에 많은 도움을 줄 수 있다. 본 논문에서 이러한 능동적 트래픽 측정을 할 수 있는 AMT(Active Measurement Tool) 시스템 구조와 구현을 제시하였다. 또한 한국통신 테스트베드에서 실험한 결과를 기술하였다. 앞으로의 계획은 실제 인터넷에 AMT 시스템을 설치하여 장기간동안 실험을 하고 다양한 측정 메트릭을 구해서 그 네트워크의 상황을 분석할 예정이다. 또한 관리자가 AMT 시스템을 쉽게 운영할 수 있도록 웹 인터페이스를 지원할 예정이다.

참 고 문 헌

1.V. Paxson, “End-to-End Internet Packet Dynamics”, IEEE/ACM Transactions on Networking, Vol.7, No.3, pp.277 -292, June 1999.

2.V. Paxson, “Framework for IP Performance Metrics”, RFC 2330, May 1998.

3.G. Almes et al., “A One-way Delay Metric for IPPM”, RFC 2679, September 1999.

4.C. Demichelis, P. Chimento, “Instantaneous Packet Delay Variation Metric for IPPM”, Internet-Draft, October 1999.

5.R. Koodli, R. Ravikanth, “One-way Loss Pattern Sample Metrics”, Internet-Draft, July 2000.

6.Tony McGregor et al., “The NLANR Network Analysis Infrastructure”, IEEE Communications Magazine, May 2000.

7.skitter, http://www.caida.org/tools/measurement/skitter/

8.surveyor, http://www.advanced.org/surveyor/

9.Sunil Kalidindi et al., “Surveyor: An Infrastructure for Internet Performance Measurements”, presented at INET'99, San Jose, June 1999.

10.Sunil Kalidindi, “OWDP:A Protocol to measure One-Way Delay and Packet Loss”, Surveyor Technical Report 001.

11.Sunil Kalidindi, “OWDP Implementation, v1.0”, Surveyor Technical Report 002.

12.NTP, http://www.eecis.udel.edu/~ntp/

13.Gary R. Wright, W. Richard Stevens, “TCP/IP Illustrated, Volume 2: Implementation”, Addison Wesley.