

UDP 환경에서 송수신 지연에 의한 시각오차 측정 및 분석

민충식⁰ 유동희 김영호
 부산대학교 정보 컴퓨터 공학부
 (papaya, dhyu}@juno.cs.pusan.ac.kr yhkim@hyowon.pusan.ac.kr

An Analysis of Time Difference from Network Delay over UDP Network

Choongsik Min⁰ Donghui Yu Youngho Kim
 Div. of Computer & Information Eng. Pusan National University

요 약

종단간 전송 지연은 시각 동기, 네트워크 성능 측정 등에서 매우 중요한 요소이다. 그러나 IP에 기반하고 있는 Internet은 여러 통신망 상의 지연 요소를 정확히 전달 할 수 있는 구조가 없기 때문에 종단간 전송에 있어 전송 지연을 정확하게 알 수 없다. 특히 UDP 네트워크의 경우 전송할 때와 수신할 때 경로가 같지 않기 때문에 일반적으로 일주 지연 시간을 이용하지만 각 편도 전송 지연 시간 차이는 시스템의 다른 요소에 대해서 오류 요소로 작용할 수 있다. 본 논문에서는 일주 지연 시간을 전송시 지연 시간과 수신시 지연 시간으로 따로 측정 분석하였다. 측정 결과 편도 전송 지연 시간 차이 값은 수십 밀리초 범위를 가지며 이는 NTP 등에서 시각을 동기화 할 때 통상적인 정확도, 수 밀리초를 훨씬 넘어선다. 이것은 편도 지연 시간 차이값이 시각 동기, 네트워크 성능 평가 등에서 중요한 오류값으로 작용한다는 것을 의미한다. 분석 결과를 실험 데이터에 적용할 경우 실제 편도 지연 시간에 근사한 값을 구할 수 있고 좀더 정확한 시각 동기, 네트워크 성능 평가가 가능하게 된다.

1. 서론

종단간 네트워크 전송 지연은 시각 동기, 네트워크 성능 평가 등에 있어서 사용되는 중요한 요소 가운데 하나이다. 그러나 현재 Internet의 기본 프로토콜이 되는 TCP/UDP/IP는 네트워크의 상태를 전달해줄 수 있는 구조를 가지지 않기 때문에 round-trip-delay를 네트워크 전송 지연에 대한 측정 요소로 사용하고 있다. 그러나 이러한 방법들은 평가 요소로서 많은 오류 요소를 내포하고 있다. UDP 네트워크에서는 같은 목적으로 전송되는 각 packet은 매번 다른 경로를 가질 수 있고 각 경로에서 기점이 되는 router, Gateway의 Queuing Delay 역시 동적으로 변화하므로 전송시 네트워크 지연 시간과 수신시 네트워크 지연 시간 차이값은 매우 큰 범위를 가진다. IP 네트워크의 이러한 특징은 현재(IPv4)뿐 아니라 이후(IPv6)에도 계속해서 존재할 특징이 된다. 본 논문에서는 현재 사용되는 네트워크 일주 지연 시간에서 문제가 되는 사항을 밝히고 참조 시각원을 사용, UDP를 기반으로 네트워크 전송 지연 시간에 있어서 전송시 지연 시간과 수신시 지연 시간을 측정하고 분석하는 과정을 보인다. 다음으로 편도 지연 시간 차이값이 시각 오차에 미치는 영향을 알아보도록 하겠다.

2. 일주 지연 시간(Round-Trip-Delay time)

packet의 네트워크 전송 지연을 측정하는데 있어서 고려되어야 하는 요소는 다음과 같다.

- ① 전송 시스템과 수신 시스템의 시각 차이값
- ② 두 시스템의 클럭 휜(skew)
- ③ 클럭 읽기 오류
- ④ 제공되는 시각원의 해상도에 의한 오류

이 가운데 ④의 경우 일반적인 컴퓨터 시스템 운영체제에서 다루어 질 수 있는 최대 해상도 마이크로 초 보다 작기 때문에 무시 할 수 있으며 ③은 상수 값으로 계산할 수 있다. ①, ② 각각을 θ, f 이라고 네트워크 지연시간을 δ 라 하면 [그림 1]과 같이 표현할 수 있다.

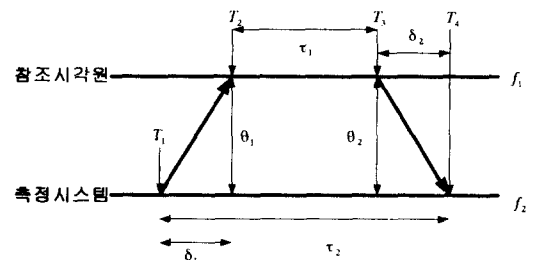


그림 1 클럭 차이(clock offset)과 일주 지연(round-trip-delay)

그림 1에서 $T_1, T_2, T_3, T_4, \theta, \delta$ 의 관계는 일반적으로 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$T_2 = T_1 + \theta_1 + \delta_1$$

$$T_4 = T_3 - \theta_2 + \delta_2$$

$$\delta_1 + \delta_2 = T_2 + T_4 - T_1 - T_3$$

$$\delta_1 - \delta_2 = T_2 - T_4 - T_1 + T_3 - \theta_1 - \theta_2$$

수식 1 $T_1, T_2, T_3, T_4, \theta, \delta$ 의 관계

일주지연시간을 사용하는 일반적인 방법에서 시각차는 δ_1 와 δ_2 이 같다는 가정하에서 다음과 같이 구한다.

$$\theta = \frac{T_2 - T_4 - T_1 + T_3}{2}$$

수식 2 일반적인 방법에 의한 시각차(offset)

3. 전송 지연 시간 (One-Way-Delay time)

일반적인 방법에서는 정확한 δ_1, δ_2 의 값을 구할 수 없기 때문에 일주 지연 시간 즉 $\delta_1 + \delta_2$ 를 네트워크 측정 요소로 사용하였다. 그러나 packet 의 지연시간이 같다는 것은 확률적으로 매우 적은 경우라고 볼 수 있다. 그리고 물리적으로 거리가 먼 경우 상대적으로 많은 router, gateway 를 거치게 되므로 각각에 의한 queuing delay 는 같다고 할 수 없다.

일반적인 클럭의 기본 주파수를 생성하는 오실레이터는 휨(skew) 특성을 가진다. 이 skew 특성은 주파수의 차이로서 시간이 빠르게 진행되거나 느리게 진행되는 오류요소가 된다. 수식 1 에 두 시스템 클럭의 휨을 반영하면 다음과 같은 식을 추정할 수 있다.

$$\delta_1 + \delta_2 = T_2 + T_4 - T_1 - T_3 - f_1\tau_1 + f_2\tau_2$$

수식 3 Clock Skew 를 반영한 일주 지연 시간

수식 3 에서 f_1, f_2 값은 실제 측정을 통해서 알 수 있으며 실험에서 f_1 의 경우 NTP 를 통해서 USNO 시각 서버의 skew 값을 알 수 있었다.

전송시와 수신시의 지연시간 차이값을 γ 라고 하면 편도 지연 시간 값을 다음과 같이 추정할 수 있다.

$$\delta_{one-way} = \frac{T_2 + T_4 - T_1 - T_3 - f_1\tau_1 + f_2\tau_2 - \gamma}{2}$$

수식 4 편도 지연 시간

수식 3 에서 T_1, T_2, T_3, T_4 는 실험 측정을 통해서 명확하게 알 수 있고 계산 가능한 값이다. 일반적으로 round-trip-delay 에서는 γ 의 값을 알 수 없기 때문에 θ 값 역시 γ 값이 반영된, 오류 요소를 포함하게 된다.

여기서 최초 참조 시각원과 절대적으로 동기 되어 있고 측정시스템과 직접 연결된 추가의 시각원을 가정하자. 이 두 번째 참조 시각원과 측정 시스템 사이의 시각차를 θ_{ref} 라고 한다면 $\theta_{ref} - \theta$ 를 편도 지연 시간 차이 값과 기타 오류가 반영된 값이라고 볼 수 있다. 본 논문에서는 수식 3 에서 clock skew 에 의한 오류가 δ_1, δ_2 에 반영되었으므로 $\theta_1 = \theta_2$ 라고 가정하며 $\delta_1 - \delta_2 = \theta_{ref}$ 라 두고 측정 및 분석을 하였다 참조 시각원에 대한 가정을 적용할 경우 수식 1 은 다음과 같이 추정 가능하다.

$$\gamma = \delta_1 - \delta_2 = T_2 - T_4 - T_1 + T_3 - 2\theta = \theta_{ref} - \theta$$

수식 5 추정된 편도 지연 시간 차이값

4. 실험 및 실험 결과 분석

실험 시각원은 미 해군 관측국(USNO, US Navy Observatory) 의 시각서버를 대상으로 수행되었다 대상 시각원이 물리적으로 가깝게 있을 경우 동적 지연 요소가 되는 router, gateway 의 수가 작기 때문에 네트워크 지연은 일반적인 컴퓨터에서 논리적으로 측정할 수 있는 10^{-6} 해상도보다 작은 값을 가지게 된다. 참조 시각원으로는 10^{-7} 해상도를 가지고 GPS 위성에 동기되어 있는 고정밀 시각 소인 장치인 HP59551A 를 RS-232C 로 PC 와 연결하여 사용하였다. 측정은 10bps 대역폭을 가지는 네트워크 상에서 Pentium II PC, LINUX 환경에서 수행되었다. 측정을 위한 프로그램이 제작되었으며 측정 시스템의 로그 내용과 HP59551A 의 time tagging 데이터를 기초로 분석이 실시 되었다. 실험 환경 구성은 다음과 같다.

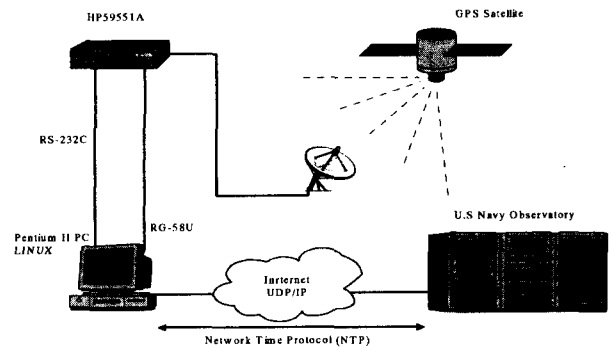


그림 2 편도 지연 시간 측정을 위한 실험 환경

4.1 측정 시스템의 clock skew

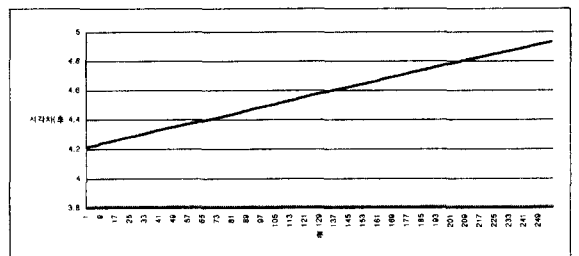


그림 3 HP59551A 에서 측정되는 PC 의 clock skew

그림 4 은 측정 시스템과 HP59551A 의 시각차를 통해서 측정 시스템의 Clock skew 를 보여주고 있다. 시각차이 값은 거의 일정한 증가를 보이고 있으며 이를 통해서 구할 수 있는 PC 의 clock skew 값은 다음과 같다 $f_2 = 0.0028 \text{ sec/min}$

USNO 시각 서버의 clock skew f_1 은 NTP debug mode를 통해서 알 수 있었다 구해진 f_1 은 다음과 같다 $f_1 = 0 \text{ sec/min}$

4.2 USNO와 시각차, 일주 지연 시간

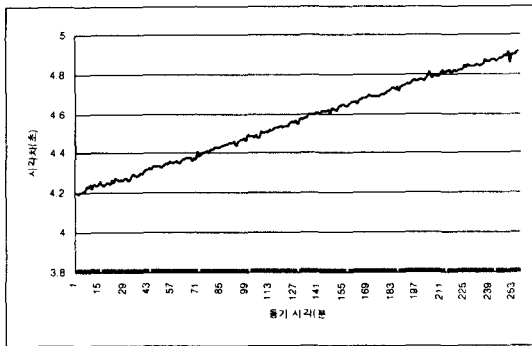


그림 4 일주 지연 시간을 통해서 측정되는 시각차

USNO와 시각차는 NTP를 이용하여 측정하였다. 초기 시각차 값은 4.188824이며 다음과 같은 특성을 가진다.

최대값	최소값	분산
0.053336초	-0.040038초	0.000134472

그림 3 과 그림 4 에서 $\theta_{ref} - \theta$ 를 구할 수 있다.

수식 3 과 수식 5 를 통해서 전송 지연 시간과 수신 지연 시간을 각각 구할 수 있다.

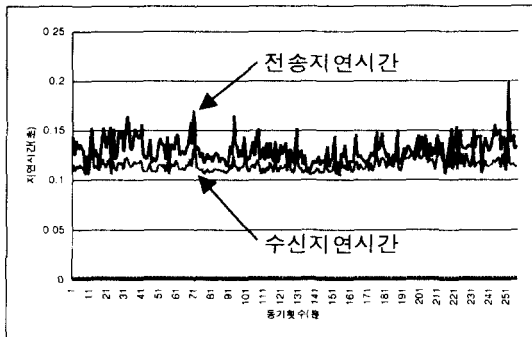
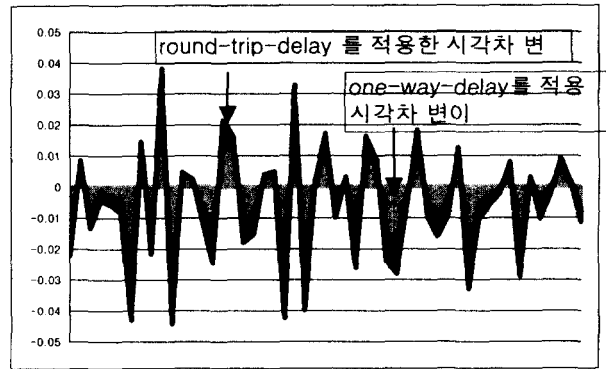


그림 5 전송지연시간, 수신지연시간

전송지연시간과 수신지연시간의 차이는 다음과 같은 특성을 가진다.

최대값	최소값
0.0626초	-0.01813

그림 5에서 보이는 γ 값의 범위는 NTP를 이용한 경우의 통상적인 시각차인 밀리초를 훨씬 넘어서는 것으로 안정적인 시각 동기화 네트워크 성능평가에 많은 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 그림 4에서 실험 내용에 γ 을 반영한 결과는 다음과 같다.



5. 결론

네트워크 상에서 편도 지연 시간은 IP 네트워크에서 정확하게 측정이 불가능하다. 본 논문의 실험에서는 외부 참조 시각원을 추가해서 비교 가능하였다. 관련 연구를 참조할 때 $\theta_{ref} - \theta$ 값은 통계적인 필터를 사용하여 근사한 값을 추정 가능할 것으로 보인다 편도 지연 시간을 추정할 수 있게 됨으로써 시각동기에서 정확하고 안정적인 동기가 가능해지며 좀더 정확한 네트워크 성능 평가가 가능해질 것으로 보인다.

6. 참고 문헌

[HP96] HP, "HP59551A and HP58503A GPS Receivers Operating and Programming Guide", HP, May, 1996.
 [KYH98] 김영호, "Timing Distribution with Network:NTP", 98GPS-WIS Proc. pp397-443, November 1998.
 [LSY98] 이상엽, 시각동기를 위한 컴퓨터 통신망상의 동적시각 오류요소 분석, 이학석사학위논문, February 1998.
 [MIC98] Micael Lombadari, "Computer Time Synchronization", Time and Frequency Division NIST, 1998.
 [MIL90] Mills, "Measured performance of the Network Time Protocol in the Internet System", ACM Computer Communication Review 20, 1, January 1990.
 [MIL85] D. Mills, "Experiments in network clock synchronization", DARPA Netwok Working Group Report RFC -958, September 1985.
 [MIL92] D. Mills, "Network Time Protocol (v3)", DARPA Netwok Working Group Report RFC-1305, April 1992.
 [MIL94] Mills, "Improved Algorithm for Synchronizing Computer Network Clocks", Proc. ACM SIGCOMM 94 Symposium, September 1994.
 [MIL96] D. Mills, "Simple Network Time Protocol (SNTP) Version 4 for IPv4, IPv6 and OSI", DARPA Network Working Group Report RFC-2030, October 1996.
 [OJS99] 오지석, NTP 시각 동기 특성 분석, 이학석사학위논문, February 1999
 [MSB99] Sue B. Moon "Estimation and Removal of Clock Skew from Network Delay Measurements"
 [UH00] Ulich Hofman "One-Way-0Delay Measurement with CM Toolset"