

# 인터넷상의 공용 NTP 서버 동기화 특성 분석

°오지석, 성순용\*, 김영호

부산대학교 전자계산학과, \*부산외국어대학교 컴퓨터공학과

## An Synchronization Characteristics Analysis of Public NTP Servers in Internet

°Jisok Oh, Soonyong Seong\*, Youngho Kim

Dept. of Computer Science, Pusan National Univ.

\*Dept. of Computer Engineering, Pusan Univ. of Foreign Studies

### 요 약

본 논문에서는 공용 접근이 가능한 NTP 서버들에 대한 동기화 특성을 조사, 분석했다. 분석 주요 항목은 서버 신뢰도, 정확도 그리고 오프셋(offset)과 전송 지연의 관계이다. 이러한 분석을 위해 NTP 알고리즘에서 최적 시계 동기화를 위해 선택하는 값인 클럭 오프셋, 일주 지연, 분산 그리고 동기화 거리를 사용하였다. 분석 결과는 동기화 거리 값의 경우 최대 700ms의 정도의 차이를 보이고, 분산의 경우 최대 30ms 정도의 차이를 나타내었다. 또한 전송 지연과 오프셋은 다윈 분포를 보이며, 이는 그간의 오프셋 근거의 단순 선택이 효율적이지 못할 수 있음을 보여주었다. 본 논문에서 살펴본 NTP 서버 동기화 특성은 많은 NTP 서버중 최적의 조건을 찾는 데 유용하게 쓰일 수 있다.

### 1. 서론

시계 동기는 시계 동기화를 요구하는 클라이언트에서 시계 동기화를 제공하는 서버의 시간을 읽어 가는 것을 기본으로 한다. 이것은 한 노드에서 어느 정도 오차 값을 가정한 다른 노드의 시간을 읽어 가는 것이다. 이러한 오차의 발생은 여러 가지 요인이 있지만 주로 시계 소인의 진달에 소요되는 예측할 수 없는 전송 지연에 따른다 [PRA96]. 본 논문은 인터넷상의 공용 접근이 가능한 NTP 서버들에 대해 동기화 특성을 조사, 분석했다. 분석을 위해 NTP 알고리즘에서 최적 시계 동기화를 위해 선택하는 값인 클럭 오프셋, 일주 지연, 분산 그리고 동기화 거리를 이용했다. 오프셋(offset)은 기준 클럭과 비교하여 지역 클럭이 정지되어야 할 양을 의미하고, 일주 지연(roundtrip delay)은 특정 시간에 기준 클럭 메시지가 도착하는데 걸리는 시간의 양을 나타낸다. 분산은 기준 클럭에 대한 지역 클럭의 최대 오류를 나타내고, 동기화 거리(synchronization distance)는 동기화 과정중의 모든 요인에 기인하는 최대 오류의 기여 정도를 표시하는 것이다 [MIL92].

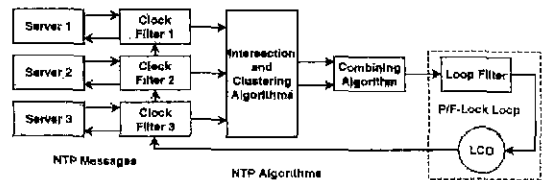
본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 NTP에 대한 개요, 분석 서버 그리고 분석 방법에 대해 소개한다. 3장에서는 서버의 신뢰도, 정확도 그리고 오프셋과 전송 지연의 관계에 대한 특성 분석과 특성 분석으로 산출된 여러 결과를 정리한다. 마지막으로 4장에서는 결론과 향후 계획을 기술한다.

### 2. NTP 및 NTP 서버

#### 2.1. NTP

Network Time Protocol은 미국 Delaware University에서

개발된 인터넷을 통한 컴퓨터 클럭의 시계 동기화를 위한 시스템으로 [그림1]과 같이 분산된 시간 서버와 클라이언트간의 시간을 전송 지연 등의 오류 요인을 고려해 동기화 한다. NTP 버전1은 RFC-958에서 처음 기술되었고, 매우 빠르게 발전하여 RFC-1195에서 NTP 버전2에 이르렀다. 이것은 비연결형(connectionless) 수송 메커니즘을 제공하는 인터넷 규약(IP)과 사용자 데이터그램 규약(UDP)의 한 부분으로 만들어졌다. RFC 1305에서 버전3에 대한 정의가 이루어졌으며 버전4로의 확장이 논의중에 있다.



[그림 1] Network Time Protocol의 구조

NTP의 예로, LAN(Local Area Network)상에서 시간을 제공하기 위한 여러 프로토콜들 - DAYTIME 프로토콜[POSS3b], TIME 프로토콜[POS83a], ICMP Timestamp message[DEF81] 그리고 IP Timestamp option[SUZ81]등이 있다. 하지만 이런 프로토콜의 대부분은 WAN(Wide Area Network)이상의 환경에서 발생하는 통계적 전송 지연 분산의 효과를 보정하는 방법을 포함하고 있지 않고, 더욱이 여러 오류 요인에 의해 신뢰할 수 없는 인터넷을 통한 정확한 시간 제공에는 적합하지 않다.

### 2.2. NTP 서버

특성 분석 서버는 계층 I에서 동작하는 공용 NTP 서버들 중 6개를 선택하였다. 우선 NTP와 같이 UDP를 사용하는 PING 프로그램을 통한 전송 지연 비교에 의해 전송 지연 값이 수 백 ms이내인 서버를 선택하고 이 중에서 분석에 적합한 서버를 찾기 위해 현재 시각 동기 서비스를 제공하는가, 상대적으로 많은 분석 자료를 제공하는가 그리고 참조하는 동기 원천과 위치 그리고 서비스 지역을 달리 하는 서버들을 선택했다. [표1]은 분석 대상이 되는 서버들을 서버 이름, IP 주소, 위치, 동기원천 그리고 서비스 지역을 나타낸 것이다.

[표1] 분석 대상 서버 목록

서버명	위치	원천	서비스지역
Canon	INRIA, Rocquencourt, France	TDF	RENATER, France
Clock	Fukuoka university, Fukuoka, Japan	GPS	Japan/Pacific area
Navobs1	Falcon AFB, Colorado	USNO	USA Pacific Mountain timezones
Ntp1	Delmarva Power & Light Co., Newark DE	GPS	MCInet
Tock	US Naval Observatory, Washington, DC	USNO	NSFNET
Time-b	NIST Central Computer Facility, Gaithersburg, Maryland	ACTS	NSFNET, SURANET

### 2.3. 동기화 특성 사항

분석은 NTP 동기망상에서 최고 상위에 해당하는 계층 I로 동작하는 세계 여러 곳에 위치한 NTP 서버들을 가지고 동기화를 진행하며, 그 과정에서 얻어지는 자료를 사용했으며 분석 항목 및 방법은 아래와 같다

- ① 서버의 신뢰도와 정확도 : NTP의 클럭 선택 알고리즘에서 사용하는 방법에 따르면 가장 높은 신뢰도는 가장 낮은 계층과 동기화 거리를 지닌 서버의 선택에 의해 이루어진다. 또한, 가장 높은 정확도는 가장 낮은 계층과 분산을 지닌 서버의 선택으로 이루어진다[MIL94]. 따라서 NTP 서버의 신뢰도와 정확도를 살펴보기 위해서 각 서버들의 동기화 거리와 분산을 각각 살펴보고, 서버들간의 비교를 한다
- ② 오프셋과 전송 지연의 분포 : NTP의 필터링 알고리즘에서는 서버와 클라이언트간에 주고 받는 여러 개의 시각 소인 중에서 서버와 클라이언트간의 시각 차이인 오프셋을 정확하게 측정하기 위해 전송 지연이 가장 작은 값을 선택하도록 고안되어있다[MIL89] 하지만, 이러한 결과 값을 얻었던 환경과 다른 경우에는 서버와 클라이언트의 오프셋과 전송 지연이 어떠한 분포로 존재하는지 이 두 항목간의 관계를 같은 형태의 그래프를 통해 살펴보고 비교한다.

## 3. 동기화 특성 분석

### 3.1. 서버의 신뢰성과 정확성

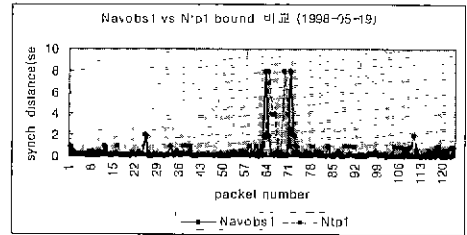
[표2]는 각 서버별로 측정되었던 동기화 거리와 분산 값을 누적시킨 값의 평균을 구하고 10일간의 매일 평균에서 가장 큰 평균과 가장 작은 평균 그리고 10일 전체의 평균을 구한 것이다. 분석 결과에서 구해진 자료상으로 볼 때 신뢰도 측면에서는 Navobs1서버가 가장 좋고, Ntp1 서버가 가장 나쁜 것을 알 수 있다. 그리고 정확도의 측면에서 보면 Time-b 서버와 Tock 서버가 좋고, Clock 서버가 가장 나쁜 것을 알 수 있다. 서버의 신뢰도와 정확도 측면에 대한 가중치를 1:1이라고 생각한다면 분석 대상 서버 중 Navobs1 서버가 종합적으

로 가장 나은 서버임을 알 수 있다.

[표2] 서버의 동기화 거리와 분산 분석 값 (단위 ms)

서버 이름	패킷 개수	동기화 거리			분산		
		Max Avg	Min Avg	전차 Avg	Max Avg	Min Avg	전차 Avg
Canon	1466	840	321	598	59	30	44
Clock	1537	680	190	545	75	35	61
Navobs1	1560	700	177	479	51	28	42
Ntp1	1400	1280	307	647	63	33	49
Time-b	1578	818	183	571	51	27	40
Tock	1537	892	259	591	49	28	40

[그림2]의 [표3]은 신뢰성 특성이 좋은 Navobs1서버와 상대적으로 나쁜 Ntp1서버를 비교한 것이다.



[그림 2] Navobs1과 Ntp1 서버의 동기화 거리 비교

[표3] Navobs1과 Ntp1 서버의 동기화 거리 분석 결과 (단위 sec)

요항	17		18		19	
	Navobs1	Ntp1	Navobs1	Ntp1	Navobs1	Ntp1
max	7 9375	7 9375	7 9375	7,9375	7 9375	7 9375
min	0 0010	0 0010	0 0011	0 0010	0 0010	0 0010
avg.	0 5381	1 2807	0 7289	0 9012	0 3148	0 5485
stdcv	1 2672	2 2157	1 7807	1 7854	1 0447	1 1653

[그림2]와 [표3]을 살펴보면 전체적으로는 두 개의 서버가 비슷한 양상으로 진행되고 매일의 평균값이 최소 200ms에서 최대 700ms정도의 차이가 남을 알 수 있다. 두 서버 모두 최대 값은 7.9초 정도의 값을 가지고, 최소 값은 약 1ms 정도의 값으로 같았다. 그러나 표준 편차에 있어서는 Navobs1 서버가 작은 값을 가지고 있으므로, 오류의 발생 확률이 커지는 최대 값들도 상대적으로 평균에 가깝게 분포한다는 것을 알 수 있다. 마찬가지로 방법으로 정확성 특성이 좋은 Time-b서버와 상대적으로 나쁜 Clock서버를 분산 값으로 비교한 결과 [그림2]의 동기화 거리 그래프와 마찬가지로 각 서버의 분산 값들이 서로 유사한 형태를 변하는 것을 발견할 수 있었다. 하지만 최소 값에 있어서 120ms 정도의 차이를 보이며, 평균 값도 최소 5ms에서 최대 30ms 정도의 차이를 보였다.

다른 외부 참조 클럭을 이용하지 않고, NTP만으로 시각 동기를 이루고자 하는 경우 LAN환경에서는 수 ms, 그리고 WAN 이상의 환경에서는 수십 ms 정도의 시각 동기 효과가 있는 것을 놓고 본다면 동기화 거리에서 최대 700ms정도의 차이와 분산에서 최대 30ms정도의 차이는 전체적인 동기화에 영향을 미친다는 것을 알 수 있다.

### 3.2. 오프셋과 전송 지연의 관계

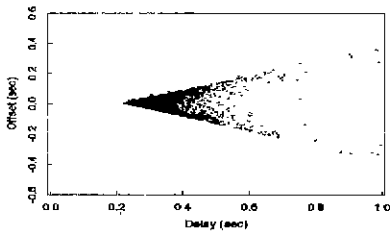
[표4]는 관측 대상이 되는 NTP 서버들에 대한 HOP수, 전송 지연의 평균 그리고 오프셋의 평균을 나타낸 것이다. [표4]에서 보면 서버별로 약간씩의 차이는 있었지만, 전송 지연의 경우는 평균적으로 300에서 500 ms 내에서 유지되었고, 오프셋의 경우는 평균적으로 80 ms이내로 나타났다.

신뢰할 수 없는 인터넷과 같은 환경에서의 시각 동기를

제공하는 서버와 시각 동기를 받고자 하는 클라이언트간의 시각 차이는 어쩔 수 없는 오류를 가진 상태에서의 값을 가지고 동기를 이루어야 하기 때문에 여러 개의 값들 중에서 추정하는 형태를 취하고 있다. 이러한 추정을 위해 NTP에서 사용하는 알고리즘은 [그림3] 예시와 같이 꼭지점에 밀집되어 있는 값을 사용하기 위해 여러 전송 지연을 가진 오프셋의 값들 중에서 전송 지연이 작은 값을 가진 오프셋을 선택하고 있다

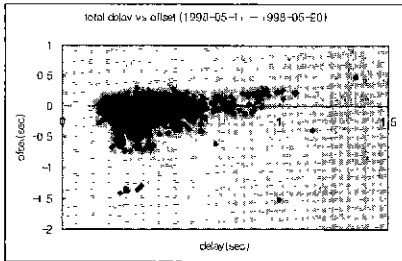
[표 3] 서버별 IOP 수, 전송지연 평균, 오프셋 평균 (단위 ms)

서버 이름	IOP 수	전송 지연 평균	오프셋 평균
Canon	19	409	-20
Clock	18	380	-75
NavobsJ	25	320	-30
NtpJ	14	392	-9
Time-b	16	323	-27
Tock	14	310	-31



[그림 3] RFC 1128의 전송 지연과 오프셋 관계

실제로 낮은 전송 지연을 지닌 시각 소인에서 정확한 오프셋을 추정할 수 있는지를 같은 형태의 다이어그램을 통해 여러 서버에 대해서 살펴보았다.



[그림 4] 전체 서버의 전송 지연과 오프셋의 관계

[그림4]는 관측한 6개의 서버에 대한 모든 오프셋과 전송 지연을 누적시켜서 나타낸 것이다. 하지만 [그림3]의 그래프와는 다른 분포를 보이고 있는 것을 알 수 있다. 분포 모양은 서버별로 살펴 본 그림에서도 마찬가지로 중심 부분이 두껍고 전송 지연이 길어질수록 얇아지는 타원형 형태를 취한다. 또한 모든 서버를 누적한 그림에서도 오프셋이 증가하는 방향과 감소하는 방향으로 약간 분포 되어있지만 RFC의 그림처럼 완전한 삼각형 형태를 가지는 분포로는 보이지 않는다. 이러한 분포는 각각의 서버별로 나타나는 전송 지연과 오프셋 관계의 그래프에서도 [그림3]와 유사한 형태로 나타났었다.

결론적으로 가장 낮은 전송 지연에서 가장 낮은 오프셋을 나타내는 경우도 있었지만 그렇지 않은 경우가 더 많았다. 오히려 전송 지연의 평균값에 분포하는 값들 중에서 더욱 정확

한 오프셋을 나타내는 경우가 더 많음을 알 수 있다. 따라서 오프셋 값을 추정하는 경우 무조건 전송 지연 값이 작은 값을 선택하는 것보다는 전송 지연의 평균값에 위치한 값과의 비교를 통해 선택하는 것이 더욱 정확한 동기화 효과를 얻을 수 있을 것이다

#### 4. 결론 및 향후 계획

본 논문에서 분석한 바에 의하면 공용 NTP 서버의 신뢰성을 판단할 수 있는 동기화 거리 값의 비교에 있어서는 최대 700ms 정도의 차이가 나으며, 정확성을 판단할 수 있는 분산 값의 비교에 있어서는 최대 30ms 정도의 차이가 났다. 이러한 값들은 수십 ms 정도의 동기화 효과를 가져오는 WAN이상의 환경에는 큰 영향을 미칠 수 있는 요인이 된다. 그리고 NTP의 플러 필터 알고리즘의 짧은 전송 지연 오프셋 추정에 대한 내용은 꼭지점을 지닌 삼각형의 모양이 아닌 타원형 형태를 취하는 것을 알 수 있었다. 이러한 서버의 특성을 반영해서 오프셋 추정시 무조건 전송 지연이 작은 값에서의 선택이 아니라 전송 지연 평균값에 분포한 오프셋들도 함께 고려가 되어야 할 것이라 생각한다.

끝으로 본 논문에서는 관측기간을 한 달 정도로 한 분석이었고, 주 NTP 서버들에 대한 분석이었지만 앞으로 장기간의 관측과 여러 계층의 서버에 대한 조사를 통해 더욱 많은 자료와 더욱 많은 서버에 대해서 분석이 이루어지면 보다 정확한 결과를 얻을 수 있을 것이라 생각한다.

#### 참고문헌

[PRA96] Pradeep K. Sinha, Distributed Operating Systems Concepts and Design, IEEE COMPUTER SOCIETY PRESS 1996  
 [MIL92] Mills, D.L. Network Time Protocol(version 3) specification, implementation and analysis, DARPA Network Working Group Report RFC-1305, University of Delaware, March 1992  
 [POS83a] Postel, J. Time protocol, DARPA Network Working Group Report RFC-868, USC Information Sciences Institute, May 1983.  
 [POS83b] Postel, J. Daytime protocol, DARPA Network Working Group Report RFC-867, USC Information Sciences Institute, May 1983  
 [DEF81] Defense Advanced Research Projects Agency Internet Control Message Protocol. DARPA Network Working Group Report RFC-792, USC Information Sciences Institute, September, 1981  
 [SUZ81] Su, Z. A specification of the Internet protocol(IP) timestamp option. DARPA Network Working Group Report RFC-781, SRI International, May 1981  
 [MIL94] Mills, D.L. Improved Algorithm for Synchronizing Computer Network Clocks, Proc ACM SIGCOMM 94 Symposium, September 1994  
 [MIL89] Mills, D.L. Measured performance of the Network Time Protocol in the Internet system, DARPA Network Working Group Report RFC-1128, University of Delaware, October 1989