

위성시각 동시측정에 의한 웹기반 슬레이브클럭 시스템

정회원 김영범*

A web-based remote slave clock system by common-view measurement of satellite time

Young-beom Kim* *Regular Members*

요약

본 논문에서 위성신호를 매개로 원격지의 로컬클럭이 기준신호에 동기되는 새로운 개념의 슬레이브클럭 시스템을 제안하였으며 이 방식에 의한 실용화 가능성을 확인하였다. 새로이 제시하는 방식은 단계적인 물리계층에 의해 동기되던 기존의 방식에 비해 모든 슬레이브 국소들이 동일한 계위의 품질로 유지될 수 있는 등의 여러 가지 구조적인 장점을 지니고 있다. 슬레이브클럭 시스템의 측정결과 10-12 수준의 주파수정확도를 유지하였으며 ITU-T의 권고(G 811)를 만족하는 MTIE 특성을 보여주었다. 현재 전체적으로 자동화기능을 갖는 초기모델이 구현되었으며 가까운 시일 내에 상용화연구를 통해 통신망 동기용 노드클럭으로 사용될 수 있으리라 기대한다.

Key Words Slave Clock; GPS; Commom-View, Network Synchronization; MTIE

ABSTRACT

In this paper we propose a new conceptual slave clock system in which remotely located clock is synchronized to the reference clock by intermediation of the satellite time, show a probability of adoption to real network by experiments. This new proposed method has lots of structural advantages over the existing methods because all of the node clocks can be maintained with the same hierarchical quality. The measurement results show that the accuracy of the experimental slave clock system can be kept within a few parts in 10¹² and that the MTIE (Maximum Time Interval Error) meets the ITU-T Recommendation G.811 for the primary reference clock. A prototype system having fully automatic operational functions has been realized, and it is expected to be commercially used as a node clock for synchronization in the digital communication network in the near future.

1. 서론

과학기술의 급격한 발전과 더불어 클럭의 중요성이 부각되고 있다. 특히 정보통신의 급격한 발전은 시간을 더욱 더 정밀하게 분해하기를 요구하고 있다. 그러나 시간은 클럭을 생성하고 있는 발진기의 기본 회로와 재료특성의 차이 때문에 항상 똑같은 품질을 유지할 수는 없다. 처음에 아무리 정확하게 값을 맞추어 놓았다 하더라도 시간이 경과함에 따라 피할 수 없는 경년변화(aging)로 인해 주파수값이 끊임없이 변

해가게 된다.^[1] 발진기들이 본질적으로 지니고 있는 이러한 시간주파수 특성은 개별적으로만 동작 할 경우에는 문제가 없으나 여러 발진기들이 유기적으로 작용을 하는 현대의 모든 시스템에서는 그 자체만으로 국한된 문제를 넘어 전체적인 성능저하를 유발시킴에 따라 통신, 방송, 우주항공, 그리고 군사적인 면에서 커다란 혼란이 야기될 수 있다. 더욱이 현대의 통신은 여러 분야에서 발생하는 수많은 정보들이 최상의 품질을 유지하며 상대방에게 전달 되도록 하기 위해 디지털 신호체계를 택하고 있을 뿐만 아니라 한

* 한국표준과학연구원 광기술표준부 시간주파수그룹(kimy@kriss.re.kr)
논문번호 KICS2004-08-165, 접수일자 2004년 8월 25일

정된 통화로를 사용하여 여러 가입자들이 동시에 그들 나름대로의 상대방에게 정보를 전달 시키기 위한 방편으로 시간축상에 배열된 디지털 신호들이 전송매체를 시간적으로 분할하여 점유하도록 하는 시분할방식(TDM)을 기본으로 하고 있다 따라서 서로 다른 지역에 있는 교환장비의 시분할 간격과 위치가 일치해야 보다 확실한 통신이 가능하게 된다 실제로 송신측과 수신측 교환기의 클럭이 서로 일치하지 않을 경우 팩시밀리에 의해 전송된 글자가 찌그러지고 사진의 전송이나 은행의 온라인 업무가 불가능하게 되는 통신장애가 생기게 된다 뿐만 아니라 우리가 흔히 쓰고 있는 핸드폰 역시 고속으로 달리는 자동차속에서 사용할 수 없게 된다 디지털 통신에서의 이러한 문제를 해결하고자 관련 통신회사들은 동기망(synchronization network)을 구축하여 원격지의 교환기를 비롯한 통신망관련 장치의 클럭을 특별한 기준신호에 일치시키는 노력을 하고 있다^[2]

II. 원격지클럭의 동기

원격지 클럭간의 동기란 두 지역에 있는 클럭신호의 위상과 주파수가 정확하게 일치하는 것을 의미한다 다시 말하면 두 클럭신호의 상승에지 (rising edge)를 정확하게 일치시키는 것을 말한다 그러나 떨어진 두 지역의 클럭신호를 이 정도로 일치 시키는 것은 현실적으로 불가능하기 때문에 디지털 통신망에서는 전송로에서 발생하는 위상변동을 어느정도 허용하되 이를 최대한 흡수해줄 수 있는 네트워크화된 동기체계를 ITU-T의 권고에 따라 운용하고 있다. 이러한 동기망은 구성여건에 따라 몇 가지 형태가 있으나 최상위 계층에 가장 좋은 동기용 기준클럭으로 PRC(Primary Reference Clock)를 확보하고 그 아래의 하위계층에서 이에 종속적으로 운용되도록 구성하는 종속동기가 비교적 저렴하게 동기망을 구성하면서도 높은 품질을 유지할 수 있는 것으로 알려지고 있어 대부분의 나라가 이 방식을 채택하고 있다. 우리나라 역시 이러한 종속동기방식에 신호선택의 우선순위를 미리 설정한 PAMS(Pre-Assigned Master Slave) 방식을 택하고 있으며그림 1과 같이 ITU-T에서 권고하고 있는 G-803에 따라 동기신호를 하위계층으로 단계적으로 공급하고 있다^[3]

동기신호의 공급을 위해 최근까지 가장 널리 이용되는 방법은 기준신호를 RF선로를 통하여 하위의 원격지까지 전송하여 기준신호와 로컬클럭을 비교측정하여 위상차를 보상함으로써 동기 시킨다. 이 경우

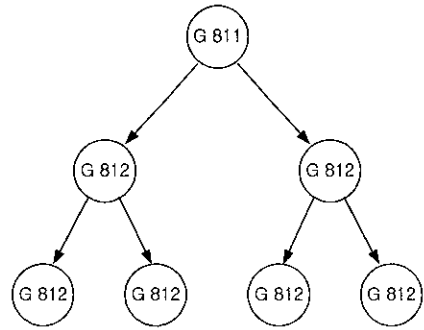


Fig 1 Clock distribution by ITU-T G-803
그림 1 ITU-T G-803에 의한 클럭공급

실시간 적으로 상위국의 기준신호에 동기 시킬 수 있는 이점도 있으나 선로의 길이에 따른 위상지연이나 선로잡음 등의 특성에 따라 측정상의 특성이 차이가 있고 선로의 예기치 못한 절단에 따른 연속적인 측정상의 불안요인을 또한 가지고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 최근에는 통신위성에 의한 양방향시간 비교법, GPS동시측정법, 그리고 GPS반송파 위상에 의한 비교측정법등 주로 위성을 이용한 원격지간의 정밀측정 방법이 NIST(미국립표준국), CRL(일본통신종합연구소), TL(대만통신연구소)를 비롯하여 KRIS(한국표준과학연구원)과 같은 표준기관 및 통신회사의 연구소에서 원격지간의 정밀한 비교측정을 위한 연구가 깊이 있게 진행되고 있다. 이 경우는 현행방식의 문제점을 확실히 해결할 수 있어서 위성을 이용한 원격지간의 정밀측정 방법이 주목을 받고 있으나 기존의 유선에 의한 방식에 비해 다소 복잡하고 비용이 많이 들기 때문에 최고 수준의 정밀도를 필요로 하는 부문에 선택적으로 이용되고 있다. ^[4-6]

본 논문에서는 통신사업자를 비롯한 국내의 여러 기관에서 필요로 하는 수준의 원격지 동기시스템을 GPS 위성신호의 동시측정방식과 상용의 루비듐발진기를 사용하여 멀리 떨어진 기준클럭에 실 시간적으로 위상동기될 수 있는 비교적 간단한 동기시스템의 개발에 대해 기술하였으며 초기모델로 개발된 동기시스템의 클럭 품질에 대한 측정결과를 보여주었다 동기시스템의 클럭 품질을 측정할 결과 10⁻¹² 수준의 주파수정확도를 유지하고 ITU-T에서 망동기용 기준클럭을 위한 권고(G 811)^[7]를 만족하는 것을 확인 할 수 있었다. 앞으로 연속동작을 위한 완결성 및 신뢰성 관련사항에 대한 추가적인 연구를 한다면 국내 기간통신망의 효율적인 동기시스템으로 사용 가능하리라 기대한다

III. 위성을 매개로한 새로운 원격지 클럭동기

여기서는 멀리 떨어진 곳에 있는 서로 다른 클럭들을 동일한 수준으로 일치시키기 위해서는 우선 클럭들 간의 차이를 실시간으로 정확하게 측정하여야 한다. 이를 위해 과거에는 앞서 설명한 바와 같이 통신 회선을 이용해 상위계층으로부터 기준신호를 받아 사용하고 있으나 이 경우 하위계층으로 갈수록 그 품질이 열화(degradation) 되거나 회선의 절단에 따른 위험성이 있어 최근에는 위성을 매개로 한 방법에 주목하고 있다. 특히 이 방법은 위성신호에 의한 여러 가지 방법 중에서 비교적 쉽고 아주 정밀하게 측정할 수 있을 뿐 아니라 비용이 적게 드는 효율적인 방법으로 알려지고 있어 향후 널리 이용될 것으로 예상되고 있다. 이 방법은 두 지역에서 같은 시간에 동일한 위성신호를 대상으로한 동시측정법(Common-View measurement)으로써 기본적으로 고도각이 클 경우 위성신호의 전달상의 잡음이 거의 동일하다는 가정을 기본으로 하고 있다 또한 위성시각의 동시측정에 의한 두 클럭간의 시간차(ΔT_{1-2})는 다음과 같은 수학적 개념에 의해 구해지기 때문에 위성신호의 품질에 무관하다는 장점을 지니고 있다.

$$\Delta T_{1-2} = T_1 - T_2 = (T_1 - T_{GPS}) - (T_2 - T_{GPS})$$

여기서 T_1, T_2 는 멀리 떨어진 자기 다른 두 클럭의 시각이고 매개변수인 T_{GPS} 는 GPS의 시각을 말한다 따라서 두 클럭간의 시간차는 두 지역에서 같은 시간에 자기 측정한 동일한 위성(GPS)과의 시간차데이터 값들 간의 차에 의해서 구해진다 이 식에서 T_{GPS} 는 소거되므로 동시측정법에 의한 원격지 클럭간의 시간차 측정시에 위성은 단지 측정을 위한 매개체로 사용되기 때문에 품질이 균일하지 않더라도 관계없다 따라서 전시를 비롯한 여러가지 돌발상황에 따라 GPS의 품질이 변화되더라도 거의 영향을 받지않고 원격지 클럭간의 시간차 변화를 측정할 수 있는 우수한 측정 방법이다. 이러한 시도는 1992년 NIST에서 최고의 동기수준을 알아보기 위한 실험실용도로 개발되어 발표된 적이 있으며 당시 원격지의 기준신호에 동기되는 정도는 주파수오차가 10^{-14} , 시간오차는 수 ns에 이를 정도로 특성이 좋았다.¹⁸⁾ 그러나 장치의 규모가 크고 복잡할 뿐 아니라 비용도 많이 들어서 상업적으

로 사용되지 못하고 있다.

지금까지 이동통신용 기지국이나 SSU의 보조용 클럭으로 주로 사용되는 GPS Disciplined Clock은 GPS 신호에 종속적으로 동기된 클럭이다. 이 경우 GPS상의 여러 가지 이유로 인해 수신되는 클럭의 품질 또한 변동될 수 있는 구조적인 취약점을 가지고 있다 그러나 동시수신에 의한 측정방법은 GPS를 단지 원격지간의 측정을 위한 매개체로 사용하기 때문에 GPS 품질과는 무관하고 특정한 Master와 비교 측정하여 동기 시킬 수 있으므로 진정한 Slave Clock 이다. 여기서 사용되는 GPS수신기는 일반인들에게 잘 알려져 있지 않은 시각비교용 GPS수신기가 사용된다 이 수신기는 기준클럭(Master Clock)이 있는 기준국과 원격지의 클럭들이 위치한 원격국에서 고도각이 높은 특정 GPS위성의 신호를 같은 시간에 선택 수신하도록 미리 동일한 위성 스케줄이 입력되고 그 스케줄에 따라 정해진 시간에 선택된 특정 위성의 신호를 수신하여 각각의 원격지 클럭의 시각과 GPS위성과의 시각차를 측정하는 중요한 역할을 담당하고 있다. 그림 2는 GPS위성을 매개로 원격지의 클럭을 기준용 마스터클럭에 동기시키는 시스템의 구성도 이다 마스터와 슬레이브 국소에서는 그림에서 보는 바와 같이 동일한 GPS수신기가 사용되는데 정해진 위성스케줄에 따라 같은 시간에 선택된 동일한 특정 GPS위성의 신호를 수신하여 각각의 클럭과 GPS위성과의 시각차를 측정하고 있다 원격지의 슬레이브측 컴퓨터는 인터넷을 통해 기준국의 데이터를 가져다 슬레이브측의 데이터와 서로 빼주게 되면 GPS위성신호를 매개로

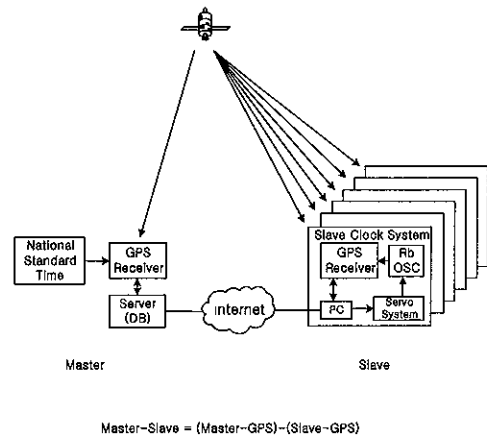


Fig 2 Remote slave clock system by intermediation of satellite
그림 2 위성을 매개로한 원격지 슬레이브클럭 시스템

원격지의 클럭이 기준클럭에 대해 틀린 정도를 알 수 있게 된다. 원격지 슬레이브클럭 동기시스템은 이렇게 구해진 기준 클럭과의 차이가 최소가 되도록 컴퓨터와 연계된 전자적인 서어보회로를 통해 자동적으로 기준국의 클럭에 동기 시킨다. 이 경우 GPS신호는 클럭간의 상대적인 비교측정을 위해 단지 매개체로 사용하기 때문에 GPS품질의 변화에 직접적인 영향을 받지 않는다 다시 말해서 원격지의 클럭이 GPS에 동기되는 것이 아니고 기준국의 클럭에 동기 되는 슬레이브 클럭이 된다 이러한 방식으로 원격지 클럭이 멀리 떨어진 기준클럭에 실시간 자동보상 되도록 컴퓨터 제어에 의한 웹기반 원격지 슬레이브 클럭시스템을 구성 하여 현재 시험 운영 중에 있다.

IV. 성능평가 및 검토

기준클럭이 있는 곳으로부터 멀리 떨어진 지역에 위치한 클럭을 기준클럭에 일치시킬 수 있는 웹기반 원격지 클럭 동기시스템을 실험실 수준으로 개발하여 기준클럭인 마스터측과 비교측정을 하였다. 그 결과 10분의1 피코(10^{-13})수준의 주파수오차를 지녔으며 그림 3에서 보는 바와 같이 하루당 최대 30나노초 이하의 시간오차 변동폭을 유지하고 있었다.¹⁹⁻¹⁰⁾ 따라서 이 정도의 수준은 시판중인 범용의 세습원자 주파수 표준기와 비슷한 수준에 이르고 있다. 이러한 우리의 결과는 미국의 NIST에서 얻은 결과보다 10배이상 나쁘지만 현재 시판 되고있는 범용의 세습원자발전기와 대등한 수준이며, ITU-T에서 통신망동기용 마스터클럭으로 권고하는 G-811보다 약100배 이상 좋은 결과이다.

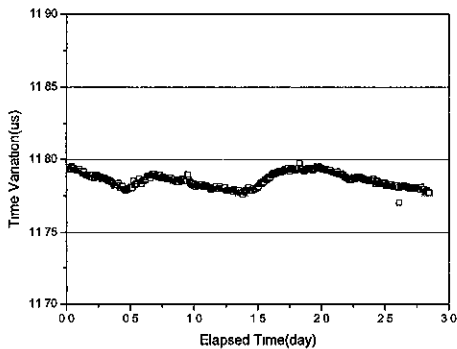


Fig 3 Time variation of slave clock system
 그림 3 원격지 슬레이브 클럭시스템의 시간오차변화

또한 시험 제작된 원격지 슬레이브 클럭시스템이 마스터클럭에 동기된 상태와 동기되지 않은 상태의 상용의 루비듐발전기에 대한 MTIE(Maximum Time Interval Error)^[11]를 측정하여 ITU-T의 권고치와 비교한 결과를 표 1에 나타냈다.

Table 1 Comparison of MTIE according to the observation time

표 1 관측시간에 따른 MTIE의 비교

관측시간	ITU-T REC G.811	COMMERCIAL (UNSYNC. RB)	SLAVE CLOCK (SYNC. RB)
2 s	25.6 ns	2.2 ns	2.7 ns
10 s	27.8 ns	21 ns	2.3 ns
100 s	52.5 ns	230 ns	5.2 ns
1000 s	300 ns	2300 ns	13 ns
10000 s	390 ns	23000 ns	28 ns

비교결과 상용의 루비듐발전기를 기준신호에 동기시키지 않고 자유동작(free run) 될 경우 관측시간이 길어짐에 따라 MTIE값이 상당히 커져 ITU-T의 권고값을 크게 초과한다. 이러한 결과는 루비듐 발전기의 경년변화(drift rate)가 커서 장기안정도가 좋지 못한 결과이다. 그러나 본 연구에 의한 웹기반 슬레이브클럭의 경우 관측시간이 길어져도 ITU-T의 권고 MTIE 보다 훨씬 작은 값을 유지하고 있다. 이러한 결과는 위성을 매개로 멀리 떨어진 기준신호에 잘 동기 되고 있음을 반증하고 있다

V. 결론

본 연구를 통해 새로이 개발된 장치는 원격지클럭이 멀리 떨어진 기준클럭에 동기되기 위하여 유선에 의해 전달된 기준신호에 동기되거나 GPS신호를 직접 동기되는 종래의 경우와 달리 기준클럭과의 비교측정을 위해 GPS위성신호를 단지 상대적인 매개체로 사용하였다. 따라서 GPS의 품질변화에 직접적인 영향을 받지 않으면서 전국의 모든 클럭이 하나의 기준클럭에 동기되어 비슷한 수준의 품질을 가지게 되는 진정한 마스터-슬레이브클럭의 초기모형을 완성 할 수 있었다. 또한 이번에 개발된 인터넷기반의 원격지클럭 동기장치는 통신에서 요구되는 클럭품질 수준보다 100배 이상 좋은 품질일 뿐 아니라 마스터클럭측에서

GPS를 매개로 여러 국소의 원격지클럭과 마스터클럭과의 차이를 동시에 계산함으로써 GPS 위성신호를 매개로 전국적인 슬레이브클럭들의 품질을 평가 및 검증하기 위한 전국적인 모니터링도 가능하다. 따라서 웹기반 원격지 슬레이브클럭은 향후 디지털통신망용 Node Clock을 비롯하여 방송 또는 원격교정을 위한 마스터클럭으로 사용될 수 있는 등 여러 분야에서 많은 역할을 하게 될 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

[1] M.E. Frerking, Crystal Oscillator Design and Temperature Compensation. *NewYork: VNR*, pp. 20-39, 1978.

[2] Peter Kartaschoff, "Synchronization in Digital Communications Networks," *proc. of the IEEE*, vol. 79(7), pp. 1019-1028, July 1991.

[3] ITU-T G-803, "Architeatures of Transport Networks Based on the Synchronous Digital Hierarchy(SDH)", 1993.

[4] S. S. Chen, K.Y. Tu, C.S. Liao, "Synchronized Clock using Carrier Phase Measurements", *proc. of ATF 2000*, pp. 115-120, Oct. 2000.

[5] Diter Kirchner, "Two-Way Time Transfer Via Communication Satellite", *proc. of the IEEE*, vol. 79(7), pp. 983-990, July 1991.

[6] Wlodzimierz Lewandowski and Claudine Thomas, "GPSTime Transfer," *proc. of the IEEE*, vol. 79(7), pp. 991-1000, July 1991.

[7] ITU-T G-811, "Timing Characteristics of Primary Reference Clocks," May, 1996.

[8] David W. Allan, "A Rubidium Freq. Standard and Receiver : A Remotely Steered Clock System with Goodshort-term and long-term stability," *44th Annual Symp. Frequency Control*, pp. 151-160, 1990.

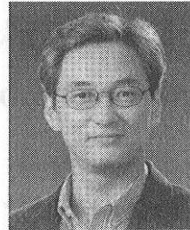
[9] Young Bum Kim, Sung Hoon Yang, Chang Bok Lee, "A Study on the Development of Web based Slave Clock by GPS common-view," *proc. of 2003 International Symposium on GPS/GNSS*, pp. 389-391, Nov. 2003.

[10] 김영범, 신은주, 박병철, 김종현, "위성시각 동시측정에 의한 웹기반 슬레이브클럭 시스템," *통신학회 하계종합학술발표대회 논문집*, p.177, July 2004.

[11] ITU-T G-823, "Control of Jitter and Wander within Digital Networks which are based on the 2048 kb/s Hierarchy," 1988.

김 영 범 (Young-beom Kim)

정회원



1982년 충남대학교 공과대학 전자공과 졸업

1989년 충남대학교 대학원 전자공학과(공학석사)

2000년 충남대학교 대학원 전자공학과(공학박사)

1986(1년) 독일연방물리기술청

(PTB) 방문연구원

1982년~현재 한국표준과학연구원 광기술표준부, 책임연구원

<주관심분야> Remote Measurement, Network Synchronization, Time Distribution