

## 디지털 통신을 위한 새로운 개념의 망 동기

김영범, 권택용, \*박병철, \*김종현  
한국표준과학연구원, \*유경텔레콤

### A New Concept of Network Synchronization for Digital Communication

Young Boem Kim, Taeg Yong Kwon, \*Byoung Chul Park, \*Jong Hyun Kim  
Korea Research Institute of Standards and Science, \* Yukyung Telecom

**Abstract** - 위성신호를 매개로 국가표준에 전국의 모든 노드클럭이 동시에 동기될 수 있는 새로운 형태의 망 동기 클럭 공급 시스템을 제안하였으며 이 방식에 의한 실용화 가능성을 확인하였다. 본 논문에서 새로이 제시하는 방식은 단계적인 물리계층에 의해 동기되던 종래의 방식에 비해 모든 슬레이브 국소들이 동시에 동일한 계위의 품질로 동기 될 수 있는 등의 여러 가지 구조적인 장점을 갖고 있다. 서로 멀리 떨어진 지역에서 같은 위성신호를 동시에 측정하여 얻은 시간차데이터를 활용함으로써 위성을 매개로한 기준클럭과 원격지의 슬레이브클럭과의 위상차를 실시간적으로 측정할 수 있었으며, 컴퓨터 제어에 따라 이들 차이를 보상함으로써 전국의 여러노드에서 멀리 떨어진 기준클럭에 위상동기되는 신개념의 슬레이브 클럭 동기시스템을 설계하고 제작하였다. 이 시스템의 측정결과  $10^{-12}$  이하의 주파수정확도를 유지하였으며 ITU-T의 권고(G.811)를 충분히 만족하는 MTIE 특성을 보여주었다. 현재 전체적으로 자동화 기능을 갖는 초기모델이 구현되었으며 가까운 시일 내에 상용화연구를 통해 디지털 통신망의 동기용 노드클럭으로 사용될 수 있으리라 기대한다.

## 1. 서 론

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 없고 시간이 경과함에 따라 피할 수 없는 경년변화(aging)로 인해 주파수값이 끊임없이 변해가게 된다.<sup>[1]</sup> 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 최상의 품질을 유지하기 위해 디지털 신호 체계를 택하고 있으며 시간 측상에 배열된 디지털 신호들이 한정된 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. 만일 클럭이 서로 일치하지 않을 경우

시밀리에 의해 전송된 글자가 찌그러지고 사진의 전송이나 은행의 온라인 업무가 불가능하게 되는 통신 장애가 생기게 된다. 뿐만 아니라 우리가 흔히 쓰고 있는 핸드폰 역시 고속으로 달리는 자동차 속에서 사용할 수 없게 된다. 따라서 기간통신망 사업자들은 디지털 통신에서의 이러한 구조적인 문제를 해결하기 위하여 동기망(synchronization network)을 통해 통신망관련 장치의 클럭을 특별한 기준신호에 일치시키는 노력을 하고 있다.<sup>[2]</sup> 일반적으로 통신망의 동기를 위해 Master-Slave 방식이 가장 보편적으로 사용되고 있다. 이러한 방식은 최 상위국에 아주 정밀한 기준클럭을 확보하고 그로부터 만들어진 동기신호를 계층적으로 하위국소로 공급할 수 있으므로 적은 비용으로 계층별로 일정 수준의 품질을 유지하는 전국적인 동기시스템을 갖출 수 있는 장점이 있다.<sup>[3]</sup> 그러나 여러 단계의 동기장치를 거치게 됨에 따라 하위국소로 갈수록 동기품질은 저하되며 신호공급을 위한 선로의 구간이 커짐에 따라 예기치 못한 사고의 위험이 커질 수 있기 때문에 이를 보완하기위한 비용이 발생하는 등의 여러 가지 문제점을 가지고 있다. 뿐만 아니라 상위계층으로부터 받는 동기신호의 품질향상 여부를 판단하는 것은 전체적인 동기망의 품질향상에 필수적인 사안이다. 그러나 이제까지는 상위로부터의 신호들 간에 비교측정을 통해 다시말하면 투표를 통해 일반적이지 못한 특성을 지닌 신호를 제외시키는 방법을 적용해왔다. 이 경우 절대적인 측정이 아니고 서로간의 상대적인 측정이므로 품질 유지에 애로를 겪게 되는 것이 현실이다. 앞서의 여러 가지 문제점을 다소 개선하기 위해 GPS Disciplined clock이 병행 사용되고 있다. 이것역시 추가적인 비용이 들고 GPS에 예측되기 때문에 기간통신망의 중요성을 감안할 때 구조적인 모순을 지니고 있다고 볼 수 있다. 본 논문에서는 현행 동기망의 이러한 모든 문제를 해결할 수 있는 새로운 방식의 동기망을 구축하기 위한 방안을 제시하였으며 초보단계의 시스템을 개발하여 성능을 측정 한 결과 향후에 동기망용 노드 클럭으로의 적용 가능성을 확인하였다.

## 2. 신 개념의 원격지 클럭 동기장치

### 2.1 기본적인 개념

멀리 떨어진 곳에 있는 노드클럭들을 하나의 기준 클럭에 동기(Synchronization) 시키기 위해서는 우

선 각각의 클럭들과 기준클럭간의 차이를 실시간으로 정확하게 측정하여야 한다. 이를 위해 그림 1에서 보는 바와 같이 통신회선을 이용해 상위계층으로부터 기준클럭신호를 받아 사용함으로써 클럭편차를 알고 이 차이를 줄이도록 위상잠금회로(Phase Lock Loop)를 구동시킨다. 이 경우 하위계층으로 갈수록 동기 품질이 열화(degradation) 되거나 회선의 절단에 따른 위험성이 있어 최근에는 위성을 매개로 한 방법에 주목하고 있다.<sup>[4]</sup> 이 방법은 위성신호에 의한 여러 가지 방법 중에서 비교적 간단하기 때문에 비용이 적게 들 뿐만 아니라 아주 정밀하게 측정할 수 있는 등의 장점을 지닌 효율적인 방법으로 알려지고 있어 향후 널리 이용될 것으로 예상되고 있다. 떨어진 두 지역에서 동시에 같은 위성에 대한 위성시각을 동시측정(Common-View measurement) 함에 있어 고도각이 크고 두 지역간의 거리에 비해 위성의 고도 거리가 매우 클 경우 위성신호 전달 경로상의 잡음지수가 거의 동일하다는 가정을 기본으로 하고 있다. 위성시각의 동시수신에 의한 두클럭간의 시각차( $\Delta T_{1-2}$ )는 다음과 같은 수학적 개념에 의해 구해진다.

$$\begin{aligned} \Delta T_{1-2} &= T_1 - T_2 \\ &= (T_1 - T_{GPS}) - (T_2 - T_{GPS}) \end{aligned}$$

여기서  $T_1$ ,  $T_2$ 는 멀리 떨어진 각기 다른 두 클럭의 시각이고 매개변수인  $T_{GPS}$ 는 GPS의 시각을 말한다. 따라서 두 클럭간의 시간차는 두 지역에서 같은 시간에 각기 측정한 동일한 위성(GPS)과의 시간차데이터 값들 간의 차에 의하여 구해진다. 이 식에서  $T_{GPS}$ 는 소거되므로 동시측정법에 의한 원격지 클럭간의 시간차를 측정시 위성은 단지 매개체로 사용하기 때문에 전신을 비롯한 여러 가지 상황에 따라 GPS의 품질이 변화되더라도 거의 영향을 받지 않게 된다. 이러한 수학적 개념을 통신망 동기에 적용하면 그림 2에서 보는 바와 같이 모든 노드의 슬레이브 클럭(SCS : Slave Clock System)들이 단일계위의 형태로 동기시킬 수 있다. 따라서 위성을 매개로 한 동기시스템에서는 모든 노드의 SCS가 거의 동일한 품질로 유지될 수 있으며 동기신호의 공급을 위한 별도의 전용회선이 필요치 않게 되므로 비용이 절감되고 회선유지 과정에서 수반될 수 있는 통신사고의 위험요인 또한 없게 되는 등의 여러 장점이 있다. 이와 같이 위성을 매개로 한 클럭의 동기는 1992년 NIST에서 최고의 동기수준을 알아보기 위한 실험실 용도로 개발되어 발표된 적이 있으며 당시 원격지의 기준신호에 동기되는 정도는 주파수오차가  $10^{-14}$  시간오차는 수 ns에 이를 정도로 특성이 좋았다.<sup>[5]</sup> 그러나 그 당시에는 장치의 규모가 비교적 크고 복잡할 뿐 아니라 비용도 많이 들어서 상업적으로 사용되지 못했다.

## 2.2 시스템의 구성

지금까지 일반적으로 이동통신용 기지국이나 SSU(Synchronization Supply Unit)의 보조용 클럭으로 사용되는 GPS Disciplined Clock은 GPS신호에 종속적으로 동기된 클럭이다. 이 경우

GPS상의 여러 가지 이유로 인해 GPS품질이 변동될 경우 수신되는 클럭의 품질 또한 변동될 여지를 구조적으로 가지고 있다. 그러나 본 논문에서 제시한 위성시각의 동시수신에 의한 측정방법은 GPS를 단지 원격지간의 측정을 위한 매개체로 사용하기 때문에 GPS 품질과는 전혀 무관하게 특정한 Master와 비교 측정할 수 있고 이를 바탕으로 동기 시킬 수 있으므로 진정한 Master-Slave Clock 이다. 이 과정에서 사용되는 GPS수신기는 일반인들에게 잘 알려져 있지 않은 시각비용용 GPS수신기가 사용된다. 이 수신기는 기준클럭(Master Clock)이 있는 기준국과 원격지의 클럭들이 위치한 원격국에서 고도가 높은 특정 GPS위성의 신호를 같은 시간에 선택 수신하도록 미리 동일한 위성 스케줄이 입력되고 그 스케줄에 따라 정해진 시간에 선택된 특정 위성의 신호를 수신하여 그 위성시각과 각각의 원격지 클럭의 시각과의 시각차를 측정하는 중요한 역할을 담당하고 있다. 그림 3는 GPS위성을 매개로 원격지의 클럭을 기준용 마스터클럭에 동기시키는 시스템의 구성도이다. 마스터와 슬레이브 국소에서는 그림에서 보는 바와 같이 동일한 GPS수신기가 사용되는데 정해진 위성 스케줄에 따라 같은 시간에 선택된 동일한 특정 GPS위성의 신호를 수신하여 각각의 클럭과 GPS위성과의 시각차를 측정하고 있다. 원격지의 슬레이브 측 컴퓨터는 인터넷을 통해 기준국의 데이터를 가져다 슬레이브측의 데이터와 서로 빼주게 되면 GPS위성신호를 매개로 원격지의 클럭이 기준클럭에 대해 틀린 정도를 알 수 있게 된다. 원격지 슬레이브클럭 동기시스템은 이렇게 구해진 기준 클럭과의 차이를 없애도록 컴퓨터와 연계된 전자적인 서어보회로를 통해 자동적으로 기준국의 클럭에 동기 시킨다. 이 경우 GPS신호는 클럭간의 상대적인 비교측정을 위해 단지 매개체로 사용되기 때문에 GPS품질의 변화에 직접적인 영향을 받지 않는다. 다시 말해서 원격지의 클럭이 GPS에 동기되는 것이 아니고 기준국의 클럭에 동기 되는 진정한 마스터-슬레이브 클럭이 된다. 이러한 방식으로 원격지 클럭이 멀리 떨어진 기준클럭에 실시간 자동보상 되도록 컴퓨터 제어에 의한 웹기반 원격지 클럭 동기시스템을 구성 하여 현재 시험 운영 중에 있다.

## 2.3 측정평가 및 분석

새로운 개념에 근거한 망동기용 클럭공급장치로의 사용가능한 웹기반 원격지 클럭 동기시스템을 실험실 수준으로 개발하여 기준클럭인 마스터측과 비교측정을 하였다. 그 결과 그림 4에서 보는 바와 같이 하루당 최대 30나노초 이하의 시간오차 변동폭을 유지하고 있으며 기준클럭에 대해 10분의1 피코( $10^{-13}$ ) 수준의 주파수오차를 지니고 있다.<sup>[6]</sup> 이러한 결과는 미국의 NIST에서 얻은 결과보다 10배 정도 나쁘지만 현재 시판 되고 있는 범용의 세습원자발전기와 대등한 수준이며, ITU-T의 통신망동기용 마스터클럭 권고치(G-811)<sup>[7]</sup>보다 주파수정확도가 약100배 이상 좋은 결과로써 디지털통신망의 동기를 위해 사용될 수 있는 충분한 품질이다. 또한 시험 제작된 원격지 슬레이브 클럭이 마스터클럭에 동기된 상태와 동기되지 않은 상태의 루비듐발전기에 대한 MTIE(Maximum Time Interval Error)<sup>[8]</sup>를 측

정하여 ITU-T의 권고치와 비교한 결과를 표 1에 나타냈다. 비교결과 상용의 루비듐발진기를 기준신호에 동기 시키지 않고 자유동작(free run) 될 경우 관측시간이 길어짐에 따라 MTIE 값이 상당히 커져 ITU-T의 권고 값을 크게 초과한다. 이러한 결과는 루비듐 발진기의 경년변화(drift rate)가 커서 장기 안정도가 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. 또한 마스터클럭 측에서 각 노드의 SCS의 데이터를 반대로 수집하여 마스터측과의 시간차 데이터를 동시에 그리고 지속적으로 처리하게 되면 전국적인 모니터링도 가능하게 된다.

### 3. 결 론

본 연구를 통해 새로이 개발된 신 개념의 원격지 클럭동기장치는 클럭이 멀리 떨어진 기준클럭에 동기 되기 위하여 유선에 의해 전달된 기준신호에 동기되거나 GPS신호에 직접 동기되는 종래의 경우와 달리 기준클럭과의 비교측정을 위해 GPS위성신호를 단지 상대적인 매개체로 사용하였다. 따라서 GPS의 품질변화에 직접적인 영향을 받지 않으면서 여러단계를 거치지 않고 전국의 모든 클럭이 하나의 기준클럭에 동기되어 비슷한 수준의 품질을 가지게 되는 진정한 마스터-슬레이브 클럭의 초기모델을 완성 할 수 있었다. 또한 이번에 개발된 인터넷기반의 원격지클럭 동기장치는 통신에서 요구되는 클럭품질 수준보다 100배 이상 좋은 품질일 뿐 아니라 MTIE가 ITU-T의 권고치보다 훨씬 좋은 특성을 보여 주었다. 뿐만 아니라 마스터클럭측에서 GPS를 매개로 여러 국소의 원격지클럭과 마스터클럭과의 차이를 동시에 계산함으로써 GPS 위성신호를 매개로 전국적인 슬레이브 클럭들의 품질을 평가 및 검증하기 위한 전국적인 모니터링도 가능하다. 따라서 신 개념의 웹기반 원격지 슬레이브클럭 동기장치는 향후 디지털통신망용 노드 클럭을 비롯하여 방송 또는 원격교정을 위한 마스터 클럭으로 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 New York: VNR, pp.20-39, 1978
- [2] Peter Kartaschoff, "Synchronization in Digital Communications Networks," proc. of the IEEE, vol. 79, no. 7, pp. 1019-1028, July 1991
- [3] ITU-T G-803, "Architectures of Transport Networks Based on the Synchronous Digital Hierarchy(SDH)", 1993
- [4] Wlodzimierz Lewandowski and Claudine Thomas, "GPS Time Transfer," proc. of the IEEE, vol. 79, no. 7, pp. 991-1000, July 1991
- [5] David W. Allan, "A Rubidium Freq. Standard and Receiver : A Remotely Steered Clock System with Good and long-term stability," 44th Annual Symp. Frequency Control, pp. 151-160, 1990
- [6] Young Boem 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

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

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

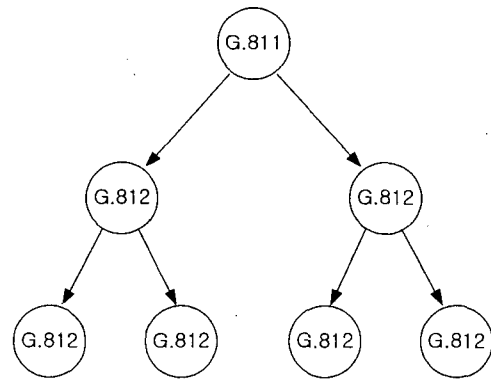


그림 1. 전통적인 망동기 체계(ITU-T G.803)

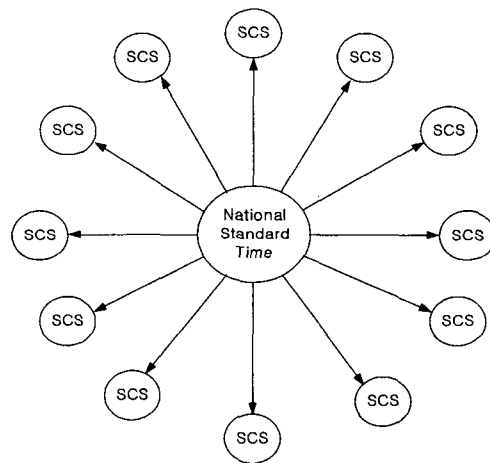
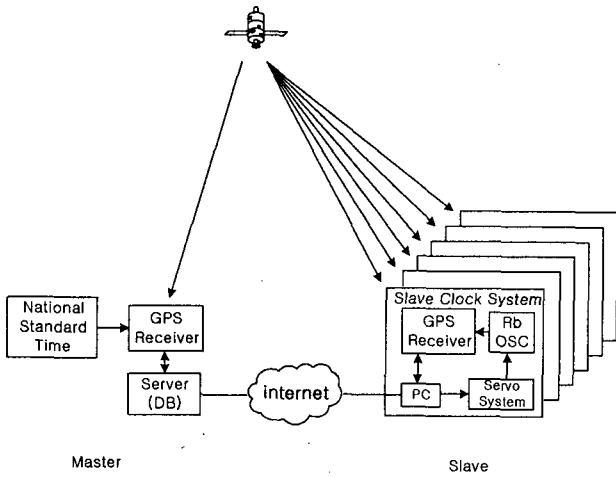


그림 2. 새로운 방식에 의한 망동기

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



$$\text{Master-Slave} = (\text{Master-GPS}) - (\text{Slave-GPS})$$

그림 3. 신 개념의 원격지 슬레이브 클럭동기시스템

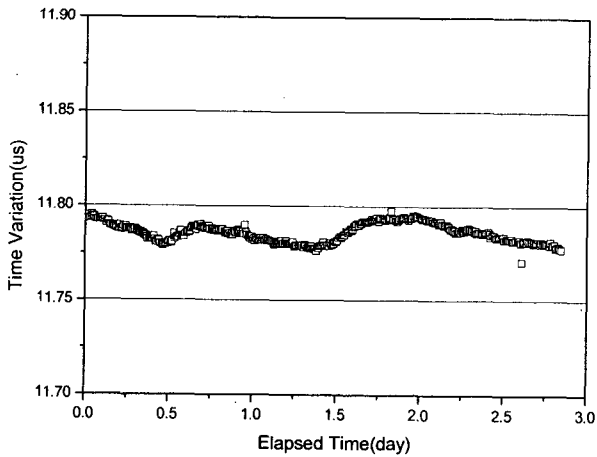


그림 4. 원격지 슬레이브 클럭동기시스템의 시간변동 특성