

Loran 신호 이용 통신망 동기를 위한 타이밍 신호 보상 방안

정회원 이 영 규*, 이 창 북*, 양 성 훈*, 이 종 구*, 공 현 동**

A Compensation Method of Timing Signals for Communications Networks Synchronization by using Loran Signals

Young-kyu Lee*, Chang-bok Lee*, Sung-hoon Yang*, Jong-gu Lee*,
Hyun-dong Kong** *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 Loran 신호를 이용하여 원거리통신망 및 전력 분배망과 같은 국가 기반 산업에 대한 망동기를 이루고자 할 때에 Loran 수신기에서 수신한 신호에 대한 위상 동기를 잃어 버렸을 때 이를 보상하기 위한 방안에 대해서 논한다. Loran 수신기에서 위상 동기를 잃었을 때에는 수신기 내에 있는 오실레이터가 자유구동을 하게 되고, 따라서 이를 기준으로 출력되는 타이밍 동기신호의 성능이 크게 떨어지게 되며, 이때에 ITU G.811 표준에서 요구하는 PRC에 대한 1 us 이하의 요구 성능을 만족시킬 수 없게 된다. 따라서 본 논문에서는 Loran 수신기가 위상 동기를 잃었을 때 이를 보상하기 위해 보상 알고리즘을 사용하여 위상 점프를 보상하는 방법에 대해 제안했으며, 이에 대해 실측한 데이터에 대한 MTIE 성능을 분석하였다. 성능 분석 결과 제안된 방법을 사용하면 1 시간 간격으로 동기를 잃었을 경우에 30 분 평균 이하의 스무딩 값을 사용할 경우 대략 0.6 us 이하의 MTIE 값을 보여서 산업체 표준에서 요구하는 1 us 이내의 PRC 성능을 충분히 만족시킬 수 있음을 확인하였다.

Key Words : Time Synchronization, Loran Signal, GPS Backup, Maximum Time Interval Error (MTIE), Phase Compensation Algorithm

ABSTRACT

In this paper, we describe a compensation method that can be used for the situation where Loran receivers lose their phase lock to the received Loran signals when Loran signals are employed for the synchronization of national infrastructures such as telecommunication networks, electric power distribution and so on. In losing the phase lock to the received signals in a Loran receiver, the inner oscillator of the receiver starts free-running and the performance of the timing synchronization signals which are locked to the oscillator's phase is very severely degraded, so the timing accuracy under 1 us for a Primary Reference Clock (PRC) required in the International Telecommunications Union (ITU) G.811 standard can not be satisfied in the situation. Therefore, in this paper, we propose a method which can compensate the phase jump by using a compensation algorithm when a Loran receiver loses its phase lock and the performance evaluation of the proposed algorithm is achieved by the Maximum Time Interval Error (MTIE) of the measured data. From the performance evaluation results, it is observed that the requirement under 1 us for a PRC can be easily achieved by using the proposed algorithm showing about 0.6 us with under 30 minutes mean interval of smoothing with 1 hour period when the loss of phase lock occurs.

* 한국표준과학연구원 기반기준부 길이/시간센터(ykleeks@kriss.re.kr), ** 국토해양부 제주해양관리단(hdkong@hanmail.net)
논문번호 : KICS2009-09-440, 접수일자 : 2009년 9월 30일, 최종논문접수일자 : 2009년 11월 10일

I. 서 론

대다수 국민의 일상생활에 막대한 영향을 미치는 국가 기반 산업 중의 하나인 원거리 통신망, 코드분할다중접속(CDMA: Code Division Multiple Access) 기지국 망과 전력분배망 등과 같은 시스템에 있어서 안정적인 시스템 동작을 위해서는 $\pm 1 \mu s$ 이하의 고정밀의 시각동기가 요구되어진다^[1]. 현재 이러한 시스템은 GPS 등과 같은 위성항법 시스템 신호에 전적으로 의존하여 요구되는 시각동기를 이루고 있다. 즉, GPS 신호의 부재시에 대한 백업 또는 대체 신호가 전무한 실정이다. 이러한 방식은 정상적인 GPS 신호가 가용한 때에는 큰 문제점이 없다. 하지만 GPS에 전적으로 의존하는 것에 대한 우려는 GPS의 취약성에 기인하며, 특히 지상에서 수신하는 GPS 신호의 강도가 매우 약하기 때문에 고의적인 또는 비고의적인 RF 간섭에 취약하다는 것에 기인한다. 이러한 단점을 극복하기 위해서 Loran 신호를 GPS 신호에 대한 백업 또는 대체 항법 신호로 사용하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다^[2]. 특히, 미국의 경우에 있어서는 GPS 신호 부재시를 대비한 단순한 백업 차원을 넘어서서 막대한 재원을 동원하여 현재의 Loran-C 시스템을 현대화하여 Enhanced Loran (eLoran)으로의 성능 개선을 시도하고 있다^[3]. 이는 GPS 및 eLoran 두 신호를 하나의 수신기를 사용하여 동시에 수신하여 GPS 신호의 품질이 저하될 때 eLoran의 신호를 백업으로 사용하고자 하는 것이다.

이러한 GPS 백업 또는 대체 신호로 원거리 통신망 또는 CDMA 기지국 망을 동기 시키기 위해 Loran 신호를 사용하는데 있어서 수신기가 정상적으로 수신된 신호에 위상 동기를 이루고 있을 때에는 큰 문제가 없다. 하지만, 수신기가 위상 동기를 잃었을 경우에는 수신기 내부에 있는 오실레이터가 자유구동을 하게 되며, 이때 이에 위상 동기가 되어 있는 망 동기에 기준이 되는 타이밍 기준 신호인 1 초펄스(PPS: Pulse per Second)의 출력이 심하게 변하게 된다. 이러한 상황은 Loran 신호가 미약한 지역에서 종종 발생하며 위상 동기를 잃는 시간은 수 분에서 수 십 분까지 이를 수 있다. 특히, 매년 시행되는 정기적인 Loran 송신기의 점검시에는 Loran 신호를 수신할 수 없는 상황까지 발생하게 된다. 이러한 상황이 발생하면 International Telecommunications Union(ITU) G.811에서 요구하는 Primary Reference Clock(PRC)의 성능을 만족시키지 못하는

경우가 발생하며 따라서 동기 망의 정상적인 운영에 큰 영향을 미치게 된다. 따라서 높은 견실성을 갖는 동기 망의 운영을 위해서는 이러한 비정상적인 상황에 대처하기 위한 방법이 요구되어지며 본 논문에서는 이를 위해 위상 점프 발생시 이를 보상하기 위한 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘에서는, 먼저 수신기의 정상적인 동작 상태를 기초로 구해진 문턱값을 설정해 놓고 이 보다 큰 값이 나타나는지를 판단하여 위상 점프가 발생했는지의 여부에 대해서 추정한다. 다음으로 위상 점프가 발생했을 때에는 Loran 신호의 일변효과를 고려한 보상 패턴을 생성하여 이를 보상한다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 먼저 2장에서는 Loran 수신기에서 위상 점프 발생시 야기될 수 있는 문제점에 대해 하나의 실험 예를 통해 살펴보고, 이러한 위상 점프 발생시 이를 보상할 수 있게 해주는 제안된 알고리즘에 대해서 기술하였다. 다음으로 3장에서는 실험에 의해 구해진 데이터를 사용하여 제안된 알고리즘에 대해 최대시간간격에러(MTIE: Maximum Time Interval Error)를 사용하여 성능을 분석한 결과를 나타내었다. 마지막으로 4장에서 결론을 나타내었다.

II. 제안된 위상 보상 알고리즘

본 장에서는 본 논문에서 제안하는 Loran 수신기가 수신된 신호에 대한 위상 동기를 잃었을 경우에 이를 보상하기 위한 방안에 대해서 기술한다. 제안된 알고리즘에 대해서 기술하기에 앞서 Loran 수신기에서 동기를 잃었을 경우에 나타나는 현상에 대해서 간략하게 설명하기로 한다.

2.1 Loran 수신기에서 위상 동기를 잃었을 때의 문제점 기술

Loran 수신기에서 동기를 잃는 경우는 수신된 신호가 미약한 지역이거나, 또는 이동 중에 신호 수신 상태가 급격히 바뀔 때 및 정해진 송신기 보수기간에 Loran 신호가 송출되지 않을 경우 등 여러 가지 경우가 있을 수 있다. Loran 수신기에서 수신된 신호에 대해 위상 동기를 잃었을 경우에 발생하는 문제점을 고찰하기 위해, 그림 1에 Loran 수신기에서 1 시간 간격으로 위상 동기를 잃었을 경우에 대해 실험을 통해 구해진 Loran 수신기의 1 초펄스(PPS: Pulse per Second) 출력을 나타내었다.

그림 1에서 볼 수 있는 것처럼 Loran 수신기에

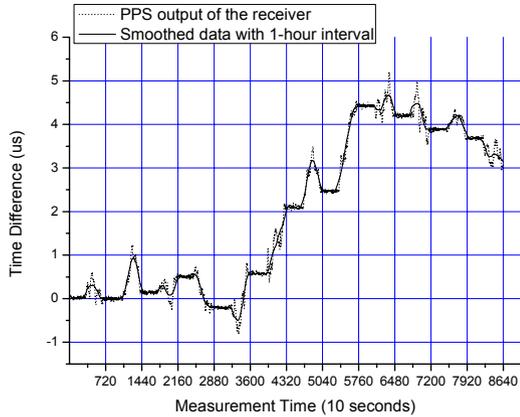


그림 1. Loran 수신기에서 위상 동기를 잃었을 경우에 대한 한 가지 예
 Fig. 1. An example when a Loran receiver loses phase synchronization

서 수신된 신호에 대한 동기를 잃었을 경우에 수신기에서 출력되는 기준 타이밍 신호인 PPS 출력이 변동폭을 예측할 수 없도록 랜덤하게 변화하는 것을 고찰할 수 있다. 즉, 위상 점프의 방향성과 크기가 불규칙해서 예측이 불가능하다. 이를 정량적으로 설명하면 동기를 잃게 되어 다시 동기를 이루게 되면 이전에 동기가 이루어졌을 경우와 비교할 때에 작게는 수백 ns 정도의 위상 점프가 발생하는 반면에 크게는 2 us 이상이 변화하며, 동기를 잃었다가 재동기가 되는 과정에서 순간적으로 2 us 이상의 위상 점프가 발생하는 것을 관찰할 수 있다. 기존의 방법에 있어서의 문제점은 이러한 큰 폭의 변동이 발생할 경우에 이를 보상해 줄 수 있는 적절한 방법이 없다는 것에 있다. 일반적으로 스무딩 방법을 사용해서 보상해주는 방법이 있지만, 그림 1에 보인 것처럼 이러한 방법은 위상 동기를 잃었을 경우에 순간적으로 크게 점프하는 데이터를 완화시켜주는 효과는 있지만 재동기가 발생하는 위상 점프에 대해서는 효과적으로 보상할 수 없다. 따라서 PPS 출력 신호를 보상하지 않고 곧 바로 사용하게 되면 원거리 통신 망, CDMA 기지국 망 및 전력분배망 등에서 요구되는 1 us 이하의 시각동기를 만족시킬 수 없음을 관찰할 수 있다. 따라서 이러한 경우를 대비하여 수신기가 위상 동기를 잃음으로 해서 발생하는 위상 점프에 대한 보상 방안이 안정적인 망 동기를 위해 필수적으로 요구되어진다.

2.2 제안된 위상 보상 알고리즘

제안된 알고리즘을 설명하기 위한 블록도를 그림

2에 나타내었다. 먼저 위상 비교기에서 생성된 위상 데이터에 대해 이상 데이터 제거기에서 이의 발생을 판별하고 이상 데이터의 발생시 이를 제거하게 된다. 이상 데이터의 제거는 중간절대편차(MAD: Median Absolute Deviation) 방식을 사용하였고 이는 다음과 같다.

$$MAD = Median[|y(i) - m| / 0.6745] \quad (1)$$

여기에서 $m = Median[y(i)]$ 이고, $Median[x]$ 는 x 값 중에서 중간 값을 의미하며 0.6745의 값은 정규분포데이터의 표준편차이다. 보통 MAD 값보다 5배 이상 작거나 큰 값을 이상 데이터로 추정한다. 다음으로 이상 데이터가 제거된 데이터를 사용하여 평균을 구하고 이를 사용하여 위상점프 값을 계산한다. 이후 위상점프 값의 계산에 있어서는 수신지역에서의 Loran 신호가 갖는 일변 특징과 위상비교 데이터를 구하기 위해 사용된 기준 클락의 초펄스 출력의 위상 변화량을 고려하여 문턱값을 설정하고 연속적으로 문턱값을 넘지 않을 경우에는 위상 동기가 되어 있는 것으로 추정하고 그렇지 않은 경우에는 위상 동기를 잃은 것으로 추정한다. 마지막으로 보상패턴 생성기에서는 계산된 위상점프 값과 기본적인 보상패턴을 사용하여 최종적인 보상패턴을 생성하고 이를 원래 데이터에서 빼줌으로써 위상 점프를 보상하게 된다.

그림 3에는 위상 점프를 계산하고 이를 보상하기 위한 순서도를 나타냈고, 이의 설명은 다음과 같다.

- 스텝 1: 기준 PPS 신호와 Loran PPS 신호의 시각차인 위상 비교 데이터 수집
- 스텝 2: 이상 데이터 여부 판정, 만일 이상 데이터로 추정될 경우 중간값으로 대체하고 그렇지 않을 경우에는 원래 데이터 사용
- 스텝 3: 정해진 평균 구간을 사용하여 평균값 계산
- 스텝 4: 정해진 위상 변화량 계산 알고리즘을 사용하여 위상 변화량 계산
- 스텝 5: 위상 점프 발생 여부 판정, 만일 위상 점프가 발생했을 때에는 보상된 값으로 대체하고

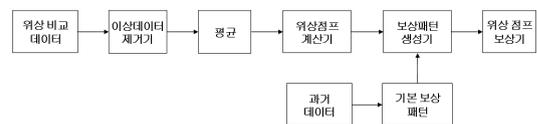


그림 2. 위상 점프 보상을 위한 블록도
 Fig. 2. Block diagram for compensating phase jumps

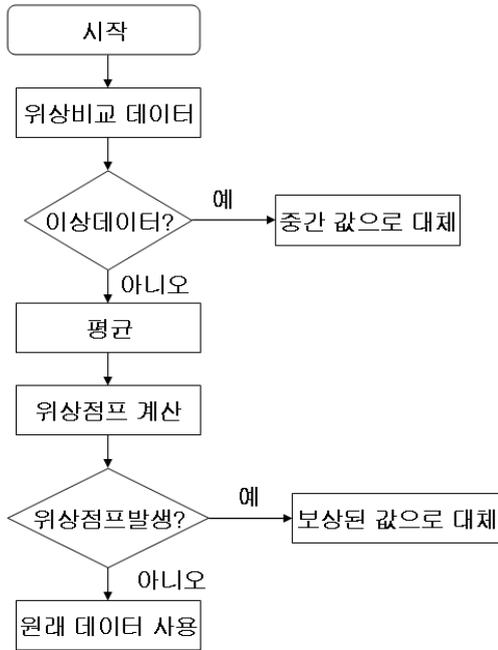


그림 3. 위상 점프 보상을 위한 순서도
Fig. 3. Flow chart for compensating phase jumps

그렇지 않을 경우에는 원래 값 사용

먼저 스텝 1에서와 같이 컴퓨터로 수집되고 있는 위상비교 데이터를 불러온다. 다음으로 스텝 2에서는 스텝 1에서 수집된 위상비교 데이터에 대한 이상 여부를 판정한다. 이상 여부를 판정은 앞에서 설명한 MAD 값을 사용하고, 만일 이상데이터라고 추정될 경우에는 이를 중간값으로 대체하며 그렇지 않을 경우에는 본래 데이터를 사용한다. 스텝 3에서는 이상데이터가 제거된 데이터를 사용하여 평균을 구하게 된다. 평균을 구하는데 있어서 중요한 사항은 평균 구간을 설정하는 것이고 평균 구간이 짧을수록 결과를 빠르게 얻을 수 있는 반면에 위상 점프 발생을 추정하기 위한 성능은 다소 떨어지게 된다. 따라서 여러 가지 평균 구간에 대한 고찰이 필요하다. 스텝 4에서는 평균된 데이터를 사용하여 위상 변화량 값을 계산하게 된다. 스텝 5에서는 계산된 위상 변화량 값을 사용하여 위상 점프가 발생하였는지에 대해 추정한다. 위상 점프의 발생 여부에 대한 추정은 연속적인 평균 값 사이의 차이 값을 구하고 이러한 값이 문턱값을 넘는지에 대해서 검사한 후 두 번 이상 문턱값을 넘지 않을 경우에는 위상점프가 없는 것으로 추정하고 그렇지 않을 경우에는 위상 점프가 발생한 것으로 추정한다. 문

턱값에 대한 계산은 다음과 같은 식을 사용하여 구한다.

$$A_{th} = \frac{(C_{day} + D_{diurnal}) * I_{mean}}{86400} \quad (2)$$

여기에서 A_{th} 는 추정된 문턱값이고 C_{day} 및 $D_{diurnal}$ 은 각각 초로 계산된 하루 동안의 클락 위상 변화량 및 수신 지역에서의 Loran 신호의 일변 효과에 의한 변화량이며 I_{mean} 는 평균을 구하기 위해 사용된 평균 구간 값이다. 식 (2)와 같이 문턱값을 설정하게 되면 계산된 위상 점프가 실제적으로 위상 동기를 잃어서 발생한 것인지 아니면 클락의 자체 위상 및 일변 효과에 의한 변화량 값에 의한 것인지를 구별할 수 있게 된다. 위상 점프의 발생여부가 결정되면 기본 보상 패턴 및 위상 점프 값을 사용하여 위상 점프를 보상하게 된다. 기본 보상 패턴은 과거에 수집된 데이터를 사용하여 구해진 일변 보상 패턴을 사용하며, 이에 대한 것은 [4]에서 제시한 것과 같은 방법을 사용하면 수 십 ns 이하로 정밀하게 추정할 수 있으며, 과거의 데이터가 존재하지 않을 경우나 본 논문에서 고려하는 수 백 ns 이하의 상대적으로 요구하는 정확도가 낮을 경우에는

$$S_c = A_c \cos\left(\frac{2\pi}{86400} * n + \theta\right) \quad (3)$$

와 같은 형태로 근사적인 값을 간략하게 구하여 사용할 수 있으며, 여기에서 S_c 는 추정된 기본 보상 패턴이고, A_c 및 θ 는 각각 보상 패턴 정현파의 진폭 및 위상이다. A_c 는 Loran 신호를 수신하는 지역에 대해서 서로 다른 값을 갖지만 보통 수 십에서 수 백 ns 사이의 값을 사용할 수 있으며, θ 의 값은 보상패턴의 시작점을 결정하는 것으로 수집된 데이터가 하루 중 어느 시각으로부터 시작되는지를 사용하여 $\theta = \frac{t_{start} * 2\pi}{86400}$ [rad]로 놓을 수 있으며 여기에서 t_{start} 는 보상 시작 시각에 대한 하루 중 초로 산정한 값이다.

III. 실험 및 결과

이 장에서는 실제 실험에 의해 측정된 Loran 신

호에 대한 제안된 알고리즘을 사용하여 보상해주었을 때의 성능 분석 결과에 대해서 나타냈다. 보상 알고리즘에 대한 이론적인 성능 분석에는 통신 산업에서 망 동기 성능을 분석하기 위해 일반적으로 사용되는 MTIE를 사용하였으며, 이는 다음과 같이 나타낼 수 있다⁵⁾.

$$MTIE(\tau) = \max_{1 \leq k \leq N-n} \left[\max_{k \leq i \leq k+n} (x_i) - \min_{k \leq i \leq k+n} (x_i) \right] \quad (4)$$

여기에서 τ 는 샘플간격, $n = 1, 2, \dots, N-1$ 이고 N 은 위상 데이터의 개수이며 x_i 는 측정된 위상 데이터이다.

그림 4에는 모의실험을 위해 Loran 타이밍 수신기를 사용하여 데이터를 수집하는 과정에 대한 블록도를 나타내었다. 위상비교를 위한 기준 타이밍 신호로는 한국표준시를 사용했으며, 위상 간격 계수기를 사용하여 Loran 타이밍 수신기의 PPS 출력과 한국표준시의 PPS 출력과의 차이값으로 위상 비교 값을 구하고 이를 컴퓨터를 이용하여 수집했다. 컴퓨터에서는 수신기에서 자체적으로 제공해주는 TOA_{rx} 데이터를 같이 수집하였으며, 프로그램을 작성하여 수신기에서 1 시간 간격으로 위상 동기 및 위상 오프 명령어를 반복적으로 수행했다.

그림 5에는 하루 동안 수집된 위상 비교 값 및 TOA_{rx} 값에 대해서 나타내었다. 그림 5에서 볼 수 있는 것처럼 Loran 수신기에서 수신된 신호에 대한 위상 동기를 잃었을 경우에는 위상 점프가 발생하게 되고, 이러한 위상 점프의 크기는 대략 수백 ns에서 수 us까지 이르며 방향성도 일정하지 않아 마이너스 및 플러스 점프가 랜덤하게 발생하게 된다.

그림 5에서 보이는 TOA_{rx} 의 값은 실험에 사용

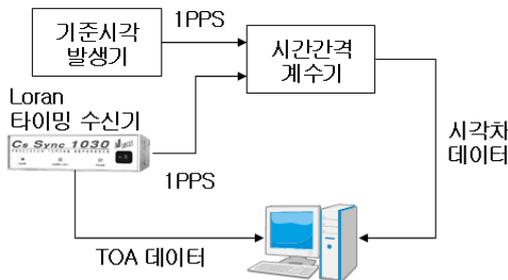


그림 4. 데이터 수집을 위한 블록도
Fig. 4. Block diagram of data collection

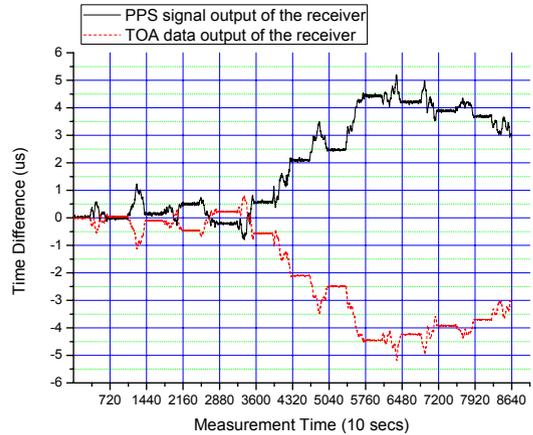


그림 5. Loran 수신기 PPS 및 TOA 출력 데이터
Fig. 5. PPS and TOA output data of a Loran receiver

된 Loran 수신기에서 직렬 포트를 통해 제공되는 자체 클럭에 대한 PPS_{rx} 출력의 위상차이 값이다. 그림에서 살펴볼 수 있는 것과 같이 수신기가 위상 동기를 잃었을 경우 PPS_{rx} 출력에 대한 보상값으로 TOA_{rx} 를 사용할 수 있으며, 따라서 제안된 알고리즘과의 성능 비교를 위해서 수신기의 PPS_{rx} 출력 비교값과 TOA_{rx} 값을 더한 PPT 값을 사용했으며 이는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$PPT = TD_{pps} + TOA = T_{UTC} - (PPS_{rx} - TOA_{rx}) = T_{UTC} - T_{Loran} \quad (5)$$

여기에서 T_{UTC} 는 기준 시각인 한국표준시이고 T_{Loran} 은 Loran 수신기에서 제공하는 시각이며, 위의 식에서 볼 수 있는 것처럼 PPS_{rx} 와 TOA_{rx} 는 서로 보상적인 관계를 가지고 있다.

기본적인 보상 패턴은 식 (3)을 이용하여 구했으며, 최대 진폭값은 50 ns(일변효과에 대한 과거의 데이터를 근거로 구해진 값)로 위상 값은 0으로 두었다. 그림 6, 7 및 8에는 각각 5, 10 및 30 분 평균 구간에 따른 보상 패턴 및 보상된 신호를 나타내었다.

그림 9와 10에는 각각 수신기에서 제공하는 TOA_{rx} 데이터를 사용하여 보상해 주었을 때 및 위상 동기가 지속적으로 이루어졌을 경우에 대한 신호 및 이에 대한 평균 간격 5, 10 및 30 분에 대해 스무딩한 결과를 나타내었다.

표 1에는 제안된 알고리즘의 성능을 정량적으로

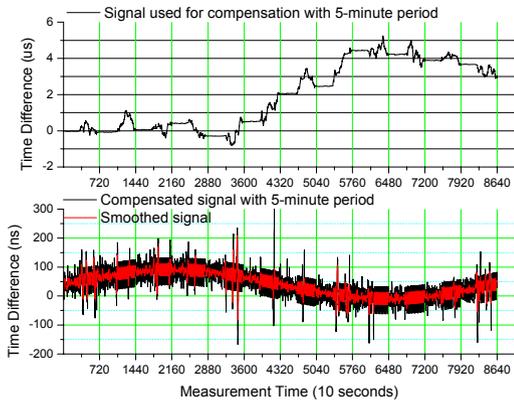


그림 6. 5 분 평균 주기에 대한 보상 패턴 및 보상된 신호.
Fig. 6. Compensation pattern and compensated signals with 5-minutes average period

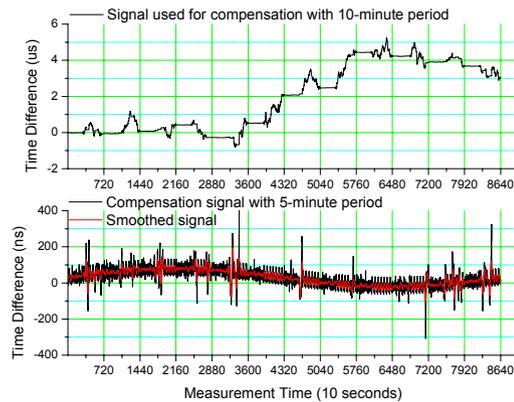


그림 7. 10 분 평균 주기에 대한 보상 패턴 및 보상된 신호.
Fig. 7. Compensation pattern and compensated signals with 10-minutes average period

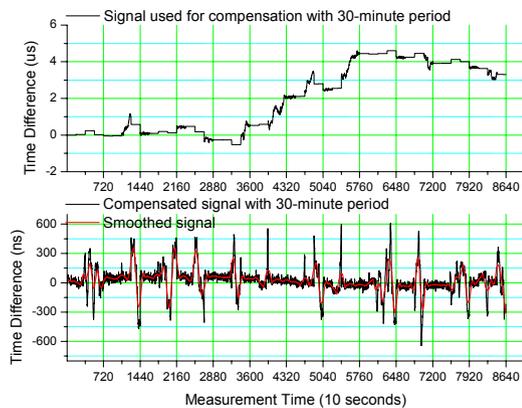


그림 8. 30 분 평균 주기에 대한 보상 패턴 및 보상된 신호.
Fig. 8. Compensation pattern and compensated signals with 30-minutes average period

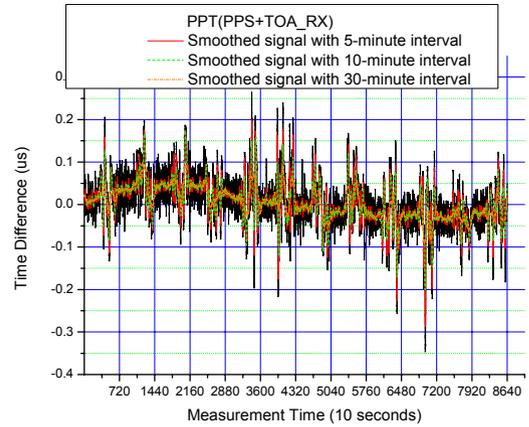


그림 9. Loran 수신기 TOA 출력 값을 사용한 PPT 값에 대한 스무딩된 신호.
Fig. 9. Smoothed signal of PPT values using TOA output of a Loran receiver

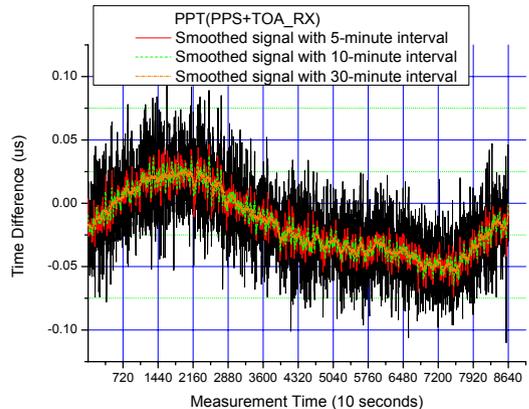


그림 10. 위상 동기화가 유지되었을 때의 Loran 수신기 PPT 값에 대한 스무딩된 신호.
Fig. 10. Smoothed signal of PPT values of a Loran receiver when it maintains phase lock

비교하기 위해서 위상 점프가 없을 경우와 수신기의 TOA_{rx} 값을 사용하여 보상해 준 경우에 대해 제안된 알고리즘을 사용하여 보상해 주었을 경우와의 평균 간격에 따른 MTIE 값을 나타내었다. 표 1에서 볼 수 있는 것과 같이 다음과 같은 사항을 고찰할 수 있다. 첫째, 스무딩 간격 및 샘플 간격에 상관없이 위상점프가 없을 경우에 MTIE 값에 의한 성능이 가장 우수함(작음)을 볼 수 있다. 이는 당연한 결과로 어떤 방법을 사용하여 보상을 하더라도 완벽하게 보상을 할 수는 없기 때문이다.

둘째, 위상 점프가 없는 경우와 TOA_{rx} 값을 사용하여 보상한 경우에 있어서 평균 간격이 커짐에

표 1. MTIE를 통한 제안된 알고리즘 성능 비교
Table 1. Performance comparison of the proposed algorithm via MTIE

평균 간격 (분)	샘플 간격 (10 초)	위상점프 없음	제안된 알고리즘 사용 보상	TOA 사용 보상
		MTIE (ns)	MTIE (ns)	MTIE (ns)
5	1	6.5	27.9	29.5
	64	58.5	280.0	352.7
	2048	93.0	280.0	427.3
10	1	3.2	14.5	12.7
	64	40.1	269.0	260.7
	2048	75.6	272.1	323.5
30	1	1.0	13.8	3.5
	64	15.2	517.6	112.5
	2048	57.0	612.9	143.6

있어서 MTIE 값이 작아지는 반면에 제안된 알고리즘을 사용하여 보정한 경우에 있어서는 평균 간격이 30 분일 경우에 오히려 10 분일 경우보다도 더 커짐을 볼 수 있다. 이는 제안된 알고리즘을 사용할 경우 평균 간격이 커짐에 따라 위상 점프 여부를 추정하는데 있어서 오류가 발생할 확률이 높아지게 되고 잘 못된 추정에 의해 적절한 보상이 이루어지지 않았음을 의미한다. 셋째, 평균 간격이 10 분 이내일 경우 제안된 알고리즘이 TOA_{rx} 값을 사용했을 경우보다 더 좋은 성능을 나타낸다는 것이다. 이는 TOA_{rx} 값에 의한 보상보다는 과거의 데이터를 사용하여 일변 효과를 추정하여 보상해 줄 때 추정

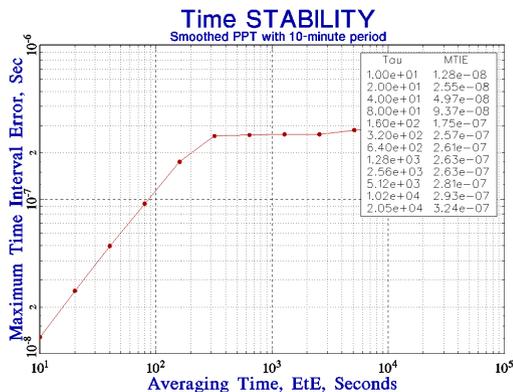


그림 11. Loran 수신기 TOA 출력 값을 사용한 PPT 값에 대한 MTIE
Fig. 11. MTIE of PPT values using TOA output of a Loran receiver

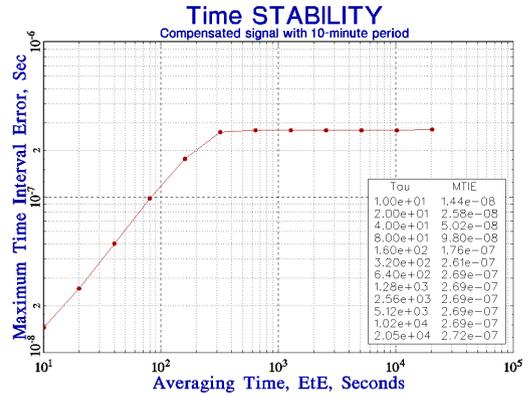


그림 12. 제안된 알고리즘 사용 위상 점프 보상된 값에 대한 MTIE
Fig. 12. MTIE of phase-jump compensated values using the proposed algorithm

이 잘 되면 더 좋은 성능을 얻을 수 있음을 의미한다. 표 1의 결과를 토대로 요약해 보면, Loran 수신기에서 위상 동기를 잃어 위상 점프가 발생하였을 때 제안된 알고리즘을 사용하여 보상해 주면 이를 효과적으로 보상해 줄 수 있으며 평균 간격을 짧게 하면 Loran 수신기에서 제공하는 TOA_{rx} 데이터를 사용하여 보상해 줄 때보다 더 좋은 성능을 보일 수 있음을 고찰하였다. 또한, 어느 보상 방법을 사용하던지 두 가지 경우 모두 통신 시스템에서 요구하는 1 us 이내의 MTIE 값을 가짐을 확인할 수 있었다.

IV. 결론

본 논문에서는 Loran 수신기를 사용하여 원거리 통신 망, CDMA 기지국 망 및 전력 분배망과 같은 높은 정확도의 망 동기를 요구하는 시스템에 있어서, 안정적으로 망 동기를 유지하기 위해 Loran 수신기가 수신된 신호에 대해 위상 동기를 잃었을 경우 이를 보상해 주기 위한 방법에 대해서 기술하였다. 일반적으로 Loran 수신기가 수신된 신호에 대한 동기를 잃었을 경우, ITU G.811 표준에서 PRC에 대한 요구사항인 1 us 이하의 동기를 자체적으로 보상해 주는 것이 불가능하다. 따라서 이를 보상해 줄 수 있는 방안이 요구되어지며, 본 논문에서는 이를 효과적으로 보상해 주기 위한 알고리즘을 제안하였다. 본 논문에서 제안된 알고리즘에 있어 보상을 위해 먼저 위상 점프의 발생 여부를 평균 데이터를 사용하여 구하고 이에 대해 스무딩을 한 후 본 논문에서 제안하는 보상패턴을 사용하여 위상 점프를

보상하였다.

알고리즘에 대한 성능 분석은 실측된 데이터에 대한 MTIE 특성을 위상 점프가 발생하지 않았을 때 및 수신기에서 제공해주는 TOA 데이터를 사용해 보상해주었을 때와 비교함으로써 이루어졌다. 실험을 위한 데이터의 측정은 하루 동안에 1 시간 간격으로 Loran 수신기에 위상 동기 및 위상 동기 오프 명령어를 반복적으로 수행하여 이루어졌다. 성능 분석결과 위상 점프를 보상하지 않았을 경우에는 수 us 이상의 위상 점프가 발생해서 ITU 표준에서 PRC에 대해 요구하는 1 us 이하의 성능을 만족시킬 수 없을 때에 본 논문에서 제안한 알고리즘을 사용하면 수백 ns 이하의 MTIE 값을 보여 요구 성능을 만족할 수 있음을 관찰할 수 있었다. 또한, 보상을 위한 평균 간격이 10 분 이내일 경우에는 제안된 알고리즘을 사용하는 것이 수신기에서 자체적으로 제공하는 TOA 값을 사용하는 것보다 더 좋은 성능을 나타내는 것을 관찰할 수 있었다. 이는 위상 점프가 발생했을 때 빠르게 보상을 해주게 되면 더욱 더 정확하게 위상 점프를 보상해 줄 수 있음을 의미한다.

현재 유럽 및 미국에서는 GNSS 위성 신호에 대한 백업 또는 대체 항법 신호, 통신 및 국가 기반 산업을 위한 주파수/시간 기준 신호로 활용하기 위해 현재의 Loran-C 시스템을 개선하여 eLoran 시스템으로 교체하기 위한 연구가 활발히 이루어지고 있고, 따라서 멀지 않은 미래에 이러한 시스템의 활용이 가능해 질 것으로 여겨진다. eLoran 시스템으로 개선된다 하더라도 근본적으로는 100 kHz의 지상파 신호를 사용하는 것이므로 Loran 신호에 대한 본 논문에서 제안된 알고리즘은 eLoran 시스템에 대해서도 동일하게 적용될 수 있다. 따라서 eLoran 시스템이 활성화 되어 원거리통신 망 및 CDMA 기지국 망 등과 같은 국가 기반 산업에 eLoran 신호를 활용하여 망 동기를 할 경우에 있어서 매우 유용하게 활용될 수 있을 것이라 기대된다.

참 고 문 헌

[1] International Telecommunications Union, "Timing characteristics of primary reference clocks," *ITU Recommendation G.811*, Set. 1997.

[2] Loran Tech. Eval. Final Report, Loran's

Capability to Mitigate the Impact of a GPS Outage on GPS Position, Navigation, and Time Applications, Mar. 2004.

[3] B. Peterson, K. Dykstra, P. Swasxzek, K. Carroll, "Differential Loran," *International Loran Association 32nd Annual Convention and Technical Symposium*, Nov. 2003.

[4] 이영규, 이창복, 양성훈, 이종구, 공현동, "GPS 백업 및 대체 항법을 위한 지상파 신호의 일변효과 보상 방안," *한국통신학회논문지*, 33(12), Dec. 2008.

[5] S. Bregni, "Measurement of Maximum Time Interval Error for Telecommunications Clock Stability Characterization," *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 7(5), pp. 900-906, Oct. 1996.

이 영 규 (Young-kyu Lee)

정회원



1995년 2월 전북대학교 전자공학과졸업
 1997년 2월 광주과학기술원 정보통신공학과석사
 2002년 8월 광주과학기술원 정보통신공학과박사
 2002년 11월~현재 한국표준과학연구원 기반표준부 선임연구원

<관심분야> 위성 응용 시각 비교 및 동기, 통신망 동기, 유비쿼터스 측위

이 창 복 (Chang-bok Lee)

정회원



1980년 2월 서강대학교 전자공학과 졸업
 1982년 2월 서강대학교 전자공학과 석사
 1994년 2월 서강대학교 전자공학과 박사
 1982년 3월~현재 한국표준과학연구원 기반표준부 책임연구원

<관심분야> 위성, 지상파 이용 시각 비교 및 동기

양 성 훈 (Sung-hoon Yang)

정회원



1984년 2월 광운대학교 전자공
학과졸업
1997년 8월 충남대학교 전자공
학과 석사
1984년 1월~현재 한국표준과
학연구원 기반표준부 책임기
술원

<관심분야> 위성 응용 시각 비교 및 동기

이 종 구 (Jong-koo Lee)

정회원



1989년 2월 청주대학교 응용통
계학과졸업
1989년 3월~현재 한국표준과
학연구원 기반표준부 기술원
<관심분야> 시각 시스템 교정
및 통계 추정

공 현 등 (Hyun-dong Kong)

정회원



1983년 2월 인하대학교 해양학
과 졸업
1985년 2월 인하대학교 해양학
과 석사
2007년 2월 한국해양대학교 운
항시스템공학과 박사
1999년 6월~2002년 4월 해양
수산부 울산지방해양수산청
해양교통시설과장

2002년 4월~2004년 4월 해양수산부 국립등대 박물
관장

2004년 4월~2007년 2월 해양수산부 위성항법 담당

2007년 2월~2008년 7월 국토해양부 위성항법 중앙
사무소장

2008년 7월~현재 국토해양부 제주해양관리단 해양
교통시설팀장

<관심분야> 위성항법시스템(GNSS) 측위정확도 분
석 및 활용