

# 디지털값 양자화 오차보정

## Correction of the quantization error with digital value

정 랑 교<sup>1)</sup>      정 상 기<sup>2)</sup>      조 흥 식<sup>3)</sup>  
Jeong, Rak-Gyo      Chung, Sang-Gi      Cho, Hong-Shik

### ABSTRACT

Accurate and reliable tracking system is essential for the central train control system. There are two systems widely being used, one is the fixed block system which utilizes the track circuit for the detection of train position, the other is the moving block system which has the advantage over the former since it enables shorter radio signal for the train position detection. In this paper a new algorithm is proposed which uses signal's phase difference of arrival to detect the train position. Experimental verification of the algorithm is presented in the paper.

### 1. 서론

근래에 들어서 고속, 정시성, 대량수송의 유효성으로 철도시스템이 새롭게 주목받고 있다. 철도시스템의 주요 구성 시스템중의 하나인 신호시스템은 철도기술이 발전할수록 그 중요성이 더욱 부각되고 있으며, 무선 기술의 발달에 따라 철도의 많은 분야에 적용되고 있다. 승차권 발급 및 개관시스템, 여객 안내, 차량 정보 제공, 설비/기기감시를 위한 운행관리 등의 여러 기능구현에 접목되어 편리성 제고 측면에서 적용되는 분야가 증가하는 추세에 있으나 열차안전보안에 관계되는 신호시스템 하부 장치의 무선 기술적용은 페일-세이프(Fail-safe)의 확보가 어렵기 때문에 일부분에 한정되어 있다 [1-4].

열차를 제어하기 위해서는 열차 위치 파악이 필수적이며 열차 감지를 위하여 현재까지는 공간간격적인 기존의 레도회로를 근간으로 한 고정패색방식을 사용하여 왔으나 보다 나은 안전성 확보 및 비용절감을 추구하는 새로운 방법들이 제시되고 있다. 기존의 고정패색방식의 문제점을 개선하여 새로운 열차 위치감지를 위하여 연구되고 있는 이동패색방식은 무선을 통한 실시간 정보 전송에 의하여 레도회로와 관련된 선로변 장치의 감소로 유지보수비용 절감 및 시적 단축이라는 이점을 갖고 있으며, 이의 시스템구현을 위하여 활발한 연구가 진행 중이다[5]. 현재 위치기반서비스(LBS : Location Based Service)의 많은 수요로 인하여 이동체의 위치를 파악하는 많은 위치감지기술(LDT : Location Detection Technology)의 알고리즘들이 개발되었으며 [6-8], 이 감지기술을 토대로 열차의 위치추정을 위해 TOA(Time of Arrival)을 응용한 방법 및 철도노선에 누설

- 1) 한국철도기술연구원 도시철도기술개발사업단 정량전철연구팀 선임연구원, 회원
- 2) 한국철도기술연구원 도시철도기술개발사업단 정량전철연구팀 책임연구원, 회원
- 3) 한국철도기술연구원 도시철도기술개발사업단 정량전철연구팀 책임연구원, 회원

동축케이블을 포설하여 일정한 간격을 카운트하여 거리를 산출해 열차의 위치를 파악하는 방법 등이 활발히 연구되고 있다 [9-11].

본 논문에서는 철도환경에 적합하고 경제성이 고려된 새로운 열차위치검지방법을 제안한다. 본 논문에서 제안하는 열차위치검지방법은 지상국에서 발생한 신호가 운행 중인 차량으로 전달될 때 발생하는 위상성분을 분석하여 도착 시간의 위상차(PDOA : Phase Difference Of Arrival)를 이용해서 일정한 선로를 이동하는 열차의 위치를 추정한다. 또한 양자화 오차 보정 알고리즘의 개발 및 적용을 통하여 위치 추적의 타당성을 검증하였고 정현파 및 삼각파 신호를 이용하여 이동체에 대한 다양한 위치검지 실험이 수행되었으며, 그 정확성이 입증하였다.

## 2. 두 점 사이의 위상지연관계

무선으로 열차의 위치를 추적하는 알고리즘으로서 위상지연시간을 이용해서 이동무선국의 위치를 추적하기 위한 실험과정으로 그 가능성을 검증하게 된다. 위상을 비교하기 위해서는 그 기준신호가 필요하며 위상정보를 갖고 있는 신호가 필요하고 이동하는 무선국의 위치에 따라 위상지연시간이 다르게 계산된다는 것을 확인할 수 있을 것이다. 따라서 두 개의 신호와 관련된 간단한 수식을 먼저 살펴보고 실험 결과를 검토한다.

$$\Psi_{ref}(x,t) = A \sin\left[\frac{2\pi f_1}{c}(x-ct)\right] \dots\dots\dots(1)$$

$$\Psi_w(x,t) = A \sin\left[\frac{2\pi f_1}{c}(x-ct) + 2(2\pi f_1 t_1)\right] \dots\dots\dots(2)$$

식(1)은 기준신호이고 식(2)는 위상정보신호이다.  $2\pi f_1/c$  은 양의 상수로 자유공간에서 전파 상수이고,  $c$  는 전파 속력을 나타낸다. 이동무선국의 위치에 따라, 식(2)에서  $t_1$  의 지연시간에 의해서 위상지연이 발생한다.

## 3. 시험방법

실험을 하기 위해서 그림1과 같이, A의 위치에 지상무선국(Wayside Radio Station)이 설치하고, B의 위치에 이동무선국(Vehicle Radio Station)을 설치한다. 지상 무선국은 고정되도록 하고 이동무선국은 위치를 변할수 있게 하였다. 그림 1에서 함수발생기는 375kHz sin신호나 삼각파신호(Triangular wave signal)를 발생시키고 발생된 신호는 2.4GHz 대역의 송신기(Tx1)를 이용해서 지상무선국에서 이동무선국(Rx1)으로 전송하고 지상무선국에서 이동무선국으로 전송한 신호는 위상정보를 갖고 있는 위상정보신호이다. 이동무선국에 도착한 신호는 커패시터를 통과시켜 이동무선국에 있는 송신기(Tx2)를 통해서 지상무선국의 수신기(Rx2)로 다시 전송한다. 지상무선국에서는 Tx1의 입력신호와 커패시터를 통과시킨 Rx2의 출력신호를 계속하고 계속한 신호는 컴퓨터로 모니터 하였고 계속은 5MHz NI계측카드를 사용하였다. 여기서, Tx1의 입력신호는 기준신호(RS: reference signal)이고 커패시터를 통과시킨 Rx2의 출력신호는 위상정보를 갖고 있는 위상정보신호(PS: phase information signal)이다.

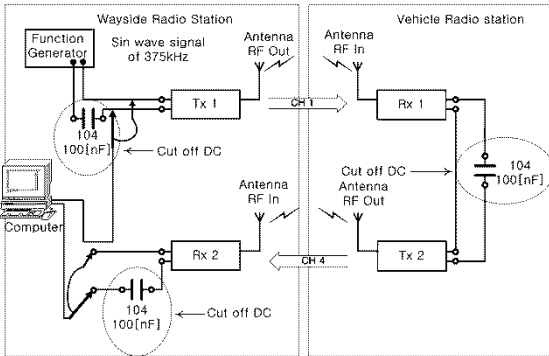


그림 1 실험구성도

먼저, sin파를 이용해서 A점과 B점의 거리가 0m, 20m, 30m, 50m, 90m, 그리고 135.6[m]에서 신호를 계속하고, 삼각파를 이용해서 같은 실험을 했다. 0m의 경우에 RS와 PS가 위상차가 있다는 것을 알 수 있다. 이것은 시스템에서 생기는 위상지연 값으로 시스템위상지연시간이라고 한다. 따라서, A점과 B점이 거리가 있을 때는 거리에 의한 위상지연시간과 시스템위상지연시간이 같이 존재한다. 전체위상지연시간에서 시스템에 의한 위상지연시간을 감해주면 거리에 의한 위상지연시간이 구해진다.

## 4. 시험결과 및 고찰

### 4.1 시험결과

정현파를 이용해서 A점과 B점의 거리가 0m, 20m, 30m, 50m, 90m, 그리고 135.6[m]에서 신호를 계속하고, 삼각파를 이용해서 같은 실험을 했다. 0m의 경우에 RS와 PS가 위상차가 있다는 것을 알 수 있다. 이것은 시스템에서 생기는 위상지연 값으로 시스템위상지연시간이라고 한다. 따라서 A점과 B점이 거리가 있을 때는 거리에 의한 위상지연시간과 시스템위상지연시간이 같이 존재한다. 전체위상지연시간에서 시스템에 의한 위상지연시간을 감해주면 거리에 의한 위상지연시간이 구해진다.

계속카드는 5MHz로 계측을 하기 때문에, 연속적인 아날로그 신호는 200[nsec] 간격으로 샘플링을 해서 양자화 하게 된다. 양자화하면서 샘플과 샘플 사이의 중요한 위상정보가 사라질 수 있다. 특히, 신호 크기의 부호가 바뀌는 점은 특히 중요하다. 그리고 sin신호의 크기가 0에 가까울수록 크기가 선형적으로 증가하거나 또는 감소하는 것으로 근사화 하였다. 두 개의 샘플에서 샘플링한 시간을 알고 신호의 크기를 알기 때문에 이 두 개의 샘플의 부호가 바뀌면, 크기의 값이 0인

시간(부호의 시간이 바뀌는 시간)은 계산된다. 그림 2 ~ 그림 7까지는 정현파를 이용한 결과이다. 그림 2는 시스템 위상지연시간으로 616.6928924[nsec]이다.

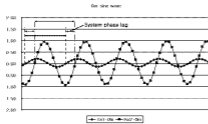


그림 2 정현파신호를 이용한 실험결과  
[측정거리 : 0m]

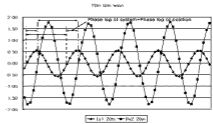


그림 3 정현파신호를 이용한 실험결과  
[측정거리 : 20m]

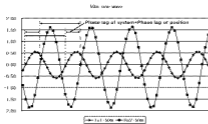


그림 4 정현파신호를 이용한 실험결과  
[측정거리 : 30m]

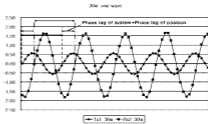


그림 5 정현파신호를 이용한 실험결과  
[측정거리 : 50m]

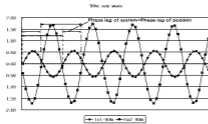


그림 6 정현파신호를 이용한 실험결과  
[측정거리 : 90m]

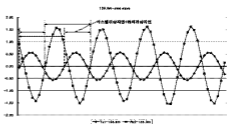


그림 7 정현파신호를 이용한 실험결과  
[측정거리 : 135.6m]

실연파와 동일 시연조건으로 삼각파를 이용하여 계속한 과형이며, 그림 8에서의 같이 RS와 PS의 시스템 위상지연 시간을 계산할 수 있다. 시스템 위상지연시간은 591.8967798[ $\mu$ sec]이며 그림 8-13은 삼각파를 이용한 결과이다. 이 실험과정에서 Tx1에서 Rx1으로 위상정보신호를 전송할 때 반송파의 채널과 Tx2에서 Rx2로 위상정보신호를 전송할 때 반송파의 채널의 가장하얀 떨어져서 실험을 하고, 지상무선국의 Tx1과 Rx2의 약간 떨어뜨리서 실험을 하고, 이동무선국의 Rx1과 Tx2의 거리도 약간 떨어뜨리서 실험을 하는 것이 좋다. 그러면, 인접 채널에 의한 누설 전력에 의한 영향을 덜 받는다.

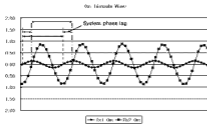


그림 8 삼각파 신호를 이용한 실험결과  
[시스템위상지연 : 0 $\mu$ s]

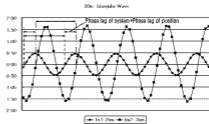


그림 9 삼각파 신호를 이용한 실험결과  
[측정거리 : 20m]

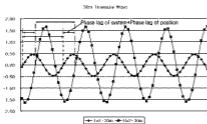


그림 10 삼각파 신호를 이용한 실험결과  
[측정거리 : 50m]

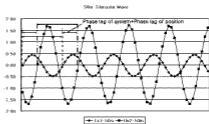


그림 11 삼각파 신호를 이용한 실험결과  
[측정거리 : 30m]

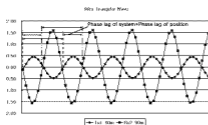


그림 12 삼각파와 신호를 이용한 설명결과  
[측정거리 : 90m]

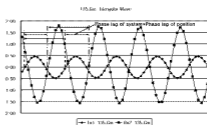


그림 13 삼각파와 신호를 이용한 설명결과  
[측정거리 : 136.6m]

#### 4.2 고찰

그림 2~7에서와 같은 정현파 신호를 이용한 결과와 그림 8~13에서와 같이 삼각파 신호를 이용하여 측정한 결과를 표 1에 나타내었다.

본 설명에서는 디지털 값 양자화 오차 보정 알고리즘을 적용하여 열차 위치 추정에 상당한 검증은 위한 실험을 수행하였다. 실제 현장에 적용을 위해서는 보정 및 정확도를 무기한 연구가 필요하다. 아울러 원도시스템 중 주 대상 열차는 경량전원시스템으로 최고속도 60[km/h] 이하의 30[km/h] 정도이다.(기존 시스템의 경우 자선에서 타코메테리어터 등으로 보정 수행된다.) 따라서 세밀한 위치 검지를 위해서는 경로 손실 및 도플러 현상과 같은 작은 페이닝을 고려하여야 하나 새로운 열차위치검지 개념의 타당성을 확인하는 측면이며 본 실험을 통하여 열차위치검지의 타당성을 확인하기 위하여 수행하였다.

표 1 정현파 및 삼각파를 이용한 측정거리

No.	실제거리[m]	삼각파 신호측정거리[m]	정현파 신호측정거리[m]
1	20	20.58022994	17.38204571
2	30	33.58022994	27.07490027
3	50	57.51234516	50.9770244
4	90	94.73707887	122.3811769
5	135.6	107.1886818	133.3894128

#### 5. 결론

기존신호와 위성정보신호는 사인신호를 이용하고 주파수는 375[kHz]를 사용해서 이동차의 위치에 따라 위상을 분석하는 실험을 통해서 위치가 검지됨을 확인하여 알고리즘의 타당성을 검증

하였다.

또한 열차의 위치를 정밀하게 감지하기 위하여 부호가 바뀌는 부분에서 선형적으로 증가하는 함수를 근사화 하는 양자화 오차보정 방법을 적용하여 사인신호의 부호가 음에서 양으로 바뀌는 정확한 시간 위치를 찾는 것이 중요하다는 것을 알았다. 신호를 샘플링하면 샘플과 그 다음 샘플 사이의 위상 정보가 없어서 생기는 오차가 크다. 따라서 중요한 정보가 샘플과 샘플 사이에 있으면 위상 정보의 오차의 큰 원인임과 위상차를 찾기 위해서 사용한 사인신호는 신호의 크기 부호가 바뀌는 시간을 근간으로 디지털 값 양자화 오차보정을 하였고 정현파 및 삼각파 신호를 사용하여 비교하였으나 사용 신호 파형에 따른 큰 차이점은 발견하지 못하였고 두 신호파형의 사용이 가능함과 가적으로 오차를 보정하는 새로운 방법 및 신뢰성을 확보하기 위한 시험연구를 지속적으로 수행하여 실용화 기반을 마련할 필요가 있다.

### 참 고 문 헌

- [1] 鐵道における無線利用技術調査専門委員會, "鐵道における無線利用技術", 電氣學會技術報告 第904号, 2003
- [2] 何久律他, "IMTS用制御コンピュータ信頼性評價", 電氣學會 交通電氣鐵道研究會, TER-01-38, July, 2001
- [3] David Norris, Stefan Axelsson, "Cost Effective Signalling for Secondary Lines", SIGNAL + DRAFT, April, 1999
- [4] Holm Hofestard Kraftschik, Peter Straubler, "SIMIS FFB from Siemens for the German Railway", SIGNAL + DRAFT, April, 1999
- [5] 정락교, 김영석 "경량전철 목표노선의 운전시력 설정에 관한 연구", 대한전기학회논문집, 제53권 1호(B권), 2004.
- [6] 양철관, 심덕선, "LBS 측위기술", 대한전기학회, 전기의 세계, 제54권 제5호, 2004.
- [7] T.S. Rappaport, J. H. Rood, and B.D. Woerner, "Position Location using Wireless Communication on Highways of the Future", IEEE Communication Magazine, Vol. 34, No. 10, pp.33~41, Oct. 1996.
- [8] Li Cong, and Weihua Zhuang, "Hybrid TDOA/AOA Mobile User Location for Wideband CDMA Cellular Systems", IEEE Transactions on Wireless Communications, Vol.1, No.3, July 2002.
- [9] Nishinaga, E. Evans, J.A. Mayhew, G.L. "Wireless advanced automatic train control" Proceedings of the Railroad Conference 1994 ASME/IEEE Joint (in Conjunction with Area 1994 Annual Technical Conference), pp.31-46, March, 1994
- [10] Gregory L. Mayhew and David S. Long, "Contribution of Vehicle Location Technology to Transit Headway Minimization"
- [11] Mayhew, G.L. Kivett, J.A. Himes, J.G. Evans, J.A, "Application, of radio navigation technology to advanced automatic train control"Position Location and Navigation Symposium, IEEE, pp217 - 224, April, 1994