

위상차(PDOA)를 이용한 열차 위치검지의 H/W 설계

정락교, 윤용기, 조홍식, 이병송, 정상기, 김영석 *
한국철도기술연구원, * 인하대학교 전자·전기공학부

A Design H/W for Position Detection of Train Using the PDOA (Phase Difference of Arriving)

R.G. Jeong, Y.K. Yoon, H.S. Cho, B.S. Lee, S.K. Chung, Y.S. Kim*
Korea Railroad Research Institute, Inha University

ABSTRACT

TOA(Time of Arrival) 및 TDOA(Time Difference of Arrival)경우 무선국의 시간동기화를 위해서 고도의 기술을 요구하고 있으며, 시간동기오차에 따른 위치검지의 정밀도가 낮아지는 문제가 있어 이를 극복하기 위하여 위상차(PDOA)를 이용한 새로운 열차검지기법의 제안에 따른 구현을 위하여 H/W의 설계에 대하여 기술하고자 한다. 본 시스템은 전파의 전달 속도(λ)를 응용하여 기준 주파수인 1.5MHz를 송신 시스템과 수신 시스템의 기준 주파수와 비교하여 그 위상의 차이를 비교하여 지연된 시간을 구한 후 이를 거리로 환산하는 시스템으로서 H/W와 S/W로 구분하여 구현·설계되는데 본 논문에서는 H/W설계에 대하여 기술하였다.

1. 서 론^[1,2]

지능형 교통시스템을 열차에 응용함으로써 효율성과 신뢰성을 높이기 위해서는 열차 사이의 간격을 효율적으로 조절하는 것이 필수적이다. 열차 사이의 간격을 효율적으로 제어하기 위해서는 각 열차의 절대위치를 정확하게 파악해야 하며 이를 위하여 많은 방법들이 제안되었고 적용되고 있다. 하지만 이들 방법들은 정확도와 비용의 측면에서 많은 문제점을 갖고 있으며 어떤 방법도 현재 철도에 적용하기에는 어려움이 있으나, 열차운영효율을 높이기 위하여 열차제어방식이 고정폐색방식에서 이동폐색방식으로 변화하고 있고, 이를 구현하기 위하여 무선통신기술을 이용한다. 이동폐색을 구현함에 있어 운행중인 열차의 절대위치를 실시간으로 추적하여 열차간 안전거리를 효율적으로 제어하는 것이 요구된다.

TOA(Time of Arrival)나 TDOA(Time Difference of Arrival) 방법은 전파통신에 기초한 방법으로 차량에 부착되어 있는 이동국과 지상에 고정

되어 있는 지상국간 통신을 하여 차량의 위치·속도 정보를 양쪽에서 계산하여 사용할 수 있으나 무선국의 시간동기화를 위해서 고도의 기술을 요구하고 있으며, 시간동기오차에 따른 위치검지의 정밀도가 낮아지는 문제가 있어 이를 극복하기 위하여 위상차를 이용한 새로운 열차검지기법의 제안하였다. 이의 구현·검증을 위하여 H/W를 설계하였다

2. 설계 개념 및 위치결정 방법

2.1 설계 개념^[3]

위상차를 이용하여 열차의 위치를 추적하는 방법은 그림 1에 나타낸 바와 같이 먼저 서로 인접한 지상국(WRS1과 WRS2)사이의 거리와 파장의 길이가 약간 길거나 동일하게 되도록 전파의 주파수를 설정하여야 한다. 일반적으로 통신에 사용하는 전파의 주파수는 적게는 수백 MHz에서 수 GHz에 이르기 때문에 짧은 파장의 신호가 두 개의 지상국 사이에는 무수히 많이 존재한다. 제안된 위상차를 이용한 위치추적 방법은 지상국과 이동국의 위상차를 이용한 방법이기 때문에 인접한 지상국 사이에 파장이 1개 이상 존재하게 되면 서로 다른 위치에서 동일한 위상이 존재하게 되므로 위치 추적이 불가능해 진다. 반대로 파장이 인접한 지상국의 거리보다 매우 길게 되면 거리의 변화에 따른 위상차의 변화가 작아지기 때문에 측정의 정밀도가 감소한다.

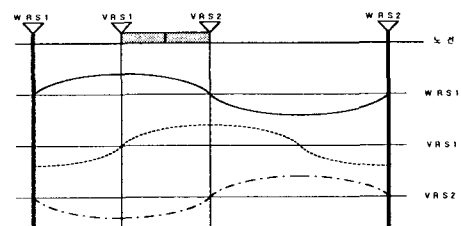


그림 1 WRS와 VRS간의 위상지연

따라서 이 방법에서는 항상 파장의 길이가 인접한 지상국의 거리와 동일하거나 약간 길게 설정하여야 한다. 인접한 지상국 사이의 거리가 결정되었을 때, 위상측정용 신호의 주파수는 다음과 같은 방법으로 결정한다. 인접한 지상국 사이의 거리가 200m라면

$$\frac{C}{f} = 200(m) = \frac{3 \times 10^8}{f} \quad (1)$$

여기서 C는 광속(3×10^8 m/s)이며 f는 위상측정용 신호의 주파수이다. 식 (1)에서 주파수를 구하면 1.5 MHz로 된다. 따라서 1.5 MHz의 위상측정용 신호를 높은 주파수 대역의 통신용 주파수와 복조하여 전송하는 방법으로 사용할 수 있다.

그림 1은 인접한 지상국의 거리가 200m이고 지상국(WRS1)의 기준신호와 열차에서 송신하는 위상측정용 신호가 1.5 MHz의 주파수로 설정하였을 때의 위상을 나타낸 것이고 지상국의 기준신호와 열차에서 송신한 신호의 위상차를 보면 VRS1의 경우에는 90도가 느리며 VRS2의 경우에는 180도가 느리게 나타나는 것을 알 수 있다. 따라서 지상국의 기준신호와 열차에서 송신하는 신호와의 위상차를 측정하면 위치를 알 수 있다. 열차의 이동 거리에 다른 위상차의 변화는 위상측정용 신호의 주파수에 따라 다르게 나타나며 여러 가지 주파수에 대한 단위 길이당 위상변화를 표 1에 나타냈다.

표 1 무선주파수에 따른 단위길이당 위상지연

Frequency(MHz)	Phase Lag / length(deg./m)
0.375	0.45
0.750	0.90
1.125	1.35
1.500	1.80

2.2 위치 결정

직선 선로에서의 열차 위치 검지는 기준점으로부터의 직선과 곡선거리를 계산하여야 한다. 위상차를 이용하여 WRS와 VRS 사이의 거리를 측정하는 것은 직선거리이다. 노선의 특성에 따라 미리 구획을 분할한 후 측정된 직선거리에 해당하는 구획을 결정하고 이를 바탕으로 그 구획에서 관계식을 이용하여 주행 거리를 결정하는 방법으로 노선의 특성에 따라 미리 구획을 분할하여 이를 토대로 열차의 위치를 추적하는 방법을 사용한다. WRS를 기준으로 직선구간과 곡선구간을 구분하여 적절하게 구획을 분할한다.

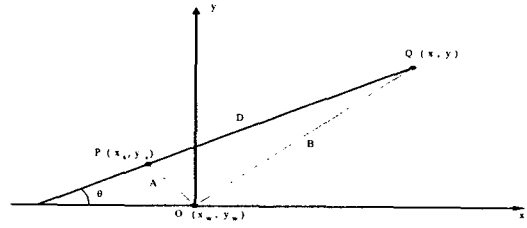


그림 2. WRS 인접한 직선구간에서 위치결정기법

WRS에 인접한 직선구간에서 열차의 위치를 결정하는 방법은 그림 2에 나타낸 바와 같이 데이터베이스로부터 획득한 WRS와 선로와의 직선거리 A와 도달위상차를 이용하여 측정된 WRS와 VRS1 사이의 직선거리 B를 구하게 되면 아래와 같은 식이 된다.

$$D = \sqrt{B^2 - A^2} \quad (2)$$

WRS에 인접하지 않은 직선구간의 경우에 열차의 위치를 결정하는 방법은 그림 3으로부터 미리 구축된 데이터베이스 WRS로부터 구획까지의 거리 A와 점 O와 P가 이루는 각도 θ_1 을 획득하고 도달위상차를 이용하여 WRS와 VRS 사이의 직선 거리 B를 구한다. 여기서 노선의 데이터베이스로부터 P와 Q가 이루는 각도 θ 를 구하면 OPQ가 이루는 각도를 구할 수 있다.

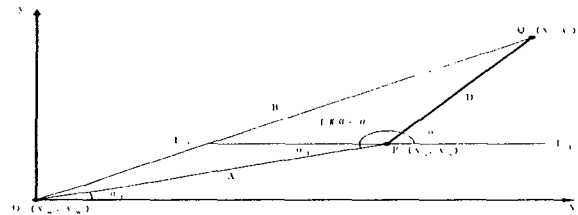


그림 3 직선구간에서 위치결정기법

OPQ가 이루는 각도는

$$\angle OPQ = \phi = \theta_1 + 180 - \theta \quad (3)$$

세 점 O, P, Q가 이루는 삼각형에서 두 변의 길이 A와 B 그리고 식 (3)에 나타낸 한 개의 각도를 알 수 있기 때문에 이것으로부터 열차가 이동한 거리 D를 다음과 같이 구할 수 있다.

$$B^2 = A^2 + D^2 - 2AD \cos(\phi) \quad (4)$$

식 (4)를 D에 대해서 풀면 다음과 같다.

$$D = A \cos(\phi) \pm \sqrt{B^2 - A^2 \sin^2(\phi)} \quad (5)$$

그러므로 열차의 위치는 데이터베이스로부터 획득한 구획까지의 거리에 D를 더한 값이 된다.

곡선구간에 위치한 경우에 실제 거리를 추정하는 방법은 그림 4와 같다. 위상차를 이용하여 측정된 직선거리

를 이용하여 VRS2가 위치하여 있는 구획을 찾은 다음에 그 구획에서 위상차와 주행거리와의 관계를 이용하여 실제 주행거리를 추정한다. 데이터 베이스로부터 WRS와 곡선구간에 대한 곡률 반경의 중심 그리고 구획 S6의 시작점의 정보를 이용하여 WRS로부터 구획 S6의 시작점까지의 거리 A와 곡률 반경의 중심까지의 거리 C 그리고 곡률 반경 R이 이루는 삼각형에서 다음과 같은 관계를 이용하여 θ_1 을 구한다.

$$A^2 = C^2 + R^2 - 2CR \cos \theta_1 \quad (6)$$

WRS로부터 VRS까지의 거리 B와 곡률 반경의 중심까지의 거리 C 그리고 곡률 반경 R이 이루는 삼각형에서 다음과 같은 관계를 이용하여 θ_2 를 구한다.

$$B^2 = C^2 + R^2 - 2CR \cos \theta_2 \quad (4)$$

이들 식을 θ_1 과 θ_2 에 대하여 정리하면 다음과 같다.

$$\theta_1 = \cos^{-1} \frac{A^2 - C^2 - R^2}{2CR} \quad (5a)$$

$$\theta_2 = \cos^{-1} \frac{B^2 - C^2 - R^2}{2CR} \quad (5b)$$

따라서 구획 S6의 시점과 VRS가 이루는 각도 θ 는 다음과 같다.

$$\theta = \theta_2 - \theta_1 \quad (6)$$

$$= \cos^{-1} \frac{B^2 - C^2 - R^2}{2CR} - \cos^{-1} \frac{A^2 - C^2 - R^2}{2CR}$$

이 각도를 이용하여 실제 열차가 이동한 곡선거리 d를 아래의 식을 이용하여 구할 수 있다.

$$d = \frac{\theta}{360} 2\pi R \quad (7)$$

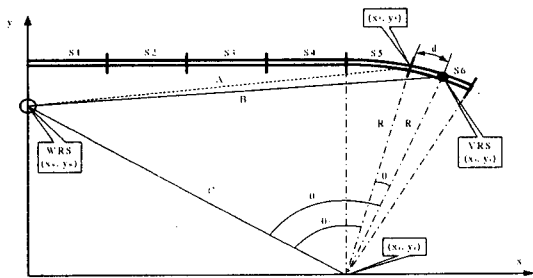


그림 4 곡선구간에서 위치결정기법

따라서 최종적인 열차의 위치는 구획 S6 시점까지의 거리에 d를 더한 거리가 된다.

WRS에 인접한 곡선구간의 경우에는 θ_1 이 존재하지 않기 때문에 $\theta = \theta_2$ 가 성립한다. 그러므로 이러한 경우에는 θ 대신 θ_2 를 대입하여 차량이 이동한 거리를 구할 수 있다.

2.3 무선장치 H/W 설계

2.3.1 송신기

위상차를 이용하여 열차의 위치를 추적하는 실험 장치는 크게 3부분으로 분류된다. 열차에 부착되어 있는 송신부기로 통신용 고주파 신호와 위상측정용 신호를 변조하여 적절한 크기로 증폭한 후 안테나를 통하여 송신하는 부분이다.

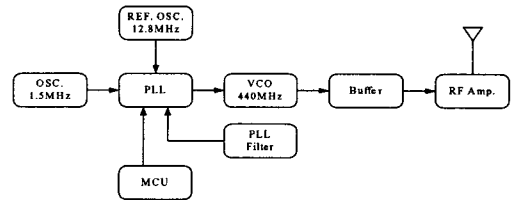


그림 5 송신기의 구성다이아그램

변조주파수인 1.5MHz의 클럭을 얻기 위해 12.0MHz의 매우 정밀한 TCXO를 사용하여 주파수 안정도를 더욱 높였으며, 이 주파수(클럭)를 8분주하여 1.5MHz의 클럭에 듀티비 50%를 얻어 이 신호를 변조하도록 변조회로를 구성하였고 또한 차이의 다양하게 활용하기 위하여 3MHz, 6MHz를 선택이 가능하도록 dip switch를 부착하여 선택가능 하도록 그림 6과 같이 구성하였다

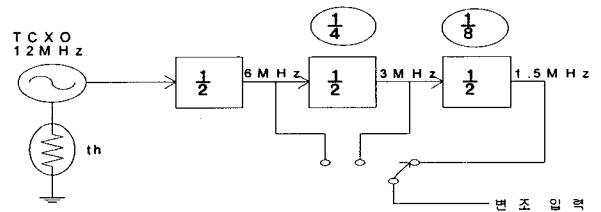


그림 6 TCXO를 사용한 주파수 변조회로

고주파 발진은 PLL(Phase Locked Loop)방식에 의해 VCO(Voltage Controlled Oscillator)에서 발진을 하며, 분해도가 좋은 테라바이트 31202의 소자를 사용하였다. 또한 출력 주파수는 MPU(CPU)인 AT89C2051의 마이크로 프로세서에 의해 주파수 설정을 하도록 하였으며, 고주파 출력은 10mW ~ 100mW출력으로 설계하였다.

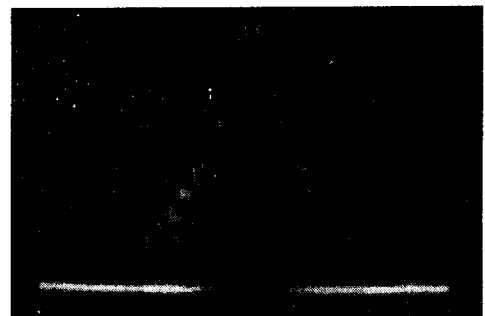


그림 7 고주파 출력 1.5MHz 변조 출력

2.3.2 수신기

지상국에 설치되어 있는 수신부로 변조된 신호에서 위상측정용 신호만을 추출하여 적당한 크기로 증폭하고 이를 기준신호와 위상을 비교하기 위하여 파형을 변환하고 위상을 검출하는 부분과 측정된 위상을 분석 컴퓨터로 전송하기 위한 RS232C 통신 모듈로 구성하였다.

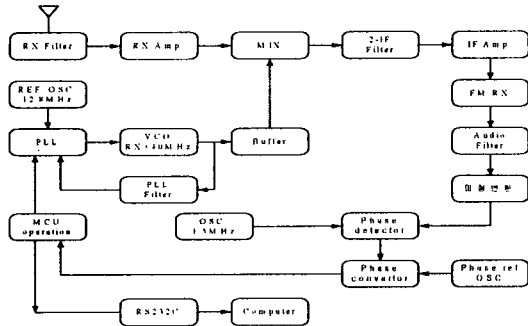


그림 8 수신기의 구성다이어그램

기준 주파수인 1.5MHz를 변조한 파형을 복조하기 위해 넓은 대역폭의 신호를 재생하여야 한다. 수신기의 설계는 주파수 발생을 위해 VCO회로 방식 적용, PLL 기준 주파수를 만들기 위해 12.8MHz 클럭을 이용하였으며, VCO출력 주파수는 수신 성능을 향상을 위해 그림 8과 같이 발진 주파수는 IF 주파수만큼 높게 하였다.

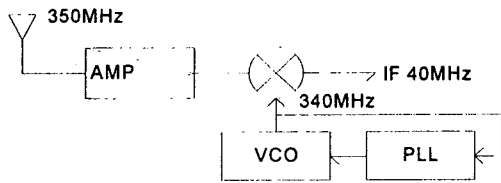


그림 9 발진주파수회로 구성

PLL구동은 MCU는 제어 및 주파수 변경을 할 수 있도록 프로그램 되어 있으며, 거리 계산을 위한 프로세싱과 가공된 데이터를 시리얼 통신으로 전송하는 역할을 하도록 하였고 수신 주파수를 필터링하기 위해 SOW 필터를 이용하여 해당 주파수 외의 신호를 제거 및 증폭을 하도록 설계하였다. 또한 복조회로에는 모토롤라사의 MC13055 칩을 이용하여 수신하도록 하였다.

2.3.3 프로세싱

프로세싱부로는 수신된 1.5MHz와 수신기의 기준 펄스인 1.5MHz를 비교하도록 설계하였고 두 펄스를 비교하여 신호의 차이를 미분하도록 하여 100MHz의 펄스를 위상 차이만큼 세분화하여 그 펄스 수를 읽도록 하였다.

기준 주파수 오차를 보정하기 위하여 마이크로 프로세서에서 수집된 데이터를 가지고 그 위상을 조정하기 위해 TCXO에 동조 신호를 보내도록 그림 10과 같이 구성하였다.

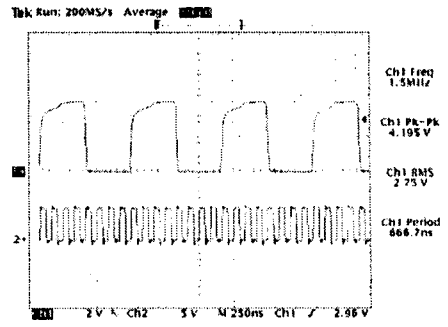


그림 10 기준주파수 1.5MHz 발생기

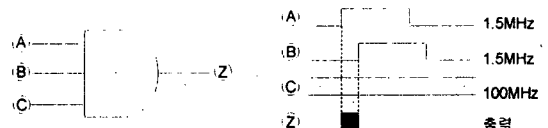


그림 11 미분 펄스 회로

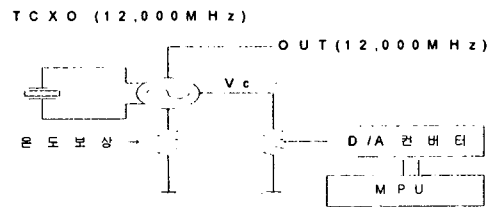


그림 12 위상차 조정회로

3. 결론

기준 주파수인 1.5MHz와 수신주파수를 비교하여 두 펄스 위상차를 구하기 위하여 시험용으로 H/W 무선통신장치를 제작하였다. 향후에는 무선장치 설계 제작에서 나타난 문제점인 수신기의 복조(검파)부분의 히스테리시스에 의한 상승시간 및 하강 시간이 균일하지 않음에 따른 오차를 줄이기 위한 방법을 시험을 통해 보완 해결하여야 한다.

이 논문은 건설교통부의 경량전철시스템기술개발 사업 연구성과의 일부임.

참고 문헌

- [1] 정락교, 김영석, "경량전철차량시스템 신뢰도 배분", 대한전기학회논문지, 제50B권 7호, pp. 357-363, 2002. 7.
- [2] 정락교, 윤용기, 김영석 외, "무선통신을 이용한 철도차량의 위치 및 속도검지시스템 설계", 전력전자학술대회 pp. 82-85, 2002. 7.
- [3] 정락교, 윤용기, 이병승, 김영석, "위상차(PDOA)를 이용한 이동체 위치 및 속도 검지", 대한전기학회학술대회 논문집, pp. 82-85, 2002. 7.