

## 무선통신을 이용한 철도차량의 위치 및 속도 검지시스템 설계

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

### System Design of Position and Velocity Detection for Transit using Radio Communication

Korea Railroad Research Institute, Inha University Electronic & Electrical Engineering

#### ABSTRACT

This paper proposes a new position detection method for train speed control using the PDOA(Phase Difference of Arrival). This method aims to apply to AGT(Automated Guide way Transit) systems, operated with driverless. So it is absolutely required to range, calculate and decide a train position precisely. This system consists of VRS (Vehicle Radio Set) and WRS(Wayside Radio Set). The VRS transmits a wireless signal to the WRS, the controller calculate a straight line with the PDOA. Next step calculate an exact position using track DB. This paper includes the concept, configuration, analysis and results of this method.

#### 1. 서론

열차운영효율을 높이기 위해서 열차제어방식은 고정폐색 방식에서 이동폐색으로 이동하고 있으며, 이를 구현하기 위한 방안으로 무선통신 기술을 이용한다. 이동폐색을 구현함에 있어 운행중인 열차의 절대위치를 실시간으로 추적하여 열차간 안전거리를 효율적으로 제어하는 것이 요구된다.

무선통신을 이용하여 이동체(철도차량)위치를 추적하기 위해서는 비교적 복잡한 도심이나 전원지역에서도 위치정밀도가 어느 정도 확보되어야 하며 시간이나 공간적인 변화에 가능한 영향을 받지 않아야 된다. 여러 가지 방법 중 TOA(Time of Arrival), TDOA(Time Difference of Arrival)방법이 이동체(철도차량) 위치식별에 적절한 것으로 판단된다. TOA나 TDOA 방법은 전파통신에 기초한 방법으로 차량에 부착되어 있는 이동국과 지상에 고정되어 있는 지상국간 통신을 하여 차량의 위치·속도 정보를 양쪽에서 계산하여 사용할 수 있다.

TOA를 적용한 AATC(Advanced Automatic Train Control)시스템의 위치추적 개념을 그림 1에 나타내었다.

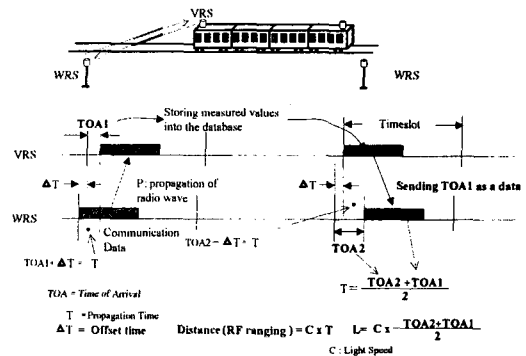


Fig. 1 Tracking the train position with TOA

그러나 TOA 및 TDOA 경우 무선국의 시간동기화를 위해서 고도의 기술을 요구하고 있으며, 시간 동기오차에 따른 열차위치검지의 정밀도가 낮아지는 문제를 가지고 있다

#### 2. 위치검지 설계

##### 2.1 위상차를 이용한 위치추적

본 논문에서 제안한 위치추적 방법은 지상국과 이동국의 위상차를 이용한 방법으로 파장의 길이를 인접한 지상국간 거리(WRS1-WRS2)와 같거나 약간 길게 설정한다.

인접한 지상국 사이의 거리가 결정되었을 때, 위상측정용 신호의 주파수는 다음과 같은 방법으로 구해진다. 인접한 지상국 사이의 거리가 200m라면,

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

여기서, C는 광속( $3 \times 10^8$  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.

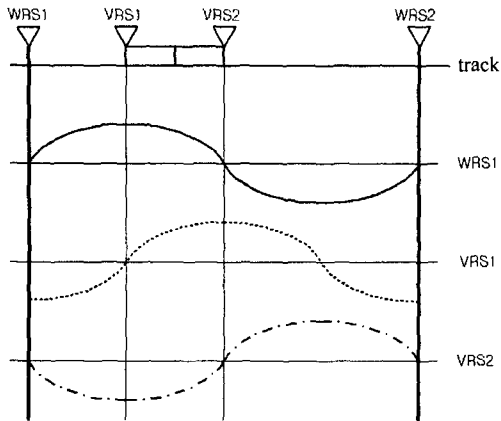


Fig. 2 Phase lag between WRS and VRS

Table 1 Phase lag per unit length as radio frequencies

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

그림 2에서 알 수 있듯이 지상국의 기준신호와 차량의 송신신호의 위상차를 보면 VRS1의 경우에는 90도가 느리며 VRS2의 경우에는 180도가 느리게 나타나는 것을 알 수 있다. 따라서 지상국의 기준신호와 차량의 송신신호와의 위상차를 측정하면 차량의 위치를 측정할 수 있다. 차량의 이동거리에 다른 위상차의 변화는 위상측정용 신호의 주파수에 따라 다르게 나타나며 여러 가지 주파수에 대한 단위 길이당 위상변화를 표 1에 나타냈다.

위의 표에서 알 수 있듯이 주파수가 낮아지면 단위 길이당 위상변화가 작아 위치정밀도가 낮아진다. 따라서 가능한 위상측정용 신호는 한 파장의 길이가 인접한 지상국간 거리와 비슷하게 설정하여야 한다

## 2.2 직선선로에서의 위치검지

위상차를 이용한 거리측정은 WRS와 VRS간 직선거리이기 때문에 따라서 측정한 직선거리를 실제 주행선로의 거리로 환산하는 것이 필요하다.

그림 3은 WRS를 기준으로 직선구간과 곡선구간을 구분하여 적절하게 구획을 분할하고 곡선구간에서는 서로 다른 곡률 반경을 가지는 경우에는 곡률 반경에 따라 구획을 분할하는 것을 나타내고 있다.

WRS에 인접한 직선구간(S1)에서 열차위치를 검지하는 방법은 그림 4에 나타난 바와 같이 단순히 데이터베이스로부터 획득한 WRS와 선로와의 직선거리, A와 도달 위상차를 이용하여 측정한다

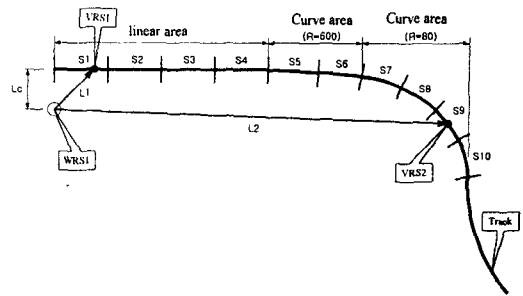


Fig. 3 Schematic diagram of track and segment

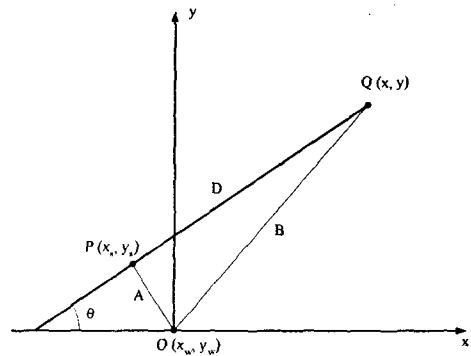


Fig. 4 Determination method of location for linear region near WRS

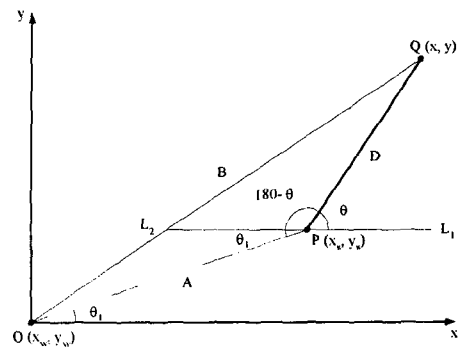


Fig. 5 Determination method of location for linear region

WRS와 VRS1 사이의 직선거리, B를 아래의 식과 같이 피타고라스 정리에 대입하여 구하게 된다.

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

WRS에 인접하지 않은 직선구간의 경우에 열차의 위치를 결정하는 방법은 그림 5에 나타냈다. 먼저 미리 구축되어 있는 데이터베이스로부터 WRS로부터 구획까지의 거리, A와 점 O와 P가 이루는 각도  $\theta_1$ 을 획득하고 도달 위상차를 이용하여 WRS와 VRS 사이의 직선 거리 B를 구한다. 여기서 노선의 데이터베이스로부터 P와 Q가 이루는 각

도,  $\theta$ 를 구하면 OPQ가 이루는 각도를 구할 수 있다. 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 차량이 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 차량의 위치는 데이터베이스로부터 획득한 구획까지의 거리에 D를 더한 값이 된다.

### 2.3 곡선선로에서의 위치검지

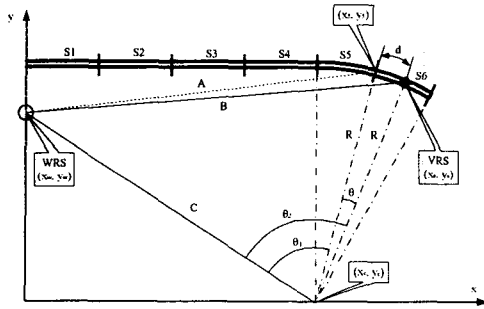


Fig. 6 Determination method of location for curve region

VRS2와 같이 곡선구간에 위치한 경우에 실제 거리를 추정하는 방법은 Fig. 11에 나타낸 바와 같으며 실제 거리를 추정하는 과정은 다음과 같다. 먼저 위상차를 이용하여 측정된 직선거리를 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  $\theta_1$ 을 구한다.

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

WRS로부터 VRS까지의 거리, B와 곡률 반경의 중심

까지의 거리, C 그리고 곡률 반경, R이 이루는 삼각형에서 다음과 같은 관계를 이용하여  $\theta_2$ 를 구한다.

$$B^2 = C^2 + R^2 - 2CR \cos \theta_2 \quad (7)$$

이들 식을  $\theta_1$ 과  $\theta_2$ 에 대하여 정리하면 다음과 같다.

$$\theta_1 = \cos^{-1} \frac{C^2 + R^2 - A^2}{2CR} \quad (8a)$$

$$\theta_2 = \cos^{-1} \frac{C^2 + R^2 - B^2}{2CR} \quad (8b)$$

따라서 구획 S6의 시점과 VRS가 이루는 각도,  $\theta$ 는 다음과 같다. 위의 식에서 알 수 있듯이 WRS에서 S6의 시작점까지의 거리, A와 VRS까지의 거리, B 곡률 반경의 중심까지의 거리, C 그리고 곡률 반경, R을 알 수 있으면 구획 S6의 시작점과 VRS가 이루는 각도를 알 수 있다.

$$\theta = \theta_2 - \theta_1$$

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

여기서 A, C, R은 노선의 데이터베이스로부터 결정되는 값이며 B는 도달 위상차를 이용하여 측정된 값이다. 이 각도를 이용하여 실제 차량이 이동한 곡선거리, d를 아래의 식을 이용하여 구할 수 있다.

$$d = \frac{\theta}{360} 2\pi R \quad (9)$$

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

WRS에 인접한 곡선구간의 경우에는  $\theta_1$ 이 존재하지 않기 때문에  $\theta = \theta_2$ 가 성립한다. 그러므로 이러한 경우에는  $\theta$  대신  $\theta_2$ 를 대입하여 차량이 이동한 거리를 구할 수 있다

### 2.4 무선장치 제작 및 S/W 설계

위상차를 이용하여 이동체(철도차량)의 위치를 추적하는 실험장치는 크게 3부분으로 분류된다. 첫 번째 부분은 이동체(철도차량)에 부착되어 있는 송신부로 통신용 고주파 신호와 위상측정용 신호를 변조하여 적절한 크기로 증폭한 후 안테나를 통하여 송신하는 부분이다. 두 번째 부분은 지상국에 설치되어 있는 수신부로 변조된 신호에서 위상측정용 신호만을 추출하여 적당한 크기로 증폭하고 이를 기준신호와 위상을 비교하기 위하여 파형을 변환하고 위상을 검출하는 부분이다. 세 번째 부분은 측정된 위상을 분석 컴퓨터로 전송하기 위한 RS232C 통신 모듈이다.

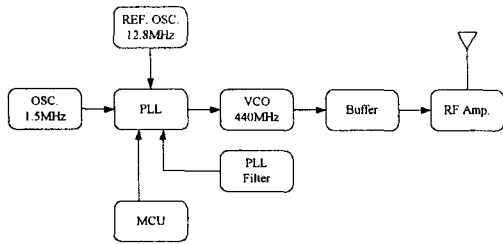


Fig. 7 Schematic diagram of transmitter

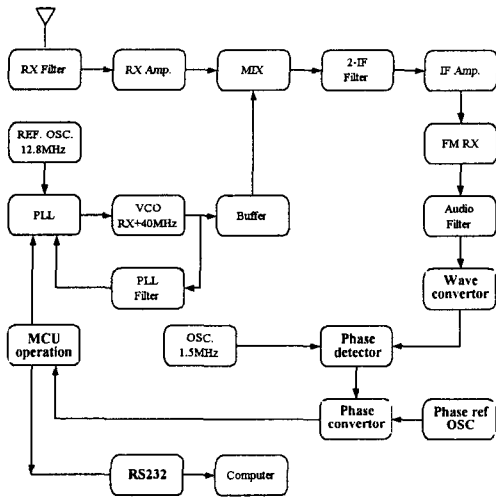


Fig. 8 Schematic diagram of receiver

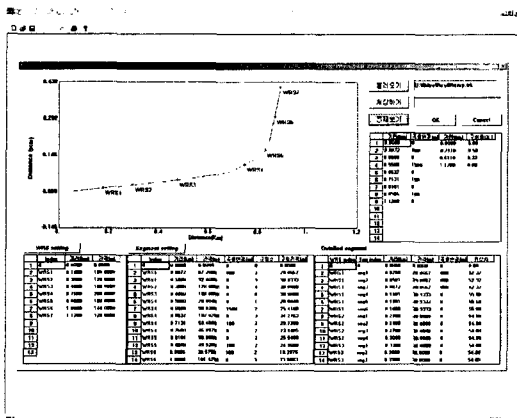


Fig. 9 WRS and segment setting

위치추적 프로그램은 노선의 데이터 베이스를 구축하고 이를 바탕으로 지상국의 위치를 설정하는 기능을 가지고 있다. 지상국의 위치가 결정되면 서로 인접한 지상국 사이에서 직선구간과 곡선구간에 따라 적당한 크기로 구획을 나눈다

구획설정은 지상국의 위치 및 인접한 지상국 사이에 위치추적을 위한 구획들을 설정하는 부분이다. 노선작업이 완료되면 결과를 저장한 후 이 노

선에 대하여 지상국을 설정하고 구획을 분할하여야 한다. 이상의 내용은 도달 위상차를 이용하여 차량의 위치를 추적하기 위한 데이터베이스를 구축하기 위한 과정을 나타낸 것이다.

### 3. 결론

본 논문에서는 PDOA를 이용하여 이동체(철도차량)의 위치와 속도를 검지하기 위한 새로운 방법을 제안하였으며, 이 방법을 검증하기 위한 프로그램을 작성 및 하드웨어를 제작하였다. 따라서 실험을 통한 PDOA기법의 검증을 수행하는 것이 다음에 요구된다.

또한 검증을 완료한 후 고장 및 장애에 대한 대처, 무선통신망의 구축 및 타 분야에의 응용 등을 향후에 지속하여 수행을 하도록 한다.

### 참고 문헌

- [1] Caffery J. J., Styer G. L., "Overview of radiolocation in CDMA systems," IEEE Communications Magazine, April 1998, Vol. 36, No. 4, pp. 38-45.
- [2] Cederwall M., Modonesi I., "Mobile station positioning methods in WCDMA," 4th ACTS Mobile Communications Summit 1999, June 8-11 1999, Sorrento.
- [3] Drane C., "Positioning GSM telephones," IEEE Communications Magazine, April 1998, Vol. 36, No. 4, pp. 46-59.
- [4] Mangold S., Kyriazakos, S., "Applying pattern recognition techniques based on Hidden Markov Models for vehicular position location in cellular networks," Proceedings of the IEEE VTC conference 1999 fall, September 19-22, 1999, Amsterdam, pp. 780-784.
- [5] Figel W., Shepherd N., Trammel W., "Vehicle location by a signal attenuation method," IEEE Transactions on Vehicular Technology, Nov. 1969, Vol. 18, No. 3, pp. 105-109.
- [6] Hellebrandt M., Mathar R., "Location tracking of mobiles in cellular radio networks," IEEE Transactions on Vehicular Technology, Sep. 1999, Vol. 48, No. 5, pp. 1558-1562.
- [7] Kaplan E. D., "Understanding GPS principles and applications," Artech House 1996, 554 p.
- [8] Ojanper T., Prasad R., "Wideband CDMA for Third Generation Mobile Communications," Artech House, 1998, 439 p.
- [9] ETSI/3GPP, Location Services (LCS); Functional description - Stage 2 GSM 03.71 version 8.0.0. Release 1999.