

위상차를 이용한 위치추적 알고리즘

정락교*, 이병송*, 김영조**, 김영석***

*한국철도기술연구원, **유한대학, ***인하대학교 전자전기공학부

An Algorithm of locating the position by using the phase difference relation

Jeong, Rag-gyo*. Lee, Byoung-Song*. Kim, Young-Jo*. Kim, Young-Seok**
 KRRI*, Youhan College**, Inha University***

ABSTRACT

무선을 이용한 위치 추적방법은 최근에 많은 관심을 받고 있다. 이 방법들은 적용지역환경 및 대상에 따라 적절한 방법을 선정하여 사용하는 것이 중요할 뿐만 아니라 신뢰성을 갖는 것 또한 매우 중요하다. 본 논문에서는 일정한 노선으로 움직이는 열차라는 이동체를 대상으로 하여 적용 가능한 알고리즘에 대하여 검토하였으며, 이는 1차원에서 물체의 위치를 추적하는 방법으로써, 열차와 같은 일정한 노선 위를 이동하는 물체의 위상을 추적하여 이동체의 위치를 결정하는 알고리즘을 구현을 위한 방법과 조건을 제시하였으며 철도시스템으로 확장 적용을 위한 알고리즘을 제시하였다.

1. 서 론

무선을 이용한 위치 추적방법은 최근에 많은 관심을 받고 있다.[1,2] 무선신호의 도착시간으로부터 이동체의 위치를 추적하는 도착 시간방법(time of arrival: TOA)과 도착시간차 방법(time difference of arrival: TDOA)이 있다. 신호의 도달 방향각으로부터 이동체의 위치를 추적하는 도달각방법(angle of arrival: AOA) 등을 포함한 지상무선국에서 차량무선국(vehicle radio station: VRS)의 위치를 추적하기 위한 방법들이 있다.

이 방법들은 적용지역환경 및 대상에 따라 적절한 방법을 선정하여 사용하는 것이 중요할 뿐만 아니라 신뢰성을 갖는 것 또한 매우 중요하다. 본 논문에서는 열차라는 이동체를 대상으로 하여 열차의 위치를 추적할 수 있도록 한다면 열차들 간의 간격을 최적으로 제어하는 것이 가능하기 때문에 수송효율의 증대를 가져올 수 있다. 그리고 안전한 열차 간격을 유지시킬 수 있기 때문에 철도의 신뢰성을 증대시킬 것이다. 따라서 본 논문에서는 1차원에서 물체의 위치를 추적하는 방법으로써[3], 열차와 같은 일정한 노선 위를 이동하는 물체의 위상을 추적

하여 이동체의 위치를 결정하는 알고리즘을 살펴보고 모의실험을 통해 방법과 조건을 검토한다.

2. 본 론

2.1 위치추적원리

위상차를 이용하여 이동체의 위치를 추적하는 원리는 다음과 같다. 먼저 그림1에 나타낸 바와 같이 서로 인접한 지상국(WRS1과 WRS2) 사이의 거리는 WRS1의 안테나 부분과 VRS1의 안테나 부분의 최대 거리가 1/4 파장의 길이보다 작게 전파의 주파수를 설정하여, WRS1과 WRS2를 고려해야 한다. WRS와 VRS의 간격을 고려해서 선택된 주파수 스펙트럼은 MF(medium frequency) 대역의 주파수가 고려될 것이다.

WRS1에서는 f_1 의 주파수의 sin신호를 참조신호로 가지고 있고, WRS1의 송신부(transmitter)에서는 이 sin신호를 FM 방식으로 변조하여 채널1(channel 1)의 반송파(carrier)에 실어서 VRS1의 수신부(receiver)로 보낸다. VRS1의 수신부에서는 수신한 신호를 FM방식으로 복조하고, 반송파에서 신호를 분리한다. 복조한 이 신호는 VRS1의 송신부에서 채널2(channel 2)의 반송파에 실어서 WRS1의 수신부로 보낸다. WRS1의 수신부에서는 이 신호를 수신하고, 수신된 신호는 참조신호와 위상을 비교한다. 이동체의 위치에 따라 위상값은 다르게 나타난다. 이것에 대한 블록도 그림2에 나타내었다.

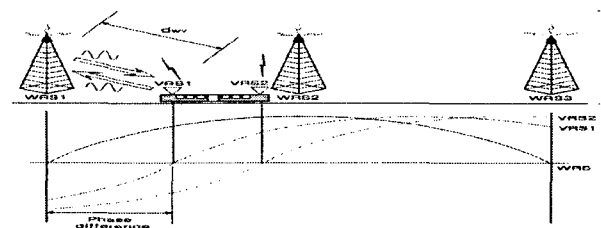


그림1 WRS와 VRS의 위상지연 관계

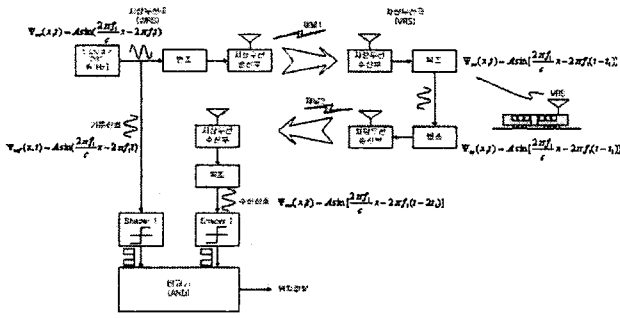


그림2 시스템 블록도

2.2 기준좌표의 이동(moving reference frame)

파동함수의 형태는 변하지 않고 시간에 따라 파동함수의 위치가 이동하는 것을 생각해 보자. 그림 3의 (a)는 4가지의 시간 때에서의 파동함수를 겹쳐 놓은 것이다. (b)는 초기의 파동함수의 위치에 따른 분포를 나타낸 것이다. (c)는 파동함수의 위치에 따른 분포가 v 의 속력으로 시간 t 가 지나도 파동함수의 위치에 따른 분포가 같은 것을 보여주고 있다. (d)는 초기의 좌표축 위에 시간이 t 만큼 지났을 때 파동 함수의 분포를 나타낸 것이다. 그림3의 (b)에서 초기의 파동함수를 다음과 같이 나타낼 수 있다^[4].

$$\Psi = f(x) \quad (1)$$

(c)는 시간이 지나서 파동함수가 vt 만큼 이동한 것을 보여 주고 있다. x 축을 따라 파동이 진행하는 방향으로 y 축의 좌표축을 vt 만큼 이동시킴으로, 새로운 좌표축 x' 에서 파동함수는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\Psi = f(x') \quad (2)$$

x 와 x' 의 관계는 그림3의 (d)에서 알 수 있다. 기존의 x 좌표축(시간이 t 만큼 지나기 전의 좌표축)에서 시간이 t 만큼 지나서의 관계를 보면 다음과 같은 식이 성립한다.

$$x = x' + vt \quad (3a)$$

$$x' = x - vt \quad (3b)$$

식(3b)을 식(2)에 대입하면 기존의 x 좌표축에서 시간의 변화에 따른 파동함수의 분포는 알 수 있다.

$$\Psi(x, t) = f(x - vt) \quad (4)$$

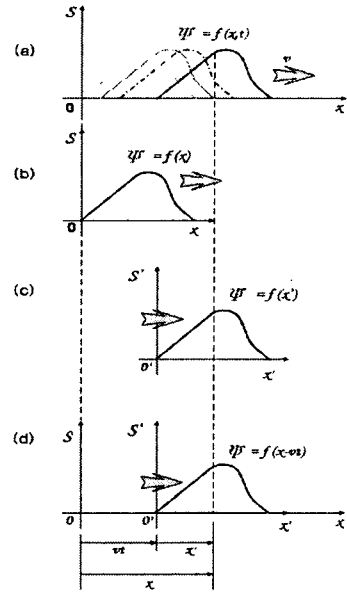


그림3 좌표계의 이동

파동의 형태가 \sin 이나 \cos 곡선으로 주어지는 가장 간단한 형태의 파동함수를 삼각함수와, 단순조화파 또는 조화파(harmonic wave)라고 한다. $t=0$ 에서 파동의 분포를 간단히 \sin 함수로 나타내보면, 다음과 같다.

$$\Psi(x) = A \sin(kx) \quad (5)$$

- A : \sin 함수의 진폭(amplitude)
- x : 1차원에서 위치[m]
- k : 양의 상수인 전파상수(propagation number)[rad/m]

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2\pi f}{v}$$

- λ : 공간주기(spatial period) 또는 파장(wavelength)[m]
- v : 파동이 이동할 때의 속력[m/sec]
- f : 주파수(frequency), 단위 시간동안 반복하는 주기의 수[Hz]

v 의 속력으로 $+x$ 방향으로 진행하는 파형을 고려해보면, 식(5)에서 x 를 $(x - vt)$ 로 바꾸면 다음 식을 얻을 수 있다.

$$\Psi(x, t) = A \sin[k(x - vt)] \quad (6a)$$

$$\Psi(x, t) = A \sin\left[\frac{2\pi f}{v}(x - vt)\right] \quad (6b)$$

2.3 두점 사이의 위상 지연 관계 (phase lag relation between two point)

그림1에서 f_1 의 주파수로 WRS1에서 VRS1로 파동함수의 신호를 보낸 때, WRS1에서 파동함수는 식(6)에 의해서 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\Psi_{tw}(x, t) = A \sin\left[\frac{2\pi f_1}{c}(x - ct)\right] \quad (7a)$$

$$\Psi_{tw}(x, t) = A \sin\left(\frac{2\pi f_1}{c}x - 2\pi f_1 t\right) \quad (7b)$$

여기서, $2\pi f_1/c$ 는 양의 상수로 자유공간(free space)에서 전파상수이고 c 는 전파 속력을 나타낸다. WRS1에서 보낸 신호는 t_1 의 시간이 지나서 VRS1에 도달한다. 즉, 식 (7)에서 t 에 $t-t_1$ 을 대입하면 다음과 같이 된다.

$$\Psi_{rv}(x, t) = A \sin\left[\frac{2\pi f_1}{c}x - 2\pi f_1(t - t_1)\right] \dots (8a)$$

$$\Psi_{rv}(x, t) = A \sin\left[\frac{2\pi f_1}{c}(x - ct) + 2\pi f_1 t_1\right] \dots (8b)$$

VRS1에서 도달한 신호인 식 (8)은 VRS1의 송신부(transmitter)에서 지상무선국인 WRS1의 수신부(receiver)로 보낸다. VRS1의 송신부에서 파동함수는 VRS1의 수신부에서 신호와 같은 것이다. VRS1의 송신부에서 파동함수의 신호는 다음과 같이 다시 쓸 수 있다.

$$\Psi_{rv}(x, t) = A \sin\left[\frac{2\pi f_1}{c}(x - ct) + 2\pi f_1 t_1\right] \quad (9)$$

VRS1의 송신부에서는 식(9)의 신호를 다시 WRS1의 수신부에 보낸다. WRS1의 수신부에 도달한데 t_1 의 시간이 소요된다. WRS1의 수신부에서 신호는 소요된 시간 t_1 이 다음과 같이 고려되어야 한다.

$$\Psi_{rv}(x, t) = A \sin\left[\frac{2\pi f_1}{c}[x - c(t - t_1)] + 2\pi f_1 t_1\right] \quad (10a)$$

$$\Psi_{rv}(x, t) = A \sin\left[\frac{2\pi f_1}{c}(x - ct) + 2(2\pi f_1 t_1)\right] \quad (10b)$$

$$\Psi_{rv}(x, t) = A \sin\left[\frac{2\pi f_1}{c}x - 2\pi f_1(t - 2t_1)\right] \quad (10c)$$

$$\Psi_{rv}(x, t) = A \sin\left[\frac{2\pi f_1}{c}(x + 2ct_1) - 2\pi f_1 t\right] \quad (10d)$$

식(10)은 WRS1의 수신부에서 수신한 신호이다. 수신부에서 수신한 신호의 위상을 비교하기 위해서 기준신호(reference signal)가 필요하다. WRS1에서 식(7)의 신호를 기준신호로 이용하기 위해서, 기준신호는 다음과 같이 표현 할 수 있다.

$$\Psi_{ref}(x, t) = A \sin\left[\frac{2\pi f_1}{c}(x - ct)\right] \quad (11)$$

식(11)과 식(10b)를 비교하면, 식(10b)에 위상성분과 관련이 있는 성분 $2(2\pi f_1 t_1)$ 이 있다는 것을 알 수 있다. 이 위상차 성분은 다음과 같이 수식으로 정의한다.

$$\theta_d = 2(2\pi f_1 t_1) = 2\theta_a \quad (12)$$

2.4 위상조건과 모의실험

위상차로 물체의 위치를 검출하기 위해서, 이 논문에서 제안하는 방법은 식(12)의 위상차 값 θ_d 가 다음과 같은 조건을 만족시켜야 한다.

$$0^\circ < \theta_d < 180^\circ \quad (13)$$

$0^\circ < \theta_d < 180^\circ$ 의 값과 $180^\circ < \theta_d < 360^\circ$ 의 값은 같은 값으로 측정된다. 예를 들어, 우리는 0° 와 180° 사이의 임의의 값과 180° 와 360° 사이의 특정한 위상차 값이 구별한 수 없다는 것을 확인해 본다. 그림4는 주파수 f_1 이 375kHz인 경우, 시간 변화에 따른 45° 위상지연과 315° 위상지연을 나타낸 것이다. 그림4에서 기준신호, 45° 위상지연 된 신호, 그리고 315° 위상지연 된 신호의 크기가 0보다 크면 1의 값으로 변조하고, 0보다 작으면 0의 값으로 변조한다. 그림5는 기준신호와 45° 위상지연 된 신호를 0과 1의 2진 신호로 변환해서 비교기에서 AND연산을 수행한 것을 나타내고 있다. 그림6은 기준신호와 315° 위상지연 된 신호를 2진 신호로 변환해서 비교기에서 AND연산을 수행한 것을 나타내고 있다. 그림5와 그림6은 펄스폭이 $1.04[\mu\text{sec}]$ 로 나타난 것을 알 수 있다.

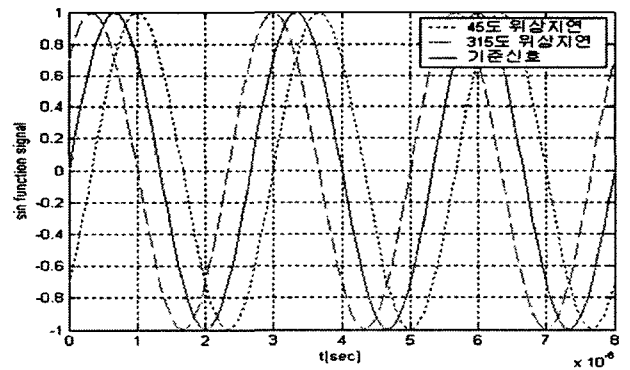


그림4. $45^\circ/315^\circ$ 위상지연과 기준신호 비교

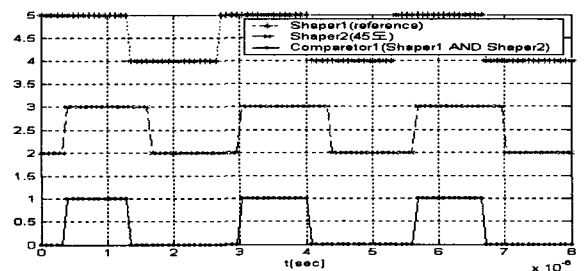


그림5. 45° 지연된 신호와 기준신호의 비교

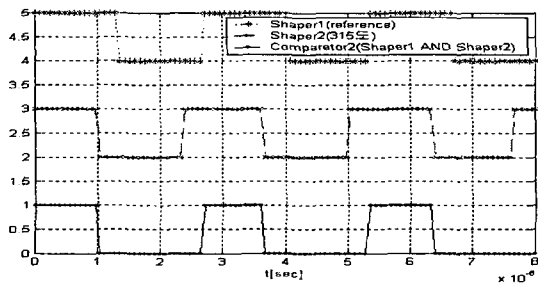


그림 6. 315° 지연된 신호와 기준신호의 비교

2.5 철도시스템으로 확장 알고리즘

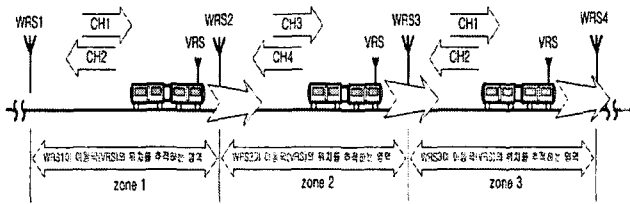


그림 7 분기구간이 없을 경우 열차 위치 추적

그림 7은 분기구간이 없는 경우로서 WRS1은 zone1에 있는 열차의 위치를 추적하고, WRS2는 zone2의 영역에 있는 열차의 위치를 추적하는 것을 나타내고 있고, WRS3은 zone3의 영역에 있는 열차의 위치를 추적한다. zone1에서 WRS1과 VRS1은 채널 CH1과 CH2를 사용하여 열차의 위상정보를 얻는다. 영역 zone2에서는 CH3과 CH4를 이용하고, 영역 zone3에서는 CH1과 CH2를 이용한다. 영역이 zone1에서 zone2으로 바뀌는 위치 즉 WRS2가 있는 위치를 지나가는 점에서 열차에 있는 차상무선국의 수신기의 채널은 CH1에서 CH3로 자동으로 바뀌고, 송신기의 채널은 CH2에서 CH4로 자동으로 바뀌어야 한다. 열차가 WRS3의 위치를 지나면 VRS의 채널은 다시 CH3는 CH1으로 바뀌고, CH4는 CH2로 바뀐다. WRS의 안테나는 지향성 안테나로 사용하고, WRS에서 송수신하는 전파의 도달거리가 두개의 zone을 넘어가지 않고, 차상무선국의 채널이 순차적으로 바뀌면 선로상의 열차를 추적할 수 있다.

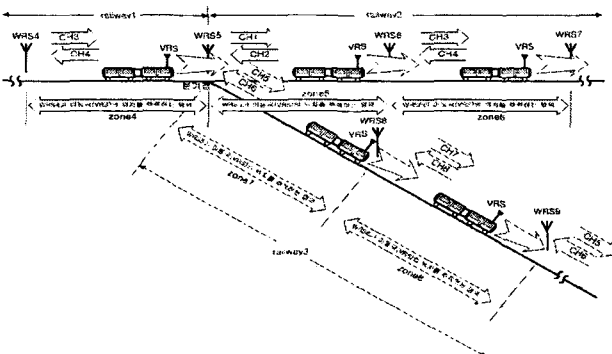


그림 8 분기구간이 있을 경우의 열차 위치 추적

그림 8은 분기구간이 있는 경우로 WRS5는 zone5의 영역상에 있는 선로상 열차를 추적하고 동시에 zone7의 영역상에 있는 선로상 열차를 추적한다. WRS5에서는 WRS6방향의 지향성 안테나와 WRS8의 방향의 지향성 안테나가 있어야 한다. Zone5의 영역에서는 채널 CH1과 CH2를 이용하고 zone6에서는 채널 CH3과 CH4를 이용한다. 그리고 zone7의 영역에서는 채널 CH5와 CH6을 이용한다. 선로 railway1과 railway2에서는 채널 CH1, CH2와 채널 CH3과 CH4를 순차적으로 반복 사용한다. 선로 railway3에서는 채널 CH5, CH6와 CH7, CH8를 순차적으로 반복 사용한다.

3. 결 론

식(13)의 조건을 만족시키면, 그림1에서 WRS1과 VRS1의 거리는 d_{wv} 이다. 거리 d_{wv} 는 ct_1 이다. WRS1에서 수신한 VRS1의 신호는 위상값 신호가 $2d_{wv}$ 에 대응되는 값이다. 따라서, 주파수 f_1 에 대한 파장이 λ_1 이라면 $\lambda_1/4$ [m]의 거리보다 더 작은 위치에 있는 VRS1의 위치를 위상차 성분으로 알 수 있다. 주파수가 375[kHz]라면 c/f_1 에 의해서 파장이 800[m]이다. 여기서, WRS1에서 VRS1까지의 거리가 200[m]보다 작다면 데이터베이스 된 정보에서 위상값에 대한 VRS1의 위치를 찾을 수 있음을 증명하였고 시스템으로 확장한 알고리즘을 제안하였다.

참 고 문 헌

- [1] T. S. Rappaport, J. H. Reed, 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.
- [2] 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
- [3] 전용수(2000), "MATLAB 입문과 활용", 높이깊이
- [4] Eugene Hecht, "Optics", Fourth Edition, ADDISON-WESLEY[1]