

1차원에서 위상차를 이용한 위치추적 방법과 조건

A method and condition of locating the position by using the phase difference relation in one dimension

정 락 교* 신 기 동** 조 홍 식*** 정 상 기**** 윤 용 기*****
Jeong, Rag-Gyo Shin, Ki-Dong Cho, Hong-Shik Chung, Sang-Gi Yoon, Yong-Ki

ABSTRACT

In this paper, we propose a method and condition of locating the position of an object in one dimension by using the phase difference of arrival(PDOA). To get a phase difference, the comparator of a wayside radio station(WRS) compares the reference signal with the received signal. Therefore, we can locate the position of a moving object. Finally, by using the simulation of a computer we analyze their values.

1. 서론

무선을 이용한 위치추적방법은 최근에 많은 관심을 받고 있다[1,2]. 무선신호의 도착시간으로부터 이동체의 위치를 추적하는 도착시간방법(time of arrival: TOA)과 도착시간차방법(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 몇 가지 방법이 있다.

열차의 정확한 위치를 추적할 수 있다면 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.

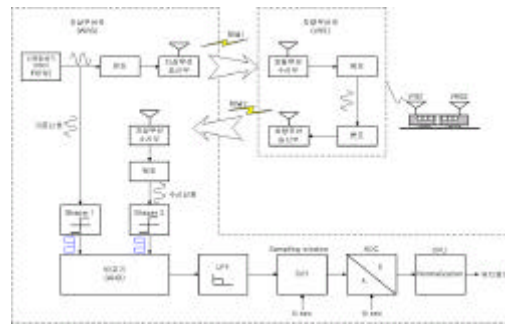
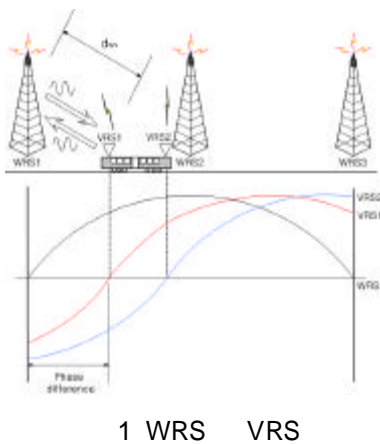
본 논문에서는 1차원에서 물체의 위치를 추적하는 방법으로써, 열차와 같은 일정한 노선 위를 이동하는 물체의 위상을 추적하여 이동체의 위치를 결정한다. 그리고 모의실험을 통해서 그 데이터를 살펴본다[3].

2. 위치추적원리

*
**

위상차를 이용하여 이동체의 위치를 추적하는 원리는 다음과 같다. 먼저 그림1에 나타난 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.



2

3. 기준좌표의 이동(moving reference frame)

파동함수의 형태는 변하지 않고 시간에 따라 파동함수의 위치가 이동하는 것을 생각해 보자. 그림3의 (a)는 4가지의 시간 때에서의 파동함수를 겹쳐놓은 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 파동함수의 분포를 나타낸 것이다. 그림3의 (b)에서 초기의 파동함수를 다음과 같이 나타낼 수 있다[4].

$$\Psi = f(x) \dots\dots\dots(식1)$$

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

$$\Psi = f(x') \dots\dots\dots(식2)$$

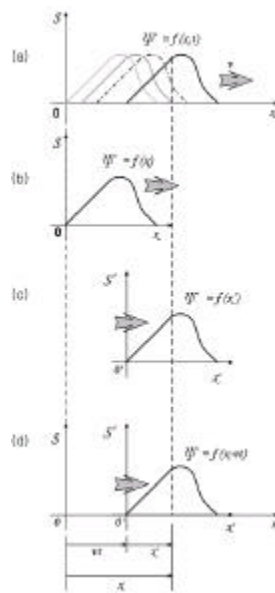
x 와 x' 의 관계는 그림3의 (d)에서 알 수 있다. 기존의 x 좌표축(시간이 t 만큼 지나기 전의 좌표축)에서 시간이 t 만큼 지나서의 관계를 보면 다음과 같은 식이 성립한다.

$$x = x' + vt \dots\dots\dots(\text{식3a})$$

$$x' = x - vt \dots\dots\dots(\text{식3b})$$

(식3b)를 (식2)에 대입하면 기존의 x 좌표축에서 시간의 변화에 따른 파동함수의 분포는 알 수 있다.

$$\Psi(x, t) = f(x - vt) \dots\dots\dots(\text{식4})$$



3

가 \sin \cos
(harmonic wave)

가 \sin ,
 . $t=0$,

$$\Psi(x) = A \sin(kx) \dots\dots\dots(\text{식5})$$

- A : sin함수의 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 속도[m/sec]
- f : 주파수(frequency), 단위 시간동안 반복하는 주기의 수[Hz]

v 의 속력으로 $+x$ 방향으로 진행하는 파형을 고려해보면, (식5)에서 x 를 $(x-vt)$ 로 바꾸면 다음 식을 얻을 수 있다.

$$\Psi(x, t) = A \sin[k(x-vt)] \dots\dots\dots(\text{식6a})$$

$$\Psi(x, t) = A \sin\left[\frac{2\pi f}{v}(x-vt)\right] \dots\dots\dots(\text{식6b})$$

4. 두 점 사이의 위상 지연 관계(phase lag relation between two point)

그림1에서 f_1 의 주파수로 WRS1에서 VRS1로 파동함수의 신호를 보낸 때, WRS1에서 파동함수는 (식6)에 의해서 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\Psi_{tw}(x, t) = A \sin\left[\frac{2\pi f_1}{c}(x-ct)\right] \dots\dots\dots(\text{식7a})$$

$$\Psi_{tw}(x, t) = A \sin\left(\frac{2\pi f_1}{c}x - 2\pi f_1 t\right) \dots\dots\dots(\text{식7b})$$

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 도달 한다. 즉, (식7)에서 t 에 $t-t_1$ 을 대입하면 다음과 같이 된다.

$$\Psi_{rv}(x, t) = A \sin\left[\frac{2\pi f_1}{c}x - 2\pi f_1(t-t_1)\right] \dots\dots\dots(\text{식8a})$$

$$\Psi_{rv}(x, t) = A \sin\left[\frac{2\pi f_1}{c}(x-ct) + 2\pi f_1 t_1\right] \dots\dots\dots(\text{식8b})$$

VRS1에서 도달한 신호인 (식8)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.

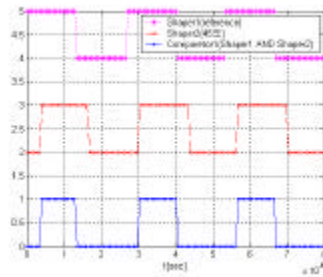
$$\Psi_{tw}(x, t) = A \sin\left[\frac{2\pi f_1}{c}(x-ct) + 2\pi f_1 t_1\right] \dots\dots\dots(\text{식9})$$

VRS1의 송신부에서는 (식9)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.

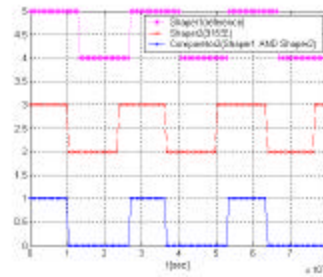
$$\Psi_{rw}(x, t) = A \sin\left[\frac{2\pi f_1}{c}[x-c(t-t_1)] + 2\pi f_1 t_1\right] \dots\dots\dots(\text{식10a})$$

$$\Psi_{rw}(x, t) = A \sin\left[\frac{2\pi f_1}{c}(x-ct) + 2(2\pi f_1 t_1)\right] \dots\dots\dots(\text{식10b})$$

$$\Psi_{rw}(x, t) = A \sin\left[\frac{2\pi f_1}{c}x - 2\pi f_1(t-2t_1)\right] \dots\dots\dots(\text{식10c})$$



5. 45°



6. 315°

1. 45° 315°

t (*0.000001) [sec]	reference signal	received signal (45°)	received signal (315°)	shaper 1 (reference)	shaper 2 (45°)	shaper 2 (315°)	comparator (45°)	comparator (315°)
3.60	0.80902	0.98769	0.15643	1	1	1	1	1
3.68	0.68455	0.99951	-0.03141	1	1	0	1	0
3.76	0.53583	0.97592	-0.21814	1	1	0	1	0
3.84	0.36812	0.91775	-0.39715	1	1	0	1	0
3.92	0.18738	0.82708	-0.56208	1	1	0	1	0
4.00	0.00000	0.70711	-0.70711	1	1	0	1	0
4.08	-0.18738	0.56208	-0.82708	0	1	0	0	0
4.16	-0.36812	0.39715	-0.91775	0	1	0	0	0
4.24	-0.53583	0.21814	-0.97592	0	1	0	0	0
4.32	-0.68455	0.03141	-0.99951	0	1	0	0	0
4.40	-0.80902	-0.15643	-0.98769	0	0	0	0	0
4.48	-0.90483	-0.33874	-0.94088	0	0	0	0	0
4.56	-0.96858	-0.50904	-0.86074	0	0	0	0	0
4.64	-0.99803	-0.66131	-0.75011	0	0	0	0	0
4.72	-0.99211	-0.79016	-0.61291	0	0	0	0	0
4.80	-0.95106	-0.89101	-0.45399	0	0	0	0	0
4.88	-0.87631	-0.96029	-0.27899	0	0	0	0	0
4.96	-0.77051	-0.99556	-0.09411	0	0	0	0	0
5.04	-0.63742	-0.99556	0.09411	0	0	1	0	0
5.12	-0.48175	-0.96029	0.27899	0	0	1	0	0
5.20	-0.30902	-0.89101	0.45399	0	0	1	0	0
5.28	-0.12533	-0.79016	0.61291	0	0	1	0	0
5.36	0.06279	-0.66131	0.75011	1	0	1	0	1
5.44	0.24869	-0.50904	0.86074	1	0	1	0	1
5.52	0.42578	-0.33874	0.94088	1	0	1	0	1
5.60	0.58779	-0.15643	0.98769	1	0	1	0	1
5.68	0.72897	0.03141	0.99951	1	1	1	1	1
5.76	0.84433	0.21814	0.97592	1	1	1	1	1
5.84	0.92978	0.39715	0.91775	1	1	1	1	1
5.92	0.98229	0.56208	0.82708	1	1	1	1	1
6.00	1.00000	0.70711	0.70711	1	1	1	1	1
6.08	0.98229	0.82708	0.56208	1	1	1	1	1
6.16	0.92978	0.91775	0.39715	1	1	1	1	1
6.24	0.84433	0.97592	0.21814	1	1	1	1	1
6.32	0.72897	0.99951	0.03141	1	1	1	1	1
6.40	0.58779	0.98769	-0.15643	1	1	0	1	0
6.48	0.42578	0.94088	-0.33874	1	1	0	1	0
6.56	0.24869	0.86074	-0.50904	1	1	0	1	0
6.64	0.06279	0.75011	-0.66131	1	1	0	1	0
6.72	-0.12533	0.61291	-0.79016	0	1	0	0	0

도표1은 모의실험 결과를 나타낸 데이터이다. 여기서, 기준신호(reference signal)에 대해서 수신한 신호가 45° 위상지연 된 신호는 received signal(45도)이고 315° 위상지연 된 신호는 received signal(315도)이다. 참조신호의 데이터를 이진신호로 나타낸 신호는 shaper1(reference)에 나타냈고, 45° 지연된 신호의 데이터를 이진신호로 나타낸 신호는 shaper2(45도)에 나타냈다.

비교기(comparator)에서는 기준신호인 shaper1에 대해서 위상지연 된 신호 shaper2와 AND연산을 수행한다. comparator1은 기준신호인 shaper1(reference)과 45° 위상지연 된 이진신호의 데이터 shaper2(45도)를 비교하기 위해서 AND연산을 수행한 것을 나타냈고, comparator2는 기준신호인 shaper1(reference)과 315° 위상지연 된 이진신호의 데이터 shaper2(315도)를 비교하기 위해서 AND연산을 수행한 것을 나타냈다. comparator1과 comparator2의 데이터를 비교해보면 펄스의 폭이 0.98 micro sec로 같다. 그리고 펄스가 나타나는 시간주기도 같다는 것을 알 수 있다. 이러한 신호가 비교기 출력으로 연속적으로 나타나면 그 출력은 구별 할 수 어렵다. 위상 지연 값이 0° 에서 180° 사이에서만 나타난다면 그 위상 값은 이동체의 위치에 따라서 다른 값을 나타낸다.

(식13)의 조건을 만족시키면, 그림1에서 WRS1과 VRS1의 거리는 d_{uv} 이다. 거리 d_{uv} 는 ct_1 이다. WRS1에서 수신한 VRS1의 신호는 위상값 신호가 $2d_{uv}$ 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 있다.

참고문헌

- [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