

펄스 모호성 극복을 위한 AOA를 이용한 반복적 TDOA 위치추정 방법

* 조제일, 한진우, 김산해, 송규하
국방과학연구소

e-mail : jeil004@add.re.kr, yahoo@add.re.kr, ksh808@add.re.kr, khsong@add.re.kr

An Iterative TDOA location method using AOA to overcome pulse ambiguity

*Je-Il Jo, Jin-Woo Han, San-Hae Kim, Kyu-Ha Song
Agency for Defense Development

Abstract

The Time Difference of Arrival(TDOA) based geolocation system receives pulses of a radar at multiple spatially separated receivers and extracts TDOA data from each same pulse pairs, and then estimates the location of the radar based on range equation between the radar and receivers. However, if pulse repetition interval (PRI) is very short and its modulation type is fixed, it causes the ambiguity problem in extracting TDOA data for each same pulse pairs. This paper proposes a new method to overcome TDOA extraction ambiguity problem by using angle of arrival (AOA) data which are measured in each receiver. Simulation results are presented to show the performance of the proposed method.

I. 서론

신호원의 위치를 추정하는 방법은 삼각법, 거리와 방향, 수학식에 의한 곡선의 교점에 의한 방식 등이 있다[1]. 일반적으로 전자전지원 시스템에서는 다수의 수

신기를 이용하여 각 수신기에 도달하는 전파의 방향을 탐지(DF: direction finding)하여 위치를 추정하는 방식이 많이 사용되어져 왔다.

근래에는 각 수신기에 도달하는 전파의 도래시간차(TDOA)를 이용한 위치추정법이 수동형 전자감시 장비를 비롯하여 많이 적용되고 있는데, 이는 기존의 방향 탐지를 이용한 삼각법 위치추정법보다 정확도면에서 우수하기 때문이다.

그러나 TDOA를 이용한 레이더 신호원의 위치 추정은 정밀한 시각동기화 및 도래시간 측정 능력이 요구된다. 또한, 고정 펄스반복간격(PRI)을 갖는 경우 수신기간 거리에 따라 펄스 모호성이 발생할 수 있다. 펄스 모호성은 레이더 신호원의 PRI가 수신기간 이격거리에 의한 도착시간보다 짧을 때 발생하는 것으로 수신기간 TDOA쌍을 정확하게 추출해내기 어렵게 만들어 위치추정이 불가하게 된다.

본 논문에서는 이러한 펄스 모호성을 극복하기 위하여 AOA를 이용한 TDOA 위치 추정방법을 제안한다. 서론에 이어 본론에서 TDOA 기반 위치 추정방법, 펄스 모호성에 대해 설명하고 이를 극복할 수 있는 위치 추정방법을 제안하고 모의실험결과를 통해 본 논문의 위치추정 방법의 성능을 확인하고 결론을 맺는다.

II. 본론

2.1 TDOA기반 위치추정

TDOA기반 위치 추정은 3개 이상의 수신기에서 수신된 신호의 펄스도착시간(TOA: time of arrival)으로부터 2개 이상의 신호도착시간차인 TDOA를 추출하고, 이로부터 위협과 수신기간 거리 방정식에 기초하여 형성되는 쌍곡선의 교차점으로 위협의 위치를 탐지하는 기법이다[2].

각 수신기의 위치 (x_1, y_1) , (x_2, y_2) , (x_3, y_3) 와 각 수신기에서 측정된 신호의 도착시간 t_1, t_2, t_3 을 이용하여 위협 (x, y) 과 각 수신기간 거리 r 은 측정시간 \times 속도임을 이용하여 다음과 같은 수식을 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} c \times (t_1 - t_2) &= R_1 - R_2 \\ &= \sqrt{(x_1 - x)^2 - (y_1 - y)^2} \\ &\quad - \sqrt{(x_2 - x)^2 - (y_2 - y)^2} \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} c \times (t_2 - t_3) &= R_2 - R_3 \\ &= \sqrt{(x_2 - x)^2 - (y_2 - y)^2} \\ &\quad - \sqrt{(x_3 - x)^2 - (y_3 - y)^2} \end{aligned} \quad (2)$$

위와 같은 방정식의 해를 풀면 위협의 위치를 구할 수 있다. 이때 수신기가 4개 이상인 경우, (x, y, z) 의 3차원 위치 추정이 가능하다.

2.2 펄스 모호성

펄스 모호성은 수신기간 거리에 의한 도착시간의 차이보다 위협의 PRI가 작을 때 발생하는 것이다. 예를 들면 두 개의 수신기간 거리가 25km인 경우 모호 구간은 약 83.3 μs 가 된다.

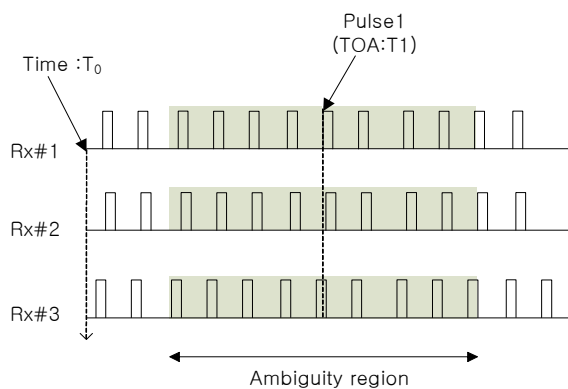


그림 1. 펄스 모호성

이 경우 레이더의 PRI가 83.3 μs 보다 작으면 펄스 모호성이 발생하게 되어 그림 1에서와 같이 수신기 1에서 수신한 기준펄스(Pulse 1)가 다른 수신기에서 수신된 펄스 중 어느 펄스인지를 구분하기 어렵다. 레이더 신호의 PRI가 고정인 경우 PRI의 변화 지점을 이용하여 TDOA의 기준 펄스를 추출할 수 있지만, 고정인 경우는 구분하지 못하여 위치추정이 어려워지게 된다.

2.3 제안한 AOA를 이용한 TDOA 위치추정방법

고정 PRI를 가지는 레이더의 펄스 모호성 현상을 해결하기 위하여, 각 수신기에서 탐지된 AOA를 이용한 TDOA 위치추정방법을 제안한다.

본 위치추정방법은 다음과 같다.

1. AOA를 이용하여 먼저 대략적인 레이더의 존재 가능한 범위를 설정한다.
2. 설정된 범위 내에 랜덤한 위치 N개를 설정하여, 설정된 위치에서 각 수신기에 도달하는 시간을 계산하여 N개의 TDOA 쌍을 추출한다. 이때 N의 개수는 선택영역의 대각선 길이를 원하는 해상도로 나눈 값으로 한다.
3. 각 수신기에서 수집된 펄스 열에서 모호 구간내의 펄스들의 TOA로부터 모든 가능한 TDOA 쌍을 K개를 만든다.
4. 랜덤한 N개의 위치로부터 얻어진 N개의 TDOA 쌍과 수집된 펄스열에서 구해진 K개의 TDOA쌍과 비교를 통하여 $N \times K$ 의 에러값을 추정한다.
5. 구해진 $N \times K$ 의 에러값에서 작은 값을 가지는 M개의 위치를 선택하여 새로운 영역을 설정한다.
6. 설정된 영역에서 2~5를 L번 수행하고 가장 작은 값을 갖는 점을 추정된 위치로 선정한다.

III. 모의실험 결과

제안한 위치추정 방법의 성능을 비교하기 위하여 AOA만을 이용한 삼각법 중 MSD(Mean-Squared Distance) 위치추정 방법[3][4]과 실제 위치와의 오차(TLE: True Location Error)평균을 비교하였다.

수신기는 그림 2에서와 같이 전방위 위치추정 성능이 양호한 Y자형 구조로 4대를 가정하였으며, AOA의 정확도는 1도, 3도 rms로 가정하였다. 각 수신기간 거리는 35km, 탐지영역은 x축 -200~200km로 50km간격, y축 100~300km로 50km간격으로 레이더의 위치를 가정하였다. 레이더의 PRI는 80 μs , 고정 타입으로 가정하였다. 본 추정방법의 6번 단계에서 L은 2회로 한정하여 실험을 진행하였다. 결과의 신뢰성을 높이기

위해 실험을 10회 수행하여 얻어진 각 TLE 결과를 평균하여 산출하여 비교하였다.

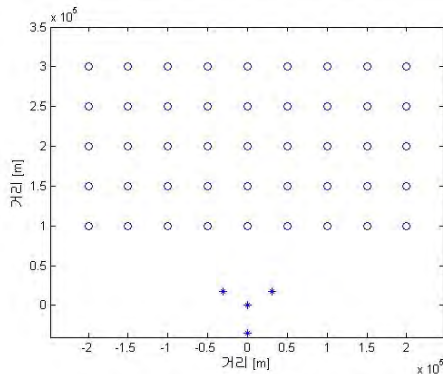


그림 2. 모의실험 영역 및 수신기 배치

표 1. 모의실험 결과(위치추정 오차평균: TLE)

방탐 정확도	위치추정방법	해상도		
		100m	500m	1000m
1° rms	제안한 TDOA/AOA	5,982m	10,424m	16,379m
	AOA(MSD)	19,581m	20,740m	21,188m
	정확도 개선율	69.5%	49.7%	22.7%
3° rms	제안한 TDOA/AOA	13,658m	29,473m	39,003m
	AOA(MSD)	58,799m	57,718m	64,372m
	정확도 개선율	66.8%	49.0%	39.4%

표 1에서와 같이 AOA를 이용한 삼각법 위치추정 방법인 MSD의 경우 방탐 정확도에 따라 위치추정 오차평균이 달라진다. 즉, 방탐 정확도가 좋을수록 위치추정 오차는 작아진다. 본 논문의 제안한 위치추정 방법도 방탐 정확도가 커짐에 따라 위치추정오차가 다소 커지는 경향이 있는데 이는 AOA를 이용하여 대략적인 위치를 설정하기 때문에 방탐 정확도에 따라 영역의 범위의 크기 및 실제 레이더의 위치가 영역에서 벗어나는 경우가 생기게 되므로 이를 반영한 결과라 할 수 있겠다. 그럼에도 불구하고 제안한 위치추정방법은 MSD의 결과보다 월등히 우수함을 알 수 있다. 또한 방탐정확도가 동일한 경우 해상도가 작을수록, 즉 영역 내 랜덤한 샘플수가 많을수록 추정 정확도가 향상됨을 알 수 있다.

V. 결론 및 향후 연구 방향

TDOA를 이용하여 장거리 레이더 위치추정의 경우 고정형태의 PRI를 갖는 레이더는 수신기간 이격거리에 따라서 펄스 모호성이 발생할 수 있다. 이에 본 논문에서는 AOA 정보를 이용한 TDOA 위치추정 방법을 제안하였다. 본 방법은 펄스 모호성 발생 시 기존의 TDOA 위치추정 방법으로는 위치추정이 불가능한 것을 극복하게 하고, 비교를 통한 연산으로 이루어져 복잡한 비선형 방정식을 풀지 않아도 되는 이점이 있다. 또한 기존의 AOA를 이용한 위치추정보다 정확한 위치추정이 가능하게 한다.

향후 본 추정방법의 다양한 성능 분석을 위하여 수신기의 위치 및 탐지영역, 방향탐지 정확도, 랜덤 샘플 개수, 영역 채질정 횟수에 따른 분석이 필요하며, 계산 시간을 줄이는 방법 및 기타 오차요인의 효과에 대하여도 연구가 필요하다.

참고문헌

- [1] Richard A. Poisel, *Electronic Warfare Target Location Methods*, Artech House, 2012.
- [2] 박병구, 한진우, 송규하, "TDOA 기반 수동형 전자감시 기술 현황 분석", *국방과학기술플러스*, 108호, 2010.
- [3] Richard A. Poisel, *Introduction to Communication Electronic Warfare System*, Artech House, 2002.
- [4] Brown, R.M., "Emitter Location Using Bearing Measurements from a Moving Platform", *NRL Report 8483*, Naval Research Laboratory, Washington D.C. June 1981.
- [5] David L. Adamy, *EW102 - A Second Course in Electronic Warfare*, Artech House, 2004.
- [6] W.H.L. Neve, T.J. Qulter, R. Weedon, and R.A. Hogendoorn, "Wide Area multilateration", *EUROCONTROL*