

인터페로미터 방탐장치 위상보정 신호선정에 관한 연구

이정훈, 조제일, 김종규, 이치호

국방과학연구소

yougoal@naver.com, jeil004@hotmail.com, jongkyu1@add.re.kr, chiho1@add.re.kr

A Study on the phase correlation signal selection for the interferometer direction finder

Lee Jung Hoon, Jo Je Il, Kim Jong Kyu, Lee Chi ho

Agency for defense development

요약

본 논문은 위상비교 방탐장치를 수행하는 인터페로미터 방탐장치장치의 위상 보정신호에 대해 분석하였다. 위상비교 방탐장치장치 제작 시 발생하는 장치 각 채널 위상 부정합을 보정하기 위해 방사보정과 채널보정을 수행한다. 보정 시 최종적으로 발생하는 위상차오차는 신호대 잡음비 및 스냅샷 개수에 의해 도출하였으며, 시뮬레이션을 통해 계산된 결과와 비교를 수행하였다. 계산식은 시뮬레이션결과와 일치함을 보였다.

I. 서론

고정밀 방탐장치가 필요한 분야에서는 주로 위상비교 방식인 인터페로미터 방탐장치가 주로 사용된다. 다중소자로 구성되는 인터페로미터 방탐장치 [1]-[3]는 $0.1^\circ \sim 3^\circ$ [RMS]의 방탐정확도[4]가 구현가능하다. 이러한 이유 때문에 ES(Electronic Support)분야에서 폭넓게 사용되어져 오고 있다. 인터페로 방탐장치는 장치 제작 시 발생하는 위상오차를 제거하기 위해 보정을 수행한다. 이러한 보정은 방사보정과 채널보정으로 나뉘어 진다.

방탐장치의 안테나, 안테나와 장치 간 케이블의 위상오차 및 안테나부와 구조물체 기인하는 위상오차를 보정하기 위한 방사보정과, 방탐장치 내부에서 발생하는 각 채널간의 위상오차를 보정하는 채널보정으로 구분된다.

펄스신호를 사용하여 보정이 수행되나, 정확한 분석이 이루어지지 못하였다. 본 논문에서는 신호대 잡음비(SNR: Signal to Noise Ratio), 스냅샷 개수 및 방탐장치의 허용가능한 보정 위상차오차를 선택함으로써 보정신호를 선정하는 방법을 제공한다.

II. 본론

그림1은 3소자 배열 인터페로미터 방탐장치를 나타내었다. 입력되는 무선 신호는 안테나 소자에 입력되어 위상비교기에서 위상차를 출력한다. 이때 위상차는 안테나부의 각 안테나 간 위상정합의 불균일로 발생하는 위상오차, 안테나와 장치가 케이블간의 위상오차 및 안테나 외장구조물에 의한 위상오차가 존재한다. 또한, 방탐장치내에서는 방탐장치내의 혼합기, 필터 및 SNR등으로 인한 다양한 요인에 의해 위상오차가 발생한다. 따라서, 무선 신호가 수신되어 출력된 위상차오차에는 방탐장치가 발생하는 위상오차를 포함하고 있다. 이러한 위상오차를 제거하기 위해서는 방탐장치 제작 후 보정이라는 과정이 수행된다. 방사보정은 제작 후 수행되며, 안테나부의 부품 변경 및 구조물변경이 발생할 때 재 보정이 수행된다. 반면에, 채널보정은 무선신호를 수신하고 난 후 혹은 전에 수시로 수행된다.

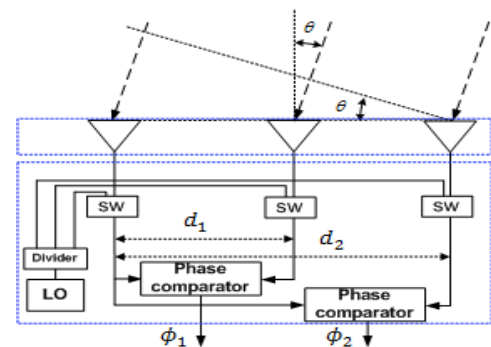
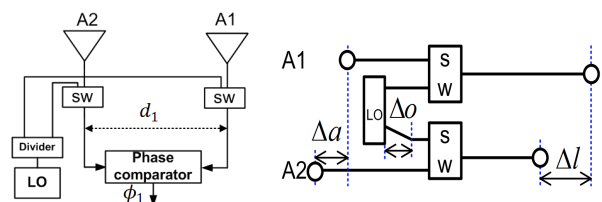


그림 1 3소자 배열 인터페로미터 방탐장치

2.1 방탐장치 위상보정모델

인터페로미터 방탐장치 위상보정을 위해 그림2(b)와 같이 단순화 하였다.



(a) 2소자 방탐장치 (b) 단순화된 2소자 방탐장치

그림 2. 인터페로미터 방탐장치 등가 모델

안테나에 입력신호 A_1 및 A_2 이고 안테나부의 위상차오차는 길이차이 Δa 만큼 발생하며, 방탐장치내의 위상차오차는 길이 차이 Δl 만큼 발생한다. 또한, 채널보정을 위한 국방발전기에서 스위치로 주입되는 두 채널의 위상오차는 길이 차이 Δa 만큼 발생한다. 여기서, 두 채널의 스위치오차는 0으로 가정하였다. 이 모델에 기반하여 방사신호에 대한 두 채널의 위상차오차는 두 채널에 길이 따른 위상차($\Delta a + \Delta l$)와 SNR에 의한 위상차오차(ϕ_r)로 구성된다. 또한, 채널보정을 의한 위상차오차는 채널보정 케이블길

이에 따른 위상차($\Delta\alpha + \Delta\phi$)와 SNR에 의한 위상차오차(ϕ_e)로 구성된다. 방사보정에서 채널보정을 뺀 위상차($\Delta\alpha - \Delta\phi$) + ϕ_{rc} 가 최종적인 보정 위상차가 된다. SNR에 의한 RMS(Root Mean Square) 위상차오차는 수1과 같이 주어진다[5].

$$\sigma_{\theta}^2 = \frac{1}{K \cdot SNR} \quad (1)$$

여기서, K : (Snapshot)개수 이다. 본 논문에서 위상차오차는 평균이 0인 가우시안분포이며, 각 채널의 오차는 독립이라고 가정하였다. 방사보정 위상차오차 분산과 채널보정 위상차오차 분산을 사용한 최종적인 위상차오차 분산은 $\sigma_{r \pm c}^2 = \sigma_r^2 + \sigma_c^2$ 의 관계식을 이용하여 식(1)을 사용하여 식(2)로 나타낼 수 있다.

$$\sigma_{r-c} = \frac{1}{\sqrt{K}} \left(\frac{1}{\sqrt{SNR_r}} + \frac{1}{\sqrt{SNR_c}} \right) \quad (2)$$

채널보정시 SNR은 국부발진기를 이용하기 때문에 일정한 비율을 유지할 수 있으나, 방사보정의 경우 입사각에 따라 SNR이 변하기 때문에 채널보정과 방사보정의 SNR를 각각 표현하였다. 보정된 위상차오차의 최대값은 위상차오차 표준편차를 사용하여 식(3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\phi_e = \pm N\sigma_{r-c}, N=1,2,3,\dots \quad (3)$$

2.2. 시뮬레이션

$SNR_r = 15[dB]$, $SNR_c = 20[dB]$ 인 경우 식(2)를 적용하여 스냅샷 개수에 따른 표준편차와 시뮬레이션을 수행한 결과를 도시하였다.

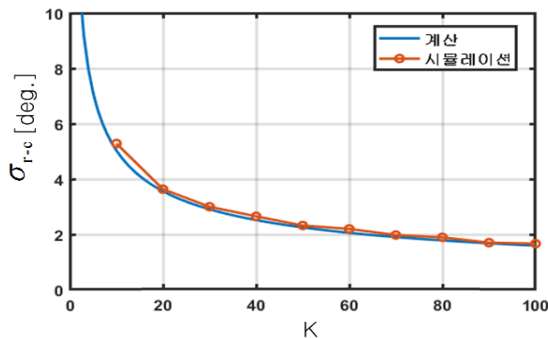
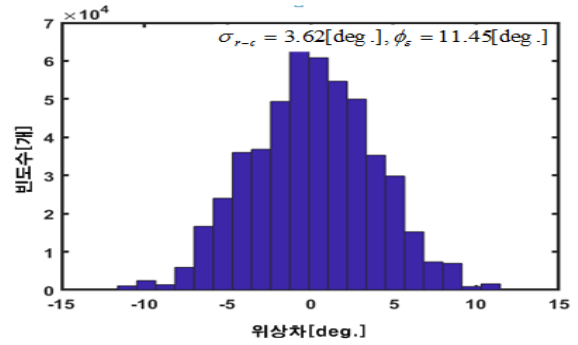
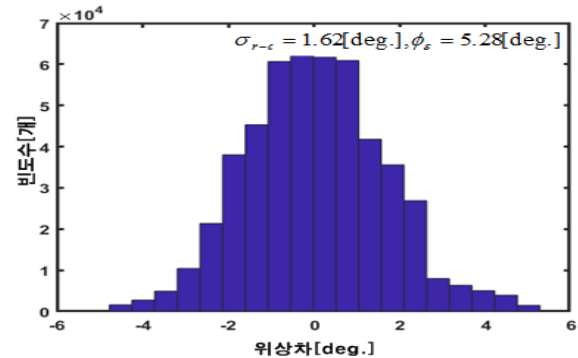


그림 3. 보정 결과 위상차 표준편차

그림 3에서는 시뮬레이션과 계산이 거의 일치함을 나타내었으며, 스냅샷 개수가 증가할수록 보정에 의한 위상차의 표준편차가 감소함을 알 수 있다. 또한, 스냅샷 개수가 증가할수록 표준편차가 감소하지만 일정 스냅샷 개수 이상 증가에도 표준편차의 개선은 미미함을 알 수 있다. 그림 4는 $K=20, 100$ 인 경우 시뮬레이션을 통해 표준편차와 위상차오차를 구하였다. 시뮬레이션 횟수는 1000 이다. 고정밀 방탐정확도를 갖는 경우 위상차오차를 최소화하기 위해서는 스냅샷 개수를 최대화 해야 한다. 예를 들자면, 보정에 의한 위상차오차를 6[deg] 이내로 하고자 한다면, 스냅샷의 개수가 100개 필요하다. 또한, 샘플링속도 20[nsec]인 경우 펄스폭은 최소 2[usec] 이상이어야 한다.



(a) $K=20$



(b) $K=100$

그림 4. 보정 시뮬레이션 결과

III. 결론

본 논문은 위상비교 방탐탐지를 수행하는 인터페로미터 방탐탐지장치의 위상 보정 신호에 대해 분석하였다. 보정 시 사용되는 펄스신호의 펄스폭은 방탐탐지기의 허용 가능한 위상차오차, 방사 및 채널보정 SNR 및 스냅샷 개수를 선정하여 구할 수 있음을 보였다.

참 고 문 헌

- [1] R. L. Goodwin, Ambiguity-resistant three- and four-channel interferometers Naval Research Lab., Washington, DC, USA, No. NRL-8005, 1976.
- [2] D. C. Jenn, P. E. Pace, T. N. Hatzithanasiou, and R. Vitale, "High resolution wideband direction finding arrays based on optimum symmetrical number system encoding", Electron. Lett., vol. 34, no. 11, pp.1062 -1064, 1998 .
- [3] P. E. Pace, D. Wickersham, D. C. Jenn, and N. S. York, "High-resolution phase sampled interferometry using symmetrical number systems," IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 49, no. 10, pp. 1411-1423, Oct. 2001.
- [4] "Electronic Warfare and Radar Systems Engineering Handbook," NAVAIR Electronic Warfare/Combat Systems, 2012.
- [5] T. Tuncer and B. Friedlander, Classical and Modern Direction-of-Arrival Estimation, Academic Press, 2009.
- [6] E. Jacobs and E. W. Ralston "Ambiguity Resolution in Interferometry," IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst., vol. 17, no. 6, pp.766 -780, 1981.