

전자전장비의 방향탐지 오차 개선에 관한 연구

최재인^{*}, 김승우¹, 진희철¹, 최우혁²
¹국방기술품질원, ²LIGNex1원

A Study on the Improvement of Direction Error for Electronic Warfare System

Jae-In Choi^{*}, Seung-Woo Kim¹, Hui-Cheol Chin¹, Woo-Hyuk Choi²

¹Defense Agency for Technology and Quality

²LIGNex1 Co.,Ltd

요약 방향탐지장치는 전자파를 이용하는 레이더, 유도무기, 통신장비 등의 방향을 찾아내기 위한 장치로 전자전체계를 구성하는 전자지원 장비의 핵심장치이다. 함정에서도 전자지원 장비를 사용하고 있으며 적의 위협에 대한 위치를 파악하는 역할을 수행하기 때문에 함정의 생존에 있어 매우 중요한 역할을 한다. 하지만 야전 배치되어 운영 중인 함정의 방향탐지장치에서 200 ns의 짧은 펄스폭 신호에 대해 큰 방위 오차가 발생하는 현상을 확인하였다. 따라서 본 논문에서는 이와 같은 현상을 해결하기 위한 개선방안을 제시하였다. 본 논문은 진폭비교 방식, 위상비교 방식, 진폭-위상비교 복합방식 등의 방향탐지 방식 및 함정에서 사용되는 방향탐지장치에 대해서 간략히 고찰한 후, 방위 오차가 발생하는 원인에 대해서 분석하였다. 이를 바탕으로 방향탐지 프로세스를 수정하는 개선방안을 제시하였고 개선방안의 성능을 확인하기 위해 운영 중인 함정에 개선방안을 적용하여 방위 측정 시험을 수행하였다. 함정에서의 시험 결과 200 ns의 짧은 펄스폭 신호에서 발생하던 방위 오차가 크게 개선되는 것을 확인할 수 있었다.

Abstract The direction finder is an important device for an electronic support(ES) system because it is responsible for finding the direction of an emitter. The higher the accuracy of the direction finding, the higher the vitality of the weapon system with the ES system. Recently, the direction error occurred in the operating shipboard ES system when direction finding was performed for the signal with a pulse width of 200 ns. Therefore, this paper proposes, an improved method to reduce the direction error for shipboard ES systems. The proposed method was applied to the operating shipboard ES system and a field test was performed. The results of the field test showed that the direction error was reduced significantly for the signal with a pulse width of 200 ns.

Keywords : Amplitude-Comparison, Amplitude-Phase Hybrid, Direction finding(DF), Electronic support(ES), Phase-Comparison

1. 서론

방향탐지(DF : Direction Finding)장치는 전자전체계(Electronic Warfare System)를 구성하는 전자지원 장비의 핵심장치로서 전자파를 이용하여 표적을 추적하는 레이더 및 유도무기나 전자파를 이용한 통신장비 등의 방향을 찾아내기 위한 장치이다[1-5].

방향탐지 방식에는 회전 방식[6], 진폭비교 방식[7], 위상비교 방식[8], 진폭-위상비교 복합방식[9] 등이 있으며 용도, 목적 및 설치구조물에 따라 각기 다른 방식들이 사용되고 있다. 회전 방식은 방향탐지 방식 중 가장 고전적인 방식으로 회전하면서 각도 정보를 제공하는 적당한 포지셔너 위에 빔폭이 좁은 고이득 접시 안테나를 설치하고 포지셔너를 회전시키면서 신호를 포착하고 신호가

^{*}Corresponding Author : Jae-In Choi(Defense Agency for Technology and Quality)

Tel: +82-54-469-6528 email: cji1206@dtaq.re.kr

Received March 28, 2017

Revised April 26, 2017

Accepted June 9, 2017

Published June 30, 2017

포착되면 포지셔너의 각도를 읽음으로써 신호원의 방향을 찾는 방식이다. 이 방식은 동작 원리가 아주 간단하고, 비용이 적게 들며, 이렇다 할 방향탐지 개념이 잡히지 않았던 초기에 주로 사용하던 방식이다. 진폭비교 방식은 전방향으로 배치된 각각의 안테나로 수신되는 신호의 진폭을 비교하여 진폭차에 해당되는 방위값을 찾아내는 방식으로 현재까지 사용되어온 방향탐지 방식 중에서 가장 보편적이고 쉽게 방위정보를 획득할 수 있는 대표적인 방식이다. 위상비교 방식은 흔히 인터페로미터(interferometer) 기법으로 불리며 두 안테나간의 입사신호의 위상차를 측정하여 방향을 찾아내는 방식이다. 진폭-위상비교 복합방식은 진폭비교, 위상비교 각 방식이 가지고 있는 단점을 보완하고 장점을 활용하기 위해서 두 방식을 모두 사용하는 복합적인 방식이다.

함정용 전자전장비의 방향탐지장치(direction finder)에는 국내에서 개발된 자체 동조형 진폭-위상비교 복합방식을 사용한다[10]. 자체 동조형 진폭-위상비교 복합방식은 입사된 신호만을 이용하여 위상비교 방식이 순시 방향탐지가 가능하도록 개발된 방식이다. 하지만 함정에서 운영 중인 방향탐지장치의 방사시험 중 200ns의 짧은 펄스폭을 갖는 수신 신호에 대한 방위 측정 결과 큰 방위 오차가 발생하는 것을 확인하였다. 따라서 본 논문에서는 200ns 펄스폭의 신호에서 발생하는 방위 오차의 원인을 분석하고, 방위 오차를 줄일 수 있는 방안을 제시하였다. 그리고 제안된 방안의 성능을 야전시험을 통해서 확인하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 서론에 이어 제 2장에서는 방향탐지 기술에 대해 먼저 분석한다. 이어서 제 3장에서는 방향탐지장치의 방위 오차 발생 원인에 대해 분석하여 개선안을 제시한다. 제 4장에서는 야전시험을 통해 성능을 확인하고 마지막으로 제 5장에서 결론을 맺는다.

2. 방향탐지 기술 분석

2.1 진폭비교 방향탐지

진폭비교 방향탐지 방식의 원리는 전방향으로 배치된 각각의 안테나로 수신되는 신호의 진폭을 비교하여 진폭차에 해당되는 방위값을 찾아내는 것이다. 즉, 전방향으로 배치된 안테나는 고유의 빔패턴을 갖고 있기 때문에,

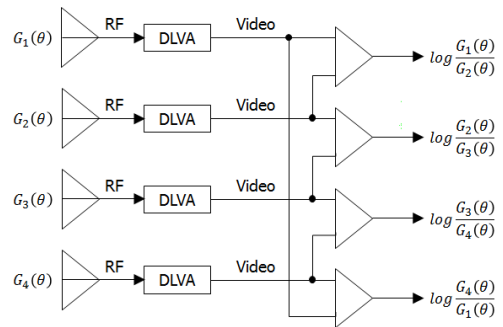


Fig. 1. Block diagram of an amplitude comparison DF system

신호의 입사방향이 바뀌면 진폭차도 바뀌게 되므로 진폭차를 측정하면 방향 정보를 획득할 수 있다.

4개의 안테나를 사용하는 전형적인 형태의 진폭비교 방향탐지 방식의 구성도는 Fig. 1과 같다. Fig. 1과 같은 구조에서 신호가 인접한 안테나 1과 2로 수신되는 경우 신호원이 안테나 1과 2로 수신되는 임의의 각도가 θ_1 라고 가정하면 두 안테나의 수신 패턴은 Fig. 2와 같은 관계로 나타난다.

이때 θ_1 에서 나타나는 두 안테나간의 진폭차는 $\log[G_1(\theta_1)/G_2(\theta_2)]$ 값으로 측정되므로 진폭차를 측정하면 입사신호의 방향을 찾을 수 있다.

2.2 위상비교 방향탐지

위상비교 방향탐지 방식은 Fig. 3과 같이 두 안테나에 입사되는 고주파 신호의 위상차를 이용하여 전파의 입사방위를 측정하는 방식이다. 임의의 공간의 무선기기에서 전파가 발생되면 전파원의 방향에 따라 두 안테나에 도착하는 시간이 다르고, 이로 인해서 두 안테나에 도달하는 신호에는 위상차가 발생하는데 이러한 위상차는 두

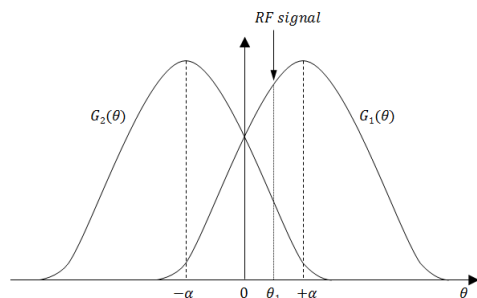


Fig. 2. The principle of an amplitude comparison DF technology

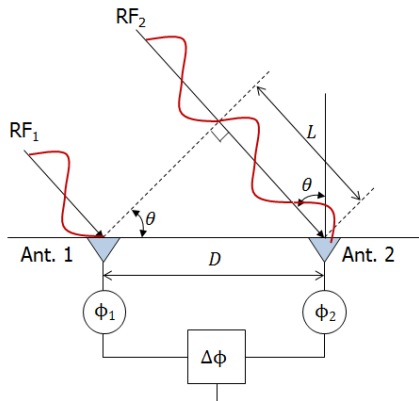


Fig. 3. The principle of a phase comparison DF technology

안테나의 설치간격과 입사되는 전파의 주파수 함수로 표현되므로 입사 전파의 방향을 계산할 수 있다.

Fig. 3에서 고각이 0° 이고 방위각이 θ인 지점에서 RF 신호가 입사될 경우 안테나 2에 도달하는 신호는 안테나 1에 도달하는 신호를 기준으로 길이 L만큼의 지연이 생긴다. 길이 L은 두 안테나의 간격 D의 함수이므로 두 안테나에 도달하는 신호의 위상차는 식 (1)과 같다.

$$\phi = \phi_1 - \phi_2 = k \cdot L = \frac{2\pi}{\lambda} D \cdot \sin\theta \quad (1)$$

여기에서, ϕ_1 은 1번 안테나에 수신된 신호의 위상, ϕ_2 는 2번 안테나에 수신된 신호의 위상, ϕ 는 두 안테나에 도달된 신호의 위상차, k 는 파수(wave number), θ 는 전파의 도래각도, D 는 두 안테나의 설치간격이다. 방위각 오차를 구하기 위해 식 (1)을 미분을 하면 식(2)와 같이 유도할 수 있다.

$$d\phi = \frac{2\pi}{\lambda} D \cdot \cos\theta d\theta \quad (2)$$

식 (2)에서 방위각 오차 $d\theta$ 를 θ_e 로 표현하고, 위상측정 RMS 오차 $d\phi$ 는 ϕ_e 로 표현하면 식 (3)과 같이 표현된다.

$$\theta_e = \frac{\lambda}{2\pi D \cdot \cos\theta} \phi_e \quad (3)$$

식 (3)에서 D 값이 커지면 방위각 오차가 줄어들게 되

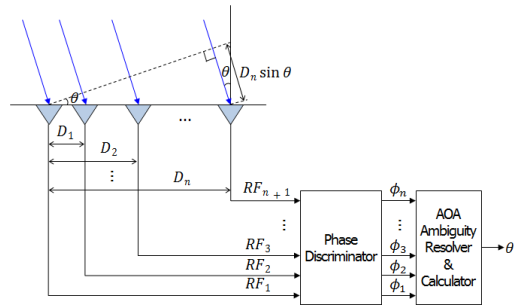


Fig. 4. Block diagram of a multi-baseline phase comparison DF system

로 방위각 오차를 높이기 위해서는 안테나 설치간격 D 를 길게 해야 한다. 하지만 D 값이 입사신호의 반 파장보다 길어지면 다른 방향에서 들어온 신호들이 동일한 위상차를 발생시키는 경우가 생긴다. 즉, 동일한 위상차를 갖는 방위각이 2개 이상 존재하는 방향모호성이 발생하게 된다.

위상비교 방식에서 방향모호성을 제거하기 위해서 Fig. 4와 같이 기준선(즉, 안테나의 설치 간격)을 여러 개로 하여 모호성을 제거하는 다중 기준선(multi-baseline) 방식을 사용할 수 있다[7, 11].

Fig. 4와 같은 다중 기준선 위상 비교 방향탐지장치인 경우에는 먼저 기준선의 길이가 가장 긴 D_n 기준선의 두 안테나의 위상을 비교하여 도래 방위각(AOA : Angle Of Arrival)을 측정하고, D_1, D_2 기준선의 두 안테나의 위상을 이용하여 방위각의 모호성을 해결한다. 각 기준선에 따른 두 안테나 사이의 위상차는 식 (4)와 같다.

$$\phi_n = \frac{2\pi}{\lambda} D_n \cdot \sin\theta \quad (4)$$

하지만 다중 기준선 방식은 장비 구성이 복잡하고 안테나 및 수신 채널수를 많이 요구하기 때문에 위상비교 방식에 모호성 제거를 위해 진폭비교 방위를 이용하거나 시간차(TDOA : Time Difference of Arrival) 방위를 이용하는 방식 등이 연구되었다[12].

2.3 진폭-위상비교 복합방식

위상비교 탐지방식은 해상도가 높아 방위 정확도는 높으나 그에 대한 단점으로 모호성이 발생하며 모호성이

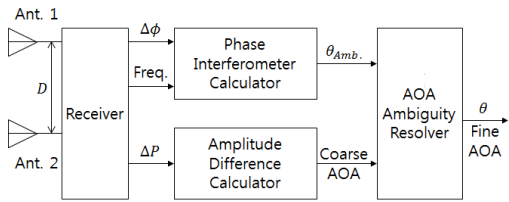


Fig. 5. Block diagram of a Hybrid DF system

적절히 해결되지 않으면 큰 방위 오차를 유발시킨다. 이러한 모호성 문제를 진폭비교 방위를 활용하여 해결하고자 하는 것이 진폭-위상비교 복합방식의 목적이다. 미국의 Argo System사가 개발한 APECS-II에서 이와 같은 진폭-위상비교 복합 방식을 사용하고 있으며 일반적인 구성도는 Fig. 5와 같다. 정상적인 운용 시 진폭방향탐지만을 운용하고 정밀 방위가 필요시 측정된 주파수를 이용하여 위상비교 방향탐지장치를 연동한 후 정밀방위를 도출하는 방식이어서 순시방향탐지가 불가능하다는 단점이 있다. 즉, 통상의 위상비교 방향탐지방식이 수퍼헷 방식으로 구성되어 주파수 측정 후 수퍼헷 수신기를 동조시키므로 순시방향탐지가 불가능하다. 그러나 국내 개발된 원형배열 진폭-위상비교 복합형은 단일 기준선 2채널 위상비교 방식이 수퍼헷 방식의 특별한 형태인 호모다인형으로 구성되어 주파수 측정없이 입사된 신호만을 이용하여 방위 측정용 위상차를 도출하는 자체 동조형이기 때문에 순시방향탐지가 가능하다.

3. 함정용 전자전장비 방위 오차 개선

3.1 방향탐지장치

함정용 전자전장비의 방향탐지장치에서는 국내 개발된 자체동조형 원형배열 진폭-위상비교 복합 방식을 사용하고 있다. 함정용 전자전장비에서 사용되는 진폭-위상비교 복합방식은 일반적인 진폭-위상비교 복합방식과는 달리 LO(Local oscillator)를 동조시켜 주는 제어신호가 사용되지 않고 수신된 신호 자체를 이용하여 동조신호를 발생시키는 방법을 사용한다. 운용상에서 위상비교 탐지 방식을 사용하고 진폭비교 탐지 방식을 통해 얻어진 구간방위를 통해서 모호성을 제거해 정밀한 방위를 획득한다.

Fig. 6은 함상 좌·우현에 설치된 방향탐지장치의 안

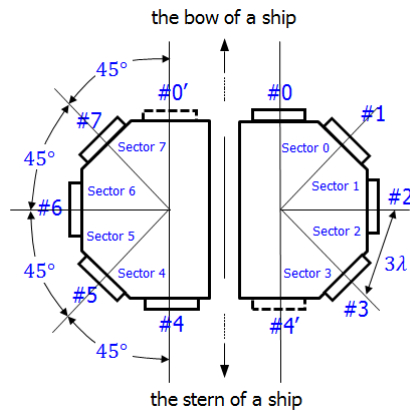


Fig. 6. Circular array antenna configuration of the direction finder

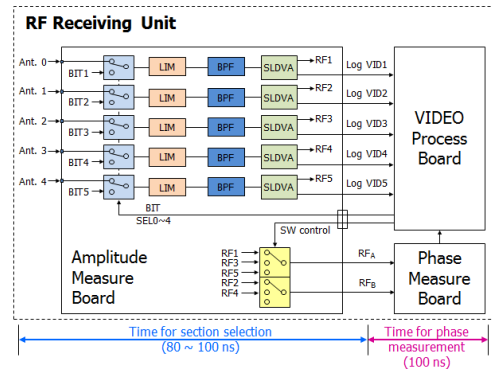


Fig. 7. Block diagram of RF receiving unit for the direction finder

테나 배열 구조를 나타내며, Fig. 7은 위상 측정을 위한 RF 수신부의 구성도를 나타낸다. 일반적으로 전체 위상을 측정하기 위해서는 섹터별로 위상을 측정할 수 있는 회로가 각각 필요하다. 따라서 방향탐지장치의 한쪽 현을 고려했을 때 4개 섹터의 위상을 측정할 수 있는 4개의 회로가 필요하기 때문에 방향탐지장치의 크기가 커지고 비용이 증가하는 문제가 발생할 수 있다. 함정용 전자전장비에서는 이와 같은 단점을 보완하기 위해서 다음과 같은 설계방식을 적용했다.

- (1) 진폭을 측정해서 어느 섹터로 신호가 들어오는지 확인하고 비디오처리판(Video Process Board)에서 진폭과주파판(Amplitude Measure Board)의 핀 스위치를 제어하여 위상과주파판(Phase Measure Board)으로 신호를 보낼 섹터를 지정한다.

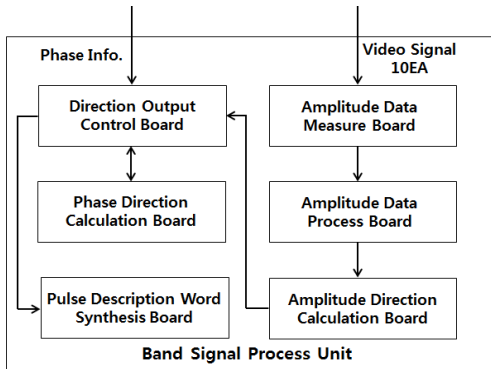


Fig. 8. Block diagram of band signal process unit

(2) 위상고주파판에서 1개의 위상 측정 회로를 이용하여 위상을 측정함으로써 1개의 위상 측정 회로로 한쪽 현 전체 섹터의 위상을 측정할 수 있게 된다.

이때 안테나, 진폭고주파판, 비디오처리판을 거치면서 신호수신에서 위상 측정을 위한 섹터 선정까지 소요되는 시간은 약 80 ~ 100ns의 시간이 필요하다. 또한 선정된 섹터의 위상을 측정하기 위해서는 위상고주파판에 신호가 입력된 후 약 100ns의 신호 유지가 요구된다. 따라서 방향탐지장치는 수신되는 신호의 펄스폭이 100ns 이상인 신호에 대해서 방향탐지가 가능하며, 수신되는 신호의 펄스폭 180 ~ 200ns 이상인 경우에 위상방위를 출력할 수 있게 된다.

RF 수신부를 통해 획득한 위상 데이터 및 비디오 신호는 Fig. 8과 같은 대역 신호 처리부(Band Signal Process Unit)로 입력되어 처리된다. 진폭정보측정판(Amplitude Data Measure Board), 진폭정보처리판(Amplitude Data Process Board), 진폭방위연산판(Amplitude Direction Calculation Board)을 거쳐 진폭구간방위가 계산된다. 위상방위연산판(Phase Direction Calculation Board)은 위상 데이터를 이용해 위상방위를 계산하고, 위상방위와 진폭구간방위를 선별하여 상대방위를 출력한다. 방위출력제어판(Direction Output Control Board)은 함수데이터와 상대방위를 결합하여 진방위를 출력하고 신호제원합성판(Pulse Description Word Synthesis Board)은 진방위와 신호의 정보를 이용하여 신호제원(PDW : Pulse Description Word)을 출력한다.

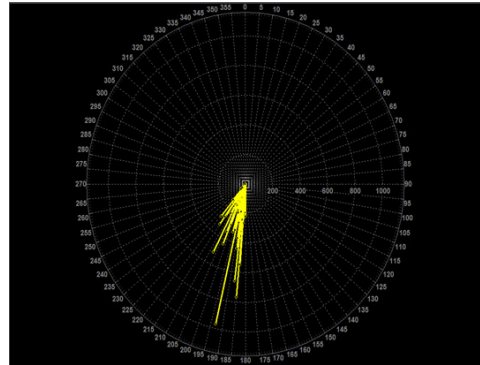


Fig. 9. Direction when a pulse width is 200ns

3.2 방위 오차 발생 현상 및 원인분석

야전 운영 중인 함정의 방사 시험에서 200ns 펄스폭 신호에 대해서 Fig. 9와 같이 불안정한 방위가 출력되는 현상을 확인하였다.

이와 같은 현상에 대한 원인을 분석하기 위해서 신호 모의기를 사용하여 진폭 및 위상방위의 출력을 점검하였다. GPS(Global Positioning System) 기준 203°에서 신호모의기로 100ns, 200ns, 300ns, 500ns, 1μs 펄스폭의 신호를 발생시켜 진폭방위를 측정한 결과 출력되는 방위가 매우 안정적으로 나오는 것을 확인하였다. 위상방위 측정을 위해서는 위상방위 측정이 불가능한 100ns 펄스폭의 신호를 제외한 200ns, 300ns, 500ns, 1μs 펄스폭의 신호를 발생시켜 위상방위를 확인하였다. 300ns, 500ns, 1μs 펄스폭의 신호에서는 방위가 매우 안정적으로 출력되었지만, 200ns 펄스폭의 신호에서는 Fig. 10과 같이 매우 불안정한 방위가 출력되어 큰 방위 오차가 발생하는 것을 확인하였다. 또한 위상방위 출력이 가능하지 않는 조건에서 강제적으로 위

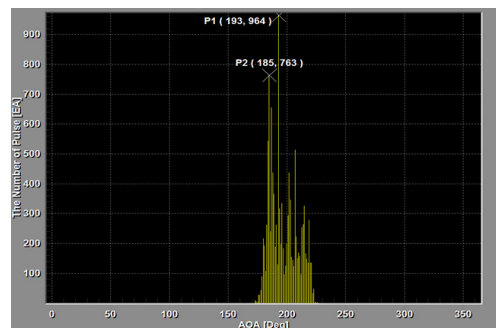


Fig. 10. Direction histogram when a pulse width is 200ns

상방위 출력을 실행했을 경우 동일한 현상이 재현되는 것을 확인할 수 있었다.

이를 통해서 현재 설정되어 있는 위상방위 출력 조건에서 위상방위 출력을 위해 사용되는 위상 신호가 유효하지 못해 위상방위 출력에 문제가 발생하는 것으로 판단할 수 있다. 현재 위상방위 출력 조건은 위상방위연산판 EPLD(Erasable Programmable Logic Device)에 정의되어 있으며 그 값은 180ns (미만 : 진폭방위 출력, 이상 : 위상방위 출력)로 설정되어 있다. 하지만 200ns 펄스폭의 신호에 대해서 실제 펄드에서 수신되는 신호의 경우 노이즈 등의 영향으로 신호 안정화가 되지 않아 위상방위를 출력하는 180ns 조건에서는 유효하지 않은 위상 신호를 갖게 되어 큰 방위 오차가 발생하는 것으로 판단할 수 있다.

3.3 방위 오차 개선 방안

앞 절에서 설명한 문제점을 개선하기 위해서는 위상방위를 출력하기 위한 조건을 조정할 필요가 있다. 위상방위의 출력 조건을 최소 유지 시간외에 안정화를 위한 시간을 고려하여 기존의 180ns 에서 $180\text{ns} + \alpha$ 로 변경하여 $180\text{ns} + \alpha$ 미만인 경우는 진폭방위가 출력되도록 하고 $180\text{ns} + \alpha$ 이상의 경우에 대해서는 위상방위가 출력되도록 수정할 필요가 있다. 이를 위해서는 위상방위연산판의 EPLD 로직 프로그램을 수정해야한다. 위상방위연산판은 RF 수신부에서 측정된 위상 신호를 처리하여 위상방위를 계산하고, 진폭방위와 위상방위를 선별하여 상대방위를 출력하는 기능을 한다.

EPLD 로직 프로그램에서 진폭방위와 위상방위를 선별하는 조건만을 간략히 표현하면 Fig. 11과 같이 나타낼 수 있다. RF 수신부에서 측정된 유효 위상 신호

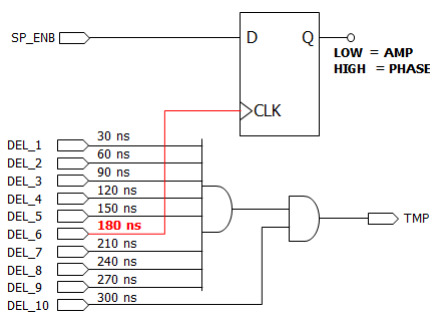


Fig. 11. Simple EPLD logic program (original)

(SP_ENB)가 입력(D)으로 인가되고 클럭(CLK)이 인가되는 시점에 따라 진폭방위 또는 위상방위를 출력하도록 설계되어있다. 즉, CLK가 인가되지 않은 경우 진폭방위가 출력(output = low)되고 CLK가 인가되는 경우 위상방위가 출력(output = high) 된다. 따라서 CLK로 인가되는 신호의 지연시간에 따라 위상방위의 출력의 조건이 달라진다. 기존의 EPLD 로직 프로그램에서 위상방위 출력 조건은 Fig. 11에서처럼 180ns 로 설정되어 있다. 즉, 180ns 이후의 위상 신호를 처리하여 위상방위를 출력하도록 되어있다. 하지만 진폭방위는 신호 처리장치를 거치면서 200ns 에서 출력된다. 이는 신호처리장치가 50ns 마다 데이터를 전신하도록 설계되어 있기 때문이다.

위상방위 출력 조건을 새롭게 정의하기 위해서는 EPLD 로직 프로그램의 위상방위 출력 조건을 180ns 에서 순차적으로 증가시켜 가면서 출력되는 위상방위가 매우 안정적인 값으로 출력되는 새로운 조건을 찾아야한다. 이를 위해서 먼저 EPLD 로직 프로그램의 위상방위 출력 조건을 기존의 180ns 에서 210ns 로 변경하여 출

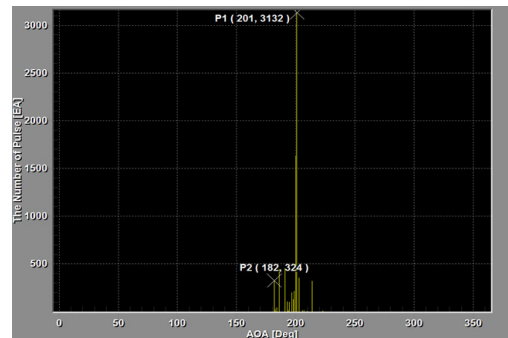


Fig. 12. Direction histogram when CLK is set to 210ns in EPLD

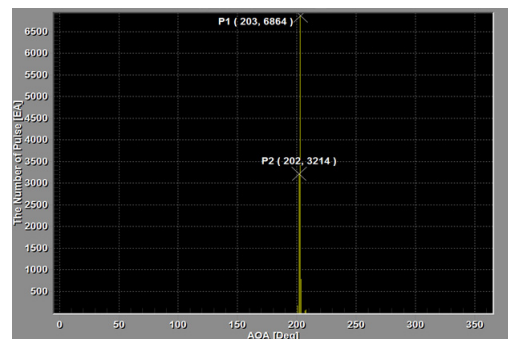


Fig. 13. Direction histogram when CLK is set to 240ns in EPLD

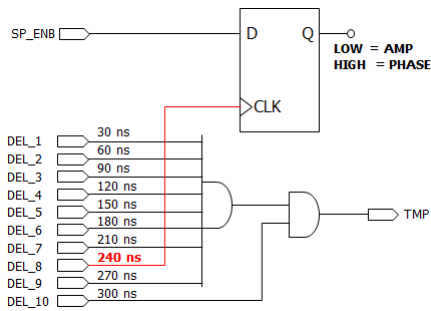


Fig. 14. Modified EPLD logic program

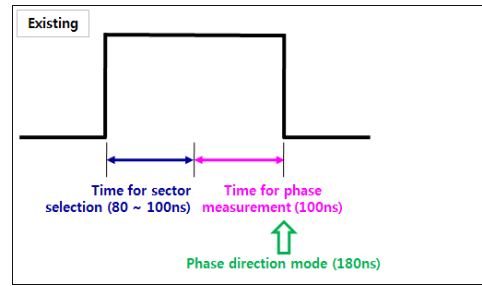
력되는 방위 히스토그램을 확인해보면 Fig. 12과 같다. 180ns일 경우에 비해 방위 편차가 현저히 줄었으나 완전히 안정화 되지는 못한 것을 확인할 수 있다. EPLD 로직 프로그램의 위상방위 출력 조건을 240ns로 증가시켜 보면 Fig. 13과 같이 안정화된 방위 히스토그램을 획득할 수 있다. 따라서 EPLD 로직 프로그램의 위상방위 출력 조건을 Fig. 14와 같이 240ns로 수정하면 200ns 펄스폭 신호에서 발생하는 방위 오차를 줄일 수 있다.

위상방위 출력 조건의 변경 전후를 정리해보면 Fig. 15와 같이 나타낼 수 있다. Fig. 15의 (a)는 위상방위 출력 기준을 변경하기 전으로 위상측정 최소 유지시간이 만족되면 바로 위상방위를 출력하므로 신호의 끝단에서 위상이 측정되어 유효 위상 값이 불안정할 수 있으므로 출력되는 위상방위 오차가 커질 수 있다. 반면에 (b)는 위상방위 출력 기준을 240ns로 변경한 경우로 최소 유지시간이 신호의 끝단이 아닌 신호레벨의 변화가 없는 안정화 구간에 있으므로, 출력되는 위상방위 정확도가 상대적으로 높아진다.

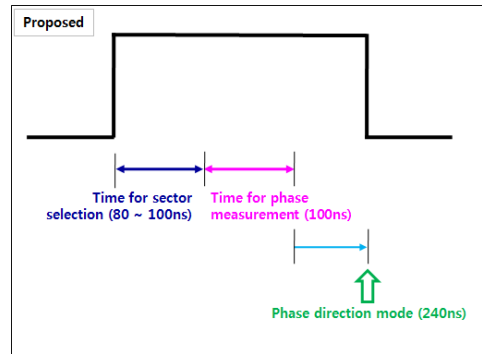
결론적으로는 위상방위를 출력하는 기준이 180ns에서 방위 오차가 발생하지 않는 240ns로 변경되어 240ns 미만인 신호에 대해서는 진폭방위를 출력하고 240ns 이상인 신호인 경우는 위상방위가 출력되도록 수정하였다.

4. 방위 오차 개선방안의 성능 분석

개선된 방안의 성능을 확인하기 위해서 방위 오차가 발생하는 타 함정에 대해서 위상방위연산판 EPLD 수정



(a) Existing method



(b) Proposed method

Fig. 15. Comparison of the existing method and proposed method

본을 적용하여 필드에서 시험을 진행하였다.

시험은 200ns 펄스폭 신호에 대해 GPS 기준 203° 방사 조건에서 방위를 측정하였고 Table 1과 같은 결과를 얻었다. 구체적인 수치는 보안상의 이유로 제시하지 않았으며 상대적인 비교 값으로 제시하였다. 개선 전의 방안에서는 신호의 펄스폭이 200ns인 경우에 출력되는 방위 오차가 α° rms로 측정되었지만 개선된 방안에서는 $(\alpha - 10.5)^\circ$ rms로 측정되어 10.5° rms의 방위 오차가 줄어들었다. 또한 GPS 기준 165° 방사 조건에서 신호의 펄스폭에 따라 출력 방위를 측정하였고 그 결과는 Fig. 16과 같다. 200ns 펄스폭 신호에 대한 측정 방위를 보면 개선 전 방안의 평균 방위는 기준 방위 대비 6°의 오차를 가지는 반면에 개선된 방안에서는 평균 방위가 약 165°로 측정되어 기준 방위 대비 오차가 거의 발생하지 않는 것으로 확인되었다.

Table 1. Direction error of the existing and proposed method

Method	Direction error(rms)
Existing method	α°
Proposed method	$(\alpha - 10.5)^\circ$

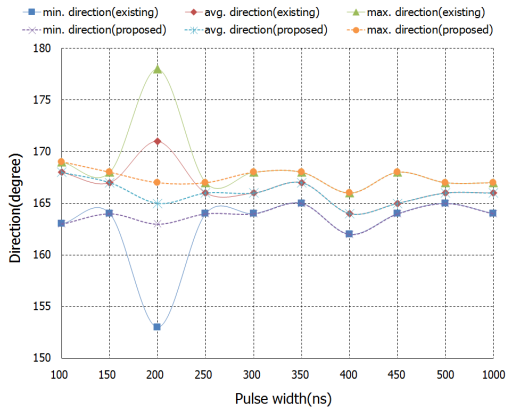


Fig. 16. Direction according to pulse width

5. 결론

본 논문에서는 전자전장비의 방위 오차 발생 현상을 개선하기 위한 방안을 제시하였다. 200ns 펄스폭 신호에 대해서 큰 방위 오차가 발생하는 원인에 대해 분석하였고, 이를 통해 200ns 펄스폭 신호의 경우 위상방위를 출력할 경우 위상방위 출력을 위한 최소 시간뿐만 아니라 외부 노이즈 등에 의한 안정화 시간이 필요함을 확인할 수 있었다. 따라서 방향탐지장치의 위상방위 출력 조건을 180ns에서 240ns로 변경하는 개선방안을 제시하였고, 함정에서의 방사 시험을 통해서 개선방안의 성능을 확인하였다. 함정에서의 방사 시험 결과 200ns 펄스폭 신호의 경우에 위상방위가 아닌 진폭방위로 출력되어 방위 오차가 이전에 비해 현저히 줄어드는 것을 확인할 수 있었다.

References

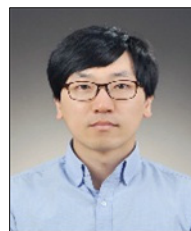
[1] Cotter, C. H, *The Principles and Practice of Radio Direction Finding*, Pitman, 1961.
 [2] Gething, P. J. D., *Radio Direction Finding and Superresolution (2nd Edition)*, Institution of Electrical Engineers, 1991.

DOI: <https://doi.org/10.1049/PBEW033E>

[3] Lo, Y. T. and S. W. Lee, *Antenna Handbook: Theory, Applications, and Design*, Van Norstrand Reinhold, 1988.
 DOI: <https://doi.org/10.1007/978-1-4615-6459-1>
 [4] Watson, D. W., *Radio Direction Finding*, Van Norstrand Reinhold, 1971.
 [5] J. M. Won, "The Performance Analysis of Burst Error Elimination CVDF Algorithm Using Switching Remote Direction Finding Antenna in VHF", *Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology*, vol. 10, no. 3, pp. 129-138, 2007.
 [6] Earp, C. W. and Copper, D. L., "The Practical Evolution of the Commutated Aerial Direction Finding System", *Proc. of the IEE - part B: Radio and Electronic Engineering*, vol. 105, no. 9, pp. 317~332, March 1958.
 DOI: <https://doi.org/10.1049/pi-b-1.1958.0047>
 [7] Stephen E. Lipsky, *Microwave Passive Direction Finding*, John Wiley & Sons, 1987.
 [8] Jacobs, E. and Ralston, E. W., "Ambiguity Resolution in Interferometry", *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic System*, vol. AES-17, no. 6, pp. 766-780, 1981.
 DOI: <https://doi.org/10.1109/TAES.1981.309127>
 [9] Hemdon H. Jenkins, *Small-Aperture Radio Direction-Finding*, Artech House Inc, 1991.
 [10] Joong-Soo Lim, Chul-Gu Jung, and Gyoo-Soo Chae, "A Technology of Microwave Direction Finding with Circular Array Combination Method", *Journal of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 16, no. 6, pp. 549-555, 2005.
 [11] E. Boch, M. Stapleton, "Direction-Finding Performance of a Ka-Band ESM Receiver", *IEEE Microwave and Guided Wave Letters*, vol. 4, no. 1, pp. 9-10, 1994.
 DOI: <https://doi.org/10.1109/75.267678>
 [12] J. S. Lim, "An Accurate Direction Finding Technology Using a Phase Comparison and Time Difference of Arrival", *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, vol. 12, no. 11, pp. 5208-5213, 2011.
 DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2011.12.11.5208>

최재인(Jae-In Choi)

[종신회원]



- 2006년 2월 : 경북대학교 전기전자컴퓨터학부 (학사)
- 2008년 2월 : 경북대학교 대학원 전자공학과 (석사)
- 2015년 2월 : 경북대학교 대학원 전자공학과 (박사)
- 2015년 9월 ~ 현재 : 국방기술평결원 선임연구원

<관심분야>
 전자전, 정보통신

김 승 우(Seung-Woo Kim)

[정회원]



- 2003년 2월 : 부산대학교 전자공학 (전자공학석사)
- 2013년 8월 : 부산대학교 전자공학 (전자공학박사)
- 2003년 4월 ~ 현재 : 국방기술품질원 선임연구원

<관심분야>

안테나, 전자전장비, 신뢰성공학

진 희 철(Hui-Cheol Chin)

[정회원]



- 2008년 2월 : 부산대학교 전자전기통신공학전공 (학사)
- 2014년 2월 : 포항공과대학교 전자전기공학부 (전자장 및 초고주파 박사)
- 2014년 8월 ~ 현재 : 국방기술품질원 선임연구원

<관심분야>

전자파 수치해석, RCS, EMP, 안테나, 전자전장비

최 우 혁(Woo-Hyuk Choi)

[정회원]



- 2007년 2월 : 경북대학교 전자전기공학부 (학사)
- 2006년 12월 ~ 현재 : LIG넥스원 선임연구원

<관심분야>

방향탐지기술, 광대역 신호 수신기 설계 기술