

지상용 전자전장비의 방향 탐지 프로세스 개선을 통한 정확도 향상에 관한 연구

진희철^{*}, 김승우¹, 최재인¹, 이재민²
¹국방기술품질원, ²LIGNex1 Co.,Ltd

A Study on the Accuracy Enhancement Using the Direction Finding Process Improvement of Ground-Based Electronic Warfare System

Huicheol Chin^{*}, Seung-Woo Kim¹, Jae-In Choi¹, Jae-Min Lee²

¹Defense Agency for Technology and Quality

²LIGNex1 Co.,Ltd

요 약 현대전은 점차 네트워크 중심전으로 변하고 있으며, 이의 중심인 정보·전자전 역시 지속적으로 발전하고 있다. 현대전에서 전자전은 전자파 사용과 관련된 군사 활동을 총망라하는 것으로 적의 전파 수집, 감청, 정보 분석 및 전파를 이용한 대응공격으로 대변된다. 그중 적에 대한 정보를 획득하기 위한 전파 수집 기능 중 방향 탐지 기능은 적의 방향으로부터 방사되는 신호를 수집하여 적의 방향을 계산하는 것으로 전자전 장비의 핵심 기능 중 하나이다. 본 논문은 방향 탐지 장치에 적용되는 Watson-Watt 알고리즘 및 CVDF 알고리즘에 대해 고찰한 후, 해당 알고리즘이 적용된 장치에 대해 전자파 환경이 양호한 지역에서의 방향 탐지 정확도와 실 운용 환경에서의 방향 탐지 정확도의 차이를 분석 하였다. 실 환경에서는 주변 지형지물에 의한 반사파가 방향 탐지 정확도 감소에 영향을 끼침을 확인하여 이를 개선하기 위한 개선된 프로세스를 제안하였으며, 개선된 프로세스를 통해 방향 탐지 정확도가 기존 운용 장비에 적용된 프로세스 대비 최소 1.24° 이상 개선됨을 확인 하였다.

Abstract Modern warfare is gradually changing into a network war, and information electronic warfare is also progressing. In modern war, electronic warfare is all military activity concerned with electromagnetic field use, such as signal collecting, communication monitoring, information analysis, and electronic attack. The one key function of signal collecting for enemy signal analysis, direction finding, collects the signal radiated from enemy area and then calculates the enemy direction. This paper examined the Watson-Watt algorithm for an amplitude direction finding system and CVDF algorithm for phase direction finding system and analyzed the difference in the direction finding accuracy between in the clean electromagnetic field environment and in the real operating field environment of electronic warfare system. In the real field, the direction finding accuracy was affected by the reflected field from the surrounding obstacles. Therefore, this paper proposes an enhanced direction finding process for reducing the effect. The result of direction finding by applying the proposed process was enhanced above 1.24° compared to the result for the existing process.

Keywords : accuracy, CVDF, direction finding (DF), electronic warfare system, Watson-Watt

1. 서 론

최근 현대전의 전투양상은 많은 전투병 투입 및 재래 식 무기의 물량 공세에서 벗어나 전투병의 투입 최소화

및 복잡한 전자장비의 사용이 확대되는 첨단 전자전 (electronic warfare : EW)화 되고 있다. 이러한 현대전 양상에 대비하여 한국 역시 적에 대한 전파 감시 및 방 해가 가능한 무기체계 전력화에 이르렀다. 현대전에서

^{*}Corresponding Author : Huicheol Chin(Defense Agency for Technology and Quality)

Tel: +82-54-469-6524 email: huicheolchin@dtaq.re.kr

Received March 29, 2017

Revised (1st April 14, 2017, 2nd April 26, 2017)

Accepted June 9, 2017

Published June 30, 2017

전자전은 전자파 사용과 관련된 군사활동을 총망라하는 것으로써 적의 전파 수집/감청, 정보분석 및 전파를 이용한 대응공격으로 대변된다[1]. 그중 적에 대한 정보를 획득하기 위해 적의 전파 신호를 수집하여 주파수 정보, 신호 세기 등을 이용하여 전파가 발생하는 방향을 찾는 것이 핵심 기술로 방향 탐지(direction finding : DF) 기술이라고 한다. 이 기술은 미지의 방향에서 도래한 신호의 입사 방향을 추정하는 기술로 1차 세계대전 이후 군사적인 목적을 위해 사용되어 왔으며, 최근에는 주파수 자원 관리 등을 위해 전파관리국이나 스마트 안테나의 빔 성형 기법을 활용하는 이동 통신 분야, 소나 어레이를 이용한 어군 탐지 등 다양한 민간 분야에서도 사용되고 있다 [2-5]. 이러한 방향 탐지 장치는 자가 전파 방사 유무에 따라 능동형 방향 탐지와 수동형 방향 탐지로 구분할 수 있다. 즉, 능동형 방향 탐지 방법은 목표를 향해 스스로 전파를 방사하여 방사되는 신호를 측정하는 것에 비해 수동형 방향 탐지는 전파를 송신하지 않고 목표물에서 발생하는 신호를 수집해 방향을 탐지하므로 자기 위치 노출의 단점이 없다는 장점을 가진다. 또한 방향 탐지 비교 방법에 따라 진폭 비교, 위상 비교 및 도플러 방향 탐지로 구분할 수 있다. 진폭 비교 방향 탐지는 수신된 신호 세기의 차로부터 도래방향의 정보를 획득하는 기법으로 방향 탐지 정확도는 비교적 낮으나 구조가 간단하여 조기 경보체계나 레이더의 개략 방향을 알아내어 자신을 보호하려는 시스템에 적용 된다. 위상 비교를 활용하는 장비의 방향 탐지는 수신기별로 수신되는 신호의 위상정보를 통해 입사방향을 결정하는 것으로 진폭 비교에 비해 상대적으로 빠른 계산속도와 대용량의 메모리를 요구하며 정확도가 높다. 도플러 방향 탐지는 수신기가 움직임에 따라 안테나에 입사된 주파수가 도플러 편이(doppler shift)를 갖는 것을 이용하는 방법으로 수신기가 움직여야 하는 제약사항이 있다.

본 논문에서는 현재 운용되는 지상용 전자전장비의 통신용 대역신호 방향 탐지 알고리즘에 대해 고찰을 하고, 실제 운용환경에서의 방향 탐지 측정 결과를 바탕으로 주변 지형지물 및 반사체가 방향 탐지 정확도에 미치는 영향성을 분석하고 방향 탐지 정확도를 저하시키는 장애물의 영향을 최소화하기 위한 프로세스를 제안 하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 2장에서는 현재 운용되고 있는 전자전 장비에 적용되어 있는 방향 탐지

프로세스에 대해 살펴본다. 3장에서는 기존 방향 탐지 프로세스를 분석하며 4장에서는 개선된 프로세스 및 결과를 제시한다. 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

2. 기존 방향 탐지 프로세스

통신용 방향 탐지 방식에는 수신되는 신호의 진폭을 이용한 Waston-Watt[6-8]알고리즘 방식, 수신신호의 위상을 이용한 CVDF (correlation vector direction finding)[9-10]알고리즘 방식, MUSIC (multiple signal classification), ESPRIT (estimation of signal parameters via rotational invariance techniques)[11-13]알고리즘 방식 등이 있으나 본 논문에서는 Watson-Watt 방식과 CVDF 방식에 대해 살펴본다.

2.1 Watson-Watt 알고리즘

Watson-Watt[6-8]알고리즘은 수신 신호의 진폭값을 이용하는 대표적인 방향 탐지 기법으로 HF (high frequency) 대역에서 많이 사용된다. 4개의 다이폴(dipole)이 동, 서, 남, 북의 네 방향으로 90도 간격으로 배열되었을 경우 각각의 안테나 소자에 입사되는 신호를 $s(t)$ 라 하면 그림 1과 같은 배치가 된다.

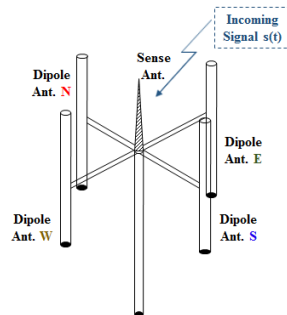


Fig. 1. Antenna arrangement structure for direction finding

신호 $s(t)$ 가 방향 탐지 장치에 입사되는 방위각을 계산하기 위해 입사 신호 $s(t)$ 를 네 방위의 신호 성분으로 구분한다. 각 방위별 신호 성분 구분에 앞서 입사 신호를 electric field로 표현할 때 다이폴 안테나 방향의 편파 성분만 전류를 유기할 수 있으므로 다이폴 안테나 방향 즉, vertical 성분만 별도로 분해할 수 있다. 이를 그림으로 나타내면 그림 2와 같다.

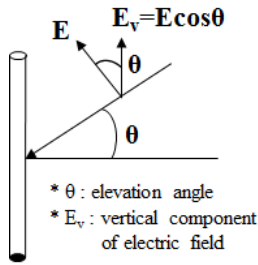


Fig. 2. Vertical component of incoming signal

입사 신호의 vertical 편파 성분을 구분한 후 그림 1의 안테나 배치 구조를 위에서 내려다볼 경우 그림 3과 같이 표현할 수 있으며 동(E), 서(W), 남(S), 북(N) 각 네 방향의 성분은 식 (1)~(4)와 같이 표현 된다. 각 방향의 신호성분은 $S_E(t)$, $S_W(t)$, $S_S(t)$, $S_N(t)$ 로 표현하였다 [7-8].

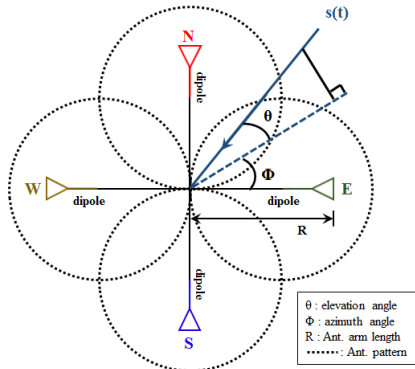


Fig. 3. Top view of antenna arrangement structure for direction finding

$$S_E(t) = s(t) \cdot \cos \theta \cdot e^{j \frac{2\pi R}{\lambda} \cos \theta \sin \Phi} \quad (1)$$

$$S_W(t) = s(t) \cdot \cos \theta \cdot e^{-j \frac{2\pi R}{\lambda} \cos \theta \sin \Phi} \quad (2)$$

$$S_S(t) = s(t) \cdot \cos \theta \cdot e^{-j \frac{2\pi R}{\lambda} \cos \theta \cos \Phi} \quad (3)$$

$$S_N(t) = s(t) \cdot \cos \theta \cdot e^{j \frac{2\pi R}{\lambda} \cos \theta \cos \Phi} \quad (4)$$

$S_E(t)$ 와 $S_W(t)$ 로부터 sine 신호를 계산하고, $S_N(t)$ 와 $S_S(t)$ 로부터 cosine 신호를 계산하면 식 (5)~(6)과 같다.

$$\begin{aligned} S_{\cos}(t) &= S_N(t) - S_S(t) \\ &= s(t) \cdot \cos \theta \cdot \left[e^{j \frac{2\pi R}{\lambda} \cos \theta \cos \Phi} - e^{-j \frac{2\pi R}{\lambda} \cos \theta \cos \Phi} \right] \quad (5) \\ &= s(t) \cdot \cos \theta \cdot \left[j 2 \sin \left(\frac{2\pi R}{\lambda} \cos \theta \cos \Phi \right) \right] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{\sin}(t) &= S_E(t) - S_W(t) \\ &= s(t) \cdot \cos \theta \cdot \left[e^{j \frac{2\pi R}{\lambda} \cos \theta \sin \Phi} - e^{-j \frac{2\pi R}{\lambda} \cos \theta \sin \Phi} \right] \quad (6) \\ &= s(t) \cdot \cos \theta \cdot \left[j 2 \sin \left(\frac{2\pi R}{\lambda} \cos \theta \sin \Phi \right) \right] \end{aligned}$$

여기서 $R/\lambda \ll 0$ 으로 가정하면 입사각 Φ 는 다음 식(7)과 같이 표현 된다.

$$\Phi \approx \tan^{-1} \left[\frac{S_{\sin}(t)}{S_{\cos}(t)} \right] \quad (7)$$

식(7)에서 sine 신호와 cosine 신호의 진폭비의 arctangent값으로 도출되는 신호 $s(t)$ 도래방향 Φ 값의 특성은 아래 그림 4와 같이 180° 주기를 기준으로 반복되어지는 모호성을 가진다. 이러한 모호성은 그림 1에서 표현되어 있는 안테나 배열 중심의 센스 안테나를 사용하여 해결된다. 수식의 근사를 통한 오차는 spacing error라고 하며 R/λ 값이 작은 경우 이 오차는 크지 않지만 과장에 비해 R 값이 커질 경우 오차는 커진다. 오차 영향성을 감소시키기 위해 장비의 반복적인 측정을 통해 보정 데이터를 확보하여야 하며 보정하는 과정이 필요하다.

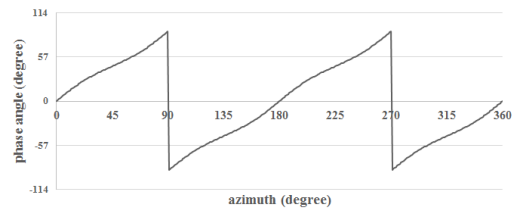


Fig. 4. Indicated phase angle given by Eq. (7)

2.2 CVDF 알고리즘

배열 안테나에서 각각의 안테나에 입사하는 신호의 위상은 배열 안테나의 구조, 신호의 주파수, 도래 방향각 등에 따라서 달라진다. CVDF 기법은 각각의 안테나에 수신되는 신호간의 위상차를 구하여 얻어진 복소벡터와 배열안테나의 구조, 주파수, 입사각에 따른 이상적 복소벡터 혹은 미리 측정된 복소벡터간의 상관관계를 비교하여 상관관계가 가장 큰 위치를 추정하여 도래각을 추정

하는 기법이다. 이 기법의 장점은 연산 시간이 짧고 비교적 높은 방탐 정확도를 갖고 있다. 그림 5는 5개의 안테나 중심을 기준으로 안테나 소자를 원형으로 배열한 5채널 배열 안테나를 보여주고 있다. 두 안테나 사이의 거리 D 는 인접하는 안테나를 제외한 안테나 간의 길이(파란색 실선)라 할 때 안테나 간의 길이(예 : 안테나 소자 1과 3)에 따른 소자 간 위상차 Φ 는 다음의 식 (8)로 표현된다[9-10].

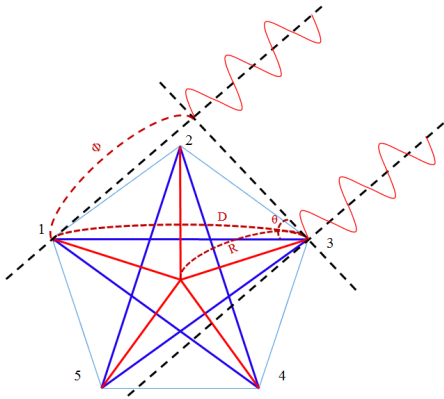


Fig. 5. 5 channel antenna arrangement

$$\Phi = \frac{2\pi D}{\lambda} \sin\theta \quad (8)$$

여기서 λ 는 파장이고 θ 는 도래 신호원의 입사각이다. 입사하는 신호원의 주파수와 안테나간의 이격거리 D 를 알고 있을 때, 두 안테나 사이의 위상차를 측정하면 신호원의 입사각 θ 를 결정할 수 있게 된다. CVDF 알고리즘을 적용하기 위해 상관계수(correlation coefficient) 방법을 사용한다. 벡터간의 상관계수는 두 벡터간의 내적으로 정의된다. 벡터 A와 B의 내적은 식 (9)로 정의되며 식 (9)로부터 계산되는 상관계수 R 은 식 (10)과 같다.

$$A \cdot B = \sqrt{|A|^2 |B|^2} \cos\theta \quad (9)$$

$$R = \cos\theta = \frac{A \cdot B}{\sqrt{|A|^2 + |B|^2}} \quad (10)$$

상관계수 R 은 삼각함수의 값을 가지므로 θ 값에 따라 $-1 \leq R \leq 1$ 의 범위를 갖는다. 그림 5와 같이 5개의 멀티채널 방향 탐지 시스템의 경우 상관벡터를 이용한 방향 탐지 시스템의 성능은 측정 데이터베이스의 정확도에 달려있다. 측정 데이터베이스는 모든 입사각과 주파

수에 따라 각기 다른 상관벡터가 저장된다. 각각의 안테나 소자에서 수신되는 신호의 세기와 위상정보는 복소전압벡터(complex voltage vector)로 변환하여 전달된다. V_{Mi} 를 i 번째 채널에서 측정된 복소전압벡터라 하면 각 채널에서 측정된 복소전압벡터를 데이터베이스에 저장된 모든 방향에 대한 복소전압벡터값들과 비교하여 상관계수가 가장 클 때의 LOB(line of bearing)를 신호원의 도래각(angle of arrival : AOA)으로 추정하게 된다. 측정된 전압벡터를 V_{Mi} , 데이터베이스에 저장된 전압벡터를 V_{Ri} 라 할 때 각도 θ 에 대한 상관계수는 식 (11)과 같다. 이때 *는 복소수의 conjugate를 의미한다.

$$R = \frac{\sum_{i=1}^N V_{Mi} V_{Ri}^*}{\sqrt{\left(\sum_{i=1}^N |V_{Mi}|^2\right)} \cdot \sqrt{\left(\sum_{i=1}^N |V_{Ri}|^2\right)}} \quad (11)$$

상관계수의 정의에 의해 0~1 사이의 값을 가지며 0에 가까울수록 두 벡터 사이의 상관성이 적고 1에 가까울수록 상관성이 크다고 할 수 있다.

2.3 기존 장비의 방향 탐지 정확도

일반적인 방향 탐지장치의 구성은 안테나부, 수신부, 신호처리부로 구성되어 있으며, 앞서 언급한 방향 탐지 알고리즘의 방향 탐지 정확도 시험을 실시하였다. 방향 탐지 정확도 시험은 ITU (international telecommunication union)[14]에서 권고하는 주변 장애물, 다른 무선 주파수로부터 간섭 영향성이 적은 지역의 시험장에서 실시하였으며, 시험 시 지면반사파의 영향을 최소화하기 위해 지면으로부터 약 10m 이상 높이에 설치하였으며, far filed 조건을 만족시키기 위해 충분한 송수신간 이격 거리를 충분히 유지하여 측정 하였다. 측정환경은 그림 6과 같다.

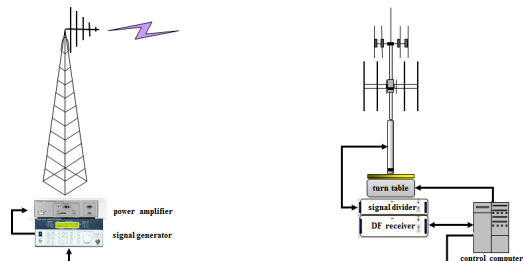


Fig. 6. Direction finding test environment

단파(HF) 대역에 적용된 Watson-Watt 알고리즘 검증 결과 RMS (root mean square) α° 로 측정 되었으며, 단 파 대역 주파수 특성상 지면반사파 및 전리층 반사를 고려한다면, 양호한 측정 결과라 판단된다. 본 논문에서는 구체적인 수치를 보안상 제시하지 않으며 상대적으로 향상된 비교값을 제시한다. RMS 값은 식 (12)와 같이 계산한다. 여기서, Φ_{M_i} 는 측정된 방위각, Φ_{T_i} 는 실제 방위 각이며 N 은 총 측정 횟수이다.

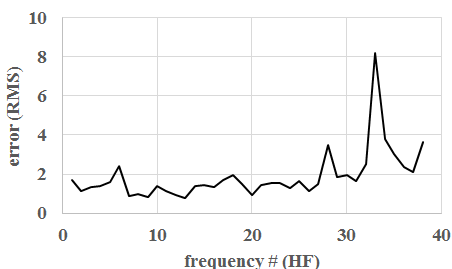


Fig. 7. Direction finding accuracy in HF band

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\Phi_{M_i} - \Phi_{T_i})^2}{N}} \quad (12)$$

또한 V/UHF (very / ultra high frequency) 대역에 적용된 CVDF 알고리즘 검증 결과 낮은 주파수 대역에서 방향 탐지 오차가 다소 높게 측정 되었는데 이는 원형 배열안테나 간격의 제한 사항으로 인한 것으로 상대적으로 낮은 주파수일수록 오차가 커지는 결과가 나온다. 측정 결과 RMS β° 로 전파환경이 양호한 경우에는 적용된 알고리즘이 실 장비에서도 충분히 적용 가능함을 확인할 수 있었다.

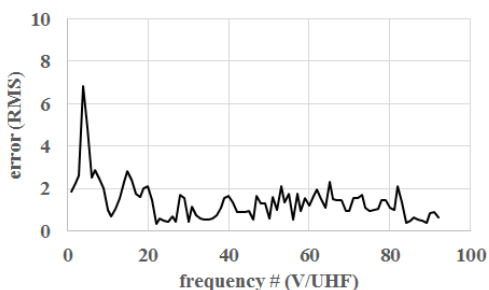


Fig. 8. Direction finding accuracy in V/UHF band

3. 기존 방향 탐지 프로세스 분석

앞서 살펴보았듯이 전파환경이 양호한 경우 기존 방향 탐지 프로세스는 실 장비에서 충분한 성능을 발휘한다고 할 수 있다. 하지만 통신용 방향 탐지장치의 실제 운용환경은 적의 공격으로부터 장비 보호를 위해 은폐/엄폐된 방공호에서 운용되며, 이로 인해 지면반사파 및 주변 지형 등에 의한 반사파로 방향 탐지 정확도에 많은 악영향이 발생하게 된다. 본 논문에서는 방향 탐지 정확도에 방해가 되는 요소가 반영된 실 야전 운용환경에서 발생하는 반사파의 영향성을 최소화하기 위한 개선의 필요성이 대두되었다. 즉, 전파환경이 양호한 지역에서 측정된 방향 탐지 정확도 값(그림 7~8) 대비 실 야전환경의 방향 탐지 정확도가 감소하는 것으로 확인되었다. 해당 장비가 운용되고 있는 OO사단에서 방향 탐지 오차를 측정 한 결과는 그림 9와 같다.

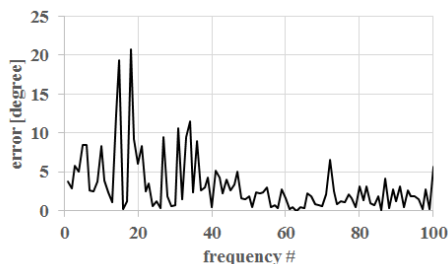


Fig. 9. Direction finding accuracy in field operating environment

측정 결과 전파환경이 양호지역 대비 RMS 오차는 약 2.5° 이상 증가하였으며, 특정 주파수 대역에서 상대적으로 오차가 크게 나타남을 확인할 수 있었다. 이는 장비의 주변에 해당 주파수에 공진하는 특정 구조의 영향으로 분석되었다. 전체적인 RMS 오차의 원인은 방향 탐지 계산 프로세스가 획득 빈도수가 많은 대표 측정 방위 값을 기준으로 일정 범위의 방위 측정값을 평균하여 최종 방향 탐지값을 계산하므로 반사파로 인해 유입되는 허상 신호(특히 낮은 신호세기를 가진)에 대한 방향값이 방향 탐지 계산 프로세스에 반영됨으로써 오차가 발생하는 것으로 분석되었다. 이는 그림 10과 같이 특정 시간 내 수집된 신호를 측정 방위각 별 수집 횟수로 나타낸 히스토그램을 통해 확인할 수 있었다.

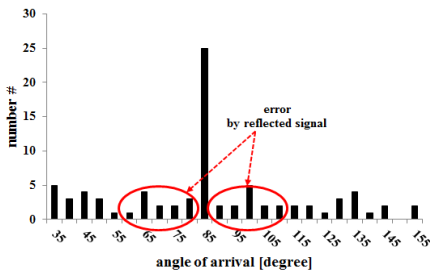


Fig. 10. Histogram of direction finding

반사파에 의한 방향 탐지 결과값의 유형을 분석하기 위하여 수신 신호세기별 방향 탐지 결과 오차를 확인 하였으며, 확인 결과 동일 주파수에서 수신 신호세기가 미약할수록 방향 탐지 오차가 크게 발생함을 확인할 수 있었다. 이는 주변 지형지물에 의해 반사파가 다중 경로로 진행되면서 신호세기가 저하 되고 실제 안테나로 입사되는 방향이 변경되어 입사되었기 때문으로 판단된다. 그림 10에서 분석된 신호를 수신신호 세기별 오차로 나타내면 그림 11과 같다. 그림 11로부터 수신 신호의 세기가 커질수록 상대적인 방향 탐지 오차가 급격히 줄어드는 것을 확인할 수 있다.

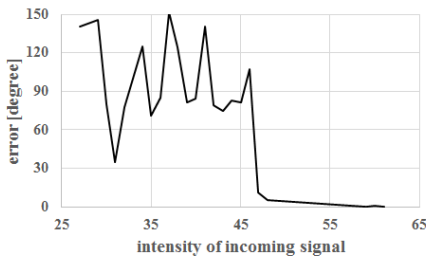


Fig. 11. Direction finding accuracy for incoming signal strength

4. 방향 탐지 프로세스 개선 및 결과

실 운용환경에서 발생하는 방향 탐지 오차를 최소화 하기 위해 본 논문에서는 기존 방향 탐지 프로세스의 개선 방향을 제안한다. 그림 11에서 수신 신호의 세기가 클수록 방향 탐지 오차가 급격히 줄어드는 것을 확인하였으므로 방향 탐지 안테나에 입사된 다수(미리 설정된 방향 탐지 횟수만큼 수신) 신호의 신호 세기 정보를 추출하여 최대 수신 세기 대비 10 dB 이하의 수신 신호만 방향 탐지 산출에 활용하여 오차를 유발하는 신호 세기

가 낮은 신호를 방향 탐지 산출에 배제하는 방향으로 프로세스를 개선하였다. 해당 프로세스는 설정된 방향 탐지 횟수가 2 이상이어야 하며, 최종 추출된 신호 수가 7 이상이어야 신뢰성있는 결과값을 도출한다. 개선된 프로세스는 그림 12와 같다.

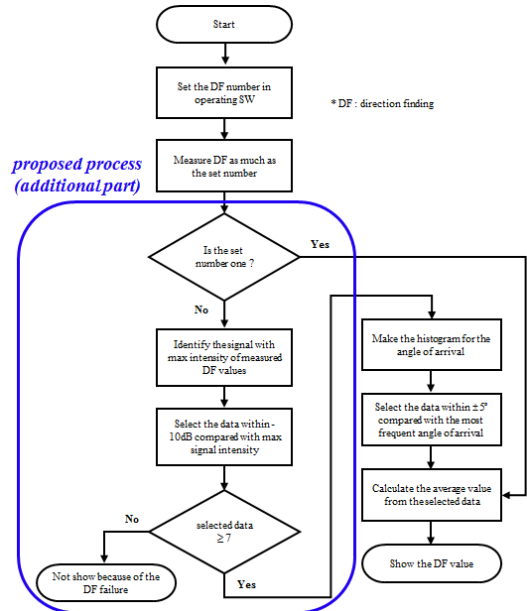
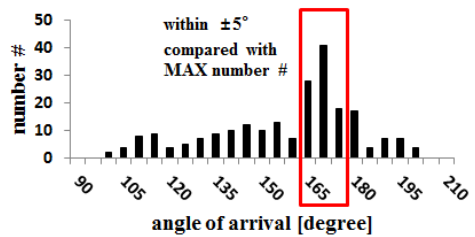
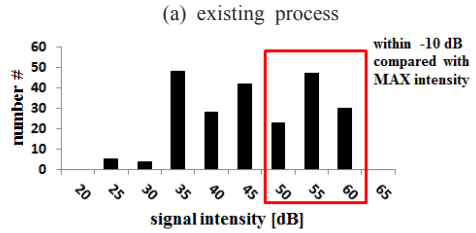
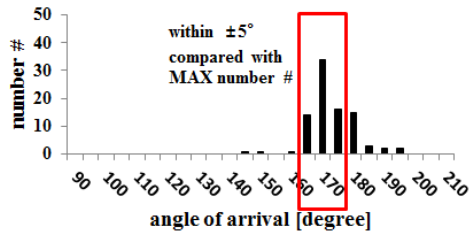
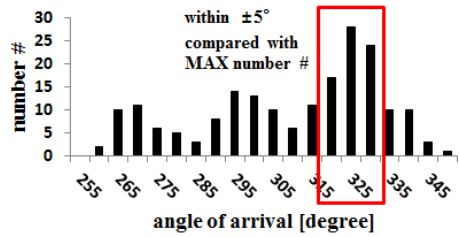
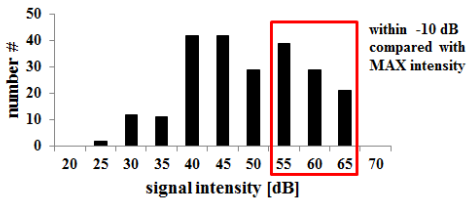


Fig. 12. Proposed direction finding process

본 논문에서 제안한 프로세스를 적용하여 방향 탐지 정확도가 어느 정도 개선이 되었는지 검증하기 위하여 대역별 특정 주파수에 대한 결과를 살펴보았다. 제안된 프로세스는 주파수 정보에 독립적으로 적용되므로 대역별 일부 주파수에 대한 결과로 개선 결과를 확인할 수 있다. HF 대역(주파수 γ MHz)은 약 2.59°의 방향 탐지 개선 효과가, VHF 대역(주파수 δ MHz)은 약 1.47°의 개선 효과가, UHF 대역(주파수 ϵ MHz)은 약 1.24°의 개선 효과가 확인되었다.

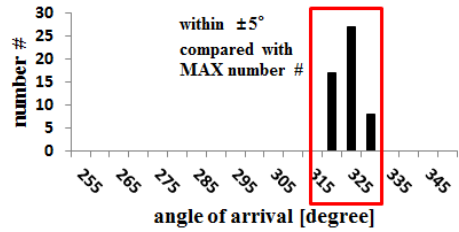
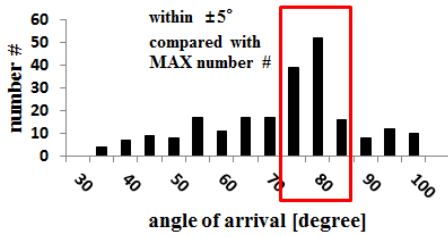


(a) existing process



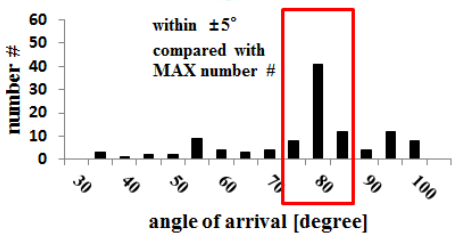
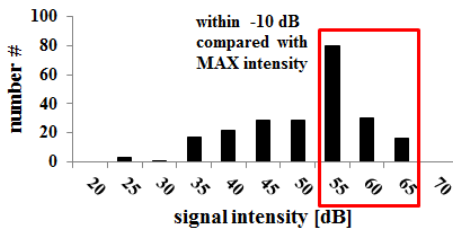
(b) proposed process

Fig. 13. Comparison before and after improvement in HF band (frequency : γ MHz, DF accuracy enhancement : 2.59°)



(b) proposed process

Fig. 15. Comparison before and after improvement in UHF band (frequency : ϵ MHz, DF accuracy enhancement : 1.24°)



(b) proposed process

Fig. 14. Comparison before and after improvement in VHF band (frequency : δ MHz, DF accuracy enhancement : 1.47°)

그림 13~15의 히스토그램에서 볼 수 있듯이 방향 탐지를 위해 계산되는 데이터 중 불필요한 많은 데이터가 제거됨으로써 제안된 프로세스 적용 시 방향 탐지 결과의 정확도가 개선 전 대비 최소 1.24° 이상 개선됨을 확인할 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 무선통신 대역신호에 적용되는 HF 대역의 Watson-Watt와 V/UHF 대역의 CVDF 알고리즘이 적용된 방향 탐지 장치의 방향 탐지 정확도에 있어 주변 지형지물에 의한 반사파의 영향성의 최소화에 대해 고찰하였다. 전자파 환경이 양호한 경우 방향 탐지 정확도는 양호하게 측정 되었으나, 실 운용 환경에서는 주변 지형지물 등 방향 탐지 정확도 감소에 영향을 미치는 많은

인자가 존재 하며, 이러한 방해 인자 제거를 위한 개선된 방향 탐지 프로세스를 제안 하였다. 개선된 프로세스는 주파수에 의존적이지 않고 독립적으로 작용하므로 방향 탐지 장치가 운용되는 대역 별 대표 주파수를 선정하여 신호 수집 및 방향 탐지 결과를 분석하였다. 개선된 프로세스의 적용 결과 방향 탐지 정확도는 최소 1.24° 이상 개선됨을 확인하였다. 기존 프로세스는 수신된 모든 신호를 방향 탐지 계산에 활용한 것에 반해 제안된 프로세스는 신뢰도가 낮은 즉, 신호 세기가 낮은 신호를 방향 탐지 산출에서 배제함으로써 결과값의 정확도를 향상시킬 수 있었다. 본 논문에서 제안하는 프로세스는 적용 주파수와 무관하므로 향후 방향 탐지를 하는 모든 장치에 적용될 수 있을 것으로 기대된다.

References

- [1] www.lignex1.com/view/product/product05.jsp
- [2] Cotter, C. H., The Principles and Practice of Radio Direction Finding, London : Pitman, 1961.
- [3] D. L. Adamy, EW 103 Tactical Battlefield Communications, Artech House, pp. 203-212, 2009.
- [4] E. Tuncer, B. Friedlander, Classical and Modern Direction-of-Arrival Estimation, Elsevier Inc., pp. 1-32, 2009.
- [5] S. Chandran, Advances in Direction-of-Arrival Estimation, Artech House, pp. 3-19, 2006.
- [6] Watson, D. W., Radio Direction Finding, New York : Van Norstrand Reinhold, 1971.
- [7] Richard A. Poisel, Introduction to Communication Electronic Warfare Systems, Artech House, pp. 331-359, 2002.
- [8] J.-W. Yang, J.-H. Choi, S.-P. Nah, Y.-M. Park, Critical Design for Watson-Watt Direction Finding Equipment, ADD TEDC-509-051337, pp. 5-8, 2005.
- [9] Y.-M. Park, J.-W. Yang, J.-H. Choi, The Preliminary Design for Correlation Vector Direction Finding, ADD TEDC-509-050588, pp. 2-13, 2005.
- [10] C.-S. Park, D.-Y. Kim, The Fast Correlation Vector Direction Finder Conversion, Journal of the Institute of Electronics and Information Engineers vol. 43, pp. 1497-1504, 2006.
- [11] Hayes, Monson H., Statistical Digital Signal Processing and Modeling, John Wiley & Sons, Inc., pp. 88-97, 1996.
- [12] Schmidt, R.O., "Multiple Emitter Location and Signal Parameter Estimation," IEEE Trans. Antennas Propagation, vol. AP-34, pp. 276-280, Mar. 1986. DOI: <https://doi.org/10.1109/TAP.1986.1143830>
- [13] R. Roy and T. Kailath, "ESPRIT-estimation of signal parameters via rotational invariance techniques," IEEE

Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing, vol. 37, no. 7, pp. 984-995, Jul. 1989. DOI: <https://doi.org/10.1109/29.32276>

- [14] ITU SM Series, Test Procedure for Measuring Direction Finder Accuracy, ITU-R SM.2060-0, ITU, pp. 2-13, 2014.

진 희 철(Huicheol Chin)

[정회원]



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

<관심분야>

전자파 수치해석, RCS, EMP, 안테나, 전자전장비

김 승 우(Seung-Woo Kim)

[정회원]



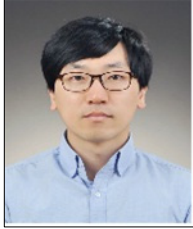
- 2003년 2월 : 부산대학교 전자공학 (전자공학석사)
- 2013년 8월 : 부산대학교 전자공학 (전자공학박사)
- 2003년 4월 ~ 현재 : 국방기술품질원 선임연구원

<관심분야>

안테나, 전자전장비, 신뢰성공학

최 재 인(Jae-In Choi)

[정회원]

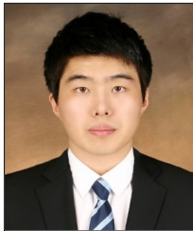


- 2008년 2월 : 경북대학교 전자공학
학과 (공학석사)
- 2015년 2월 : 경북대학교 전자공학
학과 (공학박사)
- 2015년 9월 ~ 현재 : 국방기술품
질원 선임연구원

<관심분야>
정보통신, 전자전

이 재 민(Jae-Min Lee)

[정회원]



- 2013년 2월 : 경북대학교 전자전
기공학부 (학사)
- 2014년 1월 ~ 현재 : LIG넥스원
선임연구원

<관심분야>
방향탐지기술, 위치탐지 알고리즘 기술