VHF대역에서 원격운용 방향탐지안테나 소자의 스위칭에 의한 상관벡터방향탐지 버스트에러 제거 알고리즘 성능분석

The Performance Analysis of Burst Error Elimination CVDF Algorithm Using Switching Remote Direction Finding Antenna in VHF

원 종 묵*
Won, Jong-Mook

ABSTRACT

Recently, Direction Finding(DF) System is using switching DF algorithm to reduce system-weight by eliminating RF cable as much as possible. Also, Correlation Vector Direction Finding(CVDF) algorithms is being used for Fast Direction finding in tactical environment. In this paper, I will give you burst error elimination algorithms and compare the performance in case we use switching CVDF algorithm. Although antenna array is not working, we will successfully perform direction finding when we use this burst error elimination algorithms. Also, we will be completely capable of DF mission despite of meeting the unwanted situation that the monitoring signal disappear in case we use Switching Direction Finding algorithms. That situation frequently occurs under the Frequency Hopping signal circumstances.

주요기술용어(주제어) : Direction Finding(방향탐지), Correlation Vector Direction Finding(상관벡터 방향탐지), Burst Error Elimination Algorithm(버스트에러제거 알고리즘), Frequency Hopping(주파수 도약)

1. 서 론

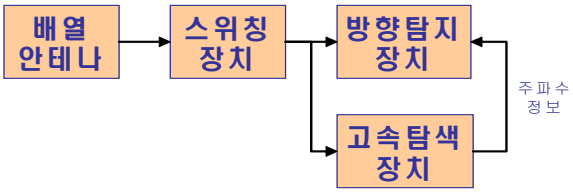
방향탐지(Direction Finding)[1~4]장치는 전자전체계(Electronic warfare System)[5~6]를 구성하는 전자지원(Electronic Support)장비의 핵심장치로서 전자파를 이용하여 표적을 추적하는 레이더 및 유도무기나 전자파를 이용한 통신장비 등의 방향을 찾아내기 위한 장치이다[1]. 방향탐지 장치로부터 얻어진 방향정보는 크게 두 가지 목적으로 사용된다. 첫째는 신호처리기의 전처리 데이터로 사용하여 많은 신호가 존재하는 경우에 대한 신호분석의 효율성을 향상시키기 위한 것이고, 둘째는 전자공격(Electronic Attack) 장비에서 사용되는 송신장치의 도래방향 선택을 위한 정보로 사용하여 효과적인 재밍(amming)을 가능하게 하는 것이다[7].

방향탐지 방식에는 회전 방식[8], 진폭비교 방식[9], 위상비교방식[10] 및 진폭-위상비교 복합방식[11] 등이 있으며 용도, 목적 및 설치구조물에 따라 각기 다른 방식들이 사용되고 있다.

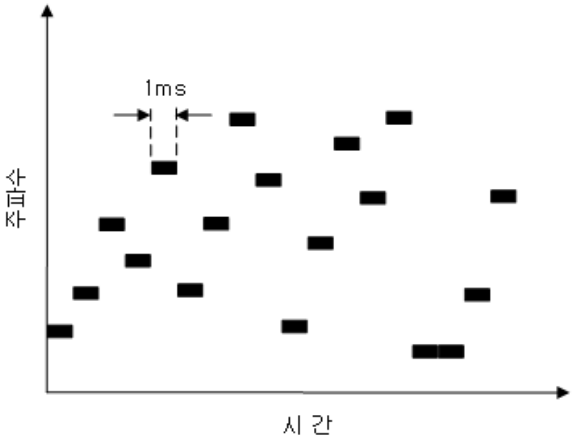
현재의 방향 탐지추세는 RF케이블을 줄여(그림 1) 무게감소를 하기 위해 스위칭[11] 방향탐지 알고리즘이 사용되며 고속 방향탐지를 위한 방법으로 상관벡터

† 2007년 3월 9일 접수~2007년 6월 15일 게재승인
* 국방과학연구소(ADD)
주저자 이메일 : esoterica94@add.re.kr

방향탐지(Correlation Vector Direction Finding) 알고리즘이 널리 사용되고 있다. 본 논문에서는 이러한 스위칭을 이용한 상관벡터방향탐지 시스템에 대한 수학적인 모델링 및 이러한 상황에 빈번하게 발생할 수 있는 버스트에러를 제거하기 위한 알고리즘을 제시하며 이에 대한 성능을 비교를 한다. 특히 이러한 경우는 도약신호(Frequency Hopping) 발생 시에 빈번하게 발생한다. 예를 들어 1000홉 도약신호(그림 2)의 경우 그 신호의 유지시간이 한 홉(Hop)당 1ms인데 이 신호를 방향탐지하기 위해서는 우선 신호를 탐지하여 주파수정보를 방향 탐지장치로 넘겨주어야 하며 (그림 1), 등 간격 5개 원형배열 안테나를(그림 3) 사용하여 스위칭(그림 5)을 이용한 방향탐지를 수행할 경우 1ms안에 1-channel 상관벡터 방향탐지방법 이용 시[11] 최대 5번, 2-channel 상관벡터 방향탐지[11] 이용 시 최대 3번 스위칭 하여 위상값을 저장하여야 한다. 현재 RF스위칭의 속도는 수~수십 nanosec지만 LO(Local Oscillator)를 제어하고 안정화된(stable)한 신호를 받는 후에 위상값을 추출하는 과정에 소요



[그림 1] 스위칭을 이용한 방향탐지시스템 구성도

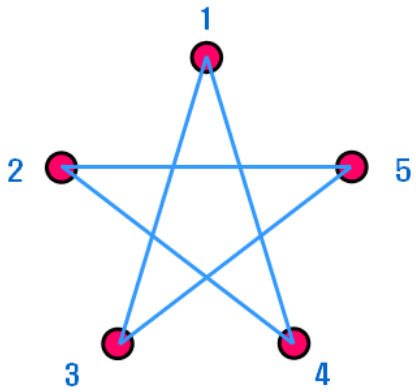


[그림 2] 1000홉 도약신호

되는 시간은 수백 microsec 정도 걸린다. 이정도 RF 스위칭속도는 1000홉 도약신호를 방향탐지 하는데 무리 없을 것으로 판단되나 전장 환경에서의 주파수도약속도는 저탐지율(Low probability of interception)을 위하여 계속 빨라지고 있는 상황이므로 스위칭으로 인하여 RF가 사라지는 경우 전혀 잘못된 방향탐지를 할 수 있다. 본 논문에서는 속도가 느린 도약신호(약 100홉 정도)의 경우 가우시안(Gaussian) 에러에 의해 발생할 수 있는 랜덤에러를 제거하고 안테나 고장으로 인한 잘못된 위상을 보상하며 고속도약신호(약 1000홉 이상)의 경우 방향탐지 신호처리 동안 신호가 사라지는 경우에 방향 탐지정확도를 향상 시킬 수 있는 알고리즘에 대해 논의한다.

2. 본 론

안테나의 고장유무를 판단하는 방법에는 안테나 각 어레이 뒷단에 RF Detector를 붙여 각 어레이의 RF 수신레벨을 측정하여 안테나 고장유무를 판단한다. 하지만 이러한 판단방법은 안테나 고장유무만을 판단할 뿐 고장 시에 방향탐지정확도에 큰 영향을 준다. 안테나 고장 시에 방향탐지알고리즘이 정상적으로 수행되게 하기 위해서는 고장된 안테나로부터 들어온 RF로부터 측정된 위상차들은 배제하고 방향탐지알고리즘을 수행해야만 한다. 이러한 알고리즘을 버스트에러 제거알고리즘이라고 명명한다. 여기에서 버스트에 대한 정의는 번개와 같은 자연현상뿐만 아니라 안테나고장과 같은 기계적인 현상 그리고 스위칭알고리즘을 사용 시에 정상적으로 방향탐지가 이루어지려면 신호가 정적으로 들어와야 하는데 스위칭 하는 동안 신호가 사라지는 경우를 모두 포함한다. 우리가 스위칭을 이용하여 방향탐지를 하는 이유는 RF케이블을 줄이기 위함이다. 그래서 1-channel 위상방탐, 2-channel 위상방탐, 방향탐지 알고리즘이 제안되어지고 있다. 본 본문에서는 3-channel 위상방탐에 대해서 수학적인 모델링 및 성능에 대해서 논의한다. 스위칭을 이용한 방향탐지를 하기 위해서는 기준이 되는 신호가 필요한데 이러한 기준신호를 이용하려면 2-channel이 필요하다. 따라서 1-channel 위상방탐을



[그림 3] 등 간격 원형배열안테나 어레이 구조

이용하려면 일반적인 방향탐지 알고리즘 외에 새로운 알고리즘이 추가 되어져야만 하고 실제로 장비를 만들기에 부가적인 어려움들이 생겨날 것으로 예상된다. 시간이 지남감에 따라 위상이 변하는 문제를 보상하기 위한 문제가 가장 크기 때문에 이를 해결하기 위한 특별한 알고리즘 제시가 있어야 한다. 본 논문에서 3-channel위상 방탐을 하는 이유는 1개의 channel은 탐색/감청을 위한 RF이고 나머지 2개의 channel은 일반적인 위상방탐을 위한 channel이다.

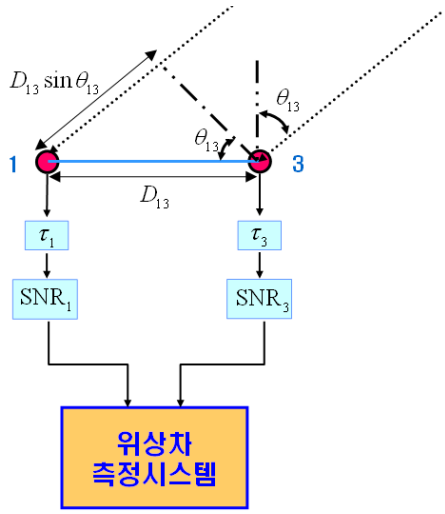
그림 3은 등 간격 원형배열 5(five) 어레이 안테나 구조를 나타내고 있다. 보통 위상방탐을 하기 위해서는 그림 4에서처럼 적어도 2개의 다이폴에서 동시에 RF를 받아야 한다. 1번과 3번 다이폴은 경로차가 $D_{13}\sin\theta_{13}$가 발생하게 되는데 이로 인하여 발생하는 1번과 3번의 위상차는 노이즈가 전혀 없고 위상차측정시스템까지 위상변화가 일어나지 않는다면 위상차는 $2\pi D_{13}\sin\theta_{13}/\lambda$가 되어야 하나 반사파나 원하지 않는 다른 신호 및 가우시안 잡음에 의해서 위상오차가 발생하게 되면 이는 식 (1)처럼 모델링 된다. 여기서는 위상오차 $\triangle_{13}$를 노말 분포 $N(0,\sigma^2)$로 가정하였다.

$$\phi_{13} = \frac{2\pi D_{13}}{\lambda} sin\theta_{13} + \triangle_{13} \qquad (1)$$

여기서,

ϕ_{ij} : i번째 Dipole과 j번째 Dipole 사이 간에 위상차

$\triangle_{ij}$: i번째 Dipole과 j번째 Dipole 사이 간에 위상오차



[그림 4] 방향탐지를 위한 위상차 측정원리

λ : 입사신호의 파장

θ_{ij} : 입사신호의 ij baseline에 대한 입사각

D_{ij} : i번째 Dipole과 j번째 Dipole 사이간 거리

$D_{ij}\sin\theta_{ij}$: 입사신호의 i번째 Dipole과 j번째 Dipole 사이 간 경로 차

τ_i : i번째 Dipole과 위상차측정시스템간의 위상변화

SNR_i : i번째 경로로 수신되는 위상차측정 시스템에서의 SNR(Signal to Noise Ratio)

가. 기존 CVDF 알고리즘(Conventional CVDF)

방향탐지 정확도 향상을 위해서는 다이폴간의 거리를 가능한 늘리는 것이 중요하다. 하지만 너무 늘리게 되면 모호성이 발생하기 때문에 안테나 설계 시에는 방향탐지정확도를 고려하여 안테나 이격거리를 선정하여야 한다. 즉 모호성이 발생하지 않는 범위에서 안테나 이격거리를 물리적으로 늘려주어야 한다. 따라서 그림 3과 같은 등 간격 원형배열 안테나에서 짧은 베이스라인(Short baseline)보다는 긴 베이스라인(Long baseline)을 사용하는 것이 성능에 좋다. 일반적으로 베이스라인을 1개정도 확보하면 충분한 방향탐지 정확도가 확보되지 않는데 따라서 보통 5개의 베이스라인을 확보하여 식 (2)와 같이 위상차 5개를 확보하여 CVDF(correlation Vector Direction finding) 알고리즘을 수행한다.

$$\begin{aligned}
\phi_{13}^{(0),Conv}(mea,f_c,PA,\theta_{13},D_{13}) &= \frac{2\pi D_{13}}{\lambda}sin\theta_{13}+\triangle_{13}^{(0)}\\
\phi_{35}^{(0),Conv}(mea,f_c,PA,\theta_{35},D_{35}) &= \frac{2\pi D_{35}}{\lambda}sin\theta_{35}+\triangle_{35}^{(0)}\\
\phi_{52}^{(0),Conv}(mea,f_c,PA,\theta_{52},D_{52}) &= \frac{2\pi D_{52}}{\lambda}sin\theta_{52}+\triangle_{52}^{(0)}\\
\phi_{24}^{(0),Conv}(mea,f_c,PA,\theta_{24},D_{24}) &= \frac{2\pi D_{24}}{\lambda}sin\theta_{24}+\triangle_{24}^{(0)}\\
\phi_{41}^{(0),Conv}(mea,f_c,PA,\theta_{41},D_{41}) &= \frac{2\pi D_{41}}{\lambda}sin\theta_{41}+\triangle_{41}^{(0)}
\end{aligned} \quad (2)$$

여기서,

$\phi_{ij}^{(k),Conv}(mea,f_c,PA,\theta_{ij},D_{ij})$: **Conv**entional 시스템 이용하여 센터주파수가 f_c, 신호의 크기가 PA[dBm] 이고 ij baseline 기준으로 입사각이 θ_{ij}인 신호를 k 번째 스위칭시 i번째 Dipole과 j번째 Dipole 사이간에 측정된(**mea**sured) 위상차

$\triangle_{ij}^{(k)}$: k번째 스위칭시 i번째 Dipole과 j번째 Dipole 사이간에 위상오차

식 (2)에서는 모두 k=0이므로 스위칭을 사용하지 않는 방향탐지시스템에서의 측정된 위상차를 기술하고, 그림 3의 등 간격 원형배열 어레이 안테나 구조를 사용하면 $\theta_{13}=\theta_{35}-72=\theta_{52}-144=\theta_{24}-216=\theta_{41}-278$ 이다. 이는 5개의 원형배열안테나의 long baseline이 72도 간격으로 되어 있기 때문이다.

식 (2)에서 측정된 위상차에 대해서 모호성제거를 위하여 식 (2)에 cos과 sin을 취하여 식 (3)을 구성하고 이미 저장된 식 (4)와 내적을 하여 식 (5)처럼 각 크기로 나누어주면 상관계수값이 계산이 된다.

$$\vec{a}=\begin{pmatrix}
\cos(\phi_{13}^{(0),Conv}(mea,f_c,PA,\theta_{13},D_{13}))\\
\cos(\phi_{35}^{(0),Conv}(mea,f_c,PA,\theta_{35},D_{35}))\\
\cos(\phi_{52}^{(0),Conv}(mea,f_c,PA,\theta_{52},D_{52}))\\
\cos(\phi_{24}^{(0),Conv}(mea,f_c,PA,\theta_{24},D_{24}))\\
\cos(\phi_{41}^{(0),Conv}(mea,f_c,PA,\theta_{41},D_{41}))\\
\sin(\phi_{13}^{(0),Conv}(mea,f_c,PA,\theta_{13},D_{13}))\\
\sin(\phi_{35}^{(0),Conv}(mea,f_c,PA,\theta_{35},D_{35}))\\
\sin(\phi_{52}^{(0),Conv}(mea,f_c,PA,\theta_{52},D_{52}))\\
\sin(\phi_{24}^{(0),Conv}(mea,f_c,PA,\theta_{24},D_{24}))\\
\sin(\phi_{41}^{(0),Conv}(mea,f_c,PA,\theta_{41},D_{41}))
\end{pmatrix} \quad (3)$$

$$\vec{b_k}=\begin{pmatrix}
\cos(\phi_{13}^{(0),Conv}(stored,f_c,PA,k_{13},D_{13}))\\
\cos(\phi_{35}^{(0),Conv}(stored,f_c,PA,k_{35},D_{35}))\\
\cos(\phi_{52}^{(0),Conv}(stored,f_c,PA,k_{52},D_{52}))\\
\cos(\phi_{24}^{(0),Conv}(stored,f_c,PA,k_{24},D_{24}))\\
\cos(\phi_{41}^{(0),Conv}(stored,f_c,PA,k_{41},D_{41}))\\
\sin(\phi_{13}^{(0),Conv}(stored,f_c,PA,k_{13},D_{13}))\\
\sin(\phi_{35}^{(0),Conv}(stored,f_c,PA,k_{35},D_{35}))\\
\sin(\phi_{52}^{(0),Conv}(stored,f_c,PA,k_{52},D_{52}))\\
\sin(\phi_{24}^{(0),Conv}(stored,f_c,PA,k_{24},D_{24}))\\
\sin(\phi_{41}^{(0),Conv}(stored,f_c,PA,k_{41},D_{41}))
\end{pmatrix} \quad (4)$$

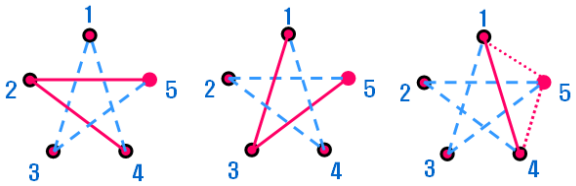
여기서, 그림 3의 등 간격 원형배열 5 어레이 안테나 구조를 사용하면 $k\equiv k_{13}=k_{35}-72=k_{52}-144=k_{24}-216=k_{41}-278$이다.

$$\cos\theta_k=\frac{\vec{a}\bullet\vec{b_k}}{|\vec{a}||\vec{b_k}|} \quad (5)$$

이 계산된 상관계수에서 피크치를 검출하여 포물선 근사화를 하고 최종적으로 입사각을 추정(estimation)한다. 이때 탐색간격을 k로 조정할 수 있으며 탐색간격을 넓히면 방향탐지를 고속으로 할 수 있으나 방향탐지정확도가 떨어진다. 이를 해결하기 위해 포물선 근사화를 하며 실제로 포물선 근사화는 방향탐지정확도를 상당히 많이 향상시킨다.

나. Switching을 이용한 CVDF 알고리즘 (Switching CVDF)

일반적인 5channel CVDF 알고리즘 수행을 위해서는 긴 베이스라인에 해당하는 위상차를 동시에 받아야 하지만 RF케이블을 줄이기 위해서 스위칭을 이용한 방법이 이용이 된다. 식 (6)을 자세히 살펴보면 신호가 스위칭 하는동안 정적으로 존재한다고 가정하면 방향탐지 정확도에 영향을 주지 않는다. 식 (6)은 그림 5처럼 스위칭을 이용한 위상방탐을 하는 경우의 수학적인 모델이다. 측정된 식 (6)을 본론 가에서처럼 저장된 벡터와 내적을 하여 상관계수 값을 구하여 피크치를 검출하는 방식을 취하게 되면 정상적으로 방향탐지를 할 수 있다. 스위칭으로 인한 영향을 보정테이블로 이용하기 위하여 스위칭을 하면서 보정테이블을 구성하는 것이 일반적이지만 이때 정상적으로



[그림 5] 방향탐지 배열안테나 스위칭순서

안정적으로 신호가 출현한다는 가정 하에 보정에 의한 테이블은 재구성할 필요가 없다. 왜냐하면 식 (6)에서 위상오차만 가우시안분포를 가지기 때문이다. 이 가우시안 분포는 정적으로 신호가 수신된다고 할 때 $N(0,\sigma^2)$로 가정할 수 있다.

$$\begin{aligned}
\phi_{24}^{(0),SW}(mea,f_c,PA,\theta_{24},D_{24}) &= \frac{2\pi D_{24}}{\lambda}sin\theta_{24}+\triangle_{24}^{(0)}\\
\phi_{52}^{(0),SW}(mea,f_c,PA,\theta_{52},D_{52}) &= \frac{2\pi D_{52}}{\lambda}sin\theta_{52}+\triangle_{52}^{(0)}\\
\phi_{13}^{(1),SW}(mea,f_c,PA,\theta_{13},D_{13}) &= \frac{2\pi D_{13}}{\lambda}sin\theta_{13}+\triangle_{13}^{(1)}\\
\phi_{35}^{(1),SW}(mea,f_c,PA,\theta_{35},D_{35}) &= \frac{2\pi D_{35}}{\lambda}sin\theta_{35}+\triangle_{35}^{(1)}\\
\phi_{41}^{(2),SW}(mea,f_c,PA,\theta_{41},D_{41}) &= \frac{2\pi D_{41}}{\lambda}sin\theta_{41}+\triangle_{41}^{(2)}
\end{aligned} \quad (6)$$

여기서,

$\phi_{ij}^{(k),SW}(mea,f_c,PA,\theta_{ij},D_{ij})$: SWitching 시스템 이용하여 센터주파수가 f_c, 신호의 크기가 PA[dBm] 이고 ij baseline 기준으로 입사각이 θ_{ij}인 신호를 k번째 스위칭시 i번째 Dipole 과 j번째 Dipole 사이간에 측정된(measured) 위상차

$\triangle_{ij}^{(k)}$: k번째 스위칭시 i번째 Dipole과 j번째 Dipole 사이간에 위상오차

식 (6)에서는 k=0는 그림 5에서 첫 번째 그림을 k=1는 그림 5에서 두번째 그림을 k=2는 그림 5에서 마지막 그림에 해당하는 스위칭 Timing을 지시한다.

Switching CVDF 알고리즘도 기존 CVDF 알고리즘(Conventional CVDF)과 마찬가지로 식 (6)에서 측정된 위상차에 대해서 모호성제거를 위하여 식 (6)에 cos과 sin을 취하여 식 (3)과 같은 형태의 벡터를 구성하고 이미 스위칭을 이용하여 저장된 벡터와 내적을 하여 식 (5)처럼 각 크기로 나누어주면 상관계수값이 계산이 되며 계산된 상관계수의 최대치를 발생시키는 각도를 입사각이라고 추정한다.

다. 버스트에러 제거알고리즘을 적용한 CVDF 알고리즘

나에서는 스위칭 하는 동안 신호가 정적으로 들어온다고 가정을 하였다. 그러나 확률적으로는 그 확률이 낮지만 버스트에러(Burst Error)가 들어오는 경우가 있다. 또는 안테나 고장으로 위상차가 예상치보다 크게 빗나가는 경우가 발생할 수 있다.

$$\left|\begin{matrix}\phi_{24}^{(0),SW}(stored,f_c,PA,\theta_{24},D_{24})\\-\phi_{24}^{(0),SW}(mea,f_c,PA,\theta_{24},D_{24})\end{matrix}\right| < \xi_{Threshold} \quad (7)$$

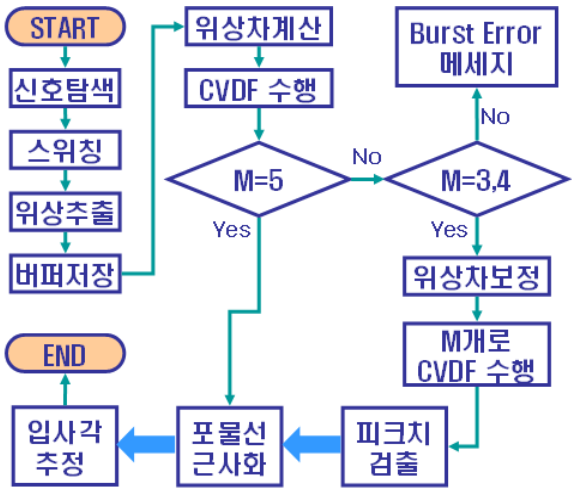
$$\left|\begin{matrix}\phi_{52}^{(0),SW}(stored,f_c,PA,\theta_{52},D_{52})\\-\phi_{52}^{(0),SW}(mea,f_c,PA,\theta_{52},D_{52})\end{matrix}\right| < \xi_{Threshold} \quad (8)$$

$$\left|\begin{matrix}\phi_{13}^{(1),SW}(stored,f_c,PA,\theta_{13},D_{13})\\-\phi_{13}^{(1),SW}(mea,f_c,PA,\theta_{13},D_{13})\end{matrix}\right| < \xi_{Threshold} \quad (9)$$

$$\left|\begin{matrix}\phi_{35}^{(1),SW}(stored,f_c,PA,\theta_{35},D_{35})\\-\phi_{35}^{(1),SW}(mea,f_c,PA,\theta_{35},D_{35})\end{matrix}\right| < \xi_{Threshold} \quad (10)$$

$$\left|\begin{matrix}\phi_{41}^{(2),SW}(stored,f_c,PA,\theta_{41},D_{41})\\-\phi_{41}^{(2),SW}(mea,f_c,PA,\theta_{41},D_{41})\end{matrix}\right| < \xi_{Threshold} \quad (11)$$

위의 알고리즘을 수행하여 $\xi_{Threshold}$내에 존재하는 수식의 개수를 M개라 가정하고 그림 6의 절차에 의해서 Burst Error를 제거할 수 있다. M=5이면 Burst Error가 발생하지 않았으므로 기존과 같이 포물선근사화를 통해 최종입사각을 추정(Estimation)하고 M=3 또는 4이면 $\xi_{Threshold}$내에 존재하는 위상차만을 가지고 다시 CVDF(correlation Vector Direction Finding)을 수행한다. 이때 식 (11)은 만족 하지 않고 식 (7), (8), (9), (10)만 만족하다면 2번째 스위칭시 Burst Error가 발생한 경우이고 식 (7)과 식 (8)은 만족 하지 않고 식 (9), (10), (11)만 만족하다면 두 번째 다이폴경로가 이상이 있음을 알려준다. 안테나가 고장이 났건 경로상의 다른 소자가 고장이 발생했건 방향



[그림 6] 스위칭을 이용한 방향탐지시 버스트에러제거 알고리즘

탐지를 알고리즘적으로 정상적으로 수행할 수 있도록 해준다.

또한 식 (7), (8), (9), (10)은 만족하지만 식 (11)은 만족하지 않는다면 두 번째 스위칭 시에 신호가 사라졌거나 다른 신호가 스위칭 하는 동안 출현했다는 사실을 알려준다.

그림 6은 스위칭을 이용한 방향탐지시 버스트에러 제거알고리즘을 적용하는 경우 그 절차에 대해 간단히 요약하고 있다. 스위칭을 이용한 방향탐지시 5개 다이폴에서 위상차를 뽑아내기 위해서 추출된 위상값들을 버퍼에 저장해 놓고 원하는 위상이 모두 얻어진 후 위상차를 계산하여 방향탐지알고리즘을 수행해야만 한다.

3. 방향탐지정확도 시뮬레이션

정확한 방향탐지정확도 정의를 위해서는 주파수, 입사각별, 수신기 최소대역폭, 측정 integration time, 송신파워, 안테나 이득(Gain) 및 노이즈피겨(Noise Figure) 뿐만 아니라 신호의 변조방식 등 여러 가지 Factor들을 필요로 한다. 하지만 본 시뮬레이션에서는 방향탐지 정확도를 RMS(Root Mean Square)로 정의하였다. 즉 RMS 정의는 표준편차를 정의하는 식과 동일하므로 예를 들어 방향탐지 정확도가 5도가 나온다는 것은 실제 방향탐지 수행 시 ±5도 안에 들어올 확률이 66%, ±15도 안에 들어올 확률이 99%가 된다는 뜻이다. 경우에 따라서는 주파수대역별로 방향탐지정확도를 정의할 수 있으나 본 시뮬레이션에서는 주파수별로 방향탐지정확도를 각각 모의하였다.

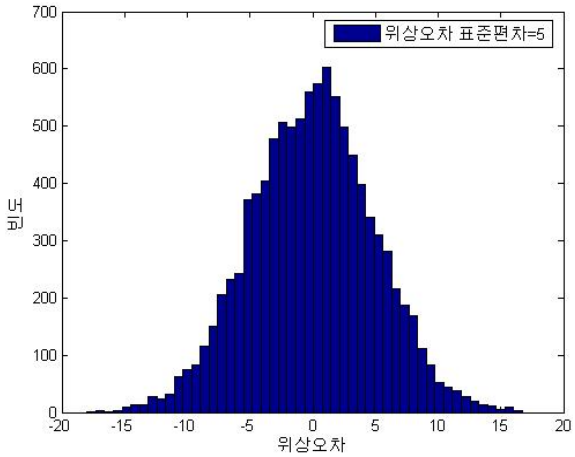
$$DF\ Accuracy = \sqrt{\frac{\sum_{\theta=0}^{360}(\theta_i-\theta)^2}{N}} \qquad (12)$$

여기서, DF Accuracy : 방향탐지정확도 in degrees
θ_i : i-th 측정각도, N : 반복회수

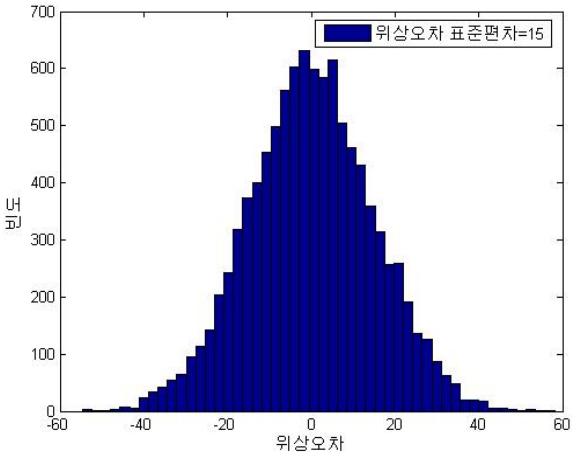
시뮬레이션을 위한 파라메타는 표 1과 같다. 안테나 반지름은 VHF 대역에서 적절하게 1.5m로 선택되었다.

[표 1] 시뮬레이션 파라메타

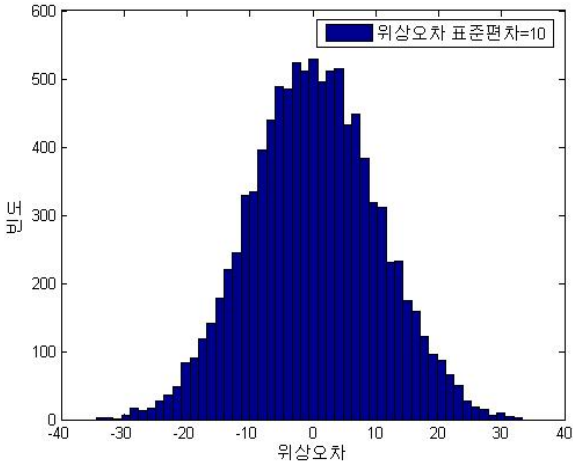
구 분	값	비 고
주파수대역	30~300 (MHz)	그림 10, 12, 14, 16
주파수	200 (MHz)	그림 11, 13, 15, 17
위상오차 표준편차	5, 10, 20 (도)	가우시안분포
안테나 어레이개수	5(개)	Circular array
안테나 반지름	1.5(m)	모호성이 발생하지 않는 반지름으로 선택
탐색간격	5(도)	방향탐지속도향상을 위해 사용
인터폴레이션 기법	포물선 근사화	탐색간격 성능보상
N(반복회수)	10000	
$\xi_{Theshhold}$	60(도)	버스트에러 판정기준



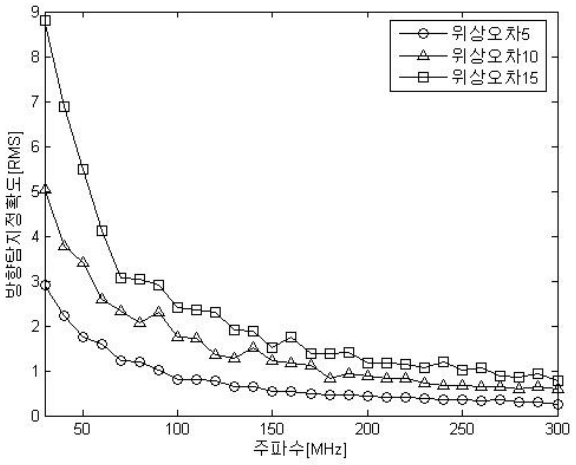
[그림 7] 위상오차 히스토그램(위상오차 표준편차=5, 평균=0, 분포 : 가우시안)



[그림 9] 위상오차 히스토그램(위상오차 표준편차=15, 평균=0, 분포 : 가우시안)



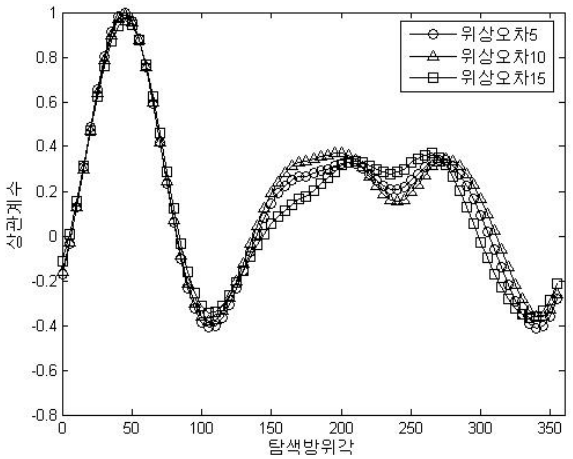
[그림 8] 위상오차 히스토그램(위상오차 표준편차=10, 평균=0, 분포 : 가우시안)



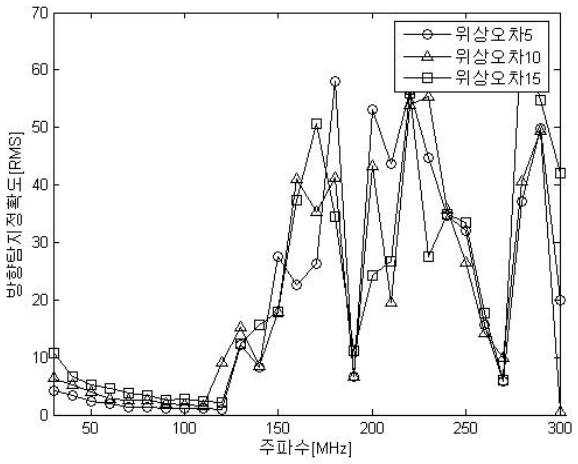
[그림 10] 버스트에러가 발생하지 않는 경우의 방향 탐지 정확도

그림 7, 8, 9는 시뮬레이션에서 발생시킨 위상오차의 히스토그램을 나타낸다. 즉 그림 9에서 위상오차의 표준편차를 15로 설정하게 되면 위상오차가 0도에서의 빈도가 가장 많고 ±40도에서의 빈도는 30번 정도이고 ±50도 근처에서도 간혹 발생함을 알 수 있다. 이때 히스토그램을 위한 가우시안랜덤함수의 발생회수는 10000회이다. 위상오차가 ±50도가 발생하면 방향탐지 정확도에 상당한 영향을 주게 된다.

그림 10은 버스트에러가 발생하지 않은 경우의 주파수에 따른 방향탐지정확도이고 그림 11은 상관계수 그래프이다. 그림 11을 보면 실제방위각 45도 근처에서 상관계수값이 최대치 값을 가지는 것을 확인할 수 있다. 하지만 3번 위상에 버스트에러 발생 시 방향탐지 정확도는 저주파수 대역에서는 성능을 유지하지만, 고주파대역에서는 현저히 성능저하가 그림 12에서와 같이 확인할 수 있다. 즉 그림 13에서처럼 버스트에러가 발생할 경우 실제방위각이 45도이지만 상관계수 최대값이 100도 근처나 360도 근처에서 발생할



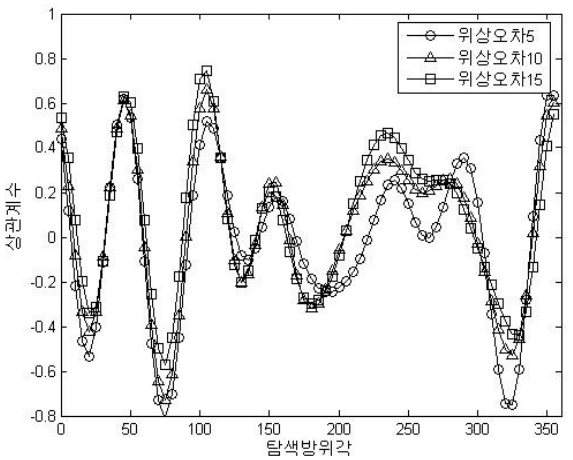
[그림 11] 버스트에러가 발생하지 않는 경우의 상관계수 그래프(실제방위각=45도, 주파수=200 MHz)



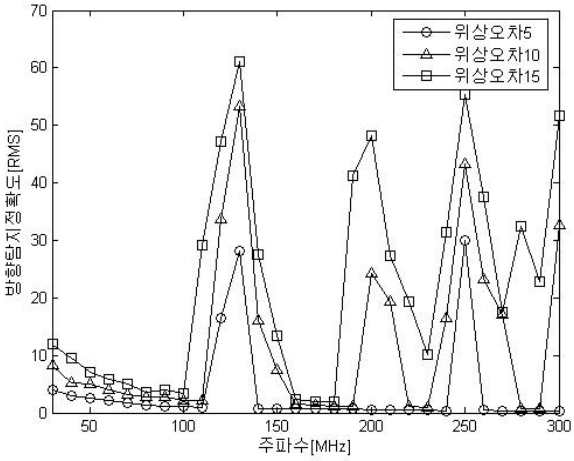
[그림 12] 3번 위상에 버스트에러 발생 시 방향탐지 정확도

확률이 상대적으로 높아지기 때문에 방향탐지 정확도는 급격히 나빠진다. 저주파수대역에서는 위상오차가 작은 경우가 방향탐지정확도가 더 좋아지지만 고주파수대역에서는 위상오차에 의한 영향보다 버스트에러에 의한 영향이 커지기 때문에 위상오차 5,10,15인 경우의 그래프가 랜덤하다(그림 12).

하지만 버스트에러제거알고리즘 사용 시에는 그림 14(M=3), 그림 16(M=4)에서와 같이 그림 12에 비해

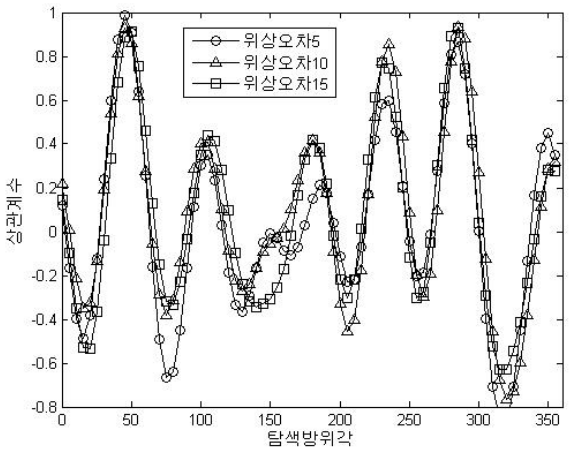


[그림 13] 3번 위상에 버스트에러 발생 시 상관계수 그래프(실제방위각=45도, 주파수=200MHz)

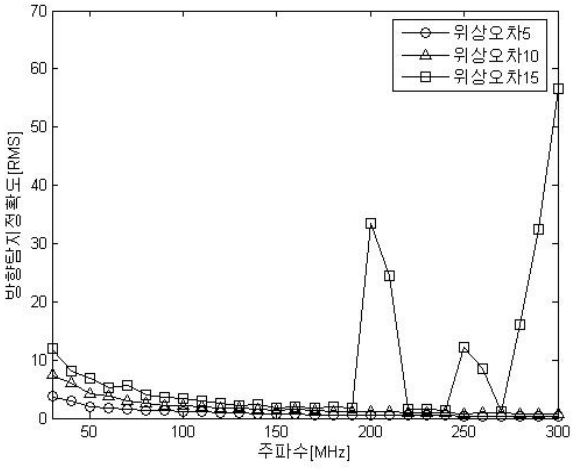


[그림 14] 버스트에러제거알고리즘(M=3) 사용 시 방향탐지정확도

현저하게 방향탐지정확도가 향상되었음을 알 수 있다. 이를 상관계수그래프에서 다시 한 번 확인해 보면 M=3인 경우 버스트에러 제거알고리즘을 사용 시 주파수 200MHz에서 위상오차 5인 경우는 실제방위각을 올바로 추정하지만 위상오차 10,15인 경우는 추정방위각을 280도로 추정하고(그림 15) M=4인 경우에는 위상오차 5,10인 경우에 45도에서 최대값을 15인 경우에는 280도 값을 최대값으로 추정한다(그림 17). 즉 M=4인 경우가 M=3인 경우보다 성능이 우수



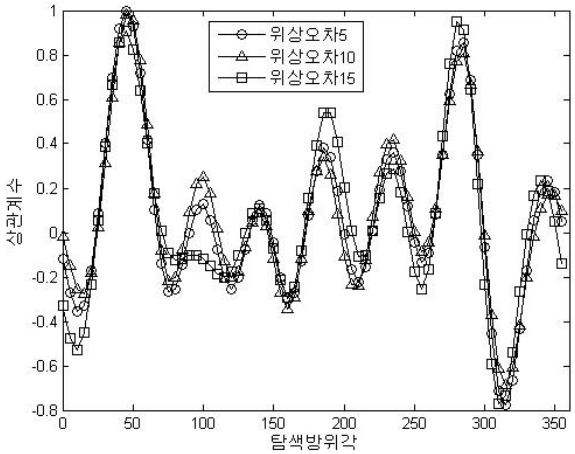
[그림 15] 버스트에러제거알고리즘(M=3) 상관계수 그래프(실제방위각=45도, 주파수=200MHz)



[그림 16] 버스트에러제거알고리즘(M=4) 사용 시 방향탐지정확도

함을 입증한다. 물론 노이즈를 확률적으로 발생시킨 것이므로 항상 상관계수그래프가 그림 15나 그림 17처럼 나오는 것은 아니며 전체적인 성능의 차이는 그림 12, 14, 16을 비교해야 한다.

따라서 시뮬레이션에 의하면 제안한 버스트제거알고리즘을 사용하면 방향탐지정확도를 상당히 많이 향상시킬 수 있으며 어느 안테나 Path에서 오류를 발생시키는지 그리고 몇 번째 스위칭에서 버스트에러가 발생하였는지 확인 할 수 있다.



[그림 17] 버스트에러제거알고리즘(M=4) 상관계수 그래프(실제방위각=45도, 주파수=200MHz)

4. 결 론

현대의 전자전장비는 기동성 및 휴대성이 중요한 이슈로 떠오르고 있다. 이러한 기동성 및 휴대성을 확보하려면 전체적인 시스템의 중량 감소는 필수적이며 특히 휴대형 전자전장비에서는 장비의 성능뿐만 아니라 크기 및 중량을 최소화해야 한다. 기본적인 무게감량방법은 첫 번째로 불필요한 기능을 삭제하고 최소기능만을 시스템에 구현하는 것이고 두 번째로 스위칭을 이용하여 RF수신판을 공용으로 사용하는 것이다. 이 때 스위칭을 기능을 가능한 안테나 쪽으로 넣게 되면 무게 감소는 더욱 현저하게 나타날 수 있다. 또한 버스(Bus)규격을 VME 타입보다는 크기도 작고 버스통신속도도 빠른 Compact PCI 타입 등을 이용하여 신호처리를 위한 신호처리판들을 구성해야 한다. 하지만 이러한 작은 사이즈에 필요한 기능을 구현하기 위해서는 작고 성능이 우수한 RF부품들이 먼저 개발되어야 하며 현재 이러한 부품들이 개발 중이며 가장 중요한 부분이라고 할 수 있다.

현대전의 통신무전기들은 전자전장비에 대항하고 저탐지율(Low probability of interception)을 확보하기 위해 도약신호(Frequency Hopping) 통신방식을 사용하고 있다. 홉핑율(Hopping Rate)이 높을수록 적에게 노출되지 않기 때문에 점차 그 속도가 올라가

고 있으며 스위칭을 이용한 시스템을 구성할 경우 해당신호들을 놓칠 수 있다. 본 논문에서는 그러한 경우에 발생할 수 있는 오류들을 보상해서 정상적인 방향탐지를 위한 알고리즘을 제시하였고 그에 대한 시뮬레이션을 하였다. 또한 이러한 알고리즘은 고정신호(Fixed Frequency Signal) 방향탐지 시에도 확률적으로는 낮지만 가우시안에러에 의해 발생할 수 있는 버스트에러를 제거할 수 있고 어레이 안테나 중 일부가 고장 나더라도 훌륭하게 방향탐지 임무를 수행할 수 있다.

마지막으로 현재의 방향탐지알고리즘은 전술상황을 고려하여 상당히 단순화 되어 있다. 물론 고속으로 방향탐지를 하기 위해 이러한 단순화는 필수 불가결이지만 CPU 처리속도가 빨라지고 있기 때문에 전장 환경에 맞는 적응형 방향탐지알고리즘(Adaptive Direction Finding Algorithm)이 개발이 시급하다고 할 수 있다. 앞으로 우리나라에서도 이러한 연구개발이 활발히 이루어질 것이다.

참 고 문 헌

[1] Cotter, C. H., The Principles and Practice of Radio Direction Finding, London : Pitman, 1961.

[2] Gething, P. J. D., Radio Direction Finding and Superresolution, 2nd Edition, Stevenage, Herts : Institution of Electrical Engineers, 1991.

[3] Lo, Y. T. and S. W. Lee, Antenna Handbook : Theory, Applications, and Design, New York : Van Norstrand Reinhold, 1988.

[4] Watson, D. W., Radio Direction Finding, New York : Van Norstrand Reinhold, 1971.

[5] Frater, Michael R., Electronic wafare for the digitized battlefield. Artech House Inc, 2001.

[6] Richard Poisel, Introduction to Communication Electronic Wafare Systems, Artech House Inc, 2002.

[7] Richard Poisel, Modern Communications Jamming Principles and Techniques, Artech House Inc, 2004.

[8] Earp, C. W. and Copper, D. L., The Practical Evolution of the Commutated Aerial Direction Finding System, Proc. IEE, Paper 2569R, Vol. 105, Part B, Supplement No. 9, pp. 317~332, March 1958.

[9] Gething, P. J. D., High freauency Radio Direction Finding, Proc. IEE, Vol. 113, No. 1, pp. 49~61, January 1966.

[10] Jacobs, E. and Ralston, E. W., Ambiguity Resolution in Interferometry, Trans. IEEE Aerospace and Electronic system, Vol. AES-17, No. 6, November 1981.

[11] Herndon H. Jenkins, Small-Aperture Radio Direction-Finding, Artech House Inc, 1991.