
원형배열안테나의 위상간섭에 의한 방향탐지 성능저하 개선연구

정재우* · 김영길**

*아주대학교

The study of improving the performance of lower direction finding ability due to the interfered phase difference of circular array Antennas

Jae-Woo Chung* · Young-Kil Kim**

**Ajou University

E-mail : *hotchung@ajou.ac.kr, **ykim@ajou.ac.kr

요 약

본 논문은 전파 수집 및 감시 시스템 등에 사용되는 신호의 도래 방향 측정에 관한 연구로써, V/UHF 대역의 다섯 개의 다이폴 안테나를 등 간격으로 원형 배열하여 얻어지는 안테나 간의 위상차 데이터를 CVDF(Correlation Vector Direction Finding) 알고리즘을 적용하여 방향을 추정하였다. CVDF 알고리즘을 적용하여 방향탐지 정확도를 높이기 위해서는 기본적으로 안테나로부터 얻어지는 위상 패턴이 왜곡되지 않고 이상적인 패턴을 가져야 한다. 그러나, 실 환경에서 원형 배열안테나의 위상패턴은 특정 주파수 대역, 특정 방위에서 왜곡되어 나타날 수 있다. 그 이유는 안테나 한 개의 소자만 사용할 때와는 다르게 안테나를 원형 배열구조로 배치함으로써 안테나 각 소자간의 간섭 및 센터폴(원형배열의 중앙에 위치하는 안테나 지지대)의 영향으로 인해 위상 패턴의 왜곡이 생길 수 있다. 특히 안테나 감도를 좋게 하기 위해 신호 증폭 특성을 갖는 Active 안테나를 사용하게 됐을 때는 Passive 안테나를 사용했을 때보다 이런 왜곡현상이 더 크게 나타나게 된다. 본 논문에서는 단순 CVDF 알고리즘을 적용했을 때의 방향탐지 측정 능력이 저하되는 현상을 최소화하여 방향탐지 측정능력 개선시키기 위한 방법으로, 위상을 측정하는 안테나의 조합을 실시간으로 변경하는 방법 및 안테나 빔패턴을 활용하는 방법등을 제안한다. 위의 제안된 개선알고리즘 적용 전/후의 시험결과를 통하여 이 제안방안의 타당성을 확인한다.

ABSTRACT

This paper include to study DoA(Direction of Arrival) for radio collection and monitoring system. The direction finding calculated by applying the CVDF (Correlation Vector Direction Finding) algorithm for the five circular dipole antenna over V / UHF band. To improve the accuracy of direction finding by applying CVDF algorithm needs to obtain ideal phase difference each antennas. However, a circular array antenna phase difference pattern may be distorted on a specific frequency band or to particular direction. The effect of installing each array antennas circularly and the effect of the interference of center pole (located in the center of a circular array antenna mount) may make the distortion of phase pattern. If you use an active antenna instead of passive antenna to obtain good sensitivity, you would measure the more distortion. This paper propose how to change combination of antennas to measure the phase in real-time and how to use antenna beam patterns for minimizing the degradation phenomena at applying simple CVDF algorithm and increasing the direction finding capability.

키워드

방향탐지, CVDF, DoA, 원형 배열안테나

Key word

Direction Finding, CVDF, DoA, Circular Array Antenna

1. 서 론

무선 방향탐지 기술은 Radar, Sonar, 항법, 위치탐지, 스마트 안테나(지능형 통신), 추적과 같은 응용에서 사용되고 있다.

CVDF 알고리즘에서 방향탐지 측정오차는 위상 측정오차에 비례하고 배열개구의 크기에 반비례한다. 따라서 V/UHF와 같은 저대역 주파수에서 위상측정 오차를 줄이기 위해 배열개구를 넓히는 것은 배열을 매우 크게 만들어야 하므로 실용성에 한계를 갖게 된다.

FHSS(Frequency Hopping Spread Spectrum)와 같이 광대역 주파수 어자일(agile) 신호를 사용하는 CNR (Combat Net Radio), WLAN(Wireless LAN) 또는 Bluetooth 등 짧은 펄스형 신호에 대한 방향탐지를 위해서는 통계적인 신호처리로 운용으로 고속처리가 가능한 CVDF 방식의 방향탐지 알고리즘을 사용하는게 적절하다.[1]

CVDF 방향탐지 알고리즘은 고속처리가 가능하고 알고리즘이 비교적 복잡하지 않다는 장점이 있지만, 외부 환경에 영향을 많이 받을 수 있다는 제한조건을 가지고 있다. 따라서 기본적으로 안테나로부터 얻어지는 위상 패턴이 왜곡되지 않고 이상적으로 출력된다면 아주 우수한 방향탐지 성능을 나타낼 것이다.

실환경에서 원형 배열안테나의 위상패턴은 특정 주파수 대역, 특정 방위에서 왜곡되어 나타날 수 있는데, 안테나를 원형 배열구조로 배치함으로써 생긴 간섭 및 안테나 지지용 중앙 센터폴의 영향으로 인해 위상 패턴의 왜곡이 생길 수 있다. 본 논문에서는 단순 CVDF 알고리즘을 적용했을 때의 방향탐지 측정 능력이 저하되는 현상을 최소화하여 방향탐지 측정능력을 개선시키기 위한 방법을 제안한다.

II. 기존의 CVDF 알고리즘

일반적으로 통신대역의 방향을 측정하기 위해서 사용되는 CVDF 알고리즘은 5개의 안테나 쌍의 위상차를 측정하여, 전 방위에 대해 만들어 놓은 Lookup Table의 Correlation 정도로 방향을 결정하는 알고리즘이다. 정확도를 높이기 위해서 더 많은 안테나 개수를 사용하는 경우도 있지만, 비용 대 효과측면에서 5개 안테나 배치 구조가 가장 많이 사용된다.

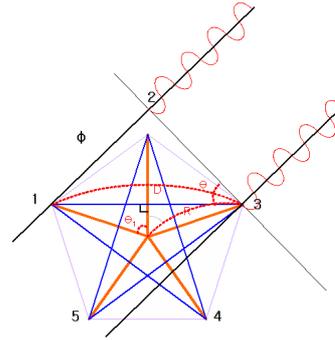


그림 1. 5개의 Dipole 배열안테나 구조
Fig 1. The layout of 5 array dipole antenna

CVDF 방향탐지 알고리즘은 다음과 같다. [그림 1]에서 5개의 Dipole 안테나가 진폭을 중심으로 72도 간격으로 배열되었을 경우, 각각의 안테나 소자에 입사되는 신호는 식(1)과 같이 표현된다. 5개의 Dipole 안테나가 θ_1 간격으로 배열되었을 경우 각각의 안테나 소자에 입사되는 신호에 대해 식(1) ~ (3)과 같이 표현된다.

$$D = 2R \sin \theta_1 \quad \text{식(1)}$$

$$\phi = \frac{2\pi D}{\lambda} \sin \theta \quad \text{식(2)}$$

$$R_\theta = \frac{\sum_{i=1}^N V_{M_i} \cdot V_{\theta_i}^*}{\left(\left(\sum_{i=1}^N |V_{M_i}|^2 \right) \cdot \left(\sum_{i=1}^N |V_{\theta_i}|^2 \right) \right)^{1/2}} \quad \text{식(3)}$$

D 는 안테나 소자 사이의 거리, ϕ 는 위상차, R_θ 는 두 위상차에 대한 상관계수이고, V_{M_i} 는 i 번째 채널의 복소벡터, V_{θ_i} 는 임의의 입사각 θ 의 i 번째 채널의 복소벡터이다. $0 \sim 360$ 도 전 방위에 대해 상관계수 R_θ 가 가장 높은 방위가 신호의 도래각이 되는게 CVDF 알고리즘의 원리이다.

CVDF 알고리즘은 기본적으로 정확도를 높이기 위해 안테나 간에 가장 먼 거리에 있는 다섯개의 안테나 페어를 사용해 위상차를 산출한다. 즉, 1번 안테나와 가까운 쪽에 있는 2번 또는 5번 안테나와의 위상차를 구하는 것이 아니고, 3번 또는 4번 안테나와의 위상차를 사용하여 방향탐지를 수행한다. 즉, 안테나 간 위상차를 측정하기 위한 Pair 조건은 [표 1]과 같다.

표 1. CVDF 알고리즘의 기본 안테나 Pair 조건
Table 1. Basically Antenna pair for CVDF

안테나 Pair 조건				
5-2	1-3	2-4	3-5	4-1

각각의 안테나로 입사되는 신호가 이상적이라고 할 때 [그림2]와 같이 아주 깨끗한 Sine파의 형

태를 갖는 위상차 패턴을 구할 수 있게 된다.

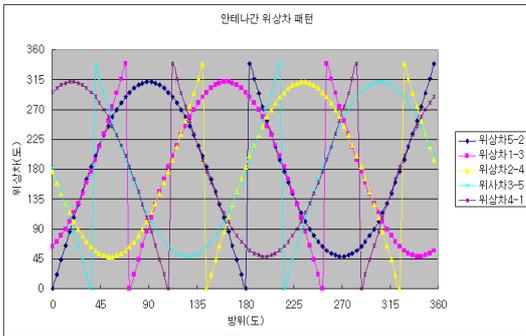


그림 2. 이상적인 위상 패턴 예(273MHz)
Fig 2. Ideal phase difference pattern(273MHz)

III. 원형 배열 안테나에서 나타나는 위상 왜곡 현상

3.1. 위상 왜곡 시뮬레이션 결과

실 환경에서 장비를 실 제작 전에 안테나 위상 패턴 특성을 유추하고자 원형 배열 구조의 안테나 배치일 때, 실제 다른 안테나 또는 중앙 센터 폴의 영향이 어느 정도인지 확인을 위해 고주파 시뮬레이션 툴(HFSS)을 사용하여 시뮬레이션을 수행하였다.

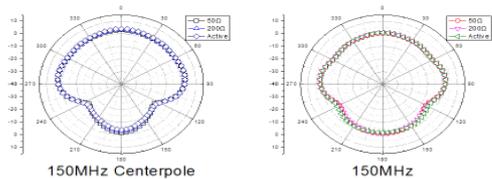


그림 3. 시뮬레이션 결과(150MHz)
Fig 3. Antenna simulation result(150MHz)

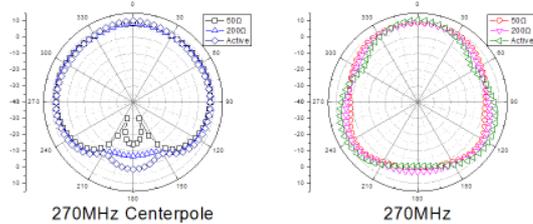


그림 4. 시뮬레이션 결과(270MHz)
Fig 4. Antenna simulation result(270MHz)

[그림3]과 [그림4]를 비교할 때 150MHz 는 센터 폴의 유무에 크게 영향을 받지 않는 데 반해, 270MHz는 센터 폴의 영향으로 신호세기 패턴이 뭉개지고, 이에 따라 안테나간의 위상차에도 영향을 미칠 수 있음을 시뮬레이션으로 확인하였다.

3.2. 위상 왜곡 실측 결과

[그림 5]의 실 환경에서는 측정된 안테나간의 위상차 패턴을 보면 시뮬레이션 결과로 이미 예측되었던 것처럼, 정상적인 Sine파의 형태를 더 이상 띄지 않고 있음을 확인하였다.

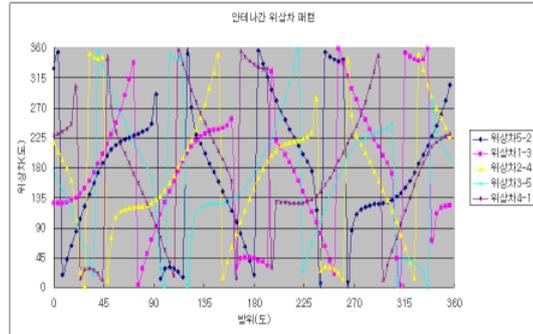


그림 5. 간섭에 의한 위상 왜곡 패턴 예(273MHz)
Fig 5. Phase Distortion by Interference(273MHz)

IV. 제안하는 CVDF 알고리즘 개선 기법

위상 왜곡현상 줄이기 위한 위상차 측정용 안테나 Pair 재정의 방법 및 안테나 빔패턴 연동 방안을 아래와 같이 제안한다.

위상을 이용하여 방향탐지를 위해서는 위상의 왜곡이 나타나는 방위의 안테나 쌍을 재정의 해야 할 필요가 있다. 위상 왜곡이 생기는 채널을 제외한 나머지 4개 채널을 이용하여 5개 채널로 안테나쌍을 만들었을 때와 동일한 모양의 위상 패턴을 만들어야 한다. 예를 들어, 4번 안테나가 Masking되는 방향에서 신호가 방사된다고 가정하면, [그림 6]처럼 고려될 수 있다. 안테나 쌍 2-4의 위상차는 아래 수식 (4)와 같고, 안테나 쌍 1-5의 위상차는 수식 (5)와 같으므로, 두 위상차는 안테나쌍의 배열 거리에 의한 차이만 있음을 알 수 있다.

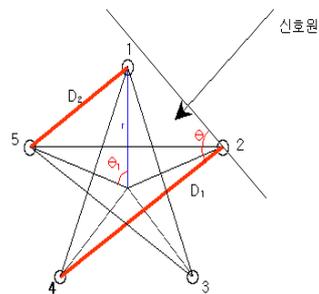


그림 6. 서로 평행한 대체 안테나 쌍
Fig 6. Replacement of Antenna pair

$$\phi_{24} = \frac{2\pi D_1}{\lambda} \sin\theta \quad \text{식(4)}$$

$$\phi_{15} = \frac{2\pi D_2}{\lambda} \sin\theta \quad \text{식(5)}$$

[그림 6]에서 D_1 과 D_2 길이만 알고 있다면, 안테나 쌍 1-5의 위상차는 2-4에 의한 위상차를 대체하여 사용할 수 있게 된다. 원형 배열안테나의 어레이 반경을 r 이라고 하고, D_2 에 대한 D_1 의 길이의 비를 K_L 이라 할 때 식(4)~(8)을 통해 식(9)를 얻는다.

$$D_1 = 2r \cdot \sin\theta_1 \quad \text{식(6)}$$

$$D_2 = 2r \cdot \sin\left(\frac{\theta_1}{2}\right) \quad \text{식(7)}$$

$$K_L = \frac{D_1}{D_2} = \frac{\sin(\theta_1)}{\sin\left(\frac{\theta_1}{2}\right)} \quad \text{식(8)}$$

$$\phi_{24} = K_L \cdot \phi_{15} \quad \text{식(9)}$$

위와 같은 방식으로 5개의 안테나 쌍을 Masking되는 채널에 따라 재정의 하면 아래 [표 2]와 같이 변형된 안테나 쌍을 얻어 낼 수 있다.

표 2. 안테나 Masking에 따른 Pair 재정의 방법
Table 2. Redefining method each antennas pair

CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	NO
마스킹	마스킹	마스킹	마스킹	마스킹	마스킹
5-2	4-3	5-2	5-2	4-3	5-2
5-4	1-3	5-4	1-3	1-3	1-3
2-4	1-5	2-4	1-5	2-4	2-4
3-5	3-5	2-1	3-5	2-1	3-5
3-2	4-1	4-1	3-2	4-1	4-1

위상 왜곡이 발생하는 구간은 송신신호 기준으로 다섯 개의 Dipole 안테나 중 한 개의 안테나가 마스트에 의해 가려지는 부분에서 주로 발생하게 되고, [그림 7]에서 보여지 듯 그 때의 신호세기는 다른 채널에 비해 상당히 크게 떨어지는 형태를 나타낸다. 즉, 측정되는 안테나 빔패턴 정보를 활용하면 비정상적인 부분을 산출해 낼 수 있게 된다. 식(1)에서 안테나간 거리비에 의해 방향탐지 정확도가 좋아지는 시스템이므로 정확도가 떨어지는 구간을 좀더 최소화시키는 게 필요하다. 따라서, 위상 왜곡이 발생하는 특정 주파수에 한해서 측정되는 안테나 빔패턴을 활용하여 위상 왜곡이 발생하는 방위 구간을 먼저 산정하고, [표 2]에서 제안된 대체 안테나 쌍을 적용하면 [그림 8]과 같은 Ideal 위상차 패턴에 근사한 위상차 패턴을 얻을 수 있어, 안

테나 소자간의 간섭현상을 최소화하여 방위각 오차를 줄이는 결과를 얻을 수 있다.

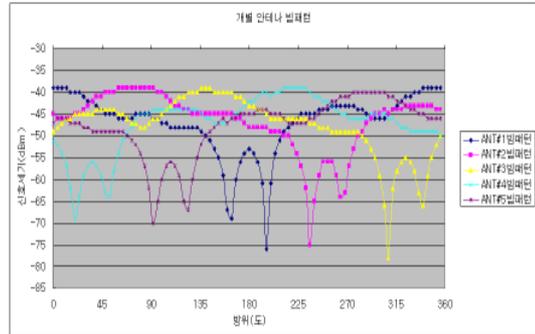


그림 7. 위상 왜곡 구간 안테나 빔패턴 예(273MHz)

Fig 7. Antenna beam-patterns at phase distortion sector (273MHz)

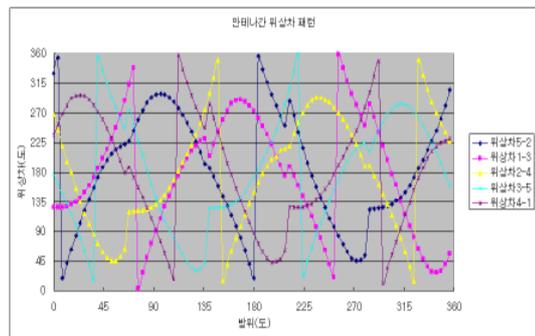


그림 8. 위상 왜곡 완화된 패턴 예(273MHz)

Fig 8. Reduced phase distortion(273MHz)

V. 실험 및 결과분석

CVDF 방향탐지를 실험 및 증명하기 위해 [그림 9]과 같이 시스템을 구성하였다. 안테나는 외부에 차량에 탑재되어 이동 가능한 형태로 제작되었고, 파장이 긴 VHF안테나를 제일 밑에, 파장이 짧은 UHF안테나를 그 위에 배치하는 구조로 설계되었다. V/UHF 대역 각각 5개의 안테나로부터 수신되는 고주파신호는 지상의 RF수신/IF변환회로를 거쳐 21.4MHz 대역의 IF신호로 변환된다. 이 변환된 IF 신호를 AD샘플링후 고속의 FPGA에서 FFT 처리로직을 통해 FFT형태로 변형된 데이터를 DSP로 넘겨주면, DSP에서 CVDF 알고리즘을 수행하여 도래하는 신호의 방향을 탐지하는 구조이다.

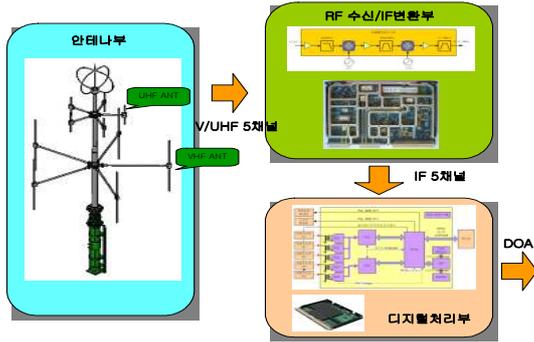


그림 9. CVDF 방탐을 위한 시스템 개략 구조
Fig 9. System block diagram for CVDF

5.1. 단순 CVDF 방향탐지 알고리즘 수행결과

단순 CVDF 방향탐지 알고리즘 수행결과 특정 주파수 대에서 모호성이 발생하여 방탐정확도 성능을 크게 떨어뜨렸다. 따라서 전체 방탐정확도 RMS 값도 7.4도로 매우 좋지 않은 결과를 산출했다.

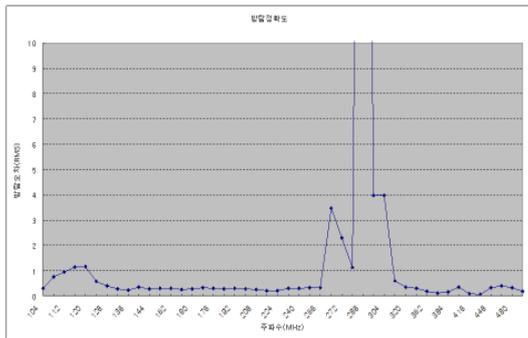


그림 10. 단순 CVDF 알고리즘 적용 방탐결과
Fig 10. DoA result by applying simple CVDF

5.2. CVDF 방향탐지 알고리즘에 제안하는 알고리즘 병합 수행 결과

위상차가 왜곡되는 범위의 주파수 대역에 제안하는 알고리즘을 적용하여 방향탐지를 수행한 결과 특정주파수에서 발생하던 방향탐지 모호성이 제거되어 방향탐지 성능이 개선되었다. 알고리즘 적용후 전체 방탐정확도 RMS 값도 1.2도로 만족스러운 결과를 얻을 수 있었다.

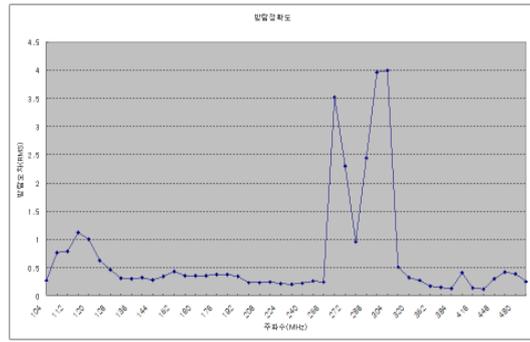


그림 11. 제안하는 알고리즘 적용 방탐결과
Fig 11. DoA result by applying proposed algorithm

VI. 결 론

본 연구에서는 V/UHF 대역에서 Dipole 안테나를 원형으로 배치하여 CVDF 알고리즘 적용하여 방향탐지를 수행했을 때 발생할 수 있는 위상 왜곡 현상을 최소화 할 수 있도록 하는 방안을 제시하고 실험을 통해 결과를 확인하였다. 방향탐지 정보는 군사적 목적에서 적의 레이더 또는 통신기기의 신호원 위치를 추적하여 적 장비의 전파를 교란하는데 중요한 정보로 사용되고, 민간 분야에서는 음성 통신기기의 신호원을 추적하여 실종자 수색 또는 불법 전파 사용자들을 찾아내는데 사용되고 있는 분야이다. 따라서, 좀 더 심도 있는 연구가 계속되어야 할 것이다.

참고문헌

[1] 박철순, 김대영, “직접 변환을 이용한 고속 상관형 벡터 방향탐지기”, 전자공학회 논문집 제 43권, 1497-1504, 2006년 12월
 [2] 김원석, 정재우, 박영미 “배열 안테나의 간섭현상을 고려한 V/UHF방향탐지 능력 향상”, 마이크로파 및 전파 학술대회 논문집 제32권, 2009년 9월
 [3] 최준호, 박철순, 나선필, 장원, “A Multi-Channel Correlative Vector Direction Finding System Using Active Dipole Antenna Array for Mobile Direction Finding Applications”, 한국전자과학회 논문집 제 25권, 161-168, 2009년 7월
 [4] 박철순, 임중수, 장원, 나선필, “N채널 상관형 벡터 방탐의 성능분석에 관한 연구”, 한국군사과학기술회 제 6차 통신전자학술대회 논문집, 420-425, 2002년 10월
 [5] 김용운, 유근호, 이수동, 최영운, 황춘식, 전자전 시스템, 청문각, 2002