
원형 배열안테나의 위상간섭에 의한 방향탐지 성능저하 개선 연구

정재우* · 김영길**

A study on improving the low capability of direction finding
by interfered phase difference at circular array antennas

Jae-woo Chung* · Young-kil Kim**

요 약

본 논문은 신호의 도래 방향 측정에 관한 연구로써, 어레이 안테나에 입시되는 신호의 위상차를 활용하여 방향을 추정하는 알고리즘인 CVDF(Correlative Vector Direction Finding)를 적용하여 방향탐지 정확도를 높이기 위해서는 기본적으로 안테나로부터 얻어지는 위상차 패턴이 이상적인 정현파 패턴을 가져야 한다. 그러나 실 환경에서 원형으로 안테나를 배치후 측정되는 위상차 패턴은 특정 주파수 대역, 특정 방위에서 왜곡되어 나타날 수 있다. 그 이유는 안테나를 원형 배열 구조로 배치함으로써 안테나 각 소자간의 간섭 및 중앙 센터폴(원형배열의 중앙에 위치한 안테나 지지대)의 영향으로 인한 위상 패턴의 왜곡이 발생할 수 있다. 본 논문에서는 기존 CVDF 알고리즘을 적용했을 때의 위상 왜곡 현상에 의해 저하되는 방향탐지 능력을 개선시키기 위한 방법으로, 위상을 측정하기 위한 안테나 조합의 실시간 변경 방법 및 안테나 빔패턴을 활용하는 방법 등을 제안하였고, 실험 및 결과분석을 통해 방향탐지 성능이 개선됨을 확인하였다.

ABSTRACT

This paper includes the study of DOA(Direction of Arrival). CVDF(Correlative Vector Direction Finding) algorithm using at the phase difference each antenna needs to obtain ideal sinusoidal phase difference patterns. However, the phase difference patterns of circular array antennas may be interfered on a specific frequency band and to particular angle. The effect of installing each array antenna circularly and the effect of the interference by center pole (located in the center of a circular array antennas) may distort the phase difference patterns. This paper propose how to change the combination of antennas to measure phase difference patterns in real-time and how to use antenna beam patterns for minimizing the degradation phenomena with old CVDF algorithm. According to the test result, the capability of direction finding is improved.

키워드

방향탐지, CVDF, DOA, 원형 배열안테나

Key word

Direction Finding, CVDF, DOA, Circular Array Antennas

* LIG넥스원 (주저자, jw.chung@lignex1.com)

** 아주대학교 전자공학과 교수 (교신저자, ykkim@ajou.ac.kr)

접수일자 : 2010. 05. 16

심사완료일자 : 2010. 06. 29

I. 서 론

방향탐지(Direction Finding)[1-5]장치는 군사적 목적으로 전자전체계(Electronic warfare System)를 구성하는 전자지원(Electronic Support)장비의 핵심 장비로서 전자파를 이용하여 표적을 추적하는 적의 레이더 및 유도무기나 전자파를 이용한 통신장비 등의 방향을 찾아내기 위한 장치이다[1].

방향탐지장치는 주로 진폭이나 위상을 사용하여 방향탐지를 수행한다. 특히, 위상을 활용하는 장비의 방향탐지 오차는 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[2].

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 방탐을 위해서는 MUSIC 등 부공간 기반의 알고리즘 등은 수신감도, 다중 신호 분해능 및 고 정확도 등의 장점이 있으나 계산 복잡도가 높아 실시간 고속 방향탐지 처리에 부적합하다. 따라서 통계적인 신호처리 운용으로 고속처리가 가능한 고전적인 방식의 CVDF 방식의 방탐 알고리즘을 사용하는 게 적절하다[2].

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 위상차 패턴이 왜곡되지 않고 이상적으로 출력된다면 아주 우수한 방향탐지 성능을 나타낼 것이다.

실 환경에서 원형 배열안테나의 위상차 패턴은 특정 주파수 대역, 특정 방위에서 왜곡되어 나타날 수 있는데, 안테나를 원형 배열구조로 배치함으로써 생기는 안테나 간의 간섭 및 안테나 지지용 중앙 센터폴의 영향으로 인해 위상차 패턴의 왜곡이 생길 수 있다. 본 논문에서는 기존 CVDF 알고리즘을 적용했을 때의 위상차 왜곡현상을 최소화시켜 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 기준에 측정하여 만들어 놓은 Lookup Table 데이터와의 Correlation 정도로 방향을 결정하는 알고리즘이다[3]. 정확도를 높이기 위해서 더 많은 안테나 개수를 사용하는 경우도 있지만, 비용 대 효과측면에서 5개 안테나 배치 구조가 가장 많이 사용된다.

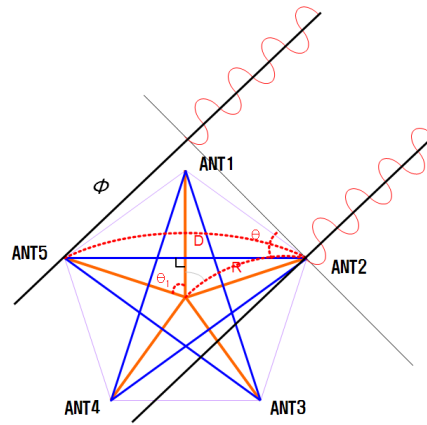


그림 1. 5개의 다이폴 배열안테나 구조
Fig 1. The layout of 5 array dipole antenna

CVDF 방향탐지 알고리즘은 다음과 같다. 그림 1에서 5개의 다이폴(Dipole) 안테나가 진폭을 중심으로 72도 간격으로 배열되었을 경우, 각각의 안테나 소자에 입사되는 신호는 식(1)과 같이 표현된다. 5개의 다이폴 안테나가 θ1 간격으로 배열되었을 경우 각각의 안테나 소자에 입사되는 신호에 대해 식(1)~(3)과 같이 표현된다.

$$D = 2R \sin \theta_1 \tag{1}$$

$$\phi = \frac{2\pi D}{\lambda} \sin \theta \tag{2}$$

$$R_{\theta} = \frac{\sum_{i=1}^N V_{Ai} \cdot V_{\theta i}^*}{\left(\left(\sum_{i=1}^N |V_{Ai}|^2 \right) \cdot \left(\sum_{i=1}^N |V_{\theta i}|^2 \right) \right)^{-2}} \tag{3}$$

D는 안테나 소자 사이의 거리, ϕ 는 위상차, R_θ 는 상관계수 값이고, V_{Mk} 는 새로 측정된 i번째 채널의 복소 벡터 및 $V_{\theta i}$ 는 입사각(θ) 별로 기준에 저장되어 있는 i번째 채널의 복소벡터이다. 기준에 저장되어 있는 0° 부터 360° 까지의 방위에 대한 위상차 값과 새로 측정된 위상차 값과의 상관계수 R_θ 가 가장 높게 나타나는 방위를 신호의 도래각으로 추정하는 게 CVDF 알고리즘의 원리이다[3].

CVDF 알고리즘은 기본적으로 정확도를 높이기 위해 안테나 간에 가장 먼 거리에 있는 다섯 개의 안테나 패어를 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 1과 같다.

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

안테나 Pair 조건				
5-2	1-3	2-4	3-5	4-1

각각의 안테나로 입사되는 신호가 이상적일 때는 그림 2와 같이 아주 깨끗한 정현파의 형태를 갖는 위상차 패턴을 구할 수 있게 된다.

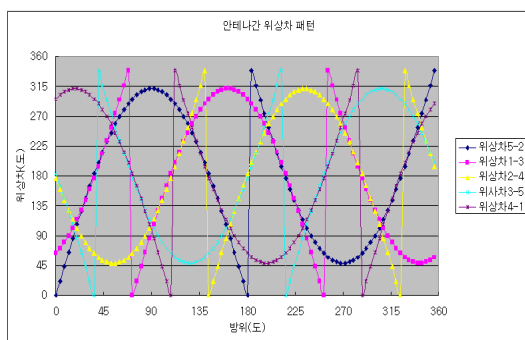


그림 2. 이상적인 위상차 패턴 예(273MHz)
Fig 2. Ideal phase difference patterns(273MHz)

III. 원형 배열 안테나에서 나타나는 위상차 왜곡 현상

3.1. 위상차 왜곡 예측 시뮬레이션 결과

장비 제작 전에 실 환경에서의 안테나 위상차 패턴 특성을 유추하고자 원형 배열 구조 안테나 배치일 때, 다른 안테나 또는 중앙 센터폴의 영향이 어느 정도인지 확인을 위해 고주파시뮬레이션 툴(HFSS)을 사용하였다.

중앙에 센터폴을 위치시키고 그 주변에 다섯 개의 다이폴 안테나를 배치하여 실 환경에 가깝게 시뮬레이션이 되도록 파라미터를 입력하였다. 다섯 개의 안테나 중 1번 안테나 기준으로 360° 전 방위에 대해서 중앙에 센터폴이 있을 때와 없을 때 조건의 안테나 빔패턴 비교 시뮬레이션을 실시하였다.

그림 3 및 5는 안테나 입력 주파수가 150MHz 및 500MHz 일 때의 1번 안테나 빔패턴이다. 결과를 보면 센터폴의 영향이 거의 없는 형태인 전 방위에 대해 신호세기 일정한 구형패턴에 근사한 형태를 보였다.

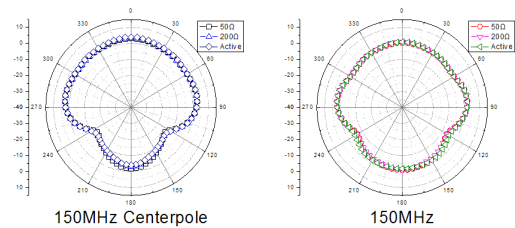


그림 3. 시뮬레이션 결과(150MHz)
Fig 3. Antenna simulation result(150MHz)

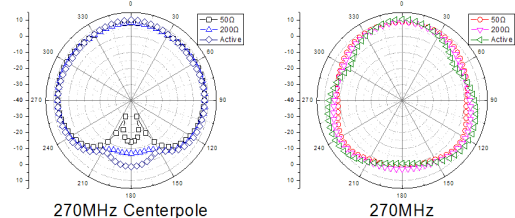


그림 4. 시뮬레이션 결과(270MHz)
Fig 4. Antenna simulation result(270MHz)

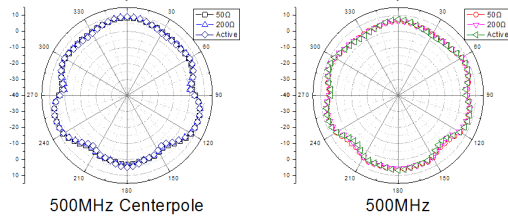


그림 5. 시뮬레이션 결과(500MHz)
Fig 5. Antenna simulation result(500MHz)

반면에 그림 4의 270MHz 입력 주파수 조건은 센터폴의 영향으로 1번 안테나가 센터폴에 의해서 가려지는 180° 근처에서 안테나 빔패턴이 뭉개짐에 따라 안테나간의 위상차에도 영향을 미칠 수 있음을 시뮬레이션 결과로 예측하였다.

3.2. 위상차 왜곡 실측 결과

그림 6의 실 환경에서 측정된 안테나간의 위상차 패턴을 보면 시뮬레이션 결과로 이미 예측되었던 것처럼 정상적인 정현파의 형태를 더 이상 띄지 않고, 정현파의 꼭지 점을 형성하는 방위각 부분에서 심하게 위상차가 왜곡되고 있음을 확인하였다.

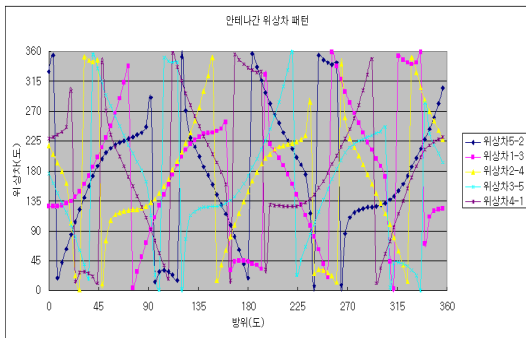


그림 6. 간섭에 의한 위상차 왜곡 패턴 예(273MHz)
Fig 6. The Interfered phase difference patterns (273MHz)

IV. 제안하는 CVDF 알고리즘 개선 기법

위상차 왜곡현상을 줄이기 위한 위상차 측정용 안테나 Pair 제정의 방법 및 안테나 빔패턴 연동 방안을 아래

와 같이 제안한다.

위상차 왜곡을 줄이기 위해서는 위상차 왜곡을 발생시키는 주파수에서의 방향탐지 측정용 안테나 쌍을 재정의 해야 할 필요가 있다. 위상차 왜곡이 생기는 채널을 제외한 나머지 4개 채널을 이용하여 5개 채널로 안테나 쌍을 만들었을 때와 동일한 모양의 위상차 패턴을 만들어야 한다. 예를 들어, 4번 안테나가 마스킹(MASKING)되는 방향에서 신호가 방사된다고 가정하면, 그림 7처럼 고려될 수 있다. 안테나 쌍 2-4의 위상차는 아래 식(4)와 같고, 안테나 쌍 1-5의 위상차는 식(5)와 같으므로, 두 위상차는 안테나 쌍의 배열 거리에 의한 차이만 있음을 알 수 있다.

$$\phi_{24} = \frac{2\pi D_1}{\lambda} \sin\theta \tag{4}$$

$$\phi_{15} = \frac{2\pi D_2}{\lambda} \sin\theta \tag{5}$$

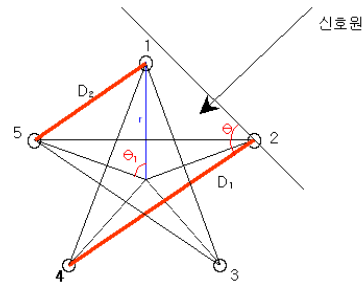


그림 7. 서로 평행한 안테나 쌍으로 대체
Fig 7. Changing pair into parallel antennas

그림 7에서 D1과 D2 길이만 알고 있다면, 안테나 쌍 1-5의 위상차는 2-4에 의한 위상차를 대체하여 사용할 수 있게 된다. 원형 배열 안테나의 어레이 반경을 r이라고 하고, D2에 대한 D1의 길이의 비를 KL이라 할 때 식 (4)~(8)을 통해 식(9)를 얻는다.

$$D_1 = 2r \cdot \sin\theta_1 \tag{6}$$

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

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

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

위와 같은 방식으로 5개의 안테나 쌍 조합을 마스크 되는 채널에 따라 재정의 하면 다음 표 2와 같이 변형된 안테나 쌍을 얻을 수 있다.

표 2. 안테나 마스크에 따른 Pair 재정의 방법
Table 2. The redefinition of each antenna pair

CH1 마스크	CH2 마스크	CH3 마스크	CH4 마스크	CH5 마스크	NO 마스크
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

위상차 왜곡이 발생하는 구간은 송신신호 기준으로 다섯 개의 다이폴 안테나 중 한 개의 안테나가 센터폴에 의해 가려지는 부분에서 주로 발생하게 되고, 그림 8에서 보여지 듯 그 때의 신호세기는 다른 채널에 비해 상당히 크게 떨어지는 형태를 나타낸다.

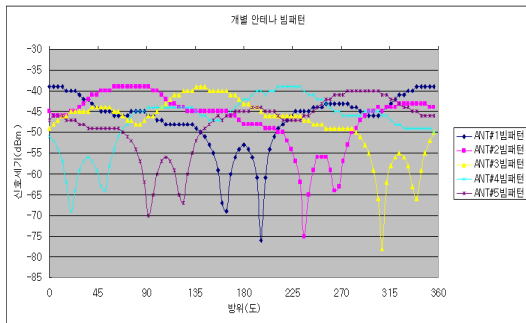


그림 8. 위상차 왜곡구간의 안테나 빔패턴 예(273MHz)
Fig 8. Antenna beam-patterns at interfered sector (273MHz)

즉, 측정되는 안테나 빔패턴 정보를 활용하면 비정상적인 부분을 산출해 낼 수 있게 된다. CVDF는 안테나 간 거리비에 의해 방향탐지 정확도가 좋아지는 알고리즘이므로 정확도가 떨어지는 구간을 좀 더 최소화 시키는 게 필요하다. 따라서 위상 왜곡이 발생하는 특정 주파수에 한해서 측정되는 안테나 빔패턴을 활용하여

위상 왜곡이 발생하는 방위 구간을 먼저 산정하고, 표 2에서 제안된 대체 안테나 쌍을 적용하면 그림 9과 같은 이상적인 위상차 패턴에 근사한 패턴을 얻을 수 있어, 안테나 소자간의 간섭현상을 최소화하여 방위각 오차를 줄이는 결과를 얻을 수 있다.

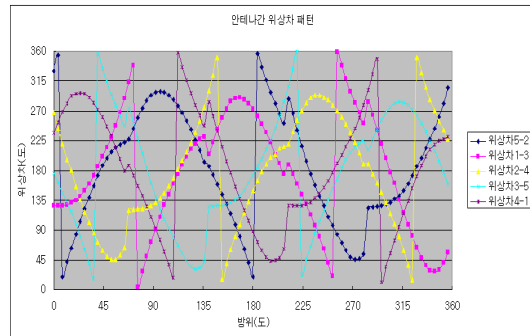


그림 9. 개선된 위상차 패턴 예(273MHz)
Fig 9. Improved phase difference patterns(273MHz)

V. 실험 및 결과분석

CVDF 방향탐지 알고리즘 개선 여부를 실험 및 증명하기 위해 그림 10과 같이 시스템을 구성하였다. 안테나는 외부에 차량에 탑재되어 이동 가능한 형태로 제작되었고, 과장이 긴 VHF안테나를 제일 밑에, 과장이 짧은 UHF안테나를 그 위에 배치하는 구조로 설계되었다.

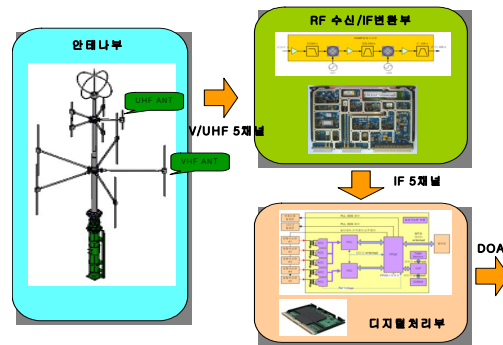


그림 10. CVDF 검증용 시스템 구조
Fig 10. System block diagram for CVDF

V/UHF 대역 각각 5개의 다이폴 안테나로부터 수신되는 고주파신호는 지상의 RF수신/IF변환회로를 거쳐 21.4MHz 대역의 IF신호로 변환된다. 이 변환된 IF 신호를 AD샘플링 후 고속의 FPGA에서 FFT 처리로직을 통해 FFT형태로 변형된 데이터를 DSP로 넘겨주면, DSP에서 CVDF 알고리즘을 수행하여 도래하는 신호의 방향을 추정하는 구조이다.

5.1. 기존 CVDF 알고리즘 수행 결과

그림 11은 기존 CVDF 방향탐지 알고리즘을 적용하여 실험을 수행한 결과 이다. 실험 결과를 분석해 보면 시뮬레이션에서 예측되었듯이 대략 300MHz 근처 대역을 제외한 부분은 이상적인 정현파 형태에 근접한 위상차 특성이 나타나는 구간으로 매우 양호한 방향탐지 정확도 결과를 얻었고, 300MHz 대역 근처에서는 모호성이 발생하여 방탐정확도 성능이 크게 떨어지는 결과를 산출하였다. 결론적으로 전체 방향탐지 정확도 값이 RMS 7.4°로 매우 좋지 않은 결과를 얻었다.

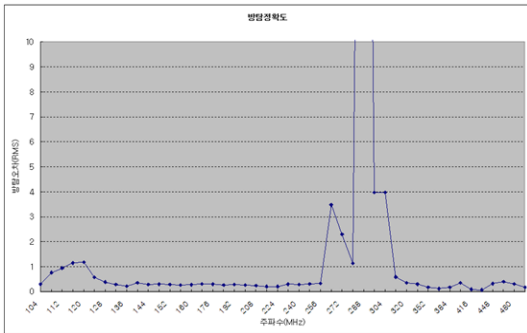


그림 11. 기존 CVDF 알고리즘 적용 방향탐지 결과
Fig 11. DoA result by applying old CVDF

5.2. 기존 CVDF 알고리즘에 제안하는 알고리즘 병합수행 결과

그림 12는 위상차가 왜곡되는 범위의 주파수 대역에 제안하는 알고리즘을 적용하여 실험을 수행한 결과이다. 실험 결과를 분석해 보면 300MHz 대역 근처에서 비록 이상적인 위상차 패턴에 근접한 다른 주파수 대역 수준의 방향탐지 정확도를 달성하지는 못했지만, 발생하던 모호성이 제거되어 방향탐지 성능이 크게 개선되는 결과를 산출하였다.

결론적으로 전체 방향탐지 정확도 값이 RMS 1.2°로 매우 만족스러운 결과를 얻었다.

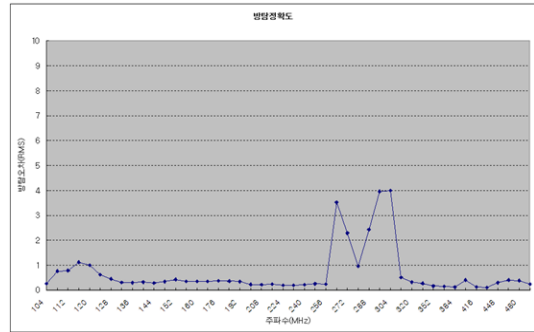


그림 12. 제안하는 알고리즘 적용 방향탐지 결과
Fig 12. DoA result by applying proposing algorithm

VI. 결 론

본 연구에서는 V/UHF 대역에서 다이폴 안테나를 원형으로 배치하여 CVDF 알고리즘 적용하여 방향탐지를 수행했을 때 발생할 수 있는 위상차 왜곡 현상을 최소화할 수 있도록 하는 방안을 제안하고 실험을 통해 결과를 확인하였다.

방향탐지 정보는 군사적 목적뿐만 아니라, 민간 분야에서 소나 어레이를 어선에 장착하여 어군을 탐지하거나, 지진의 진원지를 파악하기 위한 곳에도 사용되며, 최근에는 통신용으로서 이동 통신의 신뢰도를 높이거나 불법 전파원을 색출하기 위한 분야 등 다양하게 활용되고 있는 아주 중요한 분야이다.

비록 제안하는 알고리즘이 고전적인 방식의 CVDF 알고리즘의 문제점을 개선은 하였다고는 하지만 완벽한 해결책이 될 수는 없다. 또한, DSP 나 CPU의 계산 처리 속도가 계속해서 빨라지고 있는 현실에서 볼 때, 좀 더 복잡한 알고리즘의 심도 있는 연구가 계속되어 방향탐지 성능을 더욱 개선해야할 필요가 있다.

참고문헌

[1] 원종목, “VHF대역에서 원격운용 방향탐지안테나 소자의 스위칭에 의한 상관벡터방향탐지 버스트에

- 러 제거 알고리즘 성능분석”, 한국군사기술학회 논문집 제 10권 제 3호, 129-138, 2007년
- [2] 박철순, 김대영, “직접 변환을 이용한 고속 상관형 백터 방향탐지기”, 전자공학회 논문집 제43권, 1497-1504, 2006년 12월
- [3] 김원석, 정재우, 박영미 “배열 안테나의 간섭현상을 고려한 V/UHF방향탐지 능력 향상”, 마이크로파 및 전파 학술대회 논문집 제32권, 2009년 9월
- [4] 최명렬, “마이크로웨이브 주파수 대역 디지털 방향탐지 시스템 개발 및 응용 연구”, 석사학위 논문, 한남대학교, 2003년 2월
- [5] 최준호, 박철순, 나선필, 장원, “A Multi-Channel Correlative Vector Direction Finding System Using Active 다이폴 Antenna Array for Mobile Direction Finding Applications”, 한국전자과학회 논문집 제 25권, 161-168, 2009년 7월

저자소개

정재우(Jae-woo Chung)



1994. 한국항공대학교
항공전자공학과 공학학사
2010. 아주대학교 전자공학과
공학석사

1997.~현재 LIG넥스원 선임연구원

※ 관심분야: 신호처리, Embedded System, Embedded Programming

김영길(Young-kil Kim)



1978. 고려대학교 전자공학과
공학학사
1980. 한국과학기술원
산업전자공학과 공학석사

1984. ENST(프랑스) 공학박사

1984.~현재 아주대학교 전자공학과 교수

※ 관심분야: 마이크로파 공학, 의료공학, Embedded System