

# MW대 디지털 방탐 시스템 개발 및 응용 연구\*

최명렬<sup>0\*</sup>, 민종민<sup>\*</sup>, 이일근<sup>\*</sup>, 박철순<sup>\*\*</sup>, 임중수<sup>\*\*</sup>, 장원<sup>\*\*</sup>  
\*한남대학교, \*\*국방과학연구소  
E-mail : c95551@hanafos.com

## A Study on Development and Application of Digital Direction Finding System in MW band

Myoung-Ryul Choi<sup>0\*</sup>, Jong-Min Min<sup>\*</sup>, Il-Keun Rhee<sup>\*</sup>,  
Chul-Soon Park <sup>\*\*</sup>, Joong-Soo Lim<sup>\*\*</sup>, Won Jang<sup>\*\*</sup>

\*Hannam University, \*\*ADD

### 요 약

본 논문에서는 통신대역에서 실용화 단계에 있는 디지털 고해상도 방탐 알고리즘의 장점들과 MW대역 전자전장비의 요구사항을 효과적으로 절충하여 MW대역에서 운용 가능한 디지털 방탐 알고리즘을 도출하고 고해상도 및 무 모호성을 가지는 MW디지털 방탐 장치의 최적 시스템 구조를 제안하였다. 또한, 제안된 방탐 시스템에 MUSIC 기법을 탑재하여 실제와 유사한 상황에서 수행한 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여, 제안된 시스템의 유용성을 입증하였다.

### 1. 서 론

방향탐지(DF : Direction Finding)(이하 '방탐' 이라고 칭함)란 임의의 방향에서 레이더 혹은 소나 등과 같은 센서(들)로 도래하는 표적으로부터의 방향 즉, 도래방향각(DOA : Direction-of-Arrival, 또는 AOA : Angle-of-Arrival)을 탐지하는 것으로 정의 되는데, 이는 민간과 군용으로 많은 중요성과 응용 분야를 가진다[1,3,4,5].

먼저 민간 분야에서는 소나 어레이를 어선에 장착하여 어군을 탐지하거나, 지진의 진원지를 파악하기 위한 곳에도 사용되며 최근에는 통신용으로서 이동 통신의 신뢰도를 높이거나 불법 전파 원을 색출하기 위한 분야 등에서의 활용을 위한 연구가 진행되고 있다[10-14]. 한편 군사적으로도 방탐은 전자전에서 중요한 위치를 차지한다. 도래방향각(DOA)이라는 파라미터는 실시간 측정이 가능하고 임의로 변경이 불가능한 전자정보(ELINT : Electronic Intelligence)의 중요한 요소 중의 하나로서, 특히 MW 대역의 전자기 신호원으로부터 방탐을 수행하여 적의 레이더 신호를 방해하는 재밍 신호를 발생하거나 위협을 주는

신호원의 위치를 탐지하여 위협도 평가를 하거나 대비를 하기 위한 전자공격(EA : Electronic Attack)과 전자지원(ES : Electronic Support) 장비를 위하여 제공되는 중요한 정보가 된다.

따라서 이러한 방탐의 정밀도(분해능) 및 처리속도를 높이는 알고리즘과 장비의 개발 및 운용에 관한 연구는 군 전력 향상을 위해서도 매우 중요한 역할을 한다.

본 연구에서는 MW대역에서 운용 가능한 디지털 방탐 알고리즘을 도출하고 고해상도 및 무 모호성을 가지는 MW대역 디지털 방탐 알고리즘 및 최적 시스템 구조를 제안하고 그 효용성 입증을 목표로 연구를 수행하였다.

본 논문의 제1장에서는 본 연구의 배경 및 목적을 기술하였고, 제 2장에서는 MW대역에서 운용 가능한 디지털 방탐 알고리즘을 도출하고 제안된 방탐 시스템의 구조 및 원리를 예를 통해 기술하였다. 또한 제 3장에서는 방탐 장치에 적용할 수 있도록 구성한 Eigenstructure 기반 고해상도 DF 시뮬레이터를 이용한 실험분석 결과를 통해 제안된 방탐 시스템의

우수성을 밝히고 제 4장에서는 결론을 내린다.

## 2. 제안된 방탐 시스템

### 2-1. 고성능 방탐 시스템의 성능 목표

먼저 방탐 정확도(DF Accuracy) 확보를 위하여 배열 안테나를 사용하는 것이 바람직하다. 이는 단일 안테나에 비해 개념적으로 S/N을 사용하는 안테나 개수만큼 비례하여 증가시키는 효과가 있어 정확도가 개선된다[4]. 다른 측면에서 살펴보면 동일 배열 상에 3개 이상의 안테나를 사용함으로써, 처음과 끝 안테나 사이의 거리가 증가하여 위상오차를 감소시키며 결과적으로 방탐 오차의 감소를 감소시킬 수 있다[5,6].

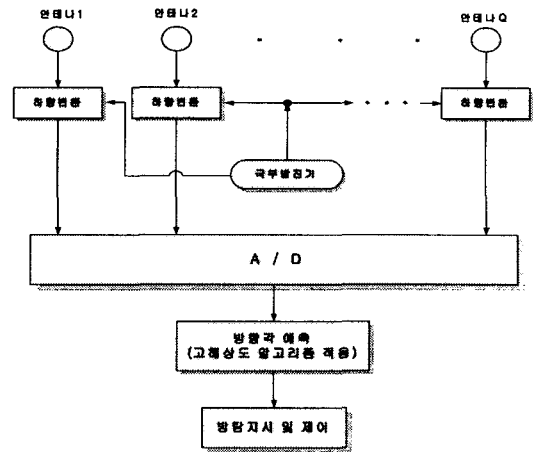
다음으로 모호성(Ambiguity)을 제거하기 위하여 두 안테나 사이의 거리를  $\lambda/2$  이하로 유지함으로써 공간적 앨리어싱(Spatial Aliasing)을 제거할 수 있으며, 모호성이 없이 360도 전방위 방탐을 수행하기 위한 특별한 구조의 안테나 배열의 사용 등의 과정이 첨가되어야 한다[2].

한편 펄스폭(PW)이 0.1 $\mu$ s ~ 102  $\mu$ s 정도인 펄스형 RF 신호를 받아 (준)실시간 처리를 통한 방탐 작업을 수행하기 위해서는, 방탐 시스템에 적용되는 하드웨어 및 DF 수행 알고리즘이 적합하여야 한다. 즉, 신속한 주파수 예측 및 D/A 변환, 그리고 방탐 수행 과정이 펄스적이며, 되도록 단일 펄스폭 내에서 DF 수행이 완료되면 거의 실시간 방탐 수행이 가능할 것으로 판단된다.

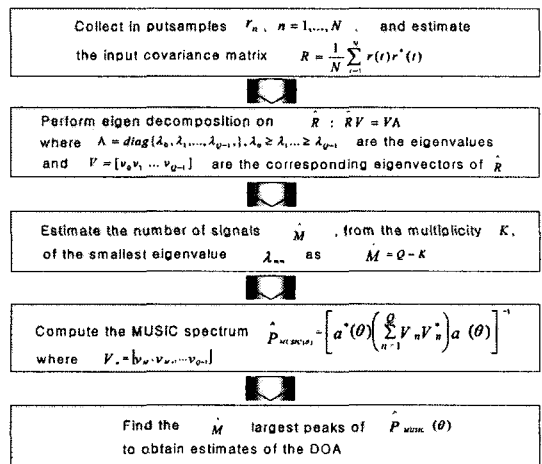
### 2-2 고 해상도 무 모호성 방탐 시스템의 구조 및 원리

이러한 고성능 방탐 시스템의 성능 목표 및 이의 달성을 위한 기본 추진 방향을 바탕으로 연구 수행 결과, <그림 1>에 보이는 것과 같은 수신기 구조 및 수행절차를 가지는 새로운 형태의 방탐 시스템을 제안하였다.

먼저 방탐 정확도의 확보를 위해서, 여기서는 지금까지 개발된 많은 방탐 기법들 중 가장 우수한 배열 안테나 구조를 사용하는 인터페로미터 기법의 원리를 적용하여 여기서 발생하는 위상오차 문제의 해결을 위하여 고 해상도 Eigenstructure Algorithm을 사용한 <그림 2>에 정리된 형태의 MUSIC 기법을 적용하여 소프트웨어적으로 방탐 예측 처리를 수행한



<그림 1> 제안된 방탐 수신 시스템의 구조 및 수행절차



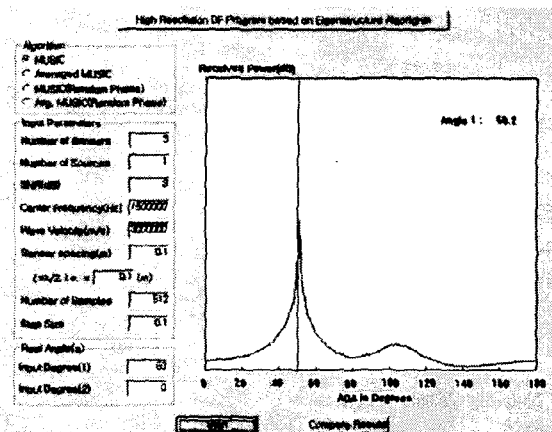
<그림 2> MUSIC 기법을 이용한 방탐 수행 절차

다[7-14].

방탐 수행시간의 단축 관점에서는 먼저 신호의 주파수 성분을 신속히 예측하기 위해서, 최근 많은 방탐 시스템에서 적용하는 슈퍼해테로다인 방식[2]을 응용하여 국부 발진기로부터 고정 중간 주파수를 발생시켜 동조시킴으로써 알고 있는 단일 주파수로 RF 신호 주파수를 변환시키어 사용한다. 다음으로 고성능 디지털이저(채널당 샘플링 주파수 250MHz~1GHz)를 사용하여 중간 주파수 대역으로 다운변환된 신호를 표본화하고, 이러한 데이터를 사용하여 신속한 데이터 연산을 수행할 수 있도록 Pentium 4급의 컴퓨터 내에서 고 분해능의 DF 알고리즘을 소프트웨어적으로 적용시켜 방탐 추출을 수행하는 방법을 사용한다.

다음으로는 모호성 해결을 위하여, 공간적 표본화

(Spatial Sampling) 이론에 따라 배열 안테나의 두 안테나 사이의 간격을  $D = \lambda/2$  로 배치한다. 이 경우 0도 ~ 180도 사이에서는 모호성이 발생하지 않게 된다. 이에 대한 예로서  $D = \lambda/2$  로 배치한 상태에서 MUSIC 기법을 사용하여 수행된 결과의 예를 <그림 3>에서 보여주는데, 여기서 알 수 있듯이, 50도로 수신 배열 안테나로 도래하는 단일 신호 방향 각 예측시 0도 ~ 180도 사이에서는 모호성이 발생하지 않으나, 0도 ~ 360도 사이에서는 310도 근방에서 이미지 신호가 형성됨을 보이고 있다.



<그림 3>  $D = \lambda/2$  시 MUSIC을 사용할 때 보여지는 모호성 발생 예

따라서  $D = \lambda/2$  로 배치한 선형 안테나 배열 구조를 사용하게 되면 최대 180도 까지 모호성 없이 도래방향을 예측할 수 있게 된다. 하지만 MUSIC동 Eigenstructure 구조에 기초한 고해상도 방탐 알고리즘 사용 경우, '각도 searching 과정'이 필요하므로 되도록 작은 각도를 searching하게 되면 방향각 예측 시간 감소와 함께 해상도 증가 효과를 가져올 수 있게 된다.

이러한 점들에 착안하여, 본 논문에서는 모호성 발생을 억제하며 360도 전방위각 예측을 위해 다음 <그림 4> 같이 네 개의 배열을 가지는 구조를 제안한다. 여기서 안테나를 부착하는 벽면은 전파를 차단하는 물질을 사용하며, 각 면에 설치된 안테나 배열들은 앞에서 설명한대로 방향각 예측시간 감소와 함께 해상도 증가 효과를 위하여 90까지의 '각도 searching 과정'을 거치도록 설계되어 있다.

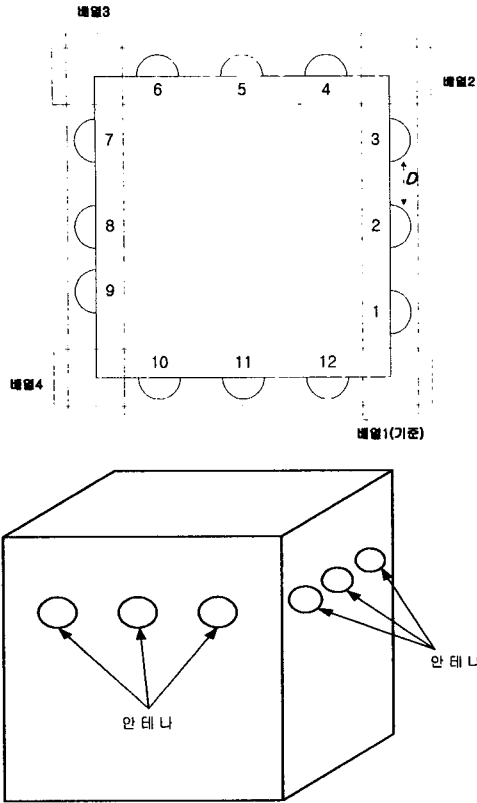
이때 각 안테나 배열에 사용되는 안테나는 몇 개를 사용하더라도 상관없으나 경제성 등을 고려하여 각 배열이 3개 및 4개로 구성된 형태가 바람직할 것으로 생각한다. 먼저, 각 배열이 3개의 안테나로 구성된 경우(총 12개 안테나 사용)에는 단일신호 포착에는 문제가 없으나 다중 신호 포착 시 분해능 저하의 우려가 있다. 하지만 각 배열이 4개의 안테나로 구성된 경우(총 16개 안테나 사용)에 비해 복잡성 및 비용이 절감된다. 한편 각 배열이 4개의 안테나로 구성된 경우에는 복잡성 및 비용이 앞의 경우에 비해 다소 증가하나 단일신호 및 다중신호 포착에 문제가 없음을 MUSIC 알고리즘을 적용한 방탐 시뮬레이터를 사용해서 확인할 수 있다.

### 3. 제안된 방탐 시스템의 활용 방안

여기서는 <그림 4>와 같이 구성된 배열 안테나를 통해 도래하는 표적으로부터의 신호를 받아 방탐을 수행하는 제안된 시스템의 동작 원리 및 판정 방법에 대하여 기술한다.

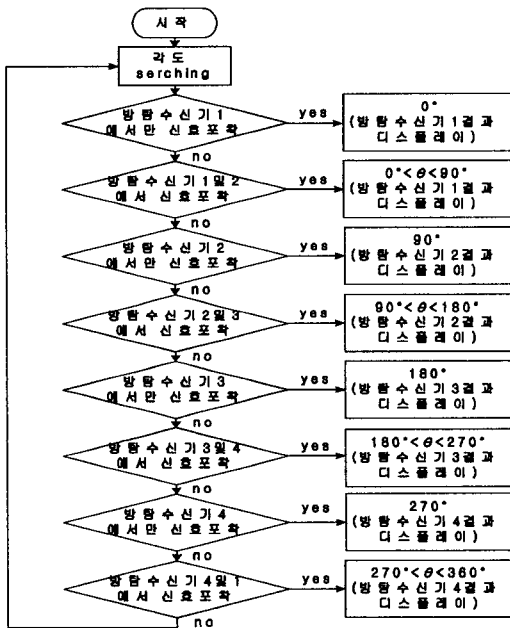
배열 1을 기준으로 하여 배열 2, 배열 3 및 배열 4를 통하여 들어오는 신호들은 <그림 5>에 보이는 바와 같이 각각 방탐 수신기 1, 2, 3, 및 4를 통해 각각 수신되어 병렬 적으로 고 분해능 방탐 처리 알고리즘을 통해 방탐 처리과정이 수행된다. 이때, 앞서도 설명한바와 같이 각 면에 설치된 안테나 배열들은 방향각 예측시간 감소와 함께 해상도 증가 효과를 위하여 각각 0도에서 90까지의 '각도 searching 과정'을 거친다. 여기서 각 방탐 수신기에 표시되는 방향각은, 방탐 수신기 1은 0도에서 90도까지, 방탐 수신기 2는 90도에서 180도까지, 방탐 수신기 3은 180도에서 270도까지, 그리고 방탐 수신기 4는 270도에서 360도까지 이다.

이런 과정을 거친 후 다음과 같이 0도에서 360도까지의 전방위에 대한 도래방향각이 최종적으로 판정된다.



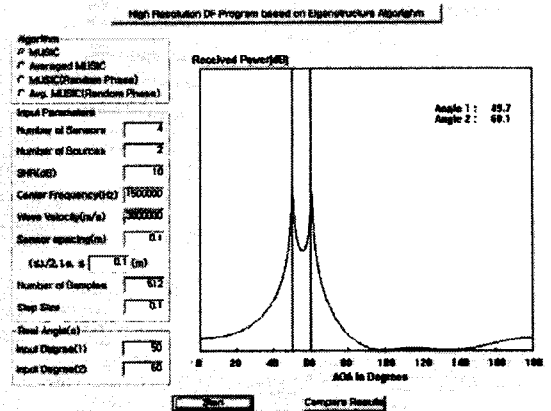
<그림 4> 제안된 방탐 시스템의 안테나 배열 구조

를 보이고자 한다. <그림 4>과 같은 안테나 배열을 가정하고, 각 배열마다 4개의 동일 특성을 가지는 안테나를 장착하되 인접 안테나 사이의 거리는  $D = \lambda/2$  로 균일하게 분포시킨다. 반송주파수는  $f_c = 1.5 \times 10^8$  [Hz], 도래하는 RF 펄스의 속도는 빛의 속도  $c = 3 \times 10^8$  [m/s]로 가정하면, 각 센서간 간격  $D = \lambda/2 = c/(2f_0) = 0.1$  [m] 가 된다. 그리고 각 방탐 수신기내의 국부발진기를 통해 얻어지는 중간주파수는  $f_{IF} = 160 \times 10^6$  [Hz] 로 고정하여 하향 주파수 변환을 통해 얻어진 IF 신호 파형의 펄스폭(PW)은  $1.28 \mu s$  이고 열악한 상황을 고려하여 펄스의 포락선이 가우시안 랜덤 변수라고 가정한다. 이제 이 펄스를 디지털이저를 사용하여 샘플링 주파수  $f_s = 400$  [MHz] 로 표본화를 수행하게 되면 하나의 펄스폭 내의 시간에서 512개의 샘플 데이터를 얻어낸다. 이때 이 데이터에는 각 안테나에 들어오는 잡음 성분(여기서 가우시안 랜덤 변수로 가정)이 포함(방탐 수신기 입력단에서의 S/N 는 10dB)되어 있다. 이렇게 각 방탐 수신기로부터 얻어진 데이터를 고해상도 방탐 알고리즘에 적용하여 방탐 도출을 수행한 후, <그림 5>에 기술된 판정 기준에 따라 판정하면 정확한 방탐 결과가 그래프와 수치로 나타나지게 된다. <그림 6>는 본 시스템에 두 개의 신호원이 50도와 60도에서 도래하는 결과를 보여준다.



<그림 5> 제안된 방탐 시스템의 흐름도

이제 지금까지 기술된 시스템의 동작원리 및 판정 기준을 적용하여, 방향탐지를 수행하는 구체적인 예



<그림 6> 제안된 방탐 시스템을 이용한 예제 결과

여기서 알 수 있듯이 MUSIC을 사용한 경우 10도의 간격을 가지고 도래하는 두 개의 신호원으로부터의 도래방향각을 오차 0.1도에서 0.3도 정도의 분해능을 가지고 분석해내는 우수한 결과를 나타내고 있다.

여기서 제안된 시스템은 기존 방탐 시스템에 비해

구조가 간단하고 고 분해능 확보가 가능하며, 또한 고 분해능 Eigenstructure Algorithm 뿐 아니라 기존의 인터페로미터 기법을 적용해서도 전방위 도래방향각 예측을 수행할 수 있는 장점을 지닌다.

#### 4. 결 론

본 논문에서는 분해능의 향상과 모호성의 제거 및 방탐 예측 수행시간 단축을 위한 효과적인 안테나 배열 및 처리 방안으로 새로운 방탐 구조 및 수행방법을 포함하는 기존 기법들의 단점을 개선한 방탐 시스템을 제안하고 적용 방안을 제시하였다. 즉, 4 개의 안테나 배열을 사용하여 360도 전방위에 대해서 모호성이 존재치 않으며 (준)실시간 처리가 가능한 고 분해능 방탐 시스템에 대한 동작 원리 및 적용 방안들을 기술하였다. 이러한 방탐 시스템에 적용하기 위해 Visual C 프로그램을 사용하여 코딩된, 고해상도를 가지는 MUSIC 방탐 알고리즘의 컴퓨터 모의실험을 통해 우수성을 실험적으로 확인하였다.

MW 대역 디지털 방탐 수신기에 적용 가능한 초 분해능 방탐 알고리즘 및 시뮬레이션 툴을 활용하고 향후 본 제안된 방탐 시스템의 실용화를 위하여 방위각뿐만 아니라 양각(고각)까지 고려한 3차원 예측까지 할 수 있는 방안에 관한 연구 결과가 추가된다면, 차세대 MW 디지털 방탐 수신기의 성능 개선 및 활용도를 높여 주고, 따라서 ES, ELINT 등의 전자전 분야에서 전력 증강이 기대된다. 또한 최근 화두가 되고 있는 민군 겸용기술의 한 분야로서 본 연구결과들을 어군탐지, 지진탐사 등 민간분야에의 적극 활용이 기대된다.

#### 참고문헌

- [1] B. R. Mahafza, Radar Systems Analysis and Design Using MATLAB, Chapman & Hall/CRC, 2000.
- [2] B. P. Lathi, Modern Digital and Analog Communication Systems, 2nd Ed., Holt, Rinehart and Winston, Inc., 1989.
- [3] A. Papoulis, Signal Analysis, McGraw Hill, 1977.
- [4] S. U. Pillai, Array Signal Processing, Springer-Verlag, 1989.
- [5] R. G. Wiley, Electronic Intelligence: The Analysis of Radar Signals, Artech House, 1993.
- [6] J. P. Lee, "A Multi-channel Digital Receiver

for Intrapulse Analysis and Direction Finding," Proc. of IEEE Int'l Conf., 1999.

- [7] R. O. Schmidt, "Multiple Emitter Location and Signal Parameter Estimation," IEEE Trans. on Antennas and Propagation, Vol. AP-34, No. 3, Mar. 1986.
- [8] G. Xu and T. Kailath, "Fast Subspace Decomposition," IEEE Trans. on Signal Processing, Vol. 42, No. 3, Mar. 1994.
- [9] R. O. Schmidt and R. E. Franks, "Multiple Source DF Signal Processing : An Experimental System," IEEE Trans. on Antenna and Propagation, Vol. AP-34, No. 3, Mar. 1986.
- [10] 임중수, "전파 방향탐지 장치의 연구," 전파지 제 97호, 2000.
- [11] 이일근, "일반적인 센서잡음상관에 이용되는 도래방향각 예측 방법," 한국통신학회논문지, 제17권 제4호, 1992년 4월.
- [12] 이일근, "특수상황에서 극히 효율적인 도래방향각 예측 방법," 한국통신학회논문지, 제18권 제3호, 1993년 3월.
- [13] 이일근 외, "MUSIC을 근간으로 하는 고해상도 DOA 방법의 성능분석에 관한 연구," 한국통신학회논문지, 제19권 제2호, 1994년 2월.
- [14] 이일근, "Performance Analysis of Highly Effective Proposed Direction Finding Method," 한국음향학회지, 제14권 제1E호, 1995년 1월.