

# 부호 교차 위상 개념이 적용된 유전 알고리즘을 이용한 널링 안테나 연구

## Study on Nulling Antenna Using Genetic Algorithm with Opposite-Sign Phase

이 용 준 · 서 종 우\* · 박 동 철\*\*

Yong-Jun Lee · Jong-Woo Seo\* · Dong-Chul Park\*\*

### 요 약

본 논문에서는 부호 교차 위상 개념이 적용된 유전 알고리즘을 이용한 널링 안테나(nulling antenna)의 연구 결과를 제시하였다. 기존 국내 및 국외에서 제안되었던 유전 알고리즘을 이용한 널 합성 방법들은 다수의 배열 소자를 갖는 경우에 빠르고 정확한 널 합성이 용이하지 않았다. 유전 알고리즘의 특성상 이진 부호로 표현된 위상 값들의 교배 및 변이를 통해 널을 합성하게 되므로 배열 소자의 개수가 늘어날수록 빠르고 정확한 널 합성이 힘들게 된다. 따라서 본 논문에서는 100개 이상의 배열 소자를 갖는 널링 안테나에서 널 합성에 사용되는 위상 값들이 전체 배열 소자들의 중심을 기점으로 대칭되는 값을 갖도록 하고, 인접 소자 간에 인가되는 위상 값의 부호를 반대가 되도록 하는 개념이 적용된 유전 알고리즘을 제안하였으며, 기존 연구되었던 논문들에 비해 절반의 위상 값만을 구해 널을 합성하므로 수렴 속도를 크게 개선하였고, 또한 -70 dB 이상의 깊은 널을 정확한 위치에 합성해 내었다.

### Abstract

In this paper we propose an opposite-sign phase method to implement a nulling antenna using genetic algorithm. In the opposite-sign phase method the phase value of each antenna element in the linear phased array antenna is symmetrical to the center of the array and the sign of the phases of the neighboring elements is alternating. Compared to the conventional genetic algorithm our genetic algorithm shows the capability of synthesizing nulls faster and sharper.

Key words : Nulling Antenna, Genetic Algorithm, Phased Array Antenna

### I. 서 론

일반적으로 널링 안테나는 방해 신호가 입사하는 방향으로 널(null)을 합성하고, 메인 빔(main beam)은 원하는 신호가 입사하는 방향으로 그대로 향하게 하여 신호의 수신을 원활하게 하는 안테나이다. 최

근 레이더 및 통신위성 시스템에서 재머(jammer)에 의한 위협을 안테나 단에서부터 감소시키기 위해 널링 안테나에 대한 연구가 수행되고 있으며<sup>[1]</sup> 또한 상용 이동통신 시스템에서 외부의 방해 신호의 영향을 감소시키기 위해 널링 안테나의 일종인 스마트 안테나에 대한 연구가 활발히 수행되고 있다<sup>[2]</sup>.

삼성탈레스(Samsung Thales Co.)

\*국방과학연구소(Agency for Defense Development)

\*\*충남대학교 전파공학과(Department of Radio Science & Engineering, Chungnam National University)

· 논문 번호 : 20091127-20S

· 교신저자 : 박동철(e-mail : dcpark@cnu.ac.kr)

· 수정완료일자 : 2010년 5월 18일

널링 안테나에서 방해 신호가 입사하는 방향으로 널을 합성하기 위해 사용되는 적응 빔 형성 알고리즘은 각 배열 소자에 인가되는 가중치 벡터를 구하기 위해 요구되는 정보에 따라 공분산 행렬을 이용하는 알고리즘과 안테나의 최종 출력을 이용하는 알고리즘, 두 개의 알고리즘으로 분류할 수 있다<sup>[3]</sup>.

배열 안테나 각 배열 소자의 출력 신호는 가중치 벡터와 안테나에서 수신되는 신호의 곱으로 이루어진다. 한편, 안테나에서 수신되는 신호는 원하는 신호의 전력과 방해 신호의 전력이 모두 포함되게 되는데, 이 때 공분산(covariance) 행렬을 알고 있으면 방해 신호의 전력만을 영의 값으로 만들어 줄 수 있다. 공분산 행렬을 구하기 위해서는 원하는 신호와 방해 신호의 입사각이 필요하게 되고, 따라서 각각의 배열 소자마다 수신기(receiver)가 필요하다<sup>[3]</sup>. 공분산 행렬을 이용하여 가중치 벡터를 구하는 알고리즘에는 LMS(Least Mean Square) 알고리즘과 Howells-Applebaum Adaptive Processor 등이 있다<sup>[4]</sup>. 상기의 알고리즘들은 각각의 배열 소자마다 수신기를 필요로 하므로 100개 이상의 배열 소자를 가질 경우 비용이 많이 드는 단점이 존재하며, 하드웨어의 복잡도도 증가된다.

반면, 안테나의 최종 출력 전력을 이용하는 알고리즘은 안테나의 최종 출력을 최소화 하는 방향으로 가중치 벡터를 조절하기 때문에 공분산 행렬이 필요하지 않으며, 따라서 배열 안테나의 최종 출력단에 하나의 수신기만이 요구된다. 대표적인 알고리즘으로는 random search 알고리즘, steepest descent 알고리즘, 유전 알고리즘이 있다. 위의 알고리즘 중 random search 알고리즘은 국소해에 빠질 가능성은 적으나 빔 조향이 느린 단점이 존재하며, steepest descent 알고리즘은 상대적으로 가중치의 계산이 느리고, 국소해에 빠질 단점이 존재한다<sup>[5]</sup>. 한편, 유전 알고리즘은 국소해에 빠질 가능성이 적으며, 가중치 계산이 빠른 장점이 있다.

따라서 본 논문에서는 100개 이상의 배열 소자를 가지며, 레이더 및 통신 위성에 탑재되는 널링 안테나를 목적으로 저비용으로 구현이 가능하고 하드웨어의 구현이 편리한 최종 출력 전력을 이용하는 알고리즘 중 유전 알고리즘을 이용한 적응 빔 형성 알고리즘에 대해 연구하였다.

상기 언급한 바와 같은 유전 알고리즘을 이용한 적응 빔 형성 알고리즘은 구현이 용이하고 저비용으로 구현이 가능한 장점이 있으므로 많은 연구가 이루어졌다<sup>[3],[5]~[7]</sup>. 그 중 Haupt는 제한된 범위의 위상 변위 값만을 허용하여 메인 빔 및 사이드로브(sidelobe)의 왜곡 없이 널을 조종하는 방법을 제안하였다<sup>[5]</sup>. 한편, 레이더 및 통신 위성에서 운용되는 안테나는 일반적으로 높은 이득과 상대적으로 좁은 메인 빔 폭을 필요로 하기 때문에 배열 소자의 수가 필연적으로 커지게 된다. 하지만 유전 알고리즘의 특성상 이진 부호로 표현된 위상 값들의 교배 및 변이를 통해 널을 합성하게 되므로 배열 소자의 개수가 늘어날수록 빠르고 정확한 널 합성이 힘들게 된다. 수렴 시간이 느린 문제점을 해결하기 위해 Shore는 널 합성에 필요한 위상 값들의 분포가 메인 빔을 중심으로 그 크기가 대칭적으로 분포하는 것에 착안하여 절반의 위상 값만을 구하여 널을 합성하였다<sup>[8]</sup>. 그러나 100개 이상의 많은 배열 소자를 가질 경우 고정되어야 할 메인 빔의 이동현상이 관찰되었다.

따라서 본 논문에서는 널 합성에 사용되는 위상 값들이 전체 배열 소자들의 중심을 기점으로 대칭되는 값을 갖도록 하고, 인접 소자 간에 인가되는 위상 값의 부호가 반대가 되도록 하는 개념이 적용된 유전 알고리즘을 제안하여 100개 이상의 배열 소자를 갖는 널링 안테나의 알고리즘 수렴 속도를 크게 개선하고 shore가 제안한 알고리즘의 문제점을 개선하였다. 또한 단일 및 여러 개의 방해 신호 및 방해 신호의 입사각을 달리한 시뮬레이션 결과들을 널의 깊이, 정확도, 수렴 시간을 기준으로 기존의 알고리즘과 비교 분석하여 알고리즘의 수행 성능이 우수함을 보이고자 한다.

## II. 비용 함수

본 논문에서 사용되는 널링 안테나는 위상 배열 안테나를 가정하였다. 일반적인 선형 위상 배열 안테나는 그림 1에서 보는 바와 같이 각각의 방사 소자가 배열 축을 따라 등간격으로 배열되어 있고, 각 방사소자의 출력단에는 위상변위기가 부착되어 있다. 개별 방사소자의 출력들은 빔 합성기에 의해 하나의 출력력으로 더해지게 된다.

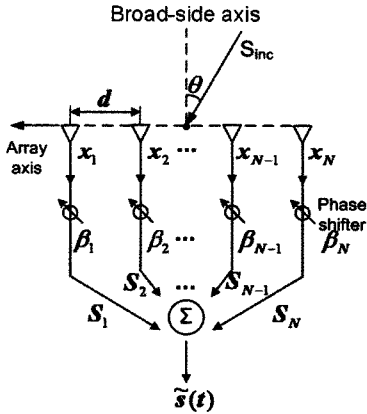


그림 1. 선형 위상 배열 안테나의 모델  
Fig. 1. Model of a linear phased array antenna.

유전 알고리즘을 이용한 적응 빔 형성 알고리즘의 기본 동작 원리는 방해 신호가 입사하는 방향에서의 출력을 최소화 하기 위해 각각의 방사소자에 인가되는 전류의 크기 및 위상을 조절하는 것이며, 따라서 알고리즘에 사용되는 비용함수는 선형 및 평면 배열 안테나에서 원하는 신호의 출력과 방해 신호의 출력의 비율을 최대화 할 수 있도록 유도되었다

수학적으로, 위의 위상 배열 안테나의 원거리장 (far field) 패턴은 식 (1)과 같이 표현할 수 있다.

$$S(\theta) = \sum_{n=1}^N e^{j\beta_n} e^{jkd_n \sin \theta} \quad (1)$$

$\beta_n$  = n번째 소자의 위상 가중치

$N$  = 전체 배열소자의 갯수

$k$  = 전파상수

$d_n = d(n - N/2 - 0.5)$  = 배열 중심으로부터의 거리

$d$  = 안테나 배열 간격

$\theta$  = 전자파의 입사각도

안테나는 등방성 안테나로 가정하였으며, 안테나의 널 합성을 위해 위상 값을 조절하였다. 본 논문 전체적으로 메인 빔은  $\theta=0^\circ$  즉, 브로드사이드(broad-side)를 향하고 있음을 가정하였다.

입사각  $\theta$ 에서의 배열 안테나의 출력을 고려하기 위해 위의 식 (1)의 절대값을 패턴 함수  $P(\theta)$ 로 정의하였다.

$$P(\theta) = \left| \sum_{n=1}^N e^{j\beta_n} e^{jkd_n \sin \theta} \right| \quad (2)$$

최종적으로 유전 알고리즘에 사용된 비용함수  $F_L$ 은 다음과 같다.

$$F_L = \frac{P(\theta_s)}{\prod_{m=1}^M P(\theta_m)} \quad (3)$$

비용함수에서  $P(\theta_s)$ 는 원하는 신호의 출력이 되며,  $P(\theta_m)$ 은 방해 신호의 출력이 된다.  $M$ 은 전체 방해 신호의 개수이며, 따라서 식 (3)에서 비용함수의 값이 커질수록 원하는 신호의 출력과 방해 신호의 출력의 비율이 커지는 것을 의미하게 된다. 결론적으로, 본 논문에서 유전 알고리즘은 비용함수를 최대화시키는 방향으로 위상변위기의 위상 값을 변화시키게 된다.

### III. 부호 교차 위상 개념이 적용된 알고리즘과 기존 알고리즘의 시뮬레이션 결과 비교

본 장에서는 기존에 연구되었던 알고리즘과 본 논문에서 제안한 기법을 적용한 알고리즘을 MATLAB으로 코딩하였고, 시뮬레이션 결과를 비교 분석하였다. 시뮬레이션 시 실제 널링 안테나 시스템의 운용을 고려하여 6비트의 디지털 위상변위기를 가정하였으며, 메인 빔의 이동 및 이득 감소를 최소화 하기 위해 전체 6비트의 위상 중 제한된 하위 비트만을 이용하여 시뮬레이션 하였다.

#### 3-1 단일 방해 신호

일반적으로 사이드로브(sidelobe)의 크기를 낮추기 위해서는 안테나 배열의 중심을 기점으로 양쪽의 대칭되는 소자에 인가되는 위상 값이 같아야 하며<sup>[9]</sup>, 널을 합성하기 위해서는 인가되는 위상 값의 크기는 같고 부호는 다른 값을 가져야 한다<sup>[8]</sup>. 본 논문의 목적은 널을 합성하는 것에 있으므로 유전 알고리즘에서 인가되는 위상 값들은 중심점을 대칭으로 위상 값의 크기는 같고 부호는 다른 값을 가지도록 하였다.

그림 2는 참고문헌 [8]에서 제시한대로 중심점을 대칭으로 위상 값의 크기는 같고 부호가 반대인 형태로 인가된 널링 안테나에서 널이 합성된 원거리장 패턴을 나타내고 있다. 기본적으로 100개의 배열 소

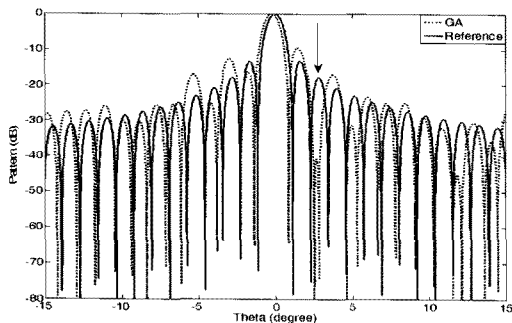


그림 2. 방해 신호가  $\theta=2.8^\circ$ 로 입사될 때의 참고문헌 [8]의 기법이 적용된 널이 합성된 원거리장 패턴

Fig. 2. Synthesized far field pattern using the method in Ref. [8] when the interference signal is incident from  $\theta=2.8^\circ$ .

자를 가지며 반과장 간격으로 배열된 안테나를 시물레이션 하였다. 방해 신호는  $\theta=2.8^\circ$ 인 두 번째 사이드로브로 입사한 경우를 가정하였다. 이 때 유전 알고리즘에 사용된 위상 값은 전체 6비트중 하위 3비트가 사용되었으며, 반대 위상을 갖도록 하였다. 메인 빔은  $\theta=0^\circ$ 에 위치하고 있으며, 0 dB의 크기를 갖도록 정규화 하였다.

$\theta=2.8^\circ$ 에서 약 -40 dB의 널이 형성되었으나, 메인 빔이 좌측으로 약간 이동하였다. 이와 같은 이유는 앞서 언급하였듯이, 유전 알고리즘에서 중심을 기점으로 좌측의 소자들은 음의 부호를 갖는 위상 값이 인가되었고, 반면 우측의 소자들은 양의 부호를 갖는 위상 값이 인가되었으므로 전체 안테나 배열의 원거리장 패턴을 보았을 경우 좌측 소자들의 위상 값이 앞서게 되므로 메인 빔이 좌측으로 이동하게 된다. 따라서 이와 같은 메인 빔의 이동 문제를 해결하기 위해 인접소자간의 위상 값의 부호를 양과 음의 값이 교차하도록 인가하였다. 예를 들면, 중심에서 우측으로 첫 번째 소자가 양의 위상 값을 가지면 두 번째 소자는 음의 위상 값을 가지게 된다. 이와 같은 위상을 인가한 시물레이션 결과를 그림 3에 나타내었다. 한편, 참고문헌 [3]에서 제시한 전체 배열 소자의 위상 값들을 모두 조절한 기존 알고리즘의 시물레이션 결과를 그림 4에 나타내었다.

결과 그래프를 살펴보면, 전체 위상을 조절한 결과는 약 -80 dB의 널을 형성하였고, 부호 교차된 위상 값을 조절한 결과는 약 -90 dB의 널을 형성하여

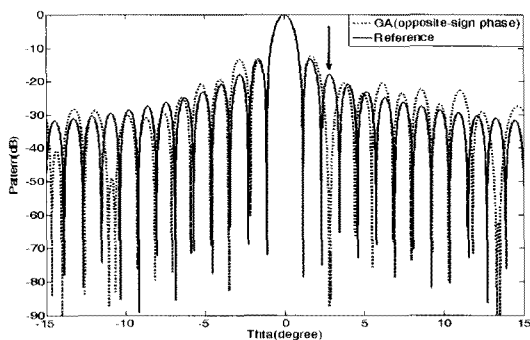


그림 3. 방해 신호가  $\theta=2.8^\circ$ 로 입사될 때의 제안된 알고리즘의 원거리장 패턴

Fig. 3. Synthesized far field pattern using the proposed opposite-sign phase method when the interference signal is incident from  $\theta=2.8^\circ$ .

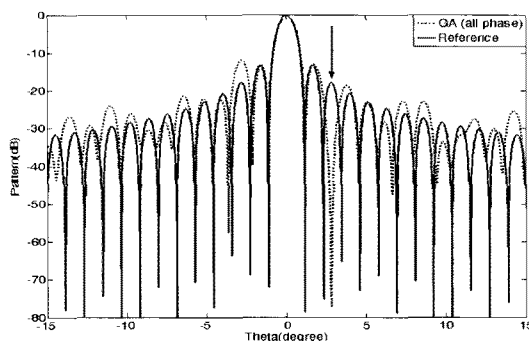


그림 4. 방해 신호가  $\theta=2.8^\circ$ 로 입사될 때의 기존 알고리즘의 원거리장 패턴

Fig. 4. Synthesized far field pattern using the conventional algorithm when the interference signal is incident from  $\theta=2.8^\circ$ .

널의 깊이 측면에서는 두 결과 모두 큰 전력의 방해 신호에 대해서도 원하는 신호의 수신율을 보장할 수 있음을 확인하였으며, 부호 교차된 위상을 인가한 알고리즘이 약 10 dB 정도 깊은 널을 형성함으로써 성능이 우수함을 확인하였다.

그림 5는 알고리즘의 수행 반복 횟수에 따른 방해 신호 방향에서의 패턴 함수의 크기를 나타내고 있다. 기존 알고리즘의 경우 약 80회 이상의 반복에서 수렴하였으며, 본 논문에서 제안된 알고리즘의 경우 약 25회의 반복에서 수렴하여 수렴 속도 측면에서 3배 이상 빠름을 확인하였다. 또한, 수렴 값 역시 본 논문에서 제안한 알고리즘이 약 13 dB 이상 작기 때문에 앞서 원거리장 패턴에서 살펴본 바와 같이 좀

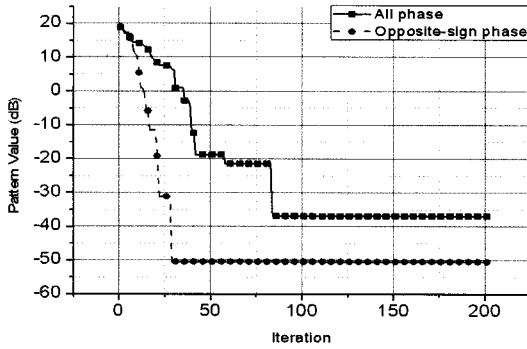


그림 5. 기존 알고리즘과 제안된 알고리즘의 반복 횟수에 따른 방해 신호 방향에서의 패턴 함수의 크기

Fig. 5. Comparison of the convergence between the proposed and the conventional algorithms.

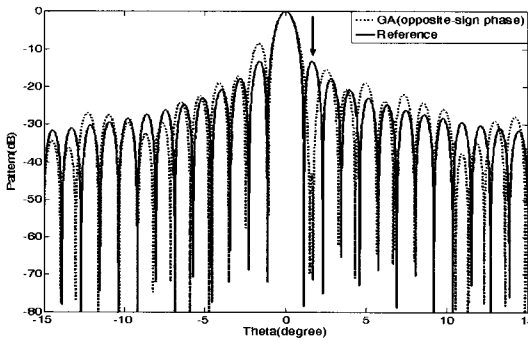


그림 6. 방해 신호가  $\theta=1.7^\circ$ 로 입사될 때의 제안된 알고리즘의 원거리장 패턴

Fig. 6. Synthesized far field pattern using the proposed opposite-sign phase method when the interference signal is incident from  $\theta=1.7^\circ$ .

더 깊은 널을 형성할 수 있게 된다.

그림 6과 7은 방해 신호가  $\theta=1.7^\circ$ 인 첫 번째 사이드로브로 입사한 경우를 가정하였다. 본 논문에서 제안된 알고리즘을 적용한 경우 첫 번째 사이드로브에  $-70$  dB의 널을 형성한 반면 기존의 전체 방사 소자의 위상을 조절한 경우는  $-25$  dB의 널이 형성되어 큰 전력의 방해 신호가 입사할 경우 신호의 품질을 보장할 수 없게 된다.

일반적으로 체비셰프 또는 테일러 분포와 같은 낮은 사이드로브를 구현하기 위한 기법들을 사용하지 않았을 경우 첫 번째 사이드로브의 크기는 여타 사이드로브에 비해 약 5 dB 이상 큰 편이다. 따라서 첫 번째 사이드로브에 널을 구현하기 위해서는 더

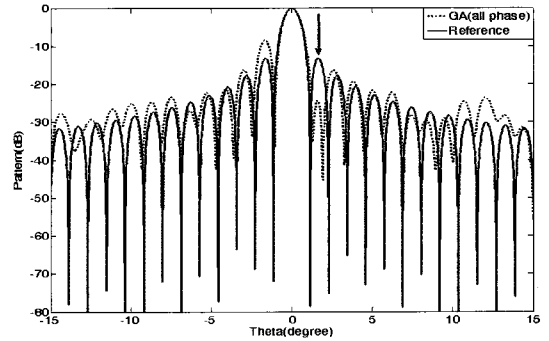


그림 7. 방해 신호가  $\theta=1.7^\circ$ 로 입사될 때의 기존 알고리즘의 원거리장 패턴

Fig. 7. Synthesized far field pattern using the conventional algorithm when the interference signal is incident from  $\theta=1.7^\circ$ .

큰 위상 값들의 조절을 필요로 한다. 본 시뮬레이션에서는 하위 3개 비트만을 이용하여 시뮬레이션을 수행하였으므로 전체 방사 소자의 위상 값을 조절한 경우에는 첫 번째 사이드로브에 널을 형성하기가 힘들게 되며, 만약 4개의 비트를 이용하였을 경우에는 널이 형성되지만 3개의 비트를 이용하였을 때 비해 메인 빔 및 사이드로브의 왜곡이 심해지게 된다.

### 3-2 두 개의 방해 신호

그림 8은  $\theta=2.8^\circ, 4^\circ$ 의 두 개의 방해 신호가 입사했을 때의 원거리장 패턴의 그래프로써 각각 두 번째 및 세 번째 사이드로브의 최대값 방향이다. 시뮬레이션 조건은 단일 방해 신호가 입사했을 때와 동

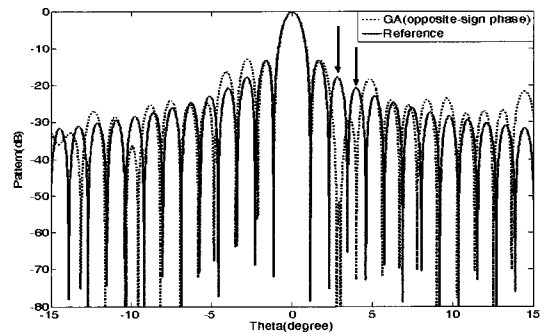


그림 8. 방해 신호가  $\theta=2.8^\circ$  및  $\theta=4^\circ$ 로 입사될 때의 제안된 알고리즘의 원거리장 패턴

Fig. 8. Synthesized far field pattern using the proposed opposite-sign phase method when the interference signals are incident from  $\theta=2.8^\circ$  and  $\theta=4^\circ$ .

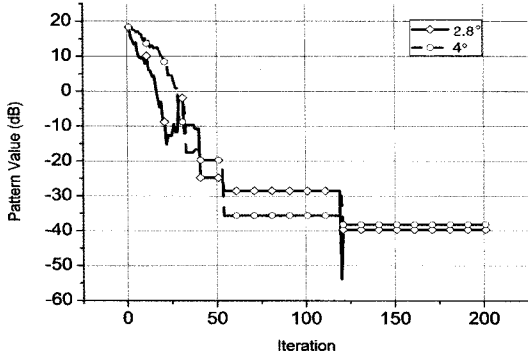


그림 9. 방해 신호가  $\theta=2.8^\circ$  및  $\theta=4^\circ$ 로 입사될 때의 반복 횟수에 따른 방해 신호 방향에서의 패턴 함수의 크기

Fig. 9. Comparison of the convergence between the interference signals from  $\theta=2.8^\circ$  and  $\theta=4^\circ$ .

일하게 설정되었다. 결과 그래프를 살펴보면,  $\theta=2.8^\circ, 4^\circ$ 에서 약  $-70$  dB 이상의 깊은 널이 형성되었으며, 전체적인 빔 패턴의 왜곡도 없음을 확인하였다.

그림 9는  $\theta=2.8^\circ, 4^\circ$ 에서 알고리즘 반복 횟수에 따른 패턴 함수의 크기를 나타낸 그래프이다. 약 50회 이상의 반복부터  $-30$  dB 이하의 값으로 떨어지게 되며, 120회 반복에서 최종적으로 수렴하게 되어 단일 방해 신호가 존재할 때보다는 상대적으로 수렴 시간이 길어지게 됨을 확인하였다.

그림 10은  $\theta=1.7^\circ, 2.8^\circ$ 의 두 개의 방해 신호가 입사했을 때의 원거리장 패턴의 그래프로써 각각 첫

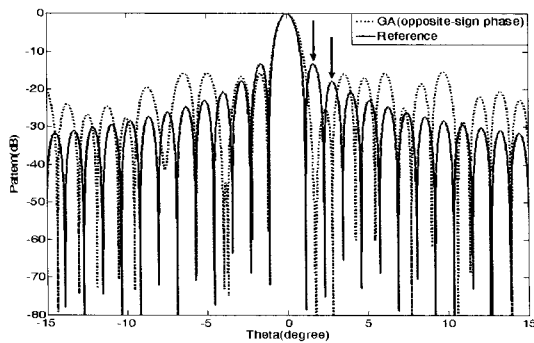


그림 10. 방해 신호가  $\theta=1.7^\circ$  및  $\theta=2.8^\circ$ 로 입사될 때의 제안된 알고리즘의 원거리장 패턴

Fig. 10. Synthesized far field pattern using the proposed opposite-sign phase method when the interference signals are incident from  $\theta=1.7^\circ$  and  $\theta=2.8^\circ$ .

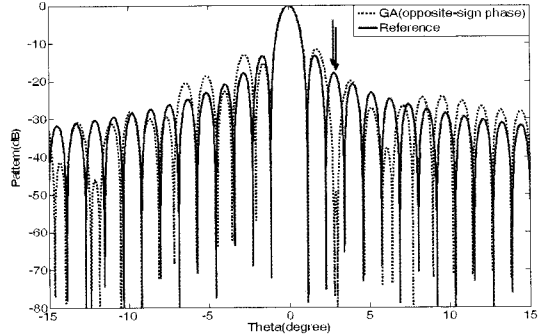


그림 11. 방해 신호가  $\theta=2.8^\circ$  및  $\theta=3^\circ$ 로 입사될 때의 제안된 알고리즘의 원거리장 패턴

Fig. 11. Synthesized far field pattern using the proposed opposite-sign phase method when the interference signals are incident from  $\theta=2.8^\circ$  and  $\theta=3^\circ$ .

번째 및 두 번째 사이드로브의 최대값 방향이다.  $\theta=2.8^\circ, 4^\circ$ 의 경우와는 다르게 하위 3개의 비트를 이용하였을 경우에는 깊은 널이 형성되지 않음을 확인하였고, 하위 4개의 비트를 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 결과 그래프를 살펴보면,  $\theta=1.7^\circ, 2.8^\circ$ 에서 약  $-70$  dB 이상의 깊은 널이 형성되었으며, 하위 3개의 비트를 이용하였을 때 비하여 메인 빔이 약간 넓어짐을 확인하였고, 사이드 로브의 크기가 부분적으로 5 dB 이상 상승함을 확인하였다.

다음, 두 개 이상의 방해 신호가 입사각의 차이가 거의 없이 입사할 경우 각각의 방해 신호에 대한 널 합성에 대해 시뮬레이션을 수행하였다.

그림 11은 방해 신호가  $\theta=2.8^\circ, 3^\circ$ 로  $0.2^\circ$ 의 간격을 두고 입사할 때의 널링 시뮬레이션 결과이다.  $\theta=2.8^\circ, 3^\circ$ 의 각각에 대해 약  $-75$  dB의 널을 형성하였으며, 두 방해 신호 사이의 사이드로브에서는 약  $-50$  dB의 값을 가진다. 또한 두 방해 신호의 사이가 더 가까워지게 되면 두 개의 널이 합성되기 보다는 하나의 깊고 넓은 널이 형성되게 된다. 따라서 제안된 알고리즘은 인접한 두 개의 방해 신호에 대해 각각 깊은 널을 형성할 수 있음을 확인하였다.

그림 12는 메인 빔의 좌측 및 우측으로 두 개의 방해 신호가 입사할 경우의 시뮬레이션 결과이다.  $\theta=-2.8^\circ$  및  $\theta=4^\circ$  방향으로 두 개의 방해 신호가 입사할 경우, 각각  $-70$  dB 이상의 널이 형성되었으며, 메인 빔을 대칭으로 입사한 방해 신호에 반대되는 각도의 사이드로브의 값이 약간 상승하였다.

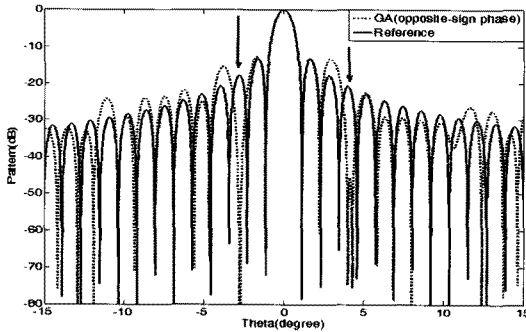


그림 12. 방해 신호가  $\theta = -2.8^\circ$  및  $\theta = 4^\circ$ 로 입사될 때의 제안된 알고리즘의 원거리장 패턴  
 Fig. 12. Synthesized far field pattern using the proposed opposite-sign phase method when the interference signals are incident from  $\theta = -2.8^\circ$  and  $\theta = 4^\circ$ .

#### IV. 결 론

본 논문에서 제안한 부호 교차 위상 개념이 적용된 유전 알고리즘은 100개 이상의 배열 소자를 갖는 널링 안테나에서 기존의 연구된 알고리즘에 비해 수렴 속도가 크게 개선되었음을 확인하였다. 기존의 연구된 알고리즘에 비해 절반의 위상 값만을 조절하므로 약 3배 이상의 수렴 속도 개선 효과를 보이므로 방해 신호 방향으로 빠른 널을 형성할 수 있다. 한편, 수렴 속도뿐만 아니라 생성된 널의 깊이 역시 메인 빔 및 사이드로브의 왜곡 없이 기존 알고리즘에 비해 10 dB 이상 증가하여 큰 전력의 방해 신호가 입사하였을 때에도 원하는 신호의 수신에 원활할 수 있음을 확인하였다.

따라서 본 논문에서 제안한 알고리즘은 유전 알고리즘을 바탕으로 하므로 레이더 및 통신 위성에서 사용될 수 있는 널링 안테나를 상대적으로 저비용으로 구현이 가능할 수 있도록 하였고, 하드웨어의 구현성이 용이한 장점을 가진다. 그리고 수렴 속도를 크게 개선함으로써 널링 안테나에서 가장 중요한 실시간 빔 형성에 많은 이점을 가짐을 확인하였다. 또한 전체 시뮬레이션 결과에서 보듯이  $-70$  dB 이상의 널 깊이를 가짐으로써 큰 전력의 방해 신호에 의한 영향을 효과적으로 제거시킬 수 있음을 확인하였다.

#### 참 고 문 헌

- [1] Kai-Bor Yu, "Adaptive beamforming for satellite communication with selective earth coverage and jammer nulling capability", *IEEE Transactions on Signal Processing*, vol. 44, no. 12, Dec. 1996.
- [2] Seungwon Choi, Donghee Shim, "A novel adaptive beamforming algorithm for a smart antenna system in a CDMA mobile communication environment", *IEEE Transaction on Vehicular Technology*, vol. 49, no. 5, pp. 1793-1806, Sep. 2000.
- [3] R. L. Haupt, "Phase-only adaptive nulling with genetic algorithms", *IEEE Transactions on Antennas Propagation*, vol. 45, no. 5, pp. 1009-1015, Jun. 1997.
- [4] C. A. Baird, G. G. Rassweiler, "Adaptive sidelobe nulling using digitally controlled phase shifters", *IEEE Transactions on Antennas Propagation*, vol. 24, no. 5, pp. 638-649, Sep. 1976.
- [5] R. L. Haupt, "Adaptive antenna arrays using a genetic algorithm", *Adaptive and Learning Systems, 2006 IEEE Mountain Workshop*, pp. 249-254, Jul. 2006.
- [6] Yilong Lu, Beng-Kiong Yeo, "Adaptive wide null steering for digital beamforming array with the complex coded genetic algorithm", *IEEE International Conference on Phased Array Systems and Technology*, 2000.
- [7] M. M. Dawoud, A. Tennant, and A. P. Anderson, "Null steering in adaptive arrays using a genetic algorithm", *European Microwave Conference*, vol. 2, pp. 1108-1114, Oct. 1994.
- [8] R. A. Shore, "A proof of the odd-symmetry of the phases for minimum weight perturbation phase-only null synthesis", *IEEE Transactions on Antennas Propagation*, vol. AP-32, pp. 528-530, May 1984.
- [9] J. F. Deford, O. P. Gandhi, "Phase-only synthesis of minimum peak sidelobe patterns for linear and planar arrays", *IEEE Transactions on Antennas Propagation*, vol. 36, pp. 191-201, Jan. 1988.

이 용 준



2007년 2월: 충남대학교 전자전파  
정보통신공학과 (공학사)  
2010년 2월: 충남대학교 전자전파정  
보통신공학과 전파공학전공 (공  
학석사)  
2010 1월~현재: 삼성탈레스 통신연  
구소 연구원

[주 관심분야] 안테나, 초고주파 시스템, 항재밍 알고리즘

박 동 철



1974년 2월: 서울대학교 전자공학  
과 (공학사)  
1976년 2월: 한국과학기술원 전기  
전자공학과 (공학석사)  
1984년 12월: Univ. of California, San-  
ta Barbara (공학박사)  
1977년~1978년: Ruhr University,

Bochum, Germany 방문교수

1994년~1998년: IEEE MTT Korea Chapter Chairman

1998년~2001년: IEEE EMC Korea Chapter Chairman

2000년~2001년: 한국전자과학회 회장

2005년~2007년: 대덕 Wireless 포럼 회장

1976년~현재: 충남대학교 전파공학과 교수

[주 관심분야] Microwave and Millimeterwave Passive Com-  
ponents, Antennas, EMI/EMC

서 종 우



2000년 2월: 충남대학교 전파공학  
과 (공학사)  
2002년 2월: 충남대학교 전파공학  
과 (공학석사)  
2010년: 국방과학기술조사 전문위  
원  
2002년 2월~현재: 국방과학연구소

연구원

[주 관심분야] 군 통신위성 탑재체, 널링안테나, 다중빔 안  
테나, 널링 알고리즘