

이동형 재밍환경에서 널 합성을 위한 적응형 널링 알고리즘

Adaptive Nulling Algorithm for Null Synthesis on the Moving Jammer Environment

서 종 우 · 박 동 철*

Jongwoo Seo · Dongchul Park*

요 약

본 논문에서는 단일포트시스템으로 설계된 배열안테나에서 재밍신호나 간섭신호 방향으로 방사패턴에 널(null)을 형성하는 적응 알고리즘을 제안한다. 제안한 적응 알고리즘은 재밍신호나 간섭신호의 크기나 입사방향에 대한 사전정보를 요구하지 않으며, 배열안테나의 일부 RF 경로의 위상을 제어하는 부분적응(partially adaptive) 알고리즘이다. 제안한 적응 알고리즘은 최적화 알고리즘의 한 종류인 PSO(Particle Swarm Optimization) 알고리즘과 gradient-based 섭동 적응 알고리즘을 혼합하여 시간에 따라 간섭신호의 입사방향이 변화하는 이동형 재밍환경에서도 적응적으로 안정적인 널링 성능을 가진다.

Abstract

In this paper, an adaptive nulling algorithm which can be used to form nulls in the direction of jammer or interference signals in array antennas of single port system is proposed. The proposed adaptive algorithm does not require a priori knowledge of the incoming signal direction and can be applied to the partially adaptive arrays. This algorithm is the combination of the PSO(Particle Swarm Optimization) algorithm and the gradient-based perturbation adaptive algorithm, which shows stable nulling performance adaptively even on the moving jammer environment where the incident direction of the interference signal is changing with time.

Key words: Adaptive Array, PSO, LMS, Anti-Jamming, Phased Array Antenna

I. 서 론

재밍신호나 간섭신호 방향으로 안테나 방사패턴에 널(null)을 형성하여 수신신호의 SINR(Signal to Interference ratio)이나 SJR(Signal to Jamming Ratio)을 증가시키는 방법으로 배열소자마다 수신기가 필요한 다중포트시스템 방법과 최종출력만을 이용하는 단일포트시스템 방법으

로 크게 2가지로 분류할 수 있다^[1].

다중포트시스템의 경우, 각 배열소자에 인가되는 가중치 벡터를 구하기 위해 공분산 행렬(covariance matrix)을 이용하는 알고리즘을 사용하게 되며^[2], 각각의 배열소자에 수신기가 필요하므로 구조가 복잡하고 비용이 많이 드는 단점이 있다. 반면, 그림 1과 같이 안테나 출력단을 1개로 묶어 빔 형성을 수행하는 단일포트시스템의 경우,

「이 연구는 2015학년도 충남대학교 학술 연구비의 지원으로 연구되었음.」

국방과학연구소 제2기술연구본부(The 2nd Research and Development Institute, Agency for Defense Development)

*충남대학교 전파정보통신공학과(Department of Radio & Information Communication Engineering, Chungnam National University)

· Manuscript received May 2, 2016 ; Revised June 30, 2016 ; Accepted August 8, 2016. (ID No. 20160502-052)

· Corresponding Author: Dong-Chul Paark (e-mail: dcpark@cnu.ac.kr)

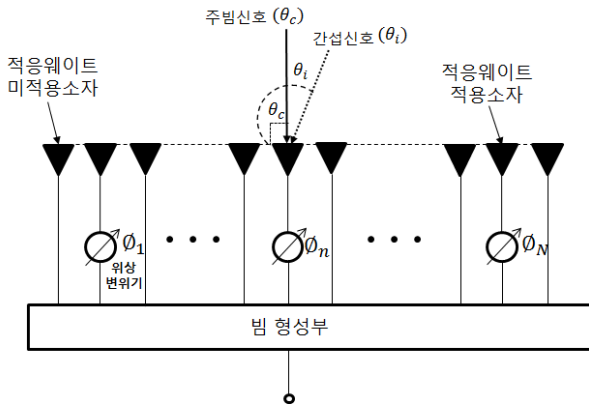


그림 1. 단일포트시스템에서의 위상조절 부분적응배열안테나

Fig. 1. Partially adaptive array antenna with phase-only adjustment on a single port system.

구조가 간단하여 구현이 용이하다는 장점을 가진다^[1]. 이러한 단일포트시스템에서 패턴널 합성을 위해 전체 배열안테나에 적응웨이트(adaptive weight)를 적용하거나 또는 일부에 적응웨이트를 적용하는 부분적응배열안테나(partially adaptive array antenna) 방식을 사용하기도 한다^[2].

단일포트시스템의 패턴널 합성을 위한 알고리즘으로는 일반적으로 랜덤프로세스 방식을 적용하여 반복계산에 따른 비용함수가 일정한 값으로 수렴해 가는 최적화 알고리즘을 주로 사용하고 있으며, 유전자 교배와 돌연변이 방식을 이용한 유전알고리즘(genetic algorithm)^{[4],[5],[6]~[8]}과 입자와 군집 간의 위치 및 속도 정보를 활용하여 최적의 값을 찾아가는 PSO(Particle Swarm Optimization)^{[9]~[11]} 알고리즘이 대표적이다. 특히, PSO 알고리즘의 경우 현재 개체와 우수 개체간의 오차벡터를 이용하여 최적해를 추적해 나가는 매우 직관적인 알고리즘으로 GA 알고리즘에 비해 문제 적용이 매우 간단하고, 처리속도가 매우 빠르다는 장점을 가지고 있다^{[10],[11]}.

기존의 최적화 알고리즘을 통한 위상배열안테나 널패턴 합성에 관한 연구에서는 비용함수에 적용된 주빔신호와 간섭신호의 수신전력의 크기가 시간에 따라 변화하거나, 간섭신호의 입사방향이 시간에 따라 변화하는 상황이 아닌 안테나의 패턴 함수에 따른 특정 값으로 계산이 이루어졌다^{[1],[4],[5],[6]~[8]}. 그러나 이러한 방식은 위상배열안

테나를 실제 이동형 단말에 탑재하여 운용하거나, 고정지점이 아닌 이동하며 간섭신호를 발생하는 이동형 재머등과 같이 시간에 따른 통신시스템의 특성 변화나 간섭신호의 입사방향이 일정하지 않은 경우, 적응적으로 대처하기에 한계가 있다. 다시 말해, 기존의 최적화 알고리즘을 시간에 따라 수신전력값이 변화하는 실제 통신시스템에 적용할 경우, 반복계산에 따른 비용함수 값이 일정하게 수렴되지 않아 무한루프에 빠지는 현상이 발생할 수 있다.

본 논문에서는 이러한 기존 최적화 알고리즘의 한계를 극복하기 위해 섭동 시퀀스에 기반하는 gradient-based 알고리즘^[12]을 PSO 알고리즘과 혼합한 새로운 적응알고리즘을 제안하고자 한다. 제안 알고리즘의 초기에는 처리속도가 빠른 PSO 알고리즘을 통해 초기의 빠른 수렴을 보장하고, 주빔신호와 간섭신호가 시간에 따라 변화하는 전파환경에서의 안정적인 적응빔 형성은 섭동 시퀀스에 기반하는 gradient-based 알고리즘을 사용한다.

본 논문의 2장에서는 PSO 알고리즘과 gradient-based 섭동 시퀀스를 이용하는 알고리즘에 대해 살펴보고, 각 알고리즘의 장단점에 대해 알아본다. 3장에서는 본 논문에서 제안하고 있는 두 가지 알고리즘을 혼합 적용한 경우 얻어질 수 있는 장점들과 실제 구현에 고려할 요소들에 대하여 살펴본다. 4장에서는 요약과 함께 결론을 맺는다.

II. PSO 알고리즘과 Gradient-based 섭동 알고리즘

2-1 PSO 알고리즘

PSO 알고리즘은 자기학습을 통해 최적의 해를 찾는 최적화 알고리즘에 속하며, 알고리즘이 매우 간단하고 구현이 용이하여 함수 최적화, 신호처리, 자동적응제어 등의 다양한 분야에 널리 사용되고 있다^{[9]~[11]}. PSO 알고리즘은 M_p 개의 입자(particle)로 이루어지며, 각 입자의 위치(position)는 적응웨이트가 적용되는 안테나개수에 해당하는 N차원의 위상값을 나타낸다. 입자의 위치 변화는 각 입자의 현재 속도와 위치 및 각 입자가 경험한 최적의 위치($p_{best_i}^k$)와 입자 군집이 경험한 최적의 위치(J_{best}^k)로부터

터 배열안테나의 수신전력이 작아지는 방향으로 다음식과 같이 갱신된다.

$$v_i^{k+1} = v_i^k + c_1 r_1^k (p_{best_i}^k - x_i^k) + c_2 r_2^k (g_{best}^k - x_i^k) \quad (1)$$

$$x_i^{k+1} = x_i^k + v_i^{k+1} \quad (2)$$

여기에서 위첨자 k 는 반복계산의 순서를 나타내고, v_i 와 x_i 는 각각 i 번째 입자의 속도와 위치를 나타낸다. 그리고 c_1 과 c_2 는 상수로서 입자의 속도를 업데이트하는 정도를 결정하고, r_1 과 r_2 는 0과 1 사이의 값을 가지는 랜덤함수이다. 일반적으로 PSO 알고리즘의 수렴속도는 매우 빠른 것으로 알려져 있지만, 시간적인 변화가 포함되는 경우에는 경험에 근거하는 $p_{best_i}^k$ 와 g_{best}^k 값의 의미가 변질될 수 있기 때문에 알고리즘이 수렴하지 못하고 무한루프에 빠질 수 있다.

위상조절만으로 동작하는 PSO 알고리즘을 배열안테나의 수신전력을 최소화하는 문제에 적용할 경우의 구동 순서도는 그림 2와 같다.

2-2 Gradient-based 섭동 알고리즘

단일포트시스템은 구조가 간단하여 구현이 용이하다는 장점을 가지고 있는 반면, 전체 배열안테나의 출력 정

보만을 알 수 있고, 적응웨이트가 적용되는 각 배열안테나 소자의 입력단에 인가되는 위상 및 신호의 크기는 알 수 없으므로 수신전력에 대한 정확한 미분을 계산할 수 없다는 단점이 있다. 이로 인해 수신전력에 대한 해를 구하기 위해서는 근사추정치를 사용하게 되며, 제어위상에 작은 섭동(perturbation)을 순차적으로 가하고, 그 결과 나타나는 수신전력의 변화로부터 수신전력의 미분치를 근사적으로 추정하는 방법을 일반적으로 사용하게 된다^[13].

이때, 제어위상에 가하는 섭동의 크기를 δ 로 정의하며, 최소제어위상단위인 섭동의 크기에 따라 알고리즘의 수렴속도와 널링 성능이 서로 상충관계에 있다. 따라서, δ 의 크기가 작을수록 알고리즘의 수렴속도가 느려지는 반면, 널링 성능은 향상되게 되며, δ 의 크기가 클수록 알고리즘의 수렴속도는 빨라지는 반면, 널링 성능은 열화되는 특성을 가지게 된다. 이와 같은 특성으로 인해 적응배열안테나의 응용목적에 따라 δ 의 값을 결정하여야 하며, 이는 결국 위상천이기(phase shifter)의 선택에 영향을 미치게 된다. 본 논문에서는 8 bit의 디지털 위상변위기를 가정하였으며, 이때 계산된 최소제어위상단위인 섭동의 크기 δ 는 1.406° 가 된다.

III. PSO 알고리즘과 Gradient-Based 섭동 알고리즘의 혼합

본 장에서는 시간에 따라 간섭신호나 재밍신호의 입사 방향이 일정하지 않은 실제 통신시스템환경에서 PSO 알고리즘만을 적용할 경우, 발생하는 단점을 극복하기 위해 gradient-based 섭동 알고리즘을 혼합한 새로운 적응알고리즘에 대해 고찰하도록 한다. 본 논문에서 사용된 비용함수는 실제 통신시스템 운용시 시간적으로 변화하는 전파환경을 고려하여 측정 가능한 수신전력을 비용함수로 하여 널 패턴 합성의 지속성을 다루기 위해 식 (3)과 같은 비용함수 F 를 사용하였다.

$$F = \sum_{k=0}^{L-1} \{S(k)\}^2 \quad (3)$$

이때, $S(k)$ 는 수신신호, k 는 sample index이며, L 은 수신전력을 계산하는데 사용된 샘플수를 의미한다.

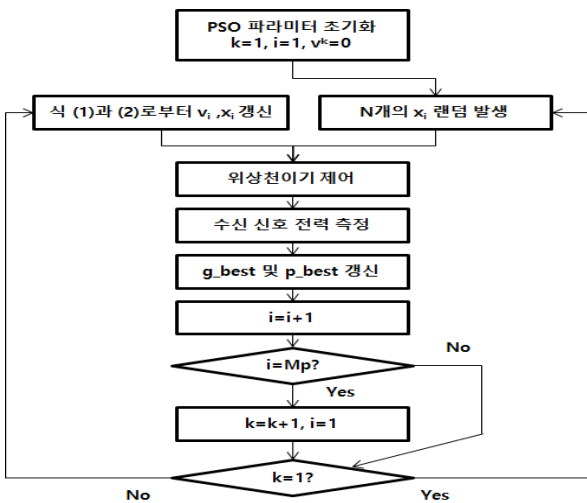


그림 2. 위상조절만으로 동작하는 PSO 알고리즘 순서도
Fig. 2. PSO flow chart of phase-only adaptive antenna.

표 1. 시뮬레이션 조건
Table 1. Simulation condition.

파라미터	값	비고
주빔신호 대역폭	15 MHz	대역제한 AWGN
주빔신호 중심주파수	40 MHz	IF 영역에서의 중심주파수
재밍신호 형태	CW tone	최대 2개
샘플링 주파수	200 MHz	샘플수 : 4,096개
배열안테나 소자간 거리	0.53λ	λ : 자유공간파장
배열 소자수	20	선형배열
배열안테나 급전구조	Chebysheff 배열	부엽레벨 : -20 dB
위상천이기	8 bit	
c_1 및 c_2	2	식 (1)
Mp	30	PSO population
입사신호의 SJR	-60 dB	재밍신호 인가시
입사신호의 SNR	25 dB	재밍신호 무인가시

앞서 설명한 바와 같이, 제안된 적응알고리즘은 전체 해공간의 최적해 주위까지는 수렴속도가 빠른 PSO 알고리즘을 사용하고, 최적해의 위치는 최소제어위상단위인 섭동의 크기를 조정하여 찾도록 하였다. 본 논문에서 제안하는 적응알고리즘의 성능분석을 위한 시뮬레이션 조건은 표 1과 같다.

일반적으로 디지털 통신시스템에서는 설계의 편리함을 위해 통신 채널의 전송 특성을 수학적으로 모델링하여 사용하게 된다. 특히, 부가 백색 가우시안 잡음(Additive White Gaussian Noise: AWGN) 채널을 수학적으로 모델링하여 사용하는 방식이 가장 널리 사용되는 방식이다^[14]. 이는 전자 부품이나 증폭기 등에서 발생하는 열잡음 및 무선 전파 환경에 대한 신호과형에 대해 모두 가우시안 랜덤 잡음 과정으로 모델링이 가능하기 때문이다.

본 논문에서는 이러한 채널 모델링 방식을 적용하여 주빔신호는 15 MHz 대역폭을 가지는 AWGN 신호를 사용하였고, 재밍신호는 CW(Continuous Wave) 신호를 사용하였다. 적응배열안테나의 신호처리를 위한 수신전력의 측정은 기저대역이 아닌 40 MHz의 중간주파수 대역에서 이루어졌고, 200 MHz의 샘플링 주파수에서 4,096개 샘플

이 사용되었다.

부분적응알고리즘 적용을 위해 사용된 배열안테나 구조는 표 1에 보인 바와 같이, 20개의 복사소자로 구성된 Chebysheff 급전 선형배열안테나를 가정하였다. 이때 각 복사소자별 간격을 0.53λ , 부엽레벨을 -20 dB가 되도록 설계하였다. 사용된 배열안테나 구조에서 20개의 복사소자 중 4개의 복사소자를 임의로 정한 후 PSO 알고리즘만을 적용한 시뮬레이션 결과를 그림 3에 나타내었다. 그림 1에서와 같이 주빔신호의 입사방향을 θ_c , 재밍신호의 입사방향을 θ_i 라 할 때, 주빔신호의 방향(θ_c)은 broadside 형태인 90° 이고 재밍신호의 입사방향(θ_i)은 103° 인 경우에 대한 시뮬레이션 결과이다.

그림 3의 세로축은 P_{ratio} 로 이때 P_{ratio} 는 4,096 샘플마다 측정되는 수신전력을 최소화하는 방향으로 알고리즘을 구동하여 도출된 위상천이기 값으로부터 계산된 패턴함수에서 주빔 방향 안테나 이득 대비 재밍신호 방향 안테나 이득비를 의미한다. 그림 3에 주어진 바와 같이, PSO 알고리즘의 경우, 약 70번의 위상갱신으로 55 dB 정도의 P_{ratio} 값이 나타나지만, 랜덤 프로세스를 포함하고 있기 때문에 반복계산이 지속되더라도 일관된 P_{ratio} 값을 보여주지 못함을 볼 수 있다. 그러나 PSO 알고리즘의 입자수에 따른 다양한 시뮬레이션을 수행한 결과, 입자의

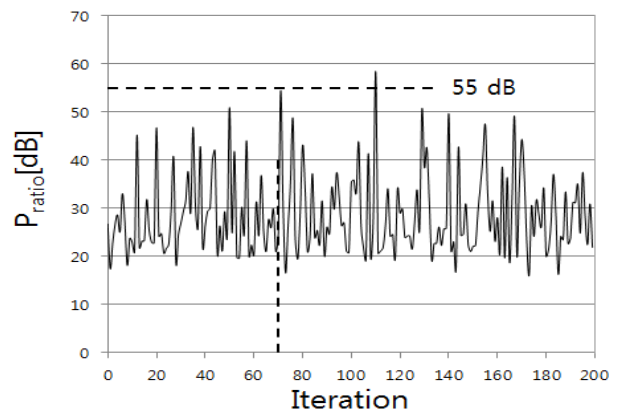


그림 3. PSO 알고리즘에 의한 $P_{ratio}(\theta_c = 90^\circ, \theta_i = 103^\circ, \delta = 1.406^\circ)$

Fig. 3. P_{ratio} by PSO algorithm($\theta_c = 90^\circ, \theta_i = 103^\circ, \delta = 1.406^\circ$).

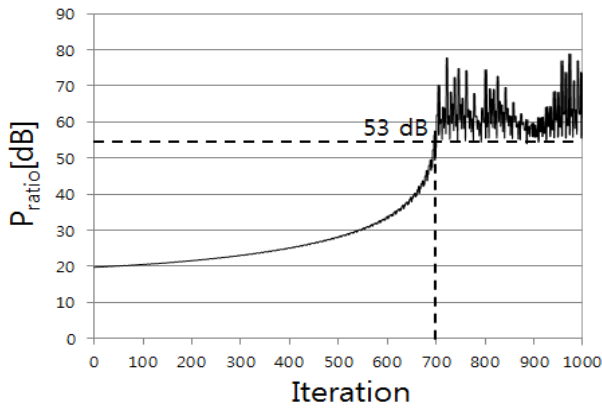


그림 4. Gradient-based 섭동 알고리즘에 의한 $P_{ratio}(\theta_c = 90^\circ, \theta_i = 103^\circ, \delta = 1.406^\circ)$
 Fig. 4. P_{ratio} by gradient-based perturbation algorithm($\theta_c = 90^\circ, \theta_i = 103^\circ, \delta = 1.406^\circ$).

개수를 30개로 고정된 경우, 약 4회의 PSO 알고리즘 갱신에 해당하는 120번의 위상갱신 내에서는 최소 45 dB 이상의 P_{ratio} 값을 가지는 g_{best}^k 가 도출되는 것을 확인하였다.

그림 3과 동일한 시뮬레이션 환경에서 gradient-based 섭동 알고리즘만을 구동한 결과를 그림 4에 나타내었다.

그림 4의 시뮬레이션에 사용된 $\delta=1.406^\circ$ 값은 360° 의 위상변이 구간을 8 bit로 조절하는 경우에 해당하며, 약 700번 이상의 위상갱신 후에 수렴하여 53 dB 이상의

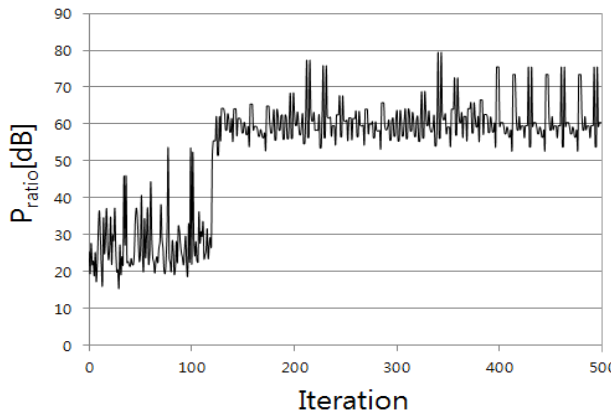


그림 5. 제안하는 알고리즘에 의한 $P_{ratio}(\theta_c = 90^\circ, \theta_i = 103^\circ, \delta = 1.406^\circ)$
 Fig. 5. P_{ratio} by the proposed algorithm($\theta_c = 90^\circ, \theta_i = 103^\circ, \delta = 1.406^\circ$).

P_{ratio} 를 유지하고 있음을 알 수 있다. 대부분의 P_{ratio} 가 50 dB 중반에 머물고 있는 것은 최소제어위상단위(δ)의 크기에 기인한 것이며, δ 의 크기가 작을수록 수렴이 느려지지만 수렴시 평균 P_{ratio} 값은 상승한다. 이와 반대로 δ 의 크기가 적절한 수준에서는 커질수록 수렴이 빨라지만 수렴시 평균 P_{ratio} 값은 감소하게 된다.

전술한 두 가지 알고리즘의 시뮬레이션 결과를 바탕으로 120회의 위상갱신 내에서는 PSO 알고리즘을 동작시키고, PSO 알고리즘에서 도출된 최적의 위상으로부터 gradient-based 섭동 알고리즘을 구동한 결과를 그림 5에 나타내었다. 그림 5에서 120회 이하의 PSO 알고리즘이 적용된 구간에서의 P_{ratio} 값이 일정한 수렴방향을 가지지 않는 것처럼 나타나는 이유는 반복계산의 매 순간 평가된 결과를 나타내었기 때문이다. 하지만 PSO 알고리즘의 수렴 평가척도로 사용되는 global best 값은 지속적으로 갱신되어 gradient-based 섭동 알고리즘 구동의 초기값으로 사용되기 때문에 구동알고리즘이 교체되는 순간부터는 안정적인 P_{ratio} 값을 나타내게 된다.

또한 두 가지 알고리즘을 혼합하여 순차적으로 구동한 결과, 동일한 전파환경에서 수렴속도는 그림 4의 gradient-based 섭동 알고리즘만을 사용한 경우에 비해 약 6 배 정도 빨라지고, 수렴한 후의 동작안정성도 보장됨을 확인할 수 있다.

그림 6은 간섭신호가 103° 방향에서 인가되었을 때 PSO 알고리즘과 gradient-based 섭동 알고리즘을 혼합한 적응알고리즘에서의 널패턴 합성 결과이며, 약 -50 dB의 널패턴이 생성됨을 확인할 수 있다. 그림 7은 이때 구해진 적응웨이트에 해당되는 위상값을 제시하였다.

지금부터는 2개의 간섭신호가 서로 다른 방향에서 동시에 입사하는 경우에 대해 제안된 알고리즘의 성능을 살펴해보도록 한다. 20개의 복사소자 중 임의의 7개 경로에 적응웨이트를 적용하고, 동일한 크기를 가지는 두 개의 재밍신호가 각각 118° 와 135° 로 입사하는 경우에 대한 시뮬레이션 결과를 그림 8과 그림 9에 나타내었다. 그림 8은 서로 다른 방향으로 동일한 크기의 간섭신호 입사시 P_{ratio} 를 나타내고 있으며, 그림 5의 단일방향에서 간섭신호가 입사하는 경우와 유사한 천이과정을 거치는 것을

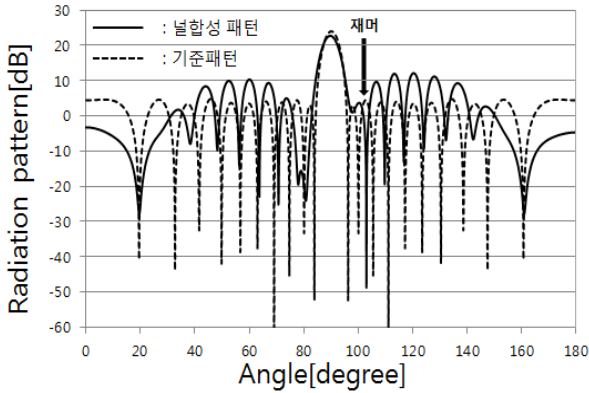


그림 6. 제안하는 알고리즘을 이용해 구해진 방사패턴 ($\theta_c = 90^\circ, \theta_i = 103^\circ, \delta = 1.406^\circ$)

Fig. 6. Radiation pattern obtained by the proposed algorithm ($\theta_c = 90^\circ, \theta_i = 103^\circ, \delta = 1.406^\circ$).

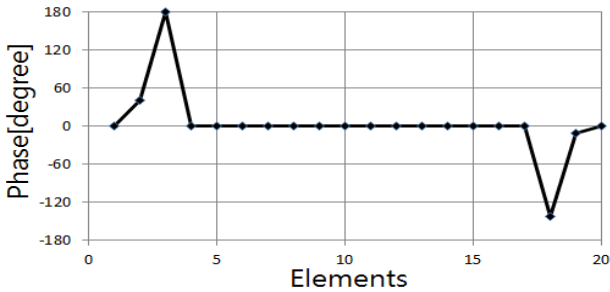


그림 7. 그림 6에 대한 최적화된 위상값
Fig. 7. Optimum phase value for Fig. 6.

확인할 수 있다.

그림 9는 그림 8의 500번째 반복계산에서 적용된 부분 적응위상으로부터 계산된 방사패턴을 재밍신호가 인가되지 않았을 때와 인가되었을 때를 함께 도시한 것이다. 간섭신호 인가 방향에 따라 약 -40 dB와 -30 dB의 널패턴이 합성되는 것을 확인할 수 있으며, 그림 6의 단일 간섭신호가 인가되는 경우에 비해 다소 널패턴 합성능력이 저하되는 것을 알 수 있다. 이와 같이 그림 8과 9를 통해 부분적응위상의 개수만 적절히 조절한다면 다중 간섭신호에 대해서도 대처할 수 있음을 확인할 수 있다.

그러나 부분적응위상의 개수가 증가함에 따라 주빔의 이득에 영향을 미쳐 약 2 dB 정도의 주빔 이득 손실이 발생하였다. 이러한 현상은 부분적응배열안테나에서 출력전력을 최소화하는 방향으로 부분적응위상을 갱신하는

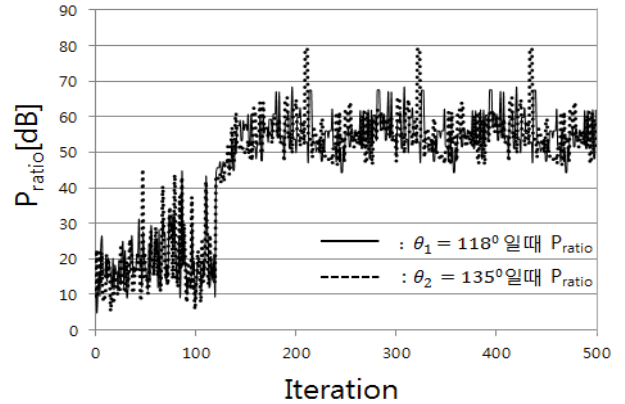


그림 8. 제안하는 알고리즘에 의한 $P_{ratio}(\theta_c = 90^\circ, \theta_{i1} = 118^\circ, \theta_{i2} = 135^\circ, \delta = 1.406^\circ)$

Fig. 8. P_{ratio} by the proposed algorithm ($\theta_c = 90^\circ, \theta_{i1} = 118^\circ, \theta_{i2} = 135^\circ, \delta = 1.406^\circ$).

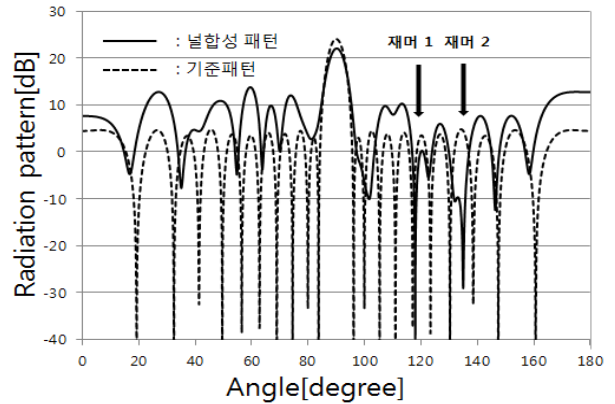


그림 9. 제안하는 알고리즘을 이용해 구해진 방사패턴 ($\theta_c = 90^\circ, \theta_{i1} = 118^\circ, \theta_{i2} = 135^\circ, \delta = 1.406^\circ$)

Fig. 9. Radiation pattern obtained by the proposed algorithm ($\theta_c = 90^\circ, \theta_{i1} = 118^\circ, \theta_{i2} = 135^\circ, \delta = 1.406^\circ$).

알고리즘의 비용함수에 의해 나타나게 되며, 이는 부분적응위상의 개수가 증가할수록 주빔 손실이 더욱 커지게 된다는 것을 의미한다. 따라서 배열안테나의 출력을 최소화하여 널패턴을 형성하는 적응알고리즘에서는 응용분야에 맞추어 허용되는 주빔의 이득 손실과 동시에 제거하고자 하는 간섭 신호의 개수를 고려하여 부분적응배열안테나의 수를 신중하게 선택하여야 한다.

본 논문에서 제안하는 적응형 널링 알고리즘이 간섭신호의 입사방향이 시간적으로 변하는 환경에서 얼마만큼

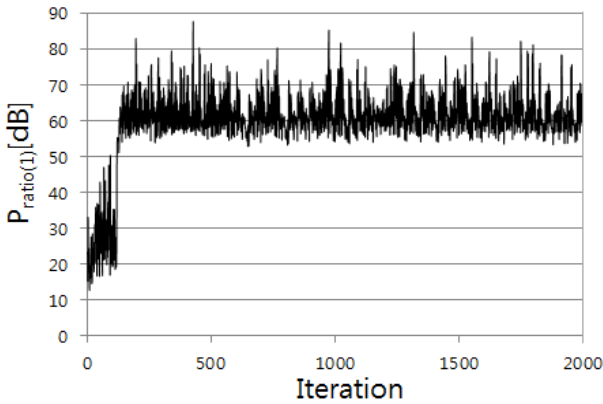


그림 10. 간섭신호의 입사방향이 40°/초의 속도로 변하는 환경에서 제안하는 알고리즘에 의한 $P_{ratio}(\theta_c = 90^\circ, \delta = 1.406^\circ)$

Fig. 10. P_{ratio} by the proposed algorithm under the time varying interference with 40°/s angle velocity($\theta_c = 90^\circ, \delta = 1.406^\circ$).

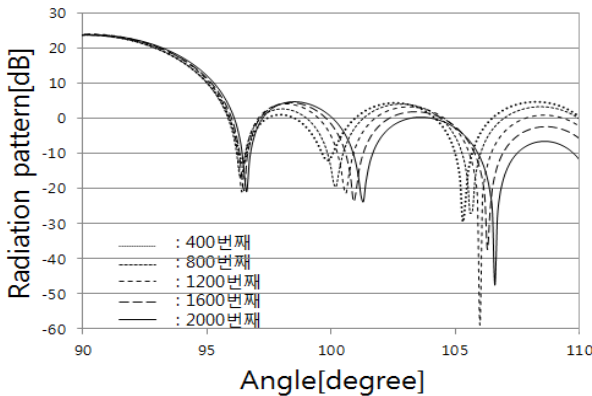


그림 11. 간섭신호의 입사방향이 40°/초의 속도로 변하는 환경에서 제안하는 알고리즘에 의한 방사패턴의 변화($\theta_c = 90^\circ, \delta = 1.406^\circ$)

Fig. 11. Radiation pattern change by the proposed algorithm operation under the time varying interference with 40°/s angle velocity($\theta_c = 90^\circ, \delta = 1.406^\circ$).

의 입사방향 변화속도에 대처할 수 있는지 알아보기 위해 간섭신호의 입사방향이 105°에서 107° 방향으로 40°/s의 속도로 변하는 경우에 대한 P_{ratio} 를 그림 10에 나타내었다. 그림 10에서 2,000번의 모의분석동안 간섭신호의 입사방향은 1.638° 변화하였지만, P_{ratio} 의 성능은 유지됨

을 알 수 있다. 따라서 간섭신호의 입사방향이 시간적으로 매우 빠르게 변화하더라도 본 논문에서 제시한 알고리즘으로 매우 안정적으로 입사방향이 변화하는 간섭신호를 제거할 수 있음을 알 수 있다.

그림 11은 그림 10의 시뮬레이션 시간동안 400번 단위로 반복횟수를 늘려가며 방사패턴 변화를 나타낸 것이다. 실제 전파환경에서처럼 간섭신호의 입사방향이 변하는 환경, 즉, 간섭신호가 105°에서 107° 방향으로 입사방향이 변화할 때, 방사패턴의 널도 간섭신호 입사방향이 변화에 맞춰 이동하고 있음을 확인할 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 통신 시스템에서 재밍신호나 간섭신호를 제거하는 방법으로 단일포트 배열안테나시스템에서 일부 안테나 경로의 위상을 조정하는 부분적응배열안테나(partial adaptive array antenna)의 적응빔 형성에 대해 고찰하였다. 제안된 적응형 널링 알고리즘의 초기 단계에서는 수렴속도가 매우 빠른 PSO 알고리즘을 통해 초기 부분적응위상값을 찾은 후 시간의 변화에 따른 최적해의 위치는 gradient-based 섭동 알고리즘을 구동하는 방식을 적용하였다. 섭동량에 해당되는 최소제어위상단위(δ)의 크기에 따라 수렴 속도와 P_{ratio} 간의 상관관계를 확인하였으며, 단방향 및 양방향에서 입사되는 간섭신호에 대한 널패턴 합성 정도를 분석하였다. 제안된 알고리즘은 실제 이동형 단말에 탑재 운용시 발생하는 시간에 따른 수신신호의 값이 변화하는 환경 및 이동형 재머 등과 같이 시간에 따라 간섭신호의 입사방향이 변화하는 이동형 재밍 환경에 대응적으로 적응형 널링이 가능함을 확인하였다.

References

- [1] R. L. Haupt, "Phase-only adaptive nulling with genetic algorithms", *IEEE Transactions on Antennas Propagation*, vol. 45, no. 5, pp. 1009-1015, Jun. 1997.
- [2] R. Nitzberg, "Application of the normalized LMS algorithm to MSLC", *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, vol. 21, no. 1, pp. 79-91, Jan. 1985.
- [3] B. D. van Veen, R. A. Roberts, "Partially adaptive beam

former design via output power minimization", *IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, vol. 35, no. 11, pp. 1524-1532, Nov. 1987.

[4] Y. J. Lee, J. W. Seo, J. K. Ha, and D. C. Park, "Null steering of linear phased array antenna using genetic algorithm", *Asia Pacific Microwave Conference 2009, APMC 2009*, pp. 2726-2729, Dec. 2009.

[5] 이종준, 서종우, 박동철, "부호 교차 위상 개념이 적용된 유전 알고리즘을 이용한 널링 안테나 연구", *한국전자과학회 논문지*, 21(6), pp. 690-697, 2010년 6월.

[6] Y. C. Chung, R. L. Haupt, "Optimum amplitude and phase control for an adaptive linear array using a genetic algorithm", *IEEE Antennas and Propagation Soc. Int. Symp., Digest*, vol. 2, p. 1427, Orlando, FL, Jul. 1999.

[7] Y. C. Chung, R. L. Haupt, "Adaptive nulling with spherical arrays using a genetic algorithm", *IEEE Antennas and Propagation Soc. Int. Symp., Digest*, vol. 32, pp. 2000-2003, Orlando, FL, Jul. 1999.

[8] Y. C. Chung, R. L. Haupt, "Amplitude and phase adaptive nulling with a genetic algorithm", *Journal of Electromagnetic Waves and Applications*, vol. 14, pp. 631-649, Jan. 2000.

[9] M. M. Khodier, C. G. Christodoulou, "Linear array geo-

metry synthesis with minimum sidelobe level and null control using particle swarm optimization", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 8, no. 53, pp. 2674-2679, Aug. 2005.

[10] Peyton D. McGuire, Harry M. Estrada, *Cognitive Radio: Terminology, Technology and Techniques*, Nova Science Publishers Inc., Chapter 2, pp. 37-72, 2010.

[11] 서종우, 권오혁, 박동철, 전중훈, "PSO 알고리즘을 적용한 평면형 위상배열 안테나의 널 패턴 합성", *한국군사과학기술학회 종합학술대회*, pp. 1059-1060, 2015년 6월.

[12] R. M. Davis, "Phase-only LMS and perturbation adaptive algorithms", *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, vol. 34, no. 1, pp. 169-178, Jan. 1998.

[13] M. Fakharzadeh, S. Safavi-Naeini, S. H. Jamali, and P. Mousavi, "Zero-knowledge beamforming of phased array antennas based on simultaneous perturbation gradient approximation", *IEEE Int. Symp. Antennas Propagat.*, Albuquerque, NM, pp. 537-540, Jul. 2006.

[14] Bernard Goodwin, *Digital Communications Fundamentals and Applications*, 2nd edition, Prentice Hall PTR, Chapter 1, pp. 30-33, 2001.

서 종 우



2000년 2월: 충남대학교 전파공학과 (공학사)
 2002년 2월: 충남대학교 전파공학과 (공학석사)
 2002년 1월~현재: 국방과학연구소 선임연구원(2본부 1부)

2013년 3월~현재: 충남대학교 전파정보통신공학과 전파공학전공 박사과정
 [주 관심분야] 널링 안테나, 패턴합성 알고리즘, 컨포멀 안테나

박 동 철



1974년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학사)
 1976년 2월: 한국과학기술원 전기 전자공학과 (공학석사)
 1984년 12월: Univ. of California, Santa 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 Components, Antennas, EMI/EMC