

상관성 간섭에서 표적의 입사각 추정 방법에 대한 연구

신 호 섭*

A Study on the Incident Angle Estimation Method of Target at Coherent Interference

Hosub Shin *

요 약

적용 배열 안테나 시스템은 간섭신호 방향으로 영점을 형성하여 표적신호를 추정한다. 그러나 적용 배열 안테나 시스템에 상관성 간섭신호가 입사된다면 표적신호를 간섭신호로 간주하여 시스템의 성능이 급격히 감소되고, 지향 오차에 민감하여 주빔이 표적신호의 입사방향을 지향하지 못한다. 본 논문에서는 고차제한조건과 지향오차수정방법을 결합하여 빔형성 알고리즘을 제안하였다. 그리고 제안한 알고리즘으로 자유도 손실을 최소화하고 간섭신호와 지향오차를 감소시켰다. 모의실험을 이용하여 제안 알고리즘과 기존 알고리즘의 성능을 비교 분석하였다. 본 논문에서 제안한 알고리즘은 신호 입사각을 정확히 추정하지만 기존의 알고리즘은 약 0.8°의 오차가 발생하였다.

Abstract

Adaptive array antenna system estimates target signal, as making a null pattern toward the interference signal. However, receiving a coherent interference signal at adaptive array antenna system, as target signal is regarded as interference signal, the performance of system rapidly decreases. The main beam does not direct an incidence direction of target signal due to sensitivity in directivity error. This paper proposes beamforming algorithm which combines high order limit condition and directivity error modify method. And it minimizes degree of freedom and decreases interference signal and directivity error using proposed algorithm. This paper compares and analyzes the performance of proposed algorithm and general algorithm using simulation. In this paper, the proposed algorithm correctly estimates an incident angle, but general algorithm occurs an error of about 0.8°.

▶ Keyword : Beamforming, Adaptive Array, Directivity error, Coherent Interference

• 제1저자 : 신호섭

• 투고일 : 2010. 01. 06, 심사일 : 2010. 03. 02, 게재확정일 : 2010. 04. 09.

* 군산대학교 전파공학과 조교수

1. 서론

정보통신기술은 다양한 유무선 응용서비스분야에 적용되고 있으며[1-4], 안테나는 정보통신 무선 응용서비스분야에 필수적으로 적용되고 있다. 적응 배열 안테나 시스템은 원하는 신호를 추출하기 위해서 표적신호 방향으로 빔 패턴의 이득을 일정하게 유지시키고, 간섭신호의 방향으로 널 패턴(Null pattern)을 형성한다[5-6]. 그러나 적응 배열 안테나는 입사신호에 표적신호와 상관성이 있는 코히런트 간섭신호가 입사된다면 표적신호까지 제거시키는 문제점이 있으며, 지향오차에 민감한 단점을 가지고 있다. 지향오차가 발생하면 주빔이 표적신호의 입사방향을 지향하지 못한다. 그래서, 표적신호가 간섭신호로 인식되어 표적신호의 입사방향에 널 패턴을 형성하여 적응 배열 안테나 시스템 성능이 급격히 감소된다[7].

간섭신호는 다중경로 현상이나 표적신호와 상관도가 매우 높은 고의적인 재밍신호에 의하여 발생한다[8]. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 많은 연구가 진행되어 왔다.

Widrow[9]에 의해 제안된 공간진동(spatial dithering)은 배열 단면을 기계적으로 움직여 원하는 신호와 간섭신호의 상관도를 제거하는 방법을 연구하였다. 그러나 공간진동은 물리적 구현하기가 어려운 단점이 있다.

Duvall[10]은 주 빔형성기와 종속 빔형성기로 구성된 이중의 빔형기로 원하는 신호와 간섭신호를 분리한 후 가중치를 획득하는 방법을 연구하였다. 그러나 Duvall이 제안한 빔형성기는 두개이상의 간섭신호가 입사할 경우에는 사용될 수 없다.

Evans[11]는 다수의 간섭신호를 제거하기 위해 공간평활(spatial smoothing)알고리즘을 연구하였다. 공간평활 알고리즘은 전체 배열을 몇 개의 부배열로 나누고 각 부배열에 대하여 순차적으로 가중치를 적응시켜 간섭신호를 제거하는 방법을 연구하였다. 그러나 공간 평활 방법은 등간격 선형 배열에서만 적용 가능하다.

Yeh[12]는 비선형 배열에서 사용할 수 있는 방법으로 간섭신호의 입사각을 추정한 후 추정된 입사각에 널 패턴을 형성하고, 배열 출력신호의 전력을 최소화시키는 MCMV(multiply constrained minimum variance)빔 형성기법을 연구하였다. MCMV빔형성기는 비선형 배열에 적용될 수 있으나, 추정 입사각과 실제 간섭신호의 입사각에 오차가 발행할 경우 간섭신호를 효과적으로 제거할 수 없다.

Lu[13]는 간섭신호의 입사각을 추정할 필요없이 다수의 간섭신호를 제거할 수 있으며, 비선형 배열에 적용할 수 있는 방법으로 SPT-LCMV(Split Polarity Transformation-Linearly

Constrained Minimum Variance)빔형성 기법을 제안하였다. SPT-LCMV빔형성기는 SPT행렬을 이용하여 표적신호와 간섭신호의 상관도를 제거한 후 입력공분산 행렬을 LCMV빔형성기에 적용하여 최적 가중치를 획득한다.

본 논문에서는 자유도의 손실을 최소화하면서 간섭신호와 지향오차를 해결하기 위한 방법으로 빔형성 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘으로 지향오차극복 및 간섭신호의 상관도를 제거함으로써 입사각을 정확히 추정하였다. 연구방법은 그림 1과 같다.

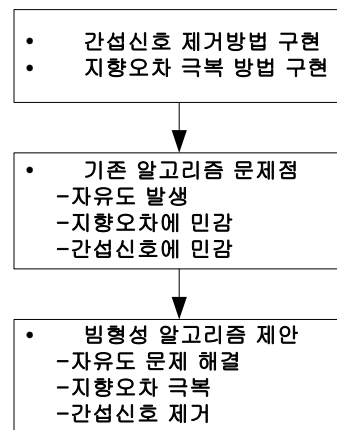


그림 1. 빔 형성 알고리즘 연구
Fig. 1. Beamforming algorithm research

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 빔형성과 지향오차에 대해서 서술하고, III장에서는 간섭신호와 표적신호의 상관도를 제거하여 표적의 방향을 정확히 추정하는 빔형성 알고리즘을 제안하였다. IV장에서는 모의실험을 통하여 제안된 알고리즘과 기존의 알고리즘을 비교분석하였고, 마지막으로 V장에서는 결론을 맺었다.

II. 빔 형성기와 지향 오차

1. 빔 형성기

SPT-LCMV 빔 형성기는 표적신호의 입사방향으로 이득을 일정하게 유지 시키면서 출력신호의 전력을 최소화하여 최적 가중치를 추정한다. N 개의 배열소자에 원하는 신호와 k 개의 간섭신호가 입사한다면 수신신호는 다음과 같이 나타낼 수 있다[14].

$$x(t) = A(\theta)s(t) + n(t) \dots\dots\dots (1)$$

식(1)에서 $s(t)$ 는 신호벡터, $A(\theta)$ 는 배열 소자의 응답벡터, $n(t)$ 는 백색잡음이다.

$$s(t) = [s_0(t), s_1(t), \dots, s_k(t)]^T \dots\dots\dots (2)$$

$$A(\theta) = [a(\theta_0), a(\theta_1), \dots, a(\theta_k)] \dots\dots\dots (3)$$

$$n(t) = [n_1(t), n_2(t), \dots, n_k(t)]^T \dots\dots\dots (4)$$

식(2)-(4)에서 $[\cdot]^T$ 는 전치행렬, $a(\theta_i)$ 는 방향벡터, $i = 1, 2, \dots, k$ 이다. 이때, 출력 신호는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$y(t) = w^H x(t) \dots\dots\dots (5)$$

식(5)에서 $(\cdot)^H$ 는 복소공액 전치행렬이다. 출력의 신호 전력은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$E[|y(t)|^2] = w^H R_x w \dots\dots\dots (6)$$

식(6)에서 R_x 는 입사신호의 공분산 행렬로서 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$R_x = E[x(t)x^H(t)] \dots\dots\dots (7)$$

SPT-LCMV빔형성기는 식(7)과 같이 출력 전력을 최소화 시켜 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\arg \min_w w^H R_x w \quad \text{subject to } w^H a(\theta_0) = 1 \dots\dots\dots (8)$$

식(8)을 만족하는 가중치는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$w_{opt} = \frac{R_x^{-1} a(\theta_0)}{a^H(\theta_0) R_x^{-1} a(\theta_0)} \dots\dots\dots (9)$$

2. 지향 오차

지향오차란 주빔이 표적신호에 정확하게 빔을 형성하지 못함으로서 발생한다. 이와같은 원인은 안테나 배열의 결합 혹은 부정확한 입사각 추정 때문이다. 주빔의 방향을 조금씩 변화시키면서 배열 출력신호의 전력을 반복적으로 검사하여 최

적가중치를 획득하는 지향오차 수정기법을 이용하면 빔 지향 오차를 감소시킬 수 있다. 배열 출력신호 전력은 다음과 같이 나타낼 수 있다[7][15].

$$P(w_{opt}) = \frac{1}{a^H(\theta_0) R_x^{-1} a(\theta_0)} \dots\dots\dots (10)$$

지향오차가 존재할 경우 배열 출력신호의 전력은 최대가 아니므로 지향방향을 변화시켜가면서 출력신호의 전력이 최대가 되는 방향을 반복적으로 추정한다. 따라서, 식(10)을 최대화시키기 위하여 분모를 최소화시키는 방향벡터를 구하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\arg \min_{a(\theta_0)} a^H(\theta_0) R_x^{-1} a(\theta_0) \dots\dots\dots (11)$$

초기 지향방향과 최종 지향방향간의 오차가 δ_ϕ 로 미소한 경우 배열의 초기 지향방향이 ϕ_0 이면, 테일러 급수를 이용하여 최종 지향벡터를 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$a(\theta_0) = a(\phi_0) + \delta_\phi a_1(\theta_0) \dots\dots\dots (12)$$

여기서 $a_1(\theta_0)$ 는 다음과 같다.

$$a_1(\theta_0) = - \left. \frac{da(\phi)}{d\phi} \right|_{\phi=\phi_0} \dots\dots\dots (13)$$

식(12)를 식(11)에 대입하여 지향오차를 구하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\delta_\phi = - \frac{Re[a^H(\phi_0) R_x^{-1} a_1(\phi_0)]}{a_1^H(\phi_0) R_x^{-1} a_1(\phi_0)} \dots\dots\dots (14)$$

식(14)를 초기 지향벡터와 더하여 표적신호의 입사방향을 구하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\theta_0 = \phi_0 + \delta_\phi \dots\dots\dots (15)$$

표1에 지향오차 수정방법을 통하여 정확한 표적신호의 입사각을 획득하는 과정을 나타내었다.

표 1. 지향오차 수정방법
Table 1. Steering error correction method

파라미터	ϵ : 임계치 δ_{ϕ_n} : n번째 방향의 지향오차
초기값	$\phi_n = \phi_0$
$ \delta_{\phi_n} \leq \epsilon$ 의 계산	지향오차예측 : δ_{ϕ_n} 지향오차수정 : $\phi_{n+1} = \phi_n + \delta_{\phi_n}$
결과	$\theta_0 = \phi_n$

III. 제안 빔 형성 알고리즘

SPT-LCMV빔형성기는 임의로 설정된 표본 입사각에 대한 제한조건을 이용하여 간섭신호를 제거한다. 그러나 표본입사각이 간섭신호의 입사각과 일치하지 않을 경우 표적신호와 간섭신호간의 상관도를 제거할 수 없다. 상관도를 제거시키는 방법으로 고차 제한조건을 사용하면 표본입사각의 범위가 증가되어 두 각도간의 오차를 감소시킬 수 있다. 고차 제한 조건을 사용하지 않은 경우 표본 입사각과 실제 입사각 사이의 오차에 의해 시스템의 성능은 급격히 저하되는 반면, 미분차수가 증가할수록 오차로 인한 성능이 감소된다. 그러나 고차 제한조건을 차수가 증가하면 제한 행렬(\hat{A})의 제한조건 수가 증가하고 제한조건이 수가 배열 소자수보다 많으면 간섭신호를 효과적으로 제거할 수 없다. 그리고 고차 제한조건으로 극복할수 있는 오차는 한계가 있으므로 다수의 표본 입사각에 대한 제한조건을 설정하여야 한다. 이와같이 SPT-LCMV 빔형성기는 많은 제한조건을 사용하므로 자유도 손실을 초래한다. SPT-LCMV 빔형성기는 L 개의 표본 입사각과 미분차수가 D 인 고차제한조건을 이용할 경우 제한요소의 수가 $[L(D+1)+1]$ 개이므로 $[L(D+1)+2]$ 이상의 배열 소자를 필요로 한다. 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 연구하였다. 미분차수가 D 인 고차 제한조건을 사용할 경우, 전체 제한행렬(\hat{A})을 다음과 같이 표본 입사각수의 부분 제한행렬을 \hat{A}_i 로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\hat{A}_1 = [a(\theta_0), a(\hat{\theta}_1), a^1(\hat{\theta}_1), \dots, a^D(\hat{\theta}_1)] \dots \dots \dots (16)$$

$$\hat{A}_2 = [a(\theta_0), a(\hat{\theta}_2), a^1(\hat{\theta}_2), \dots, a^D(\hat{\theta}_2)] \dots \dots \dots (17)$$

⋮

$$\hat{A}_L = [a(\theta_0), a(\hat{\theta}_L), a^1(\hat{\theta}_L), \dots, a^D(\hat{\theta}_L)] \dots \dots \dots (18)$$

전체 제한행렬은 표적신호의 방향벡터와 L 개의 표본입사각 및 $[L(D+1)+1]$ 개의 제한 조건을 갖는다. 그러므로 각 표본 입사각 기준으로 나눈 부분제한행렬은 제한조건이 수가 $[D+2]$ 로 감소한다. 이 경우 SPT행렬 $T_i(\theta_0)$ 는 다음과 같이 나타낸다.

$$T_i(\theta_0) = \hat{A}_i J_{(D+2)} \hat{A}_i^+ \dots \dots \dots (19)$$

여기서 $J_{(D+2)}$ 는 $(D+2)$ 행 $(D+2)$ 열차원의 대각 행렬로서 다음과 같이 나타낸다.

$$J_{(D+2)} = \text{Diag}[-1, 1, \dots, 1] \dots \dots \dots (20)$$

첫 번째 표본 입사각으로 이루어진 부분제한행렬 \hat{A}_1 으로 부터 생성된 $T_1(\theta_0)$ 를 입력공분산 행렬 R_x 에 적용하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$R_{1zz} = T_1(\theta_0) R_x T_1(\theta_0)^H \dots \dots \dots (21)$$

R_x 와 R_{1zz} 의 평균을 하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\bar{R}_1 = A_1(\theta) \begin{bmatrix} r_{00} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \hat{r}_{1,11} & \hat{r}_{1,12} & \hat{r}_{1,13} \\ 0 & \hat{r}_{1,12}^* & \hat{r}_{1,22} & \hat{r}_{1,23} \\ 0 & \hat{r}_{1,31}^* & \hat{r}_{1,32} & \hat{r}_{1,33} \end{bmatrix} A_1^H(\theta) \dots \dots \dots (22)$$

여기서, $\hat{r}_{1,11}, \hat{r}_{1,22}, \hat{r}_{1,33}$ 는 각각 첫 번째 표본입사각의 방향벡터 1차 및 2차 미분에 해당하는 방향으로 입사하는 신호의 자기상관도이다. 식(22)에서 $\hat{r}_{1,01}, \hat{r}_{1,02}, \hat{r}_{1,03}$ 는 표적신호와 첫 번째 표본입사각에서 들어오는 신호간의 상관도이며 표적신호와 첫 번째 표본입사각에 대한 방향벡터의 1차, 2차 미분 방향으로 입사하는 신호간의 상관도가 모두 0이므로 첫 번째 표본 입사각 및 그 주변에서 들어오는 신호와 표적신호간의 상관도가 제거됨을 확인할 수 있다. 여기서 D 는 2차로 간략화 한다. 계속해서 두 번째 입사각을 이용하여 생성시킨 $T_2(\theta_0)$ 와 \bar{R}_1 으로 R_{2zz} 를 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$R_{2zz} = T_2(\theta_0) \bar{R}_1 T_2(\theta_0)^H \dots \dots \dots (23)$$

그리고 R_{2zz} 와 \bar{R}_1 을 평균을 취하면 다음과 같이 두 번째 표본입사각 및 주변의 입사신호와 표적신호간의 상관도를 제거시킬 수 있다.

$$\bar{R}_2 = A_2(\theta) \begin{bmatrix} r_{00} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \hat{r}_{2,11} & \hat{r}_{2,12} & \hat{r}_{2,13} \\ 0 & \hat{r}_{2,12}^* & \hat{r}_{2,22} & \hat{r}_{2,23} \\ 0 & \hat{r}_{2,13}^* & \hat{r}_{2,23}^* & \hat{r}_{2,33} \end{bmatrix} A_2^H(\theta) \dots\dots\dots (24)$$

여기서, $\hat{r}_{2,11}, \hat{r}_{2,22}, \hat{r}_{2,33}$ 는 각각 두 번째 표본입사각의 방향벡터 1차 및 2차 미분에 해당하는 방향으로 입사하는 신호의 자기상관도이다. $\hat{r}_{2,01}, \hat{r}_{2,02}, \hat{r}_{2,03}$ 는 표적신호와 두 번째 표본입사각에서 들어오는 신호간의 상관도이고, $\hat{r}_{2,01}, \hat{r}_{2,02}, \hat{r}_{2,03}$ 가 모두 0이 되어 두 번째 표본입사각을 포함한 그 주변에서 입사하는 신호와 표적신호간의 상관도 역시 제거되었음을 확인할 수 있다. L 번째 입사각을 이용하여 생성시킨 $T_L(\theta_0)$ 와 \bar{R}_{L-1} 으로 R_{Lzz} 를 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$R_{Lzz} = T_L(\theta_0) \bar{R}_{L-1} T_L(\theta_0)^H \dots\dots\dots (25)$$

R_{Lzz} 와 \bar{R}_{L-1} 를 평균을 취하면 다음과 같이 L 번째 표본입사각 및 주변의 입사신호와 표적신호간의 상관도를 제거시킬 수 있다.

$$\bar{R}_L = A_L(\theta) \begin{bmatrix} r_{00} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \hat{r}_{L,11} & \hat{r}_{L,12} & \hat{r}_{L,13} \\ 0 & \hat{r}_{L,12}^* & \hat{r}_{L,22} & \hat{r}_{L,23} \\ 0 & \hat{r}_{L,13}^* & \hat{r}_{L,23}^* & \hat{r}_{L,33} \end{bmatrix} A_L^H(\theta) \dots\dots\dots (26)$$

식(26)과 같이 이러한 과정을 L 개의 표본 입사각에 대해 모두 적용하면 표본입사각의 방향으로 입사하는 신호와 표적신호 간의 상관도가 제거된 최종 입력 공분산 행렬을 구할 수 있다. 식(9)에 최종 입력 공분산 행렬(\bar{R}_L)을 R_x 대신 대입하면 최종 가중치 벡터는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$w_{opt} = \frac{\bar{R}_L^{-1} a(\theta_0)}{a^H(\theta_0) \bar{R}_L^{-1} a(\theta_0)} \dots\dots\dots (27)$$

그림2는 본 논문에서 제안한 빔형성기 알고리즘으로 공분산 행렬을 획득하는 방법을 나타내고 있다. 획득방법은 부분제한행렬을 입력공분산 행렬에 적용하여 표적신호와 간섭신호간의 상관도가 제거된다. 본 논문에서 제안한 빔형성기는 각 표본 입사각으로 이루어진 부분제한행렬을 이용하여 표적신호와 간섭신호의 상관도를 단계적으로 제거하기 때문에 자유도 감소 문제가 발생하지 않는다.

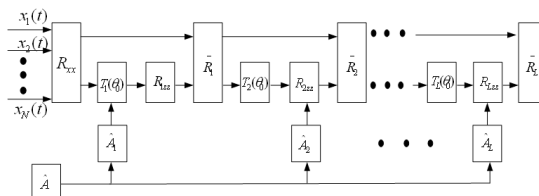


그림 2. 제안 빔형성기
Fig. 2. Proposed Beamformer

IV. 시뮬레이션

본 논문에서는 상관성 간섭신호가 존재할 때 제안된 빔형성 알고리즘과 기존의 알고리즘으로 수신신호의 입사각을 비교 분석하였다. 본 논문에서 기존의 알고리즘은 SPT-LCMV를 지칭한다. 모의실험에서는 균일 선형 배열 안테나를 적용하였으며, 배열안테나 간격은 $\lambda/2$ 이다. 신호대잡음비는 25 dB이고, 배열안테나 개수는 16개이다. 제안된 빔형성 알고리즘은 빔을 정확히 지향하기 위해서 제한 행렬에 2차 미분을 적용하였다. 적응배열 안테나에서 수신신호는 3개의 입사각을 $[-5^\circ, 0^\circ, 5^\circ]$ 추정하고자 한다. 그림3은 본 논문에서 제안된 빔형성 알고리즘으로 $[-5^\circ, 0^\circ, 5^\circ]$ 에서 정확하게 입사각을 추정하였다. 그림4는 기존의 알고리즘으로 $[-5^\circ, 0^\circ, 5^\circ]$ 에서 입사각을 추정하였지만, 약 0.8° 의 오차가 발생하였다. 본 논문에서 제안된 빔형성 알고리즘은 입사각을 정확히 추정하였지만 기존의 알고리즘은 오차가 발생하였다. 따라서 본 논문에서 제안한 알고리즘이 기존의 알고리즘보다 우수함을 입증하였다.

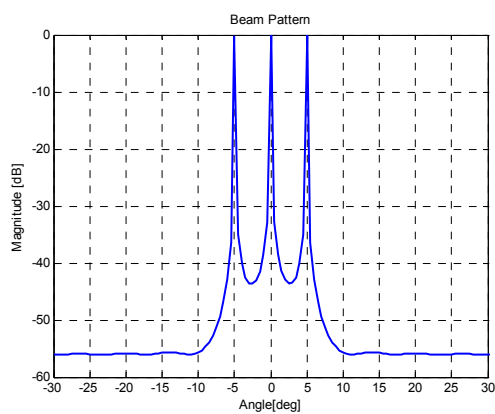


그림 3. 제안 빔형성 기법
Fig 3. Proposed Beamforming Method

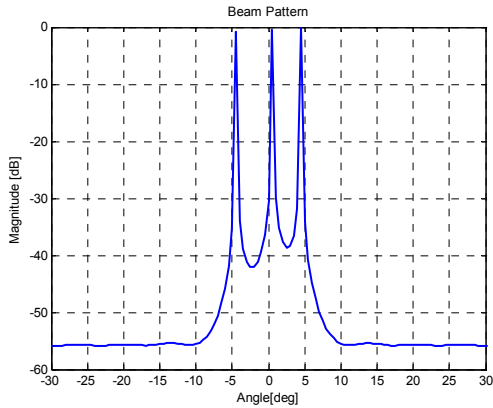


그림 4. 기존 빔형성 기법
Fig 4. General Beamforming Method

V. 결론

본 논문에서는 자유도 손실 최소화, 지향오차 감소, 상관성 간섭 제거를 해결하기 위한 빔형성 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘은 목표물에 대한 입사각을 정확히 추정하였다. 상관성 간섭신호가 입사하면 표적신호가 감쇠되고 제한행렬을 구성하는 표본입사각과 간섭신호 사이에 오차가 발생하여 빔 형성기의 성능이 크게 저하된다. 그래서 본 논문에서는 상관성 간섭에 의한 신호왜곡과 지향오차를 해결하기 위하여 빔형성 알고리즘을 제안하였다. 고차제한조건을 이용하여 입사각의 범위를 증대시키면 실제 값과 임의로 설정된 값 사이에 발생하는 오차를 보상 할 수 있다. 무선채널에서 상관성 간섭신호만 존재할때는 본 논문에서 제안한 알고리즘이 기존의 알고리즘보다 우수한 것으로 입증되었다. 향후 다중경로, 재밍 신호, 클러터, 잡음 등이 복합적으로 발생할 경우에 대한 연구가 지속되어야 한다.

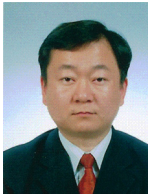
참고문헌

[1] 김동민, 김성철, "무선 센서 네트워크에서 주기적인 트래픽의 효율적인 모니터링을 위한 MAC 프로토콜," 한국컴퓨터정보학회논문지, 제 13권, 제 7호, 157-164쪽, 2008년 12월.
 [2] 이기영, "귀금속, 보석 상품정보 온톨로지 구축에 관한 연구," 한국컴퓨터정보학회논문지, 제 13권, 제 7호, 247-256쪽, 2008년 12월.
 [3] 이석기, "m-CRM를 위한 음악추천시스템: 웹 마이닝과

서열척도를 이용한 협업 필터링," 한국컴퓨터정보학회논문지, 제 13권, 제 1호, 45-54쪽, 2008년 1월.
 [4] 구건서, "IPTV에서 컷 검색을 위한 색 분포정보를 이용한 FE-CBIRS," 한국컴퓨터정보학회논문지, 제 14권, 제 1호, 91-97쪽, 2009년 1월.
 [5] 송우영, 이명호, 주종혁, "적응배열 안테나에서 빔조향알고리즘을 적용한 다중빔 패턴," 한국정보기술학회논문지, 제 6권, 제 4호, 60-65쪽, 2008년 8월.
 [6] 이관형, 송우영, "레이더시스템에서 목표물 위치추정 알고리즘에 대한 연구," 한국컴퓨터정보학회논문지, 제 13권, 제 5호, 111-116쪽, 2008년 9월.
 [7] 주종혁, 송우영, "단일지향조건과 지향스펙트럼을 이용한 고속 신호 입사각 추정 알고리즘연구," 한국정보기술학회논문지, 제 7권, 제 2호, 65-70쪽, 2009년 4월.
 [8] 송우영, 주종혁, "신호 입사각 추정을 위한 재밍 제거에 대한 연구," 한국정보기술학회논문지, 제 7권, 제 1호, 113-118쪽, 2009년 2월.
 [9] B. Widrow, P. E. Mantey, L. J. Griffiths, and B. B. Goode, "Adaptive antenna systems," *Proc. IEEE*, Vol. 55, No. 12, pp. 2143-2159, Dec. 1967.
 [10] B. Widrow, K. Duvall, R. Gooch, and W. Newman, "Signal cancellation phenomena in adaptive antennas : causes and cures," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, Vol. 30, No. 3, pp. 469-478, May 1982.
 [11] J. E. Evans, J. R. Johnson, and D. F. Sun, "Application of advanced signal processing techniques to angle of arrival estimation in ATC navigation and surveillance system," Lincoln Laboratory, MIT, Lexington, MA, Tech. Rep. 582, June 1982.
 [12] C. C. Yeh and W. D. Wang, "Coherent interference suppression by an antenna array of arbitrary geometry," *IEEE Trans. Antennas and Propagat.*, Vol. 37, No. 10, pp. 1317-1322, Oct. 1989.
 [13] M. Lu and Z. He, "Adaptive beam forming using split-polarity transformation for coherent signal and interference," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, Vol. 41, No. 3, pp. 314-324, Mar. 1993.
 [14] 주종혁, 이명호, "적응배열 레이더 시스템에서 최적가중치방법에 대한 연구," 한국정보기술학회논문지, 제6권, 제5호, 49-54쪽, 2008년 10월.

- [15] 주중혁, 송우영, "목표물 추정에서 빔 패턴 보정에 관한 연구," 한국정보기술학회논문지, 제7권, 제1호, 273-278쪽, 2009년 2월.

저 자 소 개



신 호 섭

1995년 : 충북대학교 정보통신공학과
학사

1998년 : 충북대학교 정보통신공학과
석사

2003년 : 충북대학교 정보통신공학과
박사

2002년~2004년 :
국제전자정밀 중앙연구소 연구원

2004년~2005년 :
충북대학교 기초과학연구소 전임연구원

2005년~2005년 : 충북테크노파크
전략산업기획단 선임연구원

2005년~현재 : 군산대학교 전파공학과
교수

관심분야 : 전자파 수치해석, 안테나,
무선통신