

최적 공분산 가중 벡터를 이용한 상관성 간섭 신호 추정의 빔 지향 오차

조 성 국* · 이 준 동** · 전 병 국***

A Study on Beam Error Method of Coherent Interference Signal Estimation using Optimum Covariance Weight Vector

Cho, Sung Kuk · Lee, Jun Dong · Jeon, Byung Kook

〈Abstract〉

In this paper, we proposed covariance weight matrix using SPT matrix in order to accurate target estimation. We have estimated a target using modified covariance matrix and beam steering error method. We have minimized beam steering error in order to estimation desired a target. This method obtain optimum covariance weight using modified SPT matrix. This paper of proposal method is showed good performance than general method. We updated a weight of covariance matrix using modified SPT matrix. We obtain optimum covariance matrix weight to application beam steering error method in order to beam steering toward desired target. Through simulation, we showed that compare proposal method with general method. It have improved resolution of estimation target to good performance more proposed method than general method.

Key Words : Covariance, Beam Error, Beam Stegering, SPT Matrix

I. 서론

이동 물체의 위치를 추정하는 적응 배열 도래 방향 시스템은 안테나를 이용하여 공간상에 전파를 송신하고 물체로부터 반사된 신호를 이용하여 목표물의 위치를 추정하는 시스템이다[1]. 도래 방향 추정은 레이더, 무선통신, 소나 등에서 연구되어 왔다. 레이더는 안테나를 통하여 신호를 방사하고 반사 신호의 특

성을 수신함으로써 물체의 위치를 탐지하는 시스템이다. 초기 레이더는 적기 침투를 경고하고 대공무기를 통제하기 위한 탐지장치로 개발되었다. 일반적으로 레이더의 기본 형태는 임의 발진기에 의해 발생되는 전자파를 방사하는 송신 안테나, 수신안테나 및 송수신기로 구성되어 있으며 일부 송신신호는 반사 물체에 의해서 모든 방향으로 재 방사 한다[2-3]. 레이더에 있어서 주로 관심사는 수신방향으로 재 방사 되는 에너지이며, 수신안테나는 반사에너지를 모아 수신기로 보내고, 수신기는 물체를 탐지하고 위치 및 상대속도를 산출해 내기위해 수신신호를 처리하게

* 강릉원주대학교 멀티미디어공학과 교수

** 강릉원주대학교 멀티미디어공학과 교수

*** 강릉원주대학교 정보기술공학과 교수(교신저자)

된다[4-5]. 목표물의 거리는 레이더 신호가 목표물에 송출되어 되돌아오는데 걸리는 시간을 산출함으로써 결정되고, 목표물의 방향 및 고도는 수신기로 입사되는 반사파 방향으로 결정한다. 적응 배열 안테나는 간섭신호의 방향에 대해서는 널 패턴(Null pattern)을 형성하여 이득을 감소시키고 표적신호의 방향으로는 빔 패턴의 이득을 일정하게 유지시킴으로서 원하는 신호를 추출한다[6-7]. 레이더에서 안테나는 높은 지향성과 낮은 부엽레벨, 신속한 빔 주사, 저 전력 특성을 갖는 안테나를 필요로 한다. 여러 개의 안테나를 일정하게 배열시켜 각 안테나에서 방사되는 전력의 특정한 방향으로서는 보강간섭이 일어나게 하고, 다른 방향으로서는 상쇄간섭이 일어나게 하여 결국에는 원하는 방향으로 방사패턴의 지향성을 증가시키게 하는 적응배열안테나를 이용한다. 적응배열 안테나는 배열 안테나 소자들을 이용하여 수신한 신호를 공간적인 필터링을 통하여 재밍, 클러터 등의 간섭신호는 제거하고 원하는 신호만을 얻는 시스템이며, 간섭신호의 입사방향에 대해서는 영점을 형성하여 원하는 신호만을 수신할 수 있는 시스템이다. 그러나 적응배열 안테나는 표적신호와 상관도가 있는 코히런트 간섭신호가 입사된다면 배열출력에서 원하는 목표물 신호까지 제거시키는 문제점이 있고 지향오차에 민감한 단점을 가지고 있다. 따라서 본 논문에서는 코히런트간섭에 대한 지향오차를 해결하기 위한 자유도의 손실을 최소화하면서 코히런트 간섭과 지향오차를 감소시키는 방법을 제안한다. 본 논문에서는 이동 물체 추정시 정확도를 향상시키기 위해서 SPT(Split Polarity Transformation) 행렬을 이용하여 목표물신호와 코히런트 간섭신호간의 상관도를 제거한 공분산 행렬을 제안하여 코히런트 간섭신호가 존재하는 환경에서 목표물을 정확히 추정 할 수 방법을 연구한다 [8-9]. 목표물의 설정된 표본 입사각의 범위 안에 코히런트 간섭신호의 입사각이 포함되어야 하므로, 표

본 입사각은 넓은 범위에 분포되어야 한다. 따라서 표본 입사각의 개수가 증가할수록 코히런트 간섭신호의 입사각을 포함할 확률은 증가하지만, 배열소자 수가 증가하는 단점이 있다. 또한, 표본 입사각과 실제 코히런트 간섭신호의 입사각과 오차를 보상하기 위해서 제한행렬에 고차 제한조건을 첨가하므로 필요한 배열 소자 수는 더욱 증가되어 자유도를 감소시킨다. 본 논문에서는 코히런트간섭을 감소시키는 변형된 SPT-LCMV 알고리즘을 제안하고, 제안된 알고리즘으로 빔 지향에 적용시켜 지향오차를 감소시키고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 최적 가중치를 구하는 방법에 대해서 서술하였고, III장에서는 최적 가중치를 제안하여 안테나를 보정한 후 도래 방향 추정 방법을 제안하였다. IV장에서는 제안된 방법을 모의실험으로 통하여 분석하였고, 마지막으로 V 장에서는 결론을 맺었다.

II. 관련연구

2.1 빔형성 가중치 획득

적응배열 안테나 배열의 소자의 수가 M 일 때 안테나 수신신호는 다음과 같이 나타낸다[10-11].

$$X(t) = A(\theta)x(t) + n(t) \tag{1}$$

$$= \sum_{m=1}^L a(\theta_m) \left[\sum_{n=1}^M x_n(t) + n_n(t) \right] \tag{2}$$

여기서, $A(\theta)$ 는 배열 응답 벡터, $x(t)$ 는 수신신호, $n(t)$ 는 잡음신호, $a(\theta_m)$ 는 m 번째 신호의 배열 응답, $x_n(t)$ 는 n 번째 수신신호, $n_n(t)$ 는 잡음이다. 적응 안테나 배열 출력 신호는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$y(t) = W^H X(t) \quad (3)$$

적용 배열안테나의 출력 신호전력은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$E[|y(t)|^2] = w^H R w \quad (4)$$

여기서, $(\cdot)^H$ 는 허미트 행렬(Hermitie matrix), R 은 적용배열 안테나의 공분산 행렬이다. 공분산 행렬은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$R = E[X(t)X^H(t)] \quad (5)$$

수신신호와 적용배열안테나 출력신호의 오차는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$e(t) = y(t) - X(t) \quad (6)$$

오차를 최소화하는 가중치를 구하기 위해서 본 연구에서는 평균자승오차(mean square error)방법을 적용하면 다음과 같이 나타낼 수 있다[9].

$$\begin{aligned} e(t) &= E[|e(t)|^2] \\ &= E[|y(t) - X(t)|^2] \end{aligned} \quad (7)$$

일반적으로 평균자승오차는 하나의 극소점으로 가지므로 기울기가 0일 때 최적 가중치 벡터를 구할 수 있다. 평균자승오차의 기울기를 취하면 다음과 같이 나타낸다.

$$\nabla e_r = 2RW - 2X(t) \quad (8)$$

식(12)에서 기울기가 0이 되는 최적 가중치 벡터는 다음과 같이 나타낸다.

$$w = R^{-1} X(t) \quad (9)$$

적용 배열 안테나 시스템의 공분산 행렬은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$R_u = A(\theta) \begin{bmatrix} x_{00} & x_{01} & \cdots & x_{0l} \\ x_{01}^* & x_{11} & \cdots & x_{1l} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{0l}^* & x_{1l}^* & \cdots & x_{ll} \end{bmatrix} A^H(\theta) \quad (10)$$

여기서 σ^2 은 분산, I 는 단위행렬, x_{ij} 는 신호 i 와 j 사이의 교차 상관도이다. 원하는 신호의 자기상관도 대각선을 제외한 원소들을 0으로 만들면 표적신호와 간섭신호 간의 상관도가 제거된다. x_{00} 를 제외한 첫 번째 행과 첫 번째 열의 모든 원소의 위상이 반전된 공분산 행렬은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$R_v = A(\theta) \begin{bmatrix} x_{00} & -x_{01} & \cdots & -x_{0l} \\ x_{01}^* & x_{11} & \cdots & x_{1l} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ -x_{0l}^* & x_{1l}^* & \cdots & x_{ll} \end{bmatrix} A^H(\theta) \quad (11)$$

원하는 신호와 간섭신호 간의 상관도를 제거한 입력 공분산 행렬 R_{uv} 은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$R_{uv} = A(\theta) \begin{bmatrix} x_{00} & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & x_{11} & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & x_{ll} \end{bmatrix} A^H(\theta) \quad (12)$$

식(12)에서 원하는 신호와 간섭신호의 교차상관도인 대각선의 값을 제외한 모든 원소의 값이 0이 되었으므로, 원하는 신호와 간섭신호 간의 상관도가 제거된 것을 알 수 있다. 여기서 R_v 는 $z(t)$ 의 공분산 행렬로 정의된다. $z(t)$ 는 SPT행렬로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$z(t) = T(\theta_0)r(t) \quad (13)$$

여기서 $T(\theta_0)$ 는 SPT(pilt polarity transformation) 행렬로서 다음과 같은 조건을 만족하여야 한다.

$$T(\theta_0)a(\theta) = \begin{cases} -a(\theta_0), & \theta = \theta_0 \\ a(\theta), & \theta \in \theta_j \end{cases} \quad (14)$$

여기서, θ_0 는 원하는 신호의 입사각이고, θ_j 는 간섭 신호에 대한 추정 입사각이다.

2.2 지향 오차 최소화 방법

지향오차란 배열 자체의 결함이나 부정확한 입사각 추정으로 주 빔(main beam)이 실제 목표물 신호의 입사방향을 정확히 지향하지 못하는 현상을 나타낸다. 지향오차가 발생할 경우 적응 배열 안테나는 원하는 신호방향에 정확히 주 빔을 형성하지 못하므로 좋은 성능을 얻을 수 가 없다. 이때, 주 빔의 방향을 조금씩 변화시켜가면서 배열 출력신호의 전력을 반복적으로 검사하여 최적가중치를 획득하는 지향오차 수정기법을 이용하면 빔 지향 오차를 감소시킬 수 있다. 빔 형성의 가중치는 다음과 같이 나타낼 수 있다[12-13].

$$w = \frac{R_{uv}^{-1}a(\theta_0)}{a^H(\theta_0)R_{uv}^{-1}a(\theta_0)} \quad (15)$$

적응 배열 안테나 출력 신호 전력은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P(w_{opt}) = \frac{1}{a^H(\theta_0)R_{xx}^{-1}a(\theta_0)} \quad (16)$$

지향오차가 존재할 경우 배열 출력신호의 전력은

최대가 아니므로 지향방향을 변화시켜가면서 출력신호의 전력이 최대가 되는 방향을 반복적으로 추정한다. 따라서 식(16)을 최대화시키기 위하여 분모를 최소화시키는 지향벡터를 구하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\arg \min_{a(\theta_0)} a^H(\theta_0)R_x^{-1}a(\theta_0) \quad (17)$$

초기 지향 방향 과 최종 지향 방향 간의 오차가 δ_ϕ 로 미소한 경우 배열의 초기 지향 방향이 ϕ_0 이면, 테일러 급수를 이용하여 최종 지향 벡터를 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$a(\theta_0) = a(\phi_0 + \delta_\phi) \quad (18)$$

$$= a(\phi_0) + \delta_\phi a_1(\theta_0) \quad (19)$$

여기서 $a_1(\theta_0)$ 는 다음과 같은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$a_1(\theta_0) = - \left. \frac{da(\phi)}{d\phi} \right|_{\phi=\phi_0} \quad (20)$$

식(17)과 식(19)을 이용하면 지향오차는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\delta_\phi = - \frac{Re[a^H(\phi_0)R_{xx}^{-1}a_1(\phi_0)]}{a_1^H(\phi_0)R_{xx}^{-1}a_1(\phi_0)} \quad (21)$$

식(21)을 초기 지향벡터와 더하여 표적신호의 입사 방향을 구하면 다음 같이 나타낼 수 있다.

$$\theta_0 = \phi_0 + \delta_\phi \quad (22)$$

III. 지향 오차 공분산 행렬 제안

지향오차 수정기법은 지향오차가 발생할 경우, 배열의 주빔이 초기에 표적신호의 입사방향을 정확히 지향하지 못하므로 출력신호의 전력을 관찰하면서 주 빔의 방향을 조금씩 변화시켜 정확한 지향방향을 찾는다. 제한행렬 \hat{A} 를 구성하는 표본입사각과 코히런트 간섭 신호 사이에 오차가 존재하면 빔 형성기의 성능은 크게 저하되므로, 고차제한조건을 이용하여 입사각의 범위를 증대시키면 실제 값과 임의로 설정된 값 사이에 발행하는 오차를 보상 할 수 있다. 고차 제한조건을 적용한 제한행렬은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\hat{A} = [a(\theta_0), a(\hat{\theta}_1), a^1(\theta_1), \dots, a(\hat{\theta}_g), a^1(\theta_g), \dots, a^D(\hat{\theta}_g)] \quad (23)$$

여기서 g 는 임의로 설정한 표본 입사각 개수이고, $a^D(\hat{\theta}_g)$ 는 각각 θ_g 방향의 지향벡터에 대한 D 차 미분을 의미한다. 미분차수가 D 인 고차 제한조건을 사용할 경우, 전체 제한행렬 \hat{A} 은 표본입사각수 만큼의 부분 제한행렬로 나타낼 수 있다.

$$\hat{A}_{1,n} = [a(\phi_0), a(\hat{\theta}_1), a^1(\hat{\theta}_1), \dots, a^D(\hat{\theta}_1)] \quad (24)$$

$$\hat{A}_{2,n} = [a(\phi_0), a(\hat{\theta}_2), a^1(\hat{\theta}_2), \dots, a^D(\hat{\theta}_2)] \quad (25)$$

⋮

$$\hat{A}_{g,n} = [a(\phi_0), a(\hat{\theta}_g), a^1(\hat{\theta}_g), \dots, a^D(\hat{\theta}_g)] \quad (26)$$

제한행렬의 SPT행렬은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$T_i(\phi_n) = \hat{A}_i J \hat{A}_i^H \quad (27)$$

여기서 $i = 1, 2, \dots, g$ 이고, J 는 D 행, D 열차원의 대각

행렬이다. 첫 번째 표본입사각으로 이루어진 부분제한행렬 \hat{A}_1 으로부터 생성된 위상이 반전된 공분산 행렬은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$R_T = T_i(\phi_n) R_u T_i(\phi_n)^H \quad (28)$$

본 논문에서 제안한 방식으로 원하는 신호와 간섭 신호 간의 상관도를 제거한 입력 공분산 행렬은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$R_{UT} = \frac{1}{2}(R_u + R_T) \quad (29)$$

이때 최적 가중치 벡터는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$W_{opt} = \frac{\bar{R}_{UT}^{-1} a(\phi_n)}{a^H(\phi_n) \bar{R}_{UT}^{-1} a(\phi_n)} \quad (30)$$

지향오차는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\delta_\phi = -\frac{Re[a^H(\phi_n) \bar{R}_{UT}^{-1} a_1(\phi_n)]}{a_1^H(\phi_n) \bar{R}_{UT}^{-1} a_1(\phi_n)} \quad (31)$$

본 연구에서는 적응신호처리기에서 MUSIC (Multiple Signal Classification) 알고리즘을 적용하여 신호의 도래방향을 추정한다[14]. MUSIC알고리즘은 신호 부공간과 잡음 부 공간으로 구분하여 도래방향을 추정하는 알고리즘이다. MUSIC알고리즘의 공분산 행렬은 고유치와 고유벡터로서 다음과 같이 나타낼 수 있다[15].

$$R_x = E_s A_s E_s^H + E_n A_n E_n^H \quad (32)$$

$$= \sum_{j=1}^K \lambda_j e_j e_j^H + \sigma^2 \sum_{j=K+1}^M e_j e_j^H$$

λ_j 는 고유치이고, e_j 는 고유벡터이다. 여기서, E_s 는 신호 고유벡터의 신호부분공간이고, E_n 는 잡음부분공간이다. 가중치가 직교성을 갖고, $w^H w = I$ 이면 출력 공분산 행렬은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$R_t = W^H A S A^H W + \sigma^2 I \quad (33)$$

식(18)을 고유치와 고유벡터형태로 나타내면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$R_t = E_s \Delta_s E_s^H + \sigma^2 E_n E_n^H \quad (34)$$

여기서, E_s 는 신호 고유벡터이고, E_n 는 잡음 고유벡터이다. Δ_s 는 고유치 행렬이다. 빔 공간 MUSIC 알고리즘의 출력 스펙트럼은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P = \frac{W_{opt}^H a(\theta) a^H(\theta) W_{opt}}{a(\theta) W_{opt} E_n E_n^H W_{opt}^H a^H(\theta)} \quad (35)$$

IV. 모의실험

본 논문에서는 목표물의 정확한 추정을 위해서 빔 지향 최적의 공분산 행렬 가중치를 제안하였다. 원하는 신호를 추정하기 위해서 SPT행렬을 이용한 수정의 공분산 가중치를 획득한 후 입사 방향의 빔을 정확하게 지향하기 위해서 빔 지향 오차를 최소화 하였다. 안테나는 적응배열안테나를 사용하였고 적응신호 처리 알고리즘은 MUSIC알고리즘을 사용하였다. 본 논문에서는 목표물 추정에 적합한 최적의 공분산 행렬을 구하여 입사방향의 빔 지향 오차를 최소화 하였다. 모의실험 조건은 표1에 나타내었다. 그림1은 본 연구에서 제안한 방법으로 목표물의 방향은 [10° 20°

30°]에서 최적 공분산 행렬을 획득한 후 가중치를 이용하여 빔 지향 오차를 최소화 방법으로 나타낸 그래프이다. 본 연구에서 제안한 방법으로는 원한 목표물 3개를 [10° 20° 30°]에서 모두 정확히 추정하였다. 그림2는 기존의 방법인 빔 지향 오차를 최소화하지 않은 방법으로 목표물의 방향 [10° 20° 30°]에서에서 3개의 목표물을 추정한 그래프이다. 목표물의 방향 [10° 20° 30°]에서 모두 정확히 추정하지 못하고 있으며 원하는 목표물의 각 방향마다 오차가 발생하였다. 공분산 행렬의 부정확한 방법과 빔 지향 오차를 최소화 하지 않으면 원하는 목표물의 신호를 정확히 추정할 수 없다.

<표 1> 모의실험 조건

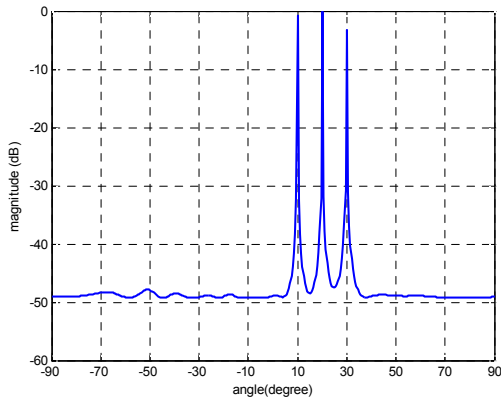
분류	수치
안테나개수	6
신호대잡음비	15dB
안테나 간격	$\lambda/2$
스냅샷 수	200회
목표물 수	3개 [10° 20°, 30°]

<표 2> 목표물 방향 비교

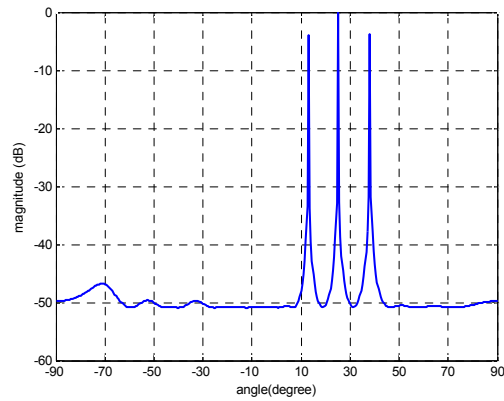
분류	목표물 방향
제안방법	[10° 20°, 30°]
기존방법	[12° 22°, 32°]

V. 결론

본 논문에서는 원하는 목표물을 추정하기 위해서 SPT행렬을 이용한 방법을 수정하여 공분산 가중치를 획득하였다. 획득된 공분산 가중치와 빔 지향 오차를 최소화 하는 방법을 사용하여 목표물의 방향을 추정하였다. 본 논문에서 제안한 방법이 기존의 방법보다 도래 방향 추정 오차를 감소시켜 정확하게 목표물을 추정하였다. 기존의 방법은 SPT-LCMV 방법으로 공



<그림 1> 제안 방법 목표물 추정



<그림 2> 기존방법 목표물 추정

분산 행렬을 계산하여 목표물의 도래방향을 추정하였다. 목표물 도래방향 알고리즘은 일반적으로 분해능이 우수한 MUSIC을 사용하였다. 기존 방법과 본 연구의 차이점은 기존 방법은 코히런트 간섭신호의 입사각과 오차를 보상하기 위해서 분해능이 높은 공분산 행렬을 요구한다. 분해능이 높은 공분산 행렬은 제한행렬에 고차 제한조건을 첨가하므로 안테나 배열 소자 수는 더욱 증가된다. 본 연구에서는 수정된 SPT-LCMV 알고리즘을 제안하여 분해능이 우수한 공분산행렬을 획득하였다. 본 연구에서 제안된 분해능이 우수한 공분산 행렬은 기존의 공분산 행렬의 단점인 배열 소자수를 증가시키지 않고 간섭신호를 제거할 수 있다.

본 연구의 첫 번째 방법은 SPT행렬을 이용하여 공분산 행렬을 획득한다. 두 번째로는 SPT행렬의 공분산 행렬을 이용하여 최적의 가중치 갱신한다. 세 번째로 최적의 가중치를 이용하여 원하는 목표물에 빔을 지향하기 위해서 빔 지향 오차방법을 적용하여 최적의 공분산 행렬 가중치를 획득한다. 마지막으로 제안된 최적의 공분산 행렬가중치를 도래방향 알고리즘에 적용하여 원하는 목표를 추정한다. 모의실험을 통하여 본 연구에서 제안한 방법과 기존 방법을 모의

실험을 통하여 비교 분석하였다. 본 연구에서 제안한 방법이 기존의 방법보다 목표물 추정 분해능이 우수한 것을 입증하였다.

참고문헌

- [1] Edmond Nicolauy, A daptive Arrays, ELSEVIER, 1989.
- [2] Merrill, Skolink, Introdection to Radar System, Mcgraw-Hall, 2000.
- [3] Jerry L. Eaves and Edward K. Reedy, Principles of Modern Radar, Van Nostrand Reinhold New York, 1987.
- [4] Burdic, Radar Signal Analysis, Prentice-Hall, 1968.
- [5] David K. Barton, Modern Radar System Analysis and Modeling, Artech House, 2004.
- [6] Qiuawei Yuan, Qiang Chen, and Sawaya. K, "Performance of adaptive array antenna with arbitrary geometry in the presene of mutual coupling," IEEE Trans Antennas and Propagation,

- Vol. 54, No. 7, 2006, pp. 1991-1996.
- [7] Gupte, J. J., Ulrey, J. A, and Newman. E. H, "Effects of antenna element bandwidth on daaptive aray performance," IIEEE Trans Antennas and Propagation, Vol. 55, No. 8, 2006, pp. 2194-2199.
- [8] Jin Hee Jo, Sung Hoon Moon, Myeong Je Cho, and Dong Seong Han, "Sequentially operated SPT-LCMV beamformer to overcome Coherent interferences," IEEE Conference MILCOM, Vol. 1, 2002, pp. 658-662.
- [9] Jung Tae Kim, Sung Hoon Moon, Jin Hee Jo, Dong Seong Han, and Myeong Je Cho, "Fast DOA estimation algorithm for improving performance of SPT-LCMV beamformer," IEEE Conference MILCOM, Vol. 2, 2003, pp. 1370-1375.
- [10] 이관형, 송우영, 주종혁, "스마트안테나에서 최적 공분산 행렬 연구," 디지털산업정보학회 논문지, 제5권, 제1호, 2009, pp. 83-88.
- [11] 한연규, 양현욱, 김경훈, 최승원, "LTE기반 MU-MI MO 시스템에 구현한 빔 포밍 알고리즘," 디지털산업정보학회 논문지, 제8권, 제4호, 2012, pp. 121-127.
- [12] 송철봉, 장재현, 양현욱, 최승원, "LTE기반 하향링크의 Zadoff-chu 시퀀스를 이용한 배열 안테나 Cailbration 알고리즘," 디지털산업정보학회 논문지, 제9권, 제4호, 2013, pp. 51-57.
- [13] Sureshbabu, V. N, Anandan, V. K, Tsuda. T, Furumoto. H, and Rao, S. V, "Performance analysis of optimum tilt angle and beam configuration to derive horizontal wind velocities by postset beam steering Technique," IEEE Trans Geoscience and Remote sensing, Vol. 51, No. 1, 2013, pp. 520-526.
- [14] N. Le Bihan, S. Miron, and J. I. Mars, "MUSIC algorithm for vector sensors array using biquaternions," IEEE Trans, signal processing, Vol. 55, No. 9, 2007, pp. 4523-4533.
- [15] WenFei, Wan. Qun, Fan Rong, and Wei Hewen, "Improved MUSIC algorithm for Multiple Noncoherent Subarrays," IEEE Trans signal processing Letters, Vol. 21, No. 5, 2014, pp. 527-530

■ 저자소개 ■



조 성 국
Cho, Sung Kuk

1993년 3월~현재
강릉원주대학교 멀티미디어공학과
교수
1999년 2월 청주대학교 전자공학과(공학박사)
1989년 2월 청주대학교 산업대학원
전자계산학과(공학석사)
1986년 2월 청주대학교 전자공학과(공학사)
관심분야 : wireless multimedia system,
Signal Processing, operating
system
E-mail : skc899@gwnu.ac.kr



이 준 동
Lee, Jun Dong

1997년 3월~현재
강릉원주대학교 멀티미디어공학과
교수
2001년 2월 홍익대학교 전산학과(이학박사)
1993년 8월 홍익대학교 전산학과(이학석사)
1990년 2월 홍익대학교 전산학과(이학사)
관심분야 : 시스템소프트웨어, 모바일,
임베디드 시스템, 성능분석
E-mail : jlee@gwnu.ac.kr



전 병국
Jeon, Byung Kook

1993년 10월~현재
강릉원주대학교 정보기술공학과
교수
2000년 2월 광운대학교 컴퓨터과학과
(이학박사)
1991년 2월 광운대학교 전자계산학과
(이학석사)
1985년 2월 광운대학교 전산계산학과(이학사)
관심분야 : 스마트 모바일, LBS,
E-mail : jeonbk@gwmu.ac.kr

논문접수일: 2014년 9월 17일
수정일: 2014년 10월 1일
게재확정일: 2014년 10월 5일