한국정보전자통신기술학회논문지(jkiiect)'17-08, Vol.10 No.4
논문 17-10-04-333 http://dx.doi.org/10.17661/jkiiect.2017.10.4.333

섭동공분산행렬을 이용한 수정 빔형성기 방법의 신호 추정에 대한 연구

이관형*, 조태준**

A Study on Signal Estimation of Modified Beamformer Method using Perturbation Covariance Matrix

Kwan-Hyeong Lee*, Tae-Jun Cho**

요 약 무선환경에서의 송신신호는 정보신호이외에 간섭, 잡음이 혼합된 신호가 수신된다. 수신기에 입사한 신호에서 원하는 신호를 추정하기 위해서 본 연구를 진행하고자 한다. 본 연구에서는 수정된 빔형성기 방법으로 공간상의 목표물을 정확히 추정하는 방법에 대해서 연구하였다. 수정된 빔형성기 방법은 적응배열 안테나와 섭동공분산행렬을 사용하여 최적의 가중치를 획득하고 공간상에 빔을 주사하여 원하는 신호를 추정한다. 계산량이 많지 않은 수정 빔형성기 방법으로 분해능을 향상시켜 원하는 목표물의 신호를 추정한다. 모의실험을 통하여 수정 빔형성기 방법과 분해능이 우수한 MUSIC방법과 성능을 비교분석한다. 모의실험결과로 본 연구에서 수정 빔형성기 방법이 기존의 빔형성기 방법보다 분해능이 10도 향상되었고 MUSIC방법과 비슷한 성능의 결과를 나타내었다. 본 연구의 분해능은 약 5도까지 원하는 신호를 추정하였다.

Abstract Transmission signal in wireless environment receives a signal in which a source signal, interference, and noise are mixed. The goal of this study is to estimate the desired signal from the received signal. In this paper, we have studied a method correctly estimating a target in spatial by modified beamformer method. The modified bemaformer uses an adaptive array antenna and perturbation matrix to obtain the optimal weight, and estimate the desired signal by radiating the beam in spatial. We estimate a desired signal of the target by improving resolution with the modified beamformer method which does not have complicated calculation amount. Through simulation, we compare and analyze the modified beamformer method and the MUSIC method with good resolution. In result of simulation, we showed that modified beamformer method has better resolution of 10degree than classical beamformer method and showed similar performance as the MUSIC method. The resolution of this paper was estimated to be about 5 degrees.

Key Words : Beamformer method, Perturbation matrix, Resolution, Weight value, Estimation

1. 서론

공간으로 송신된 신호가 수신 안테나 배열에 입사하였을 때 수신 신호를 분석하여 원하는 신호를 추출하는 방법에 대해서 지금까지 많은 연구가 진행되어 왔다[1]. 수신기로부터 추출된 신호의 적용분야는 레이더, 소나, 이동통신 등에 사용되어 왔으며 또한 의료 및 융합 분야에도 활발히 적용되고 있다[2]. 공간상에 방사한 신호를 수신하여 원하는 신호를 추출하는 것은 많은 작업과 효율적인

*Corresponding Author Kwan-Hyeong Lee : Division of Human IT Convergence, Daejin University(khlee@daejin.ac.kr)
**Corresponding Author Tae-Jun Cho : Department of Civil Engineering, Daejin University(taejun@daejin.ac.kr)
Received July 30, 2017 Revised August 10, 2017 Accepted August 17, 2017

방법이 필수적이다. 예를들면 실시간처리, 효과적인 전력문제, 추출 신호의 정확성 등이 그 예이다. 일반적으로 안테나에 수신된 신호들은 정보신호, 잡음, 간섭이 혼합되어 사용자가 원하는 신호를 분석하기 위해서는 진폭, 위상, 주파수를 추출한다. 많은 연구논문에서는 진폭을 일정하다고 간주하고 위상에 관련된 정보를 추출하기 위해서 연구되고 있다[3]. 본 연구에서도 진폭은 일정하다고 간주하고 정확한 위상정보를 추출 및 추정하고자 한다. 본 연구의 목적은 안테나에 수신된 신호의 정보를 정확히 분석하여 원하는 객체를 추정하고자 한다. 방향추정은 고각과 방위각으로 구분할 수 있는데 본 연구에서는 고각은 고려하지 않고 방위각만 고려하여 목표물 또는 장애물을 탐지하고자 한다. 신호추정 수신시스템은 일반적으로 배열안테나를 가장 많이 사용한다[4]. 그 이유는 특정방향으로 빔 조정이 가능하고 빔 폭의 변화가 가능하기 때문이다. 이와 같은 배열안테나는 배열소자를 일정한 개수만큼 정하여 면, 선, 또는 원형으로 나열한다. 또한 배열의 간격을 일정한 간격과 비 일정한 간격으로 설정하여 구현할 수 있다. 대부분의 연구 및 실제 구현에서는 안테나 배열소자를 일정한 간격으로 구현하여 원하는 정보를 추정한다. 빔 조향을 일정한 방향과 특정한 방향으로 조절이 가능하고 가중치를 부여하여 목표물 추정 및 장애물을 탐지할 수 있는 안테나를 적응배열 안테나이다[5]. 적응배열 안테나는 수신된 신호에 가중치를 부여하여 간섭과 잡음을 제거할 수 있다. 가중치를 구하는 방법은 일반적으로 빔 주사와 영점 주사방법으로 구분할 수 있다. 빔 주사방법은 빔형성기기 방법과 Capon방법 등이 있고, 영점 주사는 선형예측방법, 최소평균 방법, MUSIC 방법등이 있다[6]. 이와 같은 방법들을 일반적으로 도래방향추정방법이라고 한다. 영점 주사 와 빔 주사 방법의 공통점은 방향 벡터요소가 필수적이다. 영점주사의 최소평균 방법과 MUSIC방법은 전유전개를 시행하여 목표물 추정의 각도 분해능을 향상시킨다[7]. 그래서 빔 주사방법보다 영점주사 방법이 분해능이 우수하다. 빔 주사 방법은 계산이 간단하지만 분해능이 영점주사 방법보다 효율적이지 못하다. 영점주사 계산량이 많기 때문에 시스템구현이 복잡한 단점이 있다. 위 두 가지 방법은 모두 상관성 신호에서는 원하는 신호의 정보를 정확히 추정할 수 없다. 그래서 본 연구에서는 목표물 또는 장애물 탐지 추정시 공간 환경이 비 상관성채널이라고 가정한 상태에서 계산량이 가장 적은 빔형성기기법을 수정하여 분해능을 향상 시키는 방법에 대해서 연구하였다. 본 연구의 방법은 안테나에 입사된 신호를 추정하기 위해서 계산량이 많지 않은 빔형성기 방법에 섭동 공분산 행렬을 적용하여 최적의 가중치를 획득한다. 모의실험을 통해서 수정 빔형성기 방법과 분해능이 우수한 MUSIC방법과의 성능을 비교 분석 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 출력 공분산행렬 대해서 서술하고, 3장에서는 섭동공분행렬, 4장에서는 모의실험을 이용하여 신호 추정 두 방법에 대해서 도래방향 추정 성능을 비교 분석하고 5장에서는 결론을 맺는다.

2. 출력 공분산 행렬

본 연구는 협대역 신호 환경에서 수신기는 M개의 센서로 구성된 적응배열안테나를 고려한다. 배열 소자간격은 d로 표현하고, 안테나 입사신호는 P로 나타낸다. 적응배열안테나에 수신된 신호는 다음과 같이 나타낼 수 있다[8].

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

여기서, $A(\theta) = [a(\theta_1), a(\theta_2) \cdots, a(\theta_P)]$는 $M \times P$ 지향행렬의 배열 응답 벡터를 나타내고, $s(t) = [s_1(t), s_2(t), \cdots, s_P(t)]$는 신호 상관행렬을 나타내고, $n(t) = [n_1(t), n_2(t), \cdots, n_M(t)]$는 잡음으로서 평균이 영인 가우시안 잡음 벡터로 설정한다. 배열응답은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$a(\theta_i) = \left(1, e^{(j2\pi d sin\theta_i)/\lambda}, \cdots, e^{(j2\pi(M-1)d sin\theta_i)/\lambda}\right) \tag{2}$$

여기서 $i = 1,2,\cdots,P$이고, λ는 파장이다.

$M \times M$ 배열 공분산행렬은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$R_x = E[x(t)x^H(t)] = A(\theta)\,S\,A^H(\theta) + \sigma^2 I \quad (3)$$

여기서 $S = E[x(t)x^H(t)]$로서 신호 공분산행렬, σ는 분산, I는 단위행렬을 나타낸다. 수신기에 입사된 출력신호는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$y(t) = W^H x(t) \quad (4)$$

여기서, W는 빔형성기를 위한 가중치를 나타낸다. 수신시스템 출력 공분산행렬은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$R_y = E[y(t)y^H(t)] = W^H R_x W \quad (5)$$

3. 섭동 공분산 행렬 추정

그림 1은 빔형성기 적응 배열 안테나 시스템으로 안테나에 수신된 신호에 가중치를 곱하여 원하는 신호의 정보를 추정한다. 식(5)는 배열 소자 출력의 공분산 행렬로 표현하면 다음과 같이 나타낼 수 있다[9-11].

$$R_y = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} x^H(t)\,x(t) \quad (6)$$

여기서 N은 스냅샷(snapshots)이다. 공분산 행렬은 가중치의 섭동으로 표현할 수 있으며 공칭가중치(nominal weights: W_{Nomi})와 섭동가중치(perturbation: $\triangle W$)는 적용한 가중치는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$W = W^+ + W^- \quad (7)$$

$$W^+ = W_{Nomi} + \triangle W \quad (8)$$

$$W^- = W_{Nomi} - \triangle W \quad (9)$$

$$\triangle W^H R_x \triangle W = E\left[\left|y^+(t)\right|^2\right] + E\left[\left|y^-(t)\right|^2\right] - 2E\left[\left|y^{Nomi}(t)\right|^2\right] \quad (10)$$

식(10)의 우변 기댓값들은 식(8)과 식(9)의 가중치를 적용한 출력을 나타낸다. 식(6)에 섭동가중치를 적용하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$R_y = \frac{1}{N}\sum_{t=t1}^{t1+N-1}\left|y^+(t)\right|^2 + \frac{1}{N}\sum_{t=t2}^{t2+N-1}\left|y^-(t)\right|^2 - 2\frac{1}{N}\sum_{t=t3}^{t3+N-1}\left|y^{Nomi}(t)\right|^2 \quad (11)$$

공분산행렬 R_y은 에르미트 행렬(Hermitian matrix)로서 $R_y = R_{Re} + R_{Im}$로 나타낼 수 있으며 R_{Re}는 대칭행렬, R_{Im}은 교대행렬을 나타낸다. 섭동 가중치는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\triangle W = \triangle W_{Re} + \triangle W_{Im} \quad (12)$$

식(12)로부터 식(10)은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\triangle W^H R_y \triangle W = \triangle W_{Re}^T R_{Re}\ \triangle W_{Re} + \triangle W_{Im}^T R_{Re}\ \triangle W_{Im} + 2\triangle W_{Im}^T R_{Im}\ \triangle W_{Re} \quad (13)$$

최소 분산 가중치는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$W = \frac{R_y^{-1}\,a(\theta)}{a(\theta)^H R_y^{-1}\,a(\theta)} \quad (14)$$

제안된 빔형성기 방법의 출력 공간 스펙트럼은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_{BF} = \frac{1}{a(\theta)^H R_y^{-1} a(\theta)} \quad (15)$$

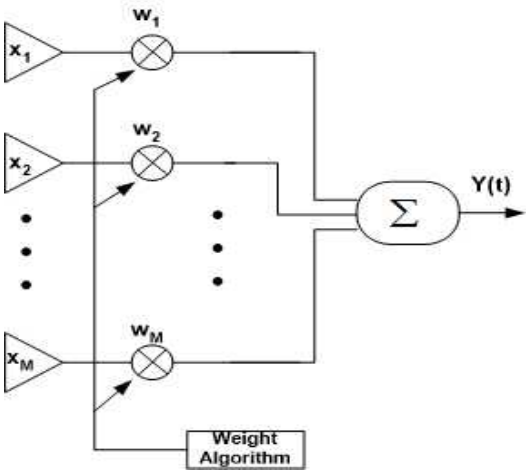

그림 1. 빔형성기 적응 배열 안테나 시스템
Fig. 1. Beamformer adaptive array antenna system

4. 모의실험

본 장에서는 제안된 수정 빔형성기 방법과 기존의 도래방향 추정방법과 성능을 비교분석하고자 한다. 기존 도래방향 추정방법은 빔형성기 방법과 신호방향 추정 분해능이 우수한 MUSIC방법을 사용하였다. 또한 수신시스템은 적응배열안테나를 고려하였으며 배열안테나 소자간의 간격은 그레이팅 로브를 피하기 위해서 반파장, 신호대대잡음비는 20dB, 스냅샷은 100으로 모의실험조건을 설정하였다. 배열소자는 6개, 추정하고자 하는 도래방향신호는 2개[-10o,10o], 3개[20o,30o,35o]로 설정하였다. 2개의 목표물 추정에서는 분해능을 10도로 설정하였으며 , 3개의 목표물 추정에서는 분해능을 감소시켜 10도와 5도로 설정하였다. 그 이유는 제안된 방법의 최대 분해능을 알아보고자 함이다. 그림 2는 빔형성기방법으로 [-10o,10o]에서 두 개의 목표물을 추정한 그래프이다. [-10o,10o]의 방향에서 일부의 변화를 나타내지만 두 개 신호를 정확히 추정하였다고 결정할 수 없다. 그림 3은 수정 빔형성기 방법으로 [-10o,10o]에서 두 개의 목표물을 추정한 그래프이다. [-10o,10o]의 방향에서에서 정확히 두 개의 목표물을 탐지한 것을 알 수 있다. 즉 분해능이 최소한 10도인 것을 나타낸다. 그림 4는 빔형성기 방법으로[20o,30o,35o]에서 3개의 목표물을 추정한 그래프를 나타내었다. 그림 2에서 알 수 있듯이 본 연구에서의 기존 빔형성기 방법의 분해능은 10도 이상을 나타내었다. 그림 4의 신호방향 분해능은 10도 이상이므로 3개의 목표물을 추정하지 못하고 한 개의 목표물을 추정한 것을 나타낸다. 그림 5는 도래방향추정방법이 우수한 MUSIC 방법으로[20o,30o,35o]에서 3개의 목표물을 추정한 그래프를 나타내었다. 그림 5의 결과는 [20o,35o]에서 2개의 목표물을 추정하여 분해능이 5도 이하에서는 목표물 구별 능력이 미약한 것을 알 수 있다. 그림 6은 수정 빔형성기 방법으로[20o,30o,35o]에서 3개의 목표물을 추정한 그래프를 나타내었다. 그림 4에 비해서 신호 방향 분해능이 향상되었고 그림 5의 MUSIC방법과 비슷한 신호 방향 추정 능력을 나타낸다. 그러나 그림 6의 결과에서도 [20o,35o]에서 2개의 목표물을 추정하여 분해능이 5도 이하에서는 목표물 구별 능력이 미약한 것을 알 수 있다.

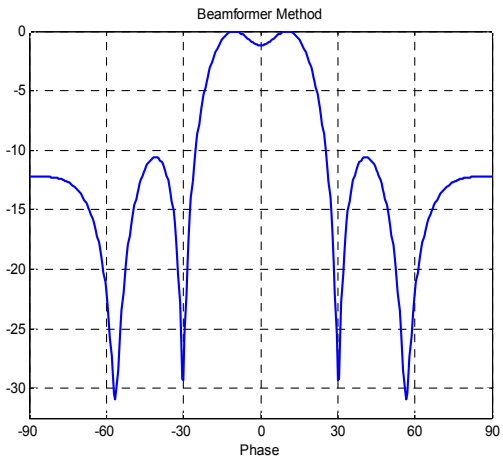

그림 2. 배열소자 6개로 구성된 Beamformer방법 신호 추정 [−10°, −10°]
Fig. 2. Signal estimation by beamformer method in [−10°,10°] of antenna arrays 6

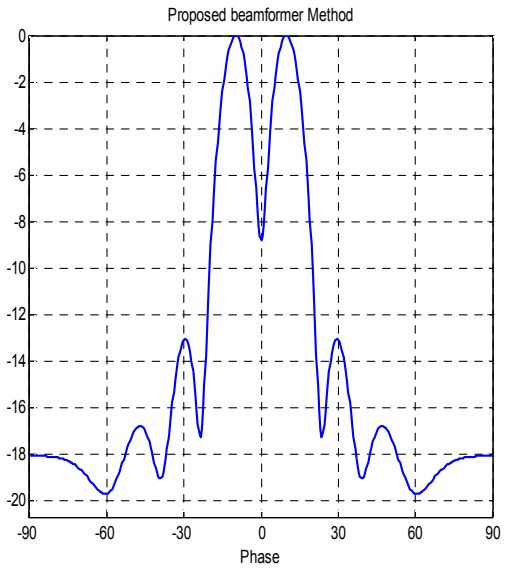

그림 3. 배열소자 6개로 구성된 제안된 Beamformer 방법 신호 추정 [−10°, −10°]

Fig. 3. Signal estimation by proposed beamformer method in [−10°,10°] of antenna arrays 6

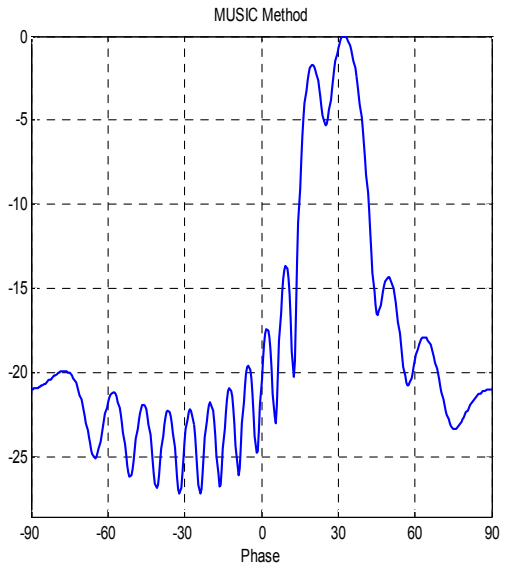

그림 5. 배열소자 6개로 구성된 MUSIC방법 신호 추정 [−10°,30°,35°]

Fig. 5. Signal estimation by MUSIC method in [−10°,30°,35°] of antenna arrays 6

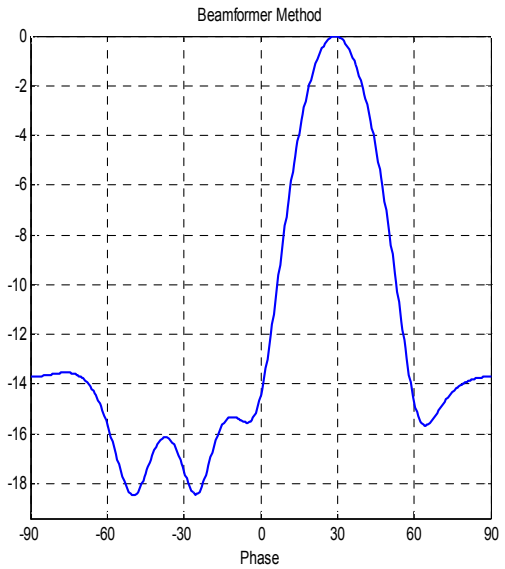

그림 4. 배열소자 6개로 구성된 Beamformer방법 신호 추정 [20°,30°,35°]

Fig. 4. Signal estimation by beamformer method in [20°,30°,35°] of antenna arrays 6

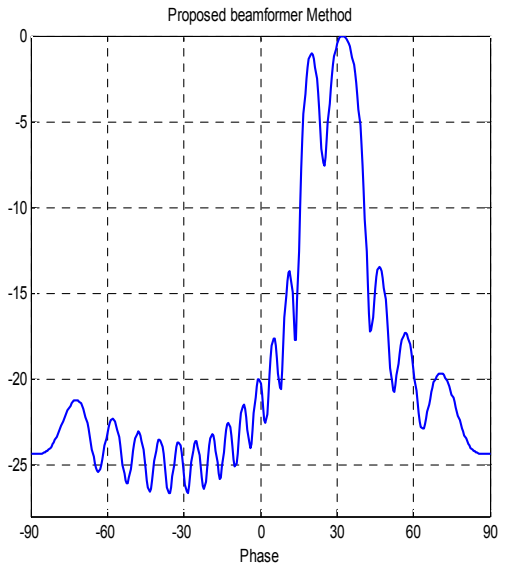

그림 6. 배열소자 6개로 구성된 proposed Beamformer 방법 신호 추정 [−10°,30°,35°]

Fig. 6. Signal estimation by proposed beamformer method in [−10°,30°,35°] of antenna arrays 6

5. 결론

본 연구에서 제안된 수정 빔형성기 방법으로 목표물의 도래방향을 추정하였다. 제안된 수정 빔형성기 방법은 섭동공분산 행렬을 적용하여 최적의 가중치를 획득하였다. 기존의 빔형성기 방법은 계산량이 간단하지만 신호 추정 방향 분해능이 좋지 않다. 그래서 계산량이 많지 않고 신호 추정 방향 분해능 향상을 위한 방법의 일환으로 본 연구를 진행하였다. 일반적으로 분해능이 우수한 MUSIC과 ESPRIT방법들은 고유치전개를 시행하기 때문에 계산량이 증가하게 된다. 본 연구에서 제안한 수정 빔형성기 방법은 고유치 전개를 하지 않기 때문에 계산량이 MUISC방법보다 감소되고 분해능은 MUSIC과 비슷한 성능을 나타내었다. 목표물 추정에 대한 신호 방향 분해능을 5도이하로 향상시키기 위해서는 배열 안테나 소자수 증가, 신호대 잡음비 증가, 스냅샷수 증가를 하면 도래방향 추정 분해능이 향상된다. 그러나 이와 같은 방법들은 시스템과 경제성면에 대해서 효과적이지 못하다.

REFERENCES

[1] Bin Liao, Lei Huang, chongtao Guo, and Hign cheung So, “New Approaches to Direction of Arrival Estimation With Sensor Array in Unknown Nonuniform Noise”, IEEE Sensors, Journal, Vol.16, No.24, pp.8982-8989, Dec, 2016.

[2] Rodigo Pinto Lemos, Hugo Vinicius Leao e Silva, Edna Lucia Flores, Jonas Kunzler, and Diego Femando Burgos, “Spatial Filtering Based on Differential Spectrum for Improving ML DOA Estimation Performance”, IEEE Signal Processing Letters, Vol.23, No.12, pp.1811-1815, Dec, 2016.

[3] Mehrazd Biguesh, “Bearing Estimation using Time dElays: Optimum Sensor Arrangement and an Efficient Esitmator”, IEEE Journal & Magazines, Vol.16,, No.18, pp.6961-6965, Sept, 2016.

[4] Liangtian Wan ,Guangjie Han, Lei Shu, sammy Chan, and Tong Zhu, “The Application of DOA Estimation Approach in Patient Tracking Systems with High Patient Density”, IEEE Transactions on Industrial Informatics, Vol.12, No.6, pp.2353-2364, Dec, 2016.

[5] B. Allen and M. Ghavarri, “Adaptive Array Sys tem”, Wiley, 2005.

[6] Lal Chand Godara “Smart Antennas”, CRC press, 2004.

[7] R.Schmidt,“Multiple emitter location and signal parameter estimation”, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol.34, No.3, pp.276-280, Jan, 2003.

[8] K.W.Lo, “Adaptivity of a real-symmetric array by DOA estimation and null steering”, IEE Proceedings-radar,sonar and Navigation, Vol.144, No.5, pp.245-251, Oct, 1997.

[9] M.L.McCloud and L .Scharf, “A new Subspace Identification Algorithm for High-resolution DOA Esitmaion”, IEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol.50, No.10, pp.1382-1390, July, 1975.

[10] M.I.Sobhy and A.S.Deif, “Application of the perturbation matrix in network design problems”, Electronics Letters, Vol.11, No.14, pp.294-296, Jan, 2013

[11] K.H.Lee and W.Y.Song, “A Study on Unmanned Vehicles Estimation using Steepest Descent , Wiener and Bartlett Algorithm”, Vol.10, No.2, pp.154-160, April, 2017.

저자약력

이 관 형(Kwan-Hyeong Lee) **[종신회원]**

- 2007년 3월 ~ 2010년 2월 : 국방과학연구소 근무
- 2010년 3월 ~ 현재 : 대진대학교 휴먼IT융합학부 휴먼로봇융합전공 교수

<관심분야> 무선통신, 위치추적

조 태 준(Tae-Jun Cho) **[정회원]**

- 2003년 : University of Michigan 교량공학전공 (공학박사)
- 2006.3~2008.2 : 한국철도시설공단 근무
- 2008년 3월 ~ 현재 : 대진대학교 건설시스템공학과 교수

<관심분야> 구조신뢰성공학