

최급 하강법 및 위너 방법을 Bartlett알고리즘에 적용한 무인 이동체 탐지 방법에 대한 연구

이관형* 송우영**

A Study on Unmanned Vehicles Estimation using Steepest Descent, Wiener and Bartlett Algorithm

Kwan-Hyeong Lee*, Woo-Young Song**

요약 본 연구에서는 Bartlett방법으로 무인체의 목표물을 정확히 추정하는 방법에 대해서 연구하였다. Bartlett 방법은 배열안테나에 입사하는 수신신호에 이득을 일정하게 하여 원하는 신호를 추정한다. 본 연구는 정확한 무인체를 예측하기 위해서 Bartlett방법의 가중치를 위너 와 최급 하강법을 적용하여 갱신한다. 갱신된 가중치는 배열안테나에 수신되는 모든 수신신호에 최적 가중치를 적용하여 기존 Bartlett방법의 분해능을 향상시킨다. 모의실험을 이용하여 본 연구에서 제안한 Bartlett방법의 성능을 분석한다. 성능분석은 Bartlett 방법에 위너와 최급 하강법을 각각 적용시킨 두 방법과 기존의 Bartlett방법을 비교분석한다. 모의실험결과, 본 연구에서 제안한 방법이 기존의 Bartlett보다 분해능이 우수하였고, 최급 하강법이 위너방법보다 분해능이 향상됨을 나타내었다.

Abstract In this paper, we studied the Bartlett method to correctly estimate the targets of a unmanned vehicles. The Bartlett method estimates the desired signals by making the gain constant for the received signal incident on the array antenna. In this paper, the weights of the Bartlett method are updated by applying the winner method and steepest descent method in order to estimation the accurate unmanned. The updated weights improve the resolution of the existing Bartlett method by applying optimal weights to all received signals received at the array antenna. Through simulation, we are comparative analysis about the performance of proposed method. From result of simulation, We showed the superior performance of the proposed method relative to the classical method, and Bartlett using steep descent method showed more superior than one using wiener method

Key Words : Bartlett method, Resolution, Steepest descent, Weight value, Wiener

1. 서론

공간상에서 움직이는 무인체에 대한 목표물들을 예측하기 위한 기술들이 과거부터 현재까지 활발히 연구되어 오고 있다[1-2]. 특히, 현대에 각광을 받고 있는 드론 등의 소형 무인체에 대한 예측 기술들이 연구되고 있으며 드론과 같은 소형 무인체가 위협적인 존재가 될 수 있기 때문에 소형 무

인체들의 이동 예측은 필수적이다. 현재는 소형 무인체들을 추정할 수 있는 레이더 장비 및 장치들에 대한 개발이 미흡한 상태이다. 일반적으로 무인체를 예측하는 정보는 거리, 속도, 방향 등을 추정한다. 본 연구에서는 무인체의 방위각 방향에 대해서만 예측하며, 추정방법으로는 Bartlett방법을 사용하여 무인체 이동을 예측한다[3-4]. 무선통신 환경에서 원하는 목표물에 대해서 정확한 신호를 예

* Division of Human IT Convergence, Major in Human Robot Convergence, Daejin University (khlee@daejin.ac.kr)

**Department of Electronic Engineering, Cheongju University (microwave@cju.ac.kr)

Received March 17, 2017

Revised April 11, 2017

Accepted April 13, 2017

측하는 것은 매우 어려운 작업이다. 왜냐하면 송신 신호는 자연 환경 및 인공 구조물 등으로 인해서 간섭 및 잡음 등으로 구성된 혼합 신호가 수신 안테나에 입사한다. 수신 시스템에 혼합된 신호가 입사하면 원하는 정보신호를 추출하기 위해서 배열 안테나 및 적응 신호처리 기술 등을 사용하여 정보신호 이외의 다른 신호를 제거한다. 본 연구에서는 적응배열 선형안테나를 사용하였으며 도래방향 추정에는 Bartlett방법을 사용한다. 그러나 Bartlett 방법은 계산량이 단순하지만 분해능이 감소하는 단점이 있다. 이와 같은 단점을 보완하기 위해서 위너와 최급 하강법을 Bartlett방법에 적용시키는 방법에 대해서 연구한다. 적응배열 선형안테나는 배열 소자를 균일하게 선형으로 나열하여 빔 패턴을 조절 할 수 있는 방법이다. 적응배열 선형안테나는 잡음과 간섭방향에 대해서 영점을 형성하여 간섭신호를 제거하고 원하는 정보 신호만을 추정할 수 있다. 또한 배열의 전기적 신호의 위상을 조정하여 빔 방향을 적응적으로 지향 할 수 있다[5]. 본 연구에서는 수신신호의 복잡하고 많은 계산량을 회피하기 위해서 Bartlett 방법을 사용한다. 그러나 Bartlett 방법은 신호 추정에 있어서 신호 분해능이 저조한 단점 있다. Bartlett방법의 분해능에 대한 단점을 보완하기 위해서 본 연구에서는 가중치를 갱신하는 방법을 제안한다. 가중치를 갱신하기 위한 제안 방법으로는 위너 방법(Wiener method)[6-7]과 최급 하강법(Steepest Descent method)[8-9]을 적용시켜 분해능을 향상 시키고자 한다. 모의실험을 통해서 본 논문에서 제안한 두 가지 방법과 기존 Bartlett방법 성능에 대해서 비교 분석한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 Bartlett 방법에 대해서 서술하고, 3장에서는 분해능 향상을 위한 갱신 가중치 방법에 대해서 서술한다. 4장에서는 모의실험을 이용하여 신호 추정 두 방법에 대해서 도래방향 추정 성능을 비교 분석하고 5장에서는 결론을 맺는다.

2. Bartlett 방법 신호해석

본 연구에서는 M 개의 적응배열 선형안테나를 사용하며, 각 배열 소자간 거리는 d 이다. 그림1은 적응배열 선형안테나이고 수신 신호는 다음과 같이 나타낼 수 있다[10-11].

$$s(t) = A \exp[j(\omega t + \theta)] \quad (1)$$

여기서 A 는 신호 크기, θ 는 신호 위상, t 는 시간, $\omega = 2\pi f$, f 는 주파수이다. k 번째 입사신호의 m 번째 배열 소자 시간지연(τ)은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\tau_m = (m - 1)(d/c)\sin\theta_k \quad (2)$$

여기서 c 는 전파속도, d 는 배열소자 간격이다. m 번째 소자 배열 안테나의 출력은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$x_m(t) = s(t + \tau_m) = \sum_{m=1}^M \sum_{k=1}^P s_k(t) \exp[j\omega(\tau_m - \tau_{m,k})] + n(t - \tau_m) \quad (3)$$

여기서, 여기서 $1 \leq k \leq P$, $1 \leq m \leq M$, $n(t)$ 는 백색가우스 잡음이다.

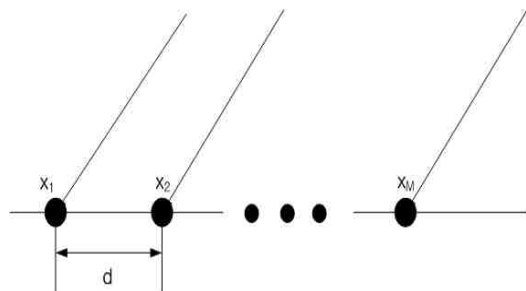


그림 1. 선형 배열 안테나
Fig. 1. Linear array antenna

식(3)을 벡터형태로 표현하면 다음과 같이 나타낼 수 있다[12].

$$x(t) = A S(t) + N(t) \quad (4)$$

여기서 $S(t) = [s_1(t), s_2(t), \dots, s_p(t)]^T$ 이다. A 는 지향 행렬($a(\theta)$)로 구성된 배열 응답, $N(t)$ 는 잡음 행렬이다. m 번째 배열 소자 신호대 잡음비와 빔형성 출력 신호대 잡음비는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$SNR = \frac{ME[S_k(t)^2]}{\delta_{s+n}^2} \quad (5)$$

δ_{s+n} 는 신호와 잡음의 분산을 나타낸다. 식(5)에서 빔형성의 출력은 임의방향으로 입사되는 신호의 신호대 잡음비를 M 배 향상시키는 것을 알 수 있다. 일반적인 빔형성기의 출력은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$y(t) = \sum_{m=1}^M w_m x(t + \tau_m) \quad (6)$$

$$= W^H X(t)$$

여기서 w_m 는 m 번째 가중치를 나타낸다. 식(6)의 수식은 벡터형식으로 나타낸 것이다. 빔형성기 출력 에너지는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_{out} = E[|y(t)|^2] \quad (7)$$

$$= GRG^H$$

여기서 G 는 가중치와 입사신호의 곱을 나타내며 R 은 상관함수를 의미한다.

$$G = [w_0, w_1 e^{j\omega_0 \tau}, \dots, w_M e^{j(M-1)\omega_0 \tau}]^T \quad (8)$$

그림 2는 Bartlett 시스템을 나타낸다. Bartlett 방법은 배열 소자의 이득이 모두 균일한 경우를 나타내며 빔형성기의 빔을 지향하여 주로브(main lobe)를 형성한다. 출력 에너지 스펙트럼은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_B = G^H R G \quad (9)$$

$$= a(\theta) R a(\theta)^H$$

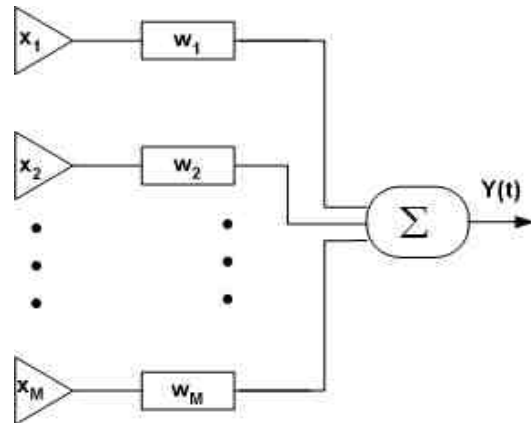


그림 2. Bartlett 시스템
Fig. 2. Bartlett system

3. 최적 갱신 가중치 방법

3.1 위너 방법 (Wiener Method)

위너 방법은 빔형성 가중치를 갱신하여 정확한 목표물을 추정하기 위하여 사용되며 도래방향 추정 알고리즘은 원하는 신호와 수신 안테나 추정신호사이의 최소자승에러(mean squared error)를 최소화하기 위하여 적용한다. 원하는 신호($u(t)$)와 배열 안테나 수신신호와의 차이는 다음과 같이 나타낸다.

$$e(t) = u(t) - y(t) \quad (10)$$

최소자승에러는 비용함수로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$J = E[|e(t)|^2] \quad (11)$$

식(11)에 식(6) 과 식(10)을 대입하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$J = E[|u(t)|^2] - P_u^H W - W^H P_u + W^H R W \quad (12)$$

여기서, $R = E[X(t)X^H(t)]$ 으로 자기상관행렬(auto-correlation matrix)을 나타내며, 상호상관행렬(cross-correlation matrix) $P_u = E[X(t)u^*(t)]$ 이다. 최적 가중치를 구하기 위해서 식(12)에 구배(gradient vector)를 적용하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\nabla(J) = 2 \frac{\partial J}{\partial W_{opt}^*} \quad (13)$$

최소자승에러가 0이 되면 목표물을 정확히 추정할 수 있다. 최소자승에러를 0으로 하기 위해서는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \nabla J|_{W_{opt}} &= 0 \quad (14) \\ -2P_u + 2R_u W_{opt} &= 0 \\ W_{opt} &= R_u^{-1} P_u \end{aligned}$$

3.2 최급 하강법(Steepest Descent Method)

위너방법은 자기상관행렬과 상호상관행렬을 이용하여 최적의 가중치를 계산한다. 위너방법의 단점은 상호상관행렬을 이용하기 때문에 많은 계산량을 필요로 한다. 위너방법의 단점을 보완하기 위한 방법으로 최급 하강법을 연구한다. 최급 하강법은 가중치를 0에서부터 출발하여 마지막 가중치까지 반복하여 최적의 가중치를 찾는 방법으로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$J(W_{opt}) \leq J(W) \quad (15)$$

최적의 가중치로 최소평균자승에러를 나타낼 수 있다. t 에의 가중벡터를 $W(t)$ 를 정의한다. $t+1$ 에서의 가중벡터의 갱신치는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$W(t+1) = W(t) + h [-\nabla(J(W))] \quad (16)$$

여기서 h 는 단계크기변수(step size parameter) 또는 가중치 상수(weighting constant)이다. 식(14)로부터

$$\nabla(J(W)) = -2P_u + 2R_u W(t) \quad (17)$$

식(16)에 식(17)은 대입하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$W(t+1) = W(t) + h[P_u - R_u W(t)] \quad (18)$$

$$0 \leq h \leq \frac{2}{\lambda_{max}} \quad (19)$$

λ_{max} 는 고유치의 최고값을 나타낸다. 최소자승에러는 구배법을 적용하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \nabla(J(W)) &= -2E[X(t)u^*(t) - X(t)X^H(t)W(t)] \\ &= -2E[X(t)e^*(t)] \end{aligned} \quad (20)$$

식(16)은 다음과 같이 다시 나타낼 수 있다.

$$W(t+1) = W(t) + hE[X(t)e^*(t)] \quad (21)$$

4. 모의실험

본 장에서는 모의실험을 통하여 일반적인 방법과 본 연구에서 제안한 방법의 성능을 비교 분석한다. 기존 일반적인 방법은 Bartlett방법이며, 제안한 방법은 Bartlett방법에 위너와 최급 하강법을

적용시킨 것이다. 수신시스템은 적응배열 선형안테나를 사용하였으며 배열 소자 간격은 그레이팅 로브를 피하기 위해서 반 파장으로 설정하였다. 신호 대잡음비는 20dB, 배열 소자는 9개,12개를 사용하였으며, 추정 신호 개수는 3개[-10°, 0°, 10°]의 무인체를 추정한다. 그림3은 Bartlett 방법만을 사용하여 3개의 무인체를 예측한 결과이다. 그림 3의 Bartlett방법은 목표물 신호 3개를 정확히 추정하지 못한 것을 나타내고 있다. 무인체 목표물 3개를 추정하기 위해서는 빔의 주엽(main lobe)이 3개를 나타내야 한다. 그러나 그림3에서는 약 2개의 빔 주엽이 나타난 것을 확인할 수 있다. 그림 4는 Bartlett방법만으로 안테나의 배열소자를 9개에서 12개로 증가하여 무인체의 목표물을 예측한 그래프이다. 그림4는 그림3에 비해서 빔 주엽의 모양이 3개 나타나는 것을 알 수 있다. 즉 안테나의 개수를 증가시키면 분해능이 향상되는 것을 알 수 있다. 그러나 안테나의 배열소자수를 증가시키는 것은 시스템에서 효율적이지 못하다. 그림5는 Bartlett방법에 위너방법을 적용시킨 결과를 나타내었다. 그림3과 그림4에 비해서 빔 주엽이 정확한 것을 알 수 있다. 그림6은 Bartlett방법에 최급 하강법을 적용시킨 결과를 나타내었다. 그림6은 그림 3부터 그림5까지의 결과보다 가장 우수한 빔 주엽을 나타내고 있다. 표1에 각 방법으로 목표물을 추정된 방향을 나타내었다. O표시는 신호방향 추정, x표시는 신호방향을 추정하지 못한 것을 나타낸다.

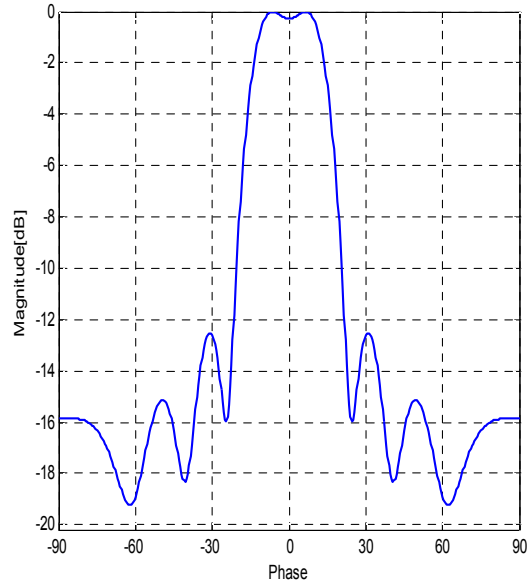


그림 3. 안테나배열소자 9개로 구성된 Bartlett 방법의 원하는 신호 추정 [-10°, 0°, 10°]

Fig.3. Desired signal estimation by Bartlett Method in [-10°, 0°, 10°] of antenna arrays 9

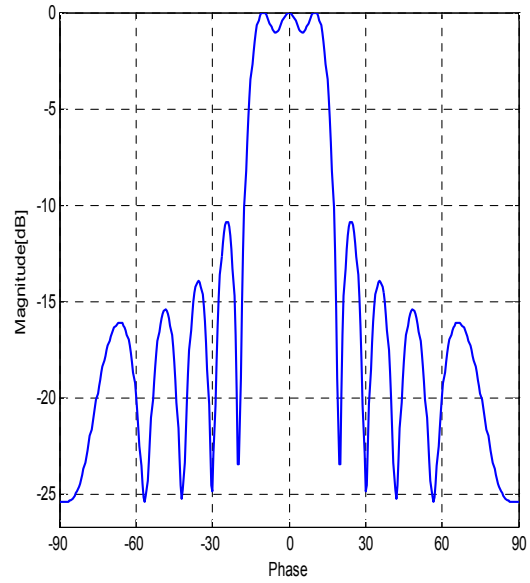


그림 4. 안테나배열소자 12개로 구성된 Bartlett 방법의 원하는 신호 추정 [-10°, 0°, 10°]

Fig.4. Desired signal estimation by Bartlett Method in [-10°, 0°, 10°] of antenna arrays 12

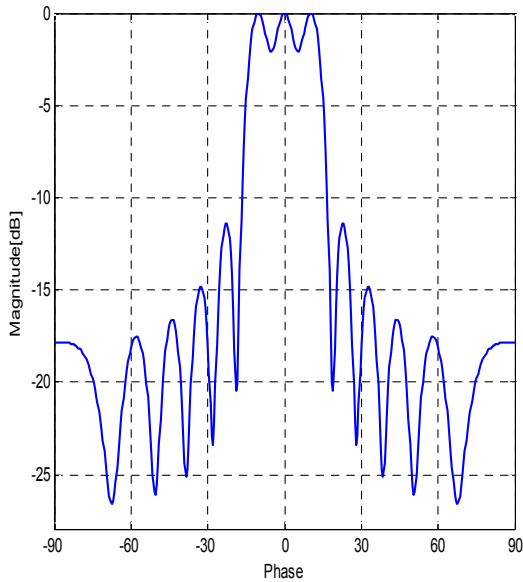


그림 5. 안테나배열소자 9개로 구성된 Bartlett 방법과 위너 방법의 원하는 신호 추정 [-10o, 0o, 10o]
 Fig.5. Desired signal estimation by Bartlett and Wiener Method in [-10o, 0o, 10o] of antenna arrays 9

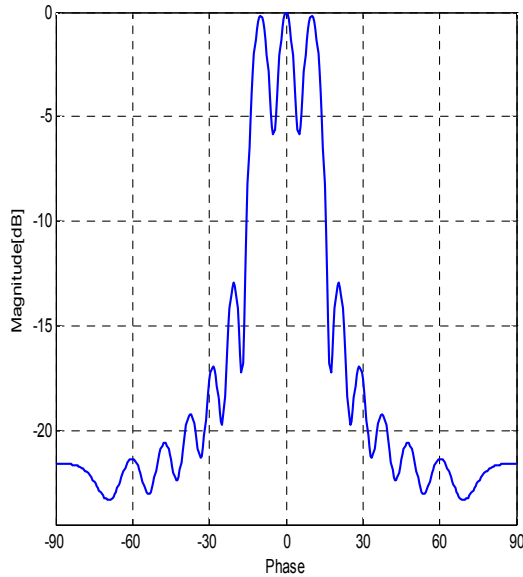


그림 6. 안테나배열소자 9개로 구성된 Bartlett 방법과 최급 하강 방법의 원하는 신호 추정 [-10o, 0o, 10o]
 Fig.6. Desired signal estimation by Bartlett and Steepest Descent Method in [-10o, 0o, 10o] of antenna arrays 9

표 1. 추정각도 데이터 목록
 Table 1. Estimation angle data list

	추정각도		
	-10°	0°	10°
안테나배열소자 9개로 구성된 Bartlett 방법	o	x	o
안테나배열소자 12개로 구성된 Bartlett 방법	o	o	o
안테나배열소자 9개로 구성된 Bartlett 방법과 위너 방법	o	o	o
안테나배열소자 9개로 구성된 Bartlett 방법과 최급 하강 방법	o	o	o

5. 결론

본 연구에서는 무인체의 목표물을 추정하기 위해서 Bartlett방법의 최적 가중치에 대해서 연구하여 기존 Bartlett 방법과 성능을 비교분석하였다. 무인체 목표물의 예측을 향상시키기 위해서는 일반적으로 안테나 배열 수 증가, 신호대 잡음비 증가, 송신출력 향상 등이 있다. 그러나 시스템의 환경과 효율을 가정하였을때 위의 방법들이 경제적이지 못하다. 본 연구에서 제안한 방법의 무인체 목표물 예측은 가중치를 일정한 값으로 설정하지 않고 최적 가중치를 갱신하여 원하는 신호를 추정하였다. Bartlett방법에 위너방법을 적용시킨것보다 최급 하강법을 적용시킨 방법이 가장 우수함을 본 연구에서 나타내었다. 최급 하강법은 고유치를 사용하기 때문에 위너방법보다 분해능이 향상된 것으로 판단되다.

REFERENCES

[1] Li.Feng, Li Gao, and Yun Hui Li, "Research on information processing of intelligent Lane-Changing Behaviors for Unmanned Ground Vehicles" IEEE Conference 2016 9th international symposium on computational intelligence and Design, Vol.2, Dec, 2016.
 [2] Vindhya Devalla, and Om Prakash, "Developments in unmanned powered parachute

aerial vehicle: a review”, IEEE Aerospace and Electronic systems Magazine, Vol.29, No.11, pp. 6-20, May, 2014.

[3] A.J.Haug and G.M.Jacyna, “Theory and analytical performance evaluation of generalized correlation beamformers”, IEEE Journal of Oceanic Engineering, Vol.25, No.3, pp.314-330, Aug, 2000.

[4] Jon W. Wallace and Michael A. Jensen, “Sparse power angle spectrum estimation”, IEEE Transactions on antennas and propagation, Vol.57, No.8, pp.2453-2460, June, 2009.

[5] B. Allen and M. Ghavarrri, “Adaptive Array System”, Wiley, Feb, 2005.

[6] Shuo Chen, Yi Hong Ong, and Quan Liu, “A method to create an universal calibration dataset for roman reconstruction based on wiener estimation”, IEEE Journal of selected topics in quantum electronics, Vol.22, No.3, Sept, 2015.

[7] Yoshifumi Nagata, Toyata Fujioka, and Masato Abe, “Two-Dimensional DOA estimation of sound source based on weighted wiener gain exploiting two-directional microphones”, IEEE Transaction on Audio, speech, and language processing, Vol.15, No.2, pp.416-429, Jan, 2007

[8] K.Vastola, “On robust wiener signal estimation”, IEEE Transactions on Automatic Control, Vol.31, No.5, pp.466-467, Jan, 2003.

[9] Xin Cai, Xiang Wang, Zhi Tao, and Feng Hua wang, “Single channel steepest descent algorithm for the correction of cycle frequency error”, IET communications, Vol.10, No.14, Sept, 2016.

[10] H.D .Han and Z.Ding, “Steepest descent algorithm implementation for multichannel

blind signal recovery”, IET Communications, Vol.6, No.18, pp.3196-3203, Jan, 2013

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

[12] M.Zoltowski, and F.Haber, “A Vector space approach to direction finding in a coherent multipath environment”, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol.34, No.9, pp.1069-1079, Jan, 2003.

저자약력

이 관 형(Kwan-Hyeong Lee) [중신회원]



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

<관심분야> 무선통신, 위치추적

송 우 영(Woo-Young Song) [정회원]



- 1981년 2월 : 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
- 1988년 2월 : 연세대학교 전자공학과 (공학박사)
- 1982년 3월 ~ 현재 : 청주대학교 이공대학 전자공학과 교수

<관심분야> 안테나, 초고주파 공학