

이동 목표물 추정 정확도를 향상시키기 위한 고 분해능 최적 빔 지향 패턴에 관한 연구

조 성 국* · 전 병 국** · 양 길 모***

A Study on Super Resolution Optimum Beam Steering Pattern for Improvement Moving Target Estimation Accuracy

Cho, Sung Kuk · Jeon, Byung Kook · Yang, Gill Mo

〈Abstract〉

Method a target estimation in spatial are mobile wireless communication using network cell and GPS. It have much error that mobile wireless communication depend on cell size. GPS method can't find a target in shadow and inner area. In this paper, we estimate a target as direction of arrival method using adaptive array antenna system. Adaptive array antenna system can obtain desired signal to remove other signal This paper studied digital beamforming method in order to estimation a target. Proposed method is modified optimum weight and antenna error correction to estimation an optimal receive signal. Digital beamforming method decided a signal phase and amplitude from received signal on array antenna element. But if it is not to do error correction of received signal, system performance have decreased. Firstly, we proposed modified optimum weight in order to finding desired target. Secondly, we are error correction of antenna incident signals by optimal weight before digital beamforming method. Thirdly, throughly simulation, we showed that system performance of proposed method compare proposal method with general method. It have improved resolution of estimation target to good performance more proposed method than general method.

Key Words : Adaptive Array Aantenna, Weight, MUSIC, Digital Beamforming

I. 서론

도래방향 추정 시스템은 지향성 안테나를 이용하

여 목표물에 전파를 송신하고 물체로부터 반사된 신호를 수신하여 목표물의 정보를 측정하는 시스템이다[1]. 도래방향 추정 시스템의 분야는 레이더, 이동통신, 의료공학분야 등에서 폭 넓게 연구되어 왔다. 초기에 연구된 레이더는 군사용으로 이동 물체의 정보를 탐지하고 대공무기를 통제하기 위한 시스템으

* 강릉원주대학교 멀티미디어공학과 교수

** 강릉원주대학교 정보기술공학과 교수

*** 강릉원주대학교 멀티미디어공학과 교수(교신저자)

로 개발되었다. 레이더의 기본구성은 신호를 송신하는 송신 안테나, 물체로부터 정보를 수신하는 수신안테나 및 송수신기로 구성되어 있다[2]. 레이더는 목표물의 위치를 탐지하고 추적하는데 목표가 있으며, 수신안테나는 반사 에너지를 모아 수신기로 보내고 신호를 처리한다[3-4]. 레이더를 이용한 목표물 거리 추정은 송신 신호가 목표물에 반사되어 오는 시간으로 결정되고, 목표물의 방향 및 고도는 수신기에 입사되는 반사와 신호 방향으로 결정한다. 특히, 안테나 분야에서 높은 지향성과 낮은 부엽레벨, 신속한 빔주사, 저전력 특성을 갖는 안테나를 필요로 한다. 일반적으로 안테나의 지향성은 안테나의 전기적인 길이(electrical length)를 증가시키면 향상된다. 그러나, 안테나의 전기적인 길이의 증가에는 한계가 있다. 여러 개의 안테나를 일정하게 배열시켜 각 안테나에서 방사되는 전력이 특정한 방향으로 보강간섭이 일어나게 하고, 다른 방향으로 상쇄간섭이 일어나게 하여 결국에는 원하는 방향으로 방사패턴의 지향성을 증가시키게 하는 배열안테나를 이용한다[5]. 배열 안테나는 기계적인 회전에 의해서 안테나 빔을 주사하는 대신 배열요소에 공급되는 전력의 위상을 전자적으로 제어하여 빔을 주사하기 때문에 빔의 형상과 방향을 순간적으로 변화시킬 수 있다.

본 논문에서는 이동 물체 추정시 정확도를 향상시키기 위해서 적응배열 안테나를 사용한다. 적응배열 안테나는 여러 개의 안테나 소자를 일정하게 위치시켜 각 안테나 소자에서 방사되는 전력이 특정한 방향으로 보강간섭을 생성하고, 다른 방향으로 상쇄간섭이 생성하여 원하는 방향의 지향성을 향상시킨다. 적응배열 안테나는 배열 안테나 소자들을 이용하여 수신 신호를 공간적으로 필터링하여 원하는 신호만 얻을 수 있다[6]. Yesser Albagory[7]는 원하는 목표물을 추정하기 위해서 방위각추정에는 선형 배열 안테나를 적용시키고 고각을 추정에는 원형 배열안

테나를 적용하였다. 그러나 배열 안테나를 이중으로 사용하기 때문에 공간과 비용에서 효율적이지 못하다.

본 논문에서는 목표물의 분해능을 높이기 위해서 최적의 가중치 방법을 연구하였다. 가중치는 목표물의 정보를 획득하기 위해서 필수적인 요소이며 특히 상관성이 존재하는 환경에서는 정확한 가중치를 획득하지 못하면 목표물을 추정할 수 없다. 본 연구에서는 평균 자승 에러 방법으로 가중치를 획득한 후 적응배열 안테나 시스템에서 적합한 최적의 가중치를 제안하였다. 제안한 최적의 가중치는 평균자승에러 방식에서 구한 가중치를 디지털 빔지향 방식으로 가중치를 수정하여 도래방향 알고리즘에 적용한다. 그리고 디지털 빔지향 방법에서 구한 가중치를 안테나 빔보정에 적용시켜 빔 지향의 오차를 최소화시켜 최종 목표물을 추정하고자 한다. 안테나 빔지향 보정을 하지 않으면 원하는 신호를 추정할 때 목표물의 신호 정보에 많은 오차가 발생하기 때문에 시스템의 성능이 저하된다.

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

II. 관련연구

2.1 평균 자승 오차를 이용한 가중치 획득

적응배열 안테나 배열의 소자의 수가 M 일 때, 배열 입력벡터 $X(t)$ 는 다음과 같이 나타낸다[8-9].

$$X(t) = [x_1(t), x_2(t), \dots, x_M(t)]^T \quad (1) \quad e(t) = E[|e(t)|^2] \quad (8)$$

$$= E[|y(t) - x(t)|^2]$$

여기서 $x_m(t)$ 는 m 번째 ($m = 1, 2, \dots, M$) 배열 소자의 입력신호이며, $[\]^T$ 는 전치 행렬을 나타낸다. 식(1)은 다중경로성분으로 인한 간섭신호와 열잡음이 포함된 수식으로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

최적 공간 필터링을 수행하기 위해서는 평균자승오차를 최소화 하여야 한다. 평균자승오차는 다음과 같이 전개될 수 있다[10-11].

$$X(t) = x(t) + c(t) + n(t) \quad (2) \quad e(t) = E[|W^H x(t) - f(t)|] \quad (9)$$

$$= \sum_{n=1}^M a(\theta_n) x_n(t) + \sum_{i=1}^L a(\theta_i) c_i(t) + n(t)$$

$$= W^H R W - W^H r - r^H W + E[|f(t)|^2]$$

여기서, $a(\theta_n)$ 는 원하는 신호의 배열 응답벡터, $a(\theta_i)$ 는 i 번째 간섭신호 $c_i(t)$ 의 배열 응답벡터이다. 가중치 벡터 $w(k)$ 는 다음과 같이 나타낸다.

여기서, R 는 $x(t)$ 의 입력 공분산 행렬, r 은 $x(t)$ 와 기준신호 $f(k)$ 사이의 상호상관 공분 산행렬이다. 각각의 공분산 행렬은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$W = [w_1(t), w_2(t), \dots, w_M(t)]^T \quad (4)$$

$$R = E[X(t) W^H(t)] \quad (10)$$

$$r = E[X(t) f^*(k)] \quad (11)$$

적용 안테나 배열 출력은 식(3)와 식(4)을 곱하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

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

$$y(t) = X(t) W^H \quad (5)$$

$$= \sum_{m=1}^M x_m(t) w_m^* \quad (6)$$

$$\nabla e r = 2R W - 2r \quad (12)$$

여기서, $(\)^*$ 는 복소 공액(complex conjugate)이고, $(\)^H$ 는 허미트(Hermitie matrix)이다. $x(t)$ 와 $y(t)$ 의 차는 배열 출력의 오차로서 다음과 같이 나타낼 수 있다.

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

$$e(t) = y(t) - x(t) \quad (7)$$

$$w_{opt} = R^{-1} r \quad (13)$$

이때, 평균자승오차(mean square error)는 다음과 같이 나타낸다.

최적 가중치는 입력공분산행렬과 상호상관행렬의 많은 데이터를 이용하여 획득할 수 있다. 이때는 복잡한 계산량이 필요하기 때문에 실제 적용 배열 안테나 시스템에서는 각각의 공분행렬을 계산하지 않고

각 순간의 입력신호를 이용하여 이를 추정하면서 점차적으로 최적 가중치를 구한다.

2.2 적응배열 안테나에서 최적 가중치 획득

가장 기본적인 적응배열기술은 위상변환기를 이용하여 배열 빔 패턴을 원하는 방향으로 방사하는 것이다. 배열 안테나 소자간의 위상차를 보상하여 모든 소자에서 동 위상을 갖게하면 이득이 증가되고, 반대로 각 소자의 위상이 서로 상쇄 간섭이 발생하도록 하면 이득이 감소한다. 안테나 배열소자가 반송파 주파수의 반파장 간격으로 배열되어 있을 경우 빔 지향 이후의 배열 출력 신호 식(5)는 다음과 같이 나타낼 수 있다[12-13].

$$y(t) = f(t) \sum_{n=1}^M w_n^* a_n(t) + \sum_{n=1}^M w_n^* n_n(t) \quad (14)$$

여기서 a_n 은 n 번째 배열 소자의 입사위상이고, w_n 은 n 번째 가중치이다. 위상과 가중치는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$a_n = \exp(-j\pi n \sin\theta) \quad (15)$$

$$w_n = \exp(-j\pi n \sin\theta) \quad (16)$$

식(14)에서 식(16)로 부터 배열 출력 신호는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P = \frac{1}{2} E[|y(t)|^2] \quad (17)$$

$$= \frac{1}{2} |f(k)|^2 \sum_{n=1}^M w_n^* w_n a_n^* a_n + \sum_{n=1}^M |w_n|^2 \sigma^2 I \quad (18)$$

여기서, σ^2 는 잡음의 전력을 나타낸다. 식(18)에서

가중치를 이용하여 원하는 방향으로 빔을 지향할 수 있다. 빔 지향 적응 배열의 이득을 구하기 위해서 적응배열 다중경로와 간섭신호 없이 하나의 사용자 신호만이 수신되는 경우를 가정한다. 이 경우 배열 입력 벡터와 가중치 벡터는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$x(t) = a(\theta)f(k) + n(k) \quad (19)$$

$$W = R^{-1} r \\ = [E\{[f(t)]^2\}a(\theta)a^H(\theta) + \sigma^2 I]^{-1} E\{[d(t)]^2\}a(\theta)W$$

최적가중치를 구하기위해서 식(20)양변에 $[E\{[f(t)]^2\}a(\theta)a^H(\theta) + \sigma^2 I]$ 를 취하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$W = \frac{E\{[f(t)]\}}{\sigma^2} a(\theta)(1 - a^H(\theta)w) \quad (21)$$

$$= \frac{E\{[f(t)]^2\}}{\sigma^2} a(\theta)(1 - c) \quad (22)$$

여기서 c 는 임의의 상수를 나타낸다.

III. 최적 가중치를 이용한 안테나 보정 후 도래방향 추정

디지털 빔 지향에서 원하는 빔을 형성할 때, 배열 안테나 소자의 위상과 크기를 보정함으로써 효율적인 빔을 생성할 수 있다. 디지털 빔 지향의 안테나 소자에 수신되는 위상과 크기의 오차가 보정되지 않으면 성능이 크게 감소된다. 이러한 안테나 위상 및 크기의 오차보정이 디지털 빔 형성알고리즘이 처리되기 이전에 가중치들을 곱함으로써 보정 될 수 있다. 안테나

보정을 통하여 효과적인 가중치를 구할 수 있다. 적응 배열 안테나의 이득 패턴은 조향 각도에 대해 $\cos(\theta)$ 로 감소되므로, 안테나 소자의 이득함수 영향을 고려한 보정된 신호는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$X(f) = \frac{[\cos(\theta)]^{0.5}}{\sqrt{N}} e^{-j\psi} \begin{bmatrix} e^{-j\frac{2\pi f d \sin(\theta)}{c}} \\ e^{-2j\frac{2\pi f d \sin(\theta)}{c}} \\ \vdots \\ e^{-Nj\frac{2\pi f d \sin(\theta)}{c}} \end{bmatrix} \quad (23)$$

여기서, ψ 는 신호의 절대위상을 나타낸다. 배열 안테나 소자에 입사되는 신호에서 위상이 보정된 신호의 출력은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$y(f) = X(f) W^H(f) \quad (24)$$

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

$$R_t = E_s \Lambda_s E_s^H + E_n \Lambda_n E_n^H \quad (25)$$

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

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.

$$R_t = W^H A S A^H W + \sigma^2 I \quad (26)$$

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

$$R_t = E_s \Delta_s E_s^H + \sigma^2 E_n E_n^H \quad (27)$$

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.

$$P = \frac{W^H a(\theta) a^H(\theta) W}{a(\theta) W E_n E_n^H W^H a^H(\theta)} \quad (28)$$

IV. 모의 실험

본 논문에서는 목표물의 정확한 추정을 위해서 최적의 가중치 방법을 제안하였다. 원하는 신호를 추정하기 위해서 최적의 가중치와 안테나 보정 한 후 도래방향 알고리즘에 적용시켜 목표물의 분해능을 향상시키는 방법에 대해서 연구하였다. 안테나는 적응 배열안테나를 적용하였고 적응신호처리 알고리즘은 목표물 추정시 분해능이 좋은 MUSIC알고리즘을 사용하였다. 본 논문에서는 목표물 추정에 적합한 최적의 가중치 해를 구하고, 이에 대한 빔 지향 패턴과 방향을 변화해가면서 목표물의 분해능을 모의실험 하였다. 그림1은 3개의 원하는 목표물을 추정한 그래프이다. 목표물의 방향은 $[-10^\circ \ 0^\circ \ 10^\circ]$ 에서 최적가중치를 획득한 후 오차를 보정한 결과를 나타낸 그래프이다. 목표물 3개를 모두 정확히 추정하였다. 그림2는 기존의 방법인 가중치를 최적화하지 않은 방법으로 목표물의 방향 $[-10^\circ \ 0^\circ \ 10^\circ]$ 에서 3개의 목표물을 추

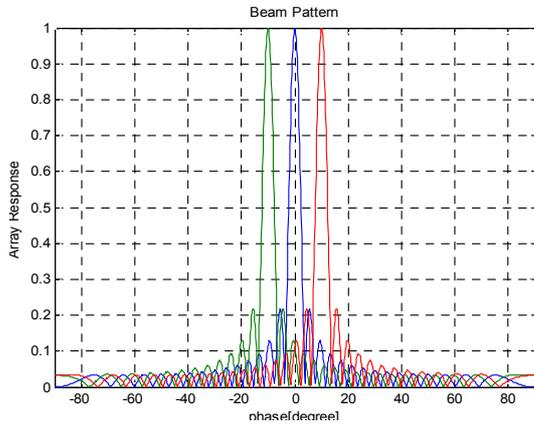
정한 그래프이다. 약 3도에서 4정도의 오차를 보이고 있다. 즉 가중치를 최적화 하지 않고 안테나를 보정하지 않으면 원하는 신호를 정확히 추정할 수 없다. 그림3은본 연구에서 제안된 최적의 가중치 방법으로 간섭과 잡음 신호를 제거한 후 3개의 목표물 방향에 대해서 정확히 빔을 지향한 그래프이다. 목표물 3개 방향에 대해서 모두 정확히 빔을 지향하였다. 그림4는 본 연구에서 제안한 방법과 가중치를 수정하지 않은 기존의 방법을 위상에 따른 신호대 잡음비를 비교한 그래프이다. 본 논문에서 제안한 방법이 기존의 방법보다 우수한 것으로 나타난다. 표1은 모의실험을

<표 1> 모의실험 조건

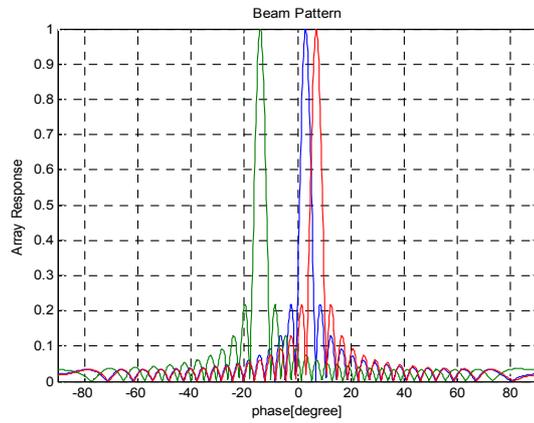
분류	수치
안테나개수	9
신호대잡음비	20dB
안테나 간격	$\lambda/2$
스냅샷 수	150회
목표물 수	3개 $[-10^\circ, 0^\circ, 10^\circ]$

<표 2> 목표물 방향 비교

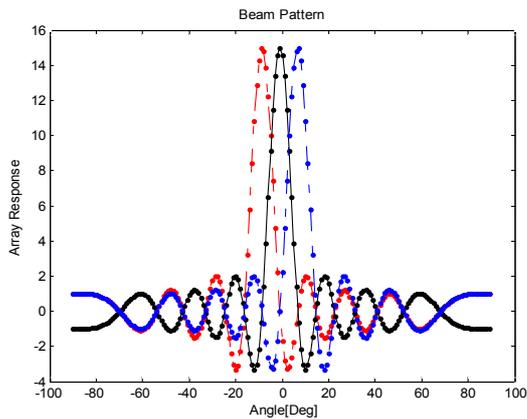
분류	목표물 방향
제안방법	$[-10^\circ, 0^\circ, 10^\circ]$
기존방법	$[-14^\circ, 3^\circ, 7^\circ]$
목표물 빔지향	$[-10^\circ, 0^\circ, 10^\circ]$



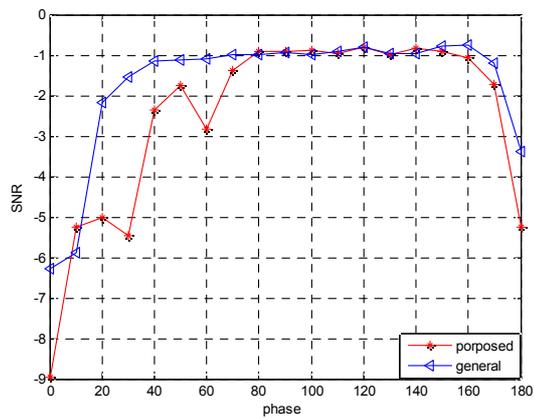
<그림 1> 제안 방법의 목표물 방향 특성



<그림 2> 기존방법의 목표물 방향 특성



<그림 3> 빔 지향 패턴



<그림 4> 제안 방법과 기존 방법의 신호대잡음비

위한 조건 전체적으로 나타내었다. 표2는 원하는 목표물 방향 추정에 대한 본 연구에서 제안한 방법과 기존의 방법을 비교하였다. 표2에서 본 연구에서 제안한 방법의 목표물을 정확히 추정하여 빔을 지향하였지만 기존의 연구 방법은 목표물 추정시 약 4도의 오차를 나타내고 있다.

V. 결론

본 논문에서는 목표물의 추정 정확도를 향상시키기 위해서 최적 가중치 방법을 제안하였다. 본 논문에서 제안한 방법은 기존의 방법보다 간섭과 잡음을 효과적으로 제거하여 신호대잡음비를 향상시켰다. 연구 방법은 첫번째로 원하는 신호의 목표물을 추정하기 위해서 평균자승에러 방법을 이용하여 최적의 가중치를 획득하였다. 두 번째로는 디지털 빔 지향 수행하기 이전에 최적의 가중치를 사용하여 안테나에 입사하는 신호를 보정하였다. 세 번째로 안테나 보정에 적용된 최적의 가중치를 목표물 방향 추정에 적용하여 분해능을 향상시켰다. 마지막으로 본 연구에서 제안한 방법과 가중치를 수정하지 않은 기존 방법을 모의실험을 통하여 비교 분석하였다. 가중치를 수정하지 않은 기존 방법은 3개의 목표물을 정확히 추정하지 못하였지만 본 연구에서 제안한 방법으로는 3개의 목표물을 정확히 추정하였다.

참고문헌

- [1] Edmond Nicolauy, A daptive Arrays, ELSEVIER, 1989.
- [2] Jerry L. Eaves and Edward K. Reedy, Principles of Modern Radar, Van Nostrand Reinhold New York, 1987.
- [3] Burdic, Radar Signal Analysis, Prentice-Hall, 1968.
- [4] David K. Barton, Modern Radar System Analysis and Modeling, Artech House, 2004.
- [5] Obote, S, Lichikawa. Y and Kagoshima. K, "A design methodology of a tapped delay line adaptive array antenna," IEEE Symposium Vol. 4A, 2005, pp. 30-33.
- [6] Marinho, M. A. M, Antreich. F, da Costa, J. P. C.. L and Nossed, J. A, "A signal Adaptive array interpolation approach with reduced transformation bias for DOA estimation of highly correlated signals," IEEE conference ICASSP, Vol. 1, 2014, pp. 2272-2276.
- [7] Yasser Albagory and Amira Ashour, "MUSIC 2D-DOA Estimation using Split Vertical Linear and Circular Arrays," MECS Computer Network and Information Security, Vol. 8, No. 1, 2013, pp. 12-18.
- [8] Xiangrong Wang, Aboutanions. E, Trinkle. M, and Amin, M. G, "Reconfigurable Adaptive Array Beamforming by Antenna selection," IEEE Trans on Signal Processing, Vol. 62, No. 9, 2014, pp. 2385-2396.
- [9] B. Widrow and S. D. Stearns, "Adaptive Signal Processing," Prentice-Hall, 1989.
- [10] F. Vincent and O. Besson, "Estimation time varying DAO and Dopplar shift in radar array processing," IEE proce RDAR Sonar Navig, Vol. 147, No. 6, 2000, pp. 1446-1501.
- [11] Mat Wax and Thomas kailath, "Detection of signals by information theoretic criteria," IEEE Trans on Acoustics, Speech and signal

- processing, Vol. 33, No. 2, 1985. pp. 387-392.
- [12] 한연규, 양현욱, 김경훈, 최승원, "LTE기반 MU-MI MO 시스템에 구현한 빔 포밍 알고리즘," 디지털산업정보학회 논문지, 제8권, 제4호, 2012, pp. 121-127.
- [13] 송철봉, 장재현, 양현욱, 최승원, "LTE기반 하향링크의 Zadoff-chu 시퀀스를 이용한 배열 안테나 Calibration 알고리즘," 디지털산업정보학회 논문지, 제9권, 제4호, 2013, pp. 51-57.



양길모
Yang, Gil Mo

1990년 4월~현재
강릉원주대학교 멀티미디어공학과 교수
2001년 2월 충북대학교 정보통신공학부 (이학박사수료)
1990년 3월 동경농공대학교 수리정보공학과 (이학석사)
1983년 2월 홍익대학교 전산계산학과(이학사)
관심분야 : 데이터베이스, AI
E-mail : gmyang@gwnu.ac.kr

논문접수일: 2014년 9월 17일
수정일: 2014년 10월 27일
게재확정일: 2014년 10월 30일

■ 저자소개 ■



조성국
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



전병국
Jeon, Byung Kook

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