

결정지향 SNR 추정방식에서의 추정오차 보정기법을 통한 SNR 추정성능개선

Performance Enhancement of Decision Directed SNR Estimation by Correction Scheme of SNR Estimation Error

곽재민*

Jae-Min Kwak*

요 약

본 논문에서는 AWGN 채널에서 특정 판정영역 내에 수신된 샘플들을 이용해 DD(Decision Directed) 방식으로 SNR을 추정하는 경우에 발생하는 SNR 추정 오차에 대해서 분석하였다. 수신기에서 특정 성좌점에 해당하는 기준 판정영역에 수신된 샘플들로 이상적인 수신점과의 에러벡터를 이용하여 SNR을 추정하는 경우, 다른 판정영역에 대응되는 송신심볼이 잡음의 영향으로 기준 판정영역으로 넘어온 샘플들까지 포함되므로, 추정된 신호 성좌점의 평균치가 이동함으로써 DD방식의 SNR 추정이 부정확하게 이루어진다. 이러한 현상을 변형된 확률밀도 함수를 기반으로 설명하고 실제 SNR과 추정 SNR과의 오차를 유도하여 정량적으로 분석하였다. 또한 컴퓨터 시뮬레이션을 통한 SNR 추정오차가 이론적으로 유도된 SNR 추정오차와 일치하고, 제안한 보정기법을 통해 SNR 추정 성능을 크게 개선할 수 있음을 확인하였다.

Abstract

In this paper, the SNR estimation error of Decision Directed SNR estimation method in AWGN is investigated, which uses samples received in reference decision region. In communication system receiver, when SNR estimation scheme using error vectors between ideal sample points and received sample points of reference region is adopted, the samples contain incorrectly received samples due to AWGN. Consequently, the mean of estimated reference constellation point is shifted and Decision Directed SNR estimation is inaccurately performed. These effects are explained by modified probability density function and difference between actual SNR and estimated SNR is theoretically derived and quantitatively analyzed. It is proved that SNR estimation error obtained through computer simulation is matched up with derived one, and SNR estimation performance is enhanced significantly by adopting suggested correction scheme.

Key words : Decision Directed, SNR, Estimation, probability density function.

I. 서 론

통신시스템에 있어서의 다양한 알고리즘들은 수신기의 SNR에 대해 보다 정확한 정보를 알고 있어야

* 목포해양대학교 해양정보통신공학과(Department of Information and Communication Eng., Mokpo National Maritime University)

· 제1저자 (First Author) : 곽재민 (Jae-Min Kwak, Tel : +82-61-240-7268, email : kjm@mmu.ac.kr)

· 투고일자 : 2012년 1월 28일

· 심사(수정)일자 : 2012년 10월 17일 (수정일자 : 2012년 12월 20일)

· 게재일자 : 2012년 12월 30일

우수한 성능을 달성할 수 있다는 점 때문에 SNR 추정 분야 관한 연구는 매우 중요하다[1]. 예를 들면, CDMA시스템에서 최소의 송신전력을 사용하면서 요구되는 링크품질을 유지하기 위한 전력제어를 수행하기 위해 SNR을 추정하고 있으며, 최근의 OFDM 기반 무선 LAN, WiMax 등에서도 링크품질에 따른 전송속도를 제어하기 위해서도 사용되고 있다.

수신기에 적용되는 기존의 SNR 추정알고리즘은 몇가지 기준에 따라 분류할 수 있다. DA(Data-aided) 추정알고리즘은 수신기가 미리 정해진 패턴의 전송된 심볼들을 알고 있을 때 사용될 수 있고, NDA(Non-data-aided) 추정알고리즘은 DA방식과 달리 수신기에서 이러한 심볼들에 대한 사전지식이 없이도 SNR 추정이 가능한 알고리즘이다[2].

DD(Decision directed) 방식은 미리 알려진 송신된 심볼들 대신 수신기의 판정 출력값을 이용하는 방식이다[3]. 또한, 참고문헌 [1],[4],[5]에서 SNV RXDA 추정이라 명명되어 제시된 알고리즘으로, DD방식에서 수신샘플들의 절대값의 평균을 취한 값을 진폭추정치로 사용하여 SNR을 추정하는 방식이 있다.

한편, 최근에는 DVB-T, DVB-S2, AT-DMB 등에 적용되는 계층 변조방식과, 채널품질에 효율적으로 대응하여 세밀하게 변조레벨을 조절하는데 필요한 Cross QAM 변조방식에 성좌점별 판정영역 특성을 고려한 DD기반의 SNR 추정성능에 대한 연구가 진행된 바 있다[6].

본 논문에서는 [1][4][5]에서 제시된 DD 방식의 SNR 추정알고리즘을 설명하고, 이 추정방식을 기준 판정영역내에 들어온 샘플들을 이용해 SNR을 추정하는 알고리즘[3],[6],[7]에 적용하였을때, 추정된 신호 성좌점의 평균치가 이동함으로써 DD방식의 SNR 추정에 오차를 발생시키게 되는 문제점을 제기한다. 이러한 추정오차가 발생하는 현상을 변형된 확률밀도함수를 기반으로 설명하고, 실제의 SNR과 추정된 SNR과의 오차를 이론적으로 유도하여 정량적으로 분석하고 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 확인한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 우선 II장에서 최대우도 진폭추정에 대해 설명하고, III장에서는 DD 방식의 SNR추정기법의 추정오차에 대해 이론적으로 유도한다. IV장에서 III장에서 유도한 수식과 컴퓨터

시뮬레이션을 통해 추출한 SNR추정오차를 비교분석하고, 마지막으로 V장에서 결론을 맺는다.

II. 최대우도(ML)방식의 진폭추정 개요

본 장에서는 [1],[4],[5]에서 SNV RXDA 추정이라 명명되어 제시된 최대우도방식 추정에 기반한 알고리즘으로, DD방식에서 수신샘플들의 절대값의 평균을 취한 값을 진폭추정치로 사용하여 SNR을 추정하는 방식에 대해 설명한다.

송신신호 샘플을 x_n , 수신기의 수신신호 샘플을 y_n , 잡음성분의 샘플을 w_n 이라 하면, 시간동기와 위상동기가 이상적일 경우, BPSK 변조 시스템에서 AWGN 채널을 통해 수신된 수신샘플은 다음과 같이 표현된다.

$$y_n = x_n + w_n \quad (1)$$

여기서, 송신신호 x_n 은 디지털 정보 '1'과 '0'에 대해서 각각 A와 -A값에 대응되고 발생확률이 동일한 랜덤변수이고, 잡음성분 w_n 은 평균이 0이고 분산이 σ^2 인 실수형 가우스확률 밀도를 갖는 랜덤변수이다.

송신신호가 A일 때와 -A일 경우의 수신신호의 확률밀도함수는 각각 $p_1(y_n)$, $p_0(y_n)$ 로 표기하기로 하면, 가우스확률밀도함수로 나타나므로 식(2)와 같이 표현된다.

$$p_1(y_n) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-(y_n - A)^2 / (2\sigma^2)} \quad (2)$$

$$p_0(y_n) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-(y_n + A)^2 / (2\sigma^2)}$$

송신신호의 발생확률은 동일하므로, y_n 에 대한 확률밀도함수는 다음과 같이 주어진다.

$$p(y_n) = \frac{1}{2}(p_1(y_n) + p_0(y_n)) \quad (3)$$

AWGN 채널에서 L개의 수신샘플들은 각각 독립으로 간주할 수 있으므로 이에 대한 결합확률밀도함

수는 각각의 수신샘플의 확률밀도함수들에 대한 곱으로 표현될 수 있다. 이를 $p_L(y_1, y_2, \dots, y_L)$ 이라 하면, 진폭 A에 대한 미분을 취해 0이 되는 A값을 찾는 방식으로 진폭에 대한 최대우도추정이 이루어질 수 있고 이는 아래식의 해와 같다.

$$A = \frac{1}{L} \sum_{n=1}^L y_n \frac{\left(e^{\frac{Ay_n}{\sigma^2}} - e^{-\frac{Ay_n}{\sigma^2}} \right)}{\left(e^{\frac{Ay_n}{\sigma^2}} + e^{-\frac{Ay_n}{\sigma^2}} \right)} \quad (4)$$

이때, SNR이 높을 경우 최대우도 진폭 추정치와 SNR 추정치는 각각 다음과 같이 간략화 될 수 있다.

$$\hat{A} = \frac{1}{L} \sum_{n=1}^L |y_n| \quad (5)$$

$$\widehat{SNR} = \frac{(\hat{A})^2}{\frac{1}{L} \sum_{n=1}^L y_n^2 - (\hat{A})^2} \quad (6)$$

III. DD기반 SNR 추정 기법의 추정오차

본 논문에서는 DD기반의 추정방식 중 송신신호에 대응되는 수신기의 판정영역에 따라 기준판정영역으로 수신된 샘플들을 이용해 송신신호의 진폭과 SNR을 추정하는 방식의 문제점을 살펴보고 SNR추정오차에 대해 이론적으로 유도한다.

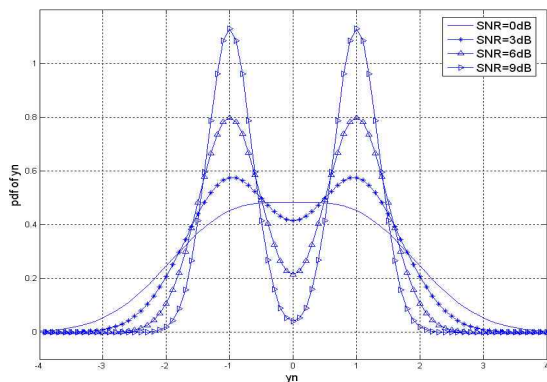


그림 1. 수신샘플 y_n 의 확률밀도함수 $p(y_n)$ ($A=1$ 로 고정)

Fig. 1. Probability density function $p(y_n)$ of received sample y_n ($A=1$)

BPSK 시스템의 경우 식(3)으로 주어지는 수신샘플의 확률밀도함수 $p(y_n)$ 의 그래프를 그림1에 나타내었다.

그림 1에서 진폭 A는 1로 고정하였고, 잡음분산 σ^2 을 변동시켜, SNR이 0~9dB인경우의 수신샘플의 확률밀도함수를 나타낸 것이다. 상기 언급한 DD방식으로 SNR을 추정하는 경우 수신샘플이 양의 값인 샘플들을 가지고, 송신신호의 진폭 A를 추정하게 되며, 동일한 방식으로 수신샘플이 음의 값인 샘플들로 진폭 A를 추정하거나, 이 두가지 추정진폭의 평균을 내어 진폭을 추정할 수 있다. 유사한 방식으로 QAM 계열에서도 특정 판정영역으로 수신된 수신샘플들로 성좌점의 평균치를 구함으로써 SNR을 추정하도록 할 수 있으나, 본 논문에서는 해석을 간소화 하기 위해 BPSK 변조를 가정한다. 그림1에서 양의 판정영역 샘플들로 A를 추정하는 경우를 가정하여 설명하면, 송신단에서 -A를 보냈을 경우 잡음으로 인해 양으로 수신되는 샘플들이 존재할 것이다. 이러한 현상은 잡음분산이 클 수록 심화될 것을 예상할 수 있다. 이를 보다 쉽게 확인할 수 있도록 그림2에 SNR=0dB인 경우의 수신샘플의 확률밀도함수 $p(y_n)$ 과, 송신단에서 A를 보냈을 경우의 확률밀도함수 $p_1(y_n)$, 그리고 -A를 보냈을 경우의 확률밀도함수 $p_0(y_n)$ 을 중첩하여 도시하였다.

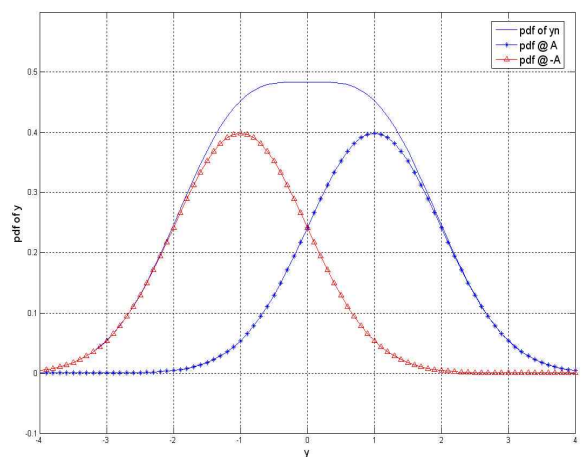


그림 2. $p(y_n)$, $0.5p_1(y_n)$, $0.5p_0(y_n)$ 그래프 ($A=1$, SNR=0dB)

Fig. 2. Graphs of $p(y_n)$, $0.5p_1(y_n)$, $0.5p_0(y_n)$ ($A=1$, SNR=0dB)

그림 2에서 양의 판정영역 샘플들로 A를 추정하는 것을 가정할때, 송신단에서 -A를 보냈을 경우, 잡음으로 인해 양으로 수신되는 샘플들이 존재할 것이다. 확률밀도함수 그림에서 Δ 로 표시된 그래프가 양의영역으로 침범되어 넘어온 부분이 이에 해당하는 경우이다. 이때, 양의영역으로 침범된 Δ 표시 그래프가 진폭 A(=1)을 넘어서는 성분이 있으므로 양의 판정영역에 수신된 샘플들로 진폭 A를 추정하는 경우, 잡음분산이 클수록 양의 샘플들의 평균을 취해 구하는 진폭추정치가 실제진폭보다 우측으로 밀리는 현상이 발생할 것이라는 것은 분명하다. 이러한 현상에 착안하여 양의영역으로 판정되는 샘플들의 변형된 확률밀도함수의 평균값이 변화되는 양을 이론적으로 유도하여, DD 방식의 SNR 추정오차를 구하고자 한다.

그림 2에서 실선으로만 표시된 $p(y_n)$ 의 양의 판정영역 부분만($y_n > 0$)을 추출한 것에 2를 곱한 것을 변형된 확률밀도함수로 간주하여 $p_+(y_n)$ 이라 하면 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} p_+(y_n) &= \{p_1(y_n) + p_0(y_n)\} \cdot u(y_n) \\ &= \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \left\{ e^{-(y_n-A)^2/(2\sigma^2)} + e^{-(y_n+A)^2/(2\sigma^2)} \right\} \cdot u(y_n) \end{aligned} \quad (7)$$

여기서, $u(y_n)$ 은 y_n 이 양수일 경우에만 값이 1인 단위계단함수이다.

식(7)을 이용하여 양의영역에 수신된 샘플들의 평균치를 유도해 보면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} m &= \int_0^{\infty} y_n (p_1(y_n) + p_0(y_n)) dy_n \quad (8) \\ &= \frac{2\sigma}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{A^2}{2\sigma^2}} - 2A Q\left(\frac{A}{\sigma}\right) + A \end{aligned}$$

여기서 $Q(\cdot)$ 는 오차보함수로서 식(9)로 정의된다.

$$Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^{\infty} \exp(-u^2/2) du \quad (9)$$

DD방식의 SNR추정방식으로 양의 샘플들만 가

지고 진폭을 추정하게 되면, 샘플의 개수가 많은 경우 진폭추정치 \hat{A} 은 식(8)에서 구한 m 에 근접하게 된다. 따라서 실제의 신호진폭 A와 추정된 진폭 \hat{A} 사이에는 $m - A$ 만큼의 평균오차가 발생하게 되어 결과적으로 SNR 추정에도 평균오차가 생기게 된다.

식(8)을 이용하여 SNR 추정치와 실제 SNR의 비율을 dB단위로 구해보면 다음과 같다.

$$\Delta SNR = 20 \log_{10} \left(\sqrt{\frac{2}{\pi SNR}} e^{-SNR/2} - 2Q(\sqrt{SNR}) + 1 \right) \quad (10)$$

식(10)을 이용하면 DD방식으로 SNR을 추정했을 때의 추정치에서 발생한 오차를 실제의 SNR로 보정할 수 있다. 그림3에서는 DD방식의 SNR추정예러, DD방식의 SNR추정치, SNR추정치에서 추정예러를 보정한 보정치, 그리고 이상적인 SNR추정치에 대해 앞에서 이론적으로 유도한 식을 이용하여 그래프로 나타내었다. SNR추정치에서 추정예러 만큼을 보정하여 이상적인 경우의 추정치로 만들 수 있음을 알 수 있다.

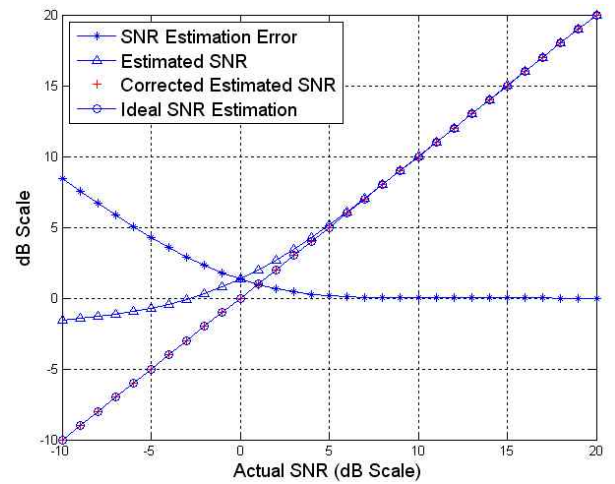


그림 3. 유도식 (10)을 이용한 SNR 추정예러의 보정 효과

Fig. 3. Effect of SNR estimation error correction using derived equation (10)

IV. 수치해석 및 시뮬레이션

본 논문에서 유도한 식을 이용한 SNR 추정오차보정 효과를 검증하기 위해 BPSK 변조시스템에 대한 DD방식의 SNR추정을 시뮬레이션 해보고, SNR추정치를 식(10)을 이용하여 보정하여 이상적인 SNR추정치와 유사한 지 확인해본다.

표1에는 SNR추정에러에 대한 시뮬레이션을 수행시의 조건들을 나타내었다. AWGN 채널을 고려하여 BPSK시스템을 가정하였고, 실제 SNR은 -20dB~20dB, SNR추정을 위한 샘플수 N은 1000으로 하였다.

표 1. SNR 추정에러 보정 시뮬레이션 조건
Table 1. Simulation condition for SNR estimation error correction

파라미터	설명
변조방식	BPSK
실제 SNR	-20dB~20dB
채널	AWGN
SNR 추정용 샘플 수	1000

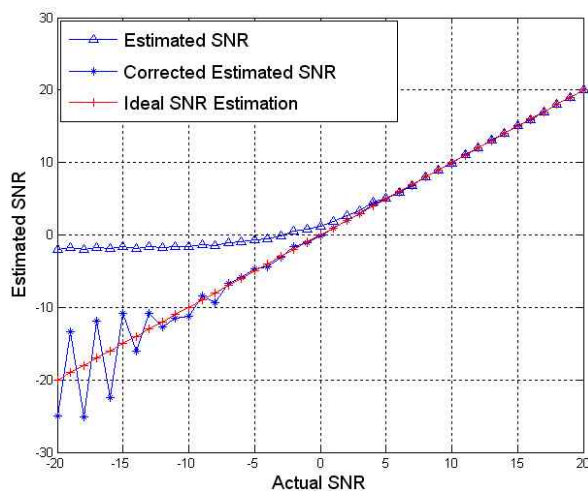


그림 4. SNR 추정 성능비교(N=1000)
Fig. 4. Comparison of SNR estimation performances(N=1000)

추정한 SNR값과 대응되어 보정되어야 하는 보정치를 식(10)에 의해 구하여 보정치의 테이블을 작성하고 이를 이용하여 보정된 최종적인 추정값을 그림 4에 그래프로 나타내었다.

그림4에서 △로 표시된 그래프는 실제SNR에 따른 기존의 DD방식의 SNR 추정 성능을 나타내며, +로 표시된 그래프는 이상적인 경우의 SNR추정성능 그래프, *로 표시된 그래프는 본 논문에서 제안된 추정오차 보정기법을 적용한 경우의 SNR추정성능 그래

프이다. 제안된 기법을 적용한 경우 -10dB이하의 낮은 SNR 상황에서는 추정성능이 다소 편차가 있지만 기존의 DD방식의 성능보다 훨씬 우수하며, 전체적으로 이상적인 경우의 성능에 근접한 형태로 나타나고 있다.

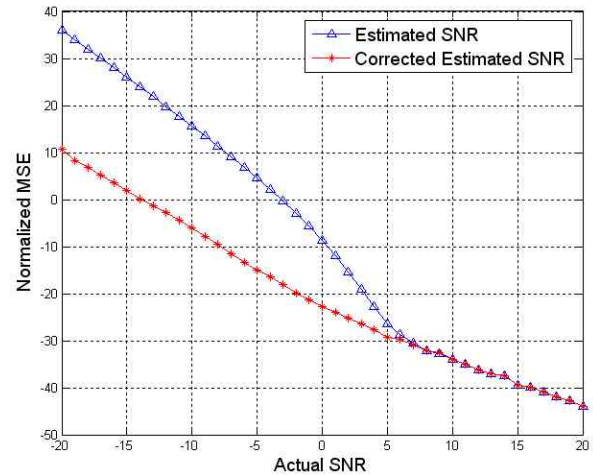


그림 5. 추정 SNR에 대한 정규화된 MSE 성능비교(N=1000)

Fig. 5. Comparison of normalized MSE performance for SNR estimation schemes(N=1000)

그림 5는 제안한 방식의 SNR추정오차에 대한 MSE 성능을 기존의 DD방식과 비교한 그래프이다.

△로 표시된 그래프가 기존의 DD방식의 SNR추정시의 MSE이며, +로 표시된 그래프는 제안한 오차보정기법을 적용한 경우의 SNR추정시의 MSE이다. 제안한 방식의 성능이 실제 SNR이 5dB이하의 경우에도 매우 우수한 것으로 나타났다.

V. 결 론

본 논문에서는 기존의 참고문헌들에서 제시된 DD방식의 SNR 추정알고리즘을 설명하고, 기존의 추정 방식에서 추정된 신호 진폭 평균치가 이동함으로써 발생하는 평균 SNR 추정 오차가 발생되어 생기는 문제점을 제기하고 이를 개선할 수 있는 방안을 제시하였다. 이를 위해, 실제의 SNR과 DD방식에서 추정된 SNR과의 오차를 이론적으로 유도하여, DD방식에서 추정된 SNR을 보정할 수 있는 양을 정량적으로 분석할 수 있도록 제시하였고, 제안된 보정기법을 통해

SNR추정성능과 SNR추정오차에 대한 MSE성능이 개선됨을 이론분석과 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 확인하였다. AWGN 채널에서 DD방식의 SNR추정기법을 채용하는 경우 제안한 추정치 보정기법을 도입함으로써 통신 시스템의 성능을 크게 개선시킬 수 있으므로, 시스템 설계시 효과적으로 활용할 수 있을 것이다.

Reference

- [1] D. R. Pauluzzi and N. C. Beaulieu, "A comparison of SNR estimation techniques for the AWGN channel," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 48, pp. 1681-1691, Oct. 2000.
- [2] G. Albertazzi, S. Cioni, G. Corazza, M. Neri, R. Pedone, P. Salmi, A. Vanelli-Coralli, and M. Villanti, "On the adaptive DVB-S2 physical layer: Design and performance," *IEEE Wireless Commun. Mag.*, vol. 12, no. 6, pp. 62-68, Dec. 2005.
- [3] Doukas, Athanasios, Kalivas, Grigorios, "A modified EVM SNR estimation method for QAM OFDM systems in AWGN channel," *Wireless Conference 2006*, pp. 1-6, Apr. 2006.
- [4] B.Li, R. DiFazio, and A. Zeira, "A low bias algorithm to estimate negative SNRs in an AWGN channel," *IEEE Comm. Letters*, vol.6, no.11, pp.469-471, Nov. 2002.
- [5] Seon Ae Kim, Dong Geon An, Heung-Gyoon Ryu, and Jin-up Kim, "Efficient SNR estimation in OFDM system," *Radio and Wireless Symposium (RWS)*, pp. 182-185, 2011.
- [6] Jae-Min Kwak, "EVM based SNR estimation performance in cross QAM using selected constellation points," *The Journal of Korea Navigation Institute*, vol. 16 num. 3, June 2012.
- [7] Myung-Ik Kim and Sang-Sik Ahn, "Adaptive OFDM system employing a new SNR estimation method," *Journal of the Institute of Electronics Engineers of Korea*, vol. 43-TC, no. 3, Nov. 2006.

곽재민 (郭宰旻)



1998년 2월 : 한국항공대학교 통신정보공학과(공학사)

1999년 8월 : 한국항공대학교 대학원통신정보공학과(공학석사)

2002년 8월 : 한국항공대학교 대학원통신정보공학과(공학박사)

2002년 7월~2003년 7월 : 한국전자

통신연구원 네트워크 연구소 (Post-doc.)

2003년 7월~2008년 2월 : 전자부품연구원 SoC 연구센터 책임연구원

2008년 3월~현재 : 목포해양대학교 해양정보통신공학과 조교수

관심분야 : 디지털 통신 시스템, 유무선 통신신호처리