

적응 간섭 제거 시스템을 위한 상관도를 적용한 적응적 궤환 간섭 제거 알고리즘

Adaptive Feedback Interference Cancellation Algorithm Using Correlations for Adaptive Interference Cancellation System

한 용 식 · 양 운 근

Yong Sik Han · Woon Geun Yang

요 약

셀룰러 시스템에서의 음영 지역 해소 및 전송 용량 증대를 위해 중계기의 중요성은 계속적으로 증가하고 있다. 그러나 RF 중계기는 중계된 전송 신호의 일부가 궤환되어 다시 수신 안테나에 수신되는 궤환 간섭 신호가 발생한다. 이런 문제를 해결하기 위하여 본 논문에서는 RF 중계기의 성능 개선을 위해 상관도를 적용한 Sign-Sign LMS(Least Mean Square)를 제안하였다. 기존 알고리즘의 제공된 에러를 최소화하기 위해 가중치 벡터는 입력 신호와 오차 신호의 부호에 취하고, 이를 활용하여 갱신된다. 제안된 간섭 제거기는 기존 방식과 비교하여 MSE(Mean Square Error) 측면에서 최대 10 dB의 성능 이득을 가진다.

Abstract

To reduce the outage probability and to increase the transmission capacity, the importance of repeaters in cellular systems is increasing. But a RF(Radio Frequency) repeater has a problem that the output of the transmit antenna is partially feedback to the receive antenna, which is feedback interference. In this paper, we proposed adaptive Sign-Sign LMS(Least Mean Square) algorithm using correlations for the performance enhancement of RF repeater. The weight vector is updated by using sign of input signal and error signal to the least squared error of the conventional algorithms. When compared with the conventional method, the proposed canceller achieves the maximum 10 dB performance gain in terms of the MSE(Mean Square Error).

Key words : ICS(Interference Cancellation System), Sign-Sign LMS(Least Mean Square), RF(Radio Frequency) Repeaters, Multipath Channel, Feedback Interference

I. 서 론

최근 정보화의 발달로 무선 통신에 대한 수요 증가로 인해 통신을 원활하게 하기 위해 RF(Radio Frequency) 중계기를 많이 사용하고 있다. 특히 RF 중계기는 광 중계기에 비해 설치가 간단하고, 운용 비용 면에서 효율적이지만 중계기의 송신 시 고출력의

RF 송신 신호의 일부가 수신단으로 유입되는 궤환 잡음이 발생하고, 중계기에 의해 증폭되어 이로 인해 발진이 발생하게 된다. 이러한 송수신 안테나 간의 간섭을 막기 위해 송수신 안테나를 따로 설치하거나 안테나 사이에 차폐막을 설치하기도 하나, 충분히 간섭신호가 감쇄되지 않기 때문에 간섭 제거 방식이 필요하다. 이를 위해 사용되는 ICS(Interfe-

인천대학교 전자공학과(Department of Electronics Engineering, University of Incheon)

· 논문 번호 : 20100114-002

· 교신저자 : 양운근(e-mail : wgyang@incheon.ac.kr)

· 수정완료일자 : 2010년 3월 16일

rence Cancellation System) 기술은 중계기 수신 안테나의 간섭 제거를 통해 수신 성능을 향상시켜 주게 되어, 음영 지역을 해소하고, 데이터 송수신과 통신 용량을 증대시켜 준다^{[1],[2]}.

본 논문에서는 적응 간섭 제거 알고리즘으로 LMS (Least Mean Square) 알고리즘의 변형된 형태인 상관도를 적용한 sign-sign LMS 알고리즘을 제안한다. 이 알고리즘은 시변 환경에서 실시간으로 변화하는 궤환 간섭 잡음과 다중 경로 잡음을 제거한다.

2장에서는 ICS 중계기의 동작원리와 기존 LMS 알고리즘에 대해 기술하고, 3장에서는 상관도를 적용한 sign-sign LMS 알고리즘을 구현하고, 4장에서는 각 알고리즘에 따른 전산 모의실험을 실행한다. 그리고 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

II. ICS 중계기의 동작 원리

현재 RF 중계기에서 중계 신호의 발진을 억제하기 위한 방법으로 송수신 안테나 사이의 거리를 멀리 이격시킴으로써 안테나간의 이격(isolation)을 확보하는 방법과 발진이 생기지 않는 범위 내에서 출력을 제한하는 방법이 있으나, 일정한 거리를 이격해야 되고, 다중 경로의 영향을 많이 받는 단점이 있다.

본 논문에서 RF 중계기에 제안한 ICS 기술을 추가해서 RF의 출력 신호가 입력 신호로 궤환되는 신호를 제거함으로써 발진 현상을 막을 수 있어서 원하는 신호를 보낼 수 있다. 적응형 ICS는 궤환 간섭 잡음을 제거하기 위해 궤환 간섭 신호를 실시간으로 인지하여, 적응 알고리즘을 통해 간섭 제거 파라미터, 즉 지연 시간, 위상, 진폭 등의 값을 결정하고, 계산된 값을 새로운 궤환 신호에 가중치(weighting)를 주어 지속적인 궤환 간섭 잡음을 제거하는 구조를 갖는다.

그림 1은 본 논문에서 알고리즘을 적용하고자 설계한 RF 중계기의 기본 구조이다. 실제 무선 통신 환경에 적용하도록 수신 단으로 입력되는 궤환 간섭 신호인 n_k 에 대해 지연 시간(τ), 위상(ϕ), 진폭(A) 등의 가변 값을 시간의 변화에 따라 적응적으로 실시간 보상해 줄 수 있도록 해준다. 이러한 적응 알고리즘은 실시간으로 변하는 궤환 간섭 신호를 제거로 인해 ICS 블록에서 변화하는 시변 궤환 간섭 잡음을

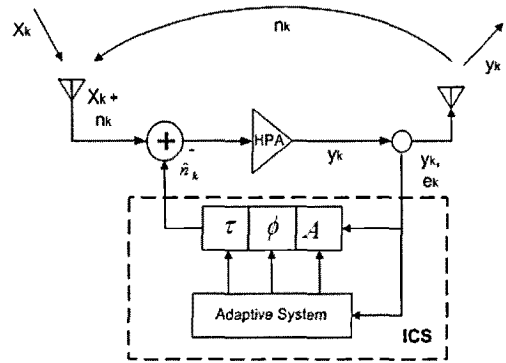


그림 1. 적응제어 시스템을 적용한 ICS 구조
Fig. 1. The structure of ICS using the adaptive control system.

효율적으로 제거하기 위한 적응성 알고리즘을 사용하여 간섭 제거를 수행한다.

기존 알고리즘을 분석해 보면 대표적 알고리즘으로서 LMS는 최소 평균 자승 알고리즘으로서 데이터로부터 경사도 벡터를 추정한다. LMS 알고리즘은 FIR 필터의 출력과 신호와의 오차를 최소화하는 방향의 가중치 값을 구해줌으로써 제곱 에러를 최소화하는 것이다. 즉, 수신된 신호와 판정된 신호 간 오차의 MSE(Mean Square Error)를 최소화하는 기법으로 RLS(Recursive Least Square) 알고리즘보다 수식이 간단하고, 하드웨어적으로 복잡하지 않지만, 채널 적응 속도가 느리다. LMS 알고리즘과 관련된 관계식을 살펴보면 다음과 같다.

$$y_k = W_k X_k \quad (1)$$

$$e_k = d_k - W_k^H X_k \quad (2)$$

∇_k 가 0일 때 제곱 에러가 최소

$$\nabla_k = \frac{\partial e_k^2}{\partial w} = \frac{\partial}{\partial w} (d_k - W_k^H X_k)^2 = 2e_k X_k \quad (3)$$

가중치를 갱신하는 수식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} W_{k+1} &= W_k + \mu(-\nabla_k) = W_k + \mu(2e_k X_k) \\ &= W_k + 2\mu e_k X_k \end{aligned} \quad (4)$$

가중치값은 갱신을 통해서 필터 출력 신호와 에러 신호를 생성할 수 있다.

여기서, y_k , X_k 는 k 번째 필터 출력 신호와 입력 신호이고, e_k 와 d_k , W_k 는 k 번째 error, 원하는 신

호, 가중치 값이고 μ 는 적응 상수이다. 적응 상수 μ 값이 크면 적응 속도는 빨라지나, 평균 자승 에러는 높아지며, 적응 상수 μ 값이 작으면 적응 속도는 느려지나, 평균 자승 에러는 낮아진다. 그래서 스텝 사이즈 μ 의 범위는 다음과 같다^{[2][7]}.

$$1 < \mu < \frac{1}{\lambda_{\max}} \quad (5)$$

여기서 λ_{\max} 는 입력 신호에 대한 자기상관 행렬의 최대 고유값이다.

LMS 알고리즘은 수렴 속도가 느리고, 스텝 사이즈와 신호의 크기에 따라 수렴 특성이 떨어지는 단점을 가지고 있다. 이러한 단점을 보완하기 위해 μ 값을 신호의 에너지로 정규화시킴으로써 신호의 크기를 일정하게 유지하여 LMS의 수렴성을 향상시킬 수 있다. 이러한 알고리즘을 NLMS(Normalized LMS)라 하고, 필터 계수의 갱신 수식에서 μ 값을 다음과 같이 한다.

$$\mu = \frac{\tilde{\mu}}{\|X_{\max}\|^2}, \quad 0 < \alpha < 2 \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \tilde{\mu} &= \tilde{\mu}_{\max}, \quad \tilde{\mu}_{\max} < \frac{\beta e_k^2}{X_k^2} \\ &= \frac{\beta e_k^2}{X_k^2}, \quad \text{otherwise} \\ &= \tilde{\mu}_{\min}, \quad \tilde{\mu}_{\min} > \frac{\beta e_k^2}{X_k^2} \end{aligned} \quad (7)$$

여기서 $\tilde{\mu}$ 는 NLMS 알고리즘의 스텝 사이즈로서 수렴 속도와 수렴오차를 결정하는 상수이고, β 는 평균적인 $\tilde{\mu}$ 값의 크기를 결정하는데 사용한다.

III. 제안된 알고리즘 구현

LMS 알고리즘에서 사용하는 스텝 사이즈는 스칼라 값이지만 필터의 계수는 벡터이기 때문에 각각의 필터 계수에 동일한 스텝 사이즈를 적용하여 계수를 갱신하게 된다. 따라서 각각의 계수의 최적의 스텝 사이즈를 적용한다고 할 수 없다.

본 논문에서는 상관도를 적용한 sign-sign LMS 알고리즘의 수렴 현상을 이용하여 큰 스텝을 이용하여 에러를 빠르게 추정하며, 수렴할 때마다 스텝 크기를 줄여가는 적응형 스텝을 적용함으로써 알고리즘

의 적응 수렴 시간과 평균 자승 에러를 줄여나갈 수 있으며, 향후 간섭 신호 제거를 위한 DSP(Digital Signal Processor) 구현 시 보다 용이하게 구현할 수 있다. 에러 수렴이 발생할 때마다 스텝의 크기를 줄이면서 정밀하게 에러를 추정해 나가는 방식이다. 즉, 이것은 속도와 정확성을 모두 만족시키는 보정방법을 제공하는 알고리즘으로 상관도를 적용한 sign-sign LMS 알고리즘을 적용한다. 입력 신호와 에러 신호의 sign 알고리즘은 다음과 같이 정의된다.

$$W_{k+1} = W_k + 2\mu \text{sgn}(e_k) \text{sgn}(X_k) \quad (8)$$

$$\text{여기서 } \text{sgn}(a) = \begin{cases} 1; & a > 0 \\ 0; & a = 0 \\ -1; & a < 0 \end{cases}$$

이렇게 할 경우 계수를 갱신하는데 걸리는 시간을 줄이기 위해 제안된 알고리즘인 sign-sign LMS 알고리즘을 적용한다. 행렬에서 sgn 운영자는 요소별로 적용된다. Sgn은 signum 함수로 양수, 음수값을 갖게 된다. 그래서 $\text{sgn}(e_k) \text{sgn}(X_k)$ 의 값에 따라 $W_k + 2\mu e_k \cdot (+X_k)$ 혹은 $W_k - 2\mu e_k \cdot (-X_k)$ 를 선택하여 계수를 갱신시킬 수 있다. 이것을 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$W_{k+1} = W_k \pm 2\mu e_k \cdot (\pm X_k) \quad (9)$$

가변적인 스텝 사이즈 μ 를 위해 식 (6), (7)을 적용하였다. 참조 입력과 에러 신호 사이의 상관도를 이용하여 최소 자승 에러를 구할 수 있으며, 최적의 스텝 사이즈 값을 결정하기 위해 적응형 필터가 수렴함에 따라 0으로 수렴하여야 한다. 이를 이용하여 가변 스텝 사이즈의 β 값에 적용함으로써 스텝 사이즈 크기를 적절하게 조절할 수 있다. 이것은 최적의 스텝 사이즈를 필터계수를 갱신하는데 사용된다. 두 신호의 상관도를 구하는 식은 다음과 같다.

$$\gamma_{X_{\text{ref}} X_k} = \frac{1}{L} \sum_{k=0}^L X_k e_k \quad (10)$$

최소 자승 에러는 다음과 같다.

$$MSE = E[|\gamma_{X_{\text{ref}} X_k} - \hat{\gamma}_{X_{\text{ref}} X_k}|^2] \quad (11)$$

MSE의 경사치는 다음과 같다.

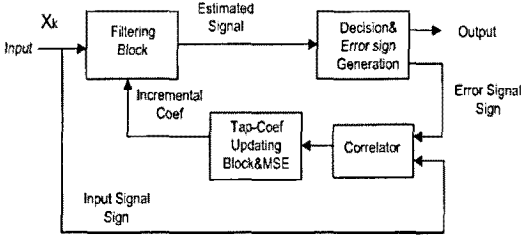


그림 2. 제안된 상관도를 적용한 sign-sign LMS 알고리즘의 블록도

Fig. 2. The block diagram of the proposed sign-sign LMS algorithm using correlation.

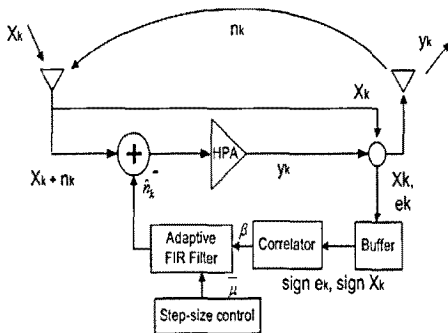


그림 3. 제안한 간섭 제거 시스템 구성도

Fig. 3. The structure of the proposed ICS.

$$\nabla_{\beta} [MSE] = -2E[e_k \gamma_{e_k}] \quad (12)$$

$$\gamma_{e_k e_k} = \frac{1}{L} \sum_{k=0}^L e_k e_k, \quad 0 \leq k < L \quad (13)$$

여기서 $\gamma_{e_k e_k}$ 은 여러 신호의 상호 상관도이고, X_k 는 참조 입력 신호, e_k 는 여러 신호이고, L 은 필터 탭 수이다.

그림 2는 제안하는 상관도를 적용한 sign-sign LMS 알고리즘의 블록도로서 입력 신호 값(X_k)과 에러신호 값(e_k)의 부호를 취하여 계수를 갱신할 수 있다.

그림 3에서는 간섭 제거 시스템으로 구성한 것으로서 버퍼와 상관기부를 추가하였다. 버퍼는 상관도를 구하기 위한 에러값과 참조 입력값을 저장하고, 상관기를 통해 에러값과 참조 입력값의 상관도를 구하여 적응 FIR(Finite Impulse Response) 필터 내의 MSE를 구할 수 있고, 적절한 스텝 사이즈 조절을 통해 보다 정확한 필터계수를 갱신할 수 있다.

IV. 전산 모의 실험

단말기가 중계기를 통해 기지국 신호를 전송받는 과정에서, 궤환 경로와 페이딩 경로 등을 적용하였다. 아래 표 1은 ICS 중계기의 전산모의 실험을 위한 조건 값이다.

그림 4는 기존 대표적인 방식과 제안한 방식의 BER(Bit Error Rate) 대 SNR(Signal to Noise Ratio) 성능을 실험으로 비교한 결과이다. 기본적인 LMS와 변형된 LMS를 비교하였을 때 BER 성능이 전체적으로 큰 차이를 보이고 있다. 이것으로 보아 기존 LMS는 궤환되는 다중 환경에 효율적으로 대응하지 못한다는 것을 알 수 있다. SNR은 15 dB 적용하였으며, SNR 5 dB 기준으로 볼 때 BER 성능이 향상되었다.

표 1. 전산 모의 실험 조건

Table 1. Conditions in simulation experiments.

항 목	내용
Multiple access	WCDMA
Frequency range	Forward: 2,130~2,150 MHz Reverse: 1,940~1,960 MHz
System bandwidth	10 MHz
Sampling frequency	10 MHz
System time delay	8 μ S 이하
Signal to noise ratio	10~15 dB

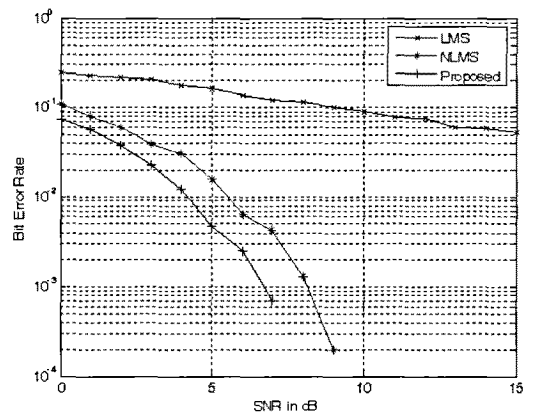


그림 4. 제안된 알고리즘과 LMS, NLMS 알고리즘의 비트 오류율과 신호 대 잡음비 성능

Fig. 4. Bit error rate vs. signal to noise ratio performance of the proposed algorithm and LMS, NLMS algorithms.

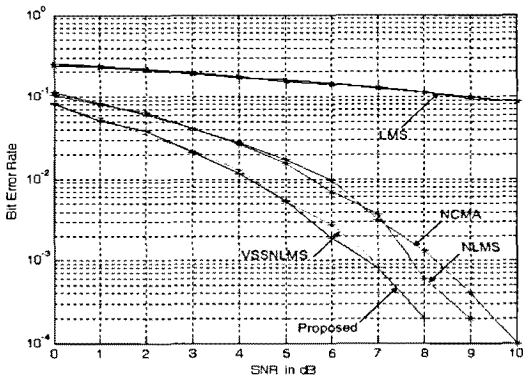


그림 5. 제안된 알고리즘과 기존 알고리즘들의 비트 오율과 신호 대 잡음비 성능

Fig. 5. Bit error rate vs. signal to noise ratio performance of the proposed algorithm and conventional algorithms.

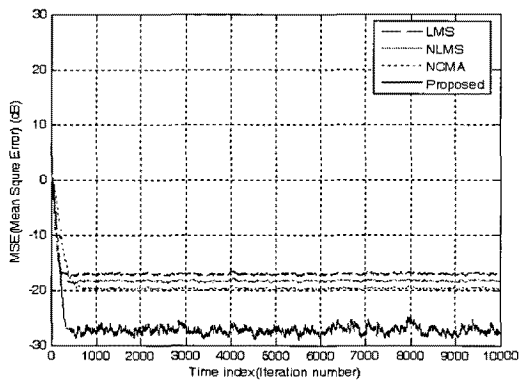


그림 6. 제안된 알고리즘과 기존 알고리즘들의 평균 자승 오차와 수렴율

Fig. 6. Mean square error vs. convergence performance of the proposed algorithm and conventional algorithms.

그림 5는 다른 변형된 LMS 방식, CMA 방식과 제안한 방식의 BER 대 SNR 성능을 실험으로 비교한 결과이다. BER 10^{-3} 기준으로 보면 SNR이 약 1.7 dB 정도 NLMS 알고리즘이 NCMA(Normalized Constant Modulus Algorithm) 알고리즘보다 우수하다. 제안된 알고리즘을 VSS(Variable Step Size) NLMS 알고리즘과 비교해 보면 거의 비슷하게 보이다가 SNR 5 dB 이후 성능이 우수함을 볼 수 있다.

그림 6은 다른 알고리즘 방식과 제안된 방식의 평균자승 에러를 비교한 결과이다. 반복 횟수 5,000으로 기준을 볼 때 MSE 최대 10 dB의 성능 향상을 보

여준다. 또한, 제안된 방식은 MSE -27 dB를 기준으로 반복 횟수 약 200번의 빠른 수렴 속도를 볼 수 있다.

여기서 LMS 알고리즘의 적응상수 μ 를 0.001로 설정하였으며, 제안된 알고리즘을 비롯한 다른 알고리즘의 적응상수 μ 는 식 (6)에서처럼 가변적이고 통계적인 값을 적용하였다. 이것으로 볼 때 제안된 알고리즘은 적응도가 빠르면서도 평균 자승에러율이 낮아 간섭 제거에 효율적인 것을 알 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 적응 간섭 제거 시스템을 위한 상관도를 적용한 sign-sign LMS 알고리즘을 제안하였고, 이 알고리즘에서 가중치 벡터는 입력 신호와 에러 신호의 부호로 취하고, 이를 활용하여 갱신시킨다. 이렇게 함으로써 평균 자승 에러를 줄이고 적응 수렴 속도를 높일 수 있다. 실험을 통해 최대 10 dB의 평균 자승 에러율 성능향상과 약 200번의 반복 횟수의 성능 향상을 볼 수 있었다. 이는 제안된 알고리즘이 다중 환경에서 보다 유연하고, 빠르게 적응할 수 있으며, 제한 간섭을 효율적으로 제거할 수 있다. 또한, 다른 알고리즘에 비해 수식이 간단하므로 ICS 시스템을 향후 DSP를 이용하여 하드웨어를 구성할 때 복잡도를 줄일 수 있을 것으로 기대된다.

앞으로 이 알고리즘을 적용한 RF 중계기를 구성하여 현장 실험을 하고 이와 더불어 지속적인 연구가 있어야 될 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] Simon Haykin, *Adaptive Filter Theory*, 4th Edition, Prentice Hall Inc., pp. 231-311, 2002.
- [2] M. Chakraborty, H. Sakai, "Convergence analysis of complex LMS algorithm with reference signals", *IEEE Transactions on Speech and Audio Processing*, vol. 13, no. 2, pp. 286-292, Mar. 2005.
- [3] S. Goh, D. Mandic, "A class of gradient-adaptive step size algorithms for complex-valued nonlinear neural adaptive filters", *Proc. IEEE Int. Conf. Acoustics, Speech and Signal Processing*, vol. 5, no. 2, pp. 253-256, 2005.

[4] Lattice Semiconductor Corporation, "LMS adaptive filter", *Reference Design RD 1031*, Dec. 2006.
 [5] C. Ng, C. Y. Chung, S. H. Leung, and A. Luk, "A variable step size algorithm using evolution strategies for adaptive filtering", *Proc. IEEE Int. Conf. Evolutionary Computation*, vol. 1, pp. 542-545, Jul. 1999.
 [6] S. J. Kim, J. Y. Lee, J. C. Lee, J. H. Kim, B. Lee,

and N. Y. Kim, "Adaptive feedback interference cancellation system(AF-ICS)", *Proc. IEEE MTT- S Int. Microwave Symp, Dig.*, vol. 1, pp. 627-630, Jun. 2003.

[7] M. R. Asharif, T. Hayashi, "Correlation LMS algorithm and its application to double-talk echo cancelling", *Proc. IET.*, vol. 35, no. 3, pp. 194-195, Feb. 1999.

한 용 식



1994년 2월: 경일대학교 전자공학과 (공학사)
 2003년 2월: 영남대학교 정보통신공학과 (공학석사)
 2006년 9월~현재: 인천대학교 전자공학과 박사과정
 2007년 9월~현재: 한국산업기술대학교 전자공학과 겸임교수

[주 관심분야] 이동무선 통신 시스템, 간섭 제거 중계기, 전자파

양 운 근



1983년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학사)
 1985년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학석사)
 1994년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학박사)
 1988년 3월~현재: 인천대학교 전자공학과 전임강사, 조교수, 부교수, 교수

1997년 3월~2001년 12월, 2004년 2월~2005년 1월: (주) LG전자(구 (주)LG정보통신 포함) 자문교수
 2000년: 한국통신학회 산하 부호 및 정보이론연구회 위원장
 2001년 5월~2002년 2월: 한국전자통신연구원 무선방송연구소 초빙연구원
 2003, 2004, 2005년도: 세계인명사전 마르퀴즈 "Who's Who in the World" 등재
 2005년~2006년도: 세계인명사전 마르퀴즈 "Who's Who in Science and Engineering" 등재
 [주 관심분야] 이동 통신 단말기, 안테나, 전자파 비흡수율