

논문 2009-46SP-6-16

이동 물체 탐지를 위한 자기센서 응용 신호처리 기법

(Light-weight Signal Processing Method for Detection of Moving Object based on Magnetometer Applications)

김기태*, 콧철현*, 홍상기**, 박상준**, 김건욱***

(Kitae Kim, Chulhyun Kwak, Sanggi Hong, Sangjun Park, and Keonwook Kim)

요약

본 논문에서는 이동 금속 물체 탐지 목적의 무선 센서네트워크 응용 시스템에 이용 가능한 저연산, 저전력 소모를 목적으로 하는 간결한 신호처리 알고리즘을 제안한다. 일반적 센서노드에 주로 사용되는 자기센서의 물리적 특성을 분석하고 Exponential Average method(EA)를 사용하여 시간 영역에서 실시간으로 센서 신호를 처리한다. EA를 사용하여 잡음, 시간, 온도에 따른 자기장 변화, 외부 간섭에 강인하면서 임베디드 프로세서에 적합한 적은 메모리소모와 연산량을 가진다. 또한 통계적 분석을 통해 제안하는 알고리즘의 최적화된 파라미터 값을 도출하고 적용하였다. 보편적으로 사용되는 자기 센서 모델의 시뮬레이션 결과 5%의 오경보 확률에서 90%이상의 이동 물체를 탐지할 수 있었다. 그리고 직접 제작한 센서 노드의 모델링 및 이를 이용한 시뮬레이션과 외부 실험의 결과 60~70% 이상의 탐지 확률을 확인하였다.

Abstract

This paper suggests the novel light-weight signal processing algorithm for wireless sensor network applications which needs low computing complexity and power consumption. Exponential average method (EA) is utilized by real time, to process the magnetometer signal which is analyzed to understand the own physical characteristic in time domain. EA provides the robustness about noise, magnetic drift by temperature and interference, furthermore, causes low memory consumption and computing complexity for embedded processor. Hence, optimal parameter of proposal algorithm is extracted by statistical analysis. Using general and precision magnetometer, detection probability over 90% is obtained which restricted by 5% false alarm rate in simulation and using own developed magnetometer H/W, detection probability over 60~70% is obtained under 1~5% false alarm rate in simulation and experiment.

Keywords : Exponential average method, Magnetometer, Digital signal processing, Wireless sensor network

I. 서론

무선 센서 네트워크(Wireless Sensor Network)는 통신, 연산, 저장 능력 등을 갖춘 초소형의 컴퓨터들을 이용하여 네트워크를 구성한 후, 설치된 지역에서 센서를 통해 물리적 정보를 획득하고 상황 정보를 추출하여 사용자에게 제공한다. 군사, 교통, 보안, 방재, 환경 연구 등 다양한 분야에서 필수 기술요소로서 개발이 진행되고 있으며 앞으로 응용 분야가 더욱 확대될 것으로 기대되고 있다.

많은 기술적 성과를 통해 고성능, 고효율을 가진 소

* 학생회원, *** 정회원, 동국대학교 전자공학과
(Department of Electronics Engineering,
Dongguk University)

** 정회원, 한국전자통신연구원 융합기술연구본부
RFID/USN 연구부 지능형센서네트워크연구팀
(Intelligent Sensor Network Research Team,
RFID/USN Research Division, IT Convergence
Technology Research Division, Electronics &
Telecommunications Research Institute)

※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 IT
신 성장동력 핵심기술개발 사업의 일환으로 수행하
였음 [06-II-LC-01, 감시정찰센서네트워크개발]

접수일자: 2009년1월21일, 수정완료일: 2009년10월26일

형의 센서 노드가 개발, 발전되고 있지만 여전히 많은 약점과 물리적 한계를 지니고 있다. 특히 상대적으로 취약한 배터리 기술과 추가적인 전원공급이 어려운 척박한 환경에서의 사용을 목적으로 하는 무선 센서 네트워크의 특성은 전력 소모를 최소화하기 위한 다양한 방법들을 요구하게 된다.

다양한 센서가 노드에 장착되어 사용되고 각 센서들의 출력을 효율적으로 이용하는 것은 센서 노드의 안정성 및 전력 관리에 중요한 요소이다. 음향, 가속도, PIR, 온도, 조도 등의 다양한 센서가 정보 수집에 이용되고 있다. 자기 센서 역시 널리 사용되는 센서중의 하나로써 짧은 감지 유효거리의 약점이 있지만 음향, 가속도 센서 등에 비하여 상대적으로 적은 노이즈와 금속물체에 대한 반응의 높은 신뢰도로 인하여 차량 등의 금속물체 탐지를 위한 센서로 널리 이용되고 있다.

본 논문에서는 자기 센서 기반의 차량 등 이동 금속물체 탐지를 위한 계산 복잡도가 낮은 신호처리 알고리즘을 제안한다. 센서 노드의 에너지 효율성을 높이기 위하여 통신과 관련된 전력 소모를 낮추는 방법이 일반적이다. 하지만 탑재된 프로세서 상에서 데이터 처리에 소모되는 전력 역시 중요한 요소이다. 연산 성능의 한계 및 에너지 소모를 감안하여 많은 연산 과정을 필요로 하는 주파수 영역에서의 신호 분석을 배제하고 시간 영역에서의 에너지 변화를 이용하여 적은 계산량을 사용하면서 자기 센서의 이벤트 신호 탐지 및 판단을 하게 된다. 센서 노드에서 상대적으로 적은 노력을 통하여 신호 존재 유무를 판단하게 하고 통신을 결정하게 함으로써 에너지 절약을 유도한다. 이를 통하여 추후 베이스 서버와 결합하여 감시 정찰, 교통 제어, 보안 등의 업무를 수행할 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서 관련 연구를 소개하고 III장에서는 자기센서 특성 소개와 사용된 신호처리 알고리즘에 대한 전반적인 설명과 시뮬레이션 결과를 분석하고, IV장에서는 실제 제작한 센서 노드를 이용, 수행한 실험에 대한 분석, V장에서는 결론과 향후 과제를 기술한다.

II. 관련 연구

신호 탐지를 위해서 여러 가지 신호 탐지 모델이 제안되었다. [1]에서는 신호 탐지 모델을 2가지로 분류하였다. 첫 번째 모델, Instant Detection model(ID)는 표

적이 센서의 유효 탐지 범위 내에 위치할 경우 참(True), 아닌 경우 거짓(False)을 나타내 주는 것이었던 출력 결과를 가진다.^[2~3] 센서의 출력을 단순화하여 데이터 전송 및 처리에 유리하지만 관심 지역 내에 여러 표적이 위치하거나 겹쳐지는 경우 등의 고급 정보 추출에 불리하다. 두 번째 모델은 Sampling Detection model(SD)로서 센서 출력 데이터의 신뢰성을 높이기 위해 여러 차례 샘플링을 시도하는 것이다.^[4] 이중 특별한 경우로 Energy Detection model(ED)이 있다. ED에서는 표적에 의한 센서 측정치의 변화가 특정 문턱값을 상회하는 경우 탐지가 되었음을 알린다. 문턱값을 정하는 데에 있어서 여러 방법을 사용할 수 있지만 일반적으로 두 가지 방법 : 1) 표적으로부터 가장 근접한 센서의 출력 에너지 또는 모든 센서의 출력 에너지를 합하여 사용하는 경우, 2) 센서 출력 에너지로부터 신호 감쇄 특성에 따라 센서와 표적간의 거리를 찾는 경우가 있다.

이러한 이론적 바탕을 토대로 국외에서는 1990년대부터 활발히 연구가 진행되어 감시정찰 및 물체 추적 탐지에 관한 다양한 연구 결과가 발표되고 있다. Ohio 주립대학의 LITeS 시나리오^[5]는 자기센서와 레이더를 이용한 민간인, 군인, 차량에 대한 탐지, 식별, 추적에 대한 연구하였다. 기본적인 감시 정찰 모델링 방법과 센서의 선택방법을 제시하는 이 연구에서는 노드 주변에 표적이 나타날 경우 노드는 주변 자기장의 변화를 인식하고 이 변화에 따른 참, 거짓의 이진 센싱을 실시한다. 참인 경우 노드는 베이스 스테이션에 보고하게 되고 보고된 자기장 정보는 influence field 라는 파라미터를 통하여 침입 물체에 의한 자기장의 변화를 공간적으로 정량화하고 이를 통하여 표적물의 탐지 및 분류 및 위치 식별이 이루어진다. VigilNet^[6] 시스템은 표적의 위치를 PIR 센서로 감지하고 2축 자기 센서를 이용하여 표적이 움직일 때 발생하는 자기장 변화를 감지하여 추적한다. 자기센서에서 획득한 정보를 기반으로 표적을 식별하게 되는데 사람과 차량을 식별할 수 있다.

국내의 이동 물체 탐지 연구는 영상 또는 밀리미터파를 이용한 연구가 주로 진행되어 왔다. [7]에서는 연속 영상의 칼만 필터링을 통한 자동차 추적이 이루어졌고 [8~9]은 밀리미터파를 이용하여 차량을 탐지하였다. 위의 연구들은 정밀한 자동차 추적 성능을 보여주지만 에너지, 연산 성능이 한정적인 센서노드에는 적합하지 않으며 이를 고려한 연구결과는 아직 발표되지 않고 있

다. 본 논문은 향후 무선 센서네트워크로의 이식에 적합하도록 센서노드에 최적화된 자기센서 신호처리 알고리즘을 제안한다.

III. 이동 물체 탐지 알고리즘

본 장에서는 자기 센서의 특성을 분석하고 신호 탐지의 이론적 배경을 설명하고 이를 이용한 이동물체 탐지 알고리즘을 제안한다. 그리고 시뮬레이션을 통해 제안하는 알고리즘의 실효성을 검증하고 알고리즘을 구성하는 파라미터들의 특성과 최적화 방법을 제시한다.

1. 자기센서 특성

센서는 특정 물리, 화학적량을 전기적 신호로 변환시키는 기능을 수행함으로써 환경 또는 외부의 자연 신호를 전기적 신호로 인식, 이용할 수 있게 해준다. 자기 센서는 일반적인 음향, 진동, 가속도 센서등과 달리 에너지원으로부터 발생된 신호를 감지하는 것이 아닌 차량, 금속물질, 자석 등에 의한 지구 자기장의 변화를 감지한다.

자기 센서의 원리에는 다양한 방법들이 있지만 본 논문에서는 자기저항 효과를 이용한 비등방성 자기저항 (Anisotropic MagnetoResistive, AMR) 센서를 사용하여 지구 자기장 변화를 측정한다. 자기저항 효과는 일명 Thomson 효과로 말하며, 자성체의 전기적 저항이 자화방향과 전류의 방향에 따라서 변화하는 현상으로 자기저항효과를 이용한 센서는 센서의 소형화가 가능하고, IC화 할 수 있는 장점을 가지고 있어서 다양한 응용분야에 활용되고 있다.^[10]

자기 센서의 출력은 최대 3차원으로 나타나며 x, y, z 의 3축으로 나타낼 수 있다. 각 축은 물체의 진행방향, 센서의 방향에 따라 서로 직교하는 출력을 나타낸다. 자기 센서의 출력을 사용하는 방법은 크게 2가지로 나뉜다. 각 축의 출력 패턴을 그대로 이용하여 사용하는 경우와 전체 크기(magnitude)을 이용하는 방법으로 이때 전체 크기는 식 (1)와 같이 구할 수 있다. 크기 값은 반드시 순시치에 의하여 결정되어야 한다.^[11]

$$magnitude = (X^2 + Y^2 + Z^2)^{1/2} \quad (1)$$

자기 센서 특성 연구는 HMR2300 magnetometer (Honeywell)를 사용하였다. 3축 자기 센서를 내장하고 RS-232 통신을 이용하여 PC로 직접 gauss단위의 데이

터를 전송할 수 있다. 일반적인 자기장 측정 및 연구에 폭넓게 사용되고 있는 장비로서 매우 안정된 출력을 제공하여 이 장비를 통해 나타난 자기센서 특성을 공통된 자기 센서 특성으로서 인정한다. 자기장의 변화는 자성 물체에서 멀어질수록 지수적으로 감소하며 이에 따라 자기 센서의 자기장 변화 감지량도 물체가 멀어질수록 비례하여 큰 폭으로 감소한다. 실험을 통한 자기센서의 출력 모델은 다음 절에서 기술한다.

2. 신호 탐지 이론

신호 탐지 이론(Signal Detection Theory, SDT)은 의사 결정 및 정보 추출을 위한 전자 신호처리 시스템의 기본 요소로서 레이더, 소나, 통신, 영상처리등의 다양한 응용분야에서 이용되고 있다. 신호탐지이론의 공통적인 목적은 관심을 가진 이벤트(event)가 발생했는지 탐지하고 추가적인 정보를 추출하는 것이다.^[12]

일반적으로 시험대상이 되는 신호 $x[n]$ 은 식 (2)와 같이 이벤트가 없는 경우의 잡음 신호 평균이 0이고 분산이 σ^2 인 $w[n]$ 과 이벤트 발생시의 목적 신호와 첨가된 잡음을 의미하는 $s[n] + w[n]$ 으로 표현되고 이를 각각 H_0, H_1 의 집합으로 표현한다.

$$\begin{aligned} H_0 : x[n] &= w[n] & n &= 0, 1, \dots, N-1 \\ H_1 : x[n] &= s[n] + w[n] & n &= 0, 1, \dots, N-1 \end{aligned} \quad (2)$$

각 신호는 신호를 결정하는 특정 기준(threshold), γ 에 따라 다음과 같은 4가지 결과의 경우를 가진다.

- $P(x > \gamma | H_1)$: 적중(hit) - 이벤트 신호가 정상적으로 외부 이벤트 신호가 존재하는 것으로 판단된 경우
- $P(x < \gamma | H_1)$: 누락(miss) - 이벤트 신호가 외부 이벤트 신호가 없는 것으로 판단한 경우
- $P(x > \gamma | H_0)$: 오경보(false alarm) - 잡음이 외부 이벤트 신호로 판단된 경우
- $P(x < \gamma | H_0)$: 정확기각(correct rejection) - 외부 이벤트 신호가 없을 때 잡음으로 정확히 판단한 경우

H_0 과 H_1 이 수평축이 신호 크기인 확률 분포라 할 때, 많은 횟수의 실험 후 γ 의 크기를 바꿔가며 각각의 γ 에 따른 적중(P_{hit})과 오경보(P_{FA}) 확률을 알 수 있다. 수평축은 오경보 확률, 수직축은 적중 확률을 표시한 이 곡선을 Receiver Operating Characteristic(ROC) 곡선이라 하며 휘어짐의 정도에 따라 적중과 오경보 확률

사이의 성능을 나타낸다. ROC 곡선은 H_0 과 H_1 이 구분되는 확률분포 특성을 보일수록 직각으로 굽어지며 성능이 신호 구분 성능이 향상됨을 나타낸다. 각 확률분포의 구분되는 정도를 나타내는 것을 deflection coefficient(d^2)라 하고 두 확률분포의 분산이 같다는 가정 하에 식 (3)으로 표현된다.

$$d^2 = \frac{(E(T;H_1) - E(T;H_2))^2}{var(T;H_0)} \quad (3)$$

$E(T;H_i)$ 와 $var(T;H_0)$ 는 각각 확률분포의 평균과 분산을 뜻한다. 위의 식(3)은 H_0 과 H_1 의 평균의 차가 크고 분산이 작을수록 탐지 성능은 우수해짐을 보여준다.

3. 자기센서 신호처리

신호의 탐지는 관심 신호의 순간적이고 급격한 변화를 감지하는 것이다. 센서 노드는 일정하게 자기센서의 신호를 샘플링하여 이벤트 신호의 발생 여부를 판단하게 된다. 자기 센서는 앞서 기술한 바와 같이 표적의 진행 방향, 센서가 가리키는 방향, 표적과의 거리 등에 의해 다양한 출력을 나타낸다. 각 축의 데이터는 차량의 진행 방향, 차량과의 거리 등을 추정하는데 이용될 수 있지만, 간결한 연산 처리를 위하여 식 (1)의 크기(magnitude)를 이용한다.

일반적으로 이벤트 탐지는 일정 시간의 신호 변화량을 관찰하여 특정 기준치 이상 변화했을 시 탐지 여부를 결정하게 된다. 신호의 변화를 인식하기 위해서는 신호의 변화 기준치(reference level)을 결정해야 한다. 예를 들어, 음향 신호의 경우 바이어스가 없는 경우 zero-mean 형태의 신호를 가지게 되어 출력 신호 자체를 변화량으로 판단할 수 있지만, 자기 센서의 출력은 바이어스된 형태를 가지며 주로 센서의 방향, 위치에 의해 바이어스가 결정된다. 또한 시간에 따른 온도의 변화, 직사광선의 영향 등에 의해 출력 신호의 드리프트(drift)가 발생한다.

따라서 변화량 측정 기준치와 센서의 출력 변화를 일치시키기 위한 처리과정이 요구되고 이를 위해 본 연구에서는 Exponential Average(EA) 방법을 이용하였고, 수학적 형태는 아래 식 (4)과 같다.

$$\bar{M}(t) = (1 - \alpha)\bar{M}(t-1) + \alpha S(t) \quad (4)$$

$\bar{M}(t)$ 는 현재의 평균값, $\bar{M}(t-1)$ 은 이전 평균값, $S(t)$ 는 현재 센서 출력 값, α 는 exponential average

parameter로서 0~1의 범위 안에 위치한다. $\bar{M}(t)$ 는 기준치가 되어 각 샘플마다 데이터의 차이를 계산하는데 사용된다. 이렇게 $S(t)$ 와 $\bar{M}(t)$ 의 차이를 이용하여 계산되는 자기 센서 출력 크기의 변화량을 Variation of Magnitude(VoM)라 명명한다.

EA 방식은 현재의 샘플 값과 이전 평균값에 α 를 이용하여 가중치를 어떻게 다르게 부여할 것인지를 결정하여 이벤트 추적 속도를 조정할 수 있다. α 가 커질 경우 기준치의 변화에 빠르게 대응할 수 있지만 현재 샘플값의 영향이 커지므로 기준치와 이벤트간의 데이터 차이가 적어진다. α 가 상대적으로 작은 수치인 경우에는 현재 샘플값의 변화에 민감하지 않게 반응하여 drift에 의한 자기 신호의 완만한 변화에는 능동적으로 대처하지만 이동 물체에 의한 급격한 변화에는 민감하지 않아서 이벤트 신호 추출에 유리하지만 특정 바이어스로의 변화에 적응하는 지연시간이 길어지는 단점이 있다. 따라서 α 를 적절히 조정하여 지연 시간과 이벤트 신호 추출에 모두 용이한 수치를 결정, 사용해야 한다.

위의 과정을 통해 이전 연구에서 자기센서의 공간적 출력 모델을 제시하였다.^[13] 하지만 거리와 방향의 2가지 변수가 존재함으로써 모델이 복잡해지고 고수준의 정보를 얻을 수 있지만 모델의 사용이 어려워지는 단점이 있다. 이러한 자기센서의 방향성을 제거하여 좀 더 단순하고 명쾌한 모델을 구하고자 한다.

자기센서는 센서의 물리적 배치 특성에 의해 각 축의 출력 신호가 직교하여 각 축이 사인, 코사인 함수의 형태로 직교하는 출력을 가진다. 같은 첨두치를 가지는

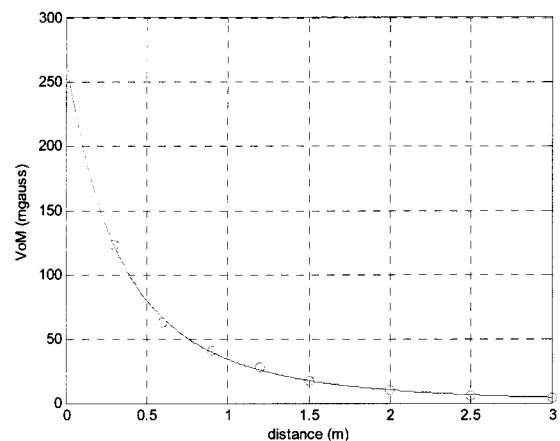


그림 1. 이동 물체와 센서사이의 거리에 따른 VoM 감쇄 모델 ($\alpha=0.05$)

Fig. 1. VoM attenuation model with various distance passing-vehicle ($\alpha=0.05$).

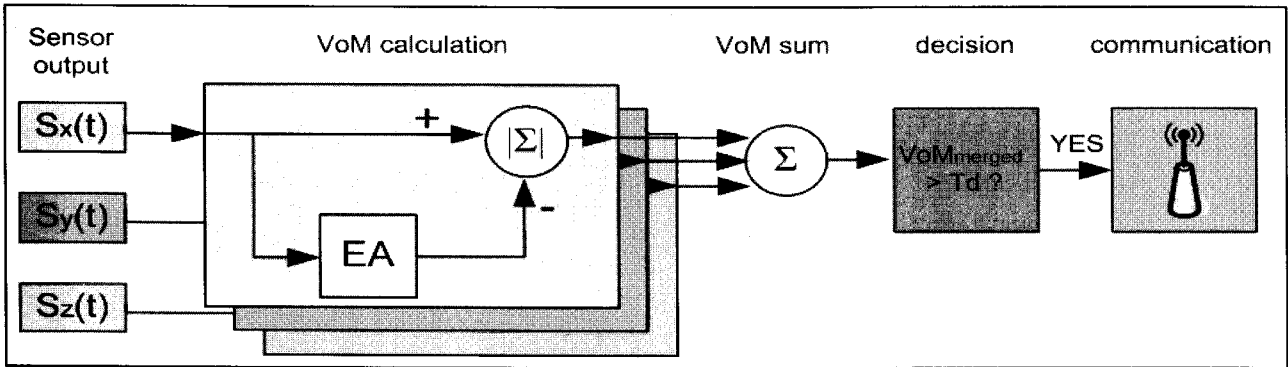


그림 2. 센서 노드의 신호처리 알고리즘 흐름도
 Fig. 2. Flow chart of sensor signal processing algorithm for individual sensor node.

사인, 코사인 두 축의 병합된 크기는 어느 위상에서도 같은 값을 가지게 되지만, 실제 센서의 출력은 각 축이 다른 바이어스(bias)를 가지게 되어 크기가 센서의 방향에 따라 달라진다. 각 축에서 바이어스를 제거해주게 되면 각 축의 절대적인 변화량의 차이는 크게 감소하고 이런 변화량만을 합한 전체 크기는 방향성이 제거된다. 이 과정은 다음 식 (5)로 표현된다.

$$VoM_m(t) = \sum_{i=x,y,z} |S_i(t) - \overline{M}_i(t)| \quad (5)$$

$VoM_m(t)$ 는 통합 VoM을 의미한다. EA를 사용하고 바이어스를 제거하는 과정을 통해 많은 장점을 가지게 된다. 자기 센서의 방향성은 제거하고 드리프트에는 적절한 대응을 할 수 있다. 또한 EA방식은 시스템 함수로서 분석하였을 시 저역통과필터(Low Pass Filter)의 특성을 가지므로 자기센서의 잡음도 제거 가능한 장점을 가진다. 그리고 주변 환경에 적응하여 변화 기준치를 지속적으로 갱신해주므로 예를 들어, 군용 감시정찰 시스템으로 응용 시 적의 자석 투척 등의 방해 공작에도 짧은 교란시간 이후 다시 적용된 변화 기준치를 제공하여 주는 강인함을 가진다.

통계적 또는 주파수 분석을 통한 신호분석 방법과 달리 EA는 한 개의 평균값만을 가지고 수행되므로 별도의 대량의 메모리 소모가 필요하지 않으며 각 샘플링 시 한 축마다 2번의 곱셈과 1번의 덧셈의 적은 연산 과정을 거친다. 이를 통해 하드웨어 자원 관리의 효율성 및 전력 소모 감축의 효과를 준다.

설명된 과정을 통해 새로운 자기센서 VoM 감쇄 모델을 얻을 수 있다. 다음의 그림 1은 α 를 0.05로 하여 도출한 거리별 VoM 감쇄 모델이며 표 1은 감쇄 모델을 얻기 위한 실험 환경을 제시한다.

표 1. VoM 감쇄모델을 얻기 위한 실험 환경
 Table 1. Experiment environment for VoM attenuation model.

실험 방법	
실험 대상	차량 (크레도스)
속도 (km/h)	20 ~ 25
실험 장비	HMR 2300, 노트북 컴퓨터
샘플링 주파수(Hz)	20
장소	동국대학교 교내 대운동장
기온 (°C)	8 ~ 13

자기 센서의 출력은 차량의 움직임에 따라 자기 센서 자체의 잡음에 의한 차이 이외에는 매 실험마다 센서와의 거리가 같은 경우 동일한 변화를 일으키게 된다. 하지만 차량의 속도가 다른 경우 EA를 통한 변화기준치의 적응 정도도 달라진다. 따라서 차량의 속도에 의해 VoM이 변하게 되고 이를 모델링하는 것은 더욱 복잡한 과정을 요구한다. 따라서 이 논문에서는 VoM 감쇄 모델을 구성하는 데이터는 동일한 속도하에서 이동하는 차량을 통해 획득한 것으로 가정하여 일정한 거리에서 동일한 VoM의 도출을 보장하였다.

실험은 고정된 센서 주변을 차량이 센서의 동서남북 4방향을 각각 거리별로 주행하여 얻은 데이터를 다수 수집하고 이를 연산하여 VoM을 획득하는 방법으로 진행하였다.

위와 같이 대표 모델을 구성하고 이에 따른 탐지 기준치 T_d 를 결정하면 센서 노드는 그림 2와 같은 전체 신호처리 과정을 가진다. 각 센서 노드는 1) ADC, 2) VoM 연산, 3) 의사 결정의 과정을 거치며 통신 시도 여부를 결정하게 되고 실제 네트워크 구성시 자기 센서의 짧은 센싱거리로 인해 소수의 노드만이 통신을 시도하게 되어 네트워크의 효율을 높일 수 있다.

4. 시뮬레이션을 이용한 최적 파라미터 결정

제안된 신호처리 알고리즘의 성능은 EA 파라미터 α 및 신호 탐지 기준치인 T_d 에 의해 결정된다. 적절한 T_d 의 결정 및 사용은 센서 노드의 탐지 성능을 향상시킬 수 있으며, α 를 통하여 역시 탐지 성능 및 변화기준치 적용 지연시간 등을 조정할 수 있다.

가. α 의 최적화

α 의 값에 따라 VoM 감쇄모델의 파라미터가 변경되고 이는 시스템의 성능에도 영향을 미치게 된다. 적절한 α 를 선정해야 하는 이유와 방법을 설명한다.

앞선 III장 2절에서 설명한 신호탐지이론에 따라 VoM은 잡음에 의한 것과 물체 출현에 의한 신호에 잡음이 더해진 2개의 신호 분포 모델이 구성된다. 각각의 신호는 그림 1과 같은 VoM 감쇄 모델을 이용하는데 α 에 의한 VoM 감쇄 모델의 변화를 적용하여 다양한 α 에 따른 데이터를 생성한다. 잡음은 실험에 의해 획득된 자기센서 잡음 데이터의 통계치를 이용하여 평균 0, 분산(σ^2) 4밀리가우스(milli gauss)의 가우시안 분포 모델 $N(0, \sigma^2)$ 로 표현되었다. 신호는 차량의 거리가 센서

의 3m 이내로 접근하였을 때만 감지되는 것으로 가정하고 3m 이내의 임의의 거리에서 발생시켰다. 이와 같은 시뮬레이션 결과는 그림 3의 히스토그램과 같이 α 에 따른 신호 분포의 차이를 보여준다.(a)~(d)의 각각의 히스토그램은 α 가 감소함에 따라 잡음과 신호의 분포의 간격이 커짐을 볼 수 있다.

위의 확률 분포를 이용하여 여러 α 에 대한 적중 확률(P_{hit})과 오경보 확률(P_{FA})에 대한 신호 탐지 성능 특성을 보여주는 ROC 곡선을 얻을 수 있다.

그림 4의 ROC 곡선은 히스토그램에서 예상한 바와 같이 α 가 작을수록 직각에 가까운 곡선을 가지며 낮은 P_{FA} 와 높은 P_{hit} 의 우수한 탐지 성능을 갖는 반비례관계임을 보여준다. EA의 사용 이유는 시간에 따라 변화하는 자기센서의 변화를 지속적으로 적용하여 다양한 환경, 상황에서 안정적인 변화기준치를 얻기 위함이다. 하지만 α 가 작을수록 그림 5 (a)와 같이 변화된 기준치에 적용하여 도달하는 시간이 길어지게 된다. 이는 장시간의 탐지성능을 악화시키게 되는 요인이 된다. 그림 5 (b)는 0.01%의 P_{FA} 를 기준으로 하여 잡음의 압축 정도를 분석하여 EA에 의한 잡음 분포의 압축 성능을 보여준다. α 가 감소하면서 압축 성능이 향상되지만 원으로 표시된 특정 지점($\alpha = 0.044$) 이후에는 다시 분포가 넓어짐을 볼 수 있다. 따라서 α 는 작을수록 좋지만 적용 지연시간을 고려하여 적정 α 를 0.044로 선택하였다.

앞서 소개한 바와 같이 일반적으로 d' 에 의하여 ROC 성능 예측 및 개선이 가능하지만 d' 은 두 확률분포의 바이어스를 제외한 통계적 특성이 일치할 때 사용이 가

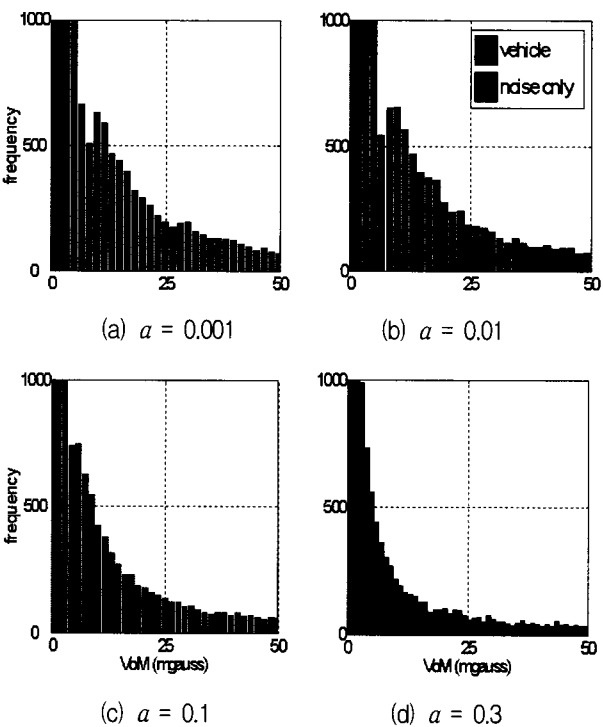


그림 3. (a) $\alpha=0.001$, (a) $\alpha=0.01$, (a) $\alpha=0.1$, (a) $\alpha=0.3$ 인 경우의 잡음과 신호의 분포 히스토그램
Fig. 3. PDFs of VoM for signal present and signal absent (a) $\alpha=0.001$, (a) $\alpha=0.01$, (a) $\alpha=0.1$, (a) $\alpha=0.3$.

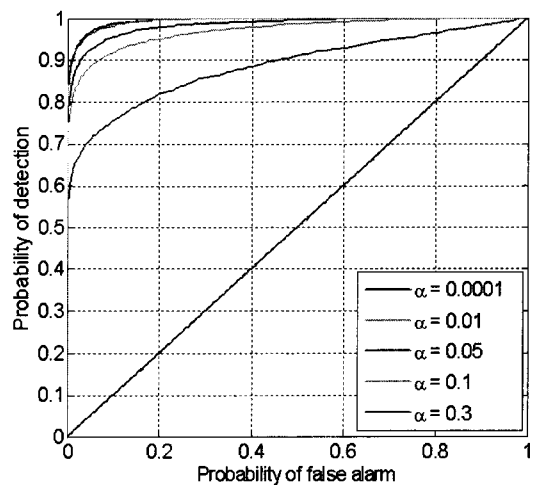


그림 4. α 에 따른 ROC 곡선의 변화
Fig. 4. Receiver operating cahacteristics (ROC) for VoM in various α .

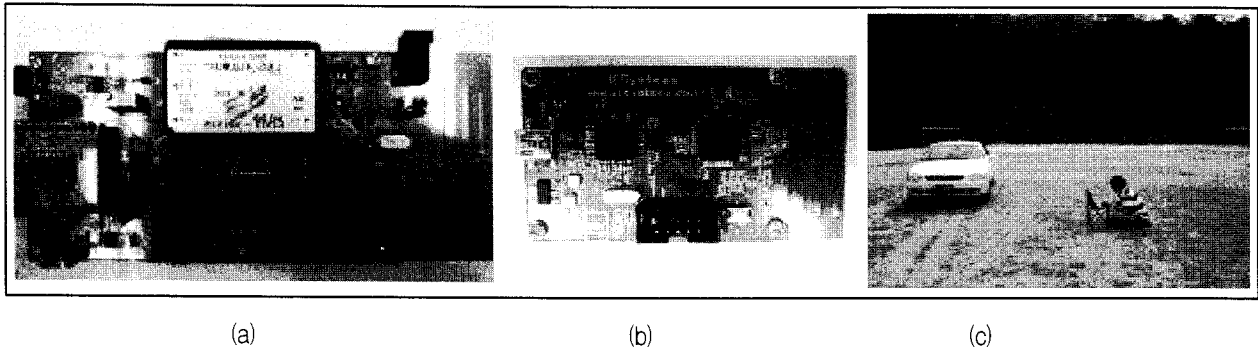


그림 6. (a) 센서 노드 (b) 베이스 노드 및 (c) 차량을 이용한 실험 모습

Fig. 6. (a) developed magnetic sensor node, (b) base node, and (c) outdoor experiment by vehicle.

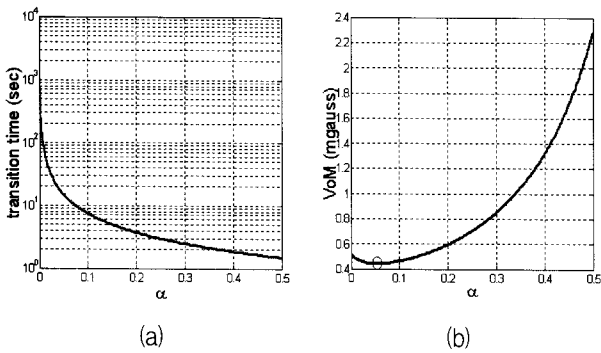


그림 5. (a) α 에 의한 변화된 기준치 적응 지연시간
(b) α 에 의한 잡음 압축 성능

Fig. 5. (a) transition time curve for updating the reference level by various α (b) noise compression performance by various α .

능하다. 하지만 우리가 관심을 가진 확률분포는 잡음의 경우 가우시안 분포, 관심 신호의 경우 리시안(rician) 분포의 특성을 가지며 매우 격차가 큰 분산 특성을 가진다. 따라서 d^2 에 의한 성능 분석은 이루어지지 않았다. 하지만 동일한 통계적 특성을 가지는 분포들에 대한 분석은 d^2 에 의하여 편리하게 이루어질 수 있다.

가. 최적 T_d 선정

T_d 는 α 가 결정된 후 사용자가 신호의 탐지에 대하여 어떠한 선택을 내릴 것인가에 의해서 결정된다. 기본적으로 P_{FA} 가 어떤 값을 가지냐에 따라 T_d 는 결정된다. 사용자가 어느 정도의 P_{FA} 를 감수하더라도 높은 수치의 P_{hit} 을 필요로 한다면 ROC 곡선의 우측에 치우친 T_d 를 결정한다. 반면에 실제 신호에 대한 누락이 생기더라도 오경보 확률을 줄이는 것이 목표라면 ROC 곡선의 좌측으로 T_d 를 선정하면 된다. 본 논문에서 제안하는 응용 기법은 특히 군용 시스템 응용에 목적을 두고 있으며 군사 분야에서는 P_{FA} 를 감소시키는 것이 매우 중요하다. 따라서 최소의 P_{FA} 를 가지는 T_d 를 선정하였

표 2. 시뮬레이션 결과의 confusion matrix

Table 2. Confusion matrix from simulation.

		예측 결과	
		신호 (차량)	잡음
실제 신호	신호(차량)	93.17	6.83
	잡음	5.28	94.72

다. 앞서 결정한 $\alpha(=0.044)$ 를 사용하고 P_{FA} 를 5%로 고정하고자 한다면 ROC 곡선을 통해 $T_d = 5.55$ milligauss로 결정된다. 차량을 대상으로 시뮬레이션을 실시하였다. 차량은 반드시 센서의 3m 이내로 접근한다는 가정을 한 후의 차량 신호 탐지 시뮬레이션 결과는 다음 표2의 confusion matrix와 같이 나타난다. 정해진 P_{FA} 를 충족하며 90%이상의 정상 신호를 탐지하였다.

IV. 실험

앞서 기술한 신호처리 기법의 효용성을 확인하기 위하여 자기센서를 장착한 센서노드를 제작하고 시뮬레이션과 동일한 과정으로 성능을 시험하였다.

제작한 H/W는 그림 6의 (a),(b)의 형태를 가지며 표 3은 H/W의 구성을 보여준다. 상용화된 모터를 이용하여 센서네트워크용 OS인 TinyOS상에서 알고리즘을 구현하려 하였으나 기존 제품의 자기 센서는 원하는 감도를 충족시키지 못하고 이진형태의 출력을 제공하여 직접 센서노드를 제작하였다.

실험은 제작한 센서노드의 VoM 모델링을 위하여 이전의 VoM 감쇄모델을 갖기 위한 실험과 동일한 방식으로 그림 6의 (c)와 같이 진행되었다. 차량은 센서 노드로부터 임의의 거리만큼 이격하여 주행하고 차량이 센서의 주변에 올 때 데이터를 수집하였다. 차량은 센싱 유효거리 내에 있는 경우도 있으며 아닌 경우도 있다. 또한 차량이 지나지 않는 경우의 데이터 역시 수집

표 3. 센서 노드 및 베이스 노드 제원

Table 3. Specification of sensor node and base node.

Sensor node	
CPU	ATmega128 마이크로프로세서
RF	CC1010 RF 송수신칩 (433MHz)
센서	HMC1002 자기 센서 (Honeywell)
전원	DC 9V 외부전원 또는 배터리
사이즈	149×63×17 (mm)
Base node	
CPU, RF	CC1010 RF 송수신칩 (433MHz)
PC 통신	UART 직렬통신 (USB to serial)
전원	USB 내부 전원
사이즈	88×46×10 (mm)

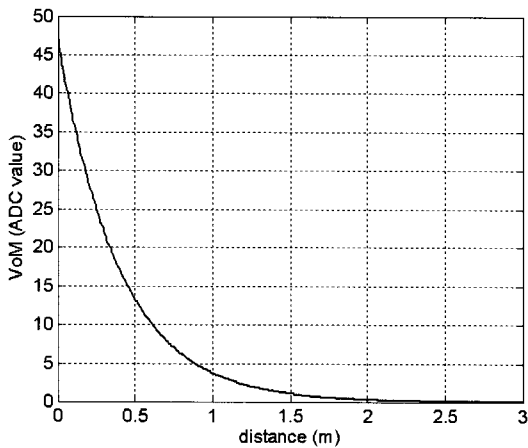


그림 7. 제작된 H/W의 VoM 감쇄 모델 ($\alpha=0.044$)
Fig. 7. VoM attenuation model by developed H/W ($\alpha=0.044$).

표 4. 외부 실험 환경

Table 4. Outdoor experiment environment.

실험 방법	
실험 대상	차량 (소나타)
속도 (km/h)	20 ~ 25
실험 장비	제작 H/W, 노트북 컴퓨터
RF 주파수	433MHz
장소	동국대학교 교내 대운동장
기온 (°C)	24 ~ 28

하여 유효 거리 내에 있지 않은 경우와 함께 P_{FA} 분석을 위한 데이터로서 활용되었다.

시뮬레이션을 통해 최적화된 $\alpha(=0.044)$ 를 도출하였다. 이를 이용하여 실험을 실시하고 새로운 VoM 감쇄 모델을 도출하였다. 그림 7은 제작한 H/W의 자기 센서 VoM 감쇄모델이다. 이전의 모델과 비교하여 VoM 감지 거리가 다소 감소하였음을 확인할 수 있다. VoM의 단위는 ADC 측정치를 직접 사용하였다. 표 4는 실험 환경을 기술하였다.

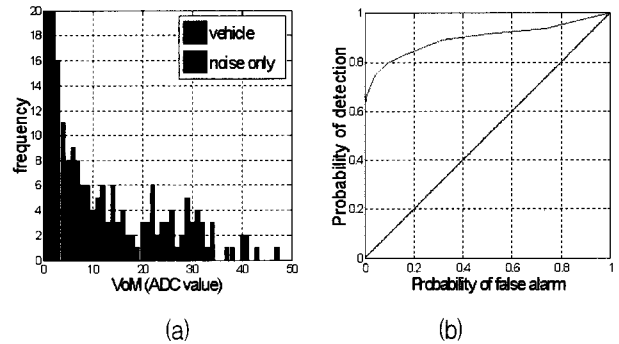


그림 8. α 에 따른 ROC 곡선의 변화

Fig. 8. Receiver operating characteristics (ROC) for VoM in various α .

표 5. H/W 모델의 시뮬레이션 결과 confusion matrix

Table 5. Confusion matrix from simulation by developed H/W model.

실제 신호		예측 결과	
		신호 (차량)	잡음
$T_d = 3$	신호(차량)	63.8	36.2
	잡음	1.5	98.5
$T_d = 2$	신호(차량)	72.8	27.2
	잡음	4	96

표 6. 외부 실험 결과의 confusion matrix

Table 6. Confusion matrix from outdoor experiment.

실제 신호		예측 결과	
		신호 (차량)	잡음
$T_d = 3$	신호(차량)	62	38
	잡음	1	99
$T_d = 2$	신호(차량)	74.5	25.5
	잡음	5	95

HMR2300과 달리 제작한 H/W에서는 1.5m 밖의 차량에 대하여 잡음 신호와 구분할 수 없어 감지가 불가능하였다. 이에 따라 실험에서는 차량이 1.5m 이내를 통과하는 경우만을 감안하였다. 위의 VoM 감쇄모델을 이용하여 실험 결과에 대한 잡음과 신호의 확률 분포 히스토그램 및 ROC 곡선은 그림 8의 (a)와 (b)이다.

$P_{FA} = 5\%$ 인 T_d 는 수치적으로 2.35의 ADC 값이지만 정수로 표현되어야 하므로 T_d 를 3으로 조정하였다. 이때의 시뮬레이션 결과는 다음 표 5의 confusion matrix로 나타난다. 센서의 강도와 민감도가 떨어지면서 차량 신호의 레벨이 잡음 분포영역으로 흡수가 되어 P_{FA} 가 감소하였지만 동시에 P_{hit} 도 감소하였다. 상향 조정된 T_d 역시 잡음 제거에 도움을 주었지만 반대로 낮은 레벨을 갖은 차량 신호들 역시 제거하여 결과에 영향을 미쳤다. 그리고 표 6의 실험결과는 제작한 H/W의 시뮬레이

선 결과와 거의 일치하며 앞서 도출한 VoM 감쇄 모델이 유효함을 보여준다.

V. 결 론

본 논문에서는 상대적으로 열악한 성능의 무선 센서 노드의 연산 능력을 충족시키면서 잡음, 간섭 등에 강한 자기센서 신호 탐지 알고리즘에 대하여 제안하였다. EA와 VoM을 이용하여 관심 신호와 잡음을 확연히 구분, 결정할 수 있으며 이전의 잡음 및 변화 기준치 도출을 위한 통계적 또는 주파수 영역에서의 신호처리 방법에 비하여 간결한 계산 복잡도를 가진다. 일반적으로 사용되는 고성능의 자기 센서의 실험 데이터를 이용한 통계적 분석을 통해 EA의 효율적 사용을 위한 α 파라미터의 수치를 찾아낼 수 있었으며 시뮬레이션을 통해 5%의 낮은 오경보 확률에서 90% 이상의 적중 확률을 얻을 수 있었다.

직접 제작한 H/W의 모델링, 시뮬레이션 결과는 자기 센서 주변회로의 성능 부족으로 감지거리 및 민감도의 감소가 발생하여 이전 시뮬레이션 결과보다 탐지 기준치의 결정에 따라 20~30% 적중확률이 감소하였다. 하지만 시뮬레이션과 실제 실험의 결과는 1~2%이내의 오차를 보여주며 제안하는 모델링 방식과 탐지 방식이 유효함을 보여주었다. 차후 H/W의 개선이 이루어지는 경우 더욱 정밀한 탐지 결과를 보여줄 수 있을 것으로 기대된다.

향후에는 이에 더하여 연속적인 센싱을 줄여서 불필요한 센싱을 제거하여 에너지 소모를 더욱 줄이고 각 센서 노드로부터 획득된 통합 데이터를 처리하여 실 환경에서 신호가 누락되어도 효과적으로 차량을 탐지하고 공간적으로 인식하는 방법에 대한 연구가 필요하다. 또한 추가적인 분석 및 실험을 통하여 다른 센서에서의 적용 가능 여부를 확인하여 응용분야를 확대할 수 있을 것으로 기대한다.

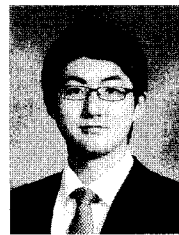
참 고 문 헌

- [1] L. Lazos, R. Poovendran, and J. A. Ritcey, "Probabilistic Detection of Mobile Targets in Heterogeneous Sensor Networks," Proc. IPSN'07, 2007.
- [2] Q. Cao, T. Yan, T. Abdelzاهر, and J. Stankovic, "Analysis of Target detection Performance for Wireless Sensor Networks," Proc. DCOSS'05, 2005.
- [3] J. Aslam, Z. Butler, F. Constantin, V. Crespi, G. Cybenko, and D. Rus, "Tracking a Moving Object with a Binary Sensor Network," Proc. the 1st international conference on Embedded Networked Sensor Systems, 2005, pp. 150-161
- [4] D. Li, K. Wong, Y. Hu, and A. Sayeed, "detection, classification and tracking of targets in distributed sensor networks," IEEE Signal Processing Magazine, vol. 19, no. 2, Mar. 2002, pp. 17-29
- [5] A. Arora, P. Dutta, S. Bapat, V. Kulathumani, H. Zhang, V. Naik, V. Mittal, H. Cao, M. Demirbas, M. Gouda, Y. Choi, T. Herman, S. Kulkarni, U. Arumugam, M. Nesterenko, A. Vora, and M. Miyashita, "A line in the sand: a wireless sensor network for target detection, classification, and tracking," The International Journal of Computer and Telecommunications Networking, vol. 46, no. 5, pp. 605-634, Dec. 2004.
- [6] T. He, S. Krishnamurthy, J. A. Stankovic, T. Abdelzاهر, L. Luo, R. Stoleru, T. Yan, L. Gu, G. Zhou, J. Hui, and B. Krogh, "Vigilnet: an integrated sensor network system for energy-efficient surveillance," ACM Transaction on Sensor Networks, vol. 2, Issue 1, pp. 1-38, Feb. 2006.
- [7] 서창진, 양황규, "지능형 교통시스템을 위한 자동차 추적에 관한 연구," 퍼지 및 지능 시스템 학회 논문지, 제 14권, 제 1호, pp. 63~68, 2004. 2
- [8] 한석균, "차량 감지용 FMCW 레이더의 단일 평형 다이오드 주파수 혼합기 설계 및 제작," 한국전자과학기술논문지 제 14권 제 12호, pp. 1336~1341, 2003. 12
- [9] 강성민, 김태용, 최재홍, 구경현, "새로운 신호처리 알고리즘을 이용한 측방설치 차량감지용 레이더" 전자공학회 논문지, 제 41권 TC편 제 12호, pp. 1~7, 2004. 12
- [10] 손대락, "자기센서의 원리와 응용," 한국자기학회 지 제 7권 제 6호, pp. 334~339, 1997. 12
- [11] P. Pipka "Magnetic Sensors and Magnetometers" Artech, 2001.
- [12] S.M.Kay, "Fundamentals of Statistical Signal Processing : Detection Theory," Prentice Hall, 1993.
- [13] 김기태, 김건욱, "센서네트워크 응용을 위한 AMR 자기센서의 공간적 출력신호 모델링 연구," 전자공학회 2008 하계학술대회, pp. 953~954, 2008. 6

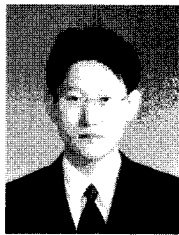
저 자 소 개



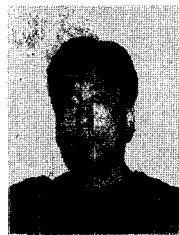
김 기 태(학생회원)
 2007년 동국대학교 전자공학과
 학사
 2009년 동국대학교 전자공학과
 석사
 2009년~현재 LIG 넥스원
 연구개발본부 연구원
 <주관심분야 : 센서네트워크 응용, 상황인식 시스
 템>



곽 철 현(학생회원)
 2008년 동국대학교 전자공학과
 학사
 2008년 동국대학교 전자공학과
 석사과정
 <주관심분야 : 센서 신호처리, 센
 서네트워크 응용>



홍 상 기(정회원)
 1997년 부산대학교 전자공학과
 학사
 1999년 부산대학교 전자공학과
 석사
 1999년~2001년 국방과학연구소
 연구원
 2001년~현재 한국전자통신연구원 선임연구원
 <주관심분야 : 센서 신호처리, 저전력 신호처리
 아키텍처, 센서네트워크 응용>



박 상 준(정회원)
 1988년 경북대학교 전자공학과
 학사
 1990년 경북대학교 전자공학과
 석사
 2006년 North Carolina State
 University Computer
 Science 박사
 1999년~2001년 국방과학연구소 선임연구원
 2006년~현재 한국전자통신연구원 선임연구원
 <주관심분야 : 위협분석 및 무기활당, 센서네트워
 크, MAC, 라우팅>



김 건 욱(정회원)-교신저자
 1995년 동국대학교 전자공학과
 학사
 1997년 University of Florida
 석사
 2001년 University of Florida
 박사
 <주관심분야 : 어레이 신호처리, 병렬 신호처리
 시스템 설계, 센서 네트워크 응용>