한국산학기술학회논문지
Vol. 11, No. 4, pp. 1272-1277, 2010

리프팅 스킴 웨이블릿 변환 기반의 무선 센서 노드 신호처리를 이용한 표적 위치 추정

차대현[1], 이태영[1], 홍진근[2], 한군희[2], 황찬식[1*]
[1]경북대학교 전자전기컴퓨터학부
[2]백석대학교 정보통신학부

Target Position Estimation using Wireless Sensor Node Signal Processing based on Lifting Scheme Wavelet Transform

Dae-hyun Cha[1], Tae-young Lee[1], Jin-keun Hong[2], Kun-hui Han[2] and Chan-sik Hwang[1*]
[1]**Dept of Electric Electronic Computer, Kyungpook National University**
[2]**Dept of Information Communication, Baekseok University**

요 약 표적 탐지 및 추적을 위한 무선 센서 네트워크에서 센서 노드는 다양한 신호처리 기능을 가져야 한다. 센서 노드의 에너지 제약과 통신 대역폭 제한은 센서 노드에서의 가벼운 신호처리 기법을 필요로 한다. 일반적인 센서 노드에서의 신호처리 기법은 센서 노드에 수신된 신호를 잡음제거와 같은 전처리를 수행하고, 에너지를 계산하여 표적의 위치를 탐지하고 기지국에서의 위치추정 및 식별을 위하여 특징 추출하거나 압축하여 전송하는 등의 방법으로 구성된다. 이러한 센서 노드에서 필수적인 신호처리 기법들은 무선 센서 네트워크의 생존 시간과 표적 탐지 및 식별 성능에 큰 영향을 끼치게 된다. 본 논문에서는 무선 센서 네트워크에서 센서 노드의 필수적인 신호처리들을 리프팅 스킴 웨이블릿 변환 방법을 이용하여 센서 노드에서 에너지 효율적인 신호처리를 수행하고 표적의 정확한 위치를 추정하는 방법을 제안한다.

Abstract Target detection and tracking wireless sensor network must have various signal processing ability. Wireless sensor nodes need to light weight signal processing algorithm because of energy constraints and communication bandwidth constraints. General signal processing algorithm of wireless sensor node consists of de-noising, received signal strength computation, feature extraction and signal compression. Wireless sensor network life-time and performance of target detection and classification depend on sensor node signal processing. In this paper, we propose energy efficient signal processing algorithm using wavelet transform. The proposed method estimates exact target position.

Key Words : Wireless Sensor Network, Wavelet, Lifting Scheme, Target Position Estimation

1. 서론

무선 센서 네트워크는 홈 네트워크, 의료보건 등의 상업 분야와 차량 탐지 및 식별, 침입 탐지 및 추적 등의 군사 분야에서 최근 많이 연구 되고 있다. 일반적으로 무선 센서 네트워크는 기지국, 게이트웨이, 센서 노드로 구성된다. 무선 센서 네트워크의 센서 노드는 작고, 값싸며, 가벼워야 하며 이에 따라 센서 노드의 에너지 제한과 통신 대역폭의 제한이라는 단점을 갖는다. 무선 센서 네트워크의 생존 시간이 길어지기 위해서는 센서 노드에서 목적에 따라 필수적인 신호처리를 에너지 효율적으로 수행해야 한다. 무선 센서 노드의 특성 및 제약으로 인해 무선 센서 네트워크에서 센서 노드 하드웨어 및 센서 노드에서 신호처리는 최근 많은 연구가 이루어지고 있다[1-4].

*교신저자 : 황찬식(cshwang@knu.ac.kr)
접수일 09년 12월 18일 수정일 (1차 10년 02월 11일, 2차 10년 03월 04일) 게재확정일 10년 04월 09일

무선 센서 네트워크의 대표적인 목적은 표적의 탐지와 감시 및 식별의 세 가지로 나눌 수 있다. 이러한 무선 센서 네트워크의 목적 중 차량의 탐지 및 식별, 기계의 모니터링, 홈 네트워크에서 침입자 감지 및 구성원 상태 감시 등의 여러 가지 분야에서 음향 표적을 탐지하고 위치를 추정하는 알고리듬은 매우 중요하다. 무선 센서 네트워크에서 음향 표적을 탐지하고 위치를 추정하기 위해서는 기지국, 게이트웨이, 센서 노드 등에서의 신호처리 및 탐지 및 식별을 위한 알고리듬이 필수적이다.

무선 센서 네트워크의 생존 시간, 탐지 및 식별 성능은 센서 노드에서의 신호처리 기법에 따라 매우 큰 차이를 보인다. 이러한 센서 노드에서의 신호처리는 일반적으로 에너지 기반 방법과 수신된 신호의 잡음제거, 압축 등으로 통한 원 신호 전송을 통한 기지국에서의 탐지 및 식별 방법이 많이 사용되었다. 센서 노드에서의 기존의 신호처리 방법들 중 에너지 기반 방법은 기지국에 수신되는 정보는 원 신호의 정보를 잃어버리게 되고 원 신호 전송의 경우 센서 노드에서의 많은 신호처리 부하에 의해 센서 노드의 에너지 소모가 매우 커서 생존 시간이 줄어드는 단점이 있다. 이런 기존의 기법들의 단점을 보완하기 위하여 센서 노드 신호처리 분야에서 웨이블릿 기법을 이용한 여러 가지 신호 처리 기법이 제안되었다[5-7].

일반적인 웨이블릿 해석 방법은 시간정보와 주파수 정보를 모두 가지고 있고 웨이블릿의 특성에 의해 잡음이 제거되는 장점이 있음에도 불구하고 연산량이 높아 실시간 신호처리와 센서 노드 신호처리에 적용하는데 어려움이 있었다. 리프팅 스킴 웨이블릿 해석 방법과 정수 웨이블릿 해석의 개발로 무선 센서 네트워크의 센서 노드 신호처리에서 웨이블릿 해석 방법을 적용할 수 있게 되었다[8].

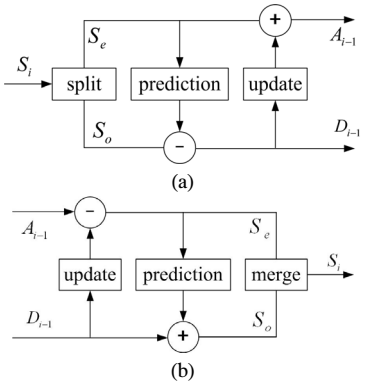
본 논문에서는 리프팅 스킴 웨이블릿 분해 기법을 이용하여 무선 센서 네트워크에서 음향 표적의 위치 추정 및 식별 특징을 추출하여 표적의 위치를 추정하기 위한 센서 노드에서의 신호 처리 기법을 제안한다. 센서 노드에서는 리프팅 스킴 웨이블릿 분해를 통해 잡음이 제거된 원 신호와 웨이블릿 상수를 추출하고 추출된 웨이블릿 상수를 본 논문에서 제안하는 신호처리 알고리듬을 통해 표적의 위치를 추정한다.

2. 웨이블릿 해석

웨이블릿 해석 방법은 시간정보와 주파수 정보를 모두 가지고 있어 고전적인 푸리에 변환과는 달리 시간영역에서 신호를 국소적으로 특정화 할 수 있고 특성의 분리를 가능하게 하며 각각의 응용분야에 맞게 기저 함수를 변화 시킬 수 있다는 장점을 가진다. 수학, 공학 등 여러 분야에서 응용되는 웨이블릿해석 방법은 무선 센서 네트워크에서 센서 노드 신호처리 분야에 웨이블릿 분해를 이용하여 압축, 잡음제거, 특징추출 등의 신호처리를 수행하기 위해 많은 연구가 이루어지고 있다.[5-8]

2.1 리프팅 스킴 웨이블릿 변환

고전적인 중첩 적분 기반의 이산 웨이블릿 변환은 높은 연산량과 하드웨어 메모리 점유로 인해 실시간 시스템이나 센서 네트워크와 같은 저사양 무선 시스템에 적용하는데 많은 어려움이 있다. 스웰든(Swelldens)이 제안한 리프팅 스킴 웨이블릿 변환은 기존의 이산 웨이블릿 변환 보다 낮은 연산량으로 인해 실시간 시스템에 적용이 가능하고 Mallat 알고리듬을 적용하여 고속으로 웨이블릿 변환을 수행할 수 있다.[9] 일반적으로 리프팅 스킴 웨이블릿 변환은 분해와 복원의 두 가지 형태로 구성되고, 분해과정은 분열(split), 추측(prediction), 갱신(update)의 세 단계로 이루어지고 복원 과정은 분해의 역방향으로 갱신, 추측, 통합(merge)의 과정으로 이루어진다. 그림 1 은 리프팅 스킴 웨이블릿 변환의 분해와 복원 과정을 나타낸다[8].



[그림 1] 리프팅 스킴 웨이블릿 변환
(a) 분해(decomposition) (b) 복원(reconstruction)

그림 1 (a) 는 리프팅 스킴 웨이블릿 변환의 분해과정을 나타내고 있고 분열, 추측, 갱신의 과정은 다음과 같다.

분열 : 원 신호 S 를 짝수 번째 샘플 S_e와 홀수 번째 샘플 S_o로 분열 시킨다.

추측 : 짝수 번째 샘플 S_e 를 추측 필터에 적용하여 홀수 번째 샘플 S_o 에서 빼는 과정이다. 다음 식 (1)은 추측 과정을 설명한다.

$$D_{i-1} = S_o - \mathrm{Prediction}(S_e) \quad (1)$$

추측 과정을 통해 산출되는 D_{i-1}은 세부상수(detail coefficient)로서 원 신호의 고주파 정보를 가진다.

갱신 : 추측 과정을 통해 산출된 세부상수 D_{i-1}을 갱신 필터에 적용하여 짝수 샘플에 더하는 과정이다. 다음 식 (2)는 갱신 과정을 설명한다.

$$A_{i-1} = S_e - Update(D_{i-1}) \quad (2)$$

갱신 과정을 거치고 난 신호는 근사 상수(approximation coefficient)로서 원 신호의 저주파 정보를 가진다.

그림 1 (b)는 리프팅 스킴 웨이블릿 변환의 복원 과정으로서 분해 과정의 역방향으로 세부 상수와 근사 상수를 통합하여 원 신호로 복원 한다.

2.2 음향 신호의 웨이블릿 변환 특징

음향 신호를 웨이블릿 변환을 통해 신호 처리 하는 기법은 압축, 잡음제거, 특징 추출 등의 기법으로 크게 나눌 수 있다. 웨이블릿 변환을 통해 세부 상수와 근사 상수가 추출된다. 세부 상수는 원 신호의 고주파 특성을 가지고 있으며, 근사 상수는 저주파 특성을 가지고 있다.[10] 음향 신호의 경우, 원 신호의 고주파 잡음이 제거된 근사 상수를 특징으로 사용하는 것이 일반적이다.

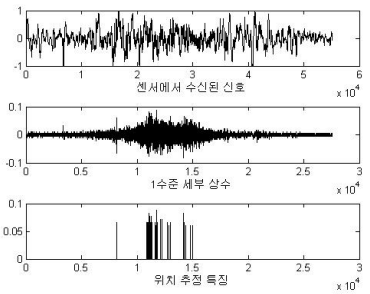
3. 제안된 표적 특징 추출 기법

본 논문에서는 리프팅 스킴 웨이블릿 변환을 이용하여 무선 센서 노드에서 음향 신호를 처리하여 기존의 에너지 기반 기법과 원 신호 압축 전송 방법에 비해 에너지 효율적인 신호처리를 구현하여 표적의 시간 정보를 갖는 특징을 추출하고 표적의 위치를 추정하는 알고리듬을 제안한다. 무선 센서 노드에서는 웨이블릿 변환을 통해 추출된 웨이블릿 근사 상수와 세부 상수를 제안된 알고리듬을 통해 탐지 및 식별에 사용되는 특징을 기지국으로 전송함으로서 에너지 효율적인 센서 노드 신호처리를 구현한다.

3.1 웨이블릿 상수 신호처리

웨이블릿 변환이 한번 수행될 때 마다 웨이블릿 상수는 원 신호의 샘플 개수의 절반씩으로 개수가 줄어든다. 본 논문에서는 리프팅 스킴 웨이블릿 변환을 이용하여 각 센서 노드에서 연산량을 줄임으로서 고속으로 웨이블릿 변환을 수행하고 에너지 효율적인 신호처리를 구현한다. 먼저 웨이블릿 변환을 2 수준으로 수행하여 추출되는 근사 상수는 원 신호의 25%의 샘플 개수를 가지게 되고 이 근사 상수를 식별에 사용하는 특징으로 사용한다. 특징 신호는 보간법을 통해 원 신호의 25% 크기의 근사 상수만 가지고도 원 신호와 같이 복원 할 수 있으므로 식별을 위한 특징으로 사용하여 각 센서 노드에서는 2 수준 웨이블릿 근사 상수만을 기지국으로 전송 하여 식별에 사용한다.

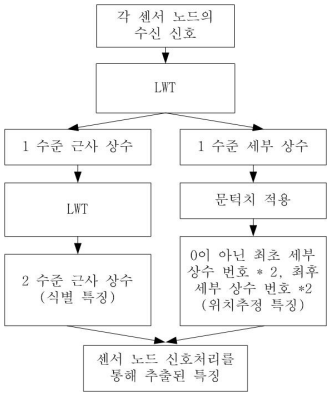
2 수준 세부 상수는 고주파 성분으로서 센서의 탐지 범위에 따라 문턱치를 적용하여 표적의 존재유무를 탐지하는 시간정보 특징을 추출하는데 사용된다. 즉, 표적이 센서의 탐지 범위 내를 통과하는 시간을 추정하고 표적의 탐지 시간 정보를 추출하여 표적의 위치추정에 사용되는 특징으로 사용한다. 세부 상수의 문턱치는 음향 신호의 특징에 따라 적응적으로 조절 되어야 하고 자동차 음향 신호의 경우 특징 상수 값의 평균 + 0.02 의 값이 실험적으로 적합함을 알 수 있었다. 그림 2는 본 논문에서 제안한 알고리듬을 통해 추출한 근사 및 세부 상수를 이용한 특징을 나타낸 것이다. 그림 2에서 1 수준 세부 상수를 이용해 추출된 탐지 특징은 표적의 시간 정보에 해당하는 샘플 번호를 가지고 있음을 확인할 수 있고 원 차량 신호에서 나타나는 바람에 의한 배경 잡음을 확실히 제거하는 것을 볼 수 있다. 실제로 차량은 1 수준 세부 상수에서 약 8000에서 17000샘플에 해당하는 부분에서 지나가고 있다. 본 논문에서 제안하는 표적의 위치 추정 특징은 1 수준 세부 상수에 탐지 문턱치를 적용하여 추출된 특징에 최대값에 해당하는 샘플 번호이다. 이 샘플 번호는 표적의 시간 정보를 정확히 나타내므로 추출된 특징과 TDOA(time difference of arrival)를 이용하여 정확한 표적의 위치를 추정한다.



[그림 2] 제안된 탐지 문턱치를 이용해 추출된 특징

3.2 센서 노드 신호처리 알고리듬

본 논문에서 제안하는 무선 센서 네트워크에서 센서 노드의 리프팅 스킴 웨이블릿 변환을 이용한 에너지 효율적인 특징 추출 알고리듬은 다음 그림 3과 같다.

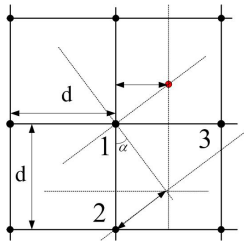


[그림 3] 제안한 센서 노드 특징 추출 기법

그림 3 과 같이 1 수준 세부 상수를 이용하여 위치 추정 및 탐지 특징을 추출 하고 2 수준 근사 상수를 이용하여 식별 특징을 추출함으로서 기존의 에너지 기반 기법이 가지는 식별 특징 상실의 단점을 극복하고 원 신호 압축 전송 방법에 비해 연산 및 전송 에너지를 효율적으로 개선하였다. 여기서 1 수준 세부 상수 번호의 경우 시간 정보를 가지지만, 원 신호 길이의 절반이므로 위치 추정에 사용할 때에는 상수 번호에 두배를 곱해주어야 원 신호의 시간 정보가 된다.

3.3 TDOA를 이용한 표적의 위치 추정

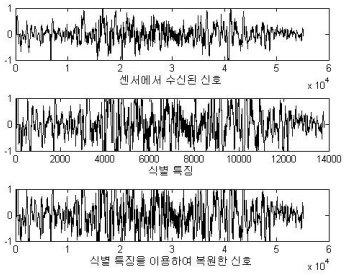
본 논문에서는 음향 표적을 탐지할 때 센서의 정확한 위치를 알고 있고, 센서는 등 간격으로 배치되며, 음파의 전달 모델은 평면파라고 가정한다. 무선 센서 네트워크 각 센서의 시간 동기 및 센서 상호간의 통신에 의한 시간 지연은 이상적인 상황을 가정한다. 또한 각 센서는 같은 간격으로 균등하게 분호하여있다고 가정한다. 그림 4는 무선 센서 네트워크에서 9개의 센서를 배치한 간단한 형태이다. 그림 4에서 보는 것과 같이 TDOA를 이용하여 1, 2, 3 세 개의 센서에서 추출된 위치 추정 특징을 이용하여 표적의 위치를 정확히 추정할 수 있다. 일반적으로 TDOA는 소나(SONAR) 등에서 표적의 위치를 추정할 때 사용하는 방법으로서 1, 2, 3번 세 개의 센서에서 본 논문에서 제안한 기법으로 추정한 위치 추정 특징의 시간 정보를 이용하여 각 센서 노드들 간의 시간차를 계산하여 표적의 위치를 추정한다. 즉 1, 2번 센서를 이용하여 표적의 가로 좌표를 추정하고 1, 3번 센서의 시간 정보를 이용하여 표적의 세로 좌표를 추정함으로서 표적의 정확한 위치를 추정할 수 있다.



[그림 4] 제안된 탐지 문턱치를 이용해 추출된 특징

4. 시뮬레이션 결과

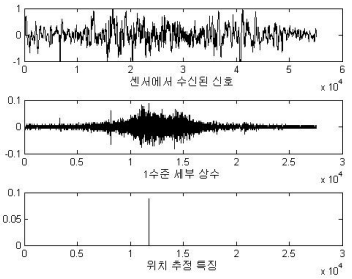
본 논문에서 제안한 무선 센서 노드에서 신호처리 기법을 통한 특징 추출을 검증하고 기존의 원 신호 전송 방법과 비교하여 시뮬레이션 하였다. 본 논문에서 제안한 방법으로 추출된 특징 복원하여 원 신호와 비교함으로써 식별에 사용이 가능함을 보였다. 컴퓨터 시뮬레이션에서 사용한 자동차 신호는 도로에서 2m 떨어진 곳에서 마이크로 녹음된 신호이며 차량이 약 1.5초 정도에 마이크 앞을 통과하는 신호 데이터베이스이다[10,11].



[그림 5] 원 신호, 추출된 특징, 복원된 신호

그림 5는 23 km/h의 속도로 지나가는 자동차 신호와 본 논문에서 제안한 2 수준 근사 상수를 이용하여 추출한 특징 그리고 특징을 이용하여 복원된 신호이다. 그림 5를 통해 원 신호의 25%로 특징의 크기가 줄어드는 것을 확인할 수 있고 복원된 신호가 원 신호와 거의 같음을 확인할 수 있다. 여기서 원 신호에 비해 복원된 신호의 에너지가 더 큰 이유는 복원된 신호는 세부 상수 없이 2 수준 근사 상수만으로 선형 보간법을 이용하여 복원된 신호이므로 약간의 오차에 기인한 것이다.

그림 6은 동일 신호를 본 논문에서 제안한 1 수준 세부 상수를 통해 추출한 탐지 특징을 보여준다. 원 신호의 1 수준 세부 상수와 문턱치를 적용하여 추출한 특징을 보여주고 0이상의 값을 갖는 최초 탐지 샘플과 최후 탐지 샘플을 통해 음향 표적이 센서를 통과하는 시간 정보를 추출하여 특징으로 사용할 수 있음을 확인할 수 있다. 따라서 그림 6의 위치 추정 특징은 세부 상수에 문턱치를 적용 후 다수개의 특징 신호에 최대값을 갖는 신호만 추출한 것으로서 표적이 센서를 통과할 때의 시간 정보를 의미한다.



[그림 6] 원 신호, 1 수준 세부 상수, 추출된 특징

본 논문에서는 제안한 방법을 이용해 추출된 특징에 TDOA를 적용하여 표적의 위치 추정 성능을 검증하기 위해 표적의 좌표를 랜덤하게 변경 시키며 시뮬레이션 해보았다. 위치 추정 실험에서 표적 차량의 길이가 평균 4 m 이므로 표적의 좌표에서 2m 미만의 오차가 발생하는 경우 정확히 추정한 것으로 실험하였다. 표 1은 차량의 이동 속도별 탐지 확률을 나타내었다.

[표 1] 제안된 기법을 이용한 표적 탐지 성능

	속도(Km/h)	탐지확률(%)
단일표적	24	81%
	40	78%

시뮬레이션 결과 기존의 에너지 기반 기법이 각 센서 노드 부근의 표적 존재 유무는 탐지 가능하나 표적의 위치를 추정하는데 어려움이 있는 반면 제안한 기법은 표적의 위치를 잘 추정함을 확인할 수 있다. 또한, 식별 특징을 기지국으로 전송하여 향후 식별에 사용할 수 있고, 식별 특징이 기존의 원 신호 전송 기법 대비 25%의 길이로 줄어들기 때문에 리프팅 스킴 웨이블릿 변환을 통해 소모되는 연산 에너지 소모보다 통신에 소모되는 에너지가 매우 크므로 무선 센서 노드의 에너지 소모를 감소시킨다.

5. 결론

본 논문에서 제안한 기법은 기존의 에너지 기반기법의 단점인 식별 특징의 상실을 극복하고 식별 특징을 전송하기 위해 원 신호를 전송하는 방법에 비해 표적의 위치 추정 특징과 원 신호대비 25%로 줄어든 식별 특징을 추출하여 전송함으로서 리프팅 스킴 웨이블릿 변환에 의해 소모되는 에너지를 포함하여 기존 기법 보다 약 30%로 전송 에너지 개선을 구현 하였다. 본 논문에서 제안한 기법은 현재 무선 센서 네트워크에서 널리 사용되는 멀티 홉(multi-hop)으로 전송 하는 방법의 경우 각 홉의 수에 비례하여 에너지 소모를 줄일 수 있다는 장점이 있다.

참고문헌

[1] Q. Zhao, R. Manohar, R. Ulman, V.V. Veeravalli, "Resource-Constrained Signal Processing, Communication, and Networking" *Signal Processing Magazine, IEEE,* vol. 24, no.3, pp.12-14, May, 2007

[2] B.M. Sadler, "Fundamentals of Energy-Constrained Sensor Network Systems" *A&E systems Magazines, IEEE* vol. 20, no.8, part2, Aug, 2007.

[3] Y. Hong, W. Huang, F. Chiu, C.C. Jay Kuo, "Cooperative Communications in Resource-Constrained Wireless Networks" *Signal Processing Magazine, IEEE,* vol. 24, no.3, pp.47-57, May, 2007.

[4] 차대현, 이태영, 한군희, 홍진근, 황찬식, "무선 센서 네트워크에서 Lifting Scheme Wavelet을 이용한 센서 노드 신호처리" 한국 산학 기술 학회 추계 학술발표 논문집, 2009.

[5] L. Jing, H. Guo, Y. Sun, Hongyu, "Pulse signal de-noising based on integer lifting scheme wavelet transform" ICBBE'07 IEEE conf. on 6-8 July 2007.

[6] A. Ciancio, A. Ortega, "A distributed wavelet compression algorithm for wireless sensor network unsing lifting" Proc. ICASSP'05 IEEE conference on vol. 4, 17-21, Mar. 2005.

[7] 차대현, 이태영, 한군희, 홍진근, 황찬식, "표적 감시를 위한 무선 센서 네트워크에서 웨이블릿 상수를 이용한 특징 추출" 한국 산학 기술 학회 추계 학술발표 논문집, 2009.

[8] Sweldens, W. "The lifting scheme: a construction of second-generation wavelets" SIAM J. Math. Anal. 29(2)511-546, 1997.

[9] Daubehies I., and Sweldens, W. "Factoring Wavelet Transforms into Lifting Steps" Jounal of Fourier

Anal. 4(3)247-269, 1998.
[10] J. Ding, S. Y. Cheung, C. W. Tan, P. varaiya "Signal processing of sensor node data for vehicle detection" ITSC-04 IEEE conference on 3-6 Oct. 2004.
[11] http://path.berkely.edu/~singyju

차 대 현(Dae-Hyun Cha) [정회원]

- 2004년 2월 : 경북대학교 전자공학과 정보통신 전공 졸업
- 2006년 2월 : 동대학원 전자공학과 정보통신 전공 석사
- 2006년 3월 ~ 현재 : 동대학원 전자전기컴퓨터학부 박사과정

<관심분야>
디지털신호처리, 무선 센서 노드 신호처리, 무선 센서 네트워크 프로토콜 및 보안, 수중 음향 신호처리

이 태 영(Tae-Young Lee) [정회원]

- 2008년 2월 : 계명대학교 전자공학과 졸업
- 2008년 3월 ~ 현재 : 경북대학교 일반대학원 전자전기컴퓨터학부 석사

<관심분야>
디지털신호처리, 수중 음향 신호처리,
무선 센서 네트워크

홍 진 근(Jin-Keun Hong) [정회원]

- 2008년 12월 ~ 현재 : 백석대학교 정보통신학부 교수

<관심분야>
전술통신, 센서넷, RFID, 무선랜 보안

한 군 희(Kun-Hee Han) [종신회원]

- 2008년 8월 ~ 현재 : 백석대학교 정보통신학부 교수

<관심분야>
암호프로토콜, 네트워크 보안, 영상처리

황 찬 식(Chan-Sik Hwang) [정회원]

- 1977년 2월 : 서강대학교 전자공학과 졸업
- 1979년 2월 : 한국과학기술원 전기및전자공학과 석사
- 1996년 2월 : 동대학원 전기및전자공학과 박사
- 1979년 3월 ~ 현재 : 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 교수

<관심분야>
영상신호처리, 수중음향신호처리, 디저털신호처리, 영상통신, 무선 센서 네트워크 등