

# 무선 센서 네트워크에서 Lifting Scheme Wavelet을 이용한 센서 노드 음향 신호 처리

차대현\*, 이태영\*, 홍진근\*\*, 한군희\*\*, 황찬식\*

\*경북대학교 전자전기컴퓨터학부

\*\*백석대학교 정보통신학부

e-mail : leopolaris@naver.com

## Sensor Node Acoustic Signal Processing in Wireless Sensor Network using Lifting Scheme Wavelet

Dae Hyun Cha\*, Tae Young Lee\*, Jin Keun Hong\*\*,

Kun Hui Han\*\*, Chan Sik Hwang\*

\*Dept of Electric Electronic Computer,

Kyungpook National University

\*\*Dept of Information Communication, Baekseok University

### 요 약

무선 센서 네트워크에서 센서 노드는 그 목적에 따라 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 잡음제거 등의 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 에너지 효율적인 신호처리 기법은 무선 센서 네트워크의 생존 시간과 표적 탐지 및 식별이라는 목적에 대한 성능에 큰 영향을 끼치게 된다. 본 논문에서는 무선 센서 네트워크에서 센서 노드의 필수적인 신호처리를 Lifting scheme wavelet 방법을 이용하여 센서 노드에서 에너지 효율적인 신호처리 기법을 제안한다.

### 1. 서론

무선 센서 네트워크는 조류 서식지 감시, 홈 네트워크, 의료보건 등의 상업적 분야와 차량 탐지 및 식별, 침입 탐지 및 추적 등의 군사적 분야에서 최근 많이 연구 되고 있다. 일반적으로 무선 센서 네트워크는 기지국, 게이트웨이, 센서 노드로 구성된다. 무선 센서 네트워크의 센서 노드는 그 특성상 작고, 값싸며, 가벼운 특성을 가져야 하며 센서 노드의 에너지 제한적이고 통신 대역폭의 제한이라는 단점으로 인해 무선 센서 네트워크의 생존 시간이 길어지기 위해서는 필수적인 기능들을 에너지 효율적으로 수행해야 한다. 이러한 센서 노드의 특성 및 제약으로 인해 무선 센서 네트워크에서 센서 노드 하드웨어 및 센서 노드에서 신호처리는 최근 많은

연구가 이루어지고 있다.

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 탐지 및 식별하는 알고리즘은 매우 중요하다. 무선 센서 네트워크에서 음향 표적을 탐지하고 감시 및 식별을 수행하기 위해서는 기지국, 게이트웨이, 센서 노드 등에서의 신호처리 및 탐지 및 식별을 위한 알고리즘이 필수적이다.

무선 센서 네트워크의 생존 시간, 탐지 및 식별 성능은 센서 노드에서의 신호처리 기법에 따라 매우 큰 차이를 보인

다. 이러한 센서 노드에서의 신호처리는 일반적으로 에너지 기반 방법과 수신된 신호의 잡음제거, 압축 등으로 통한 원 신호 전송을 통한 탐지 및 식별방법이 많이 사용되었다. 이런 센서 노드에서의 기존의 신호처리 방법들은 원 신호의 정보를 잃어버리거나 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.[1-2]

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. Lifting scheme wavelet 해석 방법과 integer wavelet 해석의 개발로 무선 센서 네트워크의 센서 노드 신호처리에서 웨이블릿 해석 방법을 적용할 수 있게 되었다.[3]

본 논문에서는 lifting scheme 웨이블릿 분해 기법을 이용하여 무선 센서 네트워크에서 음향 표적의 위치 추정 및 식별을 위한 센서 노드에서의 신호 처리 기법을 제안한다. 센서 노드에서는 lifting scheme 웨이블릿 분해를 통해 잡음이 제거된 원 신호와 웨이블릿 상수를 추출하고 추출된 웨이블릿 상수를 본 논문에서 제안하는 신호처리 알고리즘을 통해 표적의 위치 추정과 기지국에서의 식별에 사용하기 위한 특징을 추출한다.

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.[1-3]

2.1. Lifting scheme 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. 스웰덴(Swelldens)이 제안한 lifting scheme 웨이블릿 변환은 기존의 이산 웨이블릿 변환 보다 낮은 연산량으로 인해 실시간 시스템에 적용이 가능하고 Mallat 알고리즘을 적용하여 고속으로 웨이블릿 변환을 수

행할 수 있다.[4]

일반적으로 lifting scheme 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 1은 lifting scheme 웨이블릿 변환의 분해와 복원 과정을 나타낸다.[3]

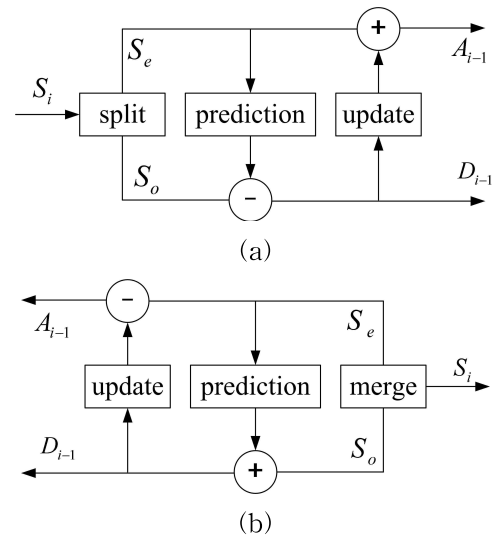


그림 1. Lifting scheme 웨이블릿 변환 (a) 분해(decomposition) (b) 복원(reconstruction)

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

분열 : 원 신호 \$S\$를 짝수 번째 샘플 \$S\_e\$와 홀수 번째 샘플 \$S\_o\$로 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.

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

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.

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

갱신 과정을 거치고 난 신호는 근사상수(approximation

coefficient)로서 원 신호의 저주파 정보를 가진다.

그림 1 (b)는 lifting scheme 웨이블릿 변환의 복원 과정으로서 분해 과정의 역방향으로 세부상수와 근사상수를 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 세부상수와 근사상수가 추출된다. 세부상수는 원 신호의 고주파 특성을 가지고 있으며, 근사상수는 저주파 특성을 가지고 있다.[5] 음향 신호의 경우, 원 신호의 고주파 잡음이 제거된 근사상수를 특징으로 사용하는 것이 일반적이다.

### 3. 제안된 센서 노드 신호처리 방법

본 논문에서는 lifting scheme 웨이블릿 변환을 이용하여 무선 센서 노드에서 음향 신호를 처리하여 기존의 에너지 기반 기법과 원 신호 압축 전송 방법에 비해 에너지 효율적인 신호처리를 구현하는 알고리즘을 제안한다. 무선 센서 노드에서는 웨이블릿 변환을 통해 추출된 웨이블릿 근사상수와 세부상수를 제안된 알고리즘을 통해 탐지 및 식별에 사용되는 특징을 기지국으로 전송함으로써 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 lifting scheme 웨이블릿 변환을 이용하여 각 센서 노드에서 연산량을 줄임으로서 고속으로 웨이블릿 변환을 수행하고 에너지 효율적인 신호처리를 구현한다. 먼저 웨이블릿 변환을 2 수준으로 수행하여 추출되는 근사상수는 원 신호의 25%의 샘플 개수를 가지게 되고 이 근사상수를 식별에 사용하는 특징으로 사용한다. 특징 신호는 보간법을 통해 원 신호의 25% 크기의 근사상수만 가지고도 원 신호와 같이 복원 할 수 있으므로 식별을 위한 특징으로 사용하여 각 센서 노드에서는 2 수준 웨이블릿 근사상수만을 기지국으로 전송 하여 식별에 사용한다.

2 수준 세부상수는 고주파 성분으로서 센서의 탐지 거리에 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. 세부상수의 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 3은 본 논문에서 제안한 알고리즘을 통해 추출한 근사 및 세부상수를 이용한 특징을 나타낸 것이다.

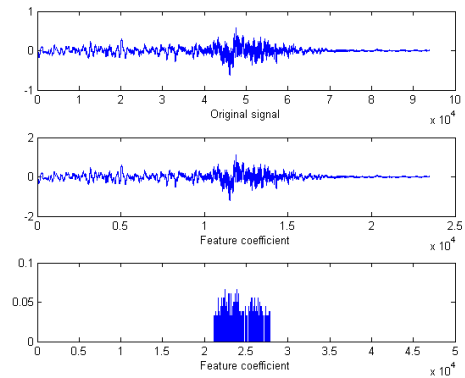


그림 3. 제안된 기법을 이용해 추출된 특징

#### 3.2. 센서 노드 신호처리 알고리즘

본 논문에서 제안하는 무선 센서 네트워크에서 센서 노드의 lifting scheme 웨이블릿 변환을 이용한 에너지 효율적인 특징 추출 알고리즘은 다음 그림 3과 같다.

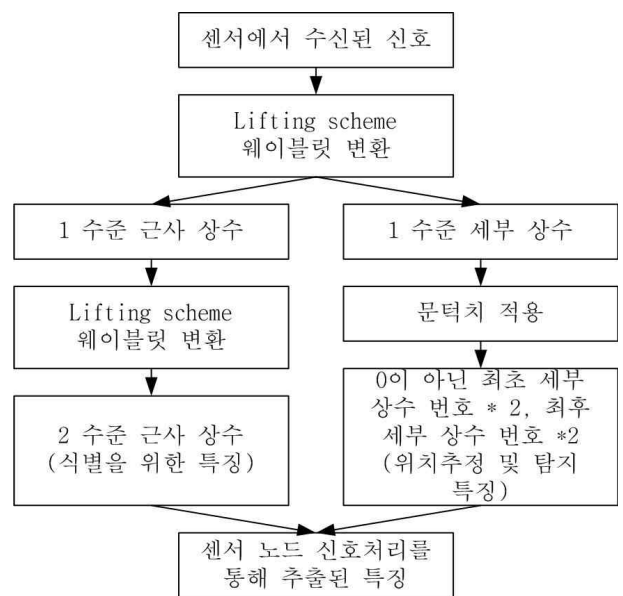


그림 3. 제안한 센서 노드 특징 추출 기법

그림 3 과 같이 1 수준 세부상수를 이용하여 위치 추정 및 탐지 특징을 추출 하고 2 수준 근사상수를 이용하여 식별 특징을 추출함으로써 기존의 에너지 기반 기법이 가지는 식별 특징 상실의 단점을 극복하고 원 신호 압축 전송 방법에 비해 연산 및 전송 에너지를 효율적으로 개선하였다.

#### 4. 컴퓨터 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.[5,6]

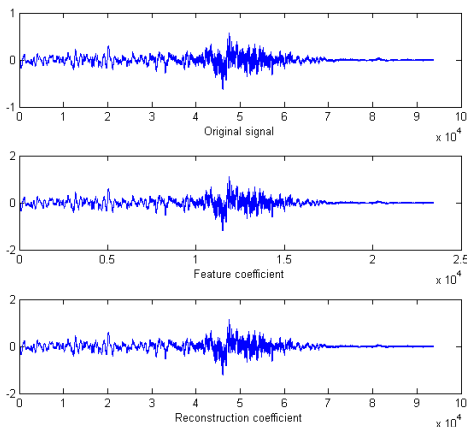


그림 4. 원 신호, 추출된 특징, 복원된 신호

그림 4는 23 km/h의 속도로 지나가는 자동차 신호와 본 논문에서 제안한 2 수준 근사상수를 이용하여 추출한 특징 그리고 특징을 이용하여 복원된 신호이다. 그림 4를 통해 원 신호의 25%로 특징의 크기가 줄어드는 것을 확인할 수 있고 복원된 신호가 원 신호와 거의 같음을 확인할 수 있다.

그림 5는 동일 신호를 본 논문에서 제안한 1 수준 세부상수를 통해 추출한 탐지 특징을 보여준다. 원 신호의 1 수준 세부상수와 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.

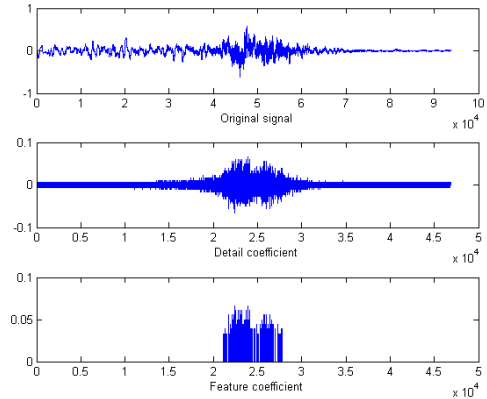


그림 5. 원 신호, 1 수준 세부상수, 추출된 특징

#### 5. 결론

본 논문에서 제안한 기법은 기존의 에너지 기반 기법의 단점인 식별 특징의 상실을 극복하고 식별 특징을 전송하기 위해 원 신호를 압축하는 방법에 비해 특징을 추출하여 전송함으로써 기존 기법 보다 약 30%의 전송 에너지 개선을 구현 하였다. 본 논문에서 제안한 기법은 현재 무선 센서 네트워크에서 널리 사용되는 멀티홉(multi-hop)으로 전송 하는 방법의 경우 각 홉의 수에 비례하여 에너지 소모를 줄일 수 있다는 장점이 있다.

#### 참고문헌

- [1] 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*
- [2] A. Ciancio, A. Ortega, "A distributed wavelet compression algorithm for wireless sensor network using lifting" *Proc. ICASSP'05 IEEE conference on vol. 4, 17-21, Mar. 2005*
- [3] Sweldens, W. "The lifting scheme: a construction of second-generation wavelets" *SIAM J. Math. Anal.*, 1997, 29(2)511-546
- [4] Daubechies I., and Sweldens, W. "Factoring Wavelet Transforms into Lifting Steps" *Journal of Fourier Anal.* 1998, 4(3)247-269
- [5] 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*
- [6] <http://path.berkeley.edu/~singyju>