

철조망 감시를 위한 무선 센서 네트워크에서 이산 웨이블릿 변환 기반의 동적 시간 정합 알고리즘을 이용한 특징 추출

이태영*, 차대현*, 홍진근**, 한군희**, 황찬식*

*경북대학교 전자전기컴퓨터학부

**백석대학교 정보통신학부

e-mail:gmlakd1982@naver.com

Feature Extraction using Dynamic Time-warped Algorithms based on Discrete Wavelet Transform in Wireless Sensor Networks for Barbed Wire Entanglements Surveillance

Lee Tae Young*, Cha Dae Hyun*, Hong Jin Keun**, Han Kun Hui**, Hwang Chan Sik*

*Dept of Electric Electronic Computer, Kyungpook National University

**Dept of Information Communication, Baekseok University

요 약

무선 센서 네트워크는 화산 감시, 전장 감시, 동물 서식지 감시, 건축물의 감시, 농장 관리, 의료분야 등 다양한 분야에서 연구되고 있다. 국내에서도 국가 정책 사업으로 교량 및 건축물의 균열 감시, 표적의 침입 탐지 및 식별을 위한 무선 센서 네트워크 연구가 활발히 진행 중이다. 특히, 무선 센서 네트워크의 다양한 분야의 연구 중에서 철조망을 이용한 표적의 침입 탐지 및 식별에 관한 연구는 산업 시설, 보안지역, 교도소, 군사지역, 공항 등 다양한 분야에서 사용된다. 현재 철조망 감시는 대부분 유선 센서 노드를 통한 유선 센서 네트워크 환경에서 이루어지고 있다. 기존의 유선 센서 네트워크는 높은 데이터 전송률을 통해 수신되는 높은 정보의 신호를 이용하여 고속 푸리에 변환에 의한 신호의 주파수 분석 기법을 사용해 왔다. 하지만, 유선 센서 네트워크의 높은 데이터 전송률과 비교하여 무선 센서 네트워크의 센서 노드는 유선 센서 네트워크에 비해 매우 낮은 데이터 전송률을 가진다. 따라서 무선 센서 네트워크에서 수신되는 신호의 정보가 매우 낮고, 유선 센서 네트워크에서 사용된 고속 푸리에 변환에 의한 신호의 주파수 분석에 따른 주파수별 특징 추출을 할 수 없다. 따라서 본 논문에서는 철조망 감시를 위한 높은 데이터 전송률을 보장하는 유선 센서 네트워크에 비해 제한된 통신자원과 센서 노드의 낮은 데이터 전송률로 인해 수신되는 한정적인 신호의 정보를 이용한 무선 센서 네트워크에서 철조망의 표적 침입 탐지 및 식별을 위한 특징 추출 알고리즘을 제안한다.

1. 서론

무선 센서 네트워크는 화산 감시, 전장 감시, 동물 서식지 감시, 건축물의 감시, 농장 관리, 의료분야 등 다양한 분야에서 연구되고 있다. 무선 센서 네트워크는 미래의 유비쿼터스 환경 구축을 위한 핵심 기술로서 전 세계적으로도 그 중요성이 인식되어 IEEE와 IETF 등 국제 표준기구들의 주도로 표준화 및 연구 활동이 빠르게 진행되고 있다.[1][2] 국내에서도 국가 정책 사업으로 교량 및 건축물의 균열 감시, 표적의 침입 탐지 및 식별을 위한 무선 센서 네트워크 연구가 활발히 진행 중이다. 무선 센서 네트

워크는 최근 센서 기술, 저전력 RF 및 SOC 설계 기술 등의 발달로 소형, 저가, 저전력의 센서 노드 하드웨어 개발이 가능하게 되었다.[3] 소형의 센서 노드는 관측을 원하는 지역에 설치하여 망을 구성하고, 각 센서 노드가 감지한 자연 현상이나 여러 가지 정보를 사용자에게 전송해 주는 무선 센서 네트워크가 형성된다.

무선 센서 네트워크의 다양한 분야의 연구 중에서 철조망을 이용한 표적의 침입 탐지 및 식별에 관한 연구는 산업시설, 보안지역, 교도소, 군사지역, 공항 등 다양한 분야에서 사용된다. 현재 철조망 감시는 대부분 유선 센서 노드를 통한 유선 센서 네트워

크 환경에서 이루어지고 있다. 기존의 유선 센서 네트워크는 높은 데이터 전송률을 통해 수신되는 높은 정보의 신호를 고속 푸리에 변환을 이용하여 신호의 주파수 분석 기법을 사용한다.

하지만 철조망 감시를 위한 유선 센서 네트워크는 최초 설치에서 많은 비용과 인력이 요구될 뿐만 아니라 유지 및 보수가 매우 어렵다. 뿐만 아니라 유선 센서 노드는 특정 노드에서 문제가 발생하거나, 유선 센서 노드끼리의 통신에 문제가 발생하면 전체 유선 센서 네트워크의 통신이 이루어지지 않는다. 따라서 기존의 유선 센서 네트워크 환경의 철조망 감시는 무선 센서 네트워크로 전환이 필요하다. 무선 센서 네트워크는 특정 노드에서 문제가 발생하게 되더라도 이웃한 무선 센서 노드끼리의 통신으로 인하여 전체 무선 센서 네트워크 통신에는 문제가 발생하지 않고, 문제가 발생한 무선 센서 노드만 수리 및 보수가 이루어지므로 그에 따른 비용도 절감할 수 있다.

현재 무선 센서 네트워크 환경에서 신호처리 방법은 수신된 신호의 에너지를 계산하여 문턱치 이상의 경우 표적의 존재 유무만을 기지국으로 전송하는 방법과 표적으로부터 수신된 신호를 잡음 제거하여 압축한 후 기지국으로 전송하는 방법이 많이 연구되어 왔다. 기존의 에너지 기반의 신호처리 방법은 표적의 존재 여부만 기지국으로 전송함으로써 표적의 에너지를 제외한 모든 정보를 잃어버리게 되는 단점이 있고, 전체 신호를 압축하고 전송하는 경우 신호처리 및 통신에 소모되는 자원이 매우 크다는 단점이 있다.

본 논문에서는 철조망 감시를 위한 높은 데이터 전송률을 보장하는 유선 센서 네트워크에 비해 제한된 통신자원과 센서 노드의 낮은 데이터 전송률로 인해 수신되는 한정적인 신호의 정보를 이용한 무선 센서 네트워크에서 철조망의 표적 침입 탐지 및 식별을 위한 특징 추출 알고리즘을 제안한다.

2. 특징 추출 및 식별을 위한 신호처리 기법

2.1. 웨이블릿 변환

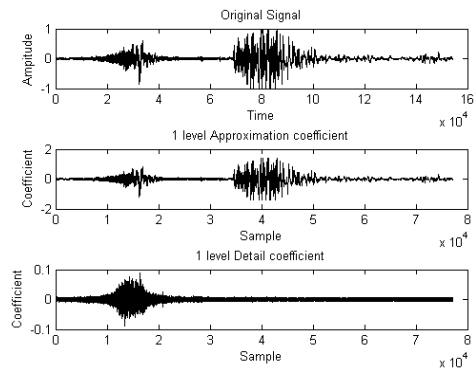
웨이블릿 변환 기법은 최근 신호처리 기법에서 많이 사용되는 방법 중의 하나이다. 지진의 진동, 사람의 목소리, 자동차 엔진의 떨림, 의료 영상, 음악 등 다양한 신호의 분석에서 사용된다. 이 신호처리 기법은 시간 영역과 주파수 영역의 신호 특성을 잘

나타낸다는 특징으로 인해 신호의 특징 정보를 얻고자 할 때 많이 사용되고 있다.

웨이블릿 변환 기법은 시간과 주파수의 두 영역에서 신호를 표시 할 수 있기 때문에 신호의 에너지와 같은 시간적 특성과 저주파수 영역에 에너지가 밀집되어 있는 신호의 주파수적 특성을 보다 효율적으로 나타낼 수 있는 특징이 있다. 뿐만 아니라, 환경적 요소에 의한 잡음이 포함된 신호의 경우 잡음의 영향을 최소화할 수 있는 장점을 가지고 있다.[4][5]

그림 1은 1 수준 이산 웨이블릿 변환을 통해 각각 근사상수(Approximation Coefficient)와 세부상수(Detail Coefficient)로 분해된 신호이다. 그림에서와 같이 근사상수는 신호의 저주파 특징을 가지고 있고, 세부상수는 신호의 고주파 특징을 가지고 있다.

일반적으로, 웨이블릿 변환을 한번 수행하면 분해된 세부상수와 근사상수는 원신호 샘플 개수의 절반이 된다. 이는 표적의 특징으로 사용될 샘플 개수가 줄어들어 에너지 및 통신자원 제한의 단점을 보완할 수 있다.

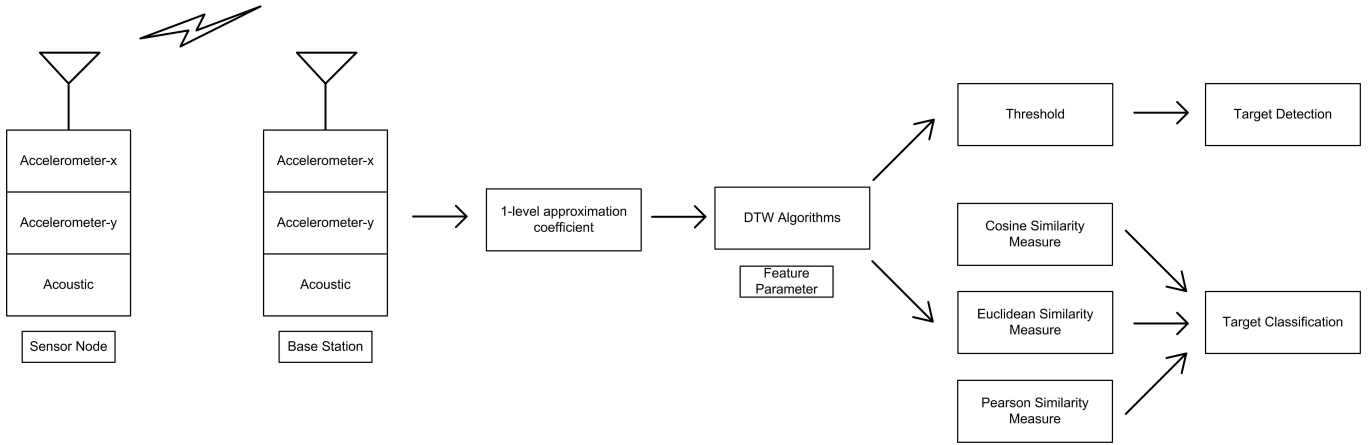


[그림 1] 이산 웨이블릿 변환

2.2. 동적 시간 정합 알고리즘

입력 신호 혹은 표적의 식별에 있어 기준패턴과 시험패턴 사이의 거리를 계산하고자 할 때 고려하여야 할 문제점은 입력 신호 혹은 표적의 속도가 달라진다는 것이다. 즉, 동일한 표적이라도 속도가 비선형적으로 늘어나거나 줄어들게 된다. 따라서 이를 해결하기 위해 동적 프로그램(dynamic program) 기법을 사용하며, 표적 식별에 있어서 동적 프로그램이 시간축에 관한 것이므로 Dynamic Time-warped(DTW)이라 부른다.[6]

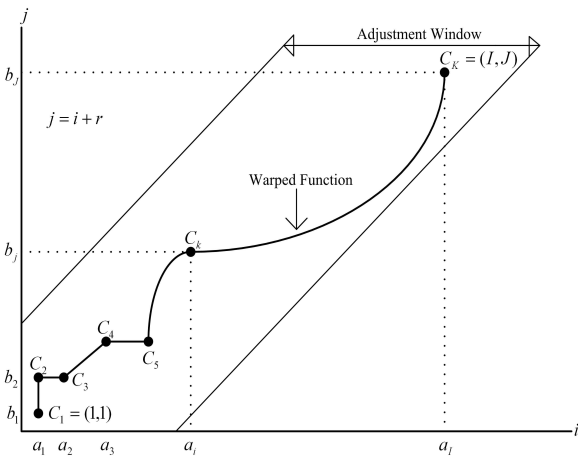
그림 2는 warping 함수 F 에 의해 두 패턴 A, B 를 정합(matching)시키는 과정을 나타낸 것이다. 길



[그림 3] 제안된 센서 노드 신호 처리 알고리즘

이가 I, J 인 신호 A, B 의 특징벡터는 다음 식 (1)~(2)와 같은 벡터열로 나타낼 수 있다.

(Measure) 알고리즘을 사용한다.



[그림 2] Wapping 함수와 조정 창

$$A = a_1, a_2, a_3, \dots, a_I \quad (1)$$

$$B = b_1, b_2, b_3, \dots, b_J \quad (2)$$

A, B 를 i, j 축에 놓을 때 서로를 정합시켜 주는 점을 $c(k)$ 라 하면, warping 함수 F 는 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$F = c(1), c(2), c(3), \dots, c(k), \dots, C(K) \quad (3)$$

2.3. 유사도 측정 알고리즘

무선 센서 노드 위치에 의해 동일한 표적임에도 불구하고 수신되는 신호의 정보가 차이난다. 각 무선 센서 노드로부터 오는 모든 신호는 공간적인 거리에 상관없이 동일한 표적으로 인식되어야 한다. 이를 해결하기 위하여 유사도 측정(Similarity

2.3.1. 유클리디안 유사도

유클리디안 유사도는 모든 구성요소들에 대한 두 지점간 직선 연결거리의 합으로 계산된다. 두 지점간의 거리가 작은 거리일수록 더 높은 유사도를 의미한다. 유클리디안 유사도는 식 (4)와 같이 계산된다.

$$C_{euclidean}(x, y) = \sqrt{\sum_{i=1}^N (x_i - y_i)^2} \quad (4)$$

여기서, x_i, y_i 는 비교될 두 벡터값이다.

2.3.2. 피어슨 유사도

피어슨 유사도는 매개 상관도로서 간격이나 비율 스케일상에 있는 두 순서열간의 선형적 관계 정도를 반영한다. 피어슨 유사도의 값의 범위는 -1에서 +1까지이며, -1은 완전히 부정적 선형관계를 의미하고, 반대로 +1은 완전한 긍정적 선형관계를 의미하며 0은 두 순서열 사이에 아무런 선형적 관계가 없음을 의미한다. 피어슨 유사도는 식 (5)와 같이 계산된다.

$$C_{pearson}(x, y) = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - m_x)(y_i - m_y)}{\sqrt{\left[\sum_{i=1}^N (x_i - m_x)^2 \right] \left[\sum_{i=1}^N (y_i - m_y)^2 \right]}} \quad (5)$$

여기서, m_x 는 x_i 의 평균값을 나타내고, m_y 는 y_j 의 평균값을 나타낸다.

2.3.3. 코사인 유사도

코사인 유사도는 두 벡터간의 코사인 각도로서 계산된다. 코사인 유사도의 범위는 피어슨 유사도와 마찬가지로 -1에서 +1까지이며, -1은 완전히 부정적 관계를 의미하고, +1은 긍정적 관계를 의미하며, 0은 두 벡터의 순서열 사이에 아무런 관계가 없음을 의미한다. 코사인 유사도는 식 (6)과 같이 계산된다.

$$C_{\cosine}(x, y) = \frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \times y_i}{\|x\| \times \|y\|} \quad (6)$$

여기서, $\|x\| = \sqrt{x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_n^2}$ 이고,
 $\|y\| = \sqrt{y_1^2 + y_2^2 + \dots + y_n^2}$ 이다.

3. 이산 웨이블릿 변환 기반의 동적 시간 정합 알고리즘

무선 센서 네트워크에서 획득한 신호는 제한된 통신자원으로 인해 극히 한정적인 신호만을 수신한다. 따라서 유선 센서 네트워크에서 사용된 표적의 침입 탐지 및 식별을 위한 고속 푸리에 변환을 통한 주파수별 분석은 불가능하다.

그림 3은 본 논문에서 제안한 센서 노드 신호처리 알고리즘이다. 이산 웨이블릿 변환을 이용하여 1수준 웨이블릿 분해를 통한 웨이블릿 상수를 추출하고, 추출된 웨이블릿 상수 중 근사상수를 동적 시간 정합 알고리즘을 이용하여 표적의 침입 및 식별을 위한 특징을 추출한다.

무선 센서 네트워크는 센서 노드의 에너지 및 통신자원의 제약으로 수신되는 신호가 한정적이다. 따라서 원신호에 비해 샘플 개수는 작지만, 원신호 특징은 모두 포함하는 근사상수를 특징으로 사용하면 침입 탐지 및 식별의 정확성을 향상시킬 수 있다.

4. MTS310CA 센서 보드를 이용한 철조망 감시 실험

실시간 무선 센서 네트워크에서 철조망 감시를 위한 실험이다. 실험에 사용되는 멀티 센서 모듈인 MTS310CA 센서 보드는 소리, 조도, 온도 및 2차원 진동, 자력 신호를 수집한다. 실험에서는 실시간으로 철조망의 진동 신호와 소리 신호를 수집하여 기지국으로 전송한다.

표 1은 두 가지 종류의 침입 신호를 이산 웨이블릿 변환하여 1 수준 근사상수를 특징으로 이용한 철조망 침입 탐지 결과이다. 이산 웨이블릿 변환에 의해 추출된 1 수준 근사상수를 특징으로 이용한 침입 탐지가 원신호를 특징으로 이용한 침입 탐지에 비해 향상된 결과를 확인할 수 있다. 특히, 원신호를 특징으로 이용한 경우 철조망 절단 신호의 탐지 결과에서 x축-진동 신호의 경우 65%, y축-진동 신호의 경우 67%의 탐지 누락 결과가 나타났다.

[표 1] 웨이블릿 기저함수에 따른 표적 탐지 성능 결과

웨이블릿 기저함수 종류	탐지 결과 (%)	철조망 상단 침입		철조망 절단 침입	
		x축-진동	y축-진동	x축-진동	y축-진동
원신호	탐지	64	67	32	30
	오탐지	32	30	3	3
	누락	4	3	65	67
Daubechies 1	탐지	93	93	84	84
	오탐지	1	1	13	13
	누락	6	6	3	3
Daubechies 2	탐지	89	84	83	84
	오탐지	2	2	14	13
	누락	9	14	3	3
Daubechies 3	탐지	87	78	81	64
	오탐지	4	3	16	33
	누락	9	19	3	3

표 2, 3은 이산 웨이블릿 변환을 사용하여 추출된 근사상수와 동적 시간 정합 알고리즘을 사용하여 추출한 근사상수를 각각 코사인, 유클리디안, 피어슨 유사도를 이용한 표적의 식별 결과이다. 이산 웨이블릿 변환을 통해 추출된 1 수준 근사상수와 시험패턴과 기준패턴의 비선형 문제를 해결한 동적 시간 정합 기반의 1 수준 근사상수의 식별 결과는 동적 시간 정합 알고리즘 기반의 식별 알고리즘이 향상된 식별 결과가 나타났다.

[표 2] 이산 웨이블릿 변환 기반의 유사도를 이용한 표적 식별 결과

	Cosine Similarity Measure(%)	Pearson Similarity Measure(%)	Euclidean Similarity Measure(%)
철조망 상단 침입	66.4	85.4	64.6
철조망 절단 침입	41	23.8	3
바람에 의한 흔들림	44.2	41	42.2
비닐, 종이에 의한 흔들림	43.2	42	41.6
가벼운 물체에 의한 충격	53.6	46	42
무거운 물체에 의한 충격	54.8	52	44.2

[표 3] DTW 기반의 유사도를 이용한 표적 식별 결과

	Cosine Similarity Measure(%)	Pearson Similarity Measure(%)	Euclidean Similarity Measure(%)
철조망 상단 침입	88.6	74.6	70.2
철조망 절단 침입	42.4	36.2	3.4
바람에 의한 흔들림	52.2	41.6	42
비닐, 종이에 의한 흔들림	51	42.8	41.4
가벼운 물체에 의한 충격	57.6	45.4	42.4
무거운 물체에 의한 충격	57.2	50.8	45

5. 결론

철조망 감시를 위한 무선 센서 네트워크에서 획득한 신호는 센서 노드의 제한된 에너지와 통신자원으로 극히 한정적인 정보를 수신한다. 한정적인 정보를 이용하여 유선 센서 네트워크에서와 같은 침입 감시 정확성을 얻기 위하여 웨이블릿 변환을 이용하여 추출된 근사상수를 동적 시간 정합 알고리즘을 통해 동일한 표적이라도 매번 속도가 비선형적으로 늘어나거나 줄어들게 되는 문제점을 해결하여 표적의 탐지 및 식별 성능을 향상 시켰다.

참고문헌

[1] 정보통신부 MIC, “u-센서 네트워크(USN) 구축 기본계획”, 2004.2.

[2] Jongwoo Sung, Sungjin Ahn, Taesoo Park, Seonghun Jang, Dongheui Yun, Jonggu Kang, Seong-eun Yoo, Chong, P., Daeyoung Kim. “Wireless Sensor Networks for Cultural Property Protection,” Advanced Information Networking and Applications - Workshops, 2008. AINAW 2008. 22nd International Conference on, pp. 615 - 620, 25-28 March 2008.

[3] Chaczko, Z., Ahmad, F., Mahadevarr, V., “Wireless sensors in network based collaborative environments, ” Information Technology Based Higher Education and Training, pp. F3A/7 - F3A13, 7-9 July 2005.

[4] Daubechies, I., “The Waelet Transform Time Frequency Localization and Signal Analysis,”

IEEE Transactions on Info. Theory, Vol.36, No.5, pp. 961-1005, Sep 1990.

[5] Rioul O. and Vetterli, M., “Wavelet and Signal Processing”, IEEE Signal Processing Magazine, Vol.8, pp. 14-38. Oct 1991.

[6] Sakoe, S.Chiba, “Dynamic programming algorithm optimization for spoken word recognition,” IEEE Trans. ASSP, Vol.ASSP-24, Dec.1976, pp. 550-558.