

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

이태영¹, 차대현¹, 홍진근², 한군희², 황찬식^{1*}

¹경북대학교 전자전기컴퓨터학부

²백석대학교 정보통신학부

Feature Extraction using Discrete Wavelet Transform and Dynamic Time-Warped Algorithms in Wireless Sensor Networks for Barbed Wire Entanglements Surveillance

TaeYoung Lee¹, DaeHyun Cha¹, JinKeun Hong², KunHui Han² and
ChanSik Hwang^{1*}

¹Dept of Electric Electronic Computer, Kyungpook National University

²Dept of Information Communication, Baekseok University

요약 무선 센서 네트워크의 다양한 연구 분야 중에서 철조망에서의 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 네트워크 환경에서 이루어지고 있다. 기존의 유선 센서 네트워크는 100bps 이상의 높은 데이터 전송률을 통해 수신되는 높은 샘플링 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 샘플링이 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.

Abstract Various researches have been studied on WSN(wireless sensor network) for barbed wire entanglements surveillance applications such as industry facilities, security area, prison, military area, airport, etc. Currently, barbed wire entanglements surveillance is formed wire sensor network environment. Traditional wire sensor network guarantee high data transmission rate. Therefore, wire sensor network use fast fourier transform of data of high transmission rate for extraction of feature parameter. However, wireless sensor network in comparison with wire sensor network has very low data transmission rate. Therefore, wireless sensor network doesn't use fast fourier transform of wire sensor network for extraction of feature parameter. In this paper, proposed method use 1 level approximation coefficient of DTW(dynamic time-warped) algorithms based on DWT(discrete wavelet transform) for extraction of detection feature parameter and classification feature parameter for barbed wire entanglements surveillance. 1 level approximation coefficient have time information and frequency information of signal. Therefore, Dynamic time-warped algorithms based on discrete wavelet transform improve detection and classification of target rather than using energy of signal.

Key Words : Discrete Wavelet Transform, Dynamic Time-Warped Algorithms, Wireless Sensor Networks

*교신저자 : 황찬식(cshwang@knu.ac.kr)

접수일 09년 12월 08일

수정일 (1차 10년 02월 11일, 2차 10년 03월 08일)

게재확정일 10년 04월 09일

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]. 국내에서도 국가 정책 사업으로 교량 및 건축물의 균열 감시, 표적의 침입 탐지 및 식별을 위한 무선 센서 네트워크 연구가 활발히 진행 중이다[2]. 무선 센서 네트워크는 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 연구 분야 중에서 철조망에서의 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 100bps 이상의 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 사용되어 왔다. 기존의 에너지 기반의 신호처리 방법은 표적의 존재 여부만 기지

국으로 전송함으로써 표적의 에너지를 제외한 모든 정보를 잃어버리게 되는 단점이 있고, 전체 신호를 압축하고 전송하는 경우 신호처리 및 통신에 소모되는 자원이 매우 크다는 단점이 있다[4,5].

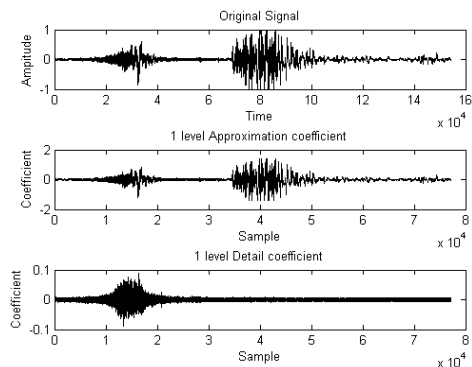
본 논문에서는 철조망 감시를 위한 100bps 이상의 높은 데이터 전송률을 보장하는 유선 센서 네트워크에 비해 제한된 통신자원과 10bps 이하의 낮은 데이터 전송률로 인해 수신되는 한정적인 신호의 정보를 이용한 무선 센서 네트워크에서 철조망의 표적 침입 탐지 및 식별을 위한 특징 추출 알고리즘을 제안한다.

2. 특징추출을 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 얻고자할 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[6,7].



[그림 1] 이산 웨이블릿 변환

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.

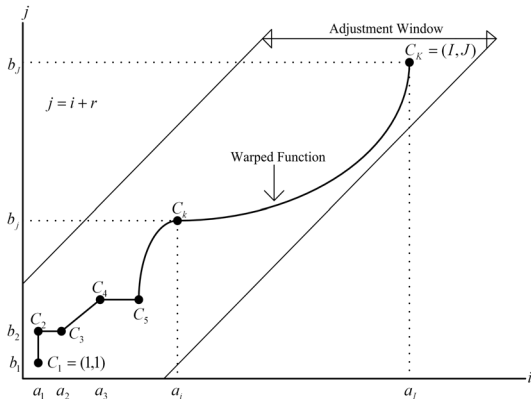
2.2 동적 시간 정합 알고리즘

입력 신호 혹은 표적의 식별에 있어 기준패턴과 시험 패턴 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 프로그래밍(dynamic program)기법을 사용하며, 표적 식별에 있어서 동적 프로그램이 시간축에 관한 것이므로 DTW(dynamic time-warped)라 부른다[8,9].

그림 2는 warping 함수 F 에 의해 두 패턴 A, B 를 정합(matching)시키는 과정을 나타낸 것이다. 길이가 I, J 인 신호 A, B 의 특징벡터는 다음 식 (1)~(2)와 같은 벡터열로 나타낼 수 있다.

$$A = a_1, a_2, a_3, \dots, a_I \tag{1}$$

$$B = b_1, b_2, b_3, \dots, b_J \tag{2}$$



[그림 2] Wapping 함수와 조정 창

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.

$$F = c(1), c(2), c(3), \dots, c(k), \dots, C(K) \tag{3}$$

2.3 유사도 측정 기법

무선 센서 노드 위치에 의해 동일한 표적임에도 불구하고 수신되는 신호의 정보가 다르다. 각 무선 센서 노드로부터 오는 모든 신호는 공간적인 거리에 상관없이 동일한 표적으로 인식되어야 한다. 이를 해결하기 위하여 유사도 측정(similarity measure) 알고리즘을 사용한다.

2.3.1 유클리디안 유사도

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

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

여기서, x_i, y_i 는 비교될 두 벡터값이고, N 은 샘플 개수를 나타낸다.

2.3.2 피어슨 유사도

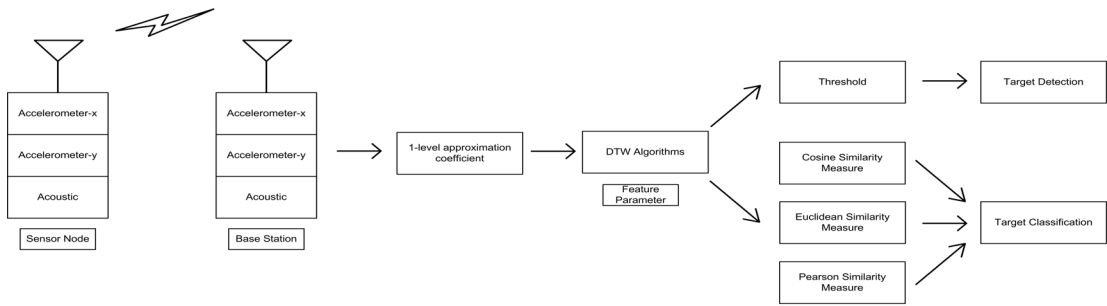
피어슨 유사도는 매개 상관도로서 간격이나 비율 스케일상에 있는 두 순서열간의 선형적 관계 정도를 반영한다. 피어슨 유사도의 값의 범위는 -1에서 +1까지이며, -1은 완전히 부정적 선형관계를 의미하고, 반대로 +1은 완전한 긍정적 선형관계를 의미하며 0은 두 순서열 사이에 아무런 선형적 관계가 없음을 의미한다. 피어슨 유사도는 식 (5)와 같이 계산된다.

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

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



[그림 3] 제안된 센서 노드 신호 처리 알고리즘

사이에 아무런 관계가 없음을 의미한다. 코사인 유사도는 식 (6)과 같이 계산된다.

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

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. 제안된 신호처리 기법

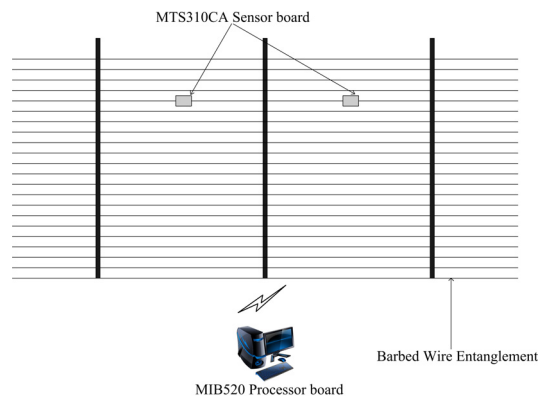
무선 센서 네트워크에서 획득한 신호는 제한된 통신자원으로 인해 10Hz 이하의 낮은 샘플링의 신호만을 수신한다. 따라서 유선 센서 네트워크에서 사용된 표적의 침입 탐지 및 식별을 위한 고속 푸리에 변환을 통한 주파수별 분석은 불가능하다.

본 논문에서 제안한 센서 노드 신호처리 알고리즘은 이산 웨이블릿 변환을 이용하여 1 수준 웨이블릿 분해를 통한 웨이블릿 상수를 추출하고, 추출된 웨이블릿 상수 중 근사상수를 동적 시간 정합 알고리즘을 이용하여 표적의 침입 및 식별을 위한 특징을 추출한다. 동적 시간 정합 알고리즘을 통해 기준패턴과 시험패턴 사이의 길이를 동일하게 만들어 준다.

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. MTS310CA를 이용한 실험

그림 4는 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.



[그림 4] 실험 환경

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 2, 3은 원신호 및 이산 웨이블릿 변환을 사용하여 추출된 근사상수와 동적 시간 정합 알고리즘을 사용하여 추출한 근사상수를 각각 코사인, 유클리디안, 피어슨 유사도를 이용한 표적의 식별 결과이다.

[표 1] 웨이블릿 기저함수에 따른 표적 탐지 성능 결과

웨이블릿 기저함수 종류	탐지 결과 (%)	철조망 월장 침입		철조망 절단 침입	
		x축 진동	y축 진동	x축 진동	y축 진동
원 신호	탐 지	64	67	32	30
	오탐지	32	30	3	3
	누 락	4	3	65	67
Daubechies 1	탐 지	93	93	84	84
	오탐지	1	1	13	13
	누 락	6	6	3	3
Daubechies 2	탐 지	89	84	83	84
	오탐지	2	2	14	13
	누 락	9	14	3	3
Daubechies 3	탐 지	87	78	81	64
	오탐지	4	3	16	33
	누 락	9	19	3	3

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

	Cosine Similarity Measure(%)	Pearson Similarity Measure(%)	Euclidean Similarity Measure(%)
철조망 월장 침입	66.4	85.4	64.6
철조망 절단 침입	41.0	23.8	3.0
바람에 의한 흔들림	44.2	41.0	42.2
비닐, 종이에 의한 흔들림	43.2	42.0	41.6
가벼운 물체에 의한 충격	53.6	46.0	42.0
무거운 물체에 의한 충격	54.8	52.0	44.2

[표 3] DTW 기반의 유사도를 이용한 표적 식별 결과

	Cosine Similarity Measure(%)	Pearson Similarity Measure(%)	Euclidean Similarity Measure(%)
철조망 월장 침입	88.6	74.6	70.2
철조망 절단 침입	42.4	36.2	3.4
바람에 의한 흔들림	52.2	41.6	42.0
비닐, 종이에 의한 흔들림	51.0	42.8	41.4
가벼운 물체에 의한 충격	57.6	45.4	42.4
무거운 물체에 의한 충격	57.2	50.8	45.0

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.

5. 결론

철조망 감시를 위한 무선 센서 네트워크에서 획득한 신호는 센서 노드의 제한된 에너지와 통신자원으로 10Hz 이하의 낮은 샘플링 신호를 수신한다. 10Hz 이하의 낮은 샘플링 신호를 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 각 상황별로 5~20% 향상 시켰다.

참고문헌

- [1] J. Sung, S. Ahn, T. Park, S. Jang, D. Yun, J. Kang, S. Yoo, C. P, D. 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.
- [2] 정보통신부 MIC, "u-센서 네트워크(USN) 구축 기본 계획", 2004.2.
- [3] Z. Chaczko, F. Ahmad, V. Mahadevarr, "Wireless sensors in network based collaborative environments, " Information Technology Based Higher Education and Training, pp. F3A/7 - F3A13, 7-9 July 2005.
- [4] 차대현, 이태영, 홍진근, 한근희, 황찬식, "표적 감시를 위한 무선 센서 네트워크에서 웨이블릿 상수를 이용한 특징 추출," 한국산학기술학회 추계 학술발표논문집, 2008.11.
- [5] 이태영, 차대현, 홍진근, 한근희, 황찬식, "철조망 감시를 위한 무선 센서 네트워크에서 이산 웨이블릿 변환 기반의 동적 시간 정합 알고리즘을 이용한 특징 추출," 한국산학기술학회 추계 학술발표논문집, 2009.12.
- [6] I. Daubechies, "The Waelet Transform Time Frequency Localization and Signal Analysis," IEEE Transactions on Info. Theory, Vol.36, No.5, pp.

961-1005, September 1990.

- [7] O. Rioul, M. Vetterli, "Wavelet and Signal Processing," IEEE Signal Processing Magazine, Vol.8, pp. 14-38. October 1991.
- [8] Sakoe, S. Chiba, "Dynamic programming algorithm optimization for spoken word recognition," IEEE Trans. ASSP, Vol.ASSP-24, pp. 550-558, December 1976.
- [9] L. Hansheng, S. Bingyu, "A Study on the Dynamic Time Warping in Kernel Machines," Signal-Image Technologies and Internet-Based System, 2007, SITIS '07. Third International IEEE Conference, pp. 839 - 845, December 2007.

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

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

홍 진 근(Jin-Keun Hong)

[정회원]



- 2008년 12월 ~ 현재 : 백석대학교 정보통신학부 교수

<관심분야>

전송통신, 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, 디지털신호처리, 영상통신 등