

PLN 성분 분석을 통한 전기장센서 기반 손동작신호 추출

(Hand Motion Signal Extraction Based on Electric Field Sensors Using PLN Spectrum Analysis)

정선일*, 김영철**

(Seonil Jeong, Youngchul Kim)

요약

본 연구에서는 센서상의 전하량 변화를 통하여 전위차를 측정할 수 있는 수동형 전기장센서를 이용하여 사람의 손동작에 의해 유발되는 신호를 측정 장치의 전원이나 주변 전력선에 의해 센서에 유입되는 잡음(PLN: Power Line Noise)의 고조파 성분을 분석하여 동작신호를 검출하고 추출하는 연구를 수행 한다. 전기장 센서에 유입되는 전력선잡음으로 센서가 사람의 존재, 접근, 동작에 의해 영향 받는 사실을 이용해 PLN의 주성분인 60Hz 고조파 성분의 스펙트럼분석을 수행하여 PLN 신호의 증가 또는 감소를 식별할 수 있고 상대적으로 동작에 민감한 120Hz 성분을 이용한다. FFT를 사용하여 120Hz의 신호성분이 특정 임계값을 통과할 때 신호를 검출하는 방법이다. 동작이 탐지되는 경우 임계값을 기준으로 프레임을 결정한다. 본 연구의 방법을 이용하여 얻은 동작 감지 성공률은 약 90% 수준을 달성하였다. 이렇게 감지된 동작신호로 추출한 프레임의 정확도는 약 85%이다. 수동형 전기장 센서를 이용하여 동작신호를 PLN을 이용하여 동작검출에 이용한 연구사례는 국내외적으로 드문 사례이며, 본 논문에서는 PLN이 상존하는 실내 적용환경에서 유망하게 활용될 수 있다.

■ 중심어 : 전기장센서 ; PLN ; 손동작 ; 프레임추출 ; 비접촉모드

Abstract

Using passive electric field sensor which operates in non-contact mode, we can measure the electric potential induced from the change of electric charges on a sensor caused by the movement of human body or hands. In this study, we propose a new method, which utilizes PLN induced to the sensor around the moving object, to detect one's hand movement and extract gesture frames from the detected signals. Signals from the EPS sensors include a large amount of power line noise usually existing in the places such as rooms or buildings. Using the fact that the PLN is shielded in part by human access to the sensor, signals caused by motion or hand movement are detected. PLN consists mainly of signals with frequency of 60 Hz and its harmonics. In our proposed method, signals only 120 Hz component in frequency domain are chosen selectively and exclusively utilized for detection of hand movement. We use FFT to measure a spectral-separated frequency signal. The signals obtained from sensors in this way are continued to be compared with the threshold preset in advance. Once motion signals are detected passing through the threshold, we determine the motion frame based on period between the first threshold passing time and the last one. The motion detection rate of our proposed method was about 90% while the correct frame extraction rate was about 85%. The method like our method, which use PLN signal in order to extract useful data about motion movement from non-contact mode EPS sensors, has been rarely reported or published in recent. This research results can be expected to be useful especially in circumstance of having surrounding PLN.

■ keywords : Electric field sensor ; PLN ; Hand motion ; Frame extraction ; Non-contact mode

I. 서론

동작인식 연구는 NUI와 HCI와 같은 개념의 출현 이후 중요한 기술로 주목을 받아왔다. 동작인식 기술을 실현하기 위해

가장 발전되고 광범위하게 개발되고 상용화되어 있는 기술은 영상기반 기술이다[1]. 그러나 영상기반 동작 인식 기술은 우수한 성능이나 다양한 응용성 등의 장점이 있으나, 한편으로 빛이 없는 어두운 환경이나 장애물이 있는 상황, 정숙을 요하는 상황

* 정희원, 전남대학교 컴퓨터정보통신공학과 대학원생

** 정희원, 전남대학교 컴퓨터정보통신공학과 교수

이 논문은 2019년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 ((MIST)(No. 2019 R1F1A1062829)

접수일자 : 2020년 12월 07일

개재확정일 : 2020년 12월 14일

교신저자 : 김영철 e-mail : yckim@jnu.ac.kr

등에서의 적용에 어려움이 있으며, IoT(Internet of Things) 분야와 같이 소형, 극저전력, 저가의 기기들에서는 활용성에 제약이 있다.

ICT시스템에서 영상기반 인식기술을 보완 또는 대체하는 센싱 기술로는 적외선기술, 음성인식, 가속도계, 레이더, 가스센서 등 뿐 만 아니라 본 연구에서 사용되는 일종의 정전용량센서 부류에 해당하는 전기장센서 기술이 있다[2,3]. 본 연구에서 사용하는 전기장 센서는 전위계차칩(EPIC: Electric Potential IC) 센서로서, 영국의 Plessey 사에서 개발하여 접촉방식으로는 주로 모바일기기용 생체신호(심전도, 맥박, 근전도, 뇌파 등)센서로 상품화까지 되었으나 비접촉식 응용 분야인 접근, 위치, 동작 인식 관련 연구개발은 초기단계이며 보고사례가 많지 않아 아직 실용화 기술의 단계에는 이르지 못하고 있다[3-5].

비접촉식 수동 전기장 센서의 위치, 접근, 동작인식분야에서의 실용화 및 상품화를 위해서는 동작신호를 효과적으로 검출하기 위한 중요한 장애요소인 전기장센서, 동작물체, 또는 주변 환경(착용의복, 신발, 주변 전자장치 등)의 초기 대전 상태의 무작위성, 측정 장치나 주변 전력선잡음 등의 주변 잡음 및 왜란 요소들을 해결하여야 한다[6-10]. 본 연구에서는 환경잡음 요소 중 가장 영향을 많이 미치는 PLN 신호가 센서 주변에서의 손 움직임에 따라 영향을 받는 점을 역이용하여 PLN신호 중 60Hz 고조파 성분변화를 분석하여 손동작의 유무 및 감지 알고리즘을 제안한다.

인체의 생체신호나 비접촉 동작신호는 주로 수십 Hz 이하의 매우 낮은 주파수대역에서 주로 발생 한다[3]. 따라서 동작신호는 LPF(Low Pass Filter)를 사용하여 원 신호를 전 처리하게 된다[9]. 하지만 동작이 발생할 때 이를 감지하고 해당 신호프레임을 안정적으로 추출하는 동작신호 검출단계가 필요하다. 본 연구에서는 LPF를 사용하여 제외된 신호 중 PLN(전원 라인 노이즈)을 사용하여 신호 패턴을 감지하는 방법을 제시한다. 센서에 유입되는 PLN의 크기는 인체가 액세스하는 정도(거리, 방향, 속도 등)에 따라 다르다[10].

본 논문에서는 2절에서 동작이 발생할 때 원출력과 LPF필터를 거친 신호가 어떻게 나타나는지, 나타난 신호를 이용해 어떻게 동작을 감지하는지를 설명 한다. 3절에서는 제안한 방법을 적용했을 때의 감지 성능에 대해 설명하고 논의한다. 4절에서는 본 연구의 의의와 향후 연구 방향과 내용에 대해 설명한다.

II. PLN 이용 전기장센서기반 손동작검출

1. 센서 출력의 PLN신호 분석 및 동작감지

본 연구에서 제안한 PLN 신호이용 전기장센서기반 손동작 검출시스템은 그림 1에서와 같다. 본 연구에서 제안하는 시스

템에서 사용하는 수동형 전기장센서는 사람의 동작에 의한 주변전기장 변화 또는 센서상의 전하량 변화에 따른 극히 미세한 동작신호에 비해 주변에서 유입되는 전력선잡음은 상대적으로 커(주로 수십에서 수백배) 동작신호 검출을 위해서는 이를 제거하여야 하나, 본 연구에서는 PLN 신호가 센서주변에서 움직이는 손의 접근과 함께 급격히 변화하는 성질을 이용하여 동작의 여부를 판별하는 손동작 감지에 활용한다. 특히 PLN 고조파중에서 120Hz 스펙트럼을 이용한다. 이 120Hz 신호가 특정 문턱치를 통과하게 되면 손동작이 감지되며 동작에 의해 문턱치를 통과하는 지점을 이용하여 동작신호의 신호구간을 결정한다. 이후 이 구간의 신호만을 60Hz 차단주파수의 저역통과필터(LPF: Low Pass Filter)를 통해 전력선잡음을 제거한 손동작프레임을 추출한다.

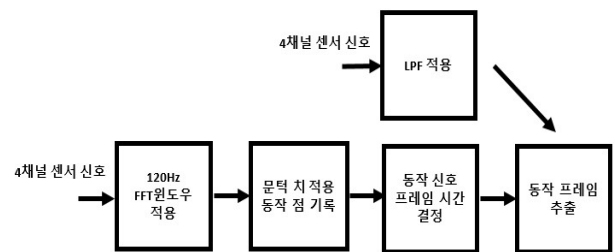


그림 1. PLN 이용 손동작신호 프레임 추출 프로세스

PLN 신호는 홈, 빌딩, 가전전원에 공급되는 60Hz 전원 신호에 의해 발생한다. PLN으로 인한 센서 출력은 60Hz 정현파와 60Hz 고조파 성분의 합성으로 구성된다. 따라서 센서의 신호는 펄스 파형과 유사하다. 푸리에 변환을 사용하여 주파수영역의 스펙트럼으로 변환하면 그림과 같은 결과가 생성된다.

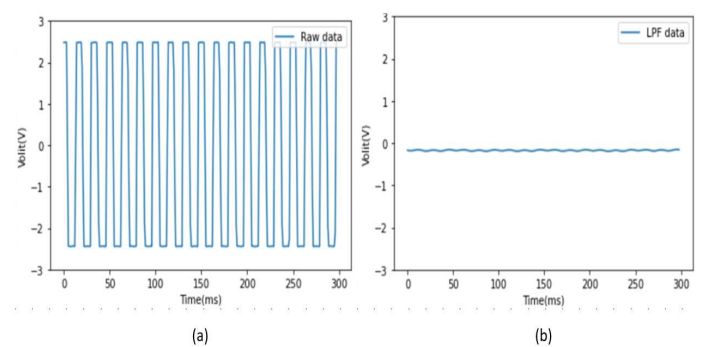


그림 2. 움직임이 없을 때 신호의 출력: (a) 원신호의 출력 (b) LPF를 통과한 출력

그림 3에서는 주파수영역에서 스펙트럼이 60Hz와 고조파에 집중되어 있음을 알 수 있다. 다음 결과를 바탕으로 센서 출력에 PLN의 영향이 큰 것으로 판단할 수 있다. 동작이 발생할 경우 동작이 PLN에 미치는 영향을 그림 4에서 볼 수 있다. 그림에 표시된 것처럼 펄스 파형이 간격이 변형되었음을 알 수 있다.

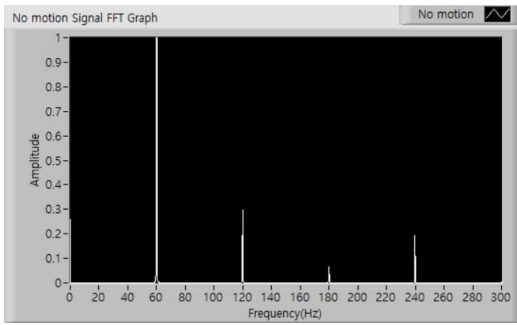


그림 3. 동작이 없을 경우 FFT를 적용한 신호

그림 4과 5를 통해 볼 수 있듯이 센서에 유입되는 이들 전력 선잡음은 센서 근처로 손이 움직임에 따라 감쇄한다. 감쇄의 크기는 손과의 거리, 방향, 속도에 따라 영향을 받는다. 센서 출력 신호는 초당 1000 샘플링을 한 결과이다. 그 중에서 100개의 샘플로 부분적으로 윈도우를 설정하여 푸리에 변환 하였다. 변환한 신호의 특정 주파수의 신호만 수집하여 그래픽으로 표시 하였다. 그림의 주파수 그래프는 변환이 종료된 결과를 샘플링 시간 순으로 표시한 것이다.

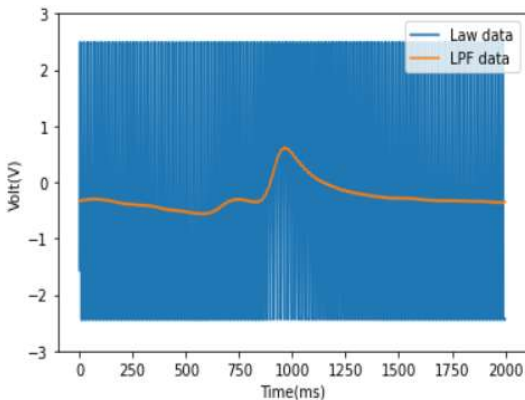


그림 4. 일반적인 동작이 발생할 경우의 신호

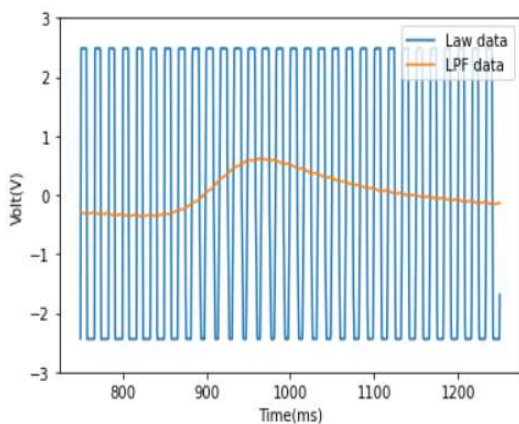


그림 5. 동작 발생으로 인한 센서 출력의 감쇠

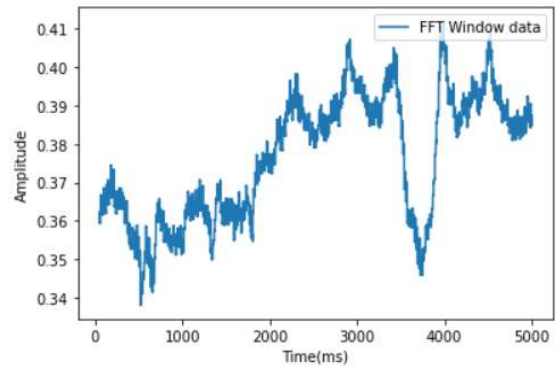


그림 6. 무동작상태에서의 FFT 적용한 출력신호 파형

그림에서처럼 동작이 일어날 경우, 즉 다른 말로 손이 센서 주변에서 움직일 경우, PLN신호의 변화상태가 특정 문턱치를 넘는 시점을 손동작 발생의 시점으로 인지하며 이 시점에서부터의 LPF를 거친 센서 출력신호를 동작신호로 간주한다. 이 상태에서는 신호의 작동 여부에 따라 신호의 변화를 감지할 수 있다. 그림 6는 동작의 움직임과 다른 왜란 요소가 없는 경우의 센서 상태로 측정하는 경우, 신호의 센서 출력을 보여준다. 출력은 ± 0.05 범위에서 무작위로 진동하며, 평균값은 주변 환경 상태에 따라 결정된다.

2. 손동작 프레임 추출

동작이 없는 신호의 평균값과 편차를 보면, 평균은 실험 환경에서 약 0.37~0.43 범위에 있고, 평균 편차는 약 0.015다. 평균에서 특정임계값(또는 문턱치: threshold)을 넘는 신호가 나타날 때를 동작을 감지하는 시점이라 하면, 평균에서 약 0.06 이하의 임계값은 대부분 동작신호를 감지하지 못한다. 따라서 문턱치를 정할 때 평균을 제로로 바이어스 설정하고 0.06(표준편차의 4배수) 이상의 값으로 한다면 이 문턱치가 동작감지를 판단하는 임계치가 된다.

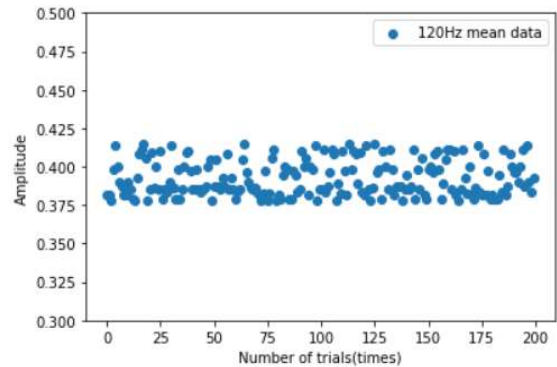


그림 7. 무동작기간 120Hz 성분의 신호 평균값 분포

그림 8은 위에서 정한 정임계값($+V_i$)과 부임계값($-V_i$)을 동작신호 발생의 임계값을 정한 경우, 120Hz PLN 신호로 동작을 감지하고 이 시점에서부터의 10Hz LPF를 통과한 신호를 동작 프레임으로 정하는 과정과 관계 그래프 결정을 보여준다. 문턱치를 넘는 값이 발생하면, 0.5초 동안 다른 문턱치를 넘는 값이 발생하는지를 체크하고, 계속 해서 문턱치를 넘는 값이 발생하지 않을 때까지 체크한다. 0.5초가 지나도 문턱치를 넘는 값이 발생하지 않으면 문턱치를 넘는 값들의 구간을 하나의 동작 프레임으로 정한다.

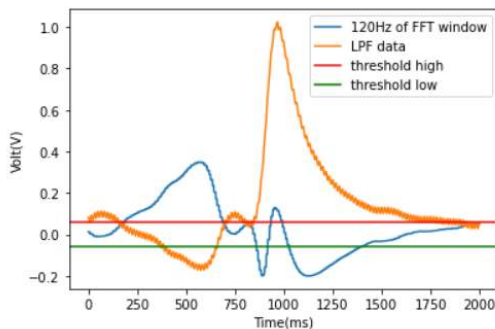


그림 8. 두 개의 문턱임계값을 이용한 동작 프레임 추출

III. 실험 및 분석

본 실험에서 한 명의 동작유별 실험자 이외에는 다른 사람의 움직임이 없는 환경에서, 실험자와 센서 사이의 거리가 30cm 이내, 센서와 손 사이의 거리는 10cm 정도의 간격을 유지하였다. 센서 상단의 좌우 이동, 시계 방향 이동, 시계 반대 방향 이동 등 네 가지 유형의 동작이 사용되었으며 각 동작에 대해 4명이 각각 100번의 동작을 수행한 데이터를 샘플로 사용하였다. 비 동작에 대한 초기 값 설정은 실험 전 대기 시간에 미리 측정하여 적용하였다.

동작발생 유무를 감지되는 정확도를 나타내는 지표인 동작 감지 율은 동작이 수행될 때 동작이 얼마나 정확하게 감지되는지 나타낸다. 동작 데이터는 A, B, C, D 4개 채널의 센서를 이용해 측정하였고, 동작 프레임의 길이는 각 센서의 모든 프레임을 중첩하여 결정하였다.

표 1 손동작 감지율과 프레임 일치 율

동작유형	1(LR)	2(RL)	3(CW)	4(CCW)
동작 감지율	90%	99%	88%	92%
프레임 일치 율	83%	69%	95%	99%

추출된 동작프레임이 실제 육안으로 확인되는 동작신호 구간과 얼마나 일치한가를 나타내는 프레임 일치 율은 두 프레임의 중첩구간이 80%이면 일치하는 것으로 정하였다. 동작프레임이

결정하는 일치 율은 원 동작신호를 육안으로 수동으로 자른 부분과 비교하였다.

결과는 평균 92퍼센트의 동작 감지율과 85%의 프레임 일치 율을 보여주었다. 오른쪽에서 왼쪽으로 움직이는 동작 2(RL: right to left)는 가장 이질적인 결과를 보여주는데, 작동 후 회수하는 시간이 길기 때문에 회복 중 다른 동작2 신호로 혼동하기 쉬운 결과이다.

동작 감지 율은 특정실험자의 동작신호의 크기가 전반적으로 문턱임계치보다 낮은 경우 잡음으로 처리되어 동작이 무시되기 때문에 감지 율이 92%였으나 이를 이후 동적 문턱치를 적용하면 향상될 것으로 기대된다. 120Hz에서 감지된 동작의 시작점이 원래 동작의 너무 앞이나 뒤쪽으로 치우칠 경우 중첩되는 신호구간이 짧아지는 경우가 많이 발생하여 일치 율은 85%이다.

IV. 결론

정전용량센서의 경우 터치스크린을 구현하는 요소기술로 광범위하게 사용되고 있으나 비접촉식 정전용량센서의 일종인 수동형 전기장 센서는 차세대 스마트센싱기술로 주목을 받고 있다. 하지만 다양한 주변 환경요소에 민감한 센서의 특징과 거리에 따라 동작신호가 급격히 줄어드는 인식거리 등의 문제를 해결하여 안정적으로 동작신호를 추출해야하는 숙제를 안고 있다.

본 논문에서는 수동형 전기장 센서를 동작인식을 위한 스마트센서로 활용하기 위하여 난제중의 하나인 주변 환경에 강건한 동작신호 검출방법으로 전력선잡음을 이용한 알고리즘과 방법론을 제안하였다. 제안하는 방법을 사용하는 경우 실시간으로 동작을 감지하고 자동으로 프레임추출이 가능하여 이후 적용되는 인식단계까지 실시간으로 처리가 가능 하다.

본 논문에서 제안하는 방법은 PLN 신호가 센서 주변의 인체 및 동작의 움직임에 의해 감소하는 변화가 발생하는 원리를 이용하였다. 하지만 본 연구는 전력선잡음이 상존하는 실내에서 적합한 방식이다. 모바일장치가 실외에서 사용되는 경우 사용하기 어려운 단점이 있다.

수동형 전기장센서를 이용한 동작인식관련 연구는 국외에서도 사례가 많지 않으며 국내에서도 연구사례가 극히 드물지만 본 연구의 수준은 실시간으로 자동으로 동작신호를 감지하고 추출하는 기술을 연구하고 고무적인 결과를 도출해내는 단계에 있다. 현재에는 기술적용환경에 어느 정도 제한 조건이 있어 보다 다양한 주변 환경요소들의 영향분석에 대한 데이터 축적과 분석이 향후 연구로 성과를 축적해 나간다면, 수동형 전기장 센서가 모바일기기, 게임, 헬스케어, 의료 및 군사용 분야에 실용화 및 상품화가 보다 빠르게 진척될 수 있을 것으로 기대한다.

REFERENCES

- [1] 이정진, 김중호, 김태영, “증강현실 응용을 위한 손 끝점 추출과 손 동작 인식 기법,” *멀티미디어학회 논문지*, 제13권, 제2호, 316-323쪽, 2010년 2월
- [2] 김상기, 박건혁, 전석희, 임성훈, 한갑중, 최승문, 최승진, “3차원 가속도 데이터를 이용한 HMM 기반의 동작인식,” *정보과학회논문지 : 컴퓨팅의 실제 및 레터*, 제15권, 제3호, 216-220쪽, 2009년 3월
- [3] Plessey E.P.I.C, “Plessey EPIC sensor,” *Sensor Review*, vol. 32, no. 1, Jan. 2012.
- [4] X. Tand, S. Mandal, “Indoor Occupancy Awareness and Localization Using Passive Electric Field Sensing,” *IEEE Trans. on Instrumentation and Measurement*, vol. 68, no. 11, pp. 4535-4549, 2019.
- [5] Fu, B., Kirchbuchner, F., von Wilmsdorff, J. et al. “Performing indoor localization with electric potential sensing,” *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, vol. 10, no. 2, pp. 731 - 746, Feb. 2019.
- [6] 천우영, 김영철, “주변 전기장 측정센서를 이용한 손동작 신호 검출을 위한 신호처리시스템 연구,” *스마트미디어저널*, 제6권, 제2호, 26-32쪽, 2017년 2월
- [7] 조정재, 김영철, “전기장 왜란을 이용한 비접촉 스마트 TV 제스처 인식 알고리즘,” *멀티미디어학회 논문지*, 제17권, 제2호, 124-131쪽, 2014년 2월
- [8] 장진수, 김영철, “전위계차센서 기반 스마트TV 제어를 위한 극저주파 전자기간섭 제거 연구,” *멀티미디어학회논문지*, 제18권, 제3호, 401-407쪽, 2015년 3월
- [9] 장진수, 김영철, “전위계차 센서를 이용한 원격센싱을 위한 ELF 대역 EMI 제거 및 PLN 응용 연구,” *스마트미디어저널*, 제4권, 제1호, 2015년 3월
- [10] 천우영, 이석현, 김영철, “Labview 기반 EPS 동작 신호 검출 및 분석시스템 구현,” *스마트미디어저널*, 제5권, 제3호, 25-29쪽, 2016년 9월

저자 소개



정선일(정회원)

2017년 전남대학교 컴퓨터정보통신공학과 학사

2017년~2019년 전남대학교 전자컴퓨터공학과 석사

2020년~현재 전남대학교 전자컴퓨터공학과 박사과정

<주관심분야: 생체신호처리 시스템, 스마트 인터페이스시스템>



김영철(정회원)

1981년 한양대학교 전자공학과 졸업

1987년 Univ. of Detroit, MS in EE

1993년 Michigan State Univ. Ph.D in EE

1993년~현재 전남대학교 전자컴퓨터공학부 교수

<주관심분야: Natural User Interface, Smart Sensing and Application, Low-Power System Design>