

레이더 센서를 이용한 거리 측정 시스템의 설계 및 구현

장시웅^{1*} · 정동훈²

Design and Implementation of a Distance Measurement System using Radar Sensor

Si-woong Jang^{1*} · Dong-hun Jung²

^{1*}Department of Computer Engineering, Dong-Eui University, Busan 47340, Korea

²Department of SW Convergence, Dong-Eui University, Busan 47340, Korea

요 약

본 논문에서는 레이더 센서를 이용하여 센서와 물체 사이의 거리를 측정하는 시스템을 설계하고 구현하였다. 센서 모듈은 센서의 원시 데이터를 거리측정 시스템에 올려주고, 거리 측정 시스템에서는 표준편차와 평균값 필터를 이용하여 객체의 유무를 탐지하였다. 실험 결과에서는 평균값 필터를 이용한 알고리즘이 최대 거리 9.7m에서 최대 오차 0.02m 이내의 오차율로 사람이 측정되는 것을 확인하였으며, 표준편차를 이용한 알고리즘에서는 최대거리 9.7m에서 최대 오차 0.15m 이내의 오차율로 사람이 측정되는 것을 확인하였다. 따라서, 레이더 센서를 이용하여 거리를 측정할 경우, 표준편차를 이용한 방법보다는 평균값 필터를 이용하는 방법이 객체 탐지의 정확도가 높음을 확인하였다.

ABSTRACT

In this paper, we have designed and implemented a system that utilizes a radar sensor to measure distance between a sensor and objects. The sensor module creates raw data and uploads the data on the distance measuring system, which detects the presence of objects by using standard deviation and average filters. The experiment found that an algorithm using average filters measured people with error rates of up to 9.7 meters and a maximum error rate of 0.02 meters or less. While in an algorithm using standard deviations, it was found that an object is measured at an error rate of up to a maximum distance of 9.7 meters and a maximum error rate of 0.15 meters. Therefore, we have concluded that if a distance was measured by using a radar sensor, algorithms using average filters resulted in a higher accuracy than standard deviations filters.

키워드: 레이더 센서, 거리 측정, 평균 필터, 표준편차

Keywords: Radar Sensor, Distance Measurement, Average Filter, Standard Deviation

Received 23 May 2018, Revised 24 May 2018, Accepted 28 May 2018

* Corresponding Author Si-woong Jang(E-mail:swjang@deu.ac.kr, Tel:+82-51-890-2354)

Department of Computer Engineering, Dong-Eui University, Busan 47340, Korea

Open Access <http://doi.org/10.6109/jkiice.2018.22.7.1009>

pISSN:2234-4772

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

I. 서론

최근 IoT(Internet of Things) 기술은 전 세계적으로 많은 관심을 받고 있어 급격한 발전을 이루고 있다. 또한, 모든 사람과 사물 그리고 컴퓨터가 언제, 어디서든 연결되어 일상 속에 다양한 정보를 제공함과 동시에 제공받고 있다. 이러한 발전에 따라 전문가들은 다양한 정보를 습득하고 소비하는 ‘초연결사회’가 도래할 것으로 예측하고 있다[1, 2].

이러한 사물인터넷은 물체 계량, 교통 통제, 홈 네트워크, 빌딩 제어, 원격 의료 등으로 그 응용 분야를 계속 넓히고 있다. 이때, 정보를 제공하거나 제공 받는 물체는 센서, 가정용품 등의 기타 장치들이 될 수 있다[3, 4].

정보를 제공하는 센서는 어떠한 변화를 측정하는 것을 기본 기능으로 가지고 있다. 변화는 크게 물리적 변화와 화학적 변화 2가지로 구분된다. 물리적 변화는 위치, 거리, 높이, 온도, 습도, 압력 등의 변화를 측정하는 것이다. 화학적 변화는 가스, 이온 등의 변화를 측정하는 것을 말한다[5, 6].

이러한 환경에서 많은 기업 및 연구소 등에서 센서를 이용하여 다양한 서비스를 제공하기 위해 센서 제작 및 네트워크 기술에 대한 연구가 활발히 진행 중에 있다. 이 분야 중 하나가 사용자의 위치를 추정하는 것과, 주변 물체와 사용자 사이의 거리를 추정하는 기술이다. 사용자의 위치를 추정하는 기술은 대표적으로 삼각측량법을 이용하는 GPS 방식이 있으며, 물체와 사용자 사이의 거리를 추정하는 기술은 대표적으로 초음파를 이용한 기술이 있다. 자동문이나 보안, 감시 영역에서 사용되는 인체 및 물체 감지 센서는 초음파 센서, 적외선 센서가 많이 사용된다. 하지만 초음파 센서는 바람, 장애물 등의 외부 영향을 많이 받아 정확한 측정이 어렵다. 적외선 센서는 주변 온도나 측정 대상의 온도 변화에 민감하여 온도 변화가 심한 장소나 실외에서 사용할 경우 정확한 측정이 어렵다. 그에 반해 레이더 센서는 초음파, 적외선에 비해 외부 자극에 둔감하다는 장점이 있다 [5-7].

따라서, 본 논문에서는 레이더 센서를 이용하여 센서에서 물체 사이의 거리를 측정하는 시스템을 제안하고 구현하고자 한다. 그리고 실험을 통해 시스템의 정확성을 검증한다.

II. 관련연구

2.1. 거리 측정 센서 종류

거리측정 센서는 크게 적외선, 초음파, RFID 등을 이용한 방식이 있다. 초음파의 경우 사람이 들을 수 있는 가청주파수 영역(20Hz ~ 20,000Hz)이 아닌 불가청주파수 영역(~20Hz, 20,000Hz~)의 음파를 사용하여 측정한다. 음파는 공기의 진동을 이용하여 전달되는 특성을 가지고 있어 바람, 장애물 등의 외부 영향을 많이 받아 정확한 측정이 어렵다. 적외선 센서는 사람이 볼 수 있는 가시광선 범위 보다 파장이 긴 범위로 비가시광선(0.75 μ m ~ 300 μ m)부분을 사용하여 측정한다. 적외선은 주변 온도나 측정 대상의 온도 변화에 민감하여 온도 변화가 심한 장소나 실외에서 사용할 경우 정확한 측정이 어렵다.

2.2. 레이더 센서 종류

레이더 센서는 전자파를 방사해서 목표물에 반사되어 되돌아 온 파를 검출하는 원리로서 그림 1과 같다. 센서에서 목표물까지의 거리, 이동 속도, 진행방향 등을 감지할 수 있다. 신호 방사 방식에 따라 펄스(Pulse) 방식과 연속파(Continuous Wave) 방식으로 나뉜다. 펄스 방식은 짧은 시간 동안 강한 전자파를 송출하고, 물체에 반사되어 돌아오는 신호 사이의 시간을 측정하는 일종의 진폭변조 방식이다. 신호를 송출할 때 순간 높은 전력을 출력하기 때문에 그에 따른 회로가 필요하다. 연속파 방식은 전자파를 지속적으로 송출하고 물체에 부딪혀 돌아오는 반사파를 측정하여 송신 주파수와와의 차이를 측정하여 물체의 움직임을 감지한다[5-9].

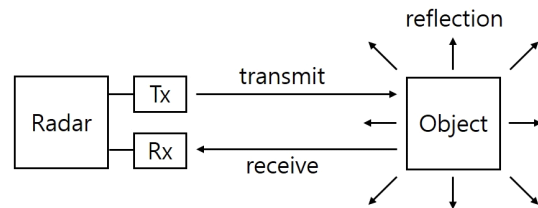


Fig. 1 Radar sensor concept map

III. 거리측정 시스템 설계 및 구현

3.1. 거리 측정 환경

거리를 측정하기 위한 레이더 센서모듈은 노르웨이

의 Novelda 회사의 XeThru X4M03모듈을 이용하였다. 사용한 모듈은 하나의 하드웨어에서 다양한 펌웨어를 업로드할 수 있으며, 펌웨어의 기능에 따라 다양한 기능 수행이 가능하다는 장점이 있다. 크기 또한 소형화되어 있어 사용이 편리하다. 본 논문에서 사용된 펌웨어는 센서 출고 당시에 업로드되어 있는 기본 펌웨어를 사용하였다. 기본 펌웨어는 센서에서 측정된 데이터를 배열 형태로 출력하여 주는 기능을 하며 그림 2와 같다.

```

numpy10.txt - 메모장
파일(F) 편집(E) 서식(O) 보기(V) 도움말(H)
-1. 498882193118333817e-02
1. 282912492752075195e-02
-1. 934340456500649452e-03
-7. 380554452538490295e-03
7. 570711895623478699e-03
-2. 415579279022050858e-03
-7. 084768731147050858e-03
9. 990990161985751953e-03
-1. 039940631017088890e-03
-1. 04792630299259041e-02
9. 669382125139236450e-03
6. 549546495079994202e-03
-1. 339721307158470154e-02
2. 354553202167153350e-03
1. 088539045304059982e-02
-7. 920481264591217041e-03
-8. 483882062137126923e-03
1. 150043681263923645e-02
3. 361633290292153350e-03
-1. 236910500953197479e-02
1. 84514431748532094e-03
1. 26108708354711533e-02
-1. 083608344197273254e-02
-8. 819575421512126923e-03
1. 654287986457347870e-02
-4. 270108882337808609e-03
-1. 307325717061758041e-02
    
```

Fig. 2 Raw data of radar sensor(Text)

그림 3은 그림 2에서 배열 형태로 출력된 데이터를 그래프 형태로 출력한 것으로, 레이더 센서의 감지 범위 내에 감지되는 물체가 없을 때의 데이터를 보여준다. 그림 3에서 x축은 거리를 나타내고, y축은 크기를 나타낸다. x축은 총 1536개의 항목으로 구성되어 있으며, 그래프가 사람이 움직였을 때 최대 10m 까지 감지되는 것을 확인할 수 있었다. y축은 센서와 물체 사이의 거리에 반 비례한다. 거리가 가까우면 즉, x의 값이 작아지면 y축의 값이 커지고, x의 값이 커지면 y축의 값은 작아진다. 이러한 현상이 발생하는 이유는 센서가 감지하는 면적이 원뿔형 모양으로 감지하여 거리가 멀어질수록 감지하는 면적이 넓어져 단위면적당 물체의 크기가 작아지기 때문이다. 이러한 특징으로 인해 객체 유무를 판단할 때 거리에 따라 기준값을 다르게 설정해야 하는 문제점이 있다.

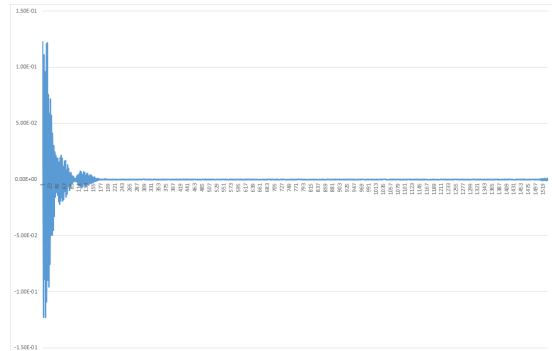


Fig. 3 Nothing is detected in this area(Graph)

3.2. 객체 탐지 알고리즘

객체 탐지는 기본적으로 특정한 위치에 객체가 존재할 경우 그림 4와 같이 레이더 센서의 y축 데이터가 증가하는 현상을 이용하여 객체를 탐지하는 방법이다. 객체를 탐지할 때 x축을 구간별로 나누어 객체를 탐지하고자 한다. 이때, 구간별로 나누는 이유는 시스템이 적용되는 모듈이 일반 PC처럼 고사양인 경우도 있지만, 저사양인 라즈베리파이(Raspberry pi) 혹은 아두이노(Arduino) 등의 MCU에 적용 가능성이 존재하기 때문이다.

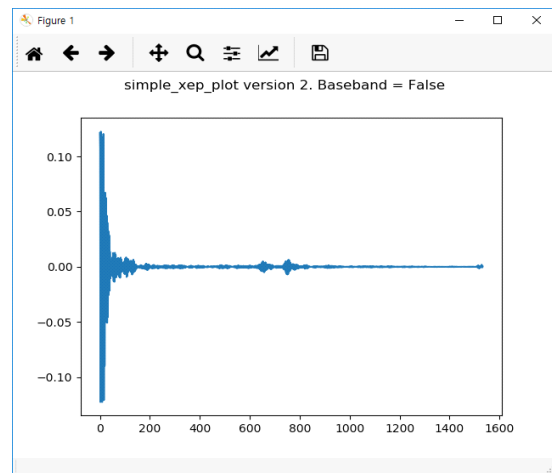


Fig. 4 Something is detected in this area(Graph)

수식 (1)에서 $element_length$ 는 x축 1개의 거리를 뜻하고, $total_length$ 는 센서가 측정 가능한 최대 거리를 의미한다. 또한 n_x 는 x축의 요소 개수를 의미한다. 제시한 알고리즘은 x축을 256구간으로 나누어 1구간당 x축의 개수가 6개인 배열로 분할하였다. 이때, 수식 (1)을 이용

하여 x축 1개당 길이를 계산하면 약 0.65cm 이고 1구간 길이는 약 3.9cm 가 된다.

$$element_length = total_length/n_x \quad (1)$$

객체 탐지 알고리즘은 그림 5, 6과 같다. 그림 5는 최초에 일정시간 동안 센서 주변 환경을 수신하여 평균을 계산하고, 평균값을 기준 값으로 설정한다. 그림 6은 기준 값 설정 후에 일정시간 동안 들어오는 데이터와 기준 값을 비교하여 객체의 유무를 탐지하고, 구간 번호를 이용하여 거리를 계산한다.

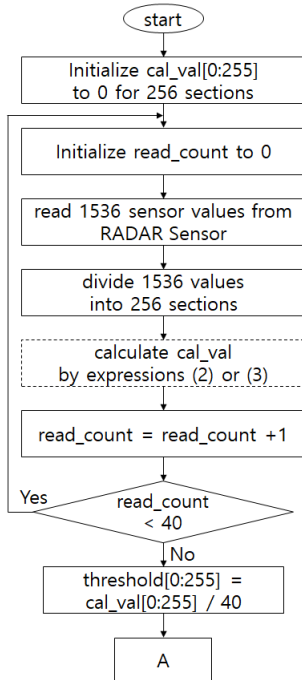


Fig. 5 Threshold setting algorithm before object detection

그림 5, 6의 알고리즘에서 cal_val 부분에 어떠한 수식을 적용하느냐에 따라 객체 탐지의 정확도가 달라진다. 객체 탐지의 정확도에 따라 센서와 객체 사이의 거리도 달라진다.

수식 (2)는 센서의 값을 받아 절대 값을 취한 뒤 그 합을 평균값을 구하는 수식이다. 수식 (3)은 센서의 값을 받아 제곱을 취해 값을 증폭시키고, 그 합의 평균을 제곱근으로 계산하여 표준편차를 구하는 공식이다. 본 논

문에서는 공통으로 사용하는 알고리즘을 두고, 수식 (2)와 수식 (3)만 바꿔 상황을 최대한 비슷하게 만들어 실험하였다.

$$cal_val = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |x_n| \quad (2)$$

$$cal_val = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_n^2} \quad (3)$$

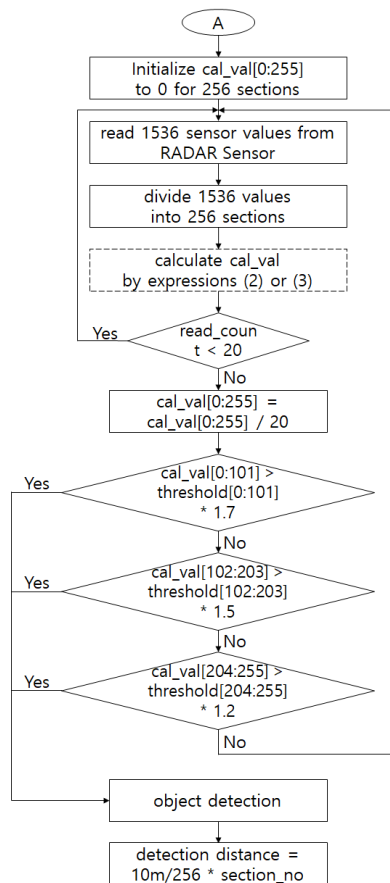


Fig. 6 Object detection and Distance measurement algorithm

3.3. 거리 측정 알고리즘

그림 5와 6의 객체 탐지 알고리즘을 통해 객체가 검출 되었다면, 검출된 해당 배열의 값을 수식 (4)에 대입하여 물체의 거리를 계산한다.

$$distance = 10m/256 * sensing_number \quad (4)$$

수식 (4)에서 distance는 감지된 거리를 뜻하며, sensing_num은 감지된 구역 번호를 뜻한다. 10m/256은 총 10m의 거리를 256구간으로 나눈 값을 말한다.

Dist. ID	3m	5m	7m	9m	9.7m
7	3.04	5.07	7.14	9.10	9.84
8	3.00	5.07	7.18	9.06	9.84
9	3.00	5.07	7.18	9.10	9.84
10	3.00	5.07	7.18	9.06	9.80
Average	3.04	5.05	7.15	9.10	9.84
Error	+0.04	+0.05	+0.15	+0.10	+0.14

IV. 거리측정 시스템 테스트

4.1. 테스트 환경

본 논문에서 제안하는 알고리즘 및 시스템의 성능을 검증하기 위해 그림 7과 같은 실험 환경을 구축하였다. 레이더 센서를 그림 8과 같이 설치하고 알고리즘이 포함된 프로그램을 실행시켜 최초 2초간 주변 데이터를 측정하여 임계값으로 저장하고, 특정 거리(3m, 5m, 7m, 9m, 9.7m)에 사람이 20초 동안 서있는 상황을 각 거리마다 반복하여 진행하였다. 각 상황별로 진행하였을 때, 수식 (2)를 이용하여 측정된 실험 결과는 표 1과 같으며, 수식 (3)을 이용하여 측정된 실험 결과는 표 2와 같다.

Table. 1 Experimental results using average filter

Dist. ID	3m	5m	7m	9m	9.7m
1	2.81	4.96	4.91	8.95	9.65
2	2.81	4.88	4.91	8.98	9.61
3	2.85	4.88	7.07	8.87	9.69
4	2.89	4.92	6.99	8.91	9.61
5	2.89	5.00	7.03	8.95	9.69
6	2.89	4.88	6.95	8.98	9.69
7	2.89	4.92	6.95	8.95	9.65
8	2.89	4.96	6.99	8.98	9.73
9	3.05	5.00	6.99	9.02	9.69
10	2.89	4.96	6.99	8.95	9.69
Average	2.89	4.94	6.98	8.95	9.67
Error	-0.11	-0.06	-0.02	-0.05	-0.03

Table. 2 Experimental results using standard deviation filter

Dist. ID	3m	5m	7m	9m	9.7m
1	3.04	5.03	7.18	9.10	9.88
2	3.04	5.03	7.18	9.10	9.84
3	3.08	5.03	7.10	9.13	9.84
4	3.08	5.03	7.14	9.10	9.84
5	3.04	5.03	7.10	9.10	9.84
6	3.04	5.03	7.14	9.10	9.80

4.2. 테스트 결과

수식 (2)를 이용한 실험에서 상황별 오차가 -0.11m에서 -0.02m로 나타난 반면, 수식 (3)을 이용한 실험에서는 +0.05m에서 +0.15m의 오차로 나타났다.

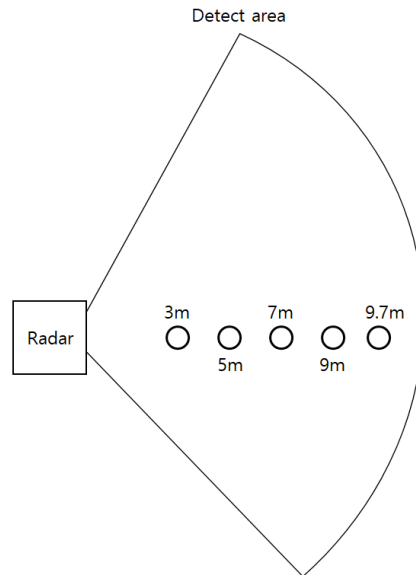


Fig. 7 Object Diagram of test bed



Fig. 8 Installation of radar sensor

V. 결 론

각 상황별로 수식 (2)를 이용하였을 때 최대 오차가 -0.11m, 최소 오차가 -0.02m로 발생하였으며, 수식 (3)을 이용하였을 때 최대 오차가 +0.15m, 최소 오차가 +0.04로 발생하였다. 거리 측정값이 조금씩 바뀌는 이유는 사람이 완전히 고정되어 있지 않고 약간의 움직임이 있기 때문에 측정거리가 달라지는 현상이다.

본 논문에서는 레이더 센서를 이용한 거리 측정 시스템을 설계 및 구현하였다. 평균값 필터와 표준편차를 이용해 객체를 탐지하고 거리를 측정하였을 때, 오차의 폭이 크지 않고, 오차가 제일 작은 평균값 필터를 이용하여 거리 측정 시스템을 제작 하는 것이 오차율을 줄이는데 도움을 줄 것으로 기대된다. 또한, 본 연구의 레이더 센서를 이용한 측정 방법은 외부 환경의 제한을 받지 않아 외부 자극에 관계없이 언제 어디서든 사용이 가능할 것으로 기대된다.

ACKNOWLEDGEMENT

This work (Grants No.C0564555) was supported by Business for Cooperative R&D between Industry, Academy, and Research Institute funded Korea Small and Medium Business Administration in 2017.

REFERENCES

- [1] W. S. Lee and N. G. Kim, "Omnidirectional Distance Estimation using ultrasonic in Wireless Sensor Networks," *The Journal of The Institute of Webcasting, Internet Television and Telecommunication*, vol. 9, no. 5, pp. 85-91, May 2009.
- [2] K. H. Park, J. H. Lee, M. W. Woo, and J. S. Park, "Development of an IoT System Based on the one2M2M Communication Protocol," *Asia-pacific Journal of Multimedia Services Convergent with Art, Humanities, and Sociology*, vol. 6 no. 3, pp. 41-49, March 2016.
- [3] K. H. Park, J. S. Park, and J. W. Lee, "An IoT System for Remote Monitoring of Parients at Home," *Applied Sciences*, vol. 7, no. 3, pp. 260, March 2017.
- [4] M. W. Woo, K. H. Park, and D. H. An, "Development of a Fault-tolerant IoT System Based on the EVENODD Method," *Asia-pacific Journal of Multimedia Services Convergent with Art, Humanities, and Sociology*, vol. 7, no. 3, pp. 263-272, March 2017.
- [5] D. H. Jung, and S. W. Jang, "Distance measurement using radar sensor and standard deviation," *Proceedings of the Korean Institute of Information and Commucation Sciences Conference*, vol. 22, no. 1, pp. 220-223, June 2018.
- [6] S. W. Jang, and D. H. Jung, "Design of a Distance Measuring System using a Radar Sensor and an Average Filter," *International Conference on Future Information & Communication Engineering*, vol. 10, no. 1, pp. 105-108, June 2018.
- [7] B. H. Han, H. J. Shin, and C. H. Oh, "Algorithm for Detection Direction of Single IF Scheme CW Radar Sensor," *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 19, no. 12, pp. 2905-2910, December 2015.
- [8] B. C. Nam, and G. S. Chae, "Design of a K-band CW Rader Transceiver," *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, vol. 10, no. 7, pp. 1532-1535, July 2009.
- [9] H. J. Kim, J. B. Park, and J. Y. Pyun, "Human Detection and Ranging System Using IR-UWB Radar," *The Journal of Korean Institute of Information Technology*, vol. 13, no. 5, pp. 1-10, May 2015.



장시웅(Si-Woong Jang)

1984년 부산대학교 계산통계학과 이학사
 1993년 부산대학교 전자계산학과 이학석사
 1996년 부산대학교 전자계산학과 이학박사
 1986년 ~ 1993년 대우통신(주) 종합연구소
 2004년 ~ 2005년 University of Texas at Dallas
 객원교수
 1996년 ~ 현재 동의대학교 컴퓨터공학과 교수
 ※관심분야: IT융합, 차량용 네트워크,
 데이터베이스



정동훈(Dong-Hun Jung)

2017년 2월 동의대학교 컴퓨터과학과 공학사
 2017년 3월 ~ 현재 동의대학교 소프트웨어융합
 학과 석사 과정
 ※관심분야: 영상처리, 모바일 소프트웨어,
 스마트 자동차, 데이터베이스