

# 실내 위치 인식 시스템에서 RF와 초음파 간섭 축소 기법

황성호<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>강원대학교 정보통신공학전공

## RF and Ultrasonic Interference Reduction Technique in Indoor Location Sensing Systems

Sungho Hwang<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Dept. of Information & Communication Engineering, Kangwon National University

**요 약** 유비쿼터스 컴퓨팅 시대로 진입하면서 사물의 위치 정보가 더욱 중요시 되고 있다. 대표적인 실내 위치 인식 시스템인 크리켓은 노드 간의 거리를 인식하기 위해서 RF 신호와 초음파 신호를 주기적으로 전송한다. 하지만 배치되어 있는 센서 노드 수가 증가할수록 신호간의 간섭 및 충돌 횟수가 증가하여 위치 인식 시스템의 정확도를 떨어뜨린다. 본 논문에서는 초음파 위치인식 시스템을 구성하기 위해, 무선 센서 네트워크 표준인 IEEE 802.15.4 MAC 프로토콜을 사용하였다. 신호간의 간섭과 충돌 횟수를 감소시키기 위해, 노드 번호와 이동통신에서 사용하는 주파수 재사용 방식을 변형하여 오차율을 감소시키는 알고리즘을 제안하였다. 성능평가 결과 제안한 알고리즘이 기존의 크리켓시스템보다 수율과 에너지 효율 면에서 더 좋은 성능을 보였다.

**Abstract** Location information is a critical element of ubiquitous computing. Cricket is an indoor location-based system that transmits radio and ultrasonic signals in regular intervals to calculate the distance between nodes. However, the amount of signal interference and collisions increases in proportion with the number of nodes, losing the accuracy of the location-based system. This study proposes an algorithm based on the 802.15.2 MAC protocol for the wireless sensor network to reduce signal interference and collision by employing node numbers and the frequency reuse approach used in mobile telecommunication. We analyzed the performance of our algorithm. The obtained results showed that the algorithm is an effective for throughput and energy compared to the Cricket system.

**Key Words** : Indoor Location-based System, Wireless Sensor Network, IEEE 802.15.4

### 1. 서론

현재 가장 대표적인 위치 인식 시스템으로 GPS(Global Positioning System)가 널리 쓰이고 있으나, GPS에서 사용되는 위성신호는 건물의 벽을 통과하지 못하기 때문에 실내에서는 사용할 수 없다는 단점을 가지고 있다. 실내 위치 인식을 위해 소형 노드들을 이용하는 센서네트워크 기반의 실내 위치 인식 시스템이 주목받고 있다.

실내 위치 인식 시스템으로 초음파, 적외선, 레이저, UWB(Ultra WideBand) 등의 센서들을 이용하는 많은 시스템이 나왔는데, 그 중에서 가장 정확한 위치 인식을 할

수 있는 시스템은 초음파를 이용한 시스템이다[1].

초음파는 빠른 RF(Radio Frequency) 신호와 상대적으로 느린 초음파 신호의 전파속도 차를 이용하여 대상체의 위치를 찾아내는 방법이다. 3차원 위치 인식이 가능하고, 저전력, 저비용의 시스템을 구성할 수 있는 장점을 가진다. 초음파를 이용한 대표적인 시스템은 케임브리지 대학에서 개발한 액티브배트(Active Bat) 시스템과 MIT에서 개발한 크리켓시스템(Cricket System)이 있다[2,3]. 이중 널리 인용되는 시스템은 크리켓시스템이다.

크리켓시스템은 천정에 비콘(Beacon)을 부착하고 이동체에는 리스너(Listener)를 내장한다. 천정의 비콘은 RF

\*교신저자 : 황성호(shhwang@kangwon.ac.kr)

접수일 11년 12월 22일

수정일 12월 01일 04일

재게획정일 12년 01월 05일

신호와 초음파 신호를 동시에 발생한다. RF와 초음파 신호는 전파속도가 다르기 때문에, 리스너에서는 RF 신호를 먼저 수신하고 초음파 신호를 나중에 수신하게 된다. 이 시간차를 이용하여 비콘과 리스너 사이의 거리를 측정한다. 크리켓시스템에서의 무작위(random) 알고리즘은 여러 개의 조정되지 않은 비콘들이 동일한 공간에 존재한다. 각 비콘은 짧은 거리의 RF를 사용하여 위치 정보의 데이터 스트링을 전달한다. 이때 비콘 노드 수가 증가함에 따라 송신 RF와 초음파 간섭문제가 발생한다.

본 논문에서는 초음파 위치 인식 시스템을 구성하기 위해 무선 센서 네트워크 표준 프로토콜인 IEEE 802.15.4 MAC을 사용하였다. 그리고 크리켓시스템에서 신호간의 간섭과 충돌 횟수를 감소시키기 위해, 노드 번호와 이동통신에서 사용하는 주파수 재사용(frequency reuse) 방식을 변형하여 오차율을 감소시키는 알고리즘을 제안하였다.

## 2. 관련연구

초음파 센서와 무선 센서 네트워크의 노드들을 이용한 위치 대상 인식은 배치가 용이하기 때문에 위치 인식 공간을 자유롭게 설정할 수 있으나, 무선 센서 네트워크 노드들에서 사용되는 RF와 초음파 신호의 반사, 간섭 및 충돌로 인한 전체 성능이 저하되는 단점이 있다. 이를 해결하기 위한 연구들로 다음과 같은 논문들이 있다.

크리켓시스템은 RF 신호와 초음파를 전송하는 비콘과 RF와 초음파를 수신하는 리스너를 두고, RF와 초음파의 전파속도의 차이를 이용하여 거리를 측정하는 방식이다. 간섭과 충돌을 회피하기 위하여 무작위(random) 방식을 사용하지만, 비콘 노드가 증가함에 따라 간섭과 충돌이 증가하는 단점을 가지고 있다[3].

Hong-Peng Wang, et al.[4]은 비콘에서 초음파 전송 전에 Collision Table을 만들고 이를 기준으로 전송한다. 이를 위해 자신의 주변에 있는 비콘들의 RF와 초음파 신호를 기록해야 한다. 다른 비콘에서 송신이 없으면 전송하고, 만약 사용 중이면 무작위(random)한 시간만큼 지연한 후 전송한다.

Yunbo Wang, et al.[5]은 TDMA(Time Division Multiple Access)를 사용하는 방식을 제안하고, 베이스스테이션에서 Synchronization 패킷을 전송한다. Synchronization 패킷 안에 Scheduling Table을 포함되고, 리스트된 Target과 Stationary 노드는 다음 사이클(cycle)에서 사용되고, 움직이는 Target이 전송하고, Stationary 노드에서 거리 계산한다.

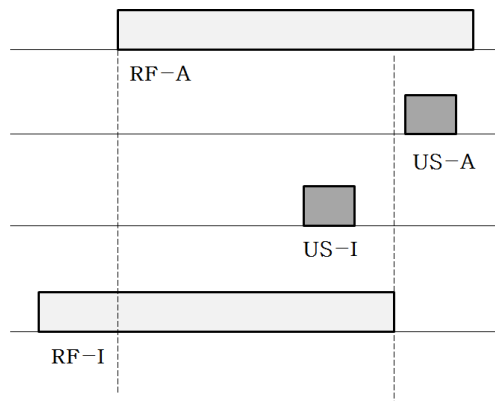
Hong-Peng Wang, et al.[4] 방식은 Collision Table을

관리하여야 하고, Yunbo Wang, et al.[5] 방식은 Synchronization 패킷 내에 Scheduling Table이 포함되어 있어야 하는 복잡한 절차가 필요로 하는 단점이 있다. 본 장에서는 크리켓 시스템에서의 문제점과 이동통신에서 사용하는 주파수 재사용 방식을 이용하여 새로운 간섭과 충돌 회피 알고리즘을 제안한다.

### 2.1 크리켓시스템

초음파는 실내온도에서 보통 1.13ft/ms로 전달된다.  $1.13\text{ft/ms} = 0.344424\text{m/ms}$ , 즉 초당, 344.424m/s이다. 이러한 초음파의 전파속도는 RF의 전파 속도와 비교하여 현저히 느리기 때문에 다수의 비콘 노드를 사용하는 환경에서는 비콘 신호의 간섭 현상이 발생하며, 이에 따라 비콘 노드 수가 증가함에 따라 성능이 저하되는 문제가 있다.

비콘 A와 간섭 비콘 I 사이에 의해 전송된 RF와 초음파 신호를 그림 1이 나타내고 있다. “RF-A”는 비콘 A로부터의 RF 신호, “US-A”는 비콘 A로부터의 초음파 신호, “RF-I”는 비콘 I로부터의 RF 신호, “US-I”는 비콘 I로부터의 초음파 신호이다. 리스너는 비콘으로부터 RF 신호를 수신한 이후에 거리 계산을 위해 첫 번째 초음파 신호를 기다린다. 초음파 신호는 단순히 펄스 형태로 나타나기 때문에 어떤 비콘에서 전송된 초음파 신호인지는 알 수 없다. 즉 크리켓 시스템은 비콘 노드의 초음파를 구분해주는 객체가 없기 때문에, RF 신호와 초음파 신호의 쌍을 결정할 수 없으므로 신호의 상호 간섭과 충돌이 발생한다. 그림 1에서와 같이 RF-A 신호 이후에 US-A 신호보다 US-I 신호를 먼저 수신한 경우에는 잘못된 거리를 계산한다.



[그림 1] 리스너에서 두 RF 전송의 중복  
[Fig. 1] The two RF Transmissions overlap in time at the Listener

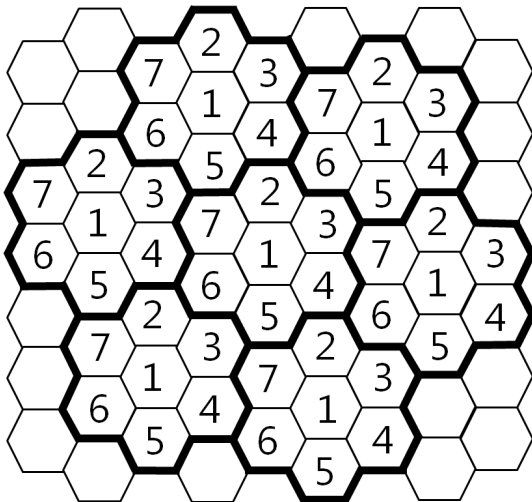
크리켓시스템에서는 이러한 문제를 해결하기 위해, 비콘에서 무작위(random) 알고리즘을 사용하여 RF 전송의 중복을 회피하는 방법을 쓴다. 그렇지만 비콘 간의 간섭과 충돌은 노드 수가 증가할수록 계속 증가한다.

### 2.2 이동통신 주파수 재사용

본 논문에서는 비콘 간의 간섭과 충돌을 회피하기 위해 이동통신에서 사용하는 주파수 재사용 방식을 이용한다. 무선 셀룰러 시스템에서 지역적으로 떨어져 있다고 하더라도 신호가 서로 간섭을 받기 때문에 동일한 주파수를 사용하는 것이 제한이 된다. 동일한 주파수를 이용하는 두 개의 셀 상호간에 간섭 없이 동일한 주파수를 사용할 수 있도록 하기 위해 개입하여야 할 셀의 수를 결정하는 것은 주요한 화제이다.

그림 2는 동일한 주파수 재활용 패턴의 예를 보여준다. 만약 N개의 셀로 구성되는 패턴이며, 각 셀은 같은 수의 주파수를 할당받게 되면, 각 셀은 K/N 주파수를 가진다. 여기서 K는 해당 시스템 내에 할당된 총 주파수의 수이고, N은 반복되는 패턴(해당 패턴 내에서 유일한 주파수대를 사용하는)의 주파수 재사용 인자(reuse factor)로 정의한다.

이동통신 주파수 재사용 방식에서, 안테나의 전송거리 이내에서는 동일한 주파수를 사용하는 경우는 발생하지 않는다.



[그림 2] 주파수 재활용 패턴(N=7)  
[Fig. 2] Frequency reuse pattern(N=7)

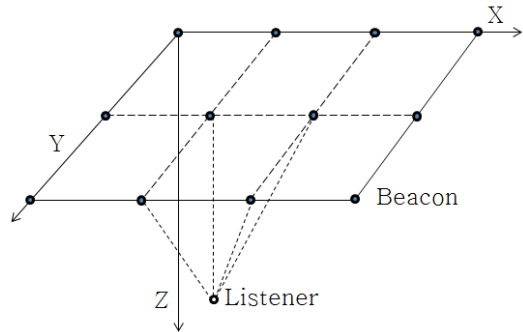
본 논문에서는, 주파수를 기준으로 재사용하는 것이 아니라, 노드 번호를 기준으로 해당 비콘 노드의 전송 시

간을 결정한다. 즉 같은 셀 내에서의 비콘들은 동시에 신호를 전송하지 않으므로, 비콘 노드의 전송거리 이내에서는 동시에 전달하는 경우는 발생하지 않는다.

### 3. 간섭 축소 기법 시나리오

무선 센서 네트워크의 표준 MAC인 IEEE 802.15.4의 RF 신호의 전송거리는 10m 정도이므로, 본 논문에서는 그림 3과 같이, 노드 간의 거리를 10m로 하고 일정하게, 격자 형태로 배치한다.

모든 비콘 노드가 비콘 신호를 전송하지 않고 리스너와 물리적으로 인접한 비콘 노드들만의 선택적으로 비콘 신호를 전송한다. 이를 위해 리스너는 주기적으로 Beacon\_Request 패키지를 비콘 노드들에게 브로드캐스트 형태로 전송하며, 비콘 노드들은 Beacon\_Request 패키지의 신호 세기를 통해 자신이 물리적으로 근접한지 여부를 판단하여 비콘의 신호를 전송한다.



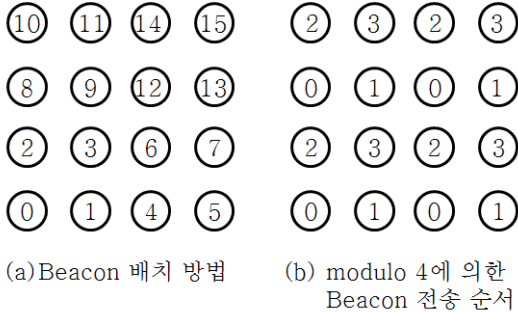
[그림 3] 비콘과 리스너 배치도  
[Fig. 3] Layout of Beacon and Listener

그림 3에서 리스너가 어떠한 위치에 존재하던지 리스너 주위에는 항상 최대 4개의 비콘들이 위치한다. 따라서 본 논문에서는 modulo 4 연산을 통해, 리스너 주위에 위치하는 최대 4개 비콘들의 전송순서를 정한다.

비콘이 리스너의 Beacon\_Request를 수신하면 비콘 노드들은 노드 번호에 따라 modulo 4 연산에 의해 지연을 달리한 후에 전송한다.

예를 들어, 노드배치 순서는 그림 4 (a)와 같이 노드를 4개씩 묶어서 그룹을 만들고, 그룹 내에서 modulo 4 연산을 통해 그림 4(b)와 같이 전송 순서를 정한다. 노드 4인 경우는 0번, 노드 5번인 경우는 1번, 노드 6인 경우는 2번, 노드 7인 경우는 3번이다. 비콘들이 노드 번호에 따

라 modulo 4 연산에 의한 전송순서는 “0→1→2→3” 차례대로 전송한다. 전송의 시작은 리스너의 Beacon\_Request 패킷을 수신한 후 modulo 4 연산에 따라 차례대로 전송한다.



[그림 4] 비콘 전송순서  
[Fig. 4] Transmission order of Beacon

[그림 4]의 (b)와 같이 노드들의 전송 순서가 배치되면, 리스너는 어느 위치에 존재하든지 비콘 노드들의 전송 순서 “0→1→2→3” 내에 존재하게 된다.

비콘 노드들 중에 리스너의 Beacon\_Request 패킷을 수신한 비콘들만이 선택적으로 RF 신호와 초음파 신호를 전송한다. 따라서 비콘 노드의 전체 에너지 소비량을 감소시킬 수 있을 뿐만 아니라 리스너는 낮은 경쟁 상태에서 비콘 신호를 수신할 수 있다.

### 4. 실험 및 고찰

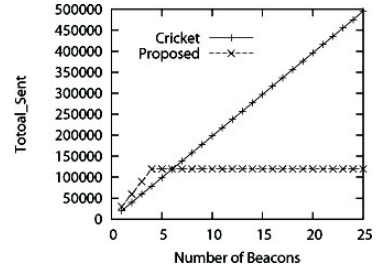
실험에 사용된 시뮬레이션 도구는 분산 객체 네트워크 시뮬레이터인 NS-2를 사용하였다.

[표 1] 시뮬레이션 파라미터 설정  
[Table 1] Simulation Parameters Setting

노드 전송 범위	10 meters
시뮬레이션시간	10,000초
비콘 수	1 ~ 25개
리스너 수	1개
Rx Power	35.28e-3W
Tx Power	31.32e-3W
Idle Power	712e-6W
Sleep Power	144e-9W

신호 전송은 IEEE 802.15.4 MAC의 Slotted CSMA/CA를 사용하고, 슈퍼프레임(superframe)을 통해 전송한다 [6,7]. 본 논문에서 사용하는 파라미터들은 표 1과 같다.

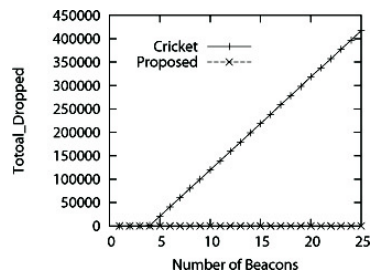
성능평가 그래프에서 크리켓시스템의 성능평가 결과는 Cricket으로, 본 논문에서 제안한 방식의 성능평가는 Proposed로 표시하였다.



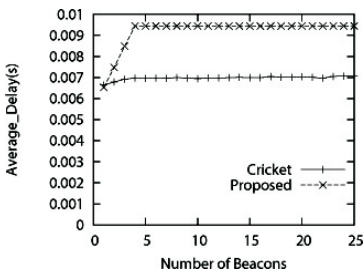
[그림 5] 비콘 수에 따른 전송된 패킷의 수  
[Fig. 5] The number of total sent packet with the number of Beacons

그림 5는 비콘 수에 따른 전송된 패킷의 수를 보여주고 있다. 크리켓시스템에서 전송된 패킷의 수는 비콘 수에 따라 선형적으로 증가하지만, 본 논문에서 제안한 방식은 비콘의 수에 따라 선형적으로 증가하지 않는다. 본 논문에서 제안한 방식은 리스너가 송신한 Beacon\_Request 패킷을 수신한 비콘들만이 RF 신호와 초음파 신호를 전송한다. 따라서 모든 비콘들이 전송하는 것이 아니라 리스너 주위에 있는 비콘들만 한다. 반면 크리켓시스템은 리스너 위치에 상관없이 모든 비콘들이 일정하게 무작위로 전송하기 때문에 전송된 패킷의 개수가 선형적으로 증가하고 있다.

크리켓시스템에서 리스너 주위에 존재하는 않는 비콘들이 송신하는 RF 신호와 초음파 신호는 리스너에 도달할 수 없으므로, 모두 폐기 처분된다. 반면 본 논문에서 제안한 방식은 리스너 주위에 존재하고, 리스너에서 Beacon\_Request 패킷을 수신한 비콘 들만이 RF 신호와 초음파 신호를 송신하고, 송신할 때 노드번호와 modulo 연산으로 서로 다른 전송시간에 전송하므로 그림 6과 같이 폐기되는 패킷은 거의 없다.

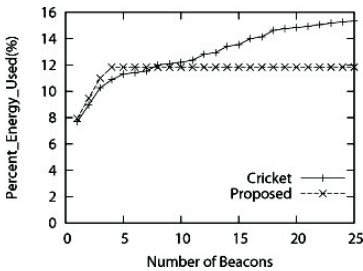


[그림 6] 비콘 수에 따른 폐기된 패킷의 수  
[Fig. 6] The number of total dropped packet with the number of Beacons



[그림 7] 비콘 수에 따른 평균 지연(s)  
 [Fig. 7] Average delay(s) with the number of Beacons

그림 7은 크리켓시스템이 본 논문에서 제안한 방식보다 더 작은 평균지연을 보여주고 있다. 크리켓시스템은 리스너의 위치에 상관없이 모든 비콘들이 주기적으로 RF 신호와 초음파를 전송하므로 지연이 적다. 본 논문에서 제안한 방식은 리스너에서 Beacon\_Request 패킷을 전송한 후, 이를 수신한 비콘에서는 다음 슈퍼프레임 시간에 RF 신호와 초음파 신호를 전송하므로 평균 지연시간이 길어진다.



[그림 8] 비콘 수에 따른 에너지 사용률(%)  
 [Fig. 8] Energy used ratio(%) with the number of Beacons

그림 8는 비콘 수에 따른 에너지 사용률을 나타내고 있다. 크리켓시스템은 리스너 위치에 상관없이 주기적으로 무작위로 전송하므로 비콘 수의 증가에 따라 에너지 사용률이 증가한다. 그러나 본 논문에서 제안한 방식은 리스너 주위의 비콘들만이 전송하므로 에너지 사용률이 일정한 크기로 유지되는 것을 볼 수 있다.

## 5. 결론

본 논문에서는 실내 위치 인식을 위해 초음파를 사용할 때, 발생하는 간섭과 충돌을 방지하기 위한 새로운 알고리즘을 제안하였다. 기존의 크리켓시스템에 무선 센서 네트워크를 추가하고, IEEE 802.15.4 MAC을 사용하였다. 비콘의 배치, 이동통신에서 사용하는 주파수 재사

용 방식을 변형하고, 노드 번호를 이용하여 비콘 전송 순서를 조정하며 간섭과 충돌을 방지하고자 했다. 실험은 NS-2 시뮬레이터를 사용하여 수행하였다.

시뮬레이션 결과 제안한 알고리즘이 기존의 크리켓시스템 보다 수율(throughput)과 에너지 효율면에서 훨씬 더 좋은 성능을 보였다. 지연(delay) 측면은 기존의 크리켓시스템보다 더 많은 지연이 발생하였다. 이것은 본 논문에서 MAC을 IEEE 802.15.4를 사용하였기 때문이다. 리스너에서 Beacon\_Request 패킷을 첫 번째 슈퍼프레임을 통해 전송하고, Beacon\_Request를 수신한 비콘들은 두 번째 슈퍼프레임 시간에 RF 신호와 초음파 신호를 전송하기 때문에 슈퍼프레임 시간만큼 지연이 발생하는 것을 확인하였다. 이는 무선 센서 네트워크의 표준 MAC인 IEEE 802.15.4를 사용해서 나타나는 현상이며, Unslotted CSMA/CA를 사용하거나, IEEE 802.15.4 MAC을 사용하지 않으면 이러한 지연을 줄일 수 있다.

본 논문에서 제안한 새로운 알고리즘은 실내 위치 인식시스템에서 초음파를 사용할 때 간섭과 충돌을 감소하기 위한 방식으로 적합하다고 판단된다.

향후 연구방향은 본 논문에서 제안한 알고리즘을 실제 무선 센서 네트워크 장비에 적용하고, 시뮬레이션 결과와 실제 장비를 통한 성능평가 결과를 비교 분석할 계획이다.

## References

- [1] Jeffrey Hightower and Gaetano Borriello, "Location Systems for Ubiquitous Computing," Computer, vol.34, no.8, pp.57-66, IEEE Computer Society Press, August 2001.
- [2] Andy Harter, Andy Hopper, Pete Steggles, Andy Ward, Paul Webster, "The Anatomy of a Context-Aware Application," Proceedings of the Fifth Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking, MOBICOM'99, Seattle, Washington, USA, pp. 59-68, August, 1999.
- [3] Nissanka B. Priyantha, Anit Chakraborty, and Hari Balakrishnan, "The Cricket Location-Support System," in Proceedings of the 6th ACM International Conference on Mobile Computing and Networking, August, 2000.
- [4] Hong-Peng Wang, Yao-Kuan Wang, "The Research On Indoor Location System Based On Cricket," in Proceedings of the Sixth International Conference on Machine Learning and Cybernetics, Hong Kong, pp. 2662-2666, August, 2007.

- [5] Yunbo Wang, Steve Goddard, Lance C. Pères, "A Study on the Cricket Location-Supporting System Communication Protocols," IEEE EIT Proceedings, pp. 257-262, 2007.
- [6] IEEE 802 LAN/MAN Standards Committee, "IEEE Standard, 802.15.4-2006," IEEE Computer Society.
- [7] Jianliang Zheng and Myung J. Lee, "A Comprehensive Performance Study of IEEE 802.15.4," Sensor Network Operations, IEEE Press, Wiley Interscience, Chapter 4, pp.218-237, 2006.

황 성 호(Sungho Hwang)

[정회원]



- 1991년 2월 : 성균관대학교 전자공학과 (공학사)
- 1993년 2월 : 성균관대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
- 1996년 8월 : 성균관대학교 대학원 전자공학과 (공학박사)
- 1997년 9월 ~ 현재 : 강원대학교 공학대학 정보통신공학전공 교수

<관심분야>

컴퓨터네트워크, WSN, 임베디드시스템