
대규모 무선 센서 네트워크에서 계층적 데이터 전달 프로토콜

추성은*, 강대욱*

A Hierarchical Data Dissemination Protocol in Large-Scale Wireless Sensor Networks

Seong-Eun Chu*, Dae-Wook Kang*

이 논문은 2007년도 전남대학교 연구년 교수연구비에 의하여 연구되었음

요 약

대규모 무선 센서 네트워크에서 센서 노드들이 배치된 이후에는 에너지 충전이나 노드의 재배치가 매우 어렵고, 일부 센서 노드들의 에너지가 고갈될 경우 전체 네트워크의 분할로 이어진다. 이러한 제한된 조건하에서 효율적인 에너지 소비를 고려한 데이터 전달은 라우팅 프로토콜 설계의 핵심 요소이다. 본 논문에서는 다수의 소스 노드와 이동성 싱크 노드를 가진 무선 센서 네트워크 환경에서 에너지 효율성을 제공하는 계층적 데이터 전달 프로토콜인 HDD (Hierarchical Data Dissemination)를 제안한다. 계층적 데이터 전달 프로토콜은 싱크 노드가 데이터 수집의 중심노드라는 점을 차안하여 싱크 노드 중심의 데이터 전달 경로를 구성하고, 이 경로가 이중계층(Two-Tier) 통신을 통해 유지되도록 한다. 실험을 통해 HDD 라우팅 프로토콜과 기존에 제안된 TTDD (Two-Tier Data Dissemination) 라우팅 프로토콜의 전체 소모된 에너지 양, 데이터 전송 시간 및 데이터 전송 성공률을 비교 분석하였다. 그 결과 본 논문에서 제안하는 HDD 라우팅 프로토콜은 TTDD 보다 약 1.5배에서 3배정도의 에너지 절감 효과를 확인할 수 있었다.

ABSTRACT

In large-scale wireless sensor networks, the deployed nodes cannot be replaced or recharged after first deployment. Also, dead nodes may lead to the partition of whole networks. While performing data dissemination under a battery power constraint, energy efficiency is a key design factor of routing protocol. As a solution for the efficient data dissemination, in this paper, we propose a protocol namely Hierarchical Data Dissemination (HDD) which provides scalable and efficient data delivery to multiple sources and mobile sinks. HDD uses the facts that sink nodes are central gathering points and source-centric data forwarding paths are constructed and it is maintained with two-tier communications. The performance of HDD is compared with TTDD about the energy consumption, data delivery time and data success ration. The extensive simulation results show that HDD Routing Protocol outperforms TTDD by more than 1.5~3times on energy consumption.

키워드

Wireless Sensor Networks, Data Dissemination, Mobile Sinks, Multiple Sources, Energy Consumption

* 전남대학교 전자컴퓨터공학부

접수일자 2008. 06. 23

I. 서론

무선 센서 네트워크(WSNs: Wireless Sensor Networks)는 관심 현상을 감지하기 위해 센서 필드 (Sensor Field)에 배치된 센서 노드 (Sensor Node)와 싱크 노드 (Sink Node)로 구성된다. 무선 센서 네트워크에서의 센서 필드는 관심 현상 영역에 많은 수의 소형 센서들을 임의의 형태로 배치시켜 형성한다. 센서들은 무선 송수신 장치를 통해 RF (Radio Frequency) 통신을 수행하며, 이들의 직접 송수신 가능 거리는 200미터 이내로 매우 짧다[1].

센서 필드에서 관심 현상이 발생할 때 이를 감지하여 데이터를 생성하는 센서 노드를 소스 노드 (Source Node)라고 부르며 소스 노드에 의해 감지된 정보를 수집하는 특별한 노드를 싱크 노드라고 부른다. 소스 노드에 의해 생성된 데이터는 여러 센서 노드들을 거쳐 싱크 노드까지 전달된다. 그리고 싱크 노드는 데이터를 수집하여 게이트웨이를 거쳐 인터넷이나 인공위성과 같은 외부 네트워크를 통해서 사용자에게 데이터를 전송한다.

따라서 센서 필드에서 소스 노드는 자신의 송수신 가능 거리를 벗어나 위치해 있는 싱크 노드까지 데이터를 전달하기 위해 여러 센서 노드들을 경유하는 멀티 홉 (Multi-Hop) 통신을 한다[2].

무선 센서 네트워크 목적은 전체 네트워크 수명을 연장시키면서 현상에 대한 감지 정보를 싱크 노드로 수집하는 것이기 때문에 싱크 주변 노드에 가까울수록 소모되는 에너지 량이 늘어나게 난다.

따라서 무선 센서 네트워크에서의 데이터 전달 프로토콜은 이동성을 가진 싱크 노드를 배치하여 특정 노드의 집중적인 에너지 소모를 피하고, 데이터 전달에 참여하는 센서 노드들의 전체 에너지 소모량을 최소화할 수 있도록 설계하여 네트워크 연결성이 장시간 보장될 수 있어야 한다.

본 논문에서는 이러한 센서들의 제한된 조건 하에서 에너지 소모를 줄일 수 있는 데이터 전달 라우팅 프로토콜인 HDD (Hierarchical Data Dissemination)를 제안하고, 실험을 통해 제안된 기법의 성능을 비교 분석한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 관련 연구에 대해 설명하고 3장에서는 본 논문에서 제안하는 HDD 라우팅 프로토콜에 대하여 설명한다. 그리고 4장에서는 HDD 라우팅 프로토콜과 기존 프로토콜의 성능 평가 결과를 기술하고 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

II. 관련 연구

무선 센서 네트워크를 위한 라우팅 프로토콜에 대해서는 많은 연구가 진행되고 있으며, 계층적 데이터 전달 구조 방식을 설계에 반영한 프로토콜들은 TTDD (Two-Tier Data Dissemination)[3], DCTC (Dynamic Convoy Tree-Based Collaboration)[4], VSR (Virtual Sink Rotation)[5], Data MULEs (Mobile Ubiquitous LAN Extensions)[6] 등이 있다. 이러한 라우팅 프로토콜 중 TTDD는 지역적인 플러딩 (Local Flooding)과 그리드 전달 구조를 사용함으로써 싱크 노드의 이동성을 지원하는 대표적인 프로토콜이다.

2.1 TTDD (Two-Tier Data Dissemination)[3]

TTDD는 넓은 지역에 다수의 센서 노드들이 배치된 무선 센서 네트워크 환경에서 다수의 이동성 싱크 노드를 고려한 라우팅 프로토콜이다. 이벤트를 감지한 소스 노드 위치를 그리드 구성의 출발점으로 지정한 후 이 지점으로부터 일정거리 만큼 떨어진 4가지 방향의 전달 지점을 선정한다. 선정된 전달 지점에 근접한 센서 노드를 데이터 전달에 참여하는 전달 노드 (DN: Dissemination Node)로 선택한다. 각각의 전달 노드들은 다시 자신들의 위치를 중심으로 4가지 방향의 전달 노드를 선택하는 과정을 반복하여 센서 필드 전체를 그리드 구조로 만든다.

<그림 1>은 TTDD에서 질의 및 데이터 전달 과정을 보여주고 있다. 먼저, 싱크 노드로부터 데이터 수집 요구가 발생할 경우 싱크 노드는 로컬 플러딩을 통해 인접 전달 노드 (IDN: Immediate Dissemination Node)를 검색하고 질의를 전달한다. 다음은 그리드를 구성하면서 전달 노드에 저장된 경로 정보를 바탕으로 통신이 이루어지며 싱크에서 소스 노드까지 질의가 전달된다. 그리고 질의가 전달된 경로의 역 방향으로 데이터가 전달된다.

TTDD의 경우 이벤트 발생 위치에 따라 소스 노드를 중심으로 하나의 그리드를 구성한다. 만약 이벤트 발생 위치가 바뀌거나 동시에 여러 곳에서 발생하게 된다면 이벤트 단위별로 그리드를 구성해야 한다. 그리드를 구성하기 위해서는 소스 노드를 중심으로 각각 이웃 전달 노드의 정보를 저장해야 하는데, 이로 인해 송수신 되어야 할 제어 패킷 수는 노드 한 개 당 최소 8개 이상이다. 따라서 송수신되는 제어 패킷의 증가로 인해 결국 전체 네트워크에서 센서 노드들의 소모된 에너지 총량이 늘

어나게 된다.

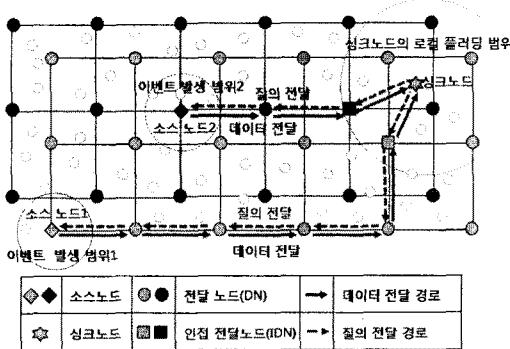


그림 1. TTDD에서 그리드 기반 질의 및 데이터 전달 과정

Fig. 1. Query and Data Dissemination in TTDD by Grid-Based

2.2 DCTC (Dynamic Convoy Tree-Based Collaboration)[4]

DCTC는 소스 노드의 움직임을 추적하기 위해 루트를 중심으로 일정 반경 내의 센서 노드들을 감지 영역에 포함시켜 컨보이 트리 (Convoy Tree)를 구성하는 트리 기반 구조이다. 소스 주변 노드 중에서 선정된 루트는 트리 구성 노드들로부터 감지된 자료를 수집하여 싱크 노드에게 전달한다.

에너지 소비 측면에서 DCTC가 최적의 성능을 나타낼 경우는 감지 영역 내에서 소스 노드가 움직일 경우인데 이는 트리의 재구성 과정이 필요 없이 동작할 수 있기 때문이다. 또한 DCTC는 소스 노드와 가장 가까운 노드가 루트로 선정될 경우에도 통신 오버헤드를 줄일 수 있기 때문에 좋은 성능을 보인다. 그러나 소스 노드의 움직임을 추적하는 일은 루트만의 책임이기 때문에 루트의 에너지가 고갈될 경우 모든 기능을 상실하게 되어 소스 노드에 대한 정보를 잃게 된다.

III. HDD 라우팅 프로토콜

이 절에서는 HDD의 동작 과정은 두 단계로 나누어 설명한다. 첫 번째 단계는 계층적 원형 메시지를 구성하는 과정이고, 두 번째 단계는 데이터 수집이 필요한 싱크 노드가 질의를 전달하는 과정과 소스 노드로부터 생성된

데이터가 이중계층 통신을 통해 싱크 노드까지 데이터 전달되는 과정이다.

3.1 원형 메시 구성

HDD에서는 싱크 노드를 중심으로 계층적인 원형 메시 구성을 위해 메시 포인트에 해당되는 좌표를 산출한다.

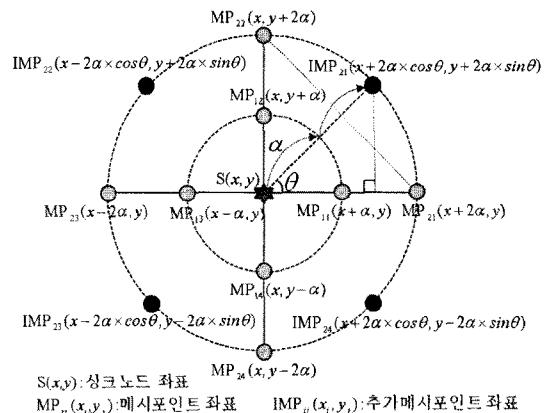


그림 2. HDD에서 원형 메시 구성

Fig. 2. Circular Mesh Construction in HDD

이를 위해 싱크 노드의 현재 위치를 S라고 정의하고 첫 번째 동심원의 메시 포인트 좌표를 MP_{ij} {i=1, j=1, 2, 3, 4}라고 하자.

MP_{ij} 좌표는 S(x, y)를 중심으로 0, π/2, π, 3π/2 방향으로 α만큼 떨어진 지점의 좌표 값을 계산하여 산출한다(<그림 2>의 MP₁₁부터 MP₁₄). 산출된 메시 포인트 간의 거리가 센서 통신 범위 임계값인 200m 이상일 경우 [1], 데이터 전달이 이루어지지 않게 되므로 이들 사이에 새로운 메시 포인트를 추가하고 이를 추가 메시 포인트 (IMP: Inserted Mesh Point)라 부른다.

다음 수식은 산출된 메시 포인트 MP_{2j}(x₂, y_j)와 인접한 MP_{2(j+1)}(x₂, y_{j+1}) 사이의 추가 메시 포인트 IMP_{2j}(x₂, y_j)의 좌표 산출 방법이다.

$$\begin{aligned} x_2 &= x + 2\alpha \cos \theta_k \\ y_j &= y + 2\alpha \sin \theta_k \end{aligned} \quad (j = 1, 2, 3, 4; \theta_k = \frac{\pi}{4})$$

위와 같은 과정을 반복하게 되면 센서 필드 전체가 원형 메시 구조로 형성된다.

3.2 이중계층 통신을 통한 질의 및 데이터 전달

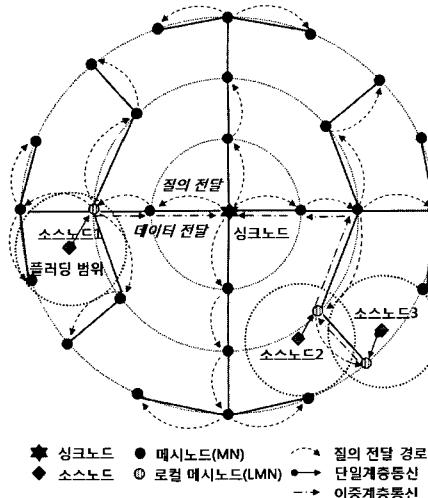


그림 3. HDD에서 이중계층 통신 과정
Fig. 3. Two-Tier Communication Processing in HDD

HDD에서 질의는 이동성을 가진 싱크 노드가 데이터 수집을 필요로 할 때 생성되어 전달된다. 한편, 센서 필드에서 이벤트를 감지한 소스 노드는 데이터를 생성하고 이웃 노드들에게 로컬 플러딩(Local Flooding)을 통해 데이터 알림 패킷을 전송하여 데이터 전달에 참여할 메시 노드를 검색한다. 데이터 알림 패킷을 받은 메시 노드들은 각각 소스 노드에게 자신으로부터 싱크 노드까지 흡수를 전송하여 응답하고 소스 노드는 이를 비교하여 최소 흡수를 가진 메시 노드를 로컬 메시 노드(LMN: Local Mesh Node)로 선정한다(<그림 3> 참조).

로컬 메시 노드가 선정되면 생성된 데이터는 로컬 메시 노드에서 싱크 노드까지 질의가 전달된 반대 경로로 전달된다. 소스 노드에서 로컬 메시 노드까지 로컬 플러딩을 통해 데이터가 전달되는 과정을 단일계층(One-Tier) 통신이라 부르며, 로컬 메시 노드에서 싱크 노드까지 메시 노드들 간 통신을 통해 데이터가 전달되는 과정을 이중계층(Two-Tier) 통신이라 부른다.

IV. 성능 평가

본 장에서는 제안된 HDD 라우팅 프로토콜의 정량적 성능 평가를 위한 실험 환경을 설명하고 실험 결과를 분

석한다.

4.1 실험 환경

본 논문에서 제안된 HDD 라우팅 프로토콜은 NS-2 [7]를 이용하여 구현되었다. TTDD와 동일한 조건에서 비교하기 위해서 NS-2의 무선 에너지 모델과 MAC Layer 802.11을 사용하였으며, 센서 노드가 패킷을 송수신할 때 사용되는 에너지는 각각 0.66w, 0.395w로, 그리고 노드들의 초기 에너지는 1kw로 설정하였다. 실험에 설정된 센서 필드의 크기는 TTDD와 동일한 2,000m×2,000m으로 설정하였으며, 센서 노드의 수는 200개로 하였다. 센서 노드의 통신 거리는 최대 200m로 하고, 소스 노드와 싱크 노드의 수는 1부터 8까지 설정하였다. 그리고 싱크 노드는 5m/s 속도로 이동하는데 중간에 5초 동안의 정지 시간을 가지게 하였다. 그리고 소스 노드는 1초에 1개의 데이터 패킷을 싱크 노드에게 전송하게 하였으며 모든 실험은 200초 동안 수행하여 평균값을 산출하였다.

4.2 실험 결과 분석

본 절에서는 제안된 HDD 라우팅 프로토콜의 정량적 성능을 측정하기 위한 기준으로 데이터 패킷 전송에 소요되는 시간과 데이터 전송 성공률, 그리고 송수신 패킷 교환에 소모된 에너지 총량을 조사하였다.

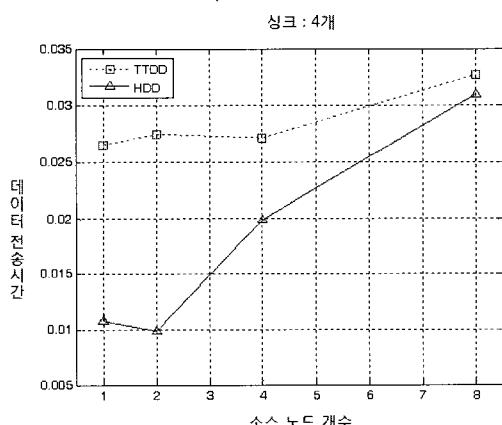


그림 4. 데이터 전송시간 비교
Fig. 4. Comparison of Data Delivery Time

<그림 4>는 싱크 노드 수가 4개일 때 소스 노드의 수를 변화시켜가면서 싱크 노드와 소스 노드간의 데이터

전송에 소요되는 시간을 비교한 결과이다. 그 결과 소스 노드 수가 1, 2, 4, 8개로 증가되면서 HDD는 TTDD보다 0.015초, 0.017초, 0.007초, 0.002초의 빠른 전송시간을 보여 주었다. 하지만 소스 노드 수가 8개로 증가되면서 HDD와 TTDD는 데이터 전송시간에 있어 큰 차이를 보이지 못하고 거의 비슷한 전송시간이 소요된 결과를 확인할 수 있었다.

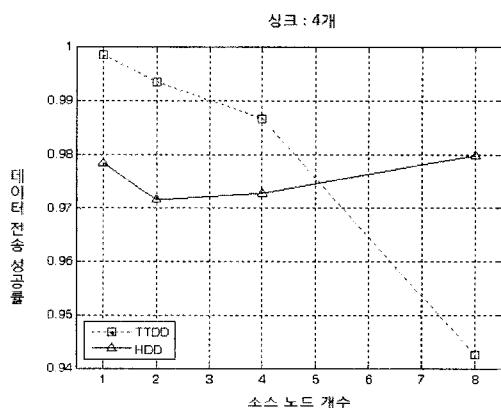


그림 5. 데이터 전송 성공률을 비교
Fig. 5. Comparison of Data Success Ratio

<그림 5>은 싱크 노드 수가 4개일 때 데이터 전송 성공률을 비교한 결과이다. TTDD의 경우 소스 노드 수가 4개일 때까지 98% 이상의 높은 데이터 전송 성공률을 보였지만 그 이후부터는 급격하게 감소하였다. 반면, HDD는 소스 노드 수의 증가에 큰 영향을 받지 않았으며 평균 97.5% 이상의 데이터 전송 성공률을 확인할 수 있었다.

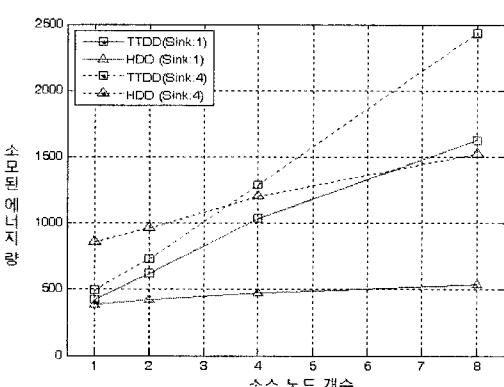


그림 6. 전체 에너지 소모량 비교
Fig. 6. Comparison of Total Energy Consumption

<그림 6>은 싱크 노드 수가 1개와 4개일 때 송수신 패킷 교환에 소모되는 에너지 총량을 비교하였다. 싱크 노드가 1개이고 소스 노드가 8개일 경우에는 최대 3배의 에너지 절감 효과를 보여 주었다. 그리고 싱크 노드 수가 4개일 경우 HDD는 TTDD에 비해 소스 노드 수가 4개 이하일 때까지 소모된 에너지 양이 다소 많았다. 하지만 소스 노드 수가 4개 이상으로 증가되면서 HDD는 TTDD에 비해 소모된 에너지 양이 줄어들기 시작하였으며 소스 노드 수가 8개일 때 약 1.5배 정도의 에너지 절감 효과를 확인할 수 있었다.

위의 결과를 종합해 볼 때 HDD는 TTDD보다 데이터 전달에 소모된 센서 노드들의 에너지 총량이 전반적으로 감소하였으며, 싱크 노드 수가 적고 소스 노드 수가 많은 경우에는 최대의 에너지 절감 효과를 보였다.

따라서 제안된 라우팅 프로토콜인 HDD는 TTDD보다 데이터 전달에 소모된 에너지 총량이 현격히 감소하였으며 적은 지연시간과 높은 성공률로 데이터 전달이 이루어짐을 보여 주었다.

V. 결론

무선 센서 네트워크에서는 센서들의 제한된 전력으로 인해 데이터 전달을 위한 라우팅 프로토콜 설계 시 에너지 소모 최소화를 우선적으로 고려하여야 한다. 본 논문에서는 대규모 무선 센서 네트워크 환경에서 이동성을 가진 싱크 노드가 원형 메시 전달 경로를 통해 소스 노드로부터 생성된 데이터를 전달받을 수 있는 HDD 라우팅 프로토콜을 제안하였다. 실험을 통해 기준 프로토콜과 비교해 본 결과, HDD 라우팅 프로토콜은 적정 지연 시간과 전송 성공률을 유지하면서 데이터 전달에 소모된 에너지 총량이 약 1.5~3배까지 절감되어 현격한 성능 개선 효과를 확인할 수 있었다. 또한 HDD 라우팅 프로토콜은 소스 노드의 수가 증가할 경우에도 소모된 에너지 총량이 크게 증가되지 않고 비교적 일정하기 때문에 이벤트가 자주 발생하는 대규모 무선 센서 네트워크 응용 분야의 네트워크 수명 연장을 가능하게 하였다.

실질적으로 대규모 무선 센서 네트워크에서는 많은 이벤트가 여러 위치에서 자주 발생하게 되어 소스 노드의 수가 많아지게 된다. 하지만 싱크 노드의 수는 통신에 소요되는 비용을 증가시키는 요인이 되어 많은 수의 싱

크 노드 배치는 매우 어렵다. 따라서 본 논문에서 제안된 HDD 라우팅 프로토콜은 대규모 무선 센서 네트워크에서 이동성을 가진 싱크 노드가 소스 노드로부터 데이터 전달을 받고자 할 때 현격한 에너지 절감 효과를 가진 개선된 프로토콜이므로 많은 응용 분야에 널리 이용될 수 있을 것이다.

참고문헌

- [1] B. Krishnamachari, Networking Wireless Sensors, Cambridge University Press, 2005.
- [2] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankara, and E. Cayirci, "A Survey on Sensor Networks," IEEE Commun. Mag., vol.40, no.8, pp.102-114, August 2002.
- [3] H. Luo, F. Ye, J. Cheng, S. Lu, and L. Zhang, "TTDD: Two-Tier Data Dissemination in Large-Scale Wireless Sensor Networks," ACM/Kluwer MONET, Special Issue on ACM MOBICOM, January 2005.
- [4] W. Zhang and G. Cao, "DCTC: Dynamic Convoy Tree-Based Collaboration for Target Tracking in Sensor Networks," IEEE Trans. on Wireless Commun., September 2004.
- [5] L. Choi, K. S. Choi, J. S. Kim, and B. J. Park, "Virtual Sink Rotation: Low-Energy Scalable Routing Protocol for Ubiquitous Sensor Networks," EUC Workshops, LNCS 3823, pp.1128-1137, December 2005.
- [6] R. C. Shah, S. Jain, W. Brunette, "Data MULEs: Modeling a Three-Tier Architecture for Sparse Sensor Networks," Proceedings of IEEE SNPA, May 2003.
- [7] Network Simulator ns2 <http://www.isi.edu/nsnam/ns>

저자소개



추 성 은(Seong-Eun Chu)

2003년 전남대학교 전산학과 (이학석사)
2004년 전남대학교 전산학과 (박사수료)

※ 관심분야: Wireless Sensor Networks, Ad-Hoc Networking, Ubiquitous Computing.



강 대 육(Dae-Wook Kang)

1985년 전남대학교 계산통계학과 (이학석사)
2000년 University of Newcastle, U.K. (박사수료)

1984년 ~ 현재: 전남대학교 전자컴퓨터공학부 교수
※ 관심분야: Mobile Agent, Distributed Object System, Wireless Sensor Networks.