

USN을 위한 Network 기술 동향

김재우 | 윤명준 | 온정석 | 이재용
연세대학교

요 약

본 고에서는 일반적인 USN의 구조를 살펴보고 이를 바탕으로 USN을 구성하기 위한 네트워크 요소들을 정의한다. 그리고 다양한 응용 서비스에 사용되는 센서 노드의 하드웨어적인 특성을 분석하여 센서 노드를 체계적으로 분류한다. 이를 바탕으로 통신 프로토콜을 설계 시 필요한 다양한 요구사항을 정리한다. 또한 현재 진행되고 있는 USN과 관련된 표준화 활동을 정리하고 표준화 이외에 활발하게 연구되고 있는 USN 통신 프로토콜 및 요소 기술들의 연구현황을 소개한다. 이러한 연구 내용들을 바탕으로 향후 USN과 관련된 연구 방향 및 발전 방향에 대해 논의한다.

1. 서 론

유비쿼터스 센서 네트워크(Ubiquitous Sensor Network: USN)는 여러 가지 이벤트를 감지하여 처리하는 센서 노드들과 센서 노드들로부터 데이터를 수집 및 처리하여 기존의 유무선 액세스 네트워크 혹은 인터넷 등에 연결된 싱크 노드로 구성되어 있다. 사용자는 싱크 노드와 직접, 간접적으로 연결하여 사용자가 필요로 하는 관련 정보 및 서비스를 제공 받는다.

USN은 기존의 무선 네트워크나 Ad hoc 네트워크와는 달리, 배터리로 동작하는 센서 노드에 의해 요구되는 초 저전력(Energy Efficiency), 상대적으로 많은 수의 센서 노드에 따

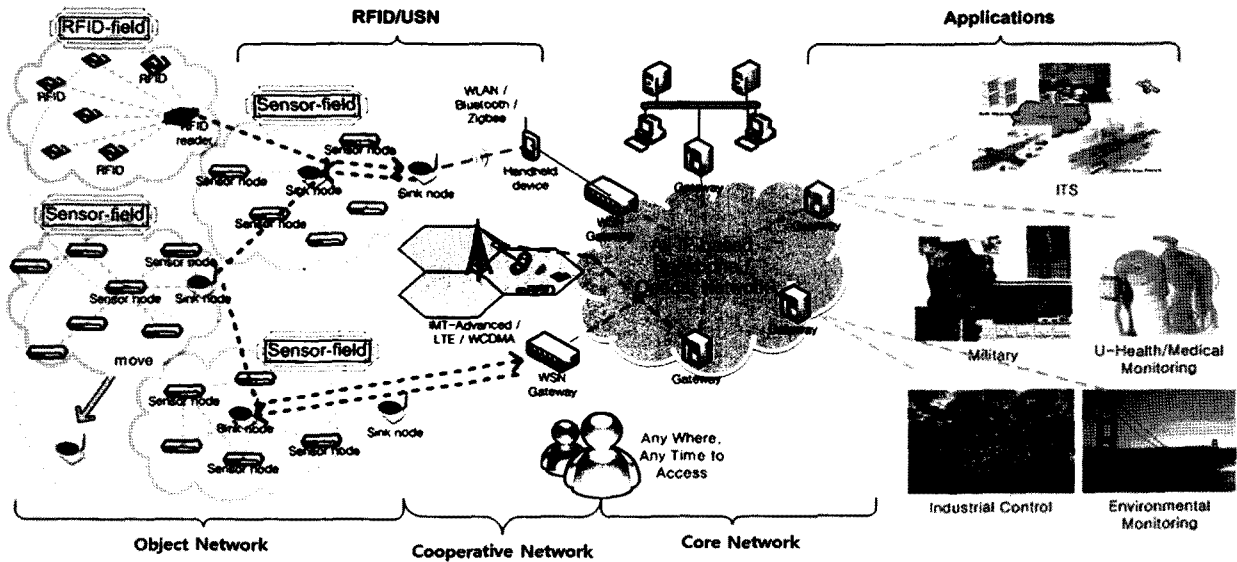
른 확장성(Scalability), 빈번한 토폴로지 변화에 따른 신뢰성(Reliability) 등의 특징을 가진다. 이러한 USN의 특징과 더불어 최근의 다양한 WPAN(Wireless Personal Area Network) 응용 서비스(예, 산업 제어, 환경 감시, 군사 응용, 개인 헬스 및 의료 서비스 등)에 대한 폭발적 관심 증가로 인하여 관련 통신 프로토콜 및 응용 기술들이 연구 개발 되어 오고 있다.

본 고에서는 USN에서 응용 서비스와 네트워크 구조를 정의하고, USN을 위한 Network 기술과 그 발전 방향에 대해서 살펴본다. 우선, USN 응용 서비스와 센서 노드의 특성에 따른 분류에 대해서 살펴보고 관련 통신 프로토콜 디자인 요구사항들을 짚어 본다. 또한, 이러한 특성을 중심으로 관련 최근 MAC, Routing 프로토콜, 망 관리 기술, 위치인식 기술, 클러스터링, 트래픽 관리, IP 연동에 대해서 살펴보고 각 프로토콜들의 장단점을 살펴본다. 마지막으로, 이러한 통신 Network 기술들의 고찰을 통하여 USN 통신 프로토콜 설계 시 필요한 핵심 요구 사항과 향후 연구 방향을 논의한다.

II. USN의 구조 및 요구사항

1. USN 및 센서 노드의 구조

(그림 1)은 USN의 전체적인 구조를 나타내는 그림이다. USN은 센서 노드와 싱크 노드로 구성되어 WSN(Wireless Sensor Network)라고도 불리는 Object Network, 코어망으로의 접속을 위한 Cooperative Network, 그리고 All-IP 망으로 구성된 Core Network로 이루어 진다. WSN은 응용에 따

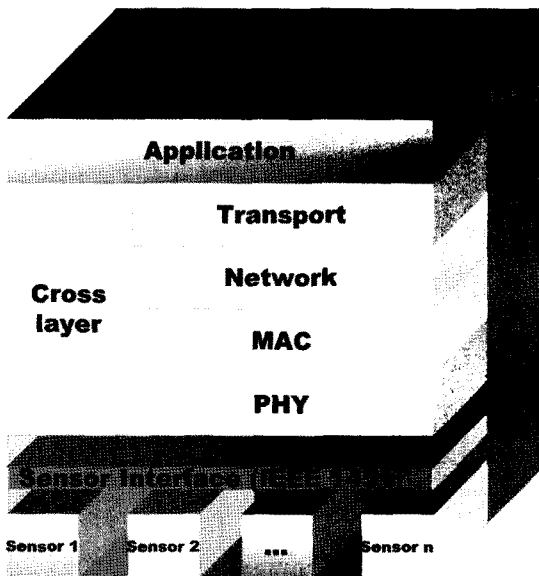


(그림 1) 유비쿼터스 센서 네트워크 (Ubiquitous Sensor Network: USN)

라 passive WSN인 RFID field, fixed active WSN, fixed intelligent WSN, 이동성을 갖는 WSN 등 다양한 종류가 있다. 이런 다양한 네트워크들이 Object Network를 구성하게 된다. 그리고 Object Network에서 수집된 정보들은 싱크 노드로 전달되며, 싱크 노드들은 이동통신망, WiBro, WLAN,

Bluetooth 등과 같이 다양한 Access 망을 통해 코어 망으로 연결되며, 이 때 싱크 노드들은 mesh 네트워크를 형성하게 된다. 코어망에는 실시간 트래픽, 주기적인 트래픽 등 다양한 트래픽이 존재할 수 있기 때문에, 이러한 트래픽의 QoS와 신뢰성을 보장해 줄 수 있어야 한다. 코어 망을 통해 연결된 WSN은 환경 감시, 산업제어, 의료 등 다양한 응용분야에서 사용될 수 있다.

일반적인 센서 노드는 (그림 2)와 같은 프로토콜 구조를 가진다. 센서를 통해서 감지된 물리적인 정보는 센서 인터페이스를 통해서 물리계층에 연결되고, 데이터링크(MAC) 계층, 네트워크 계층, 트랜스포트 계층, 애플리케이션 계층으로 연결된다. 그리고 센서 네트워크를 관리하기 위한 프로토콜이 존재하게 된다. USN은 기존의 유무선 네트워크와 다른 특성과 요구사항 때문에, USN을 위한 MAC/Routing 프로토콜에 대한 많은 연구가 진행되어 왔으며, 서비스 요구사항을 만족시키기 위해 계층간의 정보가 교환되거나 여러 계층을 함께 설계하는 교차계층 프로토콜 연구도 많이 진행되어 왔다. 또한, 센서 네트워크를 관리하기 위한 망 관리도 연구되고 있다.



(그림 2) 센서 노드의 구조

2. 센서 노드의 분류 및 응용 서비스

USN은 응용 서비스에 따라 저렴한 단순한 노드부터 좀

더 비싸고 강한 기능을 갖는 노드, 이동성을 갖는 노드 등 다양한 센서 노드들이 개발 되고 있다. <표 1>은 다양한 센서 노드들을 하드웨어적인 특성을 고려하여 분류한 표이다. low-end 센서 노드들은 매우 저렴하고 단순한 기능을 갖는 노드로 환경 감시와 같이 단순한 응용에 사용되며, 이동성이 없고, 에너지 효율성과 단순함을 추구하는 노드들이다. mid-end ~ high-end 센서 노드들은 low-end 센서 노드에 비해 좀 더 비싸고, 응용에 따라 이동성을 가질 수도 있는 노드들이다. low-end 센서 노드보다 더 많은 기능을 수행할 수 있어야 하므로, low-end 센서 노드보다는 complexity나 density의 제약이 적고, low-end 센서 노드의 기능 외에 추가적인 기능을 수행할 수 있는 노드이다. 특히 high-end 센서 노드의 경우, 지능적이며, 이동성도 가지는 로봇도 이에 포함될 수 있으며, 멀티미디어 데이터도 처리할 수 있는 QoS 요구사항을 가진다.

센서 노드들이 다양한 만큼 각각의 노드의 특성과 쓰이는 응용에 맞는 Network 기술이 필요하다.

3. USN의 Object Network(WSN)에서 통신 프로토콜 요구사항

WSN은 기존 무선 네트워크와 달리 다음과 같이 몇 가지 특성을 가진다. 첫째, 센서 노드는 수개월에서 수년의 수명

<표 1> 센서 노드의 분류

	Low-end	Mid-end	High-end
응용 서비스	환경감시	홈 네트워크 공급 망 관리 자산 관리 산업분야	지능형 교통 시스템 국방 의료/건강
특성	높은 밀도 단순함 에너지 효율성 고정됨 Homogeneous, Non-IP	Mid density Mid complexity 낮은 이동성 또는 고정됨	Mid density Mid complexity 낮은 이동성 intelligent
기능	확장성 Data aggregation (optional) 자가 구성 에너지 절약관리 정보 베이스(light, optional)	위치 인식(optional) Data aggregation (optional) 자가 구성보(optional)	위치 인식 QoS 지원 TCP/IP 지원 (optional) 자가 구성(optional) 전력 제어 보안 트래픽 제어

을 갖는 것을 설계 목표로 한다. 둘째, 노드의 밀집도가 수직 개(Sparse)에서 수만 개(Dense)를 지원해야 한다. 셋째, 짧은 전송 거리에 기반한 멀티 홉 통신이다. 넷째, 자가 구성(Self-organization)을 할 수 있으며 데이터 혹은 응용 중심적(Data-centric/Application-specific)이다. 다섯째, 상당히 미세한 크기의 센서 노드 설계가 요구되므로 구성 하드웨어 요소에 많은 제약이 존재한다. 이러한 WSN의 특징을 고려해 볼 때, 가장 중요한 통신 프로토콜 설계 요구사항들에 대해 살펴본다

1) Energy Efficiency

앞서 논의 된 바와 같이, 센서 노드는 기본적으로 수개월에서 수년의 수명을 갖는 것을 설계 목표로 하고 있다. 따라서 에너지 효율성이 가장 중요하고 필수적인 설계 요구사항이다. 에너지 효율성을 위한 방법으로는 크게 저전력 설계와 에너지 재공급(Energy Harvesting)으로 나눌 수 있다.

센서 노드 크기의 제약에 따른 저전력 하드웨어 설계는 물론 통신 프로토콜, OS 등 또한 오버헤드가 적고, 에너지 효율성이 뛰어나며, 가급적 간단한 알고리즘으로 동작될 수 있도록 설계 되어야 한다. 또한 주위의 환경으로부터 에너지를 공급받아 전력으로 변환하는 에너지 재공급 기술을 이용하여, 배터리 교환이 어려운 WSN의 수명을 늘릴 수 있다.

2) Reliability

기본적으로 WSN은 배터리에 대한 제약 때문에, 시간이 지남에 따라 에너지 고갈이나 손상에 따른 fault 노드 등이 발생하므로, 네트워크의 성능과 신뢰성이 감소하게 된다. 이를 위해, 노드가 에너지를 생산할 수 있도록 하는 에너지 재공급 기술, WSN의 fault 노드 관리를 통해 망을 지속시킬 수 있는 망 관리 기술 등이 필요하다. 그리고, WSN의 수명에 대한 분석을 통해 수명을 정의 하고 예측할 수 있어야 하며, 이는 망 관리 기술과 함께 적용되어 WSN의 신뢰성을 늘릴 수 있어야 한다.

3) Localization(위치 인식)

WSN기술이 발전됨에 따라서 센서 네트워크에서의 위치 인식 기술의 필요성은 점차 커져가고 있다. 단순히 센서 네트워크로부터 얻어지는 센서 정보는 위치 정보와 결합될 때

그 효율성이 훨씬 커지며 이를 기반으로 다양한 서비스를 제공할 수 있고, 위치정보를 이용한 Routing 기술에도 이용될 수 있다. 특히 센서 네트워크에서의 위치 인식 기술은 네트워크에서 발생하는 센서 데이터의 특성상 센서가 데이터를 수집하는 순간에 위치를 인식해야 한다. 따라서 센서 네트워크 위치 인식 기술은 정확도뿐만 아니라 신속도가 중요한 요소가 된다. 또한 센서 네트워크는 하드웨어의 제약 사항이 많아 위치 인식에 많은 자원을 할당하기 어렵고 배터리를 이용하여 동작하기 때문에 위치 인식 기술이 전체 네트워크에 주는 영향이 최소화 되어야 한다.

4) Scalability(확장성)

WSN은 응용 서비스에 따라 다르지만, 기본적으로 수만 개의 노드들로 구성된 네트워크에서 안정적인 통신이 가능하도록 설계해야 한다. 물론, 홈 네트워크등과 같이 수십 개의 저밀도의 네트워크도 존재하지만, 환경 감시 혹은 목표 추적 등의 다양하고 많은 고밀도 응용 서비스 지원을 위해서 확장성 또한 중요한 통신 프로토콜 설계 이슈이다. 특히, 일반적인 무선 네트워크 경우에 비해 상당히 많은 노드 수가 필요하다고 여겨지므로, 확장성을 지원하는 통신 프로토콜 설계는 상당히 중요한 사항이다.

5) Traffic Management

노드 밀도가 높은 센서 네트워크의 특성상 노드들은 종종 같은 현상을 발견하고, 그것들로 인해서 중복되는 데이터들이 여러 노드에서 발생한다. 하지만 중복되는 데이터를 그대로 싱크 노드로 전달하면 네트워크의 자원을 효율적으로 사용하지 못하게 된다. 그러므로 traffic management를 통해서 데이터를 정리, 압축하여 전송하면 데이터의 절대량을 줄일 수 있을 뿐만 아니라 센서 노드의 에너지도 절약할 수 있다. 또한, 이러한 traffic management는 routing 프로토콜과 결합이 되어서 같이 작동해야지 가장 최상의 효과를 나타낼 수 있다. 이러한 방식을 data-centric approach 라고 부른다.

USN 관련 국제 표준화는 IEEE, ZigBee Alliance, IETF, ITU-T, ISO/IEC JTC1/SC6, JTC1/SC31, JTC1/WG7 등에서 활발히 추진 중이다. 최근 ETSI, 3GPP, ITU-T에서도 각각 M2M (Machine-to-Machine), MTC(Machine Type Communication), IoT(Internet of Things) 라는 이름으로 표준화가 진행되고 있다 [1].

IEEE 802.15 그룹에서 USN 관련 표준화는 802.15.4에서 진행해 오고 있으며, 저전력 장치들 간에 WPAN을 구성하는 PHY/MAC 계층의 표준화를 목표로 한다.

ZigBee는 저가, 저전력, 소형, 무선 메시 네트워크 표준으로, 802.15.4의 PHY, MAC을 기반으로 네트워크 계층부터 애플리케이션 계층을 정의하여 산업화 부문에 관련된 표준화 진행을 수행해 오고 있다.

ISO/IEC JTC1/SC 6는 주로 센서 네트워크를 위한 저전력 프로토콜들을 중심으로 표준화를 진행하고 있다.

ETSI M2M에서는 현재, 서비스 요구사항 정의와 스마트 미터링 use-case를 정의하는 표준이 발간되었으며, M2M 구조와 인터페이스에 대한 표준화가 진행되고 있다.

3GPP에서는 서비스 요구사항 정의와 MTC 서비스를 위한 3GPP 시스템 개선 정의에 대한 표준화가 진행되고 있다.

ITU-T의 IoT는 사람과 사물 사이, 사물들 간의 통신과 공

<표 2> USN의 표준화 영역에 따른 각 표준화 개발 기구, 컨소시엄, 포럼들 [2]

표준화 영역	표준화 개발 기구, 컨소시엄, 포럼들
용어	ITU-T SG 13, 16, 17; JCA-NID
요구사항 분석	ISO TC 204, TC 211; IEC TC 65; ITU-T SG 13, 16, 17; ISA100; IETF 6LoWPAN; ROLL WG; OGC
참조 구조	ITU-T SG 13 & 16; ISO TC 204
응용 프로파일	ZigBee Alliance; OGC
센서 인터페이스	IEEE 1451.x; IEC SC 17B, EPCglobal
데이터 타입과 데이터 인터페이스	ITU-T SG 16
통신	IEC SC 65C; IEEE 802.15.x; IPSO Alliance
이동성 지원	IETF MANET MIP WG
망 관리	ZigBee Alliance; IETF SNMP WG
공동 정보 처리	OGC; W3C
정보 서비스 지원	OGC; W3C; IETF ENUM WG, EPCglobal
서비스 품질 (QoS)	ITU-T; IETF
미들 웨어	ITU-T SG 16
보안 & 프라이버시	ITU-T SG 17
적합성, 연동, 성능 테스트	ZigBee Alliance

III. USN 표준화 동향

동작업을 가능하게 만드는 것을 목표로 한다.

ISO/IEC JTC1/WG7에서는 ITU-T와 공동으로 활동을 하고 있으며, 전반적인 센서 네트워크의 대표 architecture와 전문 용어들의 정보 처리, 상호 운영을 향상 시키기 위한 일반적인 해결책을 제시하고 있다.

IV. USN에서의 통신 프로토콜 연구 동향

1. WSN을 위한 MAC 프로토콜

일반적인 무선 통신에서 발생하는 에너지 소모 낭비 요인은 다음과 같이 크게 4가지이다. 첫째, 전송된 패킷 또는 데이터가 hidden terminal 및 exposed terminal 문제로 인해 손상되어 재전송이 요구되는 충돌(collision)요인. 둘째, 다른 노드를 목적지로 하는 패킷을 엿듣게 되는 overhearing 요인. 셋째, 불필요한 제어 패킷 전송에 따른 오버헤드(overhead) 요인. 넷째, 자신은 전송할 데이터가 없음에도 불구하고 이웃 노드가 언제 데이터를 전송할지 모르기 때문에 자신의 전원을 항상 수신 모드로 유지해야 함에 따라 발생하는 idle listening 요인이 있다.

WSN에서는 이러한 에너지 소모 낭비 문제를 해결하고 가장 중요한 통신 프로토콜 설계 요구사항인 에너지 효율성을 위해서 Duty cycle 기술을 MAC 프로토콜 설계에 적용하였다. Duty cycle 기법이란 불필요한 에너지 소모를 줄이기 위해 각 노드들이 주기적으로 활성(Active)과 수면(Sleep) 주기를 반복하는 방식을 말한다. 활성 상태에서는 노드가 센싱한 데이터 전송하거나 이웃 노드들로부터 데이터를 수신하게 된다. 수면 상태에서는 내부 RF 회로와 통신 기능을 비활성화 하여 데이터를 송수신 하지 않는다. 이렇게 함으로써 수면 구간 동안 idle listening에 의해 발생하는 불필요한 에너지 낭비를 최소화 할 수 있게 된다.

노드간의 duty cycle을 동기화 시키는 방법에는 동기식과 비동기식 방법이 있는데, 이에 따라 WSN을 위한 MAC 프로토콜은 크게 동기식 MAC과 비동기식 MAC으로 나눌 수 있다 [7]. <표 3>은 동기식과 비동기식 MAC 프로토콜의 특징을 비교하고 있으며, 각각의 대표적 프로토콜을 나타내

준다.

<표 3> 동기식 MAC과 비동기식 MAC

	Low-end	Mid-end
동기화	Yes	No
주기성	주기적	무작위
오버헤드	제어 메시지/contention-backoff/Time-Slot	프리엠블/contention-backoff
지연시간	동기화 및 데이터 전송 configuration 관련 지연 시간이 많이 소요	프리엠블에 의한 소요 시간 이외에 지연 시간이 거의 없음
Optimality	동기화에 따른 효율적 리소스 관리	Worst-case 경우 성능 저하
에너지소모	동기화 및 제어 메시지 증가에 따른 에너지 소모가 큼	동기화 및 제어 메시지 증가에 따른 에너지 소모가 적음
대표적 프로토콜	S-MAC [3], R-MAC [4], Z-MAC [5]	B-MAC [6], RI-MAC [7], AS-MAC [8]

2. WSN을 위한 Routing 프로토콜

센서 네트워크를 위한 Routing 프로토콜은 크게 두 가지 Flat Routing과 Hierarchical Routing으로 나누어진다. Flat Routing과 Hierarchical Routing은 각각 장단점을 가지고 있으며 사용하는 센서 네트워크의 특징에 따라서 선택적으로 사용해야 한다.

Flat Routing은 센서 노드가 모두 동일한 성능을 가지고 있다고 가정할 경우 많이 사용하는 Routing 방법이다. Flat Routing은 수많은 센서 노드들에 직접 ID를 부여하는 것이 어려운 점을 고려하여, Flat Routing에서는 노드의 ID를 이용하여 각 노드의 정보를 얻어오는 것이 아니라 Query 메시지를 이용하여 해당하는 Query에 적합한 노드가 응답을 보내 정보를 얻는 방법을 사용하고 있다. Flat Routing은 모든 노드들이 동일한 알고리즘으로 동작하기 때문에 구현이 간단하여 단순한 센서 네트워크에 적합한 프로토콜이라 할 수 있다. Flat Routing에는 위치기반 Routing 방법도 포함된다. 위치기반 Routing은 자신과 목적지의 위치정보를 이용하는 방식으로, 확장성에서 장점을 가지지만, 목적지 방향에 이웃 노드가 없는 경우, 우회 경로를 찾는 알고리즘이 필요하다.

Hierarchical Routing은 센서 네트워크를 여러 개의 클러스터로 나누어 각각의 클러스터 헤더가 클러스터 내에서 발생된 데이터를 수집하고 병합, 압축하여 싱크 노드로 전달하

는 방법이다. 클러스터 내에서 발생한 데이터의 양을 줄여서 싱크 노드로 전달하기 때문에 네트워크의 에너지 소모를 줄일 수 있는 장점이 있으나, 클러스터 재구성 및 유지에 관한 에너지가 추가로 필요한 단점이 있다. Hierarchical Routing은 Routing에 관련된 내용뿐만 아니라 MAC에서의 스케줄링이나 채널 할당, 데이터의 병합과 압축, 클러스터 헤더 선정 등의 문제와도 연관되어 있는 특징이 있다.

〈표 4〉 Flat Routing과 Hierarchical Routing

	Flat Routing	Hierarchical Routing
MAC 방식	Contention 기반	TDMA 기반
Data aggregation	멀티 홉 노드	클러스터 헤더
오버헤드	Query 전송 메시지	클러스터 헤더 전송 메시지
지연시간	Query 메시지 전송 후 지연 시간 필요	지연 시간이 거의 없음
에너지 소모	트래픽 발생에 따름	일정하게 소모
Fairness	보장 안됨	보장됨
노드 ID	Local ID 필요	Global ID 필요
대표적 프로토콜	DD [10], GPSR [11], Geo-Back [12]	LEACH [13], TTDD [14], ECS [15]

3. WSN의 Sustainability

WSN의 Sustainability를 위하여 망 관리를 통한 망의 모니터링 및 Fault 노드 관리, WSN의 수명에 대한 예측이 이루어져야 한다.

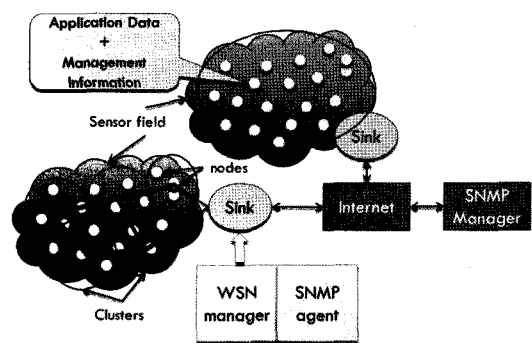
1) Network Management

기존의 망 관리 방법들은 무선망과는 다른 특성을 가진 유선 망에 기반하여 설계되었기 때문에, WSN에 그대로 사용될 수 없다. 인터넷에서 가장 널리 쓰이는 관리 프로토콜인 SNMP(Simple Network Management Protocol)의 경우 TCP/IP 기반의 관리 프로토콜로써, WSN에서 사용하기에는 오버헤드가 크기 때문에, TCP/IP를 사용하는 센서 네트워크에도 그대로 사용되기는 어려우며, TCP/IP를 사용하지 않는 센서 네트워크에서는 사용될 수 없기 때문에, 이러한 센서 네트워크도 효율적으로 관리 할 수 있는 관리 프로토콜이 필요하다.

WSN 관리에 대한 연구는 망 관리 구조나 Framework [16-19], 또는 관리 트래픽을 줄이기 위한 방안 [20] 등에 대한 연

구가 있다.

(그림 3)은 WSN의 관리 구조를 나타낸다 [21]. WSN은 평면적 구조를 가질 수도 있고 계층적 구조를 가질 수도 있으며, 센서 노드는 싱크노드에게 센싱 정보뿐 아니라, 관리 정보도 함께 전달하게 된다. 싱크노드는 센서 노드들을 관리하며, WSN과 SNMP와의 호환을 위해 싱크 노드는 WSN manager인 동시에, SNMP 에이전트로써 게이트웨이의 역할을 수행한다. 이 싱크 노드들은 인터넷을 통해 연결된 SNMP 관리자로부터 관리를 받는다.



(그림 3) WSN을 위한 망 관리 구조

2) Fault Management

WSN에서 fault management는 구조, 프로토콜, 감지 알고리즘 등 다양한 접근이 있으며 크게 Fault detection, fault diagnosis, recovery의 세 가지로 분류할 수 있다 [22].

Fault detection은 fault management의 첫 단계로, 예상치 못한 고장이 네트워크 시스템에 의해 확인되어야 하는 단계이다. 이는 centralized 접근과, distributed 접근이 있는데, centralized의 경우, Base Station(BS)이나, 싱크 노드에 의해 관리 되는 시스템이다. 싱크 노드에서 주기적인 메시지를 통해 fault를 확인하게 되는데, 이 방법은 싱크 노드 주변에 데이터가 많이 집중되기 때문에, 확장성이 부족한 단점이 있다. Distributed 접근은 노드들이 결정을 내리는 방법으로, 노드의 에너지를 절약할 수 있다. 예를 들면, 하드웨어에 의한 자가 진단(센서, 배터리, RF송수신기), 이웃과의 협력을 통한 감지, 클러스터링을 이용한 방법 등이 있다.

Fault diagnosis의 경우, 감지된 fault를 네트워크 시스템에

서 확인하고, 잘못된 알람과 구별하는 단계로, Fault detection의 정확성이 요구된다. Recovery는 fault 노드가 네트워크 성능에 더 이상 영향을 끼치지 못하도록 WSN이 재구성되는 단계이다. 여기에는 fault 노드를 Routing 계층에서 고립시키는 방식이 가장 많으며, 배터리가 적은 영역의 노드의 데이터를 적게 보내도록 하는 방법 등이 있다. 이처럼, Fault Management는 구조, 프로토콜, 감지 알고리즘 등 다양한 접근이 있으나, 궁극적으로는 망 관리 시스템 측면에서 관리할 수 있는 방법이 연구되어야 한다.

3) Lifetime definition and estimation of WSN

WSN의 수명은 응용에 따라서 다양한 정의가 있다 [2,3]. 네트워크 내의 가용한 노드의 개수를 이용한 정의를 비롯하여, 네트워크의 센싱 커버리지 범위에 따른 정의, 네트워크의 연결성에 따른 정의, 이들의 조합을 이용한 정의 등이 있으며, WSN의 응용에 따라서 다른 정의가 사용될 수 있다.

WSN의 수명에 대한 정의는 프로토콜의 성능을 비교하는데 많이 사용되지만, 망 관리와 결합된다면, 망 관리를 통해 수집된 네트워크 내의 노드들의 상태정보로부터 WSN의 남은 수명을 계산하는데 사용할 수 있다. WSN의 수명과 관련된 연구들 [24-26]은 모델링을 통해 WSN의 초기 상태로부터 WSN의 수명을 예측한다. 이러한 WSN 수명에 대한 예측은 망 관리 정보를 이용한 망 관리 시스템과 함께 동작한다면, 망 관리를 위한 중요한 정보를 제공해 줄 수 있다.

4. 위치 인식 기술

위치를 측정하는 가장 정확한 방법은 Global Positioning System(GPS) 수신기를 이용하는 방법이다. 그러나 GPS 수신기는 비용이 많이 들고 에너지 소모가 많아 모든 센서 노드에 장착하는 것은 효율적인 방법이 아니다. 또한 건물 내부나 위성으로부터 신호를 받기 어려운 곳에서는 GPS를 이용하여 위치를 인식하는 방법은 사용할 수 없다. 따라서 GPS보다는 다른 위치 인식 기술을 사용하는 것이 효율적인 방법이다. 위치 인식을 효율적으로 하기 위한 한 방법으로 네트워크에 자신의 위치 정보가 미리 저장되어 있는 노드인 앵커 노드(Anchor Node)를 설치하고 일반 노드는 앵커 노드로부터의 전파를 수신하여 이를 바탕으로 자신의 위치를 추정하는 방법을 사용한다.

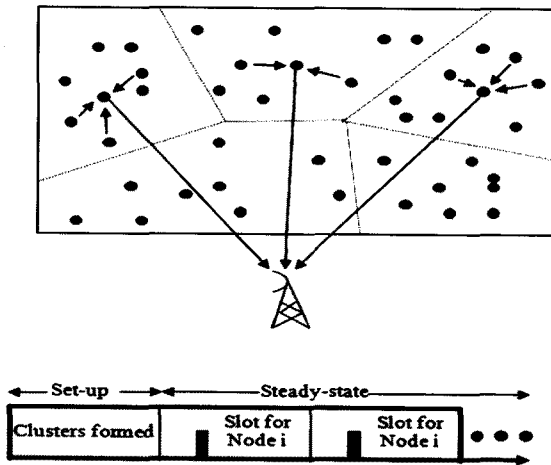
노드의 위치를 추정하는 기술은 여러 가지 방법이 있으며 주로 Time of Arrival(ToA), Time Difference of Arrival(TDoA), Angle of Arrival(AoA), Two Way Ranging(TWR), Received Signal Strength Indicator(RSSI) 등의 정보를 이용하여 노드의 위치를 추정한다.

위치 인식을 위한 가장 대표적인 방법은 삼변측량법(Trilateration) 방법이다. 이 방법은 여러 가지 정보를 이용하여 세 곳에서 보내오는 신호로부터 거리 값을 계산하고 이를 바탕으로 노드의 위치를 결정하는 방법이다. 이 방법은 간단한 계산만을 요구하므로 빠르게 위치를 추정할 수 있지만 다른 오차율이 큰 단점을 가지고 있다. 반면 다차원 측량법(MDS - Multi-Dimensional Scaling)의 경우는 위치를 추정하는 노드의 모든 이웃 노드들로부터 거리 정보를 이용하여 위치를 추정하기 때문에 삼변측량법에 비해서 정확도가 높은 장점이 있다. 하지만 계산의 복잡도가 높아 센서 노드에서 처리할 경우 많은 자원과 배터리를 소모하여 실제 네트워크에 적용하기 어려운 문제점을 가지고 있다.

5. 클러스터링 기술

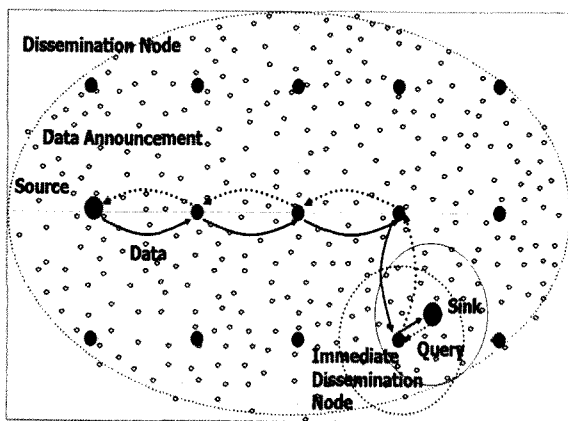
센서 네트워크의 scalability를 높이기 위한 방법 중 하나가 클러스터링이다. 클러스터링은 네트워크를 여러 개의 클러스터로 나누어 각각의 클러스터 헤더가 클러스터 내에서 발생한 데이터를 수집하여 수집된 데이터를 병합, 압축하여 싱크 노드로 전달하는 방법이다. 이러한 방법은 클러스터 내에서 발생한 데이터의 양을 줄여서 싱크 노드로 전달하기 때문에 네트워크의 에너지 소모를 줄일 수 있는 장점이 있다. 하지만 클러스터 헤더는 다른 노드들에 비해 더 많은 에너지를 소모하는 단점이 존재한다. 또한 클러스터를 생성하고 유지하는데 추가적인 자원을 소모해야 하는 단점이 있다.

센서 네트워크에서 대표적인 클러스터링 프로토콜은 Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy(LEACH) [13] 이다. LEACH에서는 센서 노드들 사이의 에너지 소모를 균등하게 하기 위하여 클러스터 헤드를 랜덤하게 순환시키는 방법을 사용한다. 이러한 방법을 사용하면 노드의 에너지 소모를 균등하게 함으로써 센서 네트워크 전체의 수명을 늘릴 수 있다.



(그림 4) LEACH 프로토콜

센서 네트워크를 위한 또 다른 프로토콜로 Two Tier Data Dissemination(TTDD) [14]가 있다. TTDD는 센서 노드의 위치 정보를 활용하여 클러스터링을 하는 프로토콜이다. 특히 싱크 노드의 이동성을 지원하는 프로토콜로 네트워크 전체를 일정한 크기를 가지는 Grid로 나누어서 관리하게 된다. 이 Grid는 각각의 소스 노드별로 따로 관리된다. 소스 노드는 Grid를 기준으로 Grid의 교차점에서 가장 가까운 노드를 Dissemination 노드로 선택한다. 이를 통해서 싱크 노드가 움직일 때 Dissemination 노드에게만 위치 정보를 갱신하면 소스와 싱크 노드 사이의 경로를 쉽게 찾을 수 있다.



(그림 5) TTDD 프로토콜

6. Data aggregation

Data aggregation은 여러 노드에서 생성된 데이터가 같거나 비슷할 경우 데이터를 정리, 압축하는 것을 말한다. Data aggregation의 가장 간결한 구현 방법은 중복한 데이터를 보내지 않은 방법이다. 또 다른 방법은 들어오는 데이터들을 max, min 값과 같은 기능을 통해서 결합하는 방식이다. 이러한 방식의 예로는 온도를 측정하는 노드들 가운데에서 특정 지역의 온도 중에서 가장 높은 온도를 알고 싶다면 자신에게 들어온 온도 데이터 중에서 가장 높은 온도만 선택해서 노드들이 보내는 방식이다. Data aggregation은 일반적으로 Routing과 연관이 되는데 그 중에서 tree topology의 Routing 방식을 가장 선호한다.

그 이유는 Data aggregation를 함으로써 가장 높은 에너지 이득을 보기 때문이다. 이러한 Data aggregation trees를 만드는 방법은 크게 세가지로 나뉜다 [27].

첫 번째는 Center at Nearest Source이다. 이것은 싱크 노드에 가장 가까운 노드가 aggregation point의 역할을 수행한다. 모든 노드들은 이 노드에게 데이터를 보내게 되고 aggregation point의 역할을 하는 노드가 데이터를 결합해서 싱크 노드에게 전달한다.

두 번째는 Shortest Paths Tree이다. 소스 노드와 싱크 노드 간에 가장 가까운 경로로 트리가 형성된다. 그리고 각각의 데이터들은 트리를 따라서 올라가면서 데이터들을 결합하고 그것이 마지막으로 싱크 노드에게 전송된다.

세 번째는 Greedy Incremental Tree이다. 이 방식은 tree를 만들 때에 싱크 노드에서 가까운 노드부터 순차적으로 트리를 만든다. 이것은 구현할 때에 쓰이는 대표적인 방식이다.

이 방식들 외에 클러스터링과 연관된 방식도 있다. 이 때에는 일반적으로 클러스터 헤더 노드가 data aggregation를 수행하게 된다. 즉 클러스터 헤더 노드는 자신에게 속해 있는 클러스터 멤버 노드를 관리하는데 이러한 멤버 노드에게 받은 데이터들을 결합하게 된다. 일반적으로 클러스터링은 인접한 지역의 노드들을 묶어서 관리하게 되므로 중복되는 데이터가 발생하기 쉽고 그로 인해서 data aggregation를 통한 이득을 보기가 쉽다.

7. Identify 문제 : IP 기반과 Non-IP 기반의 WSN

매우 제한적인 시스템 자원을 갖는 센서 네트워크에 TCP/IP를 운용하는 것은 과도한 시스템 자원을 요구하게 되므로, 이러한 센서 네트워크에는 non-IP 기반의 네트워킹 프로토콜이 사용되어야 한다. 그러나, 앞서 언급했듯이 센서 네트워크의 응용에 따라, 다양한 센서 노드가 존재하게 되는데, 특히 high-end 센서 노드의 경우 시스템 자원의 제약이 low-end 센서 노드보다 적기 때문에, IP 기반의 네트워킹 프로토콜을 고려할 수 있다. TCP/IP의 모든 기능을 적용하지 않아도 센서 네트워크의 통신은 가능하기 때문에, 센서 노드의 시스템 사양에서 운용될 수 있는 TCP/IP를 설계할 수 있다.

(그림 6)은 IP망과 연동 시 고려할 수 있는 WSN의 구조들을 나타낸다. (그림 6) (a)는 Non IP기반의 센서 네트워크가 IP망과 연동하기 위한 구조로, IP와는 별도로 센서 네트워크 자체의 주소체계가 필요하며, 이를 IP 패킷으로 변환해 주는 게이트웨이가 필요하다.

센서 노드가 IP주소를 가지게 되면, IPv6의 경우 네트워크에 할당된 64bit의 prefix와 인터페이스 ID 64bit의 조합으로 128bit의 IPv6 주소를 가질 수 있다. 데이터에 비해 IP 헤더의 길이가 매우 크기 때문에, 이를 센서 네트워크에 맞게 운

용하기 위한 표준기술로 IETF 6LoWPAN(IPv6 over Low power Wireless Personal Area Networks) [28]이 있다. 6LoWPAN의 경우 헤더의 압축 및 패킷의 단편화와 재조립 등을 담당하는 Adaptation Layer가 IP 계층 아래에 반드시 필요하다. (그림 6) (b)는 6LoWPAN에서의 IP 연동 구조를 나타낸다.

(그림 6) (c)는 TCP/IP를 그대로 사용하는 WSN의 구조로, 이 경우에는 게이트웨이 없이도 개체들 간의 일대일 통신이 가능하다.

V. 결론

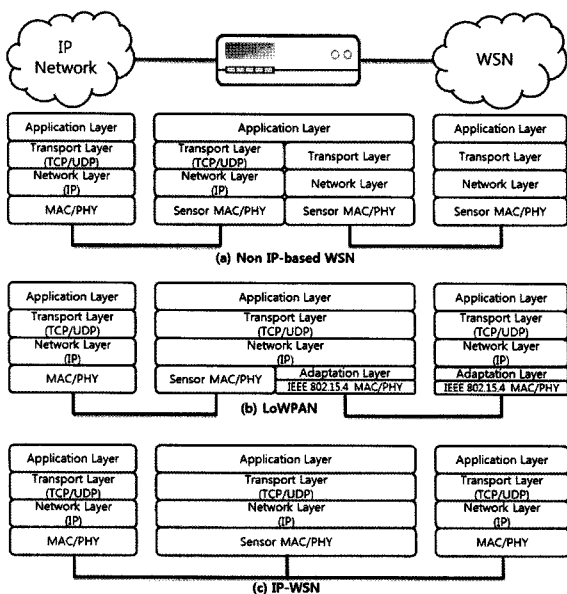
본 고에서는 USN의 다양한 응용 서비스에 사용되는 센서 노드의 하드웨어 특성에 따라 분류하고, 통신 프로토콜 설계 시 필요한 요구사항을 정리 하였다. 그리고 이러한 요구사항과 관련된 MAC/Routing 프로토콜, 망 관리, 위치인식, 클러스터링, Data aggregation, IP연동 기술들의 연구동향에 대해 논의 하였다. 이러한 논의를 바탕으로 앞으로 USN이 더욱 발전하기 위해서는, USN 프로토콜에 대한 표준정립이 시급하며, USN의 지속성을 위한 망 관리 기술에 대한 연구가 활발히 진행되어야 할 것이다.

감사의 글

“본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT 연구센터 육성지원 사업의 연구결과로 수행되었음”(NIPA-2011-C1090-1111-0006)

참고 문헌

- [1] 유상근, 홍용근, 김형준, “스마트모바일 서비스 M2M 기술 및 표준 동향”, 전자통신동향분석 제26권 제 2호 2011년 4월
- [2] Technical Document of ISO/IEC JTC 1 Study Group on Sensor Networks (SGSN), “SGSN Technical Document



(그림 6) WSN과 IP망 연동

- Version 2" SGSN N070
- [3] W. Ye, J. Heidemann, and D. Estrin, "Medium Access Control with Coordinated Adaptive Sleeping for Wireless Sensor Networks," *IEEE/ACM Trans. Networking*, Vol.12, no.3, pp. 493-506, June 2004.
- [4] S. Du, A. K. Saha, and D. Johnson, "RMAC: a Routing-Enhanced Duty Cycle MAC Protocol for Wireless Sensor Networks," *INFOCOM' 07*, May 2007.
- [5] I. Rhee, A. Warrier, M. Aia, and J. Min, "Z-MAC: a Hybrid MAC for Wireless Sensor Networks," *SIGCOMM' 05*, August 2005.
- [6] J. Polastre, J. Hill, and D. Culler, "Versatile Low Power Media Access for Wireless Sensor Networks," *Proc. ACM Conference on Embedded Networked Sensor System*, Baltimore, USA, pp.95-107, November 2004.
- [7] Y. Sun, O. Gurewitz, and D. B. Johnson, "RI-MAC: A Receiver Initiated Asynchronous Duty Cycle MAC Protocol for Dynamic Traffic Loads in Wireless Sensor Networks," *Proc. ACM SenSys 2008*.
- [8] J. S. On, J. H. Kim, J. Y. Lee, Y. S. Kim, and H. J. Chong, "A MAC Protocol with Adaptive Preloads considering Low Duty-Cycle in WSNs," *Springer LNCS 4864, MSN 2007*, pp.269-280, December 2007.
- [9] J. H. Kim, J. S. On, S. G. Kim, and J. Y. Lee, "Performance Evaluation of Synchronous and Asynchronous MAC Protocols for Wireless Sensor Networks," *Proc. SENSORCOMM 2008*, August 2008.
- [10] C. Intanagonwiwat, R. Govindan, and D. Estrin, "Directed diffusion: a scalable and robust communication paradigm for sensor networks," *Proceedings of ACM MobiCom '00*, Boston, MA, 2000, pp. 56-67.
- [11] B. Karp and H. T. Kung, "GPSR: Greedy perimeter stateless routing for wireless sensor networks", in the *Proceedings of the 6th Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom '00)*, Boston, MA, August 2000.
- [12] 김재현, 심인보, 김홍, 이재용, "무선 센서 네트워크에서 위치 정보의 시간차를 이용한 에너지 효율적인 라우팅 프로토콜", *한국통신학회지 논문지*, pp247-256, Vol. 32, No. 5, 2007
- [13] Heinzelman, W.B., Chandrakasan, A.P., Balakrishnan, H., "An application-specific protocol architecture for wireless microsensor networks", *Wireless Communications, IEEE Transactions on Volume 1, Issue 4*, pp. 660-670., Oct. 2002
- [14] F. Ye, H. Luo, J. Cheng, S. Lu, L. Zhang, "A Two-tier data dissemination model for large-scale wireless sensor networks", *proceedings of ACM/IEEE MOBICOM*, 2002.
- [15] 최경진, 윤명준, 심인보, 이재용, "무선 센서 네트워크에서의 에너지 효율적인 클러스터 헤드 선출 알고리즘", *한국통신학회 논문지 Vol. 32, No. 6*, 2007년 6월, pp. 342-349
- [16] L.B. Ruiz, J.M. Nogueira, and A.A.F. Loureiro, "MANNA: A Management Architecture for Wireless Sensor Networks," *IEEE communications Magazine*, vol. 41, no. 2, pp. 116-125, 2003
- [17] G. Tolle and D. Culler, "Design of an application-cooperative management system for wireless sensor networks," In *Wireless Sensor Networks*, 2005. *Proceedings of the Second European Workshop on*, pages 121-132, July 2005.
- [18] A. Jacquot, J. Chanet, K.M. Hou, X.X. Diao, and J. Li, "A New Approach for Wireless Sensor Network Management: LiveNCM", in *Proc. NTMS, 2008*, pp.1-6.
- [19] Gerald Wagenknecht, Markus Anwander, Torsten Braun, Thomas Staub, James Matheka, Simon Morgenthaler: MARWIS: A Management Architecture for Heterogeneous Wireless Sensor Networks, 6th *International Conference on Wired/Wireless Internet Communications (WWIC' 08)*
- [20] Furthmuller, J., Kessler, S., Waldhorst, O.P., "Energy-efficient management of wireless sensor networks," *Wireless On-demand Network Systems and Services (WONS)*, 2010 *Seventh International Conference on* ,

- vol., no., pp.129-136, 3-5 Feb. 2010 doi: 10.1109/WONS.2010.5437120
- [21] Jaewoo Kim, HahnEarl Jeon, and JaiYong Lee, "Network Management Framework for Wireless Sensor Networks", Communications in Computer and Information Science, CCIS 119, Part 1, pp.76-84, December, 2010
- [22] Mengjie Yu, Mokhtar, H., Merabti, M., "Fault management in wireless sensor networks," Wireless Communications, IEEE , vol.14, no.6, pp.13-19, December 2007
- [23] I. Dietrich and F. Dressler, "On the Lifetime of Wireless Sensor Networks," ACM Transactions on Sensor Networks, Vol. 5, No. 1, Article 5, February 2009
- [24] V. Rai and R. N. Mahapatra, "Lifetime modeling of a sensor networks," in DATE '05: Proceedings of the conference on Design, Automation and Test in Europe. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 2005, pp. 202-203.
- [25] M. Noori, M. Ardakani, "A Probability Model for Lifetime of Event-Driven Wireless Sensor Networks," Sensor, Mesh and Ad Hoc Communications and Networks, 2008. SECON '08. 5th Annual IEEE Communications Society Conference on 16-20 June 2008 Page(s):269-277
- [26] K. Sha and W. Shi, "Modeling the lifetime of wireless sensor networks," Sensor Letters, vol. 3, no. 2, pp. 126-135, 2005.
- [27] Krishnamachari, L. ; Estrin, D. ; Wicker, S. "The impact of data aggregation in wireless sensor networks", Distributed Computing Systems Workshops, 2002. Proceedings. 22nd International Conference on, 2002
- [28] IETF 6LoWPAN Working Group <http://tools.ietf.org/wg/6lowpan>

약 력



김재우

2007년 연세대학교 공학사
2007년 ~ 현재 연세대학교 석박사 통합과정
관심분야 : Ubiquitous Sensor Network



윤명준

2005년 연세대학교 학사
2007년 연세대학교 석사
2007년 ~ 현재 연세대학교 박사과정
관심분야 : Ubiquitous Sensor Network



은정석

2005년 연세대학교 공학사
2007년 연세대학교 공학석사
2007년 ~ 현재 연세대학교 공학박사 과정
관심분야 : 센서 네트워크, Mobile Ad-Hoc 네트워크, Mesh 네트워크



이재용

1977년 연세대학교 학사
1977년 ~ 1984년 국방과학연구소 연구원
1984년 Iowa State University 석사
1987년 Iowa State University 박사
1987년 ~ 1994년 포항공과대학교 교수
1994년 ~ 현재 연세대학교 전기전자공학부 교수
2004년 ~ 현재 차세대 RFID/USN 연구센터 센터장
관심분야 : Ubiquitous Sensor Network, Protocol Design for Wired/Wireless QoS Management, Next Generation Network