

유비쿼터스 센서 네트워크 기반 지하주차장 조명제어시스템

정회원 손 병 략*, 종신회원 김 중 규**

A Lighting Control System of Underground Parking Lot Based on Ubiquitous Sensor Networks

Byung-rak Son* *Regular Member*, Jung-gyu Kim** *Lifelong Member*

요 약

최근 지구 온난화가 가속화됨에 따라 고도화된 IT를 활용하여 환경을 보전하고자 RFID/USN을 활용한 Green IT에 관심이 집중되고 있다. 본 논문에서는 지하주차장과 같은 공동시설에서 불필요하게 낭비되는 전기에너지를 줄이고자 유비쿼터스 센서 네트워크 기반 지하주차장 조명제어시스템을 구현하였다. 지하주차장 조명제어시스템은 차량의 진출입을 감지하기 위한 교차로노드와 조명등을 제어하기 위한 조명노드로 구성된다. 지하주차장과 같은 특수한 환경에 적합한 계층적 클러스터 기반 라우팅 프로토콜, 계층적 주소할당 기법, 확률적 필터링 기법을 개발하여 적용하였다. 지하주차장 조명제어시스템을 구현하여 전기에너지 절감율을 실험한 결과 약 61.7% 절감됨을 확인할 수 있었다.

Key Words : Ubiquitous Sensor Network, Underground Parking Lot, Routing Protocol, Lighting Control System, Green IT

ABSTRACT

Recently, the problem of global warming has issued seriously, so Green IT(Information Technology) using RFID/USN is concerned in order to solve environmental problems. In this paper, we implemented that public area like an underground parking lot could reduce unnecessary energy consumption used by lighting control system based on Ubiquitous Sensor Networks. The lighting control system for underground parking lot is comprised of intersection nodes for watching cars enter and leave, and light node for controlling light. It applies the routing protocol based on hierarchical cluster, hierarchical addressing method, and probability filtering method for the specific place like an underground parking lot. The result after experiments shows that the lighting control system could decrease electrical energy consumption to around 61.7%.

1. 서 론

최근 지구온난화가 가속화됨에 따라 국내에서는 기존 에너지 다소비형 산업구조와 가정을 에너지

저소비형으로 전환하기 위해 RFID/USN을 활용한 Green IT 전략을 핵심과제로 두고 있다. 현재 공동 주택에서 전기에너지 낭비를 줄이기 위해 전력제어 시스템이 운용되고 있지만, 대부분 전기설비 계통의

※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 지원을 받아 수행된 연구결과임.
(B1120-0901-0002, IT특화연구소설립)

* 대구대학교 유비쿼터스 신기술 연구센터(UTRC) (brson@utrc.re.kr)

** 대구대학교 정보통신공학부 컴퓨터 네트워크 연구실 (jgkim@daegu.ac.kr)

논문번호 : KICS2009-10-522, 접수일자 : 2009년 10월 31일, 최종논문접수일자 : 2009년 12월 17일

단말로부터 전송되는 상태정보를 중앙관제장치가 처리하고, 고장 발생시 경보음을 발생시켜 전력 차단을 방지하는데 주력하고 있다¹⁾.

공동주택에서 발생하는 공동전기료는 대부분 지하주차장 조명등과 가로등이 차지하며, 그 중에서 지하주차장 조명등이 전체 공동전기료의 약 60%를 차지한다. 이와 같이 공동전기료를 줄이기 위해 지하주차장 조명등을 격등제로 운영하여 법정 조도에 못미치는 문제점이 발생하고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서는 유비쿼터스 센서 네트워크 기반 지하주차장 조명제어시스템을 제안한다.

지하주차장과 같이 닫혀진 공간(Closed Space)에 센서 네트워크를 구현하기는 쉽지 않다. 닫혀진 공간에 센서 네트워크를 구축하기 위해 해결해야할 문제점은 다음과 같다. 첫째, 센서 네트워크를 위한 라우팅 프로토콜은 대부분 열린 공간에 적합하게 설계되었으므로 닫혀진 공간에 적합한 라우팅 프로토콜이 필요하다. 둘째, 자동제어시스템에 센서 네트워크를 융합해서 사용할 경우 그룹제어를 위해 정확한 클러스터를 형성하고, 각 클러스터를 제어하기 위한 자동제어기술이 필요하다. 셋째, 모든 센서 노드와 연결된 제어대상을 개별 또는 그룹으로 제어하기 위해서 주소할당은 계층적으로 이루어져야 한다. 센서 네트워크를 위한 계층적 주소할당 알고리즘이 필요하다. 넷째, 라우팅을 위한 경로설정은 지역경로와 전역경로로 나누어 설정되어야 하며, 라우팅 오버헤드를 최소화 시켜야 한다. 다섯째, 실시간 제어를 위해 지연시간을 최소화 시켜야한다.

위와 같이 닫혀진 공간에 센서 네트워크를 구현하기 위해 본 논문에서는 계층간 실시간 데이터 전송을 위한 계층적 클러스터 기반 라우팅 프로토콜(HCBR)을 설계하고, 센서노드에 주소를 할당하기 위해 계층적 주소할당 기법을 제안한다. 또한 클러스터 형성시 센서노드의 정확한 위치정보 계산을 위해 확률적 필터링 기법을 제안한다. 이상과 같이 제안한 기법을 이용하여 본 논문에서는 지하주차장 조명제어시스템을 구현하고 그 성능을 평가한다.

II. 관련연구

BACnet²⁾은 빌딩 자동화와 제어 네트워크에 대한 데이터 통신 프로토콜이다. 빌딩 자동화 통신망의 필요성이 제기됨에 따라 ASHRAE에서 개발한 BACnet 규격은 ANSI/ASHRAE Std 135-1995³⁾를 말하는 것으로, ANSI에 의해 1995년 미국 표준으

로 채택된 빌딩 자동화 통신망의 표준 규격이다. 전 세계로 기술 보급 및 표준화가 확산되고, 1999년에 유럽에서도 CEN에 의해 BACnet이 빌딩 자동화 통신망의 정식 표준 규격으로 채택되었으며, 2003년에는 ISO 표준으로 채택되어 빌딩 분야의 개방형 표준 프로토콜이 되었다.

LonWorks⁴⁾ 표준은 미국 Echelon 사에서 창안한 디바이스 네트워킹을 위한 제어용 네트워크 표준 기술이다. 이는 컴퓨터 네트워크의 LAN 기술을 디바이스 네트워킹 분야에 도입한 것으로, 빌딩제어시스템에서 기존의 DDC(Direct Digital Control) 기반의 Master/Slave Command Base 제어 방식과 구분된다. LonWorks는 디바이스 네트워킹을 위한 기술로서 개방형, 표준형, 상호 호환형의 지능형 디바이스에 의해 분산된 제어 네트워크 시스템을 구현한다.

조명제어시스템은 공동주택의 지하주차장, 외곽 가로등, 실내조명제어 등을 위하여 도입되고 있다. 그림 1은 일반적으로 많이 도입되는 조명제어시스템의 구성도이다⁵⁾. CCMS(Central Control and Monitoring System)에서 DDC에 해당하는 LCU(Lighting Control Unit)까지의 통신은 LAN을 이용하여 네트워크를 구성하고, LCU에서 LCP(Lighting Control Panel)까지의 통신을 RS-485 방식을 사용한다. 조명제어시스템의 전형적인 구성은 조명제어반이 필요하지만 최근에는 LCU가 LCP 기능을 포함하기도 한다. 물론 인터넷상에 연결된 어느 컴퓨터에서도 HMI(Human Machine Interface)를 이용하여 마치 로컬에 위치한 것처럼 운영 관리가 가능하다.

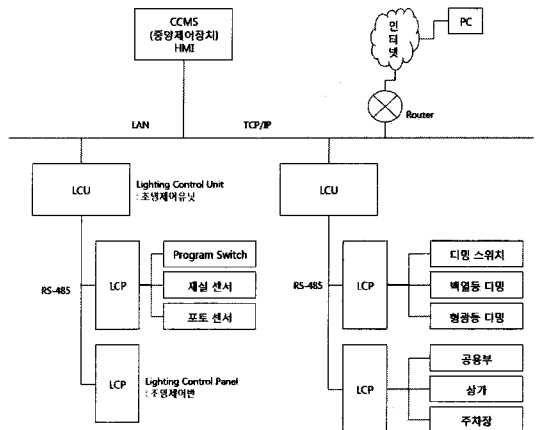


그림 1. 조명제어시스템의 기본 구성도

III. 계층적 클러스터 기반 라우팅 프로토콜(HCBR)

3.1 확률적 필터링 기법⁶⁾

일반적으로 RSSI값은 실외에서 LoS(Line of Sight)가 보장되는 환경에서는 이상적인 형태로 거리에 반비례하여 감소한다. 거리에 따른 RSSI값의 이상적인 형태는 수식 1과 같은 로그함수의 형태를 나타낸다.

$$RSSI = -(10 \log_{10} d + A) \quad (1)$$

일반적인 RSSI 값의 필터링 기법은 평균기법과 피드백 기법을 사용한다. 평균기법은 수식 2와 같이 표현되며, 수신된 n개의 RSSI값의 평균값을 사용한다. 평균기법은 LoS가 보장되는 실외환경에서는 신뢰성을 보장할 수 있지만, 장애물의 영향을 받는 실내에서는 정확도가 떨어지는 문제점을 가지고 있다.

피드백 기법은 n번째 RSSI값과 (n-1)번째 RSSI값에 가중치 $a(0 < a < 1)$ 를 곱해서 n번째 RSSI를 산출하는 방식이다. 평균기법과 마찬가지로 LoS가 보장되는 환경에서는 신뢰성이 보장되지만, 그렇지 않은 경우에는 신뢰성을 보장할 수 없는 문제점을 가지고 있다.

$$\overline{RSSI} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n RSSI_i \quad (2)$$

$$RSSI_n = a \cdot RSSI_n + (1-a) \cdot RSSI_{n-1} \quad (3)$$

본 논문에서는 LoS가 보장되는 환경에서 RSSI값을 도수 분포 형태로 표현할 경우 그림 2와 같이 한 점에서 최대 도수 합을 보임을 확인하였다. 하지만, 장애물과 다중 경로에 의한 오차가 발생할 경우 그림 3과 같이 최대 도수 합을 가지는 꼭지점이 2개 이상 형성됨을 확인하였다. 장애물과 다중경로 때문에 발생한 RSSI값의 오차 영역을 제외시킨 값을 평균하여 기존 방식의 문제점을 해결하였다.

본 논문에서는 RSSI값의 확률적 필터링 기법을 제안한다. 이 기법은 장애물로 인하여 발생한 오차 범위를 제외한 나머지 RSSI값의 평균을 구함으로써 RSSI값의 정확도를 향상시킬 수 있다. 실행 순서는 첫째, 수신된 RSSI값의 도수분포를 확인하고, 둘째, 수신된 RSSI값의 최대 도수 k_{max} 를 찾고, 셋째, 가장 높은 k_{max} 값까지의 평균을 구한다.

수식 4는 제안하는 확률적 필터링 기법이다. 수신된 RSSI값을 테이블로 저장하여 도수분포를 확인하고, 최대 도수를 가지는 k_{max} 를 확인한다. $k=1$ 부터 k_{max} 까지 $n_k x_k$ 를 합을 구하고, 그 결과를 누적도수 $N_{k_{max}}$ 로 나누어서 최종적인 RSSI값을 얻는다.

$$RSSI = \frac{\sum_{k=1}^{k_{max}} n_k x_k}{N_{k_{max}}} \quad (4)$$

- x_k 는 RSSI값, n_k 는 도수, $N_{k_{max}}$ 는 누적도수

그림 4는 각 필터링 기법별로 수신된 RSSI값이

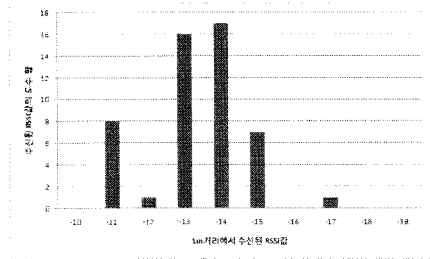


그림 2. 1m 거리에서 수신된 RSSI 값

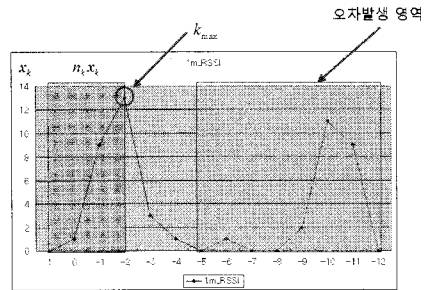


그림 3. 오차가 발생할 경우 RSSI 값의 도수분포

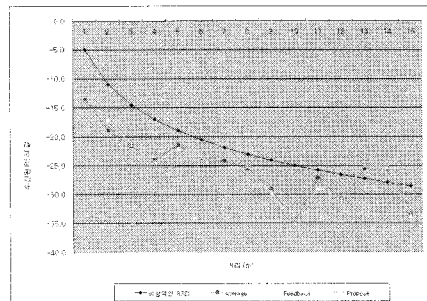


그림 4. 각 필터링 기법별로 수신된 RSSI 값의 정확도

다. 제안하는 필터링기법의 정확도가 평균과 퍼드백 기법 보다 각각 11.58%, 10.64% 향상되었다.

3.2 계층적 주소할당 기법

기존 ZigBee^[7]와 6LoWPAN^[8]의 복잡한 수식을 이용한 방식과는 다르게 비트연산으로 새로운 주소를 할당한다. 그림 5는 자식노드의 수(CN; Child node Number)의 크기가 2, 즉 최대 자식노드의 수(MC; Maximum Child node number)가 4($MC=2^{CN}$)인 센서 네트워크의 짧은 주소 구조와 깊이(Depth)에 따라 주소의 구조가 변하는 것과 코디네이터로부터 계층적으로 자식에게 새로운 주소를 생성 및 할당하는 메커니즘을 표현한다. FF(First Fix)는 부모 노드가 새롭게 참여한 자식노드에게 자신의 FF 비트 값을 변화 없이 그대로 전달한다.

그림 6과 같이 FA(Free Address)는 16bit 짧은 주소 중에서 FF를 제외한 나머지 부분이다. 부모 노드가 자식에게 새로운 주소를 할당할 때 FA 부분에 참여하는 자식노드의 순서를 더하여 자신과는 다른 새로운 FA를 생성한다. 이렇게 생성된 FA와 자식의 FF를 연결하여 자식에게 할당할 16bit 주소를 생성한다. 이와 같이 FF와 FA 필드를 가진 주

Depth 0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	FreeAddress						
Depth 1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	0	0	0	1	1	0	0	0	0	FreeAddress						
Depth 2	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	0	0	1	0	1	0	0	0	0	FreeAddress						
Depth 3	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	0	0	1	1	1	0	0	0	0	FreeAddress						

그림 5. 깊이에 따른 주소의 구조

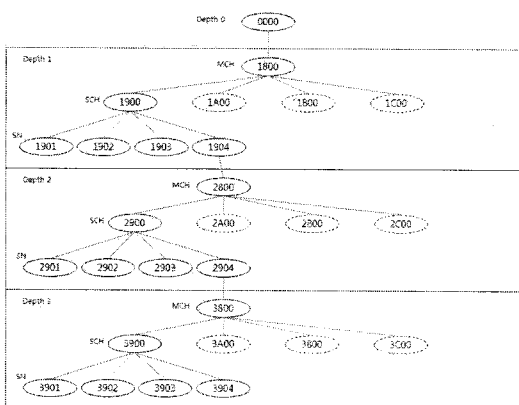


그림 6. 계층적 주소할당

소체계를 가진 센서 네트워크에서 센서 노드에 짧은 주소를 계층적으로 할당한다.

계층적 주소할당 기법은 첫째, 새로운 센서 네트워크를 형성하기 위해 수많은 센서노드 중에서 각 계층별로 하나의 센서노드가 코디네이터(MCH; Master Cluster Head)로 선정된다. MCH로 선정된 노드는 센서 네트워크의 NF의 크기를 결정하고 자신의 짧은 주소를 '0' 으로 설정 한다. 둘째, MCH에게 첫 번째 SCH(Slave Cluster Head)가 참여하게 되면 FF 4~7bit에 1을 더하여 새로운 주소를 생성하고, 나머지 SCH가 참여하는 경우에도 FF 4~7bit에 두 번째, 세 번째, 네 번째 SCH에게 각각 2, 3, 4를 더 한 값을 할당한다. 셋째, 코디네이터(SCH)에게 첫 번째 자식노드가 참여하면 FA에 1을 더하여 새로운 주소를 생성하고 자식노드에게 할당한다. 그림 6은 계층적 주소 할당 기법을 실행한 결과이다.

3.3 클러스터 형성

HCBR에서의 센서노드는 일반노드, MCH(주클러스터헤드), SCH(부클러스터헤드)로 구성된다. MCH는 각 계층의 출입구에 위치하고 각 계층을 대표하며, 1홉 거리의 일반노드와 SCH의 정보를 관리하며, 외부 게이트웨이까지의 전역경로를 관리한다. SCH는 지하주차장의 교차로에 위치하며, 1홉 이내의 일반노드와 SCH의 정보를 관리하며, MCH까지의 지역경로를 관리한다.

MCH와 SCH는 특정위치에 배치되어 자신의 위치를 알고 있는 노드이다. 동일 계층내의 모든 노드는 상위 또는 하위 계층 간 통신을 위해 반드시 MCH를 통해 통신한다. MCH는 층간통로에 배치되어 상위 또는 하위 계층과 경로를 설정하여 데이터를 송수신한다. 지하주차장에서 센서노드들은 그리드 구조로 배치되며, 각 노드 사이의 간격은 일정하다.

그림 7은 HCBR을 위한 프레임 포맷이다. 기본 프레임 포맷은 IEEE 802.15.4^[9] 포맷을 따른다. 주소공간은 16bit 짧은 주소를 사용한다. 1~4번bit는 각 계층을 구분하고, 5번 bit는 클러스터헤드가 MCH인지 SCH인지 구분하고, 6~8번 bit는 MCH와 SCH의 주소를 할당하기 위해 사용되고, 나머지 8bit는 일반노드의 주소로 사용한다. PDU에서 데이터의 종류를 표현하기 위해 4bit를 사용하고, 나머지 16bit는 데이터 정보를 표현하는데 사용된다.

그림 8에서 클러스터링을 시작하면, MCH는 Hello 메시지를 1홉 거리에 있는 SCH에게 전파한다

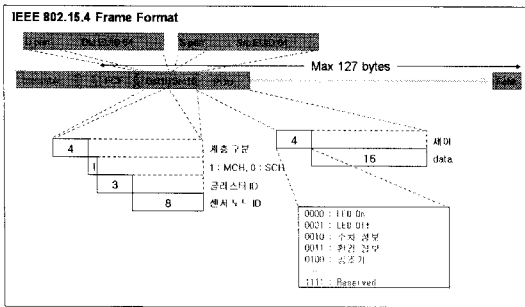


그림 7. 프레임 포맷

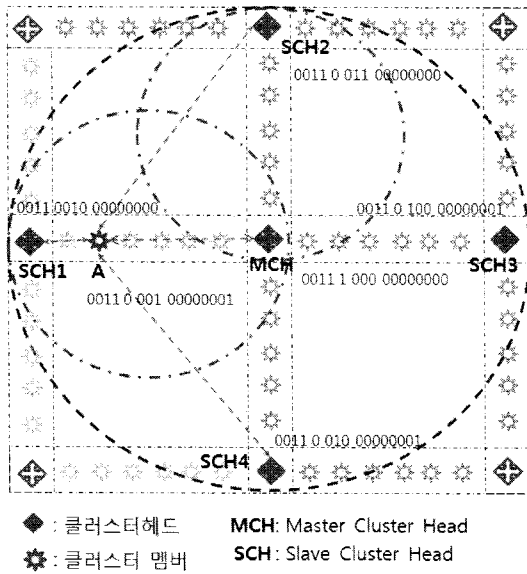


그림 8. 클러스터 형성

다. SCH는 MCH로부터 받은 패킷을 분석하여 자신이 속한 계층과 MCH 주소를 목적지 경로로 등록하고, SCH는 MCH에게 주소요청메시지를 보낸다. MCH는 SCH에게 주소 포맷 중에서 6~8번 bit를 사용하여 주소를 순차적으로 할당한다. SCH는 할당받은 주소를 사용하여 1홉 거리에 있는 일반노드에게 자신이 MCH와 통신할 수 있음을 전파한다.

노드 A는 MCH와 SCH가 서로 통신하는 메시지를 듣고, 메시지에 포함된 16bit 주소와 RSSI값을 테이블에 저장한다. 저장된 RSSI 값은 확률적 필터링 기법을 사용하여 계산하고, RSSI값이 가장 큰 MCH 또는 SCH를 부모노드로 선택한다. 노드 A는 선택된 MCH와 SCH에게 자신이 클러스터 멤버임을 전송하고, 주소를 할당받는다. 노드 A는 선택된 MCH와 SCH를 라우팅 테이블에 등록한다.

3.4 경로설정

HCBR은 16bits 짧은 주소를 계층적 주소할당 기법을 사용하여 MCH, SCH, 그리고 일반노드에 주소를 할당한다. 16bits 짧은 주소는 각 클러스터 헤드의 형태(MCH, SCH)를 구분하여 주소를 할당하므로 Gateway에서 일반노드까지 16bits 짧은 주소를 사용하여 경로를 설정한다.

그림 9는 HCBR의 경로설정 예를 보여준다. 네트워크 형성이 완료된 후 SN 3-3-3은 Gateway까지 경로를 설정한다. 경로설정 테이블은 목적지 주소의 8비트를 확인하여 최상위계층에 있는 Gateway임을 확인할 수 있다. SN 3-3-3이 Gateway로 데이터를 전송하기 위해 먼저 자신의 클러스터헤드인 SCH 3-3에게 데이터를 보낸다. SCH 3-3은 목적지 주소를 확인하고 상위계층으로 전송시키는 데이터임을 확인할 수 있다. SCH 3-3은 계층을 대표하는 MCH까지의 지역경로를 가지고 있으므로 SCH 3-1을 경유해서 MCH 3까지 데이터를 전송한다. MCH 3은 목적지주소를 확인하여 상위 계층으로 데이터를 전송한다. 이후 SCH 2-3부터 Gateway까지 그림 9의 경로를 따라 SN 3-3-3의 데이터를 전송한다.

HCBR은 단지 자신을 기준으로 상위계층으로 가기위한 경로와 하위계층으로 가기위한 경로만을 기록하므로, 기존 라우팅 프로토콜이 많은 라우팅 테이블을 저장하고 있어야 했던 문제점을 해결할 수 있다.

SN 3-3-3이 가지고 있는 라우팅 테이블은 표 1과 같다. 라우팅 테이블은 SCH, MCH, Distance, Neighbor SN으로 구성된다. SN 3-3-3은 라우팅 테

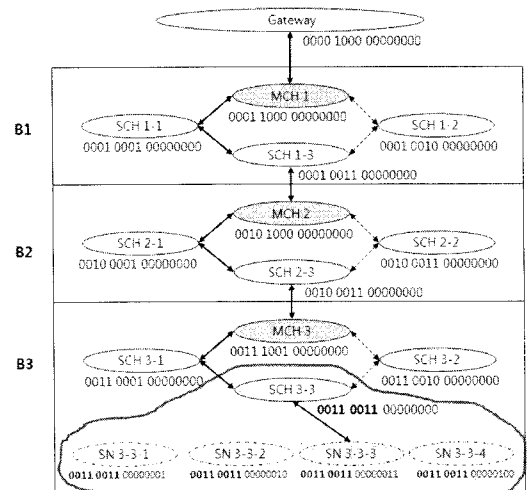


그림 9. 경로설정예

표 1. SN 3-3-3의 라우팅 테이블

SCH	MCH	Distance	Neighbor SN
SCH 3-3 0x3300	MCH 3 0x3900	3 hop	SN 3-3-2 0x3302 SN 3-3-4 0x3304

이들의 정보를 이용하여 SCH 3-3을 경유하여 MCH까지 데이터를 전송하고, MCH는 SN 3-3-3의 목적지 주소를 확인하여 상위 계층으로 데이터를 전송한다.

본 논문에서 제안하는 HCBR은 계층적 주소할당 기법을 통해 SN, SCH 그리고 MCH에 주소를 할당하고, 데이터 전송을 위한 경로설정은 목적지 주소를 먼저 확인하고, 경로를 설정할 수 있다. 따라서 경로 설정에 따른 지연시간과 에너지 소모를 최소화 시킬 수 있다.

IV. 지하주차장 조명제어시스템 구현

4.1 지하주차장 조명제어시스템 설계

USN 기반 지하주차장 조명제어시스템은 효율적인 토폴로지 구성, 전파특성, 센서 네트워크를 이루는 기술의 선택, 사용자의 요구에 맞는 대역폭의 선택 등이 주요 요소로 작용한다. 또한, 지하주차장과 같이 닫혀진 다층 공간(Close Multi-Floor Space)에서는 무선 통신이 어렵기 때문에 다중 경로를 통한 데이터 전송의 성능이 보장되어야 한다.

본 논문에서 설계한 네트워크 토폴로지는 그림 10과 같다. 지하주차장은 일반적으로 밀폐된 다층구조이므로, 최하단층에서 지상까지 다중 경로를 이용하여 데이터를 전송해야 한다. 또한 지하주차장에는

장애물(차량, 기둥, 연결통로 등)이 산재해 있으므로 무선통신이 원활하지 않다. 각층을 연결하기 위한 중계노드가 반드시 필요하다.

지하주차장 조명제어시스템은 조명제어와 주차관제를 제공한다. 그룹별 조명제어가 이루어지기 위해서 센서네트워크는 계층적 클러스터 구조로 구현되어야 한다. 지하주차장 조명제어시스템은 Base Station(주차공간표시장치), 클러스터헤드(교차로노드), 센서노드(조명노드, 주차노드, 환경노드)로 구성된다. 센서노드가 수집한 정보는 클러스터헤드를 통해 Gateway로 전송되고, Gateway는 관리서버로 정보를 전송한다. 조명등의 그룹 또는 개별제어를 위해 하나의 클러스터헤드와 센서노드는 스타 토폴로지를 형성하며, 클러스터헤드가 제어메시지를 센서노드에게 전송한다.

지하주차장의 구조적 특성상 센서노드가 수집한 정보를 관리서버로 전송하기 위해 HCBR을 적용하였다. 하위 계층에서 상위계층으로 데이터를 전송시킬 수 있는 경로는 계층간 이동통로와 사람의 출입구로 제한된다. 사람의 출입구는 수직 구조이므로 무선통신에 문제가 많으므로, 계층간 통신을 위해서는 차량이동통로를 이용해야만 한다. 계층 간에 클러스터헤드를 이용하여 층간 멀티 홉 통신을 수행하여 센서노드에서 관리서버까지 데이터를 전송한다.

그림 11은 지하주차장 조명제어시스템의 센서노드 배치도이다. 교차로노드는 차량의 진행방향을 감지하기 위해 지하주차장의 입구(MCH)와 지하주차장 내의 교차로(SCH)에 설치한다. 교차로노드는 차량의 진입과 이동방향을 계산하여 조명노드를 제어한다. 조명노드는 교차로노드의 점등/소등 명령을 수신하거나 인체를 감지하면 조명을 제어한다. 주차노드는 주차공간의 차량 유무를 판별하고, 주차여부

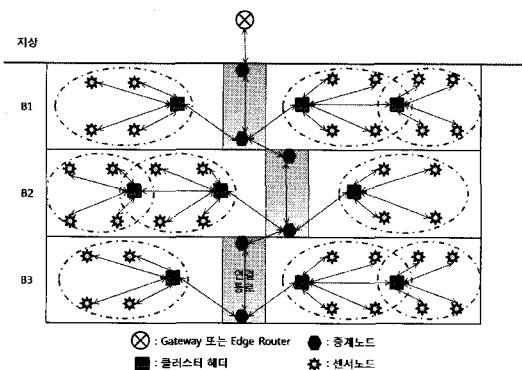


그림 10. 지하주차장 조명제어시스템 네트워크 토폴로지

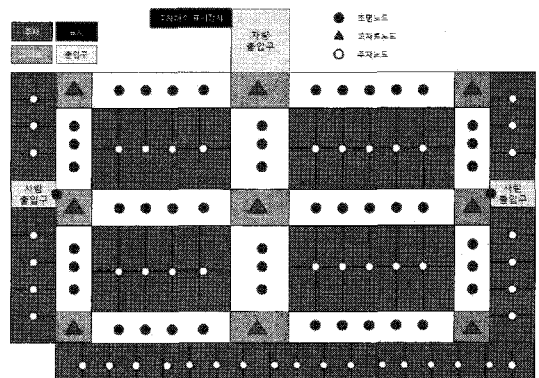


그림 11. 지하주차장 조명제어시스템의 센서노드 배치도

가 변경되었을 때 교차로노드를 경유하여 주차공간 표시장치에게 정보를 전송한다. 주차공간표시장치는 교차로노드로부터 수신한 정보를 표시하고, 수신한 데이터를 관리서버로 전송한다.

4.2 지하주차장 내의 전파환경

지하주차장은 대표적인 닫혀진 계층공간이며, 대부분 철근 콘크리트의 다층구조로 되어 있다. 지하주차장 내부에서 외부와 통신할 수 있는 유일한 통로는 차량출입구이므로 단일 홉으로 지상과 통신할 수 없다. 지하주차장 내 전파 환경 실험은 지하주차장 내에서 거리에 따른 신호의 세기를 LoS 상황을 고려하여 신호 감쇄를 측정하였다. 일반적으로 신호 감쇄는 수식 5와 같이 표현된다^[10].

$$L_p = \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \tag{5}$$

여기서 λ 는 파장, d 는 거리(Km), f 는 주파수(MHz), 그리고 L_p 는 경로손실(dB)이다. 수식 6과 같이 dB 단위로 나타낼 수 있다.

$$L_p = -(32.4 + 20\log(f) + 20\log(d)) \tag{6}$$

실험 1은 신호발생기를 이용하여 중심주파수 2.45GHz와 10dBm의 출력 전력을 가진 톤(tone) 신호를 발생시켜 거리에 따른 신호 감쇄를 스펙트럼 분석기를 사용하여 측정하였다. 실험 결과는 그림 12와 같지만, 지하주차장의 특성상 NLoS(Non LoS)가 될 확률이 상당히 높기 때문에, 직선 주행로를 제외하면 무선 환경은 매우 불안정하다. 지하주차장 각 층별 통신은 차량 출입구와 같이 LoS가 보장되는 환경에서만 가능하며, NLoS 환경에서는 불가능함을 확인할 수 있다.

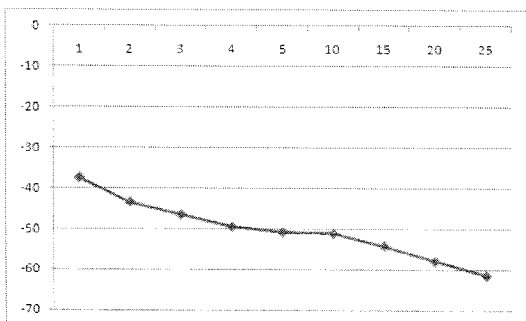


그림 12. 거리에 따른 신호감쇄값

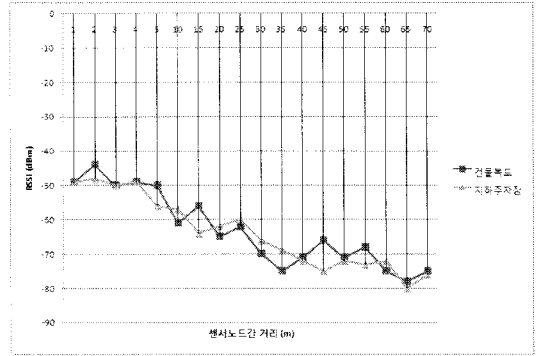


그림 13. 센서노드를 이용한 전파환경 실험 결과

실험 2는 개발한 센서 노드를 이용하였다. 지하주차장과 건물 내 복도에서 수행하였다. 지하주차장 바닥면으로부터 1.5m의 상단에서 통신 가능거리를 고려하여 5m까지는 1m 단위로 측정하고, 5m~70m까지 5미터 단위로 측정하였다. 측정하는 방법은 송신 노드가 100회 패킷을 송신하면 수신노드가 100회 패킷을 모두 수신했을 때, 통신이 성공했다고 판단하고, 수신된 100개의 RSSI값을 평균하여 측정하였다. 실험결과는 그림 13과 같다.

4.3 하드웨어 구현

교차로노드는 차량의 진행방향을 감지하여 조명을 자동으로 제어한다. 교차로노드는 차량을 감지하기 위해 4방향에 차량감지센서를 설치하고 지하주차장 내의 교차로에 설치한다. 교차로로 진입하는 차량을 감지하고, 클러스터에 속한 조명노드에게 점등명령을 전송한다. 차량 진입 후 차량의 진행방향이 결정되면 진행방향을 제외한 방향의 조명노드에게 소등 명령을 전송한다. 교차로노드는 클러스터헤드 역할을 수행하고, 연결통로에서 중계노드 역할을 수행한다. 교차로노드는 조명노드, 주차노드, 환경노드와 클러스터링을 수행하여 자신의 멤버 노드로 설정한다. 그림 14는 개발한 교차로노드이다.

교차로노드가 차량을 감지하기 위해 사용하는 센

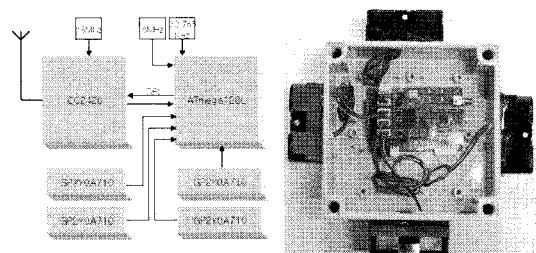


그림 14. 교차로노드

서는 PSD, IRED 그리고 신호처리회로로 통합 구성된 거리측정센서이며, 온도나 동작시간에 영향을 받지 않는 삼각측량방법을 사용한다. 측정가능 거리는 1m~5.5m이다. 그림 15는 거리측정센서의 특성을 나타낸다. 교차로노드는 출력전압을 입력받아 차량의 진입을 감지한다. 출력전압은 1.5V~3.3V까지 16단계로 분해한 후, 10단계 이상이 감지될 경우 차량이 진입했다고 감지한다. 교차로노드의 동작 알고리즘은 그림 16과 같으며, 그림 17의 시나리오로 설명하면 다음과 같다.

[1단계] 모든 차량감지센서는 대기상태 유지

[2단계] ④번 방향의 차량감지센서가 출력전압이 10단계 이상 감지되면, 차량이 진입했음을 인지

[3단계] ①, ②, ③번 방향의 조명노드에게 점등 명령을 전송시키고, 모든 차량감지센서는 대기상태를 유지

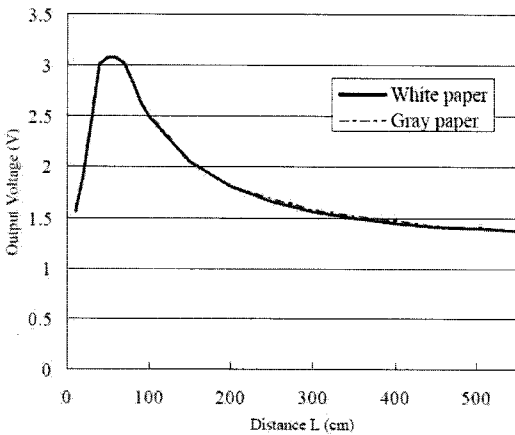


그림 15. 거리 L에 따른 출력전압

[4단계] ①번 차량감지센서가 차량을 감지하면, 교차로노드는 ①번 방향을 제외한 모든 조명노드에게 소등명령을 전송

[5단계] 교차로노드는 대기모드로 전환

교차로노드는 약 2.3m 높이에 설치하고, 차량감지센서에서 약 3.5m 거리에서 감지되도록 설정하기 위해 천장재와 차량감지센서가 약 28°를 유지하도록 설치하였다. 그림 18은 교차로노드의 설치도면이다.

조명노드는 각 조명등에 설치한다. 조명노드는 교차로노드의 점등 또는 소등 명령을 수신하거나 사람을 감지하면 조명을 점등하고, 일정시간 동안 감지되지 않으면 소등한다. 그림 19는 조명노드이다. 주차노드는 인체감지센서와 조명제어모듈을 추가적으로 확장할 수 있으며, 조명노드와 동일한 동작을 수행할 수 있도록 하드웨어를 구현하였다. 주차노드는 주차공간 상단부에 설치하여 차량의 주차 여부를 감지하는 역할을 수행한다. 환경정보노드는 센서노드에 환경정보센서를 설치하여 지하주차장 내

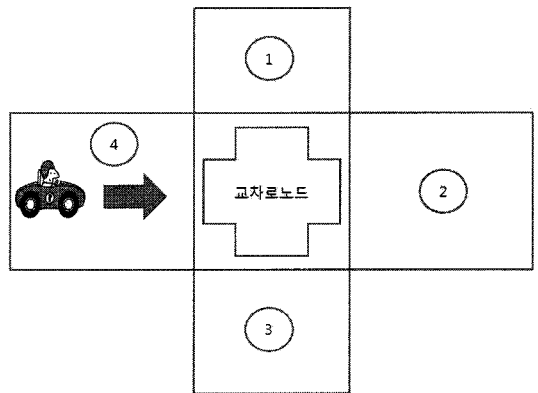


그림 17. 교차로노드의 동작 시나리오

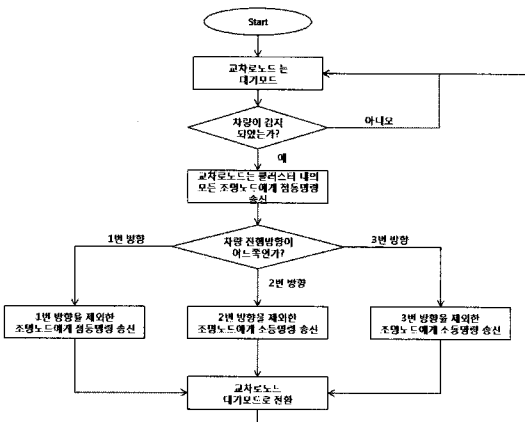


그림 16. 교차로노드의 동작 알고리즘

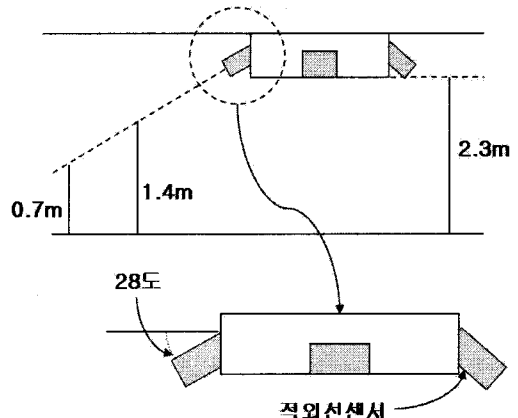


그림 18. 교차로노드의 설치도면

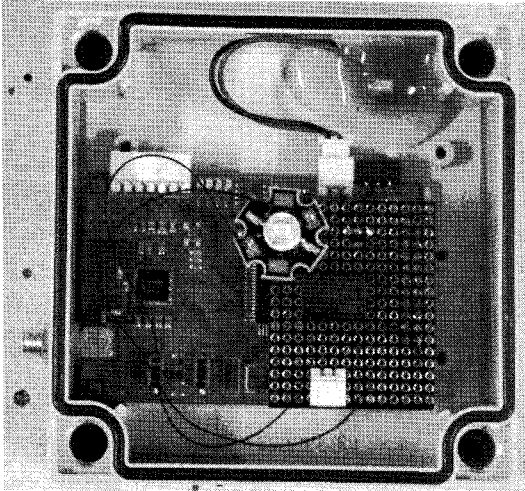


그림 19. 조명노드

의 환경정보를 수집한다.

V. 성능분석

5.1 전송지연시간

지하주차장 조명제어시스템은 멀티 홉 통신으로 데이터를 전송한다. SN 3-3-3에서 Gateway까지는 11홉이며, 그림 9와 같이 데이터를 전송한다. 데이터 전송 지연시간은 127Byte의 패킷을 100번씩 10회 전송하여 측정하였다. 그림 20처럼 평균지연시간은 378.7ms이다.

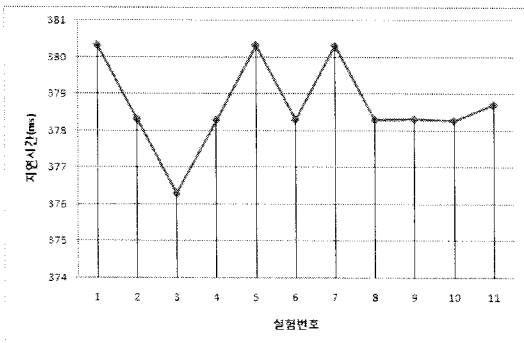


그림 20. 데이터전송 지연시간

5.2 제어메시지 전송성공률

교차로노드는 차량의 진입과 이동방향을 감지하여 조명노드를 제어한다. 교차로노드가 차량의 진입을 감지하고 조명노드에게 점등 명령을 전송하고, 조명노드는 조명제어모듈을 제어하여 조명등을 점등

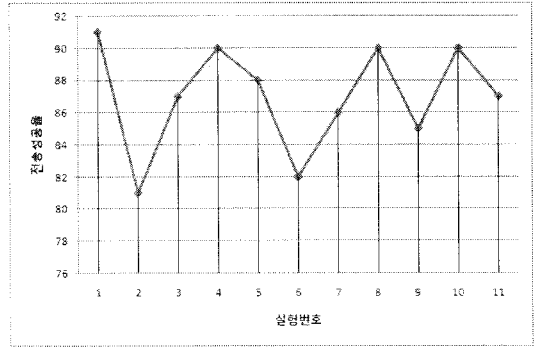


그림 21. 제어메시지 전송성공률 실험 결과

시킨다. 교차로노드와 조명노드 사이에 이루어지는 제어 메시지의 전송성공률을 실험하였다. 실험 방법은 교차로노드가 차량을 감지하고 클러스터 내 조명노드에게 제어메시지를 전송한 후 조명노드가 제어메시지를 수신했을 경우 전송이 성공되었다고 판단한다. 실험은 100번씩 10회 실시하였다. 그림 21과 같이 제어메시지 전송성공률은 약 87%이다.

5.3 전기에너지 절감율

일반적인 지하주차장은 평상시 조명등을 24시간 점등한다. 전기에너지 절감율을 분석하기 위해 그림 22와 같이 지하 2층까지 있는 지하주차장(주차가능 대수 : 약 200대)의 B1층에 교차로노드와 조명노드를 설치하여 평일 24시간 측정하였다. 센서노드는 교차로노드 6대, 조명노드 30대를 설치하였다.

지하주차장에서 실험을 위해 사용되는 조명등은 소비전력이 80W인 형광등을 사용한다. 조명등의 개수는 30개이며, 24시간 점등시 총 소비전력은 약 57,600W이다. 지하주차장에 실험환경을 구축한 결과 총 소비전력은 조명등 점등시 사용한 소비전력과 센서노드들이 사용한 소비전력의 합이다. 그림

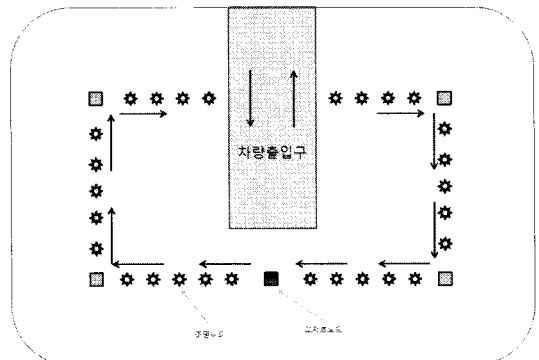


그림 22. 전기에너지 절감을 실험환경

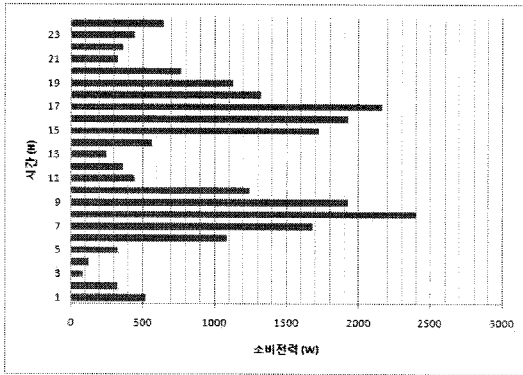


그림 23. 1시간 단위로 누적된 소비전력

표 2. 센서노드가 사용하는 소비전력

구분	구성모듈	소비전력
교차로노드 (6대)	메인모듈	9mW
	거리감지센서 (4대)	1,440mW
조명노드 (30대)	메인모듈	9mW
	조명제어모듈	150mW
	인체감지센서	2mW
총 계		1,610mW

23은 지하주차장 조명제어시스템을 설치하여 1시간 단위로 누적된 결과이며, 전체 소비전력은 22,078W이다. 표 2와 같이 센서노드가 사용하는 소비전력은 38.64W이고, 총 소비전력의 약 0.17%에 해당한다. 실험 결과 지하주차장 조명제어시스템을 설치했을 경우 전기에너지가 약 61.7%가 절감됨을 확인할 수 있다. 지하주차장 B1의 경우 차량의 진출입이 잦기 때문에 전기에너지 절감율이 다소 떨어지지만, 나머지 지하주차장(B2)까지 설치한다면 전기에너지 절감율은 좀 더 향상될 것으로 기대된다.

VI. 결 론

공동주택에서 불필요하게 소비되는 전기에너지를 절감하기 위해 본 논문에서는 유비쿼터스 센서 네트워크 기반 지하주차장 조명제어시스템을 구현하였다. 먼저 지하주차장 내 전파특성을 분석하여 통신 가능여부를 분석하였다. 지하주차장은 구조적 특성상 단허진 공간이며, 다층구조로 되어 있다. 동일한 계층에서도 LoS가 보장되는 직선주로를 제외하면 장애물 때문에 NLoS 상황이 다수 발생한다.

지하주차장 조명제어시스템은 조명노드, 교차로노드, 주차노드로 구성된다. 교차로노드는 차량감지센

서를 사용하여 차량의 진입을 감지하고 차량의 진행방향에 따라 조명등을 자동으로 제어한다. 조명노드는 교차로노드의 명령을 수신하여 자동으로 점등 또는 소등시킨다. 주차노드는 주차공간 상부에 차량 감지센서를 사용하여 주차여부를 실시간 감시하고, 감지된 정보를 관리서버에 전송한다. 또한 본 논문에서는 지하주차장에 적합한 계층적 클러스터 기반 라우팅 프로토콜(HCBR)을 개발하였다. HCBR은 확률적 필터링 기법, 계층적 주소할당 기법, 클러스터 형성과정, 경로설정과정을 수행하여 센서 네트워크를 구성한다.

지하주차장 조명제어시스템의 성능을 평가한 결과 11홀일 경우 데이터전송 지연시간은 약 378.7ms였으며, 전송성공률은 약 87%였다. 마지막으로 지하주차장 조명제어시스템을 설치하여 전기에너지 절감율을 실험한 결과 약 61.7% 절감됨을 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

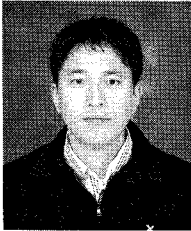
- [1] T. Park, S. Hong, "Experimental Case Study of a BACnet-Based Lighting Control System," *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 6(2), April 2009.
- [2] C. DiLouie, "BACnet : The 60 Building Automation Standard Protocol Explained," *Lighting Controls Association*, 2004
- [3] Steven T. Bushby, H. Michael Newman, Martin A. Applebaum, "GSA Guide to Specifying Interoperable Building Automation and Control Systems Using ANSI/ASHRAE Standard 135-1995," *BACnet*, NIST, 1999
- [4] 이희승, "LonWorks 기술을 이용한 건물자동 제어시스템 구성," *IBS KOREA*, 2001
- [5] 대림I&S, "e-편한세상 구현 연구 개발 IBS/IHS 부문 종합기술서 I, II, III, 대림산업, 2002
- [6] S. Shin, B. Son, W. Kim, J. Kim, "ERFS: Enhanced RSSI value Filtering Schema for Localization in Wireless Sensor Networks," *International Federation for information Processing-Wireless Sensor and Actor Networks II*, July 2008
- [7] ZigBee Alliance, "ZigBee Specification 1.0,"

2004

- [8] 임채성, W. Mansoor, 김기형, 유승화, 박수홍, 이재호, "IPv6 기반 센서 네트워크를 위한 라우팅 프로토콜 기술," *대한전자공학회지*, 33(8), 42-51, 2006
- [9] IEEE 802.15.4 Low-Rate WPANs-2006
- [10] J. D. Parsons, "The Mobile Radio Propagation Channel," *John Wiley & Sons, Inc.*, 1992

손 병 략 (Byung-rak Son)

정회원



2000년 2월 대구대학교 정보통신공학부 공학사
 2005년 2월 대구대학교 대학원 정보통신공학과 공학석사
 2009년 8월 대구대학교 대학원 정보통신공학과 공학박사
 2009년 8월~현재 유비쿼터스 신기술 연구센터 선임연구원

<관심분야> USN, 라우팅 프로토콜, MAC 프로토콜, 통신네트워크

김 중 규 (Jung-gyu Kim)

중신회원



1984년 2월 연세대학교 전자공학과 공학사
 1986년 2월 연세대학교 대학원 전자공학과 공학석사
 1992년 2월 연세대학교 대학원 전자공학과 공학박사
 1992년 3월~현재 대구대학교 정보통신공학부 교수

<관심분야> RFID/USN, 컴퓨터 네트워크, 통신프로토콜