

무선 센서 네트워크 테스트 베드 구축

최대우^{1*}

¹동명대학교 정보통신대학 전자공학과

Implementation of a Testbed for Wireless Sensor Network

Dae-Woo Choi^{1*}

¹Department of Electronic Engineering, Tongmyong University

요약 본 논문은 무선센서 네트워크의 테스트 베드 구축에 관한 것이다. 웹 인터페이스를 갖는 센서 네트워크 게이트웨이를 개발하고 센서노드 탑재용으로 수집 소스 데이터의 전송과 게이트웨이로 부터의 명령을 멀티 홉 루트로 전송이 가능한 기존의 Surge 프로그램을 개선하여 한번에 전송할 수 있는 데이터의 크기를 증가시키고 전송경로를 수집토록 개선하였다. 개발된 테스트 베드를 통하여 센서필드내 데이터의 수집과 특정 센서노드로의 명령전달이 가능하며 토폴로지 뷰어를 통하여 특정 센서노드로 부터 싱크까지의 데이터 전송경로와 센서노드간 상대적인 위치파악도 가능하다. 마지막으로 본 테스트베드를 활용한 원격 로봇 제어에 관하여 기술하였다.

Abstract In this paper, we describe the implementation of an wireless sensor network testbed. We developed a web-based sensor network gateway and enhanced the Surge program which is used for sending and routing of packets in the sensor field. The developed program can transmit the source data of sensor nodes to the sink node via multi-hop routing, and deliver user commands to actuate sensor related equipments. Moreover, in this testbed, the data transport path from a node to the sink can be monitored. Thus we can approximate the network topology and the relative positions of sensor nodes. We also describe an application of the testbed that is used for controlling a remote robot.

Key Words : WSN, USN, Testbed, Sensor network

1. 서론

무선통신 및 전자공학의 발전으로 소형의 단거리 통신이 가능한 저비용, 저전력, 다기능 센서 노드가 개발되고 있다. 센싱과 데이터 프로세싱 그리고 통신 기능을 가지는 여러 개의 센서 노드로 구성된 센서 네트워크는 주변 환경을 감지하고 데이터를 수집하는 용도로 사용될 수 있으며, 스마트 홈이나 사무자동화, 공장 자동화 등에 응용되어 유비쿼터스 컴퓨팅에서 인간과 환경의 상호작용을 가능케 하는 핵심기술로 인식되고 있고 관련 연구들이 진행되고 있다[1,2].

센서노드는 기본적으로 데이터를 수집하여 가공하고 이 아웃노드를 통해서 싱크까지 전송하게 되는 데 이를 위해 기

본적으로 센싱부, 처리부, 전력부 및 송수신부 등으로 구성된다. 또한 위치에 기반한 명령의 수신 및 전달과 이동성을 위해 위치추적 시스템과 구동부가 추가될수 있다[3].

무선센서 네트워크는 무선통신 기능을 갖춘 다수의 센서 노드와 싱크 노드로 구성된다. 무선센서 노드에서 감지된 데이터는 멀티 홉 또는 직접 전송 방식으로 싱크 노드로 전달되고 싱크노드에 수집된 정보는 가공후 인터넷 등의 외부 네트워크를 통하여 원격 사용자에게 제공될 수 있다. 또한, 사용자는 센서노드 그룹 또는 개별 센서노드로 명령을 보내서 작업을 지시할수도 있다.

기존의 USN 테스트베드 구축현황을 살펴보면 각종 전력설비에서 온도, 풍향 및 풍속정보의 실시간 수집 [4], 지하 전력구에서 선로의 온도와 유해가스의 감시[5], 지

본 논문은 SK Telecom 재원으로 설립된 동명대학교 SKTU차세대통신기술연구소 학술연구비 지원에 의하여 이루어진 것임 (SKTU-06-005)

*교신저자 : 최대우(wchoi58@gmail.com)

접수일 10년 10월 19일

수정일 (1차 10년 11월 15일, 2차 10년 12월 03일)

게재확정일 11년 01월 13일

하철 공간에서의 안전 모니터링을 위한 온도, 습도, 조도, 연기 및 가스의 실시간 감시[6], 그리고 식물공장에서의 조도, 온습도 정보수집 및 LED 제어[7]등이 있다. 또한 전국 단위의 실시간 국토 모니터링을 위한 테스트베드 구축 방안을 제시한 경우[8]도 있다.

[4-6]까지의 결과는 데이터의 수집을 위한 구성으로서 하향으로의 명령의 전달기능은 구현되어 있지 않다. [7]에서는 LED 제어가 있으나 이를 위해 센서 네트워크를 사용하는지는 문헌상 분명하지 않다.

본 논문에서는 웹 인터페이스를 통하여 센서 네트워크로부터 데이터의 상향 수집이 가능하며 원격지의 구동장치, 예를 들면 릴레이 또는 로봇에게 명령의 하향 전달이 가능한 양방향 통신의 무선 센서 네트워크 테스트베드의 구축에 관하여 기술 하였다.

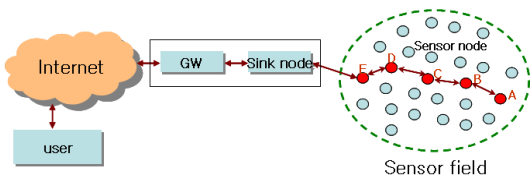
본 논문의 구성은 다음과 같다. 제2장에서 테스트베드 구축을 위해 개발된 게이트웨이와 멀티홉 루팅 및 전송 기능에 관하여 설명하고 제3장에서 테스트베드의 구축결과를 보이며 제4장에서는 원격 로봇제어에 적용한 결과를 기술하고 제5장에서 결론을 맺도록 한다.

2. WSN 게이트웨이 및 전송 기술 개발

2.1 WSN의 개요

무선센서 네트워크(WSN, Wireless Sensor Network) 테스트 베드는 그림 1과 같이 센서필드, 싱크노드, 게이트웨이(GW), 인터넷 및 사용자로 구성된다.

싱크노드는 게이트웨이와 유선의 시리얼 통신으로 연결되고 센서필드내 센서노드와는 IEEE 802.15.4 [9,10]를 기반으로 하는 무선통신으로 연결된다. 이때 무선센서 네트워크와 TCP/IP 기반의 인터넷간에 데이터의 전달 및 가공을 위해 게이트웨이가 필요하게 된다.

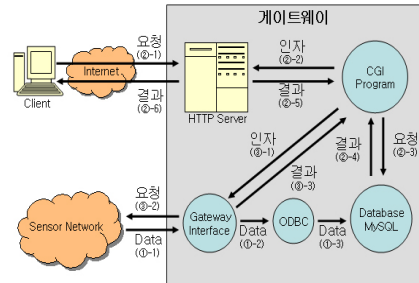


[그림 1] WSN 테스트베드의 구성

2.2 WSN 게이트웨이

그림 2는 개발된 게이트웨이의 내부 구조도이다. 게이트웨이는 Window XP 환경에서 Visual C++을 사용하여 개발되었으며 데이터베이스는 MySQL을 활용하였다. 또

한 웹 인터페이스를 개발하였는데 웹서버는 IIS 5.1을 사용하였고 개발언어는 Java 스크립트와 PHP이다. 게이트웨이는 다음과 같이 동작된다.



[그림 2] WSN 게이트웨이 구조도

2.2.1 센서필드에서 데이터베이스로 데이터 전송

센서노드에서 싱크노드를 통해서 게이트웨이 인터페이스로 데이터가 전송되면(①-1) 게이트웨이 인터페이스에서는 받은 데이터를 분석하여 데이터베이스로 입력하기 위하여 ODBC(Open Database Connectivity)에게 데이터를 전송한다(①-2). ODBC는 전송받은 데이터를 데이터베이스에 입력한다(①-3). ODBC는 데이터베이스를 사용하기 위한 표준 개방형 응용 프로그램 인터페이스이다.

2.2.2 웹서버에서 클라이언트로 데이터 전송

사용자 컴퓨터에서 게이트웨이와 데이터를 주고 받는 객체를 클라이언트라고 한다. 클라이언트에서 웹서버로 웹페이지 요청메시지를 보내면(②-1) 웹서버는 클라이언트에게 웹페이지를 전송한다(②-6). 웹페이지는 CGI(Common Gateway Interface) 프로그램을 포함하는데 웹서버는 클라이언트에게 웹페이지를 전송하기 전에 웹페이지에 CGI 프로그램 부분을 컴파일하여 전송한다. CGI 프로그램은 PHP(PHP Hypertext Preprocessor) 언어로 작성했다. PHP는 MySQL에 접속하여 데이터를 가져오는 함수와 데이터를 이용하여 그림을 그려주는 함수를 제공한다. PHP에서 데이터베이스에게 데이터를 요청(②-3)해서 데이터를 전송받으면(②-4) 받은 데이터를 이용하여 클라이언트에게 전송할 이미지를 만든다. 웹서버는 웹페이지와 CGI프로그램에서 만든 이미지를 전송한다(②-6).

2.2.3 클라이언트에서 센서노드로 데이터 전송

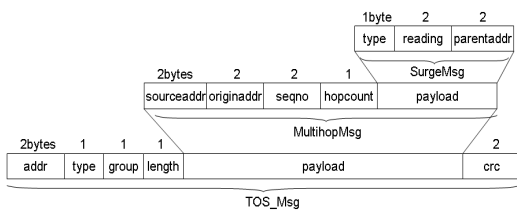
클라이언트에서 센서노드로 명령어를 전달하기위해서는 클라이언트에서 웹서버에게 요청메시지와 인자를 전달한다(②-1). 웹서버는 전달받은 인자값을 CGI 프로그램

에게 전달하고(②-2) CGI 프로그램은 인자값을 게이트웨이 인터페이스에게 전달한다(③-1) 후 클라이언트에게 결과 페이지를 전송한다(③-3). 게이트웨이 인터페이스는 CGI 프로그램에서 전달받은 인자값을 분석하여 센서노드에게 전송한다(③-2). 센서노드는 전송받은 명령을 처리하여 게이트웨이 인터페이스에게 데이터를 전송하고(①-1) 게이트웨이 인터페이스는 2.2.1의 과정을 통해서 데이터베이스로 입력한다. 클라이언트는 2.2.2의 과정을 반복하기 때문에 사용자는 센서노드에게 요청한 명령에 대한 결과값을 확인할 수 있다.

2.3 멀티홉 데이터 전송 프로토콜

본 테스트베드에서는 센서필드에서의 멀티홉 전송을 위하여 TinyOS v.1 [11] 에서 제공하는 Surge를 이용하였다. Surge에서 사용하는 프레임구조는 그림 3과 같다.

TOS_Msg 중 addr는 패킷을 수신할 노드의 주소이고, type은 payload 식별, group은 그룹 식별, length는 payload의 총 바이트 수이다. MultihopMsg 중 originaddr는 본 패킷을 최초 송출하는 노드의 주소이고, sourceaddr는 본 패킷을 전송하는 중계노드의 주소, seqno는 본 패킷을 전송하는 중계노드의 패킷 sequence number, hopcount는 본 패킷을 전송하는 중계노드의 hop count이다. SurgeMsg 중 type은 Surge 메시지를 식별, reading은 센싱데이터, parentaddr는 본 패킷을 최초 송출하는 노드의 parent 노드 주소이다. Surge 메시지는 2바이트의 데이터를 전송하도록 설계되어있기 때문에 2바이트가 넘는 데이터를 전송할 수 없다.

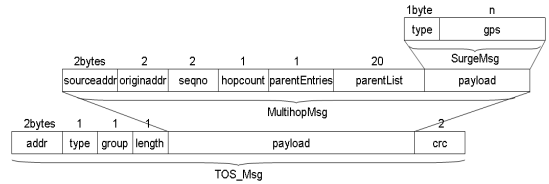


[그림 3] Surge 프레임 구조

본 테스트베드에서 개발된 시스템은 GPS 수신기를 로봇에 탑재하여 실외에서 GPS 데이터를 송출할수 있고 루팅정보를 수집하는 등 2바이트 이상의 데이터를 전송할 수 있게 하기위하여 프레임 포맷을 수정하였다.

수정한 프레임 구조는 그림 4와 같다. SurgeMsg에 있던 reading을 gps로 대체하고 데이터 공간을 늘렸다. parentList는 프레임이 최초 출발해서 전송되는 동안 거치는 중계노드의 주소로서 10개까지 입력할 수 있게 설계하였다. parentEntries는 parentList에 저장된 중계노드

의 수이다.



[그림 4] 수정된 Surge 프레임 구조

Surge에서는 멀티홉 전송시 shortest-path-first algorithm을 사용한다. Shortest-path-first algorithm은 Surge에 와이 어링 되어 있으며 hop count가 가장 작은 경로로 데이터를 전송한다.

3. WSN 테스트베드의 구축

3.1 테스트베드의 개요

본 연구에서 개발한 WSN 테스트베드의 하드웨어는 (주)한백전자의 ZigbeX 모트[12,13]를 기반으로 하였으며, 65,535개 까지의 센서노드를 주소에 의해 구분할 수 있다. 모트 탑재 소프트웨어는 TinyOS v.1을 기본으로 하여 NesC 언어로 개발하였다. 그림5는 개발된 테스트 베드이다. 그림에 인터넷과 사용자 부분은 나타나 있지 않다.



[그림 5] 구축된 WSN 테스트 베드

ZigbeX 센서모트의 CPU는 ATmel사의 ATmega128L, RF 트랜시버는 Chipcon사의 CC2420, 주파수 대역은 2.4GHz이며 탑재된 OS는 TinyOS이다. 또한 플래시 128KB, RAM 4KB를 탑재하였으며 데이터 속도는 250KBaud 이다.

3.2 게이트웨이 웹 인터페이스 기능

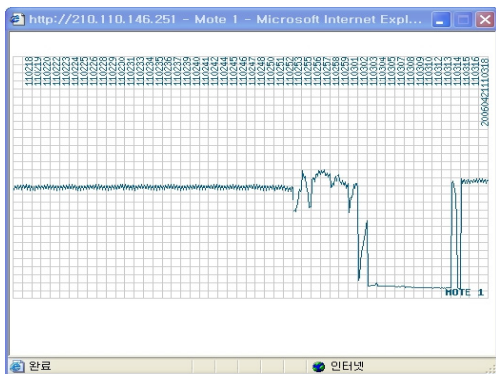
그림 6은 테스트베드의 웹 인터페이스이다. 사용자는 웹 인터페이스에서 센서필드내 특정 센서노드를 선택하여 현재 그곳의 데이터를 조회하거나 명령을 전달할 수 있다.



[그림 6] 테스트베드의 웹 인터페이스

3.3 데이터 수집 기능

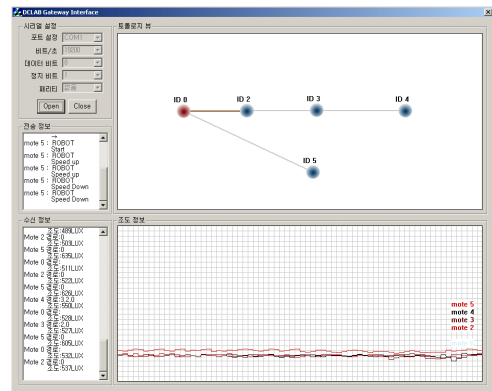
테스트베드에서는 센서필드에 있는 광센서가 감지한 조도정보를 실시간으로 수집해서 데이터베이스에 저장하고 웹의 클라이언트를 사용하여 확인할 수 있다. 그림 7은 클라이언트로 본 조도값의 변화 그래프이다. 현재시각과 밝기 정보가 실시간으로 나타난다. 이외에도 용도에 따라 온습도, 가스센서 등을 설치하여 데이터를 수집할 수 있다.



[그림 7] 센서노드에서 수집된 정보를 웹으로 보는 클라이언트

본 테스트베드에 구현된 기능으로서 루팅정보 수집기

능이 있는데 이를 통하여 센서노드간의 상대적 위치를 파악할 수 있다. 수정된 Surge 프로그램을 탑재한 센서노드에 의해 전달된 parentList를 이용하여 센서 필드의 토폴로지를 시각적으로 보여주는 응용프로그램을 개발하였다. 그림 8은 개발된 토폴로지 뷰어의 모습이다. 그림에서 ID0는 싱크노드이며 ID4인 노드의 부모노드가 ID3임을 나타내고 있다. 토폴로지 뷰어는 싱크에 도착한 패킷의 지나온 경로 정보를 이용하여 센서필드 내 각 노드의 부모-자식 관계를 보여주는 것으로 전파환경의 변화 또는 노드의 이동에 따라 부모-자식 관계에 변동이 생기면 이음선이 따라서 변동된다.



[그림 8] 토폴로지 뷰어

3.4 명령전달 기능

테스트베드 웹 인터페이스에서 센서노드를 지정하고 동작 명령을 보낼 수 있다. 이 명령은 인터넷을 통해 게이트웨이로 전달되고 게이트웨이는 다시 싱크노드를 통해 센서필드 내에 있는 지정된 노드로 멀티홉 루팅을 하여 전달한다. 그림 9는 원격지의 릴레이를 작동하여 환풍기의 전원스위치를 구동하는 모습이며 명령전달 기능을 이용하여 원격 로봇을 제어할 수 있는데 이것은 4장에 기술하였다.



[그림 9] 센서노드에 명령을 전달하여 실행하는 모습 (팬 구동)

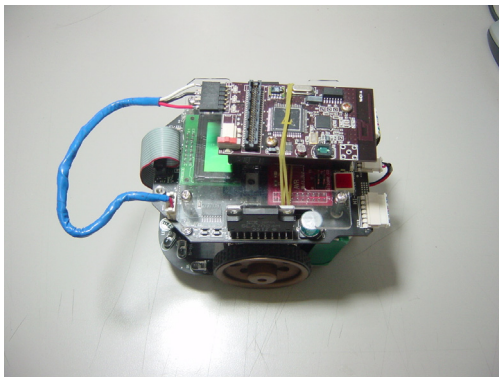
4. 테스트베드를 응용한 원격 로봇제어

4.1 로봇제어의 개요

본 응용에서 게이트웨이는 사용자가 클라이언트 프로그램에서 보내는 로봇의 이동 명령을 싱크노드를 통하여 무선센서 네트워크로 전달하고 이동로봇에 탑재된 센서가 수집한 소스 데이터를 데이터베이스에 저장하며 경로 정보를 수집한다. 게이트웨이에서는 이 정보를 이용하여 로봇의 상대적 위치를 파악하거나 로봇이 위치한 곳의 각종 정보를 수집 할 수 있다.

이동 로봇은 그림 10과 같이 무선 센서노드를 탑재하고 있으며, 클라이언트 (원격로봇제어기)에서 입력한 사용자의 제어 명령은 인터넷과 2.2절에 기술한 게이트웨이를 거쳐 싱크와 센서필드를 통해 로봇에 탑재된 센서노드가 수신하여 반응한다. 또한 로봇에 탑재한 센서노드가 수집한 정보도 센서필드를 통해서 게이트웨이로 전달된다.

로봇에 탑재된 센서노드는 센서필드내의 센서노드가 이동성을 갖게 된 것으로 볼수 있다. 즉 로봇이 센서노드의 부가기능[3]중 이동성을 제공하는 것이다.



[그림 10] 센서노드와 연동한 이동 로봇

사용자는 인터넷을 통하여 원격지에서 로봇의 이동상황을 웹 카메라를 통하여 확인할 수 있고 방향전환등의 이동 명령을 전달할 수 있다. 또한 로봇이 수집한 정보를 웹을 통해서 확인 할 수 있다. 본 연구에서는 6홉 거리의 로봇을 웹 클라이언트를 통하여 제어하였다.

4.2 로봇과 센서노드의 연동

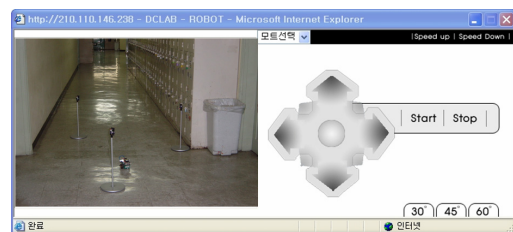
테스트 베드의 마이크로 로봇은 하이시스템사의 Multi-Micro Mouse (모델명: HI-Multi Mouse V1.0)[14]를 사용하였다.

로봇에 탑재한 센서노드에서 접수한 이동명령은 시리얼포트를 통하여 로봇으로 전달되고 이에 따라 로봇이 반응하게 된다. 이동 동작은 전진, 좌회전, 우회전, 유턴 및 정지의 6가지 기본 명령과 지속이동/일정거리이동, 30도/45도/60도의 각도를 반영한 이동 등의 응용동작을 다양하게 구사할 수 있다.

4.3 원격 로봇 제어기

그림 11은 인터넷을 통하여 로봇을 제어하기 위한 클라이언트이다. 본 제어기는 MFC와 웹프로그램으로 구현하였으며 게이트웨이와는 인터넷으로 통신하도록 하였다. 제어기에는 원격지 현장에서 가동중인 웹카메라의 화면이 보이도록 구현하였다. 클라이언트 화면상에서 로봇에 탑재된 센서노드를 선택하고 여러 가지 동작을 지시하면 게이트웨이를 거쳐서 센서필드로 전송되고 멀티 홉으로 로봇까지 전송된다. 명령 전달의 확실성을 보장하기 위하여 로봇이 명령을 수신하면 확인응답을 보내도록 하고 정해진 시간내에 확인응답이 오지 않으면 명령을 재전송하도록 설계하였다. 본 구현에서는 확인응답 시간을 500msec로 하였으며 변경가능 하다. 시험결과 모든 명령이 전달되는 것을 확인하였다.

로봇에 탑재된 센서노드가 게이트웨이로 전송하는 패킷에는 2.3절에서 기술한 개선된 Surge 기능에 의하여 패킷이 전달된 경로가 전달되므로 센서필드내에서 로봇의 상대적인 위치를 파악할 수 있고 센서필드의 토폴로지를 3.3절에서 기술한 토폴로지 뷰어를 통해 관찰할 수 있다. 토폴로지 뷰어는 이동로봇의 위치를 실시간 애니메이션으로 표현하지는 않지만 로봇에 탑재된 센서노드의 부모노드가 그래픽으로 표현되므로 현재 위치를 알 수 있다.



[그림 11] 원격 로봇 제어기

5. 결론

본 연구에서는 IEEE802.15.4 기반의 무선 센서 네트워크(WSN) 테스트베드의 개발과 원격 로봇제어에의 응용내용을 기술하였다.

본 연구에서 개발한 테스트베드의 웹 인터페이스를 통하여 임의 센서노드가 수집한 정보를 볼수 있으며, 임의 센서노드로 명령을 전달할수 있다. 구체적으로는 센서노드로부터 조도정보를 멀티홉으로 수신하여 실시간 그래프로 나타내는 기능이 제공된다. 또한 센서 노드에 탑재된 릴레이의 구동을 통하여 전원을 차단하거나 로봇을 이동시키는 명령을 멀티홉으로 전달하는 기능도 제공된다.

센서노드에는 멀티홉 루팅 및 전송 기능으로서 기존의 Surge 프로그램을 개선하여 2바이트를 넘는 데이터가 전송될 수 있도록 하고 경과한 센서노드의 식별자를 10개 까지 포함하도록 하여 움직이는 센서노드의 현재 위치를 파악할수 있고 데이터의 루팅경로를 파악할수 있다.

본 연구의 응용으로서 테스트베드를 원격 로봇제어에 적용하였다. 본 응용의 동작시험 결과에 따르면 로봇이 있는 위치에서 수집된 데이터가 멀티홉으로 게이트웨이를 거쳐 사용자까지 정확히 전송되며, 사용자가 로봇에게 보내는 이동과 관련한 다양한 명령이 정확하게 전달됨을 확인하였다. 명령전달의 정확성을 위해 명령수신시 확인 응답을 하도록 하고 확인응답이 없으면 재전송토록 하였다. 또한 개선된 Surge 기능으로 최대 10개 까지의 경과노드를 알수 있게 함으로써 로봇의 현재 위치와 루팅경로 파악이 가능하였다.

본 테스트 베드에서 구현한 기본적인 기능을 활용하여 원격지의 각종 기기를 제어하거나 이동 로봇을 보내어 현장의 데이터를 수집하는 등의 다양한 유비쿼터스 서비스에 응용이 가능할 것으로 기대된다.

참고문헌

[1] 정수형, 유해영, “서브 클러스터 기법을 이용한 효과적인 USN 라우팅 프로토콜”, 한국산학기술학회논문지, Vol.9, No.6, pp.1647-1652, 2008.

[2] 김신재, 김영균, 이완직, 허석렬, 신범주, “센서 네트워크를 위한 초경량 TCP/IPV6 프로토콜의 설계 및 구현”, 산학기술학회논문지, Vol.10, No.8, pp.1955-1961, 2009.

[3] Ian F. Akyildiz, Weilian Su, Yogesh Sankarasubramaniam, and Erdal Cayirci, "A Survey on Sensor Networks", IEEE Communications Magazine, pp.102-114, August 2002.

[4] 이정일, 이봉재, 송재주, 신진호, 김영일, “RFID/USN 기반의 전력설비관리 테스트베드 구축”, 2006년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp.2136-2137, 2006.

[5] 김영일, 이봉재, 송재주, 신진호, 이정일, “WSN을 이용한 지하 전력구 감시 테스트베드 시스템 구현”,

2006년 한국정보과학회 가을 학술발표논문집, Vol.33, No.2(D), pp.375-378, 2006.

[6] 김영덕, 강원석, 안진웅, 이동하, 유재황, “지하철 역사에서 실시간 안전 모니터링 위한 비컨 기반의 무선 센서 네트워크 설계 및 구현”, 한국철도학회논문집, 제11권, 제4호, pp.364-370, 2008.

[7] 김보경, 이완직, 허석렬, “센서 네트워크를 이용한 인공 광 이용 형 유비쿼터스 식물공장 모니터링 시스템 테스트 베드 구축”, 2010 한국정보기술학회 하계 학술대회 논문집, pp.272-275, 2010.

[8] 이종욱, 서석빈, 김영주, 박상준, 김광은, 김대영, “USN 연동성을 고려한 실시간 국토모니터링 테스트 베드 구축 방안”, 2008 한국 컴퓨터융합학회 논문집, Vol.35, No.1(D), pp.455-460, 2008.

[9] IEEE 802.15.4-2003 : IEEE standard for MAC and PHY specification for Low Rate Wireless Personal Networks (LR-WPANs), 2003.

[10] 허재두의 공저, *저속 WPAN 프로토콜 완전해석*, 홍릉과학출판사, 2008.

[11] Tiny OS Korea 홈페이지 (<http://www.tinyos.or.kr>)

[12] (주)한백전자, “Zigbex user manual,” 한백전자, 2005.

[13] 한백전자기술연구소, Zigbex를 이용한 유비쿼터스 네트워크 시스템, ITC, 2006.

[14] (주)하이시스템, 마이크로 로봇 제어 매뉴얼.

최 대 우(Dae-Woo Choi)

[정회원]



- 1981년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학사)
- 1983년 2월 : 경북대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
- 1997년 8월 : KAIST 전기및전자공학과 (공학박사)
- 1983년 3월 ~ 1999년 2월 : ETRI, 선임연구원
- 1999년 3월 ~ 현재 : 동명대학교 정보통신대학 전자공학과 부교수

<관심분야>

센서네트워크, 통신프로토콜, 통신망