u-GEMS: USN 기반 지하수 모니터링 시스템

u-GEMS: USN based Underwater Monitoring System

김 강 묘*, 오 석 호, 김 기 형, 유 승 화
(Kang-Myo Kim, Suk-Ho Oh, Ki-Hyung Kim, Seung-Wha Yoo)

Abstract : 제주도는 지리적 특성으로 인해 식수 및 용수를 지표수로 충당하기 어렵다. 이런 이유로 제주도에는 많은 취수장을 사용 지하수를 각종 용수로 이용하고 있다. 특히 식음수로 이용되는 지하수의 경우 수질과 유량, 탱크의 수위 등의 정보가 높은 수질과 안정적인 공급을 위해 반드시 필요하다. 현재 제주도의 각 취수장에는 지하수 모니터링 시스템이 설치되어 다섯 가지 항목의 수질과 유량, 수위데이터를 수집하고 이를 바탕으로 각 취수장을 관리한다. 하지만 자연적 특성으로 인해 낙뢰가 빈번한 제주도에서 유선으로 연결된 시스템은 한 번의 낙뢰로 인해 전체 시스템이 다운될 수 있는 위험을 가지고 있다. 이런 위험을 막고자 무선 통신을 기반으로 하는 새로운 지하수 모니터링 시스템의 구축이 필요하였다. 본 논문에서는 IP-USN을 이용하여 원거리에 있는 수질, 유량 및 수위 측정 센서의 값을 무선으로 수집하고 이를 다시 중앙 모니터링 센터로 전송하는 시스템을 소개하고 시스템과 네트워크 구성 및 실제 구현에 대해 소개한다.

Keywords: IP based USN, Monitoring System, Wireless Sensor Network, Ubiquitous Sensor Network

I. 서론

현재 국내외에서 USN 에 관한 연구가 활발히 진행되고 있으며 실제 현장에서 다양한 응용이 일어나고 있다. 이런 과정에서 USN 이 가지고 있는 문제점이 많이 도출되었으며 USN 의 한계를 뛰어 넘고자 다양한 시도가 이루어지고 있다. 그 중에서 가장 큰 특징은 기존에 사용되고 있던 유/무선 통신 기술과 USN 기술에 대한 연동이다. USN 이 측정한 각종 데이터를 서비스나 방재 등에 이용할 수 있도록 통합하기 위해 몇몇 방안들이 제시되었고 All-IP 를 기반으로 하는 IP 네트워크로의 통합이 가장 큰 주목을 받고 있다. IP-USN 은 USN 에 IP 를 접목시켜 확장성, 신뢰성, 상호 운용성을 높인 차세대 무선 센서 네트워크 기술이다. IP-USN 은 All-IP 기반의 네트워크 통합 움직임을 가장 잘 소화할 수 있는 무선 센서 네트워크 기술로 현재 국내에서 IP-USN 포럼 등을 설립하여 표준화에 주력하고 있다. 또한 IP-USN 은 IP 를 기반으로 하는 다양한 응용이 바로 적용이 가능하여 네트워크 매니지먼트[1]와 원격 설정[2]등과 같은 기능을 바로 사용할 수 있다. IP-USN[3]과 IP-USN 의 대표적인 프로토콜인 6LoWPAN[4][5][6]에 관한 자료는 국내 IP-USN 포럼 및 IETF 6LoWPAN WG 에서 얻을 수 있다.

제주도는 자연 환경적 특징으로 인해 지하수를 상수원으로 이용하는 경우가 많다. 지하수는 각 취수장에서 취수 한 후 취수탱크에 보관된다. 이 때 하나의 취수장이 하나의 지역에서 사용되는 것이 아니라 몇 개의 취수장이 링 형태로 묶여 특정 취수장에서 문제가 발생해도 상수공급에는 문제가 없도록 운영되고 있다.

지하수를 주 상수원으로 하는 제주도에서는 다른 지방에서처럼 수질의 중앙 관리가 어렵다. 제주도 전 지역에 산재해 있는 취수장은 각각 취수장에서 취수 한 물을 보관하는 취수탱크가 있고 취수탱크에 보관되는 물의 수질이나 수위, 유량 등은 각 취수장 마다 개별적으로 관리가 되어야 한다. 제주시 전역에 산재해 있는 취수장을 관리하기 위해 제주시에서는 각 취수장에 몇 가지 센서를 설치하여 상수 공급을 관리해 왔다. 각 취수장에 설치되는 센서는 취수 펌프에 설치되는 전자유량계, 취수탱크에 설치되는 수위계와 수질계 등 세 종류로 각각 취수 펌프에서 취수되고 있는 물의 양과 취수탱크의 현재 수위 그리고 취수 탱크에 저장되어 있는 물의 수질(다섯 가지 항목)을 측정하고 측정된 데이터를 취수, 시설, 환경 관리가 이루어지는 중앙 관제 센터로 보내게 된다.

제주도의 또 다른 자연 환경적 특징으로는 낙뢰가 빈번하게 일어나는 것을 들 수 있다. 기존 지하수 모니터링 시스템은 각 취수장에 설치된 세 가지 센서가 측정한 데이터를 중앙 관제 센터로 보내는데 유선통신이 사용되었다. 따라서 낙뢰가 일어났을 때 낙뢰를 맞은 센서뿐 아니라 유선통신 라인으로 연결된 다른 센서까지 낙뢰의 피해를 입는 경우가 발생 할 수 있다.

각 취수장에 설치된 센서에 가해지는 낙뢰에 의한 연쇄적인 피해를 막고 유선통신의 설치비 및 유지/관리비를 줄이고자 u-GEMS: USN 기반 지하수 모니터링 시스템을 구축하는 사업을 진행하였다. IP-USN 은 1 개 취수장에 다섯 개 노드와 하나의 게이트웨이 세트로 구성되었으며 세 가지 센서에서 측정한 데이터를 IP-USN 을 통해 중간 수집 장치에서 수집한 후 HSDP 망을 이용하여

중앙 관제 센터에 전송하는 구조를 가진다.

본 논문에서는 USN 기반 지하수 모니터링 시스템 구축 사업에서 IP-USN 이 사용된 취수장의 시스템 구성과 네트워크 구성을 소개하고 지하수 모니터링에서 사용된 프로토콜 및 실제 구현 모습을 소개한다.

II. u-GEMS: USN 기반 지하수 모니터링 시스템

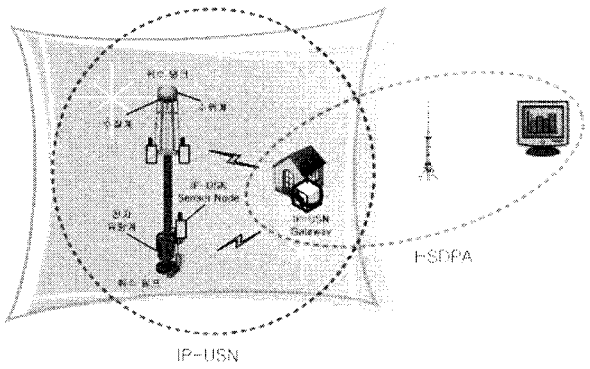


그림 1. USN 기반 지하수 모니터링 시스템 구성

1. 시스템 구성

USN 기반 지하수 모니터링 시스템은 직접 수질이나 수위 등의 값을 측정하는 센서, 센서에서 값을 받아 1 차 수집 장치까지 전송하는 IP-USN 그리고 IP-USN 에서 보내온 값을 1 차 수집한 후 HSDP 망을 통해 중앙 관제 센터로 전송하는 미들웨어로 구성된다.

센서: USN 기반 지하수 모니터링 시스템에 사용되는 센서는 크게 3 가로 구분된다. 유량 센서는 취수 펌프에 설치되어 실제 취수 펌프가 동작하는 동안 취수 되는 물의 양을 단위 시간 별로 측정한다. 수위센서는 취수 탱크 내부에 설치되어 현재 탱크에 저장되어 있는 물의 높이를 측정한다. 수질센서는 취수 탱크에 설치된다. 측정하는 수질 값은 전기 전도도, 온도, 잔류염소, pH, 탁도 등 다섯 가지 이며 이 중 전기 전도도와 온도, 잔류염소와 pH 가 같은 패킷으로 전송되고 탁도는 별도의 패킷으로 전송되어 총 세 개의 패킷 이 발생한다. 각 센서는 다른 종류의 인터페이스를 사용하지만 변환을 통해 RS232C 를 사용하여 통신이 가능하다.

센서 노드: IP-USN 센서 노드는 16bit MCU 와 32Kbytes 메모리, 128Kbytes 플래시 메모리로 구성되며 RS232C 가 포함되어 있다. 또한 IP-USN 스택이 구현되어 동작한다. 기본적으로 센서 노드간 멀티-홉 통신이 가능하며 IPv6 기반 TCP/UDP 통신을 수행한다. 센서 노드는 공용 프로토콜을 사용하여 센서의 값을 수집하며 미들웨어의 요청에 따라 수집된 센서 값을 전송한다. IP-USN 센서 노드와는 달리 IP-USN 게이트웨이는 ARM 계열 CPU 를 사용하는 임베디드 장비로 임베디드 리눅스를 OS 로 사용한다. 이 장치는 센서 노드에서 UDP 로 보내온 메시지를 미들웨어가 가지고 있는 인터페이스인 RS232C 로 변환하여 미들웨어에게 제공한다.

미들웨어: 미들웨어는 리눅스가 탑재된 임베디드 장비로 두 가지 인터페이스를 가진다. IP-USN 게이트웨이와는 RS232C 로 연결되며 센서 노드와 통신한다. HSDPA 모뎀과도 역시 RS232C 를 통해 연결되며 중앙 관제 센터와 통신한다. 미들웨어는 미들웨어 프로토콜을 사용하여 센서 노드에서 수집한 센서 값을 수집하고 센서와 센서 노드의 상태를 파악하여 종합된 정보를 중앙 관제 센터로 전송한다.

IP-USN 센서 노드는 수질, 수위, 유량 센서에 각각 하나씩 연결되고 취수장에 있는 수집 센터에 있는 IP-USN 게이트웨이와 연결되기 위해 중계 노드가 설치되어 총 4 개의 센서 노드와 하나의 게이트웨이가 사용되었다. 그리고 유량계를 제외한 세 개의 센서 노드가 야외에 설치되므로 센서 노드가 외부 환경에 노출 되지 않도록 방진 방수가 가능하도록 설계되었다. 설치된 모든 센서와 IP-USN 장비, 미들웨어는 배터리가 아닌 메인 파워를 사용했다. 그림 1. USN 기반 지하수 모니터링 시스템 구성에서 실제 구현된 시스템의 모습이 잘 나타나 있다.

2. 프로토콜

USN 기반 지하수 모니터링 시스템에서 프로토콜은 크게 센서 노드가 센서의 정보를 얻기 위해 사용하는 센서 공용 프로토콜과 센서 노드가 수집한 값을 미들웨어가 수집하는 미들웨어 프로토콜 등 두 가지로 구성된다.

센서 공용 프로토콜: 센서 노드가 센서의 정보를 얻기 위한 센서 공용 프로토콜은 수질, 수위, 유량 센서 마다 각각 다른 프로토콜이 존재한다. 특히 수질과 수위 센서의 경우 요청/응답 기반 프로토콜로 센서 노드에서 요청 메시지를 보낸 후에 돌아오는 응답 메시지에 실제 측정 값이 포함되어 있다. 그 중 수질 센서는 하나의 센서에서 다섯 가지 값이 나오는데 그 값은 다시 세 가지로 구분되어 제공된다. 따라서 수질의 경우 세 가지 다른 형태의 요청 메시지를 보낸 후 각기 응답 메시지를 처리 하여 다섯 가지 측정 값을 찾아 낸다. 수위 센서의 경우 예비 요청 메시지와 주 요청 메시지가 따로 존재하여 예비 요청 메시지의 전송 후 전송 준비 완료 메시지를 수신한다. 그 후 주 요청 메시지를 전송하면 실제 수위 값이 응답으로 되돌아 온다. 이 두 센서와는 다르게 유량센서는 1 초에 한번씩 유량 값이 포함된 형태의 메시지를 RS232C 를 통해 전송한다. 따라서 유량 센서는 센서 노드가 RS232C 를 통해 들어온 값을 읽어 측정 값을 파악한다.

미들웨어 프로토콜: 센서 공용 프로토콜로 센서가 측정한 값을 얻은 후에 사용되는 프로토콜은 미들웨

어와 통신을 위한 미들웨어 프로토콜로 다음과 같이 동작된다. 미들웨어는 설정된 주기마다 센서 노드에게 요청 메시지를 보내게 된다. 이 때 실제 미들웨어와 센서 노드가 무선 혹은 유선으로 연결 되어 있는 것이 아니므로 요청 메시지는 IP-USN 게이트웨이에서 처리되어 IP-USN 프로토콜을 이용하여 센서 노드로 전송되게 된다. 요청 메시지를 수신한 센서 노드는 1초 이내에 응답을 수행한다. 이 때도 마찬 가지로 IP-USN 프로토콜을 이용해 IP-USN 게이트웨이로 응답 메시지를 보내면 IP-USN 게이트웨이에서 다시 시리얼을 통해 미들웨어에게 메시지를 전달해 준다. 이 때 1초 이내에 센서 노드로부터 응답이 오지 않을 경우 미들웨어는 최초 시도를 포함해 총 3 회까지 요청 메시지를 보내게 되며 3 회 이후에도 메시지가 오지 않을 경우 센서 노드의 상태를 장애로 인식한다. 기본적으로 요청 주기는 5 분으로 설정되어 있다. 미들웨어 프로토콜은 이런 데이터 전송에 관한 기본적인 프로토콜 외에 센서 노드와 센서의 상태를 파악하기 위한 프로토콜이 별도로 존재한다. 센서 노드는 주기적으로 자신과 센서의 상태를 파악하여 미들웨어에게 보고하거나 미들웨어의 요청에 의해 알려주게 된다. 센서 노드와 센서의 상태는 다음과 같은 경우가 사용된다. 센서 노드와 센서 모드 정상, 센서 노드는 정상이지만 센서에 이상, 센서 노드에 이상 등 세 가지의 값을 가지며 센서 노드에 이상이 생긴 경우에는 센서가 정상인지 아닌지 파악할 수 없으므로 별도의 상태가 존재하지 않는다.

미들웨어는 센서 노드로부터 제공받은 데이터와 센서 노드와 센서의 상태 값을 HSDPA 망을 통해 중앙 관제 센터로 보내게 되며 중앙 관제 센터에서는 이 데이터를 데이터베이스화 한 후 취수장의 수질 등을 관리 하는데 사용하게 된다. 그림 2. 미들웨어 프로토콜 메시지 형식에는 실제 미들웨어 프로토콜에서 사용하는 메시지의 형식이 나타나 있다.

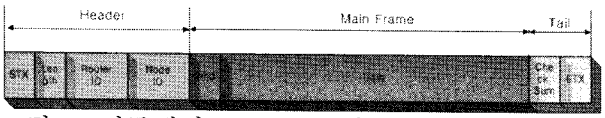


그림 2. 미들웨어 프로토콜 패킷 포맷

3. 구현

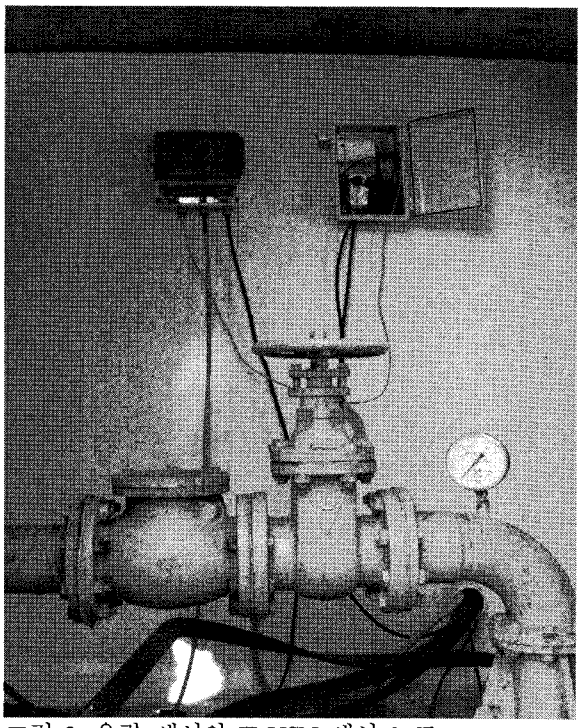


그림 3. 유량 센서와 IP-USN 센서 노드

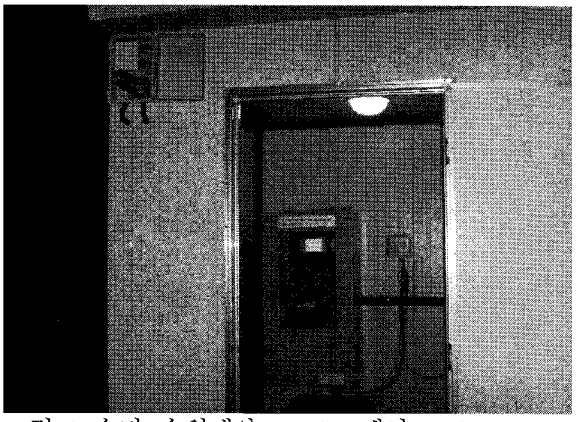


그림 4. 수질, 수위계와 IP-USN 센서 노드

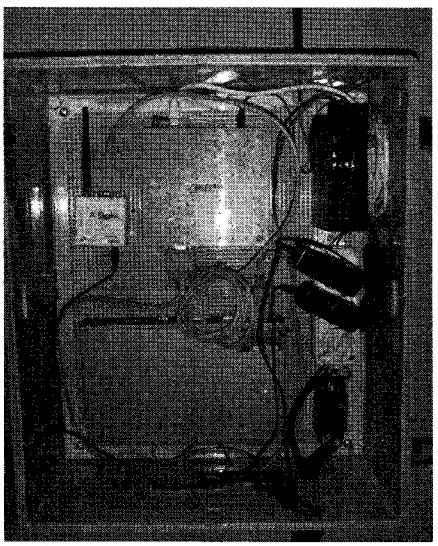


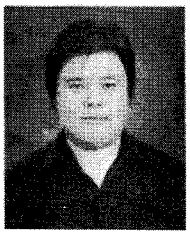
그림 4. IP-USN 게이트웨이와 미들웨어

그림 2. 유량 센서와 IP-USN 센서 노드와 같이 각 수질, 수위, 유량 센서는 취수 펌프나 취수 탱크에 연결되어 수질 및 유량, 수위를 측정하고 이를 RS232C 를 통해 센서 노드에게 전송한다. 센서 노드는 RS232C 를 통해 수신한 데이터를 미들웨어의 요청에 따라 그림 4. IP-USN 게이트웨이와 미들웨어에 있는 게이트웨이를 통해 미들웨어로 전송하게 된다. 그림 3. 수질, 수위계와 IP-USN 센서 노드에서는 수질, 수위계의 모습과 RS232C 로 연결된 센서 노드의 모습이 나타나 있으며 수질, 수위계가 설치된 건물이 IP-USN 게이트웨이가 설치되어 있는 건물과 멀리 떨어져 있기 때문에 중간에 중계 센서 노드를 두어 통신이 원활하게 수행될 수 있도록 네트워크를 구성하였다.

III. 결론

제주도는 지표수를 거의 이용할 수 없는 특성 때문에 지하수를 상수도로 이용하는 경우가 많다. 제주도의 주 상수원인 지하수는 각 취수장에서 취수 되어 독립적으로 관리된다. 각지에 분산되어 있는 취수장의 수질 및 유량과 탱크의 수위 등을 관리하기 위해 수질, 수위, 유량 센서가 설치되었고 센서들은 유선 통신을 이용하여 수집된 데이터를 중앙 관제 센터로 보내는 시스템을 사용했다. 하지만 제주도에서 빈번하게 발생하는 낙뢰로 인해 유선 통신으로 이어진 센서 중 하나라도 낙뢰를 맞을 경우 전체 시스템이 피해를 입는 문제점이 있었다. 이런 문제점을 보완하고자 u-GEMS: USN 기반 지하수 모니터링 시스템 구축 프로젝트에서는 다양한 무선 장비를 통해 지하수를 쉽고 안전하게 모니터링 할 수 있는 방법을 찾고자 하였다. 본 논문에서는 u-GEMS 에서 사용된 프로토콜 중 USN 에 IP 를 접목시킨 IP-USN 을 사용한 취수장을 중심으로 시스템의 구성과 각 구성 요소 간에 사용된 프로토콜에 대해 기술하였으며 실제 구축된 시스템의 사진을 첨부하여 실제 구현에 대해 설명하였다.

IP-USN 은 원래 MAC/PHY 에 독립적인 프로토콜이지만 현재 가장 많이 사용되는 MAC/PHY 인 IEEE802.15.4[7]를 사용한 시스템을 사용하였다. IEEE802.15.4 는 2.4GHz 대역을 사용하므로 장애물이 있을 때 통신이 자유롭지 못하다. 이런 이유로 수질, 수위 센서와 IP-USN 게이트웨이 사이에 중계 노드를 두었다. 하지만 제주도 취수장의 경우 대부분 센서들이 설치된 곳이 장애물들로 가려 시야에 들어오지 않으므로 IEEE802.15.4 의 경우 원활한 통신을 위해서는 많은 수의 센서 노드가 사용 되어야 한다는 단점이 있었다. 하지만 현재 IEEE802.15.4 외에도 다양한 MAC/PHY 를 사용할 수 있도록 연구와 개발이 진행되고 있으므로 향후 이와 같은 시스템을 구축할 때 IP-USN 을 사용하는 것에는 문제가 없을 것으로 생각된다. 또한 시스템 구성 상 IP-USN 게이트웨이와 미들웨어가 독립적인 하드웨어로 구성되어 둘 사이의 통신에 시리얼을 사용하여 미들웨어에서 IP-USN 센서 노드로 직접 통신할 방법이 없었다. 하지만 향후 시스템을 통합하여 IP-USN 게이트웨이에 미들웨어를 구현한다면 미들웨어와 센서 노드가 IPv6 를 사용하여 직접 통신이 가능하므로 시스템의 복잡도를 감소시키고 통신의 신뢰성을 높일 수 있을 것으로 기대된다. 마지막으로 현재 HSDPA 로 연결되어 있는 중앙 관제 센터와의 연결을 무선 매쉬 기술로 전환한다면 초기 투자비용은 높아질지 몰라도 매월 지출 되는 통신비를 줄여 궁극적으로 비용 절감 효과를 기대할 수 있다.

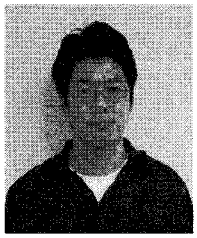


김 강 묘

2006년 영남대학교 전자정보공학부(공학사) 2008년 아주대학교 정보통신전문대학원(공학석사) 2008년~현재 아주대학교 일반대학원 박사과정 재학중. 관심분야는 IP-USN, Network Management.

김 기 형

BS in Electronic Communication Engineering, Hanyang Univ., Korea, MS in Electronic Engineering, KAIST, Korea, Ph.D in Electronic Engineering, KAIST, Korea, 한국과학기술원 위촉연구원(1996.9-1997.2), AdForce, Inc (Cupertino, CA, US소재), Senior Engineer(2000.12-2001.8), 한국 IT렌탈협회 이사(2004.5-현재), KNOM, 한국통신학회 통신망운용관리연구회 운영위원, 한국시뮬레이션학회 위원, 한국정보산업연합회, 한국임베디드산업협의회, 기획조사분과 위원(2004.6-현재), 한국리눅스협의회, 운영위원(2004.3-현재), 한국전자부품연구원(KETI) 자문위원(2004.7-현재)



오 석 호

2008년 아주대학교 정보및컴퓨터공학과(공학사), 2008년~현재 아주대학교 일반대학원(공학석사).

유 승 화

1972년 서울대학교 공과대학 응용수학과, 1980년 University of Kansas (미국) Computer science, 1983년 University of Kansas (미국) Computer science, 1972-1974 ROTC 군복무, 1974-1976 한국과학기술연구소(KIST) 전산운영실 연구원, 1972-1974 ROTC 군복무, 1974-1976 한국과학기술연구소(KIST) 전산운영실 연구원, 1976-1978 금성통신(주) 전자교환기 software, 연구실장, 1979-1983 University of Kansas 전자계산소, programmer, 1983-1988 AT&T Bell Labs, 연구원, 1988-1989 Amdahl Corporation, 수석연구원, 1989-1999 삼성전자 정보통신 전무, 1996-1999 충남대학교 공과대학 겸임교수, 1997-1998 한국정보과학회 부회장, 1998-1999 한국 네트워크 연구조합 이사장

고문헌

[1] 김강묘, 박준성, 김기형, "IP-USN 네트워크 매니지먼트", 한국정보처리학회 춘계학술발표대회 논문집 제 14권 제 1호(2007. 5)

[2] 김강묘, Hamid Mukhtar, 유승화, 김기형, "효율적인 IP-USN 관리를 위한 원격 컨피규레이션 기법", 한국통신학회 하계종합학술대회(2008. 7)

[3] IPv6 based Ubiquitous Sensor Network, http://www.ipusn.or.kr/

[4] IPv6 over Low Power WPAN Working Group http://www.ietf.org/html-.charters/6LoWPAN-charter.html

[5] Kim, K., Yoo, S., Park, D., Lee, J. and Mulligan, G., " Hierarchical Routing over 6LoWPAN (HiLow)", draft-daniel-6LoWPAN-hilow-hierarchical-routing, (work in progress), June 2007.

[6] 802.15.4-2003, IEEE Standard., "Wireless medium access control and physical layer specifications for low-rate wireless personal area networks.", May 2003.

[7] 802.15.4-2003, IEEE Standard., "Wireless medium access control and physical layer specifications for low-rate wireless personal area networks.", May 2003.