

Wi-Fi 메쉬 라우터 통합 복합 센서 게이트웨이 구현

論 文

9-1-1

Implementation of MUG (Multi-functional USN Gateway)
Integrated with Wi-Fi Mesh Router

김 미 정*, 조 수 현*, 김 영 일*

Mi Jeom Kim, Soo Hyun Cho, and Young Il Kim

Abstract

Multi-functional USN Gateway (MUG) is a multipurpose system combining a mesh router and a sensor gateway. The paper presents the design and implementation of the MUG system and the test-bed to verify the MUG system. MUG combines IEEE 802.11n based Wi-Fi mesh router functions and USN gateway functions. MUG supports IP sensor networks based on 6LoWPAN and non IP sensor networks based on ZigBee. MUG also provides various backhaul network interfaces including WiBro, HSDPA, and Ethernet Interfaces. We verify the feasibility of the MUG system through implementation and evaluate the performance by installing and testing several MUG systems in the test-bed.

Keywords : USN Gateway, Mesh Router, 6LoWPAN, ZigBee, IEEE802.11n

I. 서 론

센서 네트워크는 미션 크리티컬한 여러 산업 분야 응용들로부터 실생활을 편리하고 유효하게 하는 홈 응용들에 이르기까지 다양한 분야의 응용들에서 활용가능하다. 국내에서는 21세기 초반부터 센서 네트워크의 활용 및 응용을 위한 센서 네트워크 기술에 대한 이슈들이 광범위하게 주목을 받기 시작하였으나 상용 사업까지 연결되는 사업 모델들이 많지 않고 Mass 마켓을 겨냥한 사업보다는 소규모의 틈새시장(Niche Market) 사업의 한계 등으로 인해 초기의 개발 붐들은 많이 퇴색되어 왔다. 그러나 최근에 센서 노드 및 통신 모듈의 가격 인하, 2세대 이동통신 주파수의 재활용, 저전력 Wi-Fi 기술, M2M 서비스 등과 같은 폭 넓은 응용으로의 확산 등으로 인해 또 다시

주목받고 있는 추세이다.

센서 네트워크의 많은 응용들 중에는 센서 노드들이 대규모로 전개되어야 하는 많은 응용들이 존재한다. 예를 들어 재해 관리 분야의 카테고리 속하는 응용들, 즉 산불 감시 및 예방, 홍수 감시 관리 등의 응용들이 대규모의 센서 네트워크 전개를 요구하며, 기상 관측이나 환경 감시 등과 같은 응용 등도 역시 넓은 지역을 커버하는 센서 네트워크를 필요로 한다. 현재 센서 네트워크를 구성하는 통신 기술들은 대부분 저전력과 적은 리소스를 가진 센서 노드들을 위한 것들이 일반적으로, PHY/MAC 프로토콜로는 IEEE 802.15.4가 대표적이고 그 위의 네트워크 프로토콜로는 센서 네트워크의 de-facto 표준인 ZigBee나 IETF에서 표준화한 6LoWPAN 등이 쓰이고 있다. 이러한 통신 프로토콜들은 저전력을 위해 저출력으로 동작하기 때문에 메쉬 모드로 동작한다고 해도 넓은 지역을 커버하는 것은 도전적인 이슈이다[1,2].

넓은 지역을 커버하는 센서 네트워크를 전개하기

접수일자 : 2010년 1월 15일

최종완료 : 2010년 2월 27일

*KT 중앙연구소

교신저자, E-mail : mikim@kt.com

위해 센서 게이트웨이와 Wi-Fi 메쉬 라우터를 결합한 복합 센서 게이트웨이(MUG:Multi-Functional USN Gateway)를 구상하게 되었으며 센서 게이트웨이 기능에 부가하여 다양한 Wi-Fi 클라이언트 접속을 지원하도록 하여 활용도를 높였다[3].

MUG는 다양한 센서 네트워크 및 다양한 백홀 네트워크를 지원하며 다양한 Wi-Fi 클라이언트 접속을 가능하게 하여 원격(영상) 감시/제어 등의 M2M 서비스, 환경/교통 모니터링 등의 USN 서비스 및 인터넷 접속 서비스, 인터넷 폰(VoIP: Voice over IP)등의 SoIP (Service over IP) 서비스 등의 다양한 서비스 구현이 가능하다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 MUG 시스템의 설계 및 필요사양에 대해 개략적인 사항을 언급하고 3장에서는 시스템의 실질적인 구현에 대해 설명한다. 4장에서 가능성과 성능을 확인하기 위한 테스트베드 구성 및 실험에 대해 설명하고 마지막으로 5장에서는 결론 및 향후 연구 계획에 대해 기술한다.

II. 복합 센서 게이트웨이(MUG) 설계

그림 1은 제안하는 복합 센서 게이트웨이, MUG의 개념을 보여준다. MUG는 다양한 센서 네트워크 및 Wi-Fi 단말들을 지원하기 위한 복합 USN 게이트웨이로 USN 게이트웨이 기능으로는 IP 기반의 센서 네트워크(6LoWPAN)와 non-IP 기반의 센서 네트워크인 ZigBee 네트워크를 동시에 지원한다. 사업에 활용되는 대부분의 센서네트워크는 non-IP 기반이며 항상 센서 게이트웨이를 통해 접속 및 제어가 가능했다. 센서 노드까지의 제어 및 관리를 end-to-end 로 가능하게 하기 위해 IP 기반의 센서 네트워크에 대한 연구들이 최근 몇 년간 진행되어 IETF의 ROLL WG이나 6LoWPAN WG, IPSO Alliance [5] 등에서 표준 및 상호연동 같은 이슈들을 다루어 왔다. IP 기반의 센서 네트워크와 non-IP 기반의 센서 네트워크는 응용이나 시나리오에 따라 각 각 적용될 것으로 보이나, 상황에 따라서는 이 두 가지 형태의 센서 네트워크가 공존할 가능성이 존재한다. MUG는 두 가지 형태의 센서 네트워크를 동시에 지원할 수 있도록 설계되었다[4,5].

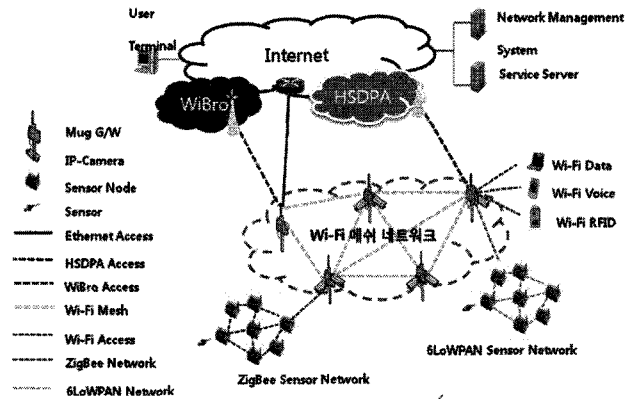


그림 1. 복합 센서 게이트웨이 (MUG) 개요
Fig. 1. The concept of Multi-Functional USN gateway

복합 센서 게이트웨이(MUG) 들 사이는 그림 1에서와 같이 IEEE 802.11n 기반의 Wi-Fi 메쉬 네트워크를 구성하여 넓은 지역을 커버하는 USN 시나리오에 적합하도록 구상하였다. 또 하나의 특징으로는 다양한 이종형의 백홀 지원을 들 수 있는데, 무선연결은 WiBro 및 HSDPA 인터페이스를 지원하며 유선 연결로는 10/100/1000 base-T의 fast Ethernet을 지원한다. 현재 국내에서

표 1. MUG 시스템 기능 사양
Table 1. The needed functional specifications of MUG

Structural Element		Capacity/Performance	Standard
Mother Board	CPU/OS	1GHz clock max. Quad core, Linux OS	-
Backhaul interface	WiBro interface	6M/2.4Mbps(DL/UL), 2.3315-2.3585GHz 8.75MHz BW	IEEE 802.16e wave2
	HSDPA interface	1M/0.3Mbps, 1.9-2.1GHz	3GPP[rel.5] HSDPA
	Wi-fi Mesh Interface	4 radio, 130Mbps, 2x2 MIMO, 20MHz 5.15-5.85GHz/ 2.4-2.4835GHz	IEEE 802.11n
	Ethernet	1000Mbps, 1000Base-T	IEEE802.3u
	USN interface	6LoWPAN Sensor Network interface	250Kbps, 2.4-2.4835GHz, Sink node, multi-hop mesh, 65535 nodes support
ZigBee Network interface		250Kbps, 2.4-2.4835GHz, ZigBee Coordi, multi-hop mesh/tree, 65535 nodes support	ZigBee Alliance ZigBee Spec 2006
WLAN access		54/11Mbps, 5.15-5.85GHz/ 2.4-2.4835GHz	IEEE 802.11a/b/g
USB interface		480Mbps	USB-IF USB2.0
Networking		IP protocol	IPv4/v6

WiBro망은 수도권 및 일부 광역시에서만 지원되고 있는 실정이기 때문에 전국망을 커버하는 무선망인 HSDPA 인터페이스를 동시에 지원하도록 설계하였다. 또한 MUG은 IEEE 802.11 a/b/g 호환의 Wi-Fi 클라이언트를 지원하여 인터넷 접속 서비스를 제공할 수 있으며 IP 카메라 등을 부착하여 영상감시 등의 응용에 활용할 수 있도록 한다. MUG은 IPv4/IPv6 dual stack을 지원하며 SNMP 기반의 관리 시스템을 통해 MUG 및 센서 노드를 포함한 센서 네트워크 관리를 지원하도록 한다[6]

표 1은 위의 다양한 기능들을 포함하는 MUG 시스템의 필요사양을 보여준다.

III. 복합 센서 게이트웨이(MUG) 구현

설계된 MUG의 구현을 위해 인텔의 ATOM N270 보드를 사용하였다. MUG 간 메쉬 네트워크 형성을 위해 IEEE 802.11n 을 지원하는 RT2870 칩을 장착한 Wi-Fi 통신 모듈을 탑재하였고 라우팅 프로토콜로 오픈 소스 Optimized Link State Routing(OLSR)을 포팅 하였다. 8개의 USB 인터페이스가 존재하며 그 중 4개는 Wi-Fi Mesh 네트워크를 위한 Wi-Fi 통신 모듈 연결을 지원하거나 또는 Wi-Fi 단말을 지원하기 위한 Wi-Fi AP 모드로 운용하게 된다. 나머지 USB 인터페이스들은 6LoWPAN이나 ZigBee의 센서 네트워크 인터페이스를 위해 활용가능하다. 또한 한 개의 PCI-Express slot이 존재하여 WiBro 인터페이스를 지원하며 역시 한 개의 이더넷 인터페이스가 존재하여 백홀 네트워크로의 연결이나 IP 카메라 등을 연결을 지원할 수 있다[7]

6LoWPAN 기반 센서 네트워크 게이트웨이 기능 구현을 위해 Kmote를 탑재하고 TinyOS 및 6LoWPAN 스택을 포팅하였다. Kmote는 상용제품으로 TelosB 호환 플랫폼을 사용하며 RF 모듈로는 TI의 cc2420 칩을 사용하여 IEEE 802.15.4 radio를 지원하며, MPU는 TI의 MSP430를 사용하고 USB 인터페이스를 지원한다. MUG의 OS는 Linux 2.6.27을 사용하였고, 6LoWPAN 스택은 Berkely 오픈 소스를, TinyOS는 버전 2.1를 사용했으며 OLSR은 역시 오픈 소스인 olsr-0.5.6-r7

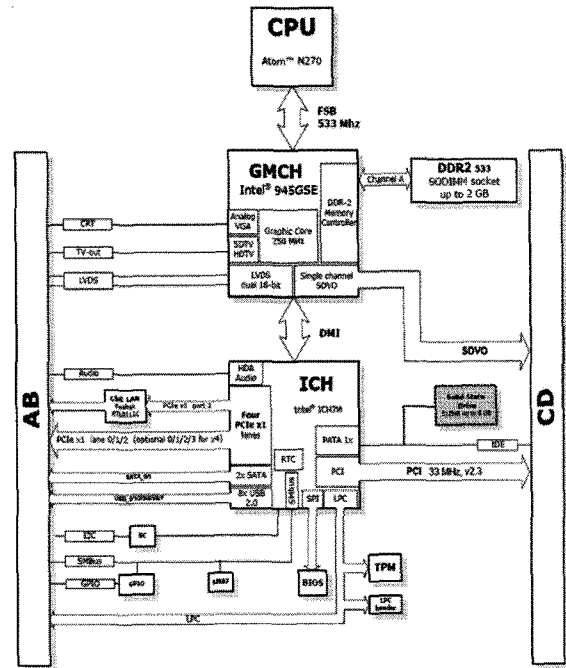


그림 2. MUG 블록 다이어그램
Fig. 2. The block diagram of Multi-Functional USN gateway

을 사용하였다.

메쉬 네트워크의 백홀로 WiBro 네트워크 접속을 위해 Mini PCI-Express card 인터페이스 타입의 WiBro Wave 2 지원 통신 모듈을 장착하였다. GCT의 GDM7205K 칩셋을 사용하여 초소형 초경량으로 구현하였고 별도 사업자 인증용 UICC 인터페이스를 제공한다. 구현된 WiBro Wave 2 통신 모듈은 상향 최소 512Kbps/최대 6Mbps, 하향 최소 1Mbps/최대 30Mbps의 데이터 전송속도를 지원한다. 아래 그림 2는 복합 게이트웨이 블록 다이어그램을 보여주고, 그림 3은 실제 구현된 보드와 합체 전면부이다.

설계시에는 센서 네트워크 인터페이스로 ZigBee와 6LoWPAN 둘 다 고려하였으나, 1단계 구현에서는 IP 기반의 6LoWPAN만을 구현하였다. 역시

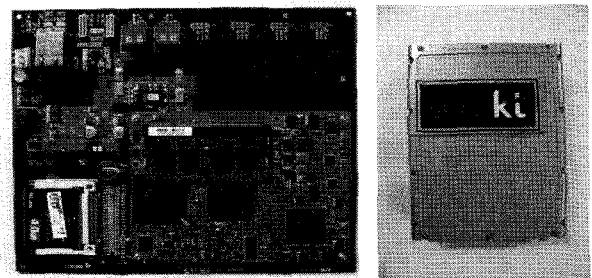


그림 3. MUG 구현 보드 및 합체 전면부
Fig. 3. The board and the front of the case

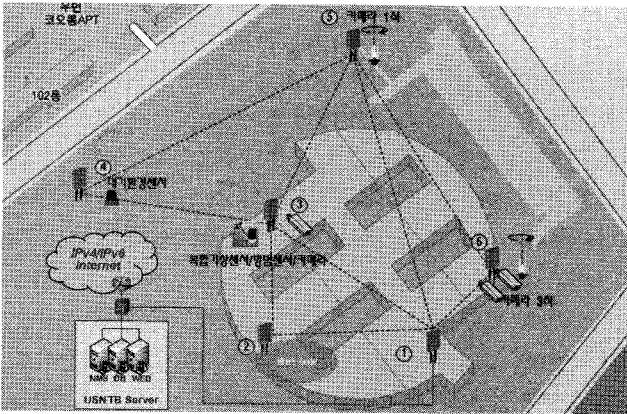


그림 4. MUG 테스트베드 구성도
Fig. 4. Configuration of MUG test-bed

백홀 인터페이스도 WiBro와 Ethernet만을 구현하였고 HSDPA는 2단계 구현 시에 고려할 예정이다.

IV. 테스트베드 구축

구현된 MUG의 검증을 위해 KT 우면동 연구개발센터 내에 테스트베드를 구현하였다. 6대의 MUG를 그림 4에서와 같이 메시 연결하였으며 센서 노드를 제외한 전체 네트워크에서 IPv4와 IPv6를 동시에 지원할 수 있도록 구성하였다. 실제 백홀망으로는 MUG 1번에 연결된 이더넷망이 쓰이고 있으며 와이브로 모듈은 MUG 3, 4번에 장착되어 있어 백홀망으로 활용가능하다.

4번 MUG에 일산화탄소와 이산화탄소를 측정하는 센서가 부착된 센서 노드와 부탄 또는 메탄 가스 누출 여부를 감지하는 센서가 부착된 센서 노드가 연결되어 있다. 3번 MUG에는 온도, 습도, 풍속, 풍향, 강우량의 측정이 가능한 복합 기상센서가 부착된 센서 노드가 연결되어 있다. 또한 출입 감지 센서를 위한 센서 노드 및 적외선으로 사람이나 동물의 열변화를 전기적 신호로 발생시키는 동작감지센서를 위한 센서 노드가 역시 3번 MUG에 연결되어 있다. 센서 노드는 ADC, UART, Interrupt Pin 등을 이용해 센서와 통신이 가능한데, 복합기상센서는 UART을, 부탄/메탄 가스 검침, CO/CO₂ 센서 등은 ADC을, 동작 감지 센서나 출입 감지 센서는 Interrupt을 사용한다. 또한 주변 환경 동영상 모니터링을 위해 IP 카메라가 MUG 3번과 5번에 각각 1개, MUG 6번에 3대를 설치하였다

4번 MUG에 일산화탄소와 이산화탄소를 측정하는 센서가 부착된 센서 노드와 부탄 또는 메탄 가스 누출 여부를 감지하는 센서가 부착된 센서 노드가 연결되어 있다. 3번 MUG에는 온도, 습도, 풍속, 풍향, 강우량의 측정이 가능한 복합 기상센서가 부착된 센서 노드가 연결되어 있다. 또한 출입 감지 센서를 위한 센서 노드 및 적외선으로 사람이나 동물의 열변화를 전기적 신호로 발생시키는 동작감지센서를 위한 센서 노드가 역시 3번 MUG에 연결되어 있다. 센서 노드는 ADC, UART, Interrupt Pin 등을 이용해 센서와 통신이 가능한데, 복합기상센서는 UART을, 부탄/메탄 가스 검침, CO/CO₂ 센서 등은 ADC을, 동작 감지 센서나 출입 감지 센서는 Interrupt을 사용한다. 또한 주변 환경 동영상 모니터링을 위해 IP 카메라가 MUG 3번과 5번에 각각 1개, MUG 6번에 3대를 설치하였다.

구축된 센서 게이트웨이와 센서 노드 관리를 위해 SNMP 기반의 망관리 시스템을 구현하였다. 센서 노드는 리소스 등의 제한으로 인해 SNMP 에이전트를 올리기에 한계가 있어 복합 게이트웨이에 SNMP 표준 에이전트를 올리고 센서 노드 및 MUG을 위한 private MIB을 구축하였다. SNMP 대몬으로는 Net-snmp 5.5을 사용하였다. 센서 노드에서는 센싱되는 값을 주기적으로 MUG의 SNMP 에이전트에게 전달해 주거나 동작 감지 등의 특정 이벤트 발생시 인터럽트가 발생하여 게이트웨이로 trap 메시지를 전송하게 된다. 또한 배터리로 동작하는 모트의 경우는 주기적으로 배터리를 체크하여 설정된 threshold 값 이하로 내려가면 trap 메시지를 게이트웨이로 보낸다.

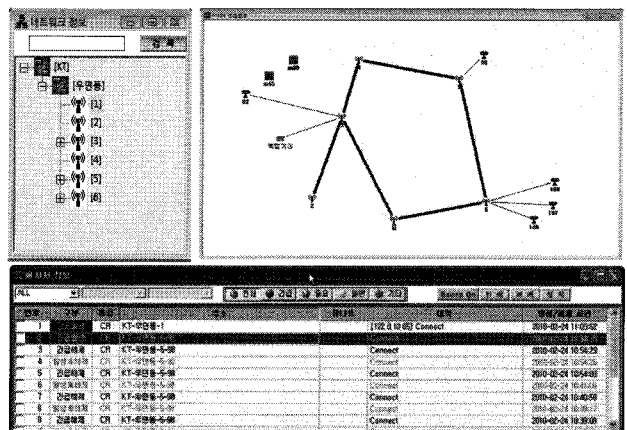


그림 5. MUG 망관리 시스템 클라이언트
Fig. 5. Client of MUG network management system

SNMP 에이전트에 명령을 내리거나 에이전트로부터 정보를 수신하기 위한 SNMP 매니저를 별도로 구현하였고, 관리자를 위한 SNMP 클라이언트도 역시 구현하였다(그림 5).

센서 값이나 카메라 동영상을 실시간으로 모니터링하기 위해 별도의 웹 서버를 구축하였다. 그림 6은 웹 서버를 이용한 센서 측정값을 보여준다.

메쉬 네트워크의 IEEE 802.11n 링크의 성능은 주위 환경에 많은 영향을 받는 것으로 확인되었으며 튜닝이 잘 된, MUG 1번과 6번 사이의 구간은 100Mbps 가 넘는 성능을 보였고 좀 저조한 구간의 링크는 70 ~ 80Mbps 정도의 성능을 보였다. 본래는 WiBro 인터페이스를 메쉬 네트워크의 백홀로 활용할 예정이었으나 본 테스트베드에서는 다양한 응용을 고려하여 고성능 카메라를 5대나 설치하여(WiBro Wave 2의 uplink가 최대 6Mbps 인 것을 고려하면) WiBro망을 백홀망으로 하기에는 무리가 있는 설정이었다. 따라서 차선책으로 하나의 MUG 시스템에서 수집된 센싱 데이터를 WiBro망을 통해 웹 서버로 잘 전달할 수 있는지만 확인하였다. 한 MUG 시스템에서 디폴트 라우트로 메쉬 인터페이스가 설정되어 있고 모든 메쉬 링크가 실패하는 경우 WiBro 인터페이스로 데이터를 송신하도록 설정되어 있다. 3번 MUG에서 메쉬 인터페이스를 임의로 단절한 상태에서 복합 기상센서와 모션센서 및 도어감지 센서의 결과 값이 웹 서버로 WiBro망을 통해 전달되는 것을 확인하였다.

메쉬 네트워크의 IEEE 802.11n 링크의 성능은

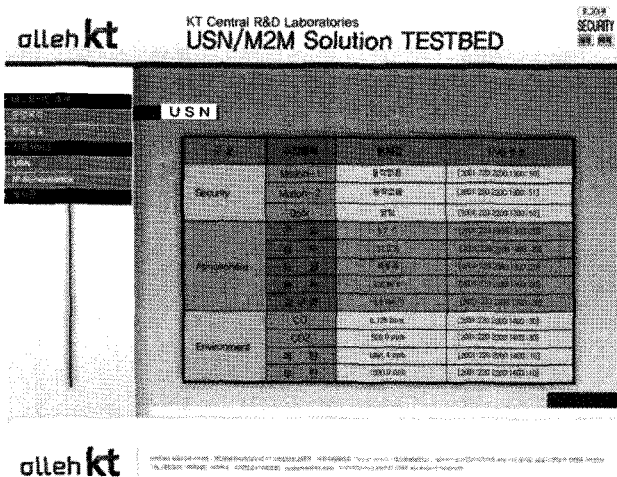


그림 6. MUG 웹 서버 사용자 화면
Fig. 6. GUI of MUG web server

주위 환경에 많은 영향을 받는 것으로 확인되었으며 튜닝이 잘 된, MUG 1번과 6번 사이의 구간은 100Mbps 가 넘는 성능을 보였고 좀 저조한 구간의 링크는 70 ~ 80Mbps 정도의 성능을 보였다. 본래는 WiBro 인터페이스를 메쉬 네트워크의 백홀로 활용할 예정이었으나 본 테스트베드에서는 다양한 응용을 고려하여 고성능 카메라를 5대나 설치하여(WiBro Wave 2의 uplink가 최대 6Mbps 인 것을 고려하면) WiBro망을 백홀망으로 하기에는 무리가 있는 설정이었다. 따라서 차선책으로 하나의 MUG 시스템에서 수집된 센싱 데이터를 WiBro망을 통해 웹 서버로 잘 전달할 수 있는지만 확인하였다. 한 MUG 시스템에서 디폴트 라우트로 메쉬 인터페이스가 설정되어 있고 모든 메쉬 링크가 실패하는 경우 WiBro 인터페이스로 데이터를 송신하도록 설정되어 있다. 3번 MUG에서 메쉬 인터페이스를 임의로 단절한 상태에서 복합 기상센서와 모션센서 및 도어감지 센서의 결과 값이 웹 서버로 WiBro망을 통해 전달되는 것을 확인하였다.

V. 결론 및 향후 연구 방향

현재도 센서 네트워크는 재난, 재해 모니터링, U-City 서비스 등의 다양한 응용으로 활용되고 있으나 향후 사람간의 통신을 넘어선 사물간의 통신이 보편화되는 M2M 응용으로 인해 더욱 활용가치가 높아질 것으로 기대하고 있다. 본 논문에서는 대규모의 센서 네트워크를 커버하기 위해 센서 게이트웨이와 메쉬 라우터를 결합한 복합 게이트웨이를 개발하였고 그 가능성을 확인하기 위해 테스트베드를 구축하여 성능을 측정하였다. IEEE 802.11n 기반의 메쉬 네트워크 링크는 100Mbps 정도의 성능을 확인하였고 WiBro망도 다양한 센서 네트워크의 백홀망으로 활용가능하다는 것을 검증하였다.

향후에는 ZigBee 기반 센서 네트워크 연동을 위한 ZigBee coordinator의 기능과 전국을 커버하는 무선 백홀 연결을 지원하기 위한 HSDPA 통신 모듈과 인터페이스를 추가하여 MUG를 업그레이드할 계획이다. 그리고 망관리 시스템도 센서 노드에 SNMP 에이전트를 올릴 수 있는 방안을

마련해 센서 노드까지의 관리를 가능하게 할 계획이다. 마지막으로 저전력 Wi-Fi 인터페이스 기반의 센서 노드의 가능성도 테스트베드의 확장을 통해 검증하고자 한다.

감사의 글

이 연구는 지식경제부 산업원천기술 과제 “센서노드의 광역이동성 및 LBS 지원 개방형 인프라 구축 기술 개발 과제” 지원에 의한 결과임.

[참고 문헌]

[1] ZigBee Alliance, "ZigBee Specification v1.1," May 24, 2006.
 [2] IPv6 over low power WPAN (6LoWPAN)

"http://datatracker.ietf.org/wg/6lowpan/charter"
 [3] I. F. Akyildiz, X. Wang, and W. Wang, "Wireless mesh networks : a survey," *Elsevier's Computer Networks*, vol. 47, no. 4, pp. 445-487, 2005.
 [4] Routing over low power and lossy networks (roll) "http://datatracker.ietf.org/wg/roll/charter"
 [5] IPSO Alliance, "http://www.ipso-alliance.org"
 [6] D. Harrington, R. Presuhn, and B. Wijnen, *IETF RFC 3411 : An architecture for describing simple network management protocol (SNMP) management frameworks*, RFC Editor, Unite States, 2002.
 [7] T. Clausen and P. Jacquet, *RFC3626 : Optimized link state routing protocol (OLSR)*, RFC Editor, Unite States, 2003.

Biography



김미점

1993년 부산대학교 전자계산학과 졸업
 1995년 부산대학교 전자계산학과(이학석사)
 2006년 텍사스 주립대학교 컴퓨터공학과(이학박사)
 1995년~현재 KT 중앙연구소

<관심분야> USN, M2M, 센서 네트워크 망관리, 미들웨어 (플랫폼)
 <e-mail> mjkim@kt.com



김영일

1984년 전남대학교 전자계산학과(학사)
 1986년 한국외국어대학교 전자계산학과(석사)
 1999년 충북대학교 전자계산학과(박사)
 1986년~현재 KT 중앙연구소 컨버전스담당 상무

<관심분야> 유무선 네트워크 기술, 콘텐츠 관리기술, 플랫폼 설계
 <e-mail> yikim@kt.com