

논문 2008-45TC-5-1

모바일 디바이스를 사용한 멀티센서 기반 스마트 센서 네트워크의 설계 및 구현

(Design and Implementation of Multi-Sensor based Smart Sensor Network using Mobile Devices)

구본현*, 최효현*, 손태식*

(Bonhyun Koo, Hyohyun Choi, and Taeshik Shon)

요약

무선 센서 네트워크(Wireless Sensor Network : WSN)는 U-City 같은 우리 삶의 편의성 향상을 위한 서비스에 활용은 물론이거니와 환경오염, 터널 및 건축물의 붕괴, 태풍, 지진 등의 재난 감시, 위험물 진단 시스템 등에 다양하게 적용되고 있다. 본 논문에서는 이러한 WSN을 다양한 형태의 휴대 단말 및 네트워크 카메라와 연동하여 보다 효율적이고 가치 있는 정보 서비스 제공을 위한 MUSNEMO(Multi-sensor centric Ubiquitous Smart sensor NEtwork using MOBILE devices) 시스템을 제안하였다. 제안된 시스템은 IEEE 802.15.4 표준을 기반으로 스마트 센서 네트워크를 구성하며, 또한 제안한 시스템 구조의 활용성 검증을 위하여 다섯가지 응용 센서(자기, 조도, 소리, 모션, 진동)를 가진 망을 구성하여 센싱 이벤트 요청 및 제공 테스트를 수행하였다.

Abstract

Wireless Sensor Networks is applied to improvement of life convenience or service like U-City as well as environment pollution, tunnel and structural health monitoring, storm, and earthquake diagnostic system. To increase the usability of sensor data and applicability, mobile devices and their facilities allow the applications of sensor networks to give mobile users and actuators the results of event detection at anytime and anywhere. In this paper, we present MUSNEMO(Multi-sensor centric Ubiquitous Smart sensor NEtwork using MOBILE devices) developed system for providing more efficient and valuable information services with a variety of mobile devices and network camera integrated to WSN. Our system is performed based on IEEE 802.15.4 protocol stack. To validate system usability, we built sensor network environments where were equipped with five application sensors such magnetic, photodiode, microphone, motion and vibration. We also built and tested proposed MUSNEMO to provide a novel model for event detection systems with mobile framework.

Keywords : Wireless Sensor Network, Mobile Device Application, ZigBee, WSN

I. 서 론

센서 네트워크는 현재 u-Life를 구현하기 위한 핵심 기술로서 초경량, 저전력 센서들을 사용하여 우리 거주 공간 속에서의 다양한 편의 정보, 주변 환경 정보, 교통 정보 등을 센싱하여 사용자에게 전달 할 수 있다. 실제

로 센서 네트워크는 센싱 기능과 정보 처리 능력, 그리고 통신 능력을 가진 다수의 센서 노드들로 구성되며, 특히 사용자가 원하는 서비스 영역에 배치된 후 자동적으로 Ad-hoc 네트워크를 형성한 후 필요한 정보를 수집하여 서비스를 제공하는 역할을 한다. 현재 센서 네트워크를 통한 주요 응용 서비스로서 국내에 새롭게 조성되는 도시에 여러 종류의 센서들을 가진 네트워크를 설치하여 그 거주민들에게 여러 가지 u-life 서비스를 제공해주는 방식의 u-City 서비스가 가장 대표적이다. 이때 센서들로부터 습득된 정보를 이용하고자 하는 사

* 정회원, 삼성전자 통신연구소
(Telecommunication R&D Center, Samsung Electronics)
접수일자: 2008년 2월 5일, 수정완료일: 2008년 5월 18일

람들에게 제공하기 위한 방편으로 일반적인 유비쿼터스(ubiquitous) 서비스에 특화된 단말 장치를 고려할 수 있다. 하지만, 이러한 부가적 장비의 사용은 향후 u-City등의 센서 네트워크 서비스를 보급하는데 있어 추가적인 비용이 발생함은 물론 기기 사용의 방법을 새롭게 숙지해야 하는 등의 번거로움을 유발 시키게 된다. 그러므로 본 논문에서는 현재 널리 쓰이고 있는 다양한 형태의 모바일 디바이스들을 멀티 센서를 가진 센서 네트워크 환경에 접목하여 보다 편리하고 효율적으로 센서 네트워크 서비스를 제공 받을 수 있는 MUSNEMO(Multi-sensor centric Ubiquitous Smart sensor NETwork using MOBILE devices) 구조를 제안하고 응용 서비스 모델에 적용해보았다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 이러한 센서 네트워크를 활용한 다양한 응용 모니터링 시스템에 관한 기존 연구 사례들을 살펴보고, III장에서는 본 논문에서 제안하는 MUSNEMO 시스템 구성 환경과 프레임워크를 소개하며, IV장에서는 제안한 시스템을 이용한 센서 네트워크 구축 사례를 센서 노드에서 이벤트가 탐지된 케이스와 특정 위치의 정보를 요청하는 케이스로 나누어 설명하며, V장에서는 실제 실험내용과 결과를 분석한다. 마지막으로 VI장에서는 본 논문의 결론을 맺도록 한다.

II. 관련 연구

센서 네트워크에 관한 기존 연구 동향으로는 에너지

사용 최소화 라우팅, 멀티홉 릴레이 기술, 경량화된 보안 기술, 효율적인 데이터 처리등과 같은 분야에서 활발하게 연구가 진행되고 있다. 본 논문에서는 이러한 센서 네트워크 기반 기술에 속하는 연구 분야가 아닌 응용 서비스에 관련한 시스템 구조나 그 사례 개발에 관한 연구를 수행하였으며 그에 대한 연구 동향을 파악하였다.

최근 3년(2005~2007)간 IEEE, MobiSys, SenSys, MobiComm 등의 학회에서 발간된 모바일 장치를 응용한 센서 네트워크 애플리케이션 논문 50여 편의 분석 결과, 그림 1의 좌측 도표와 같이 센서 네트워크기술과 모바일 장치가 연동된 애플리케이션이 사용된 연구는 주로 기후나 온도 변화, 재해 등의 환경 모니터링 관련 분야와 이동성을 지닌 모바일 장치의 특성상 센서네트워크에서의 게이트웨이로의 사용, 모바일 헬스케어 관련 애플리케이션이 최근의 주된 이슈 사항임을 알 수 있었다^[1~5]. 또한 애플리케이션에서 사용된 응용 센서들의 적용 분야별 분류에 따라 분석한 결과(그림1 우측도표)에서 알 수 있듯이 환경 모니터링에 주로 사용된 온/습도 센서가 가장 많이 사용되고 있었고, 이어서 가속도센서와 바이오센서가 주로 응용 연구에 이용되었다^[6~9]. 그러나 도표에서와 같이 5개 이상의 다양한 센서를 함께 사용하는 Multi 센서들의 사용은 8% 수준으로, 다양한 분야에서의 활용은 아직까지 이루어지지 않고 있었다. 이는 환경 모니터링에서와 같이 특정 센서(기후 변화 등을 위한 온도 센서)를 통한 응용 서비스 연구가 주로 이루어졌기 때문이다.

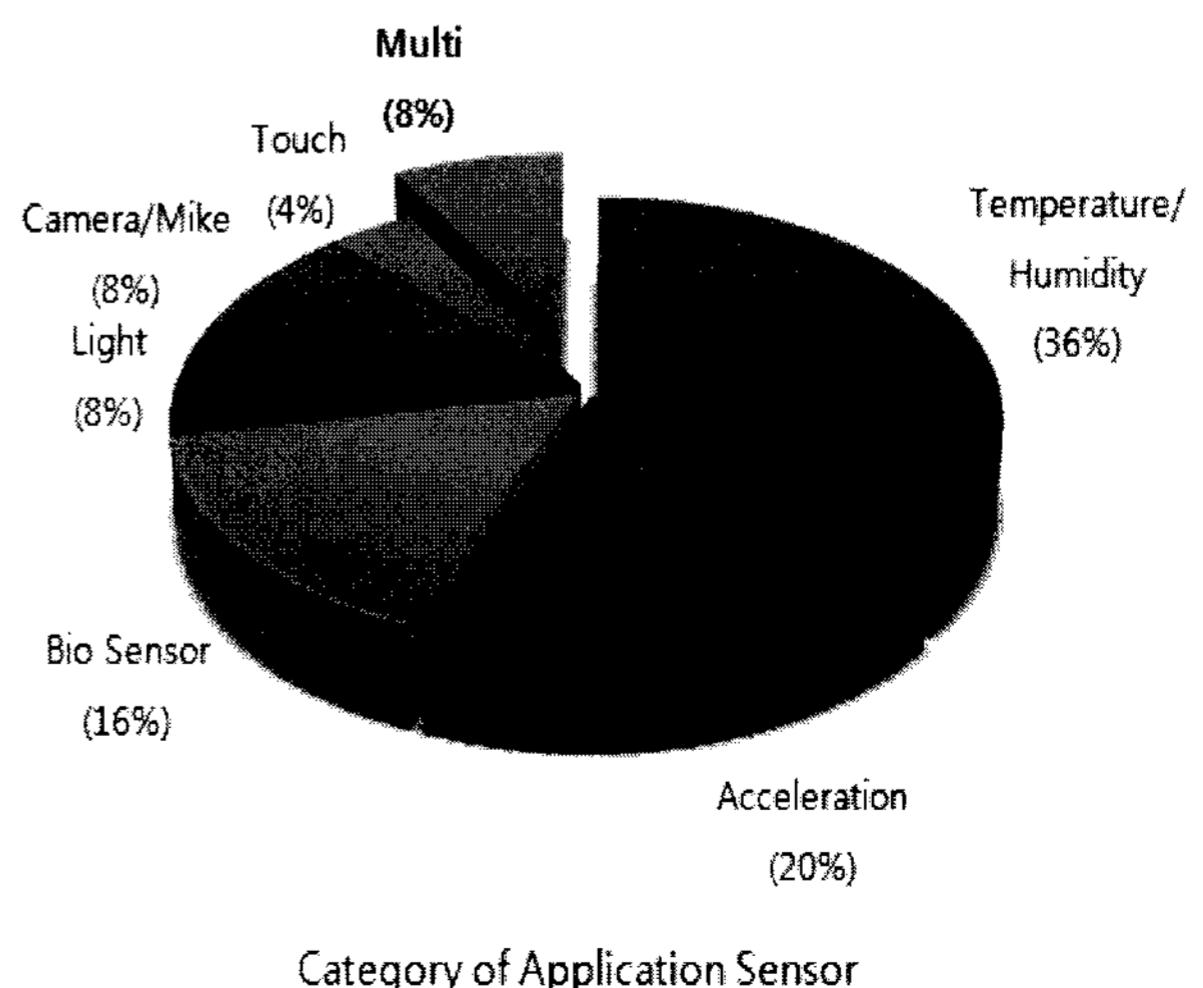
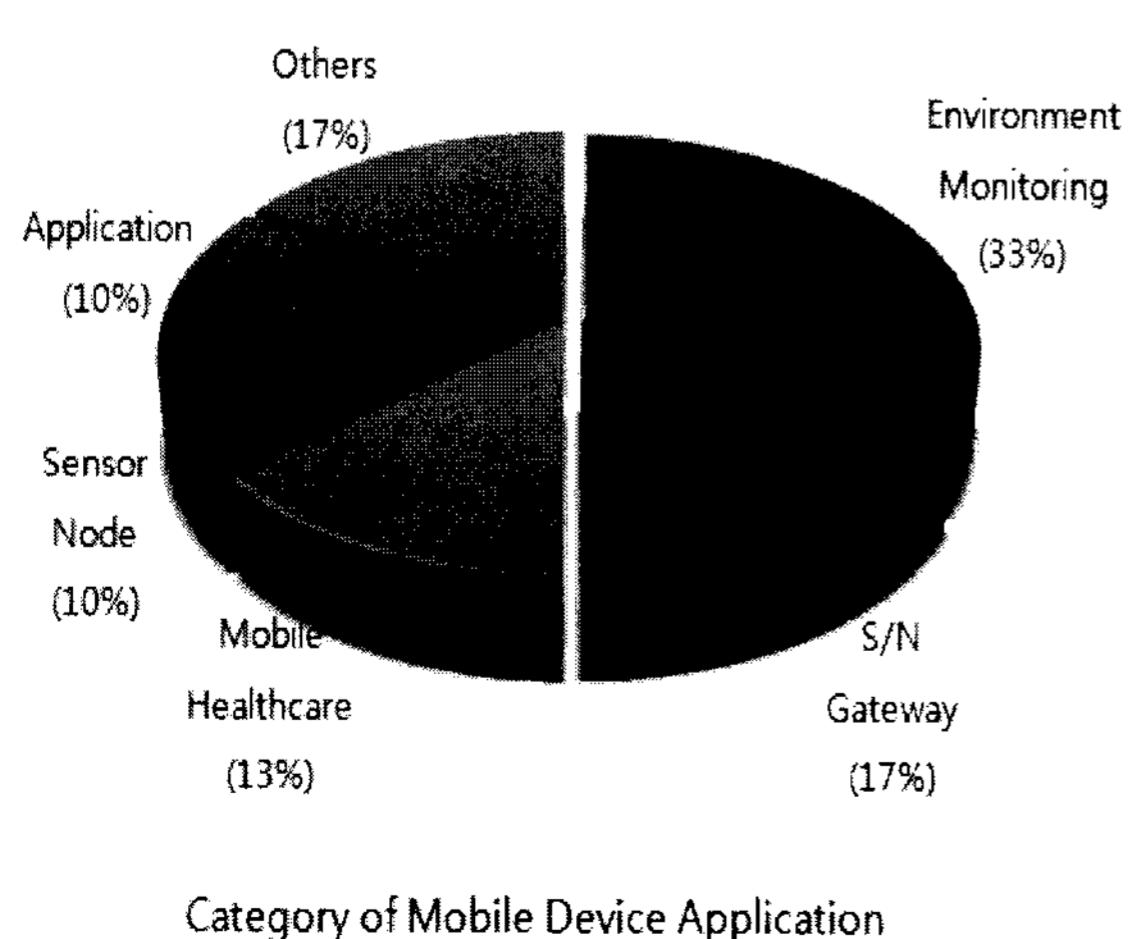


그림 1. 모바일 장치를 이용한 WSN애플리케이션의 분야(좌)와 애플리케이션에 사용된 응용 센서 종류별 분류(우)
Fig. 1. WSN application category of mobile device application (left) and Category of application sensor (right).



그림 2. 모바일 장치를 응용한 센서 네트워크 애플리케이션 (좌)NIST의 모바일 노드, (중)Taipei 대학의 헬스케어시스템, (우) Malaga대학의 RadMote
Fig. 2. Sensor network application with mobile devices.

NIST의 M. Souriya 등이 멀티 홈 릴레이를 위해 실험한 노드의 이동성과 RF리더를 부착한 위한 모바일 장치 응용 기술과 J. Bararan 등이 제안한 핵발전소 주변 환경 모니터링 시스템인 RadMote, R.G. Lee 등이 구현한 헬스케어 애플리케이션, L. Zang 등이 구현한 WBAN에서의 모바일 애플리케이션 등에서의 애플리케이션은 모두 센싱된 정보를 모바일 장치로 전송해, 휴대 장치 등에서는 정보를 출력하는 기능만을 담당하고 있다^[6, 8, 10~11]. 그림2는 좌측부터 NIST에서 제안한 멀티홈 릴레이 실험을 위한 모바일 노드로 이용되는 모바일장치와 타이페이대학에서 구현한 헬스케어 시스템은 바이오센서 등을 이용해 주기적으로 환자의 혈압과 심박 정보 등을 병원의 중계서버로 전송해주며, 응급상황 발생 시 이를 담당 의사의 휴대단말로 알려주는 기능을 담당하는 모바일 장치이며, 우측은 Malaga대학의 RadMote 애플리케이션으로 핵발전소 주변의 온도, 습

도 정보 등을 휴대 장치로 수신된 화면이다.

이러한 기존 연구 사례와 다양한 장비간의 융합화 추세로 인해, 센서네트워크에서의 모바일 장치를 이용한 응용 기술 연구에는 양방향성, 재현성과 시각화 그리고 실용성과 같은 3가지 기능이 고려되어야 한다^[12]. 먼저 양방향성(Interactive Communication)의 경우 앞에서 살펴본 기존 애플리케이션들에서는 센서 네트워크에 싱크노드로 전송하는 데이터를 모바일 장치는 무선으로 액세스하여 이러한 정보를 획득하고, 정보를 출력하는 기능에 의의를 두고 연구를 진행했었다. 그러나 본 논문의 서두에서 언급했듯이 모바일 기기는 급속한 발전과 더불어 성능이 매우 높아지고 있으며, 점점 우리 일상 중심에서 네트워크와 사람을 연결시켜주는 매개체 역할을 수행하고 있다. 이러한 자원을 이용해 보다 능동적이고, 센서네트워크를 직접 제어할 수 있는 기능을 연결시키는 연구가 필요할 것이다.

다음으로 재현성과 시각화(Visualization)는 센서네트워크로부터 수집된 데이터들을 어떻게 보여주는가의 문제이다. 이는 상황인지(Context-Awareness)와 같이 보다 쉽고, 빠르게 모바일 장치의 사용자들에게 효과적으로 정보를 전달하는 방법이 필요함을 말한다^[13]. 일반적으로 센서네트워크에 배치된 노드들이 수집원인 싱크노드로 데이터를 전송할 때에는, RF를 통해 아날로그 형태의 데이터가 전송되며, 수신한 싱크노드는 이를 디지털화하여 상위 레이어로 옮겨주게 된다. 이 과정에서 일반적인 데이터는 Byte와 같이 16진수 형태의 HEX코

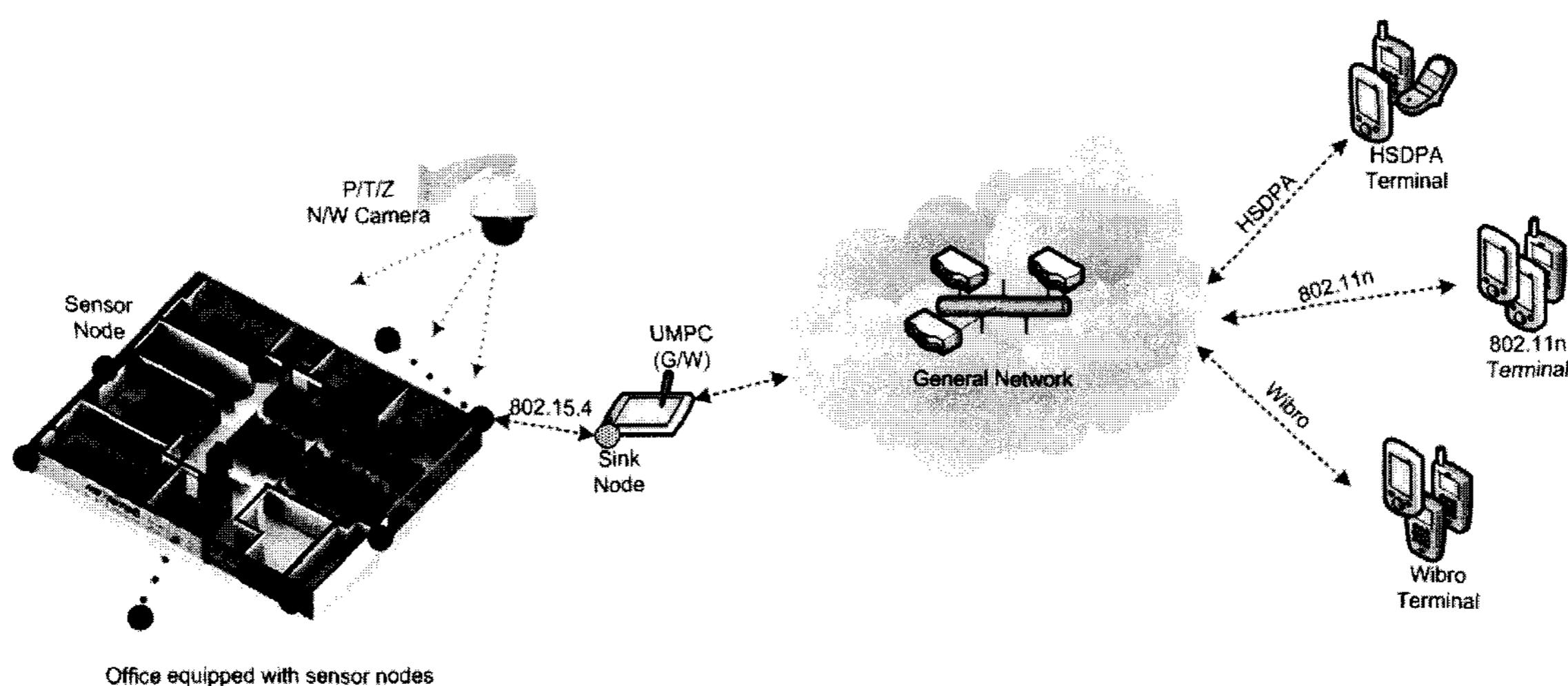


그림 3. 시스템 구성 환경
Fig. 3. System environments.

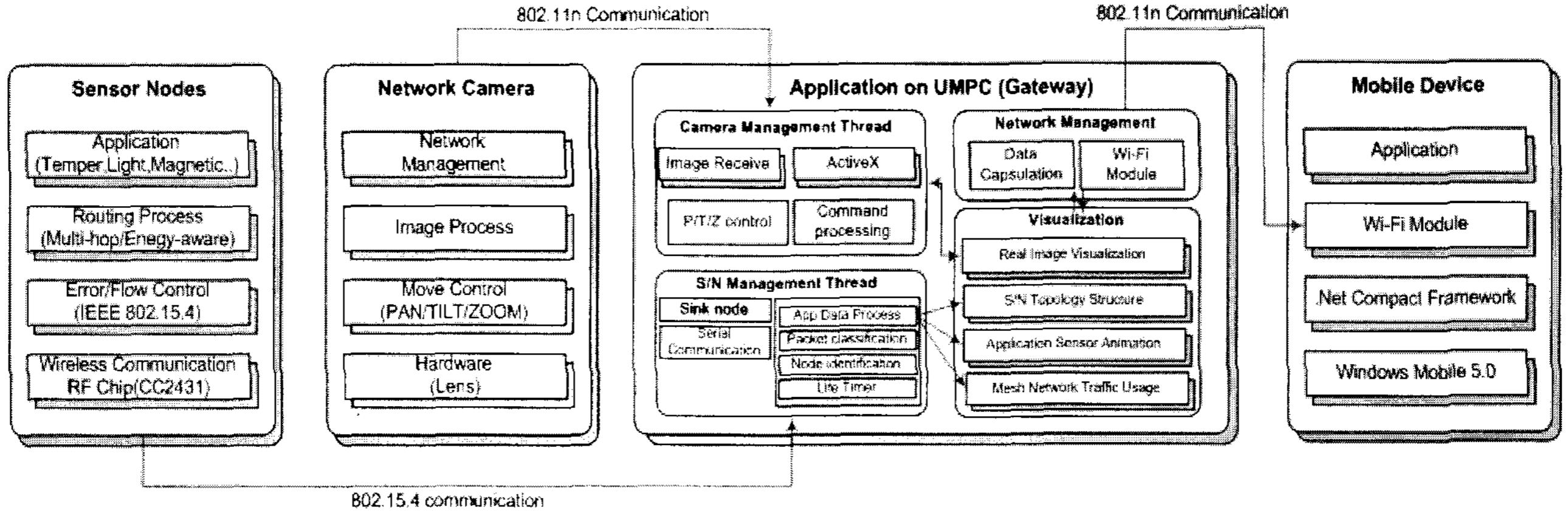


그림 4. MUSNEMO 시스템 프레임워크 구조

Fig. 4. MUSNEMO Framework.

드가 사용되는데, 이러한 데이터를 가공하여 GUI등을 통해 사용자들이 쉽고, 편하게 정보를 확인하고 센서네트워크의 상태를 파악할 수 있어야 할 것이다. A.S. Gunnarsson 등이 연구한 ZigBee기반 모바일 장치에서의 증강현실(Augmented Reality)을 이용한 센서 데이터 출력 기능이 좋은 예라고 할 수 있다^[14~15].

마지막으로 실용성은 기존의 고정된 네트워크 카메라를 이용한 보안 시스템이 항상 같은 지역의 화면만을 녹화함으로, 사각지역과 같은 곳에서 화재 발생이나 침입자가 있는 경우에 이를 탐지하지 못하므로 데이터전송이나 화면녹화 기능 자체는 수행하지만 사용자에게 의미 있는 정보나 데이터를 제공하지 못해서는 안된다 는 것을 의미한다. 아울러 최근의 네트워크 장비들은 디지털카메라와 휴대전화기, 디지털 TV, 냉장고와 홈게이트웨이 등 다양한 분야에서 융합(Convergence)화 되어가고 있는 추세이다^[16].

III. MUSNEMO 시스템 구조

최근의 휴대 단말을 이용한 센서네트워크 애플리케이션에서는 응용 서비스에 특화되어 특정 센서를 단독으로 이용하거나 혹은 휴대 단말의 특성인 이동성을 강조해 센싱 정보의 출력 수단으로만 휴대 단말을 사용하는 연구가 주로 수행되었음을 2장을 통해 살펴보았다. 본 연구에서는 이러한 부족한 부분을 보완하고 발전시키기 위해, 다양한 응용 센서를 사용하여 보다 적극적인 수단으로의 활용하고 실생활에 응용될 수 있는 모바일 장치를 연계한 MUSNEMO(Multi-sensor centric Ubiquitous Smart sensor NETwork using MOBILE devices) 시스템을 제안한다. 먼저 제안한 시스템의 구

성 환경은 그림 3과 같으며, 다양한 형태의 휴대 단말이 WiBro, Wi-Fi, HSDPA등의 무선통신망을 통하여 네트워크에 연결될 수 있다. 이러한 휴대 단말들은 센서 G/W와 Sink의 역할을 하는 이동 단말(본 논문의 실험에서는 Ultra Mobile PC)로부터 필요한 정보를 제공받는다. 또한 이동단말과 연결된 센서 네트워크는 IEEE 802.15.4를 사용하여 망을 구성하며 이러한 망 구성환경은 네트워크 카메라와 유기적으로 연결되어 센싱 정보와 함께 응용 서비스를 제공한다. MUSNEMO 시스템을 구성하는 각 모듈은 앞서 설명한 바와 같이 센서네트워크, 네트워크 카메라, Ultra Mobile PC(이하 UMPC)와 모바일 기기로 구성되며, 각 모듈들은 그림4와 같이 구성되어 MUSNEMO 시스템의 전체 프레임워크를 이룬다.

프레임워크의 설명에 앞서, 각 구성요소들의 운용(Operation)에 따른 간략한 논리적 구성을 다음과 같다. 센서노드는 전원관리와 데이터수집, 송신 관리부로 구성되며, 네트워크 카메라는 영상처리, P/T/Z구동, TCP/IP관리, 명령 스케줄러로 구성된다. UMPC는 데이터수집, 데이터가공처리, 영상처리, Wi-Fi통신, 시각화로 구성되며, 모바일 기기는 Wi-Fi통신, 데이터 가공 처리, 영상처리, 시각화로 구성된다.

MUSNEMO 프레임워크 상의 각 구성 요소별 데이터 처리과정은 다음과 같다. 센서네트워크상의 CC2431 RF칩이 탑재된 센서노드들은 IEEE 802.15.4 통신을 이용해 서로 간의 정보를 교환하고, 장착된 응용센서와 주기적인 라디오 사이클(Duty Cycle)을 기반으로 수집한 센서 데이터들의 데이터 처리과정을 거쳐 소스 어드레스, 목적지 어드레스, 실제 센서 데이터 값 등과 같은 패킷의 필드정보를 캡슐화 시켜 싱크노드로 전송하게

된다. UMPC는 수신된 데이터를 센서 노드 관리 쓰레드가 담당하는데, 이를 위해 USB로 연결(Virtual USB Interface)된 싱크노드는 센서 네트워크상의 데이터를 수집해, 16진수형태의 HEX코드를 사전 처리 과정을 거친 후, 노드의 ID식별, 패킷 분류 및 응용센서 데이터 처리를 통해 애플리케이션의 인터페이스 화면에 패킷의 정보를 시각화하게 된다. 센서노드 주변 화면을 실시간으로 촬영하는 네트워크 카메라의 영상은 P/T/Z 컨트롤을 통해 센서노드의 이벤트 발생시, 이벤트가 발생한 노드의 주변 화면을 자동으로 추적해 보여주게 되며, 이는 네트워크 카메라에 연결된 TCP/IP 네트워크 관리 모듈을 통해 UMPC의 애플리케이션으로 전송되게 된다. UMPC에서는 IEEE 802.11n 모듈을 통해 영상 정보를 수신하게 되며, 수신 정보 처리는 카메라 관리 쓰레드가 담당한다. 이를 애플리케이션의 센서네트워크 토폴로지의 이벤트 시각화와 함께, 출력하여 사용자에게 영상 정보를 전달하게 된다. UMPC 애플리케이션의 Wi-Fi 모듈은 수신된 영상 정보와 연결된 싱크노드가 수집한 센서 네트워크의 정보를 다시 모바일 장치의 애플리케이션으로 전송하는 기능을 담당하며, 모바일 장치의 애플리케이션은 영상 정보를 수신해 장치의 화면에 센서네트워크 시각화와 함께 이를 보여주게 된다.

센서 네트워크상에 배치된 노드들은 제한된 크기의 메모리와 저전력의 센서 노드 하드웨어의 특성상 아주 작은 사이즈의 OS가 필요하다. 이를 위해, 버클리 대학에서는 센서 노드를 위한 운영체제인 TinyOS를 개발하였고, 이 외에도 Nano Q-plus 등과 같은 센서 노드를 위한 다양한 OS들에 관한 연구가 진행되었다. 그 중에서도 TinyOS는 가장 널리 사용되는 센서 노드용 OS이다. 제안하는 시스템 역시 TinyOS를 기반으로 하여 설계되었다. 하지만, TinyOS는 물리계층부터 응용계층까-

지 센서 노드의 운영환경 전반을 관리하고, 내부에 포함된 Active Message를 이용하는 경우, TinyOS를 이용하지 않는 다른 종류의 센서 노드와의 통신을 하는 것이 어렵고, IEEE 표준 스펙을 따르는 확장성을 장점으로 가질 수 없다. 이러한 문제점으로 인해 우리는 IEEE 802.15.4를 구현해 MAC 계층의 역할을 수행하도록 하였다.

그림 5와 같이 본 논문에 제안된 네트워크 스택은 IEEE 802.15.4 표준의 Physical/MAC 계층을 근간으로 동작하며 그 상위 네트워크 계층의 경우 멀티홉 데이터 릴레이(Multihop Data Relaying : MDR), 토폴로지 관리(Topology Control : TC), 메쉬 라우팅(Mesh Routing : MR), 데이터 중심 포워딩(Data Centric Forwarding : DCF), 타임싱크(Time Synchronization : TS), 노드관리(Node Control : NC) 기능을 새롭게 구현하였다. 멀티홉 데이터 릴레이는 라우팅 테이블을 유지 관리하며, Frame Classifier와 Adaptive Link Controller를 통해 MAC 계층과 데이터 처리를 담당한다. 토폴로지관리 컴포넌트는 클러스터를 구성하는 과정에서의 해더선출, 노드의 클러스터 추가/삭제 및 클러스터 토폴로지를 관리하는 역할을 담당한다. 매시라우팅 컴포넌트는 노드들의 데이터 전송 시 전송 경로 설정과 관련된 경로 탐색, 복구, 최적화 부분을, 데이터 기반 포워딩은 노드간 중복된 데이터의 병합과 처리 등을 담당하며, 타임싱크는 센서 네트워크상에 배치된 노드들의 시간 동기화 설정, 노드관리는 각 노드간의 장치, 배터리 정보 관리와 싱크노드의 인터페이스 설정을 담당한다.

IV. 상황 별 시스템 수행 과정

MUSNEMO 시스템은 센서 네트워크 노드/Sink, 네트워크 카메라, 실내용 모바일 게이트웨이, 외부 모바일 장치로 구성된다. 시스템에서 정보의 흐름이 발생하는 경우는 크게 두 가지 케이스로 나눌 수 있다. 센서 네트워크상의 노드 주변에 이벤트가 발생하여, UMPC를 향한 실내 사용자와 모바일 장치를 향대한 실외 사용자에게 사무실의 이상 정보를 전송하는 경우와 모바일 장치를 향대한 외부 사용자가 사무실의 특정 위치를 확인하기 위해 모바일 장치를 이용해 사무실 영상 정보를 요청하는 경우이다. 단, 센서 네트워크의 토폴로지 정보는 각 노드마다 정해진 주기로 싱크노드로 전송하기 때문에, 시스템의 정보 흐름도에서는 제외한다.

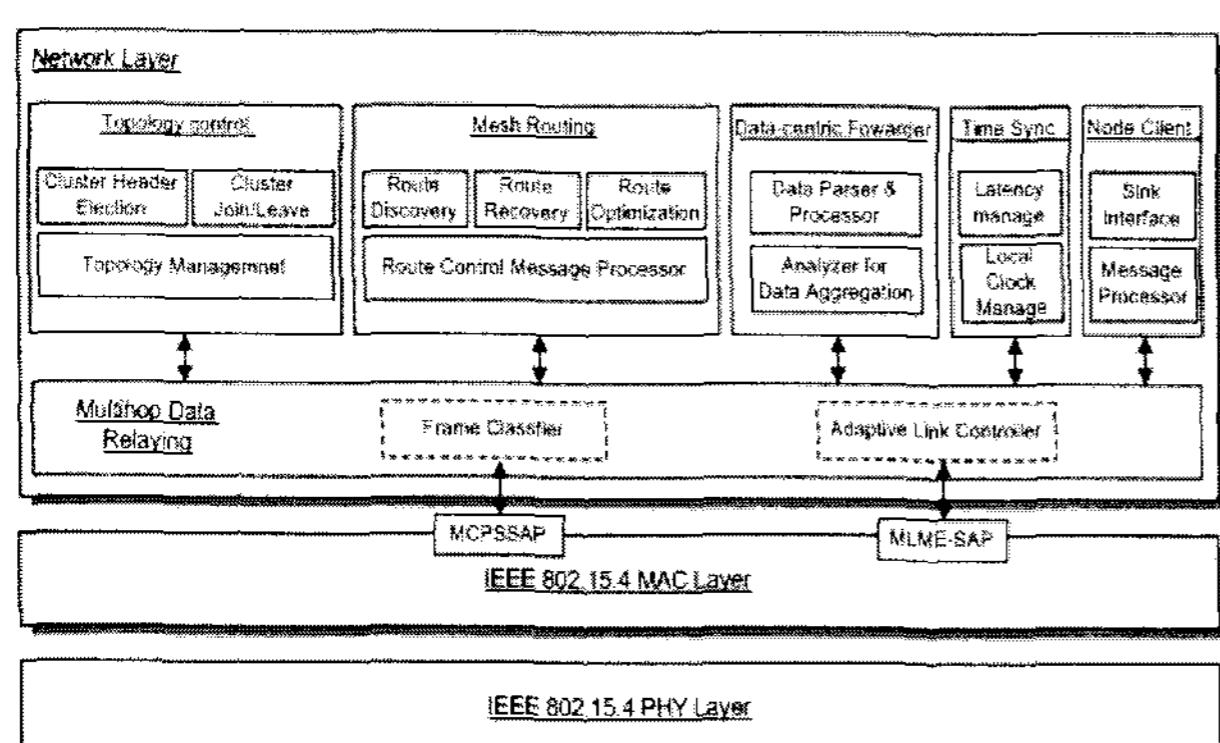


그림 5. MUSNEMO 시스템의 센서 네트워크 스택
Fig. 5. Network Stacks in MUSNEMO.

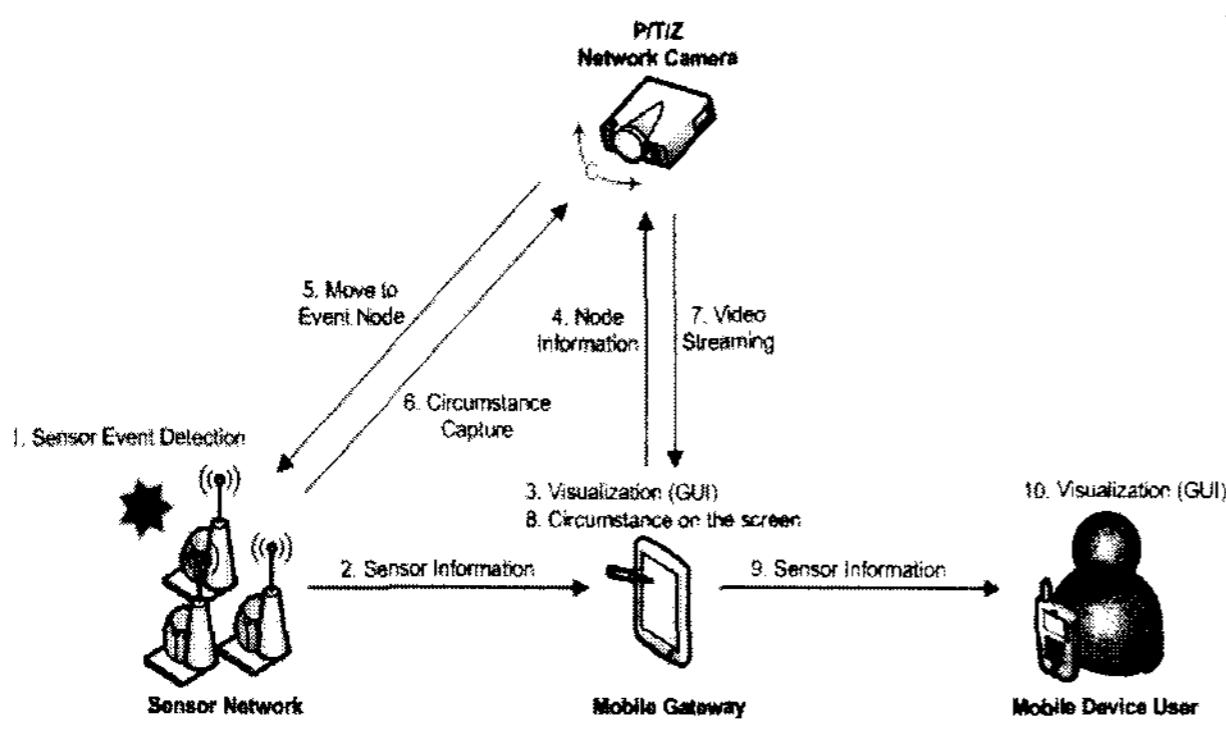


그림 6. 센서노드 이벤트 탐지 시 시스템 흐름도
Fig. 6. Process in the case of event detection.

- 센서 노드에서 이벤트가 탐지된 케이스 (In the case of detecting Anomaly Status)

첫 번째 케이스는 사무실에 설치된 센서 네트워크에서 특정 센서의 이벤트가 탐지된 경우이며, 센서로부터 모바일 장치까지의 이벤트 처리 순서는 다음과 같다.

- (1) 응용(자기, 조도, 소리, 모션, 진동) 센서가 부착된 노드 주변에서 이벤트 감지
- (2) 이벤트 발생 정보는 싱크노드가 연결된 UMPC로 정보 전송
- (3) 라우팅 애니메이션 및 이벤트 발생 지점 경보 시작화
- (4) 이벤트가 발생한 노드의 정보를 네트워크 카메라로 전송
- (5) N/W카메라는 P/T/Z 컨트롤을 이용해 이벤트 발생 노드의 주변 정보를 촬영
- (6) 노드 정보 획득, 디지털변환 및 네트워크 패킷 캡슐화
- (7) UMPC로 영상 정보 송신
- (8) 이벤트 발생한 지역 상황 확인
- (9) 모바일 장치로 센서 네트워크 정보 전송
- (10) 모바일 장치의 애플리케이션을 통한 정보 시작화

- 특정 위치의 정보를 요청하는 케이스 (In the case of requesting the Specific Location Information from Mobile Device)

두 번째 케이스는 모바일 기기 사용자가 사무실의 특정 위치를 확인하고자 하는 경우이다. 이 경우는 사무실 외부에서 Wibro, HSDPA, Wi-Fi 등을 통해 사무실의 특정 위치의 정보를 관찰하고자 할 때 수행되며, 수행 절차는 다음과 같다.

- (1) 터치스크린을 통한 특정 노드 위치 선택
- (2) 게이트웨이(UMPC)로 선택된 노드의 정보 요청

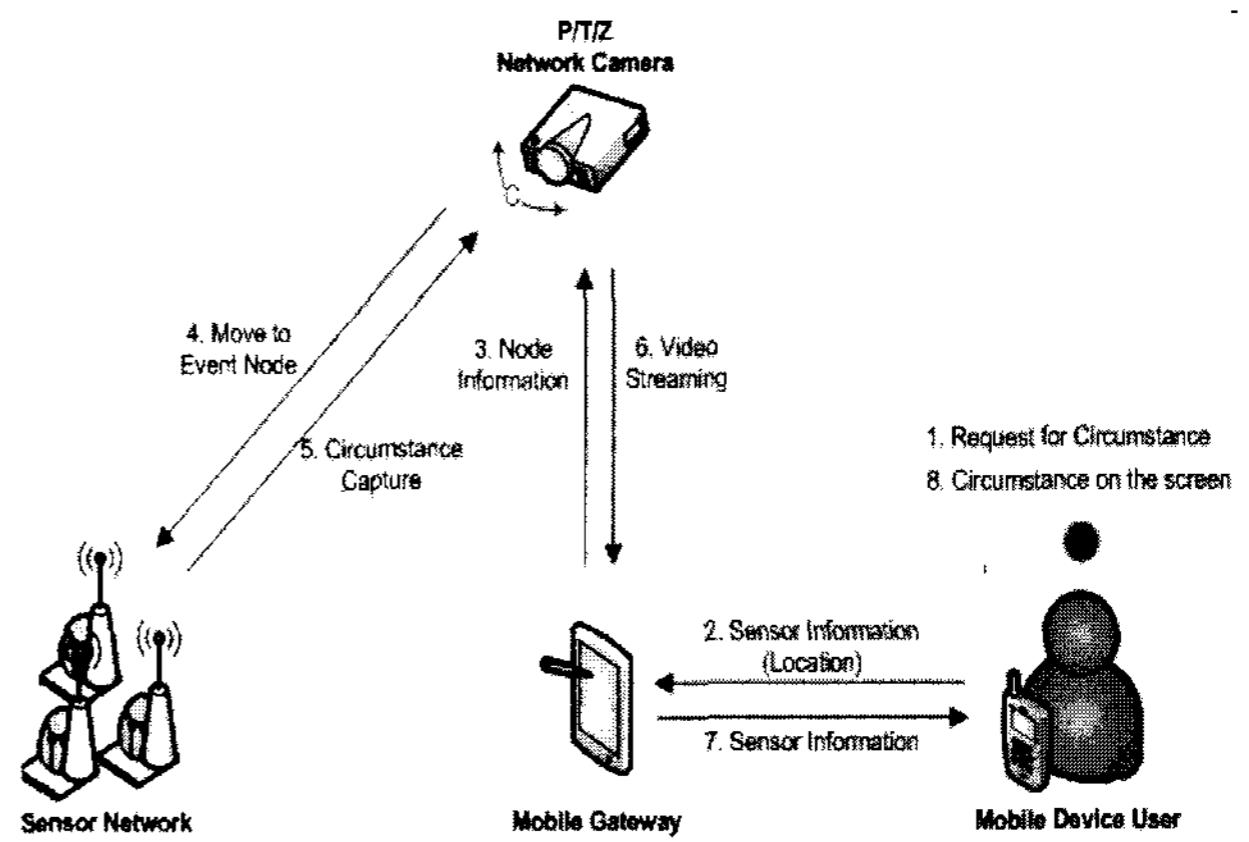


그림 7. 모바일 장치의 정보 요청 시 시스템 흐름도
Fig. 7. Processes in the case of event detection.

- (3) 이벤트가 발생한 노드의 정보를 네트워크 카메라로 전송
- (4) N/W카메라는 P/T/Z 컨트롤을 이용해 이벤트 발생 노드의 주변 정보를 촬영
- (5) 노드 정보 획득, 디지털변환 및 네트워크 패킷 캡슐화
- (6) UMPC로 영상 정보 송신
- (7) 모바일 장치로 선택된 위치의 촬영 정보 전송
- (8) 이벤트 발생한 지역 상황 확인

V. 시스템 구현 및 결과

1. 시스템 환경

센서 노드는 센서 네트워크를 구성하는 기본 요소로서, 데이터를 수집하고, 처리하며, 무선 통신 기능을 이용해 데이터를 전송하고, 중앙 처리 시스템(Base Station)으로 전송해주는 기능을 가진다. 센서 네트워크 응용분야가 다양한 만큼 여러 종류의 센서 노드들이 개발되었는데, 그 중에서도 버클리대의 MICA가 공개 소프트웨어/하드웨어 정책으로 널리 이용되고 있다. 본 논문에서는 MUSNEMO 시스템의 구현 및 테스트를 위해 직접 센서 노드들을 설계하고 개발하였다. 이미 WSN 관련 업체들은 다양한 목적으로 MOTE 개발용 툴킷을 제공하며, 대표적으로 MICA2, MICAz와 같은 MICA 시리즈가 많이 이용되고 있다. 본 연구에서는 MCU/RF 통합칩인 TI의 CC2431을 이용해, 센서 노드를 직접 설계 및 제작하였으며, 센서 노드들간 RF 통신은 2.4 GHz 주파수 대역을 사용하여 통신을 수행하였다. 근거리 데이터 송수신 기능에 위치추적 기능까지 추가한 Zigbee 고주파(RF)칩인 CC2431은 소형 7×7mm 크기에 8051 마이크로 컨트롤러와 최대 128KB 플래시 메모리, 8KB 램 등의 사양으로 구성된다. 그림 8의 좌

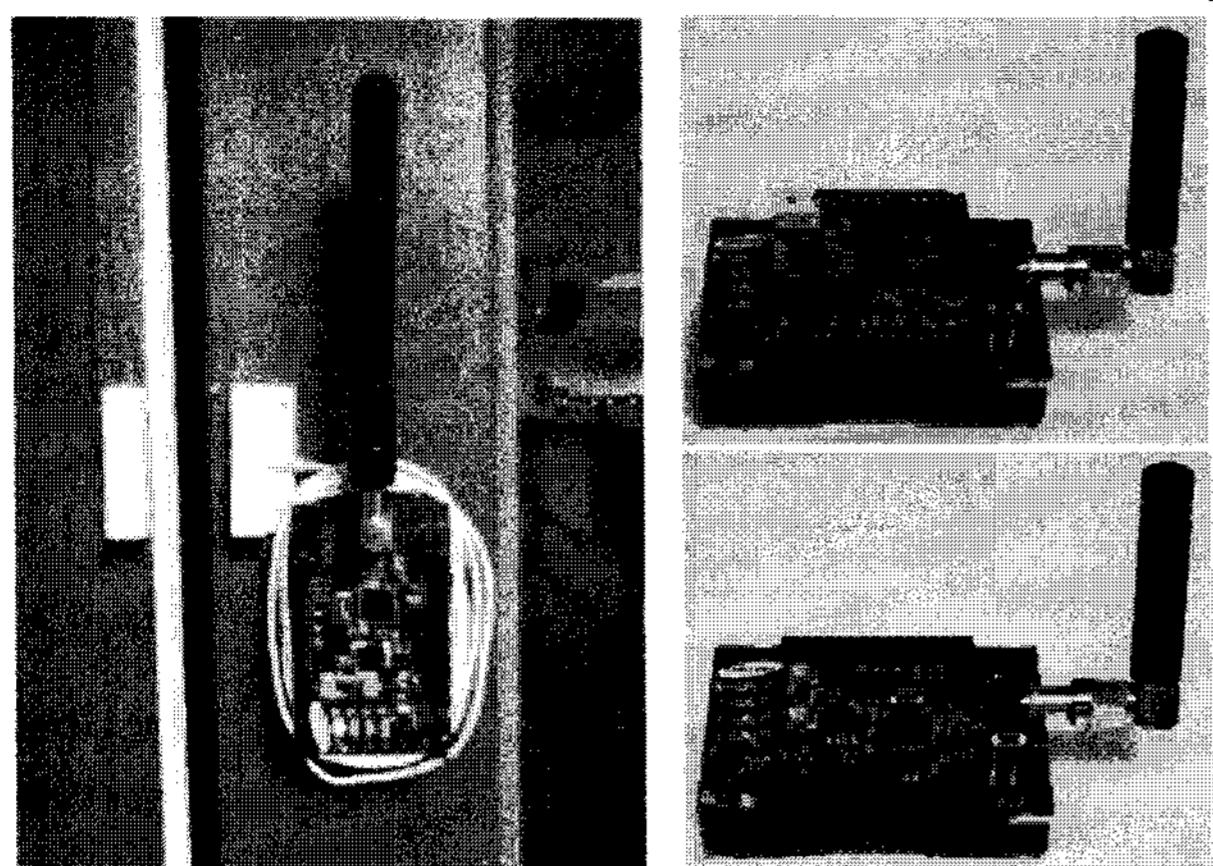


그림 8. 자기센서와함께 사무실 창문에 설치된 센서노드(좌)와 개발된 센서노드 H/W(우-상)와 응용 센서보드를 부착한 노드(우-하)

Fig. 8. A sensor device equipped on the window with magnetic sensor (left) and sensor nodes with application sensors (right).

측은 자기센서가 부착된 센서노드를 실험을 위해 사무실의 창가에 직접 설치한 화면이다. 그림 우측 하단은 CC2431 칩과 128K 플래시 메모리와 4KB의 RAM 등을 포함해 56×35mm 크기의 노드가 제작된 모습이며, 우측 상단은 실험에서 사용된 응용 센서 중 모션 센서보드를 장착한 노드의 모습이다.

실험한 사무실의 테스트베드에서는 5개의 노드에 소리, 진동, 조도, 자기, 모션 센서를 부착해 응용 센서의 정보가 발생 시 이를 네트워크 카메라가 이동해 센서 주변의 화면 정보를 애플리케이션의 유저인터페이스에 보여주게 된다. 사용된 센서의 세부 사항은 표 1과 같이 MAXFOR사의 TIPSM 보드 Type-A, C, D를 이용하였다. Type-C의 경우 모션과 소리, 자기 센서 세 가지 모듈이 부착되어 있다.

센서 네트워크는 별도의 인프라를 구축하지 않기 때문에 각 노드들은 상호간에 스스로 ad-hoc 네트워크를

표 1. 실험에 사용된 응용 센서 종류와 사양

Table 1. Type and Specification of application sensor.

센서설명 센서종류	모델명	제조사	부착된 보드
Accelerometer	ADXL203	Analog Devices	MAXFOR TIP710SM Type-D
Motion	LHI878	PerkinElmer Optoelectronics	MAXFOR TIP710SM Type-C
Microphone	WM-60AY	Panasonic	MAXFOR TIP710SM Type-C
Magnetic	AMS-10C	AMESCO	MAXFOR TIP710SM Type-C
Photodiode	51087-01	Hamamatsu	MAXFOR TIP710SM Type-A

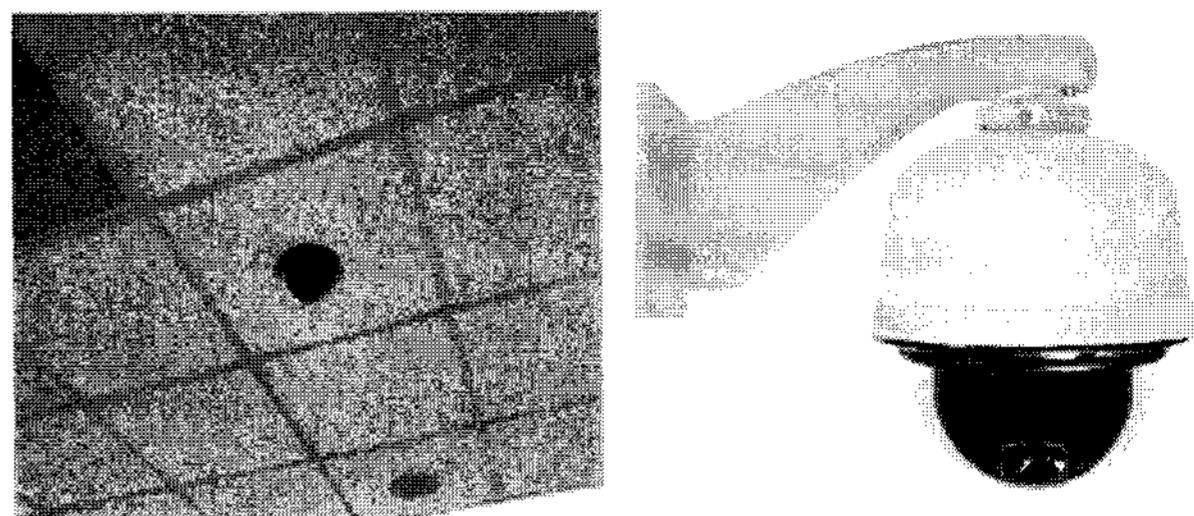


그림 9. 실험을 위해 천장에 설치된 네트워크 카메라(좌)와 벽면용거치대를 장착한 카메라(우)

Fig. 9. Camera equipped on the ceiling (left) and The I-520 network camera (right).

형성하고 라우팅을 수행해야 한다. 또한 네트워크의 특성 상 클러스터링이 필요한 경우 각 노드의 클러스터 헤더 선정 작업과 수집한 센서 정보의 전송을 위한 데이터 병합과 같은 특성을 고려해 프로토콜과 라우팅 방식을 설계해야 한다. 본 논문에서의 센서 노드들은 매시네트워크를 구축하고, 배터리의 전압을 우선순위로 라우팅의 패스를 설정하도록 설계하였다. 이는 데이터를 전송 시, 수신할 노드까지의 경로가 2가지인 경우, 배터리의 전압이 높은 쪽으로 라우팅 경로를 설정하는 에너지 인식 라우팅(Energy-Aware Routing)방식이다. 전력 소모의 효율성은 센서 네트워크에서 분리할 수 없는 근본적인 것으로 어떤 한 요소의 전력소모를 고려하여 해결되어야 한다. 이는 본 절에서 설명하는 라우팅 방식의 설계내용과 깊은 연관성이 있다. 구현한 에너지 인식 라우팅 방식은 센서네트워크의 특성 상 최대한 전력 소모량을 최소화해야 하는 특성을 고려했을 때, 매우 우수한 효과를 볼 수 있는 방식이다. 센서 네트워크 상에서 수집된 데이터는 싱크노드(Sink Node)로 모두 전송되는데, 싱크노드는 센서네트워크내의 각종 현상을 수집 및 관리하며, 외부 사용자가 특정 데이터를 요구할 경우 자신이 직접 전달을 하거나 혹은, 센서 필드에게 특정 데이터를 요청할 수 있는 기능을 가지고 있는 노드이다. 싱크노드를 통해 센서 네트워크 전체에 대한 분석과 관찰을 수행하게 되는데, 이 과정에서 싱크노드로부터 멀리 떨어진 노드들의 경우 1홉 이상의 라우팅이 필요하다. 이를 지원하기 위해 멀티 릴레이 흡 라우팅이 가능하도록 설계되었다.

센서 노드를 포함해 본 논문에서 제안하는 애플리케이션의 응용 기술에 포함된 네트워크 카메라는 CryptoTelecom사의 I-520 카메라를 이용하였다. 그림 9는 I-520 카메라의 모습과 실험을 위해 사무실의 천장에 설치된 모습이다. I-520 카메라는 Pan과 Tilt, Zoom

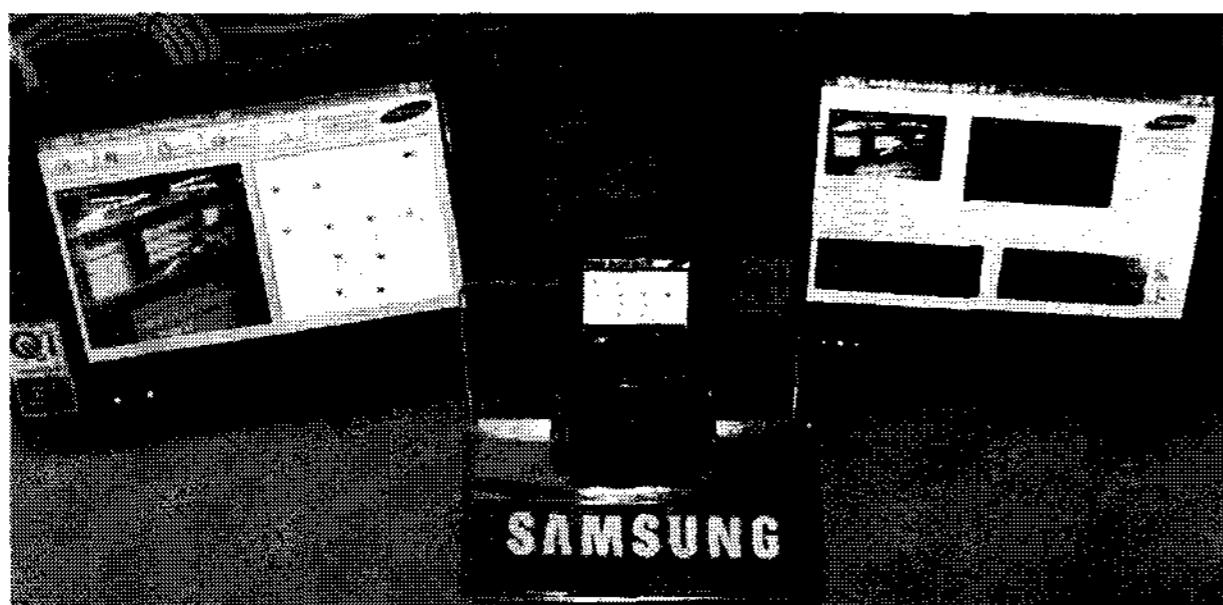


그림 10. UMPC와 MITs단말에서의 애플리케이션 실행화면

Fig. 10. Application interface on the UMPC and the MITs phone.

In/Out 기능이 지원되며, AP를 이용한 모니터링 소프트웨어 상에서 이를 제어할 수 있도록 하였으며, 센서 이벤트 발생시 네트워크 카메라의 프리셋 모듈을 통해 센서 주변 정보의 영상을 송신하도록 구성하였다. 카메라의 프리셋 기능은 카메라의 위치를 미리 설정해 두어, 소프트웨어상의 단축 인터페이스를 통해 지정해둔 위치로 이동해 화면을 보여주는 기능이다. 제안하는 시스템 상에서는 사무실에 배치된 노드들 각각의 위치를 카메라의 프리셋으로 설정해, 노드의 ID와 프리셋을 동기화 시켰다.

2. 애플리케이션 구현

제안된 MUSNEMO 시스템 구조의 검증을 위하여 UMPC와 휴대단말(MITs)에서 수행된다. 그림 10은 개발된 전체 응용 소프트웨어의 실행화면이다. UMPC는

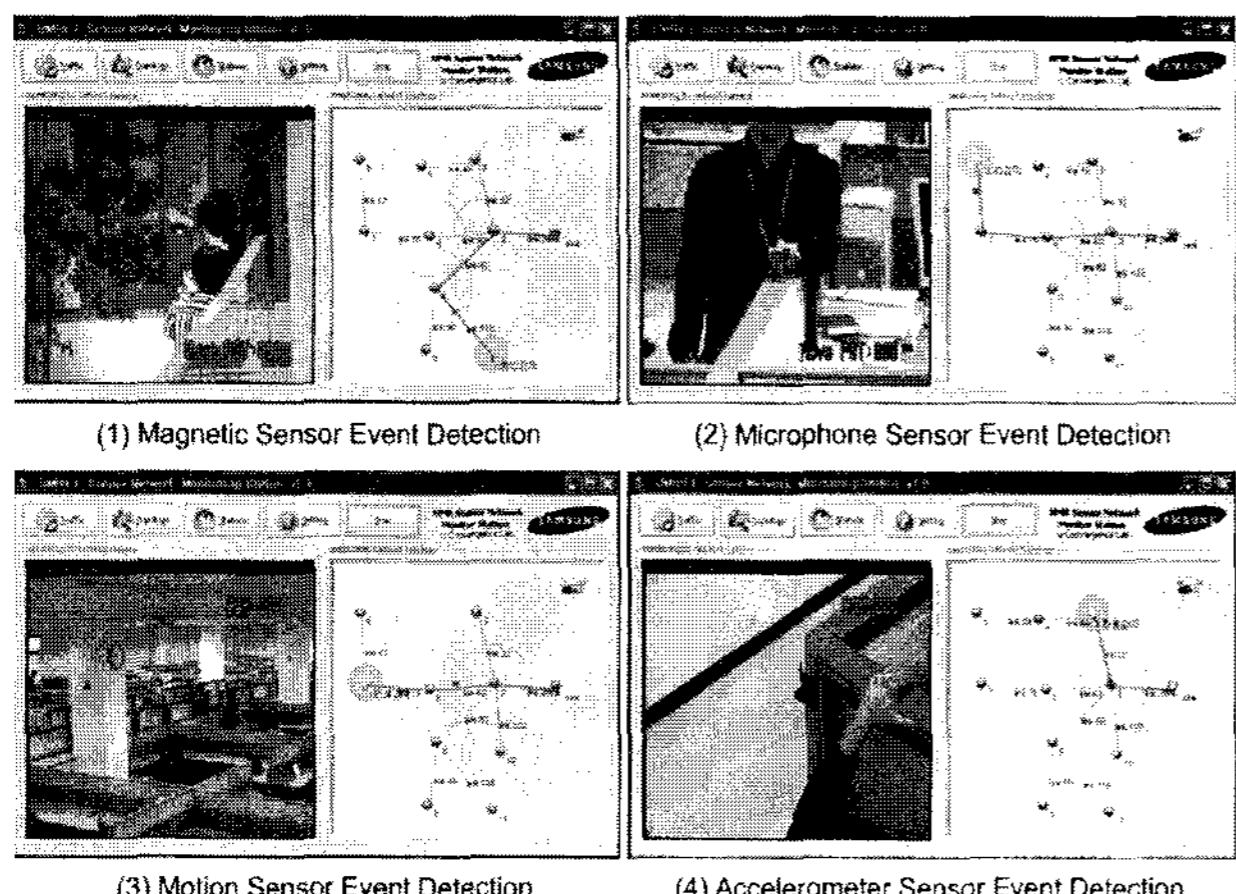


그림 11. UMPC의 애플리케이션 실행된 침입탐지(좌-상), 인체감지(좌-하), 소리감지(우-상), 진동감지(우-하) 화면

Fig. 11. Application interfaces on the UMPC for intrusion detection (1), sound detection (2), Motion detection (3), vibration detection (4).

삼성의 Sens Q1 모델을 이용하였고, 모바일 장치는 삼성의 SPH-M4500 모델을 사용하였다. 센서네트워크의 데이터를 수집하는 센서노드의 경우는 전자부품연구원에서 개발한 K-Mote를 USB 인터페이스를 이용해 연결하였다. MUSNEMO 프레임워크의 전제 구조 개발을 위해서 마이크로소프트의 C#을 이용하였고, 네트워킹 부분은 TinyOS 기반으로 nesC언어를, 네트워크 카메라의 영상은 ActiveX를 이용해 애플리케이션에 모듈화 하였다.

그림 11은 좌측상단부터 차례대로 자기(1), 소리(2), 모션(3), 진동(4)센서의 이벤트 발생 시, 사무실 내부에서의 모니터링과 게이트웨이 역할을 수행하는 UMPC 상에서의 애플리케이션 실행 화면이다. 인터페이스는 크게 상단에 제어 컨트롤들이 위치하며, 좌측 하단부에는 네트워크 카메라로부터 수신한 센서 주변 화면 영상을 출력하는 카메라뷰어가, 우측 하단부에는 사무실의 센서 노드들간의 라우팅 경로 구성과 위치를 시각화하는 토폴로지 뷰의 인터페이스가 위치한다. 토폴로지 뷰 상의 녹색 원형의 이미지는 사무실에 배치된 센서 노드들의 모습이며, 각 노드들은 노드가 설정한 라우팅 경로를 바탕으로 링크관계를 직선으로 연결해 시각화한다. 그림에서의 카메라 영상은 이벤트를 감지해 네트워크 카메라가 이벤트가 발생한 노드 주변의 화면을 보여주고 있는 장면이다. 이 때 우측의 토폴로지 뷰 인터페이스에서는 이벤트가 감지된 노드의 이미지가 붉은 색 원으로 바뀌며, 이벤트가 발생한 노드로부터 싱크까지 라우팅이 설정된 경로를 따라 패킷의 이미지가 애니메이션을 통해 동적으로 패킷의 이동 경로가 시각화되어진다.

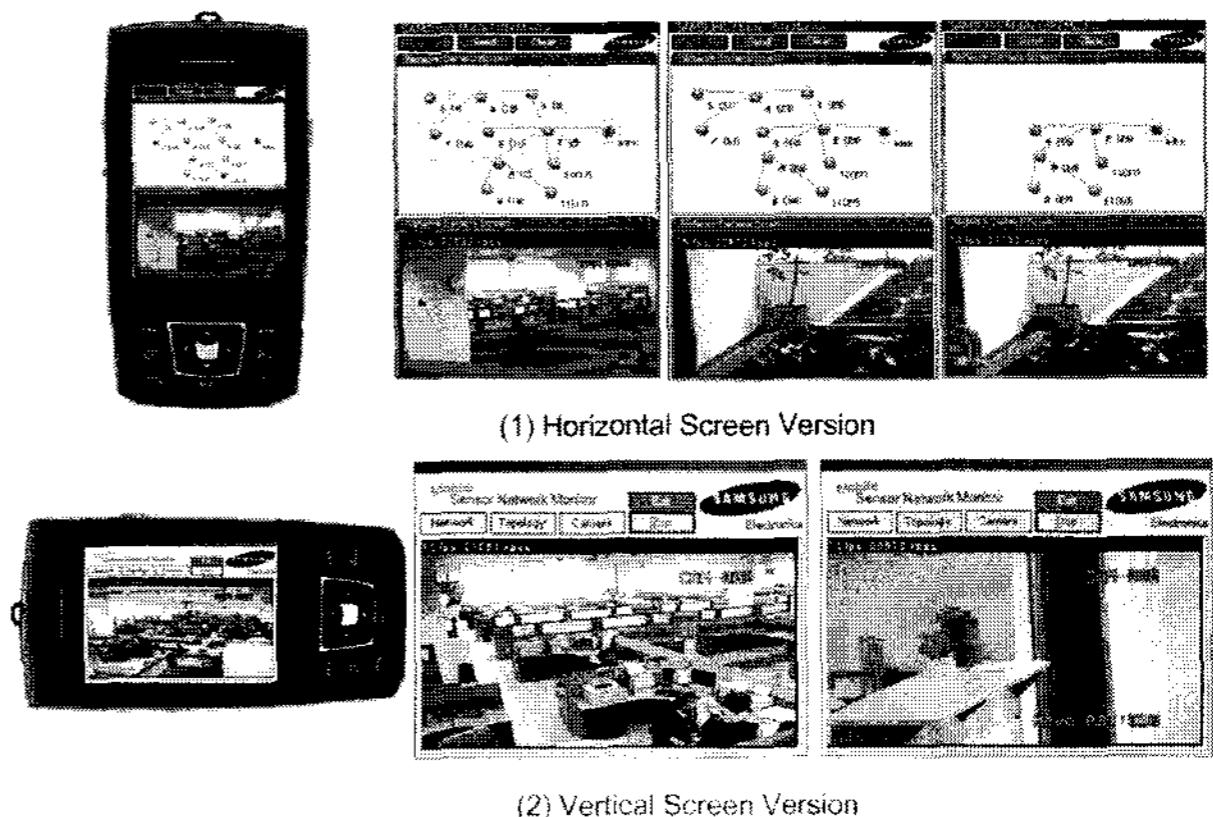


그림 12. MITs단말의 애플리케이션에서 실행된 세로 화면 인터페이스(1)과 가로 화면 인터페이스(2)

Fig. 12. Horizontal version (1)and vertical version (2) of application on the MITs phone.

그림 12는 모바일 장치(MITs)에서의 모니터링을 수행하고 있는 화면으로, UMPC의 애플리케이션 구조와는 다르게 상단에 센서네트워크 시각화 화면과 하단부에 카메라 영상의 수신 화면을 출력하도록 설계한 가로형 화면 인터페이스와 보다 큰 영상 출력을 위한 세로형 화면 인터페이스로 구현되었다. 추가적으로 센서네트워크와의 양방향성 통신을 지원하기 위해, 사용자가 현재 사무실의 원하는 위치의 화면을 보고 싶은 경우, 센서네트워크 시각화 화면상의 노드 위치에 터치스크린을 이용해 클릭하면, 노드 ID와 연결된 네트워크 카메라의 프리셋 설정을 통해 모바일 장치의 화면에 출력할 수 있도록 구현하였다.

우리는 24시간 동안의 테스트베드에서 수집된 응용센서들의 이벤트 발생 빈도와 분포를 확인하였다. 아래 그림 13은 실험에서 사용된 각 응용 센서의 시간에 따른 이벤트가 발생 분포이다. 실험용 테스트베드가 설치된 사무실의 사무원들의 활동 시간은 08시부터 22시 전후이다. 이러한 사무실의 특성으로 인해, 08시부터 22시 까지의 시간대에서는 사무실의 특성이 반영되어, 많은 이벤트가 발생함을 알 수 있다. 그러나 조도 센서의 경

우, 사무실의 활동이 점멸된 이후인 22시 이후부터, 익일 출근 시간 전인 08시까지 많은 이벤트가 발생하였다. 이는 조도센서가 어두운 곳에서 작은 반응에도 더욱 잘 반응하기 때문에 조명이 없는 밤 시간에 많은 이벤트가 발생하고, 조명이 밝은 낮 시간의 경우, 오히려 다른 센서들에 비해 이벤트의 발생이 줄어드는 것을 확인할 수 있다.

표 2에서와 같이, 시간대별 응용센서의 결과와 수집된 패킷의 통계량을 바탕으로, 각 센서들의 이벤트 발생 비율과 흡수, 노드ID별 발생률을 비교하였다.

시간대별 분포에서 확인한 바와 같이 조도센서의 비율이 가장 높았으며, 모션과 조도센서가 낮 시간동안에 가장 많은 이벤트를 탐지하였다. 자기센서의 경우 미닫이 창문의 열고 닫는 경우에만 이벤트가 발생됨으로 인해, 움직임이나 소리 등을 탐지하는 다른 응용 센서들에 비해 비율이 낮음을 확인할 수 있다. 흡수와 노드ID별 패킷에 따른 발생 비율은 라우팅 경로를 유지하기 위한 주기적인 라우팅 패킷과 이벤트 발생결과를 전송하는 응용패킷의 결과를 바탕으로 정리하였다. 표 2에서와 같이, 흡수가 낮을수록 싱크로 전송되는 패킷들의 라우팅을 처리함으로 인해 비율이 높고, 반대로 흡수가 높을수록 비율이 낮음을 확인할 수 있다.

IV. 결 론

본 논문의 목적은 센서 네트워크 기반 응용 서비스 제공시 다양한 모바일 장치를 활용하여 센서 네트워크 활용성 및 그 효용성을 더욱 높일 수 있는 시스템 구조를 제안하는 것이다. 그러므로 본 논문에서는 다양한 모바일 장치들을 기반으로 하여 센서 네트워크 애플리케이션에 활용 할 수 있는 MUSNEMO 시스템을 제안하였다. 또한 MUSNEMO 구조를 적용한 응용 모델로서 네트워크 카메라, UMPC 그리고 모바일 단말기와 같은 디바이스를 융합한 센서 네트워크 애플리케이션을 제안하였고, MUSNEMO 구조를 검증하였다. 제안 시스템의 검증을 위하여 센서 네트워크상의 노드 주변에 이벤트가 발생하는 경우, UMPC를 휴대한 실내 사용자와 모바일 장치를 휴대한 실외 사용자에게 사무실의 이상 정보를 전송하는 경우와 모바일 장치를 휴대한 외부 사용자가 사무실의 특정 위치를 확인하기 위해 모바일 장치를 이용해 사무실 영상 정보를 요청하는 경우로 나누어 테스트를 수행하여 각각의 경우 실제 이벤트 제공 유무 및 요청시 응답되는 서비스에 대한 확인 과정을

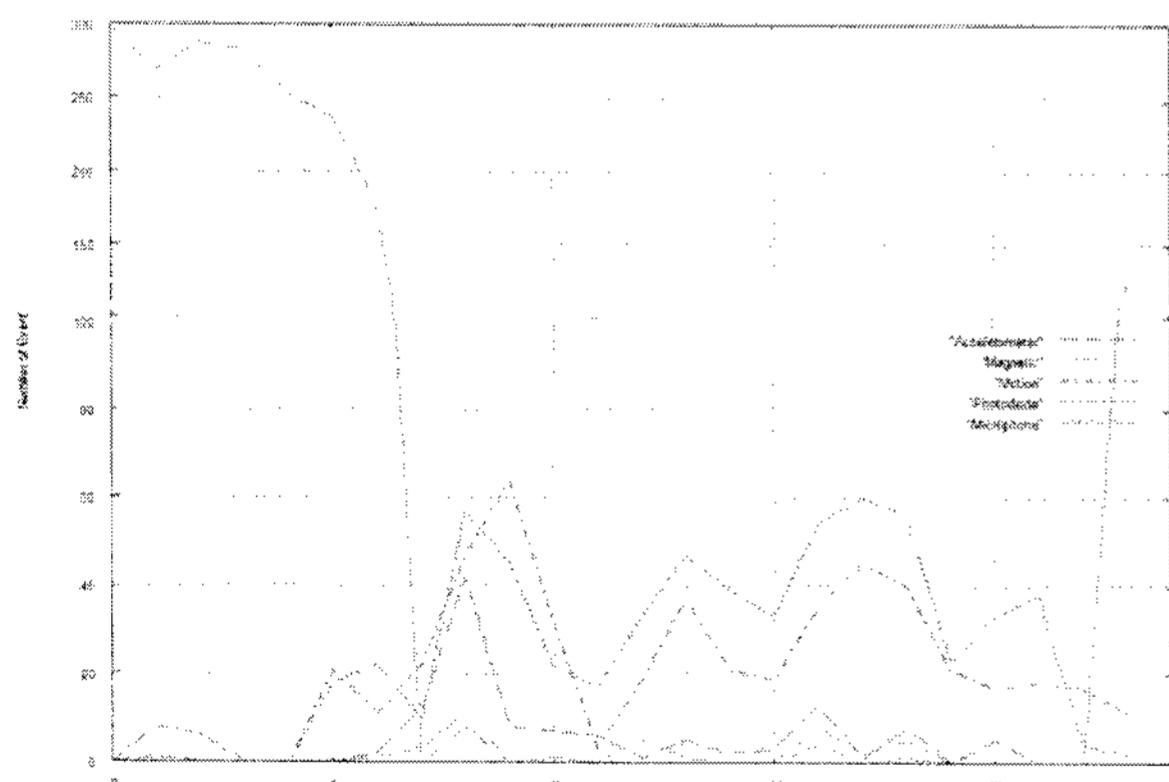


그림 13. 시간대별 각 응용센서의 패킷 분포
Fig. 13. Event counts for each application sensors per times.

표 2. 각 응용 센서와 노드별 패킷 분포
Table 2. Rates of packets for each application sensors and NodeID.

센서별 평균 패킷 발생 비율		흡수와 노드ID별 패킷 비율		
센서종류	비율(%)	흡수	노드ID	비율(%)
Accelerometer	2	0	SINK	-
Motion	18	1	2	56
Microphone	18	2	3,6,8,A	32
Magnetic	1	3	4,7,9,B	11
Photodiode	61	4	8	1

수행하였다. 또한 이러한 이벤트 시나리오는 UMPc외에도 MITs등 휴대 단말에 적용되었으며, 각각 이벤트가 발생한 시간대별 응용 센서의 패킷 분포와 센서별 노드별 패킷 발생 비율을 분석하여 빈번히 발생하는 이벤트와 라우팅 루트를 파악하여 보다 효율적인 센서 네트워크 구성에 피드백으로 사용하였다.

추후에는 본 논문에 제안된 시스템 구조와 활용 모델을 실제 환경에 적용하여 테스트를 수행하며 보다 편리하고 효과적인 서비스 제공을 위한 증강 현실(Augmented Reality)이나 센서 네트워크 3차원 모델링 등의 기술 접목에 대한 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

- [1] P. P. Jayaraman, A. Zaslavsky and J. Delsing, "Sensor Data Collection Using Heterogeneous Mobile Devices," ICPS'07: IEEE International Conference. on Pervasive Services July 15–20, 2007, Istanbul, Turkey, pp. 161–164, July 2007.
- [2] Hartung, C., R. Han, C. Seielstad and S. Holbrook, "FireWxNet: A Multi-Tiered Portable Wireless System for Monitoring Weather Conditions in Wildland Fire Environments," ICPS 2007, pp 161–164, July 2007.
- [3] R. Ballagas, F. Memon, R. Reiners and J. Borchers, "iStuff Mobile: Rapidly Prototyping New Mobile Phone Interfaces for Ubiquitous Computing," In Proc. CHI '07: Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, pp. 1107–1116, 2007.
- [4] C. Westphal, "Performance of Routing in Sensor Networks with a Mobile Access Point," Wireless Communications and Networking Conference, WCNC 2007. IEEE, pp. 4365–4370, March 2007.
- [5] S. A. Ong, "A Mobile Webserver-Based Approach for Tele-Monitoring of Measurement Devices," MobiSys06, Demonstration Paper, June 2006.
- [6] J. Barbanan, M. Diaz and I. E. B. Rubio, "RadMote: a mobile framework for radiation monitoring in nuclear power plants," CESSE 2007, pp. 160–165. WASET: Wien, Austria, 2007
- [7] L. Zhong, M. Sinclair, and R. Bittner, "A Phone-Centered Body Sensor Network Platform: Cost, Energy Efficiency User Interface," BSN 2006.
- [8] M. Souryal, J. Geissbuehler, L. Miller and N. Moayeri, "Real-Time Deployment of Multihop Relays for Range Extension," MobiSys07, San Juan, Puerto Rico, pp. 85 – 98, 2007.
- [9] S. Tian, S. Shatz, and Y. Yu, "A Framework for Querying Sensor Networks Using Mobile Devices," 1st International Workshop on Distributed Sensor Systems, ICCCN 2007, Aug. 2007.
- [10] R. G. Lee, C. C. Lai, S. S. Chiang, H. S. Liu, C. C. Chen and Guan-Yu Hsieh, "Design and Implementation of a Mobile-Care System over Wireless Sensor Network for Home Healthcare Applications," Proceedings of the 28th IEEE EMBS Annual International Conference, New York City, USA, Aug 30–Sept 3, 2006.
- [11] J.M. Quero, V. Ermolov, J.J. Santana and J. Eichholz, "Health Care Applications Based on Mobile Phone Centric Smart Sensor Network," Proceedings of the 29th Annual International Conference of the IEEE EMBS, Cite Internationale, Lyon, France, August 2007.
- [12] P. Avin, B. Brian , J. Yun, E. David, Z. Xuan, A. Aaron and C. Edward, "Interactive Visualization and Analysis of Network and Sensor Data on Mobile Devices," IEEE VAST 2006, pp. 83–90, 2006.
- [13] B. P. Pal and P. Scientist, "SensorPlanet : An open global research framework for mobile device centric Wireless Sensor Networks," MobiSensors - NSF Workshop on Data Management for Mobile Sensor Networks, Pittsburgh, January 16–17, 2007.
- [14] D.A. Fidaleo, R.E. Schumacher, and M. M. Trivedi, "Visual Contextualization and Activity Monitoring for Networked Telepresence," Proc. ACM 2nd Int'l. Workshop Effective Telepresence, ACM Press, pp.31–39, 2004.
- [15] A.S. Gunnarsson, M. Rauhala, A. Henrysson, A. Ynnerman, "Visualization of sensor data using mobile phone augmented reality," ISMAR 2006. IEEE/ACM International Symposium on, pp. 233–234, October 2006.
- [16] J. S. Woo, Q. M. Shahab, Y. M. Kwon, S. C. Ahn and H. Ko, "Research on Virtual URS and Its Service on Mobile Phone," The 3rd International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence, URAI 2006.

저 자 소 개



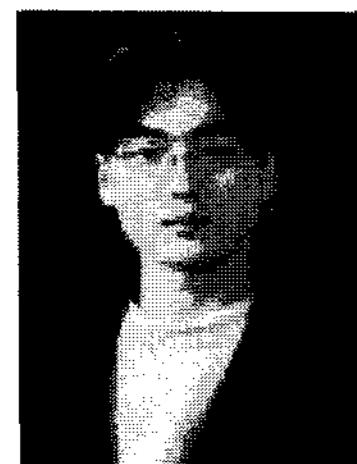
구 본 현(정회원)
 2005년 동서대학교
 정보통신공학과 학사
 2007년 고려대학교
 정보보호대학원 석사
 2007년 ~ 현재 삼성전자
 통신연구소 연구원

<주관심분야 : Mobile Security, Wireless Sensor Network, Visualization>



최효현(정회원)
 1994년 서강대학교 학사
 1996년 서강대학교 석사
 2005년 서강대학교 박사
 2005년 ~ 현재 삼성전자 통신
 연구소 책임 연구원

<주관심분야 : Ubiquitous Sensor Network,
 Wireless Mesh Network, Mobile Ad hoc
 Network, Routing Protocol>



손태식(정회원)-교신저자
 2005년 아주대학교 정보 및
 컴퓨터공학부 졸업
 2002년 아주대학교
 컴퓨터공학 석사
 2005년 고려대학교
 정보보호학 박사
 2004년 ~ 2005년 Research Scholar, Univ. of
 Minnesota
 2005년 ~ 현재 삼성전자 통신연구소 책임연구원
 <주관심분야 : Wireless/Mobile Network
 Security, Wireless Sensor Network, Anomaly
 Detection>