

# 유비쿼터스 센서네트워크에서 에너지 효율적인 망관리 프로토콜 인터페이스

김병국<sup>†</sup>, 허 경<sup>‡‡</sup>, 엄두섭<sup>\*\*\*</sup>

## 요 약

지금까지의 MANET(Mobile Ad-hoc Network)은 이동성에 따른 라우팅 경로 생성 및 유지를 위한 프로토콜과 모바일 네트워크에서의 애플리케이션 특성에 따른 QoS(Quality of Service) 보장에 관련된 연구가 활발히 진행되었다. 그러나 이러한 기준의 MANET 연구를 기반으로 설계한 USN(Ubiqitous Sensor Network)에서의 센서노드는 자원의 제한으로 인하여 이동성 및 그 외의 제약에 따른 노드 실패(node failure)와 전파 소멸(fading)로 잦은 네트워크 형태 변화를 갖는다. 그리고 제약된 에너지의 사용에 따른 오랜 시간의 센서노드 동작 지원을 위한 효율적인 에너지 관리가 필요하다. 따라서, USN을 위한 각 센서노드의 구현은 네트워크를 사용시 에너지를 고려한 설계가 불가피하다. 또한 센서네트워크 토플로지의 빈번한 변화를 감지하고 네트워크를 효율적으로 관리하기 위한 망관리 시스템(USNMS: USN management system)이 필요하다. 본 논문에서는 USN 및 MANET 환경에서 에너지를 고려한 기준의 네트워크 관리 연구들을 조사하고 분석한다. 그리고 이를 바탕으로 센서노드의 수명연장을 위해 네트워크의 사용시 효율적인 에너지 사용을 위한 소량의 데이터 및 관리 패킷을 정의하여 이를 활용해, 에너지 효율적인 데이터 수집 및 처리를 위한 네트워크 프로토콜 인터페이스를 설계하고 이를 활용하기 위한 센서네트워크 관리 시스템을 구현하여 실험과 결과를 바탕으로 에너지 효율적인 센서네트워크의 실용성을 검증한다.

## A Protocol Interface for Energy-efficient Network Management in Ubiquitous Sensor Networks

Byoung-Kug Kim<sup>†</sup>, Kyeong Hur<sup>‡‡</sup>, and Doo-Seop Eom<sup>\*\*\*</sup>

## ABSTRACT

MANET(Mobile Ad-hoc Network)s have been researched primary at routing protocols and at the guarantees of QoS(Quality of Service) for mobile environments .Otherwise the Ubiquitous Sensor Networks (USNs) have some limitations in power energies and in processing of sensing data, as well as their network topologies are frequently changed by fading off and node failures. Thus we should redesign network protocols with concerning to energy efficiency for the USNs above all. In this paper, we focus on the protocol interface for managing for USNs based on the surveys. And then we figure the topology of USNs out and design the network protocol interface to make power saved, with data gathering and processing more efficient using our designed packet structures.

**Key words:** Ubiquitous Sensor Networks(유비쿼터스 센서 네트워크), Sensor Network Management(센서 네트워크 관리), Protocol Interface(프로토콜 인터페이스)

\* 교신저자(Corresponding Author) : 엄두섭, 주소 : 대전  
시 서구 월평동 황실타운아파트 109-1001(302-280), 전화:  
02)3290-3802, FAX : 02)3290-3802, E-mail : eomds@  
korea.ac.kr

접수일 : 2009년 11월 27일, 수정일 : 2010년 4월 2일

완료일 : 2010년 5월 18일

<sup>†</sup> 정회원, 고려대학교 전자컴퓨터공학과 박사과정

(E-mail : dearbk@final.korea.ac.kr)

<sup>‡‡</sup> 정회원, 경인교육대학교 컴퓨터교육과 조교수  
(E-mail: khur@ginue.ac.kr)

<sup>\*\*\*</sup> 정회원, 고려대학교 전자컴퓨터공학과 정교수  
(E-mail: eomds@korea.ac.kr)

\* 본 연구는 민·군겸용 기술사업(Dual Use Technology Program) 개발사업의 지원으로 수행되었음.

## 1. 서 론

USN(Ubiquitous Sensor Network)을 구성하는 센서노드(Sensor Nodes)들은 모든 사물에 부착이 될 수 있다. 따라서 각 센서노드들이 소형화되어야 하고 그에 따라 전력과 컴퓨팅 능력 그리고 메모리 크기에 제한을 많이 받는다. 게다가 USN을 구성하는 센서노드의 수가 많고 현장에 노드들이 불규칙하게 배치되기 때문에 네트워크 토플로지를 예상하기 어려우며, 빈번한 노드들의 추가와 제거에 의해 센서 네트워크의 형태가 빈번하게 변하는 특성이 있다. 따라서 USN에서는 효율적으로 망을 관리하기 위한 망 관리 시스템 (USNMS: USN Management System)이 필요하다.

USN을 구성하는 각각의 센서노드는 내부 운영 및 제어를 위해 응용프로그램에 크게 전력관리자(PM: Power Manager), 이동관리자(MM: Mobile Manager) 그리고 태스크 관리자(TM: Task Manager)를 구성한다. PM은 센서노드의 효율적인 전력 사용을 통해 노드의 동작 수명을 연장할 수 있도록 장치를 제어하는 중요한 요소이다. 센서노드는 부착된 센서들과 데이터 전달을 위한 RF 장치에서 내부 전력을 대부분 사용한다. 이 중 RF 장치의 제어를 통한 효율적인 한 가지 관리 방법으로는 중복 메시지(duplicated messages)의 수신을 차단하고 내부 전력의 잔량이 특정영역(Power Threshold) 이하로 고갈된 이웃 노드와의 통신을 중단시키는 것이다. 중복 메시지 수신을 피하기 위한 한 가지 방법으로 이웃 노드 중 하나로부터 메시지를 받으면 더 이상의 메시지 수신을 방지하기 위해 수신기(RF receiver)의 전원을 차단 한다. RF 장치는 동작모드에 따라 4가지의 서로 다른

상태(송신, 수신, 대기(Idle), 차단(Sleep or shutdown))로 변할 수 있다. 이 중 차단을 제외한 나머지 상태들은 전력을 많이 소모한다. RF의 운영 중 수신 상태에서 가장 많은 전력을 소모하며, 대기상태 또한 이와 비슷하게 사용한다[1]. 또한 자신의 전력량이 낮은 센서노드로부터 송신되는 RF 신호는 상대적으로 신호의 세기(RSSI)가 미약해져 이웃 센서노드들의 통신에 방해가 될 수 있기 때문에 전력량이 임계값 보다 낮은 경우, 이웃 노드에게 미리 전력에 관련된 정보 메시지를 전달하여 더 이상 네트워크에 참여하지 않음을 알려 전력 소모(power consumption)를 막을 수도 있다.

이동성을 지원하는 센서노드의 경우 MM은 GPS (Global Positioning System) 등을 활용하거나 이웃 노드들의 정보가 변함을 분석하여 센서노드의 이동을 수시로 감지하여 자신의 네트워크 테이블의 노드 추가 및 제거를 수행하여 항상 데이터 전달 경로(라우팅 경로: Routing Path)가 유지될 수 있도록 관리하여야 한다. 라우팅 경로의 유지는 무선에서의 메시지 전달에 따른 전력소모와 밀접한 관계가 있다. 또한 TM은 이웃 노드가 누구인지를 관리함으로써 효율적인 전력 관리와 태스크 수행 조절이 가능할 수 있다. 태스크 관리 기능은 특정 지역에 분포된 센서의 동작을 조절하고 관리하며, 모든 센서노드들이 동시에 같은 장소의 센싱 작업을 하지 않도록 관리함으로써 전력소모를 줄일 수 있다. 표 1은 본 논문에서 정의한 네트워크 계층별로 관리 영역에서 전력소모와 관련된 수행하는 기능들을 각각 구분하여 보여준다.

본 논문에서는 다양한 응용 환경에서 사용되는 센서네트워크를 효율적으로 관리하기 위하여 센서노

표 1. 각 계층에 따른 관리 기능

계층	전력 관리	이동 관리	작업 관리
응용	에너지 효율을 고려한 망 관리	이동성을 고려한 태스크 및 망 관리	센서의 동작 및 센싱주기 관리
전송	데이터 중복을 최소화하기 위한 메시지 통합	이동 후의 데이터 흐름 유지	이웃 노드간의 센싱 동기화 및 주기 데이터 전송
망	에너지 효율을 고려한 라우팅	이동에 따른 라우팅 갱신을 통한 경로 유지	이웃 센서노드의 센서장치 테이블의 관리
링크	RF의 On/Off 제어 및 프레임 최소화	물리계층 제어를 통한 이웃 노드 검색 및 위치 인식	물리계층의 센서 장치 및 액추에이터 제어
물리	에너지 효율적인 매체선택 및 적절한 변조방식 선택	GPS 및 RF 모니터링을 통한 이동성 감지	태스크 요구사항을 고려한 매체 선택

드 및 싱크노드(Sink node)로부터 망관리 정보(Network Management Information)를 수집하여, 어떻게 관리하는 것이 효율적인 방안인지를 협존하는 연구 사례들을 통하여 다룬다.

본 논문에서 다루는 내용은 다음과 같다.

- Ad-Hoc을 지원하는 USN을 효율적으로 관리할 수 있는 기존의 망관리 기술들을 특징별로 조사 분석하고, 각 연구에서의 문제점들을 제시한다. 그리고 이러한 문제를 해결하기 위한 센서네트워크의 특성을 고려한 망관리 시스템을 설계한다.
- 망관리를 위하여 센서노드 및 싱크노드로부터 수집되어야 할 필요항목들을 정의한다.
- 망관리 데이터의 효율적인 수집 및 관리를 위한 망관리 프로토콜을 설계한다.
- USN 관리 시스템의 구현을 통한 본 논문에서 제안한 망관리 프로토콜의 효율성을 검증한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 USN 및 MANET(Mobile Ad-hoc NETwork)환경에서 망관리를 위한 본 논문과 관련된 협존하는 연구들을 조사하고 분석하여 각 문제점들을 도출한다. 그리고 3장과 4장에서는 도출된 문제를 해결하기 위한 망관리 프로토콜 인터페이스를 설계하고 이를 활용하기 위한 망관리 시스템을 구현한다. 5장에서는 실험 결과 및 분석을 바탕으로 본 논문의 효율성을 입증한다.

## 2. USN에서의 망관리 기술

MANET과 비교하여 USN에서는 소량의 제한된 전력을 사용하기 때문에 장시간의 동작을 위하여 효율적으로 내부 전력을 운영하여야 한다. 따라서 각 센서노드에서의 전력 관리는 매우 중요하다. 지난 몇년 동안 센서네트워크는 군사 및 과학 분야에서만 주로 다루어왔지만 최근에 들어서부터 유비쿼터스 컴퓨팅을 고려한 스마트 홈, 스마트 오피스 그리고 스마트 대학 등으로 이전 및 응용되고 있다. 센서네트워크의 활용이 증가함에 따라, 센서네트워크 사용자들은 다양한 센서 장치들의 제어 및 설정 등과 관련한 또 다른 문제들에 직면하게 되었다. 이에 센서네트워크를 관리하기 위한 기술이 필요하게 되었다.

UPnP(Universal Plug and Play) 기술은 네트워크에 연결된 노드들간에 복잡한 설정 절차 없이도 통신

을 가능하도록 하기 위해서 사용되며, 단지 노드를 네트워크에 연결만 시켜주면 기존에 네트워크 상에 연결된 노드들이 자동으로 새로 추가된 노드를 발견하여 제어할 수 있는 수단을 제공해준다. 따라서 이 아키텍처는 센서네트워크의 관리를 위한 문제 해결로써 하나의 좋은 해결책이 될 수 있다. 이를 적용하여 센서네트워크의 설정 및 장치의 검색을 사용자의 제어 없이 자동으로 수행할 수 있다. 따라서, 연구 [2]는 UPnP 기반의 센서네트워크 관리할 수 있는 아키텍처 BOSS(Bridge Of the SensorS)를 제안한다. UPnP는 TCP/IP의 상위계층에서 동작하기 때문에 센서노드에서의 동작에는 적합하지 않다. 따라서, UPnP를 지원하는 센서네트워크 관리 아키텍처인 BOSS는 UPnP 제어부(Control Point)와 이 UPnP를 제공하지 못하는 센서노드들 사이의 중계자 역할을 수행한다. UPnP 제어부는 BOSS를 통해 연결되는 센서네트워크를 관리하는 PC 및 PDA가 이에 해당한다. BOSS는 센서네트워크와 UPnP 제어부 사이에서 XML기반의 UPnP 메시지를 전송하고 전송된 UPnP 메시지를 파싱 후 센서네트워크를 통한 노드의 관리 및 그 노드로부터 망관리 정보를 수집하여 최종적으로 UPnP 메시지를 생성하여 제어부에 전달한다. 서로 다른 센서네트워크 응용분야(예: 구조물감시, 화재감지, 자동조명)을 다수의 UPnP를 사용하여 하나의 제어부에 의해 관리할 수 있으며 능동적인 망관리가 가능하다. 센서노드의 전력을 관리하기 위하여 센서노드의 배터리 잔량 확인 및 내부 센서 장치의 동작모드의 변경을 통한 전력제어 제공하는 전력 관리자(Power Management) 기능을 BOSS는 포함하고 있다. 그러나 대부분의 센서노드에서의 전력은 센서노드간의 통신을 위한 RF와 감찰을 위한 센서 장치에서 대부분이 소모된다. 장착된 센서 장치만의 동작 모드를 제어한 효율적인 에너지 관리에는 전반적으로 제한적이다. 따라서, 센서노드의 효율적 에너지 사용을 위해서는 센서네트워크에서의 에너지를 고려한 라우팅 경로 관리 및 RF를 통한 데이터 전송 주기의 관리 그리고 같은 지리적 공간을 공유하는 센서 장치들의 센서노드간의 상호 협상을 통한 감찰 주기의 변경 등을 같이 고려하여야 한다. 그러나 이 시스템은 기본적으로 Win CE운영체제를 기반으로 한 PDA 장치를 하나의 센서노드로 사용을 한다. 따라서 각 센서노드는 높은 사양의 처리율을 제

공하며 상대적으로 큰 부피를 갖는 문제가 있다.

MANNA[3]는 Policy 기반 망관리 시스템으로 무선 센서네트워크 모델과 MIB(Management Information Base) 사이의 관계를 정의한다. Function areas, Management levels, and WSN functionalities로 구성되어 있다. MIB의 업데이트와 분석을 통해 동적으로 무선 센서네트워크를 관리하도록 설계되었다.

RRP[4]의 기능은 다음과 같이 생산 영역(manufacturing area), 운송 영역(transportation area), 창고 및 서비스 영역(warehouse and service area)으로 구성되어 있다. 생산 영역에서 센서노드들은 원시데이터를 생성하는 소스(source) 노드 또는 원시데이터를 필터링 하는 집합(aggregation) 노드로 구분되어 동작한다. 집합 노드는 데이터가 운송 영역으로 가기 전에 전송 방법과 플러딩 지역(flooding zone)을 결정한다. 운송 영역에서는 생산 영역에서 받은 데이터를 앞서 결정된 사항에 따라 한 개 또는 여러 개의 베이스 스테이션으로 보낸다. 여기에서 데이터의 플러딩 기능이 특정 영역에서만 동작할 수 있도록 지역단위 플러딩(Zone-flooding) 기법을 사용하여 새로운 라우팅 경로를 발견하고 전체적으로 네트워크 토플로지 유지에 따른 에너지 소비에 따른 비용을 감소시킨다. 창고 및 서비스 영역에서 센서노드들은 SPIN 토플로지를 사용하여 베이스 스테이션에서의 정보 내부 손상을 방지한다. 메세지는 오버헤드가 작고, 높은 신뢰도를 위해 플러딩 지역의 크기를 맞춘다. 그러나, 플러딩 기법은 지역범위의 크기를 떠나서 라우팅 경로를 통한 데이터 전달에 의해 상당한 전력소모를 필요로 하는 문제를 갖는다.

센서네트워크의 상태를 모니터링 하는 상호반응적인 시스템으로 두 개의 주요 관리 함수(Query-based network health data collection와 Event logging)를 제공한다. Query-based network health data collection 기능은 질의(Query)에 의해 사용자가 노드 상태의 물리적 항목들(parameters)을 수집하여 모니터링 할 수 있도록 한다. Event logging 기능은 이벤트 파라미터를 정하여, 노드들이 특정한 이벤트 임계 값(Threshold)에 도달하면 이를 알리도록 한다. 신뢰성 있는 전송을 위해 Drip 프로토콜을 사용하였다. 질의가 있을 때만 오버헤드가 발생하기 때문에 메모리와 네트워크 트래픽에 영향을 적게 준다

는 장점을 가지고 있다. 또한 여러 개의 질의를 한 개의 메시지에 묶어 보냄으로써 에너지 소모를 줄일 수 있다. 수동적인 모니터링에만 한정되어 사용되는 단점이 있다.

망관리 및 네트워크 장치와 그들의 동작을 감시, 통합하는 프로토콜로 두 가지의 기능을 제공한다. 먼저 네트워크의 현재 상태를 나타내는 센서 모델과 다양한 망관리 함수를 정의한다. 그 후 망관리 함수의 수행을 통하여 네트워크 상태를 검색하기 위한 알고리즘과 툴을 제공한다. 네트워크의 상태를 주기적으로 측정하여 관리자는 네트워크를 모니터링 하여 관리할 수 있는 기능이 있으며, 네트워크 토플로지 검색을 위한 알고리즘으로 TopDisc 또는 STREAM 을 사용하였다.

WinMS (Wireless Sensor Network Management System)[5]는 무선 네트워크 환경을 위한 적응적인 정책 기반의 관리 시스템이다. 최종 사용자인 관리자는 이벤트 트리거나 구체적인 관리 테스크에 사용될 센서노드의 관리 파라미터 임계치를 미리 정의해 놓는다. TDMA(Time Division Multiple Access) 기반의 FlexiMAC으로 노드간의 통신을 스케줄링 하여 효율적으로 센서노드의 데이터를 전송한다. 센서노드들은 스케줄링을 하기 때문에 경쟁 없이 MAC 계층간에 통신이 가능하다. WinMS는 지역 중심적인 관리 방식을 제공하여 네트워크가 변화하는 상태(예: 토플로지 변화, 이벤트 감지)에 적용할 수 있도록 한다. 지역단위로 관리하는 센서노드 기능의 구현 및 동작이 상당히 복잡하며, 하나의 관제 시스템에 의해 관리되는 시스템에서는 오히려 실시간 감지에 문제가 발생될 수 있다.

Agilla[6]는 사용자가 특수 목적의 작업을 수행하기 위한 네트워크에서 모바일 에이전트(mobile agent)를 배치할 수 있게 해주는 망관리 미들웨어이다. 센서노드들은 다중의 에이전트에 의해 모니터링 될 수 있으며, 네트워크 상황의 변화에 따라서 모바일 에이전트는 그들 스스로 이동 가능하다. Tuple space는 공유된 데이터 저장 공간이다. 노드가 매칭되는 이벤트를 감지하면 tuple space에 매칭하는 tuple을 업데이트 하고, 에이전트에 알리기 때문에 주기적인 폴링 을 필요로 하지 않는다.

Mobile Agent-Based Policy Management[7]는 관리자가 사전에 관리 규칙을 정해 놓으며, 그 규칙

에는 상태와 이 상태를 만족할 경우 수행할 작업을 계층적으로 정의되어 있다. 우선 가장 높은 레벨의 PM에서는 여러 개의 CPA를 관리하고 네트워크의 상태가 바뀌는 경우 이에 맞도록 네트워크의 형태를 바꾼다. CPA는 한 클러스터 내에서 가장 좋은 리소스를 지닌 노드로 여러 개의 LPA를 관리하며, LPA는 센서노드를 관리하고 상위 계층으로부터 전달 받은 정책을 수행한다. 사용자가 관리 기능을 수행하려 하면 정책 매니저(policy manager)는 먼저 정책을 액세스 포인트(access point)로 전송한다. 액세스 포인트는 전송 받은 정책을 클러스터(cluster)의 헤더로 클러스터 헤더는 센서노드로 전달하게 되고, 데이터를 가지고 있는 센서노드는 에이전트에 이를 알리고 에이전트는 반대로 클러스터 헤더로 결과적인 센서데이터를 전달하는 구조를 가진다.

Sectoral Sweeper[8]는 섹터별로 구분된 Sweeper가 네트워크의 지역을 관리하기 위해 네트워크에 놓여있다. Sweeper는 자신이 책임지고 있는 지역에 있는 센서노드에게 브로드캐스팅을 통해 태스크를 전달하며, 한 흄(hop)내에서 전송이 이루어지기 때문에 에너지 소모를 줄여줄 수 있는 장점이 있다. 센서노드들은 태스크를 받기 전까지 슬리핑 모드를 유지하면서, 주기적으로 깨어나 수행할 태스크가 있는지 확인한다. Sweeper로부터 태스크를 받으면 슬리핑 모드에서 ENGAGE 상태 또는 ROUTE 상태로 들어간다. 다시 태스크 영역에서 벗어나면 슬리핑 모드로 들어가면서 에너지를 보존한다. 싱크노드에서 내부 데이터 분열과 redundant 데이터 트래픽을 감소시켜 주는 장점이 있다. Sweeper의 배치에 대한 매뉴얼이 필요하다는 단점을 지닌다.

Intelligent Agent-Based Power Management[9]는 Belief, Desire, Intention 패러다임을 사용한 관리 시스템으로, Belief는 에이전트가 사실이라고 생각하는 센서노드의 상태를 나타내며, Desire는 Belief를 평가하기 위해 미리 정해 놓은 상태로 Belief가 Desire와 일치하면 그에 맞는 위탁 관리 기능(Commitment Management Function)을 수행하는 구조를 띤다. 베이스 스테이션은 모바일 에이전트를 투입하여 센서네트워크내의 센서의 배터리 수명을 알아낼 수 있다. 또한, 배터리 수명이 짧은 센서를 발견하면 센서의 Sampling rate 줄여서 노드의 전력을 관리할 수 있다.

USN에서 망관리를 위한 시스템은 독자적인 프로젝트의 목적을 위해서 진행되고는 있지만 범용 네트워크 또는 이기종으로의 확장 및 통신 지원 등의 명백한 프로토콜 인터페이스 및 메시지 체계 등은 정의되어 있지 않고 있다. 아울러, 현존 연구들의 단점을 극복하고 실질적 환경에 적용될 수 있는 센서네트워크의 망관리 시스템을 위하여 필요한 항목들을 표 2에 정의하였다.

센서노드의 고장은 전체 센서네트워크의 토플로지 변화에 큰 영향을 미친다. 고장의 발생으로 인한 데이터 및 라우팅 경로 손실은 센서네트워크를 재차생신을 위한 기능을 수행하도록 한다. 이 과정은 대부분은 플러딩 기법에 의하여 네트워크가 형성되는데, 이 플러딩 기법의 잣은 사용은 막대한 전력소모를 야기시키며, 이러한 과정에 실질적 환경 감시기능을 수행할 수 없는 문제가 발생하게 된다. 해결을 위한 방법으로는 주기적으로 센서노드의 고장정보를 관리하고 위험범위의 임계치(Threshold)에 도달하게 되면, 서버 및 싱크노드를 통해 해당되는 이웃한 노드간의 라우팅 테이블 갱신기능을 통해 전체적인 네트워크 토플로지를 변경시킬 수 있다. 이러한 관리를 통해 네트워크의 센서노드 구성을 관리할 수 있으며, 각 센서노드로부터 수집된 데이터 또한 관리하는 기능도 필요하다.

센서노드의 파라미터들(parameters)을 제어하여 전력소모를 최소화해 결과적으로 노드의 수명을 최

표 2. 센서네트워크에서 망관리를 위한 요소들

관리 항목	설명
고장 관리	센서네트워크의 구성 요소인 센서노드, 싱크노드 그리고 센서게이트웨이의 시스템 고장 정보를 관리하고 기정의된 임계치(Threshold) 정보를 관리하는 기능
구성 관리	센서노드간, 게이트웨이와의 네트워크 운영 정보 관리 기능을 수행하여 네트워크를 구성하고 관리 또는 센서노드들로부터 수집된 데이터들을 관리
전력 관리	센서노드의 수명을 최대한 연장하여 센서네트워크를 장시간 유지시키기 위한 관리
운영/제어 관리	서버의 UI를 통해 센서노드의 센서의 챔플링의 감도 및 센싱 주기의 제어 또는 실행기(Actuator)를 제어
기타	보안 관리, 과금 관리, 로그(Log) 등

대한 연장시킬 수 있다. 제어되는 파라미터들은 프로세서의 상태(Idlesleep, suspend 등)제어, RF 장치의 상태(RF장치의 켜/꺼 그리고 출력세기의 조정) 그리고 각 센서의 동작 주기 및 민감도 설정 그리고 실행기(actuator)의 동작 제어 등이 있다. 관리서버에 의해 각 센서노드의 상태를 주기적으로 감시하고 센서노드의 동작을 제어함으로써 전력소모를 줄일 수 있다.

센서노드들을 제어하는 end-user는 사람 또는 서버컴퓨터가 될 수 있다. 사용자에게 명령전달의 편의를 위하여 GUI 형태의 인터페이스 제공이 필요하다. 그 외 서비스업체에서 제공되어야 할 보안 및 과금 그리고 로그(log) 관리 등이 필요할 것이다.

### 3. 프로토콜 인터페이스 및 망관리 시스템 설계

#### 3.1 시스템 개요

본 논문에서는 제안한 프로토콜 인터페이스의 활용을 통한 센서네트워크의 관리를 수행하기 위해 간단한 파일럿 시스템(Pilot System)을 구현하였다. 그림 1은 실험을 위해 구성된 시스템의 전체적 시나리오를 보여준다. 그림에서와 같이 일반적인 센서네트워크를 활용한 감시 및 제어를 위한 시스템을 구성하기 위해서는 센서네트워크, 인터넷 그리고 이동통신망의 세 가지의 네트워크를 필요로 하게 된다. 센서네트워크는 환경 감시를 위한 저전력 센서노드들에 의해 형성된 네트워크이며, 이 네트워크는 다른 망과 연동되어 인터넷 또는 이동통신망에 연결될 수 있어야 한다. 따라서 센서네트워크는 서로 다른 네트워크 간의 통신을 위한 게이트웨이(Sensor Gateway)

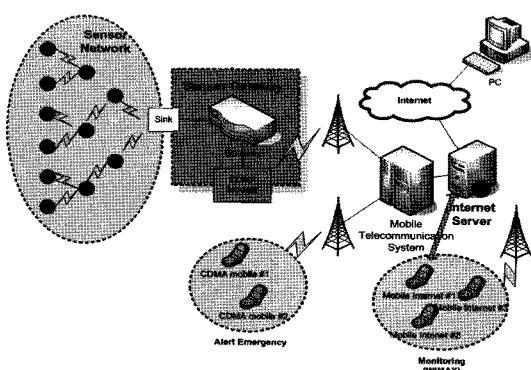


그림 1. 파일럿 시스템 개요

가 반드시 필요하다. 이 파일럿 시스템은 세 가지의 네트워크(센서네트워크, 이동통신망, 인터넷)를 사용한다. 이중 센서게이트웨이(Sensor Gateway) 시스템은 센서네트워크와 이동통신망 또는 인터넷의 접속이 가능하여 상황에 따라 인터넷 서버에 정보를 알리거나 위급한 상황이 발생하면 이동전화 사용자에게 문자 메시지를 알려주는 기능을 수행한다.

#### 3.2 프로토콜 및 패킷 구조

센서 네트워크 토플로지가 형성되고 각 센서노드에서 환경 감지 기능이 수행되면, 이 감지된 환경 정보들은 라우팅 경로를 통해 주기적으로 싱크노드(Sink Node)로 전달된다. 센서네트워크에서 전송되는 데이터 패킷은 기능에 따라 두 가지로 분류될 수 있다. 각 센서노드들로부터의 생성된 수집 정보가 라우팅 경로를 통해 전달되는 과정에서 데이터 추가(appending) 과정을 통하여 싱크노드로 집결되는 상태보고 패킷(Reporting Packet)이 있으며, 싱크노드가 특정 센서노드로부터 데이터를 성공적으로 수신하였음을 알리는 응답 메시지(ACK) 전달 기능 또는 싱크노드가 개별 센서로 제어 데이터를 전달하기 위한 용도로 사용되는 제어 패킷(Control Packet)이 있다.

각 패킷의 종류에 따라서 상태보고 패킷은 그림 2의 (A)와 같이 센서노드들로부터 싱크노드로, 제어 패킷은 (B)와 같이 싱크노드에서 센서노드들로 전달되는 패킷이라 볼 수 있다. 본 논문에서는 싱크노드와 센서노드간의 P2P 통신을 위한 데이터 패킷을 표 3과 같이 구성하였다. 이 패킷은 싱크노드로부터 명령코드(또는 명령 메시지)를 센서노드에게 전달하기 위해 주로 사용된다. 데이터 패킷은 특정한 센서노드를 제어하기 위한 용도로 사용될 수 있다. 제어하기 위한 목적지 센서노드의 ID 정보가 맨 처음 필드에

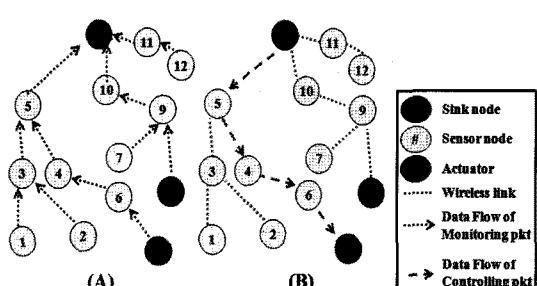


그림 2. 패킷의 종류에 따른 데이터의 흐름

지정되는데, ID 정보는 데이터 패킷을 전달하기 위한 목적지 주소로 사용된다. 목적지의 주소는 0x0001부터 0xFFFF까지 설정이 가능하며, 0x0000은 브로드캐스팅을 사용하여 전체의 모든 센서노드에게 동일한 패킷을 전달시키기 위한 용도로 사용된다.

SEQ 항목은 전송될 패킷을 구별하기 위한 기능으로 순차표현의 용도(Sequence Number)로 사용되며, 0x00~0xFF까지의 값을 갖는다. 각 시퀀스 번호는 매번 전송될 때마다 1씩 증가하며 전송될 패킷의 시퀀스 번호가 0xFF가 되면 다음 패킷의 시퀀스 번호는 0x00 값부터 시작된다. Flags 필드는 데이터 패킷의 전달 우선 순위(Urgent, Normal)와 센서노드를 단지 센싱만을 수행하는 센서노드와 다른 센서노드들의 데이터를 전달하는 기능을 수행하는 라우터로 구분하여 설정하기 위한 용도로 사용된다. 이에 따라 Flags 필드의 각 비트별 위치에 따른 정보는 Bit0: Reserved, Bit1: Router, Bit2:Sensor, Bit3:Urgent, Bit4: Act Req, Bit5~7: Reserved와 같이 정의된다.

센서노드가 센싱 기능과 라우팅 기능을 모두 수행한다면 비트 1과 비트 2는 모두 설정된다. Num 항목은 메시지에 포함된 페이로드의 숫자를 나타낸다. 각 페이로드는 센서노드에 장착된 다양한 센서 및 액추에이터 등을 개별적으로 제어하기 위한 용도로 사용될 수 있다.

Payload 항목은 다시 프로파일 ID, 보조 프로파일 ID, 데이터 크기 그리고 데이터 항목으로 나뉜다. 프로파일 ID 항목은 해당 센서네트워크가 지원하는 특

정 응용을 식별하며, 보조 프로파일 ID 항목은 특정 응용에 관련하여 행하고자 하는 특정 제어를 식별하기 위하여 사용된다. 데이터 크기 항목은 페이로드의 전체 길이를 나타낸다. 데이터 항목은 특정 응용의 특정 제어에 관련한 파라미터 등을 전달하기 위한 용도로 사용된다. 센서네트워크를 구성하는 각 센서노드들로부터 수집된 정보가 라우팅과 데이터 추가(aggregation) 과정을 통하여 하나의 싱크노드로 집결되는 패킷을 상태보고 패킷이라 정의하였다. 상태보고 패킷의 구조는 표 4와 같다.

각 센서노드들은 네트워크 토폴로지를 스스로 생성하며, 이 과정에서 MAC 주소와는 다른 16 비트의 논리적인 주소를 싱크노드로부터 할당 받는다. 각 노드는 데이터를 전달하기 위하여 자신과 이웃한 센서노드들에 대한 경로 정보를 필요로 한다. 즉, 센싱된 데이터가 센서노드들로부터 싱크노드로 전달 시, 각 노드는 자신의 논리적 주소(ID)와 자신의 데이터를 중계할 센서노드의 논리적 주소(본 논문에서는 부모노드의 ID라고 칭함)를 패킷에 포함시키게 되면, 최종적으로 데이터를 받은 싱크노드는 데이터 전달에 관련한 네트워크의 토폴로지 형태를 파악할 수 있다. 이를 위하여 상태보고 패킷에는 자신의 주소를 나타내는 Source ID와 자신의 부모인 Parent ID 정보를 상태보고 패킷에 기본으로 포함시켰다. 상기 정보는 트리 형태의 네트워크 토폴로지에 국한되는 것이 아니라, 메쉬 형태의 네트워크 토폴로지에도 공통으로 적용이 가능하며, 이를 통하여 각 노드의 센싱된 데

표 3. 제어 패킷(Control Packet)의 구조

항목	Dst	SEQ	Flags	Num	Payload			
					1	1	1	N
설명	0x00: Broadcast 0x01~0xFFFF: Dst. ID	시퀀스 번호	제어 정보	Payload의 개수	프로파일 ID	보조 프로파일 ID	데이터 크기	데이터

표 4. 상태보고 패킷(Reporting Packet)의 구조

항목	Num. of Sensors	Sensor Field								
		Src. ID	Parent ID	SEQ	Flags	Num of Payloads	Payload #			
							Profile ID	Sub-Profile ID	Length	Data
크기	2	2	2	1	1	1	1	1	1	n
설명	센서 필드(Sensor Field)의 개수	출발지 및 부모노드의 ID	시퀀스 번호	제어 정보	Payload의 개수	프로파일 ID	보조 프로파일 ID	데이터 크기	데이터	

이터가 어떠한 경로를 통하여 전달되었는지 알 수 있을 뿐만 아니라 데이터 집합(aggregation)이 이루어지는 센서노드의 파악에도 유용하게 사용될 수 있다.

SEQ와 Flags 항목의 경우는 앞서 설명한 제어 패킷에서의 용도와 동일한 용도로 상태보고 패킷에서도 사용된다. “Number of Payloads”는 다음에 오는 페이로드(payload)의 갯수를 표현하기 위한 요소이다. 페이로드의 용도는 앞서 설명한 제어패킷의 그것과 유사하다. 다만 제어패킷의 경우는 페이로드가 센서노드에 장착된 센서들과 액츄에터 등을 제어하기 위한 용도로 사용된 반면, 상태보고 패킷에서의 페이로드는 센서노드에 장착되어 있는 센서들의 값을 읽어 오기 위한 용도로 사용되는 점이 다르다. “Number of Payloads” 필드가 8비트이므로 센서노드들에서 사용 가능한 센서들의 종류는 최대 256개이다. 프로파일 ID(Profile ID), 보조 프로파일 ID(Sub-Profile ID), 데이터의 크기 그리고 테이터 항목은 센서노드에 장착된 센서의 종류, 세부항목, 데이터 길이 그리고 데이터를 순차적으로 정의할 수 있다. 각 센서마다 생성된 데이터의 크기 등의 특징이 다를 수 있기 때문에 데이터의 크기항목을 사용하여 데이터 필드를 가변으로 할 수 있도록 하였다.

각 센서노드는 자신에 관한 상태보고 패킷을 한 개만 전송하지만, 트리 형태의 네트워크 토플로지를 따라 상태보고 패킷들이 전송되는 과정에서 라우터 기능을 수행하는 센서노드들은 자신의 상태보고 패킷 이외에도 자신의 자식 노드에서 보내오는 패킷들도 함께 자신의 부모 노드에게 전송한다. 따라서 트리 형태의 네트워크 토플로지에서 싱크노드에 가까운 센서노드일수록 보다 많은 수의 상태보고 패킷들을 전송하게 된다. 즉, 보다 많은 데이터 집합이 이루어진다. “Number of Sensors”는 이러한 데이터 집합을 위한 것으로 합쳐진 상태보고 패킷의 수를 의미한다. 예를 들어 값이 3이라면 모두 3개의 상태보고 패킷이 합쳐진 것을 의미한다.

### 3.3 망관리 시스템

센서 노드의 설계시 전력소모를 최소화하기 위한 네트워크 측면에서의 최선의 방안은 테이터의 전송을 수행하지 않는 동안 RF 장치의 전원을 끄는 것이다. 또한, 사용되는 배터리의 전력 잔량이 임계치에 도달하였을 때, 센서노드의 수명연장과 이웃 노드의

RF장치 활용에 방해가 되지 않도록 자신의 RF장치의 사용횟수를 최소화시키는 방법이 있다.

그림 3은 센서노드의 데이터 전송측면에서의 응용프로그램의 동작을 보여준다. 네트워크 형성과 라우팅 과정은 네트워크와 관련된 미들웨어에서 처리를 하도록 구현하였다. 따라서 응용프로그램에서는 이 미들웨어를 이용하여 주기적으로 환경정보를 생성하고 싱크노드에게 상황정보를 알리는 기능을 수행하도록 구현하였다.

데이터의 전송 주기 및 센서의 챔플링 주기 그리고 배터리 전력의 임계값 등은 싱크노드로부터 제어 패킷(Control Packet)을 통해 전달 받도록 설계하였다.

싱크노드의 동작은 센서네트워크를 구성하는 센서노드의 모든 동작을 수행한다. 아울러, 전체 센서네트워크의 형성(formation)은 싱크노드를 기준으로 하여 깊이(depth)단위로 트리(tree) 형태의 네트워크 토플로지(topology)를 형성한다. 그림 4는 싱크노드의 동작을 보여준다. 싱크노드의 작업은 일반 센서노

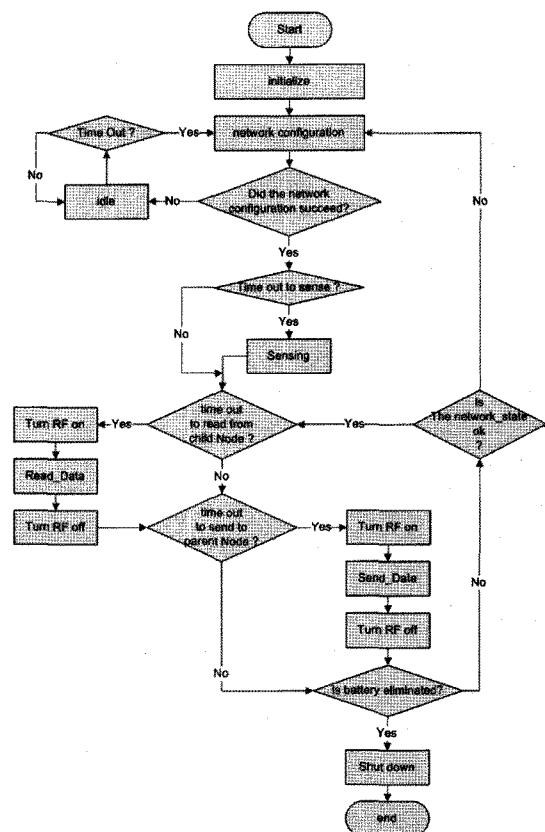
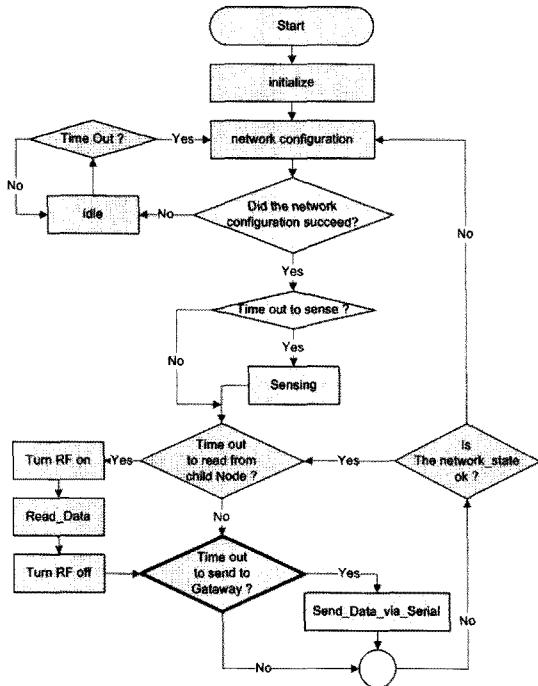


그림 3. 센서노드의 동작

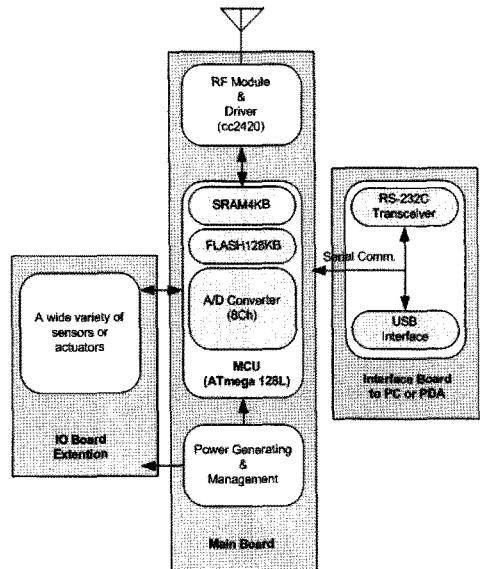
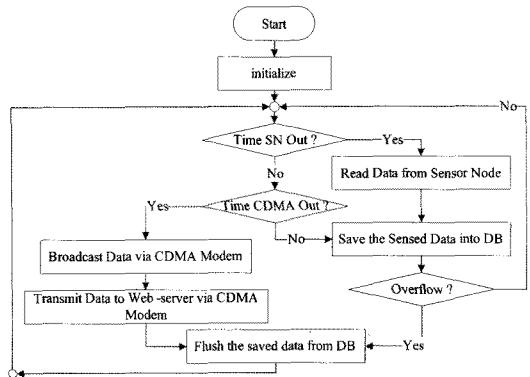


드와 비슷하지만 네트워크 토플로지에서 가장 상단에 존재하기 때문에 싱크노드의 부모 노드는 존재하지 않는다. 다만, 시리얼 장치를 통해 받은 데이터를 센서게이트웨이로 전달하고, 이 센서게이트웨이로부터 명령을 전달 받는다. 또한, 외부 전력을 사용하는 센서게이트웨이와 연결되어 있으므로 전력소모는 고려하지 않는다. 그러나 다른 네트워크를 구성하는 센서노드들 간의 RF 장치를 통한 데이터 통신에 방해를 최소화하기 위해 RF 장치는 데이터의 전송 수행 후 즉시 끄도록 한다.

센서게이트웨이는 싱크노드로부터 얻혀진 상황 정보를 인터넷 서버에 보고하기 위해 그림 5에서와 같은 형태로 동작하여 주기적으로 서버에 알리고 또한 센서네트워크를 주기적으로 관리한다.

#### 4. 구 현

센서노드는 그림 6에서 보여주는 바와 같이, 크게 마이크로프로세서, 메모리, 그리고 RF장치로 구성된다. 환경 요소를 감지하기 위해 8bits의 확장 I/O 인터페이스를 제공하고, 이 인터페이스에 온도, 조도, 습도를 감지하는 센서를 탑재하였다. 마찬가지로 PC



에서의 개발 용이와 디버깅 그리고 동작흐름을 모니터링 할 수 있도록 시리얼 인터페이스와 연결될 수 있도록 구성하였다.

센서 게이트웨이는 그림 7과 같이, 싱크노드와 CDMA 통신 연결을 위한 확장 인터페이스를 갖는 구조로 설계되었다. 그림의 블록에서 과거 상단은 분산된 센서노드들로부터 데이터를 수신 또는 센서노드로 송신할 수 있도록 싱크노드가 타작될 수 있도록 구성하였으며, 우측 하단의 장치는 CDMA 망으로 데이터를 전송할 수 있도록 모뎀(modem)을 부착할 수 있는 구조로 설계하였다.

센서노드들은 센서게이트웨이에 장착된 RF 전송 장치를 싱크노드(Sink Node)로 인식하여, 이 싱크노

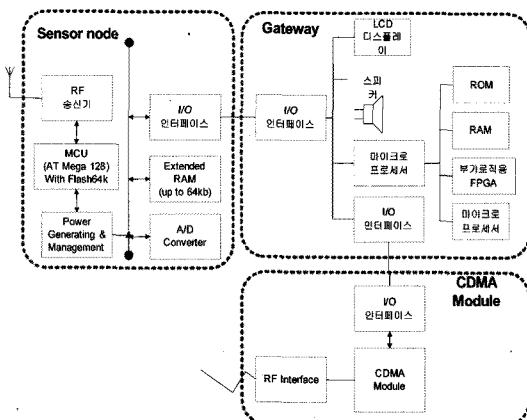


그림 7. 센서게이트웨이의 하드웨어 구성도

드를 중심으로 트리 형태의 동적인 네트워크를 형성한다. 형성된 네트워크의 형태를 따라 각 구성원이 되는 각각의 센서노드들은 자신의 위치 관계의 상/하위 비교하여, 자신의 상위 라우팅을 위한 장치를 부모노드(Parent Node), 하위 라우팅을 위한 장치를 자식노드(Child Node)로 정의한다. 전력 소모를 최소화하기 위해 센서네트워크를 이루는 이 노드들은 데이터를 전송하는 시간이 모두 동기화되어 있으며, 이러한 시각 동기는 싱크노드를 중심으로 형성되며, 데이터 전송의 경우 싱크노드에서부터 하단으로 내려가는 형식으로 수행된다. 각 노드들은 이 동기화된 시간에서 데이터의 전송시간을 제외한 나머지의 경우에는 모든 RF의 전원을 차단한다.

센서네트워크를 이루는 각각의 센서노드들의 형태는 그림 8의 좌측에서 보여주는 것과 같다. 센서노드에는 온도, 습도 그리고 조도를 감지하는 모듈이 장착되어 있으며, 센서네트워크를 형성하여 데이터의 전송을 위해 IEEE 802.15.4 기술을 적용하였다.

센서게이트웨이는 두 개의 네트워크의 연결을 위해 IEEE 802.15.4 기술을 지원하는 RF 시스템과 CDMA 모듈을 탑재하였다. 또한, 인근 지역에서 모

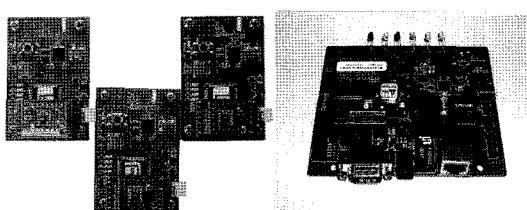


그림 8. 구현한 센서노드와 센서게이트웨이의 사진

니터링 정보를 콘솔에 출력해주도록 하기 위해 UART와 RJ45 인터페이스를 제공한다. 센서게이트웨이 장치에 전원이 인가되면, 센서네트워크를 형성하고 CDMA 모뎀을 통해 인터넷에 연결된 서버에 접속된다. 그리고 센서네트워크 및 게이트웨이 장치를 관리하기 위한 명령 등을 받아 센서네트워크에 전달 또는 자신의 정보를 갱신한다. 관리 명령에 따라 센서네트워크를 통한 위급한 데이터의 감지시 사용자에게 빠른 정보 제공을 위해 CDMA 모뎀을 제어하여 SMS를 이용하여 사용자 단말에 문자로 상황을 보고한다.

구현에 사용된 센서노드와 싱크게이트웨이 장치의 사양 및 성능은 표 5와 표 6과 같다.

표 5. 센서노드의 사양 및 성능

분류	사양
CPU	Atmega 128 8MHz
A/D	8 bits
Flash	128Kb
RAM	4KBs
Radio Frequency	2.5GHz (Chip: CC2420)
Data Rate	< 256Kb/s
Radio Range	< 100meters
Power/Source	3.3V/2AA(1.5V 2개)
기타 I/O	8 bits

표 6. 센서게이트웨이의 사양 및 성능

분류	사양
CPU	Intel Xscale PXA255
Flash	32MB
RAM	64MB
LAN	10 Base-T
Serial Port	2 개
OS	Embedded Linux
Power Source	외부 전원
CDMA	KT 파워텔 / SK CDMA 모듈
Sensor Network Modem	센서노드 탑재

## 5. 실험 및 결과

본 제안을 입증하기 위한 구현으로 본 시나리오의 각 구간에서의 정의된 프로토콜 인터페이스(PI:

Protocols Interface)를 사용하였다. 각 센서노드의 속성 및 센서게이트웨이의 항목의 값은 Profile ID와 Field ID의 항목으로만 정의되고 각 항목에 사용되는 값은 센서의 종류 및 각 센서게이트웨이의 속성들이 다르기 때문에 정의되지 않았다. 이 Profile ID와 Field ID의 값은 각 시스템을 구성하는 요소 및 지원 기능에 따라 각기 다르게 정의될 수 있다. 본 장에서는 본 시나리오의 수행을 위해 사용되는 각 센서노드 및 센서게이트웨이의 속성에 따라 Profile ID와 Field ID를 임의로 정의하여 실험하였다. 온도, 습도 그리고 조도를 장착한 12개의 센서노드를 그림 9에서 보여주는 것과 같이 실내에 배치시키고 그 중 4개는 실내에서 햇볕이 닿을 수 있는 위치에 두었다. 배치된 센서노드는 10m 정도의 데이터 전송범위를 가지며 모든 센서노드들이 통신이 가능하도록 전송범위 이내에 배치하였다. 각 센서노드는 2개의 1.5V AA 배터리가 직렬로 장착되어 3.0V 전압으로 작동된다.

본 실험을 하기 위해 배치되는 센서노드는 싱크노드를 주 축(Coordinator)으로 하여 전체적인 센서네트워크가 설정되고, 각 배치된 센서노드들은 논리적인 16비트의 주소(Address)정보를 할당 받게 된다. 따라서, 싱크노드가 탑재된 센서게이트웨이의 동작이 반드시 우선적으로 이루어져야 한다. 싱크노드와 CDMA 모듈이 탑재된 센서게이트웨이 장치는 본 실험에서는 외부 전압을 사용하여 무한한 전력을 제공받을 수 있었다. 센서게이트웨이 장치에 전원을 인가한 후 내부의 기본 OS가 부팅이 완료되는 데에 걸리는 소요시간은 대략 15초 가까이이며, 모든 주변장치의 사용이 가능하도록 스스로를 점검하는 것까지 대략적으로 5초 가까이가 추가적으로 소요되었다.

센서게이트웨이의 모든 준비동작이 완료된 후 배치된 모든 센서노드들의 전원을 켜으로써, 센서네트

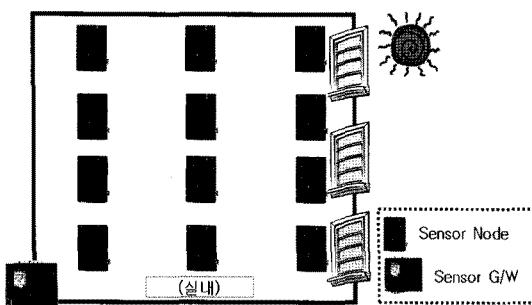


그림 9. 센서노드의 배치도

워크 토플로지가 자동으로 형성되는 것을 각 배치된 센서노드의 LED의 동작신호를 통해 확인 할 수 있었다. 싱크노드를 중심으로 네트워크가 형성되면 기본적으로 트리 형태의 네트워크 토플로지의 경로를 따라 2초 단위로 각 노드에 장착된 RF를 켜 싱크노드로 데이터를 전달시킨다. 이때 전달되는 데이터 패킷 및 그 구성은 본 논문에서 정의한 상태보고 패킷 구조를 따른다. 모든 준비동작이 완료된 센서게이트웨이는 기본적으로 2분의 매시간이 경과 할 때마다, 장착된 CDMA 모듈을 통하여, 기본으로 설정된 인터넷 서버에 접속을 시도하고 서버로부터 요청 받은 명령을 처리한다. 이 과정에서 메시지 전송은 CDMA 모뎀을 통해 인터넷에 연결되기 때문에 PPP 프로토콜을 거쳐 TCP/IP를 사용한다. 전송되는 메시지 데이터는 TCP/IP의 데이터 영역(페이로드 영역: Payload Area)에 실어진다.

센서게이트웨이와 인터넷 서버간의 데이터 전송에 소요되는 시간을 측정하기 위하여 단순히 센서노드들로부터 받은 데이터를 인터넷 서버로 전달하는 기능만을 처리하였다. 센서게이트웨이로부터 인터넷에 연결된 서버로의 접속 요청에서부터 데이터 전송 그리고 접속을 끊는 데에 소요되는 시간은 그림 10에서 보여주는 바와 같이, 대략 10초 내외로 측정되었다. CDMA 모뎀의 AT&T 프로토콜 절차에 따른 모뎀제어에 소요되는 시간 그리고 기지국 및 이동통신망 서버에서 링크가 설정되는 시간, PPP 프로토콜에서 IP 주소를 동적으로 할당(DHCP 서버에서 IP 주소를 할당하는 방식) 받는데 걸리는 시간에서 몇 초 정도의 시간이 경과되는 것을 프로그램 디버깅 과정에서 확인할 수 있었다. 그림에서와 같이 실질적인 메시지 데이터의 전송에 소요되는 시간은 무시할 수 있을 정도로 적었다. 링크 설정과정에서 소요되는 시간은 CDMA 모뎀의 지리적 위치에 따라 지각할 수 있을 정도의 성능 차이를 보였다.

인터넷 연결을 통한 상태보고 패킷의 웹서버로의 전송은 네트워크의 링크설정에 걸리는 시간과는 대

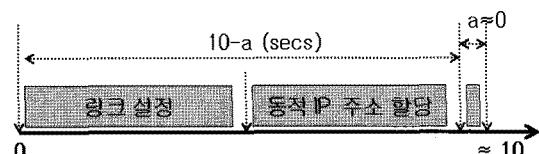


그림 10. 링크 설정 및 데이터 전송 시간

조직으로 짧은 시간에 완료되었다. 웹서버는 12개의 센서노드로부터 받은 데이터를 DB에 저장하고 웹브라우저를 통한 모니터링이 가능하도록 구현되었다. 그림 11은 웹브라우저에 표시되는 화면이다. 센서게이트웨이 장치로의 특정한 이벤트 발생을 정의하기 위한 임계치로 조도 값을 설정하여 임계치 영역을 넘어 섰거나 도달하였을 경우 CDMA 모바일 단말 사용자에게 SMS 신호를 보낸 후 음성신호를 알리도록 구현하였다.

음성신호의 경우 일반 전화통화와 같은 형태로 작동되기 때문에, 수신자와의 음성링크가 성공적으로 이루어지는 것을 확인할 필요가 있다. 음성 링크를 설정하는 과정에서 모뎀에서 수신되는 다이얼링 소리에 관련된 신호음의 처리기능은 본 구현에 추가되지 않았다. 음성 링크의 성공여부와는 관계없이 5초 후 미리 짜인 음성메시지 신호를 전송하도록 구현하였다. 실험을 위한 노드의 개수 및 설정 등의 환경적인 요인에 대한 정리는 표 7과 같다.

본 구현에서의 센서네트워크는 싱크노드를 중심으로 트리형태의 네트워크 토플로지를 구성하기 위해 여느 다른 센서네트워크와 같이 플러딩(flooding) 기법을 사용한다. 만약 토플로지를 이루는 각 노드가 끝단 노드를 제외하고 모두 N개의 자식 노드를 갖는다면, 깊이(m)가 증가할수록 네트워크 토플로지 형성을 위해 필요로 하는 전체 플러딩의 개수는 다음의 식(1)에서와 같이 얻어질 수 있다.

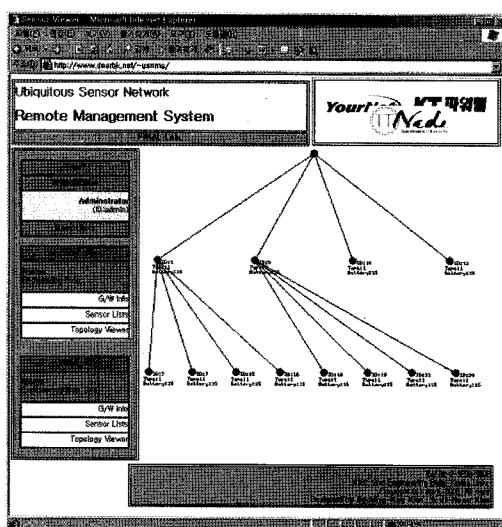


그림 11. 센서 표시기를 통한 센서들의 모니터링

표 7. 실험을 위한 환경 요소

항 목	설정 및 측정 값
센서노드의 개수	12
센서게이트웨이의 부팅 소요시간	10s
센서네트워크의 보고 주기	8s
파일럿 시스템으로의 보고 주기	2m
센서게이트웨이와 파일럿 시스템간의 전송 지연	10s
CDMA를 통한 음성신호의 전달	5초 후

$$\sum_{d=2}^m N^{d-2} + \sum_{d=1}^m N^{d-1} \\ \Rightarrow N + (N+1) \sum_{d=2}^m N^{d-2} \quad (1)$$

위의 수식은 데이터의 전달이 아무런 재전송 없이 성공적으로 이루어졌을 경우를 가정하였을 때 최소의 전송횟수가 된다. 앞의  $\sum_{d=2}^m N^{d-2}$ 는 요청(Request)에 대한 패킷의 개수이며,  $\sum_{d=1}^m N^{d-1}$ 는 각 요청에 대한 각 하단에 존재하는 자식노드로부터의 응답(Reply) 패킷의 전체 개수가 된다. 단, 이웃 노드간에 항상 전송되는 패킷은 성공적으로 전달된다는 가정하여 이러한 결과가 나올 수 있다.

각 노드에서 형성된 환경데이터를 싱크노드를 한번씩 전송한다고 하면, 기존의 센서네트워크는 다음 수식(2)과 같은 횟수의 패킷 전송이 일어난다.

$$2 \times \sum_{d=1}^m (N^{d-1} \times (d-1)) \quad (2)$$

네트워크를 이루는 모든 센서노드는 각자 자신의 부모와 데이터 교환을 위해 전송과 확인(Send and Ack)기법을 사용한다고 가정하였을 경우를 대비하여 앞에 2의 상수가 적용되었다. 결과적으로 네트워크를 형성하고 일정시간동안 T번의 센서네트워크 모니터링 상황이 발생되면 수식(3)과 같은 횟수의 패킷 전송이 일어나게 된다.

$$\sum_{d=2}^m N^{d-2} + \sum_{d=1}^m N^{d-1} + 2T \times \left\{ \sum_{d=1}^m (N^{d-1} \times (d-1)) \right\} \\ \Rightarrow N + (N+1) \sum_{d=2}^m N^{d-2} + 2T \times \left\{ \sum_{d=1}^m (N^{d-1} \times (d-1)) \right\} \quad (3)$$

그러나, 본 연구에서 제안한 프로토콜 인터페이스의 적용을 통하여 전송되는 환경데이터의 싱크노드로의 전송은 수식(4)와 같이 나타내어 질 수 있다.

$$2 \times \sum_{d=1}^m N^{d-1} \quad (4)$$

이는 센서네트워크를 이루는 가장 아랫단의 센서노드에서부터 전달받은 데이터가 상위로 올라가면서 하나의 패킷으로 통합되어 단일화되기 때문에, 마치 플러딩을 통한 네트워크 토플로지 형성에서의 응답의 개수에 두 배가 되는 것과 같은 효과가 될 수 있다. 결과적으로 본 연구에서 제안한 방식을 적용하여 T번의 센서네트워크 모니터링 상황이 발생되면 수식(5)과 같은 횟수의 패킷 전송이 일어나는 것을 알 수 있게 된다.

$$\begin{aligned} & \sum_{d=2}^m N^{d-2} + 3 \times \sum_{d=1}^m N^{d-1} \\ & \Rightarrow d(N^{d-1} + 1) + 4 \left( \sum_{d=2}^m N^{d-2} \right) \end{aligned} \quad (5)$$

일반적인 센서네트워크에서 상황데이터의 모니터링시 본 연구에서 제안된 패킷 병합기능(appending)이 적용된 것과 그렇지 못한 상황에서 전송되는 패킷의 전체 횟수를 비교해 볼 때, 그림 12에서 보여주는 것과 같이 큰 차이가 나는 것을 확인해 볼 수 있다. 그림은 최대 깊이(depth)를 1에서 5까지 증가에 따른 전체 메시지를 보여주는 것이며, 플러딩을 통하여 네트워크의 토플로지가 형성되는 과정을 포함하여 10번의 상황데이터를 전달 받는 과정에서의 전체 메시지의 개수를 얻은 것이다.

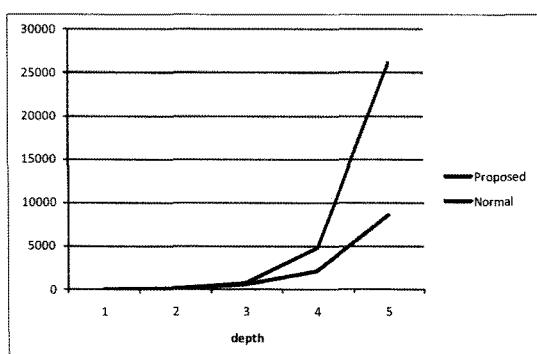


그림 12. 제안한 프로토콜 인터페이스를 통한 총 메시지 전송 개수의 비교

## 6. 결 론

본 논문에서는 유비쿼터스 센서네트워크(USN: Ubiquitous Sensor Network)에서 망을 관리하기 위한 프로토콜을 정의하고, USN에 관련된 국내외 기술 동향에 대해 조사를 하고 기술하였다. USN을 위한 운영체제(OS), 서로 다른 기능 및 확장성을 위한 미들웨어, 위치 인식, 센서노드 간의 시간동기 그리고 보안 커널(OS Kernel) 등으로 분류하여 동향을 살펴보았으며, 조사된 자료에 의하면 현재 각 연구 분야마다 각자의 용도에 맞게끔 독자적으로 활발히 연구되고 있는 상황임을 파악할 수 있다. USN에서 망관리를 위한 시스템은 독자적인 프로젝트의 목적을 위해서 진행되고는 있지만 범용 네트워크 또는 이기종으로의 확장 및 통신 지원 등의 명백한 프로토콜 인터페이스 및 메시지 체계 등은 정의되어 있지 않고 있다. 이에, USN 망관리를 위해 관리되어야 할 항목들을 정의하고 기술하였다. 본 논문에서 설계된 프로토콜 인터페이스의 성능을 검증하기 위해, 각 네트워크 구간에서 필요한 장치(센서노드, 센서게이트웨이, 서버 그리고 모바일 단말)들을 설계하고 구현하여 제안한 프로토콜이 USN의 네트워크를 관리하는데 적용될 수 있음을 입증하였다.

마지막으로 본 연구에서 제안된 프로토콜 인터페이스의 활용을 통한 센서네트워크 전체에서 전송되는 메시지 전체의 개수를 수학적 분석을 통해 현저히 감소됨을 보였으며 이로써 데이터 전송 횟수 절감에 따른 전력소모가 감소되는 것을 증명하였다.

## 참 고 문 헌

- [1] Y. Xu, J. Heidemann and D. Estrin, "Geography-informed energy conservation for adhoc routing," Proc. Mobicom, 2001.
- [2] Hyungjoo Song and Deayoung Kim, "UPnP-based Sensor Network Management Architecture and Implementation," Second International Conference on Mobile Computing and Ubiquitous Networking (ICMU2005), April 2005, Osaka University, Osaka, JAPAN
- [3] Linnyer Beatrys Ruiz, "MANNA: AManagement Architecture for Wireless Sensor Network,"

*IEEE Communications Magazine*, February, 2003.

- [4] Wei Liu and Yanchao Zhang, "Managing Wireless Sensor Networks with Supply Chain Strategy," qshine, pp. 59-66, First International Conference on Quality of Service in Heterogeneous Wired/Wireless Networks (QSHINE'04), 2004
- [5] W. Louis Lee, A. Datta, and R. Cardell-Oliver, "WinMS: Wireless Sensor network Management system, An Adaptive Policy-based Management for Wireless Sensor Networks," *Tech Rep. UWA-CSSE-06-001*, The University of Western Australia, June 2006.
- [6] C. Fok, G. Roman, and C. Lu, "Mobile Agent Middleware for Sensor Networks: An Application Case Study," Proc. IEEE ICDCS Conf., June 2005.
- [7] Z. Ying and X. Debao, "Mobile Agent-based Policy Management for Wireless Sensor Networks," Proc. IEEE WCNM Conf., Sep. 2005.
- [8] A. Erdogan, E. Cayirci, and V. Coskun, "Sectoral Sweepers for Sensor Node Management and Location Estimation in Adhoc Sensor Networks," Proc. IEEE MILCOM Conf., Oct. 2003.
- [9] R. Tynan, D. Marsh, D. Okane, and G. M. P. Ohare, "Agents for Wireless Sensor Network Power Management," Proc. IEEE ICPPW Conf., June 2005.



### 김 병 국

2002년 원광대 컴퓨터정보통신공  
학부 학사  
2004년 고려대 전자컴퓨터공학과  
석사  
2004년 8월~현재 고려대 전자컴  
퓨터공학과 박사과정

관심분야: 센서네트워크, 유비쿼터스컴퓨팅, 임베디드  
시스템, 인터넷 QoS, 운영체제, 네트워크 미  
들웨어



### 허 경

1998년 고려대 전자공학과 학사  
2000년 고려대 전자공학과 석사  
2004년 8월 고려대 전자공학과  
통신공학 박사  
2004년 8월~2005년 8월 삼성종  
합기술원(SAIT) 전문연  
구원

2005년 9월~현재 경인교대 컴퓨터교육과 조교수  
관심분야: QoS, Mobile IP, Wireless MAC, 컴퓨터교육



### 엄 두 섭

1987년 고려대 전자공학과 학사  
1989년 고려대 전자공학과 석사  
1999년 일본 오사카대학 정보통  
신공학과 박사  
1989년 2월~1999년 8월 한국전  
자통신연구소 연구원  
1999년 9월~2000년 8월 원광대  
학교 전임강사

2000년 9월~현재 고려대학교 전기전자전파공학부 정교수  
관심분야: 통신네트워크 설계 및 성능분석, 무선 ATM,  
IP 네트워크