

논문 2009-46TC-10-6

웹 인터페이스를 사용하는 SNMP 기반의 무선 센서 네트워크 통합 관리 시스템

(An SNMP-Based Integrated Management System with Web Interface
for Wireless Sensor Networks)

최재원*, 고영탁**, 김한경***, 이광휘***

(Jaewon Choi, Young-Tak Ko, Han-Kyoung Kim, and Kwang-Hui Lee)

요약

본 논문에서는 무선 센서 네트워크들을 위한 통합된 관리 시스템을 제안한다. 이질적인 센서 네트워크들의 각 싱크 노드는 게이트웨이에 연결된다. 게이트웨이는 다양한 하드웨어 플랫폼과 네트워킹 모델들을 지원함으로써 여러 네트워크들로부터 관리 정보를 수집하여 MIB(Management Information Base)에 저장한다. 관리 시스템은 SNMP(Simple Network Management Protocol)를 이용하여 게이트웨이의 MIB으로부터 관리 정보를 얻고 이를 분석한다. 사용자는 인터넷을 사용할 수 있는 곳이라면 어디서든지 웹을 통하여 관리 시스템에 접속하고 센서 노드들과 네트워크들을 관리할 수 있다. 본 논문에서 우리는 제안하는 관리 시스템을 직접 구현하여 실용성을 보인다.

Abstract

In this paper, we present an integrated management system for WSNs (Wireless Sensor Networks). Each sink node of heterogeneous sensor networks is connected with a gateway. By supporting various hardware platforms and networking models, the gateway is able to collect management information from one or more WSNs and store it in a MIB (Management Information Base). The management system obtains management information from the MIB of the gateway by SNMP (Simple Network Management Protocol) and analyzes it. A manager can have access to the management system through the Web wherever the Internet is available and manage WSNs as well as sensor nodes. We implemented the proposed management system and our findings revealed the practicality of this system.

Keywords : Wireless Sensor Networks, Management, SNMP, Gateway

I. 서론

무선 센서 네트워크(Wireless Sensor Networks: WSNs)는 저가, 저전력, 다기능의 많은 센서 노드들로

구성된다. 센서 필드에 배치되는 작은 크기의 센서 노드들은 센싱, 데이터 프로세싱, 통신 컴포넌트들로 구성되며, 특정한 환경 또는 현상 정보를 감지하고 수집하여 싱크 노드로 전송하는 역할을 수행한다^[1]. 이러한 센서 노드들은 임의적으로 배치되기 때문에 배터리는 충전되거나 교체될 수 없는 경우가 많다. 이와 같은 특성에 의하여 무선 센서 네트워크의 모든 프로토콜과 일련의 동작들에는 에너지에 대한 제약이 뒤따른다. 따라서, 무선 센서 네트워크 분야의 많은 연구들은 개별 센서 노드의 에너지 효율을 향상시키거나 전체 네트워크의 수명을 연장시키는데 초점이 맞추어져 있다^[2, 3]. 또한, 최근에는 다양한 응용을 지원하기 위하여 데이터의 특

* 정회원, 경남대학교 컴퓨터공학부
(Division of Computer Engineering, Kyungnam University)

** 학생회원, *** 정회원, 창원대학교 컴퓨터공학과
(Dept. of Computer Engineering, Changwon National University)

※ 이 논문은 2007년도 창원대학교 연구비에 의하여 연구되었음.

접수일자: 2009년8월4일, 수정완료일: 2009년10월12일

성에 따라 신뢰성이나 전달 속도를 향상시키기 위한 연구들도 활발하게 이루어지고 있다^[4~5]. 이에 반하여, 무선 센서 네트워크 관리에 대한 인식과 연구 성과는 미비한 실정이다. 하지만, 무선 센서 네트워크의 규모가 커지거나 응용을 제대로 동작시키기 위해서는 관리에 대한 측면도 중요하게 고려되어야 한다^[6].

IP를 기반으로 하는 기존의 네트워크를 모니터링하고 관리하기 위한 연구는 이미 많이 이루어졌다^[7, 8]. 하지만, 기존의 관리 시스템과 무선 센서 네트워크 관리 시스템은 기술과 활용 범위에 있어서 몇 가지 차이가 있다. 먼저, 인터넷과 같은 기존의 네트워크는 TCP/IP를 기반으로 동작하지만, 무선 센서 네트워크는 IEEE 802.15.4^[9]를 핵심 전송 프로토콜로 사용한다. 그리고 인터넷은 관리 프로토콜로서 SNMP(Simple Network Management Protocol)^[10~11]를 사용하는데 반하여, 무선 센서 네트워크를 위하여 사용되고 있는 표준 관리 프로토콜은 없는 상태이다. 또한, 기존의 네트워크는 라우터나 스위치와 같은 장비가 관리의 대상이 되지만, 무선 센서 네트워크에서는 단말임과 동시에 라우팅 기능까지 수행하는 모든 센서 노드들이 관리의 대상에 포함될 수 있다. 한편으로, 애드 혹 네트워크 관리 프로토콜로서 제안된 ANMP(Ad Hoc Network Network Management Protocol)^[12]나 Guerrilla^[13] 등을 무선 센서 네트워크에서 사용하는 것도 어려움이 있다. 이들은 SNMP 에이전트를 이용하여 네트워크를 관리하는데, 무선 센서 네트워크의 노드들은 제한된 프로세싱 자원과 배터리 용량을 가지고 있으므로 TCP/IP를 지원하지 않는 경우가 대부분이기 때문이다.

무선 센서 네트워크를 관리하기 위하여 MANNA^[6], SNMS^[14], MOTE-VIEW^[15], sSNMP^[16], MARWIS^[17], PhyNet Server^[18] 등의 구조 및 도구들이 제안되고 개발되었다. 하지만, 이러한 시스템들은 센서 노드들이 IP에 기반하여 SNMP를 사용할 수 있다고 가정하거나 특정한 플랫폼에 종속적인 경우가 많다. 또한, 관리를 위하여 네트워크 구조 및 설정을 변경하거나 추가적인 장비를 필요로 하는 경우도 있다. 따라서, 본 연구에서는 제한된 자원을 가지는 무선 센서 네트워크의 고유한 특성을 고려하여 기존의 센서 네트워크 및 노드에 제약을 가하지 않고 범용적으로 사용할 수 있는 관리 시스템을 제안하고자 한다.

본 논문에서 제안하는 무선 센서 네트워크 관리 시스템의 특징을 세 가지로 요약하면 다음과 같다. 첫째, 통

합 관리 시스템이다. 무선 센서 네트워크는 TinyOS^[19], ZigBee^[20], 6LoWPAN^[21, 22] 등 다양한 형태의 기술과 모델들을 통하여 구축될 수 있으며, 네트워크 구조와 하드웨어 플랫폼도 다양하다. 관리 시스템의 구조 설계와 관리 기능들의 구현은 이러한 사항들에 따라 달라질 수 있는데, 본 시스템은 무선 센서 네트워크와 관리 시스템 사이에 게이트웨이를 둬으로써 이기종의 센서 노드들과 이질적인 네트워크들을 모두 지원하고자 한다. 그리고 관리의 대상을 모든 노드들에서 복수 개의 네트워크들로 확장한다. 즉, 관리 대상은 노드와 네트워크로 구분된다. 둘째, SNMP를 기반으로 한다. IP 네트워크에서 사용되던 SNMP를 그대로 센서 노드에 적재시키는 것은 위에서 언급한 것처럼 현실적으로 어려움이 있다. 따라서, 본 연구에서는 SNMP를 관리 시스템과 게이트웨이 사이에서만 동작하도록 함으로써 센서 노드에 대한 어떠한 구조 변경이나 부하도 가하지 않으려고 한다. 마지막으로, 웹 인터페이스를 제공한다. 특정한 관리 도구를 제한된 지역에서만 사용할 수 있도록 하지 않고 웹을 통하여 관리 시스템에 쉽게 접근할 수 있도록 하고자 한다. 이상과 같은 제안 시스템의 특징들이 가지는 장점은 III장에서 구체적으로 언급할 것이다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 무선 센서 네트워크를 위한 기존의 관리 시스템들을 소개하고 이들이 가지는 한계점들을 고찰해 본다. III장에서는 무선 센서 네트워크 관리 시스템의 구조를 제안하고 기능적인 측면에서 설계 내용을 설명한다. IV장에서는 제안한 관리 시스템의 구현 사례를 보임으로써 실용성을 입증하도록 한다. 마지막으로, V장에서 결론을 맺고 향후 연구 과제를 언급한다.

II. 관련 연구

본 장에서는 무선 센서 네트워크를 관리하기 위한 기존의 연구 성과들을 살펴보고 한계점을 고찰해 보고자 한다. 그리고 기존의 시스템들이 가지는 한계를 극복하기 위한 제안 시스템의 특징을 간략하게 서술한다.

MANNA(A Management Architecture for Wireless Sensor Networks)^[6]는 무선 센서 네트워크 관리의 필요성에 의하여 기능적인 관리 구조로서 제안된 정책 기반의 무선 센서 네트워크 관리 시스템이다. MANNA는 무선 센서 네트워크 모델들과 MIB(Management Information Base) 사이의 관계들을 정의한다. 즉,

MANNA는 MIB을 업데이트하고 분석함으로써 무선 센서 네트워크를 동적으로 관리하기 위하여 설계되었다. MIB에 정의되어 있는 WSN 모델들은 네트워크 상태 정보들을 유지하는데, 특정한 조건이 발생하면 정책에 의해 미리 정의되어 있는 관리 기능들이 실행된다. MNMP(MANNA Network Management Protocol)는 관리 개체들 사이에서 관리 정보들을 교환하기 위한 경량의 프로토콜이다. 기본적으로 MANNA의 모든 노드들은 클러스터로 구성되며, 이들에 대한 정보는 클러스터 헤드 안에 있는 에이전트로 보내진다. 클러스터 헤드는 지역적인 관리 기능들을 수행하고, 관리 정보들을 요약하여 베이스 스테이션으로 전송하는 역할을 한다.

SNMS(Sensor Network Management System)^[14]는 센서 네트워크의 강건(health) 상태를 모니터링하기 위한 대화식 시스템이다. SNMS는 주요 관리 기능으로서 쿼리 기반의 네트워크 상태 데이터 수집과 이벤트 로깅을 제공한다. 쿼리 기능은 사용자가 노드 환경의 물리적인 파라미터들을 수집하고 모니터링할 수 있도록 한다. 이러한 정보는 잔여 배터리 전력, 노드 주위의 온도와 습도 등이다. 이벤트 로깅 기능은 이벤트 파라미터들을 정의하고, 이벤트가 임계값에 도달하면 사용자에게 통보하는 역할을 수행한다. SNMS는 Collection 패턴의 트래픽과 Dissemination 패턴의 트래픽을 통하여 정보를 수집하고 전달한다. SNMS는 쿼리에 대한 오버헤드만을 유발하므로 메모리와 네트워크 트래픽에 대한 영향을 최소화하였다. 또한, 여러 개의 쿼리들을 하나의 메시지로 묶음으로써 에너지 소비를 최소화하였다. 하지만, SNMS는 수동적인 모니터링 기능만을 제공하며, 중앙 집중식 처리방식은 네트워크 강건 상태 데이터를 계속해서 폴링해야 한다는 단점을 가진다.

MOTE-VIEW^[15]는 센서 모드들로 이루어진 네트워크를 모니터링하기 위한 클라이언트 응용 소프트웨어이다. MOTE-VIEW는 센서 데이터를 데이터베이스에 저장 및 분석하고 이를 그래프로 표현한다. 이력 차트, 실시간 차트, 토폴로지 지도, 네트워크 및 센서 값 가시화, 리포트 생성 등의 기능을 제공한다. XMesh라는 메시 네트워크 스택이 동작하는 Crossbow MICA 하드웨어 플랫폼을 지원한다.

sNMP(Sensor Network Management Protocol)^[16]는 네트워크의 현재 상태와 다양한 관리 기능들을 표현하기 위한 센서 모델들을 정의한다. 또한, 네트워크 관리 기능들을 통하여 네트워크 상태를 수집하기 위한 알고

리즘들과 도구들을 제공한다. 센서 모델들은 네트워크들을 위한 MIB을 형성하는데, 네트워크 토폴로지, 에너지 지도, 사용량 패턴들을 포함한다. 에너지 지도와 네트워크 토폴로지 사이의 상관관계는 네트워크에서 취약 지역을 알아내는데 사용될 수 있다. sNMP의 TopDisc 프로토콜은 네트워크 상태 검색, 데이터 전파, 동작 주기 할당과 같은 관리 기능들을 가진다. TopDisc 라우팅 접근법은 클러스터 구조를 사용하므로 확장성을 가지지만, 클러스터링은 클러스터 헤드 선출이나 클러스터 유지를 위한 오버헤드를 유발하므로 지연시간이나 에너지 측면에서는 유지비용이 높다고 할 수 있다.

MARWIS(Management Architecture for Heterogeneous Wireless Sensor Networks)^[17]는 이기종의 센서 네트워크들을 관리하기 위하여 제안된 구조이다. MARWIS는 모니터링, (재)설정, 프로그램 코드 업데이트와 같은 관리 기능들을 지원한다. 또한, 배터리, 프로세싱, 메모리, 네트워크 대역폭 및 링크 품질과 같은 노드의 제한된 물리적 자원들을 고려하여 설계되었다. MARWIS는 이기종의 네트워크들을 관리하기 위하여 동일한 종류의 노드들을 하나의 SSN(Smaller Sensor Sub-network)으로 나눈다. 그리고 이렇게 구분된 SSNs 사이에서 WMS(Wireless Mesh Network)가 백본 및 통신 게이트웨이로서 동작한다. MARWIS의 이러한 계층적인 구조에 의하여 이질적인 네트워크들을 지원할 수 있게 되고, 지연시간이나 패킷 손실과 같은 통신 성능 측면에서도 장점을 발휘하게 된다. 하지만, 자원의 제약을 받지 않고 관리 기능들을 가지는 메시 노드들을 추가적으로 배치하고 네트워크를 구성해야 한다는 부담이 크다고 할 수 있다.

PhyNet Server[18]는 Arch Rock에서 만든 IP 기반의 무선 센서 네트워크 관리 서버이다. PhyNet Router[23]로 연결된 하나 이상의 무선 센서 네트워크를 지원하며, 다양한 모니터링 및 관리 기능을 제공한다. 또한, 웹 서버가 내장되어 있으므로 관리자는 웹 브라우저를 통하여 쉽게 접근할 수 있다. 이기종의 센서 노드들을 지원할 수는 있지만, 관리 대상은 모두 IP를 기반으로 하고 있어야 한다.

이상에서 살펴 본 것처럼, 기존의 시스템들은 무선 센서 네트워크의 제한된 자원을 고려하지 못한 경우가 많았다. 모든 센서 노드들이 IP 프로토콜 스택을 가진다고 가정하거나, SNMP 에이전트와 MIB을 비롯하여 관리 기능들을 모두 센서 노드에 적체시킨 연구들이 그

예이다. 또한, 기업에 의하여 개발된 관리 도구들은 특정한 플랫폼에 종속적인 경우가 대부분이므로 범용성 등에 한계가 있다. 클러스터링이나 메시 네트워크를 구성하는 것은 확장성 측면에서는 유리하지만, 이를 구성하고 유지하기 위한 추가적인 부하가 발생하며, 관리를 위하여 기존의 네트워크 구성을 변형해야 한다는 문제가 있다. 그리고 관리 도구를 사용하는데 지리적, 시간적, 공간적, 기술적으로 어려움을 겪는 환경도 있을 수 있다.

III. 제안 시스템의 설계

본 장에서는 제안하는 시스템의 특징과 개념적인 구조를 설명한다. 그리고 기능적인 측면에서 설계 내용을 서술하도록 한다.

1. 무선 센서 네트워크 관리 구조

본 논문에서는 웹 인터페이스를 사용하는 SNMP 기반의 무선 센서 네트워크 통합 관리 시스템을 제안한다. 제안하는 시스템의 개념적인 구조는 그림 1과 같다.

하나의 무선 센서 네트워크는 특정한 하드웨어 플랫폼에서 고유한 통신 기술을 사용하는 동종의 센서 노드들로 구성되는 경우가 일반적이다. 하지만, 하드웨어 플랫폼은 MICA 시리즈, iMote 시리즈, Telos 기반 등 여러 종류가 있으며, 이들이 필요로 하는 운영체제나 프로토콜도 TinyOS, ZigBee, 6LoWPAN 등으로 다양하다. 또한, 네트워크 구성을 위해서 사용되는 토폴로지도 트리, 메시, 스타 등으로 구분되며, 프로토콜이나 응용에 따라서 통신을 위하여 사용되는 패킷의 구조나 데이터 형식도 달라진다. 즉, 무선 센서 네트워크는 응용과

기술적인 측면에서 다양한 종류의 형태가 있을 수 있다. 따라서, 본 논문에서는 그림 1에서 보는 것처럼 각각의 싱크 노드를 게이트웨이(Gateway)에 연결함으로써 다양한 무선 센서 네트워크들을 통합적으로 관리하고자 한다. 게이트웨이는 무선 센서 네트워크의 종류, 사용되는 프로토콜, 패킷 형식 등에 따라서 적절한 방법으로 관리 정보를 수집하고 일반화하여 자신이 유지하고 있는 MIB에 저장하는 역할을 수행한다. 게이트웨이는 다양한 무선 센서 네트워크 관련 기술들을 지원하는 한편 SNMP 에이전트가 동작한다. 즉, SNMP 매니저를 이용하면 IP 네트워크를 통하여 게이트웨이 내의 MIB에 접근함으로써 관리 정보를 가져올 수 있게 된다. 센서 노드는 제한된 프로세싱 능력, 메모리 용량, 배터리를 가지고 있으므로 모든 노드들에 IP 프로토콜 스택을 탑재하고 SNMP 에이전트와 MIB을 유지하는 것은 현실적으로 어려움이 있다. 따라서, 본 논문에서는 이와 같은 것들을 게이트웨이에 위치시킨 것이다.

관리 시스템(Management System)은 SNMP를 이용하여 게이트웨이에 접속하고 MIB으로부터 관리 정보를 읽어 온다. 이러한 통신 구조로 인하여 관리 시스템 자체는 센서 네트워크와 노드에 직접적인 부하를 주지 않는다. 수집되는 정보는 관리 시스템 내의 데이터베이스에 축적되고 필요에 따라 다양한 모니터링, 분석, 제어 기능을 위하여 사용된다. 또한, 관리 시스템 내에는 웹 서버가 동작한다. 즉, 관리 시스템은 실시간 모니터링, 통계 분석, 통보 및 제어 기능 등을 웹 인터페이스로 제공한다.

관리자(Manager)는 인터넷을 사용하는 곳이라면 어디서든지 관리 시스템에 접속할 수 있다. 웹 브라우저를 통하여 쉬운 방법으로 다양한 무선 센서 네트워크들을 관리할 수 있는 것이다. 또한, 인터넷이 되는 단말을 이용하면 어디서든지 SNMP를 이용하여 관리 시스템을 통하지 않고 직접 게이트웨이에 접속하여 특정한 정보를 감시할 수 있고 이상 유무를 통보 받을 수 있으며, 필요에 따라서는 네트워크 상태의 설정 변경과 같은 제어도 가능하다.

본 논문에서는 무선 센서 네트워크를 관리하기 위하여 SNMP를 사용하는데, 이로써 얻을 수 있는 이점은 다음과 같다. 먼저, SNMP는 네트워크 관리를 위하여 표준화되어 잘 알려져 있고 오랫동안 사용되면서 검증된 프로토콜이다. 그리고 기존의 관리자 및 시스템 개발자들에게 익숙한 프로토콜이기 때문에 관리 시스템의

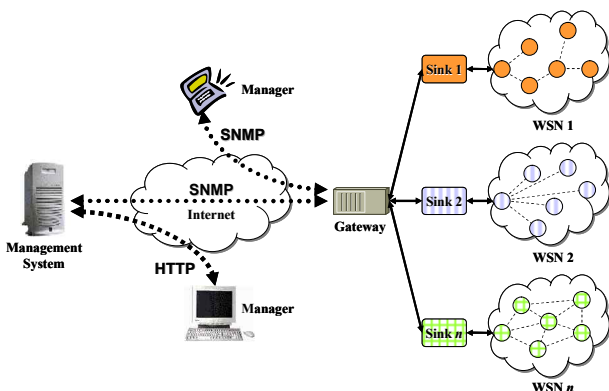


그림 1. 개념적인 관리 구조

Fig. 1. Conceptual management architecture.

개발이 용이하고 시간도 단축시킬 수 있다. 또한, 표준화된 통신 방법을 사용하므로 호환성이 높고, MIB에 대해서만 파악하면 되므로 통신 방법이 단순하다. 폴링 메커니즘과 인터럽트를 사용하면 자유로운 정보 수집과 통보 기능이 가능하다. 추가적으로, SNMP를 이용하여 개발된 기존의 관리 시스템과 통합이 가능하다. 이는 무선 센서 네트워크가 기존의 네트워크들과 융합된 하나의 커다란 네트워크로 간주될 수도 있다는 의미를 가진다. 한편으로, 본 논문에서 무선 센서 네트워크를 관리하기 위하여 웹 인터페이스를 사용하는 이유는 다음과 같다. 웹은 인터페이스로서 관리 프로세스로부터 완전히 분리되어 있으므로 개발 및 수정이 용이하여 확장성이 높다. 그리고 인터넷 환경이라면 어디서든 사용이 가능하므로 접근성이 높으며, 사용 방법이 간단하고 직관적이어서 편의성도 높다. 또한, 거의 모든 플랫폼에서 지원되므로 호환성이 높아서 관리상의 제약을 받지 않는다.

2. 시스템의 기능 설계

본 절에서는 그림 1의 관리 시스템과 게이트웨이에 대하여 구체적으로 설명하고자 한다.

관리 시스템을 구성하는 요소들은 그림 2와 같다. 기능 모듈들(*Functional Modules*)은 관리 기능을 수행하는 프로세스들의 집합으로서 시스템 초기화 모듈, 데이터 수집 모듈, 데이터 관리 모듈, 분석 모듈, 객체 생성 모듈로 이루어져 있다. 시스템 초기화 모듈은 데이터베이스를 생성하고 각종 설정들을 가능하게 한다. 관리자는 초기화 모듈을 이용하여 보안키, SNMP 커뮤니티, 데이터 수집 주기, 이벤트 통보 방식, 접근할 게이트웨이의 주소 등을 설정할 수 있다. 데이터 수집 모듈은 초기화 모듈에서 지정된 주기대로 *SNMP Manager*를 통하여 게이트웨이의 MIB으로부터 관리 정보를 읽어 온

다. 이렇게 수신된 관리 정보는 타임스탬프가 붙고 데이터 관리 모듈을 통하여 데이터베이스(DB)에 저장된다. 분석 모듈은 데이터 관리 모듈을 통하여 DB에 저장되어 있는 값을 읽어 온 후, 각종 통계를 수행하거나 노드 및 네트워크 상태를 검사하는 역할을 수행한다. 객체 생성 모듈은 분석 결과를 근거로 하여 보고서를 작성하거나 웹으로 표현될 수 있는 HTML 파일, 이미지 파일 등을 생성한다. 관리자는 HTTP를 통하여 웹 서버(*Web Server*)에 접근하게 되며, 웹 서버는 관리자의 웹 브라우저 상에 표현될 수 있는 파일들(예 : HTML 파일, 이미지 파일 등)과 객체들(예 : Java 애플릿, Flex/Flash 객체 등)을 전송해 주게 된다. 웹 브라우저에서 실행되는 일부 객체들은 관리자와 상호 대화하며 DB로부터 데이터를 읽고 분석함으로써 가시적인 정보를 제공하며, 필요에 따라서 관리자는 이를 통하여 제어 기능을 수행할 수도 있다.

그림 3은 게이트웨이가 어떻게 구성되는지를 나타내고 있다. 그림 3에서 보는 것처럼 게이트웨이는 기존의 인터넷과 복수 개의 무선 센서 네트워크들을 연결하고 있다. 본 논문에서 게이트웨이를 사용하는 이유는 크게 두 가지이다. 첫째, 무선 센서 네트워크의 종류와 기술에 상관없이 통합적인 관리가 이루어질 수 있도록 투명성을 제공하기 위함이다. 둘째, SNMP를 사용함으로써 수반되는 트래픽과 부하를 관리의 대상이 되는 센서 네트워크 및 노드들로부터 분리시키기 위함이다. 게이트웨이는 유선 또는 무선 인터넷 등을 통하여 인터넷과 연결될 수 있다. *TCP/IP* 프로토콜 스택이 탑재되어 있고 일반적인 *SNMP Engine*과 *Agent*가 구현되어 있다. IP 네트워크를 통하여 관리자로부터 SNMP 요청이 들어오면 *MIB*에 접근하여 해당하는 정보를 전송해 준다. 또한, 특정한 조건이 발생할 때 통보 기능을 수행할 수도 있다. 게이트웨이는 또한 무선 센서 네트워크들과

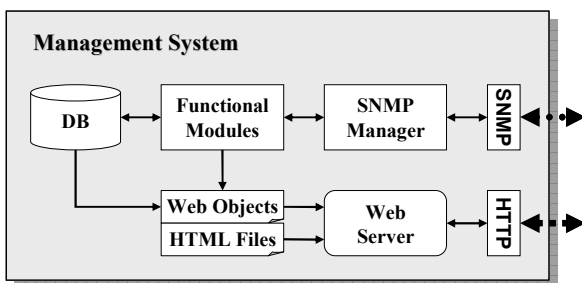


그림 2. 관리 시스템의 구성 요소
Fig. 2. Elements of the management system.

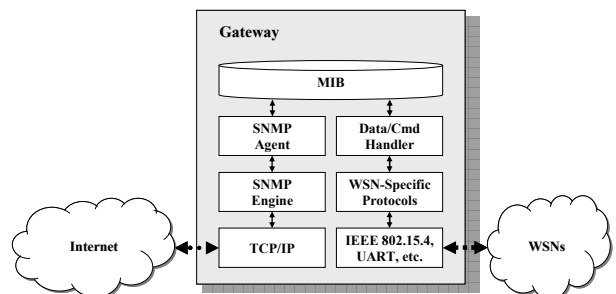


그림 3. 게이트웨이의 구성
Fig. 3. Composition of the gateway.

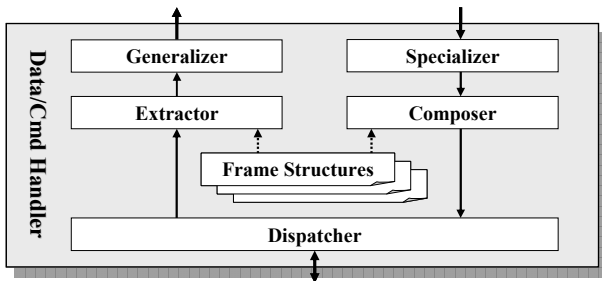


그림 4. 데이터/커맨드 핸들러의 동작
Fig. 4. Operations of the Data/Cmd Handler.

연결된다. 센서 노드들은 센싱된 정보를 싱크 노드로 전송하는데, 싱크 노드는 IEEE 802.15.4 MAC/PHY나 UART(Universal Asynchronous Receiver/Transmitter) 등을 통하여 게이트웨이와 연결될 수 있다. 각각의 무선 센서 네트워크는 특정한 통신 메커니즘을 사용할 수 있기 때문에 이에 상응하는 프로토콜들(WSN-Specific Protocols)이 모두 구현되어야 한다.

게이트웨이 내의 데이터/커맨드 핸들러(Data/Cmd Handler)는 그림 4와 같이 동작한다. 어떠한 무선 센서 네트워크의 싱크 노드로부터 관리 정보가 수신되고 나면 디스패처(Dispatcher)에 의하여 사용된 프로토콜이 판별된다. 그런 다음, 해당하는 프로토콜이 사용하는 프레임 구조를 참조하여 필드들을 구분하고 관리 정보를 추출한다. 이렇게 추출된 관리 정보는 사용된 프로토콜에 따라서 데이터 형식 등이 상이할 수 있으므로, 미리 정의된 구조와 형식으로 일반화되어 MIB에 저장된다. 반대로, 관리자로부터 제어 정보가 넘어오게 되면, 데이터의 종류에 따라 특정한 구조와 형식이 지정되고 프레임이 구성된다. 그런 후에, 디스패처에 의하여 통신에 사용될 프로토콜이 지정되어 하위 계층으로 보내진다.

3. 관리 정보의 구성

IP를 기반으로 하는 기존의 인터넷과는 다르게 무선 센서 네트워크는 많은 개수의 센서 노드들이 특정한 임무를 위하여 통신함으로써 서로 협력한다. 즉, 같은 목적을 가지고 동일한 기술로 운용되는 센서 노드들은 하나의 네트워크를 이루고 다른 네트워크들과 구분되어 동작한다. 이는 무선 센서 네트워크 자체가 하나의 독립된 관리 대상이 될 수 있다는 것을 의미한다. 따라서, 본 논문에서는 기존의 개별적인 센서 노드 이외에 네트워크 자체 또한 관리 대상에 포함시킨다. 이로 인하여, 관리 정보는 크게 네트워크 정보와 노드 정보로 구분될

표 1. 관리되어야 할 항목

Table 1. Entries to be managed.

Target	Management information	
Network	Net_ID, Manager info, Security, Location, Channel, Topology, Number of nodes, Deployment time, Etc.	
Node	System	MAC_addr, OS type & version, Application info, Boot-up time, Synchronization, Etc.
	Device	CPU: type, clock, memory, ... RF: type, power, range, ... Battery: type, capacity, energy, ... Sensor: type, unit, value, cycle, ... Etc.
	Connection	Neighbor list, Routing policy, Role, Etc.
	Performance	Sent/Recv packets, Reliability, Etc.
	Event	Threshold, Method, Etc.

수 있다.

표 1은 무선 센서 네트워크들과 노드들을 효율적으로 관리하기 위하여 필요한 관리 정보의 항목들을 일부 보여 주고 있다. 기존의 네트워킹 장비에 대한 관리 정보를 표현하고 있는 표준 MIB에는 무선 센서 네트워크와 노드들에 대한 고유한 특성은 포함되어 있지 않다. 따라서, iso.org.dod.internet.private.enterprises 하위에 표 1과 같은 관리 항목들을 구현함으로써 표준 MIB을 확장한다면, 기존의 SNMP를 이용하여 관리가 가능해진다.

IV. 시스템의 구현과 적용

본 장에서는 III장에서 설계한 무선 센서 네트워크 관리 시스템의 구현 사례를 보임으로써 그 실용성을 입증하고자 한다.

관리 시스템은 일반 PC의 Windows 상에 Apache 웹 서버와 MySQL 데이터베이스를 사용하여 구축하였으며, 게이트웨이는 ATMK-2560V1[24]을 이용하여 구현하였다. ATMK-2560V1은 게이트웨이를 개발하기 위한 보드로서 ATmega2560 MCU를 채택하고 있으며 256KB의 플래시 메모리를 내장하고 있다. 또한, TCP/IP 네트워킹을 위한 이더넷과 시리얼 통신을 위한 UART 등 다양한 확장 포트들을 제공한다.

그림 5는 초기화와 환경 설정을 통하여 관리 시스템을 구동시키는 화면을 보여 주고 있다. 관리자는 SNMP 버전, 커뮤니티, 수집 주기 등을 설정할 수 있다.

그리고 필요에 따라 관리 시스템으로의 접근 제어와 같은 보안 설정도 할 수 있다. 관리자는 특정한 IP 주소의 범위를 입력함으로써 게이트웨이를 자동으로 검색할 수 있으며, 직접 주소를 지정하여 게이트웨이에 접속할 수도 있다. 초기화 모듈은 게이트웨이에 연결된 무선 센서 네트워크들에 관한 전체적인 정보를 획득한 뒤에 관리자에게 이를 표시하여 준다. 관리자는 필요에 따라 설정이 가능한 정보들은 변경할 수 있으며, 관리의 대상이 되는 네트워크, 노드, 항목들을 선택할 수 있다. 모든 설정이 끝나고 옵션들이 결정되면, 데이터 수집 모듈은 SNMP를 이용하여 게이트웨이의 MIB으로부터 관리 정보를 읽어 오고, 이러한 값들은 데이터 관리 모듈에 의하여 데이터베이스에 누적된다.

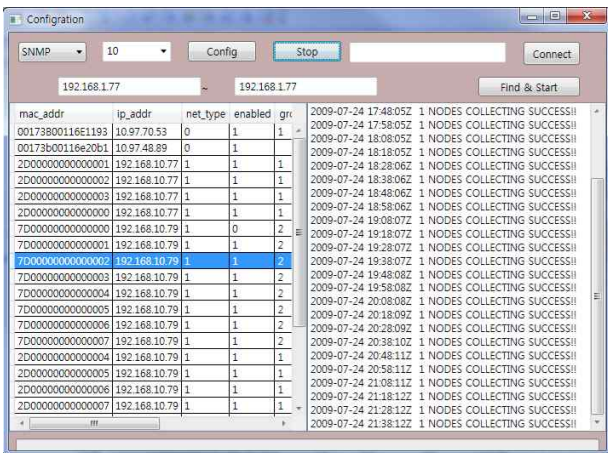


그림 5. 관리 시스템의 구동
Fig. 5. Starting the management system.

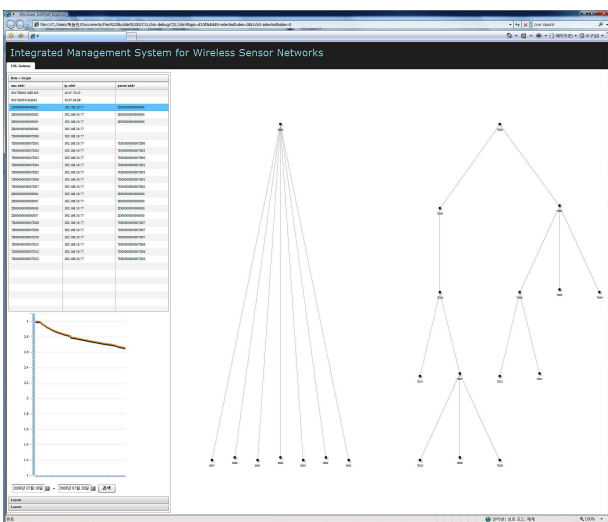


그림 6. 웹 브라우저를 이용한 무선 센서 네트워크 관리
Fig. 6. Management of WSNs through a Web browser.

그림 6은 웹 브라우저를 이용하여 관리 시스템에 접속한 화면들 중의 하나이다. 동적인 화면의 제공과 상호 대화식의 관리가 가능하도록 하기 위하여 웹 어플리케이션은 Flex[25]로 구현하였다. 그림 6의 오른쪽 부분은 토폴로지를 보여 주는 것으로서, 스타형으로 구성된 네트워크와 트리형으로 연결된 네트워크를 표현해 주고 있다. 또한, 왼쪽 상단은 MIB으로부터 읽어 온 관리 정보들을 텍스트로 표현하고 있고, 왼쪽 하단은 특정한 노드의 전압 변화를 그래프로 나타내고 있다.

이상과 같이, 본 장에서는 무선 센서 네트워크 관리 시스템을 직접 구현한 사례를 보임으로써 제안한 시스템을 이용하여 다양한 무선 센서 네트워크들을 효율적으로 관리할 수 있음을 알 수 있었다.

V. 결 론

본 논문에서는 무선 센서 네트워크를 통합적으로 관리하기 위한 프레임워크를 제시하고, 관리 시스템과 게이트웨이의 구조를 설계하였다. 게이트웨이는 무선 센서 네트워크의 종류와 기술에 상관없이 투명한 관리가 가능하도록 무선 센서 네트워크들과 IP 네트워크를 연결한다. 다양한 네트워킹 기술과 하드웨어 플랫폼들을 지원함으로써 통합된 관리가 가능하도록 한 것이다. 게이트웨이는 이기종의 다양한 무선 센서 네트워크들로부터 관리 정보를 수집하여 MIB에 저장하고, SNMP를 통하여 IP 네트워크에 연결된 관리자에게 해당 정보를 제공한다. 관리 시스템은 SNMP를 이용하여 게이트웨이의 MIB으로부터 정보를 읽어 온 뒤 자체적인 데이터베이스에 저장한다. 무선 센서 네트워크를 관리하기 위하여 관리 시스템과 게이트웨이 사이에서 SNMP를 사용함으로써 네트워크와 노드에 부하를 주지 않고 SNMP의 장점을 활용할 수 있다. 그리고 관리 시스템의 기능 모듈들은 다양한 모니터링, 분석, 제어 기능들을 수행한다. 관리자는 인터넷이 사용가능한 곳이라면 어디서든지 웹 브라우저를 이용하여 관리 시스템에 접속할 수 있다. 본 논문에서 우리는 설계한 관리 시스템과 게이트웨이를 직접 구현하고 실제 무선 센서 네트워크들을 구성하여 실험함으로써 동적인 화면과 가시적인 도구를 이용하여 효율적으로 무선 센서 네트워크를 관리할 수 있음을 보였다.

향후에는 계속해서 개발되고 있는 네트워킹 기술, 운영체제, 하드웨어 플랫폼들을 추가적으로 지원할 수

있도록 해당 컴포넌트들을 구현해 나갈 계획이다. 또한, 관리 기능들을 더욱 다양하고 편리하게 구현하여 완성도를 높일 필요가 있으며, 무선 센서 네트워크를 위한 MIB 구조를 정확하게 정의하는 것이 과제로 남아 있다.

참 고 문 헌

- [1] Ian F. Akyildiz, Weilian Su, Yogesh Sankarasubramaniam, and Erdal Cayirci, "A Survey on Sensor Networks," *IEEE Communications Magazine*, Vol. 40, No. 8, pp. 102-114, Aug. 2002.
- [2] Jamal N. Al-Karaki and Ahmed E. Kamal, "Routing Techniques in Wireless Sensor Networks: A Survey," *IEEE Wireless Communications*, Vol. 11, No. 6, pp. 6-28, Dec. 2004.
- [3] Kemal Akkaya and Mohamed Younis, "A Survey on Routing Protocols for Wireless Sensor Networks," *Ad Hoc Networks*, Vol. 3, No. 3, pp. 325-349, May 2005.
- [4] Jae-Won Choi and Kwang-Hui Lee, "A Reliable Data Transfer Mechanism Using Directed Diffusion in Wireless Sensor Networks," *Journal of the Institute of Electronics Engineers of Korea*, Vol. 43-TC, No. 8, pp. 77-83, Aug. 2006.
- [5] Jae-Won Choi and Kwang-Hui Lee, "A Real-Time Data Transfer Mechanism Considering Link Error Rates in Wireless Sensor Networks," *Journal of the Institute of Electronics Engineers of Korea*, Vol. 44-TC, No. 1, pp. 146-154, Jan. 2007.
- [6] Linnyer Beatrys Ruiz, J. Marcos Nogueira, and Antonio A. F. Loureiro, "MANNA: A Management Architecture for Wireless Sensor Networks," *IEEE Communications Magazine*, Vol. 41, No. 2, pp. 116-125, Feb. 2003.
- [7] Jae-Won Choi, "Design and Implementation of a Web-Based Network Monitoring and Analysis System," M.S. Thesis, Dept. of Computer Engineering, Changwon National University, South Korea, Dec. 2001.
- [8] Jae-Won Choi and Kwang-Hui Lee, "A Web-Based Management System for Network Monitoring," *Proc. of the IEEE Workshop on IP Operations and Management (IPOM 2002)*, pp. 98-102, Dallas, Texas, USA, Oct. 29-31, 2002.
- [9] IEEE Std 802.15.4-2003, *Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs)*, Oct. 1, 2003.
- [10] J. Case, M. Fedor, M. Schoffstall, and J. Davin, *A Simple Network Management Protocol (SNMP)*, IETF RFC 1157, May 1990.
- [11] William Stallings, *SNMP, SNMPv2, SNMPv3, and RMON 1 and 2*, 3rd Ed., Addison Wesley, New York, Jan. 1999.
- [12] Wenli Chen, Nitin Jain, and S. Singh, "ANMP: Ad Hoc Network Network Management Protocol," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications (JSAC)*, Vol. 17, No. 8, pp. 1506-1531, Aug. 1999.
- [13] Chien-chung Shen, Chaiporn Jaikaeo, Chavalit Srisathapornphat, and Zhuochuan Huang, "The Guerrilla Management Architecture for Ad Hoc Networks," *Proc. of the Military Communications Conference (MILCOM 2002)*, Vol. 1, pp. 467-472, Anaheim, California, USA, Oct. 7-10, 2002.
- [14] Gilman Tolle and David Culler, "Design of an Application-Cooperative Management System for WSN," *Proc. of the 2nd European Workshop on Wireless Sensor Networks (EWSN 2005)*, Istanbul, Turkey, Jan. 31 - Feb. 2, 2005.
- [15] Martin Turon, "MOTE-VIEW: A Sensor Network Monitoring and Management Tool," *Proc. of the 2nd IEEE Workshop on Embedded Networked Sensors (EmNetS-II)*, pp. 11-18, Sydney, Australia, May 30-31, 2005.
- [16] Budhaditya Deb and Badri Nath, "Wireless Sensor Networks Management," available at http://www.research.rutgers.edu/~bdeb/sensor_networks.html
- [17] Gerald Wagenknecht, Markus Anwander, Torsten Braun, and Thomas Staub, "MARWIS: A Management Architecture for Heterogeneous Wireless Sensor Networks," *Proc. of the 6th International Conference on Wired/Wireless Internet Communications (WWIC 2008)*, Springer LNCS 5031, pp. 177-188, Tampere, Finland, May 28-30, 2008.
- [18] Arch Rock PhyNet Server, http://www.archrock.com/products/phynet_server.php
- [19] TinyOS, <http://www.tinyos.net>
- [20] ZigBee Alliance, <http://www.zigbee.org>
- [21] N. Kushalnagar, G. Montenegro, and C. Schumacher, "IPv6 over Low-Power Wireless Personal Area Networks (6LoWPANs): Overview, Assumptions, Problem Statement, and Goals," IETF RFC 4919, Aug. 2007.

[22] G. Montenegro, N. Kushalnagar, J. Hui, and D. Culler, "Transmission of IPv6 Packets over IEEE 802.15.4 Networks," IETF RFC 4944, Sep. 2007.
 [23] Arch Rock PhyNet Router, http://www.archrock.com/products/phynet_router.php
 [24] AVR Project Mall, <http://www.projectmall.co.kr>
 [25] Adobe Flex, <http://www.adobe.com/products/flex>

저 자 소 개



최 재 원(정회원)
 2000년 2월 창원대학교
 컴퓨터공학과 학사 졸업
 2002년 2월 창원대학교
 컴퓨터공학과 석사 졸업
 2007년 2월 창원대학교
 컴퓨터공학과 박사 졸업

2007년 12월~2008년 11월 미국 미주리대학교
 박사후 연구원
 2009년 2월~2009년 6월 창원대학교
 컴퓨터공학과 초빙교수
 2009년 9월~현재 경남대학교 컴퓨터공학부
 BK21 연구교수
 <주관심분야: 무선 센서 네트워크, QoS 라우팅,
 네트워크 관리 시스템>



고 영 탁(학생회원)
 2005년 2월 창원대학교
 컴퓨터공학과 학사 졸업
 2005년 9월~2008년 5월 맥스포
 선임연구원
 2008년 9월~현재 창원대학교
 컴퓨터공학과 석사과정

<주관심분야: 센서 네트워크, 유비쿼터스 미들웨어>



김 한 경(정회원)
 1973년 서울대학교
 원자력공학과 학사 졸업
 1987년 충북대학교 대학원
 전산통계학과 석사 졸업
 1996년 충북대학교 대학원
 전자계산학과 박사 졸업

1997년~현재 창원대학교 컴퓨터공학과 교수
 <주관심분야: 소프트웨어공학, 프로젝트관리론>



이 광 휘(정회원)
 1983년 2월 고려대학교
 전자공학과 학사 졸업
 1985년 2월 고려대학교
 전자공학과 석사 졸업
 1989년 2월 고려대학교
 전자공학과 박사 졸업

1991년~1992년 영국 Wales 대학(Swansea) 및
 Newbridge Networks 연구원
 1992년~1993년 영국 Reading 대학 연구원
 1997년~1998년 영국 Reading 대학 연구원
 2001년~2002년 영국 UCL 방문연구원
 2007년~2008년 영국 Reading 대학 방문연구원
 1988년~현재 창원대학교 컴퓨터공학과 교수
 <주관심분야: 무선 센서 네트워크, QoS/네트워크
 관리, 멀티캐스팅, 모바일 컴퓨팅>