멀티홉 트리 라우팅 알고리듬을 적용한 무선 통합 공기질 측정 센서노드에 관한 연구

권종원, 구상준, 강상혁, 김희식
서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학부

A Study of Integrated Wireless Air Quality Monitoring Sensor Node using Multi-Hop Tree Routing Algoritm

Jongwon Kwon, Sangjun Koo, Hiesik Kim, Sanghyuk Kang
Dept. of Electrical Computer Engineering University of Seoul, in Seoul

Abstract - 기존의 지그비 기반의 유비쿼터스 센서 네트워크 기술을 적용한 각종 모니터링 어플리케이션들은 노드 수가 증가함에 따라 라우팅 오버헤드 및 종단간의 지연 등 네트워크 성능에 부정적인 영향을 주는 네트워크 효율성에 대한 문제점을 많이 보이고 있다. 본 논문에서 이런 문제점을 해결하기 위해 지그비 기술을 이용하여 멀티홉을 지원하는 트리 라우팅 알고리듬을 적용한 유비쿼터스 지하철역 공기질 모니터링을 위한 무선 통합 공기질 측정 센서노드를 설계하고 실제 지하철역 현장에서 성능평가를 수행하였다. 본 연구결과는 지하 환경에서 신뢰성있는 센서 네트워크를 구축하고 차후 광대역 통합 네트워크망과 연동을 통해 다양한 서비스 사업의 기반이 될 것으로 판단된다.

1. 서 론

현재 정보화 도시의 패러다임은 개별적인 기존 IT 기술들의 집합에서 필요한 정보를 손쉽게 습득하고 이용할 수 있는 센서 네트워크 망뿐 아니라 다양한 정보들을 효과적으로 제공 및 관리할 수 있는 통합적인 시스템의 필요성 증가로 변화하고 있다. 그 중 지하철역사는 면적이 넓고 여러 층으로 구분되어 있기 때문에 인력을 사용하여 지하터널 구석구석의 대기환경 정보를 모니터링 하는 것은 쉽지 않다. 또한 최근 지하철역 대기환경에 대한 관심이 높아지면서 지하철 대기환경 모니터링의 빠른 도입이 필수적이다. 특히 화재나 천재지변 등이 발생할 경우 큰 인명사고가 발생할 수 있으므로 사전에 예방할 수 있는 실시간 모니터링 시스템 구축이 필요하다. 따라서 광대역 통합 네트워크 기술기반의 지하철역내 실시간 재난 및 대기환경 모니터링 시스템을 구축한다면 재난 및 긴급 상황 발생 시 중앙 관제실에서 사고가 발생지점을 신속히 파악하여 시민들을 안전하게 대피시킬 수 있을 것으로 판단된다. 본 연구는 유비쿼터스 관련 기술 중 환경 분야 적용을 위한 기반연구로써, 지하철 역사의 실시간 대기환경 모니터링 분야로 광대역 통합 네트워크 관련 기술의 적용을 위한 기반 연구를 수행하였고, 지하철 역사 공기질 모니터링을 위한 응용시스템을 개발하여 실제 지하철 역사에 적용하여 성능 평가를 수행하였다.

2. 지하철역 무선 통합 공기질 측정 센서노드 하드웨어 설계

2.1 실내 공기질 측정을 위한 확장형 통합 센서보드 설계

유비쿼터스 센서 네트워크를 구현하기 위해서는 다양한 응용영역에 따라 일체식의 다양한 센서의 종류가 요구되고 있다. 국내의 센서 기술의 경우 주로 장치 감지 및 제어 등의 용도로 센서가 개발되고 있어 크기, 전력소모, 감도 등 무선 센서노드에 적용하기에는 한계가 있다. 현재 일부 지하철역에는 공기질 모니터링 시스템이 설치되어 있지만 수억대에 이르는 고가의 장비이기 때문에 지하철역 승강장의 곳곳에 전략적으로 배치를 할 수 없다. 이로 인해 기존의 장비를 이용하여 지하철역 내 전체를 효율적으로 측정 관리하기는 불가능하다. 따라서 본 논문에서는 지그비 기반의 무선 네트워크 기술을 적용하여 지하철역 내부의 승강장, 관리실, 대합실, 지하터널 등 전략적인 위치에 적절히 배치하기 위한 저가의 무선 통합 공기질 측정 센서노드 하드웨어를 설계하였다. 이 통합 공기질 측정 센서보드는 차후 추가적인 가스센서를 용이하게 인터페이스하기위해 외부 확장 보드로 구현하였고 무선통신 파트와 개별 MCU를 사용하여 이종 간의 센서로부터 측정된 데이터를 효율적으로 패키징하여 무선통신용 플랫폼으로 UART 인터페이스를 이용하여 전송한다. 본 무선 통합 공기질 측정 센서노드에 적용한 센서는 다음과 같다.

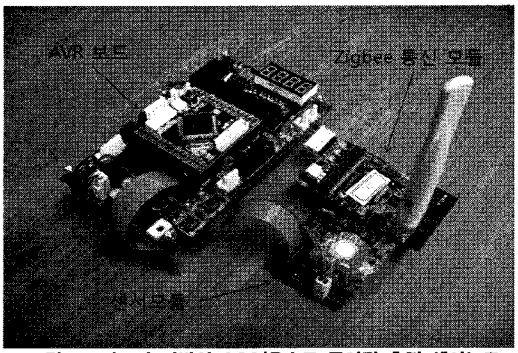
<표 1> 무선 통합 공기질 측정 센서에 장착된 센서 종류

종 류	동작원리	생산국
미세먼지 센서	광산란방식	국산
CO2	비분산적외선방식	국산
온도	MEMS	스위스
습도	MEMS	스위스

무선센서노드의 MCU는 ATmega128을 채택하였다. 이는 저렴하면서도 각 이종의 공기질 측정 센서들을 통합적으로 제어할 수 있다. 각 센서로부터 측정된 데이터를 하나의 문자열로 패키지화하여 UART 포트를 이용하여 통신용 플랫폼인 ZigbeX로 전송한다. 적용된 미세 먼지센서는 광산란법을 적용하여 샘플링된 미세먼지 입자를 관측체적 내로 1개씩 통과시켜 산란된 빛을 집광장치에 의해 광 검출기로 전달하여 산란광의 양에 비례하여 전압(전류)의 세기로 변환되어 전기적 신호로서 나타나는 Pulse의 높이 및 개수 측정하는 방식이다. Pulse의 높이는 Calibration Data에 따라 입자의 크기로 변환하고 Pulse의 개수는 입자의 개수로 표시된다. CO2센서는 적외선램프로 부터 방출된 4.2㎛ 파장의 빛이 센서까지 도달하는 과정에서 CO2 가스 농도에 따라 빛의 양이 줄어드는데 그 빛의 양을 센서에서 검출하여 이를 전기적인 신호로 변환하여 측정하는 방식의 비분산적외선 기법의 센서를 적용하였다. 온습도 센서는 단일 CMOS칩에 온도, 습도 센서 및 14bit A/D Converter, EPROM, 그리고 2-wire 인터페이스를 집적한 SHT-11을 장착했다. 무선 통합 공기질 측정 센서노드의 전원은 배터리 수명을 계산한 결과 각 공기질 센서 측정 시 소모되는 전력량에 기존의 배터리를 사용하기에는 무리라고 판단하여 외부전원을 사용하도록 설계하였다.

2.2 지그비 기술을 이용한 무선통신용 플랫폼 설계

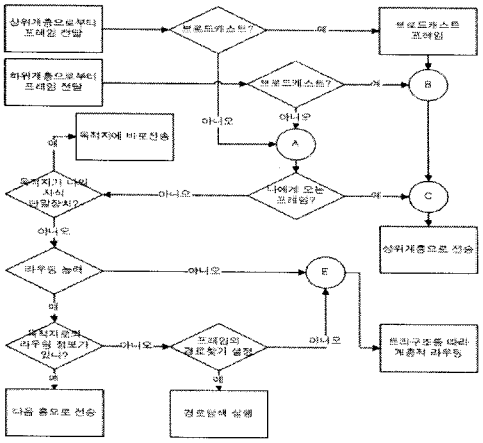
지그비(ZigBee)는 실내 무선 네트워크 구축을 위해 10~20m 내외, 최대 100m 이내의 무선 통신을 지원하는 근거리 통신기술로 최근 이슈화되고 있는 유비쿼터스 소사이어티 구현을 위한 기술이다. 이 기술은 무선통신 분야에서 무선 LAN(IEEE 802.11)이나 다른 WPAN(IEEE 802.15) 기술과 달리 단순 기능이 요구되는 소형 단말기, 저전력 소모, 저가격 무선 디바이스 설계에 적용할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 이런 지그비 기술을 지하철역 내의 실내 무선 통합 공기질 측정 센서 노드를 설계에 적용하였다. 본 논문에서 사용한 지그비 플랫폼은 ZigbeX 솔루션이다. 이 지그비 솔루션을 운용하기 위해서 MCU에 탑재되는 TinyOS를 사용하여 확장형 통합 센서 보드로부터 전송되는 데이터를 UART 포트를 이용하여 수신하고 멀티홉이 가능한 트리 라우팅 알고듬을 적용하였다.



<그림 1> 지그비 기반의 CO2/온습도 공기질 측정 센서노드

3. 무선 통합 공기질 측정 센서노드를 위한 소프트웨어 설계

본 논문에서 무선 통합 공기질 센서 노드 소프트웨어 설계를 위해 작성된 TinyOS 기반의 프로그램은 미세먼지, CO2, 온습도 센서로부터 측정된 값을 문자열로 구성하여 UART를 통해 입력하기 위한 컴포넌트와 트리구조의 멀티홉 라우팅 알고리듬을 구현한 무선통신 컴포넌트로 구분된다. 트리 라우팅 구조는 싱크노드를 기준으로 무선 센서 노드들이 나뭇가지형태로 연결되는 형태를 말하고, 이 트리 라우팅 알고리듬은 경로를 미리 설정하여 데이터를 전송하기 때문에 기존의 Flooding 라우팅 알고리듬보다 전력 소모면에서 효율적이고 각각의 노드들이 서로의 경로를 확인하고 싱크노드까지 최단거리 탐색 알고리듬이 간단하다. <그림 2>



<그림 2> ZigBee 네트워크 라우팅 알고리듬

멀티홉 트리 라우팅 알고리듬을 구현하기 위해 사용된 구조체는 다음과 <표2>와 같이 11개의 변수로 정의된다. 중간에 거쳐간 경로를 저장하기 위해 5개의 센서노드 아이디를 저장할 수 있도록 데이터 필드를 설정하고 싱크노드와 각각의 센서노드들이 최대 5홉 경로를 저장할 수 있도록 설계하였다.

<표 2> 멀티홉 트리 라우팅 알고리듬을 위해 사용된 구조체

```
typedef struct {
    uint16_t FrameControl;      // 프레임 컨트롤
    uint16_t DstAddr;           // 최종 도착지 모트 아이디
    uint16_t SrcAddr;           // 해당 데이터 모트 아이디
    uint8_t  Radius;            // 홉 카운팅
    uint8_t  SeqNum;            // 시퀀스 넘버
    uint16_t Dst2_for_multihop; // 중간에 거쳐간 모트 아이디 1
    uint16_t Dst3_for_multihop; // 중간에 거쳐간 모트 아이디 2
    uint8_t  UpperData[8];      // 센싱 데이터
    uint16_t Dst4_for_multihop; // 중간에 거쳐간 모트 아이디 3
    uint16_t Dst5_for_multihop; // 중간에 거쳐간 모트 아이디 4
    uint16_t Dst6_for_multihop; // 중간에 거쳐간 모트 아이디 5
} __attribute__ ((packed)) NWKFrame;
```

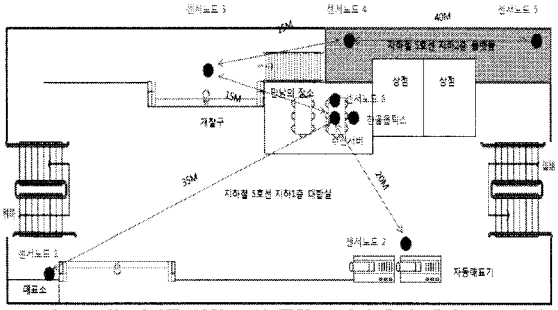
4. 무선 통합 공기질 측정 센서노드 성능평가

4.1 성능평가 개요

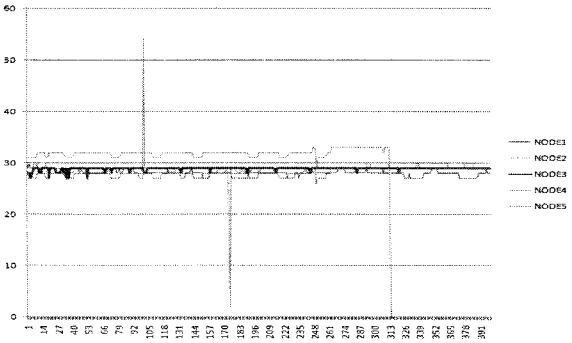
본 성능평가에서는 개발된 무선 통합 공기질 측정 센서노드는 온도, 습도, CO2, 미세먼지 센서를 인터페이스하였고 매 9초 주기로 실내 공기 오염도를 측정할 수 있도록 하였다. 본 무선 통합 공기질 측정 센서노드의 성능평가를 위해 지하철 5호선역 중 한곳을 선정하였다. 대학교내의 건물과는 달리 지하철 역사는 다양한 무선통신 장비 및 구조로 인해 많은 통신 장애가 발생될 것으로 판단되었다. 평가항목은 무선센서노드 네트워크 구성의 안정성과 데이터의 수신율이다. 성능평가를 위해서 사용된 센서노드는 총 8개이고, 세부적으로 살펴보면 온도, 습도, CO2 센서 3종을 장착한 센서 노드 6개와 미세먼지 센서를 장착한 센서노드 1개, 무선을 통해 데이터를 중앙 서버로 수집하기 위해 사용된 Sink노드 1개로 구성된다. 트리 라우팅 형식의 멀티홉 통신이 가능하게 설계하였고 이는 지그비 기술을 기반으로 한다. 멀티홉 통신을 확인하기 위해 <그림3>과 같이 센서노드를 배치하였다.

4.2 성능평가 결과

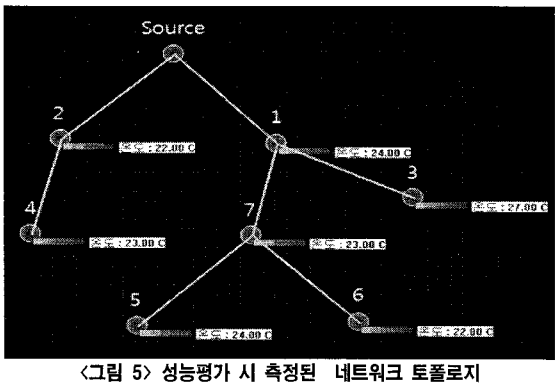
<그림 5>는 성능평가기간동안 측정된 온도의 변화를 보여주고 있다. 아래 결과에서 알 수 있듯이 무선 센서노드 2번에서 전송된 데이터는 무선채널에서 데이터 일부가 손상되어 잘못된 데이터가 두 번 전송된 것을 확인할 수 있다. 하지만 센서노드 5번의 경우 다른 노드에 비해 1/4가량의 현저한 데이터 손실률을 확인할 수 있다. 이는 무선 센서노드가 거쳐오는 중간노드수가 증가함에 따라 랜덤 백오프에 의해 데이터 손실률이 높아지는 것으로 판단된다.



<그림 3> 성능평가를 위한 무선 통합 공기질 측정 센서 노드 배치



<그림 4> 각 무선 센서노드로부터 전송된 온도 데이터 비교



<그림 5> 성능평가 시 측정된 네트워크 토폴로지

5. 결 론

무선 통합 공기질 측정 센서 노드의 배치는 현장의 인프라를 사용하지 않고 지그비 기반의 자체 무선 네크워크화를 목표로 하고 있어 지하철역의 다양한 통신환경에 따라 자유롭게 변경할 수 있도록 하였다. 그러나 센서의 개수와 운영범위의 넓이에 대한 문제는 무선 통합 공기질 측정 센서노드 배치 계획에 있어 차후 상당히 중요하게 다루어져야 할 항목이다. 멀티홉 통신 시 중간노드 수가 증가함에 따라 데이터 손실률이 증가하는 점을 보완하기 위해 랜덤 백오프 알고리듬 개선 및 트리구조의 라우팅 알고리듬 개선이 필요할 것으로 판단된다.

감 사 의 글

본 논문은 2007년도 서울시 산학연 협력사업(GS070154)의 지원으로 연구되었습니다.

[참 고 문 헌]

[1] 김지은 (J.E. Kim)외 3명, "USN 센서노드 기술 동향", 전자통신동향분석 제 22권 제 3호 RFID/USN, GIS 융합기술 동향 특집, 2007년 6월

[2] 박승민, "센서 네트워크 노드 플랫폼 및 운영체제 기술동향", 전자통신동향분석 제21권 제1호 2006년 2월

[3] 권종원 외 2명, "지하철역 대기환경 감시를 위한 유비쿼터스 센서 네트워크, 2007 정보 및 제어심포지엄 ICS 07, 2008. 4.

[4] 이승희 외, 2006, "무선 센서 네트워크에서 에너지 효율적인 데이터 전달 프로토콜" 정보과학회논문지, 제33권 제2호, 한국정보과학회, 한국, pp.165-174