

Design of Border Surveillance and Control System Based on Wireless Sensor Network

Hwang Bo Ram[†] · An Sun Shin[‡]

ABSTRACT

WSN (Wireless Sensor Network) based on low-power is one of the core technologies in the ubiquitous society. In this paper, we present a border surveillance and control system in WSN environment. The system consists of static sensor node, mobile sensor node, static gateway, mobile gateway, server and mobile application. Mobile applications are divided into user mode and manager mode. So users monitor border surveillance through mobile phone and get information of border network environment without time and space constraints. In manager mode, for the flexible operation of nodes, manager can update to the software remotely and adjust the position of the mobile node. And also we implement a suitable multi-hop routing protocol for scalable low-power sensor nodes and confirm that the system operates well in WSN environment.

Keywords : WSN (Wireless Sensor Network), Border Surveillance and Control System, Static Node, Mobile Node, Mobile Application Mode, Routing Protocol

WSN 기반 국경 감시 및 제어 시스템 설계

황 보 람[†] · 안 순 신[‡]

요 약

저전력 기술에 기반한 무선 센서 네트워크 (Wireless Sensor Networks, WSN) 기술은 유비쿼터스 사회에서 핵심 기술 중 하나이다. 본 논문에서는 WSN환경에서의 국경 감시 및 제어 시스템을 제안한다. 시스템은 고정 센서노드, 모바일 센서노드, 고정 게이트웨이, 모바일 게이트웨이, 서버, 모바일 애플리케이션으로 구성된다. 이 시스템의 유용성은 모바일 애플리케이션은 사용자모드와 관리자모드로 나뉘어, 일반 사람들도 시간과 공간의 제약 없이 스마트폰을 통해 국경 침범을 감시하고 국경 망 환경에 대한 데이터를 얻을 수 있다. 관리자모드에서는 노드들의 유동적 작동을 위해 관리자가 원격으로 소프트웨어 업데이트를 할 수 있고, 모바일 노드의 위치를 조정할 수 있다. 또한 저전력 센서노드의 확장성을 위해 시스템에 적합한 멀티 흡 라우팅 프로토콜을 적용하여 구현하였으며 제안한 시스템이 한정된 자원과 저사양의 하드웨어로 동작하는 WSN환경에서도 신속하고 정확하게 동작함을 확인하였다.

키워드 : 무선 센서 네트워크, 국경 감시 및 제어 시스템, 고정 노드, 모바일 노드, 모바일 애플리케이션 모드, 라우팅 프로토콜

1. 서 론

국경 감시 센서 네트워크의 센서노드들은 한정된 자원과 저사양의 하드웨어로 동작하며, 각 침입탐지 센서들이 수집한 데이터를 신뢰성 있게 전송할 수 있어야 한다[3]. 이를 고려하여 본 논문은 WSN 기반 국경 감시 및 제어 시스템의 설계와 성능 분석을 제시한다. 본 논문의 시스템은 고정 센서노드, 모바일 센서노드, 고정 게이트웨이, 모바일 게이트

웨이, 서버, 모바일 애플리케이션으로 구성된다. 모바일노드는 모바일 센서노드 또는 모바일 게이트웨이로 나뉘며 명령에 따라 움직일 수 있는 기능이 있다. 그리고 센서노드는 적외선센서, 전동센서, 자기센서, 음향센서 등이 부착되어 있다고 가정한다. 본 논문에서는 이러한 센서노드들을 국경 망에 배치하여 주변 환경에 대한 데이터를 주기적으로 게이트웨이를 통해 서버로 전달하고, 시/공간적 편의성을 위해 스마트폰 애플리케이션을 통해 데이터를 조사하거나 노드를 제어할 수 있도록 설계 및 구현하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 기존의 국경 감시 및 제어 시스템의 문제점을 통해 본 논문 시스템의 필요성을 설명하고 유사한 적용사례를 살펴본다. 3절에서는 본 논문에서 구현한 시스템의 구조와 라우팅 프로토콜, 출력 제어 알고리즘, 자원관리 등에 대해 기술한다. 4절에서는 3절에서 언급한 시스템을 구현 및 반복 실험한 결과를 기술하고 마지막으로 5절에서는 본 논문의 결론과 앞으로의 연구 방향에 대하여 언급한다.

* 이 논문은 2013년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임.

** 이 논문은 2014년도 한국정보처리학회 춘계학술발표대회에서 'WSN 기반 국경 감시 및 제어 시스템 설계'의 제목으로 발표된 논문을 확장한 것임.

† 준 회 원: 고려대학교 전기전자공학 석사과정

‡ 비 회 원: 고려대학교 전자공학과 교수

Manuscript Received : June 30, 2014

First Revision : August 27, 2014; Second Revision : September 23, 2014

Accepted : September 23, 2014

* Corresponding Author : An Sun Shin(sunshin@dsys.korea.ac.kr)

2. 관련 연구

대표적인 감시정찰 시스템인 UGS (Unattended Ground Sensors) 시스템은 고성능 센서, GPS 지원, 항공기 투하식 설치 지원 등의 특성 때문에 상대적으로 고가의 장비와 센서센서를 사용하며, 2홉 이내의 제한된 무선통신의 단점을 지닌다[5]. 외국에서는 대부분 고성능 센서를 탑재한 소수의 센서노드들로 구성된 UGS 시스템 개념의 소규모 센서 네트워크를 적용하고 있고, 국내의 경우에는 군의 전투실험 참가를 통하여 응용연구 단계에서 개발한 시스템의 효용성은 입증하였으나 다양한 운용 환경에서의 시스템 신뢰성 확보가 필요하다. 따라서 현재 국내 기술의 수준은 전반적으로 성숙 단계에 진입하는 시점이지만 시스템 실용화를 위한 추가적인 노력이 필요하다.

본 논문에서는 UGS 시스템의 단점을 극복하기 위해 저전력, 저가센서를 이용하여 멀티 흡 네트워크를 구축한다. 또한 일반적인 국경 감시 시스템은 관리자만이 시스템에 관여하고 관리할 수 있는 반면 본 논문에서는 확장성 있는 시스템을 제안한다. 스마트폰 애플리케이션을 통해 사용자모드와 관리자모드로 나뉘어 각각의 권한에 따라 시스템의 상태를 보고, 통제할 수 있도록 설계하였다. 이 기술의 유용성은 예를 들어, 국경 침입이 발생하였다면 침입 발생 위치와 대피 소를 일반 사용자모드를 통해 알림으로써 신속하게 대처할 수 있다. 뿐만 아니라 모바일 노드를 통해서 고장 난 센서노드와 게이트웨이를 탐지할 수 있고, 침입 예상 발생지역으로 이동시켜 원하는 데이터를 얻을 수 있거나 음영 지역을 최소화시킬 수 있어서 기존의 시스템과는 차별성을 지닌다.

3. 시스템 구조

3.1 시스템의 구성 및 동작

Fig. 1은 본 논문에서 제안하는 WSN 환경에서의 국경감시망 시스템의 구조이다.

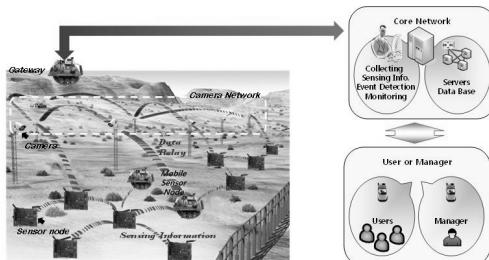


Fig. 1. Architecture of Border Surveillance System

위 구조에 대한 설명은 다음과 같다. 국방 망에 센서노드를 설치하여 주변 환경을 자동적으로 파악하기 위해 저전력, 저비용, 사용의 용이성 등의 장점을 갖는 지그비 모듈을 통해 게이트웨이로 전달한다. 그리고 게이트웨이와 서버를 연결하는 CDMA 모듈을 통해 거리 제약을 벗어난 통신을 제공함으로써 사용자들에게도 신속하고 정확하게 데이터를 전달하는 목적을 가진다. 관리자는 원하는 지역의 데이터를 얻기 위해, 모바일 노드를 통해 명령에 따라 해당 위치로 이동시킨 뒤 데이터를 수집한다. 추후 카메라 연동을 통해 침입 예상 발생 지역으로 모바일 노드를 이동시켜 언제 어디서든 스마트폰으로 예상 지역을 모니터링 할 것이다.

시스템은 Fig. 2와 같이 센서노드(고정/모바일), 게이트웨이(고정/모바일), 서버, 모바일 애플리케이션으로 구성되고 각 요소의 사양 및 기능은 4절에서 언급한다. 모바일노드는 Actuator에 센서노드가 부착되면 모바일 센서노드, 게이트웨이가 부착되면 모바일 게이트웨이라고 명명한다.

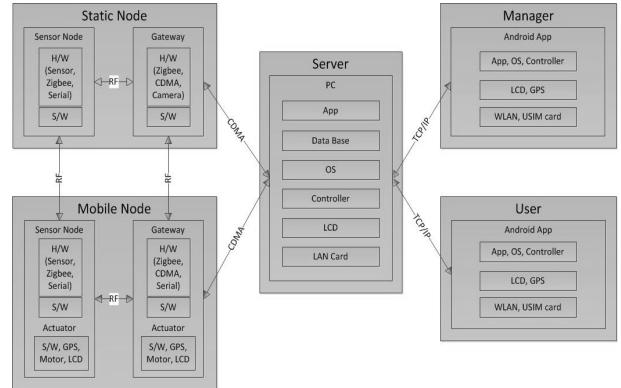


Fig. 2. System Configuration

3.2 시스템의 성격

본 논문의 시스템은 WSN 환경에 적합한 설계를 위해 다음과 같은 성격을 지닌다.

1) 멀티 흡 반응적 라우팅 프로토콜

센서노드들의 이동성을 고려하여 데이터를 수집하여 전달할 때마다 경로를 설정한다. 센서노드는 자신의 고유 ID를 가지고 있고, 주기적으로 데이터와 함께 자신의 ID를 담은 패킷을 방송한다. 지그비 통신 거리 안에 있는 다른 노드들은 이 패킷을 받아서 라우팅 테이블을 구성하게 되고, 게이트웨이에 도달할 때까지 패킷에 자신의 아이디를 추가하여 다시 방송하게 된다. 패킷이 게이트웨이에 도달하면 게이트웨이는 라우팅 테이블에 출발지 노드와 경로를 저장한다. 반대로 관리자로부터 명령을 받은 게이트웨이는 저장된 라우팅 테이블을 통해 목적지 센서노드로 가는 경로로 명령 데이터를 전송한다.

2) 적은 양의 패킷

전달하고자 하는 데이터의 양은 8바이트로, 충분히 작기 때문에 경로를 설정하는 패킷에 포함되어 전달하므로 경로 설정 후 실 데이터를 전달할 필요가 없다. 따라서 전송 시간을 줄여준다. 패킷은 시퀀스 번호, 자신의 ID, 목적지 ID, 실 데이터, 흡 수, 경로로 총 20바이트로 구성된다.

3) 스마트폰 애플리케이션 모드

언제 어디서든 사용할 수 있는 스마트폰 애플리케이션을 통해 사용자모드에서는 국방 망 환경 및 침입 데이터를 볼 수 있고, 관리자 모드에서는 원하는 고정/모바일 노드를 제어할 수 있다.

4) 효율적인 자원 관리

센서노드의 모든 센서가 활성화 되어 있다면 에너지가 낭비되므로, 관리자가 각 노드의 센서의 제어할 수 있다. 예를 들어 4번 노드는 적외선, 전동 센서만 활성화 시키도록 명령한다면, 4번 노드는 다음 지시가 있을 때까지 적외선, 전동 데이터만 주기적으로 서버에 전달하고 이외의 센서들은 슬립모드로 둔다.

5) 전력 제어

WSN 환경에서는 지속적으로 전원을 제공할 수 없기 때문에 노드는 한정된 에너지로 감지하고 통신해야 하며, 에너지 효율성은 네트워크의 수명을 결정하는 핵심 설계요소이다. Fig. 3은 경로를 설정하면서 수신한 RSSI (Received Signal Strength Indication) 값을 기반으로 맞추면서 상태에 대한 송신 출력을 조절하는 알고리즘을 나타낸다. Fig. 3에서 나타낸 바와 같이 각 노드는 송신 출력을 통신 가능한 적정 수준으로 낮춘다. 그리고 보정된 출력으로 각 센서노드로부터 서버 까지 데이터를 전달하는 과정에서 에너지를 절약하게 된다.

```
const uint8 CODE macRadioDefstxPwrCC2591[] = {
{ 20, /* transmit power level of the first entry */
  (uint8)(8*10), /* transmit power level of the last entry */
  /*20dBm*/ 0xE5, /*19dBm*/ 0xD5, /*18dBm*/ 0xC5, /*17dBm*/ 0xB5,
  /*16dBm*/ 0xA5, /*15dBm*/ 0xA5, /*14dBm*/ 0x95, /*13dBm*/ 0x85,
  /*12dBm*/ 0x85, /*11dBm*/ 0x75, /*10 dBm*/ 0x65 };
Real_RSSI = Register_value - RSSI_offset;
if (RSSI_data - Real_RSSI < 5 ) [MAC_RADIO_TX_POWER = 0x65];
else if (RSSI_data - Real_RSSI < 10 ) [MAC_RADIO_TX_POWER = 0x75];
else if (RSSI_data - Real_RSSI < 15 ) [MAC_RADIO_TX_POWER = 0x85];
else if (RSSI_data - Real_RSSI < 20 ) [MAC_RADIO_TX_POWER = 0x95];
else if (RSSI_data - Real_RSSI < 25 ) [MAC_RADIO_TX_POWER = 0xA5];
else if (RSSI_data - Real_RSSI < 30 ) [MAC_RADIO_TX_POWER = 0xB5];
else if (RSSI_data - Real_RSSI < 35 ) [MAC_RADIO_TX_POWER = 0xC5];
else if (RSSI_data - Real_RSSI < 40 ) [MAC_RADIO_TX_POWER = 0xD5];
else if (RSSI_data - Real_RSSI < 45 ) [MAC_RADIO_TX_POWER = 0xE5];
else [MAC_RADIO_TX_POWER = 0xE5];
```

Fig. 3. RF Power Control Algorithm

6) 모바일 노드의 이동성

네트워크의 확장성을 위해 추가적으로 모바일 노드를 구성하였다. 모바일 노드에는 GPS 모듈이 장착되어 있어 관리자는 애플리케이션을 통해 모바일 노드의 위치를 파악하고 원하는 위치로 이동시킬 수 있다. 따라서 음영 지역을 최소화하거나 예상 침입 발생 지역으로 이동하여 망 커버리거나 신뢰성을 향상시킨다. 모바일 노드는 모바일 센서노드와 모바일 게이트웨이로 나뉘며 통신 기능은 고정 노드와 동일하다.

4. 시스템 구현 및 평가

4.1 시스템 구현 환경

1) 센서 노드

시스템의 센서노드는 TI (Texas Instrument)의 CC2530 2591 모듈을 사용하였다. 이 지그비 모듈은 2.4GHz 대역에서 동작하며 약 500m의 양방향 무선 통신을 지원한다. 또한 지그비 맥 프로토콜을 통해 안정성 있는 통신을 지원한다. 본 센서 노드의 MCU (Main Control Unit)은 ARM Cortex M4로 512KB의 메모리 사양을 가진다. 모바일 Actuator에 센서 노드가 부착되어 있으면 모바일 센서노드, 그렇지 않으면 고정 센서노드로 나뉜다. 그리고 부착된 노드는シリ얼통신을 통해 모바일 Actuator를 조절한다.

2) 게이트웨이

게이트웨이는 인포뱅크의 CDMA 모듈이 추가되며, MCU와 지그비 모듈은 센서노드와 같다. 이 CDMA 모듈은 M2M 방식의 모뎀 대 모뎀의 연결뿐만 아니라 모뎀과 서버의 TCP/IP 통신도 지원한다. 지그비와 달리 거리 제약을 벗

어난다는 점에서 장점을 지니며, 추후 확장성을 위해 게이트웨이는 Wi-Fi 모듈도 부착시킬 수 있도록 설계되었다. 센서노드와 마찬가지로 모바일 Actuator가 부착되어 있으면 모바일 게이트웨이, 그렇지 않으면 고정 게이트웨이로 나뉜다.

3) 모바일 Actuator

모바일 노드의 Actuator는 TI의 보드로 MCU는 ARM Cortex M3이다. Actuator에는 모터, LCD, 범퍼 등이 부착되어 있다. 모바일 노드 이동의 확장성을 위해 보드에 아센의 GPS (Global Positioning System)를 부착한다. 이 GPS는 최대 오차 범위가 10m 이내이고, 원하는 센서노드와 통신 하려면 500m 이내의 거리에 있으면 되기 때문에 GPS의 오차는 통신에 영향을 끼치지 않는다고 본다.

4) 서버

서버는 모바일 애플리케이션과 TCP/IP 소켓통신과 함께 게이트웨이와도 CDMA 소켓통신을 수행한다. 서버는 패킷을 식별하여 게이트웨이, 관리자, 사용자를 구별한다. 그리고 게이트웨이로부터 수신한 데이터를 저장 및 관리하고 관리자는 PC에서 모니터링 할 수 있다.

5) 모바일 애플리케이션

모바일 애플리케이션은 안드로이드를 기반으로, 서버와 TCP/IP 소켓 통신을 위하여 IP와 Port를 입력할 수 있게 하였고 입력한 주소로 접속을 하게 된다. 애플리케이션 모드는 사용자 모드와 관리자 모드로 나뉜다. 관리자 모드는 비밀번호로 인증 후 명령어 전송을 할 수 있으며, 사용자 모드에서는 국경 망 환경과 침입 데이터를 얻을 수 있다.

4.2 시스템 구현

Fig. 4는 본 시스템에서 구현한 시스템을 보여준다. Fig. 4에서는 9개의 고정/모바일 센서노드와 3개의 고정/모바일 게이트웨이로 구성되어 있다. 센서노드에서 모바일 애플리케이션으로의 전송을 위해, 센서노드가 주기적으로 자신의 ID와 함께 주변 환경 데이터를 멀티 훙 지그비 통신으로 게이트웨이에 전송하고, 서버에 접속된 다수의 모바일 애플리케이션으로 패킷을 전송한다. 각 노드의 LED를 통해 실시간으로 전송방향을 확인해 볼 수 있다. 그리고 노드에서 전송된 환경 데이터는 사용자와 관리자 모두 모바일 애플리케이션을 통해 시공간적인 제약 없이 확인 가능하다. 반대로 센서노드의 제어를 위해 비밀번호를 통해 관리자로 인증된 모바일 애플리케이션에서 명령 데이터를 전송하면 서버를

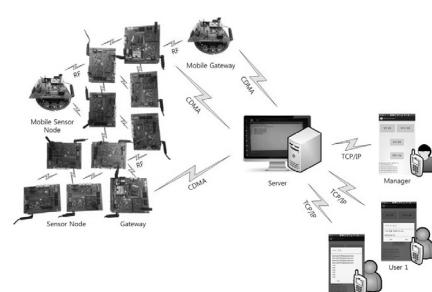


Fig. 4. Implementation of System

통해 게이트웨이에서 라우팅 테이블을 조사하여 목적지 센서노드로 가는 경로로 명령데이터를 전송한다. 목적지 센서노드에서는 명령규칙에 따라 애플리케이션을 업데이트한다. 마찬가지로 LED를 통해 애플리케이션이 업데이트 되었는지 눈으로 확인해 볼 수 있으며, 컴퓨터와 시리얼 통신을 통해 보다 정확한 업데이트 내용을 확인해 볼 수 있다.

4.3 시스템 평가

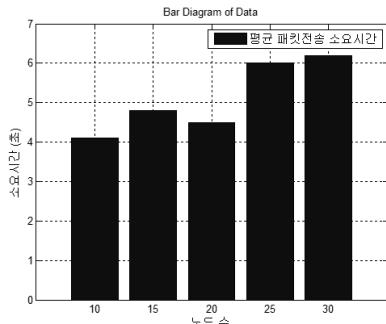


Fig. 5. Delay Time of Packet Transmission

Table 1. Accuracy of Packet Transmission

반복 횟수	노드 수	평균 전송률
100	10	100%
	20	100%
	35	100%
300	10	100%
	20	100%
	35	100%
500	10	100%
	20	100%
	35	100%

본 시스템의 타당성을 평가하기 위해서 데이터가 센서노드에서 모바일 애플리케이션까지 도달하는 데 걸린 시간과 정확도를 측정하였다. Fig. 5와 Table 1은 게이트웨이를 하나로 제한하고 감시망 크기를 일정하다고 가정한 경우, 센서노드의 수를 증가시키면서 자신의 센서 값을 멀티 흡으로 서버로 전송하고 자체 구현한 시리얼 통신 패킷분석기를 통해 100회에서 500회 반복 측정하여 평균값을 제시한 것이다.

Fig. 5와 Table 1을 통해 패킷이 평균 6초 이내로 정확하게 사용자와 관리자에게 전달되는 것을 볼 수 있다. 따라서 본 논문에서 제안하는 시스템이 한정된 자원과 저사양의 하드웨어로 동작하는 WSN환경에서도 신속하고 정확하게 동작함을 보여준다.

5. 결 론

본 논문은 WSN 기반 국경 감시 및 관리 시스템을 제시하였다. 배치된 센서노드들을 통해 국경 침범을 감시하고 노드의 수명이 다한 경우 모바일 노드를 통해 파악할 수 있으며 모바일 센서노드를 원하는 위치로 이동시켜 주변 환경에

대한 데이터를 보다 정확하게 수집할 수 있다. 원격으로 센서노드와 게이트웨이를 관리함으로서 전체 네트워크의 수명을 늘릴 수 있다. 통신 거리가 제한된 저가의 센서노드들로 구성하기 위해 멀티 흡으로 환경에 적합한 라우팅 프로토콜을 통해 데이터가 전달된다. 이러한 시스템들은 관리자에 의해 PC로 제어하게 되는데 그 방법과 장소가 다소 제한적이어서 불편할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 스마트폰으로 데이터를 확인하고 원하는 노드를 편리하게 제어할 수 있는 시스템을 구현하여 제시하였다. 그리고 시스템 평가를 통해 패킷이 신속하고 정확하게 전달되는 것을 확인하였다.

향후 연구로는 국경감시망에 카메라 모듈을 추가하여 실시간 위치와 더불어 주변 환경에 대한 이미지를 전송하고, 모바일 노드의 GPS의 정확한 위치 계산을 위한 기법에 대해 연구할 계획이다. 이외에도 모바일 노드를 이용해 음영 지역을 최소화 하는 기법을 적용하여 네트워크 커버리지를 늘리고, 노드 기능에 슬립모드와 웨이크모드 상태를 추가시켜 대표노드만 활성화 시켜 네트워크 밀도를 제어하고 에너지 손실을 줄일 것이다.

References

- [1] Jiseong Kim, "Design and Performance Analysis of Welfare Management System based on WSN", KOREAN SOCIETY FOR INTERNET INFORMATION, 2008.
- [2] Younghan Kim, "u-Networking Technology", Jinhan M&B, 2010.
- [3] Bellazreg R, "Border Surveillance using sensor based thick-lines". Information Networking (ICOIN), 2013.
- [4] Yewon Jeong, "Optimal Configuration Method of Sensor Network for Intrusion Detection by Considering Environmental Factors", Korean Institute of Information Scientists and Engineers, 2013.
- [5] Vikram Krishnamurthy, "Decentralized Adaptive Filtering Algorithms for Sensor Activation in an Unattended Ground Sensor Network", Signal Processing, 2008.



황 보 람

e-mail : bhrwnag@dsys.korea.ac.kr
2013년 성결대학교 정보통신(공학사)
2013년~현 재 고려대학교 전기전자공학 석사과정
관심분야 : Wireless Sensor Network



안 순 신

e-mail : sunshin@dsys.korea.ac.kr
1973년 서울대학교 전자공학(공학사)
1975년 한국 과학원 정보통신(공학석사)
1979년 ENSEEIHT 정보통신(공학박사)
1979년~1982년 아주대학교 교수
1979년~현 재 고려대학교 전자공학과 교수
관심분야 : Wireless Sensor Network, Ubiquitous Computing/Network, IPv6 Multicast