

애드 혹 네트워크 기반의 무선 영상 관측용 임베디드 시스템의 두 가지 설계 기법들

이 용 업*, 송 창 영*, 박 정 욱*

Two Design Techniques of Embedded Systems Based on Ad-Hoc Network for Wireless Image Observation

Yong Up LEE*, Chang-Yeoung Song*, Jeong-Uk Park*

요 약

이 논문에서는 임시 애드 혹 네트워크 기반 무선 영상 관측이 가능한 임베디드 시스템의 두 가지 설계 기법을 제안하고 구현한다. 첫 번째 방법은 실시간에 가까운 단기 관측 적용 서비스를 위한 임베디드 시스템 설계 기법에 기반을 둔 것으로 160x128 영상을 최대 1 fps(초당 프레임) 속도의 무선 영상 전송 능력을 가지며, 영상처리 기능이 내장된 특수한 원격 관측노드를 가진다. 두 번째 방법은 일반 무선 영상 장기 관측을 위한 임베디드 시스템을 사용하며, 1/3 fps 무선 영상 전송 능력을 가지고, 영상처리가 내장된 시스템 제어기, 주노드, 관측노드로 구성이 된다. 제안 시스템은 저전력 근거리 양방향 디지털 통신 방식으로 잘 알려진 애드 혹 무선 네트워크를 사용하며, 제안 시스템의 하드웨어는 일반 개발 보드, 소형 카메라, 그리고 시스템 제어를 위해 PC로 구성되며, 지그비 스택에 기반을 둔 임베디드 소프트웨어와 시스템 제어용 사용자 인터페이스 소프트웨어가 개발되고 구현된 하드웨어 모듈에 내장되어 동작된다. 또한 프로토콜 분석기를 사용해 무선 환경 분석을 수행한다.

Key Words : wireless image observation, ad-hoc network, embedded system, design, implementation

ABSTRACT

In this paper, the two design techniques of the embedded system which provides a wireless image observation with temporary ad-hoc network are proposed and developed. The first method is based on the embedded system design technique for a nearly real-time wireless short observation application, having a specific remote monitoring node with a built-in image processing function, and having the maximum rate of 1 fps (frame per second) wireless image transmission capability of a 160x128size image. The second technique uses the embedded system for a general wireless long observation application, consisting of the main node, the remote monitoring node, and the system controller with built-in image processing function, and the capability of the wireless image transmission rate of 1/3 fps. The proposed system uses the wireless ad-hoc network which is widely accepted as a short range, low power, and bidirectional digital communication, the hardware are consisted of the general developed modules, a small digital camera, and a PC, and the embedded software based upon the Zigbee stack and the user interface software are developed and tested on the implemented module. The wireless environment analysis and the performance results are presented.

※ 본 연구는 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(No.2010-0023678)

•° First Author and Corresponding Author : Hallym University 전자공학과 통신시스템 연구실, yulee@hallym.ac.kr, 정희원

* 한림대학교 전자공학과대학원, sssong@hallym.ac.kr, jwpark9023@hallym.ac.kr

논문번호 : KICS2014-02-068, Received February 28, 2014; Reviewed April 23, 2014; Accepted April 23, 2014

I. 서 론

가정과 사회에서 보안이나 보호 등의 목적으로 무선 관측의 필요성이 증대하고 있다. 무선관측기술은 수집된 영상, 음성, 센싱 데이터 등을 무선 전송 수단을 사용해 멀리 떨어진 관측 시스템에 화면이나 출력 장치를 통해 알려 주는 것이다^[1-2]. 최근 초고속 인터넷과 무선 휴대폰 등의 유무선 네트워크 기술이 발전함에 따라, 이를 보안 분야에 응용하려는 연구 개발이 학계 및 산업계에서 활발히 진행 중이다^[3]. 가장 활발히 다루는 주제는 무선 네트워크 기반의 원격관측 기술 개발이다. 최근에 IEEE 802.15.4 표준 기반의 디지털 무선 네트워크 통신 방식인 지그비 (Zigbee) 기술을 사용해 무선 원격관측을 하려는 연구가 있었다.

그런데, 종래 애드 혹 무선 네트워크를 이용한 무선 원격관측 방식들은 주로 소규모의 단순한 무선 데이터 제어와 적외선 센싱 검침 방식으로, 현지 상황에 대해 명확한 파악이 가능한 영상관측 기능이 없다^[4-6]. 일부의 애드 혹 무선 네트워크 기반 무선 영상관측 기법도 주로 정지영상이나 160x128 화소의 작은 크기 영상 관측에도 0.3 fps 이하 관측 속도의 느린 무선 원격관측이다^[7,8]. 이런 문제 해결을 위한 연구는^[9-10] 주로 효율적인 관측 영상데이터의 압축 전송알고리즘에 의한 시간감소 기법 연구에 대해 수행이 되었다. 그런데, 빠른 무선 영상관측을 위해, 이론적 알고리즘 제안보다 무선 관측 시나리오의 하드웨어 시스템 설계와 구현, 최적화가 실제 더 중요하다.

이 논문연구에서는 애드 혹 무선 네트워크 기반 원격 영상 관측용 하드웨어 시스템 구현을 위해, 저전력 양방향 디지털 통신이며 네트워크 설치가 용이한 지그비 네트워크 내 관측노드에 전송시간 감소를 위해, 영상 압축 하드웨어 기능이 내장된 카메라 탑재와 수집 영상의 고속 무선 전송을 위한 전용 임베디드 하드웨어 설계와 임베디드 소프트웨어 개발 작업을 통해, 완전한 무선 원격 영상 관측 시스템을 구현한다. 그리고 애드 혹 네트워크 기반 무선 영상 관측이 가능한 임베디드 시스템의 두 가지 설계 기법을 제안하고 구현한다. 효율적 관측을 위해, 1 분의 관측시간을 기준으로 단기와 장기 관측으로 구분하여 두 가지 제안 시스템을 각각 무선 관측 환경에 따라 효율적으로 적용한다. 여기서 1 분 기준은 관측노드의 저장 메모리 용량에 따라 결정을 하였다.

첫 번째 방법은 실시간에 가까운 1 분 이내의 단기 관측 적용을 위한 임베디드 시스템 설계 기법에 기반을 둔 것으로 160x128 영상을 최대 1 fps (초당 프레

임) 속도의 무선 영상 전송 능력을 가지며, 영상처리 기능이 내장된 특수한 원격 관측노드를 가진다. 두 번째 방법은 1분 이상의 일반 무선 영상 장기관측을 위한 임베디드 시스템으로 1/3 fps 무선 영상 전송 능력을 가지고, 영상처리가 내장된 시스템 제어기, 주노드, 관측노드로 구성이 된다.

1장에서는 종래 무선관측의 문제점, 논문 동기를 언급하였고, 2장에서 제안 방법론과 두 가지 제안 시스템 개념과 시스템 구조를 제안하고, 3장에서 두 가지 제안시스템의 임베디드 시스템 소프트웨어 설계 제안과 신호흐름 순서도를 사용한 설명이 있으며, 4장에서 제안된 방법론과 개발용 보드를 사용해 구현된 무선영상 관측용 임베디드 시스템의 프로토타입 설명과 무선관측 실험, 성능분석에 대한 설명이 있고, 5장에 결론이 있다.

II. 제안 방법

종래 무선 원격관측은 대부분 단방향 아날로그 송수신 방식에 근거한 센싱 관측인데, 여기서 제안하는 방식은 양방향 디지털 네트워크 통신 기능이 가능한 애드 혹 방식에 의한 영상 원격관측이다. 이절에서 새로운 애드 혹 무선 영상 원격 관측의 제안 방법론, 제안시스템의 구조, 그리고 제안시스템의 핵심모듈인 지그비 방식에 대해 다룬다.

2.1 상위 시스템 설계

이 논문에서 무선 원격관측의 핵심 개념은 종래 제한적인 센싱 정보 관측 대신, 현지 상황을 파악할 수 있는 카메라 영상관측 정보를 애드 혹 무선 네트워크 기능을 사용하여 무선 영상의 원격 관측을 수행하는 것이다. 이를 위해, 구상한 방법론이 그림 1인데, PC 기반의 시스템 제어기, 지그비 송수신기능이 내장된 주노드와 카메라와 지그비 송수신 기능이 있는 원격 관측노드 등으로 구성된다.

그림 1의 제안 방법론에서 전체적인 무선 원격 영상 관측 동작은 다음과 같다. 그림 1에서 건물 내의 사용자가 보안 또는 사정상 건물 내의 다른 지역의 특정 사무실에 있는 상황 (예를 들면 그림 1에서 그림을 감상하는 남녀를 포함해 주변 상황)을 관측할 필요가 있는 경우, 무선관측 시스템 제어기에 있는 주노드에서 관측노드의 카메라로 영상관측을 요청한다. 그러면, 관측노드의 카메라는 목표영상을 수 초간 수집하고, 영상 데이터를 JPEG 방식으로 압축시켜, 프레임 형식의 패킷 애드 혹 데이터로 포맷시킨다. 다시 관측

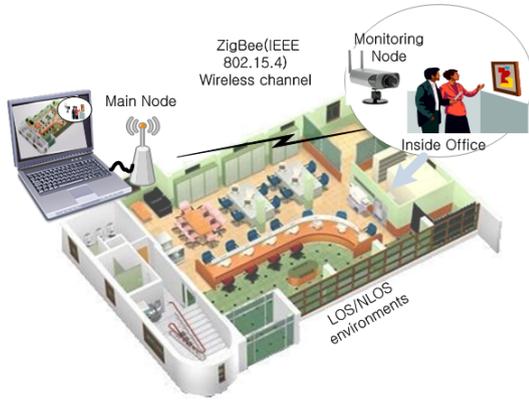


그림 1. 제안 임베디드 시스템을 위한 방법론의 개념도.
Fig. 1. A conceptual drawing of the methodology for proposed embedded system.

노드는 패킷 전송을 통해, 주노드의 시스템 제어기에 데이터 패킷을 전달한다. 제어기는 이를 받아 다시 압축된 영상을 복원하여 PC 화면에 나타낸다. 그림 1의 제안 방법론에 따라 실제 구현될 시스템의 주요 스펙은 표 1에 있다.

그림 2의 제안된 무선 관측 시스템의 핵심기술인 지그비 기술은 일반 디지털 통신 동작과 마찬가지로

표 1. 제안시스템의 주요 스펙.
Table 1. Major specification of the proposed system.

Specification	Description
data speed	<ul style="list-style-type: none"> • 115 kbps serial communication • 1 fps image observation (Method-I) • 1/3 fps image observation (Method-II)
image size	<ul style="list-style-type: none"> • Normal 160x128 (20,480 pixels) • Maximum 328x240 (78,720 pixels)
wireless protocol	<ul style="list-style-type: none"> • IEEE802.15.4(PHY/MAC layer) • Zigbee2006(NWK/ZDO/AF layer)
physical link	<ul style="list-style-type: none"> • 2.4GHz carrier frequency/16channel • DSSS-QPSK modulation • 250kbps data rate/2Mcps chip rate

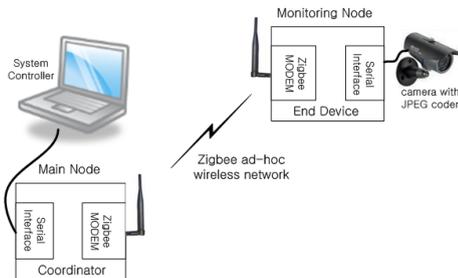


그림 2. 제안 임베디드 시스템의 하드웨어 설계 구성도.
Fig. 2. A hardware design diagram of the proposed embedded system.

계층구조로 동작이 된다. 하드웨어와 펌웨어인 물리 (PHY) 계층과 맥(MAC)계층은 저속 무선개인통신 (LR-WPAN)인 IEEE 802.15.4 표준을 사용하고, 소프트웨어로 구현된 상위계층인 네트워크(NWK)계층, 응용지원(APS) 계층, 보안 (ZDO) 계층 또는 응용프레임 (AF)계층은 지그비 연합체가 정의한 표준 규격이다¹¹⁾.

2.2 하드웨어 설계

그림 1의 방법론에 따라 표 1의 규격을 가지는 무선 원격 관측 시스템의 설계를 위해 그림 2와 같이 전체 제안 시스템 구조를 설계하였다. 그림2에서 PC 기반의 시스템 제어기는 주노드와 직렬접속 방식으로 연결되며, 주노드는 애드 혹 네트워크상에서 코디네이터 역할을 담당한다. 주노드의 주요 기능은 직렬접속 기능과 지그비 송수신 모듈 기능이며, 최대 10 mW 출력의 지그비 신호를 교환한다. 그림 2의 관측 노드는 카메라 모듈과 직렬접속이 되며, 애드 혹 네트워크상에 라우터 또는 엔드 소자 역할을 하며, 코디네이터와 라우터와 함께 네트워크 주소를 공유한다. 그림 2의 카메라 모듈은 관측이미지를 JPEG 방식으로 압축된 이미지 데이터를 관측노드로 직렬전송 한다.

그림 3은 주노드의 내부 구성이다. 이 논문에서 주노드는 TI사의 상용 개발 키트로 지그비 모듈이 내장된 프로토타입¹²⁾, 직렬접속 인터페이스를 사용하여 구성하였다. 그림 3의 주노드 내부 구성은 크게 네 가지 블록인 CPU블록, 메모리블록, 무선블록, 그리고 입출력장치 블록이다. CPU블록은 32MHz 클럭을 사용하는 8051 CPU 코어와 CPU 동작 없이 대규모 데이터 블록 이동이 가능하게 하는 DMA 제어기와 그 주변 회로로 구성된다.

메모리 블록은 8kB SRAM과 128kB 플래시를 사용되는데, SRAM은 시스템 동작에 필요한 프로그램 메모리로 사용되며, 플래시 메모리는 데이터 메모리 용도로 사용된다. 무선 블록은 지그비 무선통신의 핵

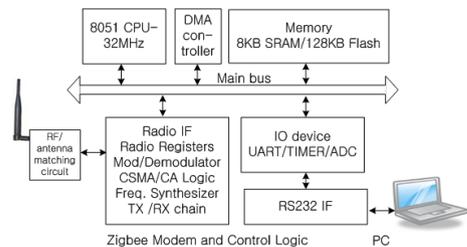


그림 3. 주노드의 전체 하드웨어 구조.
Fig. 3. The overall hardware architecture of the main node.

심모듈로 변복조기, 채널 중재 CSMA-CA 방식의 MAC 알고리즘 로직, 주파수 합성기 로직으로 구성된다. 무선블록은 실제 데이터 코딩된 비트 데이터를 프레임 포맷, 변조, 채널중재 할당 등을 거쳐, 2.4GHz 지그비 신호로 변경해 칩 안테나를 통해 신호를 전송하는 역할이다. 입출력블록에는 타이머, ADC, UART 등이 있으며 시스템 제어기와 직렬통신 인터페이스로 연결되고 각 블록은 주 버스에 8비트로 연결된다.

그림 4는 관측노드의 전체 내부 구조이다. 관측노드는 TI사의 상용 개발 보드, 소형 카메라 모듈, 그리고 직렬접속 인터페이스로 구현되었다. 관측노드의 내부 구조는 주노드와 유사하게 4블록으로 구성된다.

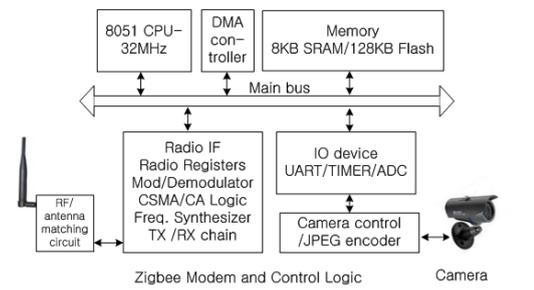


그림 4. 관측노드의 전체 하드웨어 구조
Fig. 4. The hardware architecture of the monitoring node.

III. 시스템 소프트웨어 설계와 동작

그림 1의 방법론에 따라 설계된 그림 2의 제안 무선 영상 관측 시스템 하드웨어의 동작은 두 단계의 기본 기능으로 수행되는데, 한 가지는 카메라의 관측 영상을 생성한 관측노드에서 애드 혹 무선 네트워크를 통해 주 노드로 영상데이터를 패킷 송신하는 기능과 두 번째 수신된 패킷 영상을 주 노드에 연결된 PC 기반 시스템 제어기 사용자인터페이스 화면에 표시하는 기능이다.

그림 2의 제안 시스템은 내장 소프트웨어에 따라 두 가지 동작 모드인 방법-I 시스템과 방법-II 시스템이 된다. 두 가지 동작 방식에서 첫 번째 무선 영상 관측 기법인 방법-I 은 종래 방식에 비해, 1분간의 단기간이지만 세배의 고속으로 무선 네트워크 전송이 가능한 장점이 있고, 두 번째 무선 영상 관측 방식인 방법-II는 종래의 느린 무선 원격 영상 관측 방식과 관측 시간과 속도 면에서 거의 동일하다. 노드의 모듈구조와 신호 흐름 순서를 참조로 해서, 두 가지 모드에 대한 동작설명은 다음과 같다.

3.1 방법-I

그림 2의 제안 시스템을 방법-I 방식으로 설정하면, 긴급한 현지 상황관측이 필요한 경우, 0.5초~1초당 1장의 무선 영상관측 속도로 거의 실시간 영상관측이 가능한 설정이다. 무선 원격 관측 시스템에서 방법-I로 설정되면, 방법-II 시스템 하드웨어와 동일한 그림 2의 시스템 하드웨어를 구동하지만, 내부 임베디드 시스템 소프트웨어 동작 흐름은 전혀 다르게 다음과 같이 동작이 된다.

제안 하드웨어 시스템이 그림 5의 방법-I 임베디드 소프트웨어로 설정되면, 먼저 종단소자와 코디네이터로 애드 혹 무선 네트워크를 구성한다. 하지만 방법-II 방식과 달리, 카메라 초기화와 카메라로부터의 데이터 수집은 단지 관측노드의 종단 소자 동작으로만 수행한다. 그런 후, 구축된 지그비 애드 혹 네트워크를 통해서 종단소자가 수집된 데이터를 주노드에 의해 PC인 시스템 제어기로 전달되고, 시스템 제어기와 사용자인터페이스 소프트웨어를 사용하여 압축데이터 복원과 화면 표시가 수행된다. 표1에서 볼 수 있듯이, 방법-I 방식의 전체 동작 속도 또는 관측 속도는 대략적으로 160x128 크기 영상을 전송할 경우 한 프레임당 0.5-1초가 소요된다.

방법-I 시스템 동작에서 각 노드에 있는 임베디드 소프트웨어 구조와 순서도는 구체적인 시스템의 신호 흐름은 그림 5와 같이 다음과 같다. 방법-I 시스템이 전원 ON상태가 되면 주프로그램인 Zmain.c가 구동

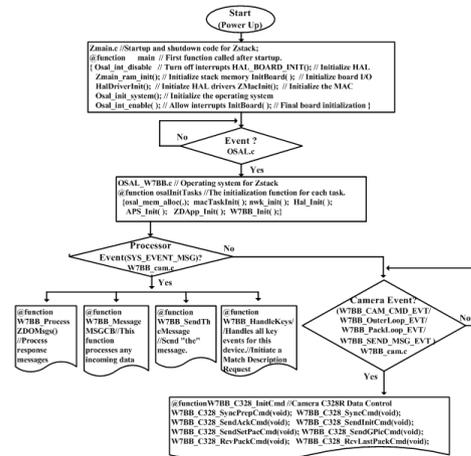


그림 5. 1 fps 속도의 방법-I로 동작하는 무선 관측 시스템의 임베디드 소프트웨어 구조와 신호 흐름.
Fig. 5. The design example of the embedded software architecture and its signal flow chart for camera image processing in the remote monitoring node of Method-I system.

되어 하드웨어 보드 초기화, 내장 메모리 초기화, 드라이버 초기화, 그리고 운영 체제 초기화가 수행한 후, 부프로그램 Osal.c로 이동하여 시스템 내 이벤트 발생 여부를 점검하고 기다린다. 이벤트가 발생되면 지그비 스택용 운영체제 프로그램인 Osal_W7BB.c 프로그램 내로 이동하여 메모리 할당, 각 계층 초기화를 수행한다.

그 다음, 프로그램 W7BB_cam.c로 이동한 후, 다양한 이벤트를 점검한다. 임의 노드가 에드 혹은 네트워크 접속을 위한 네트워크 바인딩을 시도하면 에드 혹은 바인딩 프로토콜에 따라 W7BB_Handle Keys 함수가 구동 된다. 압축 데이터가 관측노드로 부터 에드 혹은 무선 네트워크를 통해 전송이 시작되면, 데이터는 주 노드로 재 전송이 되며, 다시 주노드의 W7BB_Cam.c 프로그램의 W7BB_Process MSGCmd 함수가 구동되어, 데이터는 시스템 내부 메모리로 저장된다. 그런 후, 주 노드에 수신된 이미지 데이터는 직렬전송으로 시스템 제어기로 전송되고, 사용자인터페이스 프로그램에 의해 압축데이터가 복원되고 PC 화면에 표시된다. 이 방식은 방법-II와 다르게, 관측노드 내 W7BB-Cam.c 프로그램의 다양한 함수 (예, W7BB-CAM-CMD- EVT)가 구동되어 카메라 초기화와 카메라 데이터를 수신하며, 시스템 제어기는 직접 카메라와 관련이 없다.

3.2 방법-II

방법-II 시스템은 긴급 상황이 아닌 일반적 상황에서 종래 방식과 유사한 관측 속도로 목표 노드의 주변 관측을 위한 설정이다. 무선 관측 시스템에서 방법-II의 임베디드 소프트웨어로 설정되면, 방법-I 방식과 동일하게 시스템 하드웨어는 그림 2의 구조를 사용하지만, 주 노드와 시스템 제어기의 수행 역할은 방법-II 시스템의 동작과 방법-I 시스템 동작은 완전히 다르다.

그림 1에서 볼 수 있듯이, 제안 시스템이 방법-II 방식으로 동작할 때, 지그비 중단소자 또는 라우터는 관측노드 역할을 수행하고, 지그비 코디네이터는 주노드 역할을 담당하면서, 먼저 에드 혹은 무선 네트워크를 구성한다. 그런 후, 구축된 에드 혹은 네트워크를 통해서 시스템 제어기는 카메라 모듈을 초기화되고, JPEG 압축 데이터를 중간 간섭 없이 직접 가져온다. 그런 다음, 수신된 데이터는 시스템 제어기에 의해 JPEG 압축 영상을 복원하고 사용자인터페이스 소프트웨어를 사용하여 PC 화면에 표시한다. 알 수 있듯이, 방법-II 시스템의 동작 속도 또는 무선 관측 속도는 각 모듈 또는 노드사이의 인터페이스 속도에 좌우되는데, 주노드와 PC 기반 시스템 제어기사이 인터페

이스는 직렬전송(RS 232) 방식이며, 카메라 모듈과 관측노드사이 인터페이스도 직렬 전송 방식이므로 115 kbps 관측 속도로 표 1의 160x128 크기 영상을 전송할 경우 한 프레임 당 2-3초 시간이 소요된다. 무선 관측용 임베디드 시스템의 관측 속도가 느린 이유는 카메라 모듈과 지그비 관측노드사이의 저속의 직렬통신을 사용하기 때문으로 생각할 수 있다.

방법-II 시스템 동작에서 각 노드에 있는 임베디드 소프트웨어 구조와 순서도는 그림 6에 있는데, 임베디드 소프트웨어 역할은 각 노드의 하드웨어 소자 초기화와 구동이며, IEEE 802.15.4 규격과 TI사의 지그비 스택¹³⁾ 프로토콜에 따라 무선 원격관측 방법론에 따른 방법-II의 기능을 제공한다. 계층구조로 보면, 하드웨어인 물리계층, 펌웨어인 맥 계층은 IEEE 표준 규격, 소프트웨어인 네트워크 계층, 보안의 ZDO 계층, 응용계층 등은 지그비 스택을 따른다.

그림 6의 순서도에서 구체적인 시스템 신호 흐름은 다음과 같다. 방법-II 시스템이 전원 ON상태가 되면 주 프로그램인 Zmain.c가 구동되어 하드웨어 보드 초기화, 내장 메모리 초기화, 드라이버 초기화, 그리고 운영체제 초기화가 수행한 후, 부프로그램 Osal.c로 이동하여 시스템 내 이벤트 발생 여부를 점검하고 기다린다. 이벤트가 발생되면 지그비 스택용 운영체제 프로그램인 Osal_S7BB.c 프로그램 내로 이동하여 운영체제 메모리 할당, 맥 계층 초기화, 네트워크 계층

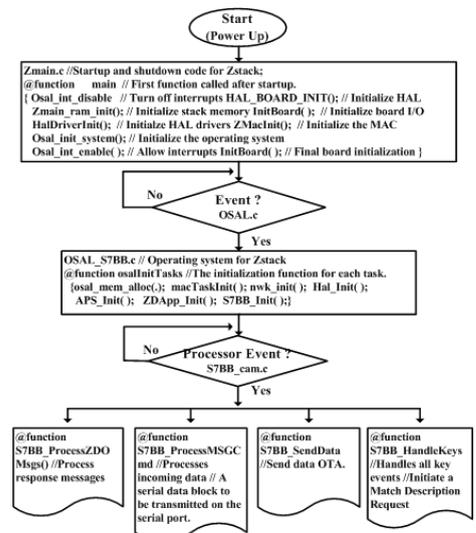


그림 6. 1/3 fps 속도의 방법-II 방식으로 동작하는 무선 관측 시스템의 임베디드 소프트웨어 구조와 신호 흐름. Fig. 6. The design example of the embedded software architecture and flow chart for wireless data processing in the remote monitoring node of Method-II system.

초기화, 응용지원계층과 보안 계층 초기화, 그리고 방법-II 응용 프로그램 초기화를 수행한 후, 방법-II 방식의 응용프로그램인 S7BB_cam.c로 이동한 후, 관련 이벤트 발생여부를 점검한다. 애드 혹 네트워크 접속을 위한 바인딩을 시도하면 S7BB_HandleKeys 함수가 구동되어 지그비 바인딩 프로토콜에 따라 비컨(Beacon) 신호를 전체 무선공간에 전송시킨다.

또한 카메라로 JPEG 압축 데이터가 직렬전송이 시작되면, S7BB_ProcessMSGCmd 함수가 구동되고, 방법-II 시스템은 이미지 데이터를 시스템 내부 메모리로 수신한다. 그런 후, S7BB_sendData 함수가 구동하여 수신된 이미지 데이터를 주 노드로 애드 혹 무선 전송을 한다. 다음, 주노드에 수신된 이미지 데이터는 직렬전송으로 시스템 제어기로 전송되고, 사용자인터페이스 프로그램에 의해 압축데이터가 복원되고 PC 화면에 표시된다.

IV. 시스템 구현, 실험과 성능분석

4.1 구현된 프로토 타입

그림 1의 제안된 무선 영상관측 방법론을 실현하기 위해서, 표 1의 스펙을 가진 제안 시스템을 그림 2를 참조로 하여 그림 7과 같이 시스템 프로토 타입 하드웨어를 구현하였다. 각 노드의 하드웨어는 TI사의 지그비 모듈이 내장된 개발보드(CC2430)를 사용하여 구현하고, 카메라 모듈은 JPEG 기능과 직렬전송 인터페이스 기능이 있는 C328R을 채택하였다. 또한, 원격 관측화면 표시를 위해 노트북 PC와 직렬전송 인터페이스 기능을 사용하였다. 소프트웨어 기능 구현은 TI사의 제공된 지그비 스택을 기초로 하드웨어 모듈, 카메라 모듈, 주 제어 모듈, 그리고 직렬통신 모듈 제어 등의 포함된 그림 5와 그림 6의 임베디드 소프트웨어 코딩 작업 수행과 PC 기반 사용자 인터페이스 소프트웨어 코딩을 하였다. 그림 7의 구현된 임베디드 시스템은 방법-I 임베디드 소프트웨어나 방법-II 임베디드 소프트웨어로 다운로드가 되어 설정될 때, 고속 또는 정상 속도로 동작되는 무선 원격관측 시스템이다.

주 노드 구현을 위해서, 그림 3의 주 노드 구조를 기반으로 그림 7의 왼쪽과 같이 제어무선 모듈과 PC 기반 시스템 제어기를 구현하였다. 제어무선모듈과 PC 시스템 제어기는 직렬전송 인터페이스로 연결되었다. 제어무선모듈에는 지그비 모듈과 whip 안테나와 RF 임피던스 정합회로, JTAG 인터페이스, RS232-JTAG 변환 회로, 그리고 배터리 전원회로가 있다.

그림 2의 무선 관측 시스템의 관측기능 구현을 위

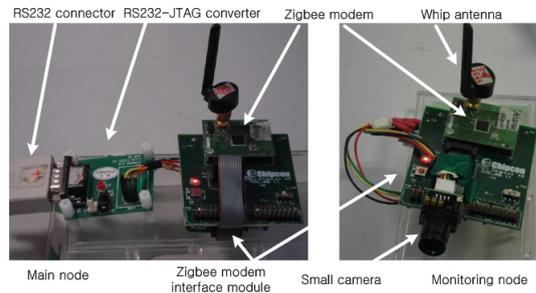


그림 7. 구현된 주노드와 관측노드 광경.
Fig. 7. A detailed view of the implemented main node and monitoring node

해서, 그림 4의 관측노드 시스템 구조를 기반으로 그림 7의 오른쪽과 같이 관측노드를 구현하였는데, 관측 무선 모듈과 카메라 모듈은 직렬 전송 인터페이스로 연결된다. 관측 무선 모듈에는 지그비 모듈과 whip 안테나와 RF 임피던스 정합회로, JTAG 인터페이스, 그리고 배터리 전원 구동회로가 있으며, 카메라 모듈에는 20x28mm 소형크기, 초점거리 3.6 mm, FOV는 66도, VGA 해상도 카메라, 최대 115kbps 직렬전송 기능이 있다. 또한 카메라모듈은 JPEG 영상 압축 기능이 있으며, IR cut filter가 있다.

4.2 무선 영상 관측 실험

그림 8과 같이 가지거리 채널환경, 애드 혹 무선 네트워크 조건에서, 그림 5 또는 그림 6의 임베디드 시스템 소프트웨어를 내장한 방법-I 시스템 또는 방법-II 방식의 그림 7의 구현된 시스템을 사용하여, 각각 두 가지 무선 영상 전송 실험이 수행되었다.

방법-I 시스템의 무선 영상 전송 실험은 관측노드를 가진 관찰자로부터 127cm 떨어진 지점에 목표물

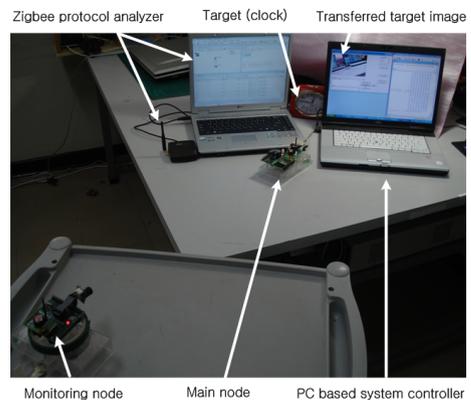


그림 8. 구현된 프로토타입의 무선 영상전송 실험광경.
Fig. 8. Experiment view of the wireless image transmission with the developed prototype.

(시계)이 있고, 주 노드는 관찰자로부터 100cm 떨어져 있는 환경에서 진행되었다. 관측 노드는 160x128 크기의 시계 영상을 최대 1 fps 속도로 애드 혹 무선 네트워크를 통해 주 노드로 전송하고, 주 노드를 영상을 시스템 제어기 화면에 표시한다.

실험은 그림 8과 같이 설정되어, 관측노드에 내장된 카메라 영상처리 소프트웨어가 전적으로 카메라 모듈 초기화와 데이터 수집을 수행한다. 그런 후, 오버헤드를 제외한 최대 100 바이트의 JPEG 압축된 지그비 패킷 영상 데이터를 주 노드와 관측 노드사이의 100 cm 거리의 애드 혹 무선 네트워크로 전송한다. 하지만, 방법-II 방식이면, 관측 노드의 역할은 애드 혹 무선 네트워크를 통해 전송된 PC 기반 시스템 제어기의 명령을 단지 카메라 모듈에 전달하는 것이다.

구현된 임베디드 시스템을 검증하기 위해, 그림 8의 무선 영상 전송 실험에 지그비 프로토콜 분석기를 사용해 애드 혹 무선 네트워크 채널, 무선 영상전송 실험을 분석한 결과가 그림 9의 프로토콜 분석기 화면에 있다.

먼저, 시스템 동작 초기에 애드 혹 무선 네트워크를 구축하는 애드 혹 바인딩 과정이 분석되었다. 상세히 보면, 먼저 네트워크 어드레스를 할당하는 팬 코디네이터 역할의 주노드는 주변에 있는 지그비 소자와의 네트워킹을 위해, 브로드캐스트 전송을 통해, Beacon request 신호를 무작위로 여러 번 전송하게 되면, 근처에 있는 라우터인 관측 노드는 주노드인 코디네이터에 유니캐스트 전송을 통해 Associate Request와 Data Request 신호로 응답하게 된다. 그러면, 주노드는 다시 응답신호를 보낸 라우터에게 Associate Response 신호로 재응답 하여, 물리계층과 매계층 사

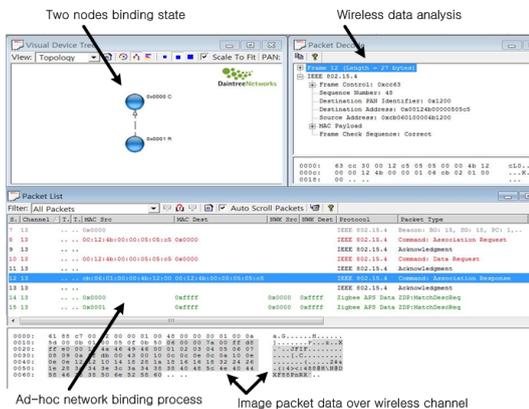


그림 9. 그림 9 실험의 프로토콜 분석기의 성능분석 화면.
Fig. 9. The display screen of the analyzed results of the protocol analyzer of Fig.9.

이의 바인딩이 된다. 이때 지그비 모델의 고유 물리적 주소인 IEEE 어드레스를 사용해, 메시지 교환을 수행한다. 그림 10에서 64비트인 0X00 12 4B 00 00 05 05 C5와 0X00 12 4B 00 00 01 06 CB는 각각 코디네이터와 라우터의 물리적인 고유 IEEE 어드레스이다.

다음은 코디네이터와 라우터사이의 네트워크 계층 결합을 위해 네트워크 바인딩과정이 수행되는 데, MatchDescReq 명령을 코디네이터와 라우터가 서로 주고받으면 바인딩 수행이 완료가 된다. 논리주소인 네트워크 어드레스를 통해 바인딩 메시지가 교환되는 데, 그림 10에 16비트 0X0000과 0X0001이 각각 코디네이터와 라우터의 논리적 네트워크 어드레스들이다. 각 소자들 사이 애드 혹 네트워크 바인딩 과정이 완성되면, 애드 혹 무선 네트워크 경로를 통해 양방향 데이터 전송이 가능하게 된다. 그림 10에 JPEG 인코더에 의해 생성되어 전송된 지그비 무선 채널 상의 영상 데이터를 프로토콜 분석기로 획득된 패킷 데이터 분석도 있다.

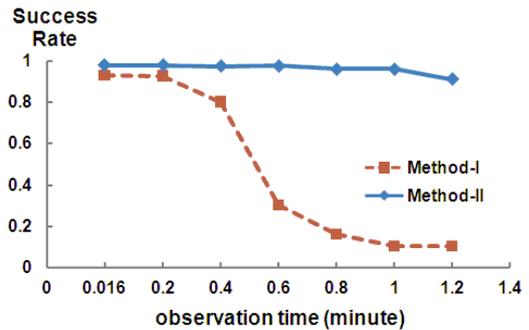


그림 10. 관측시간에 따른 제안된 두 가지 방식의 성공률 비교.
Fig. 10. Success rate comparison of the two proposed techniques depending on the observation time.

4.3 성능 분석

좀 더 빠르고 편리한 무선 영상 전송 시스템의 최적 임베디드 소프트웨어와 시스템 구조 설계를 위해, 무선 관측시간에 따라 두 가지 제안 방식을 분석 실험을 하였다. 실험은 그림 5의 임베디드 소프트웨어가 내장된 방법-I 시스템과 그림 6의 임베디드 소프트웨어가 내장된 방법-II 시스템으로 수행되었다. 방법-I 시스템은 카메라 영상 처리가 내장된 특수 원격 관측 노드, 주노드, 시스템 제어기를 가지며, 방법-II 시스템은 주노드, 원격 관측노드, 카메라 영상 처리가 내장된 시스템 제어기로 된다.

실험 결과가 그림 10에 있는데, 이를 보면 방법-I

시스템은 0.016-0.4분 동안의 좁은 범위에서 오류가 없는 무선 영상 전송이 되며, 방법-II 시스템은 이 보다 넓은 0.016-1.2분 구간에서 오류 없는 무선 영상 전송이 가능함을 알 수 있다. 실험 결과로부터, 방법-I 시스템은 더 빠른 단기 관측 서비스에 최적이며, 방법-II 시스템은 느리고 긴 관측 응용에 적합함을 알 수 있었다.

실제 적용에 의한 영상의 실시간 지연 효과를 분석하는 실험도 수행하였다. 그림 8의 무선 영상 전송 실험과 동일한 환경에서 시스템 제어기인 PC와 주노드의 직렬통신 속도를 115kbps, 9.6kbps, 4.8kbps로 변경하면서 시스템 제어기에 보여주는 관측영상에서 직렬통신 속도가 감소하면, 시스템 제어기 화면에 표시되는 영상의 실시간 지연이 커짐을 볼 수 있었다.

V. 결 론

개선된 성능의 무선 관측을 하기 위해, 두 가지 애드혹 네트워크 기반 무선 영상 관측이 가능한 임베디드 시스템 설계 기법들을 제안하고 구현하였다. 첫 번째 방법은 실시간에 가까운 단기 관측 적용을 위한 임베디드 시스템 설계 기반을 둔 것으로 160x128 크기 영상의 최대 1 fps 속도의 무선 영상 전송 능력을 가지고, 두 번째 방법은 일반 무선 영상 장기 관측을 위한 임베디드 시스템으로, 160x128 크기 영상의 1/3 fps 무선 영상 전송 능력이 있다.

제안된 방법론에 따라, 지그비 코디네이터 역할의 주 노드는 115kbps 속도의 직렬 통신 방식으로 시스템 제어용 PC와 접속한다. 지그비 종단소자 역할의 관측노드는 카메라의 관측 영상을 애드혹 무선 네트워크의 무선공간을 통해 주 노드로 전송한다. 제안 시스템의 하드웨어는 TI사의 개발보드, 소형 카메라, PC를 직렬 통신 방식으로 서로 연결하여 구현하였다. 임베디드 소프트웨어와 사용자인터페이스를 구현하여 하드웨어 모듈에 탑재하였다. 지그비 프로토콜 분석기를 사용하여 무선 환경을 분석하였다. 또 다른 실험에서, 방법-I 시스템은 더 빠른 단기 관측 서비스에 최적이며, 방법-II 시스템은 느리고 긴 관측 응용에 적합함을 알 수 있었다.

References

- [1] M. Li and Y. Liu, "Underground coal mine monitoring with wireless sensor networks," *ACM Trans. Sensor Netw.*, vol. 5, no. 2, pp. 1-29, Mar. 2009.
- [2] Y. U. Lee and J. Park, "Realization of hybrid localization system with lighting LEDs and ad-hoc wireless network," *J. KICS*, vol. 37c, pp. 774-782, Sept. 2012.
- [3] B. Li, S. Li, L. Chen, X. Li, and S. Qu, "Design and realization of wireless remote image monitoring system based on GSM/GPRS," in *Proc. IFOST*, vol. 1, pp. 260-263, 2008.
- [4] I. K. Hwang and J. W. Baek, "Wireless access monitoring and control system based on digital door lock," *IEEE Trans. Consumer Elect.*, vol. 53, pp. 1724-1730, Nov. 2007.
- [5] A. Zualkernan, I. A. Al-Ali, A. R. Jabbar, M.A. Zabalawi, and I. Wasfy, "Infopods: zigbee based remote information monitoring devices for smart-homes," *IEEE Trans. Consumer Elect.*, vol. 55, pp. 1221-1226, Aug. 2009.
- [6] D. Chen and M. Wang, "A home security zigbee network for remote monitoring application," in *Proc. IET, Wirel., Mobile and Multimedia Netw.*, vol. 1, pp. 1-4, Nov. 2006.
- [7] P. Tirelli, N.A. Borghese, F. Pedersin, G. Galassi, and R. Oberti, "Automatic monitoring of pest insects traps by Zigbee based wireless networking of image sensors," in *Proc. IEEE Instrumentation and Measurement Technol.*, pp. 1-5, Binjiang, May 2011.
- [8] P. Li, X. Li, and J. Wu, "Design and implementation of image monitoring system based on short-range wireless communication," in *Proc. AIMSEC*, pp. 2939-2942, Aug. 2011.
- [9] M. Nasri, A. Helali, H. Sghaier, and H. Maaref, "Priority image transmission in wireless sensor networks," in *Proc. SSD*, pp. 1-6, Sousse, Mar. 2011.
- [10] P. S. Boluk, S. Baydere, and A. E. Harmanci, "Robust image transmission over wireless sensor networks," *Mobile Netw. Appl.*, vol. 16, no. 2, pp. 149-170, Apr. 2011.
- [11] J. A. Gutierrez, E. H. Callaway, Jr., and R. L. Barrett, Jr., *Low-rate wireless personal area networks : Enabling wireless sensors with*

IEEE 802.15.4, IEEE Press, New York, Nov. 2003.

- [12] Texas Instruments (TI) technical report, development kit user manual rev. 1.3. 2006.
- [13] Texas Instruments (TI) technical report, z-stack user's guide, 2006.

송 창 영 (Chang-Yeoung Song)



2014년: 한림대학교 전자공학과 공학사
2014년~현재: 한림대학교 전자공학과 대학원 석사과정
<관심분야> 무선통신, 무선위치인식 시스템, 가시광통신

이 용 업 (Yong Up Lee)



1985년: 서울대학교 전자공학 공학사
1987년: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 공학석사
1996년: 한국과학기술원 전기 및 전자과 공학 박사
2004년: 호주 UNSW 방문교수

2012년: 미국 펜실바니아 주립대 방문교수
1986년~1998년: (주) 삼성전자
1998년~현재: 한림대학교 전자공학과 교수
<관심분야> 무선통신, 무선위치인식 시스템, 가시광통신 시스템, 통계신호처리 알고리즘

박 정 욱 (Jeong-Uk Park)



2014년: 한림대학교 전자공학과 공학사
2014년~현재: 한림대학교 전자공학과 대학원 석사과정
<관심분야> 무선통신, 무선위치인식 시스템, 가시광 통신