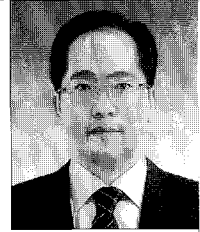


무선센서 네트워크 활용을 위한 TinyOS 기반의 하드웨어 및 소프트웨어에 대한 고찰

TinyOS - based Hardware and Software Architecture for Wireless Sensor Network



장 원 석*

* 영남대학교 건설시스템공학과 교수

1. 서 론

점차 복잡해지고 대형화되고 있는 건설공사의 생산성 향상과 부가가치의 증진을 위하여 건설산업에서는 다양한 신공법 개발 및 첨단 기술을 적용하는 노력이 진행되어 오고 있다. 특히, 기획, 설계, 시공, 유지관리에 이르는 거대한 건설 프로세스에 대한 업무처리, 정보공유, 공사진행, 자원관리 등의 효율성을 향상시키기 위하여 다양한 방법의 자동화와 정보화 기법이 수행되어 오고 있는 추세이다. 이러한 자동화 및 정보화 노력의 일환으로 첨단 컴퓨팅 기술을 이용한 공정 자동화 기법, 데이터베이스 구축을 통한 정보 표준화 기법, 다양한 알고리즘 개발을 통한 해석 및 분석 기법 등 다양한 소프트웨어 개발과 시스템 구축에 많은 성과를 보여주고 있다[Song 외, 2006, Jaselskis and El-Misalami, 2003].

건설현장에서 발생하는 여러가지 물리적 현상들은 계측 정보의 응용 목적과 계측방법에 따라 다양한 방법으로 변환되고, 이 정보를 바탕으로 보다 현실성있는 구조물 해석 및 시스템 운영기법에 사용되어야 한다. 그러나, 건설현장의 복잡하고 다양한 물리적 콘텐츠를 실시간으로 정보화할 수 있는 하드웨어 개발 및 응용은 앞서 기술한 다양한 소프트웨어의 개발속도를 따라가지 못하고 있는 것이 현재의 실정이다. 특히, 다양한 시스템 운영의 기초자료로 사용

되어지는 현장 정보의 실시간 계측과 커뮤니케이션 기술은 건설산업의 자동화와 정보화의 핵심 기술로 알려지고 있으나, 무선센서 기술의 개발과 응용에 대한 건설기술자들의 역할과 노력이 아직은 미비한 실정이다.

따라서, 본 기고에서는 실시간 계측과 현장정보취득에 적용할 수 있는 무선센서 네트워크 기법과 소프트웨어 기법에 대해 기술함으로써 건설 기술자가 다양한 적용분야에 맞게 무선센서를 설계하고 응용하는데 활용이 될 수 있도록 하고자 한다.

2. 무선 센서 네트워크

현재 건설산업 뿐만 아니라 다양한 산업 현장에서는 과거 전통적인 유선센서가 가지고 있는 한계를 극복하고 더욱 효율적이고 실시간적인 현장정보취득을 용이하게 하기 위하여, 무선센서 네트워크가 가지고 있는 특징과 장점을 활용하여 현장에 응용하려는 노력을 기울이고 있다. 무선센서 네트워크는 센싱, 컴퓨팅, 통신, 신호처리 등의 복합적인 기능과 mesh 네트워크망을 통해 기존 유선센서가 가지고 있는 공간활용의 비효율성 및 통신기능의 비확장성을 보완함으로써 더욱 유비쿼터스적인 현장계측을 실현할 수 있는 수단으로 관심을 모으고 있다. 무선센서 네트워크가

각광을 받고 있는 이유는 단지 무선을 통한 단일통신기능 이라기 보다는 수백, 수천개의 조그만 센서 노드들이 네트워크망을 통해 통신을 수행하고 각 노드가 가지고 있는 센싱과 컴퓨팅기능을 이용하여 보다 다양한 적용 시나리오를 제공할 수 있다는 점이다. 이러한 기능을 수행하기 위해서는 무선센서가 가지고 있는 하드웨어적인 특징을 파악하고 실시간인 현장프로그래밍을 수행하기 위한 소프트웨어의 이해가 필요하리라 판단된다.

2.1 하드웨어의 특징

최근 무선센서 네트워크에 적용이 되고 있는 센서는 square-inch 사이즈의 센서모듈로서, 다양한 타입의 하드웨어 스펙과 기능을 제공하고 있다. 이 중에서 산업체간의 컨소시엄을 구성하고 IEEE802.15.4 통신표준을 채택함으로써 다양한 산업용 센서네트워크에 적용이 되고 있는 ZigBee는 무선통신의 최대 걸림돌로 여겨지던 소비전력과 모듈의 크기 및 네트워크의 확장성을 해결할 수 있는 차세대 무선통신 기법으로 각광을 받고 있다. 현재의 IEEE802.15.4기반의 ZigBee 통신규약이 채택되기까지 다양한 통신규약과 마이크로프로세서들이 사용되어져 왔으며, 표 1에서는 무선센서의 개발진행 과정과 각각의 하드웨어 특징을 나타내고 있다.

ZigBee 센서모듈의 대표적인 제품으로 개발되어진 Micaz를 예로 들어 기술하면, Micaz는 IEEE802.15.4 통신규약을 따르는 ZigBee 프로토콜인 2.4~2.4835GHz 대역의 무선통신 ISM(industrial, scientific, and medical) 밴드를 사용하고 있다. 이 무선모듈에는 초전력을 실현할 수 있는 Atmel사의 CC2420이 탑재되어 있는데, 직접 시퀀스 확산대역(direct sequence spread spectrum, DSSS)을 사용함으로써 9dB의 gain과 250kbps의 데이터 전송률을 제공하고 있다. 이와 더불어 CC2420은

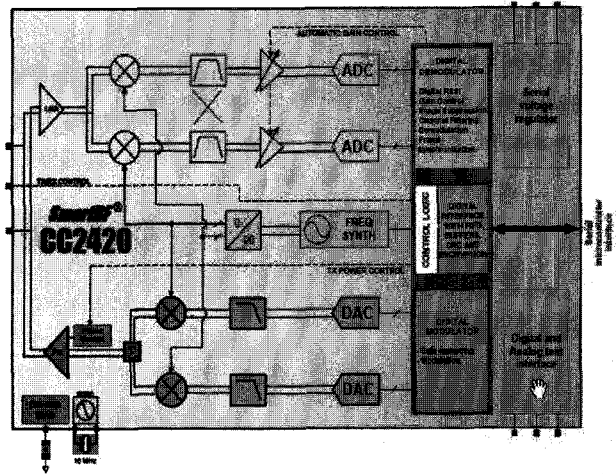


그림 1 CC2420의 block diagram(Texas Instrument, 2009)

표 1 TinyOS기반의 무선센서 네트워크 변천 현황(Levis and Culler, 2002)

Mote Type	WeC	Rene	Rene2	Dot	Mica	Mica2Dot	Mica2	Micaz	Telos	
Year	1998	1999	2000	2000	2001	2002	2002	2004	2004	
Microcontroller										
Type	AT90LS8535		ATMEGA163		ATMEGA128			MSP430		
Program Memory (KB)	8		16		128			60		
RAM (KB)	0.5		1		4			2		
Active Power (mW)	15		15		8			33		
Sleep Power (µW)	45		45		75			6		
Wakeup Time (µs)	1000		36		180			6		
Storage										
Chip	24LC256			AT45DB041B			ST M24M01S			
Connection Type	I ² C			SPI			I ² C			
Size (KB)	32			512			128			
Communication										
Radio	TR1000				CC1000		CC2420			
Data rate (kbps)	10				40		38.4		250	
Modulation Type	OOK				ASK		FSK		O-QPSK	
Received Power (mW)	9				12		29		38	
Transmit Power at 0dBm (mW)	36				36		42		35	
Power										
Minimum Operation (V)					2.7				1.8	
Total Active Power (mW)	24				27		44		89	
Programming and Sensor I/O										
Expansion	none	51-pin		none	51-pin	19-pin	51-pin		10-pin	
Communication	IEEE 1284 with RS232								USB	
Integrated Sensors	no			yes		no			yes	

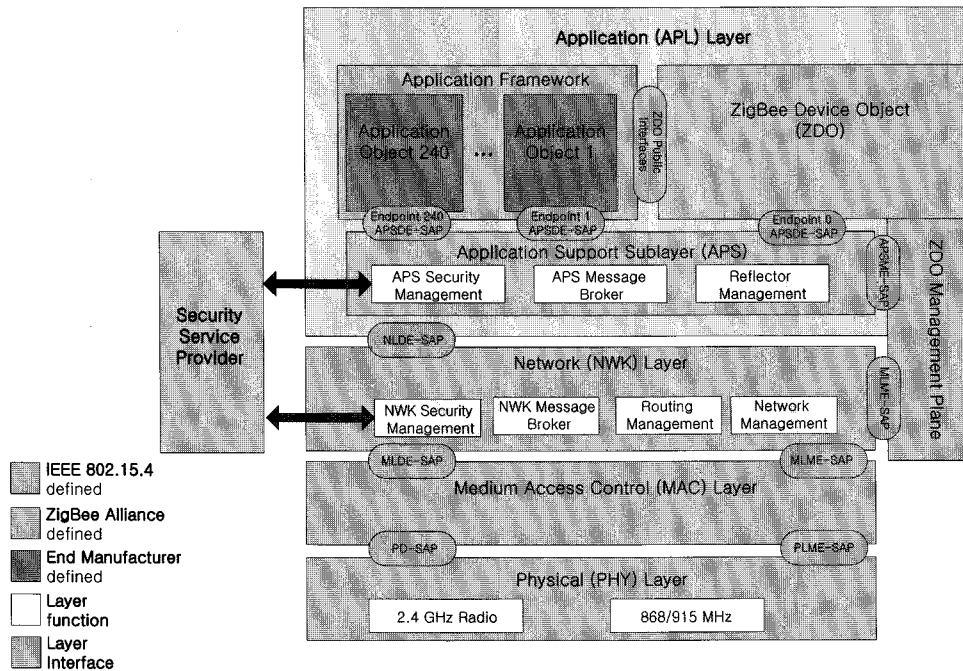


그림 2 ZigBee stack의 구성요소와 연관관계 [ZigBee Alliance, 2005]

데이터 패킷 제어, 데이터 버퍼링, 데이터 암호화, 통신채널 할당 및 신호감도측정 기능을 제공하고 있다. 그림 1은 CC2420의 block diagram을 나타내고 있다.

또한 무선센서 모듈은 51핀의 확장포트를 제공함으로써, 아날로그 입력, 디지털 I/O, UART 인터페이스를 활용할 수 있도록 하고 있으며, 최대 4MHz 속도의 Atmega128L 마이크로컨트롤러를 사용함으로써 초당 수백만회의 명령을 수행할 수 있는 8-비트 중앙연산처리장치를 제공하고 있다. 128 kbyte 시스템 Flash 메모리와 4 kbyte static RAM을 통해서 사용자가 정의한 프로그램밍의 연산을 수행할 뿐만 아니라 메모리에 읽고, 쓰기를 통해 센싱작업을 독립적으로 수행할 수 있는 기능을 제공하고 있다. 뿐만 아니라 8개 채널의 10비트 analog-to-digital converter(ADC)를 사용함으로써, 51핀 확장포트로 연결되는 자장센서, 초음파센서, IR 센서 등의 외부 센서로부터 읽혀지는 센싱 신호를 처리할 수 있는 인터페이스를 제공하고 있다.

IEEE802.15.4 물리계층(physical layer)은 무선통신을 수행할 수 있는 수신출력 측정, 링크성능 측정 및 반송파 동시접속/충돌방지(CSMA-CA)와 같은 기본 기능을 제공하고 있다. ZigBee의 물리계층을 통해서, 데이터를 실은 RF신호가 송출 전에 수신단에서의 채널공유상태를 체크하고 빈채널이 확보되었을 때 RF신호를 송출함으로써, 동일한 2.4GHz 주파수대역을 사용하는 무선센서간의 더욱 향상된 통신수행능력을 발휘할 수 있도록 한다. 한편, IEEE802.15.4 MAC(medium access control)계층 역시 CSMA-CA 메카니즘을 이용하여 무

선채널의 접근을 제어한다. ZigBee의 경우 IEEE802.15.4에서 제시되고 있는 superframe을 총 16개의 채널로 분할하고 PAN 네트워크를 구성하는 장치들을 동기화함으로써 전체 네트워크 상에서 사용되어지는 다양한 장치간의 무선통신을 가능하게 한다. 마지막으로, Application layer에서는 각기 다른 microcontroller나 RF 칩에서 정의하고 있는 네트워크 기능을 제공함으로써, 같은 통신규약을 사용하는 장치간의 Mesh 네트워크를 수행할 수 있도록 한다. 그림 2는 자세한 Zigbee stack의 구성요소와 연관관계를 나타내고 있다.

2.2 소프트웨어의 특징

건설현장의 자원 트래킹 시스템, 현장 안전관리 시스템, 건설구조물의 건전성평가 등 무선센서 네트워크를 활용하여 건설분야에 적용하기 위해서는 무선센서 운영체제를 포함한 low-level 하드웨어를 제어할 수 있는 소프트웨어 디자인이 필수적이다. 다른 여느 소프트웨어와 마찬가지로, 무선센서 프로그래밍을 위한 소프트웨어 디자인 역시 연산 처리단계, 메모리할당, 소비전력관리 등 다양한 적용분야의 필요조건을 만족시킬 수 있어야 한다. 그러나, 센서의 크기나 RF전송 등과 같은 무선센서의 하드웨어 디자인과는 달리, 무선센서의 소프트웨어 디자인은 센서의 하드웨어 성능을 제어하고 관리하는 운영체제안에서 이루어진다. 따라서, 객체지향 및 병렬화를 통해서 전력과 메모리와 같은 한정된 시스템 자원을 효율적으로 사용하고 다양한 이벤트

를 동시다발적으로 수행할 수 있도록 설계되어야 한다. 이와 같은 하드웨어 디자인과 소프트웨어 컴포넌트를 통합할 수 있는 무선센서기반의 운영체제(operating system)로서 TinyOS가 개발되었다.

TinyOS는 미국 버클리대학교와 Intel사 및 Crossbow Technology사와의 "Smartdust" 프로젝트 공동연구를 통해 발표된 무선센서 네트워크 개발을 위한 오픈 소스 플랫폼으로서 확장성이 뛰어난 센서 애플리케이션 기반의 운영체제이다. ZigBee 센서를 비롯한 대다수의 무선센서 네트워크가 TinyOS를 기반으로 운영되고 있으며, nesC라는 프로그래밍 언어를 통해서 high level 애플리케이션을 디자인하고 프로그래밍 할 수 있다. 1998년 TinyOS 기반의 무선센서 플랫폼인 WeC가 개발된 이래 현재까지 TinyOS 2.1.0 버전이 개발되어 공개용으로 발표되고 있는데, TinyOS는 1) 병렬처리를 수행할 수 있는 객체지향 실행모델(execution model), 2) 컴포넌트모델(component model), 3) 통신모델(communication model)을 통합하는 솔루션으로 구성되어 있다.

2.2.1 객체지향 실행모델(Execution Model)

TinyOS는 무선센서가 지니고 있는 가용자원의 한계를 극복하기 위하여 비동기식 events와 지연처리식 tasks라는 병렬식 객체지향 플랫폼을 지원하고 있는데, 병렬식 (concurrent) 플랫폼은 쌍방향 인터페이스로 구현되는 컴포넌트에 의해 nesC 언어 안에서 정의가 된다. 이러한 병렬식 객체지향 모델을 통해 무선센서 하드웨어를 작동하는데 필수적인 전력을 관리하고 실행시간을 향상시킬 수 있는 연산처리 및 메모리할당을 수행한다. 이때 매회 작업수행 시 필요한 메모리 공간을 최소화함으로써 작업처리능력을 효율적으로 운영하고 이를 통해서 초전력 무선센서 애플리케이션을 실현할 수 있다. 또한 객체지향 모델은 임의의 시간에 발생하는 이벤트가 연속적으로 연산처리될 수 있는 병렬처리능력을 제공함으로써, 작업(tasks)과 인터럽트 핸들러(hardware interrupt handlers)를 구성하는 실행모델(execution model)의 가장 기본적인 플랫폼을 제공하고 있다.

실행모델을 구성하는 첫 번째 구성요소인 작업(tasks)은

프로그램의 실행을 위해 스케줄러를 사용하는 연산처리과 정으로써 사용자가 미리 지정해 놓은 연산처리 순서에 따라 진행되며 다른 작업(tasks)에 의해 점유되지 않고 runtime 시에 순차적으로 수행되어 진다. 반면에, 인터럽트 핸들러(hardware interrupt handlers)는 하드웨어에 의해서 비동기식으로 사용되어지는데, 이는 low-level 하드웨어 요소들이 실시간으로 연산을 수행할 수 있는 제어수단을 제공하기 위해서이다.

2.2.2 컴포넌트 모델(Component Model)

컴포넌트 모델은 nesC 언어에 의해 수행되어지는 TinyOS의 프로그래밍에 대한 구조적 개념으로서, 객체지향으로 구성되어 있는 각 컴포넌트들을 연결하고 묶어줌으로써 전체 프로그램을 실행할 수 있는 수단을 제공하는 모델이다. 각 컴포넌트들은 인터페이스 안에서 정의되어 있는 작업(tasks)이나 인터럽트 핸들러(hardware interrupt handlers)를 실행시킴으로써 독립된 객체지향구조를 수행한다. 여기서, 각 인터페이스는 'provide'나 'use'라는 명령을 이용하여 서로 다른 컴포넌트들을 연결시키고, 동시에 단일 인터페이스가 다수의 컴포넌트 사이에서 다수의 인터페이스 형태로 재현됨에 따라 컴포넌트 모델이 지향하는 독립성과 복잡성을 동시에 만족시킨다. 따라서 프로그램 개발자는 보다 쉽고 효율적으로 컴포넌트를 설계하고 전체 프로그램의 디자인을 수행할 수 있다. 그림 3은 무선센서의 프로그램을 구성하는 컴포넌트 구성도로서, 인터페이스를 통해서 각 컴포넌트를 연결하고 동시에 단일 인터페이스가 다수의 인터페이스의 형태로 재현되는 예시를 보여주고 있다.

TinyOS의 컴포넌트 모델은 무선센서 하드웨어와 상호보완관계를 유지하는 객체지향 소프트웨어 모델이라는 점에서 하드웨어와 소프트웨어의 경계를 쉽게 이동할 수 있다. 이러한 방법을 통해 하드웨어에서 수행되어지는 모든 명령, 작업, 인터럽트를 고정된 크기의 static 메모리 공간에 효율적으로 선점시킴으로써, 네트워크망의 크기, 소비전력 및 시스템의 비용을 결정짓게 하는 중요한 설계 인자가 되고 있다.

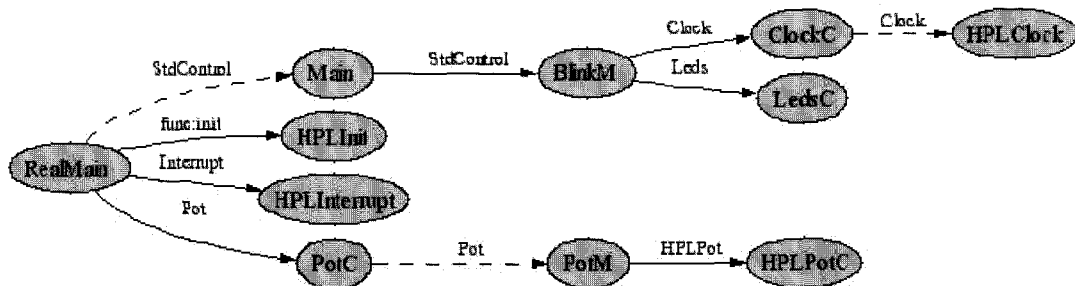


그림 3 무선센서의 프로그램을 구성하는 컴포넌트 구성도

표 2 Active Message의 패킷 구성표

Destination Address	Link Source Address	Message Length	Group ID	AM Handler ID	Payload
2 bytes	2 byte	1 byte	1 byte	1 byte	28 bytes

2.2.3 통신모델(Communication Model)

TinyOS 설계에서 통신모델은 Active Messages(AM) 구조를 바탕으로 센서간의 무선 통신 네트워크를 가능하게 해주는 중요한 수단을 제공하고 있다. Active Message는 35 바이트로 구성되어 있는 조그만 데이터 패킷으로서, 2 바이트의 수신노드주소, 2 바이트의 링크주소, 1 바이트의 AM 핸들러 ID, 1 바이트의 그룹 ID, 1 바이트의 메시지 길이, 그리고 28 바이트의 payload 정보를 저장할 수 있는 구조로 이루어져 있다(표 2 참조). Active Message가 수신단에 수신 이 되면, 수신노드는 그 메시지를 하나 이상의 핸들러로 전송하게 되고, 핸들러는 메시지의 내용을 추출하고 데이터 연산처리를 수행함으로써 그 메시지에 응답하게 된다. 이때, CPU의 처리속도가 다수의 메시지를 수용할 수 없을 경우 수신 데이터의 병목현상이 발생하기 때문에, 최소한의 버퍼링을 설정함으로써 통신 프로토콜간의 송수신 장애를 제거하고 네트워크의 원활한 소통을 지원하고 있다. 따라서, Active Message 핸들러는 가능한 빨리 비동기적으로 수행되어야 하며, 서로 다른 네트워크 상에서 발생가능한 병목현상과 통신지연 현상을 최소화함으로써 보다 안정된 네트워크 성능과 실시간 계측을 가능하게 한다.

3. 결 론

건설산업의 생산성 향상과 자동화를 통한 현장정보의 실시간 계측을 실현시키기 위한 중요한 수단으로서 무선센서 네트워크에 대한 관심은 점차 증대되고 있다. 무선센서 네트워크를 적용함으로써 얻을 수 있는 많은 장점과 무궁무진한 응용 시나리오에도 불구하고, 건설현장이나 현장정보 계측시스템에 무선센서의 적용이 미진한 가장 큰 이유 중의 하나는, 건설 기술자들이 무선센서 네트워크의 큰 그림

을 실행해 갈 수 있는 구체적인 하드웨어 및 소프트웨어에 대한 지식이 많지 않기 때문으로 판단된다. 본 기고에서 소개된 하드웨어의 구성요소, 운영체제에 대한 이해 및 소프트웨어의 디자인 개념을 통하여, 무선센서 네트워크가 다양한 응용 시나리오와 함께 건설 분야에 더욱 확대, 적용되기를 기대한다.

참 고 문 헌

1. Jaselskis, E. J. and El-Misalami, T., Implementing Radio Frequency Identification in the Construction Process, Journal of Construction Engineering and Management, ASCE, 129(6), pp.680-688, 2003
2. Levis, P. and Culler, D., Moté: A Tiny Virtual Machine for Sensor Networks, Proceedings of the 10th International Conference on Architectural Support for Programming Languages and Operating Systems(ASPLOS), October 6-9, San Jose, CA, pp.85-95, 2002
3. Song, J., Ergen, E., Haas, C. T., Akinci, B. and Caldas, C., Automating the Task of Tracking the Delivery and Receipt of Fabricated Pipe Spools in Industrial Projects, Automation in Construction, Elsevier, 15(2), pp.166-177, 2006
4. Texas Instrument, 2.4 GHz IEEE 802.15.4 / ZigBee-ready RF Transceiver, CC2420 datasheet, SWRS041B, Available online at: <http://focus.ti.com/lit/ds/symlink/cc2420.pdf>, Accessed in September 2009
5. ZigBee Alliance, ZigBee Specification, ZigBee Document 05347r06, June 27, 2005, San Ramon, CA, 2005

[담당 : 윤영철, 편집위원]