

# IEEE 802.15.4기반의 유비쿼터스센서네트워크 기술

김기형, 정원도, 박준성, 서현곤 (영남대학교 컴퓨터 공학과), 박승민, 김홍남 (한국전자통신연구원)

## 1. 서론

최근의 무선통신기술과 전자디바이스기술의 발전으로 말미암아 저가격, 저전력, 다기능 센서 노드로 구성된 무선 센서네트워크(Wireless Sensor Networks)에 대한 관심이 급격히 고조되고 있다. 무선 센서 네트워크는 기존의 유선으로 구축된 센서네트워크를 무선네트워크로 대체 하는 기술로서, 각 센서노드는 센서에 의한 센싱, 센싱된 데이터의 처리, 멀티 홉에 걸친 네트워크 등의 기능을 가지고 있으며, 이는 기존의 전통적 의미의 센서에서 중요한 정보처리능력의 향상을 의미한다고 하겠다.

센서 네트워크에 사용되는 센서는 무인으로 동작 되거나 사람이 접근하기 힘든 환경에서 동작 하는 경우가 대부분이다. 또한 다량의 센서를 유포하여 센서 네트워크를 형성 하는 경우가 많아 센서 노드의 크기가 작고 가격이 저렴해야 하므로 노드의 에너지양과 데이터 처리 능력에 제한이 있게 된다. 이런 센서의 제약 사항들과 센서 네트워크의 용도에 따라 네트워크에서 원활한 통신을 위해 충족되어야 할 설계 요구조건 및 적합한 라우팅 알고리즘이 다르게 된다. 센서

네트워크의 주요 네트워크 구조(토폴로지)및 특징은 센서노드의 제한된 자원(배터리등)등으로 인해 대부분의 경우에 1 홉(hop)간의 통신이 아니라 멀티 홉 라우팅을 통하여 산재해 있는 센서들 간 통신이 이루어지게 되고, 최종적으로 싱크노드(Sink Node)를 통해 센서로부터 취득한 데이터를 취합하게 된다. 여기서 싱크노드는 센서네트워크에서 이루어지는 센싱정보를 위한 통신의 최종 목적지로서, 기존의 전통적인 유무선 네트워크와 센서 네트워크의 게이트웨이 역할을 한다.

IEEE 802.15.4<sup>[1]</sup>는 2003년 표준화된, 저속, 저전력의 PAN(Personal Area Network) 기술로서 센서네트워크를 중요한 응용 분야로 고려하고 있다. 스타, 클러스터-트리, 그리고 메쉬등 다양한 토폴로지를 지원하여 다양한 센서네트워크 응용에 사용될 수 있으며, 무엇보다도 중요한 특징으로서 비컨을 사용하고 수퍼프레임이라고 하는 프레임 구조를 가진다는 것인데, 수퍼프레임은 비컨주기동안 일정시간만 활성화(active)되고 나머지 시간은 비활성화(inactive)됨으로써, 배터리 기반의 센서노드의 전력 소모를 최소화시킬 수 있다. 또한 ZigBee<sup>[2]</sup> 컨소시엄에서는 유

비쿼터스 컴퓨팅을 위한 IEEE 802.15.4기반의 네트워크 및 응용 계층의 규격을 제안하고 있고, 100여개 이상의 많은 참여 회사들이 직간접적으로 사업에 참여하므로써 기술 발전이 매우 빠르고, 다양한 응용기술이 개발될 것으로 보인다.

본 논문에서는 센서네트워크에서 특히 IEEE 802.15.4 표준에 기반을 둔 센서네트워크구축 기술을 소개한다. 먼저 2장에서는 센서네트워크에 대한 소개를 하고, 3장에서는 IEEE 802.15.4의 중요한 특징 및 하드웨어와 소프트웨어 그리고 네트워크 라우팅 프로토콜에 대해 살펴본다. 4장에서는 IEEE 802.15.4기반의 센서네트워크 플랫폼을 소개하고, IEEE 802.15.4를 이용한 센서네트워크 구축의 한 예를 보여준다.

## II. 센서네트워크의 소개

센서네트워크는 많은 수의 센서노드로 구성되어 있으며 이들 센서노드들은 서로 협동하며 주어진 응용 분야에서 작업을 해야 한다. 주요 응용 분야로서는 건강, 군사, 홈네트워크, 재난방지, 환경 모니터링등을 들 수 있다. 센서네트워크는 기본적으로 멀티 홉 기반의 무선 Ad-hoc 네트워크(MANET) 기술을 필요로 한다. 하지만 기존에 MANET과는 다른 다음과 같은 특징을 가지고 있다.

- 센서 노드의 수를 MANET에서 가정하는 노드의 수와 비교하면 몇십배, 몇백배에 이를 수 있다.
- 센서 노드는 응용에 따라 밀도가 높게 배포될 수 있다.
- 센서 노드는 MANET에서의 대표적인 노드인 노트북이나 PDA등과는 다르게 배터리를 교체할 수 없고 따라서 파워소모를 줄이

는 것이 가장 중요한 문제중의 하나이다.

- 센서노드는 대체가 불가능하므로 고장이 났을 경우에 대비하여야 한다.


따라서 센서네트워크의 설계에 있어서 가장 중요한 문제는 얼마나 에너지를 효율적으로 사용할 수 있는가 하는 것이다. Bluetooth나 WiFi가 센서네트워크에 사용되지 못하는 이유가 바로 그것인데, 이들 기술들은 전송속도에 보다 더 관심을 가지고 있고 에너지 소모에 대한 고려가 되어 있지 않다. 즉 배터리가 방전되면 다시 충전시키면 되기 때문이다.

센서네트워크에서 효율적인 에너지 소모를 고려하여 발표된 MAC 프로토콜들은 유휴 청취문제 (Idle listening problem)를 집중적으로 고려하고 있으며 센싱되는 정보가 없을 경우 구지 무선장치를 가동시킬 필요 없이 무선장치의 전원을 오프하므로써 에너지 소모를 최소화 하는 것이다<sup>3,4)</sup>. IEEE 802.15.4 또한 가장 중요한 특징중의 하나가 비전을 사용하고 주기적으로 활성화 구간과 비활성화구간을 가짐으로써 배터리 소모를 최소화하는 것이다.

## III. IEEE 802.15.4 기반의 센서네트워크

### 1. IEEE 802.15.4의 소개

IEEE 802.15.4<sup>1)</sup>는 저속의 통신대역과 저전력을 목표로 하는 저속 무선 개인 영역 네트워크 (Low-Rate Wireless Personal Area Network)의 MAC과 PHY 계층에 대한 표준으로서 2003년 5월에 표준으로 인증되었고, 현재 센서 네트워크 구현에 가장 적합한 통신기술로 인식되고 있다. IEEE

Property	802.11 Wi-Fi	Bluetooth	ZigBee	UWB	UHF	Wireless USB	IR Wireless	Near Field Magnetic
Operating frequency	802.11 b/g 2.4 GHz 802.11 a 5GHz	2.4 GHz	868 MHz (Europe) 902-928 MHz (The Americas) 2.4 GHz (Worldwide)	3.1-10.6 GHz	250-470 MHz 902-928 MHz	2.4 GHz	Infrared 900-900 nm	Magnetic Coupling
Data rate	11 Mbps/s 54 Mbps/s	1Mbps/s	20 kbit/s/s 40 kbit/s/s 250 kbit/s/s	100-500 Mbit/s/s	10-100 kbit/s/s	62.5 kbit/s/s	20-40 kbit/s/s 115 kbit/s/s 4 & 16 Mbit/s/s	64-384 kbit/s/s
Range	100 meters 50 meters	10 meters	10-100 meters	<10 meters	10 meters- 10 miles	10 meters	1-9 meters Line-of-sight	1-3 meters
Networking	Point-to- multipoint	Ad hoc piconets	Ad hoc, star, peer-to-peer, mesh	Point-to-point	Point-to-point	Point-to-point	Point-to-point	Point-to-point
Complexity	High	High	Low	Medium	Lowest	Low	Low	Low
Power consumption	High	Medium	Very low	Low	Low	Low	Low	Low
Applications	WLAN hotspots	Wireless headsets, PC-PDA laptop connections.	Industrial monitoring and control, Home automation and control, Sensor networks, Toys, games, medical, automotive.	Home entertainment networks, Streaming video.	Coded remote control, Remote keyless entry, garage doors.	PC peripherals	Remotes control, PC-PDA laptop links.	Wireless headsets,  Automotive.

〈그림 1〉 IEEE 802. 15. 4의 특징

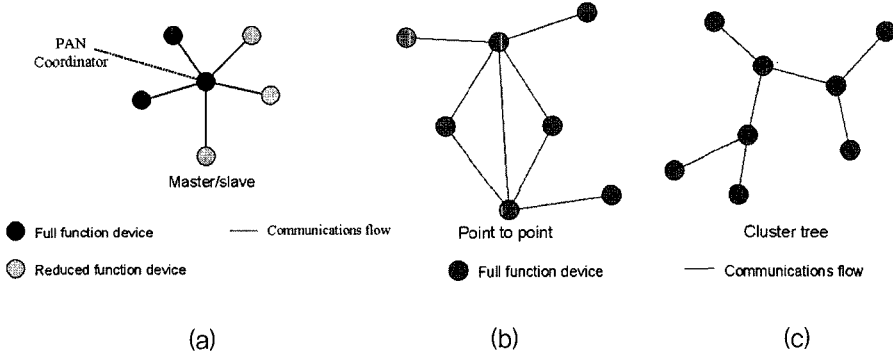
PHY (MHz)	Frequency band(MHz)	Spreading parameters		Data parameters		
		Chip rate (kchip/s)	Modulation	Bit rate	Symbol rate (kb/s)	Symbols (Ksymbol/s)
868/915	868-898.6	300	BPSK	20	20	Binary
	902-928	600	BPSK	40	40	Binary
2450	2400-248 3.5	2000	O-QPSK	250	62.5	16-ary

〈그림 2〉 IEEE 802. 15. 4의 PHY 및 MAC 특성

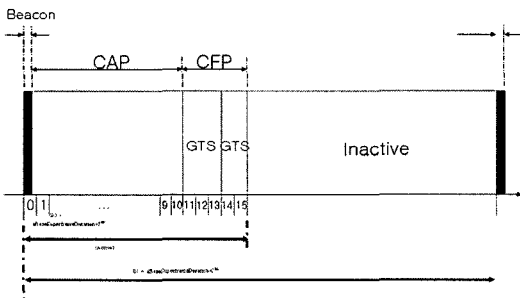
802.15.4기반의 네트워크 계층과 응용계층은 ZigBee 컨소시엄<sup>[2]</sup>에서 표준화 작업을 하고 있으며 IEEE 802.15.4 서로 역할 분담을 하고 있다. 그림 1은 다른 경쟁기술과 비교하여 IEEE 802.15.4의 주요 특징을 보여준다. PHY 주파수 대역으로는 그림 2와 같이 세 주파수 대역을 사용한다. IEEE 802.15.4의 MAC은 기존의 무선네트워크기술과는 차별화되는 기술로서 데이터 전송율은 최대 250kbps로서 Bluetooth나 UWB, Wi-Fi등의 다른 기술들과 비교해보면 상대적으로 낮지만, 전력소모면에서는 비활성화(*inactive*)

기간을 주기적으로 가지는 특유의 수퍼프레임 구조를 채택하므로써 다른 기술들과는 비교할 수 없을 정도로 전력소모를 줄일 수 있다.

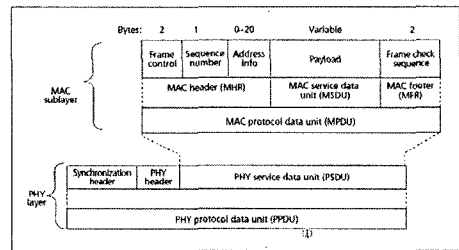
IEEE 802.15.4 기반 네트워크에서 구성 가능한 토폴로지는 그림 3과 같다. 스타 토폴로지는 가장 기본이 되는 구조로서 코디네이터와 주변의 슬레이브 노드로 구성된다. 하나의 PAN 코디네이터(Coordinator)와 여러개의 슬레이브노드로 구성된 스타 토폴로지는 기존의 Bluetooth와 같이 홈 네트워크, PC의 주변장치, 장난감, 게임, 건강보조기 등에 적용될 수 있다. 슬레이브 노드



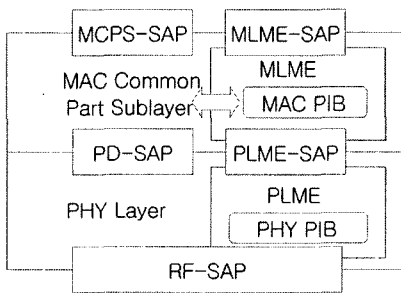
〈그림 3〉 IEEE 802.15.4에서 구성가능한 토폴로지  
(a) 스타(Star), (b) 메쉬(Mesh) 또는 단대단(Point-to-point), (c) 클러스터트리



〈그림 4〉 수퍼프레임 구조



〈그림 6〉 IEEE 802.15.4의 MAC 프레임 포맷



〈그림 5〉 IEEE 802.15.4 참조 모델

를 위해 IEEE 802.15.4는 두 가지 노드 타입을 규정하고 있는데, 라우팅기능이 있는 FFD(Full Function Device)와 단말노드로만 동작할 수 있는 제한된 기능의 RFD(Reduced Function

Device) 이다. FFD는 클러스터 트리 형이나 메쉬형 모두에서 PAN 코디네이터또는 중간노드로서 라우팅 기능을 지원한다. 반면 RFD는 어느 토폴로지에서든 단말로만 동작 할 수 있다.

IEEE 802.15.4의 가장 중요한 특징중 하나는 그림 4의 수퍼프레임(Superframe) 구조이다. 센서네트워크로서 저전력소모라는 목표를 달성하기 위해서 IEEE 802.15.4는 기본적으로 비컨을 사용하고, 비컨사이에 활성화(Active) 구간과 비활성화(Inactive) 구간으로 나누어서 활성화 구간에서만 RF모듈을 동작시키고 비활성화 구간에서는 RF모듈의 전원을 차단한다. 비컨의 주기

커맨드 프레임 ID	명령어 이름	RFD의 지원	
		Tx	Rx
0x01	Association request	X	
0x02	Association response		X
0x03	Disassociation notification	X	X
0x04	Data request	X	
0x05	PAN ID conflict notification	X	
0x06	Orphan notification	X	
0x07	Beacon request		
0x08	Coordinator realignment		X
0x09	GTS request		
0x0a-0xff	Reserved		

〈그림 7〉 IEEE 802.15.4의 MAC 커맨드 종류

MLME-SAP primitive	Request	Indication	Response	Confirm
MLME-ASSOCIATE	FFD	RFD	RFD	FFD
MLME-DISASSOCIATE	FFD	FFD		FFD
MLME-BEACON-NOTIFY		FFD		
MLME-GET	FFD			FFD
MLME-GTS	RFD	RFD		RFD
MLME-ORPHAN		RFD	RFD	
MLME-RESET	FFD			FFD
MLME-RX-ENABLE	FFD			FFD
MLME-SCAN	FFD			FFD
MLME-COMM-STATUS		FFD		
MLME-SET	FFD			FFD
MLME-START	RFD			RFD
MLME-SYNC	FFD			
MLME-SYNC-LOSS		FFD		
MLME-POLL	FFD			FFD

〈그림 8〉 MAC 관리 서비스(Management Entity Service)

BI(Beacon Interval)는 그림 4와 같이 BO(Beacon Order)로 지정하며, 활성화 구간은 SO(Superframe Order)로 지정한다. 활성화 구간은 다시 두 부분으로 구성되는데 첫 번째는 경쟁구간(Contention Access Period: CAP)으로서 CSMA-CA를 사용하며, 두 번째는 비경쟁구간

(Contention Free Period: CFP)로 서 GTS(Guaranteed Time Slot)로 불리며 PAN 코디네이터로부터 허가를 받고 사용하는 대신 다른 노드와 경쟁할 필요가 없다.

IEEE 802.15.4는 그림 5와 같이 PHY 계층과 MAC 계층으로 나뉘며 각 계층에서는 다시 데이

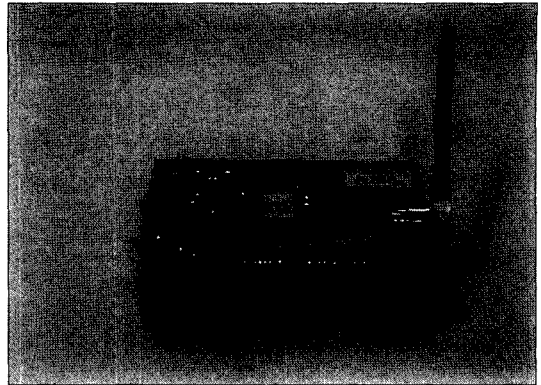
터 전송을 위한 SAP(Service Access Point) (각각 PD(PHY Data Service Access Point)-SAP와 MCPS(MAC Common Part Sublayer)-SAP) 와 관리를 위한 SAP (각각 PLME(Physical Layer Management Entity)-SAP와 MLME(MAC Layer Management Entity)-SAP)를 명세하고 있다.

그림 6는 IEEE 802.15.4의 MAC 및 PHY 프레임 포맷을 보여준다. MAC 프레임은 MAC 프로토콜 데이터 유닛(MPDU)이라 부르며 MAC헤더(MHR), MAC 서비스 데이터 유닛(MSDU), 그리고 MAC 풋터(MFR)로 구성된다. MAC 프레임의 종류로는 데이터프레임, 커멘드프레임, 확인프레임(Acknowledgement)이 있으며 이중 커멘드 프레임은 그림 7와 같으며 그림8과 같은 관리 서비스를 지원하기 위해 사용된다.

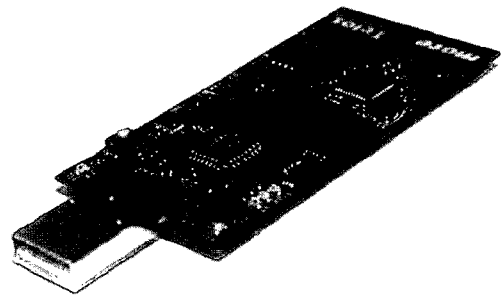
### III. IEEE 802.15.4기반의 센서네트워크 플랫폼

#### 1. 하드웨어 플랫폼

IEEE 802.15.4 를 지원하는 칩셋으로 외국에서는 Chipcon사의 CC2420<sup>[7]</sup> 과 Motorola의 자회사인 Freescale사의 MC13191/92<sup>[8]</sup>가 대표적이며 국내에서는 전자부품연구소(KETI), 삼성전자, 그리고 RadioPulse, Inc 가 칩셋을 개발완료하고 현재 테스트중이다. CC2420을 사용한 센서네트워크 플랫폼으로서 MicaZ<sup>[8]</sup> (그림 9)와 MoteIV<sup>[9]</sup> (그림 10), 그리고 CC2420DBK<sup>[10]</sup> (그림 11)이 대표적이다. MicaZ는 기존의 MicaII, Mica2Dot, Mica등과 인터페이스와 CPU가 같기 때문에 그림 11와 같이 기존의 PC 인터페이스 보드인 MIB510과 같이 사용할 수 있는 장점이 있고, MoteIV는 USB를 이용하여 인터



〈그림 9〉 Mote MicaZ

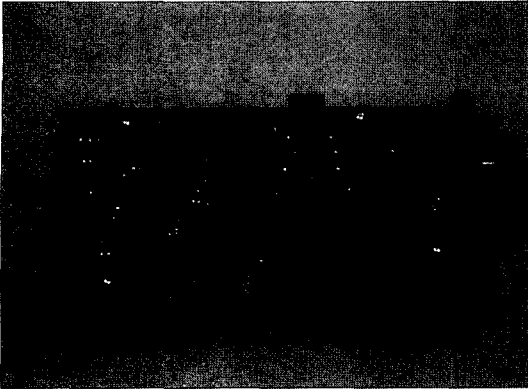


〈그림 10〉 MoteIV

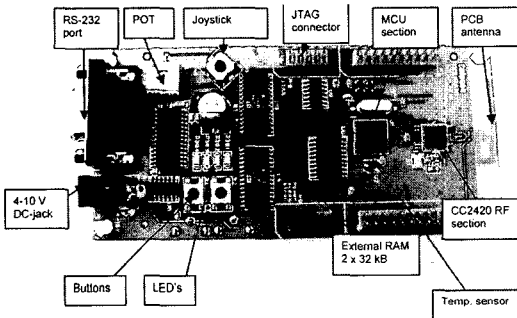
페이스할 수 있는 장점이 있다. CC2420DBK는 Chipcon사에서 나온 CC2420의 개발평가용 보드이며 IEEE 802.15.4의 MAC을 테스트 해볼 수 있는 장점을 가지고 있다.

#### 2. 운영체제

기존의 UNIX와 같은 운영체제가 32비트 마이크로프로세서위에서 수메가 바이트의 메모리를 필요로 한다면 센서네트워크에서의 센서노드는 AA사이즈의 배터리 몇 개의 파워와 8 ~ 16비트 마이크로프로세서, 수십 킬로바이트정도의 메모



〈그림 11〉 MIB510



〈그림 12〉 CC2420DBK

리를 가진다. 따라서 좀더 간략한 기능만을 가진 작은 커널을 필요로 한다. 현재 TinyOS가 가장 대표적인 센서네트워크 운영체제로서 사용되고 있으며 공개소프트웨어로서 개발되고 있다<sup>[11]</sup>.

TinyOS는 nesC 라는 언어를 사용하여 개발되었고 응용 프로그램도 마찬가지로 nesC로 기술해야 한다. 개발된 nesC 소프트웨어는 변환(translation)과정을 거쳐 C언어로 바뀌며 컴파일되어 센서노드에 다운로드되어 실행된다. nesC는 센서네트워크와 같은 임베디드시스템을 위해 개발되었고 컴포넌트 기반의 응용을 위한 구조를 가지고 있다.

#### Configuration File (Blink.nc)

```

39 configuration Blink {
40 }
41 implementation {
42   components Main, BlinkM, SingleTimer, LedsC;
43   Main.StdControl -> SingleTimer.StdControl;
44   Main.StdControl -> BlinkM.StdControl;
45   BlinkM.Timer -> SingleTimer.Timer;
46   BlinkM.Leds -> LedsC;
47 }
48

```

#### Module File (BlinkM.nc)

```

36 module BlinkM {
37   provides {
38     interface StdControl;
39   }
40   uses {
41     interface Timer;
42     interface Leds;
43   }
44 }
45 implementation {
46   command result_t StdControl.init() {
47     call Leds.init();
48     return SUCCESS;
49   }
50   event result_t Timer.fired()
51   {
52     call Leds.redToggle();
53     return SUCCESS;
54   }
55 }

```

〈그림 13〉 TinyOS의 프로그래밍 방법(nesC)

그림 13은 nesC를 이용하여 TinyOS위에서 Blink라는 응용프로그램을 개발한 예제를 보여준다. 먼저 nesC는 두가지 타입의 컴포넌트와 인터페이스를 지원하는데 첫째는 모듈로서 컴포넌트의 실제 행동을 기술하는 기본단위이다(예: BlinkM.nc). 두 번째 타입의 컴포넌트는 컨피규레이션(configuration)이라는 컴포넌트로서 하위에 다른 컨피규레이션이나 모듈을 자식 컴포넌트로 둘수 있으며 자식 컴포넌트들 간의 연결 정보를 담고 있다(예: Blink.nc). 이때 컴포넌트들간의 연결정보를 추상화 시킨 데이터 타입이 인터페이스(예: BlinkM.nc에서 StdControl, Timer, 그리고 Leds)이며 자바의 인터페이스와 같이 한쪽 컴포넌트는 인터페이스를 제공하고 한쪽 컴포넌트는 인터페이스를 사용한다. 예를 들면 그림 13에서 BlinkM.nc 모듈은 StdControl.init()이라는 command와 Timer.fired()라는 event를 제공한다.

### 3. IEEE 802.15.4기반의 라우팅 프로토콜

IEEE 802.15.4 센서네트워크 플랫폼에서 운용 가능한 라우팅 프로토콜로서는 계층적 라우팅 알고리즘(클러스터-트리)<sup>[6]</sup>, TinyAODV<sup>[12]</sup>, AODVjr<sup>[13]</sup>, Directed Diffusion<sup>[14]</sup>, AODV<sup>[15]</sup>, RMRP<sup>[16]</sup> 등이 있다. 계층적 라우팅 알고리즘은 IEEE 802.15.4의 MAC 계층에서 지원하는 클러스터 트리 구조를 네트워크 계층에서 지원하는 것으로 ZigBee 컨소시엄<sup>[2]</sup>에서 개발하고 있다. AODV는 기존의 MANET에서 개발된 라우팅 프로토콜로서 IETF의 RFC로 채택되어 있으며 AODV가 그대로 센서네트워크에서 동작하기에는 무거운 측면이 있으므로 이를 경량화한 프로토콜들이 발표되었다. AODVjr나 TinyAODV등이 그것이며 특히 TinyAODV는 nesC로 개발되어 TinyOS에서 테스트해 볼수 있는 장점을 가지고 있다. Directed Diffusion은 센서네트워크를 위해 개발된 대표적인 라우팅알고리즘으로 알려져 있다. RMRP는 기본적으로 AODV처럼 라우팅 경로를 생성하지만 다중경로를 이용하여 센서네트워크의 안정성을 높였으며 또한 지역 경로 복구를 신속히 하는 장점을 가지고 있다. 본 논문의 4장에서는 RMRP를 센서네트워크에 구현한 결과를 보여줄 것이다. 그림 14는 이들 센서네트워크의 특징을 비교 정리한 것이다.

### IV. IEEE 802.15.4기반 플랫폼의 구축

그림 15는 대표적으로 IEEE 802.15.4기반의 센서네트워크를 구축한 예를 보여준다. 센서노드들은 센서필드에 배포되어 센서네트워크를 형성하며 멀티홉 라우팅 알고리즘을 이용하여 싱크 노드로 센싱 정보를 전달하게 된다. 싱크노드는 모

	AODV	TinyAODV	AODVjr	RMRP
RERR Message	Use	Use	No Use	Use
Sequence number	Use	Use	No Use	No Use
Precursor lists	Use	No Use	No Use	No Use
Gratuitous RREP	Use	No Use	No Use	No Use
Hop count	Use	Use	No Use	Use
Hello messages	Use	No Use	No Use	No Use
Local repair	Use	No Use	No Use	Use only in 1 hop range
Energy Usage	High	Low	Medium	Low
Memory Usage	High	Low	Low	Low
Reliability Mechanism	No	No	No	No
Mobility	Mobile Sensors/Sinks	Mobile Sensors/Sinks	Mobile Sensors/Sinks	static

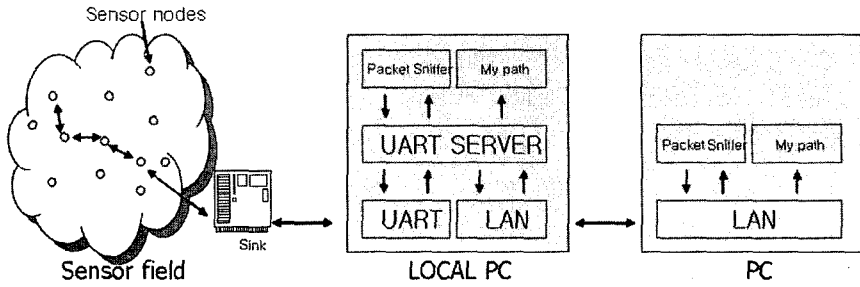
〈그림 14〉 라우팅알고리즘의 비교

니터링 컴퓨터에 UART나 LAN을 통해 연결하게 되는데 본 연구에서는 MIB510 (그림 11)을 인터페이스 보드로서 사용하였다. 모니터링 컴퓨터는 패킷 Sniffer<sup>[17]</sup>를 이용하여 실제로 센서네트워크에서 전달되는 패킷을 실시간으로 캡처할 수 있으며 그 외 다양한 응용 프로그램을 개발 할수 있는 플랫폼이 된다. 본 논문에서는 그 한 예로 그림 16와 같이 MyPath<sup>[16]</sup>라고 하는 센서네트워크 모니터링 프로그램을 보여준다. MyPath<sup>[16]</sup>는 센서네트워크에서 라우팅 되고 있는 경로를 실시간으로 캡처하여 보여준다. 그림 17은 패킷 Sniffer를 이용하여 센서네트워크에서 실제로 전달되고 있는 패킷을 캡처한 스냅샷을 보여준다.

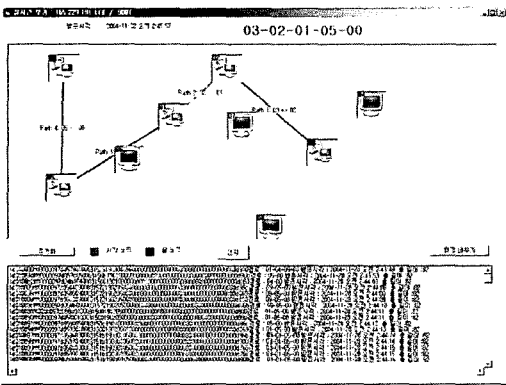
### V. 결론

본 논문에서는 IEEE 802.15.4기반의 센서네트워크 구축 방법론에 대해 살펴보았다. 특히 IEEE 802.15.4의 특징을 소개하고 IEEE 802.15.4 기

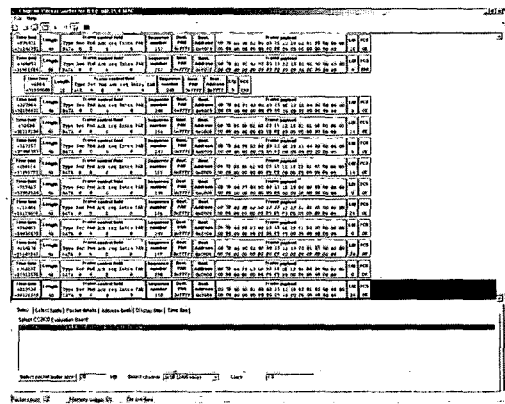




〈그림 15〉 센서네트워크의 구축



〈그림 16〉 센서네트워크 응용프로그램 MyPath



〈그림 17〉 Packet Sniffer

반의 하드웨어 플랫폼 및 운영체제를 알아보았으며, 네트워크 계층의 프로토콜을 살펴보았다. 또한 실제로 구축예를 살펴봄으로써 IEEE 802.15.4의 활용가능성을 알아보았다.

=====  
참고문헌  
=====

[1] IEEE, "Part 15.4 Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks(LR-WPANs)", IEEE, 2003.  
[2] ZigBee Alliance, <http://www.zigbee.org/en/resources>

/#WhitePapers  
[3] Wei Ye, J. Heidemann, D. Estrin, "An energy-efficient MAC protocol for wireless sensor networks," in Proc. IEEE INFOCOM, June 2002, vol. 3, pp. 1567-1576.  
[4] T. van Dam and K. Langendoen, "An adaptive energy-efficient MAC protocol for wireless sensor networks," in ACM International Conference on Embedded Networked Sensor Systems (SenSys), Nov. 2003.  
[5] J. A. Gutierrez, E.H. Callaway, and R. L. Barrett, "Low-Rate Wireless Personal Area Networks, IEEE Press, 2004.

- [6] E. H. Callaway, "Wireless Sensor Networks Architectures and Protocols," Auerbach, 2003.
- [7] Chipcon, Inc., "CC2420 Data Sheet" from: [http://www.chipcon.com/index.cfm?kat\\_id=2&subkat\\_id=12&dok\\_id=115](http://www.chipcon.com/index.cfm?kat_id=2&subkat_id=12&dok_id=115)
- [8] Xbow, "MICAz Wireless Measurement System," [http://www.xbow.com/Products/Product\\_pdf\\_files/Wireless\\_pdf/6020-0060-01\\_A\\_MICAz.pdf](http://www.xbow.com/Products/Product_pdf_files/Wireless_pdf/6020-0060-01_A_MICAz.pdf)
- [9] Telos, "MoteIV Ultra low power IEEE 802.15.4 compliant wireless sensor module," <http://www.moteiv.com/products/docs/telos-reva-datasheet-r.pdf>
- [10] Chipcon, Inc., "CC2420DBK User Manual" from: [http://www.chipcon.com/index.cfm?kat\\_id=2&subkat\\_id=12&dok\\_id=115](http://www.chipcon.com/index.cfm?kat_id=2&subkat_id=12&dok_id=115)
- [11] TinyOS, "TinyOS, A component-based OS for the networked sensor regime", Project Web Site: <http://www.tinyos.net/>
- [12] TinyAODV, available from <http://cvs.sourceforge.net/viewcvs.py/tinyos/tinyos-1.x/contrib/hsn/>
- [13] Ian D. Chakeres and Luke Klein-Berndt, "AODVjr, AODV Simplified," ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review, vol.6 no.3, Jul. 2002, pp. 100 - 101.
- [14] Chalermek Intanagonwivat, Ramesh Govindan, Deborah Estrin, John Heidemann, and Fabio Silva, "Directed diffusion for wireless sensor networking," IEEE/ACM Transactions on Networking (TON), vol.11 no.1, February 2003, pp.2-16.
- [15] C. E. Perkins and E. Belding-Royer, "Ad-hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing," IETF MANET Working Group, RFC3561, July 2003.
- [16] 정원도, 서현곤, 김기형, 신창민, 박승민, 김홍남, "센서네트워크에서 효율적인 랜덤 라우팅 알고리즘," 정보처리학회 22 회추계 학술 발표대회 Nov. 2004.
- [17] Chipcon, Inc., "CC2420 Packet Sniffer" from: [http://www.chipcon.com/index.cfm?kat\\_id=2&subkat\\_id=12&dok\\_id=115](http://www.chipcon.com/index.cfm?kat_id=2&subkat_id=12&dok_id=115)
- [18] Freescale, Inc., "MC13191/92 Developer's Starter Kit," [http://www.freescale.com/files/rf\\_if/doc/fact\\_sheet/MC1319192DEVFS.pdf](http://www.freescale.com/files/rf_if/doc/fact_sheet/MC1319192DEVFS.pdf)

## 저자소개



김기형

1990년 한양대학교(공학사)  
 1992년 한국과학기술원(공학석사)  
 1996년 한국과학기술원(공학박사)  
 2001년 AdForce, Inc 선임연구원  
 1997년-현재 영남대학교 컴퓨터공학과 부교수  
 주관심분야 무선 센서네트워크, IEEE 802.15.4, Ad Hoc Networks, Embedded System



정원도

2004년 영남대학교 학사  
 2004년-현재 영남대학교 석사과정  
 주관심분야 센서네트워크, 임베디드 소프트웨어



박준성

2003년 가야대학교 학사  
 2003년-현재 영남대학교 석사과정  
 주관심분야 센서네트워크, 임베디드 소프트웨어

## 저자소개



서현곤

1994년 경성대학교 (이학석사)  
 2004년 영남대학교 (공학박사)  
 1992년-1997년 (주)동양에레베이터 기술연구소 주임연구원  
 1997년-2001년 김천대학 컴퓨터사무정보계열 겸임교수  
 2001년-2003년 대구대학교 정보통신공학부 BK21교수  
 2004년-현재 영남대학교 컴퓨터공학과 강의전담교수  
 주관심분야 애드 혹 네트워크, 센서 네트워크, 라우팅 프로토콜, 임베디드 시스템



박승민

1983년 홍익대학교 전자공학과(석사)  
 1983년-1984년 LG 전자 연구원  
 1984년-현재 한국전자통신연구원 임베디드 S/W연구단 편재형컴퓨팅미들웨어연구팀장/책임연구원



김흥남

1989년 미국 Ball State University 전산학석사  
 1996년 미국 Pennsylvania State University 전산학박사  
 1983년-1998년 한국과학기술연구원(KIST) 시스템공학연구소 연구원  
 1998년-2002년 한국전자통신연구원 책임연구원 내장형소프트웨어연구팀장  
 2003년-2004년 임베디드 S/W 기술센터장  
 2004년-현재 임베디드 S/W 연구단장  
 2002년-현재 한국 무선인터넷 표준화 포럼 모바일플랫폼분과위원장  
 주관심분야 실시간운영체제, 비디오압축알고리즘, 분산멀티미디어시스템