

특집

센서 네트워크 기술

김대영¹⁾ 도윤미²⁾ 박노성³⁾ 이상수³⁾ 팜민룡³⁾ 뒤뷔백³⁾ 파티오즈투르크³⁾

목 차

- 1. 서 론
- 2. 센서 네트워크 요소기술
- 3. 무인 정찰 센서 네트워크 플랫폼
- 4. 결 론

1. 서 론

인간과 컴퓨터와 사물이 유기적으로 연계되어 다양하고 편리한 새로운 서비스를 제공해주는 유비쿼터스 컴퓨팅 환경에서, 인간 외부 환경의 감지와 제어 기능을 수행하는 센서 네트워크 기술이 최근 활발히 연구가 되고 있다. 이러한 센서 네트워크 기술은 저전력 저가격의 무선 통신 기술, 초소형 마이크로 프로세서 기술, 자동 구성이 가능한 ad-hoc 네트워크 기술, MEMS기술, 다양한 종류의 센서들과 이들의 표준화 노력, 그리고 임베디드 시스템 기술등의 발전으로 실현이 가능한 기술로서 평가되고 있다.

초기 연구단계에 있는 센서 네트워크는 주로 군사용이나 과학적 응용 시스템에 많이 사용되고 있다. 예를 들어, 직접 접근이 위험한 적진의 군사 동향 감시를 위한 무인 정찰 센서 네트워크 시스템이라든지, 장기간의 밀접 관찰이 필요한 생태계

감시 시스템이 이에 해당한다. 또한 상업적 응용으로 교통의 감시와 제어를 위한 최첨단 지능형 교통 시스템, 그리고 트럭에 타이어 압력 센서와 유압 측정 센서 등을 부착한 후 이를 센서 네트워크로 연결하여 트럭 감시와 제어에 사용되는 응용 등으로 다양하게 확장이 되고 있다.

센서 네트워크의 하드웨어와 소프트웨어 플랫폼 개발과 응용분야의 발굴을 위하여 학계와 산업체에서 많은 연구가 이루어지고 있으며, 대표적인 센서 네트워크 연구 그룹으로는 센서 노드 하드웨어인 MICA와 운영체제인 TinyOS를 개발한 버클리 대학과 상업용 응용 시스템에 필요한 연구를 수행하는 인텔을 들 수 있다[1].

본 논문의 2장에서는 센서 네트워크의 요소 기술인 센서 노드 하드웨어, 운영체제, 통신 프로토콜, 저전력 설계, 위치측정 시스템, 시뮬레이션 툴, 센서기술의 연구현황에 대하여 소개하며, 3장에서는 본 연구실에서 개발 중인 무인 정찰 센서 네트워크 플랫폼을 소개하고 마지막으로 결론을 맺는다.

2. 센서 네트워크 요소기술

센서 네트워크란 센싱 기능과 정보 처리 능력,

1) 한국정보통신대학교 공학부 조교수
 2) 한국정보통신대학교 공학부 연구교수
 3) 한국정보통신대학교 대학원 석사과정

그리고 통신 능력을 가진 다수의 센서 노드들로 구성되며, 특히 서비스 영역에 배치된 후 자동적으로 ad-hoc 네트워크를 형성한 후 필요한 실세계(physical world)의 정보를 수집 및 처리를 통하여 응용 서비스를 제공해준다. 센서 네트워크를 통해서 할 수 있는 일로는, 예를 들어, 센싱 영역 내의 단순한 온도, 조도 등의 감지 기능뿐만 아니라, 차량의 이동 탐지 및 이웃 센서 노드들 간의 협동 작업을 통한 속도나 방향의 추측 기능, 나아가 고성능 이미지 처리 기능을 통한 차량의 종류 인식 및 트래킹 기능과 같은 고급 기능을 포함한다. 본 장에서는 센서 네트워크를 구성하는 요소 기술인 센서 노드 하드웨어, 운영체제, 통신 프로토콜, 저전력 설계, 위치 측정, 시뮬레이션 툴, 그리고 센서 기술에 대해서 살펴본다.

2.1 센서 노드

센서 노드는 센서 네트워크를 구성하는 기본 요소로서, 데이터를 수집하고, 처리하며, 무선 통신 기능을 이용하여 상위 처리 시스템으로 전송해주는 기능을 가진다. 센서 네트워크 응용이 다양한 만큼, 여러 종류의 센서 노드들이 개발되었는데, 그 중에서도 버클리대의 MICA가 공개 소프트웨어/하드웨어 정책으로 널리 이용되고 있다.

MICA 센서 노드는 TinyOS라는 센서 노드용 운영체제와 NesC 라는 응용 개발환경과 함께 공개되었다. MICA는 프로그래밍 보드, 프로세서 보드, 센서 보드의 세 종류의 구성되어 있다. 이 보드들은 커넥터를 통하여 스택 형식으로 연결 가능하다. MICA노드의 중요 특징을 <표 1>에, 배터리가 장착된 센서 노드를 (그림 1)에 나타내었다 [2]. MICA의 네트워크 프로그래밍 기능은 RF통신을 이용하여 센서노드의 마이크로컨트롤러에 적재된 프로그램을 바꿀 수 있는데, 이는 노드를 배치한 후에 변경 사항이 생길 시 일일이 수거해서 다시 프로그램하는 수고를 덜어준다.

<표 1> MICA 노드 중요 특징

포함된 센서	마이크로 컨트롤러 및 메모리	RF통신
빛	ATMega128L 4MHz	916MHz RF모듈
온도	128KB 프로그램 메모리	OOK 10Kbps
지자기	4KB 데이터 메모리	ASK 40Kbps
가속도		



(그림 1) 버클리대의 MICA 센서 노드

MICA 노드는 기존의 상용 COTS 부품을 사용하여 제작된 프로토타입 시스템으로, 이를 MEMS 기술을 이용하여 초소형화하려는 연구가 현재 진행 중이며 상당한 성과를 보이고 있다. 두 종류의 보드에 나뉘어져 있던 프로세싱, 센싱, 통신, 인터페이스 기능이 하나의 칩으로 통합되었다. 현재 공개된 MEMS 칩은 2mm x 2.5mm 크기에 RISC형식의 마이크로 컨트롤러와 FSK RF 모듈, SPI와 UART등의 I/O 포트 등을 내장하고 있다. 이 기술이 실용화되면, 보다 적은 전력으로 기존의 노드와 동일한 작업을 수행할 수 있으며, 소형화로 어디든지 장착, 휴대될 수 있고, 가격 또한 낮아져 밀도 높은 배치가 가능해진다.

그 외 센서 노드들로는 Rockwell사의 WINS노드, Sensoria사의 WINS NG 2.0, UCLA의 iBadge, MIT의 u-AMPS 시리즈 등이 대표적이다. Rockwell과 Sensoria는 각각의 공개 노드에 기반을 둔 상업용 제품을 출시하였으며, 다른 센서 노드에 비해서 고성능의 하드웨어 사양을 가지고 있다. iBadge는 UCLA의 Smart

Kindergarten 프로젝트에 사용되는 센서 노드로서 다른 노드에 비해서 상당히 다양한 센서들이 장착되어 있으며, 블루투스를 사용하여 통신한다. MIT의 u-AMPS는 저전력 센서 노드를 개발하는 프로젝트이며, MICA와 같이 보드 수준에서의 센서 노드를 개발하였으며, MEMS를 이용한 고집적화에 대한 연구가 진행 중이다.

2.2 센서 네트워크 운영체제

센서 노드는 마이크로 컨트롤러를 내장한 소형 컴퓨터 시스템으로 센싱 응용처리와 노드들간 통신등을 위하여 운영체제를 필수적으로 요구한다. 본 절에서는 이러한 운영체제를 위한 요구사항들과, 버클리대의 TinyOS를 통하여 센서 네트워크를 위한 소위 나노 운영체제의 특징을 살펴본다. 나노 운영체제는 자원이 제한적인 센서 노드 하드웨어에서 수행되어야 하므로, 작은 크기여야 하고, 전력소모가 적어야 하며, 센서 노드 간에 저전력 통신을 제공하면서도 프로세스와 메모리를 효율적으로 관리하도록 설계되어야 한다. 또한 다수의 하위레벨 이벤트 발생과 상위레벨의 프로세싱이 상존하므로, 이들을 동시 처리할 수 있는 정밀한 Concurrency 처리 기능이 요구된다. 센서 노드는 일반적으로 제한된 병렬 처리 능력과 하드웨어 제어 구조를 가지며, 센서와 같은 하드웨어 I/O 장치를 지능형 제어기가 아닌 원시적인 직접 접근 방식에 의해 제어를 하므로, 이러한 I/O 제약 사항이 운영체제 설계에 역시 고려되어야 한다. 또한 다양한 응용 분야를 가지는 센서 네트워크에서는 범용 하드웨어와 소프트웨어가 존재하는 것이 아니라 응용분야에 따라 크게 달라질 수 있으므로 운영체제는 가능한 한 어떠한 하드웨어 구조에서도 효과적으로 사용할 수 있도록 유연성과 모듈성을 갖추고 있어야 한다. 센서 노드들은 한번 배치가 되고 나면, 유지 보수가 어렵고, 운영 환경 또한 열악할 수 있으므로, 이들을 고려하여

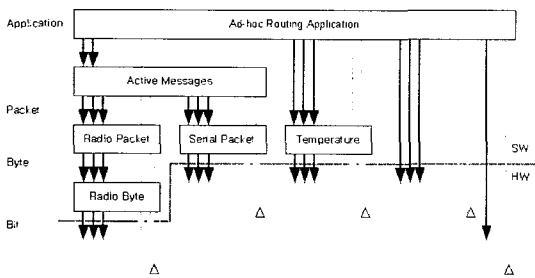
강인한 구조로 설계되어야 한다. 마지막으로 센서 네트워크의 핵심 프로토콜인 ad-hoc 라우팅 프로토콜과 프로그래밍 용이성이 고려되어야 한다.

센서 노드 전용 운영체제로는 MICA 센서 노드에서 사용되는 버클리대의 TinyOS 가 대표적이다. TinyOS는 이벤트 발생에 의한 상태 천이 방식을 채택한 운영체제로서, 제한된 메모리 공간의 효율적인 이용과, 프로세싱의 동시성 등을 지원해주는 운영체제다. 이러한 TinyOS의 특징을 크게 아래 3가지로 구분해 볼 수 있다.

첫째, 재사용 가능한 소프트웨어 컴포넌트 기반의 운영체제이며, 응용 프로그램은 하드웨어 컴포넌트의 입/출력을 연결하듯 소프트웨어 컴포넌트의 입/출력 인터페이스를 연결함으로써 작성된다. 둘째, 상태 머신(state machine) 기반의 구조를 가지는 운영체제로, 각각의 상태는 TinyOS의 컴포넌트가 해당된다. 각 컴포넌트의 명령(command)과 이벤트 처리기는 한 상태에서 다른 상태로 빠르게 전이를 일으키며, 기본적으로는 하드웨어의 신호 처리와 같은 특성을 가지므로 적은 양의 부가처리와 논블록킹의 특성을 지닌다. 셋째, 센서노드의 중요한 요구사항의 하나인 저전력 소모를 구현하기 위해 사용되지 않는 CPU의 사이클 동안 휴지 상태로 들어가 전력소모를 줄인다.

내부적으로 TinyOS 응용 프로그램은 (그림 2)와 같이 저전력 스케줄러와 컴포넌트의 상태 천이 그 래프로 구성이 된다. 컴포넌트는 프레임, 이벤트 핸들러, 커맨드와 태스크로 구성되어 있다. 컴포넌트의 인터페이스는 입력 명령과 출력 명령, 입력 이벤트와 출력 이벤트 4가지로 구성된다. 입력 명령은 자신의 컴포넌트에서 서비스하는 커맨드로 상위 컴포넌트가 해당 컴포넌트의 기능이 필요할 때 호출하는 것이며, 출력 명령은 하위 컴포넌트의 서비스를 호출할 때 사용한다. 입력 이벤트는 해당 컴포넌트의 이벤트 핸들러에 의해 처리되며, 하위의 컴포넌트가 해당 컴포넌트에 신호를

넘겨주기 위하여 사용되는 것이며, 출력 이벤트는 해당 컴포넌트가 상위의 컴포넌트에 신호를 전달하기 위해 사용된다.



(그림 2) TinyOS 컴포넌트 기반 응용 예(1)

2.3 무선 통신

데이터는 라디오부의 RF 신호에 의하여 센서 노드간에 전달되는데, RF 신호의 송수신은 OSI 모델의 최하단에 위치한 물리계층 기능에 해당한다. 라디오부에 접하는 MAC(Medium Access Control)은 데이터 링크 계층을 구성하는 부계층으로 다른 센서 노드들과 물리 계층을 공유하여 데이터 패킷을 주고 받는다. 본 절에서는 현재 가장 널리 알려진 MICA 보드의 무선 통신 기능 및 센서 네트워크에 적합한 새로운 기술 및 표준을 간략하게 소개한다.

MICA 보드는 저전력 RF 트랜시버를 가진 RFM의 TR1000 칩을 사용한다. TR1000은 작은 크기, 낮은 비용으로도 강력한 수행능력이 필요한 단거리 무선 데이터 응용분야 즉, 센서 네트워크에 적합하며, 변조방식으로는 10 kbps로 전송하는 OOK(On-Off Keyed)와 40 kbps의 ASK(Amplitude-Shift Keyed)를 사용할 수 있다. MICA 보드는 40 kbps ASK를 채택하고 있으며, 산업용, 과학용, 의료용으로 제한된 916.5 MHz ISM 대역을 사용한다. MICA의 신호 강도 또는 동작 영역은 디지털 전위계 DS1804로 제어되므로 1~300ft의 거리에서 100단계로 라디오

신호를 조절하여 에너지 소모의 강도를 조절할 수 있다.

한편, 새로이 부각되는 무선 통신 기술로 IEEE 802.15.4 표준이 제정 중에 있는데, 이는 저속의 WPAN(Wireless Personal Area Networks)을 위한 표준이지만 낮은 전송율과 전력 소모, 간단한 구성, 그리고 값싼 장치를 요구하는 센서 네트워크 응용에도 적합하다[3].

802.15.4의 주요 특징 중 하나는 총 27개의 채널을 3개의 주파수 대역에 할당하는 것으로, 이들은 2.4 GHz ISM 대역에 250 kbps로 16개, 915 MHz ISM 대역에 40 kbps로 10개, 그리고 유럽의 868 MHz 대역에 20kbps로 1개의 채널을 사용한다.

물리계층의 패킷은 프리앰블(Preamble) 32 비트가 동기화를 위하여 사용되고, 패킷 경계의 시작(Start of packet delimiter) 8 비트가 물리계층 서비스 데이터 (PSDU)의 길이에 대한 정보를 제공한다. MAC 계층은 낮은 비용, 설치시의 용이성, 짧은 거리에서의 신뢰성 있는 데이터의 전송 및 적절한 배터리의 수명 등이 고려되어 설계되었다. 네트워크 조정자(Network Coordinator)는 비컨(Beacon)에 네트워크의 정보, 프레임의 구조, 대기상태의 노드들에 대한 정보 등을 기록하여 보냄으로써 노드들에게 네트워크의 구조를 인지도시킨다. 특히, 프레임 내에 선택적으로 사용되는 시간 보장 슬롯(GTS: Guaranteed Time Slot)을 두어, 실시간 통신 서비스나 시간에 제약이 있는 데이터의 전송을 처리한다. GTS 구간에는 특정하게 명시되는 노드 외에는 통신 채널을 사용할 수 없다. IEEE 802.15.4는 ZigBee로 불리는 산업체 표준화 단체에 의해 산업 활성화 방법이 연구되고 있다.

2.4 데이터 링크와 네트워크 계층

2.4.1 데이터 링크 계층

데이터 링크 계층의 핵심 기능은 데이터 흐름의 다중화, 데이터 프레임 검출, 매체 접근, 오류 제어 등이며, 점대점 또는 점대다수의 네트워크 구성에서 신뢰성을 보장해야 한다. 센서 네트워크에서 MAC 프로토콜은 스스로 네트워크를 구성할 수 있어야 하며, 공정성과 전력이나 전송 효율이 높은 매체 접근 방법을 보장할 수 있어야 한다.

센서 네트워크의 MAC 프로토콜에서 풀어야 할 문제들로는 충돌(collision), 오버히어링(overhearing), 과도한 컨트롤 패킷(control packet overhead), 비활성시 수신(idle listening) 등이다. 오버히어링은 자기와는 상관 없는 데이터를 수신하여 전력낭비가 생기는 문제이며, 비활성시 수신은 실제로 데이터를 수신하지 않으면서도 신호를 계속 감지하는 것이다. 신호 송수신 자체와 관련된 문제로는 숨겨진 노드(hidden node)와 노출된 노드(exposed node) 문제가 있다.

센서 네트워크에서 이러한 문제점들을 해결하기 위한 대표적인 MAC 프로토콜로써 SMAC 이 제안되었다[4]. SMAC 에서는 노드가 주기적으로 슬립(sleep)모드와 리스닝(listening) 모드 사이를 반복한다. 실제로 데이터를 전송할 때만 깨어나서 전송을 하고 나머지는 슬립 상태에서 전력소모를 최소화한다. 이 방법은 비활성시 수신과 충돌, 오버히어링 등에 대한 문제는 해결하나, 노드들의 동기화가 이루어져야 한다는 단점이 있다. 또한 숨겨진 노드 문제를 해결하기 위해 RTS/CTS/DATA/ACK로 이루어지는 일련의 전송순서를 사용한다. 송신 노드는 데이터를 실제로 전송하기 전에 RTS 를 전송하여 매체 접근 의사를 알리고, 이를 수신한 노드는 CTS 로써 데이터 수신여부를 응답한다. 자신과 관련없는 RTS/CTS 패킷을 수신한 노드들은 휴지상태로 전환한다.

그 외에도 EAR, Hybrid TDMA/FDMA 방식 등이 연구되었으며, 향후 이동 센서 노드에 대한

고려나 기존의 저전력이나 자체 구성능력을 개선하려는 노력 등 아직 많은 연구 분야가 남아 있다[5].

2.4.2 네트워크 계층

센서 네트워크에서의 네트워크 계층은 ad-hoc 라우팅 기능과 타 센서 네트워크나 인터넷과 같은 외부 네트워크와의 통신 기능을 제공한다. 데이터 링크 계층에서와 마찬가지로 센서 네트워크라는 새로운 분야는 네트워크 계층의 설계에 몇 가지 추가적인 사항을 요구한다. 전력소모 효율성(energy efficiency)과 데이터-중심(data-centric), 데이터 통합수집(data aggregation), 속성 기반의 주소(attribute-based addressing), 위치 인식(location awareness) 등이 대표적이다. 전력소모의 효율성은 센서 네트워크에서는 분리할 수 없는 근본적인 것으로 어떠한 요소만의 문제가 아니라 센서 네트워크를 이루는 전체 요소의 전력소모를 고려하여 해결되어야 한다. 이는 네트워크 계층에서 저전력 라우팅과 깊은 관련이 있다. 데이터-중심이란 센서노드들이 센서 네트워크 내에서 어떤 고유한 주소를 가지고 통신을 하기보다는 싱크(베이스 노드)가 관심사항(interest)을 센서 노드들에게 알리면 각 노드가 가진 데이터가 관심사항과 일치하면 데이터를 싱크에게 전송하는 것으로 속성 기반의 주소화가 요구된다. 데이터 통합수집은 한 노드가 다른 여러 노드의 데이터를 모아서 의미있는 하나의 데이터로 만들어서 베이스 노드로 전송함으로써, 전송 횟수와 전력소모를 줄여주며 데이터-중심 라우팅에서 생길 수 있는 implosion과 오버랩 문제도 해결할 수 있다. Implosion은 동일한 데이터가 여러 경로를 통해 여러 번 수신되는 것이고, 오버랩은 다수의 노드가 동일한 지역을 감시하면서 같은 데이터가 불필요하게 많이 생성되는 문제다. 속성 기반의 주소 방식에서는 노드가 네트워크 안에서 고유하게 정해진 주소를 가지는 것이 아니므

로, 싱크가 관심 있는 데이터(속성으로 지칭됨)를 기술한 쿼리를 센서 노드들에게 전송하여 이 쿼리와 일치하는 데이터를 가지거나 이벤트가 발생한 특정 노드들만이 데이터를 전송한다.

네트워크 계층은 네트워크의 수명과 고장 감내성, 확장성 등의 사항들로 평가된다. 여기서, 네트워크의 수명은 여러 가지 의미로 정의할 수 있는데, 네트워크 내의 특정 비율 이상의 노드가 전력을 모두 소진할 때까지로 정의하거나, 정확한 데이터를 제공할 수 없을 때까지로 정의하기도 한다. 고장 감내성은 임의의 노드의 고장이 네트워크 전체나 부분에 영향을 끼쳐서는 안 된다는 것으로 상황에 맞게 스스로 네트워크의 구성을 변경할 수 있는 자체 구성 능력이 요구된다. 또한, 확장성은 노드의 개수가 많아져도 안정적인 동작을 보장해주는 것으로, 밀도가 높게 노드를 배치하는 센서 네트워크 응용 특성상 확장성 보장은 중요하다. 센서 네트워크용으로 새롭게 설계된 라우팅 프로토콜들 가운데 가장 많이 언급되는 것 중 하나가 LEACH이다[6]. LEACH는 클러스터 기반 계층 구조의 저전력 라우팅 프로토콜로서 데이터-통합 수집 기법을 이용한 대표적인 프로토콜이다. LEACH에서는 각 노드가 주어진 확률에 따라 스스로가 클러스터 헤드가 될 것인가를 결정한다. 이러한 결정이 모든 노드들 사이에 골고루 일어나게 함으로써 전력 소모를 균일하게 분포시킨다. 클러스터 헤드가 되기로 결정한 노드는 자기가 클러스터 헤드가 되었음을 주위 노드들에게 알리는데, 일반 노드들은 여러 클러스터 헤드를 나타내는 신호들 중 가장 강한 세기의 신호를 준 클러스터 헤드를 선택한다. 전체 네트워크 내에서 클러스터 헤드의 수에 대하여는 약 5% 정도가 최적이라고 연구된 바 있다[6]. LEACH의 변형인 LEACH-C에서는 베이스 노드가 모든 노드의 전력 상황을 모아서 최적의 클러스터 구성을 결정한다. 그 외 라우팅 프로토콜들로는 다이렉티드 디퓨전

(Directed Diffusion), 스핀(SPIN), 사르(SAR), 페가시스(PEGASIS) 등의 여러 종류가 있다. 다이렉티드 디퓨전은 데이터-중심 방식을 이용하는 대표적인 프로토콜이다. 싱크(베이스 스테이션)가 원하는 데이터에 대해서 메타 데이터로 기술된 interest를 각 노드에 전송한다. 노드는 이 interest를 저장하고 있다가 일치하는 데이터가 감지되면 이를 싱크로 전송한다. 한편, 스핀은 다른 노드가 관심을 보일 때만 데이터를 전송하는 것으로 ADV/REQ/DATA의 순서로 데이터 송수신이 이루어진다. 사르는 베이스 노드로부터 한 홉 떨어진 노드들을 라우팅 트리의 근원지로 하여 여러 개의 트리를 구성하는데, 노드들은 여러 트리들 중 전력소비나 QoS를 고려하여 적절한 트리를 결정한다.

현재, 네트워크 계층에 대한 연구 주제로는 네트워크 토폴로지의 급격한 변화, 고도의 확장성, 인터넷과 같은 외부 네트워크와의 연동 등이 대표적이다.

2.5 전력 소모 및 관리

주로 한정된 에너지원에 의하여 운영되는 센서 노드들은 응용의 특성상 수개월 내지는 수년간 전원의 교체 없이 동작해야 하며, 노드 구성 시 부착된 에너지원을 어떻게 운영하느냐에 따라 노드의 수명이 결정된다. 현재, 저 전력을 소모하는 방법 및 소자들이 활발히 개발되고 있고, 센서 노드 설계에 사용되고 있다. 전압과 동작 주파수를 신속적으로 조절하여 전력 소모를 줄이는 동적 전압 가변(Dynamic Voltage Scaling: DVS)법이 프로세서를 위한 대표적인 방법으로 많은 프로세서가 이를 적용하고 있다. 한편, Radio에서는 변조 방식, 데이터 전송 속도, 전송 전력(전송 거리에 의하여 결정됨), 신호의 ON/OFF의 비율(Duty Cycle)이 에너지 소모에 영향을 준다. 센서는 응용분야에 따라 다양하므로, 일반적인 에너지 소모량을 특정 지을 수 없으나, 전체 노드에 대한 에너지

지 소모 비율을 고려할 때, 위치를 변동해야 하는 센서들이 움직임 없이 감지만 하는 센서들에 비하여 에너지 소모율이 높다. 또한, 센서 노드는 대체로 배터리로부터 에너지를 공급받으므로, 배터리 잔류량의 비선형성과 완화효과와 같이 비이상적 특성은 센서노드의 수명에 크게 영향을 줄 수 있으므로 효율적인 사용 및 관리가 요구된다. 그러나, 개개 센서 노드의 에너지가 효율적으로 관리된다 하더라도, 에너지가 고갈되어가는 노드를 고려하지 않은 네트워크의 운영은 전체 망의 서비스 및 수명에 직접적인 영향을 주게 되므로, 센서 네트워크의 수명을 최대한 연장시킬 수 있도록 네트워크 전체의 시각에서 에너지가 관리되어야 한다.

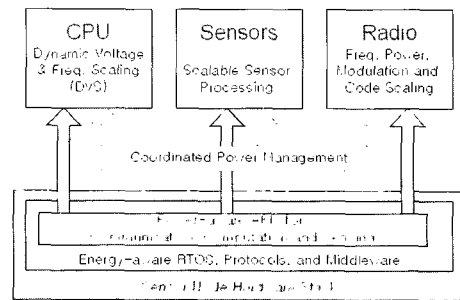
2.5.1 센서 노드의 전력 소비 특징

Rockwell의 WINS 또는 UCLA의 MEDUSA-II에서 측정된 각 구성 블록의 전력 사용 분포를 보면, 센서 네트워크는 다음과 같은 전력 소비의 특징들을 가지고 있음을 알 수 있다. 첫째, 라디오가 켜져 있을 때보다 꺼졌을 때의 전력 소비가 낮으므로, 라디오 및 통신에 의한 전력 소모가 다른 구성 블록들에 비하여 높다. 둘째, 전송(Transmit), 수신(Receive), 비활성(Idle)과 휴지(Sleep) 상태로 구분되는 라디오 및 통신 모드들에 대하여, 비활성 모드에서의 전력 소모는 수신모드에 비하여 큰 이득이 없으므로, 데이터의 송수신이 없을 때에는 비활성 모드보다 라디오를 완전히 꺼버려 휴지 모드로 만드는 것이 에너지 절약 측면에서 유리하다[7].

2.5.2 센서 노드 내부 및 노드들 간 전력 관리

센서 네트워크에서 노드들은 지리적으로 분산되어 있으므로, 자연스럽게 병렬 및 분산 처리가 요구된다. 개별적인 구성 블록의 저 전력을 위한 방법들이 각 센서노드 내의 운영체제에 병합, 조정됨으로써 센서 네트워크의 효율적인 에너지 관리

가 이루어진다. (그림 3)에서 보여주듯이 CPU에서는 유동적인 전압 조절(DVS), 센서 감지기는 확장성을 가진 신호처리, 라디오에서는 신속적인 변조 방식 조절(Dynamic Modulation Scaling: DMS) 등이 노드 내의 운영체제에 합쳐진 통합 전력 관리 기능에 의하여 노드 내의 계산, 통신 및 감지 시에 전력 사용이 제어된다. 그러나 DVS와 DMS에 의한 저전력을 위한 방법은 지연(latency)에 의한 저하된 성능 또는 품질을 초래하므로, 수용 가능한 서비스의 지연 범위 내에서 고려되어야 한다. 에너지-성능-품질의 상호 연관성 외에도 센서노드 간에 정의되는 통신 패킷의 손실과 센서 데이터의 압축에 의한 신뢰성도 또한 중요하다. 신뢰성은 링크 계층의 에러 감지와 수정에 기반하고 있으므로, 성능이 좋은 에러 제어의 설계는 패킷의 재전송 회수 감소에 의한 에너지 절약을 기대할 수 있다.



(그림 3) 센서 노드의 통합된 전력관리(7)

2.5.3. 전체 센서 네트워크 전력 관리

센서 네트워크에서 에너지의 최적화는 단순히 단일 노드 내에서 또는 노드들 간의 저 전력 기법에 의해서만 이루어지는 것이 아니라, 다음과 같이 네트워크 전체적 시각에서 에너지 소모를 줄일 수 있는 방법들이 고려되어야 한다.

2.5.3.1 트래픽의 분산

데이터의 처리 유무에 의하여 센서 네트워크 내

에서의 전력 소모가 결정되므로, 데이터를 발생 및 수신하는 노드들을 제외한 중간 노드에서는 패킷을 처리하지 않고 전달(forwarding)만 하도록 한다. 여러 개의 중간 노드들이 포함된 가능한 다중 노드 경로(multi-hop path)를 찾는 여러가지 라우팅 알고리즘들이 있으나, 반드시 네트워크의 수명연장을 보장하는 것은 아니다. 예를 들어, 최적의 에너지를 소모하는 경로가 에너지가 거의 고갈되어가는 노드를 통과한다면 이는 네트워크 전체적인 시각에서 에너지 최적화를 이룰 수 없으므로, 이러한 경로는 피하도록 트래픽을 분산시키는 방법이 필요하다.

2.5.3.2 네트워크 구성 관리

네트워크 내의 고장 감내 와 응용에 따라 자연스럽게 센서 네트워크는 밀집된 노드들에 의하여 구성되고, 여러 개의 다중 노드 경로들이 생겨난다. 따라서, 많은 비활성(Idle) 노드들의 라디오부활성 노드에 못지 않은 전력을 소모하므로, 라디오부만을 휴지(Sleep) 상태로 보내고 그 외의 노드 기능들은 동작시킴으로써 전력 소모를 줄이는 방안들이 연구되고 있다. 시간 동기 유지에 기반한 타임 슬롯 MAC 프로토콜을 사용하거나 별도의 저 전력 채널을 두어 해당 노드의 활성 여부를 알려 주는 방법을 사용하는데, GAF, SPAN, STEM 등은 전체 네트워크에서 라우팅 정보 위에 노드들의 휴지 스케줄을 세워 해당되는 시기에 동작 또는 비활성화시킴으로써 에너지 소모를 줄이는 대표적인 방법들이다.

2.5.3.3 연산-통신간의 tradeoffs

라우팅 프로토콜 및 네트워크 구성관리에서 노드들 간 에너지 소모를 고려하여 연계되는 트래픽을 효율적으로 분산시키지만, 고밀도로 분포된 노드들로부터 데이터가 중복 수집되므로, 데이터의 크기와 이들의 연산이 적절히 조절되어야만 네트

워크 전체의 에너지의 효율을 높일 수 있다. Beam-forming, winner election, clustering, traffic-steering 등이 제안되고 있다.

2.6 위치측정

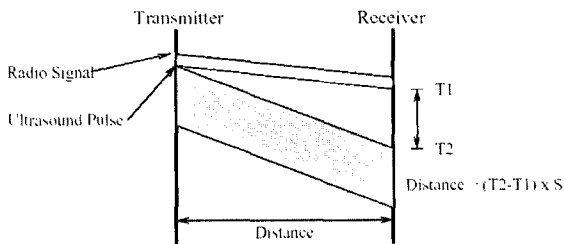
위치측정이란 센서 네트워크 내에서 각각 센서 노드의 위치를 중앙 집중적이거나 분산적인 방법으로 알아내는 기술을 의미한다. Ad-hoc 환경에서의 노드의 정확한 위치감지는 네트워크 내에서 상당히 유용하게 쓰일 수 있다. 정확한 센서노드의 위치는 이벤트의 발생지에 대한 지리적 정보를 주고, 지리적 정보에 입각한 라우팅뿐만 아니라 목표물 추적 등에서 핵심적인 정보가 된다. 이런 위치측정 결과는 응용분야에 따라 절대적 또는 상대적인 위치정보가 될 수 있다.

전형적인 센서 네트워크의 위치감지 시스템 시나리오는 간단한 위치측정 모델설계를 위해 센서노드를 설치한 장소의 환경적인 요소 즉, 다중 경로, 온도의 변화, 신호감쇠 등이 위치감지를 위한 센서의 동작에 영향을 많이 주지 않는다는 것을 가정한다. 또한, 넓은 지역이나 많은 수의 센서노드에서도 안정적으로 작동하여야 하고, 독립된 시스템으로서 하드웨어의 제약을 가진 장치에서 저 전력 요구사항을 만족시켜야 한다. 환경의 변화에 의한 적은 수의 비컨이나, 베이스 스테이션의 부재 등이 발생하는 상황에서도 잘 작동하고 물리적으로도 견고하게 설계되어야 한다.

센서 네트워크내의 위치측정을 위해 일반적으로 초음파나 RF를 이용하여 다양한 방법으로 측정 기법이 제시되고 있는데, 일반적으로 다음과 같이 4 가지에 방법에 기반을 두어 측정된다(8,9).

- 도착 시간: 측정신호의 도착 시간의 차이점을 이용하여 거리를 측정한다. RF 나 초음파 등이 측정신호로 사용될 수 있다. (그림 4)는 송신 측과 수신 측의 초음파 도착 시간차를 이용하여 거리를 측정하는 것을 나타내고 있다.

- 신호 강도: 신호의 강도에 의한 거리 측정법으로 RF가 거리에 따라 신호가 감쇄하는 점을 이용하고, 거리에 따른 감쇄정도를 나타내는 수식을 이용하여 거리를 측정한다.
- 방향: 각 노드가 다른 노드에 대해 가지는 각도를 측정하고 이를 삼각법을 이용하여 위치를 측정한다.
- 근접 기반: 적외선이나 RF를 이용하여 노드가 비컨에 근접한 것을 인식하여 위치가 알려지지 않은 노드의 위치를 측정한다. 일반적으로, 개개의 노드들은 비컨과의 거리를 측정한 후 주변 노드들의 위치나 거리를 이용하여 자신의 위치 정보를 향상시키는 방식을 사용한다.



(그림 4) 도착시간 차이에 의한 거리측정(9)

2.7 센서 네트워크 시뮬레이션 도구

센서 네트워크 시뮬레이터는 네트워크, 센서 노드, 프로세서 수준 시뮬레이터로 구분된다. 네트워크 수준의 시뮬레이터로는 ns-2 기반의 대표적인 것으로, UCLA에서는 배터리 모델, 무선 채널 모델, 센서 채널 모델, RF모델, 하이브리드 시뮬레이션 기능을 추가한 SensorSim과 SensorViz라는 시각화 도구를 제공한다. 센서 노드 수준의 시뮬레이터로는 UC Berkeley 에서 TinyOS 와 함께 공개한 TosSim과 TinyViz라는 시각화 도구가 대표적이다. MICA를 시뮬레이션할 수 있는 도구로서 어플리케이션을 개발하거나 새로운 라우팅 프로토콜을 테스트할 때 디버깅의 목적으로

만들어졌다. MIT의 JoulesTrack은 프로세서 수준의 시뮬레이션 도구로서 프로세서의 전력소모를 예측할 수 있는 웹 기반의 시뮬레이터다. 현재는 StrongARM SA1100, TMS320C5x DSP, Hitachi SH-4 프로세서에 대한 시뮬레이션이 가능하며, 실행하고자 하는 프로그램의 소스 코드와 동작 환경, 컴파일 환경 등을 설정하면 예상되는 전력소모량이 계산되어져 나온다. 이 외에도 네트워크 수준의 도구로는 PARSEC 기반의 NESLim, LECSim 등이 있고, 노드 수준의 도구로는 WINS와 uAMPS를 위한 MILAN이 있다.

2.8 센서

센서 네트워크의 응용 분야가 다양한 만큼 많은 종류의 센서들이 이용된다. 센서는 수동, 수동 어레이, 능동의 세 종류로 크게 분류된다. 수동 센서에는 진동, 조도, 온도 등 다양한 센서들이 존재하고, 수동 어레이 센서로는 바이오케미컬, imager(가시광선, 적외선)등이 있으며, 능동 센서로는 레이더나 소나 등이 있다. 그간 수행된 센서 네트워크 프로젝트들에서는 온도, 빛, 지자기, 가속도, 기울기 등의 센서가 주로 이용되었다. 표준화되지 않고, 각 회사마다 다른 인터페이스를 가지는 센서들은 센서 네트워크 구성에 비효율적이다. 최근 센서 인터페이스 표준화를 위해 IEEE P1451이 구성 되었는데, 저가격화와 네트워크와의 표준 인터페이스, 스마트 센싱 및 액추에이션을 다룬다[10]. 5개의 WG중 P1451.5는 최근 새로 만들어진 워킹 그룹으로 센서를 위한 무선통신 인터페이스를 정의하는 것이 주목적이다.

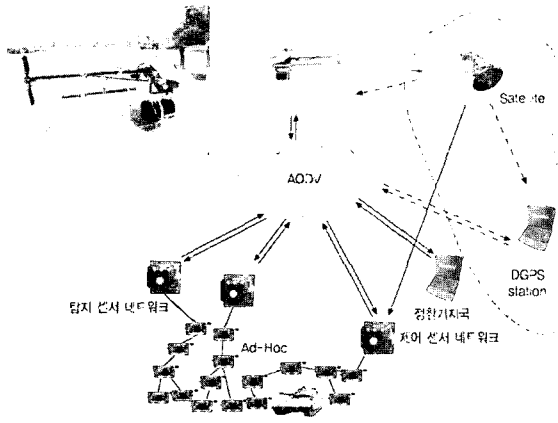
3. 무인정찰 센서 네트워크 플랫폼

사람이 접근하기 힘든 지역, 예를 들어, 방사능이나 독극물 누출지역, 정찰이 필요한 적진 등 위험지역들에 대하여는 지속적인 관찰을 목적으로

장비 설치에서부터 모니터링에 이르기까지 인간이 필요치 않은 무인 감시/정찰 센서 네트워크 플랫폼의 구축이 요구된다.

본 연구실에서는 이러한 위험 지역을 감시할 수 있는 무인 헬리콥터 기반의 무인정찰 센서 네트워크 플랫폼 프로토타입을 개발하였고, 추후의 고성능 감지, 정찰 기능 수행이 가능하도록 제어와 탐지 센서 네트워크의 이중 구조로 구성하였다.

(그림 5)의 구현에서 나타난 바와 같이, 무인정찰 센서 네트워크 플랫폼은 UAV(Unmanned Aerial Vehicle)를 활용하여 정찰하고자 하는 목적지에 센서 네트워크 노드를 운반하여 정찰지역에 투하한 후, 정찰지를 비행하며 측정된 데이터를 수집하는 형태의 응용 플랫폼이다. 현재 지자기 센서를 이용하여 차량의 이동 등을 감시할 수 있다.



(그림 5) UAV를 이용한 무인정찰 센서 네트워크

지자기 센서등을 탑재한 다수의 탐지 센서 노드들은 탐지 센서 네트워크를 구성하며, 제한적인 자원 활용을 위하여 최적화되었기 때문에, 충분한 처리속도를 보유하지 못하는 단점이 있다. 따라서 상위 계층으로 PC104 기반의 고성능 마이크로프로세서를 탑재한 제어센서 노드를 사용하여 제어 센서 네트워크를 구성하며, 처리속도 향상과, 소형 탐지 노드에서 수행하기 어려운 영상전송 등

고급 정찰 활동을 위해 사용할 수 있는 구조를 가진다. 제어 센서 네트워크는 제어 센서 노드뿐만 아니라, UAV 컴퓨터, 정찰 기지국 컴퓨터 등을 고속 무선 랜과 AODV(Ad-hoc On-demand Distance Vector) 라우팅 프로토콜을 사용하여 구성된다. 또한, 제어 센서 네트워크의 구성요소인 모든 센서 노드와 컴퓨터들은 고정밀의 DGPS(Differential Global Positioning System)가 장착되어 있어 정확한 위치정보를 가진다.

추후 무인정찰 센서 네트워크 플랫폼은 탐지센서 네트워크에 위치추정 기술을 접목하여, 측정한 상대적인 탐지 센서 노드 위치정보를 제어 센서노드의 절대적인 GPS정보와 비교함으로써 각각의 탐지 센서 노드들도 정확한 위치정보를 파악할 수 있게 하는 더욱 정교한 무인정찰 기능을 구현할 계획이다. 또한 UAV를 자동항법으로 운행하게 하여 전 과정의 무인화도 실현할 예정이다.

4. 결 론

센서 네트워크는 유비쿼터스 컴퓨팅을 실현하게 하는 중요 기술로써 많은 연구가 진행되고 있다. 본 논문에서는 센서 네트워크의 정의와 그 요소기술인 센서 노드 하드웨어, 운영체제, 통신 프로토콜 및 관련 기술들을 살펴보았다. 외국의 경우에도 센서 네트워크에 대한 연구가 아직은 초창기 단계이며, 특히 응용 분야에서 군사적 응용과 과학적 응용에 많이 머무르고 있는 실정이다. 한국에서 CDMA가 외국보다 먼저 상용화 되고, 정착이 되었듯이, 센서 네트워크 기술을 IT 응용에 특화된 기술로써 개발하여, 먼저 실용화함으로써 충분히 외국 보다 먼저 앞서 나갈 수 있는 분야로 생각이 된다.

참고문헌

- [1] H. R. Szewczyk, A. Woo, S. Hollar, D. E. Culler, and K. S. J. Pister. System Architecture Directions for Networked Sensors. Architectural Support for Programming Languages and Operating Systems, pp. 93-107, 2000.
- [2] J. Hill and D. Culler. "A wireless embedded sensor architecture for system-level optimization," Technical report, Computer Science Department, University of California at Berkeley, 2002.
- [3] <http://www.ieee802.org/15/pub/TG4.html>
- [4] K. Sohrabi, J. Gao, V. Ailawadhi, G.J. Pottie, "Protocols for self-organization of a wireless sensor networks," IEEE Personal Communications, pp. 16-27, Oct. 2000.
- [5] A. Shinha and A. Chandrakasan, "Dynamic power management in wireless sensor networks," IEEE Design and Test of Computers, Mar./Apr. 2001.
- [6] W.R. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "Energy-efficient communication protocol for wireless sensor networks," In Proceedings of the Hawaii International Conference on System Sciences, pp. 1-10, Jan. 2000.
- [7] V. Raghunathan, C. Schurgers, S. Park, M. B. Srivastava, "Energy Aware Wireless Sensor Networks," IEEE Signal Processing Magazine, Vol.19, No.2, pp. 40-50, March 2002.
- [8] J. Werb and C. Lanzl. "Designing a positioning system for finding things and people indoors." IEEE Spectrum, 35(9), pp.71-78, Sep. 1998.
- [9] A. Savvides, C. Han, and M. B. Srivastava. "Dynamic fine-grained localization in ad-hoc networks of sensors." In Proceedings of the Seventh Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom 2001), pp. 166-179, Rome, Italy, July, 2001.
- [10] IEEE P1451, <http://ieee1451.nist.gov>
- [11] I.F.Akyildiz. "A Survey on Sensor Networks," Computer Networks, 2002.

저자약력



김대영

1990년 부산대학교 전산통계학과 (이학사)
 1992년 부산대학교 계산통계학과 (이학석사)
 2001년 University of Florida 컴퓨터공학과 (공학박사)
 1992년 - 2001년 한국전자통신연구원
 1999년 AlliedSignal Aerospace 연구소 방문연구원
 2001년 - 2002년 Arizona State University, 연구 조교수
 2002년 - 현재 한국정보통신대학교 조교수
 관심분야 : 센서 네트워크, 실시간임베디드 시스템, 항공전자, 자동항법비행로봇, Interactive TV



도윤미

1989년 경북대학교 전자공학과 (공학사)
1991년 경북대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
2003년 University of Florida 컴퓨터공학과 (공학박사)
1991년~1997년 한국전자통신연구원
2003년 6월 - 현재 한국정보통신대학교 연구교수
관심분야 : Fault Tolerance, 실시간 임베디드 시스템, 저전력 소모를 위한 스케줄링, 배터리 스케줄링, 센서 네트워크 등



팜민롱(Pham Minh Long)

1999년 Hanoi University of Technology, Electronics & Telecommunication (공학사)
1999~2002년 Coco Software Engineering Vietnam(주), 소프트웨어 엔지니어
2003년 -현재 한국정보통신대학교 석사과정
관심분야 : 센서 네트워크, 무선 모바일 네트워크&컴퓨팅, 저전력 라우팅 프로토콜 등



박노성

2003년 숭실대학교 컴퓨터학부 (공학사)
2003년 현재 한국정보통신대학교 석사과정
관심분야 : 센서 네트워크, 저전력 라우팅 프로토콜, 실시간 임베디드 시스템 등



뒤뷔백(Dui Buy Bach)

2002년 Hanoi University of Technology, Electronics & Telecommunication (공학사)
2002년 IDC Media(주), 소프트웨어 엔지니어
2003년 -현재 한국정보통신대학교 석사과정
관심분야 : 센서 네트워크 운영체제, 위치 추적 시스템, 실시간 임베디드 시스템 등



이상수

2002년 경상대학교 전자공학과 (공학사)
2001년 2002년 Indian Institute of Technology(공학사수료)
2003년 - 현재 한국정보통신대학교 연구원
관심분야 : 센서 네트워크, 실시간임베디드 시스템, UAV 자동항법비행로봇 등



파티 오즈투르크(Fatih Ozturk)

1999년 Istanbul Technical University, Electronics & Communication (공학사)
1999년~2002년 Ford Motor Company(주), 시스템 엔지니어
2003년 -현재 한국정보통신대학교 석사과정
관심분야 : 센서 네트워크, WPAN, 실시간 임베디드 시스템 등