

센서 네트워크 및 애플리케이션 기술 동향

유 준 재, 윤명현, 이민구, 강정훈
전자부품연구원, 유비쿼터스 컴퓨팅 연구센터

- I. 서론
- II. 기술 개발 동향
- III. 기술 특성 분석
- IV. 결론 및 전망
- V. 참고자료

I. 서론

센서 네트워크 기술은 새로운 컴퓨팅 패러다임인 유비쿼터스 컴퓨팅의 진입 기술로 중요한 의미를 갖는다. 이런 새로운 패러다임의 기술이 성공적으로 발전하기 위해서는 기반이 되는 진입기술의 확산이 중요하다. 본문에서는 현재까지 진행된 센서 네트워크 기술 동향과 오픈소스 프로젝트로 진행 중인 TinyOS를 이용하여 구현된 응용 서비스들을 분석한다. TinyOS는 새롭게 떠오르고 있는 센서 네트워크에 대한 개념 정립과 실제 구현을 동시에 진행하고, 그 결과를 공개하여 센서 네트워크의 확산을 이끌고 있다. 실제 응용 서비스를 구현하고 테스트 하고 때문에 가장 앞서나가고 있는 센서 네트워크 기술이라 할 수 있다. 현재까지 개발된 센서 네트워크의 주요 기술 부분과 응용 서비스를 분석하여 지금까지의 센서 네트워크 기술개발 상황과 향후 산업화 가능성을 파악한다.

II. 기술 개발 동향

1. 개요

센서 네트워크(sensor network)는 물리공간의 상태인 빛, 소리, 온도, 움직임 같은 물리적 데이터를 센서노드에서 감지하고 측정하여 중앙의 기본 노드(base-station or sink)로 전달하는, 센서 노드들로 구성되는 네트워크이다. 센서 네트워크는 일반적으로 멀티-홉(multi-hop) 무선 네트워크 형태의 다수

의 분산 센서 노드들로 구성된다. 센서 노드들은 하나이상의 센서(온도, 소리, 빛, 가속도, 자기장 등), 액추에이터(actuator), 마이크로 컨트롤러, 수 십 KB 크기의 EEPROM, 수 KB의 SRAM, 수백 KB 크기의 플래시 메모리, 근거리 무선 통신 모듈로 구성된다. 센서 네트워크 기술은 센서와 무선 네트워크 기능을 이용하여 물리공간에서 측정된 아날로그 데이터를 디지털 신호로 변환하고, 인터넷 같은 전자공간에 연결된 루트(root) 노드로 전달하는 입력 시스템의 역할을 한다. 물리적 세계와 사이버 세계를 연결할 수 있는 특징 때문에, 센서 네트워크의 개념은 새롭게 대두되고 있는 지능형 서비스들의 지능형 환경 모니터링, 위치인지 서비스, 지능형 의료시스템, 지능형 로봇 시스템 등 다양한 분야에 적용되고 있다.

센서 네트워크의 장점은 낮은 사양의 하드웨어를 이용하여 무선 애드-혹(ad-hoc) 네트워크를 구성할 수 있는 점이다. 예를 들어, 지금까지 개발된 블루투스(bluetooth), 무선랜(wireless LAN)등의 무선 네트워크 기술들은 반드시 컴퓨터, PDA 같은 고급 컴퓨팅 장치를 필요로 하는데, 센서 네트워크 노드는 독자적으로 네트워크를 구성한다. 이런 네트워크 구성의 용이성 때문에 유비쿼터스(ubiquitous) 컴퓨팅 환경의 기반기술로 사용될 수 있을 것이다. 인텔도 기술 로드맵 중에 센서 네트워크를 기반 기술로 예측하고 있다⁽¹⁾.

근래 센서 네트워크와 관련된 칩과 시스템들이 상용화되기 시작했으나 널리 보급되고 산업화되기 위해서는 해결되어야 할 문제들이 많이 남아있다. 네트워크 프로토콜, 적절한 응용 서비스 등의 부재로 인해 빠른 시간 내에 상용화되기 힘들 것으로 예측되기도 한다.

적용되는 대부분의 환경에서, 센서 네트워크 노드는 오랜 기간동안 동작해야 하고 무선 통신 방식을 사용한다. 그래서 전지 또는 추가로 획득되는 에너지에 따라 센서 노드들의 전체적인 동작에 영향을 준다. 각 센서 네트워크 노드들은 에너지 소비를 최소화하기 위해, 라디오 등의 장치 요소들의 대부분의 동작시간에 전원을 공급하지 않는다. 물리 세계의 정보를 정확하게 입력받기 위해서는 센서 네트워크 노드들을 밀집하게 배치하는 것이 일반적인 방법이 될 수 있다. 이러한 제한적인 하드웨어 사항, 네트워크 구성에 필요한 요소들은 지금까지의 네트워크와의 차별되는 특징이며, 네트워크 프로토콜의 기능이 더 복잡하게 된다. 이런 운영적 단점에도 불구하고 노드들을 유지보수하고 배치시키는 것은 저비용이어야만 한다. 수동적으로 구성할 수 있는 소형 장치들로 구성된 대규모의 네트워크들은 비현실적이기 때문에, 그 노드들은 자체적으로 구성되어야만 하고 개별적인 장치들을 동작시키는 것보다 자율적으로 네트워크를 운영하고 프로그래밍 하는 수단을 제공해야만

한다. 이러한 난제점을 극복하는 것이 센서 네트워크가 가진 기술적 차별성이다.

2. 연구개발 동향

2.1 Sensor Network Applications

기본적인 컴퓨터 시스템의 개발과 사용이 오랜 기간 동안 진행되었지만, 지능적인 무선 센서들을 대량 생산함으로써 무선 센서 네트워크가 넓은 범주에서 사용할 수 있도록 되었으며, 미래에 상용화 될 수 있는 새로운 종류의 응용 서비스를 제공할 것으로 예측된다. 현재 시험적으로 구현되어 테스트되고 있는 분야는 공간 감지, 사물 감지, 사물들과의 상호작용 감지의 구분할 수 있다. 미래 유비쿼터스 컴퓨팅 환경에서는 모니터링 뿐 아니라 복잡한 네트워크를 구성하고 유기적으로 데이터 통신을 하는 네트워크가 구성될 것이다.

공간감지의 경우는 주위환경과 정밀도를 요하는 농업, 실내의 기후조절, 상태 감시를 통한 상태의 검증과 지능적인 경보 등을 포함한다. 사물감지는 건축물의 구조 상태 감시, 환경 생리학을 위한 감시 시스템, 상태기반의 장비 유지보수, 의학적 진단, 도심 지역의 위치 정보 등을 포함한다. 가장 상용화에 적합할 것으로 예상되는 응용 서비스는 야생 서식지, 재난 관리, 응급대처, 자산추적, 건강관리, 그리고 생산 처리 공정을 포함하는 복잡한 상호작용을 감시하는 구현일 것으로 예측된다.

많은 초기의 무선 센서 네트워크는 생태 환경을 감시하는데 사용되어 왔고, 그것은 중요한 내부 변화를 시간에 따른 데이터들을 수집하는 기능이다. 생태 연구학자들은 보금자리를 만드는 바다제비의 서식지와 국지적인 기후 데이터를 취득하며, 접근하기 힘든 곳을 감시하기 위해 사용하였다. 또한 오염물질에 따른 번식 상태와 거주지의 편안함, 침입자의 탐지에 관한 연구를 데이터를 전달하기 위해 사용하였다.

2.1.1 Redwood Monitoring

삼나무의 상태를 모니터링 한 경우에는 삼나무 전체에 센서 네트워크를 설치하여 세밀한 지점의 기후를 감시하는 것은 전체 나무의 상태를 정확히 파악할 수 있다.

이들의 기후적인 요소는 광합성, 수분과 영양분의 이동, 성장 패턴의 비율을 결정한다. 중요한 변동은 개별적인 종들의 크기에 관계없이 존재하는 것으로 알려져 있고 연구원들은 국지적인 기후 구조가 나무들의 영역을 넘어 변화하는 것으로 믿고 있다. 또한 그들 자신의 기후 환경을 효율적으로 만드는 나무들의 수분의 운송율과 호흡작용의 규모는 나무 주변의 국지적인 기후에 영향을 줄 것이다. 모든 이러한 요소들은 나무 표면이나 내부에 존재하는 종들의 서식 원동력에 영향을 준다.

연구원들은 전통적으로 무게가 30파운드 되는 장비들을 높은 곳에 부착된 크랭크에 의해서 나무위로 올림으로서 삼나무 생태계 측정을 수행해 왔다. 시리얼 케이블은 그때 나무들에 매달려 있고, 지상에 있는 데이터 기록계가 측정값을 모으는 방식으로 테스트 시스템을 구축하였다.

그림 1은 UC Berkeley에서 삼나무의 환경 감시를 위해 사용된 무선 센서 네트워크 노드이다. 하나의 무선 센서 노드는 얇은 필름통 크기 정도의 튜브 내에 고정되고, 나무의 꼭대기에서 두개의 빛을 받아들이는 센서들은 엽록소가 민감하게 반응하는 위치에 빛과 광합성에 필요한 요소인 태양 복사를 측정한다. 아래쪽 부분 음지의 개별적인 센서들은 밝은 빛을 측정한다. 밑단에는 상대적인 습도, 기압, 온도를 감시하기 위한 환경적인 센서들이 있다.

튜브 내에서 날씨로부터 보호 받는 중심부분은 외부환경과 노드들 사이에서 정보를 연결하고 데이터를 처리하고 수집하기 위한 저전력 무선통신 및 소형의 컴퓨터와 배터리를 포함한다. 이 센서 네트워크 노드는 나무의 많은 지점에서 동시에 오랜 시간동안에 걸쳐 데이터를 얻는 저가의 시스템을 제공한다.

그 네트워크의 data는 날씨전선이 어떻게 그 나무를 오르내리는지 보여준다. 나무의 정상부분은 태양온도에 비례하여 급격히 증가한다. 이러한 온난 기류는 날씨가 따뜻하면 나무 밑으로 내려오고 그것의 정도는 감소해 진다. 해질녘에는 반대의 상황이 벌어지고, 정상부분의 온도는 기본 수치 이하로 떨어진다.

습도의 변화는 기후변화보다는 더 중요한 의미를 갖고있는 데이터라고 한다. 나무 내에서 습도를 증가시키는 매우 많은 양의 물을 이동시키기 때문에 밀집된 장비들의 중요한 예시에서 보듯 이러한 날씨전선은 그러한 대규모에서처럼 영양분을 이동하고 물을 흡수하고 성장이 활발하게 일어나는 것을 이해하는 것에서 관측되어 질수 있는 강력한 온도와 수분의 변화를 만들지

만, 여전히 그것들은 몇몇개의 간헐적인 장비만으로는 관측되어질 수 없다.

2.1.2 움직임 모니터링

사물을 감지하는 것은 다양한 응용 서비스에 사용될 수 있는 가능성이 많다. 대부분 응용 서비스들은 상태를 기반으로 여러 사물, 시설 등을 유지 보수하는 형태처럼 보여 질 수 있다. 기계나 모터, 비행기의 날개 부분 또는 건물들 같은 물리적 구조는 자극반사와 음파의 발산과 진동에서 전형적인 상태를 가지고 있다. 모니터링 중 각 사물이 가지고 있는 일반적인 고유 신호에서 변형이 발생하였다면, 마모 등으로 인한 상태의 변화를 의미한다. 베어링 같은 경우는 마모가 심하게 진행 되었을 때, 사람이 인식할 수 있는 소리나 진동을 발생 시킬 것이다. 센서 네트워크는 이러한 변화를 사람이 느끼지 못할 정도의 세밀한 변화를 무선으로 항상 감지할 수 있다.

좀 더 정밀한 분석을 모니터링을 수행하기 위해서는 센서 노드들의 동작이 시간상 높은 정확도를 필요로 하게 된다. 실제 반도체 설비 공정에 정밀도가 높은 수천 개의 진동 센서 네트워크 노드를 추가하면, 더욱 정확한 공정 상태를 모니터링 할 수 있다. 현재는 설비 관리자들이 센서가 부착된 컴퓨팅 장비를 가지고 공장을 돌아다니며 데이터를 수집, 저장한다. 그런 후 그것들의 마모 신호를 분석하는 중앙컴퓨터에 이러한 데이터들을 옮겨 저장한다. 반면에 무선 센서 네트워크는 보다 편하고 효율적인 방법을 제공 한다. 각각의 설비 장치에서 모니터링 데이터를 처리하고 운영하는 부분에 연속적으로 데이터를 전달하는 것이다. 샘플링 비율은 전형적으로 음파분석을 위한 수 킬로와 진동분석을 위한 수 백 Hz의 환경감시에서 하는 것 보다 높다. 이것은 네트워크가 어떻게 샘플링을 수행하는지에 대해 좀더 자세하고 광범위한 샘플링 특성을 요구한다. 데이터를 임시 저장하는 것은 대용량의 기억장소를 요구하고, 시스템은 취득된 데이터에서 잠재적으로 좀 더 확장적인 처리능력을 요구한다.

많은 양의 원본 데이터를 전송하는 것 보다, 센서 네트워크 노드들은 변화된 신호나 진동의 상태를 전달하기 위한 신호 분석을 수행할 수 있다. 센서 노드들은 언제 샘플링 되는지 결정되거나 샘플링 되어질 때 무엇이 활성화 되는지를 모니터링하기 위한 제어 네트워크를 모니터 할 수 있다. 획득되어진 데이터 처리 비용을 제거하고 모니터링 하는 것이 전체의 비용을 줄이기

때문에, 이런 장점은 설비의 운영에서 해당 성능을 향상 시킬 수 있다.

예를 들어 다리, 건물, 항공기 등에서의 구조적인 반응을 분석하는 것은 시공간 분석에서 구조적으로 서로 다른 지점에서 수집된 데이터를 사용하기 위해 더 많은 요구들이 필요하게 된다. 이것은 흔히 노드들 사이에서 매우 정확한 시간 동기가 확립되기를 요구한다. 노드들은 시간과 관계된 원본 데이터나 구조적인 분석을 수행하기 위해 처리된 데이터를 공유한다. 예를 들면, 하나의 장비로부터 얻은 센서 데이터는 다수의 다른 지점에서 각각 모델에 근거한 분석을 위한 입력으로 사용되어 질수 있고, 이러한 지점들에서 센서 데이터를 비교할 수 있다. 연구원들은 예외적인 상황을 알아내기 위해 기준이 되는 정상적인 상황에서 그것들을 반복 사용함으로써 이러한 모델들을 재정리 할 수 있다.

2.2 Embedded Network Technology

2.2.1 Microprocessors, power and storage

센서네트워크 노드들의 하드웨어는 마이크로 프로세서, 기억장치, 센서, ADC(Analog to Digital Converter), 데이터 송수신기, 그리고 에너지원으로 구성된다. 반도체 회로가 점점 작아지면서, 주어진 시간 주파수 동작에서 작은 전력을 소비하고 다양한 응용 서비스 범위에 맞게 적용되었다. 간단한 마이크로 컨트롤러의 소형화는 기능을 추가하는 것 보다 약 10 MHz로 동작하는 동안 1mA 근처에서 동작하도록 만드는 것으로 좀 더 효율적이다. 회로들의 대부분은 항상 전원 공급이 필요한 것은 아니기 때문에 대기 모드를 동작한다면 전원은 약 1uA로 사용될 수 있다. 이러한 창치가 그때에 1% 활성화 되면, 그것의 평균 전력 소비는 단지 수 uW가 된다.

이러한 전력은 다양한 방법으로 얻을 수 있다. 태양전지는 외부에서 제공 센티미터 범위의 면적당 약 10mW, 실내에서는 10 ~ 100mW를 생성한다. 에어컨 공기 유입출로나 창문의 진동처럼 에너지의 기계적인 소스는 약 100mW를 만들 수 있다. 전형적인 정육면체인 1cm * 1cm * 1cm 의 건전지는 약 1000mA-hours을 저장하고, 그래서 cm 단위의 장치들은 많은 환경에서 추가적인 전원을 공급해 주지 않아도 거의 독립적으로 동작할 수 있다. 그러나 저전력의 마이크로프로세서는 PC의 것보다 10000배 작은 저장 공간을 가지거나 프로그램 용도의 저장공간인 ROM 100Kbyte보다 작고, 데이터

를 위한 RAM은 10kbyte보다 적은 제한적인 저장공간을 가지고 있다. 기억 장소의 이러한 제한된 용량은 칩면적의 대부분과 전력예산의 많은 부분을 소비한다. 디자이너들은 통상적으로 칩과 분리된 영역에 Mbyte 정도의 대용량의 플래시 저장장치를 결합시키는 방법을 적용하고 있다.

2.2.2 Microsensors

센서들은 네트워크 노드들에게 눈과 귀와 같이 물리적 신호를 제공한다. 많은 사물들은 변화하는 환경 조건이 요구될 때 그들의 전기적인 특성을 변화시킨다. 센서들은 어떤 범위를 넘는 예상된 변화를 지원할 수 있도록 제작된다. 예를 들면, 온도 감지 센서는 부드럽게 변화하는 저항체이다. ADC 컨버터는 전압의 감소를 마이크로 프로세서가 저장하거나 처리할 수 있는 이진 데이터로 변환한다. 광전지, 안개 감지 센서는 비슷하게 동작하지만 수분의 저항을 변화하기위해 사용하거나 입사되는 광자를 사용하는 물질들에 의해 분리 되어진 미세한 회로들로 구성된다.

정확한 감지 기능을 구현하기 위한 감지회로 구조들은 다른 현상을 감지하기 위해 발전되어 왔다. 이러한 구조들은 수 mW 정도를 소비하고 단지 짧은 시간 동안 전원이 켜져 있다. 매우 효율적인 ADC 컨버터가 발전되어져 왔고 그 결과 센서의 하위시스템들은 프로세서와 비슷한 에너지 소모 특징을 가지고 있다.

MEMS 센서는 저비용과 고효율로 매우 넓은 부분의 물리 현상을 감지할 수 있다. 구현 공정에서 매우 얇은 기계적 구조를 만들기 위해 실리콘 위의 트랜지스터들을 세밀하게 만드는 과정을 사용한다. 이러한 공정을 이용하면 중력이나 가속도는 확대 되어지거나 디지털화 되어질 수 있는 물질 특성에서 변화의 원인이 되는 내부의 힘을 일으키는 한쪽이 고정된 물질을 편향시킬 수 있다. 최초 사용된 분야는 에어백을 자동적으로 실행시키는 회로이며 MEMS 센서와 가속도계를 사용하였다.

정확도가 높은 압전 가속도계는 큰 비용이드는 반면에, MEMS 센서는 저가로 충분한 정확도를 제공한다. 다양한 종류의 MEMS 장치들은 다양한 힘과 화학적인 농도와 환경요인들을 감지할 수 있다.

2.2.3 Microradios

근래에 제조업자들은 센서들을 많은 가정기기나 자동차나 부속품들에 부착하였다. 그러한 놀랄만한 성장은 물리적인 데이터를 장치들이 전송하고 저장

하고 처리할 수 있는 정보의 단위로 변환하는 것처럼 센서가 읽은 값을 다른 장치들에 무선으로 전송하는 것이다.

무선 라디오는 모바일 컴퓨터를 위한 무선 LAN과 핸드폰, 워키토키, 삐삐 등의 무선이 장치에 접목될 수 있도록 전형적인 CMOS 기술을 사용하여 만들어 질수 있다. 그러나 무선으로 통신하기 위해 요구된 에너지양은 거리에 따라 급속히 증가한다. 뿐만 아니라 사람이나 벽들과 간섭을 하는 방해물들은 그 신호를 감소시킨다.

무선 LAN 과 핸드폰은 수백 mW를 소비하고 성능이 좋은 내부 회로를 필요로 한다. 무선 센서네트워크 라디오는 일반적으로 약 20mW를 소비하고 그들의 범위는 수십 미터에서 측정되어 진다. 먼 거리를 커버하는 소형 무선 장치들에 대해서는, 그 네트워크는 라우터들이 인터넷에서 정보를 이동시키는 것처럼 많은 노드들을 통해 재전송을 기법을 이용하여 정보를 알려주어야만 한다.

2.3 SYSTEM Architecture

2.3.1 TinyOS

Unix 같은 일반적인 운영체제는 50~100Mz의 속도로 다수의 Mbit RAM 과 Gbit 이상의 보조 저장장치를 가지고 32-bit 마이크로 프로세서에서 동작한다. 오늘날 이것은 한번충전해서 여러 시간 동작시킬 수 있는 손바닥만한 크기의 장치들에서 잘 수행되어 질 수 있다.

무선 센서 네트워크의 좀더 전형적인 운영방법은 이러한 자원들의 작은 부분을 가지고 AA 크기 배터리 두개로 일년 이상 동작한다. 더욱 이러한 응용 서비스는 복잡한 인간의 상호작용에 집중 하지 않고 물리적인 세계의 구조적인 상호작용에 초점을 맞춘다. TinyOS 같은 오픈소스 개발자들은 이러한 응용 서비스를 고려하여 개발하고 있다.

TinyOS는 제한된 물리적 자원을 가지고 중요한 동시처리를 조절할 수 있는 통합적인 시스템 제어 기법에 필요한 기본 기능을 제공한다. 소프트웨어 컴포넌트들과 기초가 되는 운영체제는 구체적인 이벤트 기반의 기능을 지원한다. 최저 레벨의 컴포넌트들은 물리적 하드웨어를 추상화하고 비 규칙적인 동작의 물리적 인터럽트를 전달한다.

각 컴포넌트 들은 다른 컴포넌트들에서 정해진 이벤트들이나 신호의 동작을 제어하지만, 그것들은 다음 행할 이벤트를 위해 대기하는 동안 예는 프로

세서를 사용할 수 없다. 각각의 응용 서비스들은 단지 그것이 요구하는 컴포넌트들만을 포함한다. 예를 들면 컴포넌트들의 작은 스택들은 센서가 감지한 값을 처리한다. 가장 낮은 컴포넌트들은 원래 읽은 값을 얻기 위해 ADC 컨버터를 조절하는데, 반면에 상위 수준의 컴포넌트들은 응용 서비스를 위한 데이터들을 선별적으로 추출한다.

네트워크는 데이터를 수신하는 노드들이 인식할 수 있는 패킷으로 구성되는 낮은 레벨들이 무선채널을 획득하는 작업을 처리하는 위치에서 좀 더 복잡한 스택과 연관된다. 이러한 컴포넌트들은 입력되는 패킷들의 도착을 감지하고 그것들을 입력 버퍼에서 처리할 뿐만 아니라 또한 오류 검출과 채널 스케줄링을 수행한다.

상위 레벨들은 버퍼 관리 및 인증, 응용 애플리케이션들 사이의 네트워크를 다중 송수신 작업을 처리한다. 일반적인 상위 레벨 컴포넌트는 취득된 센싱 값들의 데이터를 수신하고 처리할 것이고, 그때 네트워크에 중요한 신호를 전달할 것이다. 두 번째의 컴포넌트는 그러한 신호를 받을 것이고, 라우팅 구조를 유지하고 다음 홉 사이에서 그 데이터를 수신하여 게이트웨이로 재전송한다.

2.3.2 Network sensor platforms

버클리 모트와 TinyOS는 시스템들의 이슈를 연구하고 초기에 실제 테스트 응용 애플리케이션을 배치하기 위해 널리 사용되고 있다. 마이크로컨트롤러는 적당한 양의 RAM과 프로그램을 위한 저장 공간을 제공하고 내부에 ADC를 포함한다. 넓은 주파수 범위의 모뎀을 가지고 있는 간단하면서 주파수에 민감한 무선 송수신 모듈은 개발자가 네트워크를 구성하기 위해 사용하는 연결성을 제공한다. 칩과 분리된 플래쉬 메모리는 네트워크를 통해서 그것이 전송하는 동안의 프로그램과 칩에 붙어있는 RAM을 초과하여 임시 저장하는 데이터 모두를 저장하기 위한 메모리를 제공한다. 다수의 센서 보드들은 이러한 플랫폼을 위해 고안되어 왔다.

인텔 아이모트는 기능이 높은 ARM 마이크로 프로세서와 저장공간이 하나의 패키지로 결합되어진 무선 송수신기를 함께 탑재하고 있는 상용화된 칩을 사용하여 최근에 완성된 플랫폼이다. 무선 송수신기는 노트북과 휴대폰에 널리 적용되고 있는 블루투스 표준을 적용시켰다. 무선 통신은 높은 범위에서 동작하고 정교한 주파수 호핑 프로토콜을 가지고 있다. ARM 프로

세서는 블루투스 라디오를 운영하고 무선 통신 모듈부터 시리얼 포트까지 패킷을 전달하는 기능을 한다. 아이모트에서 동작하는 TinyOS 는 다양한 센서들과 라우팅 기능들을 제공하고 상위레벨의 정보를 처리하고 전력소비를 관리하는 하나의 통합된 시스템을 제공하면서 ARM 프로세서를 직접 구동한다. 낮은 수준의 TinyOS 컴포넌트들의 대부분은 하드웨어에 직접 연동된다. 특징은 스마트 더스트 프로젝트에서 개발된 저전력의 ADC와 효율적인 라디오 모듈을 포함한다. 전체적인 디자인은 단지 5 제곱 밀리미터의 영역만을 차지한다. 그것은 1% 활성화 비율로 AA 배터리 두개를 사용하면 100년 동안 동작할 수 있다고 평가된다.

센서 네트워크를 인터넷과 같은 다른 네트워크로 전달해 주기 위해 다른 한쪽 끝단에서의 노드들은 IEEE 802.11같은 넓은 범위의 라디로나 휴대폰의 모뎀을 가지고 있고 리눅스 같은 운영체제에서 동작하는 32-bit 프로세서 기반의 게이트웨이 장치들과 통합된다. 이러한 노드 그룹은 대부분의 분산 시스템에서 매우 중요한 역할을 할 것이다. 이러한 노드들은 그 시스템을 수행하고 형성하고 감시하기 위한 응용 서비스에서 네트워크 밖의 데이터를 검색하기 위한 게이트웨이로 동작할 것이다. 좀 더 정교한 이질적인 시스템에서는 이러한 게이트웨이 노드들은 좀 더 넓게 분포되어 지고 데이터를 모으고 저장하고 융합하고 정밀 센서들의 위한 호스트처럼 사용된다. 게이트웨이는 많은 에너지를 사용하기 때문에 태양판 처럼 재충전되는 형태들과 대용량의 배터리를 이용하여 동작하게 된다. 공장 같은 경우에는 시설물 또는 건축물의 전원을 이용할 수 있을 경우 안정적인 전원을 끌어 올수 있다.

2.3.3 SELF-ORGANIZED NETWORKS

하나의 네트워크는 다른 노드들에 연결하는 다중의 링크들을 가지고 각각 많은 노드들로 구성된다. 정보는 생성지점부터 사용되는 지점까지 하나의 라우트를 통해 홉에서 홉으로 이동한다.

인터넷 같은 서로 연결된 네트워크에서 각각의 라우터는 라우팅 그래프를 형성하면서 다른 라우터들의 하나의 구체적인 집합에 연결한다. 무선 센서 네트워크에서 각 노드들은 노드 근처에 통신링크들의 한 집합을 제공하는 무선 송수신기를 가지고 있다. 정보를 교환함으로써, 노드들은 그들의 이웃 노드를 발견하고 응용 애플리케이션의 요구에 따라 데이터를 라우팅하는 방법을 결정하는 분배 알고리즘을 수행한다. 비록 물리적인 위치가 연결성을

주로 결정하지만 장애물이나 간섭이나 환경적인 요소, 안테나 방향 그리고 이동성 같은 변수들은 연결의 우선순위를 결정하기 어렵게 만든다.

2.3.3.1 Connectivity

무선 센서네트워크의 네트워크 기능은 레이어를 나누어 처리하여 성능을 향상 시킬수 있다. 가장 낮은 레이어는 물리적인 라디오 장치를 제어한다. 라디오 들은 전송개체 제어가 자연에 의해 이루어지는데, 하나의 노드가 전송할 때 다른 노드들의 집합은 신호를 받는다 그렇지 않으면 동시에 다른 노드가 전송하는 신호에 의해 잘못 선택되어 질 것이다. 라디오 전송 채널에서 충돌을 피하기 위해 링크 레이어는 채널을 청취하고 전송 채널에 다른 무선 전송이 없을 때만 전송한다. 그것은 라디오 신호에서 부호화된 패킷으로부터 구조적인 비트들의 배열로 전송한다.

전송하지 않을 때, 노드들은 채널을 샘플링하고 수신기가 송신자의 시간을 가지고 노드 자체를 배열하는 것을 허용하는 패킷의 시작부분에서 특정한 데이터 수신을 위해 항상 수신을 수행한다. 해당 패킷 레이어는 버퍼들을 관리하고, 라디오 장치에서 패킷들의 일정을 정하고 오류를 검출하거나 정정하고, 패킷 손실을 조절하고 시스템이나 응용 애플리케이션에 패킷들을 신속히 처리한다.

2.3.3.2 Dissemination and data collection

센서 네트워크 사용자들은 노드들의 집합이 노드들의 동작을 통합하고 데이터 정보를 전송, 처리하는 것을 허용하는 프로토콜을 수행하기 위해 이러한 기초적인 통신 능력을 사용한다. 센서 네트워크에서 기초적인 무선 전송 능력은 노드들 사이에서 확산되는 데이터 특성과 연관된다. 이것은 하나의 기본 노드가 약간의 구별되는 정보를 가진 패킷을 전송하는 위치에서 유동적인 프로토콜에 의해 수행되어진다. 수신하는 노드들은 패킷을 재전송하고 그 결과 좀 더 멀리 떨어진 노드들은 그것을 수신할 수 있다. 그러나 한 노드는 다수의 주변 노드들로부터 같은 메시지의 다른 버전을 받을 수 있고, 그래서 그 네트워크는 중복된 것을 알아내고 금지시키기 위한 구별되는 제어 정보를 사용한다. 프로토콜이 동작하는 것은 충돌을 피하고 불필요한 전송을 없애는 다양한 기술들을 사용한다.

네트워크는 명령어를 전송하고, 경고를 통해 네트워크 제어를 수행하고 형성하기 위해 분배과정을 사용한다. 또한 라우트를 형성하기 위해서도 분배과정을 사용한다. 각각의 패킷은 기초되는 노드로부터 그것의 거리와 송신기를

구분한다. 분산된 되어진 라우트 트리(route tree)를 형성하기 위해 노드들은 그 루트 근처의 노드 하나를 정의해서 기록한다. 네트워크는 원래의 노드로 거슬러 올라가거나 그 트리 각각의 레벨에서 데이터를 처리함으로써 데이터를 모으기 위하여 이러한 역방향의 통신을 사용할 수 있다.

그 기본 노드는 일부의 고 레벨 작업에 의해 결정되어지는 것처럼 좀 더 강력한 네트워크나 센서네트워크 내의 모이는 점점에서 게이트웨이가 된다. 종종 트리구조와 데이터 수집은 연관되어 있다. 데이터는 부모 노드가 발견되면 그 트리를 따라서 동작을 시작할 수 있다. 노드들은 데이터 메시지를 수신하면서 부모 노드가 될 노드들을 정하게 된다. 네트워크는 최선의 라우트를 강화하기 위해 통계수치를 계속적으로 모은다.

이러한 통신 패턴은 많은 클라이언트 컴퓨터들이 연결을 열어놓고 많은 양의 데이터를 주고받는 인터넷에서 사용되는 방식들과는 다르다. 센서 네트워크에서는 통신은 전체로서 수행되고 참가자들은 물리적 위치나 센서 값들의 범위 같은 특성에 의해 구별되어 정의된다. 라우팅은 노드들이 특성에 의해 데이터에 관심을 표현하는 과정인 유도확산 과정처럼 형성된다. 그 노드들은 라우팅 도표를 형성하기 위해 관심있는 데이터 종류를 외부방향으로 전송하고, 그것들은 결합되어진 하부구조에서 관심도를 기반으로 기울기 데이터를 연산하고 이것을 증가시키는 방향으로 데이터를 수집한다.

신뢰도는 다양한 패턴에 따라 나타나는데, 센서 네트워크는 신뢰성을 결정하는 데이터 근원지와 전달 목적지 사이의 패킷 매칭이나 바이트를 사용하는 두 지점간의 연결을 설정하는 인터넷과 대조적으로 그것들이 확실하게 홉에서 홉으로 데이터를 전송하는 위치에서 효율적인 네트워크 접근법을 배치해야 한다.

2.3.3.3 CONSERVING POWER AND BANDWIDTH

보통 하나의 노드를 수행하기 위해 가장 많은 에너지를 소모하는 동작인 통신은 반드시 여러 노드들 간의 제한된 통신영역의 공유를 위해 경쟁해야만 한다. 네트워크 스택은 통신을 제거함에 의하거나 통신의 필요성이 없을 때 라디오의 전원을 꺼놓고 에너지 사용을 최소화 하기위한 시도를 한다.

다수의 접근법은 가능하다. 예를 들면 노드들은 데이터를 그 위치에서 처리할 수 있고 그것들이 원하는 이벤트를 발견할 때만 통신을 수행한다. 이런 접근법은 데이터 수집을 시간이나 원하는 영역에 집중하는 환경 감시 시스템이나 지능 경보 시스템에 사용된다.

대부분의 경우 카메라처럼 고 전력의 센서 장치들을 동작시킨다. 네트워크

내에서 집합을 형성하는 것은 통신의 기능을 낮출 수 있다. 예를 들면 응용 애플리케이션은 어떤 지리적 영역에서 공유된 노드들에서 평균온도를 결정하기 위한 데이터가 필요할 것이다. 데이터를 모으는 라우팅처럼 관심대상의 감지 데이터들의 수집을 위해 하위집합을 모으는 것은 라우팅 트리의 종단에서 수행되어 질수 있고, 그 결과 각각의 노드들은 그 하부구조의 통계적인 요약을 제공하기 위해 기껏해야 하나의 패킷 만을 전송한다. 좀 더 정교한 집합은 관심대상의 분포영역에서 감지 데이터와 연관된다.

압축과정은 낮은 레벨에서 에너지를 보존할 수 있다. 약간의 프로토콜에서의 부담은 신뢰성을 증가시키고 충돌을 관리하고 라우팅 구조를 유지하기 위한 데이터 통신과 연관된다. 센서 네트워크는 데이터 메시지의 제어정보를 편승하거나 다른 노드들을 위해 할당된 패킷들을 수신하면서 프로토콜 메시지를 해석할 수 있다. 그것들은 경쟁을 제거하기 위해 미리 예정된 시간을 사용할 수 있고, 그때 라디오는 계속 동작을 한다. 이것은 주기적으로 낮은 비율의 샘플링에 의해서 높은 레벨의 응용 애플리케이션을 가지고 통합되어 질 수 있다. 일반적으로 시분할 방식에서 네트워크는 낮은 레이어 내에서 에너지 소모 감소 모듈을 구현한다.

공간차원에서 네트워크는 재전송이나 그룹 정의 같은 특정 노드에 대해 구체적인 의무를 할당할 수 있다. 결국 네트워크는 단지 한 부분 동안만 수신한 후에 라디오 전원을 차단함으로써 원하지 않는 패킷 수신을 거부할 수 있다. 그러나 이러한 많은 최적화가 상호 충돌할 수 있기 때문에 프로토콜의 많은 기능 추가는 응용 애플리케이션과 플랫폼의 특징을 기반으로 고려되어야 한다.

2.3.4 PRIVACY

고밀도의 네트워크 장치화, 실시간 처리, 네트워크 내의 데이터 처리는 대규모의 물리 구조전체에서 무엇이 일어날 것인가를 감지할 수 있는 능력에서 기존의 환경과는 많은 차이점을 갖고 있다. 환경 감시와 상황에 근거한 모니터링에서는 데이터 수집의 목적과 데이터를 사용하기 위한 모임들과 분배범위는 명확하다. 집, 근무지, 수송 터미널, 쇼핑 같은 좀 더 일반적인 인간 행위가 나타나는 곳에서 우연한 설정에서 모호하게 된다. 이러한 경우에 많은 잠재적으로 관심을 가지고 있는 데이터 그룹은 데이터를 위해 다양한 사용을 할 수 있다.

점유나 움직임, 심지어 물리적인 상태 같은 세밀한 센싱은 감지와 분배 뿐만 아니라 데이터 내용에 대한 관심을 더욱 증폭시킨다. 오늘날 많이 사용되는

감시카메라에 의해 수집된 영상 데이터는 매우 강력한 센서처럼 보일 수 있지만, 네트워크 접근과 자동화되어진 분석은 제한된다. 이러한 사회적 요인들은 센서 네트워크 기술과 연관되어 왔다. 이러한 영역은 초기 상태에부터 활발히 연구 되었다.

IV. 결론 및 전망

센서 네트워크 기술은, 작고 단순한 하드웨어를 기반으로 소형 소프트웨어 개발을 지향하고 있기 때문에 고급 기술 창조를 통한 신산업의 창출이라는 기술적 기대를 실현하기에는 구현 난이도에 대한 회의적 견해가 많은 것 같다. 그러나 기술적 난이도와는 상관없이 새로운 컴퓨팅 개념의 도출과 실제 구현을 지향하는 기술 개발 방향은 매우 긍정적으로 평가받을 수 있는 추진 방향이다.

센서 네트워크 같은 저전력 무선 네트워크가 실제 산업과 생활에 적용되고 상용화되기 위해서는 안정되고 상호운용이 가능한 네트워크 프로토콜의 실제 구현이 요구되는데, 이런 요구사항을 해결할 수 있는 방법은 지그비 규격의 제품이 개발되거나 TinyOS를 기반으로 한 기술구현 등으로 예상된다. IEEE 802.15.4 기반의 하드웨어를 이용한 무선 통신 프로토콜이 TinyOS상에서 구현되었기 때문에 하위 기술에 대한 호환성이 보장되었으며, 지금 부터는 네트워크 부분의 기술 구현이 본격적으로 진행될 것으로 보인다.

TinyOS도 지그비 얼라이언스(Zigbee Alliance)와 비슷한 성격의 TinyOS 얼라이언스를 구성할 계획이다⁽²²⁾. 많은 동일 기술요소를 포함하는 두 진영의 경쟁과 상호 보완은 새로운 기술의 산업화를 가속화 할 것으로 기대된다. 단기적으로는 무선 네트워크 시장의 확대를 가져올 것이며, 장기적으로는 유비쿼터스 컴퓨팅에서의 끊임 없는 네트워크를 구성할 수 있는 기반 기술로 사용될 것이다.

V. 참고 자료

- [1] <http://www.intel.com/research/exploratory>
- [2] J. Hill, R. Szewczyk, A. Woo, S. Hollar, D. E. Culler and K. S. J. Pister. "System architecture directions for networked sensors". In *Proceedings of ASPLOS*, pages 93-104, Boston, MA, USA, Nov. 2000.
- [3] H. Abrach, S. Bhatti, J. Carlson, H. Dai, J. Rose, A. Sheth, B. Shucker, J. Deng, and R. Han. "MANTIS: system support for Multimodal NeTworks of In-situ Sensors" In *Proceedings of the 2nd ACM International Conference on Wireless Sensor Networks and Applications*, pages 50-59. ACM Press, 2003.
- [4] S. Park, A. Savvides, and M. B. Srivastava. "SensorSim: a simulation

- framework for sensor networks” *In Proceedings of the 3rd ACM International Workshop on Modeling, Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems*, pages 104–111. ACM Press, 2000.
- [5] J. Elson, S. Bien, N. Busek, V. Bychkovskiy, A. Cerpa, D. Ganesan, L. Girod, B. Greenstein, T. Schoellhammer, T. Stathopoulos, and D. Estrin. “Emstar: An environment for developing wireless embedded systems software” Technical Report 0009, CENS, Mar. 2003.
- [6] <http://nescs.sourceforge.net>
- [7] <http://www.chipcon.com>
- [8] <http://www.moteiv.com>
- [9] <http://www.xbow.com>
- [10] <http://webs.cs.berkeley.edu/retreat-6-04>
- [11] <http://webs.cs.berkeley.edu/retreat-6-04/joep-nest-2004-springretreat-802154.ppt>
- [12] A. Mainwaring, J. Polastre, R. Szewczyk, D. Culler, and J. Anderson. “Wireless sensor networks for habitat monitoring” *In ACM International Workshop on Wireless Sensor Networks and Applications (WSNA’02)*, Atlanta, GA, USA, Sept. 2002.
- [13] <http://www.tinyos.net>
- [14] A. Woo, T. Tong, and D. Culler. “Taming the underlying challenges for reliable multihop routing in sensor networks” *In SenSys ’03*, Los Angeles, California, Nov. 2003.
- [15] D. De Couto, D. Aguayo, J. Bicket, and R. Morris. “A high-throughput path metric for multi-hop wireless routing” *In Proceedings of ACM MOBICOM*, San Diego, California, Sept. 2003.
- [16] M. D. Yarvis, W. S. Conner, L. Krishnamurthy, A. Mainwaring, J. Chhabra, and B. Elliott. “Real-World Experiences with an Interactive Ad Hoc Sensor Network” *In International Conference on Parallel Processing Workshops*, 2002.
- [17] D. Ganesan. TinyDiffusion Application Programmer’s Interface API 0.1. <http://www.isi.edu/scadds/papers/tinydiffusion-v0.1.pdf>.
- [18] B. Karp and H. T. Kung. “GPSR: greedy perimeter stateless routing for wireless networks” *In Proceedings of ACM MOBICOM*, pages 243–254, Boston, MA, USA, 2000.
- [19] P. Levis, N. Patel, D. Culler, and S. Shenker. “Trickle: A self-regulating algorithm for code maintenance and propagation in

wireless sensor networks” *In First USENIX/ACM Symposium on Network Systems Design and Implementation* (NSDI 2004).

[20]D. Ganesan, B. Krishnamachari, A. Woo, D. Culler, D. Estrin, and S. Wicker. “Complex behavior at scale: An experimental study of low-power wireless sensor networks” Technical Report 02-0013, UCLA Computer Science Division, Mar. 2002.

[21]<http://webs.cs.berkeley.edu/retreat-6-04/TinyOSAlliance.ppt>