

신뢰성 있는 애드-혹 네트워크 전송 프로토콜

Reliable wireless ad-hoc network transmission

강정훈, 이민구, 임호정, 윤명현, 유준재
전자부품연구원

Jeonghoon Kang, Mingoo Lee, Hojung Lim, Myunghyun Yoon, JunJae Yoo
Korea Electronics Technology Institute

요약 - 애드-혹 네트워크를 이용하는 응용 서비스 중에는 전송 데이터 손실의 처리가 매우 중요한 경우가 있다. 생산설비 모니터링 및 제어, 무선 네트워크를 이용한 가전기기 제어 등에서 데이터 전송의 신뢰성 문제는 중요한 문제점으로 지적되고 있다. 적은 자원으로 무선 통신 네트워크를 지원하는 애드-혹 네트워크의 경우에는 인터넷에서 사용되고 있는 방법을 사용하는 것은 적합하지 않다. 본 논문에서는 무선 애드-혹 센서 네트워크에 사용 가능한 신뢰성있는 데이터 전송 방법에 대해 분석, 제안한다.

키워드 : Reliable transfer, sensor network, ad-hoc network

1. 서론

애드-혹 메쉬 센서 네트워크 기술은 새로운 컴퓨팅 패러다임인 유비쿼터스 컴퓨팅의 진입 기술로 중요한 의미를 갖는다. 본격적인 컴퓨팅 서비스가 적용될 수 있도록 기반 기술의 산업화가 필요한데, 메쉬 센서 네트워크 기술은 물리적 세계와 사이버 세계를 자동으로 연결해 줄 수 있다는 점에서 중요한 역할을 하고 있다. 센서 네트워크 기술이 현재의 산업에 적용이 되고 이를 바탕으로 다양한 새로운 산업 창출에 이용되어야 하는데, 산업 적용을 위해서는 통신과 네트워크에 대한 신뢰성 확보가 중요한 문제로 제기되고 있다. 본 논문에서는 저전력, 낮은 성능의 센서 네트워크 환경에서 신뢰성을 확보할 수 있는 방법을 분석하여, 모니터링, 자동화, 홈 네트워크 같은 서비스에 적용될 수 있는지를 알아본다. 또한 링크-레벨 재전송과 라우팅 경로 다중화 기법을 소개하고 센서 네트워크에 적용될 수 있는 가능성을 분석한다.

2. 애드-혹 센서 네트워크

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 다수의 분산 센서 노드들로 구성된다. 센서 노드들은 하나이상의 센서(온도, 소리, 빛, 가속도, 자기장 등), 액추에이터(actuator), 마이크로 컨트롤러, 수십 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) 노

드로 전달하는 입력시스템의 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 기간 동안 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 것 보다 자율적으로 네트워크를 운영하고 프로그래밍 하는 수단을 제공해야만 한다. 이러한 난제점을 극복하는 것이 센서 네트워크가 가진 기술적 차별성이다

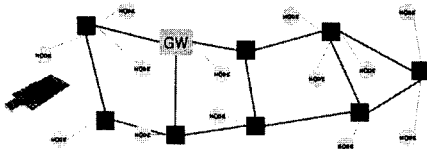


그림 1. 멀티-홉 센서 네트워크

3. 애드-홉 센서 네트워크 통신 프로토콜

통신 프로토콜은 유무선 네트워크 전반에 걸쳐 다양한 기법들이 제안되고 있다. 무선 센서 네트워크에 적용 가능한 MAC 프로토콜로는 TDMA와 IEEE 802.11 방식을 들 수 있는데, IEEE 802.11은 무선 네트워크에서 발생할 수 있는 hidden terminal 문제를 해결한 기술로 무선 애드-홉(ad-hoc) 네트워크에 사용되기 위해 제안되었다. 이 기법은 센서 노드의 가장 큰 요소인 에너지 소모 절약에는 적절하지 않은 프로토콜이다. TDMA(Time Division Multiple Access) 기법은 IEEE 802.11 기법과 비교하여 에너지 절약에는 강점을 가졌으나, 통신 클러스터(cluster)를 형성하기가 어렵다. 그리고 클러스터 간 통신과 간섭을 관리하기에는 많은 처리 동작이 필요하기 때문에 센서 네트워크에 사용되기는 어렵다.

현재 상용화되어 있는 센서 네트워크 제품들은 대부분 CSMA(Carrier Sense Medium Access)를 이용하여 시스템 오버헤드가 적은 MAC 기술을 사용하고 있다[1][2].

3.1. 무선 센서 네트워크 프로토콜 특징

센서 네트워크는 기존의 IP 네트워크나 애드-홉 네트워크와는 차이가 존재한다. 센서 네트워크는 애드-홉 형태이며 다수의 센서 노드들로 구성된다. 에너지 절약을 위해서 각 노드들은 짧은 거리 무선 통신 인터페이스를 가지고 있으며, 대부분 통신이 노드 간에 직접 통신하는 형태로 일어나게 된다. 또한 센서 네트워크는 특정 응용 서비스를 목적으로 구성되며, 시스템 응용 서비스 자체의 성능을 높이는 것에 목적을 두도록 설계한다. 센서 네트워크에서 센서 노드 간 통신에서 데이터는 송신, 저장, 전달의 순서로 전송되며, 이에 따라 전체적인 전송 시간의 지연을 발생 시킬 수 있다. 결국 최종용 서비스에서는 데이터가 수신되기 까지 장시간의 idle 시간을 가지게 되며, 전송 중 발생하는 지연시간은 허용하도록 설계된다. 센서 네트워크의 환경감지, 모니터링 응용에서의 이벤트는 긴 시간을 주기로 발생하기 때문에 전송 중에 발생하는 약간의 지연시간 보다는 응용 서비스를 오랫동안 지속 시킬 수 있는 센서 노드의 수명 자체가 더 중요한 요소이다[3].

3.2. 주기적인 통신 상태 변경

위에서 언급한 바와 같이 대부분의 센서 네트워크 응용에서, 센서 노드들은 오랜 시간동안 이벤트가 발생하지 않는 idle 상태에 머물면서 전송되는 데이터를 기다리게 된다. 이러한 idle 상태 구간이 길기 때문에 에너지 소모를 줄이기 위해서 센서 노드들을 항상 listen 상태에 두지 않고 sleep 상태로 유지시키는 것이 에너지 소모를 최소화할 수 있다.

각 센서 노드들은 idle 상태에서 특정 시간이 지난 후, sleep 상태로 변경되며, 다른 센서 노드와 통신은 listen 상태에 가능하다. Sleep 구간 동안 센서 노드는 통신 모듈의 전원을 끄고, 일정 시간이 지나면 listen 상태로 변경한다. Listen과 sleep 시간은 응용 서비스의 특징에 따라 달라져야 한다.

모든 센서 노드들은 기본 노드에서 전송하는 동기화 신호에 따라 자신의 listen / sleep 스케줄을 설정한다. 모든 센서 노드들이 동시에 listen 상태와 sleep 상태로 전이 하도록 하여, 멀티홉 센서 네트워크 환경에서 주변 노드들 간의 동기화가 이루어지도록 구성한다. 기본 센서 노드는 자신의 스케줄을 현재 구성된 센서 네트워크에 브로드캐스트(broadcast)하여, 다른 센서 노드들과 listen / sleep 스케줄의 동기를 맞춘다. 만약 여러 이웃 노드들이 동시에 통신하고자 할 경우 미디어(media)에 대한 경쟁이 일어나는데, 이때 CSMA(Carrier Sense Medium Access) 기법으로 전송 충돌을 피하게 된다. 일정 시간동안 전송 중인 데이터의 유무를 파악하여 전송 중인 데이터가 있다면, 임의의 시간동안 기다린 후 다시 전송을 시도하게 되고 전송 중인 데이터가 없으면 데이터 전송이 시작되며 전송이 끝날 때 까지 sleep 상태로 변경되지 않는다[1][2].

4. 신뢰성 있는 데이터 전송

애드-홉 센서 네트워크 응용 서비스 중에는 데이터 손실이 없어야 하는 경우가 있다. 공장자동화의 경우 제어 데이터가 손실되어 서버와 실제 동작 디바이스가 동기화되어 있지 않다면, 서비스가 정확히 제어되지 못 할 것이다. 이런 특징은 홉 네트워크, 건축물 모니터링등 다양한 분야에서 공통적으로 필요하다. 네트워크에서 데이터 전송의 데이터 손실을 제거하기 위해서는 무선 통신 자체의 신뢰성을 높이거나, 네트워크의 오류를 회피할 수 있는 방법이 제공되어야 한다. 센서 네트워크 하드웨어는 대부분 건전지로 동작하기 때문에, 신뢰성을 높이기 위해서 과도한 연산을 실행할 수 없으므로 단순하고 효율적인 방법을 제공하여 저전력으로도 신뢰성을 확보해야 한다.

수신부에서 모든 데이터를 수신하기 위한 신뢰성 향상 방법으로 적용해 볼수 있는 방법은 데이터가 도착하지 못했을 경우, 해당 데이터를 재전송 하는 방법이다. 이것은 인터넷에서 TCP 구현에 사용되는 방법이다[4]. 이런 방법은 연결 상태가 매우 좋지 못할때 사용한다. 신뢰성을 높이기 위해 패리티를 추가하는 것도 사용되고 있다.

기존에 연구된 신뢰성 있는 데이터 전송방법은 PSFQ[5], RMST[6] 등이 있다. PSFQ는 홉 간의 네트워크에서 데이터 신뢰성을 검사할 수 있는 방법을 제안하였다. RMST는 센서 네트워크에서는 end-to-end 데이터 신

되성 검사 보다는 좁 간의 데이터 검사와 신뢰성 확보가 중요하다는 것을 실험하였다. 이 결과는 MAC 레벨과 응용 서비스 레벨에서 실험 되었다.

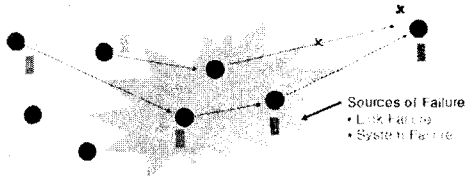


그림 2. 멀티-홉 네트워크에서의 데이터 손실

4.1 링크레벨 재전송 기법

무선 애드-혹 네트워크에서의 패킷 손실율은 유선 네트워크에 비해 매우 높다. 센서 네트워크는 멀티-홉 네트워크라는 단점 때문에 데이터가 노드에서 노드로 전송되면서 데이터 에러 확률은 높아진다. 만일 데이터 전송 실패 확률이 10%라면 2 홉 네트워크에서 데이터 전송이 실패할 확률은 20%에 근접하게 된다. 이런 경우 데이터의 재전송만으로 전송 실패 확률을 많이 줄일 수 있다. 그러나 링크레벨 재전송 기법은 일반적인 센서 네트워크에서의 데이터 전송량이 많지 않고, 멀티-홉 네트워크 중간 부분의 노드들이 ACK 패킷을 수신할 때까지 오랜 시간 데이터를 보유하고 있어야 하는 점에서는 적절하지 않다. RTT(end-to-end round trip time)이 정해져 있지 않고, 크게 변화하는 상황에서 노드가 데이터를 전송하기위해 기다리고 있는것은 효율적이지 않다. 또한 센서 네트워크 하드웨어 플랫폼들은 적은 메모리와 프로세싱 능력을 가지고 있기때문에 적절하지 않다.

4.2 다중 라우팅 기법

네트워크의 라우팅 경로에서 손실이 발생할 수 있을 경우, 다양한 라우팅 경로로 데이터를 전송하는 것은 데이터 신뢰성을 높이는데 사용될 수 있다. 새롭게 라우팅 경로를 즉시 형성하지 않으면, 전송되어지는 데이터들이 지속적으로 손실될 것이다. 현재 라우팅 경로가 여러 없이 유지되고 있는지 여부를 확인하고, 라우팅 경로에 문제가 생겼다면 즉시 경로를 바꿀 수 있는 방법이 제공되어야 한다. 트리구조의 라우팅에서는 데이터를 루트 노드로 전송하면서 주위의 다른 노들에게도 데이터를 전송할 수 있어야 한다. 때문에 각 노드는 현재의 부모 노드로 전송할 뿐만 아니라 주변의 다른 노들에게도 데이터를 전송해야 하며, 각 노드들은 데이터를 재전송 하게 된다. 결국은 데이터 전송량이 늘어나게 되는 단점을 갖게 된다.

5. 결론

애드-혹 센서 네트워크 기술은 단순한 모니터링 애플리케이션에서 부터 가정용 홈 네트워크 기술, 산업현장의 디바이스 또는 공정제어에 사용될 가능성이 많은 기술이다. 이런 산업분야에 적용되기 위해서는 통신과 네트워크 상에서 신뢰성 확보가 중요한 경우가 많이 있다.

링크 레벨에서의 재전송 기법과 다양한 라우팅 경로의 설정을 통해 네트워크에서 데이터 전송 신뢰성 확보가 이루어 질 수 있지만, 반면 데이터 트래픽의 증가와 네트워크 구성 노드들의 데이터 처리 오버헤드가 커지는 단점이 존재한다.

현재 센서 네트워크에 사용되고 있는 다양한 네트워크 프로토콜들은 서로 다른 목적에 따라 트리방식, 피어-투-피어 방식, 클러스터링 방식들을 사용하고 있다. 이러한 다양한 응용 서비스에 적용되는 애드-혹 네트워크를 대상으로 각 네트워크 레벨에서 필요로 하는 신뢰성 향상 기법에 대해 세부적인 연구가 필요하다.

애드-혹 센서 네트워크에서의 신뢰성 있는 데이터 전송 기법 개발은 향후 산업화를 위한 표준화에도 필요한 내용이며, 이를 바탕으로 적극적으로 산업에 무선 네트워크 기술이 적용될 것으로 보인다.

센서 네트워크가 다양한 산업에 적용되는 것은 중요한 의미를 갖는다. 특히 관련 산업화를 가속화 할 것으로 기대되며, 단기적으로는 무선 네트워크 시장의 확대를 가져올 것이며, 장기적으로는 유비쿼터스 컴퓨팅에서의 끊임 없는 네트워크를 구성할 수 있는 기반 기술로 사용될 것이다.

참고문헌

- [1] Nelson Lee, Philip Levis, Jason Hill. "Mica High Speed Radio Stack.", TinyOS tutorial.
- [2] Alec Woo, David Culler. "A Transmission Control Scheme for Media Access in Sensor Networks." Mobicom 2001, 221-235
- [3] http://www.intel.com/research/vert_manuf_condmaint.htm
- [4] V. Jacobson and M. J. Karels, "Congestion avoidance and control," in In Proceedings of the Sigcomm '88 Symposium, Stanford, CA, Aug. 1988.
- [5] C.-Y. Wan, A. T. Campbell, and L. Krishnamurthy, "Psfq: a reliable transport protocol for wireless sensor networks," in Proc. of the 1st ACM international workshop on Wireless sensor networks and applications. ACM Press, 2002.
- [6] F. Stann and J. Heidemann, "Rmst: Reliable data transport in sensor networks," in Proceedings of the First International Workshop on Sensor Net Protocols and Applications. IEEE, April 2003, pp. 102-112.