

무선 센서 네트워크를 위한 미디어 액세스 처리에 관한 연구

윤정미*, 김대환*, 박진희*, 김용호*

*전자부품연구원

e-mail : yunjm@keti.re.kr

A Study on Control Scheme for Media Access in Wireless Sensor Network

Jung-Mee Yun*, Dae-Hwan Kim*, Jin-Hee Park*, Yong-Ho Kim*

*Korea Electronics Technology Institute

요 약

본 논문에서는 무선 센서 네트워크의 특성을 고려한 미디어제어 프로토콜의 설계에 있어서의 고려사항 및 설계기법에 대해서 제안하고 있다. 무선 센서 네트워크는 제한된 에너지를 가지는 배터리를 에너지원으로 사용하는 센싱 디바이스들로 구성되어 있으며, 이러한 디바이스들로 구성된 네트워크는 하나 혹은 그 이상의 공통의 작업을 수행하는데 그 목적이 있다. 일반적으로 무선 센서 네트워크는 ad hoc 형태의 구조를 가지며, 각각의 노드들은 장시간동안 비활성화 상태에 머무르게 되며, 센싱을 하기 위한 특정 이벤트가 발생하였을 때만 활성 상태로 전이하게 된다. 이와 같은 센서 네트워크의 특성은 IEEE 802.11 과 같은 기존의 무선 미디어 제어 프로토콜과는 차별성을 띄게 된다. 센서 네트워크는 노드별 미디어 접근 공정성이나 시간지연보다는 에너지절약과 위상자동설정에 더 중점을 두고 있기 때문에 이에 적합한 미디어 제어 기술이 필요한 것이다. 본 고에서는 에너지 소모를 최소화하고 위상 자동 설정을 지원하기 위한 3 가지의 기법들에 대해서 제안하고자 한다. 첫째로 이벤트 발생 여부에 따른 노드의 신호감지 및 Sleep 상태 전이 및 이웃 노드들과의 가상동기화 기법을 이용한 에너지 절약 기법에 대해서 제안하고, 충돌회피 기법에 대해서 살펴보고자 하겠다.

1. 서론

환경 모니터링, 지능공간, 의료 시스템등 다양한 분야에서 무선 센서 네트워크의 개념이 적용되어지고 있다. 이러한 센서 네트워크는 일반적으로 많은 수의 분산 노드들로 구성된 multi-hop 무선 네트워크의 형태를 갖게 된다.

노드들은 하나 이상의 센서와 임베디드 프로세서, 저전력 무선 인터페이스를 가지고 있으며, 일반적으로 제한된 에너지를 제공하는 배터리로 동작하는 방식을 취하고 있다. 에너지원에 제한이 있기 때문에 최소한으로 에너지를 절약하기 위한 하드웨어, 소프트웨어 관련 많은 연구 기법들이 제안되고 있으며, 미디어 액세스 처리 기법 또한 이에 부합되는 중요한 이슈로 떠오르고 있다.

현재까지 무선 통신에 적합한 많은 MAC(Media

Access Control) 프로토콜들이 제안되어 왔는데, 크게 TDMA(Time Division Multiple Access)기법과 CDMA(Code Division Multiple Access)기법, Contention-based 프로토콜인 IEEE 802.11 등을 들 수 있다.[1]

무선 센서 네트워크에 적합한 MAC 프로토콜은 다음과 같은 특성을 가지고 있어야 하는데, 첫째로 에너지 소모를 최소화 할 수 있도록 설계되어야 한다. 앞에서 기술한 바와 같이 센서 노드들은 배터리를 이용하는 방식을 주로 사용하는데, 한번 센서 네트워크가 구성된 이후에 노드들의 배터리 충전이 어렵기 때문에 노드들의 존속 기간을 가능한 한 길게 할 수 있도록 에너지의 효율을 높이는 것이 중요하다.

둘째로 네트워크의 크기나 밀집도, 위상에 변화가 있었을 경우의 유연한 확장성을 들 수 있다. 센서 네트워크에서는 노드가 동작을 멈추거나 새로운 노드가

추가되거나 위치가 변화하는 등 많은 위상 변화 요인이 있다. 그러므로 좋은 MAC 프로토콜은 이러한 네트워크 변화에 쉽게 적응 가능하도록 설계되었으나 여부로 판단할 수 있다. 또 다른 중요한 이슈로 노드간 미디어 액세스에 있어서의 공정성이나 지연 시간, 대역폭 활용성 등을 들 수 있는데, 이러한 이슈는 전통적인 무선 네트워크에서는 중요한 요소로 고려되었으나 센서 네트워크에서는 에너지 효율성이나 확장성에 비해 그 중요도가 떨어진다고 볼 수 있다.

이에 본 논문에서는 무선 네트워크의 미디어 액세스 처리 기법과 관련된 연구들에 대해서 살펴보고, 3 장에서 무선 센서 네트워크에서 미디어 액세스 기법 연구시 고려해야 할 사항들에 대해서 살펴볼 것이다. 그리고 4 장에서 무선 센서 네트워크에 적합한 미디어 액세스 기술에 대해서 제안하도록 하겠다.

2. 관련연구

현재까지 미디어 액세스 처리와 관련하여 유무선 네트워크 전반에 걸쳐서 다양한 기법들이 제안되고 있고 있다. 무선 센서 네트워크에 적용 가능한 무선 MAC 프로토콜로는 TDMA 와 contention-based 기반의 IEEE 802.11 방식을 들 수 있다.[2] IEEE 802.11 은 무선 네트워크에서 발생할 수 있는 hidden terminal problem 을 해결한 기법으로, 무선랜등과 같이 무선 ad-hoc 네트워크에서 주로 사용되고 있는 기술이다. 센서 네트워크의 초기 연구에는 이를 그대로 적용하고자 하는 연구들이 있었으나, 센서 노드의 가장 큰 이슈인 전력 소모 절약을 위한 기법으로는 적절하지 않기 때문에 센서 네트워크에 그대로 적용하기에는 적합하지 않다.

다음으로 TDMA(Time Division Multiple Access)기법을 들 수 있다. TDMA 는 contention-based 기법과 비교하여 에너지 절약면에서는 강점을 가졌으며 그 예로 PAN 프로토콜인 블루투스등을 들 수 있다. 그러나 TDMA 는 블루투스에서 보듯이 마스터의 클럭에 맞춰서 다른 모든 슬레이브들이 통신하는 실시간 통신 클러스터를 형성하는 비용이 들게 된다. 또한 각 클러스터 사이에서의 통신 기법과 이때 발생할 수 있는 간섭을 해결하기 위해서 많은 비용이 들게 되므로 센서 노드용으로는 무리가 있다고 볼 수 있다.[3]

다음으로, 센서 네트워크의 위상 자동 설정을 위한 프로토콜 기법을 들 수 있다. 이는 TDMA 기법을 사용하였으며, 다른 노드들과 통신하기 위해서는 제어 프레임이 필요하게 된다. 각각의 타임 슬롯 시간동안 하나의 노드와만 통신할 수 있도록 설계되었으며, 근접 링크간의 간섭을 피하기 위하여 각 링크는 다른 채널을 사용하도록 설계되었다. 그러나 이 방법은 대역폭의 활용도가 낮다는 문제점이 있다.

3. 무선 센서 네트워크의 특징

무선 센서 네트워크는 기존의 IP 네트워크나 ad-hoc 네트워크와는 차이가 있는데 먼저 이를 정리하도

록 하자. 센서 네트워크는 ad-hoc 형태의 수십에서 수천개의 센서 노드들로 구성되어진다. 에너지 절약을 위해서 각 노드들은 단거리 통신 인터페이스를 가지고 있으며, 대부분의 통신이 노드들간 일대일 형태로 일어나게 된다. Ad-hoc 형태로 네트워크가 구성되기 때문에 각 노드들은 자동으로 위상을 구성할 수 있는 추가로 필요하게 된다. [4][5]

또한 일반적으로 센서 네트워크는 하나의 응용을 목적으로 구성되어지며, 노드마다의 미디어 접근 공정성보다는 시스템 어플리케이션 자체의 성능에 그 목적을 두게 되도록 설계되어 있다.

서론에서 기술한 바와 같이 데이터량을 최소화하기 위한 In-Network 데이터 처리기술은 센서 네트워크의 lifetime 의 핵심기술이며, 이때 데이터 통합과 같은 기술이 트래픽을 줄이는 기술로 사용된다. 여기서 In-Network 데이터 처리기술이란 메시지가 store-and-forward 형태로 전송되는 동안 Raw-Data 가 의미 있는 메시지의 형태로 가공·처리가 이루어지는 방식을 말하며, 이에 따른 단점으로는 전송 지연이 야기시킬 수 있다는 점을 들 수 있다.

마지막으로 센서 네트워크에서의 센싱 데이터 응용은 장시간의 비활성화 시간을 가지며, 약간의 지연은 허용하도록 설계되어 있다. 센서 네트워크에서 환경감지나 모니터링하는 형태의 응용에서 센싱한 이벤트는 오랜 시간에 걸쳐 일어나는 것이며, 이때에 약간의 시간지연보다는 네트워크의 생존시간 자체가 더 중요한 요소로 작용하게 된다. 지금까지 무선 센서 네트워크의 일반적인 특징에 대해서 살펴보았다.

본 논문에서는 무선 센서 네트워크에 적합하게 미디어 액세스 처리기법을 설계할 때 필요한 기법들에 대해서 제안하고 있다. 이를 위해서는 센서 네트워크의 링크 계층의 설계시 가장 중요한 요소에 대한 이해가 먼저 필요하게 된다.

센서 네트워크에서 가장 중요한 요소로는 에너지 효율성을 들 수 있으며, 추가적으로 네트워크의 위상이 바뀌었을 경우의 유연한 확장성과 충돌회피 능력을 가지고 들 수 있다.

먼저, 에너지 소비 요인들은 정의하면, 첫째로 충돌을 들 수 있다. 전송된 패킷이 깨졌을 경우 재전송이 필요하게 되며 이는 지연을 증가시킬 뿐만 아니라, 에너지 낭비를 일으키게 된다.

둘째 요인으로는 overhearing 을 들 수 있는데, 이는 contention-based 프로토콜에서 발생하는 문제점으로 불필요한 데이터의 수신을 함으로써 에너지 낭비를 일으키게 된다.

셋째로 제어 패킷의 부하를 들 수 있다. 즉, 에너지 소비를 절약하기 위해 복잡한 기법들을 도입하였을 경우, 이에 따른 제어 패킷의 양이 증가하게 되며, 이는 곧 과도한 트래픽 전송과 에너지의 손실을 가져오게 된다. 그러므로 좋은 링크 계층을 설계하기 위해서는 가장 간단하면서도 좋은 효율을 얻을 수 있는 프로토콜의 설계가 필요하게 된다.

또 다른 에너지 소비요인으로는 불필요한 신호감지를 들 수 있다. 센서 네트워크에서는 모든 센서 노드

들이 특정 목적을 위한 이벤트를 센싱하였을 때만 활성화 상태로 깨어나면 되며, 대부분의 경우 많은 시간 이벤트를 센싱하지 않은 비활성화 상태에 머무르게 된다. 이때 많은 시간 비활성화 상태에 머무르게 되는데, 기존의 IEEE 802.11 이나 CDMA 등의 프로토콜은 전송 효율과 지연 시간만을 고려하여 항상 활성화 상태로 동작하도록 설계되었기 때문에 많은 에너지 소모가 발생하게 된다.

전형적인 무선 네트워크에서는 네트워크에 참여한 모든 노드들이 동등한 기회를 가지고 미디어에 접근하기를 바라기 때문에 각 노드의 미디어 접근 공정성이 중요한 요소로 작용하였다. 그러나 무선 센서 네트워크에서는 모든 노드가 공통의 목적을 위해 상호 협력하며, 특정 시간에 하나의 노드가 목적지 노드로 데이터를 보내는 것이 일반적이다. 그러므로 미디어 접근 공정성이 그리 중요한 요소가 작용하지 않게 된다.

전송지연은 어플리케이션의 종류와 노드의 상태에 따라 그 중요도가 달라진다. 센싱 이벤트가 발생하지 않는 동안은 네트워크에서의 데이터 전송이 거의 일어나지 않게 된다. 즉 대부분의 노드들은 비활성화 상태에 있게 된다. 비활성화 상태구간과 시간지연과는 trade-off 관계에 있으며 이는 에너지 효율성에 영향을 미치는 요소로 작용한다.

본 고에서는 노드의 데이터 전송이 없는 비활성화 상태일 경우, 주기적으로 노드를 sleep 상태로 전이 시킴으로써 비활성화 상태에서의 전력 소모를 줄이는 기법을 적용하였다. 물론 송신자는 데이터 전송시작 시 수신자가 sleep 상태일 경우 이 노드가 신호감지 상태로 전이할 때까지 기다려야한다. 이로 인하여 데이터 전송시 전송 지연이 증가하게 된다.

다음으로 무선 센서 네트워크에서 중요하게 고려할 요소로 네트워크 내에서의 데이터 전송시의 Raw-Data의 프로세싱을 들 수 있다. 에너지 소비를 최소화하기 위해서는 Raw-Data를 가공하여 전송하는 것이 필요하게 되며, 이를 위하여 메시지의 Store & Forwarding 처리 기술이 필요하다.

지금까지 기술한 내용들을 정리하면 아래와 같이 요약할 수 있다. 센서 노드들은 비활성화 상태에서 주기적인 신호감지 및 sleep 상태 전이를 통하여 비활성화 상태에서의 노드의 에너지 소비를 최소화한다. 또한 이웃 노드들간에 동일한 Sleep 스케줄을 적용함으로써 이웃 노드들간의 가상 클러스터를 형성하여 동기화를 이루며 이를 통하여 전송 지연을 최소화한다.

또한 이웃노드가 전송중일 때 sleep 상태로 전환하는 기법을 적용하여, PAMAS(Power Aware Multiple Access Protocol)기법에서 발생할 수 있는 overhearing 문제를 해결한다.

4. 미디어 액세스 처리 모델

본 논문에서 제안하고자 하는 미디어 액세스 처리 기법의 가장 큰 주안점은 확장성과 충돌 회피를 제공하는 동시에 에너지의 소모를 최소화하는 것이다. 이

를 위해서 에너지 소비 요인들을 먼저 분석해야 하는데, 앞 절에 살펴 보았던 바와 같이 비활성화 상태에서의 Listening, 충돌, 제어 패킷의 부하, overhearing 등을 들 수 있다. 이러한 에너지 소비 요인을 줄이기 위해서 비활성화 상태에서의 주기적인 신호감지 및 sleep 모드 변이 및 충돌/ overhearing 회피 기법들이 필요하다.

1) 신호감지기법

이더넷과 같은 CSMA/CD(Carrier Sense Multiple Access / Carrier Detection)기법을 사용하는 프로토콜을 신호감지 기법의 한 예라 할 수 있다. 신호감지 기법은 모든 노드들이 미디어를 동시에 들을 수 있을 경우 매우 효과적인 방식이다.[6]

무선 센서 네트워크에서도 이 방식을 채택하고 있으나 유선 네트워크에서와는 차이가 있는데, 신호 감지를 하는 것 자체가 무선 인터페이스를 통한 전력 손실을 가져오게 된다. 그러므로 에너지 소비를 줄이기 위하여 센서 네트워크에서는 신호감지 시간을 최소한을 줄이는 기법이 필요하다.

또한 많은 센서 네트워크 응용에서 노드들은 장시간 센싱 이벤트가 발생하지 않는 비활성화 상태에 머물게 된다. 일반적으로 이러한 비활성화 상태 구간이 길기 때문에 노드들은 항상 신호감지 상태로 있을 필요가 없으며, 이때 Sleep 상태로 전이하는 것이 필요하다.

각 노드들은 특정 시간동안 sleep 상태로 전이되며, 다른 노드와 통신하고자 할 때 깨어나고 신호감지 상태로 전이된다. sleep 구간동안 노드는 통신 인터페이스를 끄고 타이머를 설정하게 된다. 신호감지 구간과 sleep 시간은 응용시나리오에 따라 달라지게 된다.

또한 제어 패킷의 부하를 줄이기위해서, 이웃 노드들간의 가상 동기화 기법을 채택하였다. 즉, 주변 노드들이 동시에 신호감지 상태와 sleep 상태로 전이하도록 하여, multi-hop network에서 주변 노드들간의 동기화가 이루어지도록 구성하였다.

노드들은 자신의 스케줄러를 브로드캐스팅 함으로써 주변 노드들과 동기를 이루며, 다른 스케줄러를 가지지 있지 않은 주변 노드들과 통신을 이룰 수 있다.

2) 가상 클러스터 구성 및 동기화

신호감지 및 sleep 기법을 효과적으로 구현하기 위해서는 이웃 노드들과의 동기화 기법이 필요하다. 이를 위해 스케줄러를 업데이트 해야 하며, 이는 주기적으로 동기화 메시지를 보내는 것으로 이루어지게 된다. 동기화 메시지는 송신자의 주소와 다음 sleep 시간을 포함하는 짧은 패킷으로 구성되며, 이때 다음 sleep 시간은 해당 노드 타이머의 상대적인 값으로 설정한다. 이를 받은 수신 노드들은 자신의 타이머를 이 시간으로 동기화하게 된다.

3) 충돌회피 기법

동시에 여러 노드에서 데이터를 송신하고자 하는 경우가 발생할 수 있기 때문에 이때, 미디어의 충돌을 회피할 기법들이 필요하게 되며, 이를 충돌회피 기법이라고 한다. 경쟁기반의 프로토콜로는 IEEE 802.11 이 충돌 회피기법에서 좋은 성능을 보인다. IEEE 802.11 에서는 RTS/CTS 교환 기법을 사용하는데, 이에 추가적으로 센서 네트워크에서는 미디어를 두가지 레이어로 분류하여 물리계층 신호감지와 가상계층 신호감지 두가지로 분류하였다.

먼저 이를 구현하기위해서는 데이터 패킷에 전체 전송 패킷의 길이를 지정하는 추가 필드를 필요하다. 그래서 만약 노드가 패킷을 수신하면 그것의 길이가 얼마나 길며, 어느 시간동안 상태를 조용히 유지해야 하는지 파악할 수 있게 하였다. 각 노드는 이를 로컬 변수로 기록해 놓으며 이에 관한 타이머를 추가로 세팅해 놓는다.

만약 노드가 보낼 데이터가 있을 경우, 먼저 로컬 변수 값이 0 인지 검사한 후 0 이 아니면 매체가 아직 다른 노드에 의해 사용중인 상태로 인식하고 전송을 미룬다. 이러한 과정은 실제 무선 인터페이스의 신호 감지 없이 논리적으로만 일어나는 과정이며 이를 가상계층 신호감지라 정의한다. 물리계층 신호감지는 전송이 가능한지 실제 물리 계층의 신호를 감지함으로써 수행된다.

5. 결론

지금까지 무선 센서 네트워크의 특징과 이러한 특징을 반영한 미디어 액세스 처리기법에 대해서 살펴 보았다. 무선 센서 네트워크는 전형적인 유/무선 네트워크와는 성능이나 규모, 그 활용 분야에 있어서 많은 차이를 가지고 있으며, 이러한 특징을 고려한 네트워크 프로토콜의 설계가 요구된다.

무선 센서 네트워크에 적합한 미디어 액세스 처리 기법은 에너지 소모를 최소화하고, 노드들간 위상 변화가 발생하였을 경우 이에 유연하게 대처할 수 있어야 한다. 이에 본 고에서는 이러한 에너지 소모를 일으키는 원인들에 대해서 분석하고 이를 최소화하기 위한 기법들에 대해서 제안하였다. 추후 참조 모델을 이용한 실험환경 구현 및 프로토콜 개발을 통하여 실제 무선 센서 네트워크 환경에서의 적합성 여부를 실험할 것이다.

참고문헌

- [1] LAN MAN Standards Committee of the IEEE Computer Society, Wireless LAN Medium Access Control and Physical Layer Specification, IEEE, 1997
- [2] ANSI/IEEE Std 802.11 1999 Edition
- [3] Bluetooth, <http://www.bluetooth.com>
- [4] Charlermek Intanagonwivat, "Directed diffusion" A scalable and robust communication paradigm for sensor networks" in proceeding of the ACM/IEEE International Conference on Mofile Computing and Networking, 2000
- [5] John Heidemann, "Building efficient wireless sensor

- networks with low-level naming" in proceeding of Symposium on Operating Systems Principles, 2001
- [6] T.J. Shepard. "A channel access scheme for large dense packet radio networks", In Computer Networks, 1980