

센서 네트워크의 TDMA기반 MAC 프로토콜을 위한 통신 시간 할당 알고리즘

예경욱^o 이승학 윤현수
한국과학기술원

{kwye^o, shlee, hyoon}@calab.kaist.ac.kr

Communication time slot assignment algorithm for TDMA based MAC protocol in Sensor Networks

Kyung Wook Ye^o, Seung Hak Lee and Hyun Soo Yoon

Korea Advanced Institute of Science and Technology

요 약

최근 센서 네트워크에 대한 필요성이 증대되면서 센서 기술과 통신 기술 등 센서 네트워크의 기반 기술에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 특히, 센서 네트워크에서 센서 노드의 수명은 센서의 배터리 전력량에 비례하므로 보다 적은 전력으로 통신을 수행하는 기술들에 관심이 집중되고 있다. 이러한 저전력 통신 프로토콜 가운데 대표적인 것이 시간 분할 다중 접속(TDMA) 기반 MAC 프로토콜이다. 지정된 시간에만 센서 노드의 통신 상태를 정지(sleep)상태에서 유휴(idle)상태로 변경하여 통신을 수행하므로 전력 소비를 최소화 시키는 기술이다. 그러나 이웃한 다른 센서들 간의 통신을 간섭하지 않기 위해 센서들은 통신시 서로 다른 주파수를 사용해야 한다. 이러한 제한 사항을 충족시키기 위해서는 센서 노드들이 다양한 주파수를 청취할 수 있어야 하며, 이는 센서 노드 생산시 제조단가의 증가와 직결되어 센서 네트워크의 상용화에 주요한 문제가 될 수 있다. 따라서 본 논문에서는 시간 분할 접속(TDMA) 기반 저전력 MAC 프로토콜에서 단일 주파수를 사용할 수 있도록 통신 시간(time slot)을 할당하는 알고리즘을 제안하고자 한다.

1. 서 론

현재까지 개발된 저전력 MAC 프로토콜들은 유휴(idle)상태의 통신 시간을 줄이므로 센서들의 배터리를 절약한다. 개발된 MAC 프로토콜은 크게 경쟁 기반 MAC 프로토콜(Contention based MAC protocol)과 시간 분할 다중 접속(TDMA based MAC protocol)로 구분된다. 이중 TDMA 기반 MAC 프로토콜은 통신을 수행하기 앞서 자신과 이웃한 노드를 발견해야 하고 동기화(synchronization) 과정을 거쳐, 통신을 수행해야 하는 지정된 시간에만 통신 상태를 정지상태에서 유휴상태로 변경하여 통신을 수행하고 나머지 시간은 정지상태로 통신상태를 변경하여 배터리의 전력량을 절약하는 방법이다. 그러나 TDMA 기반 MAC 프로토콜은 두 홉(hop)이상의 주변 센서와 통신시 충돌(collision)을 줄이기 위하여 임의의 주파수(frequency)를 할당하여 사용하는 주파수 분할 접속(FDMA)방식을 같이 사용한다. 이것은 곧 각각의 센서들이 다양한 주파수로 통신을 할 수 있도록 추가적인 하드웨어가 필요함을 의미하고 결국 센서 노드의 제조단가와 직결되

* 본 연구는 첨단정보기술 연구센터를 통하여 과학재단의 지원을 받았고 대학 IT연구센터 육성 지원사업의 연구결과로 수행되었음

어 센서 네트워크를 상용화 하는데 주요한 문제점이 될 수 있다.

본 논문에서는 이와 같은 문제점을 타개하고자 단일 주파수를 사용하면서 TDMA MAC 프로토콜에서 원활한 통신을 수행할 수 있도록 센서들 간의 통신 시간을 할당하는 알고리즘을 제안하고자 한다. 2장에서는 센서 네트워크 분야에서 기존의 연구되었던 MAC프로토콜을 설명하고 문제점을 분석하며, 3장에서는 제안하는 통신 시간을 할당하는 알고리즘에 대하여 설명할 것이다. 4장에서 결론을 맺고 향후 연구 과제에 대하여 언급하겠다.

2. 관련 연구

2.1 S-MAC(Sensor - Medium Access Control) [1]

경쟁(Contention) 기반 MAC 프로토콜 중 대표적인 S-MAC은 주기적으로 유휴상태와 정지상태를 반복하다 이웃한 센서 노드가 유휴상태 일 때 관측한 결과를 보내는 방식으로, 관측 결과를 이웃한 센서 노드에게 보내기 전에 반송파 검출(carrier sensing)을 수행하고 미디어를 점유하여 관측 결과를 전송하는 방식이다. 따라서 이웃한 센서 노드들이 같은 시간에 관측 결과를

보내려 할 때 미디어를 점유하기 위한 경쟁이 발생하고 이는 충돌(collision)로 이어져 다시 관측 결과를 재전송하게 하므로 센서 노드의 배터리 전력량을 낭비할 가능성이 농후하다. 임의의 센서 노드의 이웃에 위치한 센서 노드들의 밀도가 높아지면 높아 질수록 더 많은 경쟁이 발생하고 이것은 더 많은 충돌을 유발시켜 패킷의 잦은 재전송을 발생시킨다. 그러므로 경쟁, 충돌, 재전송으로 이어지는 일련의 과정에서 더 많은 배터리 전력을 소모하게 되어 배터리 전력을 절약하려는 소기의 목적을 달성하기 어려울 수 있다.

2.2 SMACS(Self-Organizing Medium Access Control for Sensor Networks) [2]

TDMA 기반 프로토콜의 대표적인 것으로 SMACS를 들 수 있다. S-MAC과는 달리 SMACS는 이웃한 모든 센서 노드들과 할당된 시간에만 통신을 수행하고 다른 시간에는 통신 상태를 정지상태로 유지시켜 배터리의 전력량을 절약하는 기술이다. 따라서 SMACS는 통신을 수행하기 앞서 이웃한 센서들을 발견하는 노드발견(node discovery)과정과 두 센서 노드간의 동기를 맞추는 동기화(synchronization)과정을 수행한 후, 한 프레임(frame)내에 한 타임 슬롯(time slot)을 정하여 통신을 한다. 이와 같은 방식으로 각 센서 노드는 모든 주변 노드와 통신할 슬롯을 정하고 자신이 통신할 시간에만 유휴상태에서 주변 노드로 보낼 데이터가 있는지 확인하고 나머지 시간에는 정지상태를 유지하므로 전력을 절약한다. 또한 두 홉(hop)이상의 주변 센서와 통신시 충돌(collision)을 줄이기 위하여 임의의 주파수(frequency)를 할당하여 사용하는 주파수 분할 접속(FDMA)방식을 같이 사용한다.

두 센서 노드 A, B는 동기화를 위해 노드 A는 임의의 시간에 유휴 상태에서 주변 센서 노드가 존재하는 지를 기다린다. 일정한 시간 동안 기다린 후에 아무런 신호가 없으면 노드 A는 자신의 존재를 알리게 된다. 이때 노드 B가 유휴상태로 돌아가게 되면 노드 B는 노드 A의 존재를 알게 되고 노드 A와 B사이의 타임 슬롯을 할당하기 위한 일련의 과정이 시작된다. 먼저 노드 B는 자신이 사용할 수 있는 비어있는 타임 슬롯들을 A에게 알려 주고 노드 A는 자신이 사용할 수 있는 비어있는 슬롯들과 비교해서 통신이 가능한 슬롯과 임의의 주파수를 노드 B에게 알려줌으로 특정한 타임 슬롯에 임의의 주파수로 통신 하는 것이다. 즉 이웃(one hop)에 존재하는 센서 노드간에는 TDMA 방식을 통하여 충돌을 방지하고 두 홉 상의 경우에는 FDMA 방식을 사용함으로써 충돌을 방지하는 것이다. 이러한 SMACS는 미리 주변 노드들과 특정한 시간을 정해두고 통신을 수행하기 때문에 센서들이 움직이는 환경에서는 계속해서 주변 노드를 발견하고 통신시간을 할당해야 하는 일이 발생하므로 이동성(Mobility)이 있는 환경에서 TDMA 기반 프로토콜은 부적당하다고 말할 수 있다.

이에 더하여 실제 센서 노드가 다양한 주파수를 청취하려면 센서 노드에 부가적인 하드웨어가 필요하고 이것은 센서 노드의 생산 단가를 높이는 결정적인 요인이 될 수 있다. 수백 개 혹은 수천 개로 이루어진 센서 네트워크를 고려할 때, 센서의 제조단가의 상승으로 인한 센서 네트워크의 상용화가 현실적으로 불가능할 수 있다.

3. 제안 통신 시간 할당 알고리즘

본 장에서는 제안하는 통신 시간 할당 알고리즘에 대하여 설명한다.

3.1 노드 발견(Node discovery)의 가정

본 논문에서는 임의의 센서 노드가 한 프레임 내에 적어도 한번 이상 모든 이웃한 센서 노드를 만난다고 가정한다. 이러한 가정은 비현실적인 가정이 아니다. Rong Zheng과 Jennifer C.의 연구[3]에 의하면 하나의 센서 노드가 유휴상태와 정지상태를 반복하면서 한 프레임내에 적어도 한 번 이상 임의의 두 센서 노드가 서로를 발견할 수 있도록 유휴상태와 정지상태를 조합하는 일련의 반복 패턴을 만들 수 있다. 혹은 모든 노드들이 한 프레임의 50%를 약간 넘게 유휴상태를 유지하면 한 프레임내에 적어도 한 번 이상 모든 이웃한 센서 노드를 발견하게 만들 수도 있다. 그 외에도 한 프레임내에 이웃하고 있는 센서 노드를 발견하는 알고리즘은 다수 존재한다.

3.2 통신 시간 할당 알고리즘

임의의 센서 노드들은 노드 발견과정을 통해 이웃 노드들을 발견하게 되고 통신 스케줄을 정하게 된다. 발견된 이웃한 센서 노드들 중에서 특정한 하나의 센서 노드와 스케줄을 정하게 되는데, 스케줄을 맺는 두 센서 노드는 각각의 이웃 노드에 속하는 모든 센서 노드들의 통신 스케줄을 조사하고 종합하여 이웃 노드들이 사용하는 통신 시간과 다른 통신 시간을 할당하여 충돌을 막는 것이다.

3.3 통신 시간 할당의 예

아래 그림1. 과 같은 토폴로지(topology)가 있다고 가정해 보자. 그림에서 간선(edge)는 각 노드로부터 도달할 수 있는 이웃 노드들의 범위를 나타낸다. 일례로 센서 노드 D의 경우 노드 A,B,C,E,F,G가 이웃 노드들인 것이다.

단일 주파수를 사용하면서 센서들 간에 타임슬롯을 할당 하기 위해서는 통신에 참여하는 각 센서들로부터 이웃 노드들의 통신 스케줄을 알고 사용하지 않는 슬롯을 할당해야 한다. 아래 그림1.에서 센서 노드 A와 B가 서로를 발견하여 스케줄을 맺는다고 가정해 보자.

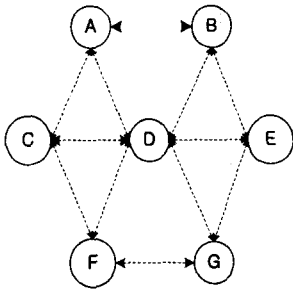


그림 1. 센서 노드간의 발견 및 통신 시간 할당

기본적으로 모든 센서 노드들은 노드 발견 알고리즘에 의해서 정지상태와 유휴상태를 반복한다. 센서 노드가 정지 상태에서 유휴 상태로 통신 상태를 변경하였을 때에 센서 노드가 주변의 이웃 노드들에게 자신의 존재를 알린다. 센서 노드 A가 정지 상태에서 유휴 상태로 통신 상태가 변경 되었을 때 노드 A는 자신의 존재를 모든 이웃 노드들에게 알리고 다른 센서 노드들로부터 명령을 기다린다. 다른 센서 노드들로부터 특별한 명령이 없다면 노드 A는 통신에 참여하라는 메시지를 이웃한 모든 노드들에게 발신한다. 이 때 노드 B와 D가 유휴상태라면 노드 B와 D는 통신에 참여하겠다는 의미의 메시지를 A에게 보낸다. 노드 B와 D로부터 통신에 참여하겠다는 메시지를 받은 노드 A는 B와 D중에서 한 노드만 선택하여 고유의 우선순위(Priority)를 할당한 다음 선택한 노드에게 이웃한 노드들의 타임 스케줄을 보고하라는 메시지를 전송한다. 노드 B가 A로부터 선택되었다고 하자. 노드 B는 A로부터 이웃한 노드들의 스케줄을 수집하라는 명령을 받았기 때문에 노드 B는 이웃한 모든 노드들의 스케줄을 알기 위해서 스케줄을 보고하라는 메시지를 이웃 노드들에게 전송하고 한 프레임동안 유휴상태를 유지한다. 가정에서 한 프레임동안 모든 이웃한 센서 노드들을 적어도 한번 이상 만난다고 가정했기 때문이다. 센서 노드 B가 이웃한 모든 노드들에게 스케줄을 보고하라는 메시지를 전송하였을 때 B와 이웃한 센서 노드들 중 유휴 상태인 센서 노드들이 있다면 해당 센서 노드들은 자신의 타임 스케줄을 센서 노드 B에게 알려줄 것이다. 하지만 임의의 센서 노드들은 유휴상태와 정지상태를 반복할 수 있다. 즉 B와 이웃한 센서 노드가 정지 상태에 있어서 B가 발신한 스케줄을 보고하라는 메시지를 듣지 못할 수 있다. 그러나 센서 노드들이 정지 상태에서 유휴 상태로 자신의 통신 상태를 변경할 때 센서 노드들은 자신의 존재를 이웃한 모든 노드들에게 알리게 된다. 따라서 센서 노드 B가 한 프레임동안 깨어 있고 정지 상태에서 유휴 상태로 통신 상태가 변경된 센서 노드가 자신의 존재를 알리게 되면 센서 노드 B는 이를 수신하게 되고 다시 유휴 상태로 변경된 센서 노드에게 스케줄을 보고할 것을 명령하게 된다. 이와 같은 방법으로 센서 노드 B는 이웃한 모든 노드 A,D,E의 타임 스케줄을 얻게 되고 이를 A에게 전송한

다. 유사한 방법으로 스케줄을 갖는 또 다른 한편인 A 역시 자신과 이웃한 모든 노드들에게 스케줄을 보고하라고 명령하게 되고 수신된 스케줄들을 종합하여, 겹치지 않는 타임 슬롯을 할당하게 되는 것이다.

본 논문에서 주장하는 알고리즘은 노드를 발견하고 통신 스케줄을 갖는 과정이 중앙 집중된 (Centralized) 방식이 아니라 분산된(Decentralized) 방식으로 스케줄을 보고 하라는 요청이 두 개 이상의 센서 노드에서 동시에 다발적으로 발생하여도 요청 메시지에 할당된 고유의 우선순위에 따라 순차적으로 처리함으로 타임 슬롯의 겹침으로 인해 발생하는 통신의 오류는 근원적으로 막을 수 있다.

본 논문에서 주장하는 알고리즘은 기존의 TDMA 기반의 MAC 프로토콜이 가졌던 한계인 이동성문제에 대해서도 해결책을 줄 수 있다. 노드가 이동함으로 전체 네트워크의 토폴로지가 바뀌어도 센서들은 유휴상태와 정지상태를 반복하며 자신의 존재를 알리므로 자신의 이웃에 어떤 노드가 위치하고 있는지 알 수 있고 새로운 타임 슬롯을 할당함으로 이동성에 따른 문제를 해결할 수 있다.

4. 결론 및 향후 연구 과제

본 논문에서는 TDMA 기반 저전력 MAC 프로토콜에서 단일 주파수를 사용하기 위한 시간 할당 알고리즘을 제안하였다. 본 논문에서 제안한 알고리즘을 통하여 센서 노드들에 추가되는 하드웨어 문제를 극복할 수 있었고 기존 TDMA 기반 저전력 MAC 프로토콜의 약점인 이동성 문제 역시 해결 할 수 있었다.

향후 연구 과제로써 제안한 알고리즘을 시뮬레이션을 통한 성능 평가와 함께 실제 센서에서의 성능을 측정할 예정이다.

5. 참고 문헌

- [1] Wei Ye, John Heidemann, Deborah Estrin, "An Energy-Efficient MAC Protocol for Wireless Sensor Networks" INFOCOM 2002.
- [2] K.Sohrabi et al., "Protocols for Self-Organization of a Wireless Sensor Network", IEEE Pers. Commun., pp.16-27, Oct, 2000
- [3] Rong Zheng, Jennifer C. Hou, Lui Sha, "Asynchronous Wakeup for Power Management in Ad Hoc Networks" MobiHoc2003
- [4] Mark Stemm and Randy H. Katz, "Measuring and reducing energy consumption of network interfaces in han-held devices," IEICE Transactions on Communications, vol. E80-B, no. 8. pp. 1125-1131. Aug. 1997
- [5] L. Li, J. Y. Halpern, "Minimum-Energy Mobile Wireless Networks Revisited," ICC '01, Helsinki, Finland, June 2001.