

센서 네트워크에서 위치 정보를 이용한 저전력 MAC 프로토콜*

이승학[○] 신광욱 윤현수 마중수**
한국과학기술원, 한국정보통신대학교**

{shlee[○], kwshin, hyoon}calab.kaist.ac.kr, jsma@icu.ac.kr**

Energy Efficient MAC Protocol Using Geographic Information in Sensor Networks

Seung Hak Lee[○], Kwangwook Shin, Hyunsoo Yoon, and Joong Soo Ma*

Korea Advanced Institute of Science and Technology, Information and Communication University*

요 약

센서 기술과 통신 기술의 발달로 센서 네트워크에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 센서 노드는 주변환경을 관찰하고 그 결과를 센서 노드로 이루어진 네트워크를 통하여 사용자에게 전달 한다. 센서 네트워크는 특정 기반 구조 없이 수행 되어야 하기 때문에 데이터의 전달이 애드혹 네트워크에서의 라우팅 기법과 비슷하다. 하지만 센서 노드는 배터리 전력량에 의하여 수명이 결정되기 때문에 전력 소비를 줄이는 것이 매우 중요한 문제이다. 본 논문에서는 센서 노드의 위치에 따라 통신 상태를 유휴(idle) 상태에서 정지(sleep)상태로 변경하는 방법으로 전력 소비를 줄이는 MAC 프로토콜을 제안한다.

1. 서 론

센서 기술과 통신 기술의 발달로 인하여 센서 네트워크(sensor networks)에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 센서 노드(node)는 주변환경의 변화를 탐지하여 그 결과를 저장하게 된다. 이때, 여러 개의 센서 노드가 탐지된 결과를 주고 받으며 정보를 원하는 사용자에게 전달한다. 이러한 센서 네트워크는 의료 시스템, 침입 탐지, 환경 모니터링 시스템 등 다양한 분야에 응용 가능하다.

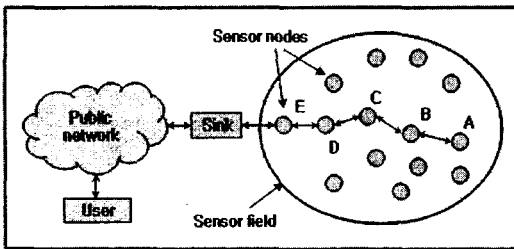
넓은 지역에 분포된 센서 노드 사이의 통신은 애드혹 네트워크(ad-hoc networks)에서와 같이 특정 기반 구조(infrastructure)없이 수행되어야 하며 센서 노드 사이에

노드들을 통하여 다중 홉으로 싱크 노드로 전달 된다. 다음 그림 1. 에서는 센서 네트워크의 구조를 보여주고 있다.

센서 노드 A는 특정 사건이 발생하면 그 정보를 센서 노드 B에게 전달하고, 다시 센서 노드 C, D, E를 통하여 전달 되어 싱크 노드까지 전달된다. 싱크 노드는 인터넷과 같은 공중망(public network)을 통하여 사용자에게 정보를 전달하게 된다. 이 경우 센서 네트워크의 노드들은 싱크 노드로 가는 경로를 찾고 유지 해야 한다. 감지 지역에 센서 노드는 그 환경에 따라 이동할 수도 있으며, 수명을 다하여 사라지기도 하며, 새로운 센서 노드가 추가 되기도 하기 때문에 네트워크 토폴로지(topology)가 동적으로 변하게 된다. 따라서 이러한 환경은 애드혹 네트워크와 유사하다.

애드혹 네트워크에서는 패킷(packet) 전달 처리량의 최대화 혹은 패킷의 전달 시 지연시간(delay) 최소화가 중요한 문제가 된다. 하지만 센서 네트워크에서는 센서 노드의 효율적인 전력 소비가 가장 중요한 문제이다. 센서 네트워크는 넓은 지역에 많은 센서가 분포되며 오랜 시간 동안 그 지역을 감지하게 된다. 분포된 센서를 다시 수거하는 것은 불가능하기 때문에 센서의 수명은 자신이 가지고 있는 배터리의 전력량(battery power)과 같다고 볼 수 있다. 따라서 센서 네트워크에서의 가장 중요한 문제는 최대한 센서 노드의 전력 소비를 줄여 전체 네트워크의 수명을 늘이는 것이다.

센서 노드간의 통신에서 전력 소비를 줄일 수 있는 가장 효과적인 방법은 유휴(idle) 상태의 통신 시간을 줄이는 것이다. Stemm과 Katz의 연구[1]에 의하면 유휴(idle):수신(receive):송신(send)의 전력 소비 비율은 1:1.05:1.4로 측정되었다. 즉, 유휴 상태에서 소비하는 전력은 패킷의 수신 때와 큰 차이가 없다는 것을 알 수 있다. 센서 네트워크에서 데이터 전송은 특정 사건의 발생시에만 일어나기 때문에 각각의 노드는 대부분 유휴 상태에 있게 된다. 따라서 유휴 상태에서 센서 노드는 통신을 정지(sleep) 상태로 두는 것이 가장 효율적인 방법이다. 하지만 주변의 새로운 센서 노드를



중 홉 라우팅(multi-hop routing)을 필요로 한다. 또한 센서 노드는 주변의 센서 노드를 찾아야 하고 미디어를 같이 사용하기 위한 MAC 프로토콜(MAC protocol)도 필요하다.

그림 1. Sensor Network Architecture

센서 네트워크는 탐지 하고자 하는 감지 지역(sensor field)과 센서 노드, 탐지된 결과를 전달 받는 싱크 노드(sink node)로 이루어 진다. 센서 노드가 탐지한 결과는 다른 센서

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

찾고, 송신을 원하는 센서 노드와 통신을 하기 위해서 모든 센서 노드는 주기적으로 유휴 상태에 있어야 한다.[5]

센서 노드가 유휴 상태 있는 경우 주변 노드를 발견할 수 있게 된다. 주변의 센서 노드를 찾게 되면 두 노드 사이에 통신할 시간의 동기를 맞추고 정해진 시간에만 유휴 상태에 있음으로 전력 소비를 줄이는 것이 가능하다.

센서 노드에 의해 감지된 데이터는 데이터 발생의 위치 정보가 같이 필요한 경우가 대부분이기 때문에 센서 노드는 일반적으로 자신의 위치 정보를 GPS, Cricket Compass[2] 등과 같은 외부 시스템의 도움으로 알고 있게 된다. 따라서 많은 경우 센서 네트워크의 연구에서 위치 정보 시스템(location finding system)의 도움을 얻어 센서 노드는 자신의 위치 정보를 알고 있다는 것을 가정하고 있다. [3][4]

본 논문에서는 센서 노드는 자신의 위치를 알고 있다는 가정하에 위치 정보를 통하여 유휴 상태와 정지 상태를 결정하고 이를 이용하여 주변 센서 노드를 찾고 동기를 맞추는 MAC 프로토콜을 제안할 것이다. 2장에서는 센서 네트워크 분야에서 기존의 연구되었던 MAC 프로토콜을 설명하고 그 문제점을 분석하며, 3장에서는 제안하는 프로토콜에 대하여 설명 할 것이다. 4장에서 결론을 맺고 향후 연구 과제에 대하여 언급하겠다.

2. 관련 연구

SMACS (Self-Organizing Medium Access Control for Sensor Networks) [6]

SMACS는 시간 분할 다중 접속(TDMA) 기반의 MAC 프로토콜이다. 데이터 전송을 위해 두 센서 노드는 서로 동기화(synchronization)하고 프레임(frame)내의 한 타임 슬롯(time slot)을 정하여 통신을 한다. 각 센서 노드는 모든 주변 노드와 통신할 슬롯을 정한다. 센서 노드는 자신이 통신할 시간에만 유휴 상태에서 주변 노드가 보낼 데이터가 있는지 살펴보고 나머지 시간에는 정지 상태에서 전력 소비를 줄인다. 또한 두 홉(hop) 이상의 주변 센서와 통신 충돌(contention)을 줄이기 위하여 두 센서 사이의 통신은 임의의 주파수(random frequency)를 사용하는 주파수 분할 다중 접속(FDMA) 방식을 같이 사용한다.

두 센서 노드 A, B 간의 동기화를 위해 노드 A는 임의의 시간에 유휴 상태에서 주변 센서 노드가 있는지를 기다린다. 만약 특정 시간 동안 아무도 신호를 보내지 않으면 자신의 존재를 주변에 알린다. 이때 노드 B가 우연히 유휴 상태에 들어갔다면, 노드 A의 존재를 알게 된다. 노드 B는 자신의 프레임에서 비어있는 슬롯을 센서 노드 A에게 알린다. 이것을 받은 노드 A는 노드 B가 보낸 슬롯 중 자신과 통신 가능한 슬롯을 하나 선택하고 임의의 주파수를 선택하여 응답한다. 이것으로 두 센서 노드는 동기화 되고, 정해진 타임 슬롯에 정해진 주파수를 통하여 통신을 한다. 한 홉에 존재하는 노드들 간의 통신은 TDMA 방식을 통하여 충돌을 방지하고, 두 홉 이상 노드들과의 충돌은 임의의 주파수를 선택함으로써 방지 할 수 있다. 다음 그림 2. 에서 SMACS의 동기화 과정을 설명하고 있다.

그림 2. 에서 (a)는 임의의 센서 네트워크 토폴로지를 나타낸다. 센서 노드 A와 B, C와 D사이의 동기화 과정은 (b)에서 설명하고 있다. 우선 노드 A와 B는 노드 발견(node discovery)과정을 통하여 서로를 발견하게 된다. 이때 앞에서 설명한 타임 슬롯과 주파수가 정해지고, 두 센서 노드는 T_{time} 내의 t_x 에 f_x 의 주파수로 통신을 한다. 이때, 센서 노드

B와 C가 정한 시간 t_y 와 t_x 가 겹치게 된다고 해도 임의로 정해진 f_x 와 f_y 는 다르기 때문에 서로의 통신에 영향을 주지 않게 된다.

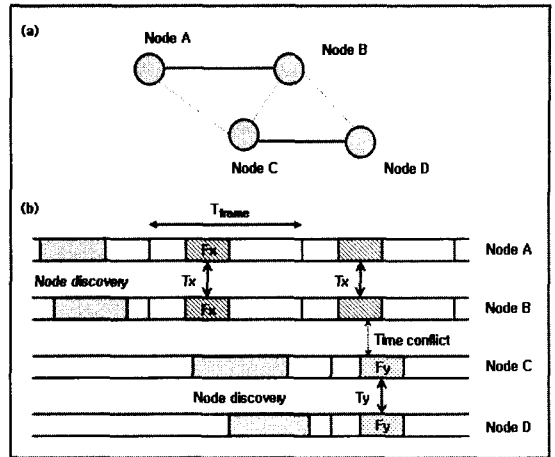


그림 2. SMACS의 센서 노드 동기화

SMACS 프로토콜은 간단하면서도 효율적인 통신 방법을 제안하고 있다. 하지만 노드를 발견하는 과정에서 임의의 시간에 유휴 상태에서 주변 노드를 찾는 것은 발견 확률이 낮기 때문에 노드가 발견되는 시간이 매우 길어진다. 따라서 폴로지가 동적으로 변하는 경우 사용될 수 없는 단점이 있다.

3. 제안 MAC 프로토콜

본 장에서는 제안하는 MAC 프로토콜에 대하여 설명한다.

3.1 노드의 위치 정보(Geographic information)

본 논문에서는 센서가 외부 시스템의 도움으로 자신의 위치를 알고 시간도 동기화 되어 있다는 것을 가정한다. 센서 노드가 자신의 위치 정보를 알고 있으면 효율적으로 주변 센서 노드를 찾을 수 있게 된다. 기존 센서 네트워크를 위한 MAC 프로토콜 연구들은 노드 발견을 위하여 임의에 시간에 자신을 알리고 다른 노드의 존재를 찾는 방법을 사용하고 있다. 이런 방법에서는 두 센서 노드가 서로를 발견 하기 위해서는 같은 시간에 유휴 상태로 있어야 하기 때문에 노드의 발견 시간이 매우 길어진다.

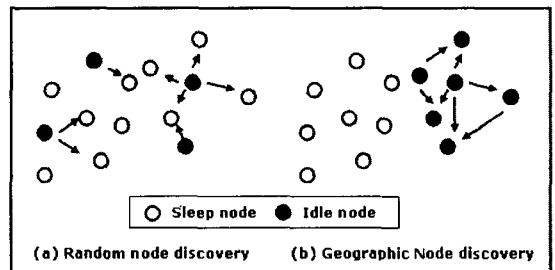


그림 3. 센서 노드간의 노드 발견

센서 노드가 자신의 위치 정보를 이용하여 통신 가능한 가까운 위치에 있는 센서 노드끼리 같은 시간에 유휴 상태에서 노드 발견 과정을 수행 함으로써 노드의 발견 시간을 단축시킬 수 있다. 그림 3. 에서 이것을 설명하고 있다.

그림 3의 (a)는 위치 정보 없이 임의의 시간에 노드를 찾는 그림이다. 이 경우 주변 노드와 같은 시간에 유휴 상태에서 서로를 찾을 확률은 매우 낮다. 하지만 그림 7의 (b)에서와 같이 가까운 위치에 존재하는 노드들이 같은 시간에 서로를 찾는 경우 빠르게 노드를 발견하게 된다.

3.2 가상 격자(Virtual grid)

가까운 위치에 존재하는 노드들이 동시에 일어나기 위해 특정한 지역을 가상으로 나누는 것이 필요하다. 센서의 감시 지역을 2차원 평면으로 가정하고 그 위에 연속하는 격자를 그릴 수 있다. 이렇게 가상으로 격자를 만들면 센서 노드는 자신의 위치를 통하여 자신이 속한 격자를 알 수 있다.

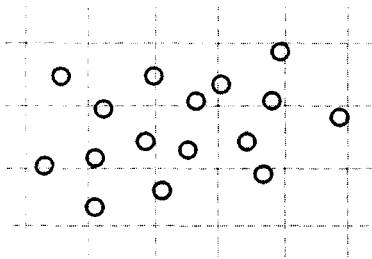


그림 4. Virtual grid

격자의 크기는 하나의 격자 안에 속한 모든 센서 노드는 인접하지 않은 격자의 센서 노드와 통신이 가능하지 않도록 설정해야 한다. 센서 노드의 통신 거리를 R이라고 하면 격자는 $R \times R$ 정사각형이 된다.

3.3 노드 발견(Node discovery) 프로토콜

같은 격자에 속한 노드가 같은 시간에 일어나게 하기 위해서는 격자마다 ID를 부여하고 이를 시간에 대응하는 해쉬 함수(hash function)를 사용하면 된다. 자신의 위치를 알면 자신의 속한 격자 ID를 알게 되고, 이것을 가지고 모든 센서 노드가 공통으로 가지고 있는 해쉬 함수를 이용하여 자신이 일어나야 할 시간을 결정한다. 해당 시간에 모두 일어난 센서 노드들은 자신의 존재를 주위에 알리게 된다. 이때 통신 충돌을 피하기 위해 다시 노드 발견 기간(node discovery interval)기간을 시간 분할하고 임의의 순서에 자신의 위치를 주위에 알린다.

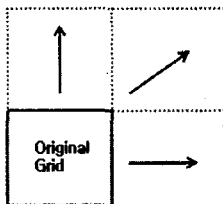


그림 5. Extension of Grid

앞에서 설명한 노드 발견 프로토콜은 같은 격자 내에 속한 센서 노드만을 발견하게 된다. 따라서 인접한 격자 간에 센서 노드를 발견 할 수 있도록 해야 한다. 이것은 같은 시간에 일어나는 격자의 범위를 키우고 중첩시킴으로써 해결할 수 있다. 그림 5. 예와 같이 동시에 일어나는 센서 노드의 범위가 중첩된다.

즉, 해당 격자의 노드 발견 기간에 확장된 격자에 속한 주변 센서 노드도 동시에 일어나서 노드 발견 과정을 수행하면 센서 네트워크의 모든 발견 가능한 센서는 서로를 찾게 된다. 위치 정보를 이용한 노드 발견 과정은 긴 주기를 가지고 수행하여도 발견 시간이 매우 빠르기 때문에 동적 네트워크 토폴로지에도 적용될 수 있다.

3.4 링크 설정(link setup) 과정

두 노드가 서로를 발견하고 서로의 위치를 알게 되면 두 노드는 같은 정보를 갖게 된다. 즉, 두 노드의 위치를 같이 알게 된다. 이 정보를 가지고 추가적인 통신 없이 링크 설정을 수행 할 수 있다. 두 노드의 좌표를 가지고 해쉬 함수를 적용하면 공통된 값을 가지게 된다. 이 값으로 SMACS에서의 TDMA 슬롯과 FDMA 주파수를 얻어 링크 설정에 필요한 통신량을 줄일 수 있게 된다.

4. 결론 및 향후 연구 과제

본 논문에서는 위치 정보(location information)을 이용하여 노드 발견에 필요한 전력 소비를 최소화 하며, 링크 설정에도 최소한의 전력만을 사용하는 MAC 프로토콜을 제안하였다.

향후 연구 과제로써 제안한 MAC 프로토콜을 시뮬레이션을 통한 성능 평가와 실제 센서에 구현을 통하여 실험을 할 계획이다.

참고 문헌

- [1] Mark Stemm and Randy H Katz, "Measuring and reducing energy consumption of network interfaces in hand-held devices," IEICE Transactions on Communications, vol. E80-B, no. 8, pp. 1125-1131, Aug. 1997.
- [2] Nissanka B. Priyantha, Allen K.L. Miu, Hari Balakrishnan, and Seth Teller, "The Cricket Compass for Context-Aware Mobile Applications," Mobicom 2001.
- [3] L. Li, J. Y. Halpern, "Minimum-Energy Mobile Wireless Networks Revisited," ICC '01, Helsinki, Finland, June 2001.
- [4] Y. Xu, J. Heidemann and D. Estrin, "Geography-informed energy conservation for ad hoc routing," MobiCom 2001, Rome, Italy, pp. 70-84, July 2001.
- [5] Wei Ye, John Heidemann, Deborah Estrin, "An Energy-Efficient MAC Protocol for Wireless Sensor Networks," INFOCOM 2002.
- [6] K. Sohrabi et al., "Protocols for Self-Organization of a Wireless Sensor Network," IEEE Pers. Commun., pp. 16-27, Oct. 2000.