

무선 센서 네트워크의 라이프타임

증가를 위한 연구§

조원근* 유대훈* 최웅철* 정광수** 이승형**

광운대학교 컴퓨터과학과* 광운대학교 전자정보공학부**

falltrap@cs.kw.ac.kr^o, wchoi@daisy.kw.ac.kr, {kchung, rhee}@kw.ac.kr

Increment Lifetime in Wireless Sensor Network

WonGeun Jo^o* WoongChul Choi*, SeungHyong Rhee**, KwangSue Chung**

Department of Computer Science, KwangWoon University*

Department of Electronics Engineering, KwangWoon University**

요 약

센서 네트워크를 구성하는 센서 노드는 제한된 용량의 배터리를 가지고 동작한다. 이러한 센서 노드들은 배터리의 양에 따라 수명이 결정되게 되므로 배터리의 효율을 높이는 것이 센서 네트워크의 중요한 고려사항 중의 하나이다. 따라서 현재 배터리의 효율을 높이기 위해 에너지 효율적인 라우팅 알고리즘들이 많이 발표되고 있다. 하지만 센서 네트워크에서는 센싱 된 데이터가 베이스 스테이션으로 집중되기 때문에 베이스 스테이션 주변의 노드들은 주변 노드들이 전달하는 데이터를 베이스 스테이션으로 보내기 위해 다른 센서 노드들 보다 많은 에너지를 소비 하게 된다. 따라서 센서 네트워크의 토폴로지는 다른 무선 네트워크와 다르게 설계되어야 한다. 본 논문에서는 센서 네트워크의 라이프 타임을 높이기 위한 토폴로지의 형태를 제안하며, 제안된 토폴로지에 맞는 라우팅 방법들에 대하여 얘기 한다.

1. 서 론

최근 기술의 발달로 소형, 저전력, 저가, 다기능의 센서노드가 개발되고 있다. 이러한 센서노드는 여러 방면으로 활용될 가능성을 보이고 있다. 하지만 이러한 센서 노드들은 제한된 용량의 배터리를 가지고 동작하며, 배터리가 소진된 센서노드의 재충전이나 교환이 불가능 하므로 센서네트워크에서 각 센서 노드의 전력 문제는 매우 중요한 이슈가 되고 있다.

센서 네트워크 전체의 라이프타임을 늘이기 위해서는 각각의 센서 노드들의 수명 이외에 다른 요소들도 고려되어야 한다. 현재 다양한 방면으로 이러한 연구들이 많이 진행 되고 있다. MAC 레이어의 관점에서 에너지를 관리 하는 방법[1]이라든지, 에너지를 효율적인 라우팅 알고리즘 등이 연구 되고 있다. 특히 네트워크의 라이프타임을 늘이기 위해 많은 라우팅 알고리즘들이 연구 되고 있다. 센서 네트워크의 라우팅 알고리즘은 데이터중심 라우팅 프로토콜과 계층적 라우팅 프로토콜로 나누어 질수 있다. 데이터중심 라우팅 프로토콜의 대표적인 예로는 협상과 자원 적응에 의해 플러딩의 결함을 처리하기 위해 설계된 것으로, 센서 노드가 데이터에 대해 광고하고, 싱크로부터 요청을 기다리는 형태의 데이터 중심적 라우팅 기법인 SPIN[2], 싱크의 질의 방송에 기반을 둔 데이터 중심적 라우팅 기법으로 질의 유포 및 처리 응용에 적합한 Directed diffusion[3] 등이 있다. 그리고 계층적 라우팅 프로토콜에는 클러스터링 기반 라우팅 기법으로, 클러스터 헤드가 클러스터의 멤버 노드들로부터 데이터를 수집하여 "데이터 휴전"을 통

해 데이터를 모아서 직접 싱크로 전달하는 LEACH[4], 센서 노드들이 주기적으로 전송할 데이터를 가지지 않는다는 점을 제외하고, LEACH와 유사하게 동작하는 TEEN[5]등이 있다. 하지만 이러한 라우팅 프로토콜의 경우 베이스 스테이션 주변의 노드들은 자신이 센싱한 데이터의 전송 이외에 주변의 다른 노드로부터 수신된 데이터를 베이스 스테이션으로 전송해야 하기 때문에 다른 노드들 보다 에너지의 소모량이 많아지게 되어 다른 노드들에 비해 수명이 짧아지게 된다. 이러한 베이스 스테이션 주변의 노드들이 수명을 다하게 되면 베이스 스테이션으로 데이터를 전송 할 수 없기 때문에 센서 네트워크의 수명이 다하게 된다. 따라서 본 논문에서는 이러한 경우를 최소화 할 수 있는 토폴로지를 제안하고 이에 맞는 라우팅 알고리즘에 대해 얘기한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 관련 연구로서, 제안된 몇 개의 라우팅 프로토콜을 소개 하고, 3절에서는 센서 네트워크 전체의 라이프 타임을 늘이기 위한 토폴로지의 구성에 대해 설명하고, 이에 맞는 라우팅 프로토콜에 대해 얘기 한다. 마지막으로 4절에서 결론을 맺는다.

2. 관련 연구

2.1 데이터중심 라우팅 프로토콜

SPIN은 ADV, REQ, DATA 등의 세 가지 메시지를 가진다. 센서 노드는 메타 데이터를 가지는 ADV 메시지를 방송한다. ADV의 메시지를 수신한 이웃 노드가, 데이터에 대한 관심을 가지고 REQ 메시지를 전송하면, 해당 이웃 노드를 위한 DATA 메시지를 전송한다. 결과적으로, 전체 센서 네트워크에서 해당 데이터에 관심 있는 센서 노드들은 데이터에 대한 사본을 얻게 된다.

SPIN은 가까이 있는 노드들이 유사한 데이터를 가지는 속성

§ 본연구는 한국과학재단 특정기초연구 [R01 - 2002 - 000 - 10934 -0 (2005)]의 지원에 의해 수행되었음.

을 활용하여, 다른 노드가 가지지 않는 데이터만을 분배하도록 한다. 또한, 사전적으로 동작하여, 사용자가 데이터를 요청하지 않은 경우에도 네트워크 전체에 정보를 분산시킨다. 그림1은 SPIN의 단계들을 요약한다.

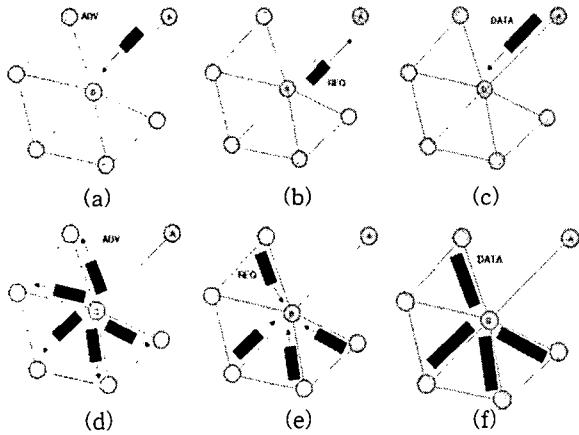


그림 1 SPIN의 단계들의 요약

Directed diffusion에서 해당 응용에 대한 질의는 속성과 값의 쌍으로 구성되는 interest로 표현된다. Interest는 싱크에서 시작되어 네트워크 전체에 유포되고, 데이터 요청 노드로 질의에 부합하는 데이터를 전송하기 위한 경사(gradient)가 설정된다. 이때, 데이터는 다중 경로를 통해 요청 노드로 전송된다. 더 이상의 플러딩을 막기 위해 경로들 중 전송 품질이 좋은 몇 개의 경로들이 강화(reinforcement)되어, 강화된 경로를 통해 데이터 전송이 이루어진다. Directed diffusion의 이러한 정보 검색 방법은 요청 노드가 일정 기간 동안 질의에 부합하는 데이터를 요구하는 지속성 질의(persistent query)에 적합하다. 그러나, 경로를 단지 한번만 사용하는 형태의 질의에는 적합하지 않은 특성을 가진다. 또한, 이 프로토콜에서는 전송 경로의 중간 노드에서 데이터가 모아지므로 인접 노드들이 유사한 데이터를 가지는 센서 네트워크의 특성을 완전하게 이용하지 못한다. 그림 2는 Directed Diffusion 프로토콜을 요약한다.

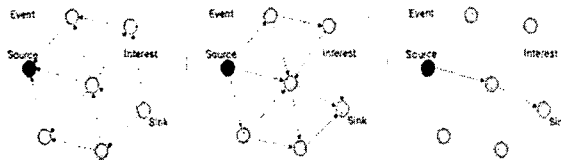


그림 2 Directed Diffusion 프로토콜을 요약

2.2 계층적 라우팅 프로토콜

LEACH에서 각 라운드는 크게 클러스터가 구성되는 설정(setup) 단계와 여러 개의 TDMA 프레임으로 구성되는 지속 상태(steady-state) 단계로 이루어진다. 설정 단계의 시작에서 모든 노드는 자신이 현 라운드동안 클러스터 헤드가 될 수 있을지에 대해 이전 라운드들 동안 클러스터 헤드였는지의 여부와 이상적 클러스터 헤드 수에 기반을 두고 결정한다. 현 라운드 동안, 클러스터 헤드가 되기로 결정한 경우, 이를 이웃 센서 노드들에 알린다. 이를 수신한 비 클러스터 헤드 노드들은 수신 강도 등의 파라미터를 기반으로 클러스터 헤드를 결정하며, 이를 클러스터 헤드로 전송하여 클러스터가 구성된다. 클러스터

터가 형성되면, 클러스터 헤드는 클러스터 멤버들의 데이터 전송 순서를 지시하는 TDMA 스케줄을 방송하고, 지속 상태 단계로 간다. 지속 상태 단계에서 각 클러스터 멤버 노드들은 자신의 전송 슬롯에서만 데이터를 전송하고 나머지 슬롯들에서는 sleep 모드로 가서 전력 소모를 줄인다. LEACH에서는 클러스터 내부에서는 TDMA를 사용하여 노드간 간섭을 피하고, 클러스터간의 간섭을 피하기 위하여 각 클러스터들이 서로 다른 확산 코드를 사용하는 방법을 채택한다.

TEEN에서 센서 노드들은 클러스터 결정시간에 클러스터 헤드가 방송한 임계값인 Ht와 St에 기반을 두고 현재 감지된 데이터를 전송할지를 결정한다. 즉, 감지된 데이터의 값이 처음으로 Ht를 초과하면, 이를 저장하여, 해당 시간 슬롯에 전송한다. 이후에는 감지된 데이터의 값이 저장된 값보다 St이상 큰 경우에 저장하고, 해당 시간 슬롯에 전송한다.

TEEN은 지진, 폭발 등과 같은 응용에서 요구되는 시간 임계적인 데이터가 실시간적으로 전달되고, 임계값이 클러스터 형성 결정 시간에 방송되므로 응용에 따라 사용자가 에너지 소비와 센서 네트워크 상태 판단의 정확성을 조절할 수 있다는 특징을 가진다. 반면에, 감지된 데이터의 값이 임계치에 도달하지 않는 경우 네트워크로부터 데이터를 얻어낼 수가 없어 모든 노드가 수명을 다한 경우에도 네트워크의 상태를 판단할 수 없고, 클러스터 내에서 TDMA 스케줄링을 사용하여 시계 임계적 데이터의 보고에 지연을 가지며 모든 노드들이 해당 슬롯에 전송할 데이터를 가지는 것이 아니므로 자원이 낭비될 수 있다. 그림3은 계층적으로 구성된 센서 네트워크를 보여준다.

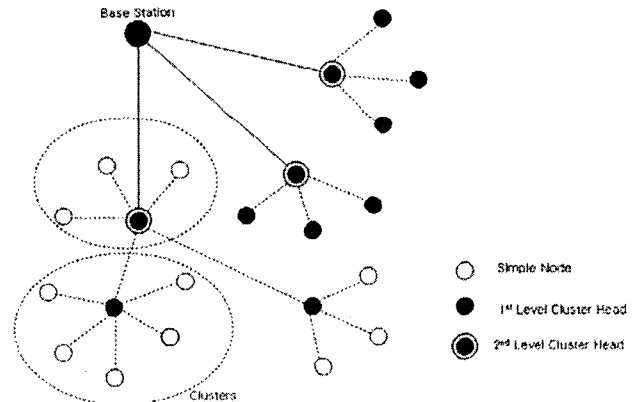


그림 3 계층적으로 구성된 센서 네트워크

3. 문제점 분석 및 제안

3.1 문제점 분석

센서 네트워크에서는 데이터의 목적지가 정해져 있지 않은 ad-hoc네트워크와는 다르게 일반적으로 베이스 스테이션으로부터의 전송은 모든 센서 노드들로 브로드캐스팅 되어야 하며, 센서 노드들로부터 센싱된 데이터는 베이스 스테이션으로 전송되어져야 한다. 2.1에서 논의된 데이터 중심의 라우팅 프로토콜들은 싱크노드의 요청 후에 센싱된 데이터의 전송이 시작되며, 클러스터 기반의 계층적 라우팅 프로토콜들은 하위 레벨에서 상위 레벨로 데이터를 전송하게 된다. 하지만 이러한 전송 방법들은 프로토콜 종속적이거나 보안 어플리케이션 종속성이 더 강하다. 이는 어플리케이션의 데이터 수집 방법에 따라 프로토콜이 결정되어야 하기 때문이다.

센서 네트워크에서 센서 노드는 해당 어플리케이션의 요구에

따라 데이터를 수집하여 베이스 스테이션으로 보내게 된다. 베이스 스테이션에서는 수집된 데이터를 분석하여 결과를 보고하게 된다. 이러한 센서 네트워크에서는 데이터 트래픽이 많이 발생 하는 구간을 예측 할 수 있다. 일반적으로 계층적 라우팅 프로토콜에서는 베이스 스테이션 주변 노드들은 센싱하고 데이터를 전송하는 것 이외에 베이스 스테이션으로부터 멀리 떨어진 센서 노드로부터 보내어진 데이터를 베이스 스테이션으로 전송해주기 위해 추가적인 에너지 소모를 필요로 한다. 이 문제는 베이스 스테이션 주변 노드들의 수명으로 단축시킴으로서 네트워크의 단절을 가져오고 이는 센서 네트워크의 라이프 타임을 줄이는 결과를 가져 오게 된다.

이러한 문제는 데이터 중심 라우팅 프로토콜에서도 비슷하게 적용된다. 계층적 라우팅 프로토콜보다는 베이스 스테이션에서 센서노드로의 데이터 전송이 많기 때문에 베이스 스테이션 주변뿐 아니라 중앙에서의 데이터 트래픽이 많을 수 있다. 따라서 다음 절에서는 이러한 문제를 해결 할 수 있는 토폴로지의 구성에 대하여 얘기 한다.

3.2 토폴로지 구성

센서 네트워크를 구성하기 전에 센싱된 데이터의 최종 목적지인 베이스 스테이션의 위치를 결정함과 동시에 어플리케이션의 특징을 파악하여 해당 네트워크에서 사용할 라우팅 프로토콜을 결정해야 한다. 결정된 베이스 스테이션과 라우팅 알고리즘을 통하여 트래픽이 예상되는 지역의 노드들을 좀 더 조밀하게 구성해야 한다. 이것은 라우팅에 있어서 많은 우회 경로를 만들어 줌으로서, 보다 탄력적으로 네트워크를 운용할 수 있게 만든다. 예를 들면 계층적 라우팅 프로토콜의 경우, 센서들을 배치함에 있어서 베이스 스테이션 주변의 센서 노드들의 배치는 그림 4와 같이 베이스 스테이션으로부터 멀리 떨어진 곳의 센서 노드의 배치보다 조밀하게 구성하여야 한다.

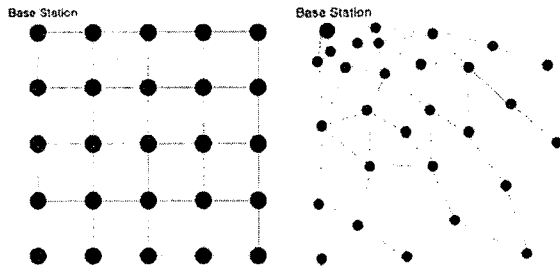


그림 4. 균일한 분포를 보이는 센서 네트워크 토폴로지(왼쪽)와 베이스 스테이션 주변으로 밀집된 형태의 센서 네트워크 토폴로지(오른쪽)

3.3 적합한 라우팅 프로토콜

위에서 언급한 토폴로지의 형태를 결정짓는 것은 어플리케이션에 따른 데이터 트래픽의 발생 정도였다. 센서 네트워크에 적합한 라우팅 프로토콜은 정해져 있지 않다. 해당 어플리케이션의 특성에 따라 프로액티브 방식으로 동작해야 하는지 또는 리액티브 방식으로 동작해야 하는지에 따라 라우팅 프로토콜이 결정되어야 할 것이다. 하지만 기존의 라우팅 프로토콜은 위와 같은 방식의 토폴로지 구성시가 아닌 다른 경우에 따라 설계 되었으므로, 기존의 라우팅 알고리즘에서 변경되어야 하는 사항이 있어야 할 것이다. 라우팅 프로토콜 변경시 우선적으로 고려되어야 하는 사항은 트래픽이 많은 곳에 밀집 시킨 센서 노드들의 관리 방법이다.

본 논문에서 트래픽이 많이 발생할 것으로 예상되는 지역에

노드들을 밀집 시킨 이유는 보다 많은 라우팅 우회 경로를 제공함으로써, 에너지를 효율적으로 사용하기 위함이었다. 따라서 이와 같은 목적에 사용되는 센서 노드는 다른 노드가 라우팅에 참여시 Sleep모드에 있음으로 에너지를 절약해야 한다. 또한 이와 같은 지역 안에서 라우팅을 담당하는 센서노드들을 주기적으로 바꿈으로서 어느 한 노드에 집중되어 해당 노드의 수명을 짧게 하는 것을 막아야 한다. 이러한 라우팅 우회 경로를 통한 센서 네트워크의 라이프타임을 연장 시키는 것은 현재 많은 연구가 이루어지고 있다. 이러한 방법 이외에도 트래픽이 많은 곳의 센서노드들 중 하나의 노드를 데이터 Relay를 위한 노드로 결정하여 사용하는 방법도 생각해 보아야 한다.

4. 결론 및 향후 과제

본 논문에서는 다른 ad-hoc네트워크와는 다른 센서 네트워크의 특징에 적합한 토폴로지의 구성에 대해 얘기 하였다. 센서 네트워크 어플리케이션의 특징상 데이터의 트래픽을 예측할 수 있고 예측된 트래픽에 따라 토폴로지의 구성을 다르게 하여 센서 네트워크의 라이프타임을 늘릴 수 있는 방법을 제안 하였다. 이는 수 십에서 수 백개의 센서로 이루어진 작은 센서 네트워크 보다 수 천개의 센서로 이루어진 큰 센서 네트워크에 적용했을 때, 보다 나은 결과를 보일 수 있을 것이다.

향후 시뮬레이션을 통해 토폴로지를 구성하고 구성된 토폴로지 내에서 센서들의 분포에 따라 센서 네트워크의 수명에 어느 정도의 영향을 미치는지를 분석하여 최적의 네트워크를 구성할 수 있는 센서 노드들의 배치 방법에 대하여 좀 더 많은 연구가 이루어 져야 할 것이다.

참고 문헌

- [1] C. Chien, I. Elgorriaga and C. McConaghy, "Low-power direct sequence spread-spectrum modem architecture for distributed wireless sensor networks", Proc. of IEEE Low power electronics and design, pp.251-254,2001.
- [2] C. Intanagonwiwat, R. Govindan and D. Estrin, "Directed diffusion: A scalable and robust communication paradigm for sensor networks", in the Proceedings of the 6th Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom'00), Boston, MA, August 2000.
- [3] W. Heinzelman, J. Kulik, and H. Balakrishnan, "Adaptive protocols for information dissemination in wireless sensor networks," in the Proceedings of the 5th Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom'99), Seattle, WA, August 1999.
- [4] W. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "Energy-efficient communication protocol for wireless sensor networks," in the Proceeding of the Hawaii International Conference System Sciences, Hawaii, January 2000.
- [5] A. Manjeshwar and D. P. Agrawal, "TEEN : A Protocol for Enhanced Efficiency in Wireless Sensor Networks," in the Proceedings of the 1st International Workshop on Parallel and Distributed Computing Issues in Wireless Networks and Mobile Computing, San Francisco, CA, April 2001.