

노드 수면 알고리즘을 고려한

무선 센서 네트워크 라우팅 기법에 관한 연구

임영빈[○] 장덕현 권태경 최양희

서울대학교 컴퓨터공학부

{ybim[○], dhchang, tk, yhchoi}@mmlab.snu.ac.kr

Study on a routing scheme considering a sleep-wakeup scheduling algorithm in wireless sensor networks

Youngbin Im[○] Dukhyun Chang TaeYoung Kwon Yanghee Choi

School of Computer Science and Engineering

Seoul National University, Seoul, Korea

요 약

무선 센서 네트워크의 각 노드는 일반적으로 배터리로 동작하므로 통신 프로토콜 설계 시 네트워크의 적정 성능을 유지하면서 에너지 소모를 줄이는 것이 중요하다. 노드의 에너지 소모를 줄이기 위한 접근 방식 중 주기적으로 혹은 센서 노드의 역할이나 상황에 따라 노드 수면 알고리즘을 적용하는 방식의 연구가 폭넓게 이루어지고 있다. 그러나 현재까지의 대부분의 알고리즘은 네트워크의 연결성 및 센싱 범위만을 고려하고 라우팅 프로토콜을 고려하지 않거나, 기존의 노드 수면 프로토콜과 함께 동작할 수 있는 새로운 형태의 라우팅 프로토콜을 제시하고 있다. 본 고에서는 기존에 연구된 센서 네트워크 라우팅 프로토콜들과 노드 수면 알고리즘 사이의 일반적 형태의 연동 기법을 제안하고자 한다. 이를 통해 전송 시간이나 성공률을 고려한 효과적인 전송 경로를 찾는 라우팅 프로토콜을 사용하는 동시에 네트워크 연결성 및 센싱 범위의 유지에 최적화된 노드 수면 알고리즘 사용이 가능토록 한다.

1. 서 론

최근 무선 센서 네트워크(Wireless Sensor Networks)를 구성하여 미래의 컴퓨팅 환경을 구축하려는 연구가 활발히 진행되고 있다. 일반적으로 무선 센서 네트워크의 각 노드는 전력, 계산 능력, 메모리 등에서 제한된 용량을 가지고 있기 때문에 무선 센서 네트워크는 기존의 네트워크와는 다른 특징들을 가지게 된다. 특히 각각의 센서 노드가 배터리로 동작하므로 센서 네트워크의 통신 프로토콜 설계 시 네트워크의 적정 성능을 유지하면서 에너지 소모를 줄이는 것은 무선 센서 네트워크 연구의 중요한 이슈 중 하나이다.

센서 노드의 에너지 소모를 줄이기 위한 접근 방식 중의 하나로서 주기적으로 혹은 센서 노드의 역할이나 상황에 따라 노드 수면 알고리즘을 적용하는 방식의 연구가 폭넓게 이루어지고 있다. 즉, 센서 노드가 주기적으로 wakeup/sleep을 반복하며, 특히 수집할 데이터가 없거나, 전송할 데이터가 없을 경우 혹은 노드의 전원이 다른 노드에 비해 상대적으로 적을 경우에 노드를 수면 상태로 전환시킴으로써 전원 사용을 효율화하고 네트워크

의 수명을 늘리고자 한다.

현재까지의 대부분의 노드 수면 알고리즘은 네트워크의 연결성 및 센싱 범위만을 고려하고 라우팅 프로토콜을 고려하지 않거나, 기존의 노드 수면 프로토콜을 적용했을 때 이들 프로토콜과 함께 동작할 수 있는 새로운 형태의 라우팅 프로토콜을 제시하고 있다. 그러나 전자의 경우 노드 수면 알고리즘이 기존의 센서네트워크 라우팅 프로토콜과 함께 동작하므로 라우팅 경로상의 노드 수면 시 비효율적으로 라우팅 경로를 재설정하는 문제가 발생하고, 후자의 경우 라우팅 프로토콜의 본연의 목적인 전송 시간 및 성공률 측면에서의 최적화된 전송 경로를 찾지 못하는 문제가 발생한다.

본 고에서는 라우팅 프로토콜과 노드 수면 알고리즘을 동시에 고려하여 기존에 연구된 센서 네트워크 라우팅 프로토콜들과 노드 수면 알고리즘 사이의 일반적 형태의 연동 기법을 제안하고자 한다. 이를 통해 PEAS, PECAS와 같은 노드 수면 알고리즘이 동작할 때 AODV나 Directed Diffusion과 같은 기존 센서 네트워크 라우팅 프로토콜의 정상적인 동작을 보장하도록 한다. 또한 라우팅 프로토콜과 노드 수면 알고리즘의 독립적인 설계가

가능하도록 하여, 전송 시간이나 성공률을 고려한 효과적인 전송 경로를 찾는 라우팅 프로토콜을 사용하는 동시에 네트워크 연결성 및 센싱 범위의 유지에 최적화된 노드 수면 알고리즘 사용이 가능토록 한다.

전체적인 구성은 다음과 같다. 2장에서는 무선 센서 네트워크에서 활용되고 있는 라우팅 기법들을 소개하고, 3장에서는 무선 센서 네트워크의 노드 수면 알고리즘에 관해 설명한다. 4장에서는 수면 알고리즘을 고려한 라우팅 기법을 제안하고 5장에서 시뮬레이션 결과를 제시하여 제안된 알고리즘의 적절성을 검증하고 마지막 장을 통해 결론을 맺는다.

2. 무선 센서 네트워크에서 활용되는 라우팅 기법들

센서 네트워크에서 활용되는 대표적인 라우팅 프로토콜에는 플러딩, 가시핑, SPIN(Sensor Protocols for Information via Negotiation), SMACS, SAR(Sequential Assignment Routing), LEACH(Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy), Direct Diffusion 등이 있다[1].

전통적인 플러딩 기법의 단점을 보완한 SPIN은 데이터를 가진 센서 노드가 모든 데이터를 보내는 대신에 데이터를 묘사하는 메시지를 보내, 데이터를 받기를 원하는 이웃 노드에게만 데이터를 보내 에너지 효율을 높인다.

SMACS는 중앙 통제 시스템 없이, 각 노드들이 이웃 노드들을 발견하고 송신, 수신 스케줄을 설정하는 방식으로 동작하는 프로토콜이다. SAR는 싱크의 1-hop 이웃 노드를 루트로 하는 트리를 만들고, 서비스 품질(QoS)이 낮거나 파워가 적게 남은 노드들을 배제해서 노드를 선택해 트리가 자라나도록 한 후, 에너지 자원이나 QoS 지표를 기준으로 전송 트리를 선택해 싱크로 데이터를 보내도록 한다.

LEACH는 센서 노드들 중 클러스터헤드를 랜덤하게 선택하고, 선택된 노드들이 클러스터헤드로 선정되었음을 알리는 메시지를 보내면 이를 받은 노드들이 그들이 속할 클러스터를 수신신호 세기를 바탕으로 선택한다. 이후 각 클러스터의 각 노드들은 TDMA방식으로 head에게 데이터를 전송하게 된다. 또한 클러스터 헤드는 데이터를 통합(aggregate)해서 베이스 스테이션으로 보낸다. Directed Diffusion에서는 싱크 노드가 다른 모든 노드들에게 관심이 있는 작업(task)을 기술한 Interest 메시지를 보내고, 각 센서 노드들이 캐시 상에 이를 저장해서 데이터 발생시 Interest가 전달된 경로의 역방향으로 생성되는 gradient path를 통해 이를 전달해 준다.

AODV(Ad-hoc On-demand Distance Vector) [2]은 모바일 애드혹 네트워크(mobile ad-hoc networks) 또는 무선 애드혹 네트워크(wireless ad-hoc networks)를 위해 개발된 라우팅 프로토콜이지만 무선 센서 네트워크에서도 많이 활용되고 있다[3]. 또한 AODV는 반응적(reactive) 프로토콜, 즉 필요 시에 전송 목적지까지의 경로를 생성하는 라우팅 프로토콜이며 거리 벡터(distance vector) 프로토콜이다. 경로 설정이 필요하게 되면 이를 필요로 하는 노드가 연결 요청을 브로드캐스팅 한다. 다른 노드들은 이 메시지를 포워딩하고, 메시지를 보낸 노드를 기록한다. 동시에 연결 요청을 한 노드에 대한 임시 경로를 생성한다. 메시지를 받은 노드가 이미 목적지 노드에 대한 경로를 가지고 있으면 임시 경로를 통해 연결 요청을 한 노드에게 메시지를 보낸다. 연결 요청을 한 노드는 받은 경로들 중 거리가 가장 짧은 경로를 사용한다. 또한 라우팅 테이블에서 일정 시간 동안 사용되지 않는 항목은 무효화된다. 링크가 단절될 경우엔 라우팅 에러 메시지를 전송 노드에게 보내고 위의 과정을 반복한다.

본 논문에서 제시하는 라우팅 프로토콜과 노드 수면 알고리즘 사이의 연동 기법은 AODV를 라우팅 프로토콜의 예로써 사용하고 있다.

3. 무선 센서 네트워크의 노드 수면 알고리즘

애드혹 멀티 홉 무선 네트워크를 위한 파워 보존 프로토콜로서 SPAN, ASCENT 등이 제안되었다[4]. 이들 프로토콜은 패킷 전송 과정 가운데 불필요한 에너지 소모를 최소화하는데 목적이 있으며 토폴로지 기반 프로토콜로서 실제 지리적인 관계나 효과는 고려하지 않는다.

GAF 프로토콜은 위치 정보를 사용해서 주어진 지역을 고정 크기의 격자로 분할한 후 각 격자 안에서 한 노드가 깨어 있는 것을 보장하면서 노드들이 자고 깨기를 반복한다.

PEAS에서는 각 노드들이 주기적으로 Probe 메시지를 보내고, 이웃으로부터 Probe 메시지를 받은 경우 이에 응답하는데 응답을 받은 노드는 수면할 수 있다. PEAS에서는 한 노드가 계속적으로 작업을 수행하고 물리적으로 고장이 발생하거나 배터리가 모두 소모될 때 다른 노드가 이 노드를 대체한다. 따라서 시간이 지나면서 센싱 기능을 하는 노드의 밀도가 감소해 가고, 에너지 고갈로 인해 노드에 failure가 발생하면 네트워크의 분할이나 노드의 고립과 같은 문제가 발생할 수 있다. 따라서 이웃 노드들 간에 에너지 소모의 균형을 맞추는 알고리즘이

제안되었는데 PECAS(Probing Environment and Collaborating Adaptive Sleeping)가 그것이다.

PECAS는 PEAS와는 달리 활성 노드가 일정시간 동안만 작업을 수행하고 수면한다. 활성 시간 동안 다른 노드로부터 Probe 메시지를 받으면 자신이 수면에 들어가기까지 남아있는 시간을 응답 메시지에 담아 보낸다. 응답 메시지를 받은 노드는 수면에 들어가는데 받은 응답 메시지에 담긴 활성 노드의 수면까지의 남은 시간 중 가장 작은 값을 택해서 해당 시간이 경과한 후 깨어나서, 다시 Probe 메시지를 보내는 위의 과정을 수행한다. 본 논문에서 제시하고 있는 기법에서도 PECAS알고리즘을 수면 알고리즘의 예로써 사용하였다.

4. 수면 알고리즘을 고려한 라우팅 기법

기존 AODV 프로토콜을 다음과 같이 개선한다.

- 1) 각 노드는 이웃 노드에게 주기적으로 자신의 1홉 이웃 노드 정보를 보내서 자신과 자신의 이웃 노드 정보를 알려준다. 이를 통해 각 노드는 2홉 이내의 이웃 노드에 대한 정보를 저장한다(그림 1).
- 2) PECAS 알고리즘을 사용해서 노드의 수면을 조절한다. 단, 노드가 수면 조건에 해당하면 바로 수면에 들어가는 것이 아니라 주변의 다른 노드들이 자신을 통해서 전달되는 기존의 라우팅 경로를 수정할 수 있도록 일정 시간을 갖도록 한다.
- 3) 수면 조건에 해당할 때 PECAS 프로토콜에서 AODV 프로토콜로 수면을 하도록 지시한다. 지시를 받은 수면 예정 노드는 Sleep 메시지를 브로드캐스팅 해서 자신이 곧 수면할 예정임을 이웃 노드에게 알린다(그림 2).
- 4) Sleep 메시지를 받은 노드들은 자신의 이웃 노드 정보와 자신을 통해 도달할 수 있는 노드에 대한 정보를 라우팅 테이블에서 찾아서 수면 예정인 노드에게 전송한다(그림 3).
- 5) 수면 예정 노드는 자신의 라우팅 테이블을 살펴 자신을 통해 설정된 각 라우팅 경로의 이전 노드에게 다음 노드의 이웃 정보를 전달한다(그림 4).
- 6) 수면 노드 이전의 노드는 자신이 수신한 정보들과 자신의 이웃 노드 정보를 살펴서 자신의 이웃이면서 동시에 수면 노드 다음 노드의 이웃이기도 한 노드를 찾는다. 이러한 노드가 존재할 경우 수면 예정 노드를 이러한 노드로 대체하고 대체된 경로상의 노드들에게 RouteRequest 메시지를 보내서 라우팅 테이블을 갱신한다(그림 5).
- 7) 전송 데이터 발생시 새로운 경로로 데이터를 보내면

새 경로 상의 노드들이 수면 노드 대신에 데이터를 전달해 준다(그림 6).

본 알고리즘은 라우팅 경로상의 수면 노드를 주변의 활성 노드들로 몇 개 이내의 패킷을 통해 신속하게 대체하므로, 수면 노드로 인한 경로 차단 발생시, 발생 지점 이후의 경로를 새로 설정해서 많은 브로드캐스팅이 발생하고 전송이 지연되는 기존 AODV의 지역 수정(Local Repair) 방식의 단점을 보완한다. 또한 수면 노드가 깨어날 때까지 기다리는 방식에서 발생하는 데이터 전송 지연의 문제정도 발생하지 않는다. 또한 PECAS알고리즘의 특성상 한 노드가 수면 모드로 들어가면 수면 노드의 인근에는 깨어 있는 노드가 있을 확률이 크므로 이러한 노드를 이용해서 전송 경로를 변경할 수 있는 확률이 크다. 단 대체 경로가 없는 경우에는 지역 수정 방식을 이용해야 할 것이다. 또한 평소에 주기적으로 이웃 노드들에 관한 정보를 획득해야 하는데 따르는 부하가 있으나 이웃 노드에게 자신의 이웃 노드 정보를 전송하는 주기의 조절을 통해 이를 적정한 수준에서 제어할 수 있다.

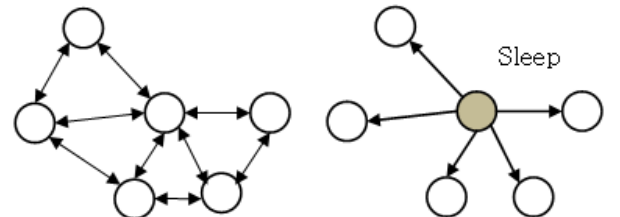


그림 1-1 hop간의 주기적인 이웃노드 정보 교환

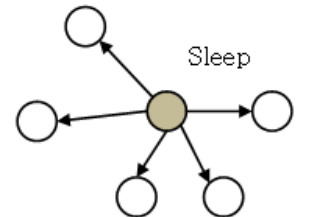


그림 2- 수면 예정 노드 Sleep 전송

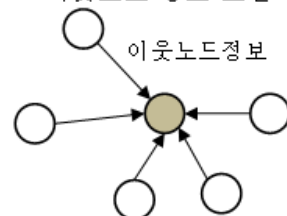


그림 3- 수면예정 노드의 주변노드가 이웃 정보 전송

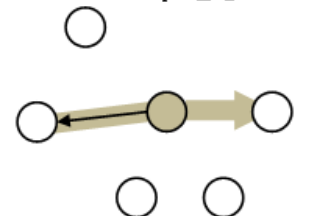


그림 4- 경로이전 노드에 이웃노드 정보 전달(큰 화살표는 이전 라우팅 경로)

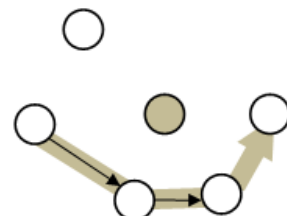


그림 5- 새 경로 설정 및 경로 추가 요청(큰 화살표는 새로 설정된 라우팅 경로)

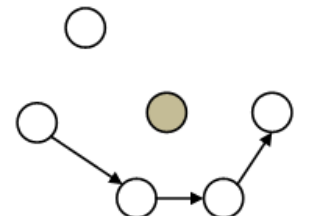


그림 6- 새 경로를 통한 데이터 전송

5. 시뮬레이션

4장에서 제시된 수면 알고리즘을 고려한 라우팅 기법의 성능 평가를 위해 시뮬레이션을 수행하였다. Qualnet 3.9.5 [5]를 사용하였고 network 계층의 AODV관련 모듈에 4장에서 기술한 알고리즘을 추가하여 사용하였다. 노드 수면 알고리즘으로는 PECAS를 application 계층에서 구현하고 4장에서 기술한 내용들을 반영하여 사용하였다.

500(m)*500(m)의 지형에 총 878개의 노드를 배치하고 source노드를 3,6,9개로 변화시켜 가며 한 destination노드로 일정량의 트래픽을 일정 간격으로 보내도록 하였다. 노드의 전송 범위는 50m, 센싱 범위는 30m, 시뮬레이션 시간은 2분으로 동일하다. 또한 source노드와 destination 노드는 수면하지 않는다. 표 1에 PECAS와 AODV를 수정 없이 사용한 경우(OLD)와 우리가 제시한 기법대로 수정한 경우(NEW)를 여러 항목에 대해 비교하여 보았다. 그림 7에는 각 항목별 성능 향상 정도를 OLD대비 NEW의 백분율로 표시하였다. 전송 delay와 delay jitter의 경우 상당한 성능 향상이 있었으며 소스 노드의 수가 적을수록 성능 향상 폭이 더 클 수 있다. 수신 패킷 수의 경우 소스 개수가 3개 경우에는 12%의 성능 향상이 있었다.

표 1-소스 개수별 수신 패킷수, 전송 딜레이, jitter

소스개수	3개		6개		9개	
	OLD	NEW	OLD	NEW	OLD	NEW
수신패킷수	159	178	372	364	617	619
전송 delay	0.18	0.13	0.18	0.14	0.16	0.16
Delay jitter	3.83	2.76	2.10	1.84	1.66	1.53

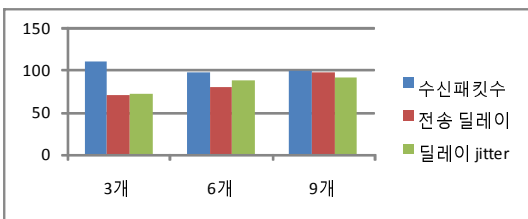


그림 7-소스 개수별 성능 향상 비교(단위 %)

6. 결론

본 고에서는 라우팅 프로토콜과 노드 수면 알고리즘을 동시에 고려하여 기존에 연구된 센서 네트워크 라우팅 프로토콜들과 노드 수면 알고리즘 사이의 일반적 형태의 연동 기법을 제안하였다. 구체적으로는 라우팅 경로상의 수면 노드를 주변의 활성 노드들로 몇 개 이내의 패킷을 통해 신속하게 대체함으로써, 수면 노드로 인한 경로 차

단 발생시 생길 수 있는 여러 문제를 상당히 해결할 수 있는 알고리즘을 제시하였다. 또한 시뮬레이션을 통하여 제시된 기법의 성능을 검증하였다.

앞으로 다양한 라우팅 프로토콜과 노드 수면 알고리즘에 적용하여 성능을 검증하고 성능을 보다 향상시키고자 한다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 IT신성장동력핵심기술개발사업의 일환으로 수행하였음.

[2007-F-038-02, 미래 인터넷 핵심기술 연구]

참고 문헌

- [1] Akyildiz, I. F., Su, W., Sankarasubramaniam, Y., and Cayirci, E. 2002. A survey on sensor networks. IEEE Communications Magazine 40, 8 (Aug.), 102--114.
- [2] C. Perkins, E. Belding-Royer, and S. Das, "Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing", RFC 3561, July 2003.
- [3] <http://en.wikipedia.org/wiki/AODV>
- [4] Gui, C. and Mohapatra, P., "Sensor networks: Power conservation and quality of surveillance in target tracking sensor networks," in Proceedings of the 10th annual international conference on Mobile computing and networking, September 2004.
- [5] Qualnet <http://www.scalable-networks.com/>