

에너지 효율적인 센서 네트워크를 위한 방향성 메시징 기법

전진환^o 길아라 김병기
 숭실대학교 컴퓨터학과
 {jthjeon^o, ara, bgkim}@computing.ssu.ac.kr

A Directed Messaging for Energy Efficiency of Sensor Networks

Jinhwan Jeon^o, Ara Khil, Byunggi Kim
 School of Computing, Soongsil University

요 약

센서 네트워크 상의 센서 노드들은 싱크 노드의 ADV 메시지를 통한 질의에 해당하는 정보를 싱크 노드에게로 전송하며 싱크 노드는 수신한 정보를 사용자에게 제공한다. 그러나, 센서 네트워크를 위한 각종 라우팅 알고리즘들은 싱크 노드가 요청하는 해당 질의에 맞는 정보를 가지고 있는 센서 노드의 위치를 알기 위하여 매번 전체 네트워크로 ADV 메시지를 퍼뜨리는 방법을 사용하기 때문에 전체 네트워크의 수명과 직접적인 관련성이 있는 센서 노드들의 에너지 소비량을 극심하게 증가시킨다.

본 논문에서는 싱크 노드의 질의에 해당하는 목적지 노드를 찾기 위한 초기 경로 설정 시, 방향성 정보를 가진 ADV 메시지를 제한된 방향으로만 전파함으로써 관련없는 노드들의 메시지 송수신으로 인한 불필요한 에너지 소비를 줄이도록 하는 새로운 메시징 기법을 제안하고 이의 효율성을 모의실험을 통하여 나타내 보인다.

1. 서 론

무선 통신 전자 기술의 발달로 인해 다양한 기능을 가진 센서 노드(sensor node)가 개발 되었다. 무선 센서 네트워크는 소형 센서 노드들이 Ad-hoc 형태의 네트워크를 형성하여 어떤 현상(phenomenon)을 감지 및 수집하기 위해서 사용된다. 센서 노드는 작업을 센싱하기 위한 센싱 장치(sensing unit), 센싱 된 데이터를 처리하는 처리 장치(processing unit), 각 노드들 간의 무선 통신을 위한 무선 송수신 장치(transceiver unit), 노드의 전력을 공급하는 전력 장치(power unit) 등으로 구성되어 있다[1].

그림1에서 보는 바와 같이, 센서 네트워크를 구성하는 요소인 센서 노드는 센서 필드 내에서 수집한 정보를 싱크 노드의 요청에 따라 싱크 노드로 전송하고, 싱크 노드는 사용자에게 정보를 전송한다[1]. 그러나 센서 노드의 무선 송수신 장치의 송수신 거리가 짧기 때문에 센서 노드에서 멀리 떨어져 있는 사용자에게 데이터를 직접 전송하기 위해 센서 노드들은 서로 협력하여 멀리 떨어져 있는 사용자에게 데이터를 전송한다.

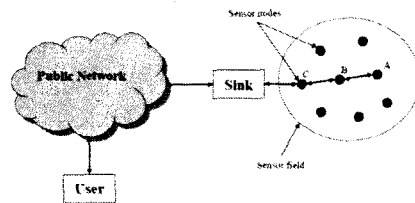


그림1. 센서 네트워크의 구조

센서 네트워크는 사용자에게서 독립적인 무수한 노드들을 배치하여 구성하기 때문에 배터리가 소진된 센서 노드들 일일이 충전하는 것은 불가능하다. 센서 노드의 수명은 각 센서 노드가 가지고 있는 배터리에 의존하므로 가능한 한 에너지 소비량을 최소화하여 전체 센서 네트워크의 수명을 연장하여야 한다.

센서 노드들은 노드의 대기상태(idle)과 메시지 수신상태(receiving), 메시지 송신상태(sending)에 따라 에너지 소비율이 1:2:2.5의 비율로 나타난다[2]. 따라서 현재 필요한 정보를 가지고 있지 않은 노드들의 불필요한 송수신으로 발생하는 에너지 낭비를 줄이도록 하여야 한다.

센서 네트워크에서 싱크 노드가 데이터를 얻고자 할 때 네트워크에 원하는 데이터를 요구하는 ADV 메시지를 이웃 노드들에게 방송한다(broadcasting)[5]. 센서 네트워크 전체에 퍼진 ADV 메시지를 통해 해당 질의에 맞는 데이터를 가진 목적지 노드는 데이터를 전송하기 위한 경로를 설정(gradient)한다. 그러나 싱크 노드와 목적지 노드 간의 경로를 설정하기 전, 경로에 포함되지 않는 대부분의 센서 노드들은 매번 발생하는 ADV 메시지에 반응할 필요가 없음에도 불구하고 방송에 의한 메시지 송수신으로 인하여 센서 노드의 트래픽을 증가시킴과 동시에 이에 따른 에너지 소비를 증가시킨다는 문제점이 있다.

본 논문에서는 센서 네트워크의 싱크 노드의 질의에 해당하는 목적지 노드를 찾기 위한 초기 경로 설정 단계에서 방향성 정보를 가진 ADV 메시지를 센서 네트워크의 제한된 방향으로만 메시지를 전송하도록 하는 새로운 메시징 기법(Directed Messaging:DM)을 제안한다. 제안하는 DM 메시징 기법은 싱크노드가 ADV 메시지에 방향성 정보를 부가하여 방송하고, 처음 메시지를 수신한 노드 중 방향성 정보에 알맞지 않는 노드들은 더 이상 메시지 송신을 하지 않도록 한다. DM 메시징 기법은 기존의 플러딩 방법에 의하여 매번 전체 노드들이 송수신을 함으로써 소비하는 에너지 양을 대폭 감소시킬 수 있다. 즉, 제한된 방향으로만 메시지 전송이 일어나기 때문에 전송 방향의 노드들 중 목적지 노드가 존재할 경우, 싱크 노드로부터 역방향에 위치한 노드들의 필요없는 메시지 송수신에 의한 에너지 소비가 전혀 없게 된다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제2장에서 센서 노드의 위치정보를 이용하는 라우팅 알고리즘들의 목적지 노드를 찾기 위한 방법에 대하여 설명한다. 제3장에서는 본 논문에서 제안하는 주어진 방향에 따라 목적지 노드를 찾는 DM 메시징 기법에 대하여 설명한다. 제 4장에서는 모의실험 결과를 통하여 DM 기법에 의한 에너지 소비량 감소 효과를 나타내 보이고 제5장에서는 결론과 함께 앞으로 진행할 연구 방향을 제시한다.

2 관련 연구

Directed Diffusion[3]은 Data-Centric 라우팅 프로토콜이다. Data-Centric 라우팅 프로토콜은 싱크 노드가 데이터를 얻고자 할 때 네트워크에 원하는 데이터를 요구하는

On-Demand 방식으로 네트워크가 동작한다. 그림 2의 Directed Diffusion 라우팅 프로토콜은 싱크 노드에서 받은 Interest 메시지를 이웃 노드들에게 브로드캐스트 한다. 센서 네트워크 전체에 전파된 Interest 메시지를 통해 해당 질의에 맞는 데이터를 가진 노드로부터 데이터를 전송하기 위한 경로를 설정한다. 이들 경로 중 최적의 경로를 강화(reinforcement)하여 데이터를 전송하기 위한 라우팅 경로를 결정한다.

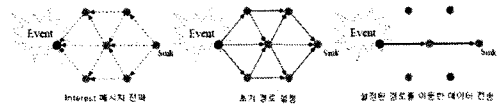


그림 2. Interest 메시지에 의해 gradient 설정

Directed Diffusion 알고리즘은 목적지 노드를 찾기 위해 모든 방향으로 메시지를 전파하기 때문에 초기 경로 설정 시 에너지 소모가 크다. 또한 강화된 경로의 노드들의 에너지 소비가 집중되어 네트워크 전체 에너지 소비 불균형이 발생하기 때문에 이러한 불균형을 해소하기 위해서 네트워크 전체로 에너지 소비를 분산시켜 줘야 한다. 또한, 경로가 강화 되어 있지 않은 이웃 노드들도 통신에 참여하게 되어 불필요한 에너지를 소비하게 된다는 문제점이 있다.

SPIN[4]은 플러딩의 결함을 처리하기 위해 설계된 것으로, 센서 노드가 ADV 메시지를 브로드캐스트하고, 싱크노드로부터 요청을 기다리는 형태의 데이터 중심적 라우팅 기법이다. SPIN은 센서 노드가 데이터를 전파하는 대신 센서 데이터를 기술하는 질의 메시지를 전송하여 보다 효율적으로 동작하고 에너지를 보존하도록 한다. SPIN은 ADV, REQ, DATA 등의 3가지 메시지를 사용한다. 센서 노드는 메타 데이터를 가지는 ADV 메시지를 전파하고, ADV 메시지를 수신한 이웃 노드가 ADV 메시지와 일치하면 REQ 메시지를 전송하고, 해당 이웃 노드의 DATA 메시지를 전송한다. SPIN은 가까이 있는 노드들이 유사한 데이터 속성을 이용하여, 사용자가 데이터를 요청하지 않은 경우에도 네트워크 전체에 정보를 퍼뜨림으로써 불필요한 에너지 소비를 발생시키는 문제가 있다.

GPSR(Greedy Perimeter Stateless Routing)[5]은 목적지 노드로의 라우팅을 위하여 패킷을 수신한 이웃 노드의 위치와 패킷의 목적지 정보를 사용하여 점진적으로 패킷의 포워딩을 결정하는 Greedy 포워딩 방법을 사용한 알고리

증이다. 즉, 그림 3에서와 같이 패킷을 수신한 노드는 자신과 인접한 이웃 노드 중에 목적지 노드에 가장 가까이 위치한 노드로 패킷을 전송한다. 패킷을 받은 노드는 위와 같은 패턴을 반복하여 목적지 노드를 찾아가게 된다. GPSR은 지역적인 네트워크 토폴로지 정보만을 유지하므로 Distance Vector와 같은 최단 경로 라우팅이나 기타 라우팅 프로토콜에 비해 빈번한 네트워크 토폴로지의 변화에도 빠르게 적응할 수 있으며 네트워크의 확장성이 좋아 밀집된 네트워크 환경에 적합하다. 그러나 반드시 기준이 되는 고정 호스트 노드가 존재해야 하기 때문에, 밀집도가 낮은 네트워크 환경에서는 사용하기 어렵다.

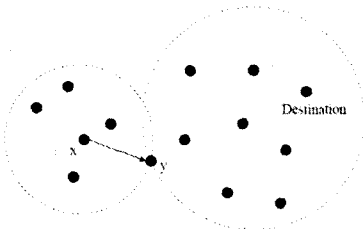


그림 3. x노드는 목적지 노드에 가장 근접한 노드 y와 통신을 시도한다.

3. 에너지 효율성을 위한 방향성있는 메시징 기법

본 장에서는 목적지 노드를 찾기 위해 ADV 메시지를 수신한 센서 노드의 위치와 목적지 방향 정보를 이용하여 센서 네트워크에서 초기 토폴로지 구성 시 메시지를 무조건 전 방향으로 전송하는 알고리즘을 개선하여, 네트워크를 2개의 영역으로 분할하여 ADV 메시지를 점진적으로 포워딩하는 Greedy 포워딩 방법을 사용한 DM 메시징 기법에 대하여 설명한다.

노드가 자신의 위치 정보를 알고 있으면 효율적으로 주변 노드를 찾을 수 있기 때문에[5], 센서가 외부 시스템의 도움으로 자신의 위치 좌표 (x, y)를 알고 있으며, 모든 노드의 시간이 동기화 되어 있다고 가정한다.

제안하는 방법은 전체 네트워크를 두개의 영역으로 분할하여 나누어진 지역에 선택적으로 ADV 메시지를 전송하여 토폴로지를 구성한다. 분할된 네트워크는 노드의 좌표를 기준으로 2차원 평면위에 x, y 좌표로 나타낸다. 분할된 네트워크의 각 노드들은 위치 좌표를 참조하여 메시지를 전파하고, X 좌표 방향으로 메시지를 전파 하고 싶다면 ADV 수신 노드의 메시

지 위치 좌표 값 x가 송신 노드의 x 좌표보다 크거나 같은 노드에게만 ADV 메시지를 전송하여 X좌표 방향으로만 메시지를 전송하게 한다[5].

우선순위를 갖는 영역에 찾고자 하는 질의를 포함한 ADV 메시지를 전송하면, 싱크 노드는 전송하는 ADV 메시지에 설정된 방향을 향하는 위치정보와 외부 시스템에서 원하는 질의 정보, 메시지의 생존 카운트를 저장한다. 분할된 첫 번째 영역에서 해당 질의에 맞는 데이터를 찾으면, ADV 메시지가 전송되지 않은 나머지 영역의 에너지 소비를 절약할 수 있게 되어 기존 센서 네트워크 메시지 전송 방법 보다 에너지 효율적인 망 구성이 가능하고, 센서 노드의 패킷 오버헤드를 줄일 수 있다. 분할된 첫 번째 영역에서 해당 질의에 맞는 데이터를 찾지 못하면, 아직 검색되지 않은 나머지 영역에 ADV 메시지를 전송하여 해당 질의에 맞는 노드를 찾는다.

첫 번째 영역에서 해당 질의에 맞는 데이터를 찾게 되면 에너지 효율적인 라우팅이지만, 두 번째 영역에서 해당 질의에 해당하는 데이터를 찾게 되면 기존 라우팅 방법보다 시간과 에너지가 더 소요된다. 그러나 제안하는 방법으로 ADV 메시지를 전파하게 되면 네트워크 전체에 메시지가 전송되는 것을 방지하여 좀 더 에너지 효율적인 망 구성을 할 수 있다.

그림 4는 센서 네트워크에서 초기 라우팅에서 싱크 노드가 전체 이웃 노드들에게 메시지를 전송하는 것을 나타낸 것이다. 그림 5와 6은 네트워크를 싱크노드의 Y축을 기준으로 네트워크를 분할하여 싱크 노드의 위치 좌표 x 값이 양의 값을 갖는 경우와 음의 값을 갖는 노드에게만 메시지를 전송하는 것을 나타내고 있다.

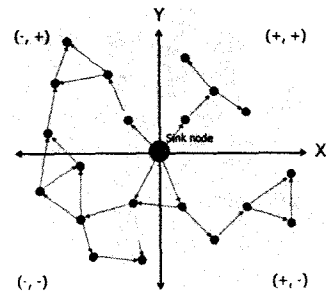


그림 3. 기존의 시간 t동안의 메시지 전송 영역

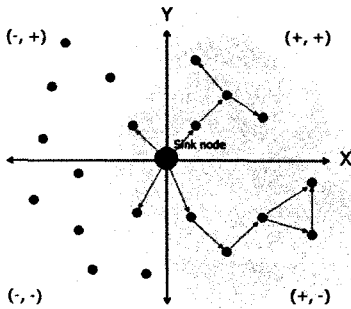


그림 4. 제안된 알고리즘 시간 t' 동안 메시지를 전송하는 영역

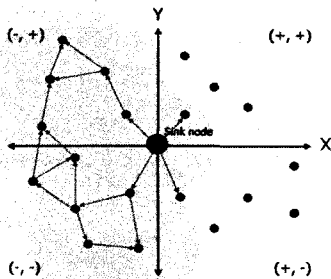


그림 5. 제안된 알고리즘 시간 t'' 동안 메시지를 전송하는 영역

본 논문에서 제안하는 방법으로 전체 에너지양을 구하면 아래와 같다.

시간 t' 동안,

$$E_{Total,1} = Node_{E1st} \times (E_{Send} + E_{Receive} + E_{Idle}) \quad (2)$$

시간 t'' 동안,

$$E_{Total,2} = E_{Send} + (E_{Total} - E_{Total,1}) \quad (3)$$

기존의 브로드캐스트 방법과 비교하여 최선의 경우 각 노드는 $E_{Total,2}$ 만큼의 비용이 절감되어, ADV 메시지를 전송하지 않은 지역에 대한 에너지를 절감할 수 있다. 그러나 최악의 시간인 t''가 소비되는 경우 노드당 에너지 소비는 같지만, 검색되지 않은 나머지 영역으로 메시지를 전파하기 위해 싱크 노드가 E_{Send} 의 에너지를 더 소비해야 한다. t' 시간동안 질의에 해당하는 데이터를 찾게 되면, 기존 알고리즘과 비교하여 같은 시간동안 에너지 소비를 적게 사용하여 해당 질의에 맞는 데이터를 찾을 수 있지만, t' 시간동안 찾지 못하면 기존 알고리즘과 에너지 소비는 싱크 노드가 소비하는 E 만큼의 에너지를 더 소비하게 되고, 시간은 더 소비된다.

파라미터	내 용
E_{Total}	노드의 전체 에너지 소비량
$Node_{Total}$	전체 노드의 수
$Node_{E1st}$	먼저 검색 되어지는 노드의 수
E_{Send}	노드가 메시지를 Send 할 때 필요한 에너지 소비량
$E_{Receive}$	노드가 메시지를 Receive 할 때 필요한 에너지 소비량
E_{Idle}	노드가 Idle 모드에서 필요한 에너지 소비량

표 1. 에너지 소비 측정 파라미터

시간 t 동안 기존 센서 네트워크에서 초기 라우팅 경로에 소비되는 전체 에너지량을 구하면 다음과 같다.

$$E_{Total} = Node_{Total} \times (E_{Send} + E_{Receive} + E_{Idle}) \quad (1)$$

4. 성능 평가

본 장에서는 제안한 알고리즘과 일반적인 플러딩을 이용하는 Directed diffusion과 에너지 소비를 비교 분석하였다. 본 모의실험에 사용된 환경은 IEEE 802.11 MAC 구조에 기반을 둔 100 × 100m 영역에 80개의 노드를 분산 배치하여 본 논문에서 제안한 알고리즘의 에너지 소비량을 분석하였다. 대기 : 수신 : 송신 모드를 1: 2: 2.5[2]의 에너지 소비량을 적용하여 실험하였다.

그림 6은 고정된 위치에 있는 목적지 노드를 향해 싱크 노드의 위치를 이동하여 이동 횟수 마다 에너지 소비량을 측정 한 것이다. 싱크 노드의 위치가 목적지 노드와 가까워질수록 ADV 메시지가 전송되는 네트워크 영역이 작아지기 때문에 에너지 소비량은 최대 70%까지 감소하게 된다. 그림 7은 메시지 전송 방향과 목적지 노드 위치가 어긋나 있는 경우를 표로 나타내고 있다. 싱크 노드가 전송하는 메시지의 방향이 목적지 노드의 반대 방향이기 때문에 싱크 노드가 목적지 노드를 찾

기 위해서는 틀린 방향의 영역에 ADV 메시지를 전송한 후, 검색된 영역에 찾고자 하는 목적지 노드가 존재하지 않음을 인지하고 나머지 영역을 검색해야 하기 때문에 기존의 Directed Diffusion 보다 0.03% 정도 더 많은 에너지를 소비하게 된다. 그림 7은 Directed Diffusion과 제안한 방법을 좀더 자세하게 나타내기 위해 에너지 소비량의 범위를 구체적으로 표시하여 두 알고리즘의 에너지 소비량을 알아 보기 쉽게 나타내었다. 그리고 싱크 노드와 목적지 노드 사이의 거리가 가까워질수록 목적지 노드에서 싱크 노드로 송신 되는 비용이 절감되기 때문에 전체적인 에너지 소비량은 점차 감소하게 된다.

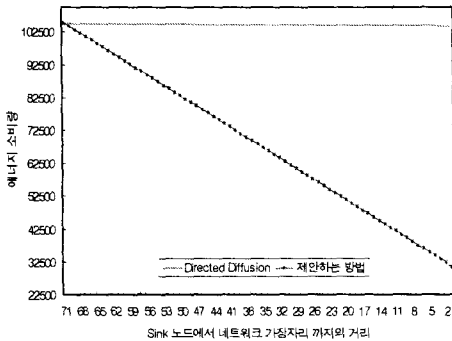


그림 6. 메시지 전송 방향과 목적지 노드 위치가 일치하는 경우

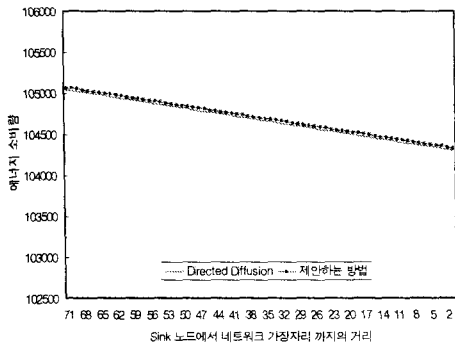


그림 7. 메시지 전송 방향과 목적지 노드 위치가 불일치하는 경우

5. 결론

본 논문에서는 통신망 초기 설정 시 싱크에서 송신되는 ADV메시지에 방향성 정보를 두어, 네트워크 전체로 메시지를 전파하지 않고, 제한된 방향으로만 메시지를 전파하여 네트워크 전체의 생존 시간을 연장하는 방법을 제안하였다.

실험을 통한 성능 측정 결과 현재 사용되고 있는 센서 네트워크 라우팅 알고리즘과 비교하여 목적지 노드를 발견할 때까지 소비하는 전력량은 최대 70%까지 감소하였다. 이 연구를 통해 센서 네트워크를 구성하는 각 노드들의 불필요한 에너지 소비를 최소화하여 각 노드의 생존 시간의 향상을 가져올 수 있었다. 향후 과제로 경로 강화된 노드들의 에너지 불균형 문제 해결과 싱크 노드가 ADV 메시지를 전송하기 전에 목적지 노드의 벡터 정보를 예측할 수 있는 알고리즘에 관한 연구가 계속 되어야겠다.

참 고 문 헌

- [1] Ian F.Akyildiz, Weilian Su, yogesh Sankarasubramaniam, Erdal Cayirci, "A Survey on Sensor Networks." IEEE Communications Magazine, vol. 40, no. 8, Aug. 2002, pp.102-114.
- [2] Wei Ye, John Heidemann, Devorah Estrin, "Medium Access Control with Coordinated Adaptive Sleeping for wireless Sensor networks", USC/ISI Technical Report ISI-TR-567, January 2003
- [3] C. Intanagonwiwat et al., "Directed Diffusion for Wireless Sensor Networking", IEEE/ACM Transactions on Networking, Vol.11, No.1, Feb.2003, pp.2-16.
- [4] W. Heinzelman, J. Kulik, and H. Balakrishnan, "Adaptive Protocols for Information Dissemination in Wireless Sensor Networks," Proc. 5th ACM/IEEE Mobicom, Seattle, WA, Aug. 1999. pp. 174 - 85.
- [5] B. Karp, H. T. Kung, "GPSR:Greedy Perimeter Stateless Routing for Wireless Networks", In Proceedings of ACM/IEEE MobiCom 2000, August 2000.