

무선 센서 네트워크를 위한 효율적인 쿼리 전달 방법

손재민, 진정우, 한기준
경북대학교 컴퓨터공학과
e-mail : jmson@netopia.knu.ac.kr

A Efficient Query Delivery Method for Wireless Sensor Networks

Jae-Min Son, Jung-Woo Jin, Ki-Jun Han
Dept. of Computer Engineering, Kyungpook National University

요 약

센서 네트워크에서는 응용에 따라 데이터 전송 방식을 몇 가지로 나눌 수 있다. 일반적으로 쿼리 기반의 데이터 전송방식에서는 싱크가 쿼리를 네트워크 전체에 플러딩하고 그 쿼리를 수신한 노드가 그 쿼리에 해당하면 감지한 데이터를 싱크까지 보고하는 방식을 취하고 있다. 하지만 특정 지역의 정보를 요구하는 쿼리일 경우에는 그 쿼리가 네트워크 전체에 플러딩된다면 불필요한 에너지 소모가 많이 발생하게 된다. 이를 해결하기 위하여 우리는 쿼리를 네트워크 전체에 플러딩하지 않고 특정지역으로만 쿼리를 전달하는 방법을 제안한다. 또한 실험을 통해서 쿼리를 플러딩하는 방법과 특정지역으로만 전달하는 방법을 비교하여 남아 있는 노드수와 평균 소비되는 에너지를 측정하여 제안한 방법이 센서 네트워크에서 중요시되는 생존시간 측면에서 더 우수함을 보였다.

1. 서론

최근에는 프로세서, 메모리, 무선통신 기술의 발전으로 인한 규모가 크며 저가의 무선 센서 네트워크(Wireless Sensor Network: WSN) 환경의 전개를 가능하게 하고 있다. 수천 개의 센서 노드들 간의 공동 작업을 기반으로 한 무선 센서 네트워크는 서식지 모니터링, 침입탐지, 실시간 위치 측정, 홈 네트워크, 과학적 탐사 등 수많은 응용에 대한 기반을 제공하고 있다. 이렇게 많은 응용에도 불구하고 무선 센서 노드들은 전력면에서는 자유롭지 못하다. 이러한 이유로 센서 네트워크에서는 에너지를 적게 소비하며 통신하는 기술 또한 많이 연구되고 있다. 센서 라우팅 프로토콜의 설계 시에도 이 같이 제한된 에너지를 효율적으로 사용할 수 있도록 설계되어야 한다 [1-2].

무선 센서 네트워크에서는 데이터 전송방식을 다음과 같이 몇 가지로 분류할 수 있다 [3]. 즉, 시간 기반(time-driven, LEACH [4]), 이벤트 기반(event-driven, TEEN [5]), 쿼리 기반(query-driven, Directed Diffusion [6], Rumor Routing [7], SPIN [8]), 그리고 이러한 방식들을

통합한 하이브리드(hybrid, APTEEN [9])방식이 있다. 이들 중 쿼리 기반 방식은 싱크(sink, 또는 Base Station)나 다른 센서 노드가 쿼리(query)를 보내면 그 쿼리에 해당하는 센서 노드들이 데이터를 싱크쪽으로 보고하는 방식이다. 대부분의 쿼리 기반의 라우팅 프로토콜에서는 쿼리의 전송보다는 데이터 보고에 소비되는 에너지를 최소화하는데 초점이 맞추어져 있다. 하지만 센서노드의 에너지 효율적인 데이터 보고도 중요하지만 쿼리의 전달도 쿼리기반 네트워크에서는 매우 중요한 부분이다. 또한 일반적으로 쿼리는 플러딩(flooding)되지만 쿼리의 종류가 특정지역의 정보를 필요로 하는 응용에서는, 쿼리가 플러딩될 필요가 없다(예: "외부온도는 몇도인가?" 또는, "1층 로비의 습도는 얼마인가?"). 이러한 쿼리의 플러딩은 불필요한 전송으로 인해 각 센서 노드들의 에너지가 빨리 고갈되는 원인이 된다. 만약 쿼리가 그 특정지역으로만 보내질 수 있다면 데이터를 수집하는 센서네트워크의 생존시간은 더욱 늘어날 것이다.

본 논문에서, 우리는 이러한 플러딩에 소비되는 에너지를 줄이기 위한 방법으로 특정지역으로만 쿼리를

전송할 수 있도록 하는 방법을 제안한다. 제안한 방법을 사용하면 쿼리를 플러딩하는 방법보다 네트워크의 생존시간을 약 3 배정도 늘릴 수 있다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 2 장에서는 효율적으로 쿼리를 전송하기 위해 제안된 방법을 설명하고 3 장에서는 실험을 통해서 제안된 방법을 확인하고, 4 장에 결론을 맺도록 하겠다.

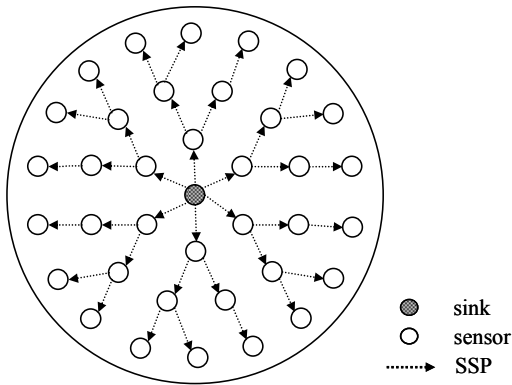
2. 효율적인 쿼리 전달 방법

쿼리 기반의 센서네트워크에서는 쿼리를 보낼 쿼리가 특정지역의 정보를 요구할 경우에는 네트워크 전체에 플러딩할 필요가 없다. 본 절에서는 이 같은 종류의 쿼리를 전달할 경우 전달되는 범위를 제한함으로써 네트워크의 생존시간을 늘리는 방법을 제안하고자 한다. 본 절은 섹터 설정단계, 섹터단위의 쿼리 전송 단계로 구성되어 있다.

2.1. 섹터 설정단계

섹터 설정 단계는 네트워크가 구성되는 초기에 한번 동작하며, 싱크가 네트워크를 같은 각의 섹터로 나누는 단계이다. 본 논문에서는 단위 섹터로 분할하는 각(θ)을 90 도, 60 도 그리고 45 도를 사용하였고, 섹터를 분할하는 각도는 제안 기법의 성능을 최적화할 수 있는 각도를 이용하고자 하며, 모의 실험 부분에서 위 세 가지 각도를 사용하여 각각 성능을 도출하였다.

싱크는 그림 1 에서와 같이 네트워크의 중앙에 위치하며 논리적으로 그림 2 와 같이 나누기 위해 알맞은 각도를 결정한다. 싱크는 섹터 설정에 필요한 정보들을 알리기 위하여 각각의 센서 노드에게 SSP(Sector Setup Packet) 메시지를 플러딩한다. 이렇게 플러딩되는 SSP 에는 싱크의 위치, 섹터의 각도가 포함되어 있다. SSP 를 수신한 각 센서노드는 다음과 같은 연산을 통해서 자신의 섹터위치를 결정한다.



(그림 1) 플러딩 SSP

싱크의 좌표를 (S_x, S_y)라하고 센서의 좌표를 (N_x, N_y)라 하면 식 1 에서와 같이 싱크의 좌표를 (0, 0)으로한 센서의 상대적인 좌표 (d_x, d_y)를 구할 수 있다. 이를 이용하여 그림 3 에서와 같이 기준선(base line)에서 싱크와 센서 노드의 사이각(θ_{node})을 구하기 위해서 식 2 에서와 같이 $\cos\theta_{node}$ 의 값을 구한다. 식 2 에서 구해진

결과값으로 식 3 에 대입하여 사이각을 구할 수 있다. 그 사이각을 이용하여 식 4 에서 만족하는 S(섹터번호)를 찾으면 센서 노드 자신이 어느 섹터에 속하는지 알 수 있게 된다.

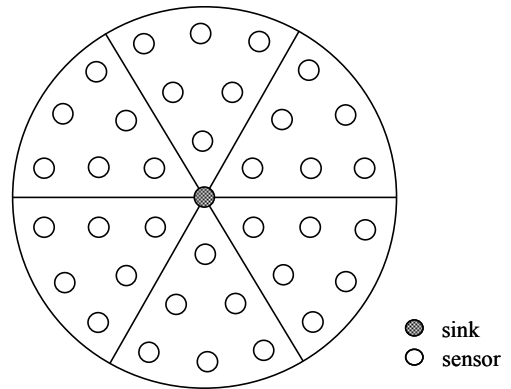
$$d_x = N_x - S_x, \quad d_y = N_y - S_y \quad (1)$$

$$\cos\theta_{node} = \frac{d_x}{\sqrt{d_x^2 + d_y^2}} \quad (2)$$

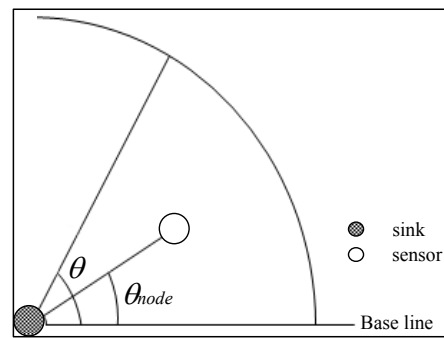
$$\theta_{node} = \arccos\left(\frac{d_x}{\sqrt{d_x^2 + d_y^2}}\right) \quad (3)$$

$$(S-1)\theta < \theta_{node} \leq S\theta \quad (4)$$

이렇게 싱크가 플러딩하는 SSP 메시지를 수신함으로써 그림 2 와 같이 네트워크가 분할되며 각 센서 노드는 자신의 섹터번호를 죽을 때까지 기억하고 있게 된다.



(그림 2) 네트워크의 분할

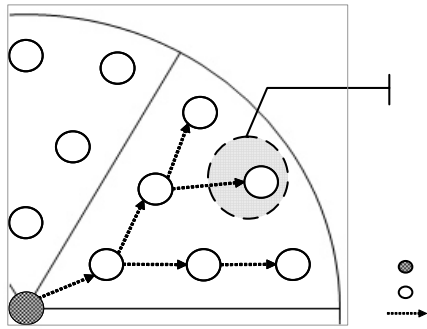


(그림 3) 네트워크의 분할

2.2. 쿼리 전송단계

쿼리 전송단계는 앞의 2.1 절에서 나눈 섹터 단위로 플러딩을 하는 단계이다. 다시 말해서 쿼리와 상관없는 지역의 섹터쪽으로는 쿼리가 플러딩되는 것을 제한하는 것이다. 싱크가 궁금해하는 특정 지역(specific area)이 포함된 섹터로만 쿼리가 전달될 수 있게 한다.

쿼리를 받은 센서노드는 쿼리에 포함된 섹터번호를 보고 그 쿼리를 전달(forwarding)해야 하는지 말아야 할지를 결정한다. 각 센서노드는 자신의 섹터번호와 비교하여 섹터번호가 일치하면 전달하고 그렇지 않으면 폐기(discard) 함으로써 네트워크 전체에 플러딩되는 것을 막을 수 있다. 이 불필요한 전송을 막음으로써 각 센서 노드의 에너지를 절약할 수 있으며 전체 네트워크의 생존시간도 늘릴 수 있다. 이 같은 섹터단위의 쿼리전달은 그림 4에서 잘 보여주고 있다.



(그림 4) 섹터 단위의 쿼리 전달

또한 쿼리가 플러딩되는 경로를 따라서 역경로(reverse path)가 설정되고 이 역경로를 통해서 데이터가 전송되는데, 본 논문에서는 센서노드에서 싱크까지의 데이터 전송보다 싱크에서 센서노드까지의 쿼리 전송에 초점을 맞추었기 때문에 데이터 모음(data aggregation) 등과 같은 에너지 효율적인 데이터전송은 포함되지 않고 간단한 데이터 전송모델을 이용한다. 쿼리의 플러딩을 통해서 설정된 역경로 중 싱크까지의 홉을 기준으로 최단경로를 따라 데이터를 싱크까지 전송한다.

3. 실험

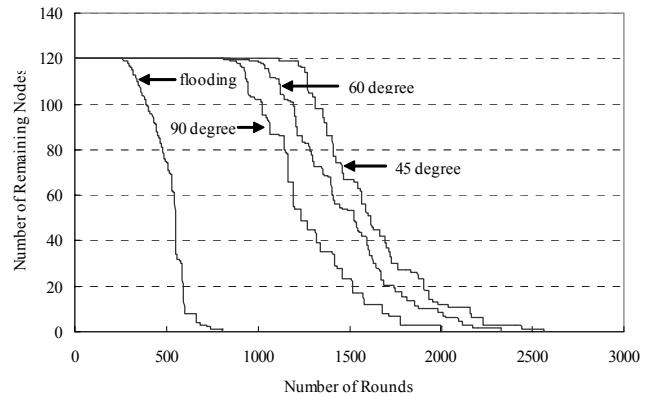
이 절에서는 실험을 통해서 쿼리를 플러딩 하는 방식과 우리가 제안한 쿼리 전달 방법을 비교 분석하였다. 우리는 실험에 앞서 몇 가지 가정을 하였다. 먼저 모든 노드들은 대칭형 무선통신 모델을 사용한다. 또한 쿼리는 특정 지역의 정보를 요구하고 그 지역의 정보를 감지하는 하나 또는 그 이상의 노드들이 그 쿼리에 응답하지만 우리는 특정지역대신에 특정 노드를 선택하여 고정된 비율로 쿼리를 발생시켜 실험하였다.

실험환경은 다음과 같다. 크기 $30 \times 30m^2$ 의 네트워크에 120개의 센서노드들을 무작위로 배치하였으며 모든 노드들의 전파 반경은 5m로 하였다. 메시지는 SSP, 쿼리, 데이터 이렇게 세가지 이며, 각각 11, 36, 64bytes로 하였으며 센서 노드의 초기에너지는 10J로 하였다. 또한, 송수신되는 에너지의 계산을 위해서 우리는 LEACH의 에너지 전송모델을 이용하였다 [4].

우리는 이번 실험을 통해서 플러딩 방법과 제안한 방법의 각 라운드당 남아있는 노드수와 평균 소비된 에너지를 측정하였다. 여기서 라운드(round)는 싱크가

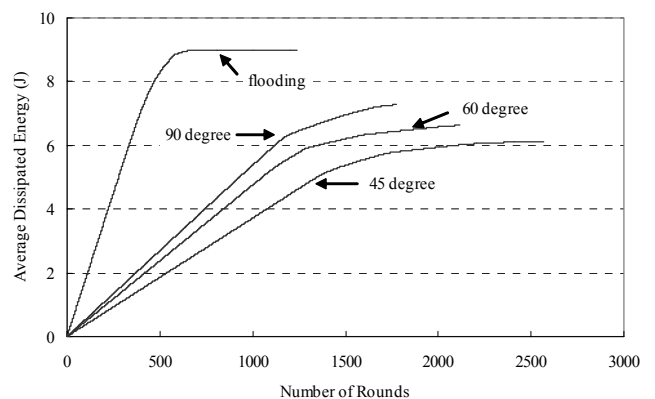
모든 노드들에게 한번씩 쿼리를 보내고, 전송 가능한 노드들이 감지한 데이터를 싱크까지 보내낼 때 까지 라 정의하였다.

그림 5는 각 라운드당 남아 있는 노드수를 나타내고 있다. 플러딩방법은 제안된 방법에서 각도를 90도로 한 것보다 약 3배나 빨리 노드들이 죽는 것을 알 수 있다. 또한 90도보다는 60도 그보다는 45도가 더 효율적임을 알 수 있다. 우리는 그림에는 나타나지 않지만 각도가 너무 작을 경우에는 연결성 문제가 심각하게 발생할 수 있고, 최적의 각도 선택은 네트워크 환경에 민감하게 작용함을 알 수 있었다.



(그림 5) 남은 노드수 측정

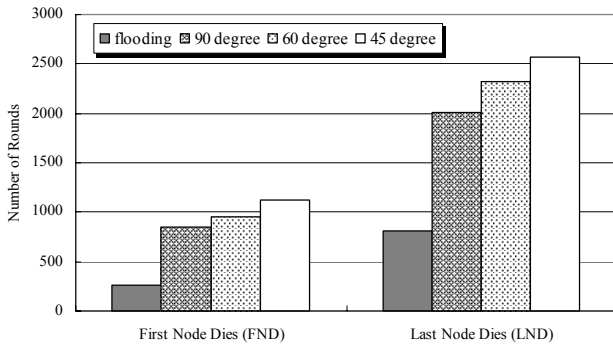
그림 6은 각 라운드당 평균 소비된 에너지를 보여주고 있다. 쿼리를 플러딩해서 전달할 때는 에너지 소비측면에서 제안한 방법들 보다 매우 빨리 소비되는 것을 알 수 있다. 평균 소비된 에너지를 100 라운드에서 비교해볼 때 플러딩방법이 제안한 방법보다 약 4.5배정도 빨리 소비되는 것을 알 수 있다. 또한 제안한 방법이 전체 소비되는 에너지는 적지만 라운드는 오래가는 것을 확인할 수 있다.



(그림 6) 평균 소비된 에너지 측정

센서네트워크에서는 센서노드가 데이터를 감지하고 싱크로 보고하는 것을 목적으로 하기 때문에 어떤 센서 노드의 죽음으로 인해서 감지해야 할 영역에 구멍이 생긴다면(sensing hole) 센서 네트워크의 생명을 다했다고 해도 과언이 아니다. 그래서 우리는 센서 네트

워크의 생존시간을 측정하기 위해서 그림 7 과 같이 첫 번째 센서 노드가 죽는 시점(First Node Dies: FND)을 측정하고 추가적으로 마지막 노드가 죽는 시점(Last Node Dies: LND)까지 측정하였다. 그림을 보면 알 수 있듯이 FND 가 플러딩방법보다 제안한 방법을 사용했을 경우 거의 3 배 이상 네트워크의 생존시간이 늘어남을 알 수 있다. 마찬가지로 LND 도 2.8 배 정도 생존시간이 늘어남을 알 수 있다.



(그림 7) 노드의 소멸 시기 측정

4. 결론

쿼리 기반 센서 네트워크에서는 센서들에 의하여 수집되는 데이터를 싱크까지 전송하는 것도 중요하지만, 싱크에서 각 센서노드들에게 쿼리를 전달 하는 것도 중요하다. 그래서 우리는 에너지 효율적인 쿼리 전송방법을 제안했다. 일반적인 쿼리 기반 센서 네트워크에서는 쿼리를 전달할 때 플러딩 방법을 사용하지만, 제안된 방법은 특정지역의 정보를 요구하는 쿼리 일 경우 그 쿼리를 네트워크 전체에 플러딩하지 않고 특정 지역으로만 쿼리를 전달함으로 해서 불필요한 쿼리의 전송을 줄이고 쿼리전송에 소비되는 에너지를 최소화 할 수 있었다. 실험을 통하여 우리는 제안된 쿼리 전달방법(90 도, 60 도, 45 도)과 플러딩 방법을 비교하여 각 라운드에 따른 남아있는 노드수와 각 노드에서의 평균 소비된 에너지를 측정하였다. 그 결과 플러딩 방법보다 우리의 쿼리전달 방법(60 도)이 각 라운드당 남은 노드수에서 약 3 배, 각 노드에서 평균 소비되는 에너지는 약 4.5 배 우수함을 보였다.

우리의 쿼리 전달 방법에서는 싱크와 센서노드간 사이각을 결정하는 것이 매우 중요하다. 앞으로 우리는 센서노드의 밀집도, 각 노드들간의 연결성 등을 고려하여 그 사이각의 결정에 대해서 더 연구할 것이다. 또한 우리는 색터를 기반으로 한 효율적인 데이터 전송방식에도 초점을 맞춘 연구도 계속 진행할 것이다.

참고문헌

[1] Akyildiz I.F., Weilian Su, Sankarasubramaniam Y. and Cayirci E., "A survey on sensor networks," Communications Magazine, IEEE, Aug. 2002, pp.102-114.

[2] J.M. Kahn, R.H. Katz and K.S.J. Pister, "Mobile Networking for Smart Dust," Proc. ACM/IEEE Intl. Conf. Mobile Computing and Networking (MOBICOM), Aug. 1999.

[3] I-Karaki J.N., Kamal A.E., "Routing techniques in wireless sensor networks: a survey," Wireless Communications, IEEE, Dec. 2004, pp.6-28.

[4] W. Heinzelman, A. Chandrakasan and H. Balakrishnan, "Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks," Proc. 33rd Hawaii Int'l. Conf. Sys. Sci., Jan. 2000.

[5] A. Manjeshwar and D.P. Agrawal, "TEEN: A Routing Protocol for Enhanced Efficiency in Wireless Sensor Networks," Proc. First Int'l Workshop Parallel and Distributed Computing Issues in Wireless Networks and Mobile Computing, Apr. 2001.

[6] C. Intanagonwiwat, R. Govindan and D. Estrin, "Directed Diffusion: A Scalable and Robust Communication Paradigm for Sensor Networks," Proc. Sixth Ann. ACM/IEEE Int'l Conf. Mobile Computing and Networking (MOBICOM), Aug. 2000, pp.56-67

[7] D. Braginsky and D. Estrin, "Rumor Routing Algorithm for Sensor Networks," Proc. 1st Wksp. Sensor Networks and Apps., Atlanta, GA, Oct. 2002.

[8] W. Heinzelman, J. Kulik, and H. Balakrishnan, "Negotiation-based Protocols for Disseminating Information in Wireless Sensor Networks," in Proc. of the 5th Annual ACM/IEEE International Conf. on Mobile Computing and Networking, 1999.

[9] Manjeshwar A., Agrawal D.P., "APTEEN: a hybrid protocol for efficient routing and comprehensive information retrieval in wireless sensor networks," Parallel and Distributed Processing Symposium., Proceedings International, Apr. 2002, pp.195-202.