

# 센서 망에서의 다중 정적 싱크의 쿼리 플러딩

진민숙<sup>○</sup>, 최영환, 이의신, 박수창, 우부재, 김상하

충남대학교

{badamul<sup>○</sup>, yhchoi, eslee, winter, yufc}@cclab.cnu.ac.kr, shkim@cnu.ac.kr

## Query Flooding of Multiple Static Sinks for Wireless Sensor Networks

Min-Sook Jin<sup>○</sup>, YOUNGHWAN CHOI, EUISIN LEE, SOOCHANG PARK, FUCAI YU, SANG-HA KIM  
Dept. of Computer Engineering, Chungnam National University

### 요 약

전형적인 센서 네트워크는 사용자, 싱크 그리고 센서들로 구성되며, 사용자와 싱크 간은 기반 망으로 연결되어 있음을 가정한다. 그러나, 재난지역이나 전투지역에서의 실제 사용자들은 기반 망이 없는 밀집된 센서 영역 내부를 이동하면서 다양한 정보를 받아 임무 수행할 수 있기를 원한다. 따라서, 사용자와 싱크 간 센서 노드만이 통신 채널로 유일하게 존재하는 상황에서 사용자의 이동성 지원이 필요 된다. 다중의 정적 싱크 기반 센서 망 구조에서 사용자의 이동성이 고려된 네트워크에서 사용자가 원하는 다양한 정보를 얻고자 하여 싱크에게 쿼리를 보냈을 때 각 싱크는 정보를 찾고자 한다. 기존 제안된 알고리즘들은 하나의 패킷에 수많은 쿼리를 담아 주기적인 메시지 전송을 요구하기 때문에 에너지 효율성이 떨어진다. 이에, 본 논문에서는 싱크가 정보를 찾고자 할 때 시간 동기화 기법을 사용하여 에너지 소모를 다소 줄이고자 한다. 각각의 싱크에 수많은 쿼리를 할당하여 원하는 정보를 찾으려 하는 임무로 플러딩할 때 패킷에 실어야 하는 값을 최소화 하여 에너지 효율성과 속도를 빠르게 하여 네트워크 수명을 연장하는 장점을 갖는다. 마지막으로 시뮬레이션시에 검증할 매트릭스와 향후 연구방향을 제시한다.

### 1. 서 론

전형적인 센서 네트워크는 사용자, 싱크 그리고 센서들로 구성되어 있다. 이러한 구성에서 사용자 와 싱크 간은 일반적으로 기반 망으로 연결되어 있음을 가정한다. 그러나, 재난지역, 전투지역 그리고 넓은 지역의 환경적 모니터링(서식지, 의학, 지진, 오염 등)에서 실제 사용자들은 기반 망이 없는 센서 영역 내부를 이동하면서 각기 성격이 다른 원하는 정보를 받아 임무를 수행 할 수 있기를 원한다. 이러한 사용자의 이동성을 고려한 다중 정적 싱크 네트워크에서 각각의 싱크가 수많은 쿼리들을 플러딩 할 때 패킷에 실을 수 있는 부담을 작게 하고자 한다.

다중 고정 싱크 네트워크에서 사용자의 이동성 지원을 위해서 다음과 같이 발전되어왔다.

단계1. 전형적인 센서 네트워크 통신 구조에서처럼 사용자가 인터넷의 연결을 통해 싱크와 직접적으로 통신 가능한 것[1]으로 가정하여 사용자의 이동성을 지원하는 것이다. 하지만 재난 구조나 전쟁지역과 같은 응용이 센서 네트워크 외 다른 기반 망이 없는 상황이 더 현실적이므로 사용자와 싱크가 인터넷을 통해 직접적으로 통신 가능하다고 하는 가정은 현실적이지 못하다는 문제를 가지고 있다.

단계 2. 사용자를 싱크와 동일시 하여 사용자의 이동을

싱크의 직접적인 이동으로 반영하여 사용자의 이동성을 지원하고 있다 [2~4]. 하지만 이와 같은 형태의 연구들은 여러 가지 문제점을 안고 있다. 우선 정적 싱크에서 기존 센서 노드들과의 효율적인 데이터 기반 알고리즘 [5], [6]을 전혀 사용할 수가 없다. 즉, 응용에 따라 정적 싱크를 사용함으로써 효율성을 극대화 시킬 수 있음에도 불구하고 사용자의 이동을 싱크의 이동으로 동일시함으로써 이러한 상황에 맞는 다소 비효율적인 또 다른 알고리즘을 적용하여야 한다. 또한 싱크의 중요한 기능 중에 하나인 센서 망과 기반 망을 연결하는 게이트웨이 기능을 활용하기 어려운 단점이 있다. 또한 데이터의 수집 장소인 싱크가 이동하므로 모든 센서 노드들이 데이터의 목적지인 싱크의 위치를 추적하여 알아야 하거나 싱크가 자신의 이동 위치에 대한 경로를 모든 센서 노드들에게 알려 주어야 한다. 이것은 에너지가 매우 제한적인 센서 노드들에게는 엄청난 오버헤드가 된다.

단계 3. 다중 정적 싱크를 사용하여 단일 정적 싱크의 문제점을 해결하고 사용자의 이동성을 보장하기 위해 사용자가 센서 필드 내로 이동하면서 센서 필드내의 정보를 얻고자 하면 사용자는 자신의 위치에서 가장 가까운 싱크에게 센서 노드들을 통해서 쿼리(query)를 전달한다. 사용자로부터 쿼리를 받은 싱크는 기존의 정적 싱크에서 사용한 데이터 수집 알고리즘 [5], [6]을 사용하여 센서 노드들로부터 정보를 수집한다. 이렇게 수집된 정보는 모든 싱크가 인터넷과 같은 기반 망을

통해서 공유하게 된다. 사용자는 이렇게 공유된 정보를 사용자의 이동 위치에 따라서 가장 가까운 싱크에게 데이터를 요구하여 전달 받게 된다.

사용자가 싱크에게 원하는 정보를 요청했을 경우에 싱크는 쿼리를 포함한 패킷을 플래딩하여 원하는 정보를 찾게 된다. 이러한 방식을 사용자의 이동성을 보장한 다중 정적 싱크에서 적용하기 위해서 시간동기화를 적용하게 되었다. 기존의 플래딩에서는 패킷 하나에 쿼리 모두 담아 가는 방식을 취했지만, 제안하는 메커니즘은 각 싱크마다 각각의 다른 쿼리를 가지고 플래딩 하도록 하여 밀집된 센서 네트워크에서 수십 개의 쿼리를 처리 할 수 있도록 하였다.

하나의 패킷에 수십 개의 쿼리를 담아 플래딩을 하는 방법도 하나의 방법이겠지만, 사용자의 이동성이 보장되는 다중 정적 싱크에서 분배된 쿼리에 따라서 패킷을 플래딩 하는 관점에서의 메커니즘을 제시한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 본 논문과 관련된 연구 현황을 살펴보고, 3장에서는 패킷의 플래딩 관점에서 제안된 메커니즘을 설명할 것이다. 그리고 4장은 결론과 향후 연구 방향에 대해서 다룬다.

## 2. 관련 연구

밀집된 무선센서 네트워크에서 사용자의 이동성을 보장하는 다중 정적 싱크를 사용하여 많은 양의 쿼리를 각 싱크별로 처리하기 위하여 다중 정적 노드의 탐구와 각 싱크별 쿼리에 적용할 시간동기화에 대해서 알아본다.

### 2.1 사용자의 이동성이 보장되는 다중 정적 싱크 기반 센서 네트워크

정적 싱크를 사용하여 센서 노드들을 통해서 데이터를 수집하고 이 수집된 데이터를 센서 필드를 이동하는 사용자에게 전달하고자 한다. 다만 단일 정적 싱크는 사용자가 싱크로부터 먼 곳에 있을 때 많은 흡수를 거쳐서 통신을 하여야 하므로 데이터를 효율적으로 받지 못하는 문제와 싱크 주변의 센서 노드들의 핫스팟(hotspot) 문제 [7]로 인해 센서 네트워크의 수명 연장을 위해 효과적으로 관리되지 못하기 때문에 조기에 죽는 문제를 갖기에 다음과 같은 다중 정적 싱크를 사용하여 사용자의 이동성이 보장된다. 즉, 사용자가 센서 필드 내로 이동하면서 센서 필드내의 정보를 얻고자 하면 사용자는 자신의 위치에서 가장 가까운 싱크에게 센서 노드들을 통해서

쿼리(query)를 전달한다. 사용자로부터 쿼리를 받은 싱크는 본 논문에서 제안한 메커니즘을 사용하여 데이터를 수집한다. 이렇게 수집된 정보는 모든 싱크가 인터넷과 같은 기반 망을 통해서 공유하게 된다. 사용자는 이렇게 공유된 정보를 사용자의 이동 위치에 따라서 가장 가까운 싱크에게 데이터를 요구하여 전달 받게 된다.

이러한 사용자 이동성을 보장하는 다중 정적 싱크 네트워크를 사용함으로써 많은 여러 가지 이득을 얻을 수 있다. 우선 사용자가 어느 위치에 있더라도 해당 위치에서 가장 가까운 싱크를 선택한다. 그러므로 사용자와 싱크 사이의 통신을 센서만으로 해야 하는 상황에서 짧은 흡수로 함으로써 에너지를 절약할 수 있고 데이터의 전송률을 높일 수 있고 시간 지연을 줄일 수 있다. 또한 사용자가 쿼리의 요구를 다중 정적 싱크를 통해서 함으로써 데이터 수집 장소를 다양화시킬 수 있다. 이것은 단일 정적 싱크의 주변 센서 노드의 많은 데이터 집중으로 인한 데이터 처리량의 급증으로 인한 핫스팟 문제를 해결할 수 있다. 이것은 센서 노드의 균형적인 에너지 소비를 가져와 센서 네트워크의 라이프 타임을 증가시킬 수 있다.

### 2.2 시간동기화

사용자가 쿼리의 요구를 다중 정적 싱크를 통해서 데이터 수집 장소를 다양화 시키기 위한 시간동기화 기법은 [8]에서 설명하고 있는 기존의 연구들과 다르다. 기존의 시간 동기화 기법의 목적은 노드들 사이의 시간을 정확하게 맞추는 것이다. 하지만, 제안된 시간동기는 여러 개의 싱크가 “얼마나 정확한 시간 동기화를 하는가?” 보다는 시간동기화를 통해 “얼마나 업무의 효율성을 높이느냐?”에 초점이 있다.

기존의 단일 싱크는 사용자가 필요로 하는 정보를 얻기 위해 센서 네트워크로 플래딩을 해왔다. 쿼리가 많아질 경우에 하나의 패킷에 다량의 정보를 울려서 플래딩하는 것은 업무의 효율성을 저해할 수도 있다고 가정할 수 있다.

단일 싱크를 사용하는 것보다는 다중 정적 싱크를 사용하여 싱크의 부담을 덜기 위해, 제안된 시간동기화 기법은 매 주기마다 대표 싱크(플래딩을 하고 있는 싱크)가 능동적으로 한번 플래딩하고 나머지 싱크들은 대표 싱크가 플래딩하는 동안 슬립 하는 방법을 사용한다. 이 방법은 대표 싱크가 아닌 나머지 싱크가 주기마다 무거운 패킷을 플래딩을 하는 부담을 덜어 준다.

하지만, 위와 같은 방법이 가능하기 위해서는 반드시 고려해야 할 사항이 존재한다. 그것은 플래딩 하지 않고

슬립하는 싱크들 역시 대표 싱크의 정보를 공유할 수 있도록 모든 싱크가 인터넷과 같은 기반 망을 통하도록 한다. 대표 싱크가 아닌 싱크들은 정해진 시간이 아니면 슬립하여 메시지를 받을 수 없으므로 정확히 시간을 동기화하여 그 시간에 보내고 받아야 한다. 또한 대표 싱크가 아닌 싱크들은 메시지를 받은 시점으로부터 한 주기의 시간을 슬립하고 다시 깨어나기 때문에 메시지를 받은 시점이 노드마다 다르다면 다음에 깨어나는 시간도 달라지게 된다. 이 두 가지에 영향을 미치는 것이 각각 싱크의 시간속도(Drift)와 받는시간(Receiving Time)이다.

이 두 가지 고려 사항에 대해서는 2.2.1와 2.2.2에서 설명한다.

### 2.1.1 서로 다른 시간속도

[8]에 따르면, 각 싱크의 시간속도는 거의 같을 수 없기 때문에 한번 시간을 맞추어 놓더라도 시간이 지나면 그 시간이 서로 달라져 일정한 시간에 깨어나기 힘들다. 따라서, 일정한 시간에 다른 싱크가 깨기 위해서는 이 시간속도를 맞추는 것이 필요하다. 싱크가 슬립하고 있을 때 싱크의 시간은 오실레이터(Oscillator)의 속도에 절대적으로 의존한다. 따라서 싱크 시간의 속도를 맞추는 것은 이 오실레이터의 속도를 맞추는 것이다.

[9][10]의 MICA 데이터 시트(Data Sheet)에 따르면, MICA가 쓰는 오실레이터는 크리스탈 오실레이터이며 이는 안정적이기는 하지만 온도에 따라 최대 속도가 20ppm까지 변하는 특성이 있다. 따라서, 이 속도를 허용하는 메커니즘이 필요하다.

### 2.1.2 받는 시간

동일한 싱크라 할지라도 일정한 주기로 데이터를 받을 때 지터(Jitter)가 발생한다. [11]에 따르면 싱크의 받는 시간 지터는 가우시안 분포를 따르고 최대 100us의 시간차이를 보인다. 따라서, 이 오차를 허용하는 메커니즘이 필요하다.

## 3. 제안 메커니즘

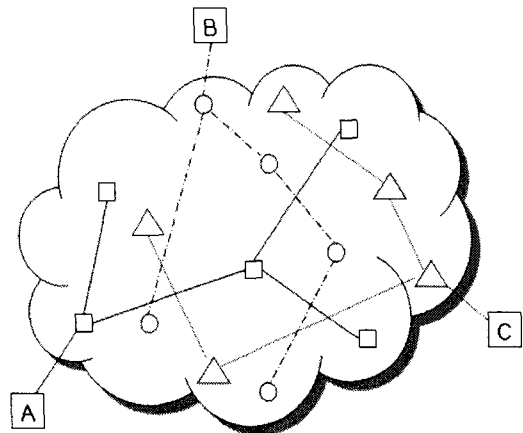
### 3.1 오차허용 시간동기화 기법

다중 정적 싱크 네트워크에서 수많은 퀴리를 싱크에 따라 플러딩의 모델은 [그림 1]과 같다. 이 모델에 적용할 시간동기화는 서로 다른 시간속도와 받는 시간을 고려하여야 한다. 이를 해결하기 위한 작업을

순서대로 표시하면 아래와 같다.

- A. 처음 트리가 구성되면 각 싱크들은 회복(Refreshment) 메시지를 보낸다.
- B. 회복 메시지를 받은 대표가 아닌 싱크들은 메시지를 받은 시각부터 슬립한다.
- C. 미리 정해진 싱크가 깨어나는 시간이 오면, 슬립한 싱크는 깬다.
- D. 이때 대표싱크는 싱크가 깨어나는 시간과 최대 받는 시간을 더한 시간 이후에 다시 회복 메시지를 보낸다.
- E. 두 번째 회복 메시지를 받은 대표가 아닌 싱크들은 자신이 깬 이후로 메시지를 받기까지의 시간을 기록한다.
- F. 대표가 아닌 싱크들은 다시 슬립한다.
- G. 만약, 싱크가 깨어나는 시간이 도달하면, 대표가 아닌 싱크들은 기록된 시간만큼 더 슬립한다.
- H. D~G의 과정을 반복한다.

C~E에서 처음 시간동기를 할 때는 싱크간 시간속도가 다르기 때문에 분명히 많은 시간을 깨어서 기다려야 한다. 하지만 D~G의 과정은 G에 의해 거의 시간 속도가 같아지며 단지 받는 시간만큼의 시간 동안만 싱크들이 깨어 있도록 만든다. 이러한 방법으로 기존의 방법에 비해 더욱 에너지 효율적임을 보이고자 한다.



A/B/C: 싱크  
□: 싱크 A의 퀴리 ○: 싱크 B의 퀴리 △: 싱크 C의 퀴리

그림 1. 각 싱크에서의 퀴리에 따른 플러딩 모델

각 싱크에 따라 플러딩할 퀴리를 분할하여 주기적으로 업무를 처리하도록 한다. 각각의 싱크는 돌아가면서 대표노드가 되어 업무를 수행하게 되는데

이렇게 수집된 정보는 모든 싱크가 인터넷과 같은 기반 망을 통해서 공유하게 된다. 다음 [그림 2]는 각 싱크가 수행하는 업무의 시간동기화에 따른 주기적인 업무의 분할을 나타낸다. 가정은 9초동안에 각각의 싱크는 3회의 주기로 쿼리를 분할하여 플러딩한다.

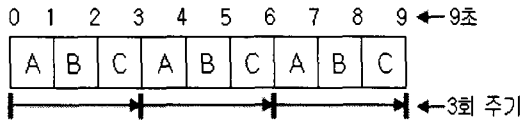


그림 2. 각 싱크당 플러딩 주기 리스트

#### 4. 결론 및 향후 연구 방향

본 논문은 밀집된 센서 네트워크에서 다중 정적 싱크 모델을 기본 설정으로 하였고, 수많은 쿼리가 있을 경우에 각 싱크에게 쿼리를 분할하여 패킷을 가볍게하여 플러딩을 할 수 있다 하였다. 기존 플러딩시에 패킷 하나에 모든 정보를 넣는 방법이지만, 쿼리가 많을 경우에 따른 업무수행의 효율성 관점에서 싱크에 쿼리를 분배하여서 주기적으로 플러딩을 발생하여 각 쿼리에 해당하는 필요한 정보를 받아들일 수 있도록 플러딩을 하도록 하였다.

이에, 향후 각 싱크에서 쿼리를 어떻게 분할할 것인지와 기존의 하나의 패킷에 정보를 모두 담는 경우와 본 논문에서 보는 관점의 싱크마다 정보를 분할하여 플러딩하는 것이 나을지에 대한 비례비를 산출하는 것이 향후 연구 과제로 남아있다.

#### 5. 참고문헌

[1] I.F. Akyildiz, S. Weilian, et al., "A survey on sensor networks," Communications Magazine, IEEE Journal Vol. 40, pp. 102-114, Aug. 2002.  
 [2] F. Ye, Haiyun Luo, et al., "A Two-Tier Data Dissemination Model for Large-scale Wireless Sensor Networks," ACM/IEEE MobiCOM 2002, Sept. 2002.  
 [3] S. Kim, S. Son, et al., "SAFE: A Data Dissemination Protocol for Periodic Updates in Sensor Networks," Distributed Computing Systems Workshops 2003, 23rd International Conference.  
 [4] H. L. Xuan and S. Lee, "A Coordination-based Data Dissemination Protocol for Wireless Sensor Networks," IEEE ISSNIP 2004, Dec. 2004.  
 [5] C. Intanagonwiwat, R. Govindan, and D. Estrin, "Directed diffusion: A scalable and robust communication paradigm for sensor networks,"

ACM/IEEE Mobicom Conference, 2000.

[6] W.R. Heinzelman, J. Kulik, and H. Balakrishnan, "Adaptive Protocols for Information Dissemination in Wireless Sensor Networks," ACM/IEEE Mobicom Conference 99, Aug. 1999.  
 [7] Hui Dai and Recharad Han, "A node-centric load balancing algorithm for wireless sensor networks," Global Telecommunications Conference, 2003. GLOBECOM '03. IEEE, Dec. 2003.  
 [8] F. Sivrikaya and B. Yener, "Time Synchronization in Sensor Networks: a survey," in Proceedings of Network IEEE, vol. 18, pp. 45-50, Jul. 2004.  
 [9] "Surface-Mount Quartz Crystal Products" <http://dkc3.digikey.com/PDF/EU042/0418.pdf>  
 [10] "THIN SMD LOW / MEDIUM-FREQUENCY CRYSTAL UNIT MC-146/156" [http://www.eea.epson.com/go/Prod\\_Admin/Categories/EEA/QD/Crystals/all\\_crystals/go/Resources/TestC2/MC146](http://www.eea.epson.com/go/Prod_Admin/Categories/EEA/QD/Crystals/all_crystals/go/Resources/TestC2/MC146)  
 [11] J. Elson, "Time Synchronization in Wireless Sensor Networks," Ph. D. dissertation, in University of California, May. 2003.  
 [12] S. R. Madden et al., "TAG: a Tiny AGgregation Service for Ad-Hoc Sensor Networks," in Proceedings of OSDI, Dec. 2002.