

무선 센서 네트워크에서 에너지 효율을 고려한 모바일 싱크의 데이터 중심 탐색 우선순위 결정 기법

(An Energy Efficient
Data-Centric Probing Priority
Determination Method for
Mobile Sinks in Wireless
Sensor Networks)

성 동 옥 [†] 이 지 희 [†]
(Dong Ook Seong) (Ji Hee Lee)

여 명 호 [†] 유 재 수 ^{**}
(Myung Ho Yeo) (Jae Soo Yoo)

요 약 센서 네트워크의 수명을 향상 시키기 위해 모바일 싱크 기술을 이용하는 다양한 기법이 연구되고 있다. 모바일 싱크를 이용한 대표적인 연구로 트랙기반 모바일 싱크 운용 기법과 앵커 포인트기반 모바일 싱크 운용 기법이 있다. 이러한 기법들은 질의 발생 위치, 데이터 중요도 등과 같은 네트워크 환경을 고려하지 않은 고정적인 경로 기반으로

하여 QoS(Quality of Service)를 감소시키고, 경로 인근에 전송 핫스팟을 야기시켜 네트워크 수명을 감소시킨다. 본 논문에서는 기존 기법들의 문제점을 해결하는 모바일 싱크 운용 기법을 제안한다. 제안하는 기법에서는 데이터의 중요도를 고려하여 모바일 싱크의 탐색 우선순위를 결정하여 QoS를 높이고, 모바일 특성을 최대한 활용하여 라우팅 핫스팟을 최소화 시킨다. 성능평가 결과 기존 기법에 비해 평균 질의 응답시간을 감소시키고, 네트워크 수명이 연장됨을 보였다.

키워드 : 센서 네트워크, 모바일 싱크, 데이터 중심 탐색

Abstract Many methods have been researched to prolong sensor network lifetime using mobile technologies. In the mobile sink research, there are the track based methods and the anchor points based methods as representative operation methods for mobile sinks. However, the existing methods decrease Quality of Service (QoS) and lead the routing hotspot in the vicinity of the mobile sink. The reason is that they use static mobile paths that are not concerned about the network environments such as the query position and the data priority. In this paper, we propose the novel mobile sink operation method that solves the problems of the existing methods. In our method, the probing priority of the mobile sink is determined with the data priorities for increasing the QoS and the mobile features are used for reducing the routing hotspot. The experimental results show that the proposed method reduces query response time and improves network lifetime over the existing methods.

Key words : sensor network, mobile sink, data-centric probing

1. 서 론

MEMS(Micro Electro Mechanical Systems) 기술이 발전함에 따라 소형의 전자장치에 센서 모듈, 통신 모듈, 연상 장치 등의 다양한 소자들을 집적시켜 무선 센서 노드를 제작할 수 있게 되었다. 센서 노드는 수십에서 수만 개의 노드가 배포되어 광범위한 관심지역의 환경정보를 수집하고, 네트워크를 구축하여 수집 데이터를 멀티-홉 통신이 가능하다. 이러한 센서 네트워크의 응용 분야는 육지 및 수중의 동물 서식지 관찰, 건물의 안전성 모니터링, 대기 및 수질의 오염도 모니터링, 산불 및 홍수와 같은 재난 발생 모니터링, 건물 내 환경 모니터링, 전장에서의 침입자 모니터링 등 매우 다양하다[1,2].

센서 노드는 일반적으로 배포되는 환경과 무선의 특성을 고려해 별도의 외부 전원 공급원 없이 내장된 배터리를 이용한다. 따라서 내장 배터리를 모두 소진하게 되면 동작불능 상태가 되며, 센서 노드들의 배터리 지속 시간이 전체 네트워크 수명을 결정한다. 센서의 이러한 에너지 특성을 고려하여 네트워크 수명을 향상시키기

· 본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술재단의 지역혁신인력양성사업과 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업의 결과임(No. 2009-0089128).

· 이 논문은 제36회 추계학술발표회에서 '무선 센서 네트워크 환경에서 에너지 효율을 고려한 모바일 싱크의 데이터 중심 탐색 우선순위 결정 기법'의 제목으로 발표된 논문을 확장한 것임

[†] 학생회원 : 충북대학교 정보통신공학과
seong.do@gmail.com
jhlee@netdb.cbn.ac.kr
mhyeo@netdb.cbn.ac.kr

^{**} 종신회원 : 충북대학교 정보통신공학과 교수
yjs@chungbuk.ac.kr
(Corresponding author)

논문접수 : 2009년 12월 28일

심사완료 : 2010년 2월 24일

Copyright©2010 한국정보과학회 : 개인 목적이나 교육 목적인 경우, 이 저작물의 전체 또는 일부에 대한 복사본 혹은 디지털 사본의 제작을 허가합니다. 이 때, 사본은 상업적 수단으로 사용할 수 없으며 첫 페이지에 본 문구와 출처를 반드시 명시해야 합니다. 이 외의 목적으로 복제, 배포, 출판, 전송 등 모든 유형의 사용행위를 하는 경우에 대하여는 사전에 허가를 얻고 비용을 지불해야 합니다.

정보과학회논문지: 컴퓨터의 실제 및 래터 제16권 제5호(2010.5)

위한 많은 연구들이 이루어지고 있다. 일반적으로 센서 노드에서 일어나는 에너지 소모하는 연산처리, 센서 모듈 동작, 데이터 입출력, RF 통신 등에서 일어난다. 그 중 RF 통신으로 소모하는 에너지가 다른 동작에 비해 월등히 높다. 따라서 기존의 에너지 효율적인 통신기법에 대한 많은 연구들이 진행되고 있다.

센서 네트워크를 이용한 데이터 수집은 일반적으로 멀티-홉 라우팅을 통해서 이루어진다. 따라서 데이터 전송 과정에서 발생하는 에너지 소모는 데이터를 생성한 노드에서 발생할 뿐만 아니라 데이터를 전달하는 중간 노드에서도 발생한다. 특히 싱크 노드 주변의 노드들에 데이터 송수신의 핫스팟(hotspot)이 발생하여 더욱 급격한 에너지 소모가 발생하여 네트워크 수명의 단축을 야기한다. 핫스팟은 싱크 노드의 인근에 위치한 센서 노드들에서 발생할 뿐만 아니라 환경에 따라 이벤트가 집중적으로 발생하는 위치에서도 핫스팟이 발생된다. 이러한 문제를 해결하기 위한 방법으로 싱크 노드에 이동성을 적용한 운용 기법들이 제안되었다[3-5]. 이 기법들은 모바일 싱크의 환경에 맞게 적절히 위치를 이동시켜 핫스팟 문제를 해결한다. 뿐만 아니라 데이터의 라우팅 거리를 단축시켜 라우팅 비용을 줄이거나 특정 관심 지역을 집중적으로 모니터링하기 위해 모바일 싱크를 배치시킬 수 있다.

기존에 제안된 모바일 싱크를 이용한 기법들은 대부분 특정한 트랙이나 앵커 포인트를 기반으로 일정한 궤적을 따라 모바일 싱크를 움직이며 데이터를 수집하게 된다. 하지만 일반적인 응용들은 모든 센서 노드들에서 발생하는 데이터를 필요로 하지 않는다. 지역적으로 발생한 이벤트에 대한 모니터링이나 일정한 영역에 대한 데이터 수집을 요구하는 질의들은 네트워크의 특정한 노드들만을 대상으로 데이터 전송을 필요로 한다. 따라서 기존의 일정한 궤적을 기반으로 한 모바일 싱크 운용 전략은 환경적 특성을 적절히 반영하지 못하여 전체적인 QoS를 감소시키는 결과를 야기한다.

본 논문에서는 네트워크 운용환경과 데이터 발생 특성을 고려하여 QoS를 향상시키고, 모바일 싱크를 적용함으로써 생기는 장점을 최대화시키는 데이터 중심의 모바일 싱크 이동경로 설정 기법을 제안한다. 제안하는 기법의 성능을 보이기 위해 시뮬레이션을 통해 기존 모바일 싱크 운용 기법과 비교평가 하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 관련연구로 정적인 싱크 노드를 기반한 데이터 수집과 기존에 제안된 모바일 싱크를 이용한 데이터 수집기법에 대해 기술한다. 3장에서는 본 논문에서 제안하는 데이터 중심의 모바일 싱크 경로 설정 기법을 제안하고, 4장에서 제안하는 기법의 성능을 시뮬레이션을 통해 평가한다. 마지막으로 5장에서 결론과 향후 연구에 대하여 기술한다.

2. 관련연구

고정 싱크를 기반으로 한 다양한 데이터 수집 기법들이 제안되었다. 대표적인 방법으로 클러스터 기반 데이터 수집 기법과 트리 기반 데이터 수집 기법이 있다. 클러스터 기반 데이터 수집 기법의 대표적인 예로 LEACH, HEED[6]를 들 수 있다. 이 기법들은 센서 노드들을 특정 조건을 기반으로 헤더 노드를 선정하고 헤더를 기준으로 인근 노드들이 멤버로 포함되어 클러스터를 구축한다. 클러스터 기반 기법은 수집 데이터를 싱크 노드로 전송하기 전에 1차적으로 헤더 노드에서 멤버들의 데이터를 수집하여 가공 처리하여, 에너지 효율적인 데이터 전송이 가능하다. 트리 기반 데이터 수집 기법의 대표적인 예로는 TAG[7], Cougar[8]를 들 수 있다. 이 기법들은 데이터를 최종적으로 수집하는 기지국을 최상위 노드로 가지는 트리 구조의 라우팅 경로를 생성하고, 각 노드들에서 발생하는 데이터들은 정해진 라우팅 트리를 통해 기지국으로 수집된다. 이러한 고정된 싱크를 기반으로 한 데이터 수집 기법은 몇 가지 약점을 가지고 있다. 첫째, 고정적인 네트워크 환경에서는 데이터 핫스팟에 따른 에너지의 불균등 소모로 인해 네트워크 수명이 단축된다. 일반적으로, 센서 네트워크를 통해 수집되는 데이터가 응용에 사용되기 위해서는 싱크노드로 전송되어야 한다. 따라서 센서 네트워크의 어떠한 위치에서 발생한 데이터라 할지라도 항상 싱크 노드 근처의 센서 노드들을 거쳐 싱크 노드로 전송된다. 따라서 싱크 노드에 가까이 위치한 노드일수록 데이터 송수신이 더욱 빈번하게 발생하는 데이터 전송 핫스팟이 발생되고, 상대적으로 노드의 수명이 단축된다. 뿐만 아니라 일반적인 고정적인 네트워크 환경에서는 모니터링 하고자 하는 이벤트의 발생 위치에 따라서도 데이터 핫스팟이 발생할 수 있다. 둘째, 센서 네트워크는 수십~수천 개의 센서 노드들이 넓은 범위의 지역에 배포되어 환경정보를 수집한다. 센서 노드는 통신거리의 제약으로 수집된 데이터들은 싱크 노드로 전송하기 위하여 멀티-홉 라우팅을 이용한다. 따라서 실제 전송할 데이터가 센서 노드들도 이웃 노드의 데이터를 전송하기 위해 데이터 송수신이 발생한다. 이러한 멀티-홉 라우팅은 데이터를 전송하고자 하는 센서 노드의 위치가 싱크 노드에서 멀수록 라우팅에 참여하는 노드들이 증가하게 된다. 또한 일반적으로 센서 노드의 동작은 물리적인 환경의 영향으로 인해 어느 정도 오차를 포함한 데이터 수집이나 전파방해로 인한 통신실패 등 어느 정도의 오류를 포함하고 있다. 따라서 라우팅 거리가 멀어지게 되면 거쳐가야 할 노드들이 많아져 패킷 손실률이 하는 빈도가 증가하여 전체적인 QoS를 감소시키게 된다.

앞서 설명한 고정 싱크 기반의 데이터 수집 기법들의 문제점들을 해결하기 위해 모바일 싱크를 네트워크에 적용하는 연구들이 진행되었다. 모바일 싱크를 고려한 연구들은 싱크노드 인근에 발생하는 데이터 핫스팟 발생을 분산시키고, 장거리 멀티-홉 라우팅 발생을 억제한다. 대표적인 연구로 [3]와 [5]이 있다. [3]의 경우 트랙 기반의 모바일 싱크 이동기법은 모바일 싱크가 사전에 정해진 트랙을 지속적으로 이동하면서 정해진 수집 스케줄링 전략에 맞춰 데이터를 수집하는 기법이다. 이동하는 모바일 싱크의 중심으로 동적으로 부분적 라우팅 경로가 생성되고, 이를 이용해 데이터 수집이 이루어진다. [5]은 앵커 기반의 모바일 싱크 이동 기법을 센서 네트워크에 적용한 기법에서는 다수개의 앵커 포인트를 두고, 모바일 싱크는 이 앵커 포인트로 위치를 이동하면서 데이터를 수집한다. 모바일 싱크가 앵커 포인트에서 정해진 시간만큼 머물면서 데이터를 수집한 후, 시간이 종료되면 다른 앵커 포인트로 이동한다. 앵커 기반의 기법에서는 모바일 싱크로의 라우팅이 비교적 빈번하게 변경되지 않으므로, 트랙 기반의 기법에 비해 네트워크 생존 시간을 증가시킬 수 있다.

3. 데이터 중심(Data-Centric) 탐색 우선순위 설정 기법

본 장에서는 무조건 모바일 싱크의 탐색 우선순위를 결정하기 위해 고려해야 할 요소들을 분석하고, 이러한 요소들을 고려한 모바일 싱크의 지역별 탐색 우선순위를 설정 기법에 대하여 제안한다.

3.1 탐색 우선순위 맵

모바일 싱크의 운용환경에서 응용의 QoS를 향상시키기 위해 센서 데이터 수집 순서는 데이터의 중요도에 따라 결정될 수 있다. 즉, 응용에서 불필요하거나 중요도가 낮은 데이터 수집에 소모되는 자원의 낭비를 최소화 시키는 것이 중요하다. 본 논문에서는 모바일 싱크의 데이터의 수집 우선순위를 결정하기 위해 데이터의 시간 마모도와 질의 중첩도 요소들을 고려하여 수집경로를 동적으로 결정하는 기법을 제안한다.

데이터의 시간 마모도(Data Temporal Weariness):

일반적으로 센서노드에서 수집되는 데이터는 지속적으로 발생하며, 수집된 데이터는 시간이 지남에 따라 그 가치가 떨어진다. 수집된 데이터는 임시로 자체 메모리 공간에 저장되고, 정해진 전송 스케줄에 따라 기지국으로 전송된다. 이러한 전송 스케줄에 따라 각 센서 노드상의 데이터가 유지되는 시간과 누적된 양이 달라진다. 그림 1은 각 센서 노드의 데이터 수집 시간에 따른 메모리 공간상에 유지되는 데이터의 양의 차이의 예를 보여준다. 그림에서 S1 노드의 경우 마지막 데이터 수집 시간인 17:37:00은 현재 시간 19:10:00을 기준으로 01:33:00

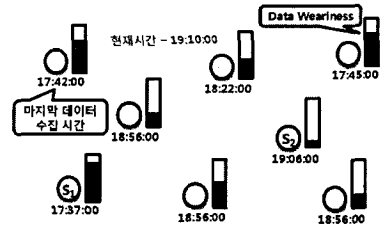


그림 1 데이터 수집 시간에 따른 데이터의 시간 마모도

의 시간이 흘렀으며, S2 노드의 경우 00:04:00의 시간이 흘렀다. 이 경우 각 센서 노드의 데이터 시간 마모 수준을 나타내는 노드 오른쪽의 게이지가 그림과 같이 차이가 나타난다. 즉, 마지막으로 데이터가 수집된 시간으로부터 시간이 지날수록 해당 센서 노드의 데이터 마모 수준은 높아지고, 이는 해당 데이터의 이용가치가 낮아짐을 의미한다.

질의 중첩도: 구축된 센서 네트워크가 다중 응용, 다중 사용자에게 의해 사용될 경우 다수의 질의가 네트워크에 배포된다. 질의 영역은 응용이나 사용자에게 의해 지리적 범위가 결정되며, 다수의 질의 영역들은 상호간에 범위가 중첩되는 상황이 발생한다. 이러한 중첩도는 해당 지역에 대한 응용/사용자의 데이터 요구 수준을 반영한다. 따라서 요구 수준이 높은 영역의 데이터를 우선적으로 수집할 경우 QoS를 향상시킬 수 있다.

위의 두 가지 요소 이외에 시스템 운용상에서 직접적으로 특정한 관심영역을 설정할 수 있다. 제안하는 기법에서 데이터 시간 마모 수준, 질의 중첩도 그리고 시스템상의 직접적인 관심영역을 고려하여 모바일 싱크의 탐색 가중치를 계산한다. 식 (1)은 제안하는 기법의 탐색 가중치 계산 모델이다. d 는 질의 중첩도를 나타내고, t 는 데이터의 마지막 수집 시점에서 지난 시간, S_{data} 는 메모리상에 저장된 데이터량, I_{level} 은 시스템에서 임의로 설정된 관심도를 나타낸다. 각 $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ 는 각 요소의 가중치를 나타낸다. 제안하는 탐색 가중치 모델의 계산에 사용되는 요소들은 모두 기지국에 유지되는 정보로서 네트워크에서의 추가적인 오버헤드를 야기시키지 않는다.

$$EP = \sum_{query} (\alpha \cdot d) + (\beta \cdot t + \gamma \cdot S_{data}) + (\delta \cdot I_{level}) \quad (1)$$

제안하는 탐색 가중치 모델을 이용하여 센서 네트워크가 배포된 모든 영역에 대하여 계산하고, 그 결과를 통해 그림 2와 같은 탐색 우선순위 맵을 만들 수 있다. 그림의 맵 상에 표현되어 있는 영역의 고저 차이가 해당 영역의 탐색 우선순위를 반영한다. 만들어진 탐색 우선순위 맵은 비선형적인 공간 정보이므로 맵의 용량과 계산 복잡도를 낮추기 위해 정규화 과정을 거친다. 만들어진 탐색 우선순위 맵을 특정 셀 단위로 구분할 수 있는 그리드 형태로 만들고, 각 셀을 대표할 수 있는 단일 평균값으로 설정하여 전체 영역을 정규화한다.

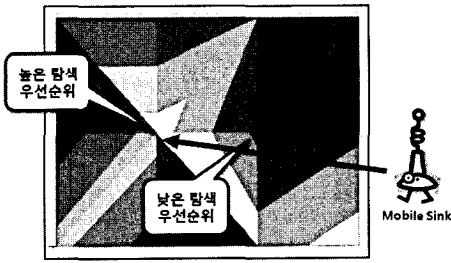


그림 2 탐색 우선순위 맵

3.2 그리디 탐색 기법(Greedy Probing)

본 장에서는 앞서 제안한 탐색 우선순위 맵을 기반으로 모바일 싱크의 데이터 중심 이동경로 결정 기법을 제안한다. 기지국에서 만들어진 정규화된 탐색 우선순위 맵은 모바일 싱크로 전송되고, 모바일 싱크는 이동할 수 있는 지역별 탐색 우선순위를 알아낼 수 있다. 이에 따라 모바일 싱크는 가장 탐색 우선순위가 높은 지역에서 낮은 지역의 순서로 이동하여 해당 영역의 데이터를 수집한다. 수집된 영역의 셀은 마지막 수집시간이 바뀌어 데이터의 시간 마모도가 변경된다. 변경된 값을 자신의 탐색 우선순위 맵에 반영하고, 다음 탐색 영역의 셀을 찾아 이동한다. 그림 3은 탐색 우선순위 맵을 이용해 결정된 모바일 싱크의 이동경로를 나타낸다. 이러한 방식으로 각 영역별 데이터 요구도를 고려해 모바일 싱크의 이동경로를 설정함에 따라 불필요한 영역의 탐색을 최소화 하여 응용에 대한 응답속도를 높이고, 활용도 높은 데이터에 대하여 최신 데이터를 빠르게 수집하여 QoS를 높일 수 있다.

모바일 싱크의 운용에서 싱크의 이동거리 단축은 시스템 응답속도 향상과 싱크의 에너지 소모를 감소시키기 위해 중요하게 고려되어야 할 사항이다. 따라서, QoS를 증가시키고, 모바일 싱크의 에너지 소모를 최적화시키기 위해서는 앞서 제안한 그리디 경로 설정 기법은 질의 발생위치나 데이터의 시간 마모도 만을 고려하여 모바일 싱크의 이동거리에 대해서 최적화되지 않았다. 그로 인해 지리적으로 떨어진 위치에 서로 비슷한 수준의 탐색 우선순위를 가지는 셀이 존재할 경우 비효율적인 이동경로를 결정하게 된다. 이 문제를 해결하기 위해 기존에 생성된 탐색 우선순위 맵을 바탕으로 모바일 싱크가 현재 위치해 있는 공간에 따른 가중치를 고려하여 이동경로를 결정한다. 그림 4의 경우 모바일 싱크의 현 위치가 공간의 북동쪽 가장자리에 위치해 있다. 여기서 탐색 우선순위 맵과 동일한 그리드를 생성하여 모바일 싱크의 위치를 기준으로 그림과 같은 가중치를 부가할 수 있다. 모바일 싱크의 위치에 따른 공간 가중치를 고려한 탐색 우선순위 맵을 이용하여 이동경로를 결정하게 되면 그림 4의 문제를 해결할 수 있다.

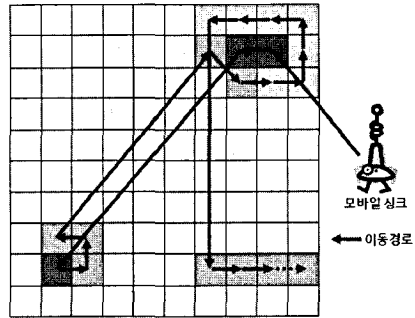


그림 3 탐색 우선순위 맵을 이용한 모바일 싱크 이동경로

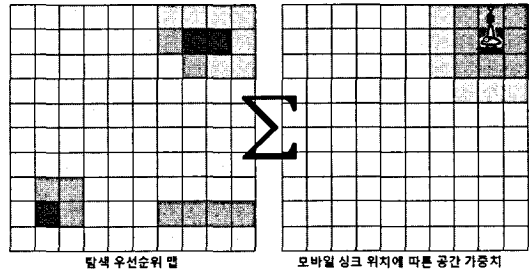


그림 4 모바일 싱크의 위치에 따른 탐색 우선순위 맵 최적화

4. 성능평가

본 장에서는 제안하는 기법(DCP: Data-Centric Probing, O-DCP: Optimized DCP)의 우수성을 보이기 위해 기존에 제안 데이터 수집 기법인 고정 싱크 기법(SS), 트랙 기반 모바일 싱크 기법(TP)과 시뮬레이션을 통해 비교평가하였다.

시뮬레이션은 표 1과 같은 환경 변수를 바탕으로 균일하게 배포된 센서 네트워크 토폴로지로 바탕으로 진행하였다. SS 기법에서 싱크 노드의 위치는 네트워크 중앙이라고 가정하였다.

센서 노드의 메시지 송수신에 소모되는 에너지 식 (2)와 식 (3)의 모델을 사용하였다[9].

$$T_{cost} = 50 \text{ nJ/b}, \quad R_{cost} = 50 \text{ nJ/b}, \quad T_{amp} = 100 \text{ pJ/b/m}^2$$

$$SEND_{cost} = MSG_{size} \cdot (T_{cost} + T_{amp} \cdot T_{dist}^2) \quad (2)$$

$$RECV_{cost} = MSG_{size} \cdot R_{cost} \quad (3)$$

그림 5는 네트워크 운용시간에 따른 에너지 소모량에 대해 비교한 결과이다. SS의 경우 네트워크에서 발생하는 모든 데이터를 장거리 멀티-홉 라우팅을 통해 싱크 노드로 전송하기 때문에 높은 에너지 소모가 발생하여 짧은 네트워크 수명을 보인다. TP는 트랙을 기준으로 멀티-홉 라우팅이 발생하여 핫스팟 발생이 SS에 비해 분산되어 향상된 네트워크 수명을 보이지만 여전히 트랙 인근의 노드들의 에너지 소모가 크게 발생하여 네트워크 수명을 단축시킨다. 제안하는 기법의 경우 모바일

표 1 성능평가 환경 변수

파라미터	값
센서 개수	400개
TP의 전체 트랙 거리	400m
발생 질의 수	5개
질의크기/네트워크 크기	약 0.1
우선순위 맵 크기	10x10
센싱 데이터 크기	4byte
초기 센서 에너지	0.1J
모바일 싱크의 속도	10m/s

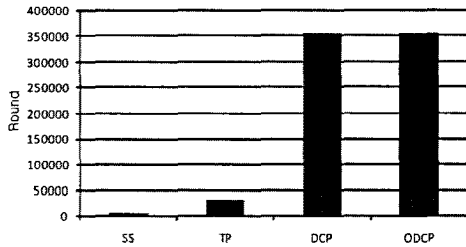


그림 5 네트워크 수명 비교

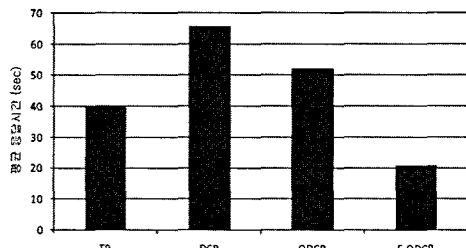


그림 6 질의에 대한 평균 응답시간

싱크의 특성을 최대한 적용하여 핫스팟의 발생을 최소화하여 네트워크 수명이 크게 향상되었다.

그림 6은 질의 발생시 평균 응답시간을 비교한 결과이다. TP의 경우 부분적인 멀티-홉 라우팅을 사용함에도 불구하고 질의 발생위치를 고려하지 않은 고정된 궤적으로 데이터를 수집하여 데이터 수집 대기시간이 길어질 가능성이 높다. 제안하는 기법의 경우 멀티-홉 라우팅 없이 모바일 싱크가 각 수집 위치로 이동하여 데이터를 수집하게 되어 상대적으로 TP에 비해 이동거리가 증가한다. 하지만 제안하는 기법에 부분적인 멀티-홉 라우팅을 적용시킬 경우(E-ODCP) 응답시간이 약 48% 감소함을 확인하였다.

5. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 기존에 제안된 모바일 싱크 적용 기법을 분석하고, 기존 기법의 문제점을 해결하는 무궤도 모바일 싱크의 데이터 중심 탐색 우선순위 결정 기법을 제안하였다. 기존의 모바일 싱크를 이용한 기법은 일정한

트랙이나 특정 앵커 포인트를 기반으로 싱크의 이동 경로를 설정하였다. 이로 인해 모바일 싱크는 고정적인 패턴 이동하여 동적인 질의 발생환경에서 낮은 QoS를 나타내며, 경로 인근에 위치한 노드들에 여전히 데이터 핫스팟이 발생한다. 제안하는 기법에서는 무궤도 모바일 싱크를 적용하고, 이동 경로를 데이터 수집 우선순위를 고려한 동적인 이동경로 설정으로 기존 기법에 비해 높은 QoS를 보장하고, 데이터 핫스팟 발생 문제를 해결하였다.

참고 논문

- [1] Aly, M., Chrysanthos, P. K., and Pruhs, K., "Decomposing Data-Centric Storage Query Hot-Spots in Sensor Networks," *Proc. of the 3rd Annual International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems*, pp.1-9, 2006.
- [2] Gehrke, J., and Madden, S., "Query Processing in Sensor Networks," *IEEE Pervasive Computing*, vol.3, issue 1, pp.46-55, 2004.
- [3] Zhao, W., Ammar, M., and Zegura, E., "Controlling the Mobility of Multiple Data Transport Ferries in a Delay-Tolerant Network," *Proc. of the 24th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies*, vol.2, pp.1407-1418, 2005.
- [4] Luo, J., and Hubaux, J. -P., "Joint Mobility and Routing for Lifetime Elongation in Wireless Sensor Networks," *Proc. of the 24th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies*, vol.3, pp.1735-1746, 2005.
- [5] Luo, J., Panchard, J., Piorowski, M., Hubaux, J. -P., and Grossglauser, M., "MobiRoute: Routing towards a Mobile Sink for Improving Lifetime in Sensor Networks," *Proc. of the 2nd International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems*, pp.480-497, 2006.
- [6] Younis, O., and Fahmy, S., "HEED: A Hybrid, Energy-Efficient, Distributed Clustering Approach for Ad Hoc Sensor Networks," *IEEE Mobile Computing*, vol.3, issue 4, pp.366-379, 2004.
- [7] Madden, S., Franklin, M. J., Hellerstein, J. M., and Hong, W., "TAG: a Tiny Aggregation Service for Ad Hoc Sensor Networks," *Proc. of the 5th Symposium on Operating Systems Design and Implementation*, pp.131-146, 2002.
- [8] Gehrke, J., and Yao, Y., "The Cougar Approach to In-Network Query Processing in Sensor Networks," *Proc. of ACM SIGMOD International Conference on Management of Data*, vol.31, issue 3, pp.9-18, 2002.
- [9] Tang, X., and Xu, J., "Extending Network Lifetime for Precision-Constrained Data Aggregation in Wireless Sensor Networks," *Proc. of the 25th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies*, pp.1-12, 2006.