

# 무선 센서 네트워크 환경에서 에너지 효율적인 연속 스카이라인 질의 처리기법

(An Energy Efficient Continuous  
Skyline Query Processing Method  
in Wireless Sensor Networks)

성 동 옥<sup>†</sup>                      여 명 호<sup>†</sup>

(Dong Ook Seong)            (Myung Ho Yeo)

유 재 수<sup>\*\*</sup>

(Jae Soo Yoo)

**요약** 무선 센서 네트워크에서 병합 질의를 효율적으로 처리하기 위한 다양한 인-네트워크 질의 처리 기법이 제안되었다. 스카이라인 질의는 일반적인 병합 질의와 달리 다차원 데이터에 대한 비교를 요구하므로 인-네트워크 처리가 쉽지 않다. 스카이라인 질의를 에너지 효율적으로 처리하기 위해서 불필요한 데이터의 전송을 제거하는 것이 중요하다. 기존에 제안된 스카이라인 처리 기법은 전체 네트워크에 필터를 배포함으로써 불필요한 데이터 전송을 차단한다. 하지만 필터 배포시 발생하는 에너지 소모로 인해 네트워크의 수명이 단축된다. 본 논문에서는 필터 배포에 따른 에너지 소모를 줄이기 위한 방법으로 Lazy 필터링 기법을 통한 스카이라인 질의 처리 기법을 제안한다. 제안하는 기법은

필터를 미리 배포하지 않고 하위 노드로부터 기지국으로 데이터를 수집하는 과정에서 스카이라인 필터 테이블(SFT)을 만들고 필터링을 수행한다. 제안하는 알고리즘의 우수성을 보이기 위해 시뮬레이션을 통해 기존에 제안된 MFTAC 기법과 비교하였으며, 그 결과 평균 False Positive가 평균 53% 감소하였고, 네트워크 수명이 약 44% 증가하였다.

**키워드** : 스카이라인 질의, 센서 네트워크, 필터링, lazy 필터

**Abstract** In sensor networks, many methods have been proposed to process in-network aggregation effectively. Contrary to normal aggregation queries, skyline query processing that compare multi-dimension data for producing result is very hard. It is important to filter unnecessary data for energy-efficient skyline query processing. Existing approach like MFTAC restricts unnecessary data transitions by deploying filters to whole sensors. However, network lifetime is reduced by energy consumption for filters transmission. In this paper, we propose a lazy filtering-based skyline query processing algorithm of in-network for reducing energy consumption by filters transmission. The proposed algorithm creates the skyline filter table (SFT) in the data gathering process which sends from sensor nodes to the base station and filters out unnecessary transmissions using it. The experimental results show that the proposed algorithm reduces false positive by 53% and improves network lifetime by 44% on average over MFTAC.

**Key words** : skyline query, sensor network, filtering, lazy filter

## 1. 서론

최근에 신호 처리 기술, 소형 전자 장치 개발 기술, 무선 통신 기술이 발전함에 따라 센서 네트워크의 많은 응용들이 가능하게 되었다. 연구 목적의 환경 감시 혹은 군수 물자의 흐름 파악, 전장 상황 파악과 같은 다양한 분야에서 활용된다[1,2]. 일반적으로 센서 노드는 온도, 습도, 조도, 영상 등의 다양한 정보를 수집할 수 있는 센서 소자와 단거리 RF통신이 가능한 통신 모듈을 내장하고 있다. 이를 통해 센서들 간의 네트워크를 구축하여 관심 지역에 대한 다양한 데이터를 수집할 수 있다. 센서는 일반적으로 내장 배터리를 이용해 동작한다. 만약 배터리를 모두 소모하게 되면 더 이상 센서로서 동작할 수 없으며, 구성된 네트워크는 활용 불가능해진다. 이로 인해 배터리 전력을 얼마나 오래 유지하느냐에 따라 센서 네트워크의 수명이 결정된다.

현재 센서 노드의 배터리 전력을 절약하기 위한 다양한 기법들이 연구되고 있다. 그 중 센서에서 수집되는 데이터에 대한 질의를 효율적으로 처리하기 위하여 인-네트워크 질의 처리 기법들이 제안되었다. 기존 방식의

· 이 논문은 2008년 교육과학기술부로부터 지원(지역거점연구단육성사업/충북IT연구중심대학육성사업단)과 교육과학기술부와 한국산업기술재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임

· 이 논문은 2008 한국컴퓨터종합학술대회에서 '무선 센서 네트워크 환경에서 에너지 효율적인 연속 스카이라인 질의 처리기법'의 제목으로 발표된 논문을 확장한 것임

<sup>†</sup> 학생회원 : 충북대학교 정보통신공학과  
sergei@netdb.cbnu.ac.kr  
mhyeo@netdb.cbnu.ac.kr

<sup>\*\*</sup> 정회원 : 충북대학교 정보통신공학과 교수  
yjs@chungbuk.ac.kr  
(Corresponding author)

논문접수 : 2008년 8월 27일

심사완료 : 2009년 2월 18일

Copyright©2009 한국정보과학회 : 개인 목적이거나 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 받고 비용을 지불해야 합니다.

정보과학회논문지: 컴퓨팅의 실제 및 레터 제15권 제4호(2009.4)

경우 기지국의 로컬 스트리지에서 질의를 처리하기 위해 수집되는 모든 데이터를 기지국으로 전송한다. 이 방식은 큰 데이터 전송 비용이 소모되어 네트워크의 수명을 줄인다. 하지만 인-네트워크 질의 처리 기법은 데이터 라우팅 도중에 네트워크 내에서 데이터를 병합(aggregation)하여 전송량을 줄임으로써 전송 에너지를 절약한다. 보통 데이터 병합 기법들은 일차원의 속성값에 대한 처리만을 지원한다[3]. 하지만 환경 데이터의 특성상 여러 속성값을 조합해야 가치 있는 데이터를 얻을 수 있는 경우가 많다. 예를 들어, “대기 오염이 심한 지역을 알려달라.”와 같은 질의는 대기오염 정도를 판단하기 위해 CO<sub>2</sub>, CO, SO<sub>2</sub> 등의 다양한 값들을 고려해야 한다. 이러한 경우 스카이라인 질의를 이용해 처리할 수 있다. 일반적으로 센서 네트워크에서 환경을 대상으로 하는 응용들은 다중 속성에 대한 질의 처리가 많이 발생하므로 센서 네트워크에서의 효율적인 스카이라인 질의 처리 기법이 요구된다.

스카이라인 질의 처리에 대한 기존 연구들은 모든 데이터가 동일한 저장공간에 위치한 상황만을 고려하였다. 하지만 센서 네트워크 환경에서 인-네트워크 방식으로 질의 처리하는 상황에서는 질의 대상이 되는 데이터들이 각 센서들에 분산되어있다. 따라서 기존에 제안된 스카이라인 질의 처리 기법을 센서 네트워크 환경에 적용하기 힘들다. 본 논문에서는 효율적인 인-네트워크 스카이라인 질의 처리를 위해 스카이라인 질의 결과에 만족하지 않는 데이터를 필터링하는 기법에 대하여 연구를 진행하였다.

본 논문은 다음과 같은 순서로 기술하였다. 2장에서는 기존에 제안된 스카이라인 질의 처리 기법과 문제점을 살펴보고, 3장에서는 제안하는 스카이라인 질의 처리 기법을 설명한다. 4장에서는 제안하는 기법의 우수성을 보이기 위해 기존에 제안된 질의 처리 기법과 시뮬레이션을 통해 비교 평가한다. 마지막으로 5장에서는 결론에 대하여 기술한다.

2. 관련연구

TAG[4]와 같은 인-네트워크 병합 질의 처리 기법은 센서 네트워크 내부에서 병합된 결과만을 기지국으로 전송하기 때문에 에너지 소모를 감소시킨다. 특히, SUM, MIN, MAX와 같은 병합 질의의 경우, 모든 데이터를 수집하지 않고 병합된 결과만을 수집하기 때문에 에너지 소모를 줄이는데 더 효과적이다. 하지만 다중 속성을 이용하는 스카이라인 질의의 경우, 다른 센서 데이터에 의해 모든 속성이 지배되는 데이터만 제외되기 때문에 부분적인 결과를 통해 전체 결과를 도출하는 것은 어려운 일이다[5]. 따라서, 결과에서 불필요한 데이터를 제외하기 위한 기준을 만드는 것이 중요하다.

Block Nested Loop(BNL)[6]는 순차적으로 전체 데이터를 스캔하고, 메모리에 저장된 후보 데이터와 비교한다. Sorted Filter Skyline(SFS)[7]은 연산을 통해 모든 속성을 하나의 단일 값으로 만들고 정렬을 통해 비교 대상의 수를 줄인다. Divide and Conquer (D&C)[6]는 데이터의 집합을 많은 영역으로 나누고, 각 영역에서 스카이라인을 계산한다. 그 다음, 각 영역의 스카이라인으로부터 최종 스카이라인을 결정한다. 하지만, 이 방법들은 중앙처리를 통해 수행됨으로 센서 네트워크와 같은 분산 환경에 적합하지 않다.

[8]과 같은 분산 환경을 고려한 스카이라인 질의 처리 기법은 웹 정보 시스템을 대상으로 하고 있기 때문에 쉽게 센서 네트워크에 적용할 수 없다. [8]은 모바일 애드혹 네트워크의 경량 디바이스를 위한 분산 스카이라인 질의 처리 기법이다. 질의 결과에서 불필요한 데이터를 제외하기 위한 필터링 기법을 제안한다. 하지만, 필터링 정보는 상위 노드에 의해 결정되기 때문에 다른 센서 노드의 데이터는 필터 설정에 영향을 끼치지 않는다. [5]는 [8]보다 향상된 필터링 기법을 제안한다. 그림 1은 [5]의 MFTAC 예를 나타낸다. 먼저 생성한 데이터를 이용하여 가장 많은 데이터를 필터링할 수 있는 MFT(Min-Score Filtering Tuple)를 계산하고, MFT를 센서 노드에 배포함으로써 불필요한 데이터의 전송을 줄인다. 또한, MFT 배포를 위한 비용을 분산하기 위해서 HEED[9] 클러스터링 방법을 이용하여 클러스터 헤드가 MFT를 계산하고 배포하도록 한다. 하지만 클러스터 헤드에 의해 MFT 배포 비용이 분산된다 하더라도 연속적인 스카이라인 질의를 처리하기 위해서는 MFT를 연속적으로 클러스터 멤버로 배포해야 한다. 결국, 전체 센서 노드가 MFT의 송/수신에 참여하게 된다. 또한, 클러스터나 라우팅 트리에 의한 MFT의 계산은 지역적인 데이터를 반영하고 있기 때문에 많은 불필

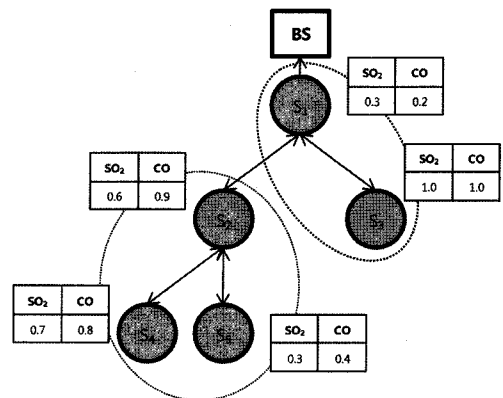


그림 1 MFTAC의 예

요한 데이터들이 기지국으로 전송된다. 예를 들면,  $\{S_2, S_4, S_5\}$ 로 구성된 클러스터는 스카이라인 질의의 결과로  $\{S_2, S_4\}$ 를 보고한다. 하지만, 기지국에 계산된 최종 스카이라인 결과에서  $\{S_2, S_4\}$ 는  $S_3$ 에 의해 제거된다. 결국  $\{S_2, S_4\}$ 는 불필요한 데이터이다. 효과적인 스카이라인 질의 처리를 위해서 필터의 배포 비용을 줄이고, 지역적인 필터링을 통해 False Positive를 효과적으로 줄이기 위한 연구가 필요하다.

### 3. 제안하는 연속 스카이라인 질의 처리 기법

본 장에서는 필터 배포 비용과 불필요한 데이터 전송을 줄이기 위한 연속 스카이라인 질의 처리 기법을 제안한다. 기존에 제안된 질의 처리 기법은 필터를 설정하기 위해서 라우팅 트리의 상위 노드로부터 최적의 MFT를 계산하고, 하위 노드로 배포한다. 각 센서 노드는 상위 노드에 의해 결정된 MFT를 이용하여 필터링을 수행한다. 하지만, MFT는 전송 경로상의 부분 데이터를 반영하고 있기 때문에 많은 False Positive 데이터가 보고되고, 이것은 네트워크 수명을 단축시키는 주된 원인이 된다. 본 논문에서는 필터의 배포를 위한 경로와 데이터의 수집을 위한 경로가 동일하다는 점을 착안하여 현재 데이터를 기준으로 필터를 설정하고, 데이터를 수집하는 과정에서 필터를 갱신하는 Lazy 필터링 기법을 제안한다. 먼저 Lazy 필터링 기법을 기술하고, Lazy 필터링 적용에 따른 문제점과 이를 해결하기 위한 데이터 우선 수집 기법을 기술한다.

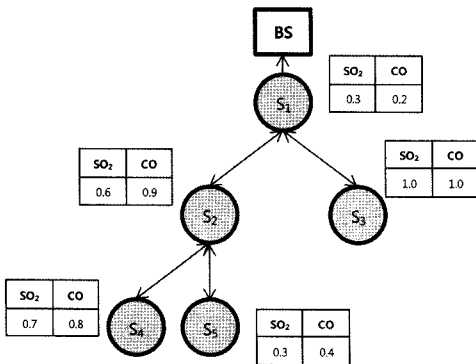


그림 2 Lazy 필터링 기법의 예

#### 3.1 Lazy 필터링 기법

제안하는 기법은 불필요한 데이터의 전송을 차단하기 위하여 각각의 센서들마다 스카이라인 필터 테이블(SFT)을 유지한다. SFT는 센서 노드가 수집한 데이터와 자식 노드로부터 전송된 데이터를 이용하여 스카이라인 질의 결과를 유지한다. 이후 하위로부터 전송된 센

서 데이터는 SFT와 비교하여 필터링 되거나 새로운 스카이라인 결과로 판단된 경우 상위 노드로 전송되는 동시에 SFT를 갱신한다. 예를 들면, 그림 2의 예제에서 각 센서 노드는 현재 자신의 데이터를 이용하여 각각 SFT를 구성하고, 자식 노드로부터 전송된 데이터를 필터링 한다. 만약  $S_5$ 의 데이터가  $S_2$ 로 전송된다면,  $S_2$ 의 SFT= $\{S_2\}$ 에 의해 배제된다. 그 다음,  $S_4$ 의 데이터가  $S_2$ 로 전송되면,  $S_4$ 의 데이터는 필터링 되지 않고  $S_2$ 로 전송된다. 동시에  $S_2$ 의 SFT= $\{S_2, S_4\}$ 로 갱신된다. 하지만, 센서 데이터의 전송 순서에 따라 필터링 효율이 크게 달라질 수 있다. 예를 들면,  $S_1$ 로  $S_2, S_4, S_3$  순서로 데이터가 전송된다고 가정할 때, 먼저  $S_2$ 에 의해 SFT는  $\{S_2\}$ 로 갱신되고,  $S_2$ 를 기지국으로 전송한다. 그 다음  $S_4$ 가 전송되는 시점에서  $S_1$ 의 SFT는  $\{S_2, S_4\}$ 로 갱신되고,  $S_4$ 를 기지국으로 전송한다. 마지막으로  $S_3$ 가 전송되는 시점에서  $S_1$ 의 SFT는  $\{S_3\}$ 으로 갱신되고  $S_3$ 를 기지국으로 전송한다. 하지만, 만약  $S_3, S_2, S_4$ 의 순서대로 데이터가 전송되었다면,  $S_1$ 의 SFT는  $\{S_3\}$ 로 유지되고,  $S_2$ 와  $S_4$ 의 데이터는 기지국으로 전송되지 않고 배제된다. 가장 이상적인 경우는 하위 노드에 존재하는 스카이라인 결과들이 먼저 전송되어 상위 노드의 SFT에 등록되고, 모든 False Positive가 배제되는 것이다. 하지만, 센서 노드 스스로 스카이라인 여부를 판단하는 것은 불가능하고, 수집 순서를 결정하기 위한 기준이 필요하다.

#### 3.2 Monotone Score를 이용한 데이터 수집 순서 결정

제안하는 기법은 필터링의 효과를 높이기 위해서 Monotone Score를 이용한다. 제안하는 Lazy 필터링 기법의 경우, 데이터의 전송 순서가 필터링의 효율에 영향을 끼치기 때문에 Monotone Score를 이용하여 데이터 수집 순서를 결정한다. Monotone Score는 그림 3과 같이 값이 작을수록 스카이라인 질의 결과에 포함될 가능성이 높아진다. [5] 또한 Monotone Score를 필터링 기법에 적용하였다. 하지만, 일반적인 방식의 단일 값 필터에 적용하여 스카이라인 형태의 데이터 필터링에 적합하지 않다.

제안하는 기법에서는 데이터의 전송 순서를 결정하기

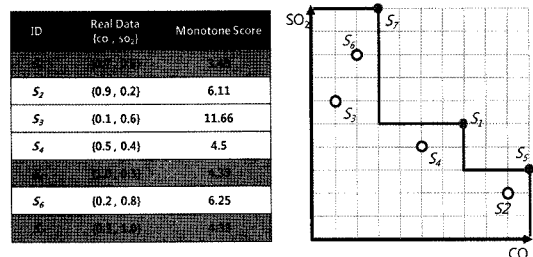


그림 3 Monotone Score의 특성

위해 다음과 같은 방식으로 처리한다. 먼저 센서가 수집한 환경 데이터들의 각 속성을  $p$ 로 가정하면,  $j$ 개의 다중 속성의 집합을  $Attributes = \{p_1, p_2, p_3, \dots, p_j\}$ 로 정의 할 수 있다. 모든 센서들은 자신이 수집한 다중 속성값을 바탕으로 식 (1)을 이용하여 *Monotone Score*를 계산한다.

$$Monotone\ Score = \sum_{j=1}^m \frac{1}{p_j} \quad (1)$$

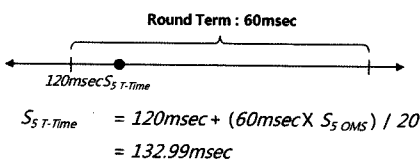
자신의 *Monotone Score*에 따라 식 (2)를 이용하여 하나의 라운드 범위 내에서 전송할 시점을 계산하고, 자신의 전송시각이 되면 데이터를 기지국으로 전송한다. 식 (2)에서 *TransmitTime*은 해당 데이터의 전송시각을 나타내고, *Round<sub>current</sub>*는 현재 진행중인 라운드의 순서를 나타내며, *Round<sub>term</sub>*은 한 라운드의 시간 간격을 나타낸다. *MonotoneScore<sub>own</sub>*은 자신의 속성에 대한 *Monotone Score*를 나타내고, *MonotoneScore<sub>maximum</sub>*은 *Monotone Score*의 최대값을 나타낸다.

$$Transmit\ Time = ((Round_{current} - 1) \times Round_{term}) + ((Round_{term} \times MonotoneScore_{own}) / MonotoneScore_{maximum}) \quad (2)$$

그림 4의 (a)는  $Sensors_{ID} = \{S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6, S_7\}$ 의 수집한 다중 속성값과 *Monotone Score*를 나타낸 것이다. 여기서  $S_5$ 의 전송 시점은 (b)의 그림과 같이 {현재 라운드의 시작 시각: 120msec} + ({한 라운드의 시간: 60msec} \* { $S_5$ 의 *Monotone Score*: 4.33}) / {최대 *Monotone Score*: 20}를 계산하여 자신의 전송 시점인 132.99msec를 구할 수 있다. 이런 방식으로 각각의 센서들의 전송 시점을 계산하면 *Monotone Score*가

ID	Real Data	Monotone Score
$S_1$	{0.7, 0.5}	3.43
$S_7$	{0.3, 1.0}	4.33
$S_4$	{0.5, 0.4}	4.5
$S_2$	{0.9, 0.2}	6.11
$S_6$	{0.2, 0.8}	6.25
$S_3$	{0.1, 0.6}	11.66

(a) 2중 속성값과 *Monotone Score*



(b) 전송시간 계산

그림 4 *Monotone Score*에 따른 데이터 전송 시간 결정

작을수록 전송 시점이 빨라지고, 클수록 전송 시점이 늦어진다. 이를 통해 제안하는 Lazy 필터링 기법의 효율이 높아진다.

#### 4. 성능평가 및 분석

##### 4.1 실험 환경

제안하는 알고리즘의 우수성을 보이기 위해 기존에 제안된 연속적인 스카이라인 질의 처리 알고리즘과 성능을 비교평가 하였다. 성능평가는 센서 노드가 균일하게 배포된 환경에서 표 1과 같은 환경변수를 이용하여 수행하였다. 센서 노드의 메시지 전송에 소모되는 에너지 모델은 {메시지 크기}\*({전송 비용}+{증폭 비용}\*{거리}<sup>2</sup>)이며, 전송 비용은 50nJ/b, 증폭 비용은 100pJ/b/m<sup>2</sup>으로 설정하였다. 메시지 수신에 소모되는 에너지 모델은 {메시지 크기}\*{수신 비용}이며, 수신 비용은 50nJ/b으로 설정하였다.

시뮬레이션에서 사용된 데이터는 미국 워싱턴주에서 측정된 실제 온도와 습도 데이터이며, 여러 개의 센서 노드로 구성된 센서 네트워크를 시뮬레이션하기 위해서 데이터 모델의 위상차를 두어 각 센서 노드가 서로 다른 데이터를 수집하도록 설정하였다.

표 1 성능 평가 환경

파라미터	값
센서 개수	120
센서 식별자	4byte
센싱 데이터의 크기	4byte
센싱 속성의 차원수	2
초기 센서 에너지	0.1J

##### 4.2 실험 결과

그림 5와 그림 6은 센서 노드 수가 변경됨에 따라 제안하는 기법과 MFTAC의 네트워크 수명과 평균 False Positive를 평가한 결과이다. MFTAC의 경우, 단일값 기반의 필터를 활용한다. 따라서 다차원, 다중값의 특성을 가지는 스카이라인 질의 데이터를 처리하는데 적합하지 않다. 이로 인해 불필요한 데이터 전송을 적절히

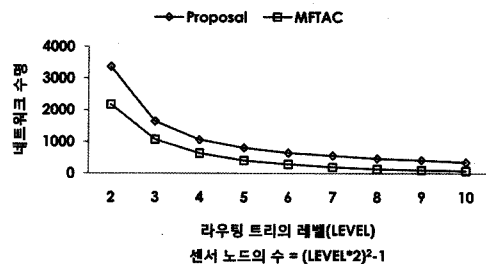


그림 5 네트워크의 수명

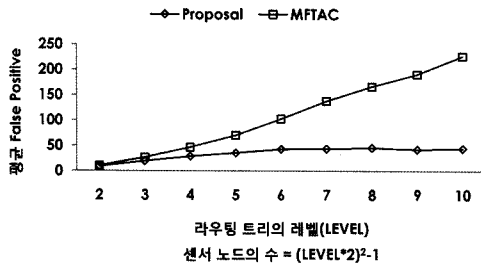


그림 6 평균 False Positive 비교

제거되지 못해 다수의 False Positive 데이터가 기지국으로 전송된다. 제안하는 기법의 경우, 스카이라인 질의 처리에 효과적인 SFT를 필터로써 활용하여 False Positive를 최소화 하였다. 뿐만 아니라 데이터를 전송하는 과정에서 필터가 설정되는 상황식 필터 설정을 통하여 필터 배포에 필요한 추가적인 에너지 소모를 제거하였다. 그리고 Monotone Score를 통하여 필터 설정 순서를 결정함으로써 필터의 성능을 높였다. 기존 알고리즘과 비교한 결과 False Positive가 평균 53% 감소하였으며 전체 네트워크 수명이 약 44% 증가하였다.

## 5. 결론

본 논문에서는 기존에 제안된 스카이라인 질의 처리 기법의 문제점을 분석하고, 에너지 효율적인 연속 스카이라인 질의 처리기법을 제안한다. 기존의 질의 처리 기법의 경우, 결과에 포함되지 않는 데이터의 전송을 막기 위해 MFT를 네트워크 전체에 배포한다. 이 과정에서 많은 양에 에너지 소모가 발생하고, 배포된 필터의 필터링 기능이 뛰어나지 않아 false positive 데이터 전송이 다수 발생한다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 필터를 배포하는 단계를 없애고, Monotone Score를 기반으로 스케줄링된 순서에 따라 수신된 데이터를 이용하여 SFT를 생성한다. 또한 필터의 성능을 높이기 위하여 하나의 단일 MFT 기반 필터를 이용하는 것이 아니라 다중 MFT기반의 SFT를 통해 불필요한 데이터의 전송을 최소화 한다. 실험 결과, 기존 스카이라인 질의 처리 기법에 비해 네트워크의 수명이 약 44% 향상되었고, 기지국에 전송되는 스카이라인 질의에 포함되지 않은 데이터의 수가 약 53% 줄었다. 향후 연구는 단말노드에서 발생하는 빈번한 데이터 전송을 줄이기 위해 라우팅의 역방향으로 필터를 배포하여 에너지 소모를 줄이는 기법을 제안하는 것이다.

## 참고 문헌

- [1] R. Szewczyk, A. Mainwaring, J. Polastre, and D. Culler, "An Analysis of a Large Scale Habitat Monitoring Application," Proc. ACM Conf. Embedded Networked Sensor Systems (SenSys '04) Nov. 2004.
- [2] R. Szewczyk, E. Osterweil, J. Polastre, M. Hamilton, A. Mainwaring, and D. Estrin, "Habitat Monitoring with Sensor Networks," Comm. ACM, Vol.47, No.6, pp. 34-40, Jun. 2004.
- [3] A. Sharaf, J. Beaver, A. Labrinidis, and K. Chrysanthis, "Balancing Energy Efficiency and Quality of Aggregate Data in Sensor Networks," VLDB, Vol.13, No.4, pp. 384-403, 2004.
- [4] S. Madden, M. Franklin, J. Hellerstein, and W. Hong, "TAG: A Tiny Aggregation Service for Ad Hoc Sensor Networks," Proc. Usenix Fifth Symp. Operating Systems Design and Implementation (OSDI '02), pp. 131-146, Dec. 2002.
- [5] K. Yoon, J. Choi, Y. Chung, and S. Lee, "In-Network Processing for Skyline Queries in Sensor Networks," IEICE Trans. COMMUN., Vol.E90-B, No.12, Dec. 2007.
- [6] S. Borzsonyi, D. Kossmann, and K. Stocker, "The skyline operator," Proc. International Conference on Data Engineering, pp. 421-430, 2001.
- [7] J. Chomicki, P. Godfrey, J. Gryz, and D. Liang, "Skyline with presorting," Proc. International Conference on Data Engineering, pp. 717-719, 2002.
- [8] Z. Huang, C.S. Jensen, H. Lu, and B.C. Ooi, "Skyline queries against mobile lightweight devices in MANETs," Proc. International Conference on Data Engineering, p.66, 2006.
- [9] O. Younis and S. Fahmy, "HEED: A hybrid, energy-efficient, distributed clustering approach for ad hoc sensor networks," IEEE Trans. Mobile Computing, Vol.3, No.4, pp. 366-379, 2004.