

무선 센서 네트워크 환경에서 에너지 효율적인 연속 스카이라인 질의 처리기법

성동욱[○] 여명호 유재수

충북대학교 정보통신공학과

{sergei, mhyeo}@netdb.cbnu.ac.kr, yjs@cbnu.ac.kr

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

Dongook Seong[○] Myungho Yeo Jaesoo Yoo

Dept. of Information & Communication Engineering, Chungbuk National University

센서 네트워크에서 병합 질의를 효율적으로 처리하기 위한 방법으로 TAG와 CAG 같은 인-네트워크 질의 처리 기법이 제안되었다[1]. 일반적인 병합 질의의 경우, 분산 처리를 통해 질의의 결과만을 전송함으로써 데이터 전송량을 줄여 효과적인 질의 처리가 가능하다. 하지만, 전체 데이터에 대한 비교를 요구하는 스카이라인 질의의 경우, 분산된 질의 처리가 쉽지 않다. 기존에 연구된 다양한 스카이라인 질의 처리기법 들은 모든 데이터가 동일한 저장 공간에 있다는 가정 하에 처리된다. 따라서 기존 알고리즘을 센서 네트워크에 적용하기 위해서는 모든 수집 데이터를 기지국으로 전송해야 한다. 이를 센서 네트워크 환경에서 효과적으로 처리하기 위해서는 질의 결과 도출에 필요하지 않은 데이터의 전송을 제한하여 불필요한 에너지 소모를 막는 것이 중요하다. 기존에 제안된 센서 네트워크 환경에서의 스카이라인 처리 기법인 MFTAC[2]는 전체 네트워크에 스카이라인 질의 특성을 고려하여 센싱한 데이터를 이용하여 가장 많은 데이터를 필터링할 수 있는 MFT(Min-Score Filtering Tuple)필터를 배포하여 질의 결과에 포함 되지 않는 불필요한 데이터로 판단되는 수집 데이터의 전송을 차단한다. 하지만 MFTAC를 연속 질의에 적용하게 되면 매 라운드 마다 필터를 배포하기 위한 과도한 에너지 소모를 발생시킨다.

본 논문에서는 필터 배포 비용과 불필요한 데이터 전송을 줄이기 위한 연속 스카이라인 질의 처리 기법을 제안한다. 기존의 MFTAC는 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 데이터만을 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. 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 센서 데이터는 SFT와 비교하여 필터링 되거나 새로운 스카이라인 결과로 판단된 경우 상위 노드로 전송되는 동시에 SFT를 갱신한다. 예를 들면, 그림1의 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 데이터를 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_1 으로 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 SFT

* 이 논문은 2006년도 정부(과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. R01-2006-000-1080900)

는 {S₂}로 갱신되고, S₂를 기지국으로 전송한다. 그 다음 S₄가 전송되는 시점에서 S₁의 SFT는 {S₂,S₄}로 갱신되고, S₄를 기지국으로 전송한다. 마지막으로 S₃가 전송되는 시점에서 S₁의 SFT는 {S₃}으로 갱신되고 S₃를 기지국으로 전송한다. 하지만, 만약 S₃, S₂, S₄의 순서대로 데이터가 전송되었다면, S₁의 SFT는 {S₃}로 유지되고, S₂와 S₄의 데이터는 기지국으로 전송되지 않고 배제된다. 가장 이상적인 경우는 하위 노드에 존재하는 스카이라인 결과들이 먼저 전송되어 상위 노드의 SFT에 등록되고, 모든 False Negative가 배제되는 것이다. 하지만, 센서 노드 스스로 스카이라인 여부를 판단하는 것은 불가능하고, 수집 순서를 결정하기 위한 기준이 필요하다. 이를 위해 제안하는 기법에서는 Monotone Score를 이용한 데이터 수집 순서 결정 알고리즘을 적용한다. 먼저 센서가 수집한 환경 데이터들의 각 속성을 p로 가정하면, j개의 다중 속성의 집합을 Attributes = {p₁,p₂,p₃,...,p_j}로 정의 할 수 있다. 모든 센서들은 자신이 수집한 다중 속성 값을 바탕으로 식(1)을 이용하여 Monotone Score를 계산한다.

$$Monotone\ Score = \sum_{j=1}^m \frac{1}{p_j} \tag{1}$$

자신의 Monotone Score에 따라 식(2)를 이용하여 하나의 라운드 범위 내에서 전송할 시점을 계산하고, 자신의 전송시각이 되면 데이터를 기지국으로 전송한다. (식(2)에서 Transmit Time은 해당데이터의 전송시각을 나타내고, Round_{current}는 현재 진행 중인 라운드의 순서를 나타내며, Round_{term}은 한 라운드의 시간간격을 나타낸다. MonotoneScore_{own}은 자신의 속성에 대한 Monotone Score를 나타내고, MonotoneScore_{maximum}은 Monotone Score의 최대값을 나타낸다.)

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

이를 통해 데이터는 이상적인 순서대로 기지국으로 전송되며, 제안하는 Lazy 필터링 기법의 효율이 높아진다.

제안하는 알고리즘의 우수성을 보이기 위해 시뮬레이션을 통해 기존에 제안된 MFTAC 기법과 비교하였다. 그림 2과 그림 3은 센서 노드 수가 변경됨에 따라 제안하는 기법과 MFTAC의 네트워크 수명과 평균 False Positive를 평가한 결과이다. 기존 알고리즘과 비교하여 False Positive가 평균 53% 감소하였으며, 전체 네트워크 수명이 약 44% 증가하였다.

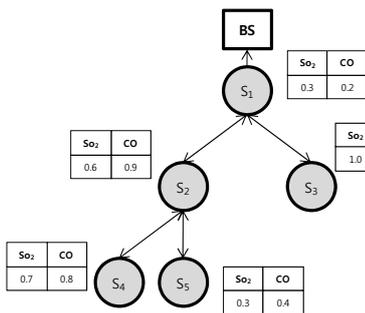


그림 1. Lazy 필터링 기법의 예

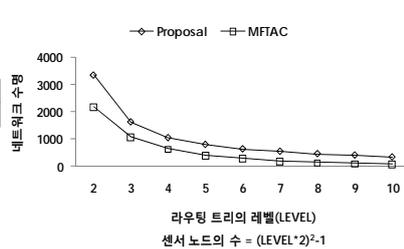


그림 2. 네트워크의 수명

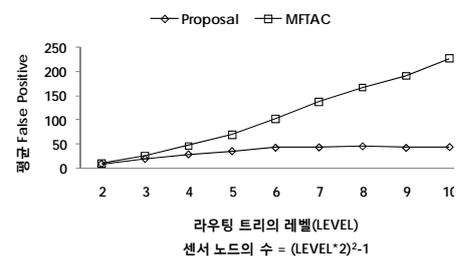


그림 3. False Positive 비교

참 고 문 헌

[1] 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.

[2] 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.