

무선 센서 네트워크에서 클러스터 기반의 Top-k 질의 처리

(A Cluster-Based Top-k Query Processing Algorithm in Wireless Sensor Networks)

여 명 호 [†] 성 동 옥 [†] 유 재 수 ^{††}
(Myung Ho Yeo) (Dong Ook Seong) (Jae Soo Yoo)

요약 무선 센서 네트워크 응용 분야에서 Top-k 질의는 가장 높은 혹은 가장 낮은 k개의 센서에 대한 유용한 정보를 제공한다. Top-k 질의 처리 시 에너지 소모를 줄이기 위한 많은 연구들이 진행되었다. FILA의 경우, 필터를 이용하여 불필요한 결과의 갱신을 제거하였으며, PRIM의 경우, 센싱된 데이터의 우선 순위를 부여하여 센서 데이터의 전송을 최소화하는 방법을 제안한다. 하지만, 같은 데이터 범위(프레임)에 속한 모든 데이터를 수집하기 때문에 데이터의 집중이 발생하면 많은 False Positive 데이터를 전송하는 문제가 발생한다. 본 논문에서는 Top-k 결과의 False Positive 데이터를 효과적으로 제거하기 위한 클러스터 기반의 새로운 Top-k 질의 처리 기법을 제안한다. 질의 처리 과정은 클러스터 레벨과 트리 레벨로 나누어지며, 각 레벨의 네트워크 토폴로지의 특성을 활용하여 False Positive 데이터를 효과적으로 필터링한다. 성능 평가 결과, 기존 Top-k 질의 처리 기법에 비해 False Positive 데이터의 수가 70% 감소하고, 네트워크 수명이 약 105% 연장된다.

키워드 : 무선 센서 네트워크, 클러스터링, Top-k 질의 처리

Abstract Top-k queries are issued to find out the highest (or lowest) readings in many sensor applications. Many top-k query processing algorithms are proposed to reduce energy consumption; FILA installs a filter at each sensor node and suppress unnecessary sensor updates; PRIM allots priorities to sensor nodes and collects the minimal number of sensor reading according to the priorities. However, if many sensor reading converge into the same range of sensor values, it leads to a problem that many false positives are occurred. In this paper, we propose a cluster-based approach to reduce them effectively. Our proposed algorithm operates in two phases: top-k query processing in the cluster level and top-k query processing in the tree level. False positives are effectively filtered out in each level. Performance evaluations show that our proposed algorithm reduces about 70% false positives and achieves about 105% better performance than the existing top-k algorithms in terms of the network lifetime.

Key words : Wireless sensor networks, clustering, top-k query processing

· 이 논문 또는 저서는 2008년 교육과학기술부로부터 지원(지역거점연구단육성사업/충북BIT연구중심대학육성사업단)과 교육과학기술부와 한국산업기술재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임
· 이 논문은 제34회 추계학술대회에서 '무선 센서 네트워크에서 클러스터 기반의 Top-k 질의 처리 기법'의 제목으로 발표된 논문을 확장한 것임

[†] 학생회원 : 충북대학교 정보통신공학과
mhyeo@netdb.cbnu.ac.kr
sergei@netdb.cbnu.ac.kr

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

논문접수 : 2008년 12월 18일

심사완료 : 2009년 2월 13일

Copyright©2009 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: 데이터베이스 제36권 제4호(2009.8)

1. 서론

센서 네트워크의 많은 응용 분야들은 병합된 형태의 데이터를 수집하고, 모니터링하는 것을 목표로 한다 [1-3]. 그 중 Top-k 질의는 다양한 모니터링 분야에서 유용하게 활용된다. 예를 들면 가장 오염이 심각한 지역에 대한 탐색이나, 가장 정체가 심한 도로에 대한 탐색과 같이 특정 값이 가장 높은 k개의 지역을 찾을 수 있다.

센서 네트워크에서 Top-k 질의를 처리하고자 할 때, 모든 센서 데이터를 기지국으로 전송하여 기지국에서 k개의 노드를 탐색할 수 있다. 하지만, 이러한 경우 센서 노드들은 주기적으로 데이터를 전송하는 과정에서 많은 에너지를 소모하여 네트워크의 수명이 단축된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 기지국과의 통신을 최소화하는 인-네트워크 질의 처리(In-network query processing) 기법이 제안되었다. 대표적인 기법인 TAG(Tiny Aggregation)는 질의 라우팅 트리를 만들고, 해당 라우팅 트리를 기반으로 네트워크 내부에서 병합처리를 수행한다[4]. 각 센서 노드는 질의에 해당하는 데이터만을 상위 노드로 전송하여 결국 Top-k 질의에 해당하는 데이터만이 기지국으로 전송된다. FILA는 필터링 기법을 통해 더욱 효과적인 Top-k 질의 처리를 제공한다[5]. FILA는 TAG와 동일하게 라우팅 트리를 만들고, 라우팅 트리를 기반으로 센서 노드로부터 데이터를 수집한다. 데이터 수집 과정에서 각 센서 노드는 수집한 센서 데이터의 최대/최소값으로 자신의 필터 범위를 설정하고, 필터 범위를 벗어나는 데이터만을 상위 노드로 전송한다. 그 결과 불필요한 데이터 전송이 제거되어 네트워크의 수명이 연장된다. 하지만, 질의 결과의 정확성을 보장하기 위해서 재검증을 수행하고, 필터 갱신을 위해서 필터를 재배포하는 과정에서 많은 에너지를 소모한다. PRIM[6]은 데이터의 크기에 따른 수집 우선 순위를 부여함으로써 데이터 전송을 최소화하는 비교적 간단하면서도 효과적인 연속 Top-k 질의 기법을 제안한다. 하지만, 특정 데이터의 범위, 즉, 프레임 단위로 모든 데이터를 수집하기 때문에 Top-k 결과를 포함하는 프레임에 데이터가 집중되는 경우, 많은 False Positive 데이터가 기지국으로 전송되는 문제점을 가지고 있다.

본 논문에서는 PRIM의 문제점을 해결하기 위해서 클러스터링 기법의 특성을 이용한 새로운 Top-k 질의 처리 기법을 제안한다. 먼저 단일홉 통신이 가능한 센서 노드를 클러스터로 구성함으로써 False Positive 데이터를 필터링하고, 기지국으로 데이터를 전송하는 과정에서 추가적인 필터링을 수행함으로써 네트워크의 수명을 연장시킨다. 시뮬레이션 결과, False Positive의 수가 평균 70% 감소하였고, 네트워크의 수명이 105% 연장되었다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제2장에서는 기존 연구의 문제점을 분석한다. 제3장에서는 제안하는 클러스터 기반의 Top-k 질의처리 기법의 특징과 처리 과정을 기술한다. 제4장에서는 성능평가와 분석을 통해 제안하는 기법의 우수성을 보이고, 제5장에서는 결론과 향후 연구 방향을 제시한다.

2. 기존 연구 분석

기존에 제안된 PRIM은 각 센싱된 데이터에 따라 수집의 우선순위를 부여하여 불필요한 데이터의 전송을 최소화 한다. 하지만 다중홉 라우팅을 사용하는 경우, 데이터를 기지국까지 전송하는 시간의 차이로 인해 Top-k 결과를 완벽하게 보장하지 못하는 문제가 발생한다. 예를 들어 그림 1과 같이 Top-1 질의를 처리하는 센서 네트워크가 있고, 센서 노드 A와 B는 센싱한 데이터에 의해 동일한 전송 프레임을 할당 받았다고 가정하자. 이때, 센서 노드 A가 더 높은 값을 가지고 있다 하더라도 기지국까지 전송하기 위해서는 4-홉을 거쳐야 하기 때문에 2-홉만에 전송이 가능한 센서 노드 B의 값이 기지국에 먼저 도달한다. 만약 기지국이 데이터 수신 횟수로 Top-1 질의 결과를 판단한다면, 센서 노드 A의 데이터를 무시하고, 데이터 수집을 중단한다. 이러한 문제점을 “다중홉 전송에 따른 전송 지연 문제”라고 정의한다.

PRIM은 해당 프레임의 모든 데이터를 수집한 후 k-검사 단계를 수행함으로써 이 문제점을 해결하였다. 즉, 동일한 프레임에 속한 센서 노드 A와 B의 데이터가 기지국으로 전송되고, 기지국은 해당 프레임의 모든 데이터가 수집되었다고 판단되었을 때, 수집된 데이터에서

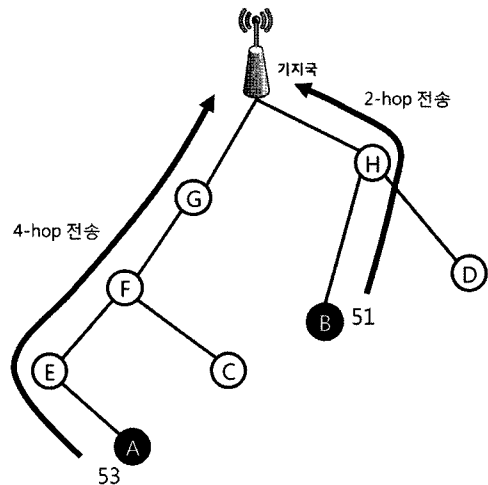


그림 1 다중홉 전송에 따른 전송 지연 문제

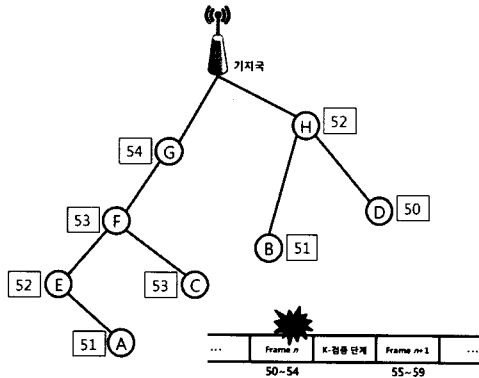


그림 2 데이터 집중으로 인한 False Positive 문제

Top-k 질의 결과를 도출함으로써 전송 지연의 문제를 해결한다. 하지만 만약 Top-k 결과가 포함된 프레임에 많은 센서 데이터가 집중된다면, 센서 네트워크는 기지국으로 많은 False Positive 데이터를 전송하게 되어 네트워크 수명이 단축되는 문제점을 가지고 있다. 그림 2와 같이 비슷한 값을 센싱하는 센서가 많아지면 Frame n에 전송 시간이 집중되는 현상이 발생한다. 최악의 경우 네트워크 전체 데이터 전송시간이 하나의 프레임에 집중될 가능성이 있다. 이 경우 기지국은 k-검사 단계

에서 올바른 결과 도출을 보장하기 위해 모든 데이터를 수집하게 되고, 네트워크 수명이 단축된다. 따라서 네트워크 수명을 연장하기 위해서 동일한 프레임에 집중된 False Positive 데이터를 효과적으로 제거하기 위한 기법의 연구가 필요하다.

3. 제안하는 클러스터링 기반의 Top-k 질의 처리 기법

본 논문에서는 PRIM을 이용한 Top-k 질의 처리시 전송 데이터가 특정 프레임에 집중되는 문제를 해결하기 위하여 데이터의 공간적 발생 특성을 활용한다. 일반적으로 센서 데이터는 센서의 배포특성상 공간적으로 유사성을 가지고 있다[7]. 즉, 인접한 센서 노드들은 비슷한 데이터를 수집한다. 이러한 특성에 의해 Top-k에 해당하는 데이터가 위치한 지역에서 그와 동일한 프레임에 전송될 데이터가 존재할 가능성이 높다. 따라서 본 논문에서는 이러한 센서 네트워크의 공간적 특성을 활용하기 위해 전송지연이 발생하지 않는 단일홉 이내의 센서 노드를 클러스터로 구성함으로써 False Positive 데이터를 효과적으로 필터링하는 기법(PRIM-c)을 제안한다. 그림 3은 제안하는 클러스터링 기반의 Top-k 질의 처리 기법의 처리 과정을 나타낸다. 제안하는 기법은

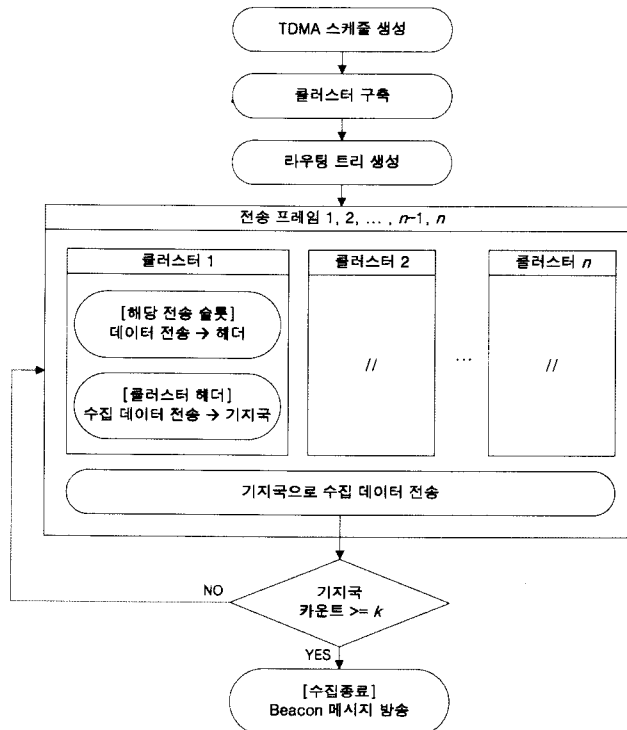


그림 3 클러스터링 기반의 Top-k 질의 처리 순서

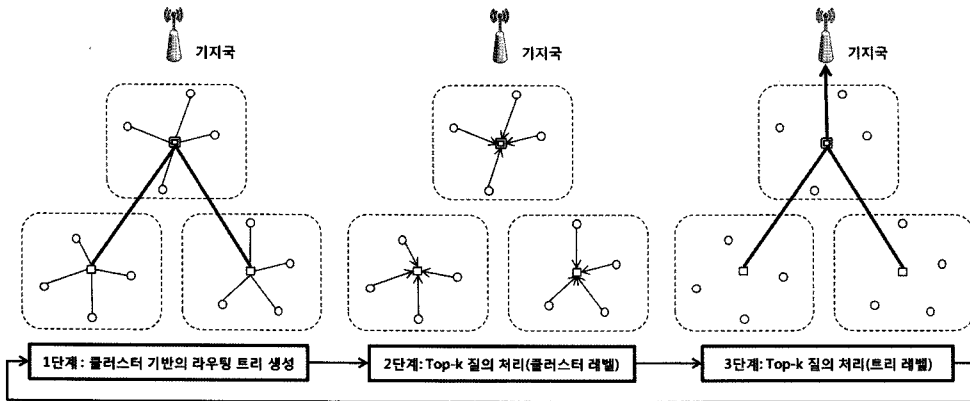


그림 4 클러스터 기반의 Top-k 질의 처리 과정

크게 라우팅 트리 생성 과정, 클러스터 레벨의 Top-k 처리 과정, 트리 레벨의 Top-k 처리 과정으로 나누어진다. PRIM-c는 PRIM과 달리 단일 홉 통신을 통해 클러스터 레벨에서 1차 False Positive 데이터를 제거하고, 라우팅 트리를 통해 데이터를 전송하는 과정에서 2차 False Positive 데이터를 제거한다.

3.1 라우팅 트리 생성 과정

제안하는 클러스터링 기반의 Top-k 질의 처리 기법은 그림 4와 같이 크게 라우팅 트리 생성 과정과 Top-k 질의 처리 과정으로 나누어진다. 먼저 LEACH, HEED와 같은 클러스터링 기법을 통해 클러스터를 생성하고, 클러스터 헤드 노드를 연결하여 라우팅 트리를 구성한다. 이때, 클러스터는 단일홉으로 통신 가능한 센서 노드들로 구성되며, 기지국과 가장 가까운 클러스터 헤드 노드가 라우팅 트리의 루트 노드가 된다. 그 다음, Top-k 질의 처리 과정은 다시 클러스터 레벨과 트리 레벨의 질의 처리 단계로 나누어진다. 클러스터 레벨의 질의 처리는 단일홉 이내의 Top-k 후보 결과를 선출하는 것을 목표로 하고, 트리 레벨의 질의 처리는 기지국까지 Top-k 결과 데이터를 전송하는 과정에서 Top-k 결과를 선출하는 것을 목표로 한다.

3.2 클러스터 레벨의 Top-k 질의 처리 과정

클러스터를 구성하는 센서 노드는 PRIM에서 제안된 “데이터 인지 상태 결정 기법”에 의해 해당 TDMA 프레임에서 활성 상태를 유지하며, 자신의 시간 슬롯에서 데이터를 클러스터 헤드로 전송한다. 따라서, 높은 속성값을 가진 순서대로 센서 데이터를 수집하며, k개의 데이터를 수집하는 동시에 수집을 멈추기 위한 비컨(beacon)메시지를 브로드캐스트하여 수집을 중단한다. 기존 트리 기반의 데이터 수집과 달리 클러스터 레벨의 데이터 수집은 단일홉 내에서 결정되기 때문에 데이터 전송의 지연(latency)으로 인한 오류가 발생하지 않는다. 클

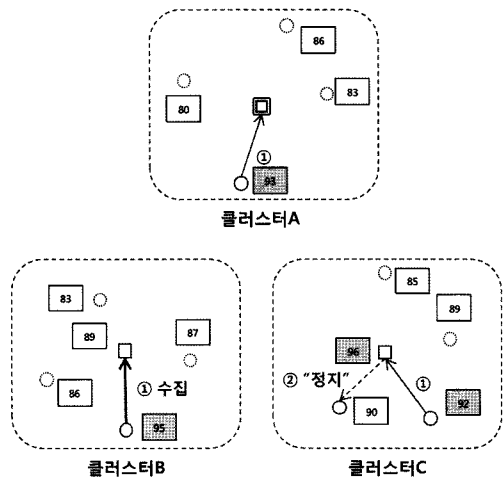
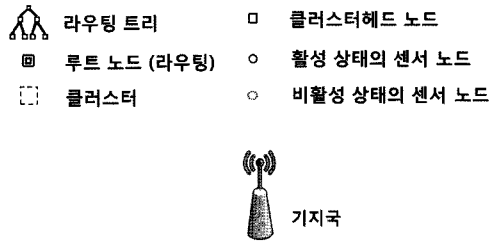


그림 5 클러스터 레벨의 Top-2 질의 처리의 예

러스터 레벨의 처리를 통해 각 클러스터 헤드는 k개 이하의 후보 결과 데이터를 선출하였다. 그림 5는 제안하는 기법을 이용한 Top-2 질의 처리의 예를 나타낸다.

현재 프레임의 데이터 속성값의 범위가 (90, 100)이고, 해당 TDMA 프레임 시점이라고 할 때, 프레임에 포함된 센서 노드 즉, 해당 범위(90~100)의 센서 데이터를 측정할 센서 노드들이 활성화 된다. 그리고, 할당

된 시간 슬롯에 따라 클러스터 헤드로 자신의 데이터를 전송한다. 클러스터 A의 경우, "93"의 값이 클러스터 헤드로 전송이 되고, 클러스터 B의 경우, "95"의 값이 클러스터 헤드로 전송된다. 클러스터 C의 경우, "96, 92"의 값이 클러스터 헤드로 전송되고, 2개의 값을 수신한 클러스터 C의 헤드 노드는 정지 비컨(beacon) 메시지를 클러스터내에 브로드캐스트한다. 따라서, 해당 버킷에 포함된 "90"을 센싱한 노드의 데이터는 클러스터 헤드로 전송되지 않는다. 최종적으로 클러스터 A, B, C의 헤드 노드는 각각 "93", "95", "96, 92"의 센서 데이터를 후보 Top-2 결과 데이터로 결정한다.

3.3 트리 레벨의 Top-k 질의 처리 과정

트리 레벨은 클러스터 헤드 노드로 구성된 라우팅 트리를 의미한다. 트리 레벨의 질의 처리는 클러스터 헤드 노드에 의해 선출된 후보 결과 데이터를 기지국으로 전송하는 과정에서 Top-k의 값을 선출하는 것을 목표로 한다. 기존에 제안된 TAG 기반의 Top-k 질의 기법과 마찬가지로 레벨이 가장 낮은 단말 노드로부터 루트 노드의 방향으로 후보 결과를 전송한다. 이 과정에서 자식 노드로부터 후보 결과 데이터를 수신한 부모 노드는 자신의 후보 결과와 자식 노드의 후보 결과에서 Top-k 결과 데이터를 재선출하고, 자신의 수정된 결과 데이터를 전송한다. 루트 노드는 최종 Top-k 후보 결과 데이터를 선출하고, 만약 후보 결과 데이터가 k개이면 Top-k 질의 결과 데이터를 기지국으로 전송하고, 이후 Top-k 질의 처리 과정을 종료하기 위한 비컨(beacon) 메시지를 라우팅 트리로 브로드캐스트 한다. 만약 k개보다 적으면, 다음 TDMA 프레임을 수행하여 Top-k 질의 결과 데이터를 수집한다. 예를 들면, 그림 6과 같이 클러스터 B와 클러스터 C에 의해 수집된 후보 결과 데이터는 루트 노드인 클러스터 A의 헤드 노드로 전송되고, 클러스터 A의 헤드 노드는 수신된 데이터와 자신의 결과 데이터에서 Top-2 데이터 {96, 95}를 결정하게 된다. k(=2)개의 값을 만족하므로 더 이상의 수집을 종료하기 위한 정지 비컨(beacon) 메시지를 라우팅 트리로 브로드캐스트 하고, 기지국으로 최종 Top-k 질의 결과인 {96, 95}를 전송한다.

그림 7은 제안하는 클러스터 기반 Top-k 질의 처리 기법의 의사코드를 나타낸다.

4. 성능 평가

제안하는 기법의 우수성을 보이기 위해 기존 기법인 PRIM과 시뮬레이션을 통해 성능을 비교평가 하였다. 그림 8과 같은 센서 네트워크 토폴로지를 구성하였으며, 라우팅 트리의 레벨(=센서 노드의 수)을 3~10으로 변화하면서 네트워크 수명과 기지국으로 전송되는 평균

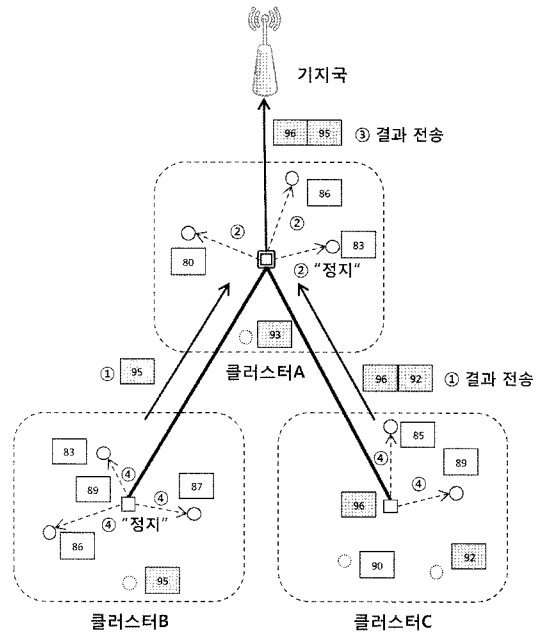


그림 6 트리 레벨의 Top-k 질의 처리의 예

False Positive의 수를 비교하였다. 이때, Top-3 질의를 처리하였으며, 센서 식별자, 센서 데이터, 비컨(beacon) 메시지의 크기는 각각 4byte, 4byte, 1bit로 가정하였다. 실험 데이터는 그림 9와 같은 [8]에서 제공되는 미국 워싱턴주의 온도 데이터를 샘플링하여 사용하였다.

그림 10과 그림 11은 센서 노드 수가 증가됨에 따라 제안하는 기법과 PRIM의 네트워크 수명과 평균 False Positive를 평가한 결과이다. 네트워크의 규모가 커지게 되면 발생하는 데이터가 증가한다. 비슷한 데이터의 발생량이 증가되면 동일 프레임의 데이터 전송도 증가한다. PRIM의 경우, 해당 데이터들에 대한 필터링이 적절히 수행되지 않아 많은 False Positive 데이터 전송이 발생한다. 이로 인해 전체적으로 전송 에너지 소모가 증가하여 네트워크의 수명을 감소시킨다. 제안하는 기법의 경우, 데이터를 기지국으로 전송하기에 앞서 클러스터 단위의 필터링이 선행되어 False Positive 데이터 전송을 제거할 수 있다. 또한 네트워크의 규모와 상관없이 일정한 False Positive를 유지하는 확장성(Scalability)을 보여준다. 평가 결과 False Positive 데이터의 수는 평균 70% 감소하였고, 네트워크의 수명이 약 105% 향상되었다. 그림 12와 그림 13은 k개수의 변화에 따른 네트워크의 수명과 False Positive 데이터의 수를 비교한 결과이다. 제안하는 기법은 PRIM에 비해 네트워크 수명이 약 63% 향상되었고, 평균 False Positive 데이터의 수가 약 54% 감소하였다.

```

// 수집 데이터의 범위와 시간 주기를 고려한 TDMA 스케줄 생성
tdmaSchedule = createTDMA( $v_{max}$ ,  $v_{min}$ ,  $t_{duration}$ )
sensors = [ $s_1$ ,  $s_2$ ,  $s_3$ , ...,  $s_N$ ]
// 배포된 센서들을 바탕으로 클러스터 구축
IF clusters = createCluster(sensors) THEN
    // 만들어진 클러스터를 바탕으로 라우팅 트리 구축
    IF createRoutingTree(clusters) THEN
        // 전체 센서들에게 TDMA 스케줄 배포
        broadcast(tdmaSchedule)

    WHILE network == live DO
        Round++
        WHILE BS.receivedDataCount < top-k DO
            // 각 클러스터의 멤버 센서들의 데이터 수집
            FOR EACH  $c = clusters[i]$  DO
                 $c.sensors.sensing$ 
                FOR EACH  $s = c.sensors[i]$  DO
                     $v = \text{value of } s$ 
                    // 각 센서마다 자신이 수집한 데이터에 따른 송신할 TDMA Frame 번호 계산
                     $tdmaFrameNo = (v_{max}-v)/(v_{max}-v_{min}) * C_{slot}$ 
                     $s.sendSlot = tdmaFrameNo$ 
                END FOR
                // 각 센서노드는 자신의 송신 TDMA 슬롯에 맞춰 수집 데이터를 클러스터 헤더로 전송
                FOR EACH  $slot = tdmaSlot[i]$  DO
                    FOR EACH  $s = c.sensors[i]$  DO
                        IF  $s.sendSlot == slot$  THEN
                            sendToClusterHeader(value of  $s$ )
                        END IF
                    END FOR
                END FOR
            END FOR
            // 각 클러스터 헤더가 수집한 멤버 센서들의 데이터를 기지국으로 전송
            FOR EACH  $c = routingTree.leafClusterHeader$  to BS DO
                IF  $c != leafNode$  THEN
                    receiveFromChildNode(child.data)
                END IF
                // 자식노드로부터 수집된 데이터와 자신의 데이터를 바탕으로 Top-k 재선출
                 $c.data = \text{Reelection}(c.data + child.data)$ 
                sendToParentNode( $c.data$ )
            END FOR
        FINALLY
            // 기지국은 수신된 데이터가 k개를 만족하면 전체 네트워크에 송신정지 메시지 전송
            broadcast(비컨(beacon))
        END WHILE
    END WHILE
END IF

```

그림 7 클러스터 기반의 Top-k 질의 처리 의사코드

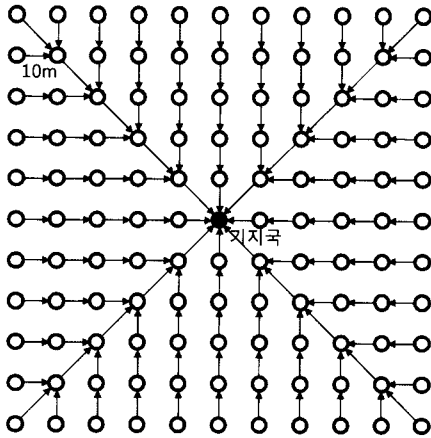


그림 8 다중홉 네트워크 토폴로지

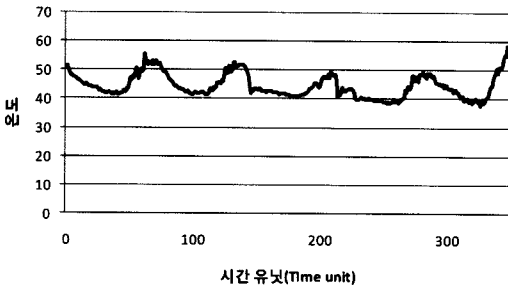


그림 9 데이터 모델

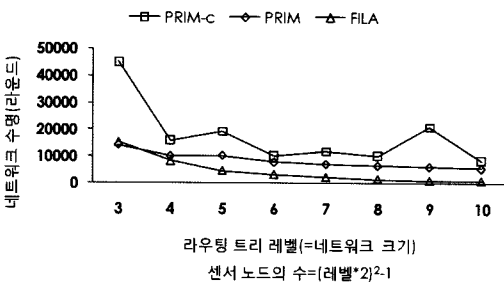


그림 10 네트워크 크기에 따른 네트워크 수명

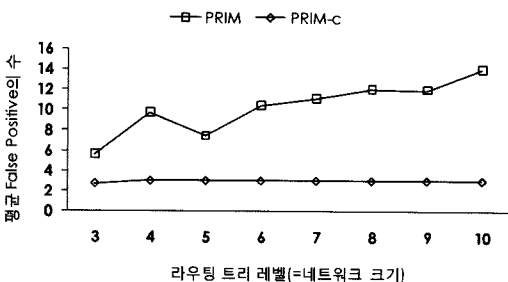


그림 11 네트워크 크기에 따른 평균 False Positive 데이터의 수

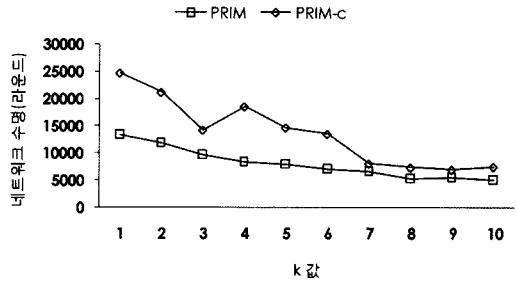


그림 12 k개수에 따른 네트워크 수명 변화

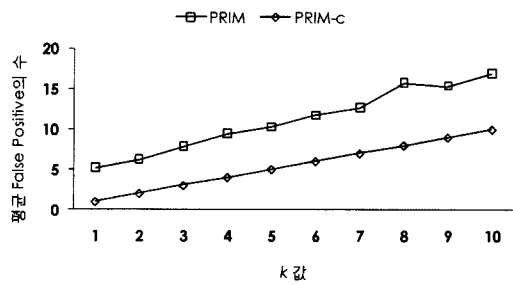


그림 13 k개수에 따른 평균 False Positive 데이터의 수 변화

5. 결론

본 논문에서는 트리 기반의 Top-k 질의 처리 기법의 문제점을 분석하고, 클러스터 기반의 새로운 Top-k 질의 처리 기법을 제안하였다. 기존 트리 기반의 Top-k 질의 처리 기법의 경우, 센싱된 데이터의 우선 순위를 부여하여 Top-k에 해당하는 센서 데이터만 수집한다. 이때, 기지국과 센서 노드의 거리에 따라 다중홉으로 데이터가 전송되는 경우, 우선 순위에 따른 데이터 수집이 보장되지 않는 문제점을 가지고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 해당 프레임에 속한 모든 데이터를 수집하게 되는데, 이로 인해 False Positive 데이터의 전송이 발생한다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 본 논문에서는 센서 노드 간에 단일홉 통신을 수행하는 다수의 클러스터와 라우팅 트리의 데이터 수집/전송 과정에서 False Positive 데이터 필터링을 수행한다. 실험 결과, 기존 Top-k 질의 처리 기법에 비해 False Positive 데이터 전송이 현저하게 줄었으며, 네트워크 수명이 크게 연장되었다.

참고 문헌

[1] K. Mouratidis, D. Papadias, S. Bakiras, and Y. Tao, "A Threshold-Based Algorithm for Continuous Monitoring of k Nearest Neighbors," IEEE Trans. Knowledge and Data Eng., Vol.17, No.11,

- pp. 1451-1464, Nov. 2005.
- [2] M.A. Sharaf, J. Beaver, A. Labrinidis, and P.K. Chrysanthis, "Balancing Energy Efficiency and Quality of Aggregate Data in Sensor Networks," VLDB J., Vol.13, No.4, pp. 374-403, Dec. 2004.
 - [3] N. Shrivastava, C. Buragohain, D. Agrawal, and S. Suri, "Medians and Beyond: New Aggregation Techniques for Sensor Networks," Proc. ACM Conf. Embedded Networked Sensor Systems(SenSys '04) Nov. 2004.
 - [4] S. Madden, M.J. Franklin, J.M. 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] W. Minji, X. Jianliang, T. Xueyan, L. Wang-Chien, "Top-k Monitoring in Wireless Sensor Networks," IEEE Trans. Knowledge and Data Engineering, Vol.19, No.7, pp. 962-976, Jul. 2007.
 - [6] M. Yeo, D. Seong, J. Yoo, "PRIM:Priority-Based Top-k Monitoring in Wireless Sensor Networks," The 2008 International Symposium on Computer Science and its Applications, Oct. 2008.
 - [7] S. Yoon, C. Shahabi, "The Clustered AGgregation (CAG) technique leveraging spatial and temporal correlations in wireless sensor networks," ACM Transactions on Sensor Networks (TOSN), Vol.3, Mar. 2007.
 - [8] Live from Earth and Mars(LEM) Project, <http://www-k12.atmos.washington.edu/k12/grayskies/>, 2006.

여 명 호

정보과학회논문지 : 데이터베이스
제 36 권 제 3 호 참조

성 동 욱

정보과학회논문지 : 데이터베이스
제 36 권 제 3 호 참조

유 재 수

정보과학회논문지 : 데이터베이스
제 36 권 제 1 호 참조