

센서 네트워크에서 최소 경계 다각형(MBP: Minimum Boundary Polygon)을 이용한 에너지 효율적인 군집 이벤트 탐지 기법

성동욱[○] 권현호 유재수

충북대학교 정보통신공학과

seong.do@gmail.com hhwon@netdb.cbnu.ac.kr yjs@chungbuk.ac.kr

An Energy Efficient Cluster Event Detection Algorithm using MBP in Wireless Sensor Networks

Seong, Dong Ook[○] Kwon, Hyun Ho Yoo, Jae Soo

Dept. of Information and Communication Engineering, Chungbuk National University

요 약

센서 네트워크는 광범위한 영역에서 다양한 환경정보를 수집 가능하다. 센서 네트워크 환경에서 발생하는 다양한 이벤트 유형 중에 군집 이벤트는 객체의 군집, 물질의 확산 등과 같은 다양한 형태로 발생한다. 센서의 에너지 제약 특성을 고려하여 군집 이벤트에 대한 에너지 효율적인 탐지 기법에 대한 다양한 기법들이 연구되고 있다. 기존에 제안된 군집 이벤트 탐지 기법들 중 이벤트를 감지한 모든 노드들의 정보를 이용하지 않고, 이벤트의 경계 정보만을 추출하여 기지국으로 전송함으로써 군집 이벤트를 탐지하는 기법이 제안되었다. 하지만 군집 이벤트의 범위가 넓어지고 센서의 배포 밀도가 높을 경우 경계에 위치한 노드들 또한 증가하여 많은 전송 비용을 필요로 한다. 본 논문에서는 에너지 효율적인 군집 이벤트 탐지를 위해 이벤트 경계 노드들의 정보를 압축/요약하여 나타낼 수 있는 인-네트워크 최소 경계 다각형을 생성 기법을 제안한다.

1. 서 론

최근 무선 통신 기술과 MEMS 기술의 발전으로 대규모의 무선 센서 네트워크의 설계와 운용이 가능하게 되었다. 대규모 무선 센서 네트워크는 수백~수만 개의 센서 노드들로 이루어져 있으며, 각 센서 노드는 온도, 습도, 조도, 영상 등의 다양한 환경 정보를 수집할 수 있는 센서 소자들과 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 해당 센서 노드는 더 이상 동작할 수 없으며, 구성된 네트워크는 활용 불가능해진다. 이로 인해 배터리 전력을 얼마나 오래 유지하느냐에 따라 센서 네트워크의 수명이 결정된다[1, 2].

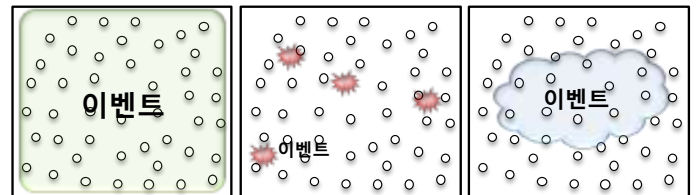
센서 네트워크에서 발생하는 이벤트는 응용의 형태에 따라 몇 가지 종류로 구분할 수 있다.

● 수집된 모든 데이터 = 이벤트

센서 네트워크가 배포된 전체 영역의 상태정보를 모니터링 하는 응용에서 모든 센서에서 수집된

가공되지 않은 데이터를 이벤트로 간주한다.

- 조건을 만족하는 일부 지점(point) 데이터 = 이벤트
특정 단일 객체 추적이나 아웃라이어(Outlier) 데이터 탐지와 같은 응용에서는 점 형태의 데이터를 이벤트로 간주한다.
- 조건을 만족하는 군집 데이터 = 이벤트
산불, 유독 가스, 방사능 등과 같이 특정 영역에 연속적으로 분포하는 형태의 데이터를 이벤트로 간주한다.



(a) 전체 이벤트 (b) 지점 이벤트 (c) 군집 이벤트
그림 1 이벤트의 형태

기존의 이벤트 탐지 기법들 중 응용빈도가 높은 군집 이벤트를 에너지 효율적으로 탐지하기 위한 기법에 대하여 많은 연구들이 진행되었다.

군집 이벤트는 개별 개체에 의해 발생하는 지점

이벤트와 달리 지리적으로 인접한 센서들에서 서로 중복되거나 유사한 데이터를 수집한다. 예를 들어 산불이 발생한 지역의 모든 노드들은 고온의 유사한 정보를 수집하는 특성을 나타낸다. 따라서, 군집 이벤트를 효율적으로 탐지하기 위해 이벤트가 발생한 지역의 모든 센서 데이터를 이용하지 않고, 이벤트 경계지역의 센서 데이터만 이용하여 이벤트의 위치, 크기, 형태 등의 정보를 판단하는 기법이 제안되었다[3].

본 논문에서는 대규모의 무선 센서네트워크 환경에서 연속적이고, 광범위한 영역에 걸쳐 발생하는 군집 이벤트의 경계 정보를 인-네트워크 방식의 최소 경계 다각형(MBP) 생성 기법을 통해 적은 데이터 사이즈로 표현하고, 이를 통해 에너지 효율적인 군집 이벤트 탐지 기법을 제안한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 기존에 제안된 경계 노드 정보를 이용한 군집 이벤트 탐지 기법들에 대해 기술하고, 이러한 연구들의 문제점에 대해서 분석한다. 3장에서는 인-네트워크 MBP 생성 기법과 이를 이용한 이벤트 탐지 기법에 대해 설명한다. 4장에서는 시뮬레이션을 통해 기존 기법과 제안하는 기법의 성능을 비교평가 한다. 5장에서는 본 논문의 결론과 향후 연구에 대하여 기술한다.

2. 관련연구

센서 네트워크에서 군집 이벤트를 탐지하기 위한 방법으로 해당 이벤트를 감지한 모든 노드들의 데이터를 수집하는 방식이 있다. 이 방식은 가장 기본적인 방식으로 군집 이벤트 영역에 포함된 센서의 수만큼의 패킷을 발생시키고, 이를 다중-출라우팅을 통해 기지국으로 전송한다. 이러한 과정에서 많은 양의 에너지 소모를 야기시키고, 이는 네트워크 수명을 감소시키는 원인이 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 [3], [4], [5] 등의 기법들이 제안되었다. 군집 이벤트는 이벤트의 발생 위치, 크기, 모양의 정보를 통해 나타낼 수 있다. 이러한 기법들은 이벤트의 경계 정보를 이용하여 군집 이벤트의 위치, 크기, 모양의 정보를 나타내어 전송되는 데이터 양을 크게 줄였다.

[3]은 이벤트를 탐지한 모든 노드들이 1-홉 이내의 이웃 노드들의 정보를 이용하여 자신이 경계 노드인지 개별적으로 판단하는 기법을 제안하였다. 이 기법에서는 노드 자신의 수집 정보와 이웃 노드들의 수집 정보들 중에 하나의 값이라도 서로 다른 값을 수집하였을 경우 자신을 경계 노드로 판단한다. 특정 노드가 이벤트의 경계에 위치하였을 때 자신의 이웃 노드들의 일부는 이벤트를 감지하고, 일부는 감지하지 않는 특징을 이용한다. 하지만 이 기법의 경우 센서의 통신 반경이 커지게 될 경우 불필요하게 많은 센서들이 경계 노드로

판단하여, 필요 이상의 에너지 소모를 발생시키는 문제점을 가지고 있다.

[4]는 [3] 기법을 이용하여 판단한 전체 경계 노드들을 지역적으로 클러스터를 구축하고, 헤더를 선출하여 경계 정보를 취합하여 기지국으로 전송한다. 이 기법은 변화하는 군집 이벤트를 효과적으로 탐지하기 위해 군집 이벤트의 경계 정보 변화를 클러스터 단위로 업데이트 시키는 방식을 제안한다.

[5]는 센서 네트워크 전체를 다각형 형태의 클러스터 단위로 구분하고, *Convex Hull* 알고리즘[6]을 이용하여 군집 이벤트의 경계를 단일 경계 노드들로 판단하는 기법이다. 이 기법은 각 클러스터에서 감지된 군집 이벤트의 단일 경계 노드들을 선정하고, 기지국에서 경계 정보를 가진 클러스터 헤더들의 정보들을 취합하여 군집 이벤트 전체를 표현하는 단일 경계 노드들의 정보를 생성한다. 만들어진 단일 경계 정보는 [3]과 [4]에서 가지는 과도한 경계 노드 선정의 문제를 해결한다.

기존의 경계 노드의 정보를 이용하여 군집 이벤트를 탐지하는 기법들은 경계에 위치한 모든 노드들의 정보를 기지국으로 전송한다. 이 경우 이벤트의 크기가 커지거나, 둘레의 길이가 길어질 경우 혹은 배포된 센서의 밀도가 높은 경우 경계에 포함되는 노드들의 수가 증가하여 이를 나타내기 위한 정보의 양이 크게 증가한다. 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 인-네트워크 최소 경계 다각형 생성 기법을 기반으로 경계 노드들의 정보를 압축/요약하여 군집 이벤트 탐지에 소모되는 에너지를 줄이는 기법을 제안한다.

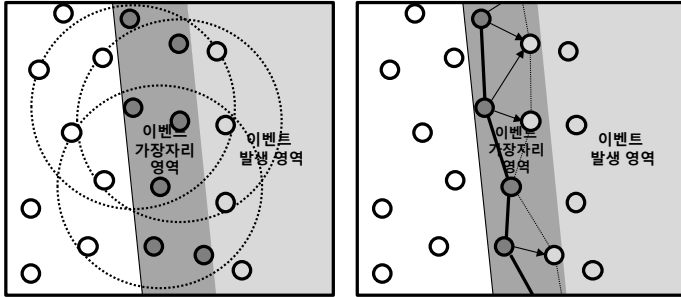
3. 제안하는 군집 이벤트 탐지 기법

본 장에서는 제안하는 군집 이벤트 탐지기법에서 군집 이벤트를 높은 정확도로 요약하기 위한 군집 이벤트 경계 노드 선정 및 인-네트워크 최소 경계 다각형(MBP)을 생성하는 기법과 이를 이용한 에너지 효율적인 군집 이벤트 탐지 및 전송에 대하여 기술한다.

3.1 군집 이벤트 단일 경계 노드 선정

앞서 설명한 바와 같이 군집 이벤트를 에너지 효율적으로 탐지하기 위해 가장자리 정보만을 기지국으로 전송하여 군집의 크기와 모양을 판단 하는 기법을 이용한다. 본 논문에서 제안하는 인-네트워크 MBP를 생성하는 기법 또한 군집 이벤트의 가장자리 영역에 위치한 노드만을 이용한다. 기존에 제안된 가장자리 노드 선정기법은 자신이 가장자리 노드인지 아닌지 판단하기 위해 주변 이웃노드들의 이벤트 감지 정보를 이용한다. 하지만 이러한 경우 그림 2 (a) 와 같이 가장자리 영역에서 다수의 노드가 자신을 경계 노드로 판단하여 불필요하게 두꺼운 가장자리 정보를

형성하게 된다. 이를 해결하기 위해 본 논문에서는 가장자리 영역에 포함된 1-홉 이내의 인근 경계 노드들 간의 위치 정보 교환을 통해 자신보다 더욱 이벤트 영역 외곽에 위치한 경계 노드가 있을 경우 자신을 경계 노드에서 제외 시킨다. 그 결과 그림 2 (b) 와 같이 단일 경계 노드들을 이용한 군집 이벤트의 단일 경계 정보를 형성할 수 있다.



(a) 경계 영역 노드 (b) 단일 경계 노드

그림 2 군집 이벤트 단일 경계 노드 선정

3.2 인-네트워크 MBP 생성

본 논문에서는 군집 이벤트를 에너지 효율적으로 검출하기 위하여 이벤트를 표현하기 위해 이용되는 경계 노드들의 정보를 바탕으로 최소 경계 다각형(MBP)을 생성하여 기지국으로 전송한다. 최소 경계 다각형은 특정 군집 이벤트의 영역과 크기를 나타내기 위해 최소의 잉여 공간만을 포함하는 최소의 다각형을 의미한다. 센서 네트워크를 통해 감지한 군집 이벤트의 크기가 커지고 이벤트의 둘레가 길어질 경우 이를 표현하기 위한 경계노드의 수도 급격히 증가하게 된다. 따라서 본 논문에서는 군집 이벤트의 크기와 모양을 MBP를 이용하여 정보를 축약시키는 기법을 고안하였다. 실제 군집 이벤트의 모양은 다양한 형태의 곡선들로 표현된다. 따라서 군집 이벤트를 포함하는 MBP는 다양한 형태로 산출될 수 있어 하나의 MBP를 결정하는 것은 NP-문제이다. 특히 센서 네트워크 환경에서 이벤트 전체 영역의 정보에 대하여 개별 노드들은 파악 할 수 없다. 즉, 자신과 자신의 이웃노드들의 정보만을 이용하여 군집 이벤트 전체를 포함하는 MBP를 산출하기는 더욱 어렵다. 따라서 본 논문에서는 앞서 제안한 단일 경계 노드 선정 기법을 통해 선정된 경계노드들을 대상으로 MBP message를 전달해 가며 점진적으로 MBP 정보를 완성해 나가는 기법을 제안한다.

제안하는 인-네트워크 MBP 생성 기법의 동작 순서는 아래와 같다.

- ① 각 노드들은 랜덤 대기(Random-delay)를 통해 MBP message를 생성/배포할 트리거 노드를 선정하고, 해당 트리거 노드는 생성한 MBP message에 자신의 좌표와 메시지의 ID값을 포함시켜 오른손

법칙(right-hand rule)에 따라 자신의 이웃 노드로 MBP message를 전달한다.

- ② 트리거 노드로부터 MBP message를 전달받은 이웃 경계 노드는 트리거 노드의 좌표와 자신의 좌표를 이용하여 가상 폴리라인(polyline)을 나타내는 1차 선형 방정식을 생성하고, 생성된 방정식의 계수 값 c_a 와 c_b 를 MBP message에 기록하여 다음 경계 노드로 전달한다.

$$c_a = \frac{y_{n2} - y_{n1}}{x_{n2} - x_{n1}}, c_b = (y_{n1} - (\frac{y_{n2} - y_{n1}}{x_{n2} - x_{n1}})x_{n1}) \quad (식1)$$

- ③ MBP message를 전달받은 이웃 경계 노드는 선형 방정식 계수를 이용하여 가상 폴리라인을 생성하고, 자신과의 거리를 계산한다. 만약 해당 거리가 선-결정된 폴리곤 계수(β) 보다 작을 경우 전달받은 MBP message를 다음 이웃 경계 노드로 전달하고, β 보다 클 경우 자신이 새로운 트리거 노드가 되어 전달받은 선형 방정식 계수와 자신의 좌표를 다음 이웃 경계 노드로 전달한다.
- ④ 새롭게 선정된 트리거 노드로부터 MBP message를 받은 다음 이웃 경계 노드는 새로운 트리거 노드의 좌표와 자신의 좌표를 이용해 새로운 가상 폴리라인의 1차 선형 방정식을 생성하고, 기존의 가상 폴리라인과 새롭게 생성된 가상 폴리라인의 교차점을 계산하여 폴리곤 정점 좌표를 생성하고, 해당 정점 좌표와 새로운 가상 폴리라인 계수를 이용하여 MBP message를 갱신/전달한다.
- ⑤ MBP message가 최초 MBP message를 생성한 트리거 노드에 도달할 때까지 ③, ④의 과정을 반복한다.

그림 3은 본 논문에서 제안하는 인-네트워크 MBP 생성과정을 나타낸다. 앞서 설명한 바와 같이 MBP는 이벤트 경계 노드들을 기반으로 생성된다. 그림에서 $n1 \sim n7$ 노드는 이벤트의 가장자리 영역에 위치한 경계 노드이고, $n1$ 노드가 랜덤 대기에 의해 선정된 트리거 노드이다. $n1$ 은 자신의 좌표 정보 (x_{n1}, y_{n1}) 를 $n2$ 로 전달하고 $n2$ 는 자신의 좌표 (x_{n2}, y_{n2}) 를 이용하여 가상 폴리라인 p_1 을 생성한다. 생성된 가상 폴리라인 p_1 의 선형 방정식 계수인 (c_a, c_b) 를 다음 경계 노드인 $n3$ 로 전달한다. $n3$ 는 전달받은 (c_a, c_b) 를 이용해 자신의 위치와 p_1 과의 거리를 계산하고, 거리 $dist(n3, p_1)$ 가 폴리곤 계수 β 보다 작으므로 $n4$ 에게 (c_a, c_b) 를 그대로 전달한다. $n5$ 까지 거리비교/전달하는 일련의 과정을 반복하고 $n6$ 에 MBP message가 도달하게 되면 $n6$ 는 p_1 과의 거리 $dist(n6, p_1)$ 가 β 보다 크다. 따라서 $n6$ 는 자신이 트리거 노드가 되어 자신의 좌표와 전달받은 (c_a, c_b) 를 $n7$ 에게 전달하고, $n7$ 은 $n6$ 의 좌표 (x_{n6}, y_{n6}) 와 자신의 좌표 (x_{n7}, y_{n7}) 를 이용하여 새로운 가상

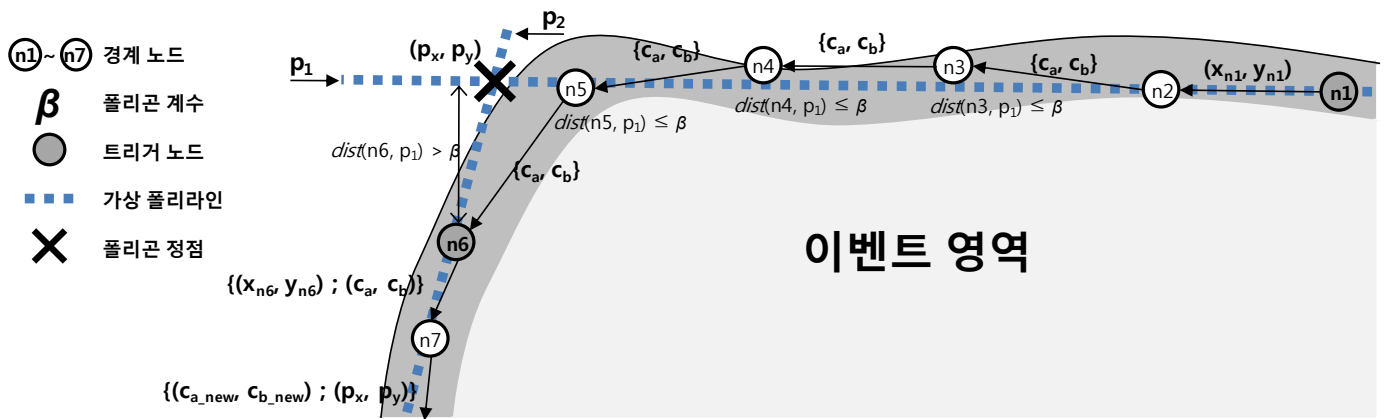


그림 3 인-네트워크 최소 경계 다각형 생성

폴리라인 p_2 를 생성한다. n_7 은 두 가상 폴리라인 p_1 과 p_2 의 교차점을 계산하여 폴리곤 정점 (p_x, p_y) 를 생성하고, p_2 의 선형 방정식 계수인 (c_{a_new}, c_{b_new}) 와 해당 폴리곤 정점을 다음 노드로 전달한다. 이와 같은 과정으로 만들어진 MBP를 이용하면, 가상 폴리라인 p_1 은 $n_1 \sim n_5$ 노드의 위치 정보를 포함하게 되고, 가상 폴리라인 p_2 는 $n_6 \sim n_7$ 노드의 위치 정보를 포함한다. 최종적으로 생성되는 MBP는 소수의 폴리곤 정점들의 정보만으로 군집 이벤트의 모든 경계 노드들의 위치 정보를 축약하여 나타낼 수 있다.

3.3 랜덤 대기 트리거 노드 선정 및 MBP 세그먼트 생성

제안하는 MBP 생성기법은 인-네트워크 방식으로 처리되므로 MBP 생성을 시작하기 위한 트리거 노드 선정은 노드들 자체적으로 처리해야 한다. 본 장에서는 노드 자체적인 트리거 노드 선정을 위한 랜덤 대기 트리거 노드 선정 기법과 이로 인해 생성되는 MBP 세그먼트에 대하여 기술한다.

MBP를 생성하기 위해 군집 이벤트의 가장자리 영역에 위치한 센서 노드들이 경계 노드임을 판단했을 때 동시에 모든 경계 노드들이 트리거 노드으로써 동작하는 것을 방지하기 위해 CSMA(Carrier Sense Multiple Access) 프로토콜 [7]에서 다중 접근 충돌방지를 위해 사용하는 랜덤 대기 기법을 변형하여 적용하였다. 각 경계 노드들은 0~1범위의 값을 무작위로 선정하여 선-결정된 최대 대기시간 δ 와 곱하여 자신의 대기시간을 결정한다. 즉, 센서노드들의 대기시간을 δ 만큼의 시간 범위 이내로 균일하게 분산시켜 동시에 다수의 트리거 노드가 발생하는 것을 방지할 수 있다. 그림 3은 제안하는 랜덤 대기 기반 트리거 노드 선정기법에 따라 선정된 트리거 노드에 의해 MBP를 생성하는 과정을 나타낸다. 제안하는 기법에서는 두 가지 형태의 트리거 노드를 가진다. 첫 번째 트리거 노드는 랜덤 대기 기법을 기반으로 초기 MBP message를 생성하는 초기 트리거 노드(Initial

Trigger Node)가 있고, MBP message 전송 과정에서 가상 폴리라인에서 폴리곤 계수 β 보다 멀게 위치하여 선정되는 정점 트리거 노드(Vertex Trigger Node)가 있다. 그림 4 (a)는 다수의 경계노드들이 자체적으로 0~ δ 사이의 대기시간을 결정한 결과에 따라 타임라인 상에 표현한 것이다. 여기서 δ 의 크기를 조절하여 노드들 간의 대기시간 차이를 조절 할 수 있다. 그림 4 (b)는 각 노드들의 대기시간을 기반으로 n_3, n_{13} 노드가 초기 트리거 노드로 선정되고, 이를 기반으로 MBP를 생성하는 과정을 나타낸다.

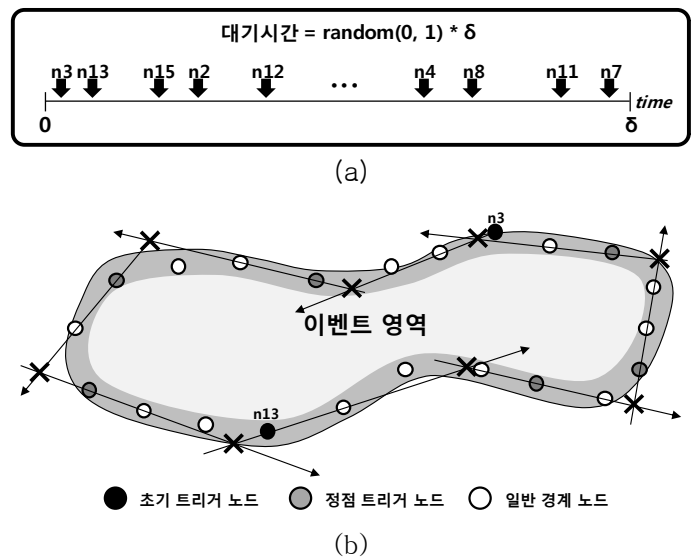


그림 4 랜덤 대기 기반 트리거 노드 선정 및 MBP message 전달

제안하는 랜덤 대기 기법을 기반으로 트리거 노드를 선정하게 되면 다수개의 초기 트리거 노드가 발생하고, 이들에 의해 다수의 MBP 세그먼트가 생성된다. 그림 5는 초기 트리거 노드 n_3 와 n_{13} 에 의해 생성된 두 개의 MBP 세그먼트와 각 세그먼트에 저장된 MBP 정점을 나타내기 위한 정보들을 보여준다. 이렇게

생성된 각 세그먼트들은 개별적으로 기지국에 전송되고, 기지국에서는 해당 세그먼트들을 조합하여 최종 MBP를 생성할 수 있다.

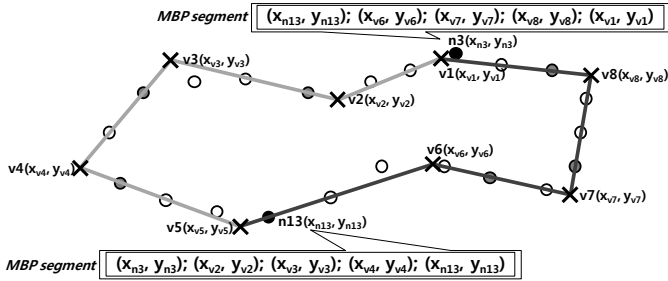


그림 5 MBP 세그먼트 생성

4. 성능평가

4.1 성능평가 환경

제안하는 기법의 우수성을 보이기 위해 기존 기법들과 시뮬레이션을 통해 성능을 비교 평가 하였다. 비교한 기법은 이벤트를 탐지한 모든 노드들의 정보를 전송하는 Naïve 기법, 단일 경계 노드를 선출하여 군집 이벤트를 탐지하는 CODA 기법[5] 그리고 제안하는 기법이다. 시뮬레이션은 표 1과 같은 환경 변수를 바탕으로 진행하였다[8].

표 1 성능 평가 환경

| 파라미터 | 값 |
|-------------------|------------|
| 센서 개수 | 10000 |
| 네트워크 크기 | 1000x1000m |
| 센서 식별자 | 4byte |
| 좌표 데이터의 크기 | 4byte |
| 이벤트 면적 (이벤트/네트워크) | 10%~50% |
| 센서 통신 반경 | 10m |

센서 노드의 메시지 송수신에 소모되는 에너지는 식(2)과 식(3)의 모델을 사용하였다.

$$T_{cost} = 50nj/b, \quad R_{cost} = 50nj/b, \quad T_{amp} = 100pj/b/m^2$$

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

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

4.2 성능평가 결과

그림 6은 발생된 군집 이벤트의 크기에 따른 탐지에 소모되는 에너지량에 대한 성능평가 결과이다. naïve 방식의 경우 이벤트를 감지한 모든 센서노드의 데이터를 수집하므로 가장 큰 에너지 소모를 보인다. CODA 방식의 경우 단일 경계노드만을 선정하여

기지국으로 전송하지만 군집 이벤트의 크기가 커짐에 따라 경계 노드의 수도 증가하여 높은 에너지 소모를 보인다. 제안하는 기법의 경우 경계 정보를 요약/압축한 MBP 정보를 기지국에 전송함으로써 타 알고리즘들에 비해 에너지 소모가 크게 감소하는 것을 확인할 수 있다. 비교 결과, 군집 이벤트 탐지에 소모되는 에너지량이 CODA에 비해 제안하는 기법이 약 688%감소하였다.

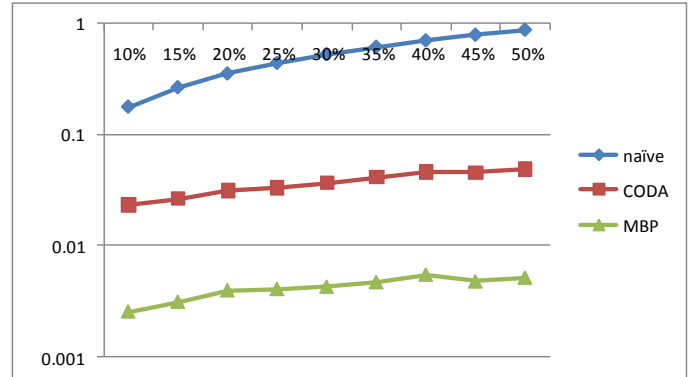


그림 6 군집 이벤트의 크기에 따른 탐지에 소모되는 에너지량

그림 7은 군집 이벤트 탐지 기법 별 탐지 정확도에 대한 성능평가 결과이다. 그 결과 제안하는 기법이 군집 이벤트의 경계 정보를 요약/압축하여 전송하지만 naïve 방식과 CODA 방식의 이벤트 경계노드들의 모든 정보를 전송하는 방식과 대비하여 약 92.31%의 높은 정확도를 보임을 확인하였다.

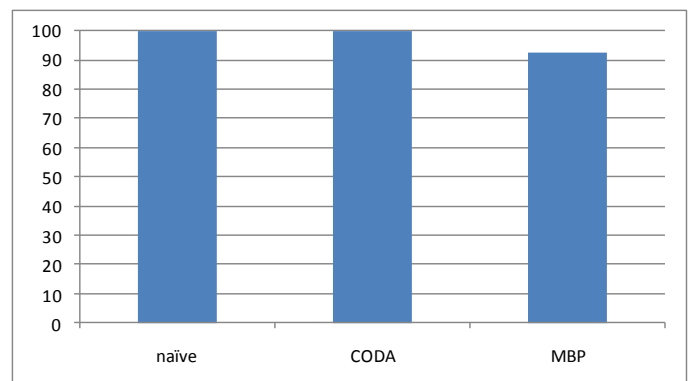


그림 7 제안하는 기법에 따른 군집 이벤트 탐지 정확도

5. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 기존에 제안된 경계 정보 기반 군집 이벤트 탐지 기법들의 문제점을 분석하고, 에너지 효율적인 최소 경계 다각형을 이용한 군집 이벤트 탐지 기법을 제안한다. 기존의 경계 정보 기반 군집 이벤트 탐지 기법들은 군집 이벤트의 크기가 커지거나 센서

노드의 배포밀도가 높아질 경우 이벤트 경계 노드의 수가 증가하여 탐지를 위한 에너지 소모가 증가하는 문제점이 발생한다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 경계 정보를 요약/압축하는 최소 경계 다각형을 이용한 탐지 기법을 제안하였다. 최소 경계 다각형을 생성하기 위하여 *MBP message* 릴레이를 통해 인-네트워크 방식으로 최소 경계 다각형을 생성하고, 생성된 MBP 세그먼트들을 기지국으로 전송한다. 기존 기법과 성능평가 결과, 92%이상의 정확도를 유지하며, 688% 에너지 소모량이 감소하였다.

참고논문

- [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] K. K. Chintalapudi, and R. Govindan, "Localized Edge Detection in Sensor Fields," Proc. the 1st IEEE Sensor Network Protocols and Applications, pp.59-70, 2003.
- [4] X. Ji, H. Zha, J. J. Metzner, and G. Kesidis, "Dynamic Cluster Structure for Object Detection and Tracking in Wireless Ad-Hoc Sensor Networks", Proc. the 2004 IEEE International Conference on Communications, vol.7, pp. 3807-3811, 2004.
- [5] W.-R. Chang, H.-T. Lin, and Z.-Z. Cheng, "CODA: A Continuous Object Detection and Tracking Algorithm for Wireless Ad Hoc Sensor Networks", Proc. the 5th IEEE Consumer Communications and Networking Conference, pp.168-174, 2008.
- [6] Joseph O'Rourke, Computational Geometry in C (2nd Edition), Chap. 3 "Convex Hulls in 2D", 1998.
- [7] Andrew S. Tanenbaum, Computer Networks, Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ. 892 pp, 2003.
- [8] X. Tang, and J. Xu, "Extending Network Lifetime for Precision-Constrained Data Aggregation in Wireless Sensor Networks", Proc. IEEE INFOCOM, Apr. 2006.