

## 센서 네트워크 환경에서 스카이라인 질의를 이용한 효율적인 동적 예측 클러스터링 기법

조영복\*, 최재민\*\*, 이상호\*\*\*

### An Efficient Dynamic Prediction Clustering Algorithm Using Skyline Queries in Sensor Network Environment

Young-Bok Cho \*, Jae-min Choi \*\*, Sang-ho Lee \*\*\*

#### 요 약

센서네트워크는 다양한 분야에서 활용되고 있다. 센서네트워크 노드들이 모바일 환경으로 진화함에 따라 클러스터를 구축하고 클러스터 헤더를 선정함에 있어 이에 적합한 방법으로 구축해야 한다. 본 논문에서는 동적 스카이라인 질의 속성 중 방향, 앵글, 홉을 매트릭스로 이용한 동적 예측 클러스터링 알고리즘을 제안한다. 제안 알고리즘은 이동 센서노드를 중심으로 클러스터를 형성하고 클러스터 헤더를 선정하는 알고리즘이다. 제안 알고리즘에서는 "Adv"메시지 발생으로 이동 센서노드의 불필요한 에너지 낭비를 줄이고 효율적인 클러스터링을 위한 센서노드의 밀집도에 따라 동적 클러스터를 형성하여 센서노드의 평균 에너지를 2.9배 줄여 네트워크 생명주기를 연장해 준다. 또한 동적 클러스터를 유지함으로 클러스터 내 홉 수를 최적화하여 노드의 평균 에너지 소비율이 14% 감소하였다.

#### Abstract

The sensor network is applied from the field which is various. The sensor network nodes are exchanged with mobile environment and they construct they select cluster and cluster headers. In this paper, we propose the Dynamic Prediction Clustering Algorithm use to Skyline queries attributes in direction, angel and hop. This algorithm constructs cluster in base mobile sensor node after select cluster header. Propose algorithm is based made cluster header for mobile sensor node. It "Adv" reduced the waste of energy which mobile sensor node is unnecessary. Respects clustering where is efficient according to hop count of sensor node made dynamic cluster. To extend a network life time of 2.4 times to decrease average energy consuming of sensor node. Also maintains dynamic cluster to optimize the within hop count cluster, the average energy specific consumption of node decreased 14%.

▶ Keyword : 센서네트워크(sensor network), 동적스카이라인질의(dynamic skyline queries), 이동센서노드 (mobile sensor node), 클러스터 헤더(cluster head), 예측알고리즘(prediction algorithm)

• 제1저자 : 조영복 교신저자 : 이상호

• 접수일 : 2008. 9. 24, 심사일 : 2008. 11. 7, 심사완료일 : 2008. 12. 24.

\* 충북대학교 전자계산학과 박사과정 \*\* 충북대학교 전자계산학과 석사과정 \*\*\* 충북대학교 전기전자컴퓨터공학부 교수

## I. 서론

무선 센서 네트워크에서 이동성을 가지고 있는 물체를 추적하기 위해서는 센서 네트워크를 구성하고 있는 많은 노드들이 지속적으로 서로 협동하여 작업해야 한다. 또한 무선 센서 네트워크는 저용량 배터리에 의존하는 저전력 소비를 요구사항으로 하는 많은 노드들로 구성된다[15]. 따라서 센서 네트워크 환경에서 동적 객체의 위치 추적 기술의 가장 핵심이 되는 것은 최소한의 에너지 소비로 센서노드의 위치 경로를 파악하고 최대한의 missing-rate을 유지하여 특정 센서노드의 과도한 에너지 소비를 최소화함으로써 전체 센서 네트워크의 생명주기를 최대한 연장하는 것이다. 이에 관련연구로 다음과 같은 연구들이 진행되고 있다.

첫째, 물체에 근접한 하나의 노드만 사용하여 그 노드의 위치로 물체의 위치를 근사적으로 표시하는 방식. 둘째, 물체에 근접한 여러 개의 노드들로 동적 클러스터를 구성해 나가는 방식. 셋째, 물체의 다음 위치를 예측하고 물체의 이동 경로 및 주변의 노드들을 이용해 물체를 모니터링하는 방식이다 [1][3]. 그러나 이런 연구에도 불구하고 기존 센서 네트워크 환경에서는 센서노드의 이동성을 고려하기보다는 물체의 추적을 위한 연구중심이나, 정적 센서노드만을 고려했다. 또한 현재 가장 큰 문제점은 배터리 의존적인 저전력 문제를 해결해야 하는 시점에서 클러스터링을 위해 각 노드가 Adv 메시지를 전달하는데 각 센서노드의 많은 전력을 소모하게 되어 센서노드가 네트워크 환경을 지속하여 유지하는데 있어 문제점이 발생된다. 따라서 네트워크 생명주기를 오랜 시간 연장할 수 있도록 각 센서노드의 소비전력을 최소화 하면서 클러스터링을 유지할 수 있는 동적 클러스터링 기법이 절실히 필요하다. 이동 센서노드에 적합한 에너지 효율적인 클러스터링 기법이 제안 되어야 하며 이동 센서노드 측면에서 메시지 효율적인 알고리즘이 개선되어야 할 것이다. 따라서 본 논문에서는 이동 센서노드에 적합한 에너지 효율적인 클러스터링 기법을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 관련연구로 무선 센서네트워크, 센서 네트워크를 위한 클러스터링 기반 계층적 라우팅 프로토콜에 대해 분석하고 3장에서는 동적 스카이라인을 이용한 예측알고리즘과 예측알고리즘을 기반으로 한 클러스터링 기법을 제시하며, 4장에서는 제안한 모델을 NS-2를 이용한 시뮬레이션과 실험 결과를 보이며, 5장에서는 결론 및 향후 연구에 대해 기술한다.

## II. 관련 연구

### 2.1 무선 센서 네트워크

기존의 무선 센서네트워크에서 물체 추적에 대한 연구들은 크게 Naive 방식, 계획적 모니터링 방식, 지속적 모니터링 방식, 동적 클러스터링 방식, 예측기반의 방식 등으로 분류할 수 있다. 그중 지속적 모니터링, 동적 클러스터링, 예측기반 등 방식은 기존의 센서네트워크에서의 일반적인 응용에서 부가적으로 지원되는 Naive, 계획적 모니터링 방식과 달리 전문적으로 물체추적을 위해 연구되었다. 각각을 간단히 살펴보면 다음과 같다.

Naive 방식은 모든 센서노드들은 활성화 상태를 계속 유지하면서 감지된 결과를 주기적으로 베이스스테이션(Base Station)에 보내주기 때문에 에너지 소모가 너무 많다[4].

계획적 모니터링 방식은 모든 센서노드들이 베이스스테이션이 잘 동기화 되었다고 가정하고 비활성(sleep)과 활성(wake up) 두 상태 간에 천이(transit)가 가능하다. 센서노드는 자신이 감지(sensing)해야 할 타임이 되면 바로 감지하고 데이터를 베이스스테이션에 보낸다.

모든 센서노드들은 X초만큼 활성화상태에 있다가 (T-X) 초 동안 비활성상태에 들어간다. 하지만 모든 센서노드들과 베이스스테이션이 잘 동기화 되었다는 가정은 현실적으로 실현이 어렵다. 또한 동적 객체를 추적을 위해 사용되는 여러 센서노드를 간에 협력 작업은 많은 량의 에너지 소모가 불가피하다[3][5][6].

지속적 모니터링 방식은 모든 센서노드들이 주기적으로 활성화되어 감지하다가 물체가 자신의 감지 범위에 들어온 센서노드만 활성화된다. 활성화노드는 물체가 이웃노드의 감지 범위에 들어가기 직전에 이웃노드를 활성화시킨다. 하나의 노드로만 모니터링하기에 missing-rate이 높으며 활성화노드는 계속 감지하고 있어야 하기에 에너지 소모가 불균형적이며 전반 네트워크의 생명주기에 영향을 준다[7].

동적 클러스터링 방식은 센서네트워크는 파워가 강한 클러스터 헤더(Cluster Header)노드와 파워가 약한 센서노드(Sensor Node)들로 구성된다. 객체를 감지한 신호가 제일 강한 센서노드가 클러스터 헤더가 되고 주변의 센서노드들로 클러스터를 구성한다. 센서노드들은 감지한 정보를 클러스터 헤더인 센서노드에게 전송해주고 클러스터 헤더 노드는 수집한 정보들을 베이스스테이션에 전달해준다. 물체를 놓치지 않

기 위해서 모든 클러스터 헤더 노드들은 지속적으로 센싱을 해야 한다. 객체의 추적을 유지하기 위해서 모든 센서노드들을 지속적으로 감지해야 한다. 오직 센서노드들만 클러스터 헤더가 될 수 있기에 센서노드가 균일하게 뿌려지지 않은 지역에서는 물체추적이 어렵다. 그리고 클러스터가 일단 구성된 후에는 헤더는 변경(rotation)되지 않기 때문에 물체의 이동이 매우 느린 경우에 특정한 클러스터 헤더의 에너지 소모는 많아진다. 따라서 클러스터 헤더 노드들 사이의 에너지 소모가 불균형해지고 네트워크의 생명주기에 영향을 준다 [8][9][10][11].

예측기반의 방식은 예측모델을 통하여 물체의 다음 위치를 예측하면 활성화와 메커니즘을 통하여 물체가 현재 노드의 감지 범위를 벗어나 인접노드로 들어가기 직전 인접노드를 활성화된 객체를 놓쳐버리던 전체 네트워크 범위에서 객체추적을 복구한다. 선택된 활성화 메커니즘은 서로 다르기 때문에 다음과 같은 세 가지 문제점을 갖는다.

첫째, 목표위치 부근에서 하나의 노드만을 선택하여 활성화하는 경우, 즉 위치 예측이 완전히 정확한 상황에서만 효과적이지만 하나의 노드만 계속 감지하기 때문에 에너지 소모가 불균형적이다. 또한 위치 예측의 100% 정확성을 본존하기 어려운 현실에서는 missing-rate이 상당히 높기 때문에 매번 추적을 복구하기 위해서 들어가는 부하가 매우 높다.

둘째, 현재 위치에서 목표 위치까지의 이동경로 상에 있는 노드들을 모두 활성화하는 경우, 다음 위치 측정 시 약간의 오차를 허용하지만 이동 경로 상의 노드들만 계속 모니터링하기에 객체가 이동 도중 방향을 바꾼다면 missing-rate이 높은 것이고 추적을 복구하는데 소요되는 부하도 많다. 또한 이동 경로 상의 노드들을 모두 활성화하는 동시에 감지를 하기 때문에 에너지 소모측면에서 비효율적이다.

셋째, 현재 위치에서 목표 위치까지의 이동경로 주변의 모든 노드들을 활성화할 경우, 즉 위치측정의 일정한 오차를 허용하지만 이동 경로 주변의 모든 노드들을 활성화하는 동시에 감지하기 때문에 missing-rate이 낮은 반면 에너지 낭비가 많다[12][13][14].

## 2.2 센서 네트워크를 위한 클러스터링 기반 계층적 라우팅 프로토콜

경로설정을 위한 라우팅 프로토콜의 주목적은 네트워크 내의 전송 노드에서 목적 노드로 데이터를 전송하는데 있어 정확하고 최적화된 경로를 찾는 것이다[15]. 특히 MANET 환경의 경우 제한된 공유 자원을 가지고 네트워크내의 오버헤드 및 노드와 노드간의 전송 대역폭의 소모를 최적화해야 한다.

이를 위해 센서네트워크에서는 인접 센서노드 간에 클러스터를 구성함으로써 데이터 중복을 방지하고 경로 설정의 단순화 하며 에너지 소비를 효율적으로 관리하기 위한 계층적 라우팅 기법들이 연구되어졌다.

클러스터링 기법은 라우팅 프로토콜에 비교하여 많은 장점을 가지고 있다. 클러스터링 기법은 로컬(local) 클러스터를 형성함으로써 인접한 지역에서 발생한 유사 데이터 정보를 클러스터 헤더로 전송하고 클러스터 헤더가 이를 모아 처리 수행하는 방식으로 기존 라우팅 프로토콜보다 에너지의 효율적인 라우팅을 가능하게 한다. 또한 요청된 질의 등을 클러스터 헤더에 의해 이루어져 비효율적인 질의 플러딩(flooding)을 막을 수 있다. 클러스터 내에서 센서노드들이 직접 클러스터 헤더와 통신한다거나 플러딩을 하는 방식으로 통신했을 때 각각의 센서노드들은 많은 에너지를 소비하게 될 것이다. 이동 센서노드 측면에서 에너지 소비량이 크다는 것은 비효율적인 통신이 된다. 따라서 이동 센서네트워크의 생명주기를 연장하면서 클러스터 헤더로의 효율적인 라우팅 프로토콜이 필요하다

## III. 스카이라인 질의를 이용한 동적 예측 클러스터링 알고리즘

### 3.1 동적 스카이라인 질의

본 논문에서는 스카이라인 질의 기반의 동적 센서네트워크 환경을 구축한다. 센서노드의 이동방향을 동적 스카이라인 질의를 통해 속성 정보를 추출하고 이를 기반으로 클러스터링에 사용한다. 동적 스카이라인 질의(SQ)기반의 예측 클러스터링 기법은 [표1]과 같은 속성 테이블을 갖는다.

표 1. 스카이라인 속성테이블  
Table 1. Skyline Attribute Table

표기	설명
$d$	$Direction\{north, west, south, east\}$
$A$	$\angle\{(1,1), (-1,1), (-1,-1), (1,-1)\}$
$H$	$Hop\{0,1,2,3,4\} * min = 1, max = 4, bast = 2$

클러스터 형성을 위해 사용되는 동적 스카이라인 정보에 대한 자세한 정보는 (식1)에 정의한다.

$$SQ(d, A, c) = \{D|d \in Direction, A|a \in aAngle, H|h \in Hop\} \dots (식 1)$$

(식1)은 동적 스카이라인 속성정보를 이용 예측함수에 적용하기 위한 것이다.  $SQ(d, A, h)$ 의  $d$ 는 방향(direction)을 의미한다.  $A$ 는 앵글(angle)로 어느 부분에 포함되는가를 좀더 정확한 측정값으로 사분면을 나타내는 것이다.  $H$ 는 홉(hop)으로 클러스터를 구성한 후 클러스터 헤더를 결정하고 클러스터 헤더로부터 얼마나 떨어져 있는가를 나타내는 정보이다. 클러스터 헤더로부터 클러스터를 구성하는 노드간 반경으로 최대 홉수(Hop count)를 의미한다.

[그림1]은 동적 스카이라인 속성을 기반으로 한 센서노드와 클러스터 헤더와의 메시지 흐름이다.

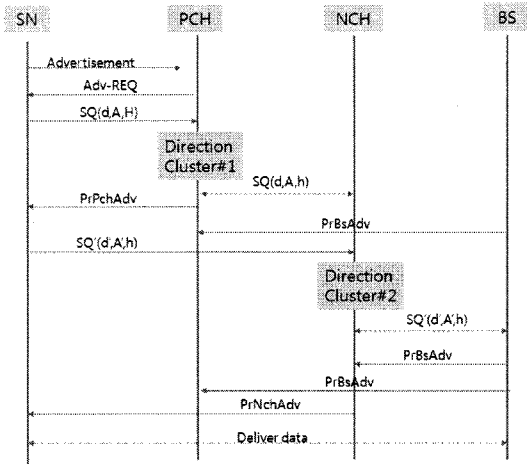


그림 1 노드의 메시지 흐름  
Fig.1 Message Flow of Node

센서노드에서 초기 SQ를 주변 노드들에게 초기 처음 동적 연결(connection)을 하게 된다. 주변 노드들은 SQ를 받고 이에 대한 응답으로 Adv-REQ를 보내고 센서노드는 Adv-REQ 보낸 주변 노드를 대상으로 클러스터를 형성하게 된다. SQ의 동적 스카이라인 속성 데이터(Tuple)를 기반으로 PCH(Previous Cluster Header)에서 다음 클러스터를 예측하기 위해 속성 데이터 중 방향 정보를 기반으로 NCH(New Cluster Header)를 예측하고 클러스터를 형성하여 예측 클러스터를 구성함으로써 센서노드의 이동경로를 따라 클러스터를 동적으로 할당하여 베이스스테이션까지 전송 데이터를 동적으로 전송 가능하도록 지원한다. 이때 사용되는 SQ는 이동 센서노드의 이동 목적지 정보를 담고 있는 속성 값이다. 따라서 이동 센서노드의 동적 스카이라인 정보를 클러스터 헤더에

메시지로 전달된다.

### 3.2 동적 예측 클러스터링 기법(DPCA)

동적 예측 클러스터링 기법(DPCA : Dynamic Prediction Clustering Algorithm)은 센서 네트워크 환경의 센서노드 이동성을 고려한다. 본 논문에서는 동적 스카이라인 질의 기반의 알고리즘을 제안한다. 제안한 알고리즘은 사전(prior)에 센서노드의 이동방향을 예측하여 클러스터를 형성함으로써 센서노드 간에 이루어지는 빈번한 메시지 교환으로 인한 전력 소비를 경감시킬 수 있다.

DPCA는 계층적 클러스터링을 기반으로 동작되며 일반적인 계층적 저전력 클러스터링 알고리즘 [SB기법]을 개선하였다. [표2]는 제안 알고리즘의 주요 환경 변수를 설명한 것이다.

표 2. 환경변수  
Table 2. Environment Variables

변수	설명
$E$	에너지량
$C_{CN}^{Tot}$	클러스터 헤더로부터 BS까지의 홉 수
$R$	센서노드의 통신 범위
$p\lambda$	클러스터 헤더의 밀도,
$(1-p)$	클러스터 헤더가 아닌 노드의 밀도
$CH_n$	클러스터 헤더 수

$S_i$ 를  $(x_i, y_i)$ ,  $i = 1, 2, 3, \dots, n$ 에 위치하는  $n$ 개의 센서로부터 베이스스테이션(BS)의 거리를 나타내는 랜덤변수를 두고 베이스스테이션이 센서필드의 중심에 있고 센서필드가  $a \times a$ 의 정사각형 모양이라고 가정하면 평균  $S_i$ 는 (식2)와 같다.

$$E[S_i | N = n] = \int_A \sqrt{x_i^2 + y_i^2} \left( \frac{1}{4a^2} \right) dS \dots \dots \dots (식2)$$

센서 필드에 센서가  $n$ 개 존재하면 클러스터 헤더가 선출될 확률은  $p$ 가 된다. 따라서 클러스터 헤더가 평균적으로  $np$ 개 존재하므로 모든 클러스터 헤더로부터 베이스스테이션까지 거리의 총합이 된다. 이 값에 센서노드의 통신 범위( $R$ )를 나누면 모든 클러스터 헤더로부터 베이스스테이션까지의 홉 수 ( $C_{CN}^{Tot}$ )를 구할 수 있다.

$$E[C_{CN}^{Tot} | N=n] = \frac{\int_A \sqrt{x_i^2 + y_i^2} \left(\frac{1}{4a^2}\right) dS \cdot np}{R} \dots (\text{식3})$$

$$= \frac{\sum_{CH}^{BS} d}{R}$$

(식3)에서 정의된 R을 사용하면서 동적 클러스터링을 하게 되면 홉의 수가 일정한 비율로 클러스터를 형성하게 된다. 이로 인해 모든 클러스터가 동일한 크기로 형성되어야 하기 때문에 클러스터의 크기가 불필요하게 커지는 경우도 생길 수 있고 센서노드의 전력소모를 낭비할 수 있는 단점을 가져올 수 있다.

따라서 제안한 알고리즘에서는 이런 문제점을 해결하기 위해 센서노드의 평균적인 홉 수를 계산하여 전체 센서노드의 분포 밀도에 따라 평균적인 총 홉 수를 계산하고 동적 스카이라인 정보를 이용하여 센서노드의 평균적인 에너지 소비량을 (식4)와 같이 계산한다. 클러스터 헤더의 확률을 p라고 했기 때문에 pλ은 클러스터 헤더의 밀도, (1-p)는 클러스터 헤더가 아닌 노드의 밀도, SQ는 동적 스카이라인 질의 속성정보를 의미한다.

$$E[C_{CN}^{Tot} | N=n] = \frac{\int_A \sqrt{x_i^2 + y_i^2} \left(\frac{1}{4a^2}\right) dS \cdot np}{R} \dots (\text{식4})$$

$$= \frac{\sum_{CH}^{BS} d}{R}$$

(식4)를 이용하면 기존 동일한 크기로 형성되는 클러스터 문제를 해결하여 센서노드의 밀집도에 따라 클러스터를 형성할 수 있다. 이때 밀집도를 어떻게 구할 것인가도 중요한 문제이다. 따라서 (식5)는 노드의 밀집도를 알아보기 위해 센서노드의 밀도를 λ의 포아송 프로세스에 따라 분포시켰다. 센서노드의 밀도에 따라 반지름이 a인 원 (면적 S=πa<sup>2</sup>)에 존재하는 센서노드의 수는 평균적으로 λS이다. 즉 센서 필드에 R의 통신 범위를 가지는 센서노드가 n개 존재하는 경우를 의미한다.

Cluster #1 : 1홉의 경우와 2홉의 경우

$$E[N^{1cr}] = p\lambda \int_0^R 2\pi a da = \pi p\lambda R^2$$

$$= 1 \cdot E[N^{1cr}] = \pi p\lambda R^2 \dots$$

$$E[N^{2cr}] = p\lambda \int_0^{2R} 3\pi a da = 3\pi p\lambda R^2$$

$$= 2 \cdot E[N^{2cr}] = 2 \cdot 3\pi p\lambda R^2 \dots (\text{식5})$$

다음은 센서노드의 평균 에너지 소비량을 기반으로 (식2),(식3),(식4)을 이용해 클러스터의 평균 에너지 소비량 E[C<sub>Avg</sub><sup>Tot</sup>]는 (식6)과 같이 계산될 수 있다.

$$E[C_{Avg}^{Tot}] = E[E[C_{CH}^{Tot} | N=n] + E[E[C_{SN}^{Tot} | N=n]]]$$

$$= E\left[N \left[ \frac{\sum_{CH}^{BS} d}{R} + \frac{(1-p) \cdot SQ}{2R\sqrt{p\lambda} \cdot SQ} \right] \right] \dots (\text{식6})$$

$$= \lambda S \left[ \frac{\sum_{CH}^{BS} d}{R} + \frac{(1-p) \cdot SQ}{2R\sqrt{p\lambda} \cdot SQ} \right]$$

위 방법을 이용하여 네트워크의 모든 클러스터 헤더에서 베이스스테이션으로 전송하는데 소비되는 에너지량(C<sub>CH</sub><sup>Tot</sup>)를 다음 (식7)과 같이 구할 수 있다.

$$e[C_{CH}^{Tot}] = 1 \cdot e[N^{1cr}] + 2 \cdot e[N^{2cr}] + 3 \cdot e[N^{3cr}] \dots$$

$$= \pi p\lambda (R^2 + 2 \cdot 3R^2 + 3 \cdot 5R^2 + \dots)$$

$$= \pi p\lambda \sum_{k=1}^H k \cdot (2k-1)R^2$$

$$= \pi p\lambda R^2 \left( 2 \sum_{k=q}^H k^2 - \sum_{k=1}^H k \right)$$

$$= \pi p\lambda R^2 \frac{H(H+1)(4H-1)}{6} \quad (\text{단, } H=a/R)$$

..... (식7)

#### IV. 실험 및 결과

이 장에서는 III장에서 제안한 예측 클러스터링 알고리즘을 실험하고 평가한다. [표3]은 NS-2 환경에서 시뮬레이션을 수행을 위한 실험 파라미터들을 보여준다.

표 3. 실험 파라미터  
Table 3. The Parameters of Experiment

기호	정의	값
n	노드의 개수(개)	100
a	네트워크의 반지름(m)	100
M	네트워크의 면적(m <sup>2</sup> )	100m × 100m
BS	Base Station	(50,50)m
IE	initial Electric	5J
$CP_p$	클러스터 헤더 prob	0.04
R	통신범위(m)	5m
$SN_{iE}$	센서노드의 평균 에너지 소비량	
$SNC_{EA}$	클러스터 헤더의 평균 에너지 소비량	
$DC_{EA}$	데이터 전송 시 CH의 평균 에너지 소비량	

실험 시나리오는 다음과 같다. 성능분석을 위한 환경은 100×100 크기의 격자모양의 토폴로지(topology)를 100, 500, 1000개의 노드를 분포해가며 실험한다. 각 센서의 초기 에너지를 모두 동일하게 각각 5J로 초기화 해준다. 통신범위 5m로 센서노드의 밀도를 변화시켜 주었다. 에너지 소비량을 1홉부터 4홉까지 경우를 측정하여 비교한다.

이와 같은 시나리오를 통해 반복 실험한 결과의 트레이스(traces) 파일을 통해 다음과 같은 결과를 도출하였다.

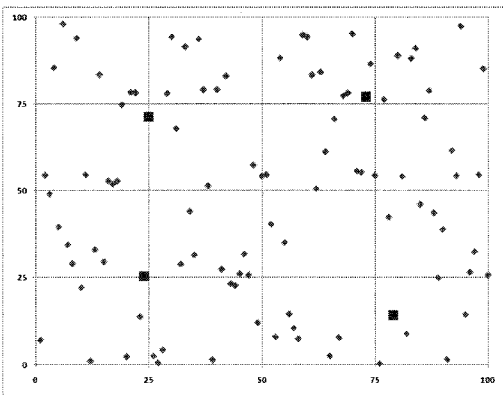


그림 2. 센서노드의 배치 형태  
Fig.2 The Sensor Node Arrangement

스카이라인 기반의 예측 클러스터링 기법은 모바일 센서노드의 이동 방향 단위(d)로 클러스터가 형성되며 클러스터 구성 시 센서노드의 밀집에 따라 클러스터의 크기는 (식1)에 의해 서로 다르게 형성 될 수 있다. [그림2]와 같이 클러스터가 형성되면 형성된 클러스터 내에서 최적의 노드를 클러스터 헤

더로 선정하고 (식7) 클러스터 헤더는 베이스스테이션과 통신하게 된다. [그림2]는 100×100m로 NS2에서 스카이라인 질의 속성 데이터를 이용해 동적 센서노드를 생성하고 클러스터 헤더를 선정한 초기 노드의 생성 배치 형태이다. 초기 이동 센서노드의 모든 에너지를 동일하게 5J로 하고 베이스스테이션은 이동성을 제공하지 않는다.

본 논문에서는 에너지 효율적인 동적 클러스터링 기법을 위해 동적 클러스터링에 최적인 클러스터 내 홉 수를 (식3)을 통해 계산한다.

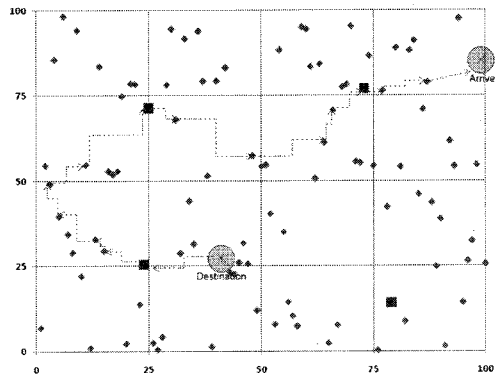


그림 3. 이동센서의 목적지까지의 경로  
Fig.3 The Whole Path of Mobile Sensor Transferring

[그림3]은 SQ의 속성 데이터 중 방향 속성을 기반으로 센서노드의 이동 방향을 예측하고 클러스터를 사전에 구성해 나가는 예측 클러스터 구성방식을 시뮬레이션 하는 시나리오이다. 목적(destination) 노드에서 도착(arrive) 노드까지 통신 경로를 설정한다. 통신 경로는 이동노드의 이동성을 고려하여 예측 클러스터링을 수행하게 된다. 네트워크를 구성하는 이동 노드 중 노드의 에너지가 고갈되어 클러스터 구성에 참여할 수 없는 노드가 발생된다면 동적 클러스터의 경우 고려해야 한다.

동적 클러스터링에서 이동 센서노드가 에너지 고갈로 더 이상 통신에 협력할 수 없게 되어 클러스터와 통신이 단절되고 네트워크가 단절되는 일이 발생한다. 따라서 본 연구에서 에너지 고갈로 단절되는 이동노드를 데드노드(dead node)라 부르고 컴퓨터 시뮬레이션에서 1홉부터 데드노드 발생 시점까지 (SB) 기법과 제안 기법 모두 실험하였다. 데드노드의 발생은 네트워크의 라이프타임에 영향을 주며, 또한 네트워크의 클러스터링에 영향을 주기 때문이다. 따라서 이 실험 결과 기존 (SB)기법은 3홉부터, 제안 기법은 4홉부터 데드노드가 발생한다.

[그림5)는 데드노드의 발생 현황을 막대그래프를 통해 노드별로 나타낸 것이다. 홉 수가 증가하고, 노드가 증가할수록 에너지 고갈로 데드노드의 발생이 기존 (SB)기법은 전체노드의 50%가 넘는다.

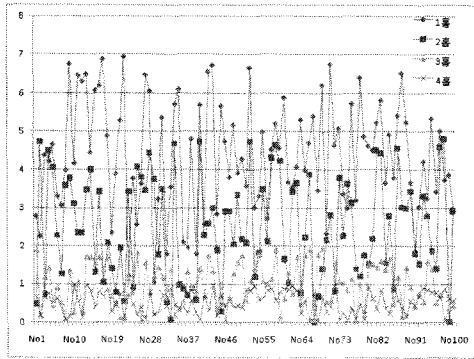


그림 4 . 노드별 노드 에너지 잔여량  
Fig.4 The Node Energy Remain of Each Node

따라서 제안 논문에서는 데드노드 발생이 없는 2홉을 최적의 홉으로 놓고 최대 4홉까지 컴퓨터 시뮬레이션을 한다. [그림5)는 1홉부터 4홉까지의 노드의 평균 에너지 소비 잔여량을 측정 한 것이다. [그림4)에서와 같이 1홉인 경우 초기 에너지를 기반으로 사용하고 남은 잔여량이며 홉이 증가할수록 잔여량은 감소하게 된다. 즉 홉 수가 많을수록 에너지는 감소한다. 실험결과 거리도 에너지 소비에 영향을 주고 있음을 알

수 있다. 따라서 본 연구에서는 최적의 홉수를 데드노드가 발생하지 않은 시점으로 한다.

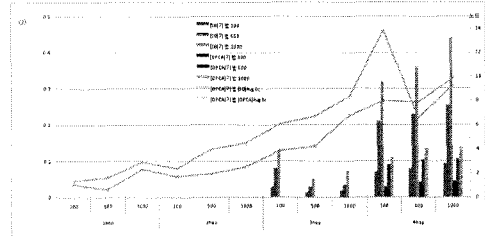


그림 5 데드노드 발생 시점과 평균에너지 소비량  
Fig 5. The node Average energy consumption and Occurrence Point of Dead Node

죽 노드간 통신에 장애를 주지 않는 시점까지 평가 한다. [그림5)에서 꺾은선 그래프를 보면 (SB)기법의 3홉부터는 데드노드의 발생으로 노드의 에너지 잔여량이 급격히 하락한다.

실험 결과 노드수가 증가하면 할수록 데드노드의 수가 증가하여 통신에 참여할 수 있는 노드수가 증가하여 통신단절 현상이 발생하게 되고 이로 인해 클러스터 형성에도 문제가 발생하게 된다. 본 연구에서는 최대 4홉까지 실험한다.

제안한 기법은 이동노드가 전체의 80%정도가 잔여 에너지를 가지고 네트워크 통신에 참여해 동적으로 클러스터링이 가능한 상태이다. 실험 결과 제안한 기법은 기존 (SB) 기법보다 안전하게 오랜 시간 이동노드가 네트워크 통신에 참여할 수 있다.

표 4 노드의 평균 에너지 소비량  
Table 4. Average Energy Consumption of Node

노드수		(SB)기법			제안기법		
Hop	Energy	100	500	1000	100	500	1000
1H	$SN_{iE}$	1.246278	1.265421	1.563231	0.958613	0.982564	1.284235
	$SNC_{EA}$	1.343215	1.662534	1.973441	0.531423	0.523824	0.915875
	$DC_{EA}$	2.682193	2.885324	3.145322	2.098547	2.245897	2.604568
2H	$SN_{iE}$	2.004289	2.588756	2.652241	1.432554	1.562412	2.234447
	$SNC_{EA}$	3.568554	3.950153	4.406953	1.523574	1.952143	2.340245
	$DC_{EA}$	4.689254	4.012583	4.782193	2.404568	2.345897	2.898547
3H	$SN_{iE}$	5.524643(3%)	5.969727(8%)	6.72773(13%)	3.42266(0%)	3.80426(0%)	4.38870(0%)
	$SNC_{EA}$	6.189684(1.2%)	7.404495(3%)	6.40878(5%)	3.84213(0%)	4.09893(0%)	4.68053(0%)
	$DC_{EA}$	6.843654(1.8%)	8.847943(3.3%)	9.293027(7.3%)	5.16231(0%)	7.16660(0%)	7.92461(0%)
4H	$SN_{iE}$	6.704289(7%)	9.73202(21%)	12.0255(32%)	5.87345(3%)	7.16864(9%)	10.9729(11%)
	$SNC_{EA}$	8.768554(8%)	7.353743(23%)	3.54948(36%)	7.67713(4.2%)	8.43572(10.3%)	7.46965(13.6%)
	$DC_{EA}$	12.68925(9.3%)	8.982281(25.3%)	5.982281(44%)	9.85859(4.4%)	9.85371(10.6%)	9.85371(13.9%)

\*(%)은 데드노드의 발생률

따라서 본 연구에서는 컴퓨터 시뮬레이션을 위해 동적 클러스터링 알고리즘을 사용한다. 동적 클러스터 알고리즘은 3장의 (식2), (식3)를 기반으로 (식4)의 동적 스카이라인 속성 정보를 이용한다. 분포된 노드들을 통신 범위(R)를 기준으로 검사하여  $R = \{SN = node\ count | 10 \leq SN \leq 25\}$  조건에 만족하면 클러스터의 노드거리 홉 수를 4로 정의하고  $R = \{SN = node\ count | 1 \leq SN \leq 10\}$  조건에 만족하면 클러스터의 홉 수를 2홉으로 클러스터를 생성하였다. 전체 클러스터의 분포를 만족하기 위해 전체 노드의 개수를 기준으로 초기 실험에서 노드 개수에 비례하여  $CP_v = 0.4$ 로 정의한다. 이렇게 클러스터를 생성하는 이유는 센서노드가 생성되어 분포될 때 100×100m의 넓이에 항상 고르게 분포되는 것이 아니기 때문에 어느 특정한 지역에 센서노드가 밀집되어 모일 수 있고, 이동 센서노드가 특정한 지역으로 이동하면서 한곳에 편중되어 모이는 현상이 발생할 수도 있다. 따라서 클러스터 생성 시 노드의 밀집도를 전체 노드의 0.4%로 설정하여 한곳에 편중되는 현상을 방지하고 전체 노드에 비례하여 클러스터를 형성하도록 시뮬레이션 하였다.

[표4]는 1홉부터 4홉까지 노드의 평균 에너지 소비량에 관한 결과이다. 실험 결과 기존 (SB)기법은 1홉의 경우 센서노드의 평균 에너지 소비량은 제안 기법과 큰 차이를 보이지 않는다. 그러나 클러스터 헤더의 평균 알고리즘과 데이터 전송시 노드의 평균 에너지 소비량은 제안 기법보다 0.81J, 0.58J을 더 많이 소비를 하였다. 그러나 홉수와 노드수를 증가시켜 실험한 결과 2홉부터 제안 기법과 에너지 소비량 측면에서 큰 차이를 내었고, 3홉으로 홉수가 더 늘어나면서 기존 (SB)기법은 데드노드가 발생되고 네트워크상의 홀이 발생되어 일부 노드간 통신 단절이 생기는 클러스터가 발생되었다. 기존 (SB) 기법을 제안한 기법과 네트워크 생명유지 측면에서 비교해 보면 100개의 노드인 경우 84%, 500개의 노드인 경우 95%, 1000개의 노드인 경우 107%의 에너지를 소모한다. 따라서 노드수가 증가할수록 빠른 속도로 에너지 고갈로 네트워크 생명을 유지할 수 없게 된다. 그러나 제안 방식은 100개의 노드인 경우 57%, 500개의 노드인 경우 60%, 1000개의 경우 77%의 에너지 소모로 노드의 증가에 크게 영향을 받지 않으며 통신에 생명유지 시간을 연장하여 사용할 수 있다. 또한 홉 수를 증가시켜 실험한 결과 제안 기법은 (SB)기법보다 네트워크의 생명유지 측면에서 더욱 효율적이다. 2홉의 경우는 센서노드가 전체에너지의 28% 소비한다. 또한 홉 수를 증가하여 3홉의 경우도 제안한 기법은 기존 (SB)기법보다 약 33%의 에너지 소비로 에너지 효율 측면에서 (SB)기법보다 효율적이다.

제안 기법의 이동센서노드는 오랜 시간 센서노드가 클러스터를 유지하고 있지 않기 때문에 각 센서노드의 평균 에너지 소비량을 유지할 수 있다면 살아있는 노드(Live Node)는 언제든지 새로운 클러스터로 이동하여 구성요소가 될 수 있는 자격이 된다. 따라서 제안한 기법에서는 4홉까지는 센서노드의 평균 에너지 소비량을 유지할 수 있다는 장점을 가지고 있다.

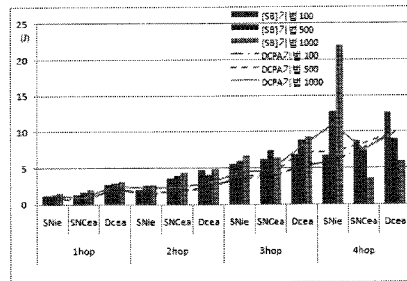


그림 6 평균 에너지 소비량  
Fig. 6 Average Energy Consumption

[그림6]은 노드의 평균에너지 소모량이다. 실험 결과 기존 (SB)의 3홉과 4홉에서 데드노드로 인해  $SN_{CEA}$ 와  $DC_{EA}$ 의 에너지 소비량이 노드 수에 비해 매우 낮게 측정된다. 이 실험 결과는 통신을 위한 네트워크 구성이 매우 어려운 상태를 알 수 있다. 전체 이동 노드 중 살아있는 노드는 (식6)과 같다.

$$Live\ Node = \sum_{i=1}^{SN} i \dots\dots\dots (식6)$$

$$SN = \{SN_{iE} | SN_{iE} > 0\}$$

따라서 본 실험에서는 2홉까지의 실험결과를 기존 (SB)와 비교하여 성능을 평가한다. 데드노드로 인한 네트워크의 장애 발생의 원인을 주는 경우는 실험의 성능평가에서 예외로 본다.

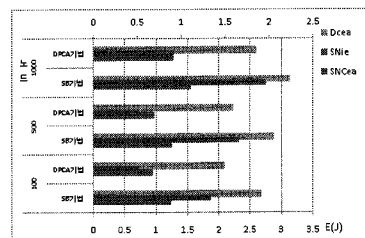


그림 7 1홉에서 평균 에너지 소비량  
Fig. 7 The Average Energy Consumption of One Hop



(그림7)은 [표4]의 결과 중 1홉까지의 결과이다. 제안 기법은 각 이동 센서노드의 에너지 소모량이 전체에너지의 23%를 소모하는데 비해 클러스터헤더의 평균 에너지는 16%를 소모한다. 또한 데이터 전송 시 클러스터헤더는 평균 49%의 에너지를 소비한다. 그러나 기존 [SB]기법의 경우는 각 이동 센서노드의 경우 전체 에너지의 27% 소모하게 되고 클러스터헤더 평균 에너지 소모량 또한 28%로 높은 에너지 소모량을 갖는다. 데이터 전송 시 클러스터헤더의 에너지 전송량은 57%로 반 이상의 에너지를 소비한다. 1홉의 경우 제안 기법은 [SB]기법보다 14%의 에너지 효율을 갖는다.

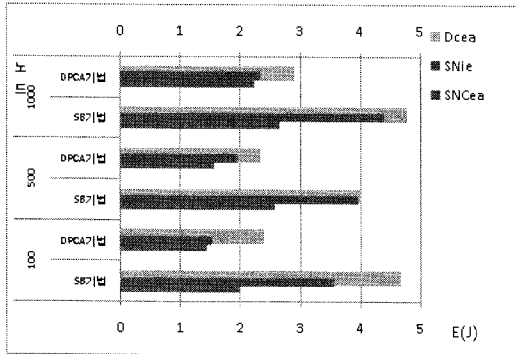


그림 8. 2홉에서 평균 에너지 소비량  
Fig. 8 The Average Energy Consumption of Tow Hop

(그림8)은 [표4]에서 2홉을 기준으로 노드의 에너지 소비량 실험결과이다. 제안한 방식에서는 이동 센서노드의 에너지 소비량이 22%, 클러스터 헤더에서의 에너지 소비량이 31%, 데이터 전송 시 클러스터헤더의 에너지 소비량이 41%이다. [SB기법]은 센서노드의 평균 에너지 소비량은 28%, 클러스터 헤더의 평균 에너지 소비량 37%, 데이터 전송 시 노드의 에너지 소비량은 41%로 여전히 높은 에너지를 소비한다. 홉 수 증가로 각 노드의 에너지 소비량이 증가한다. 그러나 제안 기법에서는 홉 수를 2로 증가하여도 센서노드의 평균 에너지 소비량과 데이터 전송 시 노드의 에너지 소비량은 각각  $\approx 0.7J$ ,  $\approx 0.2J$  증가하였으나 클러스터 헤더의 평균 에너지 소비량은  $\approx 2.9$ 배 감소하였다. 따라서 홉 수가 증가하여도 클러스터 헤더의 소비 에너지의 측면에서 기존 [SB]기법 보다 효율적임을 알 수 있다.

#### IV. 결론

모바일 특성을 가지는 센서 네트워크에서 기존의 센서 네

트워크에서와 같은 방식으로 클러스터를 구축하는 것은 비효율적이다. 센서 네트워크 운용의 중요 핵심은 네트워크의 생명주기를 오랜 시간 연장하면서 통신을 지속하는 것이다. 기존 방식은 클러스터링하기 위해 각 센서노드가 너무 많은 불필요한 에너지를 소모하게 된다.

본 연구에서는 동적 스카이라인 질의 속성을 기반으로 이동 센서노드를 위한 동적 예측 클러스터링 알고리즘(DPCA)을 제안하였다. 제안된 방식에서는 동적 예측 알고리즘을 사용하여 노드에서 클러스터 형성 시 필요로 하는 Adv 메시지를 주기적으로 전송하지 않고 초기 이동 노드의 스카이라인 질의 속성 정보를 이용하여 예측 알고리즘을 수행한다. 시뮬레이션 결과 최적의 홉 수인 2홉까지 이동 센서노드의 에너지 소비량은 14% 절감하였다. 또한 이동 센서노드의 증가로 네트워크가 커질 경우 제안 방식은 클러스터 구성 시 홉 수가 증가할수록 제안 기법은 데드노드의 발생률이 기존 [SB]기법에 비해 25.7% 낮다. 동적 예측 알고리즘은 노드의 별도 에너지 소모가 불필요하고 기존 클러스터링 기법과 달리 메시지 흐름도 간편하다. 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 제안된 알고리즘의 성능평가를 수행하였으며 그 결과 기존 방법보다 이동 센서노드의 에너지양을 기존 방식보다 최대 50% 연장하여 사용이 가능하다.

향후 연구로는 제안기법에서도 클러스터 시점에서 일정 홉 수를 지나면(h>4) 데드노드의 문제점을 갖는다. 따라서 노드 수 증가에 따라 데드노드 발생 시점을 늦출 수 있는 효율적인 향후 연구가 계속 진행되어야 할 것이다.

#### 참고문헌

- [1] Song, Z., Roussopoulos, N. "K-Nearest Neighbor Search for Moving Query Point". SSTD, 2001.
- [2] Zheng B., Lee, D. "Semantic Caching in Location-Dependent Query Processing," SSTD, p.97-116, 2001.
- [3] J. Zhang, M. Zhu, D. Papadias, Y. Tao, and D. L. Lee. "Location-based spatial queries," In SIGMOD, pp.443-454, 2003.
- [4] W. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan: "Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks". Proceedings of the Hawaii Conference on System Sciences, Jan. 2000.
- [5] Arati Manjeshwar et al.: "TEEN: A Routing Protocol for Enhanced Efficiency in Wireless

Sensor Networks". Proceedings of Wireless Networks and Mobile Computing, 2001.

[6] Arati Manjeshwar et al.: "APTEEN: A Hybrid Protocol for Efficient Routing and Comprehensive Information Retrieval in Wireless Sensor Networks". Proceedings Of Parallel and Distributed Processing Symposium(IPDPS'02), pp.195-202.

[7] Balasubramanian, S.; Elangovan, I.; Jayaweera, S.K.; Namuduri, K.R.: "Distributed and collaborative tracking for energy-constrained ad-hoc wireless sensor networks". Proceedings of WCNC 2004. Page(s):1732 - 1737 Vol.3

[8] Xiang ji; Hongyuan Zha; Metzner, J.J.; Kesidis, G.: "Dynamic cluster structure for object detection and tracking in wireless ad-hoc sensor networks". Proceedings of Communications, 2004 Page(s):3807 - 3811 Vol.73

[9] Wei-Peng Chen; Hou, J.C.; Lui Sha: "Dynamic clustering for acoustic target tracking in wireless sensor networks". Proceedings of Mobile Computing, IEEE Transactions 2004 Page(s):258 - 271

[10] Wei-Peng Chen; Hou, J.C.; Lui Sha: "Dynamic clustering for acoustic target tracking in wireless sensor networks". Proceedings of Network Protocols 2003 Page(s):284 - 294

[11] Vercauteren, T.; Dong Guo; Xiaodong Wang: "Joint multiple target tracking and classification in collaborative sensor networks". Proceedings of Selected Areas in Communications, IEEE Journal on Volume 23, Issue 4, 2005 Page(s):714 - 723

[12] Yingqi Xu; Winter, J.; Wang-Chien Lee: "Prediction-based strategies for energy saving in object tracking sensor networks". Proceedings of Mobile Data Management, 2004 Page(s):346 - 357

[13] Yang, H.; Sikdar, B.: "A protocol for tracking mobile targets using sensor networks". Proceedings of the First IEEE. 2003 Page(s):71 - 81

[14] Xu, Y.; Winter, J.; Lee, W.-C.: "Dual prediction-based

reporting for object tracking sensor networks". Proceedings of MOBIQUITOUS 2004. Page(s):154 - 163

[15] Paolo Santi, "Topology Control in Wireless Ad Hoc and Sensor Networks," WILEY

[16] Seema Bandyopadhyay, E.J. Coyle, "An Energy Efficient Hierarchical Clustering Algorithm for Wireless Sensor Networks" Infocom 2003, IEEE Vol 3, 30 Mar-3 April 2003 Page(s):1713-1723

저자 소개

조영복 (Young-bok Cho)

2003년 2월 한밭대학교 컴퓨터공학과 공학사

2005년 8월 충북대학교 전자계산학과 이학석사

2006년 3월~현재 충북대학교 전자계산학과 박사수료

<관심분야> Ad-hoc Wireless Networks, Routing Protocol, Wireless Mesh Network



최재민 (Choi Jae-min)

2004년 2월 청주대학교 컴퓨터정보공학사

2007년 8월~ 현재 충북대학교 전자계산학과 석사과정

<관심분야> Ad-hoc Wireless Networks, SSD Controller, Wireless Mesh Network



이상호 (Sang-ho Lee)

1972년 3월~1976년 2월 숭실대학교 전자계산 공학사

1979년 3월~1981년 2월 숭실대학교 시뮬레이션공학석사

1985년 3월~1989년 2월 숭실대학교 컴퓨터네트워크 공학박사

<관심분야> Protocol Engineering, Network Security, Network Management, Network Architecture

