

An Energy-Efficient Algorithm for Solving Coverage Problem and Sensing Big Data in Sparse MANET Environments

Joon-Min Gil[†]

ABSTRACT

To sense a wide area with mobile nodes, the uniformity of node deployment is a very important issue. In this paper, we consider the coverage problem to sense big data in sparse mobile ad hoc networks. In most existing works on the coverage problem, it has been assumed that the number of nodes is large enough to cover the area in the network. However, the coverage problem in sparse mobile ad hoc networks differs in the sense that a long-distance between nodes should be formed to avoid the overlapping coverage areas. We formulate the sensor coverage problem in sparse mobile ad hoc networks and provide the solution to the problem by a self-organized approach without a central authority. The experimental results show that our approach is more efficient than the existing ones, subject to both of coverage areas and energy consumption.

Keywords : Sensor Coverage, Mobile Ad Hoc Network, Wireless Sensor Network, Self-Organization

회소 모바일 애드 혹 네트워크 환경에서 빅데이터 센싱을 위한 에너지 효율적인 센서 커버리지 알고리즘

길 준 민[†]

요 약

모바일 노드를 이용하여 넓은 범위를 센싱하기 위해서는 노드 배치의 균일성이 매우 중요한 이슈 중 하나이다. 본 논문에서는 회소 모바일 애드 혹 네트워크 환경에서 빅 데이터 센싱을 위한 커버리지 문제에 대한 주제를 다룬다. 커버리지 문제에 관한 기존 연구에서는 넓은 범위를 센싱하기 위해 노드의 수가 충분히 많은 환경을 가정하였다. 하지만 회소 모바일 애드 혹 네트워크 환경에서 센서 커버리지 문제는 노드들 간의 센싱 범위가 겹치는 범위를 최소화하기 위해 노드들 간의 거리가 충분히 멀어야 한다. 따라서 본 논문에서는 회소 모바일 애드 혹 네트워크 환경에서 센서 커버리지 문제를 정의하고 중앙 중재자 없이 자가 조직의 방식에 의한 해결 방안을 제시한다. 실험 결과를 통해 제안하는 방식은 커버리지 영역과 에너지 소비 관점에서 효율적임을 보인다.

키워드 : 센서 커버리지, 모바일 애드 혹 네트워크, 무선 센서 네트워크, 자가 조직

1. 서 론

무선 센서 네트워크는 지역적으로 분산된 센서들이 물리적 또는 환경적인 상태(온도, 소리, 압력 등)를 모니터링하고 이 정보를 네트워크를 통해 전달할 수 있는 환경을 말한다[1-3]. 모바일 애드 혹 네트워크에서는 노드들이 움직일 수 있는 환경을 가정하고 있어, 무선 센서 네트워크와 더불어 하나의 네트워크 패러다임으로서 각광을 받아 왔다[4-6]. 무선 센서 네트워크 기술과 모바일 애드 혹 네트워크 기술

을 통하여 전장 감시, 환경 모니터링, 산업 진단, 정밀 농업 등의 다양한 분야에서 응용되고 있으며[7-9], 우리의 일상생활에 가까이 존재하는 IT 기술이 되었다[10, 11].

무선 네트워크와 모바일 애드 혹 네트워크에서 중요한 지표 중에 하나가 바로 센서 커버리지(sensor coverage)이다 [12, 13]. 센서 커버리지 문제는 무선 센서 네트워크에서 잘 알려진 문제 중 하나로, 노드들 간의 협업을 통해 커버리지 영역을 최대화하는 것이다[14, 15]. 이러한 목적을 이루기 위해 센서 노드들은 제약된 자원을 효율적으로 사용하기 위해 밀집된 네트워크 상황을 가정하여 수면, 깨어남 등의 스케줄링을 수행한다.

그러나 밀집된 네트워크 상황이 아닌 노드의 수가 희박한 회소 네트워크 환경에서는 센서 커버리지 문제를 재고할 필

* 이 연구는 2012년 대구가톨릭대학교 교비해외과건 연구지원금에 의한 것임.

† 종신회원 : 대구가톨릭대학교 IT공학부 교수

Manuscript Received : September 18, 2017

Accepted : October 16, 2017

* Corresponding Author : Joon-Min Gil(jmgil@cu.ac.kr)

요가 있다. 희소 모바일 애드 혹 네트워크 환경에서는 노드의 이동이 자유롭고 오버레이 네트워크 구성이 느슨하게 연결되어 있기 때문에[16-18], 커버리지 영역을 최대화하기 위해서는 노드들 간의 커버리지 영역을 최소화해야 한다. 따라서 수면, 깨어남 등의 스케줄링이 중요한 것이 아니라 노드들의 위치와 움직임이 커버리지 영역을 최대화하는데 더 중요한 지표가 된다.

이를 위해 본 논문에서는 희소 모바일 애드 혹 네트워크 환경에서 센서 커버리지 문제를 Minimum overlap of SR와 No network partition의 속성으로 정의하고 이 두 가지 속성을 만족하도록 하는 브로드캐스트 방식이 아닌 일대일 통신 방식을 이용한 해결 방안을 제안한다. 빅 데이터를 집성하기 위해서는 노드들이 넓은 영역을 센싱하는 것이 중요하다. 다시 말해, 노드들이 같은 영역을 센싱한다면 중복되는 영역으로 인하여 빅 데이터를 집성하는 것은 의미가 없게 된다. 시뮬레이션을 통한 성능 평가 결과는 본 논문의 방식이 기존 방식에 비해 커버리지 영역과 에너지 소비 관점에서 성능의 우수함을 보인다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 본 논문에서 가정하고 있는 시스템 모델과 문제 정의에 대해서 설명하며, 3장에서는 제안하는 센서 커버리지 알고리즘에 대해 기술한다. 4장에서는 제안하는 센서 커버리지 알고리즘의 성능 실험과 결과를 기술하고, 5장에서 본 논문의 결론 및 향후 연구에 대해 기술한다.

2. 시스템 모델과 문제 정의

2.1 시스템 모델

네트워크의 각 노드는 주변 환경을 센싱할 수 있는 장치들과 무선 네트워크 기능을 탑재하고 있다. 모바일 애드 혹 네트워크에 존재하는 노드들은 에너지 하베스팅(energy harvesting)[19, 20]을 수행하며 자신의 위치를 기준으로 주변 환경을 모니터링하면서 주변 노드들과 통신할 수 있다.

네트워크 토폴로지는 멀티홉 무선 메시 네트워크를 가정하며, 각 노드는 주변 노드들의 정보를 유지한다. 노드들은 글로벌 정보를 가지고 있지 않으며, 노드들 간의 통신은 일대일 통신을 가정한다. 메시지 전송과 수신은 비동기적인 방식으로 이루어지며 주기적으로 주변 노드들과 메시지 전송을 통하여 지역 정보를 관리한다[21]. 각 노드들은 네트워크 내에서 이동가능하며, 센싱 반경(SR)은 통신 반경(CR)보다 좁다($SR \ll CR$). 또한 네트워크는 희소 애드 혹 네트워크 환경의 속성을 가진다($\sum_{i=1}^n SR_{node_i} \ll total\ coverage\ area$).

2.2 문제 정의

시스템 모델의 환경을 가정하여 네트워크에 있는 노드들의 SR은 겹치는 부분을 최소화하되 네트워크의 파티션이 나타나면 안 된다. 이러한 상황을 고려하여 본 논문에서는 희소 모바일 애드 혹 네트워크 환경에서 센서 커버리지 문

제를 다음과 같이 정의한다: Minimum overlap of SR와 No network partition. 여기서, Minimum overlap of SR은 노드들 간 중첩되는 SR이 적어야 한다는 의미이고, No network partition은 어떤 두 노드 간 통신이 단절되도록 네트워크가 두 개 이상의 분할이 이루어지면 안 된다는 의미이다. 노드가 이동함에도 불구하고 모든 두 노드에 대하여 연결이 보장되는 사항은 $SR \ll CR$ 와 다중 홉 릴레이 환경을 가정하여 특정 순간에서의 모든 노드들에 대한 검사를 통해 가능하다.

- $\min (\forall i, j \exists node_i, node_j [node_i \neq node_j : i, j \in \{1 \dots n\} \Rightarrow SR(node_i) \cap SR(node_j)])$ (**Minimum overlap of SR**)
- $\forall i, j \neg \exists node_i, node_j [node_i \neq node_j : i, j \in \{1 \dots n\} \Rightarrow CR(node_i) \cap CR(node_j)]$ (**No network partition**)

3. 제안하는 센서 커버리지 알고리즘

이 장에서는 모바일 애드 혹 네트워크 환경에서 센서 커버리지 영역을 최대화하고 앞서 정의한 (1) Minimum overlap of SR 속성과 (2) No network partition 속성을 만족하는 알고리즘을 제안한다. 이를 위해 각 노드가 주변 노드를 탐색하는 방법과 주변 노드 정보를 통해 노드가 이동하는 방법으로 나누어 설명한다.

- *Local state for Node_i:*
 - **Partial node list** $NodeList_i[j] = \{identifier_j, access\ point_j\}, \forall j \in \{1 \dots p\};$
 - **Location** $Lo_i = \{x_i, y_i\};$
 - **Nearest Node** $NN_i = null;$
- *Find the nearest Node_j from NodeList_i at round r:*
 1. **FORALL** $Node_j \in NodeList_i, \forall j \in \{1 \dots p\};$
 2. Calculate the distance between $Node_i$ and $Node_j$ with $Lo_i = \{x_i, y_i\}$ and $Lo_j = \{x_j, y_j\};$
 - (a) $diff_x = x_j - x_i;$
 - (b) $diff_y = y_j - y_i;$
 - (c) $distance = dist(diff_x, diff_y);$
 3. Find the nearest node
 - (a) $Node_{Candidate} = null;$
 - (b) **FORALL** $Node_j \in NodeList_i, \forall j \in \{1 \dots p\};$
 - (c) **IF** the distance with $Node_j$ is closer than $Node_{Candidate}$ **THEN** $Node_{Candidate} = Node_j;$
 4. Assign the nearest node $Node_{Candidate}$ to NN_i
 - (a) $NN_i = Node_{Candidate};$

Fig. 1. The Nearest Node Discovery Algorithm

3.1 주변 노드 탐색

모바일 애드 혹 네트워크 환경의 특성으로 인하여 네트워크에 있는 각 노드는 자가 조직의 방식을 이용하여 지속적으로 주변 노드의 정보를 유지해야 한다. 이를 위해서는 자가 조

직의 방식을 이용하여 주변 노드를 탐색하고 주변 노드와의 거리를 파악함으로써 노드 이동을 결정하는 것이 중요하다.

Fig. 1은 주변 노드 탐색 알고리즘을 보여준다. 주변 노드 탐색 알고리즘의 결과는 $Node_i$ 에 대한 주변 노드 NN_i 정보이다. 주변 노드 탐색 알고리즘은 $Node_i$ 의 이동이 발생할 때마다 주기적으로 수행된다. $NodeList_i$ 에 있는 모든 $Node_j$ 에 대하여 $Node_i$ 는 $Node_j$ 와의 거리를 계산한다.

네트워크에 있는 모바일 노드들은 2차원 공간에 있으므로 x 좌표와 y 좌표에 대한 거리를 계산하고 $dist()$ 함수를 수행하여 유클리드 거리를 계산한다. 이런 방식으로 계산된 모든 $Node_j$ 에 대한 거리를 기반으로 $Node_i$ 와 가장 가까운 노드를 탐색할 수 있다.

$NodeList_i$ 에 있는 모든 $Node_j$ 에 대하여 $Node_j$ 와의 거리가 $Node_{Candidate}$ 보다 가깝다면 $Node_j$ 를 $Node_{Candidate}$ 로 간주한다. 여기서 $Node_{Candidate}$ 는 $Node_j$ 와 가까운 노드를 저장할 임시 변수이다. 이렇게 $NodeList_i$ 에 있는 모든 $Node_j$ 에 대하여 반복문을 수행한 후에 $Node_{Candidate}$ 를 NN_i 에 할당하여 $Node_i$ 와 가장 가까운 노드를 탐색한다.

- *Local state for Node_i:*
 - **Partial node list** $NodeList_i[j] = \{identifier_j, access\ point_j\}, \forall j \in \{1 \dots p\};$
 - **Location** $Lo_i = \{x_i, y_i\};$
- *When Node_i finds Node_j whose SR is overlap with its SR at round r:*
 1. **IF** (distance between $Node_i$ and $Node_j$ is less than $Threshold_{CR}$) **THEN** Fetch Lo_j ;
 2. Determine moving direction
 - (a) **IF** $x_j - x_i$ is greater than 0 **THEN** $direction_x = backward$ **ELSE** $direction_x = forward$;
 - (b) **IF** $y_j - y_i$ is greater than 0 **THEN** $direction_y = backward$ **ELSE** $direction_y = forward$;
 3. Determine moving distance
 - (a) $x_i = x_i + (direction_x \times ScaleFactor \times |x_j - x_i| \div (|x_j - x_i| + |y_j - y_i|));$
 - (b) $y_i = y_i + (direction_y \times ScaleFactor \times |y_j - y_i| \div (|x_j - x_i| + |y_j - y_i|));$
 4. Move to the determined location
 - (a) Move to $Lo_i = \{x_i, y_i\};$

Fig. 2. The Node Movement Algorithm

3.2 노드 이동 알고리즘

노드 이동 문제를 해결하기 위한 가장 간단한 방식은 임의의 위치로 임의적인 거리만큼 이동하는 것이다. 하지만 이 방식은 Minimum overlap of SR 속성과 No network partition 속성을 만족하지 않는다. 따라서 $SR(node_i) \cap SR(node_j)$ 를 최소화하고 $\neg(CR(node_i) \cap CR(node_j))$ 를 만족하도록 노드 이동 알고리즘을 제안한다.

Fig. 2는 노드 이동 알고리즘을 보여준다. 알고리즘의 결과는 $Node_i$ 가 이동해야 할 좌표 Lo_i 이며, 알고리즘은 크게 네 단계로 나누어진다. 먼저, $Node_j$ 와의 거리가 $Threshold_{CR}$

보다 작은지 검사한다. $Threshold_{CR}$ 의 범위는 $[0, 1]$ 이다. 만약 이 조건을 만족한다면 단계 2, 3, 4를 수행하고, 그렇지 않으면 단계 2, 3, 4를 수행하지 않고 다음 라운드까지 대기 상태로 있게 된다.

두 번째 단계에서는 이동 방향을 정한다. $Node_i$ 와 $Node_j$ 는 2차원 공간에 있기 때문에 두 노드의 x, y 좌표를 기반으로 전진할 것인지 후진할 것인지를 정한다. 세 번째 단계는 이동 거리를 구하는 단계이다. 단계 2에서 정한 $direction_x$ 와 $direction_y$ 값으로 이동 거리를 구한다. 여기에서 $ScaleFactor$ 파라미터가 사용된다. 시스템 변수인 $ScaleFactor$ 의 값에 따라 이동 거리가 계산된다. $ScaleFactor$ 의 범위는 $Threshold_{CR}$ 와 마찬가지로 $[0, 1]$ 이다.

마지막 단계는 단계 3에서 구한 x_i, y_i 의 위치로 이동하는 것이다. 주변 노드 탐색 알고리즘과 노드 이동 알고리즘은 한 번만 수행되는 것이 아니라 주기적으로 이루어지기 때문에 라운드 초기 단계에서는 노드 배치의 최적화가 이루어지지 않을 수 있지만 라운드가 진행됨에 따라 점점 최적화에 가까워질 수 있다.

4. 성능 평가

이 장에서는 제안한 센서 커버리지 알고리즘의 성능을 알아보기 위해 시뮬레이션을 통해 성능 실험을 수행하고 결과를 분석한다. 실험에서 사용한 파라미터 값은 Table 1과 같다. 모바일 애드 혹 네트워크상의 노드의 수는 500개를 가정하였으며, 모든 노드는 -1부터 1까지의 상대적인 거리를 갖는 2차원의 공간에 존재한다.

모든 노드들은 초기에 (0, 0) 위치에서 시작하여 주변 노드 탐색 알고리즘과 노드 이동 알고리즘을 주기적으로 수행한다. 각 노드가 유지하는 주변 노드의 개수는 20으로 설정하였으며, 실험은 최대 30 라운드까지 수행하였다. $Threshold_{CR}$ 와 $ScaleFactor$ 의 값은 실제 노드 배포 수행 시 상황에 맞게 조절할 수 있다. 실험에서는 $Threshold_{CR}$ 와 $ScaleFactor$ 의 값을 각각 0.5와 0.1로 설정하였다.

Table 1. Experimental Settings

Parameter	Value
Number of nodes	500
Initial location	[0, 0]
Size of local view	20
Number of rounds	30
$Threshold_{CR}$	0.1, 0.5
$ScaleFactor$	0.1

Fig. 3은 라운드의 수가 1, 10, 20, 30일 때 노드 배치 결과를 보여준다. 라운드의 수가 1인 경우 노드들은 대부분 $[\pm 0.2, \pm 0.2]$ 범위에 있는 것을 확인할 수 있다. 라운드가 시작하기 전에는 모든 노드가 (0, 0) 위치에 있기 때문에 주변 노드 탐색 알고리즘과 노드 이동 알고리즘에 따라 모든 노

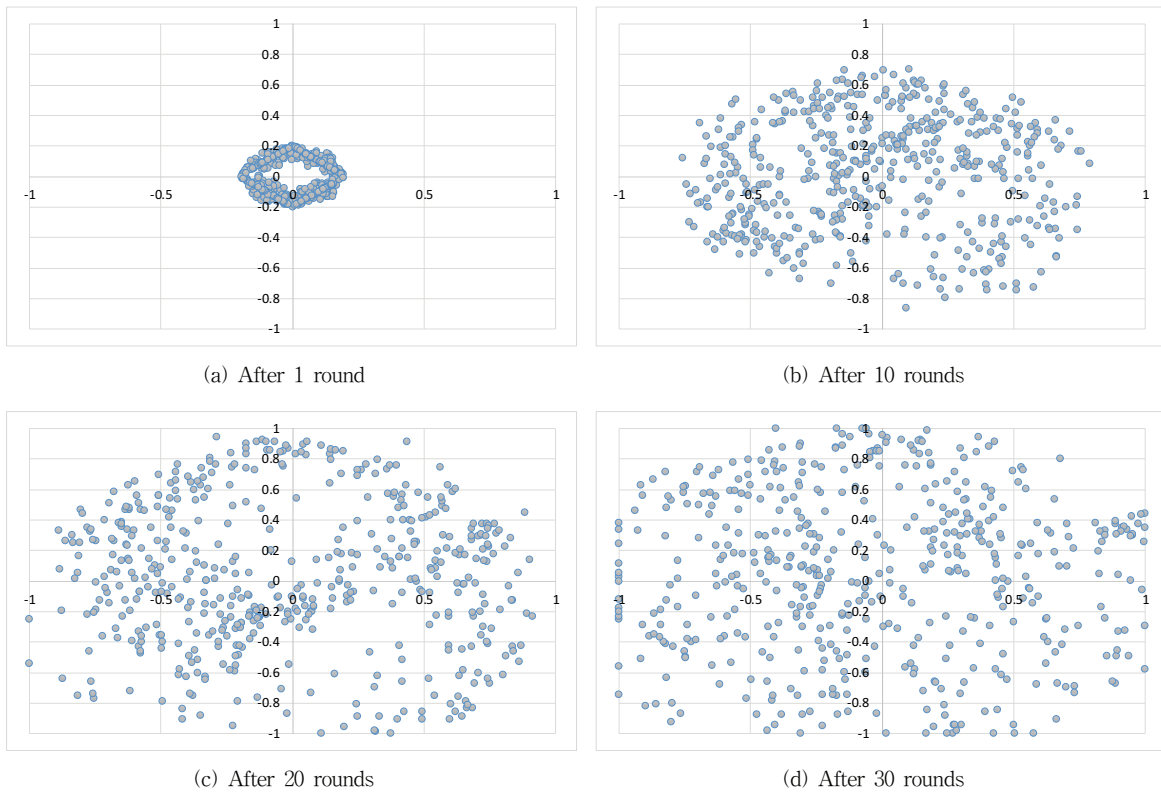


Fig. 3. Node Deployment Results ($Threshold_{CR}$: 0.5, $ScaleFactor$: 0.1)

드가 조금씩 이동하였음을 보여주고 있다. 물론 라운드의 수가 1인 경우에는 센서 커버리지 영역이 넓지 않으며 노드들 간의 커버리지 영역이 겹쳐 있음을 확인할 수 있다.

하지만 라운드의 수가 증가함에 따라 센서 커버리지 영역이 증가함을 Fig. 3B, Fig. 3C, Fig. 3D를 통해 알 수 있다. 라운드의 수가 10, 20, 30일 때 노드 분포의 범위는 각각 약 $[\pm 0.7, \pm 0.7]$, $[\pm 0.8, \pm 0.8]$, $[\pm 1.0, \pm 1.0]$ 임을 알 수 있다.

기존 연구와의 비교를 위해 제안한 방식과 더불어 노드의 이동이 임의적으로 발생하는 알고리즘을 적용하여 성능 비교를 수행하였다. Fig. 4는 노드 이동 거리에 대한 성능 실험

결과를 보여준다. 이 그림에서 Baseline은 임의적으로 이동이 일어나는 알고리즘을 나타낸다. 이때 $Threshold_{CR}$ 와 $ScaleFactor$ 의 값은 모두 0.1로 설정하였다.

Fig. 4A는 라운드의 수에 따른 노드들의 평균 이동 거리를 나타낸다. 제안한 알고리즘의 노드의 평균 이동 거리는 기존 연구와 비교하였을 때 약 27% 정도로 낮은 수준임을 알 수 있다. 또한 이동 거리에 대한 표준 편차도 기존 연구가 약 0.28임에 반해 제안한 알고리즘은 0.1 이하의 값을 보이고 있다.

제안한 센서 커버리지 알고리즘의 에너지 소비 측면에서

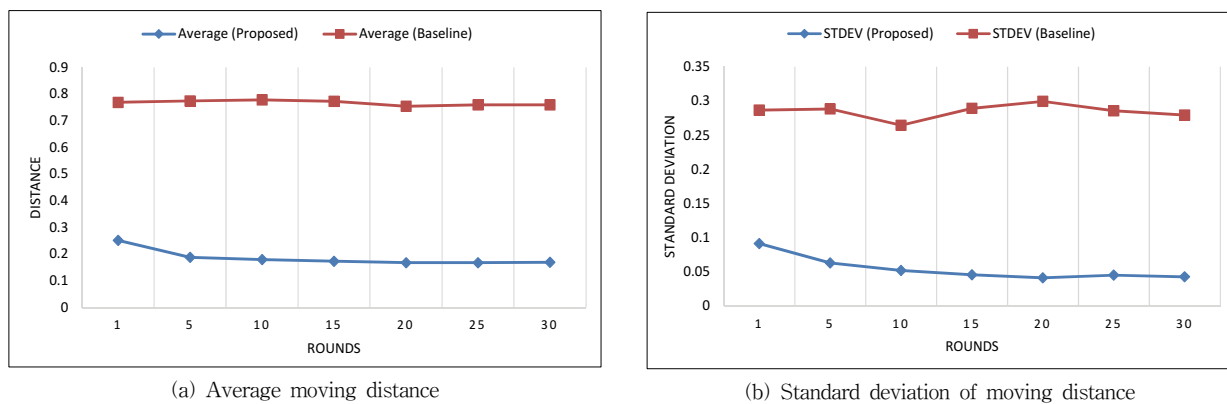


Fig. 4. Performance Results for Moving Distance

의 성능 실험을 위해 다음과 같은 에너지 소비 모델을 사용하였다.

$$C_i = T_i + N_i \times R \quad (1)$$

여기서, C_i 는 $Node_i$ 의 에너지 소비 비용을 나타내며, T_i 는 $Node_i$ 의 송신에 대한 에너지 소비 비용, N_i 는 $Node_i$ 의 이웃 노드의 수, R 은 수신에 대한 에너지 소비 비용을 나타낸다.

Fig. 5는 에너지 소비에 대한 성능 실험 결과를 보여준다. 이 그림에 나타난 수치는 해당 라운드에서 발생한 모든 에너지 소비 비용을 노드의 수로 나눈 값이다. 제안한 센서 커버리지 알고리즘의 에너지 소비 비용은 각 라운드 수를 기준으로 하여 기존 방식에 비해 약 50% 정도임을 알 수 있다. 라운드 초기에 에너지 소비가 많은 이유는 모든 노드의 시작 지점이 (0, 0)에서 시작하기 때문이며, 제안 알고리즘은 기존 방식에 비해 에너지를 적게 소모함에도 불구하고 Minimum overlap of SR 속성과 No network partition 속성을 만족시킴을 알 수 있다.

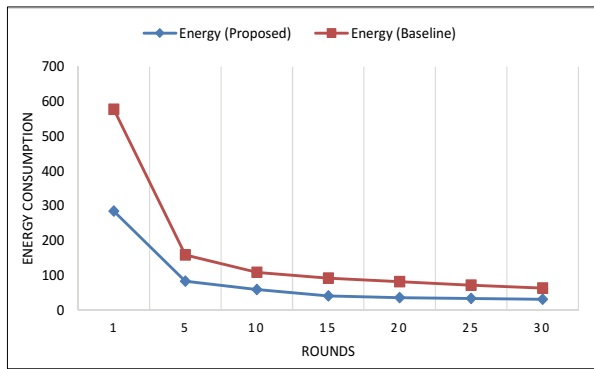


Fig. 5. Performance Results for Energy Consumption

Table 2. Cumulative Energy Consumption

Method	Round 1	Round 5	Round 10	Round 15
Proposed	142,475	41,497	29,605	20,373
Baseline	288,822	79,542	54,388	46,140
Method	Round 20	Round 25	Round 30	
Proposed	17,847	16,644	15,496	
Baseline	40,778	35,930	31,736	

Table 2는 라운드의 수에 따른 누적 에너지 소비를 보여주며, Fig. 5와 달리 해당 라운드에서 발생한 에너지 소비 비용을 노드의 수로 나눈 값이 아니라 해당 라운드에서 발생한 전체 에너지 소비 비용을 나타낸다. Fig. 5의 결과와 마찬가지로 해당 라운드에서 발생한 누적 에너지 소비 비용은 제안 알고리즘이 기존 방식에 비해 50% 정도로 낮음을 알 수 있다.

제안 알고리즘이 Baseline과 비교하여 성능이 우수한 이

유는 다음과 같다. 첫째, Baseline은 주변에 노드가 밀집되어 있는지 그렇지 않든지에 상관없이 매 라운드마다 노드 이동이 발생하지만, 제안 알고리즘은 주변의 가까운 노드가 존재할 때에만 노드 이동이 발생한다. 둘째, 제안 알고리즘은 노드와의 거리와 시스템 파라미터의 값에 따라 노드의 이동 거리가 결정되지만, Baseline은 이러한 조건에 상관없이 임의적인 거리만큼을 이동하기 때문에 제안 알고리즘보다 최적화가 이루어지지 않는다. 또한 노드의 수와 라운드의 수가 증가함에 따라 Baseline의 이러한 비효율성이 누적되기 때문에 제안 알고리즘에 비해 효율적이지 않다.

이제까지 성능 실험 결과를 통해 밀집된 모바일 애드 혹 네트워크가 아닌 노드의 수가 희박한 회소 모바일 애드 혹 네트워크 환경에서 센서 커버리지를 최대화하면서 네트워크 파티션이 발생하지 않도록 하는 알고리즘의 효율성 및 효율성을 검증하였다. 본 논문에서 제안한 주변 노드 탐색 알고리즘과 노드 이동 알고리즘은 브로드캐스트 없이 일대일 통신을 사용함으로써 메시지 복잡도를 줄였으며, 슈퍼 노드나 중앙 중계자 없이 자가 조직의 방식을 사용하여 단일 실패점이 발생하지 않는 장점이 있다.

브로드캐스트를 사용하였을 때의 메시지 복잡도는 한 라운드마다 $O(n^2)$ 인 것은 자명하다. 제안 방식은 브로드캐스트 방식이 아니라 일대일 통신을 사용하기 때문에 한 라운드마다 $O(n)$ 의 복잡도를 가진다. c 번의 라운드가 진행된다면, 메시지의 수는 cn 가 된다. n 이 커짐에 따라 계수 c 의 영향은 적어지기 때문에, 알고리즘 복잡도 분석 방법에 따라 제안 알고리즘의 메시지 복잡도는 $O(n)$ 이다.

5. 결 론

본 논문에서는 회소 모바일 애드 혹 네트워크 환경에서 센서 커버리지 문제를 두 가지 속성(Minimum overlap of SR와 No network partition)으로 정의하고 이 두 가지 속성을 만족하도록 하는 브로드캐스트 방식이 아닌 일대일 통신 방식을 이용한 해결 방안을 제시하였다. 이를 통해 중앙 중계자 또는 슈퍼 노드 없이 메시지 복잡도를 $O(n^2)$ 에서 $O(n)$ 으로 줄였다. 제안 방식은 $Threshold_{CR}$ 과 $ScaleFactor$ 파라미터를 통해 여러 환경에 적용할 수 있도록 설계되었으며, 최악의 상황에서도 전체 커버리지 영역이 좋음과 동시에 에너지 소비가 줄어들음을 보였다. 향후 연구로 제안 알고리즘에 유전자 알고리즘(genetic algorithm) 등을 적용하여 성능을 극대화하는 연구를 진행하고자 하며, 모바일 애드 혹 네트워크 환경의 여러 가지 속성에 따라 $Threshold_{CR}$ 과 $ScaleFactor$ 의 값을 자동적으로 조절할 수 있는 자가 조직 기반의 알고리즘을 개발할 것이다. 구체적으로 하나의 정해진 시스템 파라미터 값이 아니라 네트워크의 상태에 따라 시스템 파라미터의 값을 동적으로 변경하여 시스템에 적응하고, 이동 거리에 대해서도 유전자 알고리즘을 적용하여 시스템이 안정되기까지 소요되는 라운드의 수를 줄여 알고리즘의 효율성을 증대시킬 계획이다.

References

[1] E. Fadel, V. C. Gungor, L. Nassef, N. Akkari, M. G. Malik, S. Almasri, and I. F. Akyildiz, "A survey on wireless sensor networks for smart grid," *Computer Communications*, Vol. 71, pp.22-33, 2015.

[2] G. P. Gupta, M. Misra, and K. Garg, "An Energy Efficient Distributed Approach-Based Agent Migration Scheme for Data Aggregation in Wireless Sensor Networks," *Journal of Information Processing Systems*, Vol.11, No.1, pp.148-164, 2015.

[3] Yasmine-Derdour, Bouabdellah-Kechar, and M. Fayçal-Khelfi, "Using Mobile Data Collectors to Enhance Energy Efficiency and Reliability in Delay Tolerant Wireless Sensor Networks," *Journal of Information Processing Systems*, Vol.12, No.2, pp.275-294, 2016.

[4] M. Conti and S. Giordano, "Mobile ad hoc networking: milestones, challenges, and new research directions," *IEEE Communications Magazine*, Vol.52, No.1, pp.85-96, 2014.

[5] M. Conti and S. Giordano, "Multihop Ad Hoc Networking: The Evolutionary Path," in *Mobile Ad Hoc Networking*: John Wiley & Sons, Inc., 2013, pp.1-33.

[6] M. S. Gaur and B. Pant, "Trusted and secure clustering in mobile pervasive environment," *Human-centric Computing and Information Sciences*, Vol.5, No.1, pp.1-17, 2015.

[7] D. Kim, J.-H. Kim, C. Moon, J. Choi, and I. Yeom, "Efficient content delivery in mobile ad-hoc networks using CCN," *Ad Hoc Networks*, Vol.36, Part 1, pp.81-99, 2016.

[8] X. M. Zhang, E. B. Wang, J. J. Xia, and D. K. Sung, "A Neighbor Coverage-Based Probabilistic Rebroadcast for Reducing Routing Overhead in Mobile Ad Hoc Networks," *IEEE Transactions on Mobile Computing*, Vol.12, No.3, pp. 424-433, 2013.

[9] W. Sun, Z. Yang, X. Zhang, and Y. Liu, "Energy-Efficient Neighbor Discovery in Mobile Ad Hoc and Wireless Sensor Networks: A Survey," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, Vol.16, No.3, pp.1448-1459, 2014.

[10] P. Bellavista, G. Cardone, A. Corradi, and L. Foschini, "Convergence of MANET and WSN in IoT Urban Scenarios," *IEEE Sensors Journal*, Vol.13, No.10, pp.3558-3567, 2013.

[11] M. Conti et al., "From MANET to people-centric networking: Milestones and open research challenges," *Computer Communications*, Vol.71, pp.1-21, 2015.

[12] S. Mini, S. K. Udgata, and S. L. Sabat, "Sensor Deployment and Scheduling for Target Coverage Problem in Wireless Sensor Networks," *IEEE Sensors Journal*, Vol.14, No.3, pp. 636-644, 2014.

[13] B. Liu, O. Dousse, P. Nain, and D. Towsley, "Dynamic Coverage of Mobile Sensor Networks," *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, Vol.24, No.2, pp.301-311, 2013.

[14] C. Zhu, C. Zheng, L. Shu, and G. Han, "A survey on coverage and connectivity issues in wireless sensor networks," *Journal of Network and Computer Applications*, Vol.35, No. 2, pp.619-632, 2012.

[15] A. Sangwan and R. P. Singh, "Survey on Coverage Problems in Wireless Sensor Networks," *Wireless Personal Communications*, Vol.80, No.4, pp.1475-1500, 2015.

[16] W. Luo, J. Wang, J. Guo, and J. Chen, "Parameterized complexity of Max-lifetime Target Coverage in wireless sensor networks," *Theoretical Computer Science*, Vol.518, pp.32-41, 2014.

[17] Z. Liao, J. Wang, S. Zhang, J. Cao, and G. Min, "Minimizing Movement for Target Coverage and Network Connectivity in Mobile Sensor Networks," *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, Vol.26, No.7, pp.1971-1983, 2015.

[18] Z. Lu, W. W. Li, and M. Pan, "Maximum Lifetime Scheduling for Target Coverage and Data Collection in Wireless Sensor Networks," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol.64, No.2, pp.714-727, 2015.

[19] A. S. M. Zahid Kausar, A. W. Reza, M. U. Saleh, and H. Ramiah, "Energizing wireless sensor networks by energy harvesting systems: Scopes, challenges and approaches," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol.38, pp. 973-989, 2014.

[20] F. K. Shaikh and S. Zeadally, "Energy harvesting in wireless sensor networks: A comprehensive review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol.55, pp.1041-1054, 2016.

[21] P. V. Mekikis, E. Kartsakli, A. S. Lalos, A. Antonopoulos, L. Alonso, and C. Verikoukis, "Connectivity of large-scale WSNs in fading environments under different routing mechanisms," in *2015 IEEE International Conference on Communications (ICC)*, pp.6553-6558, 2015.



길 준 민

e-mail : jmgil@cu.ac.kr

1994년 고려대학교 전산학과(학사)

1996년 고려대학교 전산학과(석사)

2000년 고려대학교 전산학과(박사)

2001년~2002년 University of Illinois at Chicago, Post-Doc.

2002년~2006년 KISTI 슈퍼컴퓨팅센터 선임연구원

2006년~2010년 대구가톨릭대학교 컴퓨터교육과 교수

2010년~현 재 대구가톨릭대학교 IT공학부 교수

관심분야 : 무선센서네트워크, 클라우드컴퓨팅, 빅데이터컴퓨팅