

고신뢰도 무선센서네트워크를 위한 홉핑 센서 재배치에 대한 연구

On Relocation of Hopping Sensors for High Reliability Wireless Sensor Networks

김 문 성* 박 광 진**
Moonseong Kim Kwangjin Park

요 약

무선센서네트워크에서 살포한 센서 중 일부의 결함이 발생하거나 에너지가 고갈될 시, 이동 센서(Mobile Sensor)들의 재배치로 결함이 발생한 지역(즉, 센싱 홀: Sensing Hole)을 복구할 수 있다. 수많은 바위 등이 즐비한 거친 지역에서는 바퀴 기반의 이동 센서는 적당하지 않으므로 접프를 통해 이동이 가능한 홉핑 센서가 필요하다. 본 논문에서는 발생한 센싱 홀의 복구를 위한 재배치 문제 및 그에 따른 다양한 문제들을 살펴본다. 과거 홉핑 센서들을 이동시키기 위하여 단지 최단경로만을 고려하였으나, 본 논문에서는 최대 엇갈림 없는 경로 및 다중경로를 활용하여 또다른 센싱홀의 발생을 막을 수 있었다. 시뮬레이션 결과는 제안하는 기법들이 최단경로를 기반으로 한 기법에 비해 홉핑 센서의 균형적인 분배와 이동성공률에서 우수함을 보인다.

ABSTRACT

When some sensors under Wireless Sensor Networks fail or become energy-exhausted, redundant mobile sensors might be moved to recover the sensing holes. Within rugged terrain where wheeled sensors are unsuitable, other type of mobile sensors, such as hopping sensors, are needed. In this paper, we address the problem of relocating hopping sensors to the detected sensing holes. Recent study for this work considered the relocation using the shortest path between clusters; however, the shortest path might be used repeatedly and create other sensing holes. In order to overcome the mentioned problem, we propose relocation schemes using the most disjointed paths or multi-paths. Simulation results show that the proposed schemes guarantee more balanced migration distributions of efficient sensors and higher movement success ratios of required sensors than those of the shortest path-based scheme.

☞ keyword : Mobile Sensors(이동 센서), Hopping Sensors(홉핑 센서), Sensor Relocation(센서 재배치),
Wireless Sensor Network(무선센서네트워크).

1. 서론 및 관련 연구

무선센서네트워크(WSN: Wireless Sensor Network) 환경에서, 관측 요구된 현상들을 정확하고 에너지 효율적으로 수행하기 위해서는 우선 센서가 초기에 적절하게 배치되어야 한다[1]. 하지만 WSN이 일반적으로 고정된 센서들로 구성한다고 가정하

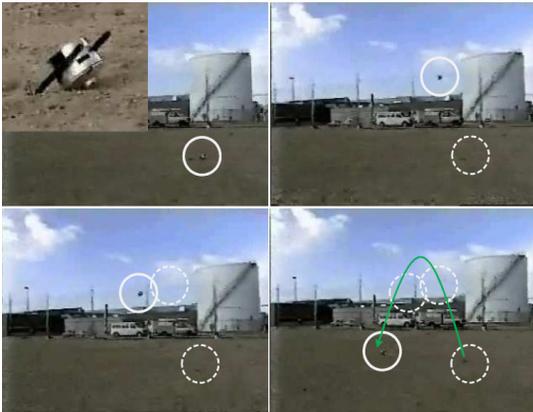
다면 거친 지형, 적군의 영토, 재해지역과 같은 환경에서는 바람 및 다양한 장애물들로 인해 초기 적절한 배치에 어려움이 따른다. 더욱이 일부 센서노드의 에너지가 고갈되었을 경우 네트워크 커버리지는 더욱 저하될 수 있다.

이동 센서(Mobile Sensor) 노드들은 특정 비상 지역 또는 전력이 고갈된 센서 노드들을 대신하기 위해 이동한다. 초기의 이동 센서 연구는 시작점에서 각 곳으로 적절히 배치하기 위한 알고리즘 설계에 초점을 맞추었다. 게다가 모든 노드들이 이동 센서로 이루어진 WSN만을 고려하였기에 각각의 노드 이동에 관해 실제 적용하기에는 제

* 정 회 원 : 특허청 정보통신심사국 심사관(사무관)
moonseong@kipo.go.kr

** 정 회 원 : 원광대학교 전기정보통신공학과 교수
kjpark@wku.ac.kr(교신(책임)저자)

[2011/02/14 투고 - 2011/02/15 심사 - 2011/03/17 심사완료]



(그림 1) IMLM의 점프 모습

약을 가졌다. 따라서 [2]에서는 센서 노드의 이동 시 고정된 센서 노드들이 이동 안내를 할 수 있게 하였다. [3]에서는 Mica2/TinyOS를 기반으로 바퀴 기반의 이동 센서(Wheeled Mobile Sensor)를 구현하였다. 하지만, 현실에서는 센서의 이동성은 물리적인 제약을 가진다. 즉, 센서가 이동거리의 제한 없이 원하는 위치로 이동하는 것은 불가능하다. 더욱이, 상기 언급된 지역의 대다수는 지면이 고르지 않기 때문에 바퀴 기반의 이동성은 적절하지 않다.

이러한 제약들을 극복하기 위해 미국의 DARPA는 전장에 센서들을 배치시키기 위한 IMLM(Intelligent Mobile Land Mine Units)를 개발하였다 [4]. 그림1과 같이, IMLM은 점프를 통해 이동이 가능한 흡핑 메커니즘을 기반으로 한다. 메뚜기와 같은 생체공학적 이동 디자인을 갖는 흡핑 센서는 자기 자신을 높이 띄워서 목적지 방향으로 이동하며, 한번 가득채운 연료 공급으로 3m 높이로 100번의 도약이 가능하다.

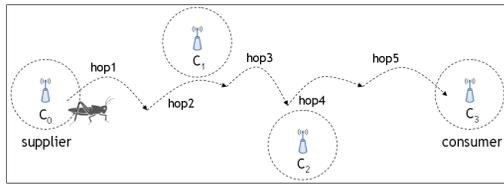
일반적으로 WSN에서 일부의 센서들이 다른 지역에 있는 센서들 보다 빨리 고갈 한다면, 그 지역을 센싱 홀(Sensing Hole)이라고 한다. 강건한 센서들은 초기에 잘 계획된 배치를 통해 센서 필드에 적절하게 할당되지만 후에 센싱 홀이 감지된다면, 일부 센서들은 센싱 홀의 복구를 위해 이동이 가능하다. 본 논문에서는 감지한 센싱 홀로

흡핑 센서를 재배치하는 문제를 다룬다.

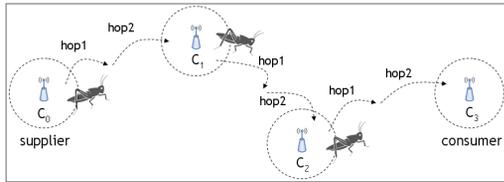
[5]에서 저자는 흡핑 기반으로 최단경로를 이용하는 재배치 기법을 제안하였다. 그러나 최단경로에 있는 특정 지역의 센서들이 반복적으로 사용되기 때문에 또 다른 센싱 홀이 쉽게 발생 할 수 있으며, 일부 노드들의 반복적인 이동으로 빠르게 이동성을 상실하는 문제점을 갖는다. 따라서 우리는 이러한 단점들을 극복하기 위하여 경로의 겹침현상을 최대로 줄이는 것을 고려해야 한다. 이를 위하여 고려할 수 있는 방법으로는 센서를 공급하는 소스를 최대한 다수로 찾은 잇갈림 없는 경로들(Most Disjointed Paths)을 고려할 수 있으며, 또한 다중경로(Multipath)의 사용을 고려할 수 있다. 이를 고려한 시뮬레이션 결과는 제안하는 기법이 최단경로 기반 기법에 비해 센서의 균형 잡힌 이주 분포와 더 높은 이동 성공률을 보장하는 것을 보인다.

한편, 흡핑 모델에서 클러스터의 집합은 WSN 필드에 포함되어 있고, 흡핑 센서들은 각 클러스터에 속해 있다고 가정한다. 클러스터 헤더는 정확하게 클러스터 내 센서의 부재를 감시하며, 센싱 홀의 경우 충분한 센서를 보유한 클러스터에게 요청을 하여 클러스터 기능의 수행을 위해 충분한 센서를 재 보충 받는다. [6]에서는 가장 가깝게 센서를 보충 받을 수 있기 위해 Grid-Quorum 방법을 채택하였다. Quorum 또는 브로드캐스트를 기반으로 하는 클러스터 간 맷칭 접근법은 잉여 센서를 포함하는 클러스터와 센싱 홀 클러스터를 매치시키기 위하여 사용할 수 있는데, 이들 각각을 공급자(Supplier) 클러스터와 소비자(Consumer) 클러스터라고 부른다.

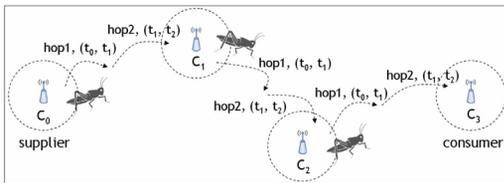
본 논문에서는 흡핑 센서가 자신의 흡핑 방향을 조절하는 능력이 있다고 가정한다. 또한 센서는 흡핑을 위한 고정된 추진력을 갖는다고 가정한다. 바퀴를 기반으로 한 이동성과 비교했을 때, 사실 흡핑 센서는 이동의 정밀도가 부족한 것은 자명하다. 하지만, 흡핑 센서는 거친 지역과 같은 곳에서 바퀴 기반의 센서보다 더 잘 적응 할 수 있다.



(a) 직접 흡핑



(b) 릴레이 흡핑



(c) 캐스캐이드 흡핑

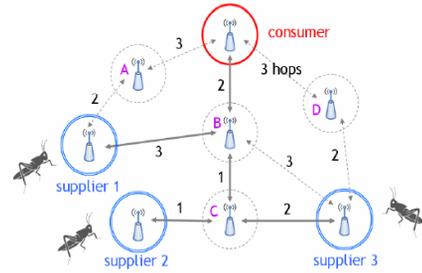
(그림 2) 3가지의 흡핑 모델

본 논문의 나머지는 다음과 같이 구성한다. 제 2장에서는 제안하는 기법에 대해 자세한 설명을 다루며, 제 3장은 시뮬레이션 결과를 보인다. 마지막으로 제 4장에서 결과를 기술한다.

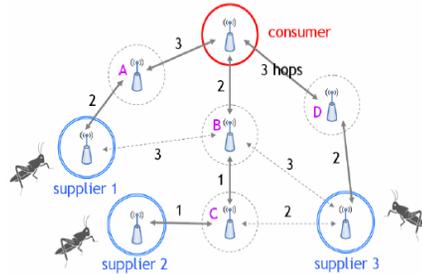
2. 제안하는 흡핑 센서 재배치 알고리즘

2.1 흡핑 모델

(그림 2)에서 보여 주는 것처럼, 3가지의 가능한 이동 모델이 있다. 첫 번째 모델은 (그림 2(a))에서와 같이 공급자 클러스터(C_0)에서 소비자 클러스터(C_3)로 센서를 직접 이동하는 것이다. 그러나 흡핑 센서의 이동 능력은 긴 거리 이동 시 크게 저하될 수 있다. 이를 극복하기 위한 두 번째 모델은, 이동 중간에 릴레이(Relay) 클러스터를 사용하는 방법이다. (그림 2(b))에 기술한 것처럼, C_0 에 있는 센서는 C_1 으로 이동, C_1 에 있는 센서는 C_2 로 이동하고 C_2 에 있는 센서는 C_3 로 순서대로 이동한다. 이를 통해 각 흡핑 센서의 이동 흡



(a) 전형적인 최단경로 기반 재배치



(b) 엇갈림 없는 경로 기반 재배치

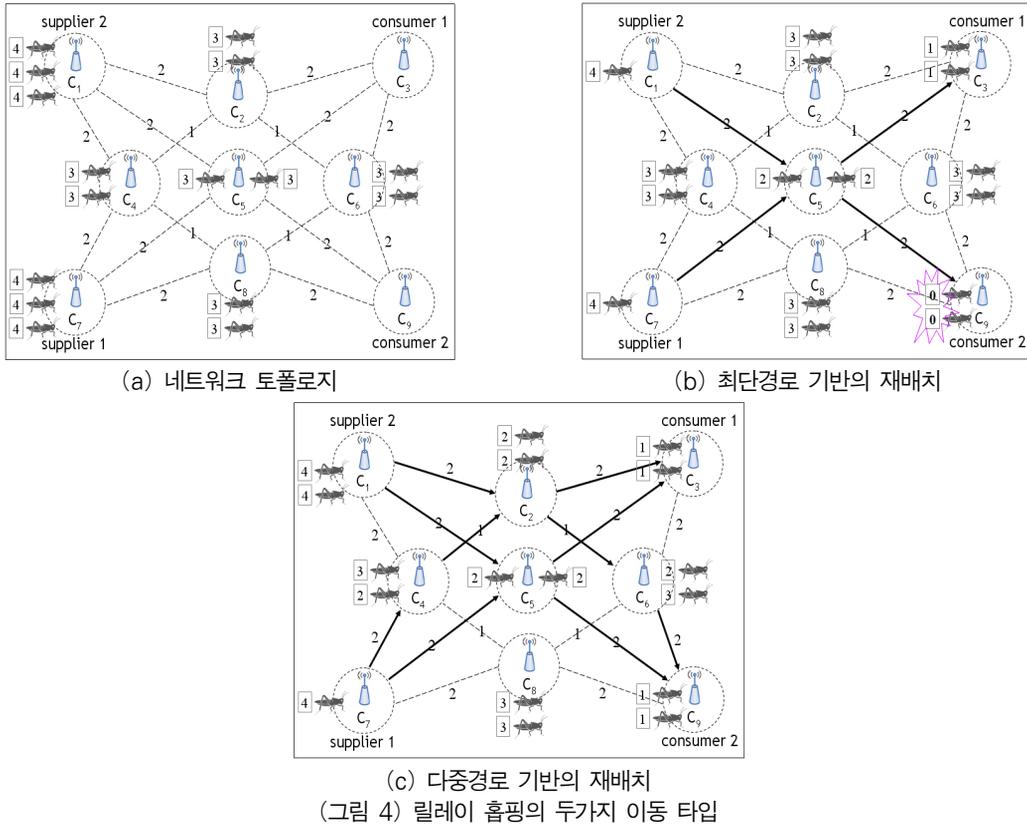
(그림 3) 두가지 경로 기반의 이동 예제

수는 균형이 유지 될 수 있다. 세 번째 모델인 (그림 3(c))의 캐스캐이드(Cascade) 흡핑 모델은, 시간 구간(t_i, t_j)에 이동하는 센서들은 동시에 이동하는 모델이다.

2.2 최대 엇갈림 없는 경로 기반 재배치 기법

소비자 클러스터에서 필요한 센서들을 위하여 공급자 클러스터들로 요청을 할 경우에, [5]에서는 단순히 각각의 공급자 클러스터에서 소비자 클러스터로의 최단경로를 고려하였다. 그러나, 찾은 최단경로들 간의 관계는 전혀 고려하지 않았다. 일반적으로 구해진 최단경로들의 특성상 많은 경로들을 공유하게 될 것이며, 이는 결과적으로 흡핑센서 노드들의 불균형적인 이동을 가져와서 또다른 센싱홀을 쉽게 발생할 것이다.

(그림 3(a))는 전형적인 최단경로기반의 이동을 보이며, 여기서 3개의 공급자 클러스터에 대한 각각의 최단경로에 있어서, 클러스터 B는 3번 겹치고, 클러스터 C는 두 번 겹치는 것을 볼 수 있다. 그러나, (그림 3(b))는 엇갈림 없는 경로를 고려하



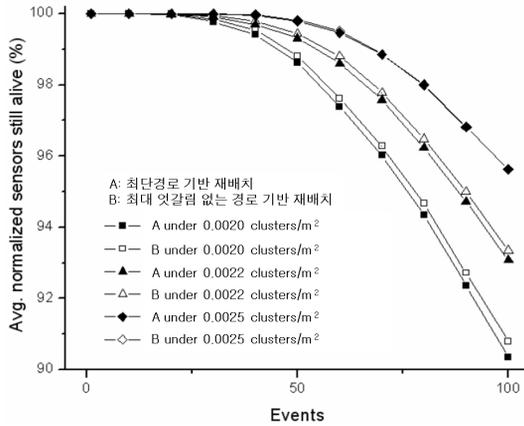
고 있으며 이러한 경우 모든 경로 상의 클러스터들에서 균형적인 홉핑 센서 노드들의 이동을 관찰할 수 있다. 동작과정에 대한 의사코드는 다음과 같다.

2.3 다중경로 기반 재배치 기법

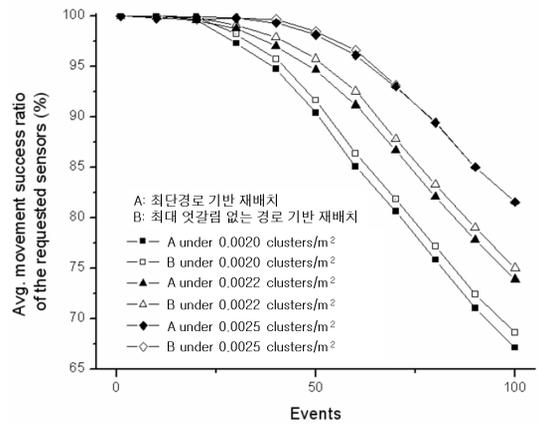
따라서, 본 절에서는 서로 엇갈림이 없는 경로(Node Disjoint Paths)를 기본적으로 가정한다. (그림 4)는 최단경로 사용의 단점과 다중경로 사용의 정당성을 간략하게 설명하고 있다. (그림 4(a))는 주어진 네트워크를 보이며, 여기서 클러스터 사이를 이동하기 위하여 요구되는 홉수는 각 간선에 나타나 있다. 각 센서의 홉핑 능력은 작은 사각형 안에 기록되어 있다. 소비자 클러스터 C_3 과 C_9 는 각각 공급자 C_7 과 C_1 에게 각각 2개의 센

서를 요구한다.

(그림 4(b))를 통해서 최단 경로를 기반으로 한 기법에서 특정 클러스터가 반복적으로 사용되는 것을 살펴 볼 수 있다. 클러스터 C_5 는 각 소비자 클러스터에 대하여 2번씩 전달하며, 이는 이동한 전체 홉핑 센서의 개수가 $4(=2 \times 2)$ 번라는 것을 의미한다. 그러므로 C_5 에 있는 홉핑 센서는 실제 두 번의 이동으로 말미암아 최종적으로 이동성을 상실하였다. 본 논문에서는 지속적으로 발생하는 수많은 이동을 피하기 위하여, 다중경로를 기반으로 한 기법을 사용한다. (그림 4(c))에서 보이는 것과 같이, 이동하는 전체 홉핑 센서의 수는 (그림 4(b))보다 조금 더 높지만, 각각의 센서에 대한 이동 소비는 최단경로를 기반으로 한 이주에 비하여 균형적으로 이루어졌다.



(그림 5) 이동 가능한 홉핑 센서의 비율



(그림 6) 성공적인 이동의 비율

3. 성능평가

제안하는 최대 엇갈림 없는 경로 기반 및 다중 경로 기반의 재배치 알고리즘을 최단경로 기반의 알고리즘과 비교 평가하기 위해 C로 구현하였다. 우선 기본적인 시뮬레이션 환경은 다음과 같다. 네트워크의 크기는 $300m \times 300m$, 클러스터 간 최대 홉수는 15홉, 초기 배치된 센서의 최대 이동 가능한 홉수는 30홉, 센서의 한홉당 이동 거리는 3m이다. 마지막으로, 이동 모델은 릴레이 홉핑 모델이 적용된다.

3.1 최대 엇갈림 없는 경로 기반 재배치 기법

우리는 클러스터로 이루어진 10개의 랜덤 네트워크를 생성하였다. 각각의 클러스터에는 홉핑 센서를 45개 배치하였다. 홉핑 센서가 원하는 곳에 이동할 수 있는 확률은 편의상 1로서 간단히 가정하였다. 이벤트는 연속적으로 발생되며, 각각의 이벤트에 대해서 한개의 소비자 클러스터 및 8개의 공급자 클러스터들은 무작위로 선택된다. 각각의 선택에 대해서, 요청하는 홉핑 센서의 개수는 3개로 한다.

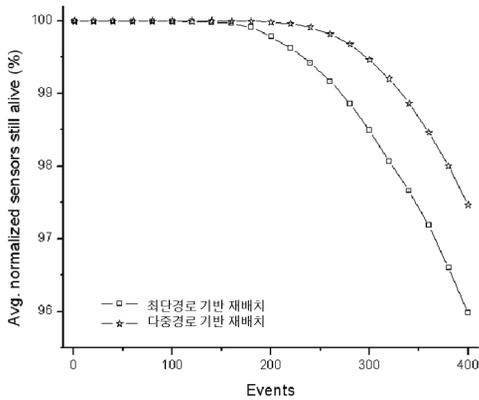
(그림 5)에서는 연속적인 이벤트 발생 후 추가로 이동 가능한 홉핑 센서의 비율을 보여주고 있다. 여기서의 이동 모델은 릴레이 홉핑 방식이다.

최소한 네트워크 환경일수록 최단경로 기반의 기법은 불균형적인 이동을 수반한다는 것을 살펴볼 수 있었다. 따라서, (그림 6)에서는 최소한 네트워크 환경일수록 성공적인 홉핑 센서의 이동이 가능하다는 것을 보여주고 있다.

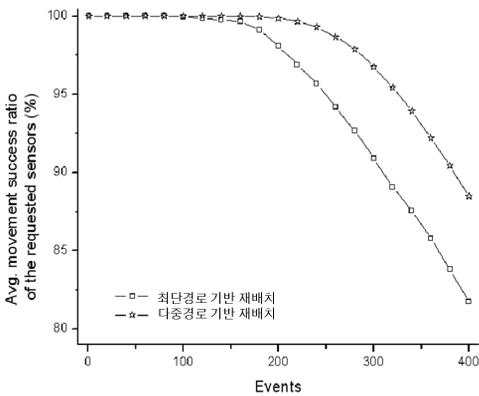
3.2 다중경로 기반 재배치 기법

우리는 클러스터로 이루어진 20개의 랜덤 네트워크를 생성하였다. 클러스터의 밀도는 $0.005 \text{ clusters/m}^2$ 이다. 각각의 클러스터에는 홉핑 센서를 20개 배치하였다. 홉핑 센서가 원하는 곳에 이동할 수 있는 확률은 편의상 1로서 간단히 가정하였다. 이벤트는 연속적으로 400번 발생되며, 각각의 이벤트에 대해서 한개의 소비자 클러스터 및 공급자 클러스터의 쌍이 무작위로 선택된다. 각각의 선택에 대해서, 요청하는 홉핑 센서의 개수는 6개로 한다. 여기서의 이동 모델은 릴레이 홉핑(그림 7, 8) 및 캐스캐이드(그림 9) 방식을 고려하였다.

(그림 7)에서는 연속적인 이벤트 발생 후 추가로 이동 가능한 홉핑 센서의 비율을 보여주고 있다. (그림 8)은 각각의 요청에 대한 이동성공률을 제시한다. 만일 공급자 클러스터와 소비자 클러스터 간의 거리가 멀다면 최종적으로 소비자 클러스터에 도착하는 센서들은 최초 요구한 센서들의



(그림 7) 이동 가능한 홉핑 센서의 비율



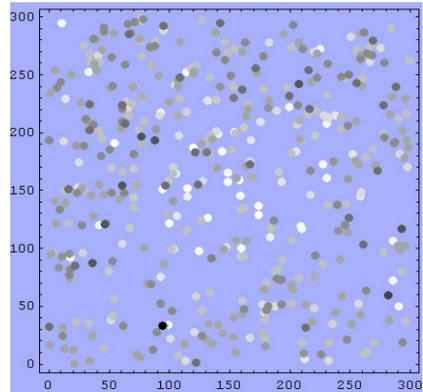
(그림 8) 성공적인 이동의 비율

수보다 상대적으로 적을 것이다. 따라서 성공률은 주어진 경로 상의 홉핑 센서들의 가능한 이동성의 상태에 의존적이라 할 수 있다. 그러므로 최단 경로의 사용과 같이 지속적으로 하나의 경로를 사용한다는 것은 실패율에 대한 위험을 안고 있다고 판단할 수 있다.

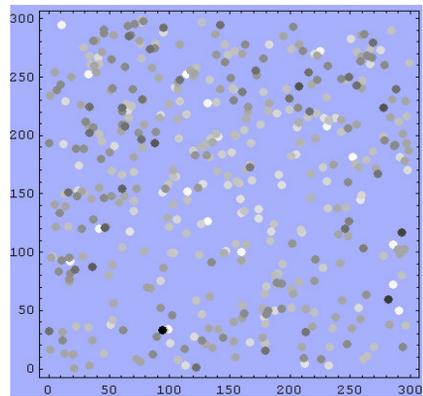
(그림 9)의 모습은 시뮬레이션 종료 후 네트워크의 홉핑 센서의 이동 가능성 분포에 대한 모습이다. 다중 경로 기반의 기법이 최단경로 기법보다는 이동성의 분포가 균형적인 것을 알 수 있다.

4. 결 론

홉핑 센서들은 바퀴 기반의 이동 센서보다 거



(a) 엇갈림 없는 경로 기반 재배치



(b) 다중경로 기반의 재배치



(c) 이동 가능한 홉핑 센서의 수

(그림 9) 시뮬레이션 종료후 이동성의 분포도

친 지형, 적군의 영토, 재해지역과 같은 환경에 보다 더 적용 가능 하다. WSN의 라이프 타임을 고려한다면 센싱 홀은 보다 자주 발생 할 수 있으며 센싱 홀에서 요청한 센서를 공급하기 위해 본 논문에서는 홉핑 센서의 재배치 알고리즘을 논하였다. 최근 소개된 최단경로 기반의 기법은 최소한의 홉핑 수를 제공할 수 있기에 전체 이동수 측면에서는 능률적이다. 그러나 최단경로의 반복적인 사용으로 인해 또다른 센싱 홀을 쉽게 초래할 수 있으며 홉핑 센서들의 비균형적인 이동 분포 현상이 나타난다. 본 논문에서는 이러한 단점을 극

복하기 위하여 다중경로 기반 홉핑 센서 재배치 알고리즘을 제안한다. 시뮬레이션 결과는 제안하는 기법이 최단경로를 기반으로 한 기법에 비해 센서의 균형적인 분배와 이동성공률에서 우수함을 보인다. 향후에는 거친 지형에서의 이동 성공률 및 이동 후 센서 노드들에게 ID를 할당하는 방법에 대한 논의가 필요할 것이다.

Acknowledgment

이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2010-0007311), 교신(책임)저자: 박광진.

참 고 문 헌

[1] W. Choi and S. K. Das, "A Novel Framework for Energy - Conserving Data Gathering in Wireless

Sensor Networks," IEEE INFOCOM 05, vol. 3, pp.1985-1996, March 2005.

[2] A. Verma, H. Sawant, and J. Tan, "Selection and Navigation of Mobile Sensor Nodes Using a Sensor Network," IEEE ICPC 05, pp.41-50, March 2005.

[3] J. Teng, T. Bolbrock, G. Cao, and T. L. Porta, "Sensor Relocation with Mobile Sensors: Design, Implementation, and Evaluation," IEEE MASS 07, pp.1-9, October 2007.

[4] <http://www.darpa.mil>

[5] Z. Cen and M. W. Mutka, "Relocation of Hopping Sensors," IEEE ICRA 08, pp.569-574, May 2008.

[6] G. Wang, G. Cao, T. L. Porta, and W. Zhang, "Sensor Relocation in Mobile Sensor Networks," IEEE INFOCOM 05, vol. 4, pp.2302-2312, March 2005.

● 저 자 소개 ●

김 문 성(Moonseong Kim)

2007년 2월 성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터공학과 졸업(박사)
2007년 3월~2008년 2월 성균관대학교 정보통신공학부 연구교수
2007년 12월~2009년 10월 Visiting Research Associate, Michigan State University, USA
2009년 10월~현재 특허청 정보통신심사국 심사관(사무관)
관심분야 : 라우팅 프로토콜, 모바일 컴퓨팅, 센서네트워크
E-mail : moonseong@kipo.go.kr



박 광 진(Kwangjin Park)

2000년 고려대학교 컴퓨터학과 졸업(학사)
2002년 고려대학교 대학원 컴퓨터학과 졸업(석사)
2006년 고려대학교 대학원 컴퓨터학과 졸업(박사)
2006년~2007년 프랑스 국립컴퓨터과학연구소(INRIA) 박사후 연구원
2008년~현재 원광대학교 전기정보통신공학과 교수
관심분야 : 데이터베이스, 분산컴퓨팅
E-mail : kjpark@wku.ac.kr

