

대규모 무선 센서 네트워크에서 게이트웨이 배치와 연결성

김우승⁰, 김진석¹

서울시립대학교 컴퓨터 과학부

winner@uos.ac.kr, kimjs@uos.ac.kr

A Deployment of Gateways and Connectivity in Large Area Wireless Sensor Networks

Woo Seung Kim⁰, Jin Suk Kim¹

School of Computer Science, University of Seoul

요 약

본 논문에서는 대규모 무선 센서 네트워크에서 센서 노드와 게이트웨이를 배치하였을 때 연결성의 변화를 살펴본다. 2차원의 감지목표지역에서 정해진 수로 균일 분포 과정으로 배치된 센서 노드들이 게이트웨이에 연결된 노드의 평균 비율을 통해 기대해 볼 수 연결 노드 비율을 확인하고, 이에 따라 적합한 게이트웨이의 수를 확인한다.

1. 서 론

센서 네트워크는 센서를 통해 주변의 정보를 수집하고, 수집된 정보를 주변의 센서들과 통신을 통해 취합, 관리하는 시스템이다. 최근 소형전자기술, 디지털 신호처리, 저전력 무선전파기술의 발전은 대규모 무선 센서 네트워크의 실용화를 가능하게 만들고 있다. 그 응용을 살펴 보면 전장감시, 환경측정, 지진대 반응 연구, 도시계획, 교통량 측정, 재난 및 재해 방지 등이 있다[1].

본 논문에서는 대규모 무선 센서 네트워크에서의 센서 노드들의 통신에 의한 연결성에 대해서 다루고자 한다. 감지성(coverage)과 연결성(connectivity)은 무선 센서 네트워크에서의 기본요구사항이다[1]. 감지성이란 감지목표지역에서 센서 노드에 의해서 탐지하는 범위를 말한다. 연결성이란 인프라스트럭처 없이 센서 노드끼리의 통신에 의해서 가능한 통신 연결 범위를 말한다. 센서 네트워크의 목적은 우리가 관심있는 사건을 탐지하거나 수집된 정보를 게이트웨이에 보고하는 것이다. 따라서 연결성은 감지성만큼 중요한 요소이다.

광대한 지역에 대규모의 센서 노드들을 정밀하게 배치하는 것은 어려운 일이다. 대규모 센서 네트워크에서 센서 노드들을 무작위로 배치하는 경우에 대한 연구가 진행되었다. 센서 네트워크에서는 배터리 같은 에너지를 사용한다. 에너지를 절약하기 위해서

노드 비활성화하는 전략을 에너지 보존을 위하여[2, 3, 4] 활용할 수 있다.

본 논문에서는 게이트웨이 수를 증가시키면서 변화되는 연결성을 연구해 보고자 한다. 2절에서는 대규모 센서 네트워크의 관련 연구에 대해서 살펴 본다. 3절에서는 센서 노드와 게이트웨이의 모델을 설명하고, 게이트웨이의 배치 방식을 보인다. 4절에서는 게이트웨이의 배치에 따른 연결성 변화를 실험하고 그 결과를 분석한다. 5절에서는 결론을 맺는다.

2. 관련 연구

감지성과 연결성(CC: coverage and connectivity)은 완전 CC, 부분 CC, 제한적 CC의 세가지로 분류할 수 있다[1]. 완전 CC란 감지목표지역을 모두 감지하고 센서 노드들이 모두 연결되는 상황을 말한다. 부분 CC는 적정 비율로 감지목표범위를 감지하고, 센서 노드들이 연결되는 상황을 말한다. 제한적 CC는 감지목표지역 중 일정 지역만을 감지하는 형태이다.

대수의 법칙(law of large numbers)에 의해 균일 분포 상에서의 무작위 배치는 포아송분포에 근사화된다[5].

포아송분포 근사화를 통해 정해진 감지목표지역에서 센서 노드의 밀도 혹은 개수가 주어졌을 때의 감지성은 통계적으로 계산이 가능하다. 그리고 역으로 요구되는 감지성 수준을 위한 센서 노드의 밀도 혹은 개수 역시 계산이 가능하다[6].

감지성과 동일하게 연결성 또한 포아송분포로

¹ Corresponding Author

모델화된다. 센서 노드들이 포아송분포를 통해 배치되면 감지목표지역이 무한일 때 완전 연결성을 만족하기 위한 센서 노드의 배치밀도 D 는 존재하지 않음이 밝혀졌다[7]. 감지목표지역이 유한할 때는 근사적인 완전 연결성을 만족하기 위한 배치밀도 D 의 점근복잡도는 감지목표지역의 크기를 A 라고 할 때 $O(\ln A)$ 로 예측되며, 따라서 필요한 센서 노드 수의 점근복잡도는 $O(A \ln A)$ 가 된다[7, 8, 9]. 그에 비해 부분 연결성을 만족하기 위한 센서 노드 수의 점근복잡도는 $O(A)$ 로 완전 연결성에 비해서 적은 수의 노드로 달성가능하다[1].

부분 CC에서는 적은 수의 노드만을 사용하기 때문에 모든 센서 노드를 게이트웨이에 연결시키는 것은 어려운 일이다. 이것에 대한 경험적 방법(heuristic method)으로는 게이트웨이 주변에서 센서 노드의 배치밀도를 증가시키는 것이다[1].

본 논문이 제안하는 방식은 이러한 경험적 방법과 다르게 배치되는 게이트웨이 수를 증가시켜 요구되는 연결성을 확보하는 것이다.

3. 게이트웨이 배치와 연결성

본 논문에서는 센서 노드들과 게이트웨이가 모두 동일한 원형 통신 범위를 갖는다고 가정한다. 센서 노드들이 서로 통신하기 위해서는 한 센서 노드의 전파 범위 내에 다른 센서 노드가 위치해야 한다. 이에 대한 도식화는 <그림 1>과 같다.

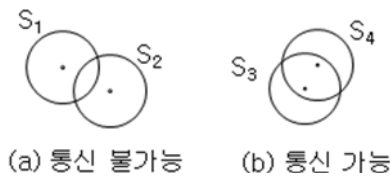


그림 1 센서 노드 원형 통신 범위와 연결성

<그림 1>에서 S_1 과 S_2 는 서로가 송신하는 전파 범위가 겹칠 뿐 상대 노드가 전파를 받을 수 없기 때문에 통신이 불가능하고 S_3 와 S_4 는 통신이 가능하다.

게이트웨이는 <그림 2>와 같이 감지목표지역의 테두리에 위치한다고 가정한다. 게이트웨이들은 센서 노드들과는 달리 인프라스트럭처에 의해 연결되어 있기 때문에 연결되지 않은 두 개의 센서 노드 컴포넌트가 다른 게이트웨이에 연결되어 있어도 모든 센서 노드들은 연결된다. 센서 노드는 균일 분포 형태로 배치된다. 감지목표지역은 정사각형 형태로 가정한다. 게이트웨이의 배치순서를 고려한 모형은 <그림 2>와 같다.

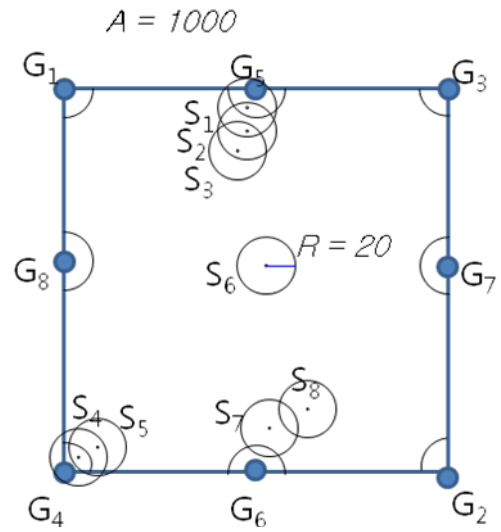


그림 2 게이트웨이 및 센서 노드 배치모형

<그림 2>에서 게이트웨이들과 통신이 가능함으로써 연결성을 갖는 노드는 S_1, S_2, S_3, S_4, S_5 이고, S_7 과 S_8 은 <그림 1>의 통신 불가능 형태이다.

4. 실험 및 분석

게이트웨이의 배치순서는 1개의 게이트웨이가 배치되었을 때 (G_1), 2개의 게이트웨이가 배치되었을 때 (G_1, G_2), 3개의 게이트웨이가 배치되었을 때 (G_1, G_2, G_3)로 누적해서 배치한다.

본 실험에서는 <그림 2>와 같이 감지목표지역의 한 변(A)은 1000, 센서 노드의 통신범위(R)는 20으로 정한다. 배치되는 센서 노드의 수에 대한 기준이 되는 대부분의 센서 노드가 연결가능한 임계 밀도(critical density)는 $D_c = 1.4365 / R^2$ 와 같다[10, 11]. 이와 같은 A 와 R 의 지정값과 D_c 에 의해 계산되는 유의 부분 연결성을 만족하기 위한 센서 노드의 수 N_c 는 다음과 같이 계산된다.

$$N_c = D_c \times A^2 = 3591.25$$

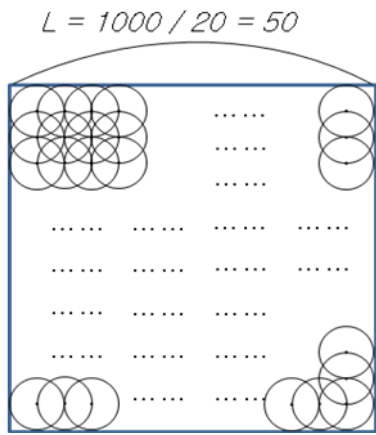


그림 3 센서 노드의 연결성이 전혀 없는 최대 센서 노드 배치

실험을 위한 최소의 센서 노드 수 선정을 위해서 센서 노드의 연결성이 전혀 없는 최대 수를 계산하면, <그림 3>에서 $L * L = 50 * 50 = 2500$ 가 된다. 따라서 2500개 이상의 센서 노드가 배치되면 센서 노드끼리의 연결성이 최소 하나 이상임을 알 수 있다.

앞의 두 수치 2500, N_c 를 고려하여 실험에 사용되는 센서 노드의 수는 N_c 에 가까운 3500을 중심으로 2500, 3000, 3500, 4000, 4500개의 다섯가지 상황으로 설정하였다.

센서 노드 수에 따른 연결 노드 비율을 측정한 실험결과는 <그림 4>에 나타나 있다. 이 실험 결과는 게이트웨이 배치 개수와 위치가 주어졌을 때 100번 반복 실험하여 게이트웨이에 연결된 센서 노드의 수를 계산한 평균이다.

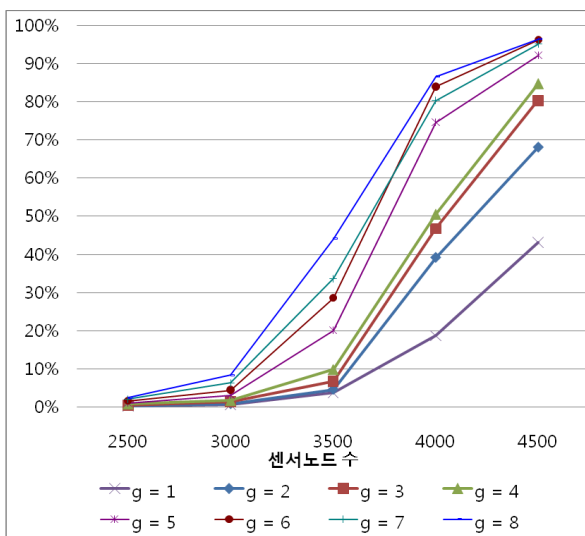


그림 4 센서 노드 수에 따른 연결노드비율 (g: 게이트웨이 수)

<그림 4>를 보면 N_c 보다 작은 개수(2500개 또는 3500개)의 센서 노드를 배치했을 때 게이트웨이에 데이터를 보낼 수 있는 노드의 개수는 10%보다 작은 개수이다. 3500개의 센서 노드가 배치된 상황에서는 게이트웨이의 수에 따라 상당한 차이를 보인다. 하지만 N_c 보다 큰 4000개 이상의 센서 노드가 배치된 상황에서 게이트웨이 수가 5개 이상이면 거의 대등한 결과를 보여줄 수 있다. 4500개 이상의 센서 노드를 배치하면 게이트웨이의 수가 1-5개일 때는 4500개 보다 적은 노드를 배치한 것보다 큰 폭의 연결성 비율차를 보이지만 5개 이상의 경우는 거의 차이를 보이지 않는다.

4. 결론

지금까지 센서 노드들이 균일 분포로 배치될 때 게이트웨이 수에 따른 연결성의 변화에 대해 알아보았다. 임계 밀도에 대응하는 수의 센서 노드가 배치될 때에는 게이트웨이의 수가 전체 연결성에 큰 영향을 미친다. 임계 밀도를 초과하는 센서 노드를 배치할 때는 5개 이상의 게이트웨이에 대해서 모두 대등한 결과를 보여주기 때문에 5개를 배치함이 적절하다.

5. 참고문헌

- [1] Xin Liu, "Coverage with Connectivity in Wireless Sensor Networks" *Proceedings of Broadband Communications, Networks and Systems (BROADNET 2006) 3rd International Conference*, pp. 1-8, 2006.
- [2] T. Armstrong, "Wake-up Based Power Management in Multi-hop Wireless Networks", Term Survey Paper for ECE1717 Quality of Service Provisioning in Mobile Networks course
- [3] Abtin Keshavarzian, Huang Lee, and Lakshmi Venkatraman, "Wakeup scheduling in wireless sensor networks", in *MobiHoc '06: Proceedings of the seventh ACM international symposium on Mobile ad hoc networking and computing*, New York, NY, USA, pp. 322-333, 2006.
- [4] C. Gui and P. Mohapatra, "Power conservation and quality of surveillance in target tracking sensor networks", *Proceedings of ACM International Conference on Mobile Computing and Networking (MOBICOM)*, 2004.
- [5] Robert V. Hogg, Elliot A. Tanis, *Probability and Statistical Inference, 7th Edition* Prentice Hall, 2005.
- [6] Benyuan Liu, Don Towsley, "A Study of the Coverage of Large-scale Sensor", *Proceedings of*

IEEE International Conference on Mobile Ad-hoc and Sensor Systems, pp. 475–483, 2004.

- [7] T. K. Philips, S. S. Panwar, and A. N. Tantawi, "Connectivity properties of a packet radio network model", *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 35, no. 5, pp. 1044 –1047, 1989.
- [8] P. Gupta and P. R. Kumar, "Critical power for asymptotic connectivity", *Proceedings of the 37th IEEE Conference on Decision and Control*, vol. 1, 1998.
- [9] F. Xue and P. R. Kumar, "The number of neighbors needed for connectivity of wireless networks", *The Journal of Wireless Networks*, vol. 10, pp. 169–181, 2004.
- [10] R. Meester and R. Roy, *Continuum Percolation*, Cambridge University Press, 1996.
- [11] A. Kruger, "Dimensionality in Continuum Percolation Thresholds", PhD thesis, University of Bielefeld, Germany, 2003.