

# 무선 센서 네트워크에서 유동 센싱 범위 기반 멀티레벨 커버리지 배치 기법에 대한 연구

오상석\*, 한연희\*\*, 민성기\*

\*고려대학교 컴퓨터·전파통신공학과

\*\*한국기술교육대학교 컴퓨터공학과

e-mail : \*{ssoh94, sgmin}@korea.ac.kr, \*\*yhhan@kut.ac.kr

## A Study on Multilevel Coverage Placement Scheme based on Dynamic Sensing Range in Wireless Sensor Network

Sang-Seok Oh\*, Youn Hee Han\*\*, Sung-Gi Min\*

\*Dept. of Computer & Radio Communications Engineering, Korea University

\*\*Dept. of Computer Science and Engineering, Korea University of Technology and Education

### 요 약

무선 센서 네트워크에는 한정된 배터리 자원과 네트워크의 라이프타임(lifetime)으로 인해 멀티레벨 커버리지 문제가 이슈가 되어 왔다. 하지만, 대부분의 연구에서는 멀티레벨 커버리지 문제를 해결할 때 센싱 범위는 고정적이며 변경할 수 없음을 가정하고 있으며, 이로 인해 센싱 범위와 커버리지 범위와의 관계에 대해서 고려하고 않고 있다. 본 연구에서는 센싱 범위와 커버리지 범위의 관계를 이용하여 유동 센싱 범위(DSR, Dynamic Sensing Range) 배치에 대하여 연구하였다.

### 1. 서론

무선 센서 네트워크(WSN, Wireless Sensor Networks)에서 커버리지 문제 (CP, Coverage Problem)는 주요 이슈 중 하나이다. CP를 해결하기 위해 센서는 무선 통신, 데이터 처리, 그리고 센싱과 같은 기본적인 기능을 갖고 있어야 하며, 센싱 영역에 랜덤 패턴을 기반으로 하여 배치되어 관심 있는 데이터들을 수집하게 된다.

최근에는 센서들의 제한된 배터리문제와 라이프타임(lifetime) 문제를 해결하기 위해 멀티레벨 커버리지(k-coverage) 문제에 초점이 맞춰지고 있다. k-coverage란 센싱 영역의 각 지점들이 최소한 k 개의 센서에 의해 모니터링 됨을 의미한다. 센서들이 k-coverage 패턴으로 배치될 경우 스케줄링 알고리즘에 의해 WSN의 라이프타임이 증가할 수 있다. 하지만, k 배의 센서가 랜덤 배치될 경우에는 WSN의 라이프타임이 k 배만큼 증가할 수 없을 수 있다. 그 이유는 특정 영역에 대해서는 k-coverage를 만족하지 않을 수 있기 때문이다. 이러한 이유로 인해 k-coverage 배치 기법이 필요하게 된다.

또한, 본 논문에서는 센싱 범위를 늘리고 줄임으로써 추가의 센서가 배치되지 않고도 k-coverage를 달성할 수 있음을 가정하고 있다. 이러한 유동 센싱 범위 기법을 위해서, 본 논문에서는 coverage range

(CR)를 정의하며, 센싱 영역이 unit disk가 아닐 때 사용하는 k-NC 문제 방법[1]을 이용하고 있다. 이러한 알고리즘을 이용하여 k-coverage 상에서의 최적화된 센싱 범위와 센서간의 거리를 결정할 수 있게 된다.

### 2. 관련 논문

다양한 커버리지 배치 방법에 관한 연구가 진행되어 왔고, 이러한 기법들은 세가지 카테고리로 나뉘어질 수 있다. 첫째는 커버리지 홀을 찾은 뒤 홀을 없애기 위해 센서들을 이동시키는 방법이다. [5, 9]에서는 보로노이 다이어그램을 이용하여 커버리지 홀을 찾은 뒤 홀 크기를 감안하여 센서들의 이동 위치를 선택하는 기법에 대하여 연구하였다. 두 번째는 그리드 방식의 해결 방법으로 1-coverage를 해결하기 위해 제안되었다 [7-8]. 그리드 방식은 전체 센싱 영역을 분할하여 작은 그리드 단위로 나눈 뒤, 각 그리드에 센서들을 배치하는 방법이다. 세 번째 방법은 커버리지 패턴을 기반으로 한 것으로써, 각 센서의 위치를 커버리지 패턴에 맞게 미리 설정하여 센서를 배치시키는 방법이다 [2-4].

이 중 [5]에서는 커버리지 패턴을 이용한 방식이 기하학적 이상(geometric anomaly)으로 발생하는 k-coverage의 비효율적인 문제를 해결하기 위해 레이어 방법을 제안하였다. 각 레이어 별로 1-coverage 방법을 이용하여 센서를 배치시키는 방법으로써 커버리지 홀을 최소화 하는 방법이다. 하지만, 커버리지 패턴을 이용한 방식과는 달리 커버리지 홀(coverage hole)이

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행(2011-0005057)되었습니다.

발생하는 문제점을 갖고 있다.

[1]에서는 k-UC 문제와 k-NC 문제에 대한 해결방법을 제안하였다. k-UC 문제는 각각의 센싱 영역이 모두 동일하다는 것을 가정하고 있으며, k-NC 문제는 각각의 센싱 영역이 모두 동일하지 않다는 것을 가정하고 있다. 이 알고리즘에서는 각각의 센서에 대해 이웃 센서와의 페리미터(perimeter)를 계산하여 k-perimeter-covered 가 될 경우 각 센서의 내부 영역은 (k+1)-covered 이고, 외부 영역은 k-covered 를 만족하게 된다. k-NC 문제는 k-UC 와 perimeter 를 계산하는 부분 이외에는 거의 비슷하다. 두 개의 센서가 있을 때 센서간의 거리를 이용하여 perimeter 를 계산하게 된다. 본 논문에서는 위 두 가지 해결 방법 중에 k-NC 문제 해결방법을 이용하게 된다.

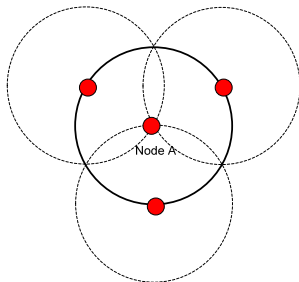
### 3. Dynamic Sensing Range (DSR) 배치 기법

#### A. 가정 및 정의

DSR 배치기법에서는 센싱 영역이 가변적이라는 것을 가정한다. 이때 멀티레벨 커버리지를 위해서는 통신 영역 (Rc: Communication Range)는 변할 필요가 없다. 이 때, 센서의 커버리지 영역 (Coverage Range)는 다음과 같이 정의한다.

**Definition: The Coverage Range (CR)** 커버리지 영역은 perimeter-covered 가 1 일 때의 센싱 영역으로 정의한다. 센싱 영역이 변화해도 CR 은 변하지 않는다.

(그림 1)은 센서가 삼각형 배치시의 센싱 영역 (Rs: Sensing Range)와 CR 을 보여준다. 점선은 각 이웃 노드의 Rs 을 나타내고 실선은 노드 A 의 CR 을 나타낸다. 1-perimeter-covered 일 경우 노드 A 와 이웃 노드 사이의 perimeter 는  $1/3\pi$  가 된다. 이를 이용하여 노드 A 와 이웃 노드 사이의 perimeter 를  $2/3 \pi$  가 되게 하면, 2-perimeter-covered 로 배치됨과 동시에 Rs 는  $\sqrt{3}CR$  만큼 증가하게 된다.

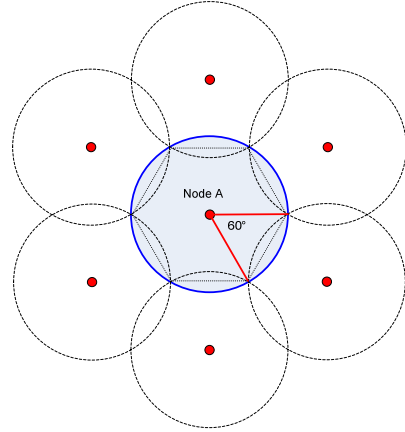


(그림 1) 1-perimeter-covered 배치에서의 Rs 와 CR

#### B. 시스템 모델 (육각형 구조)

본 논문에서는 센서 노드들이 최소 노드 개수로 커버리지를 달성할 수 있도록 육각형 구조로 배치된다는 것을 가정한다. (그림 2)은 센서 노드들의 육각형 구조로 배치됨을 보여준다. 만약 노드 A 의 Rs 를 "r" 로 정의하게 되면 노드 A 와 이웃 노드 사이의 거리는  $\sqrt{3}r$  이 된다. 또한, CR 은 노드 A 의 Rs 와 동일하게 설정된다. 이 환경에서 멀티레벨 커버리지를 달성

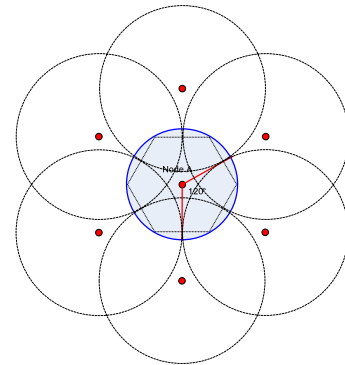
하기 위해 노드 A 의 Rs 가 변화하게 된다.



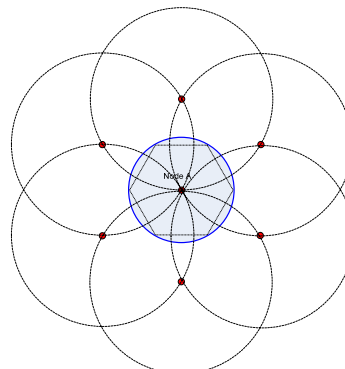
(그림 2) 육각형 구조에서의 1-perimeter-covered 배치

#### C. DSR 에서의 멀티레벨 커버리지

먼저 2-perimeter-coverage 에서부터 접근하였다. (그림 3)에서 노드 A 의 Rs 를 증가시켰고, 그 결과 노드 A 와 이웃 노드 사이의 perimeter 는  $1/3 \pi$  가 되었다. k-NC 문제[1]에 의해 노드 A 의 perimeter-covered 는 2 가 됨을 알 수 있다. 하지만, 2-coverage 또는 3-coverage 는 기하학적 이상[5]에 의해 달성되지 않음을 알 수 있다. 이를 해결하기 위해 Rs 를 노드 A 의 중심을 지나도록  $\sqrt{3}r$  만큼 증가시켰다. 이렇게 수정된 2-perimeter-covered 는 (그림 4)에서 볼 수 있다. 여기서 노드 A 의 perimeter-covered 는 2 가 됨을 알 수 있고 k-NC 문제에 의해 3-coverage 가 달성되었음을 알 수 있다.



(그림 3) 육각형 구조에서의 2-perimeter-covered



(그림 4) 육각형 구조에서의 2-perimeter-covered 와 3-coverage

3-perimeter-covered 상태를 만들기 위해서는 노드 A 와 이웃 노드 사이의 perimeter 는  $1/2\pi$  가 되게 하면, 노드 A 의 perimeter-covered 는 3 이 되며, 이때 노드 A 의  $R_s$  는  $2r$  이 된다.

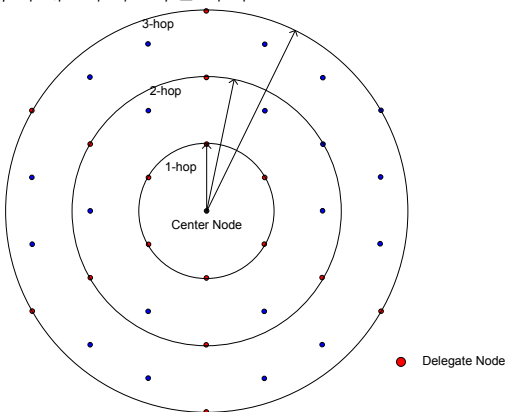
이와 같은 방법으로 4 에서 6 까지의 멀티레벨 perimeter-covered 를 노드 A 와 이웃 노드 사이의 perimeter 를 계산함으로써 쉽게 구할 수 있다. 하지만, perimeter-covered 가 6 이상이 되었을 때에는 노드 A 의 1-hop 이웃 노드 뿐만 아니라 k-hop 간의 이웃 노드와의 perimeter 또한 고려하여야 한다. 이를 위해 본 논문에서는 k-hop 이웃 노드와 대표 노드(delegate node)에 대해 다음과 같이 정의한다.

**Definition: 1-hop and h-hop 거리** 육각형 구조에서의 1-hop 거리는  $\sqrt{3}r$  로 정의한다. 따라서, h-hop 거리는  $h\sqrt{3}r$  이 된다. 단, 여기서 r은 센싱 거리이다.

**Definition: h-hop 이웃 노드** h-hop 이웃 노드는 (h-1)-hop 거리와 h-hop 거리 사이에 위치한 노드들의 집합이다.

**Definition: 대표(delegate) 노드** 대표 노드란 h-hop 이웃 노드 중에서 중심이 되는 노드로부터의 거리가 h-hop 거리와 동일한 위치에 있는 노드들의 집합이다. 따라서, k-hop 이웃 노드들 중 대표 노드는 정확히 6 개가 된다.

아래 (그림 5)에서 h-hop 이웃 노드들과 대표 노드에 대해서 보여준다. 본 논문에서는 대표 노드와 중심 노드 사이의 perimeter-covered 만을 계산하였다. 그 이유는 h-hop 이웃 노드들과 중심 노드 사이의 거리는 대표 노드보다 모두 적기 때문에 대표 노드가 k-coverage 이면 나머지 이웃 노드들도 모두 k-coverage 를 만족하게 되기 때문이다.



(그림 5) h-hop 이웃 노드와 대표 노드

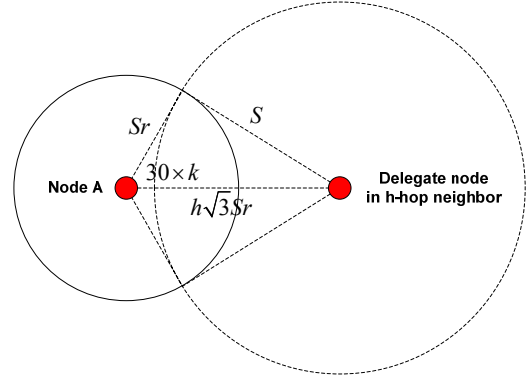
이를 통해 perimeter-covered 값을 도출해 내면 다음과 같다.

$$h \times k + \sum_{i=1}^{h-1} 6 \times i$$

이 때, h 는 h-hop 이웃 노드들을 의미하며, k 는 센

서노드와 대표노드 사이의 perimeter 값을 의미한다. 하지만, 기하학적 이상으로 인해  $\{6x(h-1) + 1\}$ -perimeter 값을 구할 수는 없다. 즉, perimeter-covered 값은  $h \geq 2$  이고, k=1 일 때의 perimeter-covered 는 존재하지 않는다.

(그림 6)은 7-perimeter-covered 이상일 때의 센싱 영역( $S_r$ )을 구하는 것을 보여준다. 이를 통해, 센싱 영역을 구해보면 <표 1>과 같이 나오게 된다.



(그림 6) 7-perimeter-covered 이상일 때의 센싱 영역

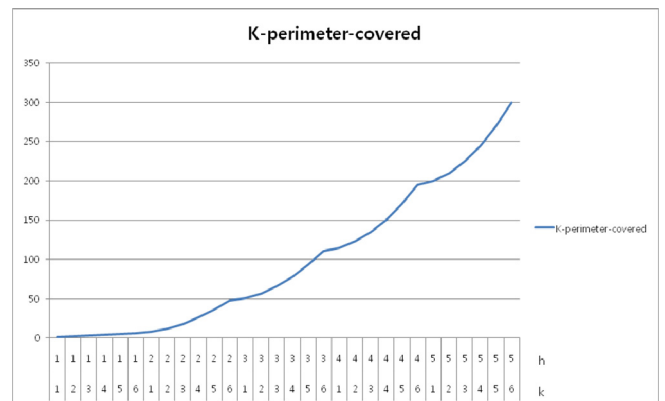
<표 1> 증가된 센싱 영역

		센싱 영역 ( $R_s$ )
k=1	h=1	$S_r$
k=2	$h \geq 1$	$h\sqrt{3}S_r$
k=3~6	$h \geq 1$	$S_r\sqrt{1+3h^2-2h\sqrt{3}\cos(30 \times k)}$

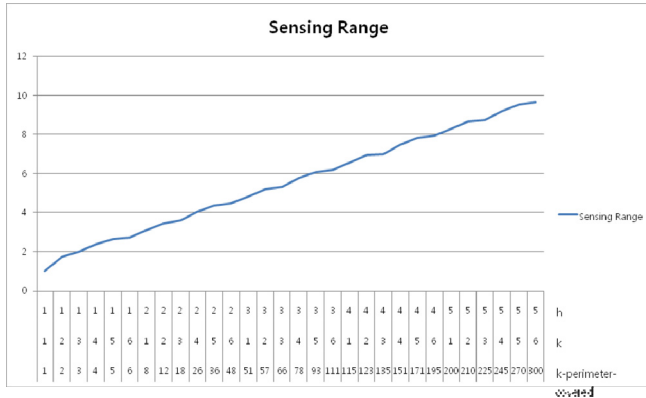
#### 4. 분석

아래 (그림 7)에서는 h 와 k 가 증가함에 따른 perimeter-covered 값을 보여주고 있다. 여기서 h 와 k 가 선형적으로 증가하는데 반해서 k-perimeter-covered 값은 기하급수적으로 증가함을 알 수 있다.

또한 (그림 8)에서는 h 와 k 의 증가함에 따른 센싱 영역에 대해 보여주고 있다. k-perimeter-covered 값은 기하급수적으로 증가하고 있지만, 센싱 영역은 h 와 k 값에 선형적으로 증가하는 것을 볼 수 있다. 즉, perimeter-covered 값과 비교해 보면 센싱 영역은 대수적으로 증가한다는 사실을 알 수 있다.



(그림 7) h 와 k 의 증가에 따른 perimeter-covered



INFOCOM, Jun. 2004

(그림 8) h 와 k 의 증가에 따른 센싱 영역 분석

## 5. 결론

본 논문에서는 센싱 영역이 가변적이라는 가정하에 멀티레벨 커버리지와 센싱 영역의 상관관계에 대하여 분석하였다. 이를 통해, 커버리지 값과 비교하여 센싱 영역은 대수적으로 증가함을 알 수 있다. 즉, 커버리지 값을 2 배 증가시켰고 실제 센싱 영역이 2 배로 증가하지 않는다는 것을 보여주고 있다.

이를 확장시켜 실제 센싱 영역은 고정인 상태에서 커버리지 값이 증가함에 따른 센서간의 거리에 대한 연구를 향후 추가하도록 할 것이다.

## 참고문헌

- [1] Chi-Fu Huang, and Yu-Chee Tseng, , "The coverage problem in a wireless sensor network", Journal of Internet Technology 6(1), 2005, 1-8
- [2] GuilingWang, Guohong Cao, and Tom La Porta, "Movement-assisted sensor deployment," in Proc. IEEE INFOCOM, Jun. 2004
- [3] Y.-C. Wang, C.-C. Hu, Y.-C. Tseng, "Efficient placement and dispatch of sensors in a wireless sensor network", IEEE Transactions on Mobile Computing 7 (2), 2008, 262-274
- [4] Y.-C. Wang, Y.-C. Tseng, "Distributed deployment schemes for mobile wireless sensor networks to ensure multi-level coverage", IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 2008
- [5] J. Cho, S. Kwon, J. Ko, C. Kim, "An Efficient Multilevel Coverage Scheme in Mobile Sensor Networks", ISWPC'09 Proceedings of the 4th International conference on Wireless pervasive computing, 2009
- [6] S. Chellappan, X. Bai, B. Ma, D. Xuan, C. Xu, "Mobility limited flip-based sensor networks deployment", IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems 18 (2) , 2007, 199-211
- [7] S. Chellappan, W. Gu, X. Bai, D. Xuan, B. Ma, K. Zhang, "Deploying wireless sensor networks under limited mobility constraints", IEEE Transactions on Mobile Computing 6 (10), 2007, 1142-1157
- [8] Z. Jiang, J. Wu, R. Kline, J. Krantz, "Mobility control for complete coverage in wireless sensor networks", in: The 28th International Conference on Distributed Computing Systems Workshops (ICDCS), 2008, pp. 291-296
- [9] GuilingWang, Guohong Cao, and Tom La Porta, "Movement-assisted sensor deployment," in Proc. IEEE