

# 무선 센서 네트워크의 최적화 노드배치에 관한 연구

## A Study On The Optimum Node Deployment In The Wireless Sensor Network System

Weon-Gap Choi\*, Hyung-Moo Park\*

최 원 갑\*, 박 형 무\*

### Abstract

One of the fundamental problems in wireless sensor networks is the efficient deployment of sensor nodes. The Fuzzy C-Means(FCM) clustering algorithm is proposed to determine the optimum location and minimum number of sensor nodes for the specific application space. We performed a simulation and a experiment using two rectangular and one L shape area. We found the minimum number of sensor nodes for the complete coverage of modeled area, and discovered the optimum location of each nodes. The real deploy experiment using sensor nodes shows the 94.6%, 92.2% and 95.7% error free communication rate respectively.

### 요 약

무선 센서 네트워크에서 중요한 문제 중 하나는 센서 노드들의 최적 배치, 즉 측정하고자 하는 지역을 모두 커버할 수 있는 최소 센서 노드 수를 산출하고 배치 위치를 결정하는 일이다. 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위한 방법으로 제안한 Fuzzy C-Means 클러스터링을 이용하여 측정하고자 하는 지역에서의 최적의 노드 배치와 최소 노드의 수를 시뮬레이션을 통해 도출하였고, 실험을 통하여 검증하였다. 시뮬레이션은 3가지 타입의 2차원 지역을 모델로 하여 수행하였다. 모델링한 지역은 6M×10M의 직사각형, 50M×20M의 직사각형, 100M×80M의 'L'자 형태의 지역으로 하였으며, 각각 9개, 9개, 15개 노드의 위치를 결정하였다. 실제 실험결과 각 지역에 대해서 94.6%, 92.2%, 95.7%의 정확도를 가진 통신 연결을 확인할 수 있었다.

*Key words : wireless, sensor network, Fuzzy C-Means, clustering, node deployment*

## 1. 서론

무선 센서 노드는 빛, 온도, 습도와 같은 물리적인 데이터를 감지하여 전기적 신호로 바꾸어 주는 센서부와 이러한 데이터를 처리하는 마이크로 컨트롤러, 처리된 데이터를 송·수신 하는 RF 부분으로 구성된다. 그림 1의 무선 센서 네트워크 개요도와 같이 무선 센서 노드들을 이용하여 멀티 홉(multi-hop) 방식

의 분산 네트워크(distributed network)를 구성하고, 중앙의 기본노드(base-station or sink)로 전달함으로써 최종적으로 사용자의 PC나 PDA 등으로 모니터링할 수 있다.

물리적 세계와 사이버 세계를 연결할 수 있는 특징 때문에, 센서 네트워크의 개념은 새롭게 대두되고 있는 지능형 서비스들인 환경 모니터링, 위치인식 서비스, 지능형 의료시스템, 지능형 로봇 시스템 등 다양한 분야에 적용되고 있으며[1], 유선 설비가 지니고 있는 단점들을 극복하여 설치의 간편함, 비용의 절감, 에너지 효율 등 많은 장점을 지니고 있다.

\* 東國大學校 電子工學科

(Electronic Engineering Department, Dongguk University)

★ 교신저자 : 박 형 무 (parkhm@dgu.edu)

※ 이 연구는 2006학년도 동국대학교 연구년 지원에 의하여 이루어졌음

接受日:2007年 5月 1日, 修正完了日: 2007年6月5日

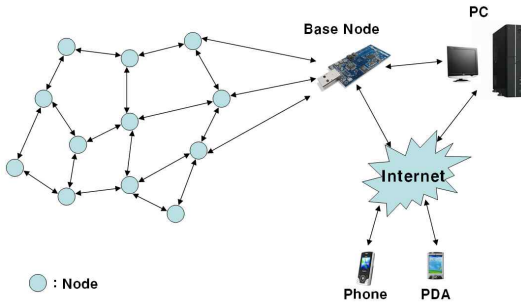


Fig. 1. Outline drawing of the wireless sensor network  
 그림 1. 무선 센서 네트워크의 개요도

무선 센서 네트워크는 센서 노드가 고가이기 때문에 최소의 노드를 사용하여 모든 지역에서 원활한 통신이 가능한 최적의 네트워크를 구성할 수 있다면 기술적, 경제적 측면에서 이득을 얻을 수 있다.

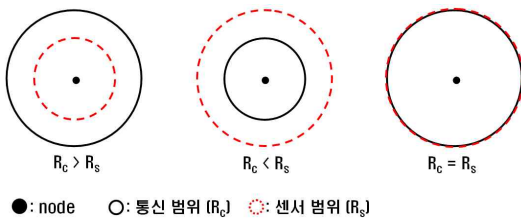


Fig. 2. Communication and Sensor range possibilities  
 그림 2. 통신과 센서 범위의 가능성

센서 노드의 통신 범위와 센서 작동 범위는 그림 2와 같이 3가지 가능성이 존재하게 되며 본 논문에서는 통신 범위와 센서 범위가 동일한 경우를 가정하여 제한된 환경의 모니터링에 초점을 맞추어 최소 노드의 수를 산출하고, 최적의 센서 노드 위치를 예측하였다. 제안한 방법은 클러스터링의 한 가지 방법인 Fuzzy C-Means(FCM)[2] 알고리즘을 노드 배치에 적용시켜 시뮬레이션을 한 후 실제 배치 실험을 통해 데이터 수집의 성능을 측정하였다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서 적용 범위와 Fuzzy C-Means Clustering에 관하여 분석하고, 3장에서는 제한된 환경에서의 센서 노드의 전송 거리에 따른 시뮬레이션 수행 및 분석에 대하여 상세히 기술하였다. 4장에서는 시뮬레이션 결과를 토대로 실제 노드 배치에 관한 실험 및 결과분석을 수행하였고, 5장에서 이상의 결과들을 정리하였다.

## II. 적용 범위와 FCM Clustering

### 1. 적용 범위 (Coverage)

무선 센서 네트워크에서 적용범위는 적절한 노드 배치를 통해 원하는 모든 지역을 센싱함과 동시에 최적의 라우팅(routing) 경로를 찾고, 이에 따른 에너지 효율의 상승효과를 거두는 일이다. 과거 적용범위에 따른 많은 연구가 이루어졌으며, 대부분은 에너지 효율의 관점에 중점을 둔 라우팅 프로토콜이었다. 이에 대표적인 연구로는 LEACH[3]가 있다. LEACH는 클러스터(cluster) 기반의 라우팅 알고리즘으로, 선별된 각 클러스터 헤드(head)가 클러스터 안의 모든 노드로부터 데이터를 모으고 직접 베이스 스테이션으로 전송하는 방식이다. 이외에도 격자 구조로 지역을 나누어 최적의 라우팅 경로를 찾는 연구[4]나 그림 3과 같은 Voronoi diagram[5]을 기반으로 한 연구 등이 있다. 특히 Voronoi diagram을 기반으로 하는 연구는 랜덤으로 노드를 배치하였을 때, 각 노드의 이웃 노드와의 중간 지점을 경계선으로 하여 지역을 분할하는 방식이다.

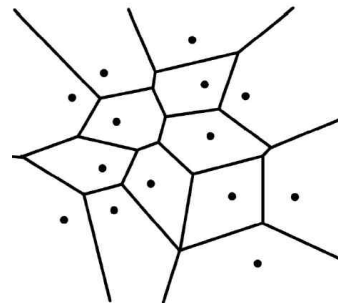


Fig. 3. Voronoi diagram  
 그림 3. 보로노이 다이어그램

기존의 노드 배치에 관한 연구의 문제점으로는 [4]의 경우 대상 지역을 규칙적인 격자로 분할하여 센서 노드를 배치하기 때문에 원활한 통신은 확보가 되나 필요 수 이상의 노드를 배치함으로써 비용의 증가가 초래되는 단점이 있고, [5]의 경우에도, 랜덤하게 노드가 배치되었기 때문에 노드가 담당하는 지역의 범위가 너무 작은 경우 불필요한 노드가 발생하여 비용의 증가가 초래된다. 본 논문에서의 기존에 연구된 노드 배치상의 비용 증가 문제를 해결하기 위해 최소의 노드 수로 효율적인 노드 위치를 찾아내는 새로운 노드 배치 방법을 제안하였다.

측정하고자 하는 지역에 무한개의 노드 배치 가능 지역이 있을 때, 수식 (1)은 네트워크의 상의 센서 노

드들의 밀도( $\rho$ )와 노드의 수( $N$ ) 및 면적( $A$ )과의 관계를 보여준다.

$$\rho = N/A \tag{1}$$

또한 그림 4와 같이 센서 노드 사이의 거리가  $d$ 이고, 통신 반경이  $r$ 이라면,  $u_i = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$  와  $v_i = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$  의  $n$ 개의 행벡터가 있을 때, 유클리디안 거리(euclidean distance)는 (2)와 같은 식이 성립한다.

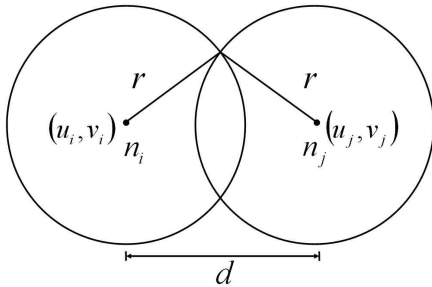


Fig. 4. Euclidean distance between two nodes  
 그림 4. 두 노드 사이의 유클리디안 거리

$$d = \sqrt{(u_i - u_j)^2 + (v_i - v_j)^2} \tag{2}$$

제한된 지역을 모델링하기 위하여 본 논문에서 가정된 사항은 다음과 같다.

1. 이미 알고 있는 제한된 지역의 2차원 평면을 모델로 한다.
2. 각 노드는 평면상에서 자신과 이웃노드의 위치를 알고 있다.
3. 각 노드는 동일한 센싱 및 통신 범위를 가진다.
4. 그림 5와 같이 각 노드의 전파 범위 안에 이웃 노드가 위치해야 통신 및 ad hoc이 가능하다.

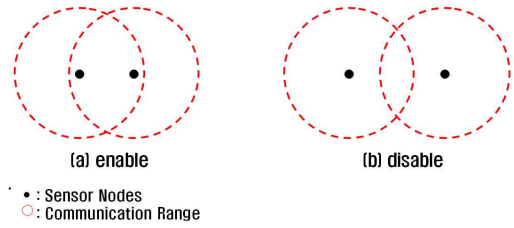


Fig. 5. Relationship of nodes by communication range  
 그림 5. 통신 범위에 따른 노드의 상호 관계

이러한 가정을 토대로 제안된 Fuzzy C-Means 클러스터링 알고리즘을 이용하여 시뮬레이션 및 실험을 수행하였다.

### 2. Fuzzy C-Means(FCM) Clustering

클러스터(cluster)란 패턴공간에 주어진 유한개의 패턴들이 서로 가깝게 모여서 무리를 이루고 있을 때, 무리를 구성하고 있는 패턴집합을 말하는 것으로 다른 말로는 군집이라고도 한다. 이러한 패턴집합의 유사성이나 근접성을 이용하여 주어진 패턴들을 비슷한 것 끼리 무리지어 나가는 처리를 군집화 또는 클러스터링(clustering)이라 한다.

클러스터링 대표적인 종류로는 hard k-means, self organizing maps, fuzzy c-means(FCM) Clustering 등이 있으며, 유전자나 영상처리와 같은 방대한 양의 데이터 분석에 주로 이용되고 있다. 센서 노드의 배치 가능 지점은 무한하기 때문에, 각 데이터의 소속 정도(확률)를 이용하여 보다 정확한 클러스터링을 이룰 수 있는 방법인 FCM 클러스터링을 최적 노드 위치 선정에 적용하였다. 그림 6은 FCM의 개요도를 보여준다.

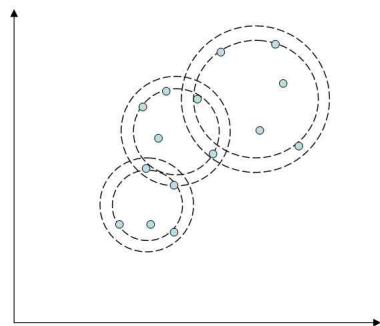


Fig. 6. Fuzzy C-Means(FCM) Clustering  
 그림 6. Fuzzy C-Means(FCM) Clustering 개요도

FCM 클러스터링은 하나의 데이터가 하나의 클러스터가 아닌 여러 개의 클러스터에 속할 가능성을 허

용하는 확률 개념을 도입한 것으로, 목적함수  $J_m$  은 식(3)과 같다.

$$J_m(u, c) = \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^N (u_{ki})^m d^2(x_i, c_k) \quad (3)$$

여기에서  $K$ 와  $N$ 은 데이터 집합에서 클러스터 수와 가능한 노드 배치의 수이고,  $u_{ki}$ 는 0과 1사이의 값으로  $k$ 번째 클러스터에 속해져 있는 노드 위치  $x_i$ 의  $i$ 번째 데이터의 소속 정도를 나타낸다.  $m (\in [1, \infty])$ 은 소속 함수의 퍼지정도(fuzziness)에 대한 영향을 나타내는 지수의 가중(exponential weight)으로  $m = 2$ 인 퍼지정도를 일반적으로 이용하여 클러스터링을 시행한다.  $d^2(x_i, c_k)$ 는 클러스터 중심  $c_k$ 에서 배치 가능한 노드 위치  $x_i$ 사이의 거리이다. 식(4)와 같이 각 데이터로부터 각 클러스터에 대한 소속정도의 합이 1이 되는 확률적 제약조건(probabilistic constraint)이 주어진다.

$$\sum_{k=1}^K u_{ki} = 1 \quad \text{for all } i = 1, \dots, n \quad (4)$$

식(3)의 목적함수  $J_m$ 을 최소화하기 위한 최적화된  $u_{ki}$ 와  $c_k$ 에 대한 식은 (5), (6)과 같다.

$$u_{ki} = \frac{1}{\sum_{a=1}^K \left( \frac{d^2(x_i, c_k)}{d^2(x_i, c_a)} \right)} \quad (5)$$

$$c_k = \left( \sum_{i=1}^N u_{ki}^m x_i \right) / \left( \sum_{i=1}^N u_{ki}^m \right) \quad (6)$$

FCM 알고리즘은 다음과 같이 요약될 수 있다.

- Step 1. 클러스터의 개수  $K$ 를 결정하고 지수의 가중치  $m$ , 임계값  $\epsilon$ 을 결정한다.

Step 2. 식(6)을 이용하여 클러스터의 중심을 계산한다.

Step 3. 식(5)를 이용하여 새로운 소속 함수를 계산한다.

Step 4. 앞의 클러스터 결과와의 차이 값이 임계값  $\epsilon$ 보다 작으면 중지하고, 크면 Step. 2의 과정을 반복 수행하여 최적의 중심 값을 찾아낸다.

### III. 시뮬레이션(Simulation)

본 논문에서는 3가지 유형의 2차원 평면을 모델로 하여 전 대상 지역을 커버할 수 있는 최소 노드 개수와 최적 노드 위치를 도출하였다. 가능한 노드 배치 지점의 데이터는 랜덤으로 생성하였으며, 총 3600개의 데이터를 클러스터링 하였다. 제안한 알고리즘의 플로우 차트(flow chart)는 그림 7과 같다.

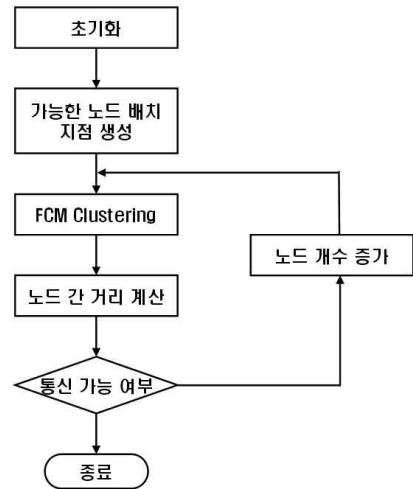


Fig. 7. Simulation flow chart  
그림 7. 제한한 방식의 시뮬레이션 순서도

첫 번째로 6m×10m의 직사각형 형태의 평면 모델로 시뮬레이션을 수행하였다. 이 때 노드의 통신 범위는 반경( $r$ ) 3m로 정의하였고, 랜덤하게 생성된 노드 배치 가능 지점의 데이터를 클러스터링 하여 최적 노드 위치를 찾아내도록 하였다.

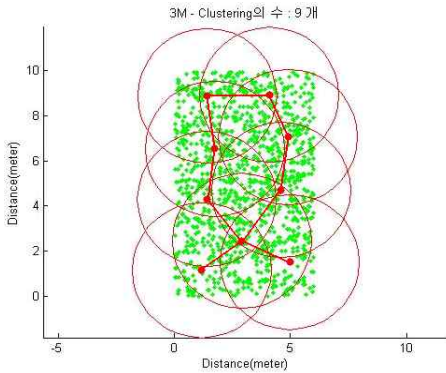


Fig. 8. Simulation :  $r=3m$ , clustering number = 9  
 그림 8. 시뮬레이션 :  $r=3m$ , 클러스터링 수 = 9

Table 1. Simulation result :  $r=3m$   
 표 1. 시뮬레이션 결과 : 노드 반경=3m

클러스터링 수(n)	필수 Hop수 (n-1)	연결된 Hop수		통신확률	
		min	max	min	max
5	4	0	0	0%	0%
6	5	1	3	20%	60%
7	6	3	5	50%	83.3%
8	7	6	7	85.7%	100%
9	8	8	8	100%	100%
10	9	9	9	100%	100%

그림 8에서 작은 점들은 노드 배치가 가능한 지점을 나타낸 것이며, 랜덤으로 생성한 총 3600개의 데이터이다. 큰 점은 작은 점(가능한 노드 배치 지점)들의 클러스터링을 통한 최적의 노드 배치를 도출한 것이고, 큰 원은 각 노드들이 가지는 통신 거리이다. 이때 서로 통신이 가능한 노드들은 연결선으로 표시하였다. 표 1은 클러스터링 수에 따른 시뮬레이션 결과이다. 클러스터링 수가 9개 이상일 때 모든 노드의 연결이 원활한 것을 알 수 있다.

두 번째로 50m×20m의 좀 더 큰 2차원 평면 모델로 시뮬레이션을 수행하였다. 이 때 노드의 통신 범위는 12m로 하였다. 시뮬레이션에 대한 결과는 그림 9와 표 2와 같다. 표 2에서 노드의 수가 9개 이상일 때 전 지역을 커버함을 알 수 있다.

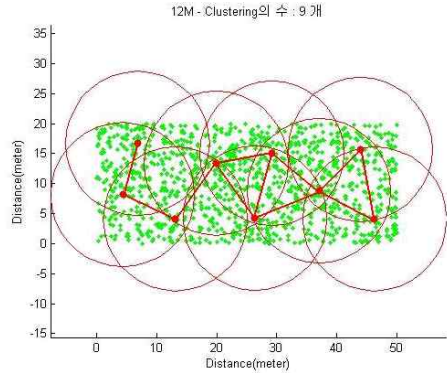


Fig. 9. Simulation :  $r=12m$ , clustering number = 9  
 그림 9. 시뮬레이션 :  $r=12m$ , 클러스터링 수 = 9

Table 2. Simulation result :  $r=12m$   
 표 2. 시뮬레이션 결과 : 노드 반경=12m

클러스터링 수(n)	필수 Hop수 (n-1)	연결된 Hop수		통신확률	
		min	max	min	max
3	2	0	0	0%	0%
4	3	0	1	0%	33.3%
5	4	2	3	50%	75%
6	5	2	4	40%	80%
7	6	3	4	50%	66.7%
8	7	6	7	85.8%	100%
9	8	8	8	100%	100%
10	9	9	9	100%	100%
11	10	10	10	100%	100%

마지막으로 'L'자 형태를 갖는 2차원 평면 모델에서의 시뮬레이션을 수행하였다. 노드의 전송 반경은 20m로 하였다. 시뮬레이션 결과는 그림 10 및 표 3과 같다. 표 3에서 노드의 수가 15개 일 때 원활한 통신이 이루어진다.

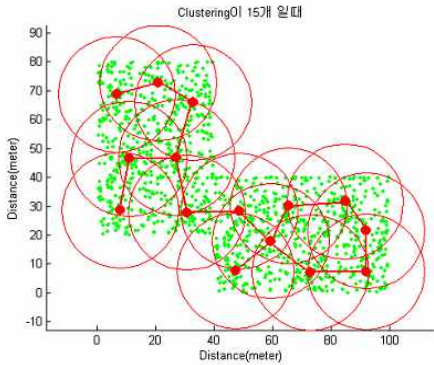


Fig. 10. Simulation :  $r=20m$ , clustering number = 15  
 그림 10. 시뮬레이션 :  $r=20m$ , 클러스터링 수 = 15

Table 3. Simulation result :  $r=20m$   
 표 3. 시뮬레이션 결과 : 노드 반경=20m

클러스터링 수(n)	필수 Hop수 (n-1)	연결된 Hop수		통신확률	
		min	max	min	max
7	6	0	1	0%	16.7%
8	7	1	2	14.3%	28.8%
9	8	1	3	12.5%	37.5%
10	9	1	3	11.1%	33.3%
11	10	1	5	10%	50%
12	11	4	7	36.3%	63.6%
13	12	8	10	66.6%	83.3%
14	13	10	12	76.9%	92.3%
15	14	14	14	100%	100%
16	15	15	15	100%	100%
17	16	16	16	100%	100%
18	17	17	17	100%	100%

#### IV. 실험 및 결과분석

시뮬레이션 결과를 토대로 실제 공간에 노드를 배치하여 실험을 수행하여 보았다. 실험에 사용된 소프트웨어는 TinyOS를 사용하였고, 모듈은 Crossbow사의 Mica2 모듈의 클론 형태로 개발한 TIP30CM을 사용하였다. 그림 11은 실제 실험에 사용한 센서 노드로서 온도, 습도, 조도 센서를 부착하였다. TIP30CM 센서 노드의 3m 거리에서의 전송 특성을 실험한 결과 평균 92% 정확도의 전송률을 확인할 수 있었으며, 본 실험 결과를 토대로 실제 배치 실험에서는 92% 이상의 전송률을 얻었을 시에는 원활한 통신이 가능하다고 판정하였다. 센서 노드 하드웨어의 상세한 스펙은 표 4와 같다.



Fig. 11. TIP30CM sensor node  
 그림 11. TIP30CM 센서 노드

Table 4. TIP30CM hardware specification  
 표 4. TIP30CM 하드웨어 구성

Processor	8bit RISC, 8MHz
Memory	128KB Program Flash
Operating System	TinyOS
Multi-channel Radio	868/916MHz
Data Rate	38Kbaud
Sensor	Temperature, Humidity, Light
Voltage	3.0~3.3V

실험은 각 노드별로 1000개의 데이터를 수신하여 패킷 수신률의 정확도를 측정하였으며, 시뮬레이션을 통하여 구한 그림 8. 9. 10과 표 1, 2, 3과 같은 수의 노드를 같은 장소에 배치하여 수행하였다.

실제 실험 예로서, 그림 12는 그림 10의 시뮬레이션에 대응하는 L 자 형태 지역에 대한 실제 노드 배치된 평면도이다. 시뮬레이션을 통해 산출된 데이터를 기반으로 하여, 같은 장소에 노드를 배치하였고 이에 따라 실험을 수행하였다.

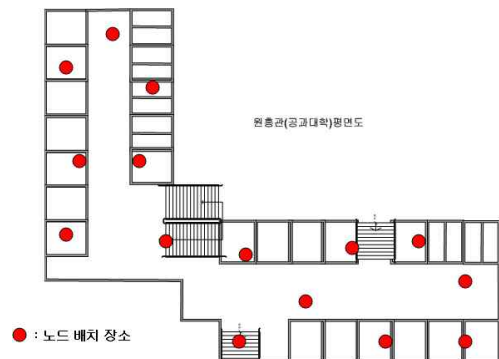


Fig. 12. Real node deployment ( $r=20m$ )  
 그림 12. 실제 노드 배치 ( $r=20m$ )

Table 5. Experiment result ( $r=3m$ )

표 5. 실험 결과 ( $r=3m$ )

클러스터링 수	Receive data / Total data	정확도		
		시뮬레이션		실험
		min	max	
5	0/5000	0%	0%	0%
6	482/6000	20%	60%	8.03%
7	2761/7000	50%	83.3%	39.4%
8	6274/8000	85.7%	100%	78.4%
9	8516/9000	100%	100%	94.6%
10	9684/10000	100%	100%	96.8%

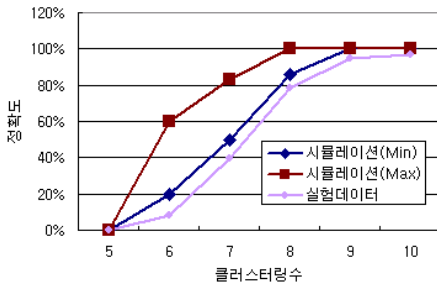


Fig. 13.  $r=3m$ , simulation vs. experiment result

그림 13.  $r=3m$ , 시뮬레이션 & 실험 결과 비교

표 5와 그림 13은 노드 반경 3m의 경우, 6m×10m 지역에서의 시뮬레이션과 실험 결과를 비교한 그래프이다. 실험 결과, 시뮬레이션에서 얻은 결과와 같이 노드의 수가 9개 이상일 경우 통신이 원활하게 이루어지는 것을 알 수 있다. 이 때 정확도는 94.6%로 기준인 92% 보다 높은 측정치를 보였다.

Table 6. Experiment result ( $r=12m$ )

표 6. 실험 결과 ( $r=12m$ )

클러스터링 수	Receive data / Total data	정확도		
		시뮬레이션		실험
		min	max	
3	0/3000	0%	0%	0%
4	241/4000	0%	33.3%	6.0%
5	1752/5000	50%	75%	35.0%
6	2154/6000	40%	80%	35.9%
7	2658/7000	50%	66.7%	38.0%
8	5714/8000	85.8%	100%	71.4%
9	8297/9000	100%	100%	92.2%
10	9468/10000	100%	100%	94.7%
11	10748/11000	100%	100%	97.7%

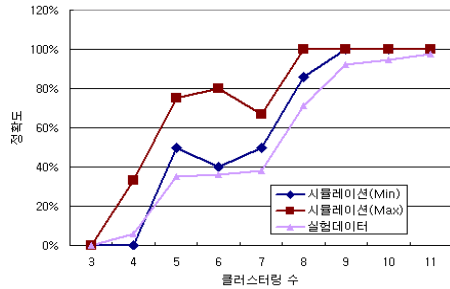


Fig. 14.  $r=12m$ , simulation vs. experiment result

그림 14.  $r=12m$ , 시뮬레이션 & 실험 결과 비교

표 6과 그림 14는 노드반경 12m의 경우, 50m×20m 지역에서의 실험 데이터이다. 시뮬레이션에서 9개 이상의 노드를 배치하였을 때, 원활한 통신이 가능한 것처럼, 실험에서도 마찬가지로 9개 이상의 노드 배치일 때 기준치인 92% 이상의 정확도를 확인할 수 있다.

Table 7. Experiment result ( $r=20m$ )

표 7. 실험 결과 ( $r=20m$ )

클러스터링 수	Receive data / Total data	정확도		
		시뮬레이션		실험
		min	max	
10	215/10000	11.1%	33.3%	2.2%
11	399/11000	10%	50%	3.6%
12	1253/12000	36.3%	63.6%	10.4%
13	8514/13000	66.6%	83.3%	65.5%
14	12092/14000	76.9%	92.3%	86.4%
15	14349/15000	100%	100%	95.7%
16	15416/16000	100%	100%	96.4%
17	16464/17000	100%	100%	96.9%
18	17400/18000	100%	100%	96.7%

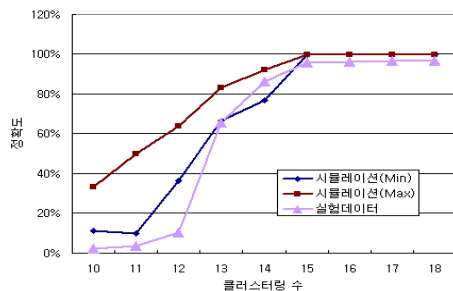


Fig. 15.  $r=20m$ , simulation vs. experiment result

그림 15.  $r=20m$ , 시뮬레이션 & 실험 결과 비교

표 7과 그림 15는 'L'자 형태의 3번째 100m×80m 평면 지역 실험 결과이다. 시뮬레이션의 결과와 같은 15개의 노드를 배치함으로써, 95% 이상의 정확도로 모든 노드의 원활한 통신을 확인할 수 있었다.

### V. 결론 및 향후 연구 과제

본 논문에서는 한정된 지역에서의 경제적인 노드 배치에 관한 문제를 해결하기 위하여 클러스터링의 한 가지 방법인 Fuzzy C-Means 클러스터링을 센서 노드 배치에 적용하여 시뮬레이션과 실험을 수행하였다. 시뮬레이션은 6m×10m, 50m×20m 직사각형 형태와 100m×80m 'L'자 형태의 3개 지역에서 수행되었고, 시뮬레이션과 같은 조건으로 실제 센서 노드를 배치하여 데이터 전송 결과를 비교 분석하였다. 실험 결과 각각의 지역에 대하여 최소 개수인 9개, 9개, 15개의 센서 노드를 배치한 결과 94.6%, 92.2%, 95.7%의 통신 정확도를 얻을 수 있었다. 본 연구를 통하여 지역 형태와 센서 노드의 통신 반경 크기와 관계없이 Fuzzy C-Means 클러스터링 방법을 적용한 최적 노드 배치 시뮬레이션이 실제 센서 노드의 최적화 배치에 활용 될 수 있음을 확인할 수 있었다.

향후 현재의 2차원 평면 모델이 아닌 3차원의 복잡한 기하학적인 측면에 대한 연구와 좀 더 다양한 지형에서의 최적 노드 배치에 관한 연구가 이루어져야 할 것이다.

### 참고문헌

[1] D. Culler, D. Estrin, and M. Srivastava, "Overview of Sensor Networks," IEEE Computer, 37(5), pp. 41-49, 2004.  
 [2] Bezdek. J., "A convergence theorems for the fuzzy ISODATA clustering algorithms," IEEE Trans. on Patt. Anla. and Mach. Intell, vol. PAMI-2, pp 1-8, 1980.  
 [3] W. Heinzelman, A. Chandrakasan, H. Balakrishnan., "Energy-efficient communication protocols for wireless microsensor networks," 33rd International Conference on System Sciences, p3005-3014, 2000.  
 [4] G. Barrenechea, B. Beferull-Lozano, M. Vetterli, "Lattice sensor networks: capacity limits, optimal routing and robustness to failures," IPSN international symposium, pp. 186-195, 2004.  
 [5] M.A.M. Viera et al. "Scheduling nodes in wireless sensor networks: a Voronoi approach," Local

Computer Networks, 2003. LCN'03, pp. 423-429, 2003.

### 저 자 소 개

#### 최 원 갑 (정회원)



2004년 : 동국대학교 전자공학과 졸업 (공학사)  
 2006년 : 동국대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)  
 2006년~현재 : 동국대학교 대학원 전자공학과 (박사과정)

<주관심분야> Wireless sensor network, Ad-hoc network

#### 박 형 무 (정회원)



1978년 : 서울대학교 전자공학과 졸업 (공학사)  
 1980년 : 한국과학기술원 전기및 전자공학과 (공학석사)  
 1984년 : 한국과학기술원 전기및 전자공학과 (공학박사)

1984년~1999년 : 한국전자통신연구원(ETRI)선임연구원, 책임연구원, 반도체연구단장  
 1999년~현재 : 동국대학교 전자공학과 교수

<주관심분야> Wireless sensor network, MMIC, 너파 의공학, 파동생명공학, 지능형센서,