

무선센서 네트워크 성능 향상을 위한 지리정보시스템 기반 탐색 지향적 센서배치 기법

학생회원 김 준 경*, 준회원 오 남 길*, 정회원 김 재 준**, 이 영 무***,
 종신회원 김 훈*, 정회원 정 방 철****

Search-Oriented Deployment Strategies using GIS for Wireless Sensor Networks

June-Kyoung Kim* *Student Member*, Nam-geol O* *Associate Member*,
 Jae Joon Kim**, Young Moo Lee*** *Regular Members*,
 Hoon Kim*° *Lifelong Member*, Bang Chul Jung**** *Regular Member*

요 약

무선 센서 네트워크의 효율적인 설치 및 운용을 위한 네트워크 구축과 관련하여 에너지 소비나, key 관리 기술, 센서배치 등 다양한 부문에서 연구가 진행되고 있으며, 그 중에서도 센서 배치는 시스템 구축비용과 성능에 직접적으로 관련되는 중요한 이슈 중 하나이다. 본 고에서는 센서 네트워크에 요구사항을 만족하면서 센서 네트워크 구축 비용을 절감하는 센서 배치 방안을 제시한다. 센서 배치에 주로 이용되는 담금질 기법(simulated annealing, SA)을 적용하되, 지리정보시스템(graphical information system, GIS)을 활용하여 노드간 연결성(Connectivity)과 센싱 반경(Coverage)을 만족하면서 센서 노드의 수를 최소화하고 이를 초기 센서 배치에 적용한다. 모의실험을 통해 기존 임의 초기 배치 방법에 비해 제안된 방법이 센서의 초기 배치 시 뿐만 아니라 최종 배치 단계에서도 시스템 구축비용을 절감하는 효과를 가짐을 보인다.

Key Words : Simulated Annealing (담금질 기법), Geographic Information System (지리정보 시스템), Optimization (최적화), Sensor Deployment (센서 배치), Sensor Networks (센서 네트워크)

ABSTRACT

Many studies which have been done for efficient installation and management of wireless sensor networks (WSN) include energy savings, key managements and sensor deployments. Sensor deployment problem is one of the most important and fundamental issues among them in that the topic is directly related with the system cost and performance. In this paper, we suggest a sensor deployment scheme that reduces the system cost of WSN while satisfying the fundamental system requirements of connectivity between sensor nodes and sensing coverage. Using graphical information system(GIS) which contains region-dependent information related with connectivity condition, the initial positions of sensors in the procedure simulated annealing (SA) are determined. The GIS information helps in reducing system cost reduction not only at the initial deployment of SA but also at the final deployment of SA which is shown by computer simulations.

* 이 논문은 인천대학교 2009년도 자체연구비와 지식경제부 및 한국 산업기술 평가관리원의 산업원천기술 개발사업연구비[과제번호: 10033822] 지원에 의하여 연구 되었음

* 인천대학교 전자공학과 무선정보전송 연구실(namgeol@incheon.ac.kr, hoon@incheon.ac.kr) (° : 교신저자)

** Georgia Tech. Georgia Electronic Design Center(mr.jaejoonkim@gmail.com)

*** 지식경제부 소프트웨어 진흥과(young lee@paran.com), **** KAIST.IT 융합 연구소(bcjung@kaist.ac.kr)
 논문번호: KICS2009-07-323, 접수일자: 2009년 7월 31일, 최종논문접수일자: 2009년 10월 14일

I. 서 론

무선 센서 네트워크란 각각의 센서 노드를 통해 환경에 대한 정보를 수집하고 센서 간의 무선 통신을 이용하여 희망하는 다른 노드들과 서로 정보를 나눔으로써 하나의 네트워크를 구성하는 것을 말하며 기본적으로 자동화된 원격 정보 수집 및 취합, 관리를 목적으로 한다. 이러한 무선센서 네트워크는 여러 사회적 요구에 의해서 개발 및 연구가 활발히 진행되고 있으며 그 응용분야는 과학적, 군사적, 상업적, 의학적 용도 등으로 다양하다.

이와 같은 센서 네트워크를 효과적으로 구축하기 위해 구축비용, 보안 및 관리기술, 센서의 에너지 소비나, 크기, 배치 등 고려해야할 여러 문제들이 있으며 특히, 센서배치 문제에 관한 연구는 센서노드의 수나 센싱 범위, 통신 능력과 같은 제약된 자원 하에서 네트워크 구축비용을 절감하고 정보전달 기능을 효과적으로 제공한다는 측면에서 중요한 의미를 가진다.

센서배치와 관련된 기존의 연구의 대부분은 네트워크 연결성 (Connectivity)과 센싱 영역(Coverage) 등 순수한 통신 및 센싱 네트워크 기능 관점에서의 요구사항을 만족시키고 개선하기 위한 기법에 대한 것이었다. 이를 위해 기존의 논문들은 센서 배치 문제에 최적화 기법들을 채택 하였으며 그 중에서도 SA (simulated annealing)기법을 사용하여 네트워크 구축비용을 절감하는 방법을 제안하는 논문들이 주를 이룬다^{[4]-[10]}.

SA기법을 이용한 센서 배치에서 초기에 센서를 임의의 배치하고 점진적으로 시스템 비용이 감소하도록 센서 위치를 변경하거나 새로운 센서를 추가 또는 기존 센서를 제거 과정을 반복한다. 일반적으로 초기 센서 배치 시에 임의적인 배치 방법이 이용되어 왔으나, 초기해의 성능에 따라 요구되는 성능을 갖는 해를 도출하는 데 상당한 시간이 소요될 수 있다. 따라서 SA 기법의 개선을 위해 초기 센서 배치 시 시스템 비용을 고려한 효과적인 센서 배치 방법을 적용하는 것이 요구된다.

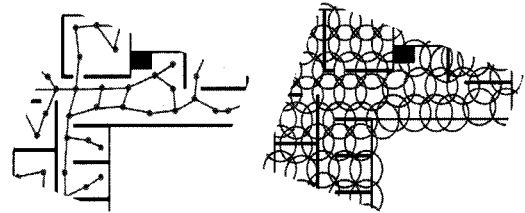
본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 지리 정보 시스템(GIS, geographic information system)을 이용하는 방법을 제안 한다. 제안된 기법에서 먼저 센서의 수량 및 연결성과 센싱 영역 등이 종합적으로 반영된 네트워크 구축 및 운용비용 함수를 도출한다. 다음으로 초기 센서 배치 시에 GIS 정보에 기반 하여 시스템 비용에 관계되는 지역적 차이를 고려한 비용을 절감하는 초기 센서 위치를 결정한다. 또한 모의실

험을 통해 제안된 기법으로 초기 센서노드를 배치하여 SA기법을 적용하는 방법이 기존의 방법에 비해 초기 시스템 비용과 SA 기법 적용 시 동일시간 내 시스템 비용이 개선됨을 보인다.

II. 시스템 시나리오 및 센서 배치문제

2.1 시스템 시나리오

본 논문에서 센서 네트워크를 구축하기 기본적인 요구사항으로 다음과 같은 Connectivity와 Coverage를 고려한다.



(a) connectivity

(b) coverage

그림 1. 센서 네트워크 Connectivity와 Coverage 개념도

• Connectivity

직접 또는 간접적인 방법으로 싱크노드를 포함한 모든 노드들이 네트워크상에서 연결 되어야만 한다. 그림 (a)에서 실선부분이 각 센서노드 간 통신이 가능한 링크를 나타내며 Connectivity가 만족되는 예를 보인다. 송신 센서 i 로부터 수신 센서 j 로의 경로 이득을 L_{ij} 라 하고 수신 전력을 P_{ij} 라 하자. N_0 를 백색잡음에 의한 잡음전력이라 하고 센서 j 에서의 수신신호대 잡음비를 구하면, 다음과 같다.

$$SIR_{ij} = \frac{P_{ij}L_{ij}}{N_0} \geq \eta \quad (1)$$

이때 L_{ij} 가 거리에 따라 지수로 감소하는 모델을 적용하고, 수신신호대 잡음비의 성능이 이상인 조건에 따라 두 센서간 연결조건이 만족되는 거리 d_{ij} 는 다음과 같다.

$$d_{ij} \leq \frac{P_t}{\eta N_0} \quad (2)$$

δ 를 (2)의 우변 $\left(\frac{P_t}{\eta N_0}\right)$ 으로 정의하면,

$$d_{ij} \leq \delta \quad (3)$$

따라서 Connectivity 조건이 (3)으로 표현된다.

• Coverage

표적공간의 어떤 부분도 적어도 하나 이상의 센서노드의 센싱 범위 안에 들어와야 한다. 그림 (b)는 원이 각 센서노드의 센싱 가능한 범위를 나타내며 Coverage가 만족되는 예를 보인다. 본 고에서는 센서의 센싱 범위가 일정한 거리 D_{cov} 라고 가정하고, 반지름이 D_{cov} 인 각 격자 영역(cell)에 최소 하나 이상의 센서가 배치되는 조건을 Coverage 조건으로 한다. cell k에 위치한 센서 수를 n_k 라 하며, 각 cell에서의 Coverage 조건 만족 여부는 다음 식으로 표현된다.

$$n_k \geq 1 \quad (4)$$

그림 2에서 (a)는 Coverage 조건을 만족하는 예이고 (b)는 그렇지 않은 상황의 예를 보인다.

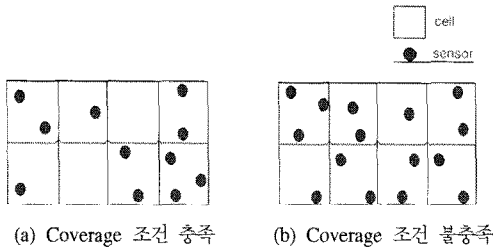


그림 2. 센서 배치에 따른 Coverage 조건의 가부

2.2 센서 배치문제

본 논문에서 센서 배치문제는 Connectivity와 Coverage 조건이 반영된 시스템 비용을 가정하고 이를 최소화 하도록 센서를 배치하는 문제를 고려한다. 시스템 비용에 두 조건 외에 배치되는 센서의 수가 포함될 수 있으며, 이에 따라 전체 시스템 비용 함수 F 가 다음과 같이 표현된다.

$$F = f_{num} + f_{con} + f_{cov} \quad (5)$$

위 식(5)에서 f_{num} 은 센서의 수에 관계되는 함수이며, f_{con} 와 f_{cov} 는 각각 connectivity와 coverage에 관계되는 함수이다. 일반적으로 이들

함수는 시스템 운용 상황에 따라 달리 정해지는데, 시스템 비용이 센서의 개수가 많을수록, connectivity와 coverage 성능이 좋지 않을수록 높게 나타남을 감안하여 f_{num} 은 센서 개수에 단조 증가, f_{con} 과 f_{cov} 는 connectivity와 coverage 각각의 성능에 단조 감소하는 함수를 취할 수 있으며, 본 고에서는 다음과 같이 함수를 고려한다.

$$f_{num} = C_1 \cdot n_{sen} \quad (5-1)$$

$$f_{con} = -C_2 \cdot n_{con} \quad (5-2)$$

$$f_{cov} = -C_3 \cdot n_{cov} \quad (5-3)$$

위 식에서 C_1, C_2, C_3 는 각 함수의 상대적인 비중을 나타내는 상수이며, n_{sen} 는 배치되는 센서의 개수이고, n_{con} 는 connectivity 조건이 만족되는 링크의 개수, n_{cov} 는 coverage조건이 만족되는 cell의 개수이다. 즉, 센서 배치에 따라 시스템 비용이 식(5)에 의해 결정되며 비용을 최소화 하는 배치문제를 고찰 한다.

III. 제안 기법

Connectivity와 Coverage를 만족시킴과 동시에 전체 비용을 최소화 하는 센서배치 알고리즘으로 SA (Simulated Annealing)기법을 채택하고, 지리정보시스템(GIS)을 이용해 얻은 정보를 기반으로 전체의 표적공간에서의 세부적 공간의 특성에 맞도록 센서배치를 달리하는 기법을 제안한다. 먼저 SA기법과 GIS에 대한 설명을 하고, 이어 제안기법을 소개한다.

3.1 관련 알고리즘/기법 소개

3.1.1 SA(Simulated annealing)

SA 기법은 전역 최적화 문제에 대한 일반 적인 확률적 메타 알고리즘으로서 광대한 탐색 공간 안에서, 해를 반복해 개선함으로써 주어진 함수의 전역 최적해에 대한 좋은 근사를 구하는데 활용된다. SA를 센서배치 문제에 적용하기 위해서는 센서 배치 문제를 공식화 하고 그것의 목적함수를 구함에 있어서 현재의 센서배치 해 X에 대해 이웃하는 새로운 해 Y를 얻고 각각의 목적함수를 비교해 시스템 비용이 감소하는 방향으로 결과에 따라 센서를 이동, 추가, 제거 한다. 이러한 과정을 충분히 반복하여 최종적으로 센

서의 최적배치를 달성한다.

3.1.2 GIS (Geographic Information System)

GIS(지리정보 시스템)이란 지리정보를 수집, 저장, 분석, 출력하는데 사용되는 종합적 공간 정보 처리를 위한 컴퓨터 시스템으로서 특정 지역의 전파/간섭 환경 등 지역적 특성화된 정보를 수집, 검색 및 분석하여 자료들을 관리하기 때문에 지리정보를 센서 배치에 활용함에 있어 매우 유용하며 새로운 정보의 추가 및 수정이 용이하여, 각종 분야에서 지리 정보 활용 시 많이 이용되고 있는 시스템이다. 본 고에서는 connectivity 성능과 관계되는 d_{ij} 의 평균값 \bar{d}_k 가 각 cell마다 상이함을 가정한다.

3.2 GIS 정보 이용 센서 배치 기법

(5)의 시스템 비용 함수를 고려하고 센서 노드 간의 connectivity와 표적공간의 coverage를 만족시키는 것에 중점을 두기 위하여 C_1 에 비해 C_2 , C_3 를 상대적으로 크게 설정함을 가정한다. GIS로부터 얻는 정보를 이용하여 connectivity, coverage 조건을 기본적으로 만족할 수 있도록 한다.

connectivity는 GIS로부터 전체 표적공간의 지리정보를 받아 cell k내에서 d_{ij} 평균값 \bar{d}_k 가 주어짐을 가정하고 이에 따라 각각의 cell에 배치되는 센서간 거리가 유지되도록 센서를 배치한다. coverage에 관해서는 기본적으로 각 셀마다 1개 이상의 센서를 배치하도록 하여 센싱 영역을 만족하도록 한다.

각 cell에서 connectivity, coverage 조건을 만족하기 위한 해당 cell에서의 \bar{d}_k 가 모든 d_k 와 같고 하면 각 센서 간 이격거리 d_s 와 인접하는 두 cell의 센서 초기 배치는 다음과 같다.

$$d_s = \begin{cases} \bar{d}_k & , \text{if } \bar{d}_k \leq \sqrt{2} D_{cov} \\ D_{cov} & , \text{otherwise} \end{cases} \quad (6)$$

그림 3에서 (a)의 경우는 센서배치 시에 coverage가 제약되는 조건이고 (b)의 경우는 connectivity가 제약조건이 된다.

본 고에서는 GIS정보를 이용해 센서 초기배치 시 각 cell에서의 \bar{d}_k 와 D_{cov} 을 알고 있음을 가정하고 표적공간의 테두리 영역에 위치된 노드들

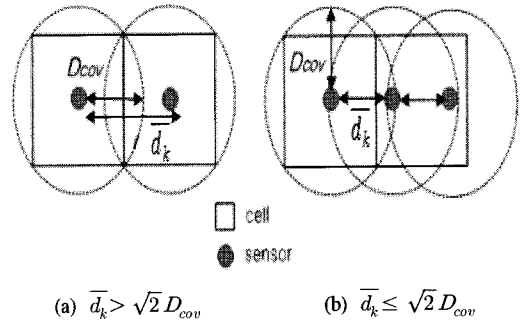


그림 3. 인접 두cell의 센서 초기 배치 예

을 제외한 모든 노드들이 4개의 connectivity를 유지하는 조건을 고려한다. \bar{d}_k 정보를 이용하여 각 cell에서의 노드간 간격이 \bar{d}_k 이하가 되도록 하여 connectivity를 우선적으로 감안하고 노드수를 최소화 하도록 다음 그림과 같이 초기배치 한다.

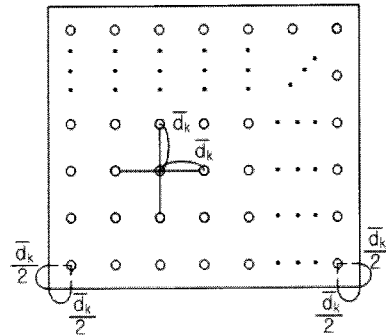


그림 4. 전체영역에서의 센서 초기 배치도 예

```

Input: A threshold Ncon, Ncov, and a set of
fixed nodes F
number of grids n_R, and target area,
connectivity condition di
Output: A figure of initial deployed
sensors F and their 2D
coordinates, and a figure of final
deployed sensors S and
their 2D coordinates (시스템 파라미터 입력)
-----
SA Parameter Setting: the initial
temperature T0, the frozen temperature tf,
the bound on the number of tries cT, the
rates of temperature decreasing at the
growing and
optimization phases ag and ao, and the
maximum moving
distance Dm (SA 파라미터 설정)
-----
                (continued)
    
```

```

1 S ← F and deploy 1 the fixed nodes at the
  corresponding grids
2 t ← T0
3 c ← 0
4 z ← ∞ (초기해 생성 및 반복 파라미터 설정)
-----
5 Let Phase ← Growing Phase
6 while t > tf do
7 S0 ← S
8 if random(0, 1) < 1 - t/T0 then
9 Randomly select a non-fixed node n ∈ S0
10 S0 ← S0 - {n}
11 foreach non-fixed node n ∈ S0 do
12 if random(0, 1) < t/T0 then
13 Randomly change the position of n to
  another grid within distance Dm × t/T0
14 if random(0, 1) < t/T0 then
15 Randomly choose a grid to deploy a new
  node n
16 S0 ← S0 ∪ {n} (비교해 생성 및 반복)
-----
17 z0 ← Evaluate Cost (S0)
18 if z0 < z then S ← S0, z ← z0, c ← 0 else
  c ← c + 1
19 if Phase = Growing Phase and c ≥ cT then
  Phase ← Opt Phase
20 if Phase = Growing Phase then t ← t · ag
  else t ← t · ao (시스템 비용 비교)
-----

```

그림 5. Simulated Annealing 의사코드

전체 cell의 임의의 지점에서 실제 d_{ij} 의 분포는 0부터 $2\bar{d}_k$ 까지 uniform함을 가정한다.

GIS기반의 초기 배치를 바탕으로 센서배치의 개선을 위해 채택된 SA기법을 적용하여 센서배치를 완료한다. SA기법은 시스템 비용을 절감하는 방향으로 센서를 추가, 제거, 이동하는 과정을 일정 횟수 동안 반복하며 이를 위한 종합적인 의사코드는 그림 5와 같다.

IV. 성능 분석

각각의 cell의 채널 환경을 설정함에 있어서 cell에 따라 서로 다른 연결성 \bar{d}_k 을 설정하며, SA의 과정을 이용해 개선된 비용을 얻도록 하였다. SA과정을 위한 시뮬레이션 환경은 표 1과 같다. 센서 배치 영역을 900m²의 정 방향 영역으로 설정하였고 16개의 cell로 분할한다. GIS정보로부터 얻는 다양한 \bar{d}_k 값을 감안하여, 전체 표적 공간에 \bar{d}_k 값을 네 가지 부류로 구별

표 1. 시뮬레이션 환경

| Parameters | Values |
|-----------------|--|
| Number of grids | 16 |
| Ncon | 4 |
| Ncov | 1 |
| Area | 900m ² (30m x 30m) |
| \bar{d}_k | 7.5m, 3.57m, 2.5m, 1.875m (k : Random) |
| max_move | 3m |
| Cost function | C1* num of sensors - C2* num of con - C3* num of cov (C1=1, C2=103, C3=104) |

하여 랜덤하게 각 cell에 고르게 설정되도록 한다. 그림 6은 \bar{d}_k 를 7.5m, 3.57m, 2.5m, 1.875m 등 네 부류로 하고 16개 cell에 평균 \bar{d}_k 를 임의로 설정한 경우 센서 초기 배치의 예를 도시한 것이다. 또한 GIS정보 이용률의 증감에 따른 시스템 성능의 개선 여부와 비용 절감을 확인하기 위하여 \bar{d}_k 분류 개수에 따른 비용 결과 값을 산출하였으며 \bar{d}_k 의 분류 개수를 차등계수 G로 정의한다. SA를 이용한 센서배치 과정에 있어서 센서가 이동할 수 있는 최대 거리 max_move를 3m로 한다. 시스템 비용을 구하는 식에서 connectivity와 coverage의 비중을 상대적으로 크게 하기위해 C_1, C_2, C_3 를 각각 1, 10³, 10⁴으로 설정 한다. 각 센서노드의 connectivity조건으로 전체 센서 배치 영역의 테두리 영역에 위치한 노드들을 제외한 각각의 노드가 4개의 connectivity를 유지하는 조건을 고려하여 N_{con} 을 4로 설정하며 각 cell에 최소 하나 이상의 센서노드가 배치되도록 N_{cov} 을 1로 한다.

4.2 모의실험 결과

4.2.1 GIS정보 기반 초기배치

지리환경과 관련이 있는 임의 지점에서의 d_{ij} 를 다음 (7)과 같이 모델링하며, GIS로부터 \bar{d}_k 를 알 수 있다고 가정한다.

$$d_{ij} = n(2r - 1) + \bar{d}_k, \quad 1 \leq k \leq 16 \quad (7)$$

위 식에서 r은 (0,1)사이의 임의적인 난수를 나타내고 n은 난수가 차지하는 비중, 즉 GIS의 오차크기

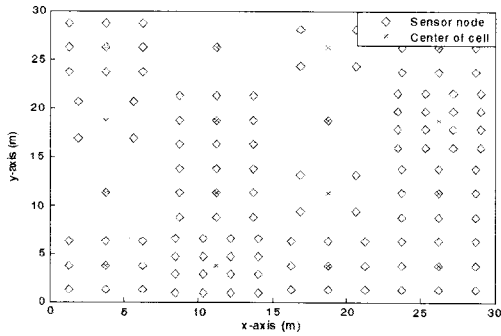


그림 6. GIS기반의 센서 초기 배치도

를 나타낸다.

그림 6은 이를 기반으로 표 1환경 하에서 GIS를 활용한 센서의 초기 배치 결과를 도시한 것으로 \bar{d}_k 를 7.5m, 3.57m, 2.5m, 1.875m 등의 4부류로 구분하여 $\bar{d}_{k1} \sim \bar{d}_{k16}$ 각각의 cell에 랜덤 적으로 고르게 나타낸 그림이다.

4.2.2 초기배치 cost비교

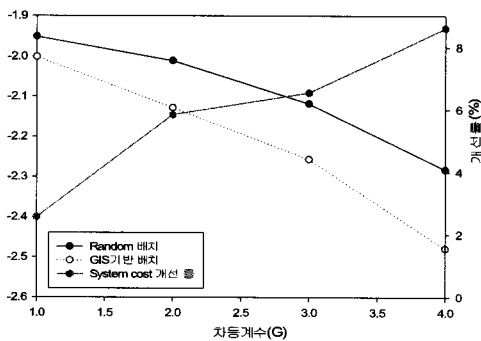


그림 7. G변화에 따른 초기 시스템 비용(n=0)

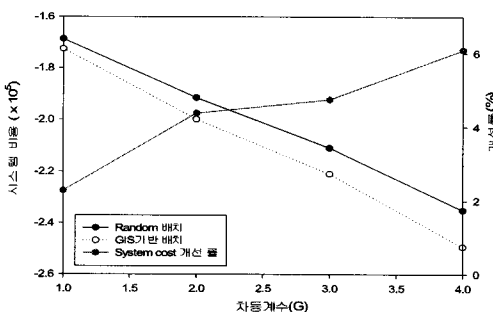


그림 8. G변화에 따른 초기 시스템 비용(n=1)

그림 7, 8은 표적공간상에 일정 개수의 센서를 \bar{d}_k 에 따라 격자마다 개수를 달리하여 균일한 간

격으로 배치한 GIS기반 배치와 특별한 규칙 없이 센서를 무작위로 배치한 Random배치의 경우 차등계수(G)에 따른 초기 시스템 비용과 개선률을 나타낸다. 기존의 Random배치 방법에 의해서 임의로 센서 초기배치를 한 경우의 시스템 비용 대비 GIS정보를 기반으로 하여 센서 초기배치를 한 결과 얻은 시스템 비용이 약 2.2%~8.6%로 개선됨을 알 수 있다. 또한 $n=1$ 에 비해 $n=0$ 인 경우 비용 개선률이 높게 나타난다. 이는 GIS정보의 오차가 커지면 제안기법 성능의 저하를 가져오는 것을 의미한다. 차등계수(G)가 1에서 멀어질수록 \bar{d}_k 값의 분산이 커지고 이에 따라 지리 정보를 이용하는 이득이 작음하여 임의의 Random 배치 대비 제안기법의 성능이 우수하게 된다.

4.2.3 최종배치 cost비교

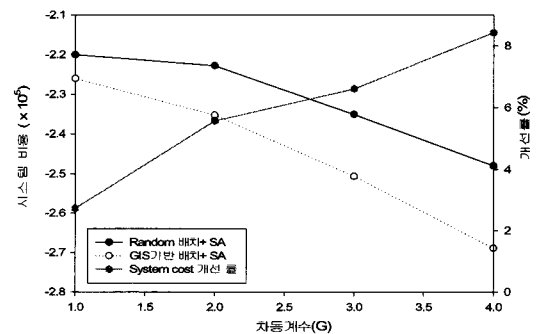


그림 9. G변화에 따른 최종 시스템 비용(n=0)

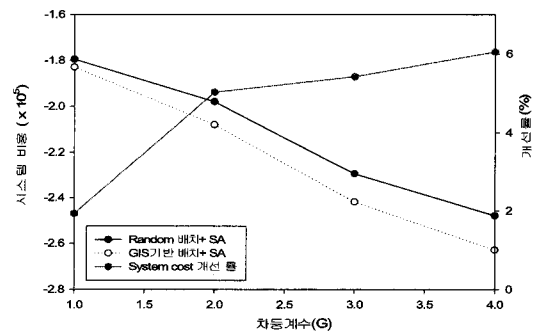


그림 10. G변화에 따른 최종 시스템 비용(n=1)

그림 9, 10은 기존기법과 제안기법에 따라 센서 초기배치 후 SA알고리즘을 적용하여 센서 재배치를 일정시간동안 반복하고 얻은 최종해에 대한 시스템 비용을 도시한다. 제안기법으로 최종적인 센서 네트워크의 시스템 비용이 크게는

8.4%에서 적게는 1.9%내외로 개선됨을 알 수 있다. 초기배치 cost비교와 마찬가지로 최종에서도 G값 상승에 따라 제안기법의 개선률이 더 좋아지는 것과 GIS의 오차유무가 시스템 최종 비용의 개선률 증감에도 영향을 주는 것을 알 수 있다.

V. 결 론

무선 센서 네트워크 구축 시 센서 배치문제는 시스템 구축비용과 성능에 직접적으로 관련하는 중요한 부분이다. 본 고에서는 Connectivity와 Coverage라는 두 가지 요구사항을 고려한 센서 네트워크 배치문제를 구성하고 GIS에 기반 하여 시스템 비용을 최소화하는 기법을 제안 하였다. 또한 SA를 활용한 센서배치의 성능 개선이 있음을 보였다. GIS로부터 효율적인 센서 배치에 필요한 정보를 얻어 SA알고리즘에서 개선된 초기 배치해를 구하고 최종해 또한 개선된 결과를 얻는다. 모의실험을 통해 기존의 임의 초기 배치 방법에 비해 제안된 방법이 센서의 초기 배치 시 뿐만 아니라 최종 배치 단계에서도 시스템 구축비용을 절감하는 효과를 가짐을 확인하였다. 향후 연구로 실제 환경에서 수집된 GIS데이터를 직접 활용한 성능 분석과 개선방안에 대해 고려한다.

참 고 문 헌

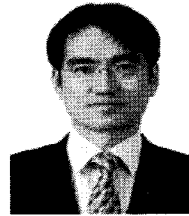
- [1] http://en.wikipedia.org/wiki/Simulated_annealing
- [2] <http://cafe.naver.com/matlablove>
- [3] Peter J. M. Laarhoven, Emile H. L. Aarts , "Simulated annealing: theory and applications", Springer, 1987
- [4] Jiun-Jian Chang, Pi-Cheng Hsiu, and Tei-Wei K, "Search-Oriented Deployment Strategies for Wireless Sensor Networks", 10th IEEE International Symposium on Object and Component-Oriented Real-Time Distributed Computing (ISORC'07), pp. 164-171, 2007
- [5] PL Chiu, FYS Lin, "A simulated annealing algorithm to support the sensor placement for target location", IEEE, Electrical and Computer Engineering, pp. 867-870 Vol. 2, 2004
- [6] S. Kirkpatrick, C. D. Gelatt, M. P. Vecchi , "Optimization by Simulated Annealing", Science, New Series, Vol. 220, No. 4598, pp. 671-680, May 13. 1983
- [7] S. Kirkpatrick, "Optimization by Simulated Annealing: Quantitative Studies", Journal of Statistical Physics 34, pp. 975-986, 1984
- [8] Y. S. Lin and P. L. Chiu, "A simulated annealing algorithm for energy-efficient sensor network design" In Proc. of the WiOpt, pp. 183-189, 2005
- [9] Ihor O. Bohachevsky, Mark E. Johnson, and Myron L. Stein, "Generalized Simulated Annealing for Function Optimization", Technometrics, Vol. 28, No. 3, August. 1986
- [10] A. Corana, M. Marchesi, C. Martini, and S. Ridella, Minimizing multimodal functions of continuous variables with the "simulated annealing algorithm", ACM Transactions, Mathematical Software 13, pp. 262-280, 1987
- [11] H. Campbell, "How effective are GIS in practice? A case study of British local government" Int.J. Geogr. Information Sys. 8, 309-325, 1994
- [12] SS Nath, JP Bolte, LG Ross, J Aguilar-Manjarrez, "Applications of geographical information systems (GIS) for spatial decision support in aquaculture", Aquacultural Engineering, Volume 23, Issues 1-3, Pages 233-278, September 2000
- [13] B. Cao, M. Sun, C. Macleod, "Applying GIS and Combinatorial Optimization to Fiber Deployment Plans", Journal of Heuristics, Volume 5, Number 4, pp. 1381-1231, 1999
- [14] A. Stewart Fotheringham, Peter Rogerson, National Center for Geographic Information & Analysis (U.S.), "Spatial analysis and GIS ", CRC Press, 1994

김 준 경 (June-Kyoung K) 학생회원



2003년 2월~현재 인천대학교
전자 공학과 학사과정
<관심분야> 차세대 이동통신
시스템, 센서네트워크

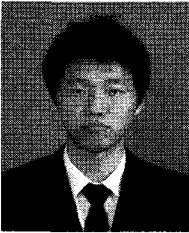
이 영 무 (Young Moo Lee) 정회원



1995년 2월 KAIST 전기 및
전자공학과 학사
1996년 8월 KAIST 전기 및
전자공학과 석사
2000년 8월 KAIST 전기 및
전자공학과 박사
2000년~2004년 KT 책임연구원

2004년~2008년 정보통신부 사무관
2008년~현재 지식경제부 사무관
<관심분야> 센서네트워크, 차세대 이동통신 시스템,
모델링 & 시뮬레이션

오 남 길 (Nam-geol O) 준회원



2009년 2월 인천대학교 전자공
학과 졸업
2009년 2월~현재 인천대학교
전자공학과 석사과정
<관심분야> 차세대 이동통신시
스템, 팜토셀 네트워크, 센서
네트워크

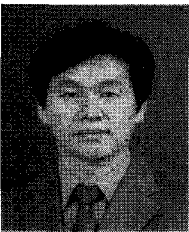
김 훈 (Hoon Kim) 종신회원



1998년 2월 KAIST 전기 및
전자공학과 졸업
1999년 2월 ICU 공학부 석사
2004년 2월 ICU 공학부 박사
1998년~20001년 ETRI 위촉연
구원
2004년~2005년 삼성종합기술
원 책임연구원

2005년~2007년 정보통신부 사무관
2007년~2008년 Stanford Univ. 박사후연구원
2008년~현재 인천대학교 전임 강사
<관심분야> 센서네트워크, 차세대 이동통신 시스템,
팜토셀 네트워크, 무선자원관리

김 재 준 (Jae Joon Kim) 정회원



1996년 2월 한양대 전자공학과
졸업
1998년 2월 KAIST 전기 및
전자공학과 석사
2003년 2월 KAIST 전자전산학
과 박사
2001년~2002년 Berkana

Wireless(현 Qualcomm), Design Engineer
2003년~2005년 Hynix(현 Magnachip) 선임연구원
2005년~현재 지식경제부(구 정보통신부) 사무관
2009년~현재 Georgia Institute of Technology,
Senior Research Engineer
<관심분야> 센서네트워크, 차세대 통신시스템, IT기
반 융합 시스템, 바이오센서 시스템, 무선전력 전
송시스템

정 방 철 (Bang Chul Jung) 정회원



2002년 2월 아주대학교 전자공
학부 공학사
2004년 8월 한국과학기술원 전
기및전자공학과 공학석사
2008년 2월 한국과학기술원 전
자전산학과 박사
2008년 2월~2009년 8월

KAIST IT 융합연구소 팀장
2009년 9월~현재 KAIST IT 융합연구소 연구교수
<관심분야> Sensor Network, Cognitive Radio
Network, Compressed Sensing, Interference
Alignment, Radio Resource Management