



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2013-0102242
(43) 공개일자 2013년09월17일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H04W 16/18 (2009.01) H04W 84/18 (2009.01)
(21) 출원번호 10-2012-0023322
(22) 출원일자 2012년03월07일
심사청구일자 2012년03월07일

(71) 출원인
한국과학기술원
대전광역시 유성구 대학로 291(구성동)
인천대학교 산학협력단
인천광역시 연수구 아카데미로 119, 11호 12 (송
도동)
(72) 발명자
김훈
인천광역시 연수구 송도동 9-5 송도웰카운티 4단
지 406동 802호
최윤범
경기도 부천시 원미구 원미1동 두산아파트 106동
2004호
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
특허법인무한

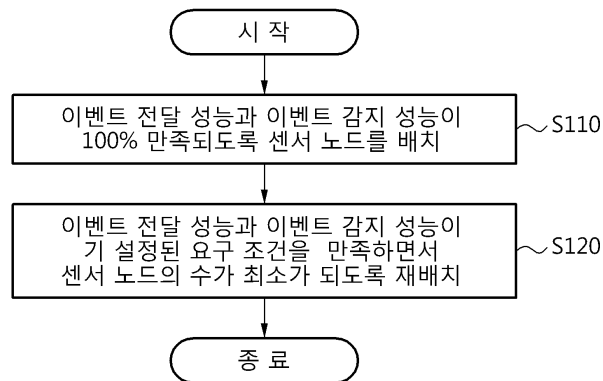
전체 청구항 수 : 총 6 항

(54) 발명의 명칭 대규모 센서 네트워크를 위한 이벤트 감지 성능 보장 최적 센서 노드 배치 방법

(57) 요약

센서 노드 배치 방법이 개시된다. 센서 네트워크를 구성하기 위하여 센서 노드를 배치하는 방법은 각 센서 노드의 이벤트 전달 성능과 이벤트 감지 성능이 100% 만족되도록 상기 센서 네트워크가 구성될 영역의 GIS(Geographic Information System) 정보를 기초로 상기 센서 노드를 배치하는 단계 및 상기 이벤트 전달 성능과 이벤트 감지 성능이 기 설정된 요구 성능을 유지하면서 상기 영역에 배치되는 센서 노드의 개수가 최소화 되도록 시스템 비용 함수를 이용한 SA(Simulated Annealing) 기법을 기초로 상기 배치된 센서 노드를 재배포하는 단계를 포함할 수 있다.

대표도 - 도1



(72) 발명자

이호원

대전광역시 유성구 어은동 한빛아파트 126동 904호

이수빈

대전광역시 유성구 어은동 한빛아파트 127동 1306호

함명원

대전광역시 서구 만년동 389번지 리체스오피스텔 202호

박준영

서울특별시 서초구 서초2동 우성아파트 502동 202호

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 10033822

부처명 지식경제부

연구사업명 산업원천기술개발사업

연구과제명 대규모 지능형 협업 무인 감시 시스템 운영 프레임워크 기술

주관기관 한국과학기술원

연구기간 2009.06.01 ~ 2014.05.31

특허청구의 범위

청구항 1

센서 네트워크를 구성하기 위하여 센서 노드를 배치하는 방법에 있어서,
 각 센서 노드의 이벤트 전달 성능과 이벤트 감지 성능이 만족되도록 상기 센서 네트워크가 구성될 영역의 GIS(Geographic Information System) 정보를 기초로 상기 센서 노드를 배치하는 단계; 및
 상기 이벤트 전달 성능과 이벤트 감지 성능이 기 설정된 요구 성능을 유지하면서 상기 영역에 배치되는 센서 노드의 개수가 최소화 되도록 시스템 비용 함수를 이용한 SA(Simulated Annealing) 기법을 기초로 상기 배치된 센서 노드를 재배치하는 단계
 를 포함하는 센서 노드 배치 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,
 상기 배치하는 단계는,
 상기 GIS 정보를 기초로 상기 영역 내에서 센서 노드 간 이격 거리가 상기 센서 노드의 평균 최대 통신거리 이하가 되도록 유지하고, 상기 센서 노드의 센싱 반경이 상기 영역 전체를 커버하도록 배치하는 단계인 것을 특징으로 하는 센서 노드 배치 방법.

청구항 3

제1항에 있어서,
 상기 배치하는 단계는,
 다음의 수학적식을 기초로 상기 센서 노드 간 이격 거리를 결정하고, 상기 결정된 이격 거리에 따라 상기 센서 노드를 배치하는 단계인 것을 특징으로 하는 센서 노드 배치 방법.

$$d_s = \begin{cases} \overline{d_{con}}, & \text{if } \overline{d_{con}} \leq \overline{d_{cov}} \\ \overline{d_{cov}}, & \text{otherwise} \end{cases}$$

여기서, d_s 는 센서 노드 간 이격 거리, $\overline{d_{cov}}$ 는 센서 노드의 센싱 반경, $\overline{d_{con}}$ 는 센서 네트워크를 구성할 영역에서 센서 노드의 평균 최대 통신 거리를 각각 나타냄.

청구항 4

제1항에 있어서,
 상기 시스템 비용 함수는,
 다음의 수학적식을 만족하는 것을 특징으로 하는 센서 노드 배치 방법.

$$F = C_{sen}f_{sen} + C_{con}f_{con} + C_{det}f_{det}$$

여기서, C_{sen} , C_{con} , C_{det} 는 센서 노드의 개수, 이벤트 전달 성능 및 이벤트 감지 성능에 관한 상대적인 비중을 나타내는 가중치 상수, f_{sen} , f_{con} , f_{det} 는 각각 배치되는 센서 노드의 개수, 이벤트 전달 성능 및 이벤트 감지 성능에 관계되는 함수, F 는 현재 구축된 센서 네트워크의 성능을 나타냄.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 재배치하는 단계는,

상기 시스템 비용 함수가 최소가 되도록 상기 SA 기법을 이용하여 상기 센서 노드의 추가, 제거 및 이동 중 적어도 하나를 반복 수행함으로써 상기 센서 노드를 재배치하는 단계인 것을 특징으로 하는 센서 노드 배치 방법.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 배치하는 단계는,

상기 각 센서 노드의 이벤트 전달 성능과 이벤트 감지 성능이 100% 만족되도록 배치하는 단계이고,

상기 재배치하는 단계는,

상기 이벤트 전달 성능과 이벤트 감지 성능이 사용자에게 의해 설정된 요구 성능을 유지하면서 상기 영역에 배치되는 센서 노드의 개수가 최소화 되도록 상기 센서 노드를 재배치하는 단계인 것을 특징으로 하는 센서 노드 배치 방법.

명세서

기술분야

[0001] 본 발명의 실시예들은 대규모 센서 네트워크를 구축 시 이벤트 감지 성능을 보장하면서 최적의 위치에 센서 노드를 배치하는 대규모 센서 네트워크를 위한 이벤트 감지 성능 보장 최적 센서 노드 배치 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 무선 센서 네트워크(WSN: Wireless Sensor Network)는 컴퓨팅 능력과 무선통신 능력을 갖춘 무선 센서 노드가 네트워크를 형성하고, 서로 간에 획득한 센싱 정보를 송수신하여 원격지에서 감시/제어 용도로 활용할 수 있는 기술을 말한다. 최근 기술의 발달로 인하여 센서 노드가 점점 소형화가 되어가는 한편, 저렴한 센서 노드의 보급이 확대되어 가면서 무선 센서 노드를 이용한 새로운 응용분야가 등장하였고, 이와 같은 환경에서 WSN 구축 범위가 점차 대규모 영역으로 확대되어 가고 있다.

[0003] 이와 같이 점차 대규모 영역으로 확대되고 있는 WSN을 효과적으로 제공하기 위해서는 센서 노드 배치, 보안 및 관리기술, 센서의 에너지 소비 등 고려해야 할 문제들이 많으나, 특히 센서 노드 배치는 이벤트 전달 및 감지 성능에 대한 요구조건을 만족하면서 네트워크 구축 비용(센서 개수)을 절감하는 문제에서 중요한 의미를 갖는다.

[0004] 일반적으로 센서 네트워크의 이벤트 전달 및 감지 성능을 유지하면서 네트워크 구축 비용의 최소화를 위한 센서 배치하는 한번에 직접적으로 구하기 어렵다. 이에 따라 센서 배치를 반복적으로 수행함으로써 네트워크의 성능을 증가시키고 네트워크 구축 비용을 최소화하는 방법이 주로 연구되어 왔다.

[0005] 일 예로, Frank Y.S. Lin and P.L. Chiu, "A Nearoptimal Sensor Placement Algorithm to Achieve Complete Coverage/Discrimination in Sensor Networks", IEEE Communications Letters, vol. 9, no. 1, January 2005, pp 43-45. 에서는 센서를 동일 간격으로 균일하게 초기 배치하고, 센서 개수, 이벤트 전달 및 감지 기능과 관련된 시스템 비용 함수를 정하고 이를 감소되도록 재배치하는 기법을 제안하였다. 그러나 균일한 초기 배치는 반복적 재배치를 통해 궁극적으로 센서 네트워크의 성능을 개선하는 최적해를 도출할 수 있지만, 지역적 상이한 특성을 초기에 반영하지 않음으로 인해 일반적으로 최적해에 도달되는 시간이 오래 걸리게 되는 문제점이 있다.

[0006] 한편, JK Kim, NG O, JJ Kim, YM Lee, H Kim and BC Jung, "Search-Oriented Deployment Strategies using GIS for Wireless Sensor Networks", Korea Information and Communications Society, vol. 34, No.10, pp. 973-980, Oct 2009. 에서는 이와 같은 문제를 해결하고자 지역적 전파환경 차를 고려하여 센서간 연결성을 만족하는 최소 통신간격을 도출하여 초기 배치에 반영하는 방법을 제안하였다. 이 기법은 기존의 균일한 초기 배치에 비해 개선된 초기 센서 배치해를 얻고, 최적해를 얻는데 소요되는 시간의 단축이 가능하게 되었다.

[0007] 그러나, 이와 같은 방법들은 센서 네트워크를 구축할 전체 영역에서 이벤트 전달 및 감지 성능이 100% 만족되는

것을 전제로 하는 것으로, 센서 네트워크에서 일반적으로 요구되는 성능을 반영하기가 어렵다.

[0008] 따라서, 보다 보편적인 이벤트 전달 및 감지 성능에 대한 요구 사항을 만족하면서 센서 네트워크 구축 비용을 절감할 수 있는 방법이 요구되고 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0009] 이벤트 전달 성능 및 이벤트 감지 성능에 대한 일반적인 요구사항을 반영할 수 있으면서 보다 빠른 시간에 최적해를 얻을 수 있는 센서 노드 배치 방법이 제공된다.

과제의 해결 수단

[0010] 센서 네트워크를 구성하기 위하여 센서 노드를 배치하는 방법은 각 센서 노드의 이벤트 전달 성능과 이벤트 감지 성능이 100% 만족되도록 상기 센서 네트워크가 구성될 영역의 GIS(Geographic Information System) 정보를 기초로 상기 센서 노드를 배치하는 단계 및 상기 이벤트 전달 성능과 이벤트 감지 성능이 기 설정된 요구 성능을 유지하면서 상기 영역에 배치되는 센서 노드의 개수가 최소화 되도록 시스템 비용 함수를 이용한 SA(Simulated Annealing) 기법을 기초로 상기 배치된 센서 노드를 재배치하는 단계를 포함할 수 있다.

[0011] 일측에 따르면, 상기 배치하는 단계는 상기 GIS 정보를 기초로 상기 영역 내에서 센서 노드 간 이격 거리가 상기 센서 노드의 평균 최대 통신거리 이하가 되도록 유지하고, 상기 센서 노드의 센싱 반경이 상기 영역 전체를 커버하도록 배치하는 단계일 수 있다.

[0012] 다른 측면에 따르면, 상기 배치하는 단계는 다음의 수학적식을 기초로 상기 센서 노드 간 이격 거리를 결정하고, 상기 결정된 이격 거리에 따라 상기 센서 노드를 배치하는 단계일 수 있다.

$$d_s = \begin{cases} \overline{d_{con}}, & \text{if } \overline{d_{con}} \leq \overline{d_{cov}} \\ \overline{d_{cov}}, & \text{otherwise} \end{cases}$$

[0014] 여기서, d_s 는 센서 노드 간 이격 거리, $\overline{d_{cov}}$ 는 센서 노드의 센싱 반경, $\overline{d_{con}}$ 는 센서 네트워크를 구성할 영역에서 센서 노드의 평균 최대 통신 거리를 각각 나타냄.

[0015] 또 다른 측면에 따르면, 상기 시스템 비용 함수는 다음의 수학적식을 만족할 수 있다.

$$F = C_{sen}f_{sen} + C_{con}f_{con} + C_{det}f_{det}$$

[0017] 여기서, C_{sen} , C_{con} , C_{det} 는 센서 노드의 개수, 이벤트 전달 성능 및 이벤트 감지 성능에 관한 상대적인 비중을 나타내는 가중치 상수, f_{sen} , f_{con} , f_{det} 는 각각 배치되는 센서 노드의 개수, 이벤트 전달 성능 및 이벤트 감지 성능에 관계되는 함수, F 는 현재 구축된 센서 네트워크의 성능을 나타냄.

[0018] 또 다른 측면에 따르면, 상기 재배치하는 단계는 상기 시스템 비용 함수가 최소가 되도록 상기 SA 기법을 이용하여 상기 센서 노드의 추가, 제거 및 이동 중 적어도 하나를 반복 수행함으로써 상기 센서 노드를 재배치하는 단계일 수 있다.

[0019] 또 다른 측면에 따르면, 상기 배치하는 단계는 상기 각 센서 노드의 이벤트 전달 성능과 이벤트 감지 성능이 100% 만족되도록 배치하는 단계이고, 상기 재배치하는 단계는 상기 이벤트 전달 성능과 이벤트 감지 성능이 사용자에 의해 설정된 요구 성능을 유지하면서 상기 영역에 배치되는 센서 노드의 개수가 최소화 되도록 상기 센서 노드를 재배치하는 단계일 수 있다.

발명의 효과

[0020] 상기 센서 네트워크가 구성될 영역의 GIS(Geographic Information System) 정보를 기초로 센서 노드를

배치하고, 센서 네트워크의 이벤트 전달 성능과 이벤트 감지 성능이 기 설정된 요구 성능을 유지하면서 센서 노드의 개수가 최소화 되도록 시스템 비용 함수를 이용한 SA(Simulated Annealing) 기법을 기초로 센서 노드를 재배치함으로써 이벤트 전달 성능 및 이벤트 감지 성능에 대한 일반적인 요구사항을 반영할 수 있으면서 보다 빠른 시간에 센서를 배치할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0021] 도 1은 본 발명의 일실시예에 있어서, 센서 노드 배치 방법을 나타내는 순서도이다.
- 도 2는 본 발명의 일실시예에 있어서, SA 기법의 의사 코드를 나타내는 도면이다.
- 도 3은 본 발명의 일실시예에 있어서, SA 재반복 횟수에 따른 시스템 비용을 나타내는 그래프이다.
- 도 4는 본 발명의 일실시예에 있어서, SA 재반복 횟수에 따른 시스템 비용과 기존 센서 노드 배치 비용을 나타내는 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0022] 이하, 본 발명의 실시예를 첨부된 도면을 참조하여 상세하게 설명한다.
- [0023] 도 1은 본 발명의 일실시예에 있어서, 센서 노드 배치 방법을 나타내는 순서도이다.
- [0024] 도면을 참조하면, 본 발명에 따른 센서 노드 배치 방법은 각 센서 노드의 이벤트 전달 성능과 이벤트 감지 성능이 만족되도록 센서 네트워크가 구성될 영역의 GIS(Geographic Information System) 정보를 기초로 센서 노드를 배치한다(S110).
- [0025] 상술하면, 본 발명에 따른 센서 노드 배치 방법은 최적의 센서 노드 배치를 위한 초기 배치로서 GIS 정보를 기초로 전체 영역 내에서 센서 노드 간 이격 거리가 센서 노드의 평균 최대 통신거리 이하가 되도록 유지하고 상기 센서 노드의 센싱 반경이 전체 영역을 커버하도록 배치한다.
- [0026] 그리고, 상기 이벤트 전달 성능과 이벤트 감지 성능이 기 설정된 요구 성능을 유지하면서 상기 영역에 배치되는 센서 노드의 개수가 최소화 되도록 시스템 비용 함수를 이용한 SA(Simulated Annealing) 기법을 기초로 센서 노드를 재배치한다(S120).
- [0027] 즉, 본 발명에 따른 센서 노드 배치 방법은 이벤트 전달 성능과 이벤트 감지 성능을 고려하여 센서 네트워크에 일반적으로 요구되는 성능을 만족하면서 최적의 위치에 최소의 센서 노드가 배치될 수 있도록 한다.

이벤트 전달 성능

- [0029] 송신 센서 i 로부터 수신 센서 j 로의 경로 이득을 L_{ij} , 수신 전력을 P_{ij} , 백색잡음에 의한 잡음전력을 N_0 라 할 경우, 센서 i 에서의 수신신호대 잡음비(SIR_{ij})는 다음의 수학식 1과 같다.

수학식 1

$$SIR_{ij} = \frac{P_{ij}L_{ij}}{N_0} \geq \eta$$

- [0031] 이때 L_{ij} 가 거리에 따라 지수로 감소하는 모델을 적용하고, 수신신호대 잡음비의 성능이 이상인 조건에 따라 두 센서간 연결조건이 만족되는 거리 d_{ij} 는 다음의 수학식 2와 같다.

수학식 2

$$d_{ij} \leq \frac{P_t}{\eta N_0}$$

[0032]

δ 를 $\left(\frac{P_t}{\eta N_0} \right)$ 으로 정의하여 치환하면, 수학식 2는 다음의 수학식 3과 같이 정리된다.

[0033]

수학식 3

$$d_{ij} \leq \delta$$

[0034]

수학식 3에서 δ 는 백색잡음밀도, 요구 수신신호대잡음비, 경로감쇄 등 지역적 환경에 따라 지역별로 상이할 수 있다.

[0035]

본 발명에서는 정보 전달을 위해서 최소 2개 이상의 센서가 d_{ij} 이하의 간격을 유지해야 함을 가정하며, 이를 만족하는 센서는 이벤트 전달 조건을 만족한다고 가정하고, 전체 센서 개수 대비 이벤트 전달 조건을 만족한 센서 개수의 비율을 이벤트 전달 성능인 P_{con} 로 정의된다.

[0036]

본 발명에서는 이벤트 전달 성능(P_{con})이 일정 요구조건 이상을 만족해야 한다.

[0037]

이벤트 감지 성능

[0038]

본 발명에서 고려하는 이벤트 감지 성능은 전체 네트워크 영역에서 이벤트가 평균적으로 감지되는 확률(평균 이벤트 감지율)을 의미한다. 이러한 이벤트 감지 성능은 센서에 의해서 커버되는 영역에서 일어날 수 있는 이벤트 발생확률을 감안하여 구한다. 영역 i 에서 센서에 의해 커버되는 비율을 c_i 라고 하고, 이벤트 발생 확률을 e_i 라고 정의하면, 이벤트 감지 성능인 P_{det} 는 다음의 수학식 4를 통해 구할 수 있으며, 이 때 모든 영역에서의 이벤트 발생 확률의 합은 100%로 정의될 수 있다.

[0039]

수학식 4

$$P_{det} = \sum_i c_i \times e_i$$

$$s.t \sum_i e_i = 100\%$$

[0040]

[0041] 본 발명에서는 이와 같은 이벤트 감지 성능이 일정 요구조건 이상을 만족해야 한다.

[0042] 본 발명에 따른 센서 노드 최적 배치 방법은 상술한 바와 같은 이벤트 전달 성능 및 이벤트 감지 성능에 관한 센서 네트워크의 요구 성능을 만족시키면서 비용 효율적인 센서 배치 문제를 고려한다. 이를 위해 정보 전송을 위한 이벤트 전달 성능과 이벤트 감지 성능의 사용자 요구치를 만족하는 센서 배치를 위해서 영역별 상이한 이벤트 발생 확률을 고려해서 전체 영역을 커버하도록 센서 배치를 하고, 동시에 센서 개수(N_s)가 최소가 되도록 하는 센서 배치 문제를 다음의 수학적 식 5와 같이 제시한다.

수학적 식 5

$$\text{Min } N_s$$

$$\begin{aligned} s.t. \quad & P_{con} \geq x \text{ (전달 조건)} \\ & P_{det} \geq y \text{ (감지 조건)} \end{aligned}$$

[0043]

[0044] 이와 같은 센서 배치 문제를 해결하기 위해서 효과적인 초기배치 이후에 센서 배치 개수와 이벤트 전달 성능과 이벤트 감지 성능을 반영하는 시스템 비용 함수를 제시한다. 그리고 SA(Simulated Annealing) 기법을 사용하여 센서 개수의 최소화 및 성능 요구조건을 만족하는 수학적 식 5의 문제를 해결한다.

[0045] 일반적으로 센서 네트워크의 특정 이벤트 전달 및 감지 성능을 유지하면서 네트워크 구축 비용을 최소화하는 센서의 배치 위치를 한번에 직접적으로 구하기 어려운 것으로 인식되고 있다. 이에 따라 본 발명에서는 비교적 배치가 용이한 이벤트 전달 성능 및 이벤트 감지 성능을 100% 만족하는 센서 초기 배치 이후에, 센서의 개수와 네트워크 성능으로 구성된 시스템 비용 함수를 이용해서 이벤트 전달 성능 및 이벤트 감지 성능을 만족하는 동시에 센서 개수를 최소화하는 센서 배치 방법을 제안한다.

[0046] 센서 초기 배치

[0047] 센서 초기 배치 시에는 전체 네트워크의 상이한 지리적 정보를 이용해서 이벤트 전달 성능과 이벤트 감지 성능을 동시에 모두 만족할 수 있도록 센서를 배치한다.

[0048] 이벤트 전달조건을 만족하는 배치를 위해 정방형 셀($k \times k$)을 고려하며, GIS 정보를 기초로 센서간 최대 통신거리에 대한 정보(d_{ij})를 이용해서 셀 k 내에서 각 셀의 센서 간 간격이 평균값인 $\overline{d_{con}}$ 이하가 유지되도록 센서를 배치한다.

[0049] 그리고 이벤트 감지 조건을 만족하는 배치를 위해서 센서의 센싱반경인 $\overline{d_{cov}}$ 로 커버 가능한 최대 정방형 셀 ($j \times j$)을 고려하여서 전체 영역을 커버하도록 배치한다.

[0050] 이와 같은 방법을 이용해서 이벤트 전달 및 감지 성능을 동시에 만족하기 위한 센서 간 이격거리 d_s 는 다음의 수학적 식 6과 같다.

수학식 6

$$d_s = \begin{cases} \overline{d_{con}}, & \text{if } \overline{d_{con}} \leq \overline{d_{cov}} \\ \overline{d_{cov}}, & \text{otherwise} \end{cases}$$

[0052] SA 기법을 이용한 센서 최종 배치

[0053] 본 발명에서는 효율적인 센서 초기 배치 이후에 시스템 비용 함수를 이용한 SA기법을 사용한다. 시스템 비용 함수 F 는 센서의 개수와 이벤트 전달 및 감지 성능에 관계되는 수식이며, 이는 다음의 수학식 7과 같이 표현된다.

수학식 7

$$F = C_{sen}f_{sen} + C_{con}f_{con} + C_{det}f_{det}$$

[0055] 위 식에서 C_{sen} , C_{con} , C_{det} 는 센서의 개수와 이벤트 전달 및 감지에 관한 상대적인 비중을 나타내는 가중치 상수이다. 그리고 f_{sen} , f_{con} , f_{det} 는 각각 배치되는 센서의 개수, 이벤트 전달 성능, 이벤트 감지 성능에 관계되는 함수로 정의되며, F 는 현재 구축된 네트워크의 성능을 나타내고 있다.

[0056] 각 함수의 정의는 다음과 같다.

[0057] f_{sen} 은 현재 배치되고 있는 센서 개수에 관한 함수로 다음의 수학식 8로 나타낼 수 있다.

수학식 8

$$f_{sen} = \sum_i Ns_i$$

[0059] f_{con} 은 이벤트 전달의 요구치를 기준으로 정의되는 단위 함수(unit function)로 다음의 수학식 9로 나타낼 수 있다. P_{con} 은 네트워크에 사용된 전체 센서 개수 대비 이벤트 전달 조건을 만족한 센서의 개수의 비율로 정의된다. 그리고 δ_{con} 는 이벤트 전달 기능에 대한 목적치로 정의된다.

수학식 9

$$f_{con} = u(P_{con} - \delta_{con})$$

[0061] f_{det} 는 이벤트 감지의 요구치를 기준으로 정의된 unit function으로 다음의 수학식 10으로 나타낼 수 있다. 그리고 P_{det} 은 네트워크의 감지성능에 관련된 변수로 수학식 4로 정의된다. 그리고 δ_{det} 는 이벤트 감지 기능에 대한 목적치로 정의된다.

수학식 10

[0062]
$$f_{\text{det}} = u(P_{\text{det}} - \delta_{\text{det}})$$

[0063] 즉, SA 기법을 센서 배치에 적용하기 위해서는 네트워크의 시스템 비용 함수인 수학식 7에 의해 결정되며, 이를 기반으로 SA 기법을 적용하여 현재의 시스템 비용의 해 X에 대해 이웃하는 새로운 해 Y를 얻고 각각의 시스템 비용을 비교해서 비용이 감소하는 방향으로 센서를 이동, 추가, 제거를 한다. 그리고 이러한 과정을 충분히 반복하여 최종적으로 센서의 최적 배치를 달성한다. 도 2에는 이를 위한 종합적인 SA 기법의 의사 코드가 도시되어 있다.

[0064] 도 3은 본 발명의 일실시예에 있어서, SA 재반복 횟수에 따른 시스템 비용을 나타내는 그래프이고, 도 4는 본 발명의 일실시예에 있어서, SA 재반복 횟수에 따른 시스템 비용과 기존 센서 노드 배치 비용을 나타내는 그래프이다.

[0065] 이하, 도 3 및 도 4를 참조하여 모의실험을 통해서 확인한 본 발명에 따른 센서 노드 배치 방법의 성능에 대해 설명한다.

[0066] 모의실험을 위한 시뮬레이션 환경은 다음의 표 1과 같다.

표 1

[0067]

Parameters	Values
Area	280m × 280m
이벤트 전달 기능 기준 cell의 개수	16개
이벤트 감지 기능 기준 cell의 개수	196개
센싱 반경	30m
$\overline{d_k}$	20m, 30m, 40m, 70m
e_i	0.09%, 0.01%, 0.20%, 2.54%, 1.5%
SA 반복횟수	104
이벤트 전달 요구 성능	90%
이벤트 감지 요구 성능	90%

[0068] 센서 배치 영역은 정방형 모양(280m×280m)의 배치 영역을 가정한다. 그리고 영역별 상이한 전파환경을 고려하기 위한 셀과 이벤트 감지 성능을 측정하기 위한 이벤트 발생 확률을 고려한 셀이 있으며, 모두 정방형 구조의 셀을 갖는다.

[0069] 지역별 상이한 전파환경을 구축하기 위해 전체영역을 16(4×4)개의 셀로 분할한다. 그리고 각 cell의 전파환경에 따라 평균 $\overline{d_{con}}$ 값으로 설정이 되며, 이에 대한 $\overline{d_{con}}$ 값은 20m, 30m, 40m, 70m로 분류한다. 이렇게 도출된 $\overline{d_{con}}$ 값은 각 cell별 하나의 값에 속하게 된다.

[0070] 이벤트 감지 성능을 측정하기 위한 이벤트 발생 확률은 전체영역을 196(14×14)개의 셀로 분할하여서 고려한다. 이벤트 발생 확률은 다양한 환경을 고려하기 위해서 본 모의 실험에서는 총 5가지 환경(0.09%, 0.01%, 0.20%,

2.54%, 1.5%)으로 분류하며, 각 셀마다 하나의 이벤트 발생 확률의 값을 갖는다. 그리고 모든 셀의 이벤트 발생 확률을 더하면 100%의 이벤트 발생확률을 갖는다. 그리고 센서의 성능을 의미하는 센싱 반경은 30m로 가정한다.

[0071] 본 발명에 따른 센서 노드 배치 방법은 전체 네트워크의 상이한 지리적 정보를 이용해서 이벤트 전달 및 이벤트 감지 성능을 동시에 만족하는 센서 초기 배치해를 구한다. 이를 위해 수식식 6을 기반으로 이벤트 전달 및 감지 성능을 동시에 100% 만족하는 센서 배치를 한다.

[0072] 모의 실험에서 초기 배치 시 총 130개의 센서를 이용하였다. 시스템 비용 함수를 이용해서 104번의 반복 재배치를 적용한 경우 이벤트 전달 성능은 90.91%, 이벤트 감지 성능은 90.01%를 나타내었으며, 센서의 개수는 81개로 센서의 개수 성능에 대해서는 약 37%의 성능 개선을 보였다.

[0073] 도 3은 SA 기법을 통해 도출된 시스템 비용의 결과 값으로, SA 기법을 이용해서 반복 횟수가 늘어날수록 시스템 비용이 감소함을 알 수 있고, 이를 통해 센서의 개수는 최소화 되면서, 네트워크 성능은 목적치에 점점 가까워짐을 알 수 있다.

[0074] 한편, 본 발명에 따른 센서 노드 배치 방법은 도 4에 도시된 바와 같이 기존 기법과의 비용 비교 시에도 우수성을 나타낸다. 모의 실험에서 사용된 기존 기법은 일반적으로 사용되는 균일 배치로 전체 표적공간에서 센서간의 동일한 간격을 유지하면서 초기 배치하는 균일 배치 기법이다. 그리고 모의실험 환경은 앞에서 제안기법 성능을 위한 모의실험 환경과 동일한 환경을 반영하였다.

[0075] 도 4에는 기존기법과 제안기법에 따라 센서 초기배치 후 SA알고리즘을 적용하여 센서 재배치를 105번 반복하고 얻은 최종해에 대한 시스템 비용을 도시하였다. 도 4에서 나타나는 바와 같이 본 발명에 따른 기법이 센서 노드 배치 방법은 기존 기법에 비해서 초기배치 비용뿐만 아니라 최종적인 센서 네트워크의 시스템 비용이 개선됨을 알 수 있다.

[0076] 이상에서 설명한 바와 같이 무선 센서 네트워크 구축 시 센서 배치 문제는 시스템 구축비용과 성능에 직접적으로 관련되는 중요한 문제이다. 따라서, 본 발명에 따른 센서 노드 배치 방법은 이벤트 전달 성능과 이벤트 감지 성능이라는 두 가지 요구사항을 고려하여 일반적인 성능요구에 대한 배치 기법을 제공한다. 그리고 이를 위해 센서 네트워크 배치문제를 구성하고 GIS에 기반하여 시스템 비용을 최소화한다.

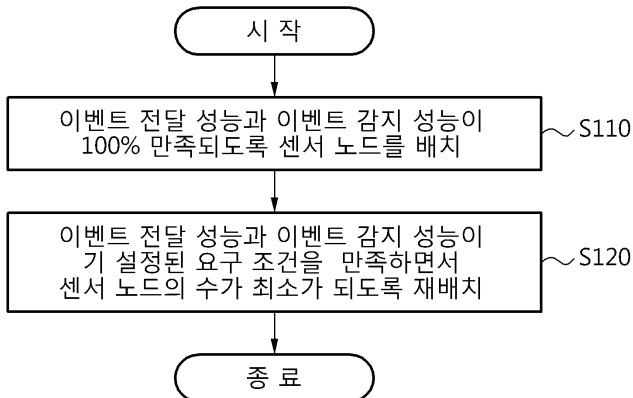
[0077] 도 3 및 도 4에서 알 수 있듯이, 모의 실험을 통해 기존의 균일 초기 배치 방법에 비해 본 발명에 따른 센서 노드 배치 방법은 센서의 초기 배치 시뿐만 아니라 최종 배치 단계에서도 시스템 구축비용을 절감하는 효과를 가진다.

[0078] 이상과 같이 본 발명은 비록 한정된 실시예와 도면에 의해 설명되었으나, 본 발명은 상기의 실시예에 한정되는 것은 아니며, 본 발명이 속하는 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 이러한 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다.

[0079] 그러므로, 본 발명의 범위는 설명된 실시예에 국한되어 정해져서는 아니 되며, 후술하는 특허청구범위뿐 아니라 이 특허청구범위와 균등한 것들에 의해 정해져야 한다.

도면

도면1



도면2

Input: A threshold N_{con} , N_{cov} , and a set of fixed nodes F
 number of grids n_R , and coverage cell, connectivity condition d_i ,
 deployment possibility

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)

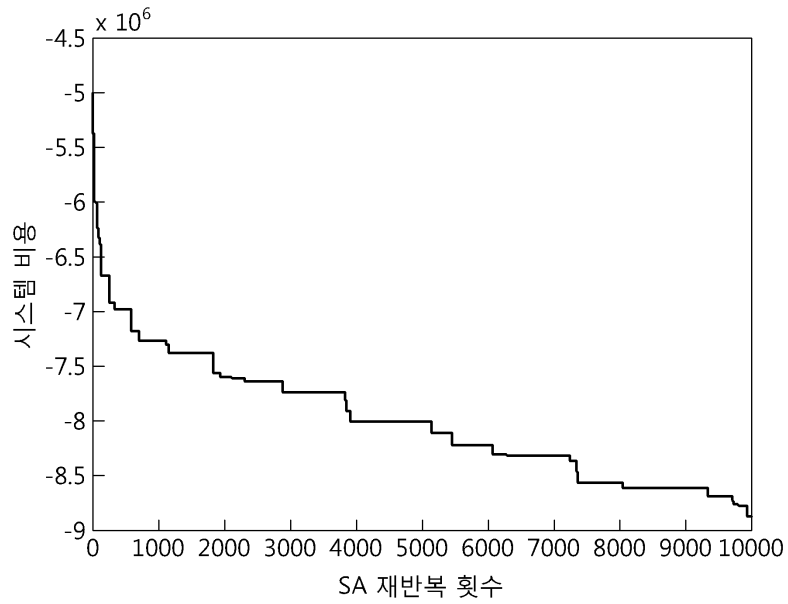
SA Parameter Setting: the initial temperature T_0 , the frozen
 temperature t_f , the bound on the number of tries c_T , the rates
 of temperature decreasing at the growing and
 optimization phases α_g and α_o , and the maximum moving
 distance D_m (SA 파라미터 설정)

1 $S \leftarrow F$ and deploy 1 the fixed nodes at the corresponding event
 connectivity and detection performance grid and deployment possibility
 2 $t \leftarrow T_0$
 3 $c \leftarrow 0$
 4 $z \leftarrow \infty$ (초기해 생성 및 반복 파라미터 설정)

5 Let Phase $\leftarrow$ Growing Phase
 6 while $t > t_f$ do
 7 $S_0 \leftarrow S$
 8 if $\text{random}(0, 1) < 1 - t/T_0$ then
 9 Randomly select a non-fixed node $n \in S_0$
 10 $S_0 \leftarrow S_0 - \{n\}$
 11 foreach non-fixed node $n \in S_0$ do
 12 if $\text{random}(0, 1) < t/T_0$ then
 13 Randomly change the position of n to another grid within distance
 $D_m \times t/T_0$
 14 if $\text{random}(0, 1) < t/T_0$ then
 15 Randomly choose a grid to deploy a new node n
 16 $S_0 \leftarrow S_0 \cup \{n\}$ (비교해 생성 및 반복)

17 $z_0 \leftarrow \text{Evaluate Cost}(S_0)$
 18 if $z_0 < z$ then $S \leftarrow S_0$, $z \leftarrow z_0$, $c \leftarrow 0$ else $c \leftarrow c + 1$
 19 if Phase = Growing Phase and $c \geq c_T$ then Phase $\leftarrow$ Opt Phase
 20 if Phase = Growing Phase then $t \leftarrow t \cdot \alpha_g$ else $t \leftarrow t \cdot \alpha_o$
 (시스템 비용 비교)

도면3



도면4

