

---

# 가변감지영역을 갖는 센서네트워크에서 노드감지에너지의 최소화를 위한 노드위치방법

성기택\* · 성길영\*\* · 우종호\*\*\*

A Node Positioning Method for Minimizing the Node Sensing Energy in Sensor Networks with Adjustable Sensing Ranges

Ki-taek Seong\* · Kil-young Sung\*\* · Chong-ho Woo\*\*\*

## 요 약

본 논문은 가변의 감지영역을 갖는 무선 센서 네트워크에서 센서노드의 감지에너지 소비를 최소화하기 위한 노드의 위치를 결정하는 방법에 관하여 기술하였다. 감지에너지의 소비를 최소화하기 위해서는 이웃하는 노드들과의 중첩되는 감지면적이 최소화 되어야 한다. 중첩영역을 최소로 하는 노드의 위치를 결정하기 위하여, 이웃하는 노드 사이의 감지영역과 전개각 및 각 노드의 감지반경을 이용하여 최적화 식을 유도하였다. 이를 기반으로 한 ASRC(adjustable sensing ranges control)에 의한 새로운 노드 위치방법을 제안하였다. 제안한 방법은 기존의 조건에 의한 방법과는 달리 수학적 식에 근거하여 유도한 모델로서, 시뮬레이션을 통하여 감지에너지 소모에 대한 유효성을 확인하였다.

## ABSTRACT

In this paper, we addressed the node positioning method for minimizing the sensing energy consumption in wireless sensor networks with adjustable sensing ranges. It is necessary for minimizing the sensing energy consumption to minimize the overlapped sensing area by neighboring nodes. To find a optimal node position, we derived a optimal equations by using the overlapped areas, each node's radiuses and expended angles of opposite neighboring nodes. Based on it, we devised a new node positioning method, called as ASRC(Adjustable Sensing Ranges Control). Unlike existing condition based model, our proposed method was derived from mathematical formula, and we confirmed its validity of sensing energy consumption through simulations.

## 키워드

sensor networks, adjustable sensing ranges, sensing energy, node positioning

## I. 서 론

무선 센서 네트워크(WSN : wireless sensor networks)는

마이크로프로세서와 다양한 센서 및 무선 통신장치를 소형화하여 지역의 감시, 생물학적 환경감시, 지물지형의 감시, 건강관리 등의 분야에서의 다양한 응용이 기대 되

---

\* 동명대학교  
\*\* 경상대학교  
\*\*\* 부경대학교

고 있다[1]. J. Wu 등은 WSN 분야에서 주목받고 있는 문제로서 WSN의 감지범위와 에너지 소비로 분류하였다[2,3]. 노드의 위치와 감지반경의 길이에 의하여 결정되는 감지범위 문제는 특정지역을 완전히 포함하는 전역감지방안, 특정 지점을 감지영역으로 유도하여 지점을 감지하는 방안 등이 연구되었다. WSN에서 에너지 소비 문제는 네트워크의 수명과 직접적인 관련이 있으므로, WSN의 구조적 특성에 의하여 결정되는 무선 통신 에너지 소비 성향을 고려하여, 무선 통신의 횡수를 단축하거나 효율적인 네트워크 라우팅 기법을 활용하는 등 통신방법을 개선하거나, 노드의 동작을 조정하는 노드 스케줄링 또는 노드 밀도 제어와 같은 방법들이 연구되고 있다.

본 연구에서는, 감지반경이 서로 다른 WSN에서 감지영역 문제와 네트워크의 수명 연장을 위한 기반 연구로서, 전역 감지를 추구하고 동시에 감지에 소비되는 에너지 소비를 최소화하는 두 가지의 목적을 해결하고자 한다. 세서노드의 감지에 소비되는 에너지는 감지영역과 관계가 있으며, 이웃하는 노드와의 감지영역의 중첩은 불필요한 에너지 소모부분이다. 따라서 감지영역의 중첩을 최소화함으로써 에너지 소비를 효율적으로 하는 방안을 제안한다.

본 논문에서 제안한 방법은 전역 감지 조건 및 감지 에너지 소비를 최소화하기 위하여, 이웃하는 노드들과의 감지영역이 중첩되는 면적과 각 노드의 감지 반경 및 이웃하는 노드와의 전개 각도를 이용하여 최적화식을 수학적 모델로 유도하였다. 제안된 방법과 기존의 방법에 의한 감지영역에서의 에너지 소비를 비교한 결과, 우수한 결과를 보였다.

## II. 관련연구

WSN에서 영역커버문제는 시스템의 QoS(Quality of Service) 측정 기준중의 하나로 제시될 수 있으며 이에 대한 많은 연구가 수행되었다. 일반적으로 감지영역문제는 높은 밀도로 세서노드를 분포시킴으로서 해결할 수 있다. Slijepcevic 등은 센서 네트워크에서 특정지역을 커버하는 노드 수를 구하는 문제에 관하여 연구하였으며[6], Y. Xu 등은 노드들 사이의 연결성과 감지영역사이의 관계를 연구하였다[7]. F. Ye 등은 다수의 노드가 분포된 환경에서 동작노드를 선정하는 분산처리 알고리즘을 제안하여 커버율을 개선하였으나 전역커버는 보장하지 못하

였다[8,9].

H. Zhang 등은 최초로 무선 통신 전송 반경과 감지거리와의 관계를 정립하였으며, OGDC(optimal geographical density control) 프로토콜을 이용하여 전역커버 및 노드 스케줄링을 통한 네트워크 수명연장방안을 제안하였다[5].

서로 다른 감지반경을 센서 네트워크 환경에서, Cardei 등은 특정 지점을 커버하는 센서 노드의 집합을 구하는 ARSC(adjustable ranges set covers)를 제시하고 이 문제가 NP-Complete 문제임을 증명함과 동시에 이를 해결하는 다양한 알고리즘을 제안하였다[3]. Dhawan 등은 [3]에서 제안한 방법에서 네트워크의 수명에 대한 부분만을 독창적으로 모델링하여 Garg-Konemann 유추 알고리즘을 활용한 네트워크의 수명 최대화 방법을 제시하였다[4]. J. Wu 등은 감지반경이 다른 노드를 주어진 영역에 전역감지 되도록 배치함으로써 영역문제와 에너지 소비 문제를 해결하고자 하였다[2].

S. Yi 등은 OGDC 알고리즘을 수정하여 감지영역이 중첩되는 환경과 중첩되지 않는 환경에서의 NODC(non-overlapping density control) 알고리즘, 그리고 중첩되지 않는 환경에서 감지반경에 특정 임계값을 두고 가변적으로 운영하는 NODCA(non-overlapping density control with adjustable sensing ranges) 알고리즘을 제안하였다 [10]. NODCA의 경우 가변의 감지반경 기능을 이용하였지만 중첩을 허용하지 않기 때문에 전역 커버를 하지 못하는 경우가 발생할 수 있다.

J. C. Hou 등은 중첩영역 최소화에 대하여 수학적 모델 없이 조건만을 제시 하였으며 [5]에서는 이에 대하여 추후 연구과제로 남겼다[12].

전역감지조건을 만족하는 예를 그림 1에 나타내었다. 동일한 감지반경을 갖는 모델과 가변감지반경을 갖는 모델을 그림 1에 나타내었다. 그림 1의 (a)는 [5]에서 제안한 OGDC 프로토콜이 적용된 모델이며 (b),(c)는 J. Wu 가 제안한 두 가지 모델이다.

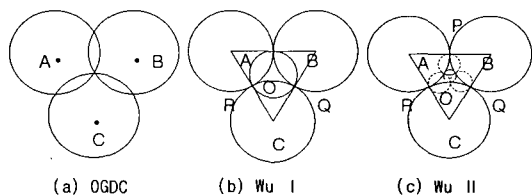


그림 1. OGDC, Wu I, Wu II의 노드 레이아웃  
Fig. 1. Nodes layout of OGDC, Wu I, Wu II.

본 논문에서는 전역감지조건을 만족하면서 감지에 소모되는 에너지를 최소화함으로써 네트워크의 수명을 연장하는 방안을 제안하였다. 감지 에너지를 최소화하기 위하여 감지 에너지와 직접적인 관계가 있는 감지영역에서 이웃하는 노드와의 중첩되는 감지영역의 최소화하는 최적화식을 기반으로 하였으므로 [12]에서 제시하는 방법과는 명확한 차이가 있다.

### III. 가변 감지영역의 중첩문제

이웃하는 센서 노드와의 감지영역의 중첩은 노드의 불필요한 에너지 낭비요소로서 최소화되어야 한다. 그림 2는 가변 감지영역을 갖는 센서노드의 레이아웃을 나타내었다.

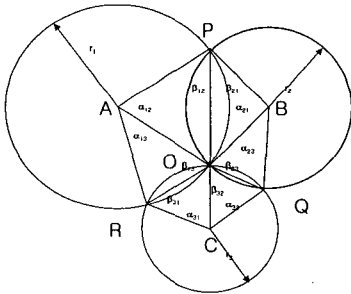


그림 2. 가변 감지영역을 갖는 센서노드의 배치  
Fig. 2. Layout of sensor nodes with adjustable sensing ranges.

J. C. Hou등은 서로 다른 감지영역을 갖는 환경에서 두 가지의 경우에 대한 중첩영역 최소화를 위한 조건을 다음과 같이 제시하였다[12].

경우 1: 세 노드의 반경과 위치가 미결정.

경우 2: 두개의 노드에 대한 위치 및 반경이 결정, 나머지 한 개의 노드에 대한 반경과 위치가 미결정.

경우 1에 대하여 최소의 중첩 면적을 도출하기 위하여 다음과 같은 조건을 만족하는 원의 위치방법을 제안하였다. (그림 2. 참조)

$$\overline{OP} = \overline{OQ} = \overline{OR} \quad (\text{경우 1의 조건})$$

경우 2에 대해서는 이미 결정된 두 노드(그림 2의 원 A,

B)의 교차점(O 또는 P, 여기서는 O를 선정)을 지나면서 다음의 조건을 만족하도록 세 번째 노드(원 C)의 위치를 결정하는 방안을 제시하였다.

$$\overline{OQ} = \overline{OR} \quad (\text{경우 2의 조건})$$

[12]에서는 경우 1, 2에 대하여 중첩영역 최소화를 위한 조건만 제시하고 있으며, 관련 연구 [5]에서는 이에 대한 문제는 추후의 연구과제로 남겨두었다.

### IV. 가변감지영역 제어(ASRC: Adjustable Sensing Ranges Control) 모델

본 장에서는 가변감지반경을 갖는 WSN에서 이웃하는 노드와의 중첩영역을 최소화하는 ASRC 모델을 제안한다.

Tian[11] 등은 WSN에서 노드가 임무를 수행하는 동안 초기 값 설정의 변환을 통하여 감지반경을 변화할 수 있음을 언급하고 있다.

H. Zhang등은, 어떤 영역을 전역 커버하면서 감지범위의 중첩으로 인하여 발생하는 중첩영역을 최소화하기 위해서는 다음과 같은 두 가지 조건을 제시하고 있다[5].

- 1) 최소 1쌍 이상의 디스크가 교차되어야 한다.
- 2) 하나의 교차점은 세 번째 디스크로 커버된다.

따라서 전역 커버를 하기 위해서는 서로 교차하는 최소 세 개의 노드만이 필요하게 된다.

위의 두 조건에 따라 ASRC 모델에서 각 노드의 위치추정을 위한 문제를 다음과 같이 정의한다.

[문제의 정의] 모든 센서 노드가 가변의 감지범위를 갖는 조건에서, 이웃하는 노드와의 중첩영역을 최소화하도록 각 노드의 위치를 결정한다. □

그림 2에서 나타난 기호를 설명하면 다음과 같다.

원 A, B, C가 그림 2와 같이 위치할 때,

$$\alpha_{12} = \angle PAO, \alpha_{13} = \angle RAO, \alpha_{21} = \angle PBO$$

$$\alpha_{23} = \angle QBO, \alpha_{31} = \angle RCO, \alpha_{32} = \angle QCO$$

세원의 교차에 따라 발생하는 교차점과 각 원의 원점을 연결한 도형에서 6개의 이등변 삼각형이 존재하게 된다. 즉,

$$\beta_{12} = \angle APO = \angle AOP, \beta_{13} = \angle AOR = \angle ARO$$

$$\beta_{21} = \angle BPO = \angle BOP, \beta_{23} = \angle BOQ = \angle BQO$$

$$\beta_{31} = \angle COR = \angle CRO, \beta_{32} = \angle CQO = \angle COQ$$

그리고 각 원의 반경에 대하여 다음과 같다.

$r_1, r_2, r_3$ : 원 A, B, C의 반경

먼저 감지반경이 중첩될 때 발생하는 이웃하는 노드에 의하여 발생하는 내부 각에 대하여 다음의 정리를 제시하고 이를 증명한다.

[정리]

$$\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k (\alpha_{ij}) = \pi(k^2 - k - 4), (i \neq j, k=3) \quad (1)$$

[증명] 그림2에서,

$$\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k (\beta_{ij}) = 2\pi, (\text{단}, i \neq j, k=3) \quad (2)$$

모든  $\triangle APO, \triangle BPO, \triangle BOQ, \triangle COQ, \triangle COR, \triangle AOR$ 에 대하여

$$2\beta_{ij} + \alpha_{ij} = \pi \quad (3)$$

이 되며, 식(3)에서

$$\beta_{ij} = \frac{1}{2}(\pi - \alpha_{ij}) \quad (4)$$

식(4)을 식(2)에 대입하면

$$\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k \frac{1}{2}(\pi - \alpha_{ij}) = 2\pi \text{ 이 된다. 따라서}$$

$$\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k \alpha_{ij} = (k^2 - k)\pi - 4\pi = \pi(k^2 - k - 4) \quad \square$$

센서 노드의 위치에 따른 중첩영역을 최소화하기 위해서는 다음과 같은 최적화 식을 유도한다.

그림 2에서, 발생하는 중첩되는 면적은

$$\diamond APO \text{에서 면적 } S_{\text{Overlap12}} = r_1(\alpha_{12} - \sin \alpha_{12})/2$$

$$\diamond ARO \text{에서 면적 } S_{\text{Overlap13}} = r_1(\alpha_{13} - \sin \alpha_{13})/2$$

$$\diamond BPO \text{에서 면적 } S_{\text{Overlap21}} = r_2(\alpha_{21} - \sin \alpha_{21})/2$$

$$\diamond BQO \text{에서 면적 } S_{\text{Overlap23}} = r_2(\alpha_{23} - \sin \alpha_{23})/2$$

$$\diamond CQO \text{에서 면적 } S_{\text{Overlap32}} = r_3(\alpha_{32} - \sin \alpha_{32})/2$$

$$\diamond CRO \text{에서 면적 } S_{\text{Overlap31}} = r_3(\alpha_{13} - \sin \alpha_{13})/2$$

따라서 중첩되는 면적

$$S = S_{\text{Overlap12}} + S_{\text{Overlap13}} + S_{\text{Overlap21}} + S_{\text{Overlap23}} +$$

$$S_{\text{Overlap32}} + S_{\text{Overlap31}}$$

$$= \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k r_i (\alpha_{ij} - \sin \alpha_{ij})/2, (i \neq j, k=3) \quad (5)$$

이므로 위에서 제시한 정리를 이용하여 일반화하면 다음과 같은 최적화식의 유도가 가능하다.

$$\min \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k r_i (\alpha_{ij} - \sin \alpha_{ij})/2,$$

$$\text{subject to } \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k (\alpha_{ij}) = \pi(k^2 - k - 4), \quad (6)$$

$$(i \neq j, k=3, r_i > 0, 0 < \alpha_{ij} < 2\pi)$$

따라서 최적화식 (6)을 만족하는  $r_i$  및  $\alpha_{ij}$  값을 갖는 센서 노드를 구하면 최소의 중첩 영역을 갖는 노드의 반경 및 위치를 결정할 수 있다. 최적화 식의 해는 선형 프로그램, 정수 프로그램, 유전자 알고리즘 등 다양한 알고리즘을 사용하여 구할 수 있다. 본 연구에서는 계산의 속도가 아닌 정확한 위치의 추정에 관심이 있으므로 자세한 알고리즘의 구현은 생략하였다.

## V. 시뮬레이션

본 시뮬레이션의 목적을, [12]에서 제시한 최소 중첩 영역 조건이 타당하다는 가정 하에, 본 연구에서 제안한 ASRC 모델이 이 조건을 만족하는지에 대한 여부와 함께 ASRC 모델의 에너지 효율성을 밝히고자 한다. 또한 가변 감지반경을 갖는 환경에서의 다른 연구 결과와 비교하기 위하여 [12] 및 [2]에서 제시한 방법을 비교하였다. 편의상 본 연구에서 제안 방법을 ASRC 모델, [12]에서 제안한 방식을 Zhang 모델, [2]에서 제시한 방식을 Wu 모델로 지칭한다.

### 5.1. 성능 평가의 측도

WSN 관련 연구에서 감지영역의 커버율, 동작하는 노드의 수, 에너지 소모율, 네트워크의 수명 등을 이용하여 연구 결과의 성능 분석 자료로 사용하고 있다. 본 연구에서는 커버율 및 에너지 소모율만을 고려한다. 동작 노드의 수, 네트워크의 수명과 같은 지표는 다수의 노드가 분포된 응용환경에서 노드동작 스케줄링 알고리즘의 효율성을 분석하는데 사용되고 있으며 본 연구와 같이 국부적

으로 적용되는 노드의 위치 추정에 관한 분석방법으로서 는 적합하지 않다. 따라서 본 연구에서는 커버율과 에너지 소비에 대한 항목을 성능평가 척도로 사용한다.

### 5.1.1 센서에 의한 커버율의 분석

노드에 의한 지역의 커버에 대하여 중첩되는 면적은 불필요한 에너지 소모이므로 적을수록 좋다. 따라서 커버율을 분석하기 위하여 노드에 의하여 커버되는 지역의 면적과 중첩되는 영역의 비율을 다음과 같이 정의한다. 감지영역 중첩율  $A_{eff}$ 는

$$A_{eff} = \frac{\text{중첩 영역의 면적}}{\text{감지영역의 면적}} \times 100(\%) \quad (7)$$

라 두며  $A_{eff}$ 값이 적을수록 효율은 좋다.

### 5.1.2 감지영역에서의 소비 에너지의 분석

센서 노드의 에너지 소비요소는 정보처리, 무선 통신, 감지 등이다. 여기서는 감지에 소요되는 에너지만 고려하도록 한다. 다수 관련 논문에서는 센서 노드의 감지에 소요되는 에너지모델을 두 가지로 선정하여 사용하였다. [2]에서는  $E=e1*r^2$  와  $E=e2*r^4$  모델을 사용하였으며 [3]의 경우  $E=e1*r$  와  $E=e2*r^2$  모델을 사용하였다. 여기서  $e1$ 과  $e2$ 는 에너지 소비 요소로서 상수이며,  $r$ 은 감지반경,  $E$ 의 단위는  $\text{joule}/r^k(k=2,4)$ 이다. 본 연구에서는  $E^{11}=e1*r$ 와  $E^{12}=e2*r^2$  모델은 Zhang 모델과의 비교에 적용하였고,  $E^{21}=e1*r^2$ 와  $E^{22}=e2*r^4$  모델은 Wu 모델과의 비교에 각각 적용하였다. 단위 감지영역에 대한 에너지 소비 효율을 다음과 같이 정의한다.

$$E_{eff} = \frac{\text{감지 에너지 소비량}}{\text{감지영역의 면적}} \quad (8)$$

$E_{eff}$ 는 단위면적당 소모되는 에너지의 척도로서 값이 적을수록 효율적이다.

본 연구에서는 시뮬레이션 툴로서 Matlab을 사용하였다.

## 5.2. 각 모델의 시뮬레이션

시뮬레이션은 각각의 모델에서 주어진 조건을 만족하는 노드의 레이아웃과 이에 의하여 발생하는 중첩영역을

계산하였다. 또한 중첩영역을 이용하여 제시한 식 (7)과 (8)의 중첩율과 에너지 소비효율을 계산하여 비교하였다. 각 모델의 시뮬레이션 내용은 다음과 같다.

### 5.2.1 ASRC 모델 시뮬레이션

ASRC 모델의 시뮬레이션은 먼저 주어진 각 노드 반경  $r_i$ 에 대하여 최적화식 (6)을 만족하는 해  $\alpha_{ij}$ 의 값을 구하고 이를 이용한 노드의 위치와 이때 발생하는 중첩영역을 계산한다.

### 5.2.2 Zhang 모델의 고찰

[12]에서 제시한 두 가지 경우에 대한 조건을 시뮬레이션하기 위하여 다음과 같이 조건을 만족하는 모델을 설계하였다.(이하 그림 2. 참조)

- 경우 1의 조건을 만족하는 해

$$\overline{OP} = \overline{OQ} = \overline{OR} = d \text{ 라 두면}$$

여기서  $(\frac{d}{2}) = D$  라 두고 정리하면,

$$2(\frac{r_2 r_3}{r_1})D^3 + ((\frac{r_2 r_3}{r_1})^2 + (r_2)^2 + (r_3)^2)D^2 - (r_2 r_3)^2 = 0 \quad (9)$$

과 같은 다차원 방정식이 유도된다. 따라서 식을 만족하는  $d$ 값을 이용하여 세 노드의 위치 및 중첩영역을 계산할 수 있다.

- 경우 2의 조건을 만족하는 해

노드 X, Y에 대하여 위치가 이미 설정되어 있다는 가정이므로  $\overline{OP} = d'$ ,  $\overline{OQ} = \overline{OR} = d$ ,  $\alpha_{12} + \alpha_{21} = K(K$ 는 상수)이라 두면, 다음의 식이 유도된다.

$$d^2 = r_1^2 + r_1^2 - 2r_1^2 r_1^2 \cos(\alpha_{13}) \quad (10.1)$$

$$d^2 = r_2^2 + r_2^2 - 2r_2^2 r_2^2 \cos(\alpha_{23}) \quad (10.2)$$

$$d^2 = r_3^2 + r_3^2 - 2r_3^2 r_3^2 \cos(\alpha_{32}) \quad (10.3)$$

$$d^2 = r_3^2 + r_3^2 - 2r_3^2 r_3^2 \cos(\alpha_{31}) \quad (10.4)$$

정리에 의하여

$$K + \alpha_{13} + \alpha_{23} + \alpha_{31} + \alpha_{32} = 2\pi \quad (10.5)$$

따라서 식(10.1),(10.2),(10.3),(10.4)의 연립방정식과 (10.5)를 만족하는  $d$ 에 대한 연립방정식의 해를 구하면 된다.

5.2.3 Wu 모델

[2]에서 제시한 모델(그림 1의 (b), (c) 참조)에 대하여 각각의 모델에서 사용한 노드의 반경은 다음과 같다.

• Wu I 모델

두 가지 감지반경을 갖는 노드를 사용하고 있으며, 큰 반경을  $r_l$ , 작은 반경을  $r_m$ 이라 두면

$$r_m = \frac{r_l}{\sqrt{3}}$$

로 결정된다.

• Wu II 모델

세 가지 감지반경을 갖는 노드를 사용하고 있으며, 큰 반경을  $r_l$ , 중간 반경을  $r_m$ , 작은 반경을  $r_s$ 라 두면

$$r_m = (2/\sqrt{3}-1)r_l$$

$$r_s = (2-\sqrt{3})r_l$$

로 결정된다.

이상과 같은 반경 값을 이용하여 중첩영역을 계산한다.

5.3. 시뮬레이션 결과 및 고찰

제안한 ASRC 모델과 Zhang 모델과의 비교를 위하여 시뮬레이션에서는 다양한 상황을 고려하였다. 각 노드의 감지반경이 동일한 경우( $r_1 = r_2 = r_3 = 6$ ), 각 노드 반경의 차이가 미세한 경우( $r_1 = 8, r_2 = 6, r_3 = 6$ ), ( $r_1 = 10, r_2 = 8, r_3 = 7$ ), 그리고 각각 반경의 차이가 클 경우( $r_1 = 15, r_2 = 10, r_3 = 3$ )에 대한 시뮬레이션결과를 나타내었다. Zhang 모델의 경우 1에서 식 (9)를 이용하여  $\overline{OP}, \overline{OQ}, \overline{OR}$ 의 길이와 함께 중첩영역의 면적을 계산하였고, 경우2에 대해서는, 노드 X, Y의 위치를 우선하여 설정하되 두 노드 원점사이의 거리를 OGDC에서 제시한 최적 조건으로 하여  $\sqrt{3}(r_1+r_2)/2$ 로 설정한 후 전술한 연립방정식을 이용하여 시뮬레이션하였다. ASRC 모델의 시뮬레이션은 Zhang 모델의 경우 2와의 비교에서는 동일하게 두 노드에 대한 위치를 설정하여 비교하였다.

표 1의 (a)에서는 Zhang 모델 경우 1, (b)에서는 ASRC 모델의 시뮬레이션 결과를 나타내었다.

표 1. Zhang 모델 경우 1 (a)과 ASRC 모델 (b)에 대한 시뮬레이션 결과

Table 1. Simulation results of Zhang model case 1 (a) and ASRC model (b)

(a)

| 감지반경<br>( $r_1, r_2, r_3$ ) | Zhang 모델 경우1 |                  |   |           |          |
|-----------------------------|--------------|------------------|---|-----------|----------|
|                             | 중첩<br>면적     | $A_{eff}$<br>(%) | $\overline{OP}=\overline{OQ}=\overline{OR}$ | $E_{eff}$ |          |
|                             |              |                  |   | $E^{I1}$  | $E^{I2}$ |
| 6, 6, 6                     | 19.566       | 6.1192           | 6   | 0.0562    | 0.33779  |
| 8, 6, 6                     | 23.2178      | 5.75             | 6.52852                                     | 0.04950   | 0.33660  |
| 10, 8, 7                    | 36.0129      | 5.68792          | 8.12797                                     | 0.039485  | 0.336415 |
| 15, 10, 3                   | 17.45        | 1.6904           | 5.39282                                     | 0.02713   | 0.32369  |

(b)

| 감지<br>반경<br>( $r_1, r_2, r_3$ ) | ASRC 모델  |               |           |          |  |
|---------------------------------|----------|---------------|-----------|----------|--|
|                                 | 중첩<br>면적 | $A_{eff}$ (%) | $E_{eff}$ |          |  |
|                                 |          |               | $E^{I1}$  | $E^{I2}$ |  |
| 6, 6, 6                         | 19.5667  | 6.11986       | 0.0562983 | 0.33779  |  |
| 8, 6, 6                         | 23.2216  | 5.74742       | 0.0495007 | 0.336604 |  |
| 10, 8, 7                        | 36.015   | 5.68827       | 0.0394855 | 0.336416 |  |
| 15, 10, 3                       | 17.4489  | 1.69104       | 0.0271359 | 0.323693 |  |

Zhang 모델 경우 2 와 ASRC 모델의 시뮬레이션결과를 표 2에 나타내었다.

표 2. Zhang 모델 경우 1 (a)과 ASRC 모델 (b)에 대한 시뮬레이션 결과

Table 2. Simulation results of Zhang model case 1 (a) and ASRC model (b)

(a)

| 감지반경<br>( $r_1, r_2, r_3$ ) | Zhang 모델 경우1 |                  |   |           |          |
|-----------------------------|--------------|------------------|---|-----------|----------|
|                             | 중첩<br>면적     | $A_{eff}$<br>(%) | $\overline{OP}=\overline{OQ}=\overline{OR}$ | $E_{eff}$ |          |
|                             |              |                  |   | $E^{I1}$  | $E^{I2}$ |
| 6, 6, 6                     | 19.5666      | 6.11981          | 6/6   | 0.056298  | 0.33779  |
| 8, 6, 6                     | 23.5767      | 5.84043          | 6.90411/6.3869                              | 0.049544  | 0.336901 |
| 10, 8, 7                    | 36.7197      | 5.80605          | 8.92562/7.8089                              | 0.039529  | 0.336791 |
| 15, 10,3                    | 35.4565      | 3.49727          | 12.1621/4.5350                              | 0.027617  | 0.003952 |

(b)

| 감지<br>반경<br>( $r_1, r_2, r_3$ ) | ASRC 모델  |               |           |          |  |
|---------------------------------|----------|---------------|-----------|----------|--|
|                                 | 중첩<br>면적 | $A_{eff}$ (%) | $E_{eff}$ |          |  |
|                                 |          |               | $E^{I1}$  | $E^{I2}$ |  |
| 6, 6, 6                         | 19.5666  | 6.11981       | 0.0562983 | 0.33779  |  |
| 8, 6, 6                         | 23.3334  | 5.7767        | 0.0495144 | 0.336698 |  |
| 10, 8, 7                        | 36.5008  | 5.76944       | 0.0395158 | 0.336675 |  |
| 15, 10, 3                       | 35.213   | 3.47241       | 0.0276113 | 0.003951 |  |

표 1,2에 나타난 바와 같이 Zhang 모델에 비하여 ASRC 모델은 중첩면적,  $A_{eff}$ ,  $E_{eff}$ 에서 동일하거나 적은 값을 보임으로서 제안한 모델의 유효성이 입증되었다.

Wu의 두 모델과 ASRC 모델을 비교하여 표 3에 나타내었다. 여기서는 동일한 감지영역면적에 대하여 시물레이션을 수행하였다.

표 3. Wu 와 ASRC 모델의 시물레이션 결과  
Table 2. Simulation results of Wu and ASRC model

| 감지<br>영역<br>면적 | Wu 모델          |                  |          |          |                |                  |          |          | ASRC 모델        |                  |           |      |
|----------------|----------------|------------------|----------|----------|----------------|------------------|----------|----------|----------------|------------------|-----------|------|
|                | Wu I           |                  |          |          | Wu II          |                  |          |          | 중첩<br>영역<br>면적 | $A_{eff}$<br>(%) | $E_{eff}$ |      |
|                | 중첩<br>영역<br>면적 | $A_{eff}$<br>(%) | $E_{21}$ | $E_{22}$ | 중첩<br>영역<br>면적 | $A_{eff}$<br>(%) | $E_{21}$ | $E_{22}$ |                |                  |           |      |
| 345.1<br>(주1)  | 31.89          | 9.24             | 0.35     | 11.7     | 21.26          | 6.16             | 0.33     | 11.3     | 21.1<br>(주1-1) | 6.12             | 0.34      | 13.1 |
|                |                |                  |          |          |                |                  |          |          | 15.8<br>(주1-2) | 4.59             | 0.33      | 16.2 |
| 958.6<br>(주2)  | 88.59          | 9.24             | 0.35     | 32.4     | 59.06          | 6.16             | 0.33     | 31.5     | 58.6<br>(주2-1) | 6.12             | 0.34      | 36.4 |
|                |                |                  |          |          |                |                  |          |          | 42.2<br>(주2-2) | 4.39             | 0.33      | 48.7 |

표 3에서, (주 1)의 감지영역면적에 대하여 Wu 모델의  $r_1 = 6$ , (주 2)에서는  $r_1 = 10$ 이다. ASRC 모델에서는 (주 1) 및 (주 2)에 대하여 동일 반경을 갖는 경우와 서로 다른 반경을 갖는 경우로 구분하여 시물레이션을 수행하였다. 동일한 반경의 경우인 (주 1-1)과 (주 2-1)에서의 반경값은 각각,  $r_1 = r_2 = r_3 = 6.2343$ ,  $r_1 = r_2 = r_3 = 10.389$ 이며, 서로 다른 경우인 (주 1-2)과 (주 2-2)에서의 반경값은 각각  $r_1=8$ ,  $r_2=6$ ,  $r_3=3.86$ ,  $r_1=14$ ,  $r_2=9$ ,  $r_3=6.447$  이다. 표 3에서 나타난 바와 같이 ASRC 모델은 동일한 반경을 갖는 환경에서나 다른 반경을 갖는 환경에서는 Wu의 두 모델에 비하여 감지영역의 중첩면적과 중첩율( $A_{eff}$ )에서 우수한 결과를 보였다. 단위면적당 감지에너지효율( $E_{eff}$ )면에서는 Wu I 보다는 우수하지만,  $E_{22}$  모델에서는 Wu II 모델에 비하여 효율이 떨어짐을 보였는데 그 이유는 에너지 모델이  $E_{22} \propto r^4$ 의 특성에 기인하기 때문이다. 그러나 [2]에서  $E_{22}$  모델은  $r^k$ 에서  $k > 2.26$ 일 때, Wu I, II 모델이 산술적으로 동일한 반경을 갖는 OGDC 모델보다 우수한 결과가 있을 밝힘으로 해서, 보다 객관적이고 명확한 에너지 모델에 대한 연구가 필요하다.

## VI. 결론

WSN에서 이웃하는 노드와의 감지영역의 중첩영역은 감지에 소비되는 에너지의 불필요한 요소이므로, 중첩면적이 적으면 감지에 소비되는 에너지도 적게 되어 에너지 효율적이다.

본 논문에서는 가변 감지반경을 갖는 노드로 구성된 WSN에서, 이웃하는 노드와의 중첩영역을 최소화하는 노드의 위치를 결정하는 새로운 방법을 제안하였다. 이 방법은 기존의 조건과는 달리, 서로 다른 감지반경을 갖는 세 노드의 중첩에 의하여 발생하는 기하학적 구조의 특성을 이용하여, 전개각과 가변되는 노드의 감지반경 값을 이용하여 중첩면적을 최소화하는 최적화 식을 기반으로 한다.

제안된 방법과 기존의 방법들을 비교하여 시물레이션한 결과, 감지영역의 중첩면적이 최소화됨을 보였고, 기존의 감지에너지소비 모델을 적용한 결과, 에너지 모델이  $r^k$ 에서  $k > 2.26$ 인  $E_{22} \propto r^4$ 인 모델을 제외하고는 최소의 감지에너지 소비율을 보임으로서 제안한 방법의 유효성을 확인하였다.

향후 연구과제로서 감지대상으로 하는 영역의 면적과 센서 노드의 감지반경 및 노드의 분포 농도에 대한 상관관계 정립이다.

제안한 ASRC 모델은 WSN에서 노드 스케줄링 프로토콜에 적용되어 WSN 수명연장이 가능하다.

## 참고문헌

- [1] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, "Wireless Sensor Networks: A Survey", Computer Networks. March 2002.
- [2] Jie Wu and Shuhui Yang, "Coverage issue in sensor networks with adjustable ranges", Parallel Processing Workshops, ICPP 2004 Workshops. Proceedings. 2004 International Conference on 2004 pp.61-68, 2004.
- [3] M. Cardei, W. Jie, Mingming, M.O. Luan Pervaiz, "Maximum network lifetime in wireless sensor networks with adjustable sensing ranges", Wireless And Mobile Computing, Networking And Communications, WiMob'2005 : IEEE International Conference on 2005, 2005.

- [ 4 ] A. Dhawan, C.T. Vu, A. Zelikovsky, Y. Li, S.K. Prasad, "Maximum Lifetime of Sensor Networks with Adjustable Sensing Range", Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking, and Parallel/Distributed Computing, SNPD 2006. Seventh ACIS International Conference on 19-20 June 2006, pp. 285-289, 2006.
- [ 5 ] H. Zhang and J. C. Hou, "Maintaining Sensing Coverage and Connectivity in Large Sensor Networks", NSF International Workshop on Theoretical and Algorithmic Aspects of Sensor, Ad Hoc Wireless and Peer-to-Peer Networks, Feb. 2004.
- [ 6 ] S. Slijepcevic and M. Potkonjak. "Power efficient organization of wireless sensor networks.", In Proc. of ICC 2001, pp.472-476, June 2001.
- [ 7 ] Y. Xu, J. Heidemann, and D. Estrin. "Geography-informed energy conservation for ad hoc routing.", In Proc. of ACM MOBICOM' 01, pp.70-84, July 2001.
- [ 8 ] F. Ye, G. Zhong, S. Lu, and L. Zhang, "Energy efficient robust sensing coverage in large sensor networks.", Technical report, UCLA, 2002.
- [ 9 ] F. Ye, G. Zhong, S. Lu, and L. Zhang., "Peas: A robust energy conserving protocol for longlived sensor networks.", In Proc. of the 23rd International Conference on Distributed Computing Systems (ICDCS), pp.28, 2003.
- [10] S. Yi and S. Hongchi, "Coverage and energy tradeoff in density control on sensor networks", Parallel and Distributed Systems, 2005. Proceedings. 11th International Conference on Volume 1, pp.564-570, July 2005.
- [11] D. Tian and N. D. Georganas, "A coverage preserving node scheduling scheme for large wireless sensor networks", In Proc. of First ACM International Workshop on Wireless Sensor Networks and Applications, p.32-41, 2002.
- [12] [http://lion.cs.uiuc.edu/projects/wsn\\_theory.html](http://lion.cs.uiuc.edu/projects/wsn_theory.html)

## 저자소개

### 성 기 택(Ki-Taek Seong)

현재 동명대학교 정보보호학과 전임강사  
제 10권 6호 참고

### 성 길 영(Kil-Young Sung)

1995년~현재 경상대학교 정보통신공학과 교수  
해양산업연구소 연구원  
제8권 제5호 참고

### 우 중 호(Chong-Ho Woo)

부경대학교 전자컴퓨터정보통신공학부 교수  
제8권 제5호 참고