

기하학적 확률을 이용한 무선 센서 노드의 웨이크 업 알고리즘 기법

최성열¹ · 김상춘¹ · 김성근² · 이제훈^{1,*}

Wake-up Algorithm of Wireless Sensor Node Using Geometric Probability

Sung-Yeol Choi¹, Sang-Choon Kim¹, Seong Kun Kim², and Je-Hoon Lee^{1,*}

Abstract

Efficient energy management becomes a critical design issue for complex WSN (Wireless Sensor Network). Most of complex WSN employ the sleep mode to reduce the energy dissipation. However, it should cause the reduction of sensing coverage. This paper presents new wake-up algorithm for reducing energy consumption in complex WSN. The proposed wake-up algorithm is devised using geometric probability. It determined which node will be waked-up among the nodes having overlapped sensing coverage. The only one sensor node will be waked-up and it is ready to sense the event occurred uniformly. The simulation results show that the lifetime is increased by 15% and the sensing coverage is increased by 20% compared to the other scheduling methods. Consequently, the proposed wake-up algorithm can eliminate the power dissipation in the overlapped sensing coverage. Thus, it can be applicable for the various WSN suffering from the limited power supply.

Keywords : Wireless sensor network, Low-energy, Node scheduling, Sensing coverage

1. 서론

무선 센서 네트워크는 다양한 센서들을 무선 네트워크로 연결하는 유비쿼터스 분야의 핵심 인프라 기술이다. 사물 및 환경 정보의 수집이 필요한 지역에 다수의 노드들을 설치하고, 네트워크를 구성한 후 수집된 정보를 원격지로 전달한다. 대부분의 무선 센서 네트워크는 제한적인 에너지 자원으로 운용되며, 최근 대규모의 센서네트워크를 운용하기 때문에 센서 노드들의 에너지 자원을 효율적으

로 사용하는 것이 중요하다[1, 2]. 따라서, 최근 센서 노드들의 에너지 소비를 줄이기 위한 다양한 방법이 연구되고 있다[3-6]. 특히, 센서 네트워크의 에너지 효율을 높이기 위해 네트워크의 구성, 센싱 커버리지 범위에 따른 센서 배치 방법, 효율적인 운영 방법 등이 주로 연구되고 있다.

센서네트워크의 대표적인 응용 분야인 지역 모니터링은 점점 복잡도가 증가하고 있다. 많은 수의 센서노드들을 밀집하여 배치하여, 다양한 정보를 손실 없이 얻을 수 있지만, 센서노드들의 상시 활성화 및 센서 노드들간의 센서 커버리지의 중복은 센서 노드들의 에너지를 낭비하는 주요 요인이 된다[5]. 효율적인 센서 네트워크의 운영을 위해서는 센서 네트워크 안에서 동작이 요구될 때에만 센서를 활성화 상태로 유지하고 그렇지 않을 경우 수면 상태로 운영할 필요가 있다. 활성화 상태에서는 이벤트를 감지하고 이웃 노드와 통신하여 정보를 전송하는 동작을 수행하고, 수면 상태에서는 동작의 일부 혹은 전체를 대기 상태로 유지하여 이로 인한 전력 낭비를 줄인다. 따라서, 센서 네트워크의 센서 노드들을 활성화 상태와 수면 상태로 나누어 운영하면 전체 무선 센서 네트워크의 수명을 연장시킬 수 있다[3].

효율적인 센서 네트워크의 운영을 위해서는, 단순히 센서 노드의 수면 상태를 늘려 전체 네트워크의 전체의 수명을 늘리는 것으로는 부족하다. 센서의 수면 상태는 센서 네트워크 전체의 에너지 보존에

¹강원대학교 삼척캠퍼스 전자 정보통신공학부(Div. of Electronics, Information and Communications, Samcheock Campus, Kangwon National University)

1 Joongang-ro, Kangwon National University, Samcheok, Gangwon, Korea

²강원대학교 삼척캠퍼스 교양과정(School of General Studies, Samcheock Campus, Kangwon National University)

1 Joongang-ro, Kangwon National University, Samcheok, Gangwon, Korea

*Corresponding author: jehoon.lee@kangwon.ac.kr

(Received : Jul. 1, 2013, Accepted : Jul. 9, 2013)

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

는 도움이 되지만, 센서 노드가 수면 모드에 있을 경우 센싱 커버리지가 감소되어 중요한 이벤트의 검출을 놓칠 수 있다. 센서 네트워크의 수명과 센싱 커버리지간의 트레이드-오프를 통해 효율적인 센서 네트워크를 운영하는 기법들이 연구되고 있다. 특히, 대규모 센서 네트워크에서 센서 노드들간의 중복 커버리지와 이를 위한 불필요한 센서의 중복 활동을 줄이기 위한 시간과 중복 센싱 커버리지를 줄일 수 있는 웨이크 업(wake-up) 스케줄링 기법 개발이 중요하다.

본 논문에서는 네트워크에 센서 노드 밀도가 높은 지역에서 이웃 노드간의 중첩 영역을 찾아 내고, 비 중첩 영역의 이벤트 발생 확률을 계산하는 알고리즘을 제안한다. 또한 노드의 비 중첩 영역에 따라 이웃노드와 순차적 웨이크 업 알고리즘을 적용하여, 중첩된 영역에서 발생하는 불필요한 이벤트 감지 확률을 줄인다. 제안된 알고리즘을 이를 통해 중복 감지되는 이벤트를 줄이고, 네트워크 전체에 효율적인 에너지 소비를 기여하여 수명을 증가 시킨다.

2. 기하학을 이용한 센서 노드별 중첩과 비중첩 센싱 커버리지 연산

본 논문은 대규모 지역 모니터링용 무선 센서 네트워크에서 기하학적 확률을 이용하여 센서 노드별로 이웃 노드와 중첩된 센싱 커버리지와 중복되지 않은 센싱 커버리지를 얻고, 이를 이용하여 전체 네트워크의 에너지 소비를 줄일 수 있는 웨이크 업 알고리즘을 고안한다. 본 장에서는 기하학적 확률을 이용하여 인접한 센서 노드들간의 거리와 각을 이용하여 노드별로 중복 커버리지의 크기를 결정한다.

2.1 기하학적 확률을 이용한 센서 노드의 이벤트 검출 확률 분포 분석

무선 센서 네트워크에서 센서노드의 센싱 커버리지는 센서의 제원과 센서 노드의 에너지에 따라 달라진다. 특히, 지역 모니터링과 같이 대규모의 센서 네트워크가 요구되는 환경에서, 센서 노드의 배치에 따라 각 센서 노드간 중첩되는 영역과 중첩되지 않은 영역이 발생한다. 따라서, 각 노드가 중첩되는 영역에서 모든 노드가 활성 상태로 동작하는 대신 하나의 노드만 선택적으로 구동하고 나머지 노드들은 수면 상태로 유지시켜 전체 네트워크의 소비 전력을 줄일 수 있다. 또한 각 노드는 개별적인 전원 공급 장치를 갖기 때문에 노드별로 활성 상태로 동작하는 시간을 균일화하여 전체 센서 네트워크의 수명을 연장할 수 있다.

이를 위해 본 논문에서는 다음 세 가지 가정을 갖는다. 첫째, 센서 노드가 감지해야 하는 이벤트들은 모든 영역에 균일하게 발생된다. 둘째, 각 센서 노드는 동일한 용량의 전원 공급 장치를 갖는다.

마지막으로, 각 센서 노드들은 이벤트 발생시 이를 감지하고 데이터를 처리할 수 있는 활성 상태와 대기 상태를 유지하는 수면 상태를 갖는다.

본 논문에서는 Fig. 1처럼 각 노드들간의 센싱 커버리지가 다르다고 가정하였다. 센서 네트워크의 배치 상태에 따라, 각각의 센서 노드들은 센싱 커버리지가 겹치는 중첩영역과 그렇지 않은 영역을 갖는다. 또한 배치된 센서 노드의 밀집도에 따라 중첩 영역과 중첩되지 않은 영역의 크기가 변화한다. Fig. 1은 서로 다른 두 개의 노드, K_1 과 K_2 의 센싱 커버리지간의 중첩이 발생하는 경우를 보인다. 굵은 점은 각 노드의 위치를 그리고 원은 각 노드의 센싱 커버리지를 나타낸다.

중첩 영역에서 이벤트가 발생할 경우 두 개의 노드가 모두 활성 상태이면 두 노드가 모두 감지하고 데이터 처리를 시작한다. 이 과정을 통해 두 노드들이 모두 에너지를 소비하게 된다. 만일 어느 한 노드가 수면 상태일 경우 하나의 노드만이 이를 감지하고 데이터 처리를 시작하게 된다. 수면 상태의 노드는 에너지를 대기전력만 소비하고, 활성 노드만이 정상적으로 에너지를 소비한다. 중첩 영역이 대량을 발생할 경우, 전체 네트워크의 수명을 연장하기 위해 중첩 영역에서 발생하는 신호 처리는 하나의 노드가 활성 상태에서 처리해야 한다. 따라서, 본 논문에서는 Fig. 1 혹은 Fig. 2와 같이 중첩 영역이 하나 이상이거나 두 번 이상 연속 중첩될 때 노드의 활성 혹은 수면 상태를 결정하기 위해 확률을 이용한 웨이크 업 알고리즘을 제안하였다.

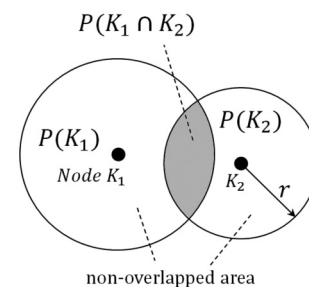


Fig. 1. The example of overlapped sensor node.

노드 K_1 의 센싱 커버리지에서 이벤트 발생 확률은 $P(K_1)$ 그리고 노드 K_2 의 센싱 커버리지에서 이벤트 발생 확률은 $P(K_2)$ 라 하자. 두 노드들이 센싱 할 수 있는 영역에서의 이벤트 발생확률은 $P(K_1 \cup K_2)$ 로 표현되며, 이는 $P(K_1) + P(K_2) - P(K_1 \cap K_2) = P(K_1) + P(K_2) - P(K_1) \times P(K_2)$ 로 구할 수 있다. 또한 노드 K_1 의 센싱 커버리지 중에서 K_1 만이 독립적으로 이벤트를 검출할 수 있는 영역에서의 이벤트 발생 확률은, $P(K_1) - P(K_1 \cap K_2)$ 가 된다. 동일한 방법으로, 노드 K_2 의 센싱 커버리지 중에서 K_2 만이 독립적으로 이벤트를 검출할 수 있는 영역에서의 이벤트 발생 확률은, $P(K_2) - P(K_1 \cap K_2)$ 로 구한다

2.2. 센서 노드의 중첩 영역 검출을 위한 기본 정보

본 논문에서 이벤트가 발생할 확률은 모든 영역에 균일하게 발생된다고 가정하였기 때문에 센서 네트워크의 중첩 영역과 그렇지 않은 영역에서 이벤트가 발생할 확률은 그 영역의 크기에 비례한다. 센서 노드간의 중첩 영역의 크기를 구하기 전에 다음 두 가지 정보를 획득할 수 있다. 첫 번째는 각 노드간의 상대 거리로 이는 RSSI (Received Signal Strength Indication)를 이용하여 얻을 수 있다. 즉 수신된 무선 신호의 크기는 거리에 비례하기 때문에 이를 통해 이웃 노드간의 상대거리를 획득할 수 있다. 획득된다. 이는 Fig. 2에서 보인 것처럼, 노드간의 상대 거리 d_{ij} 로 표현되며, i -번째 노드와 j -번째 노드의 거리를 나타낸다. 두 번째로, 각 노드별로 노드의 센싱 커버리지를 구할 수 있다. 센싱 커버리지는 각 노드의 무선 출력 강도를 통해 획득된다. Fig. 2에서 나타난 것처럼 i -번째 노드의 센싱 커버리지는 r_i 로 표현된다. 노드간의 상대 거리와 각 노드의 센싱 커버리지 정보를 통해, 노드간의 중첩 영역과 그렇지 않은 영역에서의 이벤트 발생 확률을 구해야 한다.

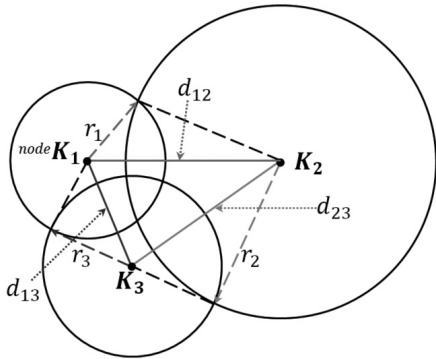


Fig. 2. The example of sensor nodes having overlapped sensing coverage.

2.2.1 센서노드간의 거리 정보

노드간의 상대 거리와 각 노드의 센싱 커버리지 정보를 통해, 노드간의 중첩 영역과 중첩되지 않은 영역의 크기 정보를 기하학을 이용하여 구할 수 있다. 또한, 영역의 크기는 영역 내에서 센서 노드가 감지해야 할 이벤트가 발생할 확률이 된다. 이를 위해서는 우선 중첩 영역을 갖는 센서 네트워크의 각 노드별로 연산에 필요한 거리 정보와 각 정보를 도출해야 한다.

첫 번째로 각 노드간의 거리 정보를 구할 수 있다. Fig. 3에 나타난 것처럼 3개의 노드간에 복잡한 중첩이 발생하는 경우 가장 먼저 각 노드들을 연결하여 $\triangle K_1K_2K_3$ 를 구한다. 그리고, 각 노드를 이은 선분, d_{12} , d_{13} , d_{23} 의 길이는 RSSI를 이용하여 구할 수 있다. 또한 연산을 위해 두 개의 노드 K_1 와 K_2 를 잇는 선분 $\overline{K_1K_2}$ 에 또 다른

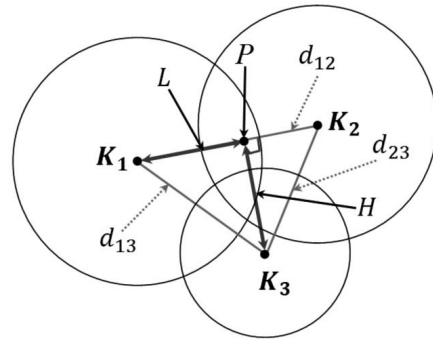


Fig. 3. Basic line segment information for overlapped sensor nodes with internal triangle.

노드 K_3 와의 수선을 그어 교차하는 점을 P 라 하자. 이때, $\triangle K_1PK_3$ 는 직각삼각형이 된다. 이 때, 선분 $\overline{K_1P}$ 의 길이를 L 그리고 선분 $\overline{K_1P}$ 의 길이를 H 라 하자. 직선 L 의 길이는 식 (1)과 같이 구해진다.

K_1 과 P 를 잇는 선분, $\overline{K_1P}$ 의 길이, L 과 K_1 과 K_3 를 잇는 선분 $\overline{K_1K_3}$ 의 길이, d_{13} 을 알기 때문에 수선 $\overline{K_3P}$ 의 길이 H 는 식 (2)와 같이 구할 수 있다

$$H = \sqrt{d_{13}^2 - L^2} \tag{1}$$

중첩 영역의 면적을 구하기 위해서는 Fig. 4(a)에 나타난 것처럼 추가적인 거리 정보가 필요하다. i 번째 센서와 j 번째 센서가 중복 영역을 가질 때, 두 개의 교차점을 갖는다. 이를 각각 PH_{ij} 와 PL_{ij} 라 정의한다. 일례로 두 개의 노드 K_1 과 K_2 의 경우 두 교차점은 PH_{12} 와 PL_{12} 가 되며, 이를 연결하여 선분 $\overline{PH_{12}PL_{12}}$ 가 된다. Fig. 4(a)에 나타난 것처럼 세 개의 노드가 중복되는 경우 총 6개의 교차점을 갖는다. 동일 중첩 영역의 교차점을 연결하면, 이 중첩영역을 이루는 두 노드를 연결한 선분과 수선이 된다. 일례로 K_1 과 K_2 를 이은 선분, $\overline{K_1K_2}$ 과 두 교차점을 이은 선분, $\overline{PH_{12}PL_{12}}$ 은 수직이 된다. 이 선분의 절반의 길이를 h_{12} 라 한다. 나머지 경우에도 동일한 방법을 적용하여 h_{13} 와 h_{23} 를 라 한다. 비슷한 방법으로 동일 중첩 영역의 교차점을 이은 선분에 노드로부터 수선을 각각 구할 수 있다. i 번째 노드가 이웃한 j 번째 및 k 번째 노드와 중첩된 커버리지의 양 교차점을 이은 두 선분과 i 번째 노드와 수직으로 연결한 선분을 각각 l_{ij} 와 l_{ik} 라 한다. Fig. 4(a)에서 보여지듯이 6개의 선분이 구해진다. 이 선분들의 길이는 식 (1)에 나타난 것처럼 구할 수 있다. 즉 i 번째 노드와 인접한 노드를 K_n 이라 가정할 경우, l_{in} 의 길이는 $\frac{r_i^2 - r_n^2 + d_{in}^2}{2d_{in}}$ 이 된다.

즉, i 번째 센서 노드 이웃 노드가 n 일 때, 센싱 커버리지 r_i , 두 교차점을 이은 선분으로의 법선의 길이, l_{in} 를 구한 후 피타고라스의 정리를 이용하여 높이, h_{in} 을, $\sqrt{r_i^2 - l_{in}^2}$ ($i \neq n$) 와 구할 수 있다. 이러한 연산을 통해 같이 연산되어, Fig. 4(c)에 나타난 것처럼 두 개

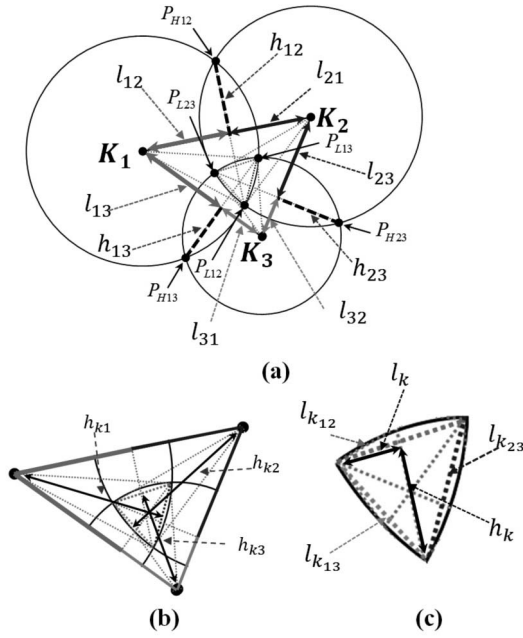


Fig. 4. Detailed line segments information using the external triangles with two sensor nodes and their intersecting point.

의 노드의 중첩영역을 크기를 구하기 위한 길이 정보를 모두 구하게 된다. 면적을 구하기 위해서는 추가적으로 노드 간의 중첩된 타원의 높이 정보를 얻어 각을 연산하면 된다.

마지막으로 세 개의 노드가 모두 교차하는 경우 더욱 복잡한 연산이 필요하다. 이때, 확률을 구하려면 Fig. 4(c)의 h_{k_i} 의 정보가 필요하다. 이것은 K_n 노드의 중점에서 중첩영역의 K_n 와 접점 된 두 점을 이은 $l_{k_{ij}}$ 이등변삼각형의 꼭지각을 얻으면 구할 수 있다.

$$L = \frac{d_{im}^2 - d_{jm}^2 + d_{ij}^2}{2d_{ij}} \quad (2)$$

식 (3)과 식 (4)을 통하여, 세 번 중첩된 Fig. 3(c)의 각 접점을 이은 작은 삼각형의 정보를 얻을 수 있다.

$$l_{k_{23}} = r_1 2 \sin\left(\frac{\theta_{k1}}{2}\right) \quad (3)$$

$$h_{k1} = r_1 \cos\left(\frac{\theta_{k1}}{2}\right) \quad (4)$$

이 후 마지막으로 작은 삼각형의 확률을 구하기 위해 를 얻기 위해 수식 (1)번에서 유도된 $h_k = (l_{k_{13}}^2 - l_{k_{23}}^2 + l_{k_{12}}^2) / 2l_{k_{12}}$ 를 사용하여, 작은 삼각형의 정보를 얻는다. 이와 같이 얻어낸 정보들은 다음 장에서

기술되는 것처럼 필요한 각 정보를 구해 중첩 역의 기하학적 확률 해석에 활용한다.

2.2.2 센서노드의 각 정보

센서 노드들의 각 정보들은 거리정보를 통해 중첩영역과 비 중첩 영역의 이벤트 발생 확률을 연산하기 위해 필요하다. Fig. 5(a)는 세 개의 노드가 중첩된 경우에 필요한 각 정보를 나타내며, Fig. 5(b)는 세 노드가 모두 중첩된 영역에서의 각 정보를 나타낸다.

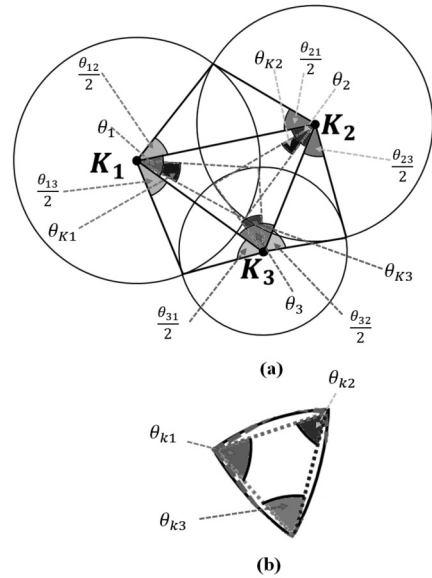


Fig. 5. Angle information of sensor node.

θ_{in} 는 수식 (5)를 통해, 밑변, L , 높이, H 정보를 사용하여, 각각 l_{in} , h_{in} 을 대입하여 연산한다. 하지만 θ_{in} 는 노드간의 거리 d_{in} 에 따라 각도를 구한다.

$$\theta_i = 2 \tan^{-1}\left(\frac{H}{L}\right) \quad (5)$$

θ_{in} 는 식 (5)를 통해, L 은 밑변, H 는 높이 정보를 사용하여, 각각 l_{in} , h_{in} 을 대입하여 연산한다. 하지만 θ_{in} 는 노드간의 거리 d_{in} 에 따라 각도를 구한다.

Fig. 6은 두 노드간의 거리, d 에 의해 K_2 노드의 θ_{2n} 가 변화하는 것을 보여주고 있다. 식 (6)와 같이 Fig. 6(a)의 상황에서는 기본 수식이 적용되지만, Fig. 6(b)는 식 (6)의 두 번째 조건에 해당 하여, $\theta_{2n} = 180^\circ$ 가 된다. 또한 Fig. 6(c) 상황은 식 (6)의 세 번째 조건과 같이 해당 수식을 사용해야 된다.

$$\theta_{1n} = \begin{cases} 2 \tan^{-1} \left(\frac{h_{1n}}{l_{1n}} \right) \\ 180^\circ, r_1 < d_{1n} < r_n, l_{1n} = d_{1n} \\ 2 \tan^{-1} \left(\frac{h_{1n}}{l_{1n}} \right) + 360^\circ, r_1 < d_{1n} < r_n \end{cases} \quad (6)$$

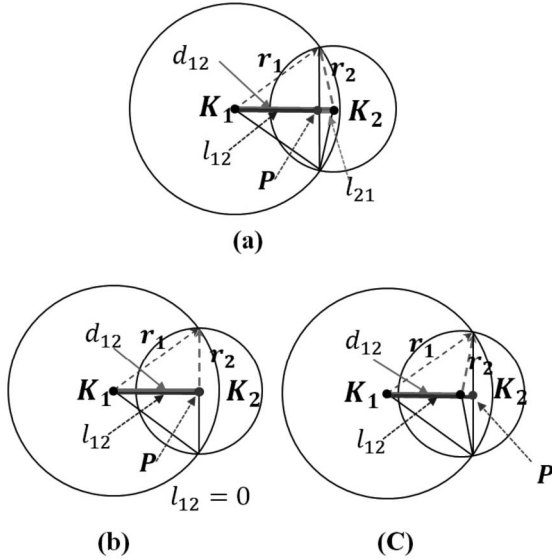


Fig. 6. The relation between the distance, d and angle θ_{1n} .

식 (7)은 세 개의 노드가 이루는 큰 삼각형의 각과 중첩된 두 노드와 각각 이루는 삼각형의 각을 이용하여, 세 번 중첩된 영역과 중점이 이루는 이등변삼각형의 꼭지각을 구한다. 또한, 마지막 θ_{kn} 은 식 (5)를 통해 각 변수에 연산된 정보를 통해 계산한다.

$$\theta_{ki} = \left| \frac{\theta_{ij}}{2} + \frac{\theta_{im}}{2} - \theta_i \right| \quad (7)$$

2.3 센싱 커버리지의 이벤트 확률 알고리즘

지금까지 연산된 각 노드의 거리 및 각 정보를 이용하여 노드의 중첩 영역의 크기를 구할 수 있다. 이벤트가 발생할 확률은 모든 영역에서 균일하게 발생한다고 가정하였기 때문에 기하학적인 중첩 면적의 크기는 중첩 영역에서 이벤트가 발생할 확률과 같다.

$P(K_i)$ 는 식 (8)과 같이 노드 세 개가 두 번 연속 중첩된 구역이 없다면, 식 (9)을 통해 K_i 의 비 중첩 영역에 대한 이벤트 발생 확률을 얻을 수 있다. 수식내의 $\frac{1}{2}(r_i^2\theta_{in} + r_n^2\theta_{ni})$ 는 K_i 노드와 이웃한 노드 K_n 사이에서 중첩 되는 영역을 구하기 위해, 두 노드의 두 점점과 원점이 이루는 두 부채꼴의 면적을 합한 것이고, $(h_{in} d_{in})$ 는 두 부채꼴 안에 마름모 면적을 제거하여, 중첩 영역의 타원 형태의 면적만 계산된다. 또한, θ 수치는 *radian*값으로 연산 되어야 한다.

$$P(K_i) = 1 - \sum_{n=2}^3 P(K_i \cap K_n) \quad (8)$$

$$P(K_i) = 1 - \frac{\sum_{n=2}^3 \left(\frac{1}{2}(r_i^2\theta_{in} + r_n^2\theta_{ni}) \right) - (h_{in}d_{in})}{\pi r_i^2} \quad (9)$$

식 (10)은 세 개의 노드가 모두 중첩되는 영역이 존재 할 때, K_1 의 비 중첩영역의 이벤트 확률이 된다. 이를 통해 수식 (11)처럼 연산되며, 식 (11)의 결과값을 이용하여 세 개의 노드의 비 중첩영역에 이벤트 발생 확률을 구한다. 식 (10)의 θ 수치는 *radian*값으로, *sin* 함수 안에 있는 θ_{Kn} 만 호도법으로 계산된다. 수식 (10)은 $(l_{k12}h_k)/2$ 을 통해 세 노드가 함께 중첩된 영역의 작은 삼각형과 θ_{Kn} 각의 부채꼴과 그 내면의 이등변삼각형을 연산하여, 확률을 구한다. 이를 통해 모든 영역별로 면적을 계산하여 각 영역별로 이벤트가 발생할 확률을 구한다.

$$P(K_i) = 1 + P(K_1 \cap K_2 \cap K_3) - \sum_{n=2}^3 P(K_i \cap K_n) \quad (10)$$

$$P(K_i) = \frac{\frac{1}{2}(h_{i2}h_k) + \left(\sum_{n=1}^3 \frac{1}{2}(r_n^2\theta_{kn}) - \frac{1}{2}(r_n^2 \sin(\theta_{kn})) \right)}{\pi r_i^2} - \frac{\sum_{n=2}^3 \left(\frac{1}{2}(r_i^2\theta_{in} + r_n^2\theta_{ni}) \right) - (h_{in}d_{in})}{\pi r_i^2} \quad (11)$$

3. 제안된 순차적 웨이크 업 알고리즘

웨이크 업 알고리즘은 기본적으로 센서를 연속적으로 활성 상태에 두는 대신, 동작이 불필요할 경우 수면 모드로 구동시켜 노드의 수명을 연장하는데 사용된다. 그러나, 각 노드는 다른 노드와의 중첩 영역뿐만 아니라 독립적인 이벤트 검출 영역이 존재하기 때문에, 노드들의 수면 모드로 진입하면, 센서 네트워크의 센싱 커버리지가 감소한다는 단점이 있다. 따라서, 무선 센서 네트워크의 센싱 커버리지와 센서 노드들의 생존 시간을 고려하여 주의 깊게 결정되어야 한다.

센서 네트워크에 노드의 각 영역별 이벤트 발생 확률은 노드들의 배치 형태와 센싱 커버리지에 따라 변화한다. Fig. 6은 센싱 커버리지 4.5를 갖는 세 개의 노드가 $d_{12}=4.8$, $d_{13}=7.6$, $d_{23}=7.2$ 일 때, 각 영역별 이벤트 발생 확률을 나타낸다. K_1 노드의 비 중첩영역의 이벤트 확률이 86으로 가장 높은 수치를 갖는다. 이것은 K_1 노드가 다른 노드에 비해 불필요한 이벤트 발생 확률이 낮음을 의미하며, 이웃 노드들보다 효율적으로 에너지를 소비한다. 반대로, K_3 노드의 비 중첩영역의 이벤트 발생 확률은 57.73으로 이웃 노드들 보다 비

교적 낮은 수치를 갖고 있다. 이것은 K_3 가 불필요한 이벤트에 많이 감지하므로 세 노드 중 가장 많은 에너지를 소비한다.

Fig. 7에 나타난 것처럼 전체 이벤트가 발생할 확률은 $204.76+42.07+11.1=257.93$ 으로, 전체 영역에 해당하는 이벤트 확률 195.81 보다 약 60 높은 수치를 갖는다. 이는 각 노드들이 100이라는 이벤트 확률을 가질 때, 세 개 노드는 300이라는 이벤트 발생 영역을 커버할 수 있다. 하지만 중첩지역이 발생하고, 전체 이벤트 발생 영역이 줄어드는 반면 각 노드들은 중첩영역에서 이벤트 발생 확률을 중복적으로 가지고 있어, 이벤트 발생 영역의 이벤트 확률보다 높은 이벤트 발생확률을 갖게 된다. 195.81의 이벤트 발생 영역에서 257.93의 이벤트 발생만큼 움직이므로, 약 한 개 노드의 60%만큼 에너지를 세 노드에서 더 부담하게 되어, 원래의 노드 수명 또한 많은 이벤트를 감지할 수록 줄어들게 된다.

센서 네트워크의 중첩 영역은 전체 네트워크에 수명을 감소시키는 영향을 미칠 수 있지만 노드들을 웨이크 업 스케줄링 한다면, 수명 연장에 많은 도움이 될 수 있다. Fig. 7에서의 K_3 은 불필요한 이벤트 감지 확률이 가장 높지만, 이웃 노드 대신 감지 할 수 있는 커버리지가 가장 높은 노드가 된다.

Fig. 8에서 support node는 wake-up 하는 노드가 수면 상태 일 때, wake-up노드와 중첩된 영역만큼 센싱 커버리지를 지원 할 수 있는 노드이다. 이때, 지원 가능한 커버리지가 많을수록 wake-up 노드의 수면에 따라 절약되는 에너지는 많아진다. 반면 지원 가능한 영역이 적고, 수면 상태가 발생하면, 전체 네트워크에 많은 커버리지 손실이 온다.

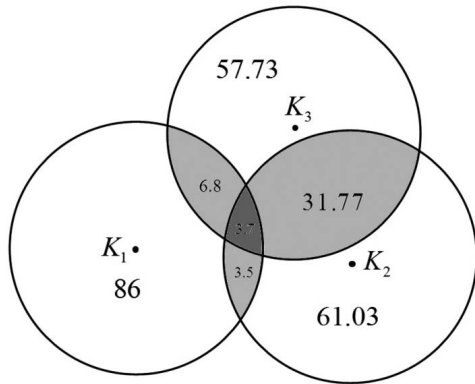


Fig. 7. The example of the probability of event occurrence

각 노드별로 노드의 최대 수명을 연산하여 가장 수명이 높은 노드를 support node로 지정한다. 이것은 센싱 커버리지가 다른 노드 상황에서도 가능하다. 이를 통해 정해진 wake-up 노드를 통해 네트워크의 전체 수명이 증가하게 된다. 하지만 두 노드가 동시에 수면을 하게 될 경우 센서 커버리지가 급격하게 줄어든다. 또한, support node는 자신이 움직일 수 있는 만큼 정량만 움직여, 네트워크에 불필요한 에너지 소모를 발생 시키진 않지만, 자신의 수명

이 증가 되진 않는다. 또한, 노드 하나만 wake-up 할 경우, 센싱 커버리지 확보에 도움이 되지만, 시간지 지날수록 커버리지는 변하는 커지며, wake-up된 일부 노드 만이 살아남아 노드간의 수명 편차가 커지게 된다.

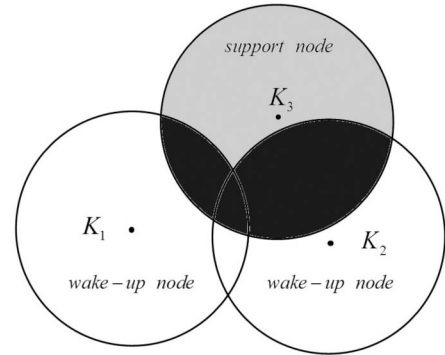


Fig. 8. Support node and wake-up nodes.

확률을 통한 순차적 웨이크 업 스케줄링은 센서의 활성화 시, T_w 와 수면 시간, T_s 를 각 노드마다 계산한다. 이를 통해 일부 노드만 스케줄링 되어, 에너지 효율이 특정 노드에만 집중되는 것을 여러 노드에게 분할하여 보다 많은 노드가 센싱 커버리지를 확보하고, 긴 시간 동안 센서 네트워크를 유지하는 것을 목표로 한다.

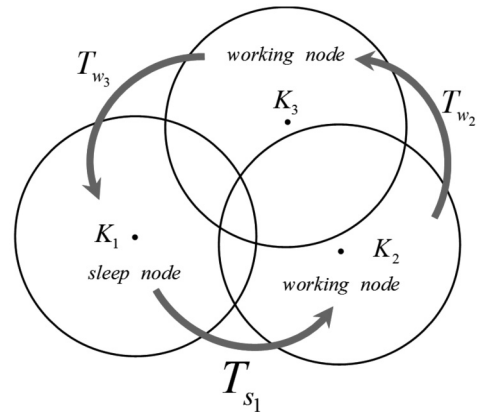


Fig. 9. The proposed sequential wake-up algorithm using the geometrical probability.

확률을 통한 순차적 웨이크 업 스케줄링은 사용자가 원하는 센싱 커버리지를 목표로 효율적인 에너지 소비를 위해 각 노드 마다 식 (12)와 같이 T_w 와 T_s 를 연산하여 적용된다.

식 (12)는 노드 자신의 활동 시간을 연산하는 것으로 T 는 웨이크 업 주기의 시간이며, P_{LOW} 는 같이 활동하는 노드 중 비 중첩 영역이 낮은 노드의 이벤트 발생 확률이다. Fig. 8에서 사용자가 전체 센싱 커버리지에 70%만큼 확보를 원한다면, 세 노드 중 두 노드만

동작하게 될 것이다. 이때, 각 노드는 웨이크 업 주기에서 자신과 같은 시점에서 활동하는 노드간의 비 중첩 영역을 비교하여 낮은 확률을 통해 식 (12)와 같이 연산되어 활동 시간을 정할 것이다. 이후 수면 차례가 자신에게 올 때까지 같은 방법으로 활동시간을 정할 것이다.

$$T_w = \frac{P_{Low}}{T} \tag{12}$$

센서노드가 수면 시간을 정할 때, 식 (13)처럼 자신의 정보를 제외하고, 중첩된 이웃 노드 중에 가장 적은 비 중첩영역의 이벤트 발생 확률을 사용하여 연산한다. 일례로, 웨이크 업 주기가 10이고, K_1, K_2, K_3 가 각각 8, 6, 5의 중첩되지 않은 영역의 확률을 가질 때, K_1 의 활동 시간, T_w 는 6과 5를 더한 11로, K_2 와 K_3 과 일할 때를 합한 것이다. 또한, K_1 의 수면 시간, T_w 는 5가 되어 수면 시간은 세 노드가 두 번에 한 번씩 돌아오므로 합하지 않는다. 반면 비 중첩영역의 확률이 가장 낮은 K_3 의 활동시간은 5+5이며, 수면 시간은 6으로 가장 길다. 이와 같이 확률을 통한 순차적 웨이크 업 스케줄링은 자신의 비 중첩영역의 확률만큼 활동시간과 수면시간을 정하여, 각 노드가 주기를 조절 할 수 있다.

4. 실험결과

본 논문은 확률을 통한 순차적 웨이크 업 스케줄링을 통해 에너지 소비의 효율성과 센서 커버리지의 확보 위해 실험을 통해 증명한다.

Table 1은 각 노드들이 센서 네트워크에서 모두 동작 중 일 때와 한 노드씩 스케줄링을 했을 때, 전체 노드들의 중첩영역에서 발생하는 불필요한 에너지 손실을 말하고 있다. 먼저, 각 노드들의 100이라는 영역을 가질 때, 비 중첩영역에 따라 중첩영역의 손실을 살펴 보면, 스케줄링을 하지 않을 때, 중복영역에서 발생하는 에너지 소모율은 95.24로 거의 노드 하나의 에너지 손실을 가져오고 있다. 또한, Table1에서 알 수 있듯이, K_3 노드가 스케줄링 될 때, 가장 적은 에너지 손실률을 기록한다.

센서 네트워크의 에너지 불필요한 손실을 줄이려면, 손실이 많은 노드와 주변노드의 웨이크 업 스케줄링이 필요하다. Fig. 10은 각 노드의 스케줄링 했을 때 수명을 보여주고 있다. K_3 노드를 스케줄링 했을 때, 가장 긴 센서 네트워크 수명을 기록한다. 하지만 다른 두 노드가 원래 가지고 있던 수명을 보다 적은 수치를 기록하여, K_1 와 K_2 를 같이 스케줄링 하였다. 두 노드를 스케줄링 한 것만큼 K_3 은 자신의 본래 수명만큼 동작한다. 스케줄링 된 두 노드는 본래 기대된 수명 이상을 동작한다. 이처럼 자신의 비 중첩영역이 적은 노드를 스케줄링 할 경우 높은 에너지의 효율을 가져 올 수 있지만, 주변 노드의 수명과 전체 센서 네트워크의 커버리지를 고려해야 한다.

Table 1. Energy dissipation in non-overlapped and overlapped area according to the scheduling method

Scheduling \ P	$P(K_1)$	$P(K_2)$	$P(K_3)$	$P(overlapped)$
Non	86	61.03	57.73	95.24
K_1	92.38	64.01	62.36	81.25
K_2	88.95	79.89	74.84	56.32
K_3	90.63	78.41	78.24	52.72

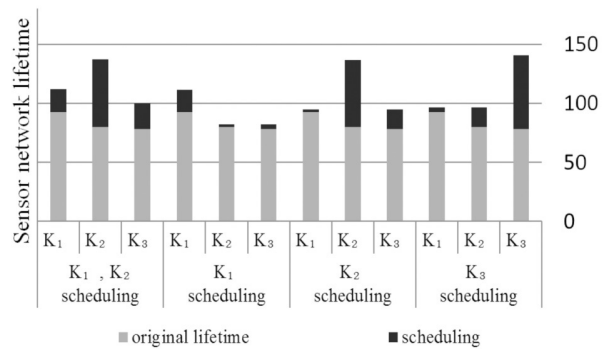


Fig. 10. Average life expectancy for each node according to the scheduling method.

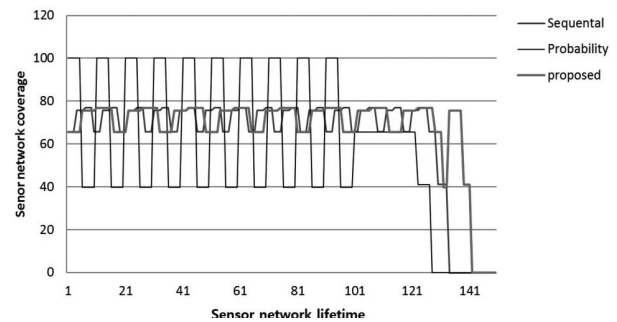


Fig. 11. The simulation results for efficiency of the proposed wake-up algorithm.

효율적인 스케줄링을 위해 우리는 비 중첩영역의 이벤트 발생 확률과 함께 이웃 노드의 수명과 전체 네트워크의 센싱 커버리지를 고려하였다. 본 논문에서 제안한 알고리즘은 Fig. 11과 같이 순차적으로 스케줄링하여 커버리지를 유지하면서, 수명은 10% 증가 하였다. 또한 확률만 적용하여 스케줄링한 것과는 센싱 커버리지에서 많은 차이를 보이지만 수명에서 약 15% 이상 증가하였고, 지속적인 커버리지 유지는 20% 이상 증가 하였다. 결과적으로 두 실험 보다 나은 결과가 나왔다. 또한 확률을 이용한 순차적 웨이크 업 스케줄링은 노드가 이루는 중복영역이 편차가 높을수록 그 효율은 높아진다.

5. 결론

본 논문은 확률을 이용한 순차적 스케줄링 알고리즘을 제안 하였다. 제안된 알고리즘의 설계 방법을 통해 두 개 노드 이상의 중복 영역의 이벤트 발생 확률을 연산 할 수 있고, 비 중첩 영역의 이벤트 확률을 통해 노드 간의 스케줄링하여, 효율성을 보여 주었다. 또한 제안된 알고리즘은 노드간의 효율적인 에너지 소모를 통한 공평한 수명과 커버리지 유지를 목표로 한 것이다. 이를 위해 네트워크의 모든 노드가 순차적으로 허용된 커버리지 범위 안에서 커버리지를 유지 하며, 서로 자신의 비 중첩영역의 확률에 따라 자신의 웨이크업 주기를 조절하며 스케줄링하여 중복영역의 에너지 효율이 낮은 노드는 보다 낮은 시간을 일하게 되어, 에너지 소실을 줄이고, 효율이 높은 노드는 보다 긴 시간 일을 하여 효율이 적은 노드에게 수명을 지원 할 수 있게 커버리지를 많이 탐지 하게 된다. 이를 통해 전체 네트워크 안에서 이웃노드와 함께 공평한 스케줄링을 하여 효율적인 에너지 소모를 할 수 있다.

감사의 글

본 연구는 교육과학기술부와 한국연구재단의 지역혁신인력양성 사업으로 수행된 연구결과임 (2012H1B8A2026055).

REFERENCES

- [1] M. Cardei, M.Thai, Y.Li, and W.Wu, "Energy-efficiency target coverage in wireless sensor networks", *Proc. of IEEE INFOCOM 2005*, Vol. 3, pp. 1976-1984, 2005.
- [2] I. Howitt and J. Wang, "Energy balanced chain in distributed sensor networks", *Proc. of IEEE WCNC 2004*, Vol. 3, pp. 1721-1726, 2004.
- [3] Di Tian and Nicolas D. Georganas, "A node scheduling scheme for energy conservation in large wireless sensor networks", *Wirel. Commun. Mob. Comput.*, Vol. 3, No. 2, pp. 271-290, 2003.
- [4] F. Ye, G. Zhong, S. Lu, and L. Zhang, "PEAS: A robust energy conserving protocol for long-lived sensor networks", *Proc. of Distributed Computing Systems*, pp. 28-37, 2003.
- [5] J. Cho, G. Kim, T. Kwon, and Y. Choi, "A distributed node scheduling protocol considering sensing coverage in wireless sensor networks", *Proc. of VTC2007*, pp. 352-356, 2007.
- [6] Z. Abrams, A. Goel, and S. Plotkin, "Set k-cover algorithms for energy efficient monitoring in wireless sensor networks", *Proc. of IPSN 2004*, pp. 424-432, 2004.