

# 유전자알고리즘을 이용한 가변감지범위를 갖는 무선센서네트워크의 수명연장

송봉기<sup>†</sup>, 우종호<sup>‡</sup>

## 요 약

가변감지범위를 갖는 무선센서네트워크의 수명연장을 위한 센서 노드의 전원 관리에서 요구되는 최대집합 커버문제를 유전자알고리즘을 이용하여 해결하였다. 기존의 경험적 탐욕법(greedy heuristic method)에서는 네트워크의 동작 중 스케줄링을 반복 수행하므로 센서노드의 통신량이 증가한다. 제안한 방법에는 센서 노드의 통신 트래픽을 감소시켜 노드의 에너지 소모를 절약하여 네트워크의 수명을 연장하였다. 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 제안한 방법의 유효성을 확인했으며, 통신동작의 에너지 소모를 고려할 때 네트워크의 수명이 약 10% 증가하였다.

## Extension of Wireless Sensor Network Lifetime with Variable Sensing Range Using Genetic Algorithm

Bong Gi Song<sup>†</sup>, Chong Ho Woo<sup>‡</sup>

## ABSTRACT

We propose a method using the genetic algorithm to solve the maximum set cover problem. It is needed for scheduling the power of sensor nodes in extending the lifetime of the wireless sensor network with variable sensing range. The existing Greedy Heuristic method calculates the power scheduling of sensor nodes repeatedly in the process of operation, and so the communication traffic of sensor nodes is increased. The proposed method reduces the amount of communication traffic of sensor nodes, and so the energies of nodes are saved, and the lifetime of network can be extended. The effectiveness of this method was verified through computer simulation, and considering the energy losses of communication operations about 10% in the network lifetime is improved.

**Key words:** wireless sensor network(무선센서네트워크), target coverage(목표커버), maximum set cover problem(최대커버집합문제), genetic algorithm(유전자알고리즘)

## 1. 서 론

무선센서네트워크는 무선통신기능과 감지기능을 갖는 센서노드들로 구성된 네트워크로써 다양한 감시와 관리 등의 분야에 활용될 수 있다[1-2]. 무선센서네트워크의 수명은 각 센서노드에 공급되는 전원

에 의해서 결정되므로 이러한 응용분야에서 무선센서네트워크의 수命을 연장시키는 방안은 전체 시스템의 운영의 경제성 및 효율성을 위해서 중요한 문제이다. 무선센서네트워크의 효율성을 위해서 라우팅, 감지영역 제어 등 다양한 연구가 진행되었고 이와 더불어 수명연장문제도 무선센서네트워크의 신뢰성

\* 교신저자(Corresponding Author) : 우종호, 주소 : 부산시 남구 대연동 599-1(608-737), 전화 : 051)629-6250, FAX : 051)629-6210, E-mail : chwoo@pknu.ac.kr

접수일 : 2008년 12월 24일, 완료일 : 2009년 4월 21일

<sup>†</sup> 정회원, 부산IT융합부품연구소 선임연구원

(E-mail : alphamir@pknu.ac.kr)

<sup>‡</sup> 정회원, 부경대학교 전자컴퓨터정보통신공학부 교수

\* 이 논문은 2006학년도 부경대학교 기성희 학술연구비 지원사업에 의해서 연구되었음(PK-2006-056).

을 결정하는 중요한 문제로서 활발한 연구가 이루어지고 있다[3]. 일반적으로 네트워크의 수명연장에 대한 문제는 감지거리, 통신 및 각 센서노드의 처리에 소모되는 에너지의 효율적인 관리에 관한 스케줄링 문제인 동시에 최적화문제로 볼 수 있다. 현재 주로 연구되고 있는 분야는 네트워크를 구성하는 다수의 센서노드에 대해 제한된 조건(대부분 감지조건)을 만족하면서 최고의 수명을 갖도록 선택적인 전원 스케줄링을 통한 슬립모드와 동작모드간의 전환을 이용하는 연구들이다.

M. Cardei 등은 식별된 감지대상의 위치정보를 기반으로 모든 감지대상을 커버하면서 네트워크의 수명을 최대화하는 문제를 타깃커버문제(TCP: target cover problem)로 정의하였고, 이 문제에 대한 해법으로 최대커버집합(MSC: maximum set cover)문제를 제안하였다[3]. 이 연구에서 최대커버집합문제가 비결정 완전(NP-complete)이며, 이 문제에 대한 해법으로 선형프로그래밍기법과 경험적 탐욕법을 이용한 방법을 제안하였다. 그러나 선형 프로그래밍이나 경험적 탐욕법을 이용한 경우, 센서의 수가 증가하면 실행 중(run-time) 계산을 수행함에 있어, 각 센서노드의 위치정보를 생성하는 문제와 더불어 각 센서노드의 수행시간 및 수면시간을 명령하기 위한 통신량이 증가하는 단점을 갖는다. 일반적으로 통신이 감지 및 처리 기능보다 상대적으로 큰 에너지를 요구하므로, 통신량의 증가는 소비 전력이 크게 증가하는 문제를 갖는다. 따라서 센서노드 및 타깃의 수가 많아 네트워크의 규모가 커지면, M. Cardei 등의 연구에서 제안된 알고리즘은 현실성이 떨어진다[4].

본 논문에서는 유전자알고리즘을 이용하여 최대커버집합문제를 해결하였다. 이 방법에서는 네트워크의 센서노드 수와 타깃 수에 대한 의존성이 낮고, 센서노드의 통신량을 줄일 수 있는 장점을 갖는다. 최대커버집합문제에 적절한 염색체의 인코딩 방법과 새로운 유전연산자를 설계하고, 이를 이용한 스케줄링과 통신량 제어방법을 제시하였다. 염색체의 인코딩 시 발생할 수 있는 중복을 제거하고, 속도와 문제에 대한 적합성을 고려하여 선택연산 및 교차연산 알고리즘을 재설계한다. 제안한 방법의 효율성을 평가하기 위하여 경험적 탐욕법과 비교하는 컴퓨터시뮬레이션을 수행해서 그 결과를 비교 및 분석하였다. 시뮬레이션 결과 통신 오버헤드를 고려할 때, 제안한

방법이 기존의 방법에 비교해서 약 10%의 에너지를 절약할 수 있음을 확인하였다.

본 논문의 구성으로, 제 2 장에서는 무선센서네트워크의 수명을 연장하는 방안과 특정 목표지점을 커버하는 노드의 집합을 구하는 문제인 타깃커버문제 및 네트워크 수명을 최대화하는 최대커버집합문제에 대하여 소개한다. 제 3 장에서는 유전자 알고리즘을 이용한 네트워크 수명을 연장하는 방법을 설명하며, 제 4 장에서는 기존의 경험적 탐욕법과 본 논문에서 제안하는 유전자 알고리즘 기반의 방법들에 대한 컴퓨터시뮬레이션을 수행하고 그 결과를 분석한다. 제 5장에서는 연구의 결론을 맺는다.

## 2. 문제영역의 정의

센서노드의 감지동작과 통신에 따른 에너지 소모를 평가하기 위한 기존의 에너지 소모모델과 최대커버집합 문제의 정의를 기술한다[4].

### 2.1 무선센서네트워크의 에너지 소모모델과 커버문제

무선센서네트워크에서 센서노드의 에너지 소모모델은 M. Cardei 등에 의해 선형모델(linear model)과 2차 모델(quadratic model)이 정의되었다[3]. 선형모델은 거리  $r_p$ 에서 타깃을 커버하기 위해 요구되는 에너지를  $e_p$ 라고 했을 때, 식 (1)과 같다.

$$e_p = C_1 r_p \quad (1)$$

여기서  $C_1$ 은 상수이다. 즉, 선형모델은 센서노드와의 거리  $r_p$ 에 비례하여 에너지 소모가 증가하는 모델이다. 2차 모델은 센서노드와의 거리  $r_p$ 의 제곱에 비례해서 에너지 소모가 증가하고, 식 (2)과 같다.

$$e_p = C_2 r_p^2 \quad (2)$$

여기서  $C_2$ 는 상수이다. 무선센서네트워크의 모델에서 모든 센서노드들은 동일한 에너지를 갖는다고 가정한다. 이 때 센서노드에서는 통신 동작이 처리나 감지동작보다 더 큰 에너지를 소모한다[5].

무선센서네트워크의 커버문제에는 지역커버(area coverage), 목표(혹은 지점)커버(target coverage), 그리고 경로커버 (path coverage)가 있으며, 본 본문에서는 무선센서네트워크의 커버문제들 중 목표커버문제로 제한하였으며 그 개념은 그림 1과 같다. 여

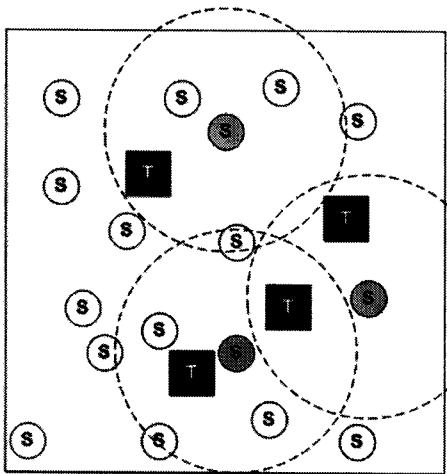


그림 1. 지점 커버집합문제, 여기서 ⑤는 유효노드, ●는 동작노드, ■는 커버대상

기서 주어진 타깃을 센서노드들이 커버하도록 배치한다. 4개의 커버대상들이 세 개 센서노드들의 감지영역에 모두 포함되므로 목표 커버가 성립된다.

목표커버문제에서 감지대상 지점에 대한 위치정보를 알고 있고 대상 지점의 주변에 센서노드를 임의로 배치한다. 이 경우 목표커버에 직접적으로 참여하지 않는 잉여 센서노드가 존재할 수 있다. 네트워크의 수명을 연장하기 위해 센서노드를 슬립(sleep)상태와 동작상태의 전환을 계획 관리함으로써 전체 네트워크의 수명이 연장될 수 있다.

M. Cardei 등은 목표커버를 만족하는 센서노드의 집합을 선택할 때 서로소인 집합(disjoint set)조건으로 선택된 집합에 대해서 동작시간을 서로 다르게 설정해서 네트워크의 수명을 연장하는 방법을 제시하였다[6]. 이 방법에서는 서로소인 집합의 수를 최대화해서 네트워크의 수명을 최대로 연장할 수 있다. 서로소인 집합 커버문제가 비결정 완전 문제임을 증명하였고, 정수프로그래밍(integer programming)을 이용한 해법을 제안하였다[7]. Slijepcevic 등은 목표커버문제에서 주어진 목표들을 연결하여 구해지는 영역을 커버하는 지역을 대상으로 한 목표커버문제를 서로소인 집합 커버문제로 정의하여 이를 순차적으로 네트워크에 적용해서 네트워크의 수명을 연장하는 방법을 제안하였다[7].

M. Cardei 등은 다른 연구를 통해 지점 커버문제를 서로소가 아닌 집합(non-disjoint set)으로 정의하고 집합의 요소인 센서노드들에 다른 수행시간을

적용하여 네트워크의 수명을 연장하는 방안을 제안하였다. 이 접근방식도 비결정 완전 문제이며, 경험적 선형프로그래밍(linear programming heuristic)과 경험적 탐욕법을 이용한 해법을 제안하였다[6].

## 2.2 최대커버집합문제

최대커버집합문제는 임의로 주어진 영역에 대해 정해진 수의 타깃과 센서노드를 배치한 상태에서 지점 커버를 만족하는 집합의 개수를 최대로 구하는 문제이다. 앞 절의 목표 커버문제에 대한 정의에서 전체 스케줄링을 담당하는 BS(base station)가 각 센서노드와 타깃의 위치 및 센서노드의 감지영역 등의 정보를 모두 가진다고 가정하므로 이를 이용한 각 센서노드가 감지할 수 있는 타깃을 구할 수 있다. 커버 거리를 구하기 위해 센서노드와 타깃 간의 유clidean 거리를 구하여 그 값이 센서노드의 감지반경이내에 있으면 그 센서는 그 목표지점을 커버한다고 할 수 있다.

예로 그림 2의 (a)와 같이 3개의 타깃과 4개의 센서노드를 배치하여 최대커버집합문제를 해결할 때, 타깃의 집합은  $R = T_1, T_2, T_3$ , 센서노드의 집합은  $C = s_1, s_2, s_3, s_4$  이다. 센서노드와 각 센서에 의해 커버되는 타깃의 관계를 집합으로 표현하면 그림 2의 (b)와 같다. 즉,  $s_1 = (T_1, T_2)$ ,  $s_2 = (T_2, T_3)$ ,  $s_3 = (T_1, T_3)$ ,  $s_4 = (T_1, T_2, T_3)$ 와 같이 4개의 집합으로 구분된다. 여기서 각 센서노드는 센서노드를 구성하는 센서의 특성에 따라 서로 다른 감지범위를 가질 수 있다. 커버집합  $s_1, s_3$ 의 경우는 반지름  $r_1$ 의 원으로 표현되는 감지범위를 가지며 커버집합  $s_2$ 는  $r_1$ 의 2배인 반지름  $r_2$ 의 원으로 감지범위를 설정한 것으로 가

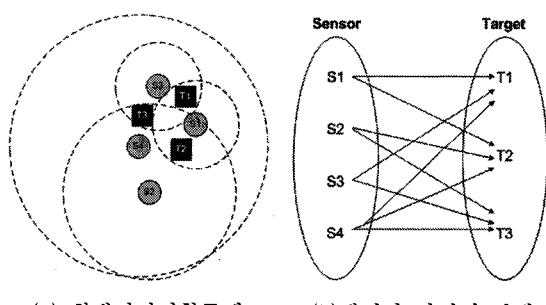


그림 2. 3개의 목표지점과 4개의 센서로 구성된 최대커버집합문제

정한다. 커버집합  $S_4$ 의 경우는 가장 큰 반경인  $r_3$ 로 감지영역을 가지며 이 값은  $r_1$ 값의 3배로 가정한다. 센서노드들이 각각 다른 감지범위를 가지므로 각 센서노드의 에너지 소모량은 일정하지 않다.

즉, 최대커버집합문제는 센서노드의 집합  $C$  와 타깃의 집합  $R$ 이 주어졌을 때  $R$ 을 커버하는 센서노드들로 구성된 커버집합  $S_1, \dots, S_p$ 에 대응하는 커버집합의 수명  $t_1, \dots, t_p$  ( $t=[0,1]$ )을 구하되  $t_1 + \dots + t_p$ 가 최대가 되는 것으로 정의된다. 여기서  $C$ 의 부분집합  $s$ 는  $S_1, \dots, S_p$ 의 구성요소이다. 하나의 센서노드에 할당되는 최대수명은 1로 두며, 앞의 조건들을 만족하는 최대화식을 유도하면 식 (3)과 같다.

$$\text{Maximize } t_1 + \dots + t_p$$

$$\begin{aligned} \text{subject to } & \sum_{j=1}^p x_{ij} t_j \leq 1 \forall s_i \in C \\ & \sum_{i \in C_k} x_{ij} \geq 1 \forall r_k \in R, j = 1, \dots, p \end{aligned} \quad (3)$$

여기서  $x_{ij} = 0, 1$  ( $x_{ij} = 1$  if and only if  $s_i \in S_j$ )

네트워크의 수명 연장을 위해서는 통신동작에 소요되는 에너지를 최소화하여야 한다. 최대커버집합문제를 통해 감지동작에 소요되는 최소에너지를 구할 수 있는 최적화식을 구하였다. 통신량의 최소화를 통해서 통신동작에 소요되는 에너지의 최소화하며, 이를 식으로 표현하면 식 (4)과 같다.

$$\text{Minimize } Q_C \times \frac{P_r + P_t}{2} \quad (4)$$

여기서  $Q_C$ 는 통신량,  $P_r$ 은 수신동작을 수행할 때의 전력소모,  $P_t$ 는 송신동작을 수행할 때의 전력소모를 나타낸다.

### 3. 유전자알고리즘을 이용한 최대커버집합문제의 해결

유전자알고리즘은 다점검색을 이용한 최적화 알고리즘의 일종으로 개체군에 선택연산, 교차연산, 돌연변이연산을 반복적으로 적용하여 근사 최적 해를 구하는 방법이다. 수행 알고리즘이 간단하고 유효시간 내에 근사 최적 해를 얻을 수 있는 장점을 가지고 있어 다양한 응용분야에 적용되고 있다[8-10]. 센서네트워크의 수명연장을 위한 최대커버집합문제는 비결정 완전의 최적화문제로 정의될 수 있기 때문에

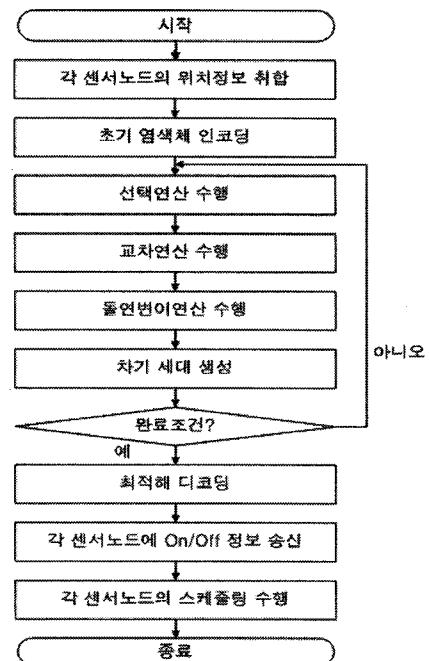


그림 3. 전체 알고리즘의 수행과정

유전자알고리즘을 적용하여 최적 해를 탐색함으로서 문제를 해결할 수 있다. 이를 수행하는 과정은 다음 그림 3과 같다. 각 센서의 위치정보를 취합한 후 염색체를 인코딩하여 초기개체군을 생성한 후 유전자알고리즘에 따라 선택연산, 교차연산, 돌연변이연산을 적용하고 차기세대를 생성한 후 유전자알고리즘의 완료조건이 만족되면 최적 해를 디코딩하여 각 센서노드에 스케줄링 정보를 할당하여 수행한다. 센서노드가 추가로 배치되면 이 과정을 반복 수행해야 하나 그렇지 않은 경우 한번 계산된 최적화 값에 따라 무선센서네트워크를 운용할 수 있다.

유전자알고리즘을 최대커버집합문제에 적용하기 위하여 이 문제에 적합하도록 새로운 염색체 인코딩 방법을 설계하고, 이에 맞춰 유전연산자들도 새롭게 설계되어야 한다. 기존의 단순유전자알고리즘을 바탕으로 최대커버집합문제에 적합하도록 염색체 인코딩방법과 유전연산자들을 설계한다. 이때 유전자알고리즘의 완료조건은 주어진 조건하에서는 유효적절한 수준의 세대 수로 제한하여 조절한다.

#### 3.1 염색체 인코딩

유전자알고리즘에서 해집합을 표현하는 염색체

를 인코딩하는 방법으로 이진비트열을 이용했다. 이러한 염색체 인코딩 방식은 주어진 문제에 대한 모든 해의 구성요소가 결정된 상태에서만 적용이 가능한 방법으로 최대커버집합문제에서 모든 커버집합을 구해야한다. 유전자알고리즘을 이용하여 이 문제를 해결하기 위해서는 모든 커버집합을 구하지 않은 상태에서 염색체의 크기에 따라 동적으로 그 크기가 변형될 수 있는 새로운 형태의 염색체 인코딩 방법이 필요하다. 본 논문에서는 염색체의 크기에 맞춰서 커버집합 내의 임의의 원소를 선택하여 염색체를 인코딩하며 그 과정은 다음 그림 4와 같다. 그림에서 커버집합의 각 원소들은 각각 타깃 커버를 만족하는 집합이며 이들 중 임의의 한 원소가 선택되어 염색체의 염기로 대체된다. 이 때 염색체의 크기는 임의로 설정한 N으로 표현되고 한 원소가 염색체에 중복으로 존재하는 것을 막기 위하여 인코딩을 수행한 후 축약 과정을 통해 중복원소를 제거한다.

제안한 인코딩방법의 유효성을 평가하기 위해 Kobayashi 등이 제안한 코드화의 평가규범에 따라 완비성(completeness), 건전성(soundness), 비중복성(non-redundancy)의 척도에 맞춰 평가하였다 [11]. 완비성은 문제 공간에서 해의 후보는 모두 염색체로 표현 가능하다는 것을 나타내는 것으로 제안한 방법에서는 모든 타깃 커버는 센서 집합을 염기로 하여 염색체가 형성되므로 모든 해의 후보가 염색체로 표현될 수 있다. 건전성은 유전자 알고리즘 공간의 염색체는 모두 문제공간에서 해의 후보에 대응될 수 있음을 나타내는 것으로, 제안한 방법의 염색체는 최대로 구성한 경우 모든 센서들로 구성된 집합의 떡집합에서 모든 타깃 커버가 존재하지 않는 집합을 생략한 요소들 중에서 선택되므로 건전성을 만족한다. 비중복성은 염색체와 해의 후보는 1대 1로 대응될 수 있음을 나타내고, 여기서는 하나의 염색체가 하나의 해 후보에 대응될 수 있다. 따라서 제안한 인코딩 방법은 유효함을 확인할 수 있다.

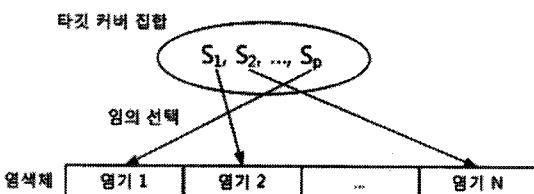


그림 4. 염색체의 부호화

### 3.2 선택연산

유전연산자를 적용할 염색체를 선택하는 선택연산은 다양한 방법들이 있고, 이들 방법들을 2가지 이상 혼용하여 그 효과를 높이는 연구들이 수행되었다 [11]. 본 논문에서도 속도와 우수형질의 보존을 고려하여 2가지의 선택기법을 병용하여 선택연산의 효율을 높였다. 최적해 수렴속도를 향상시키기 위한 선택연산 방법으로 엘리트 보존 기법을 적용하였고 우수형질 보존을 위해 각 염색체의 적합도를 기준으로 룰렛 휠 선택기법을 병용하는 선택연산을 이용한다.

룰렛 휠 선택기법은 각 염색체의 적합도에 비례하여 선택연산을 통해 선택될 확률이 차등적으로 할당된다[9]. 즉, 각 염색체의 적합도를 모두 합한 값만큼의 크기를 가진 룰렛-휠을 가정하고, 각 염색체는 이 룰렛-휠 상에 자신의 적합도에 비례하여 공간을 배정받는다. 임의로 선택된 값이 룰렛-휠에서 존재하는 공간의 염색체가 다음 세대에 선택되는 방법이다. 엘리트 보존 기법은 현 세대의 엘리트 염색체는 무조건 다음 세대에 선택되는 방법으로 각 세대의 엘리트들의 유전형질이 빨리 전파될 수 있다. 본 연구에서는 룰렛 휠 선택연산을 통해 교차연산과 돌연변이연산에 사용될 염색체를 선택하여 새로운 염색체를 생성시키고, 엘리트 보존 기법을 적용하여 이전 세대의 엘리트 염색체가 현 세대에 남도록 하였다. 이러한 과정을 통해 최적해의 수렴속도를 향상시킬 수 있다. 이 선택방법은 유전자알고리즘의 다양성을 급속히 떨어뜨릴 수 있으므로, 본 연구에서는 이를 새로운 돌연변이연산을 이용하여 보완하였다.

### 3.3 교차연산

염색체를 구성하는 각 염기들은 목표 커버를 만족하는 센서노드의 집합으로 표현된다. 염기를 이용하여 염색체를 구성할 때 각 염기들의 조합은 다양하게 생성될 수 있으며, 이러한 집합들을 구성하는 센서노드의 수도 다양하다. 따라서 염색체의 인코딩은 가변 길이를 가질 수 있도록 하고 교차연산도 가변 길이를 갖는 염색체에 대해 수행된다. 기존의 교차연산으로는 염색체가 가변길이를 갖는 경우, 교차연산을 수행하기 어려우므로 가변길이의 염색체에 대해 수행될 수 있는 새로운 교차연산이 필요하다. 새롭게 설계된 교차연산은 그림 5와 같이

## 단계 1. 1점 교차

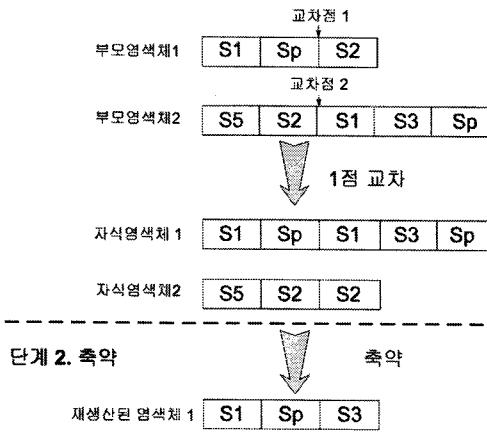
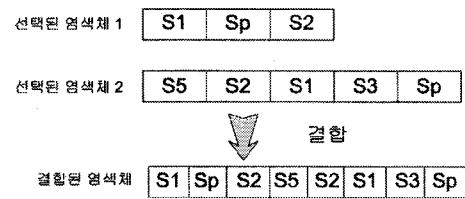
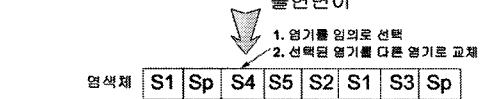


그림 5. 제안한 유전자알고리즘의 교차연산

## 단계 1. 결합



## 단계 2. 전통적 돌연변이



## 단계 3. 축약

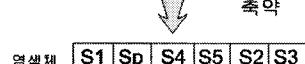


그림 6. 제안한 돌연변이 연산

## 2단계의 수행과정을 갖는다.

선택연산을 통해 선택된 2개의 부모 염색체에 대해 1점 교차를 적용하고 중복된 염기에 대해 축약을 수행하는 2단계의 수행과정을 갖는다. 즉, 선택된 각 부모 염색체에 대해 임의의 교차점을 선택한 후 그 교차점을 기준으로 교차점 이후의 염기들을 교환함으로써 교차를 수행한다. 생성된 자식염색체에는 중복되는 염기가 존재할 수 있기 때문에 축약과정을 통해 중복되는 염기를 제거한다.

## 3.4 돌연변이연산

돌연변이연산은 더 많은 해 공간에 대해 탐색하기 위하여 임의의 한 염기를 선택하여 새로운 염기로 대체하는 것이다. 본 연구의 선택연산에는 룰렛 휠 선택과 엘리트보존기법을 병용하므로 최적해로의 수렴속도가 향상되는 반면 유전자알고리즘의 다양성이 상실될 수 있다. 이를 돌연변이연산으로 보완할 수 있도록 돌연변이연산을 설계한다. 유전자 알고리즘에서 염색체의 길이가 길어진다는 의미는 타깃을 커버하는 센서노드의 집합수가 많다는 것을 의미하고 센서노드 집합의 수가 많을수록 센서노드의 에너지를 분할하여 사용할 수 있으므로 전체 네트워크의 수명이 길어진다.

전형적인 돌연변이연산을 본 연구의 유전자알고리즘에 적용하게 되면 염기의 중복이 발생할 수 있다. 이러한 문제를 해결하고, 염색체의 크기가 클수

록 최적해 집합에 가까워질 확률을 높이는 최대커버집합문제의 특성을 고려한 새로운 돌연변이연산을 설계한다. 본 논문에서 제안한 돌연변이연산은 그림 6과 같이 3단계의 수행과정을 갖는다. 먼저 임의의 2개 염색체를 선택하여 이를 결합하는 과정을 통해 염색체의 크기를 키운다. 최대커버집합문제에서는 한 센서가 더 많은 집합에 참여할수록 적합도가 높아지는 특성이 있으므로 염색체를 구성하는 염기의 수가 증가하면 할수록 최적해에 근접하게 될 확률이 더 높아진다. 두 번째 단계에서 임의의 한 염기를 선택하여 다른 염기로 치환하는 전형적인 돌연변이연산을 적용해서 새로운 염색체를 생성한다. 여기서 두 염색체를 결합하면 중복되는 염기가 발생할 수 있으므로 축약을 통해서 중복염색체를 제거한다.

## 3.5 평가함수

유전자알고리즘에서 각 세대의 적합도를 평가하는 평가함수는 각 염기들의 서비스 시간들의 합으로 구할 수 있다. 염기들의 서비스 시간은 센서노드의 수에 의존적이므로 먼저 센서노드의 수를 구해야 된다. 염기로 포함된 센서노드의 수  $N_{Si}$ 는 다음 식 (5)과 같이 표현될 수 있다.

$$N_{Si} = \sum_{k=0}^P x_k \quad (5)$$

where  $x = 0, 1 (x = 1 \text{ if and only if } S_k \in G_k)$   
 $i = 0, 1, \dots, N$

이 때  $N$ 은 센서의 수,  $G_k$ 는 염색체를 구성하는 염기,  $p$ 는 염기의 수이다.

식 (5)을 이용하여 각 염기의 서비스 시간을 구하면 다음 식 (6)과 같이 표현될 수 있다.

$$t_i = \min \left\{ \frac{E_k}{N_{S_k}} | (SN_k \in G_i), i = 0, 1, 2, \dots, p, k = 0, 1, \dots, n_G \right\} \quad (6)$$

여기서  $t_i$ 는 선택된 염기의 서비스 시간,  $n_G$ 는 염기에 포함된 센서의 수,  $E_k$ 는 각 센서의 에너지를 나타낸다.

식 (6)에서 염기의 서비스 시간을 모두 합한 총 시간  $T$ 는 다음 식 (7)과 같다.

$$T = \sum_{i=1}^p t_i \quad (7)$$

식 (9)의  $T$ 를 이용하여 적합도  $f$ 를 구하면 다음 식 (8)과 같다.

$$f = \frac{T}{T_{ideal}} \quad (8)$$

여기서  $T_{ideal}$ 은 이상적인 경우의 센서네트워크의 수명으로 다음 식 (9)과 같다.

$$T_{ideal} = N \times \max \left\{ \frac{E_k}{N_{S_k}} | (SN_k \in G_i), i = 0, 1, 2, \dots, p, k = 0, 1, \dots, n_G \right\} \quad (9)$$

#### 4. 컴퓨터시뮬레이션 및 고찰

M. Cardei 등의 선행연구에서 최대커버집합문제에 대한 해법으로 선형프로그래밍, 경험적 선형프로그래밍, 경험적 탐욕법이 가능함을 보였고, 이를 중 가장 효과적인 방법은 경험적 탐욕법임이 고찰되었다[6]. 본 논문의 유전자알고리즘 방법의 유효성을 평가하기 위하여 경험적 탐욕법과 컴퓨터시뮬레이션을 통해 성능을 비교·고찰한다.

##### 4.1 컴퓨터시뮬레이션 조건

무선센서네트워크의 수명연장에 대해 제안한 방법과 경험적 탐욕법을 비교하기 위한 조건은 먼저 필드의 크기는  $500m \times 500m$  정방형의 공간으로 가정한다. 이 공간에 지정된 수의 센서노드를 임의의

표 1. 컴퓨터시뮬레이션 조건

조건	설정값
센서노드의 수(n)	100, 200, 300, 400
타깃의 수(m)	15
센서노드의 감지범위(r)	100, 200, 300 중 임의로 선택
경험적 탐욕법에서의 w	1

위치에 배치되는 것으로 가정한다. 각 센서노드의 가변 범위는 컴퓨터시뮬레이션을 단순화하기 위하여 100m, 200m, 300m의 3단계로 변할 수 있는 것으로 제한하였다. 유전자알고리즘의 특성은 일반적으로 사용되는 값을 사용하며 세부적인 시뮬레이션 조건은 표 1과 같다[9].

##### 4.2 센서노드 수에 따른 생명 주기 평가

센서노드의 수에 따른 무선센서네트워크의 생명연장을 평가하기 위하여 타깃을 15개로 고정시킨 후 센서의 수를 100개, 200개, 300개, 400개로 단계별로 증가시키면서 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 결과는 다음 그림 7과 같다.

그림 7의 결과에서 보면, 스케줄링을 적용하지 않았을 때의 수명이 각각 100, 200, 300, 400인 것을 경험적 탐욕적 방법을 적용한 경우 약 236, 521, 795, 1144로 향상되었고, 유전자알고리즘을 적용한 경우 약 205, 452, 653, 953으로 향상되었다. 경험적 탐욕법의 경우 최소단위인  $w$  값에 따라 전력을 다시 계산하여 처리하므로 최적의 성능을 보이나, 유전자알고리즘의 경우 수행시간을 제한하기 위하여 세대수를 제한하여 전체적으로 경험적 탐욕법의 82~87% 수준

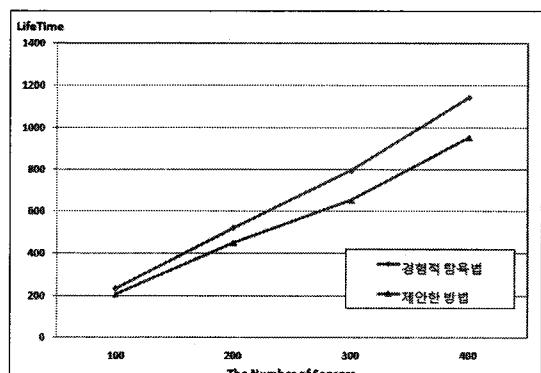


그림 7. 센서의 수에 따른 생명주기 비교 (감지동작 기준)

의 성능을 나타내었다. 즉, 제안한 알고리즘은 노드의 통신을 고려하지 않고 최적화만 고려한다면 경험적 탐욕법이 효율적임을 알 수 있다.

### 4.3 통신량의 비교

센서노드의 수에 따른 감지동작에 따른 에너지 소비 성능은 경험적 탐욕적 방법이 제안한 방법과 비교하여 상대적으로 우수한 것으로 나타났다. 무선센서네트워크에서 센서노드의 에너지 소비는 감지동작과 더불어 통신동작에서 발생한다. 특히, 통신동작의 경우 감지동작보다 더 큰 에너지 소모가 발생하므로 제안한 방법과 탐욕적 방법의 통신동작에 따른 에너지 소모를 비교하기 위하여 센서노드의 수가 100, 200, 300, 400인 경우에 대해 각 경우의 통신량을 컴퓨터시뮬레이션을 수행한 결과는 표 2와 같다.

표 2의 결과에서 통신량을 고려한 전체 네트워크의 수명은 제안한 방법이 경험적 탐욕법보다 우수한 성능을 가짐을 알 수 있다. 경험적 탐욕법의 경우  $w$ 를 정해서 각 센서 노드가 감지동작을 통해  $w$ 만큼 에너지를 소모한 후 다시 집합을 계산해야 하지만 제안한 방법의 경우는 최초에 스케줄링을 수행한 후 그 결과를 기반으로 각 커버 집합의 스케줄이 결정된다. 새로운 센서의 추가나 변동이 없다면 한 번의 계산과정을 통해 전체 센서 네트워크의 운영 스케줄을 생성하고, 이 정보에 입각하여 전체 무선센서네트워크를 운용하므로 각 커버 집합의 전환이 발생하는 경우에만 통신이 발생하게 된다.

예를 들어, 센서노드가 100개인 경우, 경험적 탐욕법에서 감지동작을 통한 수명은 236이고, 유전자알고리즘에 의한 방법은 205이다. 그러나 통신량을 고려하면 경험적 탐욕법은 2328회의 통신이 이루어지나 제안한 방법은 145회만 수행되므로 통신 오비헤드 및 통신동작에 따른 에너지 소모에 큰 차이가 있

표 2. 센서노드의 생명주기 비교(통신동작 포함)

방법 센서노드 의 수	경험적 탐욕법		제안한 방법	
	통신량	네트워크의 수명	통신량	네트워크의 수명
100	2328	76	145	205
200	5235	338	285	452
300	7905	570	352	653
400	11342	856	393	953

다. 이를 고려하여 전체 전력을 평가하면 경험적 탐욕법을 적용한 노드가 100개인 경우, 각 센서노드의 에너지가 1일 때 커버집단의 수가 145개로 예측될 수 있고, 이 때 통신을 위해 각 커버집단에서 소모되는 에너지는 통신동작의 소모에너지 \* (전체 통신량 / 커버집단의 수)로 구할 수 있다. 이 값을 기준으로 구하면 경험적 탐욕법의 경우 76의 수명을 가지며, 제안한 방법은 205의 수명을 갖는다. 일반적으로 통신동작이 감지동작에 비해 높은 에너지 소모를 요구하므로, 표 2의 통신량을 고려하면 전체적으로 경험적 탐욕법이 더 많은 에너지를 소모하게 된다. 따라서 무선센서네트워크에서는 일반적으로 에너지 소모가 상대적으로 큰 통신량까지 고려해야 하므로 유전자알고리즘을 이용한 방법이 효과적이라 할 수 있다. 제안한 방법은 통신동작 시 소모되는 에너지의 소모와 감지동작 시 소모되는 에너지의 차이가 큰 센서노드를 이용하는 경우에 효과적인 방법이다.

## 5. 결 론

본 논문에서는 센서노드들이 가변감지범위를 갖는 지점 커버문제를 대상으로 한 무선센서네트워크의 수명연장을 위해 센서노드의 동작모드를 제어하는 스케줄링기법에 적용하는 최대커버집합문제를 유전자알고리즘을 이용해서 해결하는 방안을 제안하였다. 기존의 경험적 탐욕법에 비교해서 센서노드의 수가 증가에 따른 통신량의 증가율이 크게 감소되어 각 센서노드의 에너지 소모를 줄일 수 있으므로 네트워크의 수명을 연장할 수 있었다. 최대커버집합문제에 유전자알고리즘을 적용하기 위하여 새로운 방식의 염색체 인코딩방법, 선택연산, 교차연산, 돌연변이 연산 등을 설계하였다. 성능평가와 유효성을 평가하기 위하여 경험적 탐욕법과 동일한 조건에서 컴퓨터시뮬레이션을 수행했으며 그 결과를 비교, 분석하였다. 센서 노드의 수가 400개 미만일 경우를 대상으로 시뮬레이션한 결과, 감지동작 만을 고려한 네트워크의 수명의 연장 측면에서는 경험적 탐욕법이 제안한 방법과 비교하여 10~13% 나은 성능을 보이나, 센서노드 수의 증가에 따른 계산량과 통신 오비헤드의 증가율을 고려하면 제안한 방법에서 약 10%의 에너지를 절약할 수 있다.

## 참 고 문 헌

- [ 1 ] I.F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, "Wireless Sensor Networks: A Survey," *Computer Networks: The International Journal of Computer and Telecommunications Networking*, Vol.38, No.4, pp. 393-422, 2002.
- [ 2 ] G.J. Pottie and W.J. Kaiser, "Wireless integrated sensor networks," *Communications of the ACM*, Vol.43, No.5, pp. 51-58, 2000.
- [ 3 ] M. Cardei, M.T. Thai, Y. Li, and W. Wu, "Energy-Efficient Target Coverage in Wireless Sensor Networks," *INFOCOM 2005. 24th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Proceedings IEEE*, Vol.3, No.1, pp. 1976- 1984, 2005.
- [ 4 ] M.T. Thai, F. Wang, D.H. Du and X. Jia, "Coverage Problems in Wireless Sensor Networks: Designs and Analysis," *International Journal of Sensor Networks*, Vol.3, No.1, pp. 191-200, 2008.
- [ 5 ] H.J. Joe, J.B. Park, C.D. Lim, D.K. Woo, and H.S. Kim, "Instruction-Level Power Estimation for Sensor Networks," *ETRI Journal*, Vol.30, No.1, pp. 47-58, 2008.
- [ 6 ] M. Cardei and D.Z. Du, "Improving Wireless Sensor Network Lifetime through Power Aware Organization," *Wireless Networks*, Vol.11, No.3, pp. 333-340, 2005.
- [ 7 ] S. Slijepcevic and M. Potkonjak, "Power Efficient Organization of Wireless sensor Networks," *Communications, 2001. ICC 2001. IEEE International Conference on*, Vol.2, No.1, pp. 472-476, 2001.
- [ 8 ] J.H. Holland, *Adaptation in Natural and Artificial Systems*, University of Michigan Press, Michigan, 1975.
- [ 9 ] D.E. Goldberg, *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*, Addison - Wesley, New York, 1989.
- [10] M. Cardei and J. Wu, "Energy-Efficient Coverage Problems in Wireless Ad Hoc Sensor Networks," *Computer Communications*, Vol.29, No.4, pp. 413-420, 2006.
- [11] 문병로, 유전알고리즘, 두양사, 서울, 2003.



### 송 봉 기

1991년~1997년 부경대학교 전자 공학과 학사  
1998년~2000년 부경대학교 정보 시스템 협동과정 정보공학 석사  
2000년~2005년 부경대학교 정보 시스템 협동과정 정보공학 박사  
2005년~현재 경성대학교 컴퓨터과학과 초빙외래교수  
관심분야 : 유전자알고리즘, 네트워크, 마이크로프로세서, 임베디드시스템 등



### 우 종 호

1978년 2월 경북대학교 컴퓨터공학과(학사)  
1981년 2월 1986년2월 경북대학 교 대학원 전자공학과 전산공학전공(석사, 박사)  
1981년 3월~현재 부경대학교 전자컴퓨터정보통신공학부 교수  
1987년 8월~1988년 8월 미국 RPI Dept of Computer Science, Visiting Scholar  
2001년 8월~2002년 8월 미국 LSU at BR, Dept of ECE, Visiting Professor  
관심분야 : 임베디드시스템, 센서네트워크, 바코드 /RFID, e-learning