

# 센서 네트워크를 위한 최대 잔류 에너지 제한 Directed Diffusion 라우팅 알고리즘의 설계 및 성능 분석

정희원 황 안 규\*, 이재 용\*, 김 병 철\*<sup>†</sup>

## Design and Performance Evaluation of Maximum Remaining Energy Constrained Directed Diffusion Routing Algorithm for Wireless Sensor Networks

An kyu Hwang\*, Jae yong Lee\*, Byung chul Kim\*<sup>†</sup> *Regular Members*

### 요 약

센서 네트워크를 구성하는 각 센서 노드는 대체로 크기가 작고 배터리의 용량이 한정되어 있기 때문에 에너지 소모를 줄이는 방안이 연구되고 있다. 센서 노드는 자신의 위치에 따라서 이벤트 감지와 데이터 전송 횟수 등에 의해 다른 노드와 서로 다른 에너지 소비율을 보일 수 있으며 노드 간의 수명도 다르게 된다. 따라서 특정 노드의 에너지 고갈로 경로 단절에 의해 망의 수명을 단축시킬 수 있다. 본 논문에서는 센서 네트워크에서 데이터 전송을 위한 경로 선택에 있어, 남아 있는 에너지가 많은 노드 중에 최소 에너지를 소모하는 경로를 선택함으로써 망의 수명을 연장하고 전체적인 에너지 소비율을 비슷하게 유지하는 라우팅 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘의 목적은 센서 네트워크의 수명을 오래 유지하고 각 센서노드의 에너지를 골고루 사용함에 있다. 시뮬레이션을 통해 기존에 제안된 센서 네트워크 라우팅 알고리즘보다 망의 수명이 개선되고 각 노드의 잔류에너지 분포가 더 균일하여 망의 신뢰성이 높아짐을 보였다.

Key Words : wireless sensor network, routing algorithm, network lifetime, directed diffusion

### ABSTRACT

Since the sensor network nodes have a small size and limited battery power, there have been many studies for reducing their energy consumption. Each sensor node can show different energy usage according to the frequency of event sensing and data transmission, and thus they have different lifetime. So, some nodes may run out of energy that causes disconnection of paths and reduction of network lifetime. In this paper, we propose a new energy-efficient routing algorithm for sensor networks that selects a least energy-consuming path among the paths formed by node with highest remaining energy and provides long network lifetime and somewhat uniform energy consumption by nodes. Simulation results show that our algorithm extends the network lifetime and enhances the network reliability by maintaining relatively uniform remaining energy distribution among sensor nodes.

### I. 서 론

반도체 기술과 무선 통신 기술 그리고 센서 기술

의 비약적인 발전에 힘입어 검출 기능, 프로세싱 기능, 무선 통신 기능, 배터리 등을 탑재한 초소형 저가의 정보취득 노드를 양산할 수 있게 되었다. 이러

\* 충남대학교 정보통신공학과 데이터 통신실 (akhwang@datacom.cnu.ac.kr) + 교신저자

논문번호 : KICS2005-03-118, 접수일자 : 2005년 3월 23일

※ 본 연구는 한국과학기술정보연구원 논문연구과제(K-04-SG-20-01N-4) 지원에 의하여 연구되었음.

한 저가의 노드를 다량으로 설치하고, 주위를 센싱하여 원하는 정보를 얻을 수 있는 센서 네트워크의 구현이 가능해졌다. 센서 네트워크의 큰 특징은 기존 인프라를 사용하지 않고 무선 센서 노드들 사이에 자율적인 통신 경로를 설정하는 ad-hoc 네트워크라는 점이다. 또한 무선 센서 네트워크의 큰 장점은 유지관리 비용의 절감과 사람이 접근하기 어렵거나 위험한 장소에 센서 노드들을 쉽게 설치하여 필요한 정보들을 얻을 수 있는데 있다<sup>[1]</sup>.

한정된 센서 네트워크의 자원으로 인하여 우선적으로 고려해야 할 사항은 네트워크 수명을 오랫동안 유지하는데 있다. 각 노드는 자신의 위치에 따른 대상을 감지하는 횟수, 데이터 전송참여 횟수에 의해서 각 노드의 에너지 소비의 차이가 나타난다. 하나의 노드가 방전이 되어 일부 네트워크의 자원을 사용하지 못할 경우 해당 영역에 대한 감지를 할 수 없게 된다<sup>[2]</sup>. 따라서 센서 네트워크의 수명을 증가시키기 위하여 에너지 효율성과 관련된 다양한 라우팅 알고리즘이 제안되었으며, 대표적으로 directed diffusion (DD)<sup>[3]</sup>과 energy aware routing (EAR)<sup>[4]</sup>이 있다.

DD 알고리즘은 데이터를 전송하기 위한 경로 설정시에 에너지를 최소화하는 방향으로 설계되었다. 따라서 최단거리 경로에 위치한 노드의 에너지만 소비하게 되며, 최단 경로의 노드의 에너지가 빠르게 고갈되어 네트워크의 수명이 단축된다. 이러한 라우팅 알고리즘을 사용했을 경우 센서 네트워크의 전체적인 에너지 소모는 최소화 할 수 있지만 센서 네트워크의 수명을 최대화 할 수 없다는 단점을 가지게 된다. EAR 알고리즘은 이러한 단점을 보완하기 위해서 제안된 것으로 최단 경로의 노드를 선택하지 않고 이웃 노드에 대해서 확률적으로 선택하는 알고리즘이다. 또한, 노드에 남아있는 에너지를 기본으로 확률을 적용하기 때문에 DD 알고리즘보다 첫 번째 노드의 에너지가 고갈되는 수명을 연장시킬 수 있다는 장점을 가진다. 반면, EAR 알고리즘은 확률에 의해 경로를 설정하므로 최단 경로보다 많은 노드를 경유할 수 있으므로 전체적인 네트워크 에너지를 많이 소비한다는 단점을 가지게 된다. 따라서, 특정 경로가 단절되기까지를 나타내는 네트워크의 생존시간에서는 DD 알고리즘에 비해 향상되지 않았다.

본 논문에서는 기존의 알고리즘처럼 최단 거리 경로를 사용하면서도 남아 있는 에너지가 될 수 있는대로 큰 경로를 사용함으로써 센서 네트워크의

수명을 크게 연장시킬 수 있는 Maximum Remaining Energy Constrained Directed Diffusion (MRE-DD) 알고리즘을 제안한다. MRE-DD 알고리즘은 노드의 남은 에너지에 대해서 등급을 설정하며 다중 경로 중에서 잔류 에너지 등급이 가장 높은 경로를 강화하여 데이터 전송의 주 경로로 사용함으로써 에너지 소모를 줄이면서도 네트워크의 수명을 크게 연장시킬 수 있다. MRE-DD 알고리즘은 DD와 EAR에 비교해서 첫번째 노드가 죽을때까지의 시간과 특정 경로가 단절되기까지의 네트워크 생존 시간 모두에서 향상되었음을 시뮬레이션을 통해 확인할 수 있었다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2장에서는 기존의 센서 네트워크 라우팅 알고리즘인 DD와 EAR에 대해서 알아보고, 제 3장에서는 제안된 MRE-DD 알고리즘에 대해 설명한다. 제 4장에서는 이를 시뮬레이션을 통해 성능분석 하였고 마지막으로 제 5장에서 결론 및 향후 연구 계획을 제시한다.

## II. 기존의 에너지 효율적인 센서 네트워크 라우팅 알고리즘

센서 네트워크 내의 모든 센서 노드가 무선 통신 상에서 항상 상호 도달 상태가 아니기 때문에 대부분의 센서 네트워크 노드는 데이터를 수신한 후에 해당 목적지로 재전송 해주는 멀티 홉 라우팅 기능을 가지고 있어야 한다. 센서 노드의 에너지 소모 중에 무선 통신에 소모되는 에너지가 매우 크기 때문에, 센서 네트워크에 사용되는 라우팅 알고리즘은 에너지 효율을 고려하여 설계되어야 한다. 다시 말해 데이터를 전송할 때 에너지를 가장 적게 소모하는 경로를 통하여 전송되어야 하며, 또한 망 전체 노드의 에너지 소모가 균등하게 일어나도록 하여 네트워크의 에너지 소모가 일부분에 집중되어 망의 연결성이 사라지지 않도록 해야 한다. 본 장에서는 에너지 효율을 생각하여 설계된 센서 네트워크 라우팅 알고리즘인 DD와 EAR 알고리즘에 대해 알아본다.

### 2.1 Directed Diffusion(DD)<sup>[3]</sup>

DD 는 기존 센서 네트워크 라우팅 알고리즘의 하나로 세 가지 단계를 거쳐 센싱된 데이터를 전송하게 된다. 첫째 단계는 그림 1 (a)와 같이 정보를 수집하는 노드가 수집하고자 하는 센싱 정보 특성 (interest)을 망 전체의 센서 노드들에게 방송 형태로 전달하는 단계이다. Interest를 전송할 때는 flooding

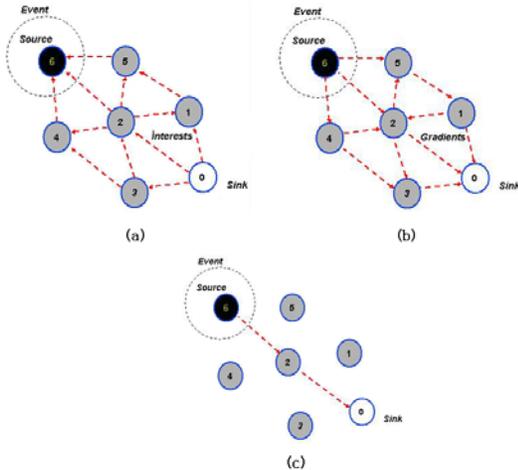


그림 1. Directed Diffusion 알고리즘 동작 과정

알고리즘을 사용하여 망 전체로 방송되거나, 원하는 특정 센서 노드 방향으로 전송된다. 둘째 단계는 그림 1 (b)와 같이 interest를 전달하는 중간 노드들이 interest를 전송한 직전 노드의 정보를 자신의 라우팅 정보인 gradient로 저장하는 단계이다. 이 gradient는 추후에 센싱 데이터를 전송할 때 정보 수집 노드를 향하여 올바르게 전송할 수 있도록 하는 라우팅 정보 역할을 한다. 이러한 과정을 거쳐 interest가 센싱 노드에까지 전달 되고 센싱 노드로부터 정보 수집 노드까지 다중의 경로가 생성된다. 셋째 단계는 센서 노드가 센싱한 데이터를 다중 경로로 전송하게 되면 정보 수집 노드가 가장 먼저 도착한 센싱 데이터를 보고 가장 좋은 경로를 선택하여 계속적으로 사용하기 위해서 그림 1 (c)와 같이 해당 경로를 주로 사용할 수 있도록 하는 경로 강화(reinforcement)단계이다.

이 단계를 거치고 나면 생성된 다중 경로 중에서 에너지를 가장 적게 소모하는 최적 경로만이 데이터를 전송하게 되고 나머지 경로는 사용하지 않게 된다. 이러한 방법으로 DD 알고리즘은 센서 노드로부터 정보 수집 노드까지 가장 적은 에너지를 사용하는 경로를 사용함으로써 에너지 효율적인 라우팅 알고리즘을 구현하게 된다. DD 알고리즘은 이와 같이 센서 네트워크 전체적으로 볼 때는 가장 에너지를 절약하는 방법이지만 최단 경로가 지나치게 많이 사용됨으로써 에너지가 고갈되어 최단 경로상의 센서 노드들이 기능을 하지 못하게 되어 전체적으로는 센서 네트워크가 양분되어 정보 전달을 하지 못하는 현상이 발생하므로 네트워크 생존 시간이 짧아지는 단점을 가진다.

## 2.2 Energy Aware Routing(EAR)<sup>[4]</sup>

EAR은 기존 센서 라우팅 알고리즘 중 효율성 뿐만 아니라 네트워크의 생존 시간을 증가 시키는 알고리즘이다<sup>[3]</sup>. EAR은 interest를 전송할 때 중간 노드가 주변 이웃 노드의 남아 있는 에너지와 송수신 간의 소비되는 에너지 같은 정보를 저장하고 있다가 실제로 센싱 데이터를 전송할 때 이러한 정보를 이용하여 확률적으로 정보를 전송할 이웃 노드를 결정함으로써, DD와 같이 한 경로만을 계속 사용하여 에너지를 고갈시키도록 동작하지 않고 이웃 노드를 비교적 골고루 사용함으로써 에너지 소모가 최소는 아니더라도 센서 네트워크 전체의 망 생존 시간을 크게 늘릴 수 있는 알고리즘이다. [3]에서 제시한 시뮬레이션 결과를 보면 DD 알고리즘보다 첫 번째 노드가 죽을 때까지의 생존 시간을 약 40%정도 연장 시키고 있다. EAR 알고리즘에서는 특정 노드  $j$ 가 정보 전달을 위해 이웃 노드  $i$ 를 선택하는  $P_{N_j, N_i}$  확률은 아래와 같다.

$$P_{N_j, N_i} = \frac{1/C_{N_j, N_i}}{\sum_{k \in T_j} 1/C_{N_j, N_k}} \quad (1)$$

위 식(1)에서  $C_{j,i}$ 는 노드  $j$ 와 노드  $i$ 사이의 cost로 아래와 같이 계산할 수 있다.

$$C_{j,i} = e_{j,i}^\alpha R_i^\beta \quad (2)$$

위 식(2)에서  $e_{j,i}$ 는 노드  $j$ 와 노드  $i$  사이에 데이터를 송수신할 때 소모하는 에너지이고,  $R_i$ 는 노드  $i$ 의 잔류 에너지이다. 그리고  $\alpha, \beta$ 는 상수으로써 필요에 따라 적절한 값으로 선택 할 수 있다.

그림 2는 EAR 알고리즘으로 노드  $j$ 에서 이웃 노드로의 데이터를 전송하는 방식을 보여주는 것이며,  $k$ 의 이웃 노드 중  $C_{j,i}$ 의 값이 높을수록 선택할 확률이 높게 된다. 이와 같은 EAR 알고리즘은 확률적으로 이웃 노드를 선택하기 때문에 특정한 노드의 에너지를 고갈시키지 않아서 망의 수명을 연장시킬 수 있지만, 각 노드마다 계속 확률적으로 계산된 이웃 노드를 선택하기 때문에 계산량이 많고 데이터 전송에서 루프가 발생하여 에너지를 낭비할 수 있으므로 DD 알고리즘보다 실제로 더 많은 에너지를 소모하게 된다. 이로 인해 첫 번째 노드가 죽을 때까지의 망 생존 시간은 연장할 수 있지만, 센싱 노드와 데이터 수집 노드 사이의 경로가 단절되는 시간까지의 망 생존 시간에 대해서 개선되지

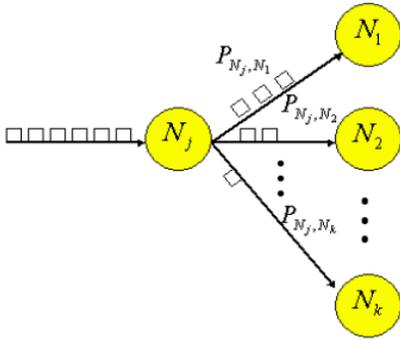


그림 2. EAR 알고리즘의 데이터 전송 방식

않는 단점을 가지고 있다.

### III. 최대 잔류 에너지 제한 Directed Diffusion (MRE-DD) 라우팅 알고리즘

본 장에서는 directed diffusion 알고리즘을 개선하여 네트워크의 첫번째 노드가 죽기까지의 망 생존 시간뿐만 아니라 센싱 노드로부터 정보 수집노드까지의 경로가 단절되는 시간까지의 망 생존 시간을 개선할 수 있는 Maximum Remaining Energy Constrained Directed Diffusion(MRE-DD) 라우팅 알고리즘을 제안한다. MRE-DD 알고리즘은 directed diffusion에서 다중 경로 중에 한 경로를 강화(reinforcement)할 때, 해당 경로에 놓여 있는 센서 노드의 남은 에너지 등급을 고려하여 에너지 레벨이 높은 경로중에서 경로 cost가 최소인 경로를 선택하게 함으로써 에너지를 적게 사용함과 동시에 네트워크에 전체적으로 에너지를 골고루 사용하게 하지는 것이다. 이를 통해 망의 신뢰성과 생존 시간을 크게 개선할 수 있는 알고리즘이다.

그림 3은 MRE-DD 알고리즘에 대한 절차를 나타낸다. 첫번째 단계는 정보를 수집하는 노드가 수집하고자 하는 센싱 정보 특성(interest)을 망 전체의 센서 노드들에게 방송 형태로 전달하는 “interest propagation” 단계이다. Interest를 전송할 때는 flooding 알고리즘을 사용하여 망 전체로 방송되거나, 원하는 특정 센서 노드 방향으로 전송된다. 둘째 단계는 interest를 전달하는 중간 노드들이 interest를 전송한 직전 노드의 정보를 자신의 라우팅 정보인 gradient로 저장하는 단계이다. 이 gradient는 추후에 센싱 데이터를 전송할 때 정보 수집 노드를 향하여 올바르게 전송할 수 있도록 하는 라우팅 정보 역할을 한다.

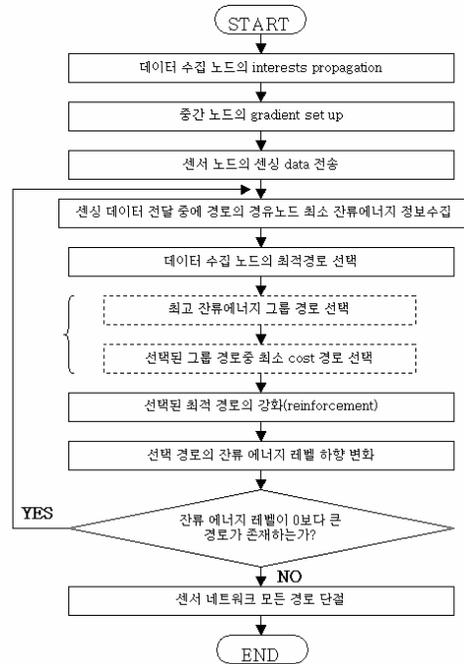


그림 3. MRE-DD 라우팅 알고리즘 절차

이러한 과정을 거쳐 interest가 센싱 노드에게까지 전달되고 센싱 노드로부터 정보 수집 노드까지 다중의 경로가 생성된다. 셋째 단계는 이와 같이 생성된 다중 경로 중에서 가장 적합한 정보를 선택하는 경로 강화 단계이다. DD 알고리즘에서는 센싱 노드가 센싱한 데이터를 다중 경로로 전송하게 되면 정보 수집 노드가 가장 먼저 도착한 경로를 주로 사용할 수 있도록 해당 경로를 강화 하지만, MRE-DD 알고리즘에서는 센싱 데이터가 수신된 다중 경로 중에서 무조건 가장 먼저 도착한 경로를 강화하는 것이 아니라, 각각의 경로의 노드가 가지고 있는 남아 있는 에너지의 최소값의 에너지 등급을 고려하여 가장 높은 에너지 등급을 가지고 있는 경로 중에서 가장 짧은 경로를 선택하여 강화한다. 이를 위해서 센싱된 데이터를 정보 수집 모두 전송할 때에 각 패킷을 전달 경로 내의 각 노드의 남아 있는 에너지(remaining energy) 레벨의 최소 값을 계속적으로 갱신하면서 각 노드들 통과하여 정보 수집 노드에게 까지 전달된다. 정보 수집 노드에서는 이러한 다중 경로 중에서 최대 잔류에너지 등급을 가진 경로그룹을 선택하고 이 그룹 중에서 최소 에너지를 소모하는 경로를 강화한다.

이러한 경로 강화 과정이 directed diffusion 과는 달리 에너지 레벨이 높은 경로를 먼저 사용하도록

함으로써 directed diffusion처럼 한 경로의 에너지가 모두 고갈되는 현상은 발생하지 않게 된다. 다시 말해 한 경로가 어느 정도 사용되고 나면 에너지 레벨이 낮아지게 되고 이에 따라 또 다른 경로가 선택되고, 또 이 경로의 에너지 레벨이 낮아지게 되면 주위의 또 다른 경로로 선택함으로써 망 전체적으로 볼 때 여러 가지 경로가 골고루 사용되면서 노드의 에너지가 골고루 소모되는 효과를 가져올 수 있다. 따라서 망의 많은 노드가 살아서 동작하여 망 신뢰성이 늘어나게 되고, 전체적으로 망의 수명이 크게 늘어나게 된다. 넷째로 선택한 경로의 계속적인 사용으로 잔류 에너지 레벨이 변화하면 새로운 경로를 강화하기 위하여, 잔류 에너지 등급이 0보다 큰 경로가 있는지 조사하고 있을 경우에는 위에서 설명한 셋째 단계를 반복적으로 실행하고, 잔류 에너지 등급이 0보다 큰 경로가 없는 경우에는 센서 네트워크의 모든 경로가 단절된 것으로 판단하고 동작을 멈추거나 알람(alarm)을 발생시킨다.

#### IV. 시뮬레이션 및 성능 평가

본 장에서는 기존의 센서 라우팅 알고리즘과 MRE-DD 알고리즘에 대해서 첫번째 노드의 에너지가 고갈될 때까지의 시간과 센서 노드와 수집 노드 사이의 경로가 단절될 때까지의 시간을 시뮬레이션을 통해 비교 및 성능 평가하였다.

라우팅 알고리즘의 성능 평가를 위한 시뮬레이션을 위해 C++을 이용하여 시뮬레이터를 구현하였으며 기존의 센서 네트워크 라우팅 알고리즘과 성능 비교 분석하였다. 시뮬레이션을 위한 공통된 파라미터로 센싱 노드와 수집 노드의 초기 에너지는  $10^7 mJ$ 로 하였고, 노드의 초기 에너지는  $10^5 mJ$ 로 하였으며, 노드간 데이터 전송에 소비되는 에너지는 송신시  $15 mJ$ , 수신시  $5 mJ$ 로 가정하였다. EAR의 경우  $\alpha=1, \beta=-1$ 로 하였으며, 시뮬레이션의 모델로 격자형 모델과 노드가 임의의 위치를 갖는 랜덤 모델을 사용하였다. 또한 시뮬레이션 구성은 노드에서 데이터 전송을 위한 라우팅을 중점적으로 고려하였으므로 데이터 전송 이전에 이루어지는 시그널링 메시지에 대한 송수신 에너지 소모는 고려하지 않았다.

##### 4.1 격자형 센서네트워크 모델

###### 4.1.1 다중 수집노드 환경

격자형 센서 네트워크 모델은 그림 4와 같으며

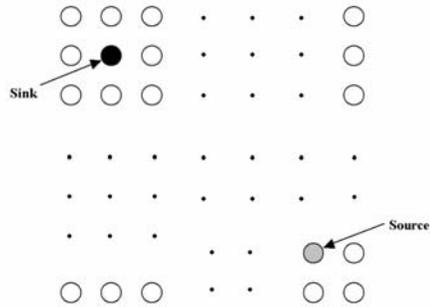


그림 4. 격자형 센서 네트워크 모델

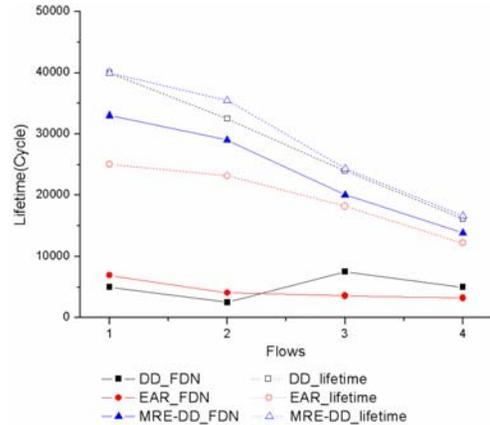


그림 5. 다중 수집노드 네트워크에서 FDN과 lifetime 비교

25 X 25 개의 센서 노드로 구성하였다. 각 노드는 최대 8개의 이웃노드를 가질 수 있으며 이웃노드와의 거리는 동일하다고 가정하였다. Flow를 1에서 4까지 증가하면서 시뮬레이션을 수행하였고 각 flow의 센싱 노드와 수집 노드는 서로 다른 노드들로 구성하였으며, MRE-DD의 경우 등급을 20% 간격으로 총 5개의 등급으로 나누어 계산하였다. 그림 5는 DD 알고리즘과 EAR 알고리즘 및 MRE-DD 알고리즘에 대해서 첫 번째 노드의 에너지가 고갈되는 시간(FDN)과 특정 라우팅 경로가 단절되는 시간(lifetime)에 대한 시뮬레이션 결과를 cycle 기준으로 나타낸 그래프이다. FDN을 보면 DD알고리즘이 가장 짧고, MRE-DD알고리즘이 가장 좋은 결과를 나타낸다. DD 알고리즘의 경우 최단 경로를 사용함으로써 최단 경로의 노드의 에너지가 가장 먼저 고갈됨으로써 FDN이 가장 짧게 나타나는 것을 알 수 있다. EAR 알고리즘의 경우 DD알고리즘에 비해 첫번째 노드의 에너지가 고갈되는 시간에서는 향상되는 것을 볼 수 있지만, 특정 경로가 단절되는 시간이 작게 나타나서 망의 수명이 짧은 것을 볼

수 있다. lifetime을 보면 DD 알고리즘은 최단 경로를 보냄으로써 전체적인 망의 에너지를 적게 사용하여 특정 경로가 단절되는 시간이 높게 나타나는 것을 볼 수 있다. EAR알고리즘의 경우 에너지가 많은 노드를 확률적으로 선택함으로써 최단 경로보다 더 많은 노드를 경유할 수 있고 루프가 발생할 수 있기 때문에 전체적인 망의 에너지를 많이 사용하게 된다. 따라서 EAR알고리즘의 경우 모든 경로의 단절 시간이 더 짧게 나타나는 것을 시뮬레이션을 통해 알 수 있다. MRE-DD알고리즘의 경우 첫 번째 노드가 죽는 시간이 EAR 알고리즘보다 크게 향상되었으며, 특정 경로의 단절 시간이 DD 알고리즘보다 나쁘지 않게 나타나는 것을 시뮬레이션 결과를 통해 알 수 있다. 이는 에너지가 많은 등급 중에서 최단 경로를 설정하는 방법을 사용함으로써 DD 알고리즘의 장점인 전체적인 망의 에너지를 적게 사용할 수 있으며, EAR알고리즘의 장점인 에너지가 많은 노드를 선택하여 특정 노드의 에너지 고갈을 피할 수 있다. 또한 flow 개수에 상관없이 모든 환경에서 MRE-DD알고리즘의 성능이 향상되었음을 확인 할 수 있다

Fairness index는 어떤 특정한 값이 골고루 분포된 정도를 표시하는 지표로서, 해당 값이 모두 같을 경우 1이 되고 서로 다른 값을 가질수록 0으로 떨어진다. Fairness index에 대한 계산식은 식 (3)과 같이 정의된다<sup>[5]</sup>.

$$fairnessindex = \left( \frac{\sum_{k=dl}^n R_k}{n} \right)^2 / \left( \sum_{k=dl}^n R_k^2 / n \right) \quad (3)$$

그림 6은 수집노드와 센싱노드를 제외한 나머지 노드에 남은 에너지에 대한 fairness index를 일정 간격으로 나타낸 그래프로써 모든 시간에 대해서

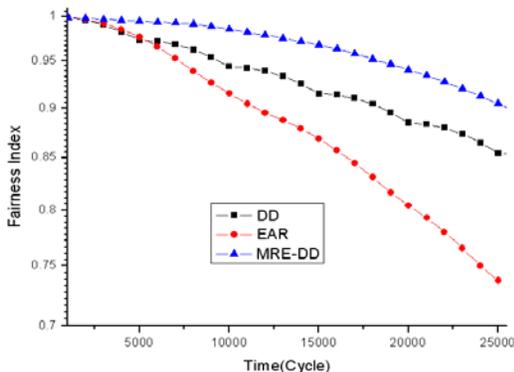


그림 6. 다중 수집노드 네트워크에서 fairness index 비교

제안된 MRE-DD알고리즘의 경우가 향상되었음을 알 수 있다. 등급을 나누어 남은 에너지가 많은 노드를 대상으로 경로를 설정하기 때문에 센싱노드와 수집노드 사이의 경로에 존재하는 노드의 에너지가 고르게 되며, 따라서 fairness index가 높게 나타나는 것을 시뮬레이션을 통해 알 수 있으며 이를 통해 노드 에너지가 골고루 사용되어 망의 신뢰성이 높아지는 것을 볼 수 있다.

4.1.2 단일 수집노드 환경

두 번째 시뮬레이션은 처음과 동일한 환경에서 모든 flow의 수집 노드를 하나의 동일한 노드로 구성하였다. MRE-DD의 경우 에너지 레벨을 10% 간격으로 총 10개의 등급으로 나누어 계산하였으며 수집노드와 센싱노드는 임의로 설정하였다. 그림 7은 동일한 환경에서 DD, EAR 및 MRE-DD 알고리즘에 대한 FDN과 lifetime을 보여준다. FDN 시간에서는 EAR 알고리즘의 경우 DD 알고리즘에 비해 모든 flow에서 향상됨을 볼 수 있으며, MRE-DD 알고리즘의 경우 DD 알고리즘과 EAR 알고리즘에 비해 모든 flow에 대해서 크게 향상되었음을 볼 수 있다. Flow마다 서로 다른 수집노드를 설정했을 경우와 마찬가지로 EAR 알고리즘의 lifetime이 모든 flow에서 작게 나타나는 것을 볼 수 있으며 DD 알고리즘과 MRE-DD알고리즘의 비슷하게 나타나는 것을 볼 수 있다. EAR 알고리즘은 확률적으로 경로를 찾는 과정에서 에너지가 많은 이웃 노드를 찾을 수 있는 장점이 있지만 루프에 의해 데이터 전송 시 많은 에너지를 소비하는 단점을 가질 수 있다는 것을 시뮬레이션을 통해 알 수 있다. DD와 MRE-DD의 경우 최단 경로를 이용하기 때

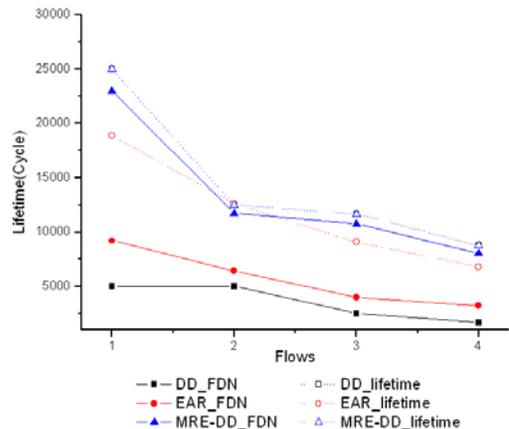


그림 7. 단일 수집노드 네트워크에서 FDN과 lifetime 비교

문에 루프에 의한 에너지를 낭비하지 않고 네트워크의 전체적인 수명을 길게 할 수 있다. 또한, MRE-DD 알고리즘의 경우 에너지 레벨 등급의 수를 증가함으로써 노드의 FDN과 lifetime의 간격이 좁게 나타나는 것을 알 수 있다. 이는 데이터 전송을 위해 경로를 설정할 경우 에너지 레벨이 작은 노드에 대해서는 제외하고 높은 에너지 레벨을 갖는 노드에 대해서 경로를 설정함으로써 특정 노드에 대한 에너지 고갈을 지연시킴으로써 전체적인 망의 효율을 높일 수 있다는 것을 시뮬레이션을 통해 알 수 있다.

그림 8은 각 flow에 대한 수집노드가 동일한 환경에서 fairness index를 나타낸 그래프이다. MRE-DD 알고리즘의 경우 모든 flow에 대해서 DD 알고리즘과 EAR 알고리즘에 비교해서 높게 나타나는 것을 볼 수 있다. 일정 시간동안 EAR 알고리즘이 DD 알고리즘에 비해 fairness index가 높게 나타나지만 시간이 지날수록 EAR 알고리즘의 경우 급격히 감소하는 것을 볼 수 있다.

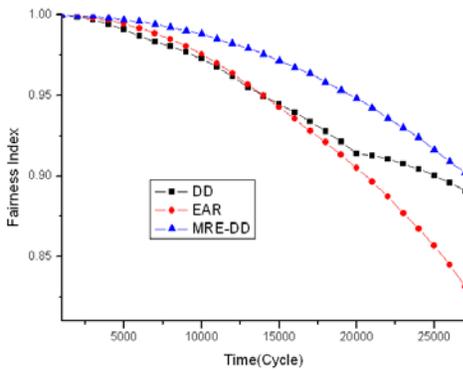


그림 8. 단일 수집노드 네트워크에서 fairness index 비교

#### 4.2 랜덤 센서네트워크 모델

세 번째 시뮬레이션 환경은 랜덤 노드배치 모델로 그림 9와 같다. 3000m X 3000m 이차원 공간 임의의 위치에 500개의 노드를 위치시켰으며 각 노드에서 반경 350m에 있는 노드를 이웃 노드로 설정하였다. Flow를 1에서 4까지 증가하면서 시뮬레이션을 수행하였으며 모든 flow의 수집노드는 동일한 노드로 구성하였다. MRE-DD의 경우 에너지 레벨을 10% 간격으로 총 10개의 등급으로 나누어 계산하였다. 그림 10은 각 알고리즘에 대한 FDN 시간과 lifetime을 비교한 그래프를 보여준다. FDN 시간은 격자형 모델에서와 같이 모든 flow에 대해서 MRE-DD알고리즘이 가장 우수하며 EAR 알고

리즘이 DD알고리즘에 비해 좋은 성능을 나타내는 것을 알 수 있다. lifetime의 경우는 모든 flow에 대해서 DD 알고리즘과 MRE-DD 알고리즘이 가장 우수하며 EAR 알고리즘이 낮은 성능을 보여주는 것을 시뮬레이션 결과를 통해 알 수 있다. 그림 11은 각 알고리즘에서 노드의 남은 에너지에 대한 fairness index를 일정 시간 간격으로 계산한 그래프로써 랜덤 모델에서도 MRE-DD 알고리즘이 가장 높게 나타나서 망의 신뢰성을 높게 유지하는 것을 볼 수 있다.

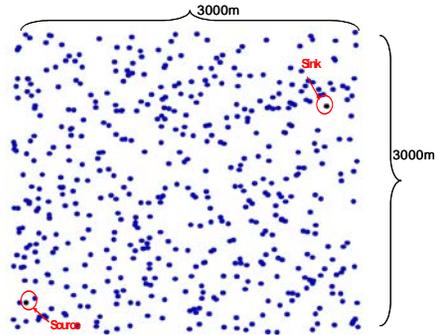


그림 9. 랜덤 센서 네트워크 모델

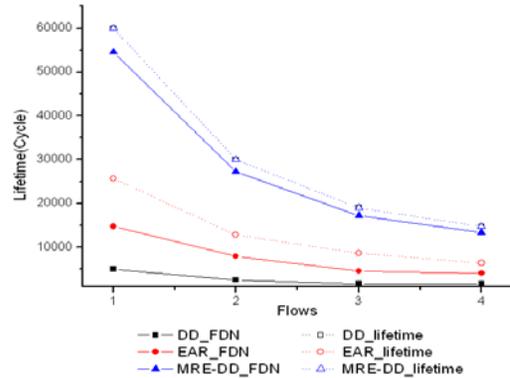


그림 10. FDN과 lifetime 비교

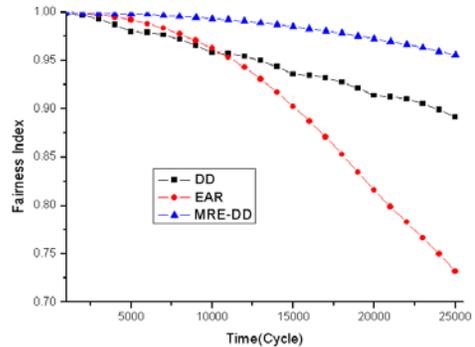


그림 11. Fairness index 비교

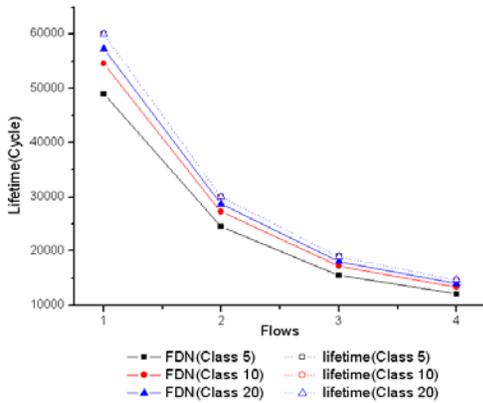


그림 12. MRE-DD 알고리즘 에너지 등급에 따른 FDN과 lifetime 비교

그림 12는 MRE-DD 알고리즘에서 에너지 등급의 수를 각각 5, 10, 20으로 했을 때 센서 네트워크의 FDN 시간과 lifetime을 나타낸 그래프이다. FDN 시간은 에너지 등급을 잘게 조깅수록 좋게 나타나는 것을 볼 수 있다. 이는 에너지 등급의 수를 보다 크게 함으로써 에너지 소모를 더욱 고르게 할 수 있고 특정 노드의 에너지 고갈을 막을 수 있어 FDN 시간과 lifetime의 간격이 줄어드는 것을 볼 수 있다.

### V. 결론 및 향후 연구

센서 네트워크는 특성상 사람이 접근하기 어렵거나 위험한 장소에 센서 노드들을 쉽게 설치하여 필요한 정보를 얻을 수 있다는 장점과 제한된 자원을 효율적으로 사용해야 하는 요구조건을 가지고 있다.

본 논문에서는 노드에 남아있는 에너지에 대해 등급을 나누고 높은 등급에 속한 노드에 대해서 경로를 설정하는 기법인 Maximum Remaining Energy Constrained Directed Diffusion (MRE-DD) 라우팅 알고리즘을 제안하였고, 기존에 제안된 라우팅 알고리즘인 DD 및 EAR 알고리즘과 성능을 비교하였다. 첫번째 노드의 에너지가 고갈되는 시간과 특정 경로가 단절되는 시간에 있어서 MRE-DD 알고리즘이 다른 알고리즘에 비해 향상되었음을 시뮬레이션을 통해 알 수 있었다. 또한 각 노드의 남은 에너지에 대한 fairness index를 비교했을 경우에도 가장 좋게 나타나는 것을 알 수 있어서 망의 신뢰성이 크게 향상되는 것을 알 수 있다.

향후 연구로는 임의의 위치를 갖는 노드들로 구성된 센서 네트워크에서의 성능 평가와 거리에 따라 송신 에너지를 다르게 갖는 환경에서의 성능 평

가를 진행할 것이다.

### 참고 문헌

- [1] Praveen Rentala, and Ravi Musunuri, "Survey on Sensor Networks", University of Texas at Dallas, Tech. Report # UTDCS-10-03, 2001.
- [2] I.F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, "A Survey on Sensor Networks", *IEEE Communications Magazine*, Vol. 40, pp. 102-114, Aug. 2002.
- [3] C. Intanagonwiwat, R. Govindan and D. Estrin, "Directed Diffusion for wireless sensor networks", *IEEE/ACM Transactions*, Vol. 11, pp. 2-16, Feb. 2003.
- [4] R.C. Shah and J.M. Rabaey, "Energy Aware Routing for Low Energy Ad Hoc Sensor Networks", *IEEE WCNC 2002*, Vol. 1, pp. 350-355, Mar 2002.
- [5] R. Jain, D. Chiu, and W. Hawe, "A Quantitative Measure Of Fairness And Discrimination For Resource Allocation In Shared Computer Systems", DEC Research Report TR-301, Sep 1984.

황 안 규 (An kyu Hwang)

정회원



1999년 한남대학교 물리학과 학사  
 2004년 충남대학교 정보통신공학과 석사  
 2005년 3월~현재 충남대학교 정보통신공학과 박사과정  
 <관심분야> 이동통신 네트워크, 데이터 통신, 초고속 통신

이 재 용 (Jae yong Lee)

정회원



1988년 서울대학교 전자공학과 학사  
 1990년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사  
 1995년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사  
 1990년~1995년 디지콤 정보통신연구소 선임연구원

1995년~현재 충남대학교 정보통신공학부 부교수  
 <관심분야> 초고속통신, 인터넷, 네트워크 성능분석

김 병 철 (Byung chul Kim)

정회원



1988년 서울대학교 전자공학과  
학사

1990년 한국과학기술원 전기 및  
전자공학과 석사

1996년 한국과학기술원 전기 및  
전자공학과 박사

1993년~1999년 삼성전자 CDMA

개발팀

1999년~현재 충남대학교 정보통신공학부 부교수

<관심분야> 인터넷, 이동통신 네트워크, 데이터통신