
무선 센서 네트워크의 생존성 강화를 위한 개선된 라우팅 알고리즘

Improved Routing Algorithm for Enhancing Survivability in Wireless Sensor Networks

최승권*, 이병록**, 장윤식***, 김태훈****, 지홍일*****
중부대학교 게임학과*, 충북대학교 BK21**, SK텔레콤***, 주성대학 컴퓨터보육과****, 영동대학교*****

Seung-Kwon Choi(skchoi1972@hotmail.com)*, Byong-Rok Lee(bblsh1689@hanmail.net)**,
Yoon-Sik Jang(ysjang@sktelink.com)***, Tae-Hoon Kim(thkim@jsc.ac.kr)****,
Hong-Il Ji(jihi61@hotmail.com)*****

요약

본 논문은 무선 센서 네트워크에 적용할 수 있을 정도로 단순한 효율적인 MP-DD(MultiPath-Direct Diffusion) 라우팅 방법을 제안한다. 기존의 DD(Direct Diffusion)는 하나의 최적 경로를 설정하여 사용하므로 특정 노드의 에너지가 많이 소모된다. 이에 반해 MP-DD는 네트워크 관리 노드 방향의 상위노드에 대한 정보를 가지고 다중 경로를 설정하여 사용한다. 시뮬레이션 결과 제안한 기법이 DD와 EAR(Energy Aware Routing)에 비해 망 생존성을 증가시킬 수 있음을 보여주었다.

■ 중심어 : | MP-DD | 다중경로 라우팅 | 무선 센서 네트워크 |

Abstract

This paper proposes an efficient routing scheme named MP-DD(MultiPath-Direct Diffusion) which are simple enough to be applicable to the wireless sensor networks. Conventional DD(Direct Diffusion) uses only one optimal path, therefore it consumes more energy of specific nodes. MP-DD uses multiple path and has a information of hop upstream node in the direction of the base-station. Simulation results show that the proposed scheme can increase network survivability compared to conventional DD and EAR(Energy Aware Routing) schemes.

■ keyword : | MP-DD | Multipath Routing | Wireless Sensor Network |

1. 서론

유비쿼터스 컴퓨팅의 핵심적인 기술 중의 하나인 센서 네트워크는 센서들을 사물이나 사람 몸속에 포함/삽입되어 환경의 변화를 감지하고 이에 맞는 작동을 하게 된다. 센서 네트워크를 구성하는 센서 노드들은 무선 환경에서 작동하게 되며, 그 크기가 매우 작고 배터리는 충전이 불가능한 경우가 많으므로 센서 노드의 수명은 노드의 배터리 수명과 같다는 특징이 있다[1].

이러한 무선 센서 네트워크를 효과적으로 구현하기 위해서는 센서 노드들의 수명을 최대한 연장하기 위해 센서들 자체의 전체 프로토콜이 에너지 효율적으로 설계되어야 하고, 무선 센서망의 특성상 이벤트가 간헐적이고 지역적으로 집중해서 발생하기 때문에, 기존의 프로토콜과는 달리 이러한 것들을 관리하기 위한 효율적인 에너지 관리 프로토콜이 우선적으로 필요하다[2][3].

기존의 DD(Direct Diffusion)[4]는 최적의 경로를 선

정하고 이 경로만 사용하여 에너지 효율은 높일 수 있으나 자주 사용되는 경로의 노드들은 전력이 고갈되어 전체적인 망 생존시간이 길지 않은 단점을 가지게 된다. 본 논문에서는 망 생존시간을 증대할 수 있는 가중치 기반의 MP-DD(MultiPath-Direct Diffusion) 라우팅 알고리즘을 제안한다.

II. 관련 연구

2.1 Direct Diffusion(DD)

DD 는 기존 센서 네트워크 라우팅 알고리즘의 하나로 세 가지 단계를 거쳐 센싱된 데이터를 전송하게 된다[4]. 첫째 단계는 [그림 1(a)]와 같이 정보를 수집하는 노드가 수집하고자 하는 센싱 정보 인터레스트(interest)를 망 전체의 센서 노드들에게 방송 형태로 전달하는 단계이다. 인터레스트를 전송할 때는 플러딩 알고리즘을 사용하여 망 전체로 방송되거나, 원하는 특정 센서 노드 방향으로 전송된다.

둘째 단계는 [그림 1(b)]와 같이 인터레스트를 전달하는 중간 노드들이 인터레스트를 전송한 직전 노드의 정보를 자신의 라우팅 정보인 그라디언트(gradient)로 저장하는 단계이다. 이 그라디언트는 추후에 센싱 데이터를 전송할 때 정보 수집 노드를 향하여 올바르게 전송할 수 있도록 하는 라우팅 정보 역할을 한다. 이러한 과정을 거쳐 인터레스트가 센싱 노드에게까지 전달되고 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 수

집 노드까지 가장 적은 에너지를 사용하는 경로를 사용함으로써 에너지 효율적인 라우팅 알고리즘을 구현하게 된다.

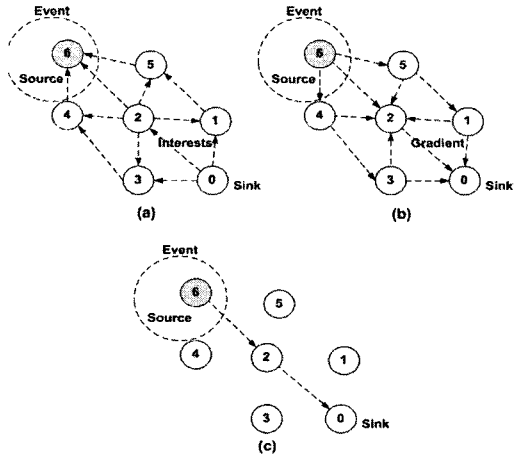


그림 1. Directed Diffusion 알고리즘 동작 과정

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)

EAR은 기존 센서 라우팅 알고리즘 중 효율성뿐만 아니라 네트워크의 생존 시간을 증가 시키는 알고리즘이다[5]. 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 이웃노드를 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.

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 않는 단점을 가지고 있다.

III. 가중치 기반 MP-DD 라우팅 알고리즘

앞에서 설명한 바와 같이 무선 센서 네트워크에서는 제한된 에너지 자원을 가지고 동작하므로 에너지 소모를 최소화하고 균등하게 하는 것이 매우 중요한 요인이 된다. 또한 한 노드의 에너지가 고갈될 경우 대체 경로를 찾는 방법이 필요하게 된다. 이러한 문제점들을 개선하기 위하여 많은 연구들이 진행되었으며 다중경로를 이용한 방법들도 다수 존재한다. Ye Ming Lu 등[6]은 다수의 경로를 선택하고 공평성 지수에 따라 부하를 분산하는 방법을 제시하였으며 특정 노드의 에너지 소모에는 효율적으로 대처할 수 있으나 복잡성에 따른 계산량이 많아 처리에 어려움이 있다.

이에 따라 본 장에서는 무선 센서 네트워크를 위해 생존성을 강화시킨 라우팅을 구성할 수 있는 알고리즘을 제시한다.

3.1 MP-DD 알고리즘의 절차

개선된 알고리즘은 DD에서 하나의 경로만을 강화하는 것과 달리 다중 경로를 강화하면서, 해당 경로에 놓여 있는 센서 노드의 남은 에너지 등급을 고려하여 에너지 레벨이 높은 경로에 따라 가중치를 부여하고, 이를 돌아가면서 선택하게 함으로써 에너지를 적게 사용하고 동시에 네트워크에 전체적으로 에너지를 골고루 사용하게 하자는 것이다. 이를 통해 망의 신뢰성과 생존 시간을 크게 개선할 수 있으며 이에 대한 알고리즘은 [그림 2]에 기술되어 있다.

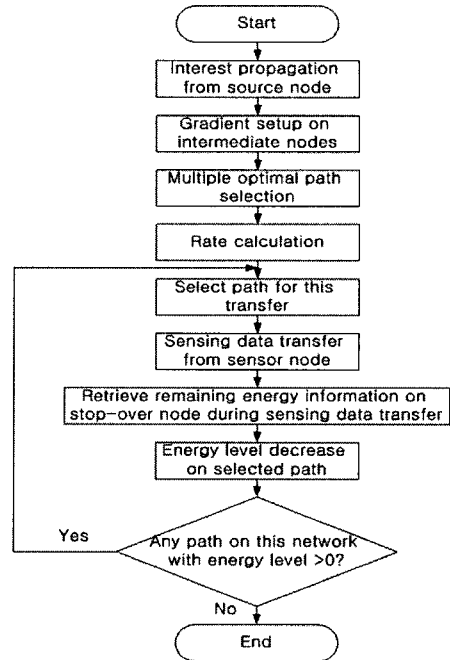


그림 2. MP-DD 라우팅 알고리즘 절차

첫 번째 단계는 정보를 수집하는 관리 노드가 수집하고자 하는 인터에스트를 망 전체의 센서 노드들에게 방송 형태로 전달하는 광고 메시지 전달 단계이다. 광고 메시지를 전송할 때는 제한적인 플러딩 알고리즘을 사용하여 망 전체로 전송되며 홉 수에 따라 이웃 테이블에 저장하거나, 저장하지 않게 된다.

둘째 단계는 광고 메시지를 전달하는 중간 노드들이 메시지를 전송한 직전 노드의 정보를 자신의 라우팅 정보인 그라디언트로 저장하는 단계이다. 이 그라디언트는 추후에 센싱 데이터를 전송할 때 정보 수집 노드를 향하여 올바로 전송할 수 있도록 하는 라우팅 정보 역할을 한다. 이러한 과정을 거쳐 광고 메시지가 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, 본 알고리즘에서는 센싱 데이터가 수신된 다중 경

로 중에서 무조건 가장 먼저 도착한 경로를 강화하는 것이 아니라, 각각의 경로의 노드가 가지고 있는 남아 있는 에너지의 에너지 등급을 고려하여 가장 높은 에너지 등급을 가지고 있으며 관리 노드로부터 홉 수가 작은 경로들을 다수 선택하여 강화한다. 이를 위해서 센싱된 데이터를 정보 수집 후 모두 전송할 때에 각 패킷을 전달 경로 내의 각 노드의 남아있는 에너지 레벨의 최소값을 계속적으로 갱신하면서 각 노드들 통과하여 정보 수집 노드에게 까지 전달된다. 정보 수집 노드에서는 이러한 다중 경로 중에서 에너지 잔량에 따른 가중치 기반의 방법으로 경로를 선택하여 사용하게 된다. 가중치 기반의 라우팅 방법은 3.2절에서 다시 논하기로 한다.

이러한 경로 선택 과정이 DD와는 달리 하나의 최적 경로를 먼저 사용하도록 함으로써 DD처럼 한 경로의 에너지가 모두 고갈되는 현상은 발생하지 않게 된다. MP-DD는 다수의 경로로 분산시켜 사용하게 되면 전체적으로 고른 에너지 소비를 보이게 되는 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 보다 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 판단한다.

3.2 가중치 기반 라우팅

소스가 일치하는 타겟을 탐지하면 관리 노드로 향하는 여러 개의 경로를 찾을 수 있다. 관리 노드가 여러 경로에 대한 정보를 받으면 DD에서는 이 중 최적의 경로를 강화하여 지속적으로 사용한다. 경로 강화는 일반적으로 한 노드가 하나의 이웃만을 선택하는 과정이며 이 경로는 실제 데이터 전송을 위해 사용된다.

제안하는 MP-DD에서는 노드의 특성은 모두 유사하다고 가정하고 가장 적은 홉 수를 가지는 경로를 최적

의 노드로 선택하였다. 그리고 이와 같은 홉 수, 또는 이보다 많은 홉 수를 가지더라도 다수의 경로에 대한 엔트리를 가지도록 구성하였다. 그리고 각 노드에서 경로의 선택은 가중치 기반의 방법을 사용하여 결정하도록 하였다. 결국 경로 구성은 DD를 활용하였으나 데이터 전송은 가중치 기반의 라우팅 방법으로 여러 노드 중 하나를 선택하여 사용하는 특징을 가지게 된다.

일반적으로 센서네트워크에서 모든 데이터는 관리노드 방향으로의 전송이 이루어진다. 각 노드는 자신의 에너지 정보를 이웃 노드에게 주기적으로 또는 임계 값만큼의 변화가 감지될 때 통보함으로써, 상황의 변화에 따르는 라우팅 갱신이 이루어지도록 정보교환을 한다. 이러한 정보를 이용하면 임의의 이웃 노드가 갖는 에너지 잔량을 쉽게 알 수 있다.

가중치 기반 순차 노드 선택에서는 여러 개의 부모 노드 중 에너지 잔량이 가장 작은 노드부터 가중치를 부과하게 된다. 즉, 노드 i 의 에너지 잔량이 가장 작고 노드 j 의 에너지 잔량은 i 보다 클 경우 가중치는 1, 2로 주어질 수 있다. 가중치 기반 순차 노드 선택은 본 논문에서 새롭게 제안하는 방법으로, 여러 개의 부모 노드에 대하여 가중치 정보를 보관하고 이에 따라 메시지를 전송한다면 실제 전송시 다음 노드에 대한 계산이 필요 없게 되며 구현이 단순한 장점을 가지게 된다.

각 연결 i 에 가중치 w_i 를 지정하고 매번 반복 구간마다 w_i 에 해당하는 서비스를 i 에 제공한다. 이때 할당되는 메시지 개수의 총합과 각 연결 채널 C_i 에 대해 다음의 식이 성립한다. 여기서 C_i 는 연결 i 의 용량을 나타낸다.

$$\sum_{i=1}^N x_i = T \tag{1}$$

$$\sum_{i=1}^N w_i = C \tag{2}$$

여기서 x_i 는 C_i 에 할당되는 메시지 개수, T 는 전체 메시지 개수, w_i 는 연결 C_i 의 가중치, C 는 채널 용량의 총합, N 은 채널 갯수이다. 각 C_i 에 할당되는 메시지 개수 x_i 는 다음과 같이 정의된다.

$$x_i = T \cdot \frac{w_i}{C} \quad (3)$$

이와 같은 방식은 에너지 잔량에 따라 미리 정해진 가중치를 변수로 활용하므로 에너지 효율성을 높이고 계산량이 작은 효과를 기대할 수 있게 된다.

IV. 실험 및 결과 분석

4.1 실험

망의 초기화는, 각 노드로부터의 한 홉에 그치는 지역적 광고 메시지를 기반으로 모든 노드가 자신의 홉 깊이를 인지하는 자가 구성 방식으로 수행된다. 각 센서노드는 최대 4개까지의 메시지 버퍼링 영역을 확보하고 있으며, 충돌 또는 버퍼의 용량 한계를 넘어 폐기되는 패킷은 손실된 값으로 간주하였다. 모든 노드는, 자신의 통신 거리 안의 노드 중 부모노드 군에 속하는 노드들만을 이웃 테이블에 등록하여, 데이터 메시지의 전송을 위한 부모노드 선택에 활용한다. 또한, 다른 노드로부터의 데이터 메시지 수신 시 취득할 수 있는 정보를 이용하여, 추후 해당 노드로 요청메시지를 중계할 경우를 대비한 별도의 요청테이블을 설정, 관리한다. 무선 대역폭은 100kbps로 설정하였다.

시뮬레이션은 NS-2에서 구현되었으며 전체 네트워크의 크기는 실험의 종류에 따라 가변적으로 가정하였으며, 이 영역 안에서 센서 노드들은 무작위로 분포한다. 기본적으로 실험에 사용된 파라미터는 [표 1]과 같다.

표 1. 시뮬레이션 파라미터

| 시뮬레이션 파라미터 | 값 |
|----------------|-----------------------|
| 센싱 영역 | 60m, 60m ~ 210m, 210m |
| 인터페이스 대기행렬 크기 | 50 |
| 센서 노드의 수 | 50, 100 |
| 노드의 전송 거리 | 30.5m |
| 패킷의 크기 | 64 byte |
| 센싱 이벤트의 발생 분포 | 포아송 프로세스 |
| 전체 센싱 이벤트의 발생률 | 0.1~0.4 |

4.2 결과 분석

본 절에서는 제안한 라우팅 방법의 성능을 시뮬레이션을 통해 분석하여 보았다. 실험 중 에너지 잔량이 0이 되는 노드의 발생 시점을 “네트워크 수명”으로 정의하며 성능 평가에 중요한 항목 중 하나이다.

각 노드별 에너지 소모량의 비교를 위해, 관리 노드로부터 홉 깊이가 같은 노드들이 네트워크 수명 시점에서 갖는 에너지 잔량의 평균값을 홉별로 [그림 3]에 도시하여 DD와 성능을 비교하였으며 초기 에너지는 600mJ로 가정하였다. [그림 3]에서 확인할 수 있는 것은, 관리노드에 가까울수록 에너지 소모량이 증가한다는 점이다. 이는, 관리노드로 데이터의 전송이 집중되는 센서네트워크의 전형적인 특징이며, 지수적인 증가를 보이게 된다. 또한 DD와 제안한 기법이 큰 차이를 보이지 않는다. 이는 실제 같은 홉에서 소모되는 에너지의 평균량은 거의 엇비슷하기 때문이다. 다만 제안 기법은 하나의 노드를 집중적으로 사용하는 것이 아니라 에너지 소모를 다른 노드들로 분산시켜 사용한다는 차이점이 있다.

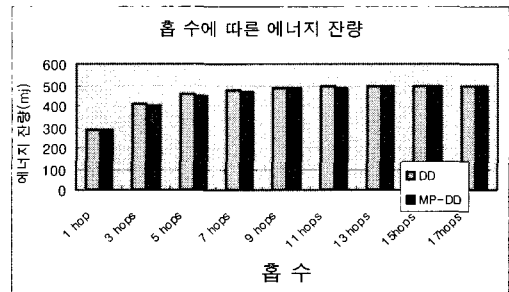


그림 3. 홉 깊이별 잔여 에너지 평균 값

다음은 제안한 가중치 기반 MP-DD 기법의 공평성 지수(Fairness index)와 네트워크 생존 시간을 나타내었다. 이는 기존의 DD, EAR[5]과 비교하여 나타내었다. 여기서 공평성 지수란 노드들이 얼마나 공평하게 에너지를 소비하고 있는가를 나타내는 척도로 사용된다. 공평성 지수 F 는 다음과 같이 정의된다.

$$F = \left(\sum_{k \in all}^n E_k \right)^2 / \left(n \sum_{k \in all}^n E_k^2 \right) \quad (4)$$

여기서 E_k 는 노드 k 의 에너지 준위이며 n 은 전체 노드이다. 그림 4에서 알 수 있는 것은 DD의 경우 최단 경로상에 있는 노드들은 빠른 시간에 에너지 소모가 큰 것을 볼 수 있고 에너지 양에 있어 극적인 대비를 보이는 특징이 있다. 이는 DD의 큰 단점으로 한 번 경로를 지정하게 되면 이 경로가 계속해서 사용되기 때문이다. 또한 한 노드의 최단 경로는 인접한 다른 노드의 최단 경로가 될 확률이 크므로 많은 양의 에너지가 단 시간에 소비되는 단점을 가지게 된다.

개선된 MP-DD는 경로를 4개 가질 수 있다고 가정하였으며 이를 가중치에 따라 순차적으로 사용하도록 하였다. 비교 결과 공평성 지수에서 높은 수치를 보여 DD, EAR보다 고르게 에너지를 소모함을 볼 수 있다.

공평성 지수 분석

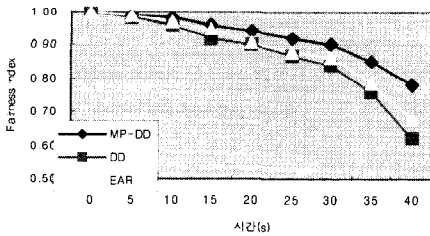


그림 4. MP-DD 라우팅 알고리즘의 공평성 지수 분석

[그림 5]는 생존 시간에 대하여 DD, EAR과 비교한 결과이다. MP-DD는 에너지를 고르게 소모하므로 생존시간이 DD 보다 평균 120%정도, EAR보다 40% 정도 더 증가하게 됨을 볼 수 있다.

다음은 MP-DD로 구성시 최종 선택 경로의 개수에 따른 생존 시간을 나타내었으며 센싱 데이터 발생율은 1로 가정하였다. 여기서 DD는 하나의 경로만을 사용하였으며 MP-DD는 8개까지의 경로에 대하여 실험을 수행하였다. 최종 경로가 하나인 경우 DD와 같은 결과를 보여주게 된다. 선택 가능한 경로의 수가 많아질 경우 에너지 소모가 공평하게 분배되는 것을 알 수 있으나 노드의 메모리에 각각 저장해야 할 경로의 양도 많아지게 되므로 적절한 경로의 개수를 지정해 주는 것이 바

람직할 것이다. 본 논문의 실험환경에서는 4개 정도의 경로를 사용하는 것이 효과적이며 5개에서 부터는 성능에 큰 차이가 없음을 알 수 있다.

생존시간 분석

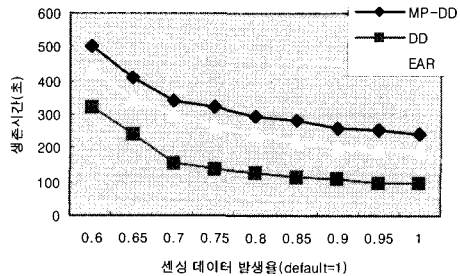


그림 5. MP-DD 라우팅 알고리즘의 생존 시간 분석

경로 수에 따른 생존시간

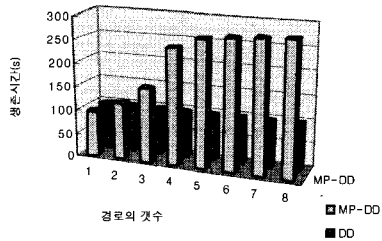


그림 6. 경로 개수에 따른 생존 시간

V. 결론

본 논문에서는, 센서네트워크의 에너지를 공평하고 효율적으로 사용할 수 있는 라우팅 알고리즘에 대한 연구를 수행하였다. 여기서는 이웃 노드들의 에너지 상황을 인지하여 가중치를 기반으로 여러 개의 최적에 가까운 경로들 중에서 하나를 선택하여 사용하는 동적인 라우팅 방안을 연구하였으며, 이러한 특성을 갖는 가중치 기반의 MP-DD 라우팅 알고리즘을 제안, 그 성능을 기존의 DD, EAR과 비교 관측하였다.

MP-DD는 DD와 같이 하나의 경로에만 메시지가 집중됨으로써 유발되는 경로상 노드의 조기 에너지 고갈을 방지할 수 있다.

시뮬레이션 결과 가중치 기반의 MP-DD는 기존의 DD, EAR 등의 라우팅 방법들에 비해 네트워크 생존 시간과 에너지 소모의 공평성을 증대시킬 수 있음을 보였다.

센서네트워크는 응용에 의존적인 특성을 가지므로, 범용 최적화된 라우팅 알고리즘의 구현보다는 적용 환경별 고유 특성에 적합한 형태의 다양한 라우팅과 스케줄링 알고리즘이 요구되어질 것으로 예상되며, 본 연구에서와 같이 구현이 간단한 특성을 유지하면서, 다양한 형태로 구현되는 라우팅 알고리즘들에 대한 특성 분석이 면밀히 이루어져, 목적별로 적합한 알고리즘의 선택이 유연하게 이루어질 수 있도록 하는 지속적인 노력이 필요할 것으로 예측된다.

[5] R. C. Shah and J. M. Rabaey, "Energy Aware Routing for Low Energy Ad Hoc Sensor Networks," in Proc. in WCNC2002, Orlando, FL. Mar. 2002.

[6] I. F. Akyildiz and I. H. Kasimoglu, "Wireless Sensor and Actor Networks: Research Challenges," Elsevier Ad Hoc Networks, Vol.2, No.4, pp.351-367, Oct. 2004.

[7] I. F. Akyildiz, D. Pompili, and T. Melodia, "Challenges for Efficient Communication in Underwater Acoustic Sensor Networks," ACM Sigbed Review, Vol.1, No.2, Jul. 2004.

[8] G. Halkes, T. van Dam, and K. Langendoen, "Comparing Energy-Saving MAC Protocols for Wireless Sensor Networks," to appear in ACM/Kluwer MONET, 2005.

참고 문헌

[1] R. Min, M. Bhardwaj, S. Cho, E. Shih, A. Sinha, A. Wang, and A. Chandrakasan, "Low-power wireless sensor networks," VLSI Design 2001, Invited Paper, Bangalore, Jan. 2001.

[2] L. Zhong, R. Shah, C. Guo, and J. Rabaey, "An ultra low power and distributed access protocol for broadband wireless sensor networks," IEEE Broadband Wireless Summit, Las Vegas, May 2001.

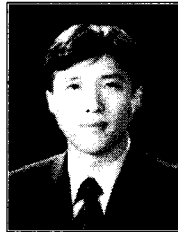
[3] A. Woo and D. Culler, "A transmission control scheme for media access in sensor networks," in Proceedings of the ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking, Rome, Italy, pp.221-235, July 2001.

[4] C. Intanagonwivat, R. Govindan, D. Estrin, J. Heidemann, and F. Silva, "Directed diffusion for wireless sensor networking," IEEE/ACM Trans. on Networking, Vol.11, No.1, pp.2-16, Feb. 2003.

저자 소개

최 승 권(Seung-Kwon Choi)

정회원



- 2001년 8월 : 충북대학교 컴퓨터 공학과 대학원 졸업(공학박사)
- 현재 : 충북대학교 게임학과 강의전담교수

<관심분야> : 멀티미디어 콘텐츠, 게임디자인, 유비쿼터스 네트워킹

이 병 록(Byong-Rok Lee)

중신회원



- 2006년 8월 : 충북대학교 컴퓨터 공학과 대학원 졸업(공학박사)
- 현재 : 충북대학교 BK21 연수연구원

<관심분야> : 유비쿼터스 네트워킹, 멀티미디어통신, 무대제어설비, 의용공학, 영상처리

장 윤 식(Yoon-Sik Jang)

정회원



- 1998년 2월 : 광운대학교 전자공학과 대학원(공학석사)
- 2006년 8월 : 충북대학교 컴퓨터공학과 대학원(공학박사)
- 현재 : SK텔레콤 네트워크 본부장

<관심분야> : 인터넷 전화, IMS

김 태 훈(Tae-Hoon Kim)

중신회원



- 1988년 2월 : 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사)
- 1990년 2월 : 경북대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
- 2005년 3월 ~ 현재 : 충북대학교 컴퓨터공학과 박사 과정 수료
- 1990년 6월 ~ 1997년 2월 : LG 반도체 선임연구원
- 1997년 3월 ~ 현재 : 주성대학 컴퓨터보육과 교수

<관심분야> : 유비쿼터스, 네트워크 보안

지 홍 일(Hong-Il Ji)

중신회원



- 2002년 2월 : 충북대학교 컴퓨터공학과 대학원(공학석사)
- 2007년 8월 : 충북대학교 컴퓨터공학과 대학원(공학박사)
- 현재 : 영동대학교 총무과

<관심분야> : 멀티미디어통신, 임베디드시스템, 인터넷보안