

# 에드 혹 네트워크에서의 에너지 효율에 기반을 둔 다중 경로 선택 기법

정회원 이 기 섭\*, 종신회원 김 승 욱\*

## Energy Efficient Multiple Path Routing Algorithm for Wireless Ad Hoc Networks

Ki-seop Lee\* *Regular Member*, Sungwook Kim\* *Lifelong Member*

### 요 약

본 논문에서는 에너지를 기존의 기법보다 더 효율적으로 관리하기 위해 다중 라우팅 경로 설정 및 중계노드교체 기법을 제안하였다. 제안된 방법은 게임이론중의 하나인 샤플리 밸류 (Shapley Value)를 이용하여 에너지 효율적인 다중 라우팅 경로를 설정하여 데이터를 전송한다. 시뮬레이션 결과 제안된 기법이 기존의 기법보다 전체 무선 네트워크의 성능을 향상시킨 것을 확인할 수 있었다.

**Key Words** : 무선 네트워크, 라우팅, 샤플리밸류, 오류허용

### ABSTRACT

In this paper, we propose an effective energy management algorithm for wireless networks. The proposed algorithm sets the multiple routing paths and transmits routing packets based on the cooperative game model. This approach can enhance the network performance under different and diversified network situations. The simulation results demonstrate that the proposed algorithm generally exhibits superior performance compared with the other existing scheme under light to heavy traffic loads.

### 1. 서 론

본 논문에서는 다중 라우팅 경로 기법을 제안한다. 기존의 단일 라우팅 경로를 이용했을 때 보다 다중 라우팅 경로를 이용하면 노드들의 에너지를 고르게 소비하여 부하균형을 통해 에너지 효율을 높인다. 따라서 제안된 기법에서는 다중 라우팅 경로를 이용하여 데이터를 전송하게 된다. 이때 소스 노드에서 다중 라우팅 경로들에게 데이터가 분배되어야 하는데, 라우팅 경로들의 데이터 전송 능력이 다르기 때문에 적절한 분배가 필요하다<sup>1-3)</sup>. 따라서 라우팅 경로들은 각자의 전송 능력에 맞게 전송해야할 데이터를 분배 받기 위해 다른 라우팅 경로와 협력을 해야 할 필요가 있다.

본 논문에서는 라우팅 경로를 플레이어라고 가정하고 협력모델을 통하여 다수의 경로들이 서로 협력하여 최선의 결과, 즉 에너지 소비가 가장 적은 전략을 선택하여 데이터를 전송할 수 있는 라우팅 기법을 제안한다. 협력에 참여한 라우팅 경로들, 즉 플레이어들이 모두 만족할 수 있는 분배가 되기 위해서는 그 분배가 효율적이고, 균등해야한다<sup>4,5)</sup>. 효율성과 균등성 그리고 플레이어 의 기여에 따른 차등 분배의 조건을 만족하는 분배 방식으로는 샤플리 밸류 (Shapley Value)가 있다<sup>6)</sup>. 샤플리 밸류에 의한 분배는 모든 경우에 대해 반드시 하나의 분배점을 찾을 수 있는 것과 협력에 참여한 각 플레이어는 협력에 기여한 정도에 따라 분배를 받음으로써 모든 참여자가 만족할 수 있는 장점

\* 서강대학교 컴퓨터공학과 무선인터넷 연구실(subii798@naver.com, swkim01@sogang.ac.kr)

논문번호 : KICS2009-09-409, 접수일자 : 2009년 9월 14일, 최종논문접수일자 : 2010년 1월 29일

을 갖는다. 이 두 가지 조건으로 인해 다른 분배 방법보다 합리적인 분배방법으로 인정된다. 따라서 다중경로를 선택하기 위한 알고리즘을 이용하여 경로를 설정하고 그 경로에 데이터 패킷을 분배하기 위해 샤플리 밸류기법을 이용하여 전송하고자 하는 데이터의 패킷을 얼마나 어느 경로에 분배할 것인가를 결정한다.

성능평가를 통하여 본 논문에서 제안한 알고리즘을 적용한 기법이 무선 노드들의 효율적인 에너지 관리로 인해 네트워크의 데이터 총 전송량 등 네트워크의 성능을 향상 시킨 것을 확인하였다. 다중 경로를 이용하는 것이 단일 경로를 이용할 때 보다 하나의 노드에 집중되는 데이터를 분산시킴으로써 트래픽혼잡(Hot Spot)을 줄일 수 있었다.

## II. 제안기법

### 2.1 다중 라우팅 경로 선택 기법

다중 라우팅 경로를 찾기 위해 본 논문에서는 최소 비용거리 알고리즘을 이용한다 [7]. 최소비용 알고리즘은 어떤 간선도 음수 값을 갖지 않는 방향 그래프에서 주어진 출발점과 도착점 사이의 최단 경로 문제를 푸는 알고리즘이다. 최소비용거리 알고리즘은 임의의 점의 쌍  $s$ 와  $t$ 가 있을 때  $s$ 에서  $t$ 로 가는 가장 적은 비용이 드는 최소 비용 경로를 찾는다. 다중 경로에서 모든 무선 노드들은 자신과 한홉 거리에 있는 이웃노드들과의 링크 비용을 결정해야하는데, 이때 링크 비용은 노드의 전송파워, 잔여에너지양, 데이터처리량의 값을 정규화 하여  $i$ 노드와  $j$ 노드간의 가중치( $N_{ij}$ )를 다음과 같이 결정한다<sup>[7]</sup>.

$$N_{ij} = \alpha \times TP_{ij} + (1 - \alpha) \times RE_{ij} + DP_{ij} \quad (1)$$

전송파워의 정규화값( $TP$ )은 송신노드의 초기 전송 파워값( $IP$ )과 최적전송파워값( $OP$ )으로 다음과 같이 정의될 수 있다.

$$TP = \frac{OP}{IP} \quad (2)$$

노드간의 최적 전송파워를 송신 노드의 초기 전송 파워로 나누면 노드간의 최적 전송파워가 낮을수록 전송파워의 정규화값도 낮아지며, 0에서 1사이 값을 갖는다. 노드의 잔여에너지양의 정규화값( $RE$ )은 노드의 초기 에너지양( $IE$ )과 무선 노드들이 가지고 현재 에너지양( $CR$ )을 말한다. 그리고 다음과 같이 노드의

잔여에너지양의 정규화값이 정의될 수 있다.

$$RE = \frac{IR - CR}{IR} \quad (3)$$

잔여에너지양의 정규화값은 노드의 초기 에너지양에서 현재 남아있는 에너지양의 차이를 구한 값을 노드의 초기 에너지양으로 나누면 잔여 에너지양이 높을수록 잔여에너지양의 정규화값은 낮아지며, 0에서 1사이 값을 갖는다.

데이터처리량의 정규화값( $DP$ )은 무선 노드의 데이터 처리 능력을 말한다. 트래픽 혼잡으로 인해 데이터가 한 노드에 집중될 때 그 노드의 데이터처리 능력을 떨어지게 된다. 따라서 노드에 데이터가 집중될수록 데이터 처리 비용은 높아진다. 경로상에서 최대부하가 걸린 노드의 데이터처리량 정규화값은 다음과 같이 정의될 수 있다.

$$DP = \frac{CF}{MF} \quad (4)$$

현재 전송되고 있는 데이터 전송량( $CF$ )을 노드가 전송할 수 있는 최대 데이터 전송량( $MF$ )으로 나누면 현재 처리되는 데이터 용량을 높을수록 데이터처리량 정규화값은 높아지게 되며, 0에서 1사이 값을 갖는다.

모든 노드들의 링크에 대해 비용이 결정되면 따라 다수의 최소비용경로를 계산하는 알고리즘(Minimum cost path algorithm)을 사용하여 후보경로들을 찾는다<sup>[7]</sup>. 하지만 모든 경로를 라우팅 경로로 이용하게 되면 데이터를 분배하는데 오버헤드가 커진다. 노드들 또한 여러 라우팅 경로에 참여 하는 경우 라우팅 테이블의 유지하고 갱신하는데 오버헤드가 커진다. 따라서 라우팅 경로 개수의 제한이 필요하다. 라우팅 경로 개수를 제안하기 위한 첫 번째 조건은 각 경로들의 노드간의 비용을 모두 더한 값들의 평균을 구하여 평균 이하의 제거한다. 이 값은 라우팅 경로의 각 노드들간의 노드들의 잔여에너지, 노드 간 전송 파워 그리고 노드의 데이터 처리량을 고려하기 때문에 라우팅 경로의 가치를 정확하게 측정한다. 따라서 이 값은 라우팅 경로에 대한 데이터 전송 능력이 얼마만큼인지를 측정할 값이기 때문에 데이터 전송 능력이 떨어지는 경로를 제거하는데 기준 값으로 사용된다.

두 번째 조건으로는 각 라우팅 경로의 노드들의 에너지와 전송파워에 대한 표준편차를 구해서, 각 경로의 표준편차들의 평균을 구하여 평균이하 값을 가지

는 경로를 제거한다. 이 조건에 의해서 네트워크의 초기상황보다는 시간이 흐른 뒤 에너지가 충분하지 못한 노드들에 의해 데이터 전송 시 오류가 발생하는 것을 방지한다. 라우팅 경로의 노드들의 평균 에너지가 고르게 분포되어 있을수록 하나의 노드가 오류가 발생될 확률이 줄어들기 때문에 이 경로가 선택되었을 때 네트워크의 전체 수명이 늘어나는 결과를 가져온다. 이 두 조건을 이용하여 라우팅 경로의 개수를 제한한다.

2.2 다중 라우팅 경로에 대한 데이터 분배

2.2.1 특성함수

본 논문에서는 다수의 라우팅 경로들이 협력을 통해 데이터를 전송함으로써 단일 라우팅 경로로 데이터를 전송할 때 보다 에너지를 효율적으로 소비 하는 것이 목적이다. 대표적인 N-명의 협력게임인 파산게임(Bankruptcy Game)에서는 채권자들이 투자한 회사가 파산하여 투자금을 회수하려할 때 채권자들이 투자한 금액의 합보다 나눠야하는 금액이 적을 경우 채권자들은 서로 더 많은 투자금액을 회수하기 위해 경쟁을 해야 한다<sup>[8]</sup>. 이때 채권자들이 투자한 금액, 회사에 기여한 정도 등 여러 가지 사항을 고려하여 투자자들이 모두 만족할 수 있도록 적절하게 금액을 나누게 되는데, 이처럼 금액을 나누기 위해 채권자들의 고려하는 여러 가지 사항들을 특성 함수로 표현한다. 그리고 특성함수값은 투자자 혹은 투자자들이 받는 최대 투자 회수 금액이다. 이때, 투자자들이 나누는 금액의 합은 파산한 회사의 남은 투자금의 합을 넘지 말아야 한다. 이것을 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$v(S) = \max(0, M - \sum_{i \in S} d_i) \quad (5)$$

$v(S)$ 는 투자자 혹은 투자자들이 받을 수 있는 최대 투자 회수 금액이고,  $S$ 는 투자자들이 협의하여 결정할 투자 회수 금액 방법이다.  $M$ 은 파산한 회사의 남은 투자금액이고,  $d_i$ 는 각각의 투자자들의 투자 회수 금액을 말한다 [8].

본 논문에서는 최소전송파워, 잔여에너지, 그리고 데이터처리량의 정보를 이용하여 다중 라우팅 경로의 특성함수를 정의한다. 초기에 선택된 다수의 라우팅 경로  $P_i$ 에 데이터 전송량을 할당하기 위한 특성함수  $V(P_i)$ 는  $P_i$ 의 경로에 있는 노드간의 비용을 합한 값으로 다음과 같이 구한다.

$$V(P_i) = \sum_{k=0}^n (\alpha \times TP_k + (1-\alpha) \times RE_k + DP_k) \quad (6)$$

본 논문에서는 전송파워와 노드의 잔여에너지양을 정규화한 후, 동일한 가중치를 부여하였다. 따라서  $\alpha$  값은 0.5로 설정한다. 전송파워, 잔여에너지량, 데이터 처리량의 값을 가지고 계산한 특성함수  $V(P_i)$ 값은 데이터 전송을 위한 최소 비용  $P_i$ 의 경로사이의 노드들의 최대 성능을 발휘할 때 계산 될 수 있는 값이다. 따라서 노드들의 최적의 상태에서 최대의 전송 데이터 양을 구할 수 있다.

2.2.2 샤플리 밸류(Shapley Value)를 이용한 데이터 분배

샤플리 밸류는 다른 어떤 방법에 비해 합리적이고 인정되는 수익 분배 방법 중에 하나이다. 샤플리 밸류를 계산하기 위해서 밸류(Value) 함수  $\phi(v)$ 는 다음과 같다.

$$\phi_i(v) = \sum_{S \subset A, i \in A} \frac{(|S|-1)!(n-|S|)!}{n!} (v(S) - v(S-i)) \quad (7)$$

$n$ 은 전체 플레이어수이고,  $|S|$ 는 집합  $S$ 의 개수를 말한다.  $v(S)$ 는 플레이어  $i$ 가 협력했을 때의 특성함수 값이고,  $v(S-i)$ 는 플레이어  $i$ 를 제외한 나머지 플레이어들이 협력했을 때 특성함수값이다<sup>[6]</sup>.

본 논문에서는 샤플리 밸류 기법을 통해 데이터를 다중 라우팅 경로들에게 분배한다. 다중 라우팅 경로들을 플레이어라고 하면, 한 소스 노드에서 데이터를 전송할 때 다수의 라우팅경로들은 협력을 통해 보다 적은 에너지 소비를 통해 소스 노드의 모든 데이터를 전송시키고자 한다. 이 때 데이터 분배를 위해 다수의 라우팅 경로들의 능력을 앞장에서 말한 특성함수를 이용하여 샤플리 밸류를 통해 데이터를 분배한다. 라우팅 경로들의 전송 능력 각기 다르기 때문에 똑같이 데이터를 분배 받는 것이 아니라, 전송 능력에 따라 각기 다른 데이터의 전송량을 분배 받는다.

소스노드에서 초당  $X$  Kbyted의 데이터를 전송해야 할 때, 각 라우팅 경로는 특성함수값에 의해 최대 데이터 전송량을 결정해야한다. 라우팅경로의 특성함수 값( $P$ )은 노드간의 최소 비용 값을 합하여 구한 값이기 때문에 데이터를 전송할 때 비용이 적게 드는 라우팅 경로가 더 좋은 성능을 나타내기 때문이다. 따라서 전송해야하는 데이터 총량을 라우팅 경로의 특성함수값

으로 나누어 각 라우팅 경로의 최대 전송량을 구한다. 전송량  $V_{max}(P_i)$ 은 다음 식을 이용하여 구한다.

$$V_{max}(V(P_i)) = (x \times k) / V(P_i) \quad (8)$$

$P_i$ 는  $i$  라우팅 경로의 특성함수값을 나타내고,  $x$ 는 소스노드에서 전송하고자하는 총 데이터양을 나타낸다. 각 노드는 데이터를 전송함에 따라서 잉여에너지가 줄어들고 노드의 잉여에너지량에 따라 경로가 재설정되므로 같은 데이터를 전송할 때 처음 경로에서 일정 단위의 데이터 전송양에 대해 드는 비용은 점점 커지게 된다. 따라서 비용이 커질수록 전송되는 데이터는 같은 전송 비용에서 줄어들게 됨으로 수식 (8)은 단위 비용에 따른 최대 데이터 전송양이라고 할 수 있다. 각 경로의 최대 데이터 전송량의 합이 소스노드에서 전송해야할 총 데이터양 보다 작다면 모든 경로는 협력하여 데이터를 나눌 필요 없이 각 라우팅 경로는 최대 데이터 전송량으로 데이터를 전송해야 한다. 그 외의 경우에는, 본 논문의 기법을 적용하기 위해서 보정계수  $k$ 를 이용하여 각 경로  $V_{max}(P_i)$ 의 합이 전송해야할 데이터 총량( $x$ )보다 크도록 조정한다.

위에서 제시한 기법에 대한 한 예를 들면, 한 소스노드에서 목적지 노드로 초당 600kb의 데이터를 보내야 한다고 할 때, 선택된 3개의 라우팅 경로 PA, PB, PC는 특성 함수(6)에 의해 각각 3, 4, 7로 라우팅 경로의 특성 함수 값을 가진다. 이 특성 함수 값은 적을수록 라우팅 경로의 능력이 좋다. 식(8)에 의해 각각의 라우팅 경로 A, B, C는 각각 400kb/s, 300kb/s, 171kb/s의 최대 전송 능력을 가진다. ( $k=2$ ). 이때 3개의 라우팅 경로의 최대 전송량 전송능력은 보내고자하는 600kb/s를 상회하므로, 각 라우팅 경로는 자기 최대의 전송능력을 이용할 필요가 없기 때문에 협력을 통해 되도록 각 라우팅 경로는 적은 전송량으로 데이터 전송을 처리하고자 한다. 따라서 샤플리 밸류값을 이용하여 이 3개의 라우팅 경로의 알맞은 전송량을 결정한다.

a) 각각의 경로가 협력하지 않았을 때 보낼 수 있는 최대 데이터 전송량

$$V_{max}(PA) = 400,$$

$$V_{max}(PB) = 300,$$

$$V_{max}(PC) = 171$$

b) 각각의 경로가 협력하지 않았을 때 보낼 수 있

는 최소 데이터 전송량

$$V_{min}(PA) = 600 - (V_{max}(PB) + V_{max}(PC)) = 129,$$

$$V_{min}(PB) = 600 - (V_{max}(PA) + V_{max}(PC)) = 29,$$

$$V_{min}(PC) = 600 - (V_{max}(PA) + V_{max}(PB)) = 0,$$

$$(MAX(0, V_{min}(P)))$$

위의 값은 자신 외에 다른 플레이어, 즉 자신 외의 다른 경로들이 최대로 협력했을 때 필요한 전송량을 말한다. 즉 자신이 협력할 때 최소한의 데이터 전송량을 말한다. PC경우 PA와 PB가 최대 전송량으로 데이터를 전송할 때 이미 700kb/s가 됨으로 자신은 전송하지 않아도 된다. 따라서 PC의 최소 데이터 전송량은 0이 된다.

c) 두 경로가 협력했을 때 보낼 수 있는 최소 데이터 전송량

$$V_{min}(PA, PB) = 600 - V_{max}(PC) = 429,$$

$$V_{min}(PA, PC) = 600 - V_{max}(PB) = 300,$$

$$V_{min}(PB, PC) = 600 - V_{max}(PA) = 200$$

위의 값을 협력하는 두 플레이어 외에 다른 플레이어, 즉 협력하는 두 경로 외의 다른 경로가 최대로 협력했을 때 필요한 데이터 전송량을 말한다. 즉, 두 경로가 협력할 때 최소한의 데이터 전송량을 말한다.

d) 세 경로가 협력했을 때 보내야하는 데이터 전송량

$$V(PA, PB, PC) = 600$$

위의 값을 이용하여 샤플리 밸류를 통하여 데이터 전송량 값을 구하면 다음과 같다.

$$\Phi(P_A) = \frac{0!2!}{3!} (129 - 0) + \frac{1!1!}{3!} (429 - 29) + \frac{1!1!}{3!} (300 - 0) + \frac{2!0!}{3!} (600 - 200) = 293$$

$$\Phi(P_B) = \frac{0!2!}{3!} (29 - 0) + \frac{1!1!}{3!} (429 - 129) + \frac{1!1!}{3!} (200 - 0) + \frac{2!0!}{3!} (600 - 300) = 193$$

$$\Phi(P_C) = \frac{0!2!}{3!} (0 - 0) + \frac{1!1!}{3!} (300 - 129) + \frac{1!1!}{3!} (200 - 29) + \frac{2!0!}{3!} (600 - 429) = 114$$

위 결과에 따라서 각 라우팅 경로 PA, PB, PC는 각각 293kb/s, 193kb/s, 114kb/s의 데이터 전송량이 결정된다.

### III. 실험결과 및 분석

본 논문의 제안 기법에 대한 성능 평가를 위해 에드 혹은 네트워크의 노드환경을 다음 표 1과 같이 설정하였다.

각 노드의 전력은 1J를 기본전력으로 설정하였고, 송신할 때의 전력 소모를 30mW, 수신할 때의 전력 소모를 10mW로 설정하였다. 에드 혹은 네트워크의 환경은 표 2와 같이 가로 50M, 세로 50M의 공간에 임의로 노드를 분포시켰다. 노드의 수는 BS 2개와 무선 노드 25개로 설정하고 실험시간은 100초로 설정하였다.

본 논문의 제안기법을 EAQR(An energy-aware QoS routing protocol for wireless sensor networks) 기법<sup>[9]</sup>과 MMESH(Multipath Routing in Wireless Networks)기법<sup>[10]</sup>을 시뮬레이션을 통해 노드들의 에너지변화를 측정하였다.

성능 평가는 시간이 흐름에 따라 노드들의 개수 변화량, 노드들의 잉여에너지 평균 변화량, 그리고 남은 노드들의 잉여에너지 평균 변화량등을 측정하였다. 그림 1의 그래프는 본 논문의 제안기법, EAQR기법 그리고 MMESH기법의 노드의 개수를 시간이 흐름에 따라 비교하였다.

소스노드에서 목적지노드까지 데이터를 전송할 때, 제안기법에서는 다중 라우팅 경로를 설정하여 전송하는 반면, EAQR기법에서는 하나의 라우팅 경로만을 이용한다. 따라서 제안기법이 EAQR기법보다 더 많은

표 1. 무선 네트워크 노드 환경

Simulator	NS2 V2.31
MAC Protocol	Mac / 802.15.4
Traffic Pattern	Constant Bit Rate (CBR)
Size of data packet	70 Bytes
Interface queue type	Drop-Tail, Priority Queue
Initial Energy	1J
Transmit power drain	30W
Receive power drain	10W

표 2. 성능 평가 환경

Simulation Area	50m X 50m
Number of Nodes	25
Simulation Time	100 seconds

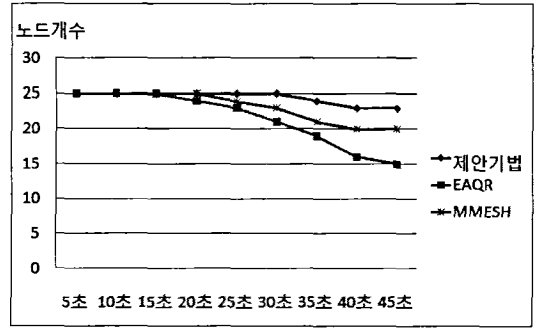


그림 1. 시간에 따른 노드의 개수

노드를 이용하여 데이터를 전송함으로써 하나의 노드가 데이터를 전송하기 위해 소비하는 에너지가 적다. MMESH기법은 본 논문과 같이 다중경로를 이용하여 데이터를 전송하는데 경로 설정 시 에너지를 고려하지 않아 특정 노드가 Hot Spot이 발생하여 에너지의 소비로 인해 노드의 개수가 줄어든 것을 알 수 있다. 이 실험을 통해 노드의 생존율이 본 논문에서 제안하는 기법이 EAQR기법과 MMESH기법보다 각각 17.2%, 6.3% 증가하였다.

그림 2는 무선 네트워크에서 무선 노드가 시간의 흐름에 따라 전체 노드의 남은 에너지양의 평균값이 어떻게 변화했는지를 나타낸다. 시간의 흐름에 따라 제안기법, EAQR기법, 그리고 MMESH기법 모두 남은 에너지양이 줄어드는 것을 알 수 있다. 45초가 지난 후에 전체 노드의 남은 에너지양 평균은 본 논문에서 제안하는 기법이 EAQR기법과 MMESH기법보다 각각 11.2%, 3.5% 증가하였다.

그림 3의 그래프는 시간이 지남에 따라 첫 노드의 에너지양의 값을 비교한 것을 나타내고 있다. 시간이 흐름에 따라 제안기법의 첫 노드 에너지양은 일정하게 감소하는 반면, EAQR기법과 MMESH기법의 첫 노드 에너지양은 급격하게 줄어들음을 알 수 있다. 이는

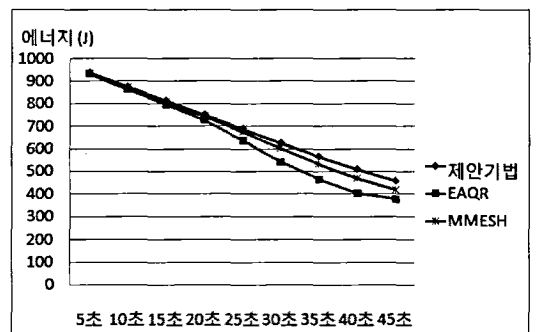


그림 2. 시간에 따른 전체 노드의 남은 에너지양 평균값

## VI. 결 론

본 논문에서는 무선 애드 hoc 네트워크에서 중요한 요소인 에너지 효율성을 높이기 위해 무선 노드들의 에너지를 고르게 소비하게 하여 전체 네트워크의 수명을 연장할 수 있는 다중 라우팅 경로를 이용하여 데이터를 전송한다. 소스노드에서 목적지노드까지 다수의 경로를 전송파워, 잔여에너지, 그리고 데이터전송 능력을 이용하여 최소 비용알고리즘을 통해 다수의 경로들을 선택했다. 특성함수를 이용하여 라우팅 경로들의 평가하고 그 값을 이용하여 사플리 밸류기법 통해 전송해야할 데이터를 각 라우팅 경로들에게 알맞게 분배했다. 성능평가에서 본 논문에서 제안한 기법이 EAQR기법과 MMESH기법보다 에너지를 더 효율적으로 관리함을 알 수 있었다.

본 연구에서는 네트워크에서 다수의 소스노드가 존재하는 경우는 고려하지 않았다. 추후, 다수의 소스노드가 데이터 전송을 동시에 수행할 경우 네트워크 노드들이 경로 사이에서 서로 공유되는 현상에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

## 참 고 문 헌

- [1] Charles E. Perkins, Elizabeth M Royer, and Samir Das, "Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing", *IEEE WMCSA '99*, Vol.3, pp.90-100, February, 1999
- [2] J. Macker and S. Corson, "Mobile ad hoc networking and the IETF", *ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review*, Vol.2, No.3, pp. 7-9, July, 1998
- [3] C. E. Perkins and P. Bhagwat, "Highly Dynamic Destination-Sequenced Distance-Vector Routing (DSDV) for Mobile Computers", *ACM SIGCOMM*, Vol.24, No.4, pp. 234-244, October, 1994
- [4] David B. Johnson and David A. Maltz, *Dynamic Source Routing in Ad Hoc Wireless Networks*, In *Mobile Computing*, edited by Tomasz Imielinski and Hank Korth, Chapter 5, Kluwer Academic Publishers, pp.153-181, 1996

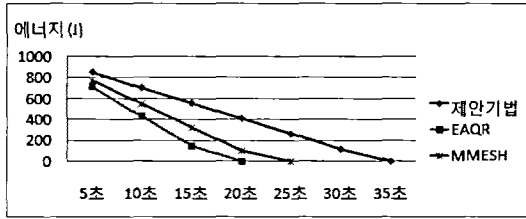


그림 3. 시간에 따른 첫 노드의 생존 시간

라우팅 경로를 설정할 때 본 논문의 기법에서는 전송 파워, 노드의 잔여에너지양, 그리고 데이터 처리 능력과 같은 에너지 효율적인 경로를 설정하는 반면, EAQR기법은 노드간 거리와 지연시간, 그리고 MMESH기법은 지연시간과 데이터 처리 수용능력으로 라우팅 경로를 설정함으로써 에너지 효율적인 경로를 설정하지 못하기 때문이다.

그림 4의 그래프는 각 기법들의 전송된 데이터의 총량을 비교하였다. 본 논문에서 제안한 기법과 MMESH기법은 다중 라우팅 경로를 이용함으로써 EAQR기법에서 단일 라우팅경로를 이용할 때 보다 같은 시간에 보다 많은 데이터를 전송함을 알 수 있다. 이는 노드에서 처리할 수 있는 데이터양이 제한되어 있기 때문에 데이터를 전송 시 다수의 노드를 이용할수록 더 많은 데이터를 전송할 수 있게 된다. 그리고 노드에서 처리하는 데이터양도 제한되어 있기 때문에 다수의 노드를 이용하여 데이터를 전송할수록 같은 시간에 더 많은 데이터를 전송할 수 있게 된다. 위의 실험들을 통해 무선 네트워크에서 중요한 요소인 에너지를 얼마나 효율적으로 관리하느냐에 따라서 네트워크의 성능이 달라짐을 알 수 있었다. 다중 라우팅 경로를 이용하여 부하균형을 통해 전체 노드들의 에너지를 고르게 소비함으로써 전체 네트워크의 수명을 늘렸다.

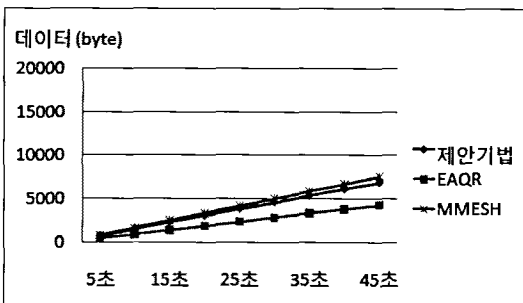
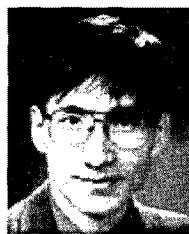


그림 4. 시간에 따른 총 데이터 전송량

- [5] Thomas S. Ferguson, *Game Theory Text*, Mathematics Department, UCLA, Los Angeles, California 90095, USA
- [6] L. S. Shapley, *A value for N-Person game*, *Annals of Mathematics Studies*, Princeton University Press, Vol.2, pp.307-317, 1953
- [7] E.Q.V. Martins, M.M.B. Pascoal and J.L.E. Santos, "*The K Shortest Paths Problem*", Research Report, CISUC, pp.1-21, June, 1998
- [8] M. Pulido, J. S. Soriano, and N. Llorca, "*Game theory techniques for university management: An extended bankruptcy model*", *Operation Research*, Vol.109, pp.129-142, 2002
- [9] Kemal Akkaya, Mohamed Younis, "*An energy-aware QoS routing protocol for wireless sensor networks*", in Proceedings of the IEEE Workshop on Mobile and Wireless Networks (MWN 2003), Providence, RI, pp.710-715, May, 2003
- [10] Nandiraju, N.S., Nandiraju, D.S., Agrawal, D.P, "*Multipath routing in Wireless Mesh Network*," *Mobile Adhoc and Sensor Sysetems*, pp.741-746, 2006.

김 승 옥 (Sungwook Kim)

중신회원

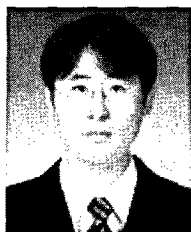


1993년 2월 서강대학교 전자계산학과  
1995년 2월 서강대학교 전자계산학과 석사  
2004년 2월 시라큐스 대학교 computer science 박사  
2005년 중앙대학교 컴퓨터공학부 전임강사

2006년~현재 서강대학교 컴퓨터공학과 조교수  
<관심분야> QoS, 실시간 제어처리, 셀룰러 네트워크 자원관리

이 기 섭 (Ki Seop Lee)

정회원



2006년 2월 동의대학교 멀티미디어공학과  
2009년 2월 서강대학교 컴퓨터공학 석사  
<관심분야> 무선 네트워크, 센서 네트워크, 파워 컨트롤, 라우팅 알고리즘