

---

# MANET에서 네트워크 수명 연장을 위한 라우팅 프로토콜

## A Routing Protocol for Network Lifetime Extension in MANET

---

김경자\*, 한상훈\*\*, 구현우\*

(주)비온드 시스템즈\*, 국립한국재활복지대학 컴퓨터정보보안과\*\*

Kyoung-Ja Kim(kjkim@sejong.ac.kr)\*, Sang-Hoon Han(shhan@hanrw.ac.kr)\*\*,  
Hyun-Woo Koo(hwgoo@dgu.ac.kr)\*

---

### 요약

MANET(Mobile Ad-hoc Network)는 기존 기반 망의 도움 없이 자율적이며 임의로 이동 및 자체 구성이 가능한 이동 단말만으로 구성된 네트워크이다. 이러한 동적 노드들은 무선 링크로 연결되어 네트워크 내의 다른 노드들을 위한 라우터의 역할도 행한다. 라우터로서 MANET 상의 노드는 메시지를 보내면서 전력을 소모하게 되며, 네트워크 노드들의 수명 연장을 위해서는 패킷 라우팅에 있어서 소모되는 전체 전력을 최소화하도록 경로를 선택하는 것이 필요하다.

본 논문에서는 라우팅 경로 상의 노드들의 전력 잔량을 고려한 라우팅 프로토콜을 제안한다. 제안된 방법은 각 노드들의 배터리 과 사용을 막음으로써 전체 네트워크의 수명 연장에 기여할 수 있다. 각 노드의 전력 사용이 균등하게 사용될 수 있도록 라우팅 경로 설정 시 노드의 잔류 전력량을 고려하여 네트워크 토폴로지를 유지하는데 필요한 전력이상을 보유하고 있는 경로를 결정하여 패킷을 전송하게 된다.

시뮬레이션을 통하여 제안한 기법이 전력 소모량측면에서 MMBCR보다는 적음을 보이고, 잔류 전력 편차에서는 MMBCR보다 많으나, 전체 전력 소모량만을 고려하면 MTPR과 MBCR보다 적음을 보여, 전체적인 토폴로지의 수명 연장 측면에서 매우 효율적임을 알 수 있다.

■ 중심어 : | 라우팅 프로토콜 | 네트워크 존속기간 | MANET |

### Abstract

MANET(Mobile Ad Hoc NETwork) is a collection of mobile nodes that are free to move and organize themselves in an arbitrary manner without any fixed infrastructures. These mobile nodes are connected by wireless links and act as routers for all other nodes in the network. As a router each node in MANET consumes its batteries when forwarding a message, and the selection of the best path to minimize the total power needed to route packets is needed to maximize the lifetime of all nodes.

In this paper, we propose a routing protocol considering the remaining battery capacity of nodes in the routing paths. The proposed scheme prevents the battery of each node from being overused and increases the lifetime of the network.

■ keyword : | Routing Protocol | Network Lifetime | Mobile Ad-hoc NETwork |

## I. 서론

오늘날 단말기가 이동성이 보장 되면서 기간망이 형성되어 있지 않은 장소에서도 이웃 장비들 간의 통신이 필요하게 되었고, 이를 목적으로 개발된 것이 MANET(Mobile Ad-hoc NETwork)이다. MANET에서는 이동 노드들끼리 토폴로지를 구성하여 통신을 가능하게 한다. 기존 유선망에서 사용되던 라우팅 프로토콜을 노드의 이동성과 멀티 홉 통신의 특징을 가지는 네트워크 환경에 그대로 적용시키기에는 많은 어려움이 발생한다. MANET은 노드의 이동성으로 인하여 네트워크 토폴로지가 지속적으로 변화한다. 즉 네트워크 토폴로지가 변할 때마다 토폴로지 변경 정보를 네트워크 전체로 브로드캐스팅하게 되면 네트워크 부하를 가중시키게 되는 요인이 된다. 또한 자원 사용에 있어서도 많은 제약을 가진다. 애드 혹 노드는 제한된 전력과 무선 전송 기술을 사용하기 때문에 전송 대역폭, CPU 컴퓨팅 용량 등에 있어서 제약이 많다. MANET은 보안 측면에서도 취약한 문제점을 가진다. 애드 혹 네트워크에서는 무선 기술을 사용하여 서로 확인되지 않은 노드들 간에 통신을 하고, 멀티 홉을 통해 라우팅 프로토콜 메시지를 전달하기 때문에 해킹의 가능성이 높다. 또한 무선 링크는 단방향 특성을 갖는다. 두 노드 사이의 잔류 전력량 차이로 인해 송수신 전력이 달라 대부분의 링크는 단방향 링크를 형성하게 된다.

MANET에서 각 노드들이 제한된 대역의 무선링크로 연결되어 있으므로 해당 대역폭을 최대한 활용하기 위하여 라우팅 오버헤드를 줄이고자 한다. 또한 각 노드들의 전력과 같은 자원이 제한되어 있으므로 과도한 플러딩 사용과 주기적인 메시지를 최소화하는데 중점을 두고 있고, 각 노드들의 이동성으로 인하여 동적인 네트워크 토폴로지를 갖게 됨으로 토폴로지 변화를 최대한 빠르게 반영하거나 대체 경로를 사용할 수 있는 방안들을 제시하고 있다.

위에서 제시한 여러 가지 고려 사항들은 전체 네트워크의 존속 기간을 유지하기 위한 방안이라고 볼 수 있다. 그 중에서도 각 노드의 전력이 남아 있지 않다면 네트워크 유지 자체가 어렵고, 해당 노드를 사용하는 라

우팅 경로는 더 이상 사용이 불가능해진다. 예를 들어, 현재 전력 수준이 낮은 노드가 많은 패킷을 전송하게 되면 해당 노드의 잔류 전력량이 점점 작아져서 결국은 이 노드를 경유하는 모든 경로들은 사용할 수 없게 되고, 이러한 노드가 많아지면 네트워크 토폴로지 자체를 유지할 수가 없다. 따라서 노드들의 잔류 전력량을 고려하여 경로를 선택해야 안정적인 데이터 전송이 가능해진다.

이에 본 논문에서는 각 노드의 잔류 전력량을 고려하여 전체 네트워크의 전력 소모량을 최소화하기 위한 라우팅 경로를 설정하고, 특정 노드의 전력 고갈을 방지함으로써 네트워크의 존속 시간을 최대화할 수 있는 라우팅 프로토콜을 제안한다.

본 논문의 구성은 본 논문의 연구 필요성을 1장에서 제시하고, 2장에서는 기존의 전력을 고려한 라우팅 기법들을 살펴본다. 3장에서는 본 논문에서 전체 노드들의 잔류 전력량을 고려하여 전체 네트워크의 수명을 연장하기 위한 제안 기법을 여러 알고리즘과 같이 설명한다. 4장에서는 기존 기법들과 본 논문에서 제안하는 기법을 비교하고, 5장에서는 기존 기법들과 제안 기법들의 실험한 결과를 보인다. 마지막으로 6장은 결론과 향후 연구 과제를 제시하며 논문의 끝을 맺는다.

## II. 관련 연구

### 1. MANET의 라우팅 프로토콜

MANET에서 라우팅 프로토콜은 토폴로지의 동적인 변화에 따른 유효하지 못한 링크 정보에 의해 루프가 발생할 수 있으며, 이러한 루프를 발생시키지 않도록 해야 한다. 또한, 동적인 토폴로지의 변화로 인해 라우팅 제어 메시지의 과도한 오버헤드가 발생하지 않아야 한다. 특정 노드가 통신에 참여하고 있지 않을 경우에는 소비 전력을 절약하기 위한 SLEEP모드를 지원함으로써 노드의 TTL(Time To Live)을 최대한 연장해줘야 한다. 마지막으로 네트워크의 크기나 노드 수의 증가에 따른 확장성이 지원되어야 한다.

기존 망에서 사용하던 라우팅 프로토콜은 잦은 네트

워크 토폴로지 변화를 갖는 MANET에는 적합하지 않다. 따라서 네트워크 토폴로지가 수시로 변화하는 MANET 환경에 맞는 라우팅 프로토콜들이 연구되어 왔다. 라우팅 테이블 관리 방식에 따라 테이블 기반 방식과 요구 기반 방식으로 분류한다.

테이블 기반 방식(Table-Driven, Proactive)은 네트워크 토폴로지의 변화가 감지되거나 일정 시간 간격으로 라우팅 정보가 담긴 패킷을 네트워크 전체로 브로드캐스팅함으로써 항상 최신의 라우팅 정보를 유지한다. 이 경우 항상 최신의 라우팅 경로를 유지할 수 있다는 장점과 경로 유지를 위해서 전송되는 트래픽으로 인한 오버헤드가 크다는 단점이 있다. 더불어 이런 트래픽의 처리로 인한 이동 노드의 배터리 소모도 부가적인 문제로 발생하게 된다. 요구 기반 방식(On-Demand, Reactive)은 테이블 관리 방식의 과도한 트래픽 전송에 관한 문제를 해결한 방식으로 전송 요구가 있는 경우에 경로 탐색 패킷을 보냄으로써 이전 방식에 비하여 전송되는 트래픽을 줄였다. 그러나 초기 경로 탐색에 따른 지연이 발생하므로 최적의 경로 탐색과 경로 탐색 지연 시간을 최소화하는 방안은 계속 연구되고 있다. ZRP(Zone Routing Protocol)가 속한 Hybrid 라우팅은 테이블 관리 방식에서 라우팅 상태 정보 테이블을 유지하는 방식과 전송 요구가 있는 경우에 경로를 탐색하는 방식을 혼합한 방식으로 존(Zone)으로 구분되어지는 노드들 간의 경로 설정 방안을 달리하는 기법이다.

MANET에서 라우팅 프로토콜의 다른 분류로는 노드 및 링크 특성을 고려한 라우팅 프로토콜들이 있다. 네트워크 토폴로지가 아닌 노드의 지리적인 위치 정보를 이용하여 라우팅 경로를 설정하는 방식으로 Location-Aided Routing(LAR), Greedy Perimeter Stateless Routing(GPSR)이 있다. 또한 루트의 안정성을 고려한 방식으로 Signal Stability-Based Adaptive Routing(SSR), Associativity Based Routing(ABR) 등의 라우팅 방식이 있다. 전력을 고려한 라우팅으로는 Power-Aware Routing(PAR), Alternate Path Routing(APR), Localized Energy Aware Routing(LEAR)방식이 있고, QoS를 고려한 라우팅 프로토콜은 Core-Extraction Distributed Ad-hoc

Routing(CEDAR)이 있다. 마지막으로 보안을 고려한 라우팅 기법은 Secure Routing Protocol(SRP)이 대표적인 라우팅 방식이다[1].

본 논문은 전체 네트워크 존속 시간을 최대한으로 유지하기 위하여 각 노드의 전력량을 고려한 라우팅 프로토콜을 제안한다. 네트워크 토폴로지가 유지되며 각 노드들의 수명을 최대한으로 연장할 수 있도록 하였다. 또한 특정 노드의 전력 고갈의 가능성을 배제함으로써 네트워크 토폴로지를 유지시키려 하였다. 따라서 다음 절에서는 전력 소모를 고려하여 전체 전력 소모량을 최소화하는 기법과 특정 노드의 과도한 사용을 방지하는 라우팅 프로토콜들을 살펴보고자 한다.

## 2. 전력을 고려한 라우팅 프로토콜

전력이 제한된 MANET에서는 특정 노드의 전력이 고갈되면 네트워크 토폴로지가 유지되지 못한다. 따라서 네트워크의 존속 시간을 최대한 유지하기 위해서는 각 노드의 잔류 전력량이나 전력 소모량을 고려하는 라우팅 알고리즘들이 연구되고 있다[2]. 전력 소모량을 고려한 라우팅 프로토콜의 성능 평가 기준은 네트워크 수명과 네트워크 용량이 거론된다. 네트워크 수명은 네트워크에서 전력이 고갈되기까지의 시간을 의미하며, 네트워크 용량은 성공적으로 전송된 데이터의 총량을 의미한다.

일반적으로 전파의 수신 강도는 거리의 제곱에 비례해서 감소한다. 각 노드는 이를 고려해 송신 강도를 조절함으로써 불필요한 전력 소모를 방지할 수 있고, 이를 이용하여 소스 노드에서 목적지 노드까지의 경로 상에서 소모되는 총 전력 소모가 최소가 되는 경로를 선택하기 때문에 네트워크상의 전력 소모를 최소화할 수 있다.

MANET에서 전체 네트워크의 전력 소모량을 줄일 수 있는 방안과 전력 소모량을 줄이기 위해 고려되어지는 요소들을 살펴보면 다음과 같다[3].

첫 번째는 패킷 당 최소 에너지 소모(Minimal Energy Consumption per Packet) 값으로 패킷이 전달되는데 경유하는 모든 노드들의 수와 연관 있는 요소이다. 각 노드들 간의 거리가 멀지 않으면서도 홉(hop)수

가 적은 경로를 선택한다.

두 번째는 네트워크 연결 최대화(Maximize Network Connectivity) 값으로 네트워크상에 존재하는 단절점들(cut-sets)간의 작업부하가 균형을 유지하는 것과 연관 있는 요소이다. 노드들 간의 연결이 다수 존재하는 경우 홉 간의 경로가 다수 존재하게 되어 많은 방법으로 작업 부하를 분산시킬 수 있다.

세 번째는 노드 전력 수준의 최소 분산(Minimum Variance in Node Power Levels) 값으로 전력 소비 패턴이 모든 노드에 균등하게 남겨지도록 작업 부하를 분산하는 것과 연관 있는 요소이다. 특정 노드가 잔여 전력 수준으로 인하여 전환되어야 하는데 해당 노드가 중요 노드인 경우 네트워크 전체에 큰 문제를 발생시킬 수 있다. 따라서 모든 노드의 잔여 전력 수준이 균등하다면 이와 같은 문제를 해결할 수 있다[4].

네 번째는 최대 노드 비용의 최소화(Minimize Maximum Node Cost) 값으로 N개의 패킷을 라우팅 한 후 또는 T 시간 후 최대 노드 비용을 최소화하는 것과 연관 있는 요소이다. 특정 노드가 라우팅 경로로 많이 사용되는 경우, 전력 소모를 줄이기 위해 해당 노드를 경유하는 라우팅 경로의 사용을 막는다.

전력 소모를 고려한 라우팅 프로토콜은 Minimum Transmission Power Routing(MTPR), Minimum Battery Cost Routing(MBCR), Min-Max Battery Cost Routing(MMBCR), Conditional Max-Min Battery Capacity Routing(CMMBCR), Maximum Residual Packet Capacity(MRPC)등의 여러 방법들이 존재한다 [5][6][7].

### 2.1 Minimum Transmission Power Routing(MTPR)

전체 소모되는 전력량이 가장 적은 경로를 선택하는 방법이다. 수식 (1)은 홉 당 소요되는 전력의 합을 나타낸다.

$$P_l = \sum_{i=0}^{D-1} p(n_i, n_i + 1) \quad (1)$$

수식 (2)는 소모되는 전력의 양이 가장 적은 경로를 선택하는 것과 연관된 식을 나타낸다.

$$R_k = \min_{j \in A} P_l \quad (2)$$

(단, A는 이동 단말 간 가능한 노드 경로임)

그러나 이 방법은 노드의 수명에 대한 보장이 없고, 짧은 전송거리를 가진 많은 홉의 경로를 선택하기 때문에 중단 지연시간이 증가하는 문제점을 갖는다.

### 2.2 Minimum Battery Cost Routing(MBCR)

전체 남아있는 전력량이 가장 큰 경로를 선정한다. 수식 (3)은 노드 i에서의 전력비용 함수를 나타낸다.

$$f_i(c_i) = \frac{1}{c_i} \quad (3)$$

수식(4)는 경로에 대한 전력비용을 나타낸다.

$$R_j = \sum_{i=0}^{D_j-1} f_i(c_i) \quad (4)$$

수식 (5)는 전력비용이 가장 적은 경로를 선택하는 것과 연관된 식을 나타낸다.

$$R_i = \min\{R_j | j \in A\} \quad (5)$$

그러나 이 방법은 전력비용의 합을 고려하기 때문에 가장 작은 전력을 보유한 노드가 참여할 우려가 있다.

### 2.3 Min-Max Battery Cost Routing(MMBCR)

각 노드들의 존속 시간을 최대화하고, 노드가 패킷 전송을 위해 과 사용되는 것을 방지하는 방법이다. 가능한 라우팅 경로들 중에서 최소 잔여 전력의 최대값을 갖는 경로를 선택하는 방법이다. 수식 (6)은 가장 비용이 큰 임계 노드를 찾는 것과 연관된 식을 나타낸다.

$$R_i = \max f_i(c_i) \quad (6)$$

수식 (7)은 임계 노드의 비용이 가장 작은 경로를 선택하는 것과 연관된 식을 나타낸다.

$$R_d = \min\{R_j | j \in A\} \quad (7)$$

그러나 이 방법은 전체 전송 전력의 최소화를 보장할 수 없다.

## III. 제안 프로토콜

### 1. 라우팅 경로 설정

본 논문에서 이웃 노드의 정보 관리를 위한 방식은

CGSR(Clusterhead Gateway Switch Routing)을 기반으로 한다. CGSR은 1홉 거리에 있는 노드들을 하나의 클러스터로 구성하고 클러스터마다 클러스터헤드를 선출하여 각 클러스터를 관리하게 된다. 또한 두 개 이상의 클러스터와 접하고 있는 노드를 게이트웨이 노드로 정하여 클러스터헤드와 게이트웨이 노드를 통해 다른 클러스터내에 있는 노드와 통신이 수행되는 계층적 구조를 갖는 프로토콜이다. 클러스터헤드로 선출되는 노드는 해당 클러스터의 노드들중에서 연결성이 가장 높은 노드를 헤드로 선정하는 방식이다. MANET의 HELLO Beacon에 자신의 잔류 전원에 대한 정보를 함께 브로드 캐스팅한다. 각 클러스터 내에서는 잔류 전력량이 가장 많은 노드가 클러스터 헤드로 선출되고, 클러스터 헤드로 선출된 노드는 해당 클러스터 내에 있는 노드들의 전력량에 대한 정보와 게이트웨이의 기능을 가지는 노드의 유무에 관련된 정보를 주기적인 HELLO Beacon을 통해 최신의 정보로 유지하게 된다.

```

Cluster_Head_Elect()
begin
  max_battery_node=null
  max_battery=0
  broadcast HELLO beacon
  receive HELLO beacon
  for neighbor_node
    if max_battery>=neighbor_node_battery then
      max_battery_node=neighbor_node
    endif
  endfor
  each node send VOTE message to m
  ax_battery_node
  if node receive VOTE message then
    cluster_head=node
  endif
end

```

제안하는 프로토콜에서의 라우팅 경로 설정과정은 요구 기반에서의 마찬가지로 자료 전송에 대한 요구가 발생하게 되면 라우팅 경로 설정 과정을 시작한다. 클러스터 내의 노드가 RREQ를 CH(Cluster Head)에게 보내게 되면 경로 설정 과정이 시작된다. 이미 보유하고 있는 라우팅 캐시 테이블을 활용하여 해당 RREQ에

서 요구하는 경로가 존재한다면 사용가능한지를 검증하게 되고, 사용할 수 없는 경로인 경우에는 RREQ를 플러딩함으로써 새로운 라우팅 경로를 생성한다.

Cluster\_Head\_Elect()은 CH를 선출하는 알고리즘으로 모든 노드는 자신의 잔류 전력량에 대한 정보를 포함한 HELLO Beacon을 브로드캐스팅한 후, HELLO Beacon을 수신한 노드는 이웃 노드들의 전력량 중에서 가장 큰 전력을 가지고 있는 노드에게 클러스터 헤드 선출 메시지(VOTE)를 보낸다. 하나 이상의 VOTE 메시지를 받은 노드가 CH가 된다.

HELLO Beacon을 통해 CH가 된 후, 클러스터 내의 노드들 중에서 RREQ 메시지를 CH에게 전달되면 경로 탐색 절차가 진행된다. Route\_Discovery()는 라우팅 경로 설정을 하는 알고리즘이다. RREQ를 수신한 CH는 자신이 보유한 라우팅 캐시 테이블에 해당 경로가 있는지를 확인한 후에 경로가 존재하면 해당 경로들에 대한 검증 알고리즘을 적용하여 라우팅 경로를 선정한다. 만약에 라우팅 캐시 테이블에 RREQ에 대한 목적지 노드까지의 경로가 존재하지 않거나 검증되지 않는 경로인 경우에는 CH의 게이트웨이 노드들에게 RREQ를 플러딩하여 라우팅 경로를 설정하고, CH의 라우팅 캐시 테이블은 최신의 라우팅 경로 정보로 갱신된다.

라우팅 캐시 테이블에 있는 경로나 탐색된 경로들 중에서 사용할 경로는 전체 네트워크의 소비 전력량을 줄일 수 있는 경로로 선택된다. Route\_Selection()은 경로상의 노드의 잔류 전력량을 바탕으로 사용가능한 여러 경로들 중에서 가장 소비 전력량이 적은 경로를 선정하는 알고리즘이다. R은 Route\_Discovery()에 의해 탐색된 경로이고, CR은 경로에 대한 전력비용이다. EN<sub>i</sub>는 노드 i의 잔류 전력량을 의미하며 T는 네트워크 유지를 위한 각 노드의 잔류 전력량의 임계값이다.

라우팅 경로 선택 과정은 경로 탐색 알고리즘에 의해 구해진 여러 경로들 중에서 경로 선택 조건에 맞는 경로를 선택하게 된다. 각 경로들의 전력비용을 계산하여 모든 경로들의 평균 전력비용을 구한다. 평균 비용 이상이 되는 경로에 속하는 노드의 잔류 전력량이 네트워크를 유지할 수 있는 보유 전력량(T)이하인 노드가 속한 경로는 라우팅 경로 선정 대상에서 제외한다. 노드

의 최소 보유 전력량은 해당 노드가 전체 네트워크 토폴로지를 유지할 수 있고 전력 소모를 최소화할 수 있는 정도의 전력량을 의미한다. 이는 전체 네트워크 크거나 네트워크 토폴로지를 유지해야 하는 존속 기간에 따라 정해지는 값으로 한다. 이와 같은 과정으로 선정된 라우팅 경로가 하나 이상이 된다면 경로상의 홉 수가 가장 적고, 가장 먼저 탐색된 경로를 선택한다.

```

Route_Discovery()
begin
  send RREQ to cluster_head
  hop_count++
  if route_path in route_table of cluster_head exists
  then
    Route_Selection()
  else
    if hop_count=threshold then
      end
    endif
  forward RREQ to gateway_node of cluster_head
  if gateway_node receive RREQ then
    hop_count++
    Route_Discovery()
  endif
  endif
end
    
```

[그림 1]은 본 논문에서 제시하는 라우팅 경로 설정 과정의 알고리즘들간의 관계를 상태도로 나타내었다. Cluster\_Head\_Elect()을 적용하여 클러스터 헤드를 선출한다. 클러스터 헤드로 선출된 노드들은 각각의 gateway 노드들에게 RREQ 패킷을 포워딩 한 뒤, 라우팅 정보를 수집하는 Route\_Discovery() 알고리즘을 적용한다. 라우팅 정보 수집 과정은 최대 홉값이 될 때까

지 반복한다. 라우팅 정보 수집 과정이 끝나면 Route\_Selection()을 적용하여 라우팅 테이블 내에서 라우팅 전력 비용이 모든 경로들의 평균값 이하이고, 경로상의 각 노드들의 잔류 전력량이 네트워크 유지를 위한 임계값보다 큰 경로를 선정하게 된다.

```

Route_Selection()
begin
  ave(CR) in all R
  repeat
    if (R<=ave(CR) && EN_i in R>T) then
      route_path[ ]=R
    endif
  until (R ∩ ∅=∅)

  if( shortest in route_path[ ] ) then
    route[ ]=route_path[ ]
  endif
  return route[0]
end
    
```

## 2. 라우팅 경로 유지 및 복구

무선 애드 혹 네트워크에서는 노드의 이동성으로 인하여 잦은 토폴로지 변화가 발생한다. 이는 라우팅 경로에 대한 정보도 자주 변화됨을 의미한다. 이미 설정된 라우팅 경로의 유지와 새로운 라우팅 경로의 설정에 대해서는 전체적인 비용이나 시간을 고려하여 결정되어야 한다. 그러나 무선 애드 혹 네트워크에서는 토폴로지의 변화가 빈번히 발생하기 때문에 라우팅 경로 유지를 위한 비용보다는 라우팅 경로를 재설정하는 것이 사용 측면에서 더욱 효율적이라고 할 수 있다. 라우팅 경로가 붕괴된 경우에 복구절차 역시 경로를 유지하

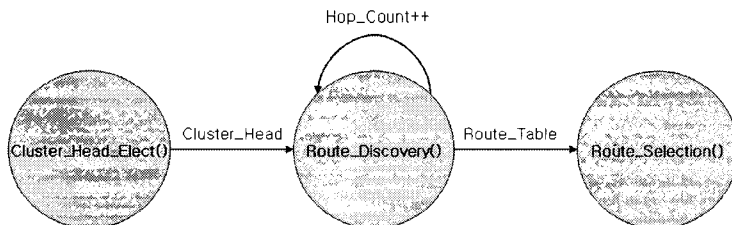


그림 1. 라우팅 경로 설정 과정의 상태도

는 경우와 동일하다. 이에, 본 논문에서는 라우팅 경로 유지와 복구에 대한 절차는 생략하였다.

#### IV. 기존 기법들과의 비교

본 장에서는 기존의 전력을 고려한 라우팅 프로토콜에서 사용되는 여러 기법들과 본 논문에서 제안하는 기법을 비교하였다[8]. 다음의 [표 1]은 MTPR, MBCR 그리고 MMBCR과 본 논문에서 제안하는 기법을 기존 기법의 목적 및 라우팅 방식과 장단점 항목으로 비교하였다.

기존 기법들의 라우팅 방식은 요구 기반 방식(On-Demand)으로 RREQ를 통해 전송 요청이 발생하면 경로를 탐색하는 절차를 진행한다. 반면에 제안된 기법은 각 CH가 1-홉 안에 있는 노드를 관리할 수 있는 정보를 보유하는 방식이며, 주기적으로 HELLO Beacon을 통해서 관리하게 된다. 이는 테이블 기반 방식으로 주기적인 테이블 갱신이 발생하게 된다. 그리고 각 노드는 해당 CH에게 RREQ를 보냄으로써 라우팅 경로를 요청하게 된다. CH가 보유한 테이블에 해당 경로가 존재하지 않는 경우라면 RREQ를 플러딩함으로써 라우팅 경로를 탐색하는 절차를 진행한다. 즉, CH 측면에서는 테이블 기반 방식을 사용하고 경로의 선택 및 재설정을 위해서는 요구 기반 방식으로 진행된다.

[표 1]에서 보는바와 같이 4가지 기법들의 목적은 모두 궁극적으로 더욱 안정적인 네트워크를 사용하기 위한 것으로 동일하나, 여러 고려 사항들 중에서 우선시 되는 항목을 달리한다. MTPR의 경우에는 최소 전력을 소모하는 경로를 선정함으로써 네트워크 전체의 전력 소모량을 최소화하기 위해 네트워크 존속 시간을 연장

하고자 한다. 그러나 최소 전력을 소모하는 경로만을 선정해서 사용하다 보면 여러 노드들이 근접한 거리에 많은 연결을 가지는 노드에 대해서는 사용 빈도수가 커지기 때문에 특정 노드의 전력이 고갈될 가능성이 높아지는 단점을 갖는다.

MBCR은 여러 경로들 중에서 소요되는 전력비용을 최소화하는 경로를 선택하는 기법이다. MTPR의 단점인 특정노드의 고갈 가능성을 줄이고자 하는 기법으로 전력비용이 최소화되는 경로를 선택해서 사용하기 때문에 전체 네트워크 존속 기간을 연장할 수가 있다. 반면에 잔류 전력량이 가장 적은 노드가 경로에 참여할 가능성이 높아지는 단점을 갖는다.

MTPR과 MBCR의 각 단점을 보완하기 위한 기법으로 MMBCR은 특정 노드가 경로에 참여했을 경우의 소요 비용이 가장 높은 노드의 사용을 방지함으로써 전체 네트워크의 존속 시간을 연장한다. 각 노드의 수명을 최대로 연장해서 사용하는 장점이 있지만 선택되어진 경로가 최소의 전력 소모량을 보장하지 못하는 단점이 있다.

#### V. 실험 결과

본 장에서는 제안 기법과 기존 기법들인 MTPR, MBCR과 MMBCR을 실험을 통해 비교하였다. 실험은 네트워크 시뮬레이터인 ns-2로 하였고, 실험 인수로 노드의 이동성은 Random Way Point 형태이고, 전체 노드 수는 50개, 이동 범위는 600m\*600m으로 설정하고 실험시간은 300초로 설정하였다. 또한, 각 노드의 이동 속도는 0-20m/s사이에서 랜덤하게 발생시키고, 실험

표 1. 기존 기법과의 제안 기법의 목적 및 고려 항목 비교

기법	목적	라우팅 방식	고려 항목	장점	단점
MTPR	전체 전력 소모량을 최소화	On-Demand	최소 전송 전력	전체 전력 소모량이 최소	특정 노드의 전력이 고갈 가능성
MBCR	특정 노드의 과도한 사용 방지	On-Demand	노드의 잔류 전력량	부하 균형	잔류 전력량이 적은 노드가 참여 가능성
MMBCR	각 노드의 수명을 최대화	On-Demand	노드의 균등한 사용	전력량이 적은 노드 사용 방지	전체 전력 소모량의 증가 가능성
제안 기법	각 노드의 수명을 최대화	Hybrid	전송 전력과 노드의 잔류 전력량	특정 노드의 전력 고갈 가능성이 없음	평균 전력 소모량의 최소 보장 불가

시간 내에 경로 요청 횟수는 20번으로 제한하였다. 실험에서는 수신과 전송에 소요되는 전력만을 측정하였고, 각 노드의 수신소요 비용은 0.365로 하고 전송에 소요되는 비용은 0.66으로 MANET 환경에서 측정된 평균 송수신 값으로 하였다[8].

[그림 2]는 가정한 소요 비용을 기반으로 전체 네트워크의 전력 소모량과 각 노드들 간의 잔류 전력 편차를 측정한 결과이다. 전력 소모량은 MTPR이 전력 소모량이 가장 적은 경로만을 선정하는 기법으로 실험 결과에서 보듯이 가장 적은 전력 소모량을 보인다. 또한 MMBCR은 각 노드의 수명을 연장하기 위한 기법으로 전력 소모량이 증가하는 단점을 보이고 있다. 반면에 제안 기법은 MMBCR에 비해 감소되었으나, 전체 네트워크의 전력 소모량을 최소화하기 위한 MTPR에 비해서는 전력 소모량이 다소 많다. 잔류 전력 편차는 실험이 종료된 이후에 남아있는 노드들의 편차를 평균 내어 비교하였다. MTPR은 전체 네트워크의 전력 소모량만을 고려하기 때문에 특정 노드의 전력이 고갈될 가능성이 많다. 따라서 각 노드들 사이의 편차가 다른 기법에 비해 월등하게 많다. MMBCR과 제안 기법은 노드들의 균등한 사용을 통하여 네트워크 토폴로지의 수명을 연장하고자 하는 공통된 특징을 가진다. [그림 2]에서 보는 바와 같이 두 기법을 비교하여 보면 MMBCR은 전체 전력 소모량은 제안 기법에 비해 더 많은 전력을 사용하고 있다. 반면에 잔류 전력 편차 그래프에서는 라

우팅을 위해 사용되는 노드는 경로상의 잔류 전력량이 가장 큰 값을 선택하여 사용함으로써 다른 기법들에 비해 잔류 전력 편차가 가장 적음을 보이고 있다.

제안 기법의 경우는 MMBCR보다는 편차가 크지만 다른 기법에 비해 적음을 보인다. 실험에 의해 전체 네트워크의 전력 소모량은 MTPR보다는 많지만 각 노드의 수명을 고려한 MMBCR보다는 적은 결과를 보인다. 또한 특정 노드의 전력이 고갈되는 경우는 기존 기법들의 비해서 더욱 균형적으로 사용된다고 볼 수 있다. 즉, 전력 소모량이나 잔류 전력 편차는 노드별 수명과 전체 네트워크 존속 시간이 기존 기법들의 평균과 비슷하게 균형적으로 연장된다고 할 수 있다.

MTPR이나 MCBR은 각 노드를 균등하게 사용하는 기법에 비해 전력 소모량이 전체적으로 적다. 그러나, 특정 노드가 과사용됨으로써 전력이 고갈된다면 네트워크가 단절되는 경우가 발생한다. 이는 전력이 고갈되는 노드의 전송 범위 내에 전송을 대신할 다른 노드가 없다면 네트워크 토폴로지가 단절되는 현상이 발생한다. 따라서, MTPR과 MCBR은 전력 소모량은 제안 기법에 비해 적으나 네트워크가 단절되는 문제를 발생할 가능성이 높다.

## VI. 결론 및 향후 연구과제

MANET에서 전체 네트워크의 전력 소모량을 줄일

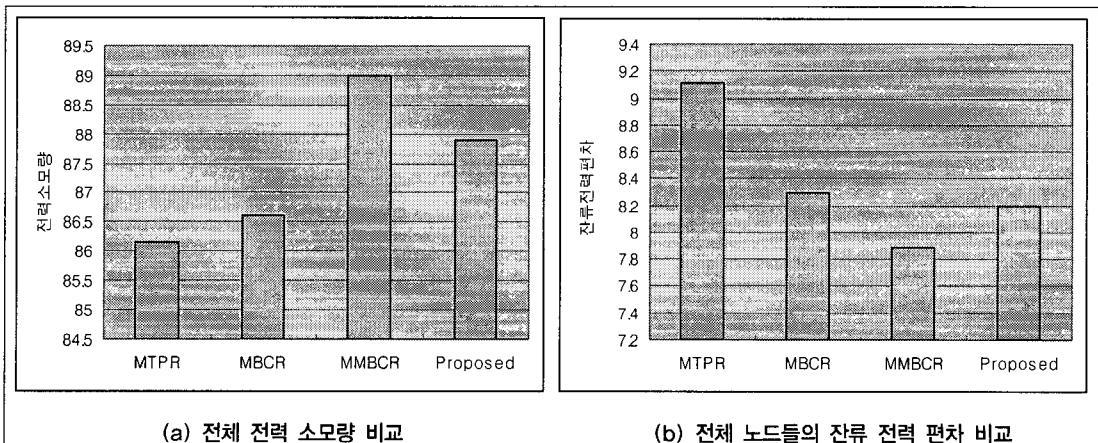


그림 2. 전체 네트워크의 전력 소모량과 잔류 전력 편차



수 있는 방안과 전력 소모량을 줄이기 위해 고려되어지는 요소들 중에서 노드 전력 수준의 최소 분산 (Minimum Variance in Node Power Levels)값으로 전력 소비 패턴이 모든 노드에 균등하게 남겨지도록 작업 부하를 분산하는 것과 연관이 있다. 특정 노드가 잔여 전력 수준으로 전환되어야 하는데, 해당 노드나 중요 노드인 경우에는 네트워크 전체에 큰 문제를 발생할 수 있다. 따라서 모든 노드의 잔여 전력 수준이 균등하다면 이와 같은 문제를 해결할 수 있다고 본다. 따라서 본 논문에서의 각 노드와 네트워크의 수명시간이 균형적으로 연장됨으로써 위와 같은 문제를 줄일 수 있다.

본 논문은 MANET에서 기존의 기법들은 전체 전송에 사용되는 전력량을 최소화하거나 전송 비용이 가장 크게 들어가는 노드를 배제하는 것으로 네트워크 존속 시간을 연장하였다. 그러나 본 논문은 네트워크의 수명을 연장하는 것뿐만 아니라, 네트워크를 구성하고 있는 각 노드의 수명을 위하여 각 노드의 사용을 균등하게 사용할 수 있도록 라우팅 경로를 선택함으로써 네트워크의 존속 시간을 최대화하고자 하였다. CH선정을 통하여 사용되어진 라우팅 경로나 인접한 노드를 관리할 수 있도록 하였다.

향후에는 CH로 선정된 노드를 활용하여 클러스터 내의 노드들의 SLEEP기간을 예측하여 전체 네트워크의 전력 소모량을 줄일 수 있는 기법을 모색하고자 한다. 또한, MANET에서 각 노드가 가지고 있는 전력뿐만 아니라 다른 요소를 고려하여 네트워크의 토폴로지 유지 기간을 연장할 수 있는 기법에 대한 연구가 필요하다.

**참고 문헌**

[1] M. Morteza, D. Karthik, and P. Massoud, "Power-aware source routing protocol for mobile ad hoc networks," Proceedings of the 2002 international symposium on Low power electronics and design, pp.12-14, 2002(8).  
 [2] D. Frank, J. David, and W. Lonnie, "Optimizing Power Aware Routing in Mobile Ad Hoc Networks," IEEE Real-Time and Embedded

Technology and Applications Symposium(RTAS 2004), pp.25-28, 2004(5).

[3] <http://wiki.uni.lu/secan-lab/Power-Aware+Routing+Metrics.html>  
 [4] M. R. Pearlman, Z. J. Haas, P. Scholander, and S. S. Tabrizi, "Alternate Path Routing in Mobile Ad Hoc Networks," IEEE MILCOM'2000, Los Angeles, CA, pp.22-25, 2000(10).  
 [5] K. Balasubramaniam and A. Anpalagan, "Performance analysis of two dynamic link selection algorithms in mobile ad hoc networks," In CD Proc. IEEE Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, 2003(5).  
 [6] M. Woo, S. Singa, and C. S. Raghavendra, "Power-Aware Routing in Mobile Ad Hoc Networks," International Conference on Mobile Computing and Networking 98, 1998.  
 [7] C. K. Toh, "Maximum battery life routing to support ubiquitous mobile computing in wireless ad hoc networks," IEEE Communications Magazine, Vol.39, No.6, 2001(6).  
 [8] C. Lijuan, D. Teresa, and W. Yu, "Performance Evaluation of Energy Efficient Ad Hoc Routing Protocols," 26th IEEE International Performance Computing and Communications Conference (IPCCC 2007).

**저자 소개**

김 경 자(Kyoung-Ja Kim)

정희원



- 2004년 8월 : 동국대학교 컴퓨터 공학과(공학박사)
- 2005년 3월 ~ 2008년 2월 : 세종대학교 컴퓨터공학전공 초빙 교수
- 2009년 2월 ~ 현재 : (주)비온

드 시스템즈 연구원

<관심분야> : MANET, 라우팅프로토콜, MAC 프로토콜

한 상 훈(Sang-Hoon Han)

중신회원



- 1995년 8월 : 동국대학교 컴퓨터 공학과(공학석사)
- 2002년 8월 : 동국대학교 컴퓨터 공학과(공학박사)
- 2003년 3월 ~ 현재 : 국립한국 재향복지대학 컴퓨터정보보안과

부교수

<관심분야> : 정보보안, 형태인식, 컴퓨터비전, 멀티 미디어

구 현 우(Hyun-Woo Koo)

정회원



- 2004년 2월 : 동국대학교 컴퓨터 공학과(공학석사)
- 2008년 2월 : 동국대학교 컴퓨터 공학과(공학박사)
- 2009년 2월 ~ 현재 : (주)비온드 시스템즈 연구원

<관심분야> : 병렬처리, 알고리즘, 로봇제어