

MANET에서 부분 경로 변경을 이용한 재라우팅 기법

서효중*, 황호영^o

Rerouting Method for MANET Using Local Path Modification

Hyo-Joong Suh*, Hoyoung Hwang^o

요약

모바일 애드 혹 네트워크(MANET)에서는 무선 노드들의 제한된 에너지를 효율적으로 활용하기 위한 라우팅 기법들이 많이 제안되었다. 이 중 에너지를 고려한 On-demand 방식의 라우팅 기법들은 노드들의 고른 에너지 소모를 위해 경로를 주기적으로 변경해 줌으로써 네트워크의 수명을 늘리고자 하였으나, 잦은 플러딩으로 인해 라우팅 오버헤드 및 에너지 소모가 증가하는 문제점이 있다. 따라서 이를 해결하기 위해 최소신장트리(MST)나 인터럽트 방식을 이용해 플러딩 메시지를 줄이는 기법이나 다중경로 또는 보조경로를 사용해 라우팅 오버헤드를 줄이는 기법 등이 연구되어 왔다. 본 논문에서는 잔여 에너지와 함께 노드 간 데이터 전송량의 정도를 반영하여 부분적인 경로 수정을 해 줌으로써 노드의 에너지 소모를 평균화시키고 네트워크 수명을 증가시키는 Adaptive Local Path Modification Routing (ALPMR) 프로토콜을 제안하고, ns-2 시뮬레이터를 이용해 그 성능을 검증한다.

Key Words : Ad-Hoc Network, Lifetime, Node energy, Protocol, Routing

ABSTRACT

Various on-demand manner routing protocols have been proposed for efficient energy consumption in mobile ad-hoc networks. Some of the protocols tried to extend the network lifetime by periodically rerouting paths according to the energy consumption rate of nodes. However, those protocols suffer from frequent flooding and high overhead. This paper proposed a new routing protocol called ALPMR (Adaptive Local Path Modification Routing) that extends the network lifetime by using local path rerouting. The proposed ALPMR protocol performs local rerouting around nodes with little remaining energy as well as data congestion, thus reduces flooding and routing overhead and can extend the network lifetime. The performance of ALPMR protocol is observed using ns-2 simulator.

I. 서론

모바일 애드 혹 네트워크(MANET)에서는 무선 노드들의 제한된 에너지를 효율적으로 활용하기 위한 다양한 라우팅 기법들이 연구되어 왔다. MANET은 무선 노드들이 기지국의 도움 없이 직접적인 통신 또

는 멀티 홉 방식을 통해 서로 패킷을 주고받는 형태의 네트워크이다. MANET을 구성하는 노드들은 에너지 용량의 제한으로 인해 배터리가 모두 소진되게 되면 정상적인 라우팅 동작을 할 수 없게 되고 이는 전체 네트워크의 성능저하로 이어지게 된다. 따라서 제한된 배터리의 용량을 사용하는 노드들로 구성된 MANET

* 본 연구는 한성대학교 교내연구비 지원으로 수행되었습니다.

^o 본 연구는 2014년도 가톨릭대학교 교비연구비의 지원으로 수행되었습니다.

• First Author : Catholic University Department of Computer Science and Information Engineering, hjsuh@catholic.ac.kr, 정회원

^o Corresponding Author : Hansung University Department of Multimedia Engineering, hyhwang@hansung.ac.kr, 정회원

논문번호 : KICS2014-08-309, Received August 18, 2014; Revised September 15, 2014; Accepted September 15, 2014

을 최대한 효율적으로 동작시키기 위해서 노드들이 에너지를 균등하게 소모하여 각각의 노드의 수명을 늘리고 결과적으로 네트워크 수명(Network Lifetime)을 늘리는 방식의 라우팅 프로토콜이 필요하다.

기존의 애드 혹 라우팅 프로토콜들은 크게 Proactive 방식과 Reactive 방식으로 구분할 수 있다.^[1] Proactive 방식은 각 노드가 하나 혹은 그 이상의 테이블에 자신을 포함한 네트워크의 연결 상태와 라우팅 정보를 유지하여 이러한 정보를 경로 설정에 이용하는 방법이다. 이 방법은 연결 설정시의 지연 시간이 적으며, 저장된 정보를 이용해 최적의 경로를 계산할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 최신의 네트워크 상황을 반영한 라우팅 정보를 유지하기가 어렵고, 또한 네트워크의 크기 증가에 따라 테이블 유지비용이 매우 커진다는 단점을 가지고 있다. Reactive 방식은 사전에 라우팅 정보를 관리하지 않고 연결 요청이 있을 경우 메시지 플러딩(flooding) 기법을 통해 연결을 설정한다. 이 방식은 목적지까지의 경로를 찾기 위한 플러딩으로 인해 메시지 오버헤드가 크고, 또한 연결 설정에 지연시간이 발생한다는 단점을 가지고 있다. 반면에 네트워크의 규모가 커더라도 다수의 테이블을 유지할 필요가 없어 라우팅 정보를 유지하는 비용이 적으며, 사전에 계산한 것이 아니라 연결이 요청될 당시의 최신의 네트워크 상황을 반영한 라우팅 결과를 제공한다. 특히 Reactive 방식의 라우팅 프로토콜은 시간 변화에 따른 토폴로지의 변화에 매우 민첩하게 반응하므로 노드의 이동성이 많은 MANET 환경에 적합하다고 할 수 있다. 현재까지 MANET의 특성상 잦은 노드 이동과 토폴로지의 변화를 반영할 수 있는 Reactive 방식의 라우팅 프로토콜이 더 많은 관심을 받는 것으로 보인다.^[2-4]

MANET의 네트워크 수명을 늘리기 위한 라우팅 방법은 대부분 Reactive 형태의 방식을 적용하여 연구되고 있으며 경로 설정 시 배터리의 잔량을 고려하여 경로를 선택하고 주기적인 모니터링을 통하여 배터리가 많은 쪽으로 경로를 수정하는 방식을 취하고 있다.^[5] 여기서는 Reactive 방식을 적용한 에너지 효율적 라우팅 기법을 살펴보고, 이런 방식의 프로토콜들의 단점으로 지적된 잦은 플러딩으로 인한 라우팅 오버헤드를 줄이고자 하는 연구를 진행하였다. 본 논문에서는 부분적인 경로 수정을 통해 라우팅 오버헤드를 줄이고 경로가 집중된 노드의 에너지 사용을 데이터 전송률을 반영하여 분산함으로써 네트워크 수명을 증가시킬 수 있는 ALPMR (Adaptive Local Path Modification Routing) 기법을 제안한다.

기존의 대표적인 에너지 효율적 라우팅 프로토콜인 PSR(Power-aware Surce Routing)^[4]은 네트워크 수명을 늘리기 위해 보다 에너지 효율적인 경로를 찾기 위한 경로 변경(Rerouting)을 주기적으로 수행한다. 이는 메시지 플러딩으로 인한 오버헤드의 발생과 함께 이로 인해 오히려 에너지를 더 소모하게 되는 문제가 있다. 이 문제를 해결하기 위해 최소신장트리(MST)나 인터럽트 방식을 이용해 플러딩 메시지의 양을 줄이는 기법이나,^[6,7] 보조 경로 또는 다중 경로를 사용해 에너지 소모를 분산시키고 라우팅 요청 횟수 자체를 줄이는 기법 등이 연구되어 왔다.^[8,9] 또한 각 노드의 에너지잔량에 따라 부분적인 경로를 변경해주는 LPMR (Local Path Modify Routing) 기법이 제안된 바 있다.^[10]

본 논문에서 제안하는 기법은 에너지 잔량이 일정 기준 이하인 노드가 발생하게 되면 곧바로 전체 경로를 변경하는 대신 해당 노드 주변의 부분적인 경로 변경 단계를 두는 LPMR 기법이 노드 간 불균형한 데이터 전송이 발생할 경우, 변경한 경로에 대한 데이터 집중과 연동하여 에너지 소모가 집중되어 잦은 부분 경로 변경이 발생하는 단점을 개선함과 더불어 노드의 균형적인 에너지 소모를 피하고자 한 것으로 부분 경로 변경이 발생하는 상황에 있어서 각 노드의 데이터 전송량을 반영하여 차후의 에너지 소모를 반영하여 경로 변경을 하도록 한 것으로, LPMR 방식에 있어서 불균형한 노드 간 데이터전송이 발생할 경우의 잦은 경로변경이 발생하는 단점을 극복한 것이다.

에너지 효율성을 위하여 부분 경로 또는 보조 경로를 이용하는 기존 연구들이 있다.^[8,10,11] 이들 기법에서는 경로 설정 단계에서 선택된 경로 이외에도 보조 경로(backup route)를 추가로 저장하여 두었다가 에너지 효율을 위한 경로변경 시에 사용한다. 이는 성공할 경우 전체 경로 변경에 비하여 빠르고 효율적인 동작을 제공한다. 이 방법에서 논란이 되는 것은 대표적인 On-Demand 방식인 PSR, AODV 등의 개선에 사용되는 보조 경로 기법이 사전에 저장된 과거 정보에 기반하고 있는 것으로 Reactive하지 않다는 점이다. 앞서 기술했듯이 Reactive 방식의 라우팅 프로토콜은 시간 변화에 따른 토폴로지의 변화에 매우 민첩하게 반응하므로 경로 변경 당시의 최신의 네트워크 상황을 반영한 라우팅 결과를 제공해야 한다. 기존의 보조 경로 기법은 Reactive하지 않은 방식으로 인해 만약 실패하였을 경우는 메모리 구조에서의 캐시적중실패(Cache Miss)와 같은 결과를 가져오게 된다. Reactive한 형태의 기존 연구 방법은 LPMR 프로토콜이 있

며, 전체 경로 전체 경로 변경에 앞서 지역적인 부분 경로 변경을 Reactive 방식으로 수행한다. 따라서 보다 좁은 지역적 범위에서 경로 변경을 우선적으로 수행하므로 라우팅 오버헤드를 줄일 수 있는 장점이 있다. 하지만 LPMR 프로토콜은 부분 경로 변경에 있어서 각 노드의 에너지 잔량 위주의 방법을 이용함으로써 네트워크 토폴로지 상 데이터 전송이 집중되는 위치에 해당하는 노드에 에너지 소모가 집중되는 현상이 나타나게 되고, 해당 노드에서 급속한 에너지 소모를 유발시킴으로써 잦은 부분 경로 변경이 발생되고, 경로 재설정에 대한 비용이 늘어나게 된다. 본 논문은 이러한 단점을 극복하기 위하여 각 노드의 데이터 트래픽을 반영한 부분경로 설정을 고안하여 차후의 노드 에너지 소모량을 반영한 경로 설정법을 제안한다. 본론에서는 관련연구를 통해 기존에 연구되었던 On-demand 방식을 사용한 프로토콜들의 장단점을 분석하고, 제안하는 ALPMR의 동작 및 특성에 대해 살펴본다. 그리고 ns-2 시뮬레이터를 통해 ALPMR에서의 네트워크 수명 및 라우팅 오버헤드를 기존의 대표적인 On-demand 방식의 프로토콜들과 비교한다.

II. 본 문

2.1 관련 연구

본 장에서는 DSR, AODV, PSR, LPMR 등 기존의 프로토콜들의 동작을 간략히 살펴보고 그들의 장단점을 분석한다.

DSR(Dynamic Source Routing)^[2]은 On-demand 형태의 간단한 프로토콜로, 시작 노드에서 목적지 노드까지의 경로 설정을 위해 route request (RREQ) 패킷을 브로드캐스트 하며, 목적지 노드로부터의 route reply (RREP) 응답에 따라 패킷을 전달하는 방식이다. 패킷이 전달되는 경로는 각 노드상에서 테이블 형태로 유지하여 경로를 지정하게 되며, 만일 링크의 단절이 발생할 경우 시작 노드에 알리고 경로를 재설정한다. DSR은 단순한 방법을 이용하지만, 잦은 브로드캐스트 발생과 경로 단절시, 경로 재설정 오버헤드가 높아 효율성이 떨어진다.

AODV(Ad-hoc On-demand Distance Vector routing)^[3]는 DSR에 대비하여 경로 설정이 개선된 프로토콜로 RREQ 패킷에 거리 비용을 추가하였고, 중간 노드에서는 RREQ 패킷을 기존의 경로비용과 비교하여 더 낮은 비용이 될 경우에만 라우팅 경로를 갱신하도록 한 것이다. 하지만 AODV 프로토콜 또한 노드의 에너지 소모를 반영하지 못하며, 링크 단절이 발생

하였을 경우 경로 재설정에 높은 비용이 발생하는 단점이 있다.

PSR(Power-aware Source Routing)^[4]은 DSR, AODV 프로토콜이 반영하지 못하고 있는 노드의 에너지 비용을 반영한 프로토콜로, 노드에서의 에너지 소모를 라우팅에 반영함으로써 노드의 에너지 잔량을 반영한 라우팅 비용을 계산함으로써 잔여 에너지량이 낮은 노드를 경유하는 라우팅을 회피하도록 함으로써 노드의 에너지 소모로 인한 링크 단절을 낮춘 방법이다. 각 노드의 에너지 잔량은 시간에 따라 변하므로, PSR에서의 라우팅 경로는 주기적으로 각 노드의 라우팅 비용을 갱신하게 되며, 이전에 설정된 비용과 갱신한 비용의 차이가 일정 크기를 초과하였을 경우 라우팅 경로를 재설정하게 된다. PSR의 가장 큰 단점은 라우팅 경로를 갱신하기 위한 주기적 모니터링 하기 위한 오버헤드가 발생하는 것이다.

LPMR(Local Path Modify Routing)은 RREQ 패킷에 에너지 잔량을 누적하여 보냄으로써 중간 경로상의 노드가 hop count와 에너지 잔량을 비교하고, hop count가 작고 에너지량이 많을 경우에만 라우팅 테이블을 갱신하는 방법을 사용한다. 테이블을 갱신하는 경우의 에너지량은 자신의 에너지 잔량과의 평균으로 갱신하여 다시 RREQ를 보내게 되는데, 목적지 노드는 이러한 RREQ 패킷을 수집하여 가장 많은 에너지량으로 구성되는 경로를 설정하여 RREP 패킷을 보내게 된다. 이러한 설정된 경로는 불균일한 데이터 경로부하에 따라 재구성을 필요로 하게 되는데, 단일 홉 단계 부분경로 변경은 Neighbor Search를 통한 방법을, 멀티 홉 단계 부분경로 변경은 Local RREQ 패킷을 통한 방법을 이용한다. LPMR 기법의 경우 여러 경로상 노드의 에너지 잔량을 반영하게 되고, 주기적인 에너지확인 및 재구성을 통하여 부분경로 또는 전체경로를 갱신한다. 이 때 경로 노드의 에너지 잔량만을 반영하는 경로구성 기법을 이용하고 있으므로 주기 단위로 잔량 에너지가 높은 경로가 집중적으로 사용되며, 다시 노드경로 간 에너지 잔량이 반전되면 이번엔 다른 경로가 집중적으로 사용되는 경향이 발생된다. LPMR에서는 이와 같은 상황이 발생하는 경우를 줄이기 위하여 설정된 경로상의 노드 에너지 잔량이 미리 정한 임계값 이하가 될 때 전체 경로를 변경하도록 하였으며, 이러한 임계값이 높으면 잦은 전체 경로 변경이 발생하게 되고, 임계값이 낮으면 설정된 경로의 노드 에너지를 과도하게 사용하는 문제가 생기게 된다.

2.2 Adaptive Local Path Modify Routing

본 논문에서 제안하는 ALPMR 프로토콜은 LPMR 프로토콜이 부분경로 수정으로 인한 에너지 소모에 있어서 우수성을 가지고 있으나, 네트워크에서의 임계값 설정이 난해하여 실제 MANET에 응용하는 데 있어서 어려움이 있고, 적절하지 않은 임계값 설정이 되었을 경우 PSR에 비하여서도 잦은 경로단절이 발생하거나 높은 경로변경 비용이 발생하는 부작용을 개선한 것이다.

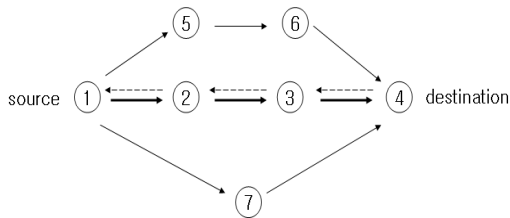
ALPMR 프로토콜은 LPMR 프로토콜과 마찬가지로 경로 설정 단계, 부분적인 경로 변경 단계, 전체 경로 변경 단계의 세 부분으로 구성되며, 두 가지의 부분 경로 변경 방식을 사용하고 있다. 하지만 LPMR 프로토콜과 달리 전체 경로를 변경은 노드 에너지의 평균값, 경로 에너지의 잔량, 그리고 경로 변경을 위한 브로드캐스트 비용에 따라서 이루어지도록 하였다.

2.2.1 라우팅 테이블 구성

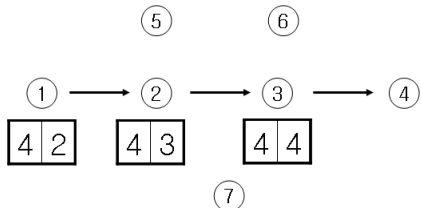
본 논문에서 제안하는 ALPMR 프로토콜은 LPMR 프로토콜이 부분경로 수정으로 인한 에너지 소모 ALPMR 프로토콜에서 최短路의 설정은 RREQ 패킷과 RREP 패킷으로 이루어지는데, 각 노드는 패킷

Destination Node Number	Next Node on the path
-------------------------	-----------------------

그림 1. 각 노드의 경로 테이블 구조
Fig. 1. Routing table of each nodes



(a) 라우팅 경로 설정을 위한 RREQ/RREP 전송
(a) RREQ/RREP for routing path setup



(b) 설정된 라우팅 테이블
(b) Configured routing table

그림 2. 라우팅 경로와 테이블
Fig. 2. Routing Path and table

의 목적지 노드에 대한 정보에 따라 패킷을 전달할 라우팅 테이블을 유지하여야 한다. 선택 경로는 다음 소단락에서 설명하는 에너지 잔량과 전송 정도에 따라 각 노드에 테이블을 유지하게 된다. 중간 노드의 테이블 구조를 간략히 도시하면 다음 그림 1과 같다.

따라서 RREQ 패킷과 RREP 패킷에 따라 가장 낮은 비용과 많은 에너지가 남아 있는 경로로 최短路가 설정되며, 경로정보는 각 노드에 분산되어 저장된다. 그림 2는 시작 노드와 목적지 노드 사이에 초기 경로가 설정되었을 경우를 나타내고 있다.

차후 노드의 에너지 소모와 데이터 전송 정도에 따라 이 라우팅 테이블이 부분적으로 재구성됨으로써 부분 경로를 변경하게 되며, 이를 위한 RREQ 패킷의 구조 및 부분 경로 갱신 방법은 다음 소단락에서 설명한다.

2.2.2 RREQ 패킷 구조

ALPMR 프로토콜의 RREQ 패킷은 다음 표 1과 같다. 데이터 전송이 집중되는 것을 파악하기 위한 핵심 부분인 data ratio는 ALPMR 프로토콜의 핵심 부분으로, RREQ 패킷을 목적지가 아닌 노드가 받게 될 경우 기존에 동일한 source로부터 받은 RREQ 패킷 데이터와 hop count 와energy를 반영하여 테이블을 갱신하게 된다. 그런데 기존의 LPMR 방법이 일정 주기로 에너지 변화를 측정하고, 미리 정한 임계값에 따라 부분 경로 및 전체 경로를 갱신하였음에 반하여 본 논문에서 제안하는 ALPMR 프로토콜은 data ratio에 따라 경로 갱신을 결정하게 된다. node data rate는 curr_id에 담겨있는 노드의 데이터 전송률을 나타내는 것으로, RREQ의 발생 구간을 한 window로 보고 해당 window에서의 단위 시간당 데이터 전송 평균값을 설정하여 보내게 된다.

중간 노드가 라우팅 테이블을 갱신하는 조건은 위의 경우에서 hop과 energy를 이전 RREQ와 비교하여 보다 우월한 경우에 갱신이 일어나며, 이 때 중간 노

표 1. RREQ Header
Table1. RREQ Header

hop count	Number of passing links
broadcast id	ID of each RREQ packet
destination	Destination address
source	Source ddress
energy	Sum of remaining energy of nodes
curr_id	ID of node receiving RREQ or source
node data rate	node data rate BTW RREQ

드는 마찬가지로 자신이 전송한 데이터 전송량을 계산하고, curr_id와 node data rate를 갱신하여 RREQ 패킷을 전송하게 된다.

목적지 노드는 RREQ 패킷을 수신할 때, 일정 시간을 대기하여 중간 노드로부터의 RREQ를 모으게 되며, 최종 경로의 설정은 LPMR과 달리 각 노드의 에너지 잔량 값을 data rate로 나눈 값을 비교하여 가장 높은 값을 나타내는 노드로 경로를 설정하게 한다.

2.2.3 부분적인 경로 변경

본 논문에서 제안하는 ALPMR 프로토콜의 부분 경로 재설정에는 LPMR 프로토콜과 차이가 있다. LPMR 프로토콜의 경우 일정 시간 주기로 노드의 에너지 변화량을 측정하고 이 주기에서 가장 에너지 소모가 큰 노드를 핵심으로 하여 주변 노드의 경로를 변경하도록 설정되어 있다. 여기서 에너지 변화 측정 주기와 해당 노드의 에너지 비용을 PSR 기법에서의 에너지량 값 $C_i(t)$ 를 평가하여 이전 값과의 차이가 일정 임계치보다 커질 경우 부분 경로를 재설정하게 되어 있는데, 에너지 변화 측정 주기와 임계값의 설정에 따라 LPMR 프로토콜의 효율성은 크게 달라질 수 있다. 또한 적절한 임계값의 설정 및 에너지 변화의 측정 시간 주기의 설정은 쉽지 않은 일이다. 만일 네트워크에서 데이터의 생성과 변화가 동적일 경우 이러한 정적 임계값과 주기를 효과적으로 대응하는 것은 더욱 어렵다.

ALPMR 프로토콜은 부분 경로 변경의 원인이 특정 노드에 집중된 에너지 소모로 인한 노드 간 에너지 불균형에 있으므로, 앞서 수집한 node data rate와 노드 에너지 잔량을 이용하여 불균형 발생 조건을 예측하여 동작하도록 한다. 일단 경로 재설정이 필요한 노드는 앞서 수집한 RREQ 패킷에서 curr_id와 node data rate를 이용하여 에너지 잔여율을 비교하게 되는데, 에너지 잔여율의 계산은 다음과 같다.

$$AvgE(I) = \frac{\sum(\text{remaining energy of node } I)}{\sum(\text{node data rate})} \quad (1)$$

$$E(I) = \frac{\text{remaining energy of node } I}{\text{data rate of node } I} \quad (2)$$

(1) 은 노드 I에서 RREQ에 의해 수집된 패킷에서 여러 노드의 에너지 잔여율이며, (2)는 해당 노드의 에너지 잔여율이다. 그리고 RREQ가 요청된 평균 시간 길이를 측정하고, 평균 시간 길이를 T로 잡았을

때, 다음과 같은 조건에서 경로 재설정을 요구한다.

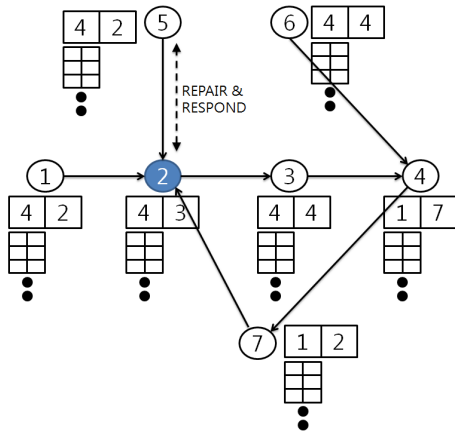
$$\left\{ \begin{array}{l} AvgE(I) > E(I) \times 2 \\ \text{remaining energy of node } I < \text{data rate of node } I \times Ec \times T \\ \frac{\sum(\text{remaining energy of node})}{\sum(\text{data rate of node})} > \frac{\sum(\text{number of nodes})}{\sum(\text{data rate of node})} \times Ec \times T \end{array} \right. \quad (3)$$

Ec : 단위 데이터 전송을 위한 에너지 소모량
 T : RREQ 요청간의 시간 길이

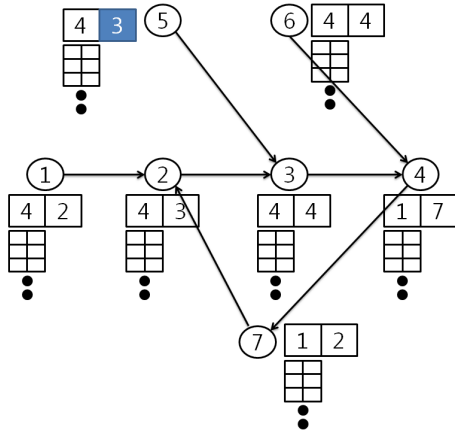
(3)의 조건은 해당 노드가 타 노드의 평균값 절반 이하로 에너지 잔여율이 작아질 경우, 그리고 다음 RREQ가 요청될 때까지의 주기 동안 노드에 남아있는 에너지로 감당을 하지 못할 경우에 해당될 경우, 그리고 타 노드의 에너지 잔량 평균이 주기 동안 전송할 수 있는 에너지량 이상이 남아 있을 경우에만 경로 재설정을 시작하도록 제한한 것이다.

이와 같은 경로 재설정 조건에 의하여 얻을 수 있는 이득은 다음과 같다. 첫째, 특정 노드에 에너지가 집중되더라도 에너지 잔여율이 타 노드에 비하여 절반 이하가 되기까지는 경로 재구성을 하지 않고 지속하게 하여 경로 재구성을 위한 에너지 소모를 절약할 수 있다. 둘째 특정 노드의 에너지 잔여량이 다음 경로 재구성까지 유지할 수 없을 것으로 기대될 때만 경로 재구성을 시작한다. 셋째 만일 타 노드에도 잔여 에너지량이 얼마 남지 않았을 경우 불필요한 경로 재구성을 시작하지 않도록 제한한다.

결과적으로, 위와 같은 시작 조건에 의하여 기존의 LPMR 프로토콜에서 요구하였던 쉽지 않은 에너지 잔량 탐지 주기와 임계값의 설정을 모두 제거하였으며, 충분한 에너지량 조건에서 네트워크에서의 불필요한 경로 재구성이 발생하지 않도록 제한하였고, 또한 전체 네트워크에서 에너지 잔량이 얼마 남지 않았을 경우에서의 불필요한 경로 재구성도 제한하는 효과를 얻게 된다. ALPMR 프로토콜은 위와 같은 트리거 조건을 이용하여 부분 경로를 재구성하였으며, 부분 경로 갱신은 LPMR에서 사용한 Neighbor Search 및 Local RREQ 기법을 적용하였다.^[10] 다음 그림 3은 2번 노드에서 과도한 데이터와 에너지 소모가 발생하여, 부분 경로 재구성이 일어났을 경우를 나타낸 것이다.



(a) 노드 2번의 부분 라우팅 변경
(a) Rerouting issued by node 2 시작



(b) 대체된 부분 경로
(b) Altered local path

그림 3. Neighbor Search 와 Local RREQ 에 의한 부분 경로 재설정
Fig. 3. Local rerouting by Neighbor Search and Local RREQ

2.2.4 전체 경로 변경

LPMR 프로토콜의 경우 전체 경로 변경이 시작되는 조건은 각 노드의 에너지 잔량을 측정하여 일정 임계값 이하가 될 경우 전체 경로 변경을 시도하는 방법을 사용하고 있다. 하지만, 부분 경로 변경과 마찬가지로 이러한 임계값을 설정하는 것은 전체 네트워크 구성과 노드의 에너지 소모 형태 등 여러 환경 조건에 따라 최적값이 달라질 수밖에 없으며, 따라서 동적 네트워크 형태에서는 적용하기 대단히 어렵다. 반면에 본 논문에서 제안하는 ALPMR 프로토콜은 부분 경로 갱신과 연동하여 전체 경로 변경을 시도한다.

ALPMR 기법은 설명한 바와 같이 node data rate 와 노드의 에너지 잔량을 반영한 형태로 부분 경로를

갱신한다. 하지만 Neighbor Search 및 Local RREQ 를 이용한 부분 경로 재구성 결과에서도 네트워크 전역적인 에너지 불균형이 해소될 수 없는 경우가 발생하며, 이러한 경우에 전체적인 경로를 재구성을 시도하게 된다. 이러한 상황을 탐지하기 위하여 ALPMR 프로토콜에서는 부분 경로 변경의 시작 발생 주기를 측정하여, 부분 경로 변경이 발생한 노드로부터 이전 부분 경로가 발생한 주기 이하로 다시 경로 수정 조건이 발생하였을 경우 REFRESH 패킷을 생성하여 전체 경로 변경을 source 노드로 요청하여 전체 경로를 재구성 하도록 한다.

2.2.5 ALPMR의 개선점

ALPMR 프로토콜은 앞서 설명한 바와 같이 LPMR 프로토콜의 장점을 모두 취하면서 동적인 환경에 적용하기 어려운 정적 임계값 위주의 네트워크 경로 조건으로 재구성이 시작될 수 밖에 없는 LPMR 프로토콜의 취약점을 개선한 것이다.

기존의 LPMR 프로토콜은 에너지를 효율적으로 사용하도록 기존의 PSR을 개선한 것이나 경로 재구성의 조건에 있어서 MANET의 동적 네트워크 특성을 반영하기 힘든 정적 조건과 임계값으로 구성되어 있었으며, 실사 네트워크 환경이 정적인 상황으로 구성된다 하더라도 적절한 임계값을 찾기 어려워 실제 MANET에의 적용에 한계가 있었다. 반면에 본 논문에서 제안하는 ALPMR 프로토콜은 정해진 임계값으로 네트워크의 재구성을 시작하지 않고 데이터 트래픽과 경로 설정 요구의 시간빈도 및 노드의 에너지 잔량과 주변 노드와의 비교에 따라 재구성을 시작하게 되므로 MANET의 동적인 네트워크 상황에 대응할 수 있게 된다. 표 2는 LPMR과 ALPMR의 경로 재구성 요건을 대비하여 비교한 것이다.

표 2. LPMR과 ALPMR의 경로 재설정 조건의 차이
Table 2. Differences of rerouting condition LPMR vs ALPMR

Local rerouting condition	
LPMR	Periodic energy measurement Triggered by constant threshold
ALPMR	Triggered by remaining energy consuming rate
Global rerouting condition	
LPMR	Triggered by constant threshold
ALPMR	Triggered by local rerouting trial period

III. 실험

본 논문에서 제안한 ALPMR 프로토콜은 ns-2 시뮬레이터를 이용하여 평가하였으며, 기존의 DSR, AODV, PSR 및 LPMR 프로토콜과 성능을 비교하였다. 다음 표 3은 실험에 이용한 환경 변수이며, 노드 수 변화에 따른 영향과 노드의 밀도에 따른 영향을 각각 평가하기 위하여 표 4의 조건으로 시뮬레이션을 수행하였다.

트래픽의 생성은 난수로 발생시킨 시작 노드로부터 마찬가지로 난수로 발생시킨 노드를 목적지로 하여 0.05초마다 UDP 형태의 230 바이트 CBR 트래픽을 전송하는 것으로 설정하였으며, 노드 에너지의 고갈에 따라 동작을 정지하는 첫 노드가 발생할 때 까지 시간을 측정하였다. 또한 경로 설정 및 재설정을 위한 제어 패킷이 다수 발생하므로, 전체 패킷 전송 대비 이러한 제어 패킷의 비율을 측정하였다. 다음 그림 4 - 그림 7은 이렇게 측정된 결과값을 도시한 것이다.

그림 4와 5는 50개의 전체 노드에서 10~40개 노드 개의 시작 노드가 각기 고정 전송률로 임의의 목적노드로 데이터를 전송한 경우를 나타내고 있다. 노드 실패까지 경로를 재구성하지 않고 진행하는 DSR과 AODV는 상대적으로 적은 제어 패킷을 나타내고 있으나, 첫 번째 노드 실패가 나타나기까지의 시간이 상대적으로 짧게 나타내며, 이러한 현상은 전송을 하는 시작 노드가 많아지고 전송량이 많아짐에 따라 더욱 좋지 않은 결과로 나타나는 것을 볼 수 있다. 반면 PSR, LPMR, ALPMR은 노드 내 에너지를 반영한 라우팅을 하게 되므로 상대적으로 첫 노드의 실패까지 긴 시간을 동작하고 있으며, PSR이 상대적으로 높은

표 3. ns-2 실험 환경
Table 3. Experimental Environment using ns-2

Radio coverage of a node	250 m
Transport protocol	UDP
Application traffic rate	CBR (230byte)
Energy decrement	Packet size $\times 2 \times 10^{-4}$ J
Initial energy per node	100 J
Node planting area	2500m ²

표 4. 실험에 적용한 노드 수
Table 4. Node numbers for experiments

# sources	10	20	30	40	40			
# nodes	50				50	100	150	200

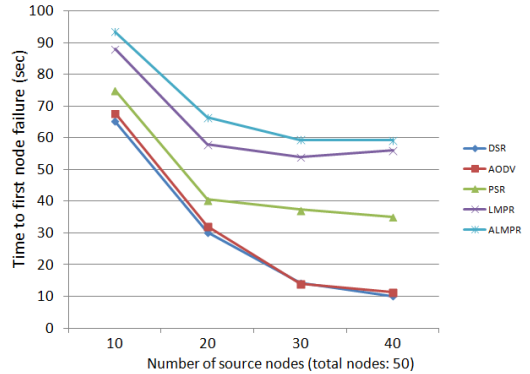


그림 4. 첫 노드가 동작을 정지할 때까지의 시간 (전체 노드: 50)

Fig. 4. Time to first node failure (total nodes: 50)

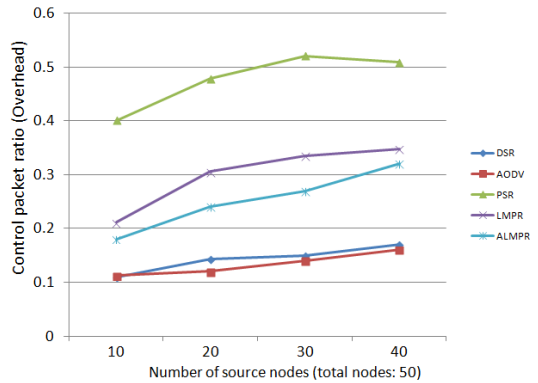


그림 5. 전체 패킷 중 제어 패킷의 비율 (전체 노드: 50)

Fig. 5. Control packet ratio (total nodes: 50)

비율의 제어 패킷을 이용하는 오버헤드가 발생함으로 LPMR과 ALPMR 보다 낮은 성능을 나타내고 있다. LPMR과 ALPMR은 그리 크지 않은 성능을 나타내고 있으나, 전체에서 ALPMR이 보다 높은 성능을 나타내고 있음을 관찰할 수 있다.

스트리밍을 하는 시작 노드의 수를 40개로 고정된 상태에서 네트워크에 참여하는 노드의 수를 늘려서 실험한 그림 6과 7에 의하면 가능한 경로의 증가에 따라 첫 실패노드까지의 시간이 증가하는 것을 보여주고 있다. 에너지량에 따라 선택할 수 있는 경로가 늘어나게 되는 PSR, LPMR, ALPMR은 DSR과 AODV에 비해 노드 수 증가에 비례하는 높은 성능 향상을 나타내고 있으며, ALPMR은 이러한 에너지 반영 경로 개선 방법 중에서 가장 낮은 제어 패킷 비율을 나타내며 높은 성능 보여줌을 관찰할 수 있다.

실험에 적용한 패킷 전송의 경우 시작 노드에서 고정 데이터율의 스트리밍을 가정하였기 때문에 네트워크

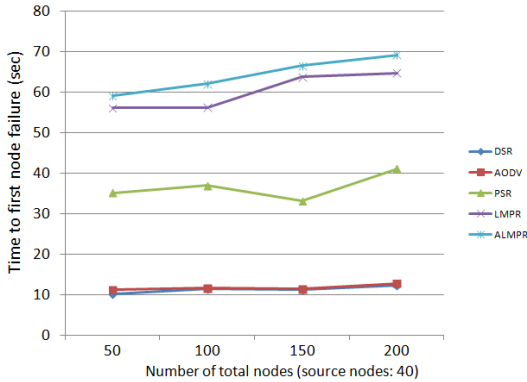


그림 6. 첫 노드가 동작을 정지할 때까지의 시간 (시작 노드: 40)
Fig. 6. Time to first node failure (source nodes: 40)

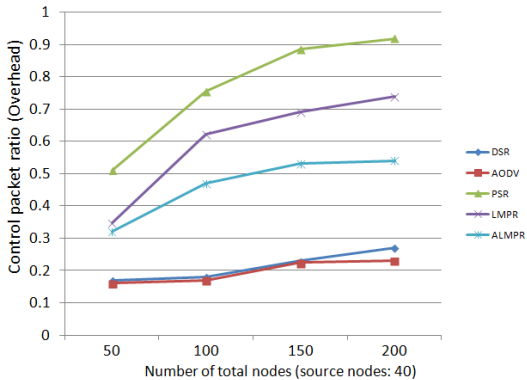


그림 7. 전체 패킷 중 제어 패킷의 비율 (시작 노드: 40)
Fig. 7. Control packet ratio (source nodes: 40)

크가 동적으로 크게 변화하는 상황이 적용된 것은 아니다. 따라서 실제의 MANET에서 네트워크 데이터 전송률이 큰 변화를 나타내게 될 경우에는 논문에서 제시한 ALMPR 프로토콜이 더욱 높은 성능을 기대할 수 있을 것으로 예상된다.

IV. 결 론

에너지를 고려한 On-demand 방식의 라우팅 기법들은 노드들의 고른 에너지 소모를 위해 경로를 주기적으로 변경해 줌으로써 네트워크의 수명을 늘리고자 하였으나, 잦은 플러딩으로 인해 라우팅 오버헤드 및 제어 패킷의 증가에 따라 에너지 소모가 증가하는 문제점이 있었다. 본 논문에서는 경로 변경으로 인한 라우팅 오버헤드를 줄이고 네트워크의 수명을 늘리기 위하여 노드의 에너지잔량, 데이터 전송률을 모두 반영하여 경로를 재구성하는 Reactive 방식의 부분 경로

변경 기법을 제안하였다. 제안된 프로토콜은 에너지를 라우팅 비용으로 하여 일정시간 후 과부하가 생기는 노드에 대해 부분 경로 수정과 전체 경로 수정을 단계적으로 수행함으로써 라우팅 오버헤드를 감소시킬 수 있으며, 또한 네트워크 전체의 에너지를 균등하게 효율적으로 활용함으로써 네트워크의 수명을 높일 수 있다. 그리고 ns-2 시뮬레이션을 통해 네트워크 수명 연장이라는 동일한 목적을 가지는 PSR 및 LMPR과 비교하여 제어 오버헤드 및 노드의 균일한 에너지 사용 측면에서 제안된 ALMPR이 보다 효율적이라는 것을 보였다.

향후 전체 경로 설정은 Reactive 방식으로 수행하지만 부분 경로 변경은 Proactive한 방식으로 수행하는 보조 경로 또는 부분 경로 변경 기법들에 비하여, 둘 다 Reactive한 방식으로 수행하는 기법이 노드 이동성과 토폴로지의 변화를 고려한 환경에서 어떠한 차별성을 보이는지 관찰할 것이다. 또한 Hybrid 라우팅 기법과의 차별성 및 Hybrid 네트워크 환경에서의 적용 가능성에 대해서도 연구할 것이다.

References

- [1] E. M. Royer and T. Chaikco, "A review of current routing protocols for ad-hoc mobile wireless networks," *IEEE Pers. Commun.*, vol. 6, no. 2, pp. 46-55, Apr. 1999.
- [2] D. B. Johnson and D. A. Maltz, *Mobile Computing*, Kluwer Academic Publishers, 1999.
- [3] C. Perkins and E. Royer, "Ad-Hoc on-demand distance vector routing," in *Proc. IEEE Workshop on Mobile Comput. Syst. Appl.*, pp. 90-100, Feb. 1999.
- [4] M. Malekei, K. Dantu, and M. Pedram, "Power-aware source routing protocol for mobile ad-hoc network," in *Proc. IEEE Int. Symp. Modeling and Optimization in Mobile Ad Hoc and Wirel. Netw.*, pp. 305-310, Apr. 2005.
- [5] J.-Y. Lee and J.-H. Lee, "Secure routing scheme in CCN-based mobile ad-hoc networking environment," *J. KICS*, vol. 39B, no. 5, pp. 304-308, May 2014.
- [6] M. park and S.-H. Rhee, "Efficient flooding in link-state routing protocols," *J. KICS*, vol.

39B, no. 5, pp. 326-328, May 2014.

- [7] Y. Lee and J. Kim, "Performance enhancement of AODV routing protocol using interrupt message in MANET," *J. KICS*, vol. 38B, no. 10, pp. 785-800, Oct. 2013.
- [8] S.-W. Jung and C.-W. Lee, "Energy-aware routing algorithm using backup route for ad-hoc networks," in *Proc. ICCSA 2006*, vol. 3981, pp. 837-846, 2006.
- [9] H. Hwang and H. Suh, "The multi-path power-aware source routing for the maximum network lifetime in ad-hoc networks," *IWIT J.*, vol. 10, no. 5, pp. 21-29, Oct. 2010.
- [10] J. Kim and H. Suh, "Design of routing protocol for using local path modify in ad-hoc network," in *Proc. Korea Comput. Congress 2008*, pp. 426-431, Jun. 2008.
- [11] M. Spohn, J. J. Garsia, and L. Aceves. "Neighborhood aware source routing," in *Proc. ACM Symp. Mobile Ad Hoc Netw. Comput.*, pp. 11-21, Oct. 2001.

서 효 중 (Hyo-Joong Suh)



1992년 2월 : 서울대학교 졸업
1994년 2월 : 서울대학교 컴퓨터공학과 석사
2000년 2월 : 서울대학교 컴퓨터공학과 박사
2000년~2003년 : (주)지씨티리서치 책임연구원

2003년~현재 : 가톨릭대학교 정보컴퓨터공학부 교수
<관심분야> 컴퓨터구조, 임베디드시스템, 이동통신

황 호 영 (Hoyoung Hwang)



1993년 2월 : 서울대학교 졸업
1995년 2월 : 서울대학교 컴퓨터공학과 석사
2003년 2월 : 서울대학교 전기컴퓨터공학부 박사
2007년~현재 : 한성대학교 멀티미디어공학과 부교수

<관심분야> 정보통신, 유무선 네트워크, 멀티미디어