

MANET에서의 네트워크 수명을 연장시키는 위치기반 라우팅 기법

이주영^{1†}

A Geographic Routing Algorithm to Prolong the Lifetime of MANET

Ju Young Lee

ABSTRACT

In ad-hoc networks, dynamically reconfigurable and temporary wireless networks, all mobile devices cooperatively maintain network connectivity with no assistance of base stations while they have limited amounts of energy that is used in different rates depending on the power level. Since every node has to perform the functions of a router, if some nodes die early due to lack of energy, it will not be possible for other nodes to communicate with each other and network lifetime will be shortened. Consequently, it is very important to develop a technique to efficiently consume the limited amounts of energy resources so that the network lifetime is maximized. In this paper, geographical localized routing is proposed to help making smarter routing decision using only local information and reduce the routing overhead. The proposed localized routing algorithm selects energy-aware neighbors considering the transmission energy and error rate over the wireless link, and the residual energy of the node, which enables nodes to achieve balanced energy-consumption and the network lifetime to prolong.

Key words : Ad hoc network, Geographic routing, Network lifetime

요 약

동적으로 연결되어 자치적인 네트워크 망을 형성하는 에드 혹 네트워크에서는 이동 단말들이 협업하여 기지국의 도움 없이 망을 형성하며 제한된 에너지 자원을 가지고 있다. 네트워크를 구성하는 단말기들은 라우터 역할을 수행하므로 잦은 데이터 전송 등에 의해 에너지가 고갈되면 라우터 수가 감소하게 되어, 전체 네트워크는 통신 장애를 초래하게 되며 네트워크 수명이 단축될 수 있다. 그러므로, 네트워크 수명을 최대화 하기위해 이동 호스트들의 균형있는 에너지의 소모에 관한 문제는 라우팅에 있어서 중요한 문제가 된다. 본 논문에서는 지역 정보를 이용하여 라우팅 경로를 형성하고 경로 탐색에 대한 오버헤드를 줄일 수 있는 위치 기반 지역적 라우팅 알고리즘을 제안한다. 제안하는 방법은 전송 에너지, 링크 에러율, 각 노드의 잔여 에너지 등을 고려하여 다음 이웃 노드를 선택하여 경로를 형성하므로 노드들 간의 균형된 에너지 소비를 가능하게 하여 네트워크 수명을 연장시킬 수 있는 방법이다.

주요어 : 에드 혹 네트워크, 위치기반 라우팅, 네트워크 수명

1. 서 론

서론 및 논문내 이동 에드 혹 네트워크(Mobile Ad-hoc Network, MANET)는 유선 기반 망이 없는 무선 네트워크로서 배터리를 에너지원으로 사용하는 휴대용 단말들이 동적으로 연결되어 자치적인 네트워크 망을 형성한다¹⁾.

각 단말은 전송 범위에 있지 않는 단말과 통신을 하기 위해 라우터(router)의 역할을 수행하므로 이동 단말들의 에너지 고갈은 네트워크 내의 라우터 수를 감소시켜 통신을 어렵게 하여 네트워크 수명을 단축시킨다. 결국 제한된 에너지 자원의 효율적인 관리는 시스템의 활동시간(수명)을 좌우하는 중요한 문제로 부각되어 활발한 연구가 이루어지고 있다¹⁻⁴⁾.

기존에는 라우팅 테이블(routing table)을 이용해서 목적지까지의 경로를 발견하고 데이터를 전송하는 위상 기반 라우팅 방법이 연구되고 사용되었다. 그러나 최근 위치정보와 위치 서비스를 이용하여, 네트워크 내의 노드들

2010년 3월 2일 접수, 2010년 4월 23일 채택

¹⁾ 덕성여자대학교 컴퓨터학과

주 저 자 : 이주영

교신저자 : 이주영

E-mail; jylee@duksung.ac.kr

은 자신의 위치와 통신하고자 하는 노드의 위치를 파악하여 효과적으로 통신할 수 있는 위치 기반 라우팅 방법들이 제시되고 있다¹⁵⁻⁸⁾.

에너지 효율적인 라우팅은 동적이고 분산적인 성격을 가진 에드혹 네트워크에서 중요한 문제로 연구되고 있다¹⁹⁻¹⁵⁾. 기존의 에너지 관련 프로토콜은 주로 통신 경로 설정 시 주로 최소 홉 수, 즉 전송 에너지를 최소화하기 위한 최단거리 관점에서 최적의 경로를 구하거나, 단말 노드의 잔여 에너지를 고려하여 네트워크 수명의 최대화하는 경로를 구하더라도 링크(link)의 신뢰성에 대해 고려하지 않는 것들이 대부분이다. 만약 모든 노드들이 거리에 상관없이 같은 전송 에너지를 사용하고 링크의 신뢰도가 100%인 경우라면, 기존의 최소 홉 라우팅 방법이 가장 에너지 효율적인 방법이 될 것이다. 그러나, 노드들의 전송 에너지 레벨이 동적으로 다르고, 링크의 불안정한 상태로 인한 패킷 재전송 등으로 네트워크 오버헤드(overhead)를 유발시키기도 하므로 최소 홉 라우팅 방법은 최적의 방법이 아닐 수도 있다.

본 논문에서는 위와 같은 문제점을 고려하고 동적인 네트워크에 신뢰성 있는 전송을 하기 위해 라우팅 경로 선택 시 각 노드의 잔여 에너지와 링크 에러율을 고려하여 경로를 형성하는 지역적(localized) 라우팅 방법을 제안한다. 이러한 방법은 균형된 에너지 소모를 유도하여 전체 시스템 수명을 연장시킬 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 1장의 서론에 이어 2장에서는 네트워크 모델과 관련 연구로서 위치기반 라우팅과 에너지 관련 라우팅 프로토콜을 살펴본다. 3장에서는 잔여 에너지와 링크 에러율을 고려하여 네트워크 수명을 연장하는 라우팅 알고리즘을 제안한다. 4장에서는 실험을 통하여 기존의 라우팅 방법과 본 논문에서 제안하는 방법의 네트워크 수명을 비교한다. 마지막으로, 5장에서 결론을 맺는다.

2. 관련 연구

2.1 네트워크 모델

Ad-Hoc 네트워크는 비방향성 링크를 갖는 노드로 구성된 그래프 $G=(V,E)$ 의 형태로 나타낼 수 있다. V 는 이동 단말(이후 노드라고 부른다)들의 집합을 나타내고, E 는 비방향성 링크들의 집합이다.

전송 범위 *range*는 노드 i 에서 다른 중간 노드(intermediate node)를 거치지 않고 한 홉에 노드 j 로 직접 데이터를 전송할 수 있는 최대 거리로 정의한다. 노드 i 의 이

웃 노드(neighbor node)들의 집합 N_i 는 다음과 같이 정의한다. 노드 i 와의 유클리드 거리(Euclidean distance)가 i 의 전송 범위 *range* 값 보다 작은 위치에 있는 노드들의 집합을 노드 i 의 이웃 노드라고 한다. 각 노드는 자신의 이웃 노드들에게 중간 노드(intermediate node)를 거치지 않고 직접 1-홉(hop) 전송이 가능하다.

네트워크가 형성되고 소스 노드에서 목적지 노드로 데이터 전송이 진행되면 노드는 자신이 가진 에너지를 소비하게 된다. 이때 에너지가 고갈되어 더 이상 동작할 수 없는 노드가 발생할 때까지의 시간을 네트워크 수명(lifetime)이라 한다.

노드들은 각각 자신의 위치 정보를 위성으로부터 서비스 받을 수 있는 GPS 수신기를 가지고 있고, beacon을 통해 일정 시간 간격마다 무선 전송 범위 내에 있는 모든 노드들에게 자신의 위치 정보를 브로드캐스트 한다. 따라서 무선 전송 범위 안의 노드들은 서로를 이웃으로 인식하고 통신 가능한 링크를 형성할 수 있다. 소스노드는 위치 서비스를 사용하여 목적지 노드의 위치정보를 얻고, 전송 패킷의 헤더에 목적지 노드의 위치정보를 부착하여 목적지 노드까지 다중 홉(multi-hop) 통신방식으로 라우팅을 수행한다.

2.2 위치기반 라우팅

이동 Ad-hoc 네트워크에서 위치기반 기술이 가장 구체적으로 적용되는 분야가 라우팅 프로토콜로서 이를 위치기반 라우팅(Geographic Routing)이라고 한다. 일반적으로 토폴로지 기반의 라우팅 프로토콜은 최단 경로 알고리즘에 기반하여 노드들의 이동성이 높으면 경로 탐색에 대한 오버헤드가 증가하고 네트워크가 확장되면 이를 유지하고 관리하기가 어려워진다. 반면에, 위치기반 라우팅 기술은 라우팅 설정 및 패킷 전송이 노드의 지리적인 위치 정보에 기반하므로 라우팅이 용이하고 빈번한 네트워크 토폴로지의 변화에도 쉽게 적응하며 네트워크 확장성을 높일 수 있다. 또한 각각의 노드는 자신의 이웃 노드의 정보만 유지하면 되므로 라우팅 테이블 유지가 필요하지 않다.

위치기반 지역적 라우팅 중에서 가장 대표적인 것이 그리디 포워딩(Greedy Forwarding) 기법이다. 그리디 포워딩 기법은 데이터를 전송하기 위하여 송신 노드가 이웃 노드와 목적지 노드의 위치 정보를 이용한다. 이웃 노드의 위치 정보를 이용하여 1-홉 거리에 있는 노드들 중에서 목적지 노드까지의 거리가 가장 가까운 이웃 노드를 선택하여 패킷을 전송한다. 그림 1은 그리디 포워딩 방법

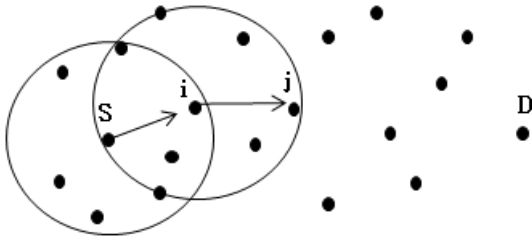


그림 1. 그리디 포워딩
Fig. 1. Greedy Forwarding

을 보여주는 예로써 노드 S는 자신과 인접한 이웃 노드 중에 목적지 노드 D에 가장 가까이 위치한 노드 i를 중간 노드로 선택하여 패킷을 전달한다. 패킷을 받은 노드 i는 다음의 새로운 전송노드가 되어 자신과 인접한 이웃 노드 중에 목적지 노드 D에 가장 가까이 위치한 노드 j로 패킷을 전달한다. 위 과정을 반복하여 점진적으로 목적지 노드까지 다중 홉을 통해 패킷을 전달한다. 그리디 포워딩 기법을 사용한 알고리즘으로 GPSR(Greedy Perimeter Stateless Routing)^[7] 등이 있다.

2.3 에너지 관련 지역적 라우팅(localized routing)

에너지 효율적인 라우팅에 관한 연구는 크게 두 가지, 전체 전송 에너지의 합을 최소화하는 목적과 전체 네트워크 수명을 최대화하는 목적으로 볼 수 있다. 이 두 가지는 서로 상호적으로 상반될 수 있다는 것을 알 수 있다. 예를 들면, 최소 전송 에너지 라우팅으로 선택된 경로 상에 일부 노드의 에너지가 거의 고갈되어 있을 때 최소 전송 에너지 라우팅 프로토콜은 노드들 사이에서 균일하게 에너지를 사용하지 않으므로, 경로 상의 일부 노드가 에너지를 다 소모해서 수명을 다하게 되는 경우가 생긴다. 또한, 전체 네트워크 수명을 최대화하는 라우팅 방법으로 선택한 경로는 그 경로 상의 노드들의 전송 에너지 합이 최소 값을 보장하지 못하므로 높은 에너지 효율성을 제공하지 못한다.

전체 전송 에너지의 합을 최소화하기 위한 power 라우팅^[1]은 거리를 기반으로 한 전송 에너지를 측정(metric)요소로 이용한다. 각 노드들은 자신의 위치 정보와 목적지 노드의 위치 정보, 이웃노드의 위치 정보를 이용하여, 노드 사이의 거리를 기반으로 전송 에너지를 최소화하는 shortest-power 라우팅 알고리즘을 사용한다. 소스노드에서 목적지노드까지 데이터 전송에 필요한 에너지를 최소화하여 전체 네트워크의 수명을 확장하는 것을 목적으로 한다.

Cost 라우팅 알고리즘^[2]은 shortest-cost 알고리즘을 이용하며, 각 노드의 잔여 에너지를 [0,1] 사이의 값으로 정규화 하여 계산한 저항 값을 측정요소로 사용한다. 송신 노드에서 수신 노드까지 데이터 전송 시 저항 값이 적은 노드를 택하여 적은 에너지를 가진 노드는 라우팅 경로에 포함시키지 않으므로 전체 네트워크 수명을 최대화하는 것을 목적으로 한다.

PLR(Power-aware Localized Routing)^[3]은 power-cost localized algorithm으로 잔여 에너지가 적은 노드를 중간 노드로 선택하는 것을 피하면서 전송 에너지는 가능한 최소화하는 라우팅 알고리즘이다.

그러나, 위에서 언급한 알고리즘들은 무선 링크의 신뢰성은 고려하지 않았으므로, 실제 무선 환경에서는 링크의 신뢰성이 떨어져 데이터 전송 성공률이 낮아질 수 있으며 이로 인해 재전송을 해야 하므로 에너지가 소비되는 문제점을 가진다.

3. 제안 알고리즘

본 장에서는 무선 링크 상의 링크 어려움, 전송 에너지, 노드의 잔여 에너지 및 노드 사이의 거리 등을 고려하여 신뢰성 있는 데이터 전송을 보장하면서도 네트워크 수명을 증가시키는 에너지 효율적인 지역적 라우팅 기법을 제안한다.

각 노드는 자신의 이웃 노드에 대한 위치 정보, 링크 어려움, 잔여 에너지양을 알고 있고 소스 노드는 목적지 노드의 위치정보를 알고 있다고 가정한다. 송신 노드가 자신의 이웃 노드들과 목적지 노드의 위치 정보를 기반으로 데이터를 목적지 노드까지 전달하기 위해 최적의 이웃 노드를 다음 중간 노드(next intermediate node)로 선택하여 이 노드로 데이터를 전달하여 점진적으로 목적지 노드로 데이터를 전송한다. 지역적으로 최적의 경로를 선택하여 선택된 경로들이 모여 전체 네트워크에서 효과적인 라우팅을 형성하게 한다.

그림 2에서 노드 A가 노드 D로 데이터를 보내려 할 때, A의 통신 가능 범위 안에(즉, 그림 2에서 원 안에 있는 노드들) D가 있는 경우 직접 1-홉으로 데이터를 전송한다. 그러나, A의 통신 가능 범위에 있지 않은 경우, A의 이웃 노드들 중 하나를 중간 노드로 선택하여 그 노드를 통하여 간접적으로 보낼 수 있다. 노드 A에서 이웃 노드(i라고 하자)까지 데이터 전송은 1-홉인 직접 전송(direct transmission)이며, 노드 i에서 목적지 노드 D까지의 전송

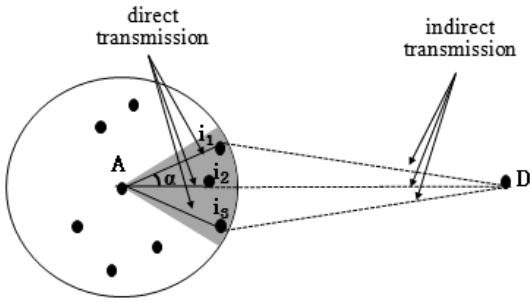


그림 2. 이웃 노드를 통한 데이터 전송
Fig. 2. Data transmission through neighbor node

은 한 개 이상의 중간 노드를 통한 간접 전송(indirect transmission)이 된다.

제안 기법에서는 전송 노드 A에서 데이터를 전달하기 위해 $\angle iAD \leq \alpha$ 를 만족하는 이웃 노드 $i \in N_A$ 로 제한하여 중간 노드로 선택한다. 이웃 노드들 중 이 범위에 있는 노드들을 후보 노드라고 한다. 후보 노드 중 하나를 라우터 역할을 하는 중간 노드로 선택하여 데이터를 전달한다(본 논문에서는 $\alpha = \pi/3$ 로 둔다). 후보 노드 $Candidate_Node_A = \{i | i \text{ is a neighbor node of A s.t. } \angle iAD \leq \alpha\}$ 로 정의한다. 만일 A의 이웃노드 N_A 들 중에서 $\angle iAD \leq \alpha$ 를 만족하는 후보 노드가 하나도 없는 경우, 이웃 노드 전체를 대상으로 중간 노드를 선택한다. 그림 2에서 A의 후보 노드들은 i_1, i_2, i_3 이다. 이 중 최적의 노드를 중간 노드로 선택하며 그 노드를 통하여 간접적으로 데이터를 목적지까지 보낸다.

중간 노드들을 어떻게 선택하느냐 하는 것은 라우팅 알고리즘 성능에 중요한 요인이 된다. 중간 노드를 선택할 때 다음과 같은 사항을 고려한다.

- 노드의 전송 범위
- 노드의 잔여 에너지
- 송신 노드와 후보 노드 사이의 링크 에러율
- 송신 노드에서 후보 노드로 데이터 전송시 소모되는 소비 에너지량
- 후보 노드에서 목적지 노드까지의 거리

임의의 노드 i 와 이웃 노드 j 사이의 유클리드 거리를 d_{ij} 라 두고, 노드 i 에서 노드 j 로 1개의 데이터 패킷을 전송할 때 소모되는 전송 에너지를 e_{ij} 라 두자. 예를 들어, 라디오 기술에서는 전송 에너지 e_{ij} 는 노드 i 에서 노드 j

사이의 거리에 관계없이 모든 노드 쌍에 대해 상수로서 동일하다. 하지만, 수신노드가 송신노드와의 거리를 기반으로 동적으로 에너지의 조정이 가능한 경우, 다음과 같은 식 (1)로 전송 에너지 값을 구할 수 있다⁹⁾.

$$e_{ij} = \begin{cases} 1.0 \times 10^{-8}, & \text{if } d_{ij} \leq \frac{\text{range}}{100} \\ \left(\frac{d_{ij}}{\text{range}}\right)^4, & \text{if } \frac{\text{range}}{100} < d_{ij} \leq \text{range} \end{cases} \quad (1)$$

노드 i 에서 이웃노드 j 사이의 링크(i, j)는 데이터 전달이 성공적이지 못할 확률인 에러율 $P_{i,j}$ 를 갖는다고 하자. 즉, $P_{i,j} = 0$ 이면 링크(i, j)는 안정성 있는(reliable) 링크라고 말하며, $P_{i,j} = 1$ 이면 링크(i, j)는 연결이 끊어져 통신이 불가능한 링크이다. 링크(i, j)를 통해 데이터를 보낼 때, 성공적으로 데이터를 전송하기 위해 전송해야 하는 예상 전송 회수(재전송도 포함)는 다음과 같다.

$$N(i, j) = \frac{1}{(1 - P_{i,j})^L} \quad (2)$$

여기서, $L \in 1, 2, \dots$ 이며, hop-by-hop retransmission 모델에서는 $L = 1$, end-to-end retransmissions 모델에서는 $L \in 3, 4, 5$ 가 된다⁴⁾.

노드 i 에서 노드 j 로 1개의 데이터 패킷을 전송할 때, 성공적으로 데이터가 전송되기까지 소모되는 전송 에너지 즉, 링크 에러로 인한 패킷 재전송을 반영한 전송 에너지 $E_{i,j}$ 는 식 (1) × 식 (2)로 다음과 같다.

$$E_{i,j} = e_{ij} \times N(i, j) \quad (3)$$

노드 i 의 잔여 에너지를 $E_{residual_i}$ 라 두면, 노드 i 가 링크 에러율 $P_{i,j}$ 인 링크 (i, j)를 통해 노드 j 로 성공적으로 전송할 수 있는 패킷의 최대 수(즉, 노드의 수명)는 $\frac{E_{residual_i}}{E_{i,j}}$ 이다. 이 식을 [0,1 사이의 값으로 정규화한 값 $f(i, j)$ 를 저항 값이라 부르며 다음과 같이 정의한다.

$$f(i, j) = \frac{1}{E_{residual_i} / E_{i,j}} = \frac{E_{i,j}}{E_{residual_i}} \quad (4)$$

저항 값 $f(i,j)$ 는 i 의 잔여 에너지가 클수록 적어지며(반비례), 노드 i 에서 노드 j 로의 전송 소비 에너지가 클수록 커진다. 데이터 전송 시 저항 값 $f(i,j)$ 이 적은 노드를 중간 노드(라우터)로 선택하여 전체 시스템의 수명을 연장시키도록 한다.

그림 2에서 노드 i 에서 목적지 노드 D 까지 데이터를 간접으로 전송을 할 때 노드 i 에서 목적지 노드 D 까지의 거리를 $Dist(i)$ 라고 두면, $Dist(i) > range$ 인 경우 한 홉으로 직접 데이터를 전송할 수 없으며 중간 노드들을 통해 여러 홉으로 전송하는 간접 전송이 된다. 이론상으로는 홉 수가 $\lceil Dist(i)/range \rceil$ 이지만, 실제로 노드 i 에서 $range$ 만큼 떨어져 있는 위치에 노드가 존재하지 않는 등의 이유로 그 이상의 홉을 거쳐야만 될 수도 있다. 중간 노드 i 에서 목적지 노드 D 까지 데이터 전송시 소비되는 에너지 소비 추정 값은 홉 수에 비례적으로 커진다. 이때, 한 홉 전송에 소비되는 에너지 값은 식 (1)의 두 번째 항에 해당하는 에너지 값을 사용하고, 한 홉의 거리는 거의 $range$ 에 가까운 값이므로 이 값은 1에 근사한 값을 갖는다. 그러므로 노드 i 에서 D 까지 데이터 전송시 소비되는 에너지 추정 값은 $\lceil \frac{Dist(i)}{range} \rceil \times (\frac{d_{ij}}{range})^4 \approx \lceil \frac{Dist(i)}{range} \rceil$ 가 된다. 노드 i 에서 목적지 노드 D 까지의 비용 값 $c(i,D)$ 를 다음과 같이 정의한다.

$$c(i,D) = \lceil \frac{Dist(i)}{range} \rceil / g'(i) \quad (5)$$

여기서, $g'(i)$ 는 노드 i 와 *Candidate*들의 잔여 에너지의 평균 값으로써 노드 i 와 그 주변에 있는 후보 노드들의 잔여 에너지를 반영하여 잔여 에너지가 많은 노드를 중간 노드로 선택되도록 하기 위한 것이다. 비용 값 $c(i,D)$ 은 중간 노드와 그 후보노드들의 잔여 에너지가 클수록 적어지며(반비례), 중간 노드에서 목적지 노드까지의 거리와 전송 에너지 추정 값에 비례한다. 즉, 노드 i 와 후보 노드들의 잔여 에너지는 많으면서 목적지 노드까지의 거리와 전송 에너지 추정 값은 적은 노드를 선택하도록 한다.

소스 노드 A 에서 목적지 노드 D 까지 데이터 전송을 위해 라우팅을 설정할 때, A 의 이웃 노드 $i(i \in Candidate_Node_A)$ 중에서 최적의 노드를 선택하여 데이터를 전달해야 하는데, 선택 기준으로 중간 노드 i 까지의 저항 값(식 (4))과 i 에서 D 까지 비용 값(식 (5))를 동시에 고려해야 한다. 중간 노드의 선택 기준이 되는 $Cost(i)$ 값을 식 (4)

와 식 (5)를 더한 값과 곱한 값으로 각각 다음과 같이 식 (6)과 식 (7)로 정의한다. 여기서 상수 t 는 좀 더 실제적으로 네트워크 환경에 근접하도록 적용한 네트워크 상수 값이다.

$$Cost(i) = f(A,i) + t \times c(i,D) \quad (6)$$

$$Cost(i) = f(A,i) \times t \times c(i,D) \quad (7)$$

정의한 비용 관계식 $Cost(i)$ 는 전송 에너지, 각 노드의 잔여 에너지, 링크의 신뢰성과 노드 간의 거리 등을 함께 고려한 식으로 이 값이 최소가 되는 노드를 중간 노드로 선택하여 데이터를 전달하고, 데이터를 전달받은 노드는 새로운 송신 노드가 되어 다시 이 과정을 반복한다. 이 과정을 반복하여 지역적으로 최적의 중간 노드들을 거쳐 최종적으로 목적지 노드 D 까지 데이터가 전달된다. 제안하는 방법은 노드들 간의 균형된 에너지를 소비하게 하여 네트워크 수명을 연장시킬 수 있다.

표 1은 제안하는 라우팅 방법을 나타내는 알고리즘이다.

4. 실험 및 결과

본 장에서는 에드 혹 네트워크에서 네트워크 수명을 연장시키는 신뢰성 있는 전송을 위해 제안한 라우팅 알고리즘을 모의 실험해 보고 그 성능을 네트워크 활동시간으

표 1. 제안 기법의 알고리즘

Table. 1. Algorithm for proposed method

```

Proposed_Routing ( $S,D$ );
 $A := S$ ;
while( $A \neq D$ ) /* destination not reached*/
  If  $D$  is a neighbor of  $A$  then
    Send message directly to  $D$ ; Exit;
  endif
  for each neighbor node  $i$  of  $A$  do
    if  $\angle iAD \leq \pi/3$  then
       $Cost(i) := f(A,i) + t \times c(i,D)$ ;
      (혹은,  $Cost(i) = f(A,i) \times t \times c(i,D)$ )
    endif
  endfor
  Let  $i'$  be s.t.  $Cost(i')$  is minimum;
  Send message to  $i'$ ;
   $A := i'$ ;
end while

```

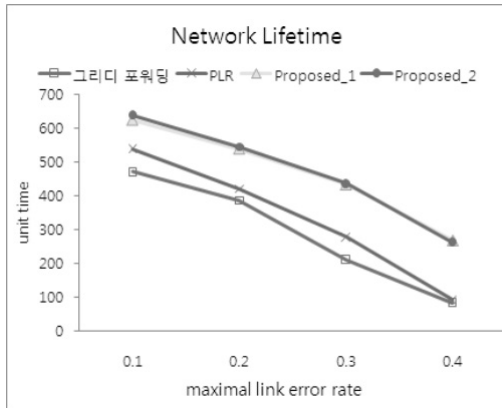


그림 3. 링크 에러율에 대한 네트워크 수명
 Fig. 3. Network lifetime versus link error rate

로 평가한다. 실험에서 비교 대상 라우팅으로 그리디 포워딩과 에너지를 고려한 지역적 라우팅인 PLR를 선정하여 제안하는 라우팅 기법(곱셈 연산과 덧셈 연산)을 비교한다. 시뮬레이션 프로그램은 Windows XP / Microsoft Visual C++6.0을 기반으로 대상 프로토콜을 실험 요소에 맞게 구현하였다.

본 논문에서 수행한 실험에서는 에드 혹 네트워크 전체 크기를 1000m×1000m로 하고 노드들은 100개의 x, y 좌표를 무작위로 추출하여 생성하였고 라우팅에 참여하는 소스 노드와 목적지 노드들도 무작위로 선택된다.

한 홉으로 직접 전송이 가능한 거리를 나타내는 전송 범위 range는 300m로 두고, 각 노드가 가진 초기 에너지 값은 0 ~ 5000 Joule로 무작위로 부여되며, 하나의 데이터 패킷을 0.2 Kbytes로 두었다. 데이터 전송은 자신이 가진 에너지를 모두 소비한 노드가 생길 때까지(즉, 네트워크 수명까지) 라우팅을 형성하여 계속 수행하도록 한다. 각 링크의 에러율은 특정 구간을 두어 그 범위에서 무작위 값으로 링크에 할당하였다.

실험에서 송신 노드 i 에서 이웃 노드 j 로 하나의 데이터 패킷을 전송할 때, 송신 노드 i 에서 소모되는 에너지는 e_{ij} Joule이고 3절에서 언급한 식 (1)을 사용하였다. 수신 노드 j 에서 데이터를 수신하여 처리하는데 필요한 에너지는 비교적 작은 값이므로 실험에서는 무시하였다. 또한 에너지가 완전히 고갈되는 노드가 생길 때까지 데이터 전송은 계속하여 수행한다. 데이터 전송에 참여할 중간 노드의 선택 기준이 되는 비용 관계식 $Cost(i)$ 에서 네트워크 상수 t 는 편의상 1로 두고 실험을 1000번씩 수행하여 평균값을 내었다.

그림 3은 링크 에러율에 따라 각기 다른 라우팅 방법이 선택한 경로로 패킷을 전송하였을 때의 네트워크 수명을 나타낸 그래프이다. 그래프에서 ‘Proposed_1’으로 나타낸 라우팅은 제안하는 라우팅 방법으로 덧셈 연산의 비용식을 사용한 것이며, ‘Proposed_2’는 곱셈 연산의 비용식을 사용한 것을 나타낸다. X축의 각 링크 에러율은 최대 값을 나타낸 것으로 네트워크 내의 모든 무선 링크들은 주어진 최대 값 범위 내에서 무작위한 값을 가진다.

실험 결과, 그림 3에서 보는 것과 같이 제안하는 알고리즘이 그리디 포워딩과 PLR 라우팅보다 네트워크 수명을 연장시켰으며, 곱셈 연산이 덧셈 연산보다 조금 더 좋은 결과를 보였다. 링크 에러율이 높을수록 패킷 손실에 따른 재전송이 더욱 빈번하게 되어 패킷의 성공적인 전송을 위해 에너지가 더 소모되며 결국 잔여 에너지도 줄어들게 된다. 링크 에러율이 높을수록 제안하는 라우팅 기법은 링크 에러율과 잔여 에너지 값을 반영함으로써 네트워크 수명에 있어서 다른 두 방식과 더 큰 차이를 보여준다. 그리디 포워딩에서는 항상 다음 홉으로 목적지까지 가장 가까운 노드를 선택하기 때문에 어느 특정 노드에 트래픽이 집중되어 그 특정 노드의 배터리가 빨리 소모되는 결과를 초래한다.

제안하는 라우팅 방법은 전송 거리와 전송 에너지 뿐만 아니라 노드의 잔여 에너지와 링크 에러율을 함께 고려한 새로운 비용식 $Cost(i)$ 함수를 사용하여 경로를 선택하므로 노드들의 에너지를 균형있게 소비하여 네트워크 수명은 연장되어 효율성을 높여 주는 것을 실험에서 알 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 네트워크 수명을 연장하기 위해 링크 상태와 에너지를 고려하는 지역적인 라우팅 알고리즘을 제안하였다. 기존의 그리디 포워딩 기법은 단순히 목적지 노드와의 거리만을 고려한 그리디 기법을 사용하였으며 PLR은 에너지를 고려한 지역적 라우팅 방법이지만 링크 에러율과 잔여 에너지를 동시에 고려한 방법은 아니다. 이동 에드 혹 네트워크는 링크 에러율이 비교적 높기 때문에 패킷 손실과 재전송이 빈번하게 발생한다. 그러므로, 에드혹 네트워크 환경에서 네트워크 수명과 전송의 신뢰성을 증가시키기 위해 무선 링크 상의 전송 에너지, 링크 에러율, 각 노드의 잔여 에너지 등을 고려한 새로운 비용식 $Cost(i)$ 함수를 제안하였다. 이 비용식을 이용하여

경로를 선택하므로 노드들 간의 균형된 에너지를 소비하게 하여 네트워크 수명을 연장시켜 효율적인 자원 관리와 신뢰성을 제공하는 향상된 방법이라고 할 수 있다. 향후 실시간 전송에 영향을 미치는 다른 요소들을 파악 및 분석하여 그 요소들을 경로 선택 비용 식에 반영하여 더 효과적인 라우팅 알고리즘을 개발하고자 한다.

참 고 문 헌

1. V. Rodoplu and T. H. Meng, "Minimum energy mobile wireless networks", IEEE Journal Selected Areas Comm., Vol. 17, No. 8, pp. 1333-1344, Aug. 1999.
2. S. Singh, M. Woo and C. Raghavendra, "Power-Aware Routing in Mobile Ad Hoc Networks", In Proceedings of the Fourth Annual International Conference on Mobile Computing and Networking, 1998.
3. Ivan Stojmenovic and Xu Lin, "Power-Aware Localized Routing in Wireless Networks", IEEE Int. Parallel and distributed Processing Symp., Cancun, Mexico, May 1-5, 2000.
4. Q. Dong, S. Banerjee, M. Adler, and A. Misra, "Minimum Energy Reliable Paths Using Unreliable Wireless Links" MobiHoc'05, Urbana Champaign, Illinois, USA, May 25-27, 2005.
5. Y. Yu, R. Govindan, and D. Estrin, "Geographical and energy aware routing: A recursive data dissemination protocol for wireless sensor networks", University of California at Los Angeles Computer Science Department, Tech. Rep. UCLA/CSD-TR-01-0023, May 2001.
6. M. Mauve, J. Widmer, and H. Hartenstein, "A survey on position-based routing in mobile ad hoc networks", IEEE Network, Vol. 15 No. 6, pp. 30-39, Nov/Dec 2001.
7. B. Karp and H. Kung, "GPSR: Greedy Perimeter Stateless Routing Wireless Networks", ACM MobiCom, 2000.
8. Y.-C. Tseng, S.-L. Wu, W.-H. Liao, and C.-M. Chao, "Location awareness in ad hoc wireless mobile networks", Computer, Vol. 34, No. 6, pp. 46-52, 2001.
9. J. Chang, L. Tassiulas, "Energy Conserving Routing in Wireless Ad-hoc Networks", IEEE INFOCOM 2000, pp. 22-31.
10. C-K. Toh, "Maximum Battery Life Routing to Support Ubiquitous Mobile Computing in Wireless Ad Hoc Networks", IEEE Communications 2001.
11. M. Maleki, K. Dantu, M. Pedram, "Lifetime Prediction Routing in Mobile Ad Hoc Networks", WCNC 2003, pp. 1185-1190, March 2003.
12. K. Seada, M. Zuniga, A. Helmy, B. Krishnamachari, "Energy-efficient Forwarding Strategies for Geographic Routing in Lossy Wireless Sensor Networks", Proceedings of the 2nd international conference on Embedded networked sensor systems (Sensys), pp. 108-121, November 20, 2004.
13. M. Z. Zamalloa, K. Seada, B. Krishnamachari, A. Helmy, "Efficient Geographic Routing over Lossy Links in Wireless Sensor Networks", ACM Transactions on Sensor Networks (TOSN), Vol. 4, Issue 3, No. 12, May 2008.
14. X. Li, H. Chen, Y. Shu, X. Chu, and Y. Wu, "Energy Efficient Routing With Unreliable Links in Wireless Networks", IEEE International Conference on Mobile Adhoc and Sensor Systems(MASS'06) pp. 160-169, Oct. 2006.
15. S. Banerjee and A. Misra, "Energy efficient reliable communication for multi-hop wireless networks," Journal of Wireless Networks (WINET), 2003.



이 주 영 (jylee@duksung.ac.kr)

1984 이화여자대학교 수학과 학사
 1991 The George Washington Univ. 전산학과 석사
 1996 The George Washington Univ. 공학박사
 1996~현재 덕성여자대학교 부교수

관심분야 : 그래프 이론, 무선통신, 이동 컴퓨팅