

Ad-hoc 네트워크에서 최대 네트워크 수명과 링크 에러율을 고려한 지오캐스트

이주영[†]

Maximum Lifetime Geocast Considering Link Error Rates in Ad-Hoc Networks

Ju-Young Lee

ABSTRACT

Geocasting is a form of communication that transmits messages to all nodes within a given geographical region(i.e., the geocasting region). Most of conventional energy aware protocols were based on shortest-hop routing that is, they minimized the cost in terms of the distance and total transmission energy not considering both the residual energy at each node and the link error ratio when selecting the routes for communication.

In this paper we propose a MLRG(Maximum Lifetime Reliable Geocast) protocol for energy-efficient and reliable geocasting in Ad-hoc networks. The proposed MLRG, a position-based and routing-based geocasting algorithm, maximizes the network lifetime using newly defined cost function and selecting the energy balanced routes on the basis of each node's residual energy, and provides a reliable communication considering the link error ratio.

Key words : Ad-Hoc Network, Geocast, Multicast, Energy-Aware Routing, Network Lifetime

요약

여기에 지오캐스팅(geocasting)이란 어떤 특정한 지역(지오캐스트 영역이라 함)에 있는 모든 노드들에게 데이터를 전송하는 통신형태이다. 기존의 에너지 관련 프로토콜은 주로 통신 경로 설정 시 주로 최소 홉 수, 즉 전송 에너지를 최소화 하기 위한 최단거리 관점에서 최적의 경로를 구하며, 각 노드의 잔여 에너지와 링크 에러율에 대해 고려하지 않는 것이 대부분이다.

본 논문에서는 ad-hoc 네트워크에서 에너지 효율적이고 신뢰성 있는 전송을 하기 위한 지오캐스팅 방법인 MLRG를 제안한다. MLRG는 위치기반과 라우팅-기반인 지오캐스팅으로 각 노드의 잔여 전력을 파악한 경로 탐색과 새롭게 제안하는 cost 관계식을 통해 네트워크 활용시간을 최대화하고, 링크의 에러율도 고려하여 신뢰성 있는 통신이 가능하다.

주요어 : 애드 혹 네트워크, 지오캐스트, 멀티캐스팅, 에너지 관련 라우팅, 네트워크 수명

1. 서론

네트워크^[1,2]는 다중 홉(multi-hop) 무선 네트워크로서, 중앙의 특별한 관리 체계 없이 기존의 고정된 네트워크

또는 기지국을 사용하지 않는 이동 호스트(mobile host)들로 필요시에 빠르게 구성될 수 있는 네트워크이다. 이러한 형태의 네트워크는 유선 네트워크를 구성하기 어려운 군사 작전 중의 통신이나 응급 재난 시 병원의 환자 기록을 어느 곳에서나 데이터베이스로부터 꺼내어 볼 수 있도록 하는 등 일시적인 네트워크 구축이 필요한 상황에서 매우 유용하다. 현재는 그룹회의, 홈 네트워크, 개인 휴대 통신망, 센서 네트워크 등 여러 응용분야를 포함한다.

무선 Ad-hoc 네트워크는 에너지가 제한되어 있고, 여러 종류의 기기, 제한된 무선링크용량, 동적인 토폴로지

* 이 연구는 '05학년도 덕성여자대학교 연구비 지원으로 수행한 연구결과이다.

2006년 8월 10일 접수, 2006년 8월 30일 채택

[†] 덕성여자대학교 컴퓨터공학부

주 저자 : 이주영

교신저자 : 이주영

E-mail; yimira@mmu.ac.kr

(topology)를 가진 이동 호스트들로 구성되기 때문에 많은 제약사항이 따르며, 기존의 유선 네트워크(wired network)와는 다른 특성들을 갖는다^[2]. Ad-hoc 네트워크에서의 이동 호스트들이 라우터(router) 역할을 수행하는데, 이동성과 휴대성으로 인해 기기의 크기와 무게에 제한을 받게 되며 각 이동 호스트의 초기 에너지량도 다르며 통신 시 사용되는 소비량도 서로 다를 수 있다. 이러한 이동 호스트들의 에너지가 고갈되면 네트워크 내의 라우터 수가 감소하게 되고 전체 네트워크는 통신 장애 혹은 네트워크 분할을 초래하게 되어 네트워크 활동시간(혹은 네트워크 수명; network lifetime)을 감소시키는 결과를 낳게 된다. 그러므로 Ad-hoc 네트워크가 고품질의 서비스를 제공하기 위해서는 이러한 제한된 자원을 효과적으로 사용하여야 할 것이다.

최근에는 GPS(Global Position System) 수신기가 소형화, 소전력화되어 비교적 저렴한 가격에 제공되고 있고, LBS(Location Based Service) 기반의 다양한 콘텐츠가 개발되어 본격적인 상업 서비스가 제공되고, 위치기반 기술과 그 응용에 대한 관심과 중요성이 높아짐에 따라, Ad-hoc 네트워크에서 위치 정보를 사용한 지리적 라우팅(Geographic Routing) 방법에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다^[7,10-12,14,15]. 또한, 최근 기술 발달에 따라 단말기가 점차 소형화되어 효율적인 자원의 사용에 관한 연구의 중요성이 부각되고 있다^[3,5,6].

지오캐스팅(geocasting)^[1,2,4]이란, 하나의 소스 노드에서 여러 개의 목적지 노드들로 같은 데이터를 보내는 통신 형태인 멀티캐스팅(multicasting)의 한 종류로서 위치 정보를 이용하므로 위치-기반 멀티캐스팅(location-based multicasting)이라고 부르기도 한다. 여러 개의 목적지 노드들이 속해있는 특정한 지역을 지오캐스트 영역(geocast region)이라고 하는데, 이 영역 내에 있는 어떠한 노드라도 외부로부터 데이터를 수신하게 되면 주변의 다른 노드에게 플로딩하도록 되어 있다. 긴급한 메시지를 어느 특정지역에 전달한다거나 어느 지역에만 국한하여 광고를 뿌리는 등, 지오캐스팅을 이용하여 제공되는 많은 유용한 서비스들이 있다.

Ad-hoc 네트워크에서의 지오캐스팅 방법을 크게 분류하자면, 플로딩-기반(flooding-based) 지오캐스팅, 라우팅-기반(routing-based) 지오캐스팅으로 나눌 수 있다^[4].

플로딩-기반 방식은 가장 단순한 방법으로 송신 노드는 자신의 이웃 노드 모두에게 데이터를 보내고, 데이터를 받은 각 각의 노드들이 다시 자신의 이웃 노드 모두에게 데이터를 보내는 과정을 목적지 노드가 데이터를 받을

때까지 반복적으로 계속 수행하는 방식이다. 여기서 이웃 노드라 함은 송신 노드에서 한 홉으로 직접 데이터를 전송 가능한 범위에 있는 노드들을 말한다. 라우팅-기반 방식은 소스 노드에서 지오캐스트 영역에 있는 어떤 목적지 노드까지 최단 경로가 유일하게 하나가 결정되어 (혹은, 소수의 몇 개가 결정되어) 이 경로를 통해 데이터를 전달하는 방식이다. 플로딩-기반 방식은 라우팅-기반 방식과 같이 많은 네트워크 상태(state)를 유지할 필요가 없다. 그 반면, 플로딩-기반 방식은 지오캐스트 그룹에 속하지 않는 많은 수의 노드들(즉, 패킷을 전송받기를 원하지 않는 노드들)로 패킷을 전달할 수 있다. 라우팅-기반은 플로딩-기반 방식에 비해 이런 단점은 피할 수 있으나, 라우트를 유지하는데 오버헤드가 또한 증가된다^[18].

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 경로 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.

위치정보를 이용한 기존의 지오캐스팅 알고리즘인 LBM 방법^[16]은 플로딩-기반 방식으로 플로딩을 어떤 영역내로 제한하는 방식으로 목적지 노드까지 메시지를 전달하는데 걸리는 오버헤드, 즉 네트워크에 있는 하나의 노드가 수신하게 되는 패킷의 평균 수를 줄이는데 중점을 두고 있다.

기존의 에너지 관련 프로토콜은 주로 통신 경로 설정 시 주로 최소 홉 수, 즉 전송 에너지를 최소화하기 위한 최단거리 관점에서 최적의 경로를 구하며, 링크 에러율에 대해 고려하지 않는 것^[3,5-7,9,13,16,17]이 대부분이다. 만약 모든 노드들이 거리에 상관없이 같은 전송 에너지를 사용하고 링크의 에러율이 0이라면, 기존의 최소 홉 라우팅 방법이 가장 에너지 효율적인 방법이 될 것이다. 그러나, 노드들의 전송 에너지 레벨이 동적으로 다르고 링크의 에러율도 0이 아닌 경우에는 최소 홉 라우팅 방법은 적용할 만 하지 않다. 이러한 경우, 각 노드의 제한된 에너지 자원을 고려하면서 시스템의 활동시간을 최대화하는 신뢰성 있는 방법이어야 한다.

본 논문에서는 동적인 ad-hoc 네트워크에서 에너지 효율적이고 신뢰성 있는 전송을 하기 위한 MLRG를 제안한다. MLRG는 위치기반과 라우팅-기반인 지오캐스팅으로

각 노드의 잔여 전력을 파악한 경로 탐색과 새롭게 제안하는 cost 관계식을 통해 네트워크 활동시간을 최대화하고, 링크의 어려움도 고려하여 신뢰성 있는 통신이 가능하다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 1장의 서론에 이어서 다음 장에서는 관련 연구로서 플로딩 방법을 이용한 지오캐스팅인 LBM과 에너지 관련 프로토콜을 살펴본다. 3장에서는 최대 네트워크 수명과 신뢰성을 위한 MLRG 지오캐스팅 방법을 제안하며, 4장에서는 기존의 방법과 본 논문에서 제안하는 지오캐스팅 방법의 성능을 비교하기 위한 시뮬레이션 및 그 결과를 제시한다. 마지막으로 5장에서 본 논문의 결론을 맺는다. 과를 제시한다.

2. 관련연구

2.1 위치 기반 멀티캐스트 라우팅

지오캐스팅은 위치 정보를 이용하여 여러 개의 목적지 노드들이 속해있는 특정한 지역(즉, 지오캐스트 영역)에 있는 하나 이상의 노드에게 다중 홉(multihop) 통신방식으로 패킷을 전송한 후, 이렇게 패킷을 전송받은 노드가 주변의 다른 노드에게 플로딩하여 지오캐스트 영역에 있는 목적지 노드들이 모두 패킷을 전송받도록 한다.

LBM(Location based Multicast routing algorithm)^[10]은 지오캐스팅 방법으로, 지오캐스트 영역을 포함하는 forwarding zone이라는 영역을 설정한 후 이 영역에 있는 노드들만으로 라우터(중간 노드)를 선택하여 지오캐스트 영역에 있는 목적지 노드(노드들)까지 다중 홉 통신방식으로 패킷을 전송한다.

지오캐스트 영역은 모든 목적지 노드들을 포함하도록 설정하며, 보통 사각형으로 나타내는 것이 일반적이거나 원 혹은 다른 다각형으로 나타낼 수 있다. Forwarding zone은 송신 노드(source)를 기준으로 하여 지오캐스트 영역을 모두 포함하는 범위로 설정하며, 형태는 일반적으로 사각형이나 고깔(cone)이지만 다른 모양으로 나타낼 수 있다^[11]. Forwarding zone의 크기는 지오캐스트 영역의 크기와 송신 노드의 위치, 이 두 가지 요소에 의해 결정된다. Forwarding zone의 크기를 작게 설정하면 목적지 노드들까지의 메시지 전송 시 통신 경로에 제한을 받게 되어, 목적지 노드들이 데이터 패킷을 받을 확률 즉, 전송의 정확성이 떨어지게 된다. 반면, forwarding zone의 크기를 증가시키면 데이터 패킷 전송 지연시간이 늘어나게 된다. 그러므로, forwarding zone의 크기는 통신 경로의 효율성과 데이터 전송 지연시간 사이의 trade-off

를 잘 고려해서 적절한 값으로 결정해야 한다.

LBM 방법은 forwarding zone 결정 방법에 따라 두 개의 알고리즘, LBM scheme 1과 LBM scheme 2로 나누어진다.

<그림 1>에서 어둡게 색칠한 작은 사각형 영역이 지오캐스트 영역이며, source와 지오캐스트 영역을 모두 포함하는 최소 사각형이 forwarding zone이다. LBM scheme 1에서는 송신 노드는 패킷을 플로딩하고 패킷을 받은 노드가 만약 forwarding zone안에 있는 노드라면 그 노드는 이웃 노드들에게 이 패킷을 전달한다. 그러나, forwarding zone 바깥에 있는 노드가 패킷을 수신하게 되면 이 패킷은 버려지며 이 노드는 패킷을 전달하지 않는다.

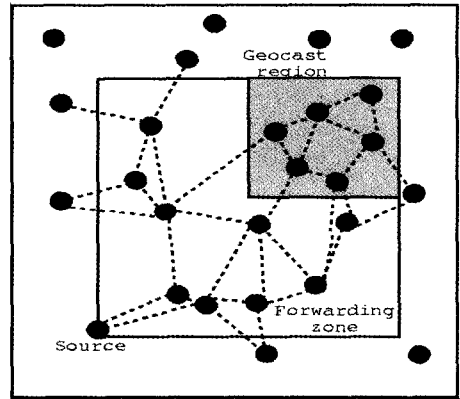


그림 1. LBM scheme 1

LBM scheme 2에서는 명시적인 forwarding zone이 존재하지 않고, 노드들의 상대적 거리로써 패킷의 전달 여부를 결정한다. <그림 2>와 같이 지오캐스트 영역에서 지리적으로 중앙에 있는 점의 좌표 (X_c, Y_c) 로부터 임의의 노드 X 까지의 거리는 $DIST_x$ 라고 두자. 송신 노드 S 에서 패킷을 플로딩하고 패킷을 받은 각 노드 i 는 지오캐스트 영역의 중앙 점까지의 거리 $DIST_i$ 를 계산한다. 임의의 파라미터 δ 에 대해, $DIST_i + \delta \leq DIST_s$ 이면 즉, 지오캐스트 영역의 중앙 점으로부터 노드 i 까지의 거리가 송신 노드 S 까지의 거리보다 적어도 δ 만큼 이상 더 가까우면 노드 i 는 이웃 노드들에게 패킷을 전달하고 그렇지 않으면 패킷을 버린다.

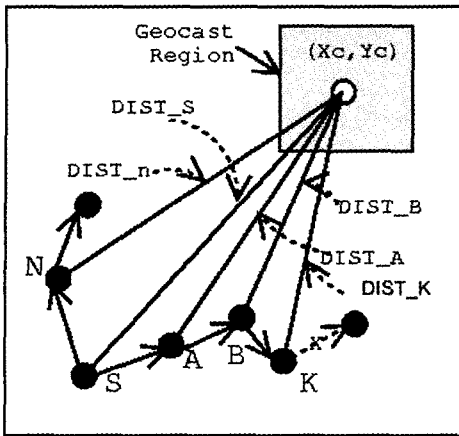


그림 2. LBM scheme 2

LBM scheme 1의 경우, 송신 노드가 패킷을 플로딩 하였는데 패킷을 수신받은 노드들 모두 forwarding zone에 있지 않는 경우(즉, 패킷을 전달할 중간 노드로서 적합한 노드가 없는 경우)도 있을 수 있다. 이런 경우 더 이상 패킷을 전달할 수 없게 되므로 forwarding zone의 범위를 확장한다^[4,11,16]. LBM scheme 2의 경우는 송신 노드가 패킷을 플로딩하였을 때 패킷을 수신받은 노드 i 모두가 $DIST_i + \delta \leq DIST_S$ 식을 만족하지 않을 수 있다. 이런 경우 파라미터 δ 값을 조정한다.

이런 플로딩 방식을 통한 패킷 전달 과정을 반복적으로 수행하여 마침내 지오캐스트 영역에 있는 목적지 노드 중 어느 하나가 패킷을 수신하게 되면 이 노드가 주변의 다른 목적지 노드들에게 패킷을 플로딩하여 지오캐스팅이 성공적으로 완료된다.

LBM은 플로딩 방식을 기본으로 하고 있지만 forwarding zone에 있는 노드들만으로 플로딩을 제한시킴으로써 기존의 순수 플로딩(pure flooding) 방법보다 데이터 전송 지연시간과 데이터의 중복(redundancy), 충돌을 줄일 수 있다.

2.2 에너지 관련 라우팅 프로토콜

기존의 에너지 관련 프로토콜은 주로 통신 경로 설정시 주로 최소 홉 수, 즉 전송 에너지를 최소화하기 위한 최단거리 관점에서 최적의 경로를 구하는 것이었다. 하지만 최소 홉 우선 선택 라우팅 프로토콜은 노드들 사이에서 공평하게 에너지를 사용할 수 없으므로, 일부 노드가 에너지를 다 소모해서 수명을 다하는 경우가 있다. 그러므로 Ad-hoc 네트워크가 고품질의 서비스를 제공하기 위해서는 이러한 제

한된 자원을 효율적으로 사용하여야 할 것이다.

에너지 관련 프로토콜에는 MTPR(Minimum total Transmission Power Routing), MBCR(Minimum Battery Cost Routing), MMBCR(Min-Max Battery Cost Routing)^[3] 등이 있다.

MTPR은 통신 경로 설정시 데이터 전송이 가능한 경로들 중에서 전송 에너지가 최소인 경로를 선택하는데, 이 방법은 최소 홉 방식과 비슷해 실제적으로 전송에너지 감소를 크게 기대하지는 못한다. MBCR은 각 노드의 잔여 에너지량과 최소 에너지 경로를 고려한 cost 관계식을 사용한다. 노드 i 의 잔여 에너지를 b_i 라 할 때, 노드 i 의 cost function은 $f(i)$ 로 표기하고, $f(i) = 1/b_i$ 로 정한다. 데이터 전송을 위한 최적 경로를 선택할 때, 경로에 있는 중간 노드들의 cost 함수 값들의 합이 가장 적은 경로(즉, 중간 노드들의 잔여 에너지의 합이 제일 큰 경로)가 최적의 경로로 선택이 된다. 이 방법은 노드들의 에너지를 효과적으로 사용하는 방법 중 하나이지만, 다음과 같은 문제점이 있다. 경로에 있는 일부 노드들의 잔여 에너지들이 거의 소갈 상태인데 나머지 다른 노드들의 잔여 에너지가 아주 커서 전체 잔여 에너지들의 합이 상대적으로 커져 이 경로가 최적 경로로 선택되는 경우를 생각해보자. 선택된 경로를 통해 데이터 전송하다보면 곧 잔여 에너지들이 거의 없던 노드들이 에너지를 전부 소갈하여 수명을 다 하게 된다.(이러한 노드들을 energy critical node라고 한다.) 즉, MBCR은 각 노드의 cost 값을 실제적으로 반영했지만, 잔여 에너지가 작은 노드가 라우팅 경로를 구성하는 경우가 생겨 경로의 수명이 짧아지게 되고, 전체 노드가 에너지를 공평하게 쓰지 못하는 단점을 가지고 있다. MMBCR은 MBCR의 문제점을 해결하고자 새로운 cost 함수를 사용한다. Cost 함수 $R_j = \min\{\max_{i \in route_j} f(i)\}$ 를 사용하면, 가능한 노드들 중에서 잔여 에너지가 작은 노드를 포함하는 경로는 사용하지 않게 된다. MMBCR은 각 노드의 잔여 에너지를 MBCR에 비하면 좀 더 공평하게 사용한다. 그러나, 전송 거리와 기타 환경에 따른 최소 전송 에너지에 대한 cost를 고려하지 않아 높은 에너지 효율성을 제공하지는 못하며, 이동성 등에 의한 링크의 에러율을 고려하지 않아 신뢰성 있는 경로 탐색 방법은 아니라고 할 수 있다.

3. 제안하는 네트워크 수명 연장과 신뢰성을 제공하는 지오캐스트: MLRG (Maximum Lifetime and Reliable Geocast)

본 장에서는 위치정보를 기반으로 하고 에너지 사용에

있어서 MMBCR 방법을 기본으로 한 지오캐스팅 알고리즘을 제안한다. 제안하는 MLRG(Maximum Lifetime and Reliable Geocast) 알고리즘은 데이터 전송 지연시간을 최소화하는 것 뿐 아니라, 링크 에러율과 노드들의 잔여 에너지 양을 고려하여 에너지를 균형있게 사용하면서 신뢰성 있는 통신 경로를 찾으며, 네트워크 활동시간을 최대화하는 효율적 방법이다.

위치 서비스를 이용하여 모든 목적지 노드들을 포함하는 사각형 모양의 geocast region을 설정하여 목적지 노드들 중 geocast region의 중앙에 가장 근접한 노드를 D라 두고, 데이터 전송시 소스 노드 S에서 노드 D까지 다중 홉 통신방식으로 데이터를 보낸다.

소스 노드에서 목적지 노드 D까지는 유니캐스팅(unicasting)으로 데이터를 전송하는데, 라우팅 설정 시 중간 노드로 참여할 노드들을 선택할 때, 목적지 노드까지의 거리를 고려하여 데이터 전송에너지 값과 노드의 잔여 에너지 값, 그리고 링크의 에러율도 함께 고려해서 산출한 최소의 cost값을 가진 노드를 선택한다. 이런 방식으로 선택한 경로를 통해 geocast region내의 중앙 노드인 D가 데이터를 전달받으면, D는 그 영역내의 모든 다른 목적지 노드들에게 플로딩 방식으로 데이터를 전달한다.

노드 i 에서 이웃노드 j 로 하나의 데이터 패킷을 전송할 때, 그 거리를 d_{ij} 라 두면 소모되는 에너지 량 e_{ij} 는 Chang 등의 논문^[17]에서와 같이 다음 식을 사용한다. 여기서 $range$ 는 어떤 노드 i 에서 다른 라우터(중간 노드)를 거치지 않고 한 홉에 직접 데이터를 전송할 수 있는 거리를 말한다.

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

임의의 노드 i 에서 geocast region의 중앙에 위치한 목적지 노드 D까지의 거리를 $Dist(i)$ 라고 두고, 데이터 전송시 소비되는 전송 소비 에너지의 합을 $EC(i,D)$ 라 두자. (<그림 3>을 참조할 것) 만일 $Dist(i) > range$ 이라면 한 홉으로 직접 데이터를 전송할 수 없으므로, 노드 i 에서 목적지 노드 D까지 데이터를 전달할 때 중간 노드들을 통해 여러 홉으로 전송하게 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. 노드 i 에서 D

까지 데이터 전송시 소비되는 에너지의 추정 값 $EC(i,D)$ 는 홉 수에 비례적으로 커진다. 여기서 한 홉 전송에 소비되는 에너지 값은 식 ①의 두 번째 항에 해당하는 에너지 값을 사용하는데, 한 홉의 거리는 거의 $range$ 에 가까운 값이므로 이 값은 1에 근사한 값을 갖게 된다. 그러므로, 노드 i 에서 D까지 데이터 전송시 소비 에너지의 추정 값은 다음과 같이 계산된다.

$$EC(i,D) = \lceil \frac{Dist(i)}{range} \rceil \times (\frac{d_{ij}}{range})^4 \approx \lceil \frac{Dist(i)}{range} \rceil \quad (2)$$

그러므로, 송신 노드 s 에서 이웃 노드 i (여기서 s 의 이웃노드들의 집합을 $Neighbor_s$ 라 두면 $i \in Neighbor_s$)를 중간노드로 거쳐 목적지 노드 D까지 데이터를 전달하는데 소비하는 총 에너지 추정 값은 노드 s 에서 i 로 데이터 전송하는데 소비되는 실제 전송 에너지 값 (식 ①)과 중간노드 i 에서 목적지 노드 D까지 데이터 전송에 소비되는 추정된 에너지 값 (식 ②)을 더한 값으로 다음과 같다.

$$\text{총 전송에너지 추정 값} = e_{si} + EC(i,D) \quad (3)$$

송신 노드 s 는 이웃 노드들 중에서 목적지 노드까지 데이터를 전달하는데 소비하는 총 전송 에너지 추정 값(식 ③의 값)은 작으면서, 노드의 잔여 에너지는 많고 링크 에러율은 작은 그러한 노드를 중간노드로 선택하여야 전체 시스템의 활동시간을 최대화 할 수 있다.

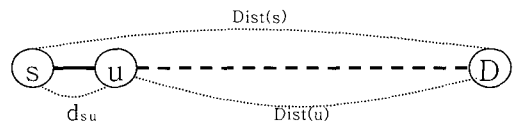


그림 3. 노드 간의 거리 정의

노드 i 의 초기 에너지를 $E_{init}(i)$, 잔여 에너지를 $E_{res}(i)$ 이라 두면, 초기 에너지에 대한 잔여 에너지의 비율은 $g(i) = \frac{E_{res}(i)}{E_{init}(i)}$ 로 나타난다. 노드의 잔여 에너지가 초기 에너지 값과 거의 같은 경우에 $g(i)$ 는 1로 수렴하고, 잔여 에너지가 거의 없는 경우 0으로 수렴한다. 잔여 에너지가 거의 없는 노드를 라우터(중간 노드)로써 계속 사용한다면 그 노드의 잔여 에너지가 고갈되어 통신을 단절시킬 수 있으므로 이를 고려하여 노드를 선택하여야

한다.

노드 i 가 갖는 저항 값(*reluctance*) $f(i)$ 는 노드가 데이터 전송을 꺼리는 값으로써 다음과 같이 정의한다.

$$f(i) = \frac{1}{g(i)} = \frac{E_{mit}(i)}{E_{res}(i)} \quad (4)$$

저항 값 $f(i)$ 는 $g(i)$ 와 반비례하고, 잔여 에너지 값 $E_{res}(i)$ 가 크면 저항 값 $f(i)$ 가 적어지며, 데이터 전송 시 저항 값이 적은 노드를 라우터(중간 노드)로 선택하여 적은 에너지를 가진 노드의 활동시간을 늘이고 전체 네트워크의 활동시간을 최대화하도록 한다.

각 노드 i 에서 이웃노드 j 사이의 링크 (i, j) 는 에러율 $err(i, j)$ 를 갖는데, 이 링크를 통해 데이터 전달이 성공적이지 못할 확률이다. 만약, $err(i, j) = 0$ 이면 링크 (i, j) 는 안정성이 있다고 말한다.

링크 (i, j) 를 통해 데이터를 보낼 때 성공적인 데이터 전달을 위해 전송해야 하는 예상 전송수(재전송도 포함)는 다음과 같다.

$$N(i, j) = \frac{1}{1 - err(i, j)} \quad (5)$$

데이터를 전송하기 위해 라우팅을 설정할 때, 송신 노드 s 에서 이웃노드 i ($i \in Neighbor_s$)를 중간 노드로 거쳐 목적지 노드 D 까지 데이터를 전달하는데 소비하는 총 에너지 추정 값(식 ③)뿐만 아니라, 중간 노드로 선택된 노드의 저항 값(식 ④)과 성공적인 전송을 위한 예상 전송수(식 ⑤)를 동시에 고려하여야 네트워크 수명을 최대화하는 효율적이고 신뢰성 있는 라우팅이 될 것이다.

데이터 전송에 참여할 중간 노드를 선택할 때, 선택의 기준이 되는 *cost* 함수 값은 식 ③에 식 ④와 ⑤를 가중치로 곱한 값인 식 ⑥으로 정의한다. 여기서 상수 t 는 좀더 실제적 네트워크 환경에 근접하도록 적용한 값이다.

$$Cost(i) = f(i) \times N(i, j) \times (e_{s_i} + t \times EC(i, D)) \quad (6)$$

각 노드는 자신의 이웃 노드에 대한 기본적인 정보(즉, 위치정보와 에너지 값 등)들을 알고 있으며, 이 정보는 주기적으로 갱신된다. 목적지 노드를 중심으로 *geocast region*을 설정하고 소스 노드 s 에서 자신의 이웃 노드들 중에서 *Cost(i)* 값(식 ⑥의 값)이 최소가 되는 노드를 라우터(중간 노드)로 선택하여 이 노드로 데이터를 전

달하고, 이렇게 데이터를 전달받은 노드는 새로운 송신 노드가 되어 다시 위 과정을 반복한다. 이러한 과정을 반복하여 여러 개의 중간 노드들을 거쳐 최종적으로 *geocast region*의 중앙에 있는 노드 D 가 데이터를 전달받게 되면, 플로딩 방법을 이용하여 *geocast region* 내의 모든 목적지 노드들에게 데이터를 전달하여 성공적으로 지오캐스트 전송을 마치게 된다. MLRG 알고리즘은 <표 1>에서 보여준다.

표 1. MLRG(Maximum Lifetime Reliable Geocast)

```

MLRG( $S, D$ )
 $s \leftarrow S$ 
Repeat
  for each node  $i \in Neighbor_s$  do

     $Cost(i) \leftarrow f(i) \times N(i, j) \times (e_{s_i} + t \times EC(i, D))$ 
     $u \leftarrow i \in Neighbor_s$  s.t.  $Cost(i)$  is minimum
    Send the geocast message to node  $u$ 
     $s \leftarrow u$ 
  until  $s = D$ 
   $D$  sends the received geocast message to all nodes in geocast region by flooding
    
```

4. 실험 및 결과

본 장에서는 ad-hoc 네트워크에 네트워크 수명의 최대화와 신뢰성 있는 전송을 위해 제안한 MLRG을 여러 조건의 환경에서 모의 실험해 보고 그 성능을 패킷의 평균 전송율, 패킷 전송 오버헤드, 네트워크 활동시간 등으로 평가한다. 실험에서 비교 대상 모델로 pure flooding, LBM scheme 1과 LBM scheme 2를 선정했다. 시뮬레이션 프로그램은 Windows XP / Microsoft Visual C++6.0을 기반으로 대상 프로토콜을 실험 요소에 맞게 구현하였다.

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

Geocast region은 1000m×1000m의 사각형으로 네트워크의 오른쪽 상단에 위치하도록 하였다. Geocast region에 적어도 하나의 목적지 노드가 위치하도록 중앙 노드인 D 의 좌표를 (850, 850)로 두었다. 한 홉으로 직접 전송이 가능한 거리를 나타내는 *range*는 300m로 두었

으며, 하나의 데이터 패킷을 0.2 Kbytes로 두었다.

각 노드가 가진 초기 에너지 값은 0 ~ 5000 Joule로 무작위로 부여되며, 데이터 전송은 자신이 가진 에너지를 모두 소비한 노드가 생길 때까지 (즉, 네트워크 활동 시간까지) 라우팅을 형성하여 계속 수행하도록 한다. 각 링크의 에러율은 구간 [0, 0.5]와 구간 [0, 0.3]에 대한 무작위 값으로 일률적으로 주어진다.

실험에서 송신 노드 i 에서 이웃노드 j 로 하나의 데이터 패킷을 전송할 때, 송신 노드 i 에서 소모되는 에너지는 e_{ij} Joule이고 3절에서 언급한 식 ①을 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 함수 $Cost(i)$ 식에서 네트워크 상수 t 는 편의상 1로 두고 실험을 1000번씩 수행하여 평균값을 내었다.

실험 결과, <그림 4>는 소스 노드에서 목적지 노드로 보낸 데이터 패킷의 평균 전송율(packet delivery ratio)을 비교한 실험 결과이다. 평균 패킷 전송율은 모의실험 시간동안 목적지 노드들이 받은 패킷수의 합을 소스 노드에서 보낸 총 패킷수로 나눈 값으로 구했다. 실험 결과를 보면 4개의 프로토콜 모두 전체적으로 높은 패킷 전송율을 보였다. 하지만, MLRG의 패킷 전송율이 flooding의 경우만큼 높지 않은 이유 중 하나는 다음과 같이 설명할 수 있다. 기존의 flooding 방법에서는 geocast region에 있는 여러 개의 목적지 노드들이 소스 노드로부터 전송된 패킷을 받지만, MLRG는 geocast region에 있는 노드 D, 단 하나만 패킷을 전달받아서 geocast region에 있는 다른 목적지 노드들로 전달해준다. 만일 geocast region이 노드 D의 전송 가능한 범위에 비해 상대적으로 넓어서 다른 목적지 노드들이 D의 전송반경을 벗어난 위치 (예를 들면, geocast region의 중앙에서 멀리 떨어진 구석 가장자리 등의 위치)에 있다면, 다른 목적지 노드들에게는 패킷이 전달되지 않아서 패킷 전송율이 다소 낮아질 수도 있다.

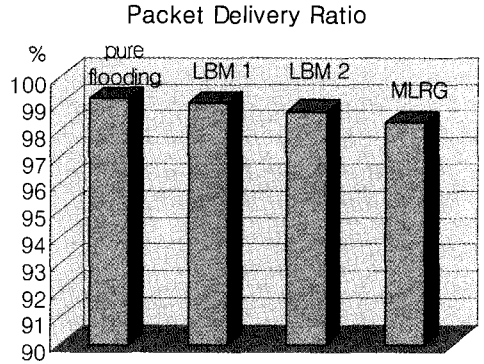


그림 4. 패킷 전송율(packet delivery ratio)

<그림 5>는 패킷 전송 오버헤드(overhead of packet delivery) 즉, 한 노드에 의해 받은 평균 패킷의 개수를 비교한 것으로, flooding 방식을 기본으로 한 경우 패킷의 중복 전달과 충돌 가능성이 많으므로 그 값이 커졌다. 반면, MLRG는 노드의 잔여 에너지와 링크 에러율을 고려한 비용 식으로 경로를 선택하므로 좋은 결과 값을 갖는다.

네트워크 활동시간에 있어서는 <그림 6>과 같이 MLRG이 다른 방법들에 비해 크게 증가하였다. 이는 제안하는 MLRG가 노드의 잔여 에너지와 링크 에러율을 고려한 새로운 cost 함수를 사용하여 경로를 선택하므로 노드들의 에너지를 균형있게 소비하여 네트워크의 활동시간은 현저히 증가되어 효율성을 높여 준다는 것을 나타낸다.

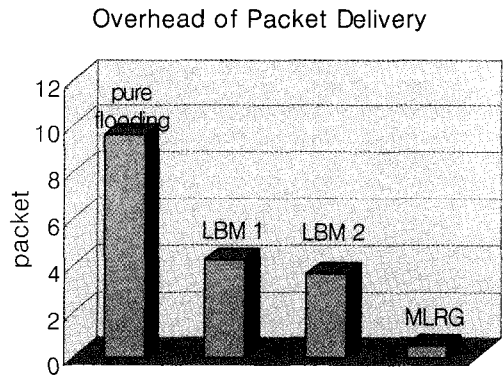


그림 5. 패킷 전송 오버헤드(overhead of packet delivery)

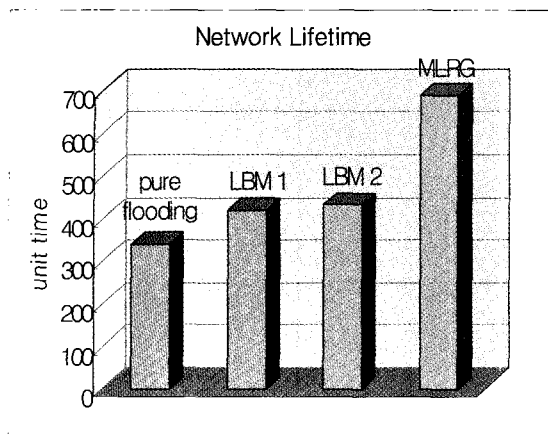


그림 6. 네트워크 활동시간(network lifetime)

5. 결 론

Ad-hoc 네트워크에서는 유선 통신 네트워크보다 자원이 부족하므로 이로 인한 네트워크 통신 장애가 자주 발생한다. 따라서, 각 이동 호스트의 제한된 에너지 자원을 효율적으로 관리하여 네트워크 활동시간을 최대화하여야 한다.

본 논문에서는 Ad-hoc 네트워크 환경에서 네트워크 활동시간과 전송의 신뢰성을 증가시키기 위해 전송 에너지를 균형있게 소비하여 각 이동 호스트의 잔여 에너지의 비율을 일정하게 유지하도록 라우팅 설정시 에너지의 효율성을 고려하여 중간 노드를 선택하는 MLRG를 제안한다. MLRG는 위치 정보를 기반으로 한 지오캐스팅에서 데이터 전송 거리, 데이터 전송에 필요한 에너지, 이동 호스트들의 잔여 에너지와 링크의 에러율 등을 고려하여 패킷 전송 오버헤드를 줄이며 전체 네트워크 활동시간을 연장시키는 알고리즘이다. 실험 결과, 패킷 전송율은 비교 대상 모델보다 다소 낮아지게 된다. 그러나, 패킷 전송율이 낮아지더라도 그 정도가 사소하며, 패킷 전송 오버헤드와 시스템의 활동시간은 월등히 좋아져서 효율적인 네트워크 관리를 제공할 수 있기 때문에 제안하는 MLRG는 향상된 방법이라고 할 수 있다.

참 고 문 헌

[1] C. Murthy and B. Manoj, *Ad Hoc Wireless Networks*, Prentice Hall, 2004.

- [2] C.-K. Toh, *Ad Hoc mobile wireless networks: protocols and systems*, Prentice Hall, Inc., 2002.
- [3] 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 (MOBICOM'98), pp. 181-190, 1998.
- [4] C. Maihofer, "A Survey of Geocast Routing Protocols," IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 6, no. 2, pp. 32-42, Q2 2004
- [5] 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.
- [6] I. Stojmenovic and X. Lin, "Power-Aware Localized Routing in Wireless Networks", IEEE Int. Parallel and distributed Processing Symp., Cancun, Mexico, May 1-5, 2000.
- [7] Y.-B. Ko and N.H. Vaidya, "GeoTORA: A Protocol for Geocasting in Mobile Ad Hoc Networks," Proc. 8th Int'l Conf. Network Protocols, IEEE Press, pp. 240-250, 2000.
- [8] J. Boleng, T. Camp, and V. Tolety. "Mesh-based geocast routing protocols in an ad hoc network", In Proceedings of the International Workshop on Parallel and Distributed Computing Issues in Wireless Networks and Mobile Computing (IDDP 2001), pp. 184-193, April 2001.
- [9] R. Shah, J. Rabaey, "Energy Aware Routing for Low Energy Ad Hoc Sensor Networks", IEEE WCNC 2002.
- [10] Y. Ko and N.H. Vaidya, "Location-aided routing(LAR) in mobile ad hoc networks", In Proceeding of the ACM/IEEE International conference on Mobile Computing and Networking (Mobicom). pp. 66-75, 1998.
- [11] I. Stojmenovic, "Voronoi diagram and convex hull based geocasting and routing in wireless networks", Technical Report, University of Ottawa, TR-99-11, December 1999.
- [12] 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.
- [13] X. Jiang and T. Camp, "Review of geocasting protocols for a mobile ad hoc network", In Preceding of the Grace Hopper Celebration (GHC), Vancouver, Canada, Oct. 2002.
- [14] 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.
- [15] B. Karp and H.T. Kung, "GPSR: Greedy perimeter stateless routing for wireless networks", Proc. MOBICOM, pp. 243-254, August 2000.
- [16] Y. Ko and N.H. Vaidya, "Geocasting in Mobile ad hoc networks : Location-based multicast algorithm", In Preceding of the 2nd IEEE Workshop on Mobile Computing System and Application (WMCSA), 1999.
- [17] J. Chang and L. Tassiulas, "Energy Conserving Routing in Wireless Ad-hoc Networks," IEEE INFOCOM 2000, pp. 22-31, 2000.
- [18] Y-B. Ko and N.H. Vaidya, "Flooding-Based Geocasting Protocols for Mobile Ad Hoc Networks," Proc. Mobile Networks and Applications, Kluwer Academic Publisher vol. 7, no. 6, pp. 471-480, 2002.



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