

Ad-Hoc 네트워크에서 위치와 에너지를 고려한 지오캐스팅 알고리즘[☆]

Geographic and Energy Aware Geocasting in Ad-Hoc Networks

이 주 영*
Ju-Young Lee

요 약

지오캐스팅(geocasting)이란 멀티캐스팅의 특별한 한 종류로서, 어떤 특정한 지역(지오캐스트 영역이라 함)에 있는 모든 노드들에게 데이터를 전송하는 통신형태를 말하며, *location-based multicasting(LBM)* 이라고 부르기도 한다(1). Ad-hoc 네트워크는 중앙 집중화된 관리나 표준화된 지원 서비스 없이 배터리를 에너지원으로 사용하는 휴대용 기기들이 동적으로 연결되어 구성되는 임시적인 망이다. 따라서, 제한된 에너지 자원을 효율적으로 관리하는 것은 네트워크 활동시간(lifetime)을 최대화하기 위한 중요한 문제가 된다.

본 논문에서는 Ad-hoc 네트워크 환경에서 라우팅 설정시 에너지 값을 고려하여 중간 노드를 선택하는 LBPA (Location-Based Power Aware) 지오캐스팅 알고리즘을 제안한다. 전송 에너지를 균형있게 소비하여 각 이동 호스트의 잔여 에너지의 비율을 일정하게 유지시키는 방법으로 네트워크 활동시간 측면에서 볼 때 기존의 LBM 알고리즘보다 평균적으로 49% 더 좋은 결과를 실험을 통하여 보여주었다.

Abstract

Geocasting, a variant of the conventional multicasting problem, is one of communication type in which the data packets are delivered to a group of all nodes within a specified geographical region (i.e., the geocasting region) and is called *location-based multicasting(LBM)*(1). An Ad-hoc network is a dynamically reconfigurable and temporary wireless network where all mobile devices using batteries as energy resources cooperatively maintain network connectivity without central administration or the assistance of base stations. Consequently, the technique to efficiently consume the limited amounts of energy resources is an important problem so that the system lifetime is maximized.

In this paper, we propose a LBPA(Location-Based Power Aware) geocasting algorithm that selects energy-aware neighbor to route a packet towards the target region in Ad-hoc network environments. The method is such that the energy consumption is balanced among the nodes in proportion to their energy reserves. Through the simulations, the proposed LBPA algorithm shows better results, that is, as good as 40% on the average over the conventional LBM algorithm in terms of the network lifetime.

키워드 : Ad-Hoc Network, Geocasting, routing algorithm, network lifetime

1. 서론

Ad-hoc 네트워크는 다중 홉(multi-hop) 무선 네트워크로써, 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.

무선 Ad-hoc 네트워크는 빈번한 토폴로지(topology) 구성의 변화, 제한된 자원 사용 등 기존의 유선 네트워크(wired network)와는 다른 특성

* 정 회 원 : 덕성여자대학교 컴퓨터과학부
jylee@duksung.ac.kr

☆ 본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(과제번호 R06-2002-003-01002-0)지원으로 수행되었음

들을 갖는다[2].

Ad-hoc 네트워크에서는 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 장애를 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. 최근 기술 발달에 따라 단말기가 점차 소형화되어 이러한 연구의 중요성이 부각되고 있다[3, 4, 5, 6, 7].

멀티캐스팅(multicasting)이란 하나의 소스 노드에서 여러 개의 목적지 노드들로 같은 데이터를 보내는 통신 형태이다. 멀티캐스팅의 특별한 한 종류로서, 여러 개의 목적지 노드들이 특정한 지역(지오캐스트 영역 혹은 멀티캐스트 영역이라고 함)에 모두 속해 있는 경우, 이 특정한 지역에 있는 모든 목적지 노드들에게 데이터를 전송하는 통신형태를 지오캐스팅(geocasting)[8]이라 하며, location-based multicasting라고 부르기도 한다.

Ad-hoc 네트워크에서의 멀티캐스팅 방법을 크게 분류하자면, 플로딩(flooding) 방식, 트리 기반(tree-based) 방식, 메쉬 기반(mesh-based) 방식으로 나눌 수 있다[2]. 플로딩 방식은 가장 단순한 멀티캐스팅 방법으로 송신 노드는 자신의 이웃 노드 모두에게 데이터를 보내고, 데이터를 받은 각각의 노드들이 다시 자신의 이웃 노드 모두에게 데이터를 보내는 과정을 목적지 노드가 데이터를 받을 때까지 반복적으로 계속 수행하는 방식이다. 여기서 이웃노드라 함은 송신 노드에서 한 홉에 직접 데이터를 전송 가능한 범위에 있는 노드들을 말한다. 트리 기반 방식은 소스 노드에서 목적지 노드까지 유일하게 최단 경로가 하나 결정되

어 이 경로를 통해 데이터를 전달하는 방식이며, 반면 메쉬 기반 방식[8]은 하나 이상의 경로를 통하여 데이터를 전달하는 방식이다[9].

최근에는 위도, 경도, 높이 등의 위치 정보를 제공해주는 GPS(Global Position System) 수신기(receiver)가 소형화, 소전력화되어 비교적 저렴한 가격에 제공되고 있고, 시그널(signal) 강도를 기본으로 한 상대 좌표를 구해내는 기술이 용이해짐에 따라 Ad-hoc 네트워크에서 위치 정보를 사용한 라우팅 방법에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다[7, 10, 11, 12, 13, 14, 15].

위치정보를 이용한 기존의 지오캐스팅 알고리즘인 LBM 방법[16]은 접근 방향이 목적지 노드까지 메시지를 전달하는데 걸리는 데이터 전송 지연시간(data transmission delay)을 최소화하는 데 중점을 두고 있으며, 플로딩 방식을 사용한 방법이다. 그러나 Ad-hoc 네트워크가 고품질의 서비스를 제공하기 위해서는 전송 지연시간을 줄이는 것 뿐 아니라, 각 이동 호스트의 제한된 에너지 자원을 효율적으로 사용하여 시스템의 활동시간을 연장시켜야 한다.

본 논문에서는 위치 정보를 기반으로 한 지오캐스팅에서 데이터 전송 라우팅의 거리, 데이터 전송에 필요한 에너지, 이동 호스트들의 잔여 에너지와 저항 값 등을 고려하여 데이터 전송 지연시간을 줄이면서 전체 네트워크 활동시간을 연장시키는 LBPA 지오캐스팅 알고리즘을 제안한다. 이 방법은 플로딩 방식과 트리 기반 방식을 복합적으로 사용한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 1장의 서론에 이어서 다음 장에서는 관련 연구로서 위치정보를 사용한 멀티캐스팅에 관한 기존의 방법을 살펴본다. 3장에서는 효율적인 LBPA 지오캐스팅 방법을 제안하며, 4장에서는 기존의 방법과 본 논문에서 제안하는 LBPA 지오캐스팅의 성능을 비교하기 위한 시뮬레이션 및 그 결과를 제시한다. 마지막 장에서 결론을 맺는다.

2. 관련연구

소스에서 어떤 특정한 영역(지오캐스트 영역 혹은 멀티캐스트 영역) 내에 있는 목적지 노드들에게 다중 홉(multihop) 통신방식으로 데이터를 보낼 때, 지오캐스트 영역을 포함하는 forwarding zone을 설정하여 그 영역 내에 존재하는 노드들을 라우터(중간 노드)들로 선택하여 데이터를 전송하는 LBM 알고리즘(Location based Multicast routing algorithm)[16]을 이 장에서 살펴본다. 이 방법을 전통적 멀티캐스트 플로딩 방법과 비교해 볼 때, 이 방법 역시 플로딩 방식을 기본으로 하고 있지만 어떤 특정 지역 범위인 forwarding zone에 있는 노드들만으로 플로딩을 국한시킴으로써 기존의 멀티캐스트 플로딩 방법보다 데이터 전송 지연시간을 줄일 수 있다.

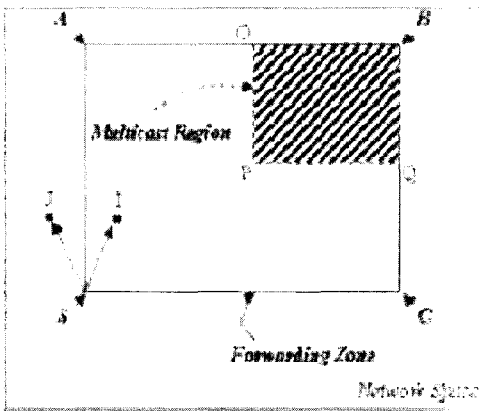
LBM(Location based Multicast routing) 알고리즘[16]

- multicast region : 소스 노드가 데이터를 멀티캐스트하는 특정 지역을 말한다. 이 영역은 모든 목적지 노드들을 포함하도록 설정해야 한다. 형태는 보통 사각형으로 나타내는 것이 일반적이거나, 원 혹은 다른 다각형으로 나타낼 수 있다.

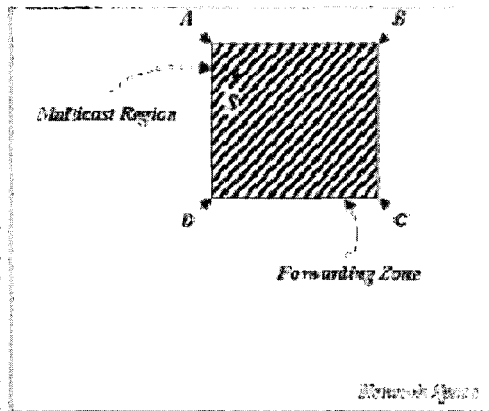
- forwarding zone : 소스 노드가 multicast region에 있는 목적지 노드들로 데이터를 전송할 때, 소스 노드를 기준으로 multicast region을 포함하는 어떤 특정한 지역의 범위를 설정하여, 그 지역범위에 있는 노드들만 중간 노드로 선택하도록 한다. 이 때 이 특정한 지역을 forwarding zone이라 한다. Forwarding zone의 형태는 일반적으로 사각형이나 고깔(cone)이며, 다른 모양으로 나타낼 수 있다[11].

그림 1에서 S는 소스 노드이며 multicast region은 사각형 OBQP이고 forwarding zone은 사각형 ABCS이다. Forwarding zone을 사각형 외에도 고깔모양으로 설정하기도 한다(그림 3).

Forwarding zone의 크기는 multicast region의 크기와 송신 노드의 위치, 이 두 가지 요소에 의해 결정된다. Forwarding zone의 크기가 작으면 목적지 노드들로 메시지 전송 시 통신 경로에 제한을 받게 되어 목적지 노드들이 데이터 패킷(packet)을 받을 확률 즉, 전송의 정확성이 떨어지게 되고, forwarding zone의 크기를 증가시키면 데이터 전송 지연시간이 늘어나게 된다. 그러므로, forwarding zone의 크기는 통신 경로의 효율성과 데이터 전송 지연시간 사이의 trade-off를 잘 고려해서 적절한 값으로 결정해야 한다.



(그림 1) 소스 노드가 multicast region 외부에 있는 경우



(그림 2) 소스 노드가 multicast region 내에 있는 경우

데이터 전송시 송신 노드가 데이터를 다음 이웃 노드로 전달하려고 할 때, 이웃 노드들 모두가 forwarding zone에 있지 않는 경우(즉, 중간 노드으로써 적합한 노드가 없는 경우), 더 이상 데이터를 전달할 수 없게 된다. 이 경우 forwarding zone 범위를 확장시킬 수 있다.

Forwarding zone의 크기를 조절하기 위해 파라미터 δ 를 사용한다. δ 값이 양수이면 forwarding zone을 확장시키는데, forwarding zone이 사각형 모양일 때 forwarding zone의 X축과 Y축 각 각을 양의 방향으로 δ 만큼, 음의 방향으로 δ 만큼 이동하여 확장시킨다. (즉, X축 방향으로 총 2δ 만큼 증가되고, Y축 방향으로 총 2δ 만큼 증가된다.)

그림 2에서 multicast region인 사각형 ABCD의 크기가 300×300 이라고 하자. 소스 노드 S가 multicast region에 포함되므로 forwarding zone은 multicast region과 같게 된다. 즉, δ 값이 0인 경우인 것이다. 만약, δ 가 100 unit인 경우에는, forwarding zone의 크기는 $2\delta = 200$ unit이 늘어난 500×500 이 된다.

소스 노드는 forwarding zone을 결정하여 네 개의 꼭지점의 위치정보인 x 좌표와 y 좌표를 데이터 패킷에 부착시켜서 데이터를 전달하기 시작한다. 수신 노드가 멀티캐스트 데이터를 받으면, 패킷에 부착된 네 개의 꼭지점의 좌표를 가지고 자신이 forwarding zone의 사각형 내에 있는 노드인지 아닌지를 확인한다. 만약 forwarding zone 내에 있는 노드가 아니라면 수신한 패킷을 버린다.

예를 들어, 그림 1에서 노드 I가 멀티캐스트 데이터 패킷을 전송 받으면 자신이 forwarding zone에 있는지 확인한다. 노드 I는 forwarding zone의 사각형 내에 있으므로 받은 패킷을 자신의 이웃 노드들로 플로딩한다. 그러나 노드 J의 경우, forwarding zone의 사각형 내에 있지 않으므로 송신한 패킷은 버리고 더 이상 통신에 관여하지 않는다.

이런 플로딩 과정을 multicast region에 있는 목적지 노드가 데이터를 받을 때까지 반복적으로

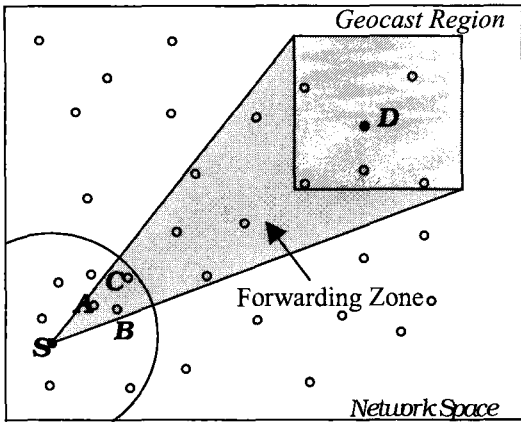
수행한다.

3. LBPA(Location Based Power Aware) Geocast 알고리즘

LBM 알고리즘[16]은 forwarding zone에 있는 노드들만으로 플로딩을 국한시켜 목적지 노드까지의 데이터를 전송하는 거리를 최소화하여 데이터 전송 지연시간을 최소화하는데 중점을 두고 있다. 그러나, 각 노드의 초기 에너지 량과 통신에 따라 사용되는 소비량도 서로 다를 수 있다. 시스템에 있는 어느 특정 노드의 에너지가 거의 고갈되어 더 이상 통신을 할 수 없는 경우가 생기게 되면, 네트워크 활동시간은 이 특정 노드로 인해 감소될 수 있다. 그러므로, 데이터 전송 지연시간을 최소화하는 것 뿐 만 아니라, Ad-hoc 네트워크에서 중요한 자원 중 하나인 노드들의 잔여 에너지 량을 고려하여 에너지를 균형있게 사용하는 통신 경로를 찾는 것이 네트워크 활동시간을 연장시키기 위한 효율적 방법이 된다.

제안하는 LBPA geocast 알고리즘은 데이터 전송 지연시간을 최소화하면서 LBM 알고리즘보다 향상된 네트워크 활동시간을 갖는 방법이다.

위치 서비스를 이용하여 모든 목적지 노드들을 포함하는 사각형 모양의 특정한 범위(geocast region이라 함)를 설정하여 소스 노드는 그 범위 안에 있는 목적지 노드들에게 다중 홉 통신방식으로 데이터를 보낸다. 목적지 노드들 중 geocast region의 중앙에 가장 근접한 노드를 D라 두고, 데이터 전송시 소스 노드 S에서 노드 D까지 유니캐스트 라우팅(unicast routing) 방법을 사용한다. 이 때 forwarding zone을 설정하는데 geocast region의 크기와 송신 노드의 위치좌표에 의해 결정된다. 즉, 송신 노드에서 geocast region인 사각형의 두 꼭지점인 왼쪽 상단에 있는 꼭지점과 오른쪽 하단에 있는 꼭지점으로 각각 직선을 그려서 생기는 고깔 모양의 안쪽 영역을 forwarding zone으로 설정한다. 그림 3에서 빗금친 사각형이



(그림 3) forwarding zone 설정

geocast region이며, 그늘진 색 부분(고깔 모양)은 forwarding zone이다.

어떤 노드 A에서 다른 라우터(중간 노드)를 거치지 않고 한 홉에 직접 데이터를 전송할 수 있는 거리를 range라 두면, A의 이웃 노드들이란 A를 중심으로 하고 원의 반경을 range로 하는 원의 내부에 있는 노드들을 말한다.

목적지 노드까지 다중 홉 통신방식으로 데이터를 보내는데, 송신 노드의 이웃노드들 중에서 forwarding zone에 속하는 노드들 중 하나를 라우터(중간 노드)로 선택하여 데이터를 전송한다. 이렇게 데이터를 전달받은 노드는 새로운 송신 노드가 되어 다시 중간 노드를 선택하여 데이터를 전송한다. 위 과정을 반복하여 결국 geocast region에 있는 노드 D까지 데이터가 전달되면, 노드 D는 이 영역 내의 모든 다른 목적지 노드들에게 플로딩 방식으로 데이터를 전달한다.

소스 노드에서 목적지 노드까지 데이터를 전송하기 위한 라우팅 설정시 중간 노드로 참여할 노드들을 선택할 때, 목적지 노드까지의 거리뿐만 아니라 데이터 전송에 소비되는 에너지 값과 노드의 잔여 에너지 값을 함께 고려하여야 더 효율적인 라우팅이 될 것이다. 잔여에너지 값이 아주 적은 노드를 라우터(중간 노드)로써 계속 사용하면 그 노드의 잔여 에너지가 고갈되어 통신을

단절시킬 수 있으므로 이 값들을 고려하여 노드를 선택하여야 한다. 전체 네트워크 활동시간은 네트워크에서 가장 먼저 에너지를 소진하는 노드가 나올 때까지의 시간으로 정의한다.

LBPA Geocast 알고리즘은 현재 송신 노드에서 (알고리즘 시작 시, 소스 노드가 현재 송신 노드임) 목적지 노드까지 데이터를 전송하기 위해 데이터 전송에 참여할 중간 노드들을 선택할 때 다음과 같은 사항을 고려한다.

현재 송신 노드 A의 이웃 노드들의 집합 : N_A ($N_A = \{1, 2, \dots, m\}$ 라 두자.)

- 각 이웃노드 i ($1 \leq i \leq m$)의 초기 에너지 량 : $E(i)$
- 각 이웃노드 i ($1 \leq i \leq m$)의 현재 남아있는 잔여 에너지 량 : $E_r(i)$
- 송신 노드 A에서 이웃노드 i 로 데이터 전송 시 소모되는 소비 에너지량 : $e(A, i)$
- 각 이웃노드 i ($1 \leq i \leq m$)에서 목적지 노드 D까지의 거리 : $Dist(i)$

임의의 노드 i 에서 i 의 이웃노드 j 로 하나의 데이터 패킷을 전송할 때, 그 거리를 d_{ij} 라 두면 소모되는 에너지 량 $e(i, j)$ 는 Chang 등의 논문 [17]에서와 같이 다음 식을 사용한다.

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

노드 i 에서 목적지 노드 D까지의 거리 $Dist(i)$ 가 한 홉으로 데이터를 전송할 수 있는 원의 반경 range보다 큰 경우(즉, $Dist(i) > range$ 인 경우), 노드 i 에서 목적지 노드 D까지 데이터를 전달할 때 여러 홉을 거쳐 전송하게 된다. 두 노드 사이의 거리가 $Dist(i)$ 이므로 이론상으로는 $\lceil Dist(i)/$

range | 홉에 데이터 전송이 가능하나, 실제 노드 *i*에서 *range*만큼 떨어져 있는 위치에 노드가 존재하지 않는 등의 이유로 그 이상의 홉을 거쳐야만 될 수도 있다. 목적지 노드까지 데이터 전송 시 소비되는 전송 소비에너지의 홉은 홉 수에 비례적으로 커지며, 추정된 값인 $\lceil \text{Dist}(i)/\text{range} \rceil$ 에 네트워크 상수 *t*를 적용하여 좀 더 실제적 네트워크 환경에 근접하도록 한다.

그러므로, 송신 노드 A에서 이웃노드 *i* ($i \in N_A$)를 중간노드로 거쳐 목적지 노드 D까지 데이터를 전달하는데 소비하는 총 에너지 추정 값은 A에서 *i*로 실제 데이터 전송하는데 소비되는 전송 에너지 값과 중간노드 *i*에서 목적지 노드 D까지 데이터 전송에 소비되는 추정된 에너지 값을 더한 값으로 다음과 같다.

$$\text{총 전송 소비에너지 추정값} = e(A, i) + t \lceil \frac{\text{Dist}(i)}{\text{range}} \rceil \quad (2)$$

송신 노드 A는 forwarding zone에 속하는 모든 이웃 노드들 중 목적지 노드까지 데이터를 전달하는데 소비하는 총 전송 소비에너지 추정 값(식 ②의 값)이 적으면서, 노드의 잔여 에너지가 많은 것을 선택하여야 전체 시스템의 활동시간을 최대화 할 수 있다.

노드 *i*의 초기 에너지에 대한 잔여 에너지의 비율 $g(i)$ 는 다음과 같이 표현된다.

$$g(i) = \frac{Er(i)}{E(i)} \quad (3)$$

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 노

드를 선택하여야 한다.

노드 *i*가 갖는 저항 값을 $f(i)$ 라 두면 다음과 같이 정의한다.

$$f(i) = \frac{1}{g(i)} = \frac{E(i)}{Er(i)} \quad (4)$$

저항 값 $f(i)$ 는 $g(i)$ 와 반비례하고, 잔여 에너지 값 $Er(i)$ 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.

데이터를 전송하기 위해 라우팅을 설정할 때, 송신 노드 A에서 이웃노드 *i* ($i \in N_A$)를 중간 노드로 거쳐 목적지 노드 D까지 데이터를 전달하는데 소비하는 총 에너지 추정 값(식 ②)과 중간 노드로 선택된 노드의 저항 값(식 ④)을 동시에 고려하여야 더 효율적인 라우팅이 될 것이다. 데이터 전송에 참여할 중간 노드를 선택할 때, 선택의 기준이 되는 함수 값을 식 ②에 식 ④를 가중치로 곱한 값으로 정의한다. 단, 저항 값이 같은 노드의 경우에도 잔여 에너지 $Er(i)$ 의 절대적인 값이 더 많은 노드를 선택하여 함수 값이 적용될 수 있도록 $1/Er(i)$ 을 가중치로 곱하여 다음 식 ⑤와 같이 정의한다.

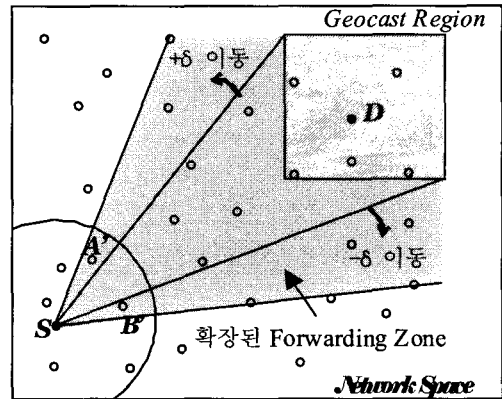
$$\text{TransEC}(i) = \frac{E(i)}{Er(i)^2} \times (e(A, i) + t \lceil \frac{\text{Dist}(i)}{\text{range}} \rceil) \quad (5)$$

각 노드는 자신의 이웃 노드에 대한 기본적인 정보 (즉, 위치정보와 에너지 값 등)들을 알고 있으며, 이 정보는 주기적으로 갱신된다. 목적지 노드를 중심으로 geocast region을 설정하고 소스 노드에서 geocast region까지 고깔모양의 forwarding zone을 설정하여, 송신 노드는 forwarding zone에 있는 자신의 이웃 노드들 중에서 TransEC 값

(식 ⑤의 값)이 최소가 되는 노드를 라우터(중간 노드)로 선택하여 이 노드로 데이터를 전달하고, 이렇게 데이터를 전달받은 노드는 새로운 송신 노드가 되어 다시 위 과정을 반복한다. 이러한 과정을 반복하여 여러 개의 중간 노드들을 거쳐 최종적으로 geocast region에 있는 노드가 데이터를 전달받게 되면, 플로딩 방법을 이용하여 geocast region 내의 모든 목적지 노드들에게 데이터를 전달하여 성공적으로 지오캐스트 전송을 마치게 된다.

그림 3에서 소스노드 S는 목적지 노드 D까지의 거리가 자신의 전송가능 거리(range)를 벗어나므로 다중 홉으로 데이터를 전달해야하며 데이터를 전달할 중간 노드를 선택하여야 한다. S의 이웃 노드들(즉, 원의 내부에 있는 노드들) 중에서 forwarding zone에 속하는 노드들은 A, B, C이므로 이들의 TransEC 값을 각각 구하여 최소가 되는 노드를 라우터(중간 노드)로 선택한다.

만약, 송신 노드의 이웃 노드들 모두가 forwarding zone 안에 있지 않는 경우(즉, 중간 노드로서 적합한 노드가 없는 경우), forwarding zone을 일정한 간격으로 확장시킨다[14]. Forwarding zone의 곱갈을 이루는 두 직선을 일정한 각도만큼 이동시켜 곱갈의 범위를 넓혀주는데, 본 논문에서는 두 직선을 동시에 일정 각도만큼 이동시킨다. 즉, 두 직선이 +x축(양의 방향인 x축)과 만나는 각을 각각 하나는 - δ 도(degree), 나머지 하나는 + δ 도씩 이동하여 총 2δ 도 만큼의 범위를 확장시킨다. Forwarding zone의 곱갈을 이루는 두 직선이 +x축(양의 방향인 x축)과 만나는 각을 각각 하나는 - δ 도(degree), 나머지 하나는 + δ 도씩 이동하여 총 2δ 도 만큼의 범위를 확장시킨다. 그림 4는 forwarding zone의 재설정을 보여주는데, S의 모든 이웃 노드들이 forwarding zone 안에 있지 않으므로 forwarding zone의 곱갈을 이루는 두 직선을 - δ 도, + δ 도씩 각각 이동하여 총 2δ 도 만큼의 범위를 확장시켰을 때, S의 반경 안에 있는 이웃 노드 A' 와 B' 가 확장된 forwarding zone에 포함되는 것을 보여준다.



(그림 4) forwarding zone의 재설정

4. 실험 및 결과

이 장에서는 본 논문에서 제안하는 LBPA 지오캐스팅 알고리즘의 데이터 전송 지연시간과 네트워크 활동시간을 평가한다. 임의의 네트워크 노드들을 생성하여 3장에서 기술한 에너지 속성을 넣은 LBM 알고리즘과 본 논문에서 제안하는 LBPA 지오캐스팅 알고리즘을 비교한다.

본 논문에서 수행한 실험에서는 Ad-hoc 네트워크 전체 크기를 $1000m \times 1000m$ 로 하여 노드들은 100개의 x, y 좌표를 무작위로 추출하여 생성하였고 지오캐스트에 참여하는 소스 노드와 목적지 노드들도 무작위로 선택된다.

Geocast region은 목적지 노드 D의 좌표를 (d_x, d_y) 라 할 때 x좌표에 ± 150 , y좌표에 ± 150 이동하여 얻어지는 네 개의 노드, (d_x-150, d_y+150) , (d_x+150, d_y+150) , (d_x+150, d_y-150) , (d_x-150, d_y-150) 를 꼭지점으로 하는 사각형으로 그 크기는 300×300 으로 하였다.

Forwarding zone은 송신노드 S에서 geocast region의 두 꼭지점 (d_x-150, d_y+150) 와 (d_x+150, d_y-150) 로 각각 직선을 그어서 생기는 곱갈 모양의 안쪽 영역으로 하였다[11]. 통신이 시작되면 소스 노드는 geocast region까지 forwarding zone을 설정하여 forwarding zone안의 노드들 중에서 자

신의 반경 안에 있는 이웃 노드들을 node set으로 만든다. 만일 node set에 속하는 노드가 없는 경우에는 forwarding zone을 확장하는데, 고갈을 형성하는 두 직선의 각을 각각 $\pm 30^\circ (\pm \pi/6 \text{ rad})$ 씩 이동시켰다. (즉, 파라미터 δ 를 $\pi/6$ radian으로 두었다.)

각 노드가 가진 초기 에너지 값도 무작위로 주어지며, 데이터 전송은 자신이 가진 에너지를 모두 소비한 노드가 생길 때까지 라우팅을 형성하여 데이터 전송을 계속 수행한다.

실험에서, 송신 노드 i 에서 이웃노드 j 로 하나의 데이터 패킷을 전송할 때 소모되는 에너지 소모량 e_{ij} 는 3절에서 언급한 식 ①을 사용하였다.

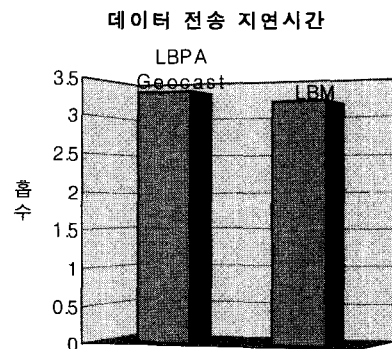
한 홉으로 직접 전송이 가능한 거리를 나타내는 range는 300m로 두었으며, 하나의 데이터 패킷을 0.2 Kbytes로 두고 각 노드의 초기 에너지는 노드 생성 시 0 ~ 5000 Joule을 무작위로 부여받는다. 하나의 패킷을 노드 i 에서 노드 j 까지 전송할 때, 송신 노드 i 에서 소모되는 에너지는 e_{ij} Joule이므로 노드 i 의 잔여 에너지는 e_{ij} Joule만큼 줄어들며, 수신 노드 j 에서 데이터를 수신하여 처리하는데 필요한 에너지는 상당히 작은 값이므로 무시하였다. 또한 에너지가 완전히 고갈되는 노드가 생길 때까지 데이터 전송은 계속하여 수행한다.

데이터 전송에 참여할 중간 노드의 선택 기준이 되는 함수 값 $TransEC$ 식에서 네트워크 상수 t 는 편의상 1로 두고 실험을 수행하였다.

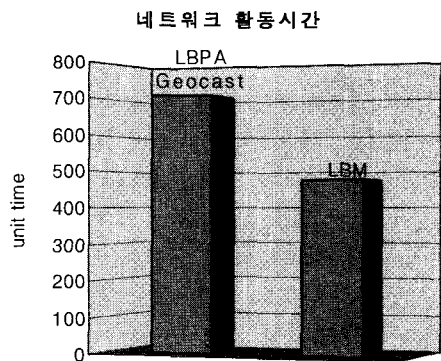
실험은 100번씩 수행하여 평균값을 내었으며, 실험 결과는 그림 5와 그림 6과 같이 나타난다. 데이터 전송 지연시간은 소스 노드에서 목적지 노드까지 데이터가 전송될 때 거치는 홉 수로서 나타내었다. 소스 노드에서 목적지 노드까지 데이터 패킷 하나가 전송될 때를 1 단위시간(unit time)으로 정의하여, 제일 먼저 에너지가 고갈되는 노드가 생길 때까지 (즉, 통신이 단절될 때까지) 데이터가 전송된 단위시간을 네트워크 활동

시간으로 정의하였다.

실험 결과, 그림 5에서 보는 것과 같이 평균 데이터 전송 지연시간은 LBPA 지오캐스트 알고리즘(3.31 hops)이 LBM 알고리즘(3.15 hops)에 비해 약 5% 정도 증가하였고, 네트워크 활동시간에 있어서는 그림 6과 같이 LBPA 지오캐스트 알고리즘(708 unit times)이 LBM 알고리즘(475 unit times)보다 약 49%정도 증가함을 볼 수 있다. 이는 제안하는 LBPA 지오캐스트 알고리즘이 잔여 에너지가 많은 노드를 다음 전송 노드로 선택하여 forwarding zone을 설정해줌으로써 라우팅 경로가 크게 우회되는 것을 방지하여 데이터 전송 지연시간은 그다지 증가되지 않는 반면, 노드들의 잔여 에너지를 균형있게 소비하여 네트워크의 활



(그림 5) 데이터 전송 지연시간의 비교



(그림 6) 네트워크 활동시간의 비교

동시간은 현저히 증가되어 효율성을 높여 준다는 것을 나타낸다. 데이터 전송 지연시간이 다소 증가되더라도 시스템의 활동시간을 연장시켜 통신의 단절을 지연시키는 것이 더 나은 방법으로, 제안하는 LBPA 지오캐스팅 알고리즘은 LBM 알고리즘보다 향상된 알고리즘이라고 할 수 있다.

5. 결론

무선 통신 기술이 발달되고 휴대용 단말기가 보편화됨에 따라 중앙의 특별한 관리 체계 없이 이동성 있는 호스트들 간에 통신이 가능한 무선 Ad-hoc 네트워크 구성이 필요하게 되었다. Ad-hoc은 유선통신망보다 자원이 부족하므로 이로 인한 네트워크 통신 장애가 자주 발생한다. 따라서, 네트워크 활동시간을 최대화하기 위해서는 제한된 에너지 자원을 효율적으로 관리하여야 한다.

기존의 지오캐스팅 알고리즘인 LBM 방법은 데이터 전송 지연시간을 최소화하는 데 중점을 두고 있으며, 플로딩 방식을 사용한 방법이다. 그러나 Ad-hoc 네트워크가 고품질의 서비스를 제공하기 위해서는 전송 지연시간을 줄이는 것 뿐 아니라, 각 이동 호스트의 제한된 에너지 자원을 효율적으로 사용하여 네트워크 활동시간을 연장시켜야 한다.

본 논문에서는 Ad-hoc 네트워크 환경에서 네트워크 활동시간을 증가시키기 위해 전송 에너지를 균형있게 소비하여 각 이동 호스트의 잔여 에너지의 비율을 일정하게 유지하도록 라우팅 설정시 에너지의 효율성을 고려하여 중간 노드를 선택하는 LBPA 지오캐스팅 알고리즘을 제안한다. 이 알고리즘은 위치 정보를 기반으로 한 지오캐스팅에서 데이터 전송 라우팅의 거리, 데이터 전송에 필요한 에너지, 이동 호스트들의 잔여 에너지와 저항 값 등을 고려하여 데이터 전송 지연시간을 줄이면서 전체 네트워크 활동시간을 연장시키는 알고리즘이다. 이 방법은 플로딩 방식과 트리 기반 방식을 복합적으로 사용하는 방법이다.

실험을 수행한 결과, 제안하는 LBPA 지오캐스팅 알고리즘은 데이터 전송 지연시간에서는 LBM 알고리즘에 비해 약 5% 정도 증가하였으나, 네트워크 활동시간 측면에서 볼 때 기존의 LBM 알고리즘보다 평균적으로 49% 더 좋은 결과를 실험을 통하여 보여 주었다.

참고 문헌

- [1] X. Jiang and T. Camp, "Review of geocasting protocols for a mobile ad hoc network", In Proceeding of the Grace Hopper Celebration (GHC), 2002.
- [2] Toh, C-K. *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), 1998.
- [4] R. Kravets and P. Krishnan, "Power Management Techniques for Mobile Communication" In the Proceedings of The Fourth Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (MOBICOM'98).
- [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] 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.
- [7] 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.
- [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] Sung-Ju Lee, Mario Gerla, and Ching-Chuan Chiang, "On-Demand Multicast Routing Protocol", In Preceeding of IEEE WCNC'99, New Orleans, LA, Sep. 1999.
- [10] Y. Ko and N.H. Vaidya, "Location-aided routing(LAR) in mobile ad hoc networks", In Preceeding 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] J. Hightower and G. Borriello, "Location Systems for Ubiquitous Computing", Computer, vol. 34, no. 8, pp. 57-66, Aug. 2001.
- [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. Vaiya, "Geocasting in Mobile ad hoc networks : Location-based multicast algorithm", In Preceeding 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.

● 저 자 소 개 ●



이 주 영

1984년 이화여자대학교 수학과 졸 (학사)

1991년 The George Washington Unvi. Dept. of Electrical Engineering and Computer Science (공학석사)

1996년 The George Washington Univ. Dept. of Electrical Engineering and Computer Science (공학박사)

1996년~현재 : 덕성여자대학교 전산학과 교수

관심분야 : 알고리즘, 병렬처리, 그래프이론, 그래프 드로잉, 무선 통신 알고리즘

E-mail : jylee@duksung.ac.kr