# 노드의 제한적 이동성과 간헐적인 연결 단절을 고려한 $k$-홉 플러딩 기반 멀티캐스트

학생회원 임 광 빈*, 정회원 강 경 란**, 조 영 종**

# $k$-hop Flooding-based Multicast Considering the Limited Mobility of Mobile Nodes and Intermittent Disconnection

Kwang Bin Im* *Student Member*, Kyungran Kang**, Young-jong Cho** *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 군 전술 네트워크와 같이 노드들이 진형을 갖추고 이동하거나 일정 지역 근처에서 움직이는 특징이 있는 환경에서 노드의 이동으로 인해 간헐적인 연결 단절이 발생하는 경우를 지원하기 위한 멀티캐스트 기법을 제안한다. 기존의 잘 알려진 트리 기반의 멀티캐스트 라우팅 기법인 MAODV를 기반으로 하여 간헐적인 연결 단절이 발생하는 환경에 적합한 트리 구성 기법과 데이터 메시지 전달 기법을 제안한다. 특히, 데이터 메시지 전달 기법에 있어서는 자식 노드의 이동을 예측하고 이에 대응하여 데이터 메시지의 플러딩 홉 수 k를 결정하는 알고리즘을 제시한다. 시뮬레이션을 통한 성능 분석에서, 본 논문에서 제안하는 기법을 MAODV와 DTN (disruption tolerant network)에서 제시된 멀티캐스트 라우팅 기법인 Epidemic 라우팅과 ST-multicast와 각각 비교하였다. 성능 분석 결과, 본 논문에서 제안하는 기법이 기존의 MAODV에 비해 트리 재설정 횟수를 크게 줄이고 메시지 전달율을 크게 향상시키는 것을 관찰할 수 있었으며 Epidemic 라우팅 기법에 비해 50% 이하의 낮은 메시지 전달 부담을 초래하면서 85% 이상의 높은 메시지 전달율을 달성하는 것을 관찰할 수 있었다.

**Key Words**: Tactical MANET, Disruption Tolerant Network, Multicast, Tree Maintenance, Flooding

ABSTRACT

In this paper, a multicast mechanism is proposed for intermittently disconnected networks where the nodes move forward in formation or within a limited area. The proposed scheme extends the well-known tree-based multicast routing mechanism called MAODV by modifying the tree construction and data delivery scheme. Especially, an algorithm is introduced which determines the flooding hop count k estimating the degree of the movement of children in the tree. The performance evaluation was done by the simulation and the proposed scheme was compared with MAODV and two multicast routing schemes for DTN (Disruption Tolerant Network) including the Epidemic routing and ST-multicast. The evaluation results show that our scheme improves the original MAODV from the aspect of tree reconstruction events and message delivery ratio. Compared with the Epidemic routing scheme, our scheme achieves 85% message delivery ratio with less than 50% message delivery overhead.

※ 본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소의 지원으로 수행되었습니다.
* LG전자 MC연구소 R&D S/W (ykb0601@naver.com)
** 아주대학교 정보컴퓨터공학부 컴퓨터통신연구실 ({korykang, yjcho}@ajou.ac.kr)
논문번호 : KICS2010-03-101, 접수일자 : 2010년 3월 11일, 최종논문접수일자 : 2010년 4월 29일

## Ⅰ. 서 론

군 전장 환경이 모든 전투 수행 개체가 네트워크를 통해 연결되는 네트워크 중심전 (Network Centric Warfare, NCW)으로 전환됨에 따라, 전장 정보나 센싱 정보, 명령 메시지를 적합한 수신자에게 효과적으로 전달하는 기술을 필요로 하고 있다[1]. 다수의 전투 개체가 작전이나 임무에 따라 동일한 메시지를 수신하며 함께 이동할 경우, 전송자의 정보 전달에 대한 부담을 줄이고, 네트워크 상에 중복되게 전달되는 데이터 메시지의 양을 줄이기 위해 멀티캐스트 기법이 주요하게 고려되어 왔다. 무선 환경에서의 멀티캐스트 기법은 데이터 메시지 전달 경로로 트리 혹은 메쉬 형태의 경로를 사용하고 트리에 오류가 발생했을 시에 제어 메시지를 보내 경로를 재설정한다.

군 전술 네트워크 환경의 경우, 진형을 구성하고 제한된 범위 안에서 이동하나, 이동이 빈번하고 이동 속도가 빠르며 지형 장애에 의한 shadowing이나 fading으로 인한 통신 장애가 자주 생기므로, 트리나 메쉬 기법을 사용할 경우 오류 발생마다 트리를 재설정해야하는 부담이 발생한다[2]. 빈번한 트리 재구성 과정에서 발생한 많은 제어 메시지는 프로토콜의 성능을 크게 저하시킨다.

이를 극복하기 위해 군 전술 네트워크를 DTN으로 간주하고, 연결이 안정적이지 않은 환경에서 신뢰성 있는 전송을 위한 기법들이 제안되어 왔다[3]. 대표적으로 사용되는 기법은 Epidemic 라우팅 기법으로서, 전달해야 할 데이터 메시지를 갖고 있는 노드는 새로운 노드를 만날 때까지 버퍼에 저장하고 새로운 노드가 확인되면 보관했던 데이터 메시지를 전달하는 store-carry- and-forward 방식으로 마치 세균이 전염되는 것처럼 네크워크 전체에 데이터 메시지를 퍼뜨린다[4]. Epidemic 라우팅을 하면 전송률은 증가하지만 목적지까지 경로를 설정하고 전송하는 것이 아니기 때문에 중복된 데이터 메시지가 많이 발생하여 네트워크에 많은 부담을 발생시킨다.

본 논문에서는 간헐적 연결 단절이 발생하는 군 전술 네트워크에서 노드들이 진형을 갖추고 이동하거나 일정 지역 근처에서 움직이는 특징을 활용한 기법을 제안한다. 멀티캐스트 트리 재설정을 최소화하면서 중복 데이터 메시지를 적게 발생시키면서도 데이터 메시지 전달율을 향상시킬 수 있는 기법을 제안한다. 기존에 잘 알려진 트리 기반 멀티캐스트 기법인 MAODV[5]를 기반으로 하여 트리 구성 기법을 일부 수정하고, 노드들의 이동을 고려한 데이터 메시지 전달 기법을 제시한다. 주변 노드들의 변화를 관측하여 트리의 자식 노드가 자신과 단일 홉 거리 밖에 위치할 것으로 판단되면, 트리를 재구성하는 것이 아니라, 자식 노드와의 거리 $k$를 예측하여 데이터 메시지를 $k$-홉 플러딩한다. 진형을 갖추고 일정 지역 내에서 이동하므로 $k$-홉 플러딩으로 이동한 자식 노드가 해당 메시지를 수신할 수 있을 것이고 자식 노드가 곧 다시 단일 홉 거리 안으로 돌아올 것이라고 기대하기 때문에[6] 트리 재구성부터 시도하지 않는다. 기존 트리보다 넓은 범위의 노드들이 데이터 메시지를 수신하게 되므로 지역적으로 트리가 강화되는 효과가 발생한다. 이러한 기법으로 인해 데이터 메시지 전달율을 높일 수 있고 트리를 재구성하는 부담을 줄일 수 있다. 시뮬레이션을 통한 성능 분석에서 본 논문에서 제안하는 기법이 기존 MAODV에 비해 트리 재구성 부담을 크게 낮추고 데이터 메시지 전달율을 크게 개선하는 것을 확인할 수 있었다. 그리고, Epidemic routing 기법에 비해 중복 데이터 메시지를 50% 미만 발생시키면서 85% 이상 수준의 데이터 메시지 전달율을 보이는 것을 확인할 수 있었다.

본 논문의 나머지 부분은 다음과 같다. II절에서는 관련 연구들을 기술하고, III절에서는 본 논문에서 제안하는 기법을 설명한다. IV절에서는 성능 분석 환경 및 결과에 대해 설명하고, V절에서는 앞으로의 연구 방향을 제시하며 본 논문을 맺는다.

## Ⅱ. 관련 연구

MANET (Mobile Ad hoc Network)에서 가장 대표적인 멀티캐스트 경로설정 프로토콜은 MAODV, ODMRP[7] 등을 들 수 있다. MAODV는 가입을 원하는 말단 노드에서부터 경로 설정이 시작되며, RREQ, RREP, MACT의 제어 메시지를 주고 받으면서 멀티캐스트 트리를 구성한다. RREQ는 경로 설정 시작을 알리는 메시지며 트리 노드들에게 RREQ가 도착할 때까지 네트워크에 브로드캐스트된다. 트리 노드에는, 소스 노드, 그룹 멤버 노드, 그리고 멤버 노드는 아니지만 패킷 중계를 하는 릴레이 노드들이 포함된다. 트리 노드가 RREQ를 수신하면 RREP라는 응답 메시지를 전송한다. RREQ를 송신했던 노드가 RREP를 수신하면 이에 대한 응답으로 RREP 송신 노드에게 MACT를 전송한다. MACT를 수신한 트리 노드는 MACT를 전달한 이웃 노드를 자신의 자식 노드로 추가함으로써 경로 설정을 완료한다.

ODMRP는 멀티캐스트를 하는 소스 노드에서부터

경로 설정이 시작되며 소스 노드의 정보를 담은 HELLO 메세지를 수신한 노드가 가장 먼저 HELLO 메시지를 수신한 경로를 통해 메쉬 형태의 멀티캐스트 데이터 메시지 전달 경로를 형성한다. 이 두 알고리즘 모두, 노드들이 자주 이동하고 fading이나 shadowing에 의해 통신장애가 빈번히 일어나는 환경에서는 트리나 메쉬를 재구성하는 부담 때문에 성능이 매우 낮게 나타나게 된다.

간헐적으로 연결 단절이 발생하는 DTN에서의 가장 대표적인 라우팅 기법은 Epidemic 라우팅 프로토콜[4]을 들 수 있다. 이 기법은 store-carry-and-forward 방식으로 데이터 메시지를 전송하되 플러딩 기법을 사용한다. 미리 데이터 메시지의 전달 경로를 설정하는 것이 어렵다고 판단하기 때문에 모든 노드가 메시지를 복제하며 전달하는 방법이다. 이동성이 극심하고 불안정한 네트워크 환경에서 높은 데이터 전송률을 보일 수 있다[8]. 하지만 네트워크에 많은 추가적인 트래픽을 발생시키고, 메시지 간 충돌이 발생할 확률이 높아져서 효율이 떨어지는 단점이 있다.

Epidemic routing의 부담을 완화하기 위해 데이터의 다중 복제를 제한된 범위에서 허용하는 multiple-copy 라우팅 기법이 제시되었다[9]. 또한, 주변 노드들의 정보를 오랜 시간 기록하여 충분한 정보를 이용해 목적지를 예측하여 다중 복제 기법에 예측 기법들이 제시되어 메시지가 우회하는 것을 방지할 수 있게 되었다[10]. 그런데, 이 기법들은 데이터 메시지 전달이 하루 이상 길어지는 환경을 대상으로 하며, 사람의 사회적인 특성에 따라 주로 이동하는 경로를 예측하기 때문에 본 논문에서 고려하는 제한 시간 내에 작전을 마쳐야 하는 군 전술네트워크에는 적용하기 어렵다.

참고문헌 [2]에서는 DTN에서의 멀티캐스트 라우팅 기법들을 분석하고 새로운 라우팅 모델 ST-multicast (Static Tree-based Multicast)를 제시하였다. ST-multicast는 Epidemic 라우팅 기법과 멀티캐스트 트리 기법을 결합하여 데이터 메시지 전달 전에 트리를 구성하고 트리를 따라 데이터 메시지를 전송한다. 트리 노드의 이동으로 데이터 메시지 전송이 어려운 경우에는, 해당 노드가 다시 이동해서 원 위치로 돌아오기까지 기다렸다가 메시지를 전달하는 방식을 제안하고 있다. 노드들의 이동이 적은 환경에서는 적용이 가능하나 노드들의 이동이 심한 경우에는 데이터 메시지 전달이 가능할 수 있으나 지연 시간이 길어져서 적시에 전달되는 것을 보장하기는 어렵다.

## Ⅲ. 제안 기법

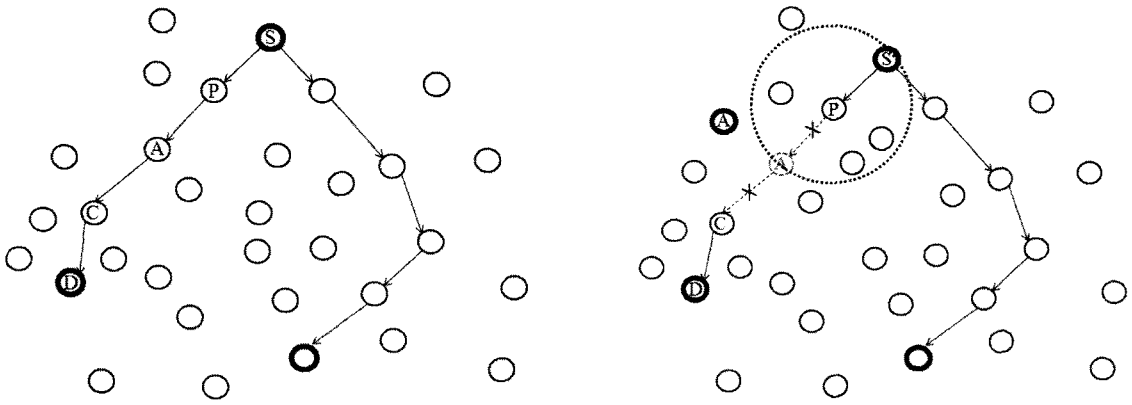
### 3.1 개요

본 논문에서는 비연속적인 메시지를 전달하는 응용을 대상으로 하며, 군 전술 네트워크와 같이 그룹으로 이동하며 동일 작전을 수행하기 위해 일정 범위 내에서 이동하는 환경을 대상으로 한다. 멀티캐스트 트리를 구성하는 기법이나 재구성하는 기법은 기존의 트리 기반 멀티캐스트 트리 기법인 MAODV를 기반으로 하여 간헐적으로 연결 단절이 발생하는 환경을 지원하기 위한 방안을 추가 정의한다. 첫째, 트리 구성 절차에서 트리 구성 지연 시간을 단축하기 위해 MACT를 전송하는 과정을 생략한다. 둘째, 이웃 노드의 존재를 확인하기 위해 주기적으로 Beacon을 수집한다. 셋째, 트리의 자식 노드가 1-홉 범위 내에 있지 않으면 트리를 재구성하는 것이 아니라 $k$-홉 플러딩을 적용한다.

네트워크 내 모든 노드들은 연결이 단절되었는지 확인하기 위해 데이터 메시지 전달과 무관하게 이웃 노드들에게 주기적으로 Beacon을 브로드캐스트한다. 이러한 Beacon을 활용하여 각 노드는 이웃 노드 집합 NS (Neighbor Set)을 관리하고, 트리를 형성하는 과정에서도 NS가 공집합이 아닌 경우에만 전달하며, 데이터 메시지 전달 과정에서도 NS의 변화를 관찰하고 이에 근거하여 자식 노드와의 거리 $k$를 예측하여 이를 메시지의 최대 전달 범위로 사용한다.

본 논문에서 제시하는 데이터 메시지 전달 기법이 해결하고자 하는 상황이 그림 1에 예시되어 있다. 노드들의 이동이 안정된 상태에서 그림 1(a)와 같이 멀티캐스트 트리가 구성되었는데, 노드 A가 이동하여 부모 노드인 P의 단일 홉 거리에서 벗어나게 되면 데이터 메시지 전달에 실패하게 된다. 기존 MAODV에서는 노드 C에 의해 트리 재구성 요청이 발생하게 되고 트리를 재구성하고 나서야 데이터 메시지 전달이 계속될 수 있다. 즉, 트리를 재구성하는 과정에서 데이터 손실이 크게 발생하게 된다.

본 논문에서 제안하는 기법은, 노드 A를 포함한 노드 P의 주변 노드들이 이동하고 있다면, 노드 P는 주변 노드들의 변화를 관측하고 이를 토대로 자식 노드인 노드 A의 이동을 예측할 수 있고 이에 따라 데이터 메시지 전달 홉 수를 가변적으로 결정하여 노드 A가 수신할 수 있도록 한다. 그림 1에서는 2-홉 플러딩으로 노드 P에서 A에게 데이터 메시지 전달이 가능하다. 노드 A가 노드 P의 예측한 전달 홉 수보다 벗어난 위치에 있게 되면 데이터 메시지 전달에 계속적으로




(a) 안정된 상태에서 형성된 트리 (b) A의 이동으로 A와 C 사이에 통신 장애 발생

그림 1. 간헐적인 연결 단절에 의해 일시적으로 트리가 훼손된 상황 예시

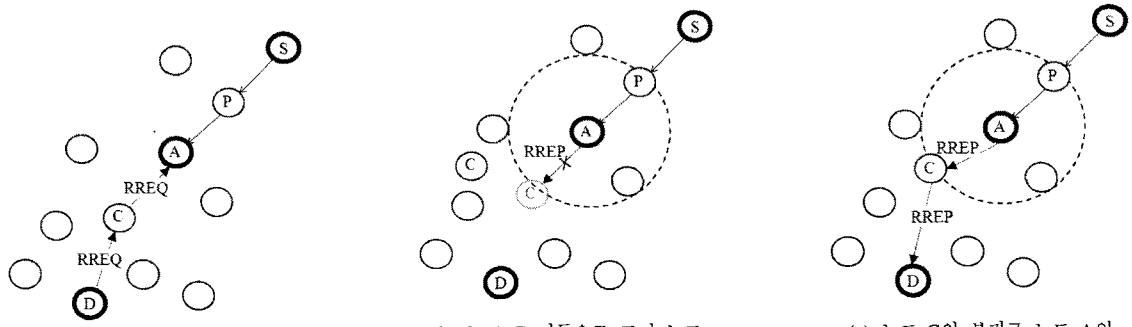
실패하게 되어 트리 재구성 절차를 시작하게 된다. 하지만, 노드 A가 먼 거리로 이동하지 않았고 다시 노드 P의 단일 홉 거리 안에 들어오게 된다면 트리 재구성 없이도 데이터 메시지 전달을 지속할 수 있다는 장점을 갖는다.

### 3.2 멀티캐스트 트리 구성

MAODV에서 정의한 RREQ와 RREP를 사용하여 멀티캐스트 트리를 구성한다. RREQ를 수신한 노드가 RREQ를 재브로드캐스트하는 기준은 MAODV와 유사하나, 한 가지 더 추가된 조건은 현재 주기 동안 관찰된 이웃 노드 집합 NS가 공집합이 아닌 경우에만 RREQ를 재브로드캐스트한다. NS가 공집합이라면 RREQ를 브로드캐스트해도 수신할 이웃 노드가 없기 때문이다.

RREQ가 트리 노드에 도착하면 RREQ가 거쳐 온 방향의 반대 방향으로 RREP가 전송되어야 하는데, 본 논문에서 고려하는 환경에서는 RREQ가 거쳐 온 경로가 유지되지 못하는 경우가 발생할 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 RREP를 전송할 때 RREQ 송신자인 노드가 NS에 포함될 때까지 기다렸다가 RREP를 전달한다. 제어 메시지는 일반 데이터 메시지보다 크기가 작고 전송할 때 데이터보다 우선순위가 높기 때문에 전송 시간이 상대적으로 작다. 따라서 데이터 메시지 전달 경로를 확보할 때까지 제어 메시지를 저장하는 것에 대한 노드의 부담은 크지 않다. 다만, 트리를 완성하는데 걸리는 지연 시간이 길어지는 부담이 있으나, 멀티캐스트 세션이 지속되는 시간이 충분히 길다면 트리 구성하는데 걸리는 지연 시간이 미치는 영향은 미미하다.

기존의 MAODV에서는 MACT를 사용해서 경로를 확정하는 절차를 거쳤으나 연결을 보장할 수 없는 환경에서는 트리 구성 시간을 지나치게 지연시킬 수 있다. 제안하는 기법에서는 MACT를 사용하지 않고, RREP가 전달되는 경로가 멀티캐스트 트리 경로로 확정되는 것으로 한다.




(a) 노드 D가 RREQ 전송 (b) 노드 C 이동으로 트리 노드 A가 RREP를 전달할 수 없음 (c) 노드 C의 복귀로 노드 A의 RREP 전달 성공

그림 2. 멀티캐스트 트리 구성 과정 예시

그림 2에서 멀티캐스트 트리 구성 과정의 예를 보이고 있다. 데이터 소스인 노드 S와 수신 노드인 P, A 사이에는 멀티캐스트 데이터 메시지 전달 경로가 설정되어 있는 상황에서 신규 가입을 원하는 노드 D가 RREQ를 전송하고 노드 C를 거쳐 노드 A에게 전달되었을 때 (그림 2(a)), 노드 C가 잠시 이동하여 노드 A의 전달 범위에 존재하지 않게 되면 노드 A는 RREP를 전달하지 않고 저장하고 있다가 노드 C가 다시 이동하여 이웃 노드에 위치하게 되었을 때 RREP를 전달하여 RREQ의 발송 노드인 노드 D에게 전달되어 멀티캐스트 트리 경로 설정을 마치게 된다. 노드 C가 시스템에서 정의하는 일정 시간 이상 이웃 노드로 돌아오지 않는 경우, 노드 A는 트리 구성에 실패한 것으로 판단하고 해당 RREP를 삭제한다. RREQ 송신 노드도 일정 시간 RREP를 수신하지 못한 경우에는 RREQ를 재브로드캐스트하여 트리 구성을 재시도한다.

### 3.3 데이터 전송

멀티캐스트 트리 상에 존재하는 모든 노드는 주기적으로 수신하는 Beacon을 분석하여 이웃 노드 집합 NS를 관리하고, NS의 변화에 기반하여 자식 노드와의 거리 예측치 $k$를 주기적으로 갱신한다. $k$의 값을 결정하는 방법에 대한 자세한 설명은 3.4절에 제시되어 있다.

모든 노드는 $k$ 값을 데이터 메시지의 최대 전달 범위로 설정하여 플러딩한다. 만약 이웃 노드 집합 NS가 공집합이라면 플러딩하지 않고 메시지를 저장하고 있다가, Beacon에 의해 이웃 노드의 존재가 확인되면 메시지를 플러딩한다. 플러딩된 데이터 메시지를 수신한 노드 중 트리 노드가 아닌 노드는, 메시지의 최대 전달 범위를 1 감소시키고 플러딩한다. 트리 노드는, 메시지에 설정되어 있는 최대 전달 범위 값과 자신의 $k$ 값이 다를 경우 더 큰 값을 선택하여 메시지의 최대 전달 범위로 설정하여 플러딩한다. 이때도 이웃 노드 집합 NS가 공집합이면 메시지를 플러딩하지 않고 저장하고 있다가 Beacon을 수신하면 해당 Beacon 송신자를 NS에 추가시키고, 저장된 메시지를 플러딩한다.

그림 1(a)와 같이 노드 S, P, A, C, D를 거치는 트리 내의 경로가 설정되어 있는 상황에서 그림 1(b)와 같이 노드들이 이동한 상황을 고려해 보자. 소스 노드 S는 *NS*에 변화가 없으므로 $k$=1이므로 메시지 최대 전달 범위를 1로 해서 플러딩하고, 이를 노드 P가 수신한다. 그런데, 그림 1(b)에 제시된 바와 같이 노드 P는 그림 1(a)에 비해 신규로 추가된 이웃 노드와 이웃 노드에서 사라진 노드들을 관측하고 $k$=2로 결정하였

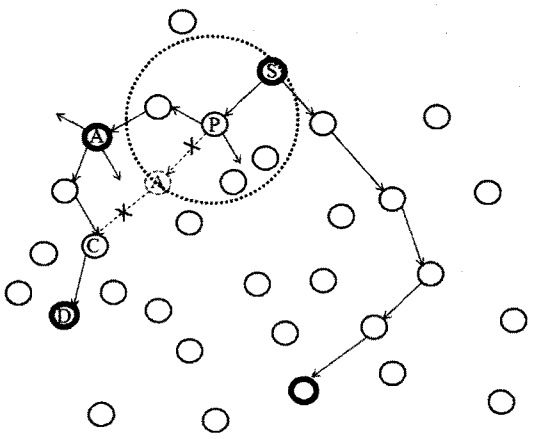



그림 3. 그림 1(b)에 제시된 상황에서의 k-hop 플러딩 예시

으므로, 그림 3에 제시된 바와 같이 데이터 메시지의 최대 전달 범위를 2로 설정하여 플러딩하면 노드 A에게까지 메시지가 전달될 수 있다. 노드 A 역시 자신의 이동으로 NS에 변화가 발생했으므로 $k$=2로 결정하고 이를 반영하여 메시지를 플러딩하게 된다. 노드 C에게도 데이터 메시지가 성공적으로 전달되고 트리의 최하단에 위치한 멤버 노드 D에게도 데이터 메시지가 성공적으로 전달된다.

$k$-홉 범위 안에 있는 노드들이 플러딩을 하게 되므로, $k$가 크면 MAC (Media Access Control) 계층에서 메시지 전달 시에 충돌이 일어날 확률이 높아진다. MAC 계층에서의 충돌 확률을 낮추기 위해 각 노드는 메시지 전달 전에 기다리는 시간을 메시지 전달 범위 값에 비례하게 결정한다. 예를 들어, IEEE 802.11과 같은 방식을 사용한다면, MAC 계층에서 결정한 backoff time 구간의 최대값을 수식 (1)과 같이 수정한다.

$$RB = RB \cdot F_h^{\,2} \cdot RT \qquad (1)$$

여기서, *RB*는 MAC 프로토콜에 의해서 결정된 backoff time 구간의 최대값, $F_h$는 플러딩할 메시지의 최대 전달 범위, *RT*는 재전송 횟수를 의미한다. $F_h$에 제곱하여 비례함으로써, 최대 홉 수가 크면 클수록 backoff time 구간이 길어져서 선택 범위가 커지므로 충돌이 발생할 확률을 줄일 수 있다.

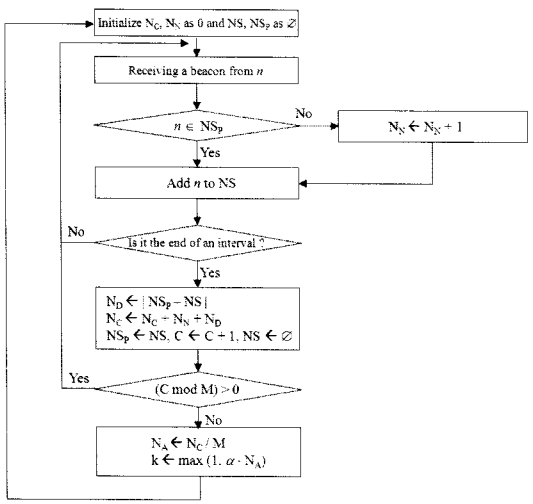
### 3.4 자식 노드와의 거리 k 예측 방법

각 트리 노드는 Beacon을 사용해서 자신의 자식 노드가 단일 홉 범위 안에 있는지 여부를 파악할 수

있지만, 자식 노드가 자신의 단일 홉 범위 안에 있지 않을 때 자신과의 거리가 얼마인지 알 수 없다. 자식 노드가 자신에게서 얼마나 떨어져 있는지 예측하기 위한 힌트로 이웃 노드들의 평균 변화량을 활용한다. 일시적인 변화에 지나치게 민감하게 반응하는 것을 방지하기 위해 $M$ 시간 구간 동안 이웃 노드들의 변화량 $N_C$을 측정하고 이를 사용하여 단위 시간 구간 동안의 평균 변화량 $N_A$를 계산하여 자식 노드와의 거리 예측치 $k$를 결정한다. $N_C$는 지난 시간 구간의 이웃 노드 집합인 $NS_P$에 비해 새롭게 추가된 노드의 수 $N_N$과 사라진 노드의 수 $N_D$의 누적합으로 계산한다. 그림 4에 자식 노드와의 거리 예측치 $k$를 계산하기 위한 기본 알고리즘이 제시되어 있다.

$k$를 구하기 위해 $N_A$에 $\alpha$를 곱하는 것은 민감도를 조절하는 것으로, 민감도 계수 $\alpha$ 값을 크게 하면 $k$가 노드들의 변화율이 민감하게 반응하게 되고, $\alpha$ 값을 작게 하면 노드들의 이동에 대해 둔감하게 작용하게 된다. 다시 말해서, $\alpha$ 값이 클수록 트리의 자식 노드들의 위치 예측이 보다 정확해지면서 메시지 전달율을 높일 수 있다. 그런데, $k$-홉 플러딩으로 인한 메시지 전달 부담이 함께 증가하므로 적절한 $\alpha$ 값을 선택하는 것이 중요하다.

최종적으로 $k$를 결정하는데 있어 다음의 세 가지 사항을 추가로 고려해야 한다. 그림 4에 제시된 알고리즘에 의해 계산된 $k$를 $k_{temp}$라 할 때, 첫째, 모든 자식 노드들이 현재 시간 구간의 NS에 존재한다면




$N_N$: 이전 intetval에 비해 새로 추가된 이웃 노드 수
$N_D$ : 이전 interval에 비해 이웃에서 사라진 이웃 노드 수
NS : 현재 interval 동안의 이웃 노드 집합
$NS_P$ : 이전 interval 동안의 이웃 노드 집합
M : k를 갱신하는 주기
$\alpha$ : k 계산에 사용된 민감도 계수, $(0.0 < \alpha \leq 1.0)$

그림 4. $k$ 계산 기본 알고리즘

$k$=min(2, $k_{temp}$)가 된다. 노드의 이동 속도를 고려할 때, 이웃 노드 집합이 갱신되는 짧은 시간 동안 노드들의 이동거리는 2-홉 범위 이하로 제한될 것이기 때문이다. 둘째, 자식 노드들 중에 하나라도 NS에 포함되지 않은 경우, 단일 홉 범위보다 멀어졌다는 것이기 때문에 $k$=max(2, $k_{temp}$)로 설정된다. 셋째, 모든 자식 노드들이 지난 $M$ 시간 구간 동안 단일 홉 거리 안에 있었다면 차후 $M$ 시간 구간 동안도 단일 홉 거리 안에 있을 확률이 높으므로[11], $k$=1로 설정한다.

## Ⅳ. 성능 분석

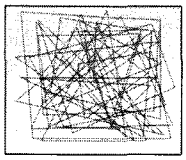
### 4.1 시뮬레이션 환경

성능 분석을 위한 시뮬레이션은 Qualnet 4.0[12]으로 수행하였다. 시뮬레이션에 적용된 환경 변수의 값은 표 1에 요약되어 있다. 총 50개의 노드가 2500m × 2500m 내에 랜덤하게 분포되어 있는 상황을 설정하였다. 비교 대상으로 MAODV, Epidemic 라우팅, ST-multicast 프로토콜을 선정하여 동일한 환경에서 시뮬레이션 코드를 개발하였다. 본 논문에서 제안하는 기법을 LAMT (Locally Augmented Multicast Tree)라 명하고, 네트워크의 각 노드는 매 5초마다 $k$를 계산하여 업데이트 되도록 설정하였고 Beacon 발생 간격은 1초로 설정하였다. $k$를 계산하는 공식에서 사용되는 $\alpha$는 0.4로 설정하였다.

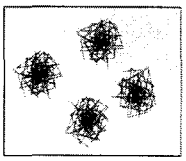
노드의 이동 모델로는 네트워크 내 노드들이 계획된 범위 안에서 이동하고 간헐적으로 일부의 노드의 위치가 변화하는 상황을 반영한 모델을 사용하였다. 대부분 목적지로 직선으로 이동하나 지형적인 요인이나 순간적인 노드의 움직임이 발생할 것이다. 목적지 방향으로 이동하는 벡터는 모든 노드에게 동일하게 적용되므로 하나의 노드는 그림 5(a)와 같이 random way point (RWP) 이동 모델의 형태로 움직이게 되고, 여러 노드들의 움직임을 살펴보면 그림 5(b)와 같이

표 1. 시뮬레이션 환경

| 항목 | 값 |
|---|---|
| Number of nodes | 50 |
| Terrain dimension | 2500m * 2500m |
| Simulation time | 600sec |
| Mobility model | scoped random way point |
| Wireless setting | IEEE 802.11b |
| Transmission range | 250~300m |
| Beacon interval | 1 sec |
| $k$ update | 5 sec |
| Number of samples | 50 |



(a) random way point 이동 모델



(b) scoped random way point 이동 모델

그림 5. 시뮬레이션에 사용된 이동 모델 예시

제한된 범위 안에서 각자 RWP 모델로 이동하는 scoped RWP 모델로 표현된다. Scoped RWP 모델에서의 이동 위치 $(x(t+\tau), y(t+\tau))$는 다음의 수식에 따라 계산된다.

$$x(t+\tau) = x(t) \pm D_{\max} \times random(0,1) \times e^{-v}$$
$$y(t+\tau) = y(t) \pm D_{\max} \times random(0,1) \times e^{-v}$$

여기서, $v$는 2로 설정하였다.

본 논문에서 제안하는 기법과 비교 대상 가지 기법 모두 각 조건에 대해 50회의 실험을 거쳤으며 99%의 신뢰도로 표준 오차를 그래프에 표기하였다.

실험 결과로 관측한 측정치는 다음과 같다.

트리 재구성 횟수 (tree reconstruction): 트리 재구성을 요청하는 RREQ가 발생된 횟수이다.

$$\text{메시지 전달율 (message delivery ratio)} = \frac{\frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m} N_R(i)}{N_S}$$

메시지 전달율은 송신 노드가 발송한 메시지 갯수 대비 각 멤버 노드가 수신한 메시지 갯수의 평균값을 의미한다. 계산식에서, $m$은 멤버 노드의 개수를 의미하고, $N_R(i)$는 멤버 $i$가 수신한 데이터 메시지 개수를 의미하고, $N_S$는 소스 노드가 발송한 데이터 메시지의 개수이다.

$$\text{메시지 전달 부담 (message delivery overhead)} = \frac{\sum_{i=1}^{n} N_R(i)}{N_S}$$

메시지 전달 부담은 하나의 데이터 메시지 당 네트워크 내에 복제되는 메시지의 개수를 의미한다. 계산식에서, $n$은 네트워크 내 노드의 개수, $N_R(i)$는 노드 $i$가 수신한 데이터 메시지의 개수를 의미한다. 동일한 메시지를 중복해서 수신한 경우도 모두 포함해서 계산한다.

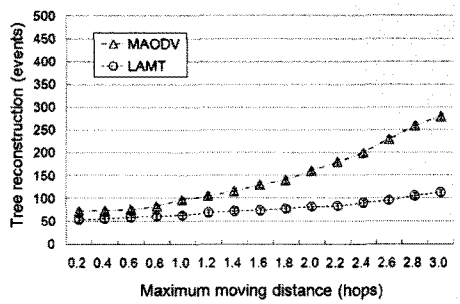
$$\text{평균지연시간 (Average delay)} = \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}\frac{1}{N_R(i)}\sum_{i=1}^{N_R(i)} d(p(j))$$

평균 지연 시간은 각 멤버 노드가 수신한 메시지의 전달 지연 시간의 평균값을 의미한다. $m$은 그룹 멤버의 수를 의미하고, $d(p(j))$는 $j$번째 수신한 패킷의 종단간 지연 시간을 의미한다.

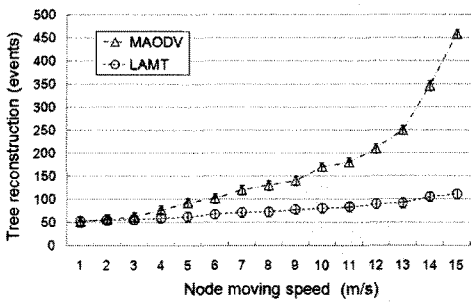
### 4.2 성능 분석 결과

#### 4.2.1 MAODV와의 성능 비교

본 논문에서 제시하는 기법이 기반으로 하고 있는 MAODV에 비해 성능이 어떻게 개선되었는지 노드 최대 이동 거리와 이동 속도를 변화시키면서 비교한 결과가 그림 6, 7, 8에 제시되어 있다. 그림 6에서 볼 수 있는 바와 같이, 본 논문에서 제시하는 $k$-홉 플러딩 기법을 사용하는 경우가 MAODV에 비해 트리 재구성 횟수를 크게 감소시키는 것으로 확인되었다. $k$-홉 플러딩을 통해 원래 위치에서 이동해 있는 노드에게도 데이터 메시지가 전달될 수 있으므로 메시지 손실에

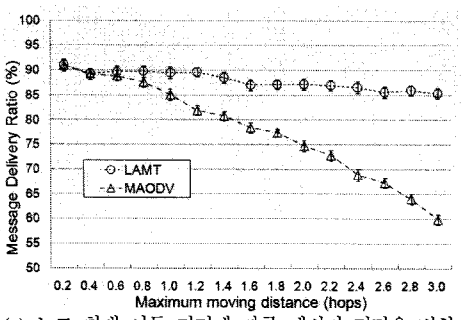



(a) 노드 최대 이동 거리에 따른 트리 재구성 횟수 변화

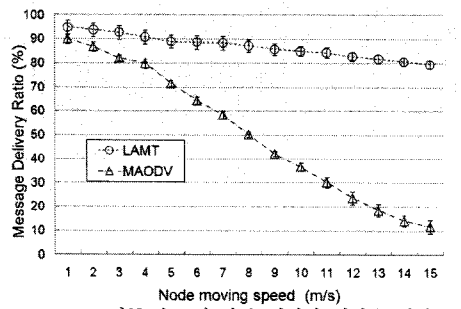



(b) 노드 이동 속도에 따른 트리 재구성 횟수 변화

그림 6. 노드 최대 이동 거리와 노드 이동 속도에 따른 트리 재구성 횟수 변화 비교

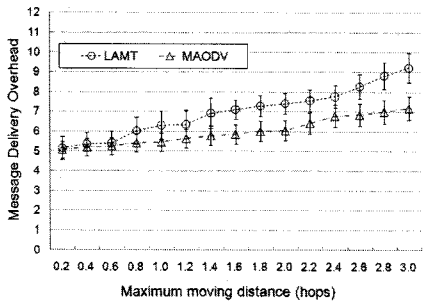



(a) 노드 최대 이동 거리에 따른 메시지 전달율 변화

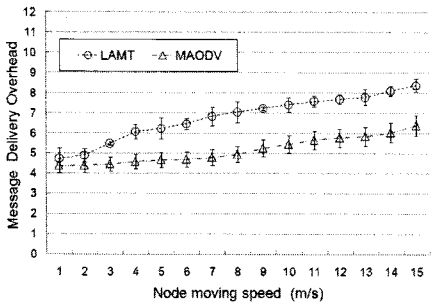



(b) 노드 이동 속도에 따른 메시지 전달율 변화

그림 7. 노드 최대 이동 거리와 노드 이동 속도에 따른 메시지 전달율 변화 비교




(a) 노드 최대 이동 거리에 따른 메시지 전달 부담 변화




(b) 노드 이동 속도에 따른 메시지 전달 부담 변화

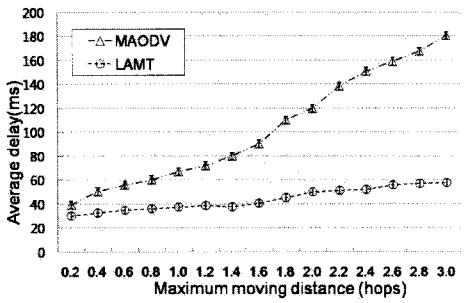
그림 8. 노드 최대 이동 거리와 노드 이동 속도에 따른 메시지 전달 부담 변화 비교

의한 트리 재구성 요청이 크게 덜 발생되기 때문이다.

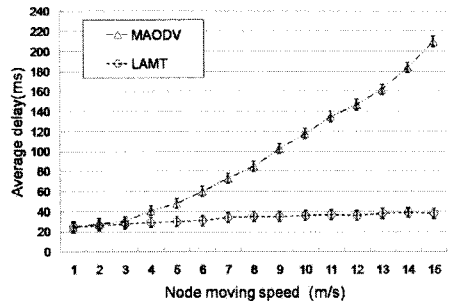
그림 7은 메시지 전달율의 변화를 보여주고 있다. MAODV는 그림 6에 제시되어 있는 바와 같이 빈번한 트리 재구성 과정에서 데이터 메시지의 손실이 많이 발생한다. 또한, 노드가 빠르게 이동할수록 트리가 손상될 확률이 높기 때문에 데이터 메시지의 손실이 많이 발생한다. LAMT는 $k$-홉 내에서는 데이터 메시지를 수신할 수 있으므로 기존 MAODV에 비해 데이터 전달율을 크게 높일 수 있다.

그림 8은 메시지 전달 부담의 변화를 보여주고 있다. MAODV도 단일 홉 범위의 플러딩을 사용하므로 중복된 메시지가 발생하지만, 본 논문의 기법은 2-홉 이상의 플러딩이 발생하므로 MAODV에 비해 최대 1.3배의 높은 메시지 전달 부담을 일으키게 된다. 그러나, 그림 6에 제시된 메시지 전달율이 최대 9배 이상 향상되는 효과를 고려한다면 메시지 전달 부담의 증가 분에 의한 부정적인 영향은 미미하다고 볼 수 있다.

그림 9는 노드 최대 이동 거리와 이동 속도를 변화시키면서 평균 지연 시간의 변화를 보여주고 있다. MAODV의 경우 잦은 경로 단절로 의한 트리 재설정이 자주 발생하여 메시지 전달 지연 시간이 제안하는 기법에 비해 길게 나타났다. 노드 최대 이동 거리를




(a) 노드 최대 이동 거리에 따른 평균 지연 시간 변화




(b) 노드 이동 속도에 따른 평균 지연 시간 변화

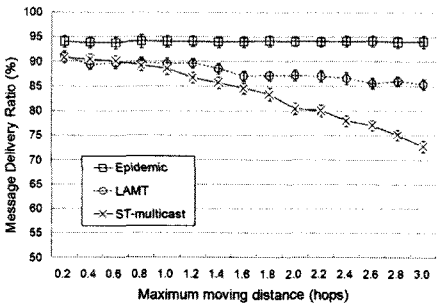
그림 9. 노드 최대 이동 거리와 노드 이동 속도에 따른 평균 지연 시간 변화 비교

변화시키면서 관찰한 경우, MADOV가 제안하는 기법에 비해 최대 3배 이상의 지연 시간이 길게 나타났으며, 노드 이동 속도를 변화시킨 경우에는, 최대 5배 이상의 긴 평균 지연 시간을 나타냈다.

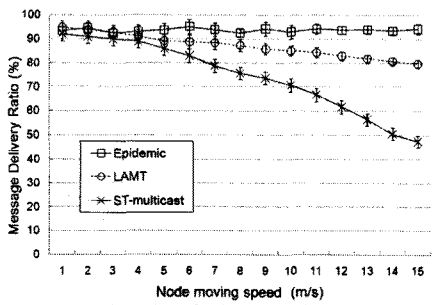
#### 4.2.2 DTN 멀티캐스트 라우팅 기법과의 성능 비교

그림 10, 11, 12는 Epidemic 라우팅, ST-multicast와 제안하는 기법과의 성능 비교 결과를 보여주고 있다. 그림 10은 메시지 전달율의 변화를 보여주고 있다. Epidemic 라우팅이 가장 높은 메시지 전달율을 보이고 있고, LAMT가 Epidemic 라우팅과 유사하지만 조금 낮은 메시지 전달율을 보여주고 있다. ST-multicast가 가장 낮은 메시지 전달율을 보이고 있다. 이는 이동 범위가 큰 경우에는 이동한 자식 노드가 일정 거리 안에는 위치하지만, 부모 노드의 단일 홉 범위 안으로 돌아오지 않는 경우가 많기 때문이다. 이러한 경우에도 LAMT는 2-홉 이상으로 전달하여 해당 자식 노드에게 데이터 메시지를 전달할 수 있다.

그림 11과 12는 각각 메시지 전달 부담과 평균 지연 시간을 비교하고 있다. Epidemic 라우팅은 모든 가능한 이웃 노드들에게 전달하므로 가장 높은 메시지 전달 부담률과 낮은 평균 지연 시간을 나타내고 ST-multicast는 자식 노드가 단일 홉 범위 안에 들어

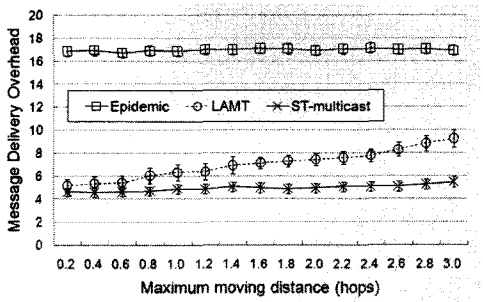



(a) 노드 최대 이동 거리에 따른 메시지 전달율 변화

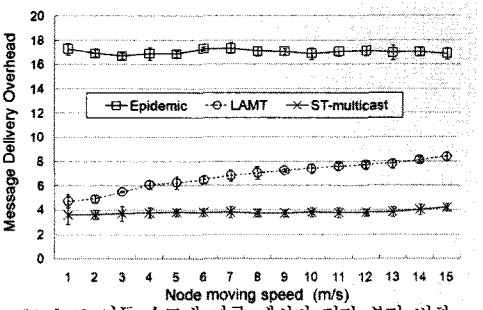



(b) 노드 이동 속도에 따른 메시지 전달율 변화

그림 10. 노드 최대 이동 거리와 노드 이동 속도에 따른 메시지 전달율 변화 비교

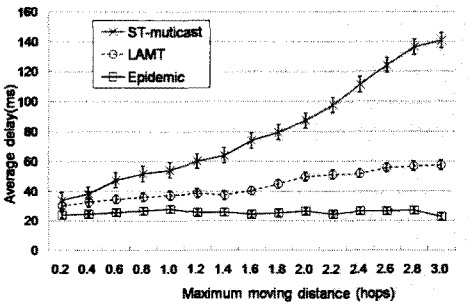



(a) 노드 최대 이동 거리에 따른 메시지 전달 부담 변화

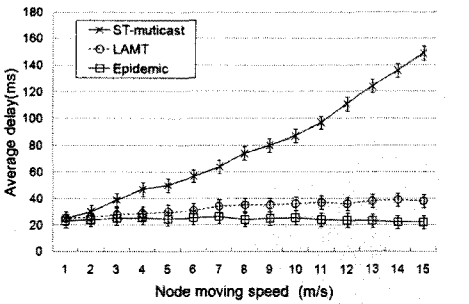



(b) 노드 이동 속도에 따른 메시지 전달 부담 변화

그림 11. 노드 최대 이동 거리와 노드 이동 속도에 따른 메시지 전달 부담 변화 비교




(a) 노드 최대 이동 거리에 따른 평균 지연 시간 변화

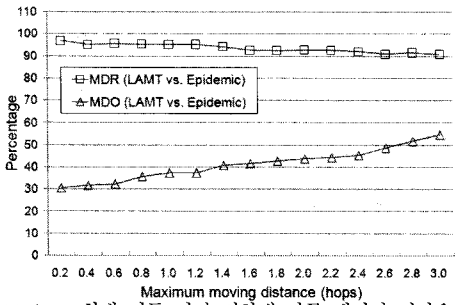



(b) 노드 이동 속도에 따른 평균 지연 시간 변화

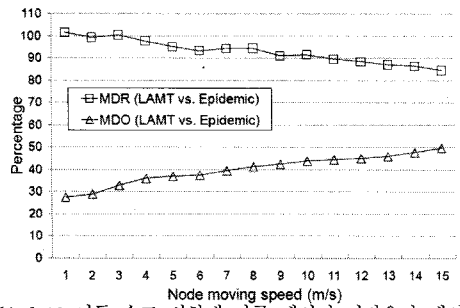
그림 12. 노드 최대 이동 거리와 노드 이동 속도에 따른 평균 지연 시간 변화 비교

왔을 때 전달하므로 가장 낮은 메시지 전달 부담과 높은 평균 지연 시간을 보여주고 있다. LAMT는 Epidemic에 비해 크게 낮지만 ST-multicast에 비해서는 다소 높은 메시지 전달 부담을 보여주고 있다.

그림 13은 가장 높은 메시지 전달율을 보이는 Epidemic 라우팅 기법과 LAMT와의 성능 비교 결과이다. 노드 최대 이동 거리를 증가시키면서 메시지 전달율의 변화를 비교했을 때 Epidemic 라우팅에 비해 LAMT가 90% 수준의 메시지 전달율을 보이면서 55% 이하의 메시지 전달 부담을 요구하는 것을 볼 수 있다. 노드 이동 속도를 증가시키면서 측정을 했을 경우에도 50% 이하의 메시지 전달 부담을 초래하면서 85% 이상의 메시지 전달율을 달성하는 것을 볼 수 있다.




(a) 노드 최대 이동 거리 변화에 따른 메시지 전달율과 메시지 전달 부담 비교

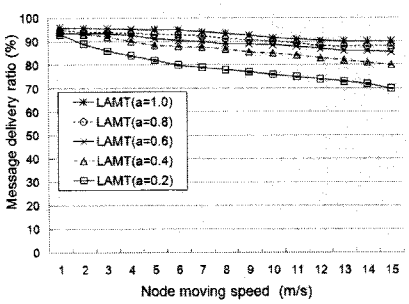



(b) 노드 이동 속도 변화에 따른 메시지 전달율과 메시지 전달 부담 비교

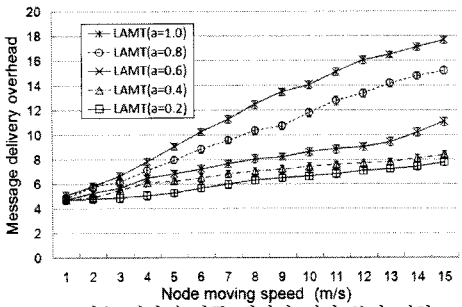
그림 13. 논문에서 제시하는 기법과 Epidemic 라우팅과의 성능 비교

4.2.3 계수에 따른 성능 분석

그림 14는 $k$를 계산할 때 사용되는 민감도 계수 $a$의 값이 성능에 미치는 영향을 관찰한 결과를 보여주고 있다. 동일한 노드 이동 속도의 조건에서 $a$의 값이 클수록 높은 메시지 전달율과 메시지 전달 부담을 보여주고 있다. 그런데, 동일한 노드 이동 속도에서, 전달 부담의 상승분이 전달율의 감소분에 비해 크다는 것을 관찰할 수 있다.




(a) 계수 변화에 따른 메시지 전달율 변화




(b) 계수 변화에 따른 메시지 전달 부담 변화

그림 14. 노드 이동 속도에 따른 계수 $a$ 값 변화가 미치는 영향 분석

그림 14에서 서로 다른 $a$에 대해 이동 속도 1 m/s 증가할 때 메시지 전달율 감소분과 메시지 전달 부담 증가분의 평균값을 구하여 그래프로 나타내 보여주고 있다. $a$=0.2는 메시지 전달 부담 증가분이 작지만 메시지 전달율 감소분이 커서 $k$-홉 플러딩의 효과가 크게 나타나지 않고, $a$가 증가하면서 메시지 전달율 감소분이 작아지고 메시지 전달 부담 증가분이 증가하다가 $a$=0.6을 지나게 되면 $a$ 증가에 따른 메시지 전달율의 상승분이 메시지 전달 부담 증가분보다 작게 나타난다. 본 실험 결과로는 $k$를 계산할 시에 $a$=0.6을 적용하는 것이 가장 이상적인 효과를 얻을 수 있다 하겠다.

## V. 결 론

본 논문에서는 노드들이 진형을 갖추고 이동하거나 일정 지역 근처에서 움직이는 특징이 있는 환경에서 노드의 이동으로 인해 간헐적인 연결 단절이 발생하는 경우를 지원하기 위한 멀티캐스트 기법을 제안하였다. 기존의 MAODV를 기반으로 하여 간헐적인 연결 단절이 발생하는 환경에 적합하도록 트리 구성 기법, 데이터 메시지 전달 기법을 제안하였다. 특히, 데이터 메시지 전달 기법에 있어서는 자식 노드의 이동을 예측하고 이에 대응하여 2-홉 이상의 플러딩을 결

정할 수 있는 방안을 제시하였다. 이를 통해 기존의 MAODV에 비해 트리 재설정 횟수를 크게 줄일 수 있었으며 Epidemic 라우팅 기법에 비해 50% 이하의 낮은 메시지 전달 부담을 초래하면서 85% 이상의 높은 메시지 전달율을 달성할 수 있었다.

본 논문에서는 트리 기반의 멀티캐스트 라우팅 기법을 확장하는 방안을 제시했으나, 앞으로 $k$-홉 플러딩 기법은 트리 외의 메쉬 기반의 멀티캐스트 라우팅 기법에도 적용 가능하므로, 다른 기법들에도 적용하여 성능 개선 효과를 분석할 것이다. 그리고, $k$를 결정하는 기준을 보다 정교화하여 보다 다양한 이동 환경에서도 적용할 수 있는 기법으로 발전시켜 나갈 것이다.

## 참 고 문 헌


[1] David S. Albert et al, "Network Centric Warfare: Developing and Leveraging Information Superiority," CCRP Publication, 2000.

[2] Qing Ye et al, "Performance comparison of different multicast routing strategies in disruption tolerant networks," ELSEVIER Computer Communications, 32(16), Oct. 2009.

[3] A. McMahon and S. Farrell, "Delay and Disruption tolerant networking," IEEE Internet Computing, 13(6), November 2009.

[4] P. Mundur et al, "Epidemic routing with immunity in Delay Tolerant Networks," Proc. of IEEE MILCOM 2008. Nov. 2008.

[5] Elizabeth M. Royer, Charles E. Perkins, Multicast Ad hoc On-Demand Distance Vector (MAODV) Routing, draft-ietf-manet-maodv-00.txt, 15 Jul. 2000.

[6] B.D. Walker et al, "Using localized random walks to model Delay-Tolerant Networks," Proc. of IEEE MILCOM, Nov. 2008.

[7] S.H. Bae, S.-J. Lee, W. Su, M. Gerla, "The design implementation and performance evaluation of the on-demand multicast routing protocol (ODMRP) in multihop wireless networks," IEEE Network, 14(1)1, Jan. 2000.

[8] E.P.C. Jones, P.A.S. Ward. "End-to-end epidemic multicast loss recovery: Analysis of scalability and robustness," ELSEVIER Computer Communications, 32(4), Mar. 2009.

[9] Thrasyvoulos Spyropoulos, "Efficient Routing in Intermittently Connected Mobile Networks: The Multiple-Copy Case," IEEE/ACM transactions on networking, 16(1), Feb. 2008.

[10] Thrasyvoulos Spyropoulos, "Efficient Routing in Intermittently Connected Mobile Networks: The Single-Copy Case," IEEE/ACM transactions on networking, 16(1), Feb 2008.

[11] J Burgess et al, "MaxProp: Routing for Vehicle-Based Disruption-Tolerant Networks," Proc. of IEEE INFOCOM, April 2006.

[12] Scalable Networks, Qualnet, http://www.scalable-networks.com/products/qualnet/



**임 광 빈** (Kwang Bin Im) 학생회원

2010년 2월 아주대학교 석사
현재 LG 전자 MC 연구소 R&D S/W
<관심분야> 멀티캐스트, 무선 네트워크, DTN

**강 경 란** (Kyungran Kang) 정회원

1994년 2월 KAIST 석사
1999년 2월 KAIST 박사
2004년 3월~현재 아주대학교 부교수
<관심분야> 멀티캐스트, 이동 네트워크, 전술 통신

**조 영 종** (Young-Jong Cho) 정회원

1985년 2월 KAIST 석사
1990년 2월 KAIST 박사
1996년 3월~현재 아주대학교 교수
<관심분야> 멀티캐스트, 무선 네트워크, 트래픽 모델링