

노드 이동성 및 분포를 고려한 향상된 다중 점 릴레이 선택 알고리즘

박종호*, 오창영*, 안지형*, 김정식**, 정성현**, 이태진^o

Enhanced Multi-Point Relay Selection Algorithm for Mobility and Distribution of Nodes

Jongho Park*, Chang-Yeong Oh*, Ji Hyoung Ahn*, Joung-Sik Kim**, Sunghun Jung**,
Tae-Jin Lee^o

요약

본 논문에서는 노드의 이동성이 크고 노드의 밀도가 균일 하지 않은 애드혹 네트워크에서 라우팅 성능을 개선하기 위해 노드의 이동성과 밀도를 고려하여 OLSR(Optimized Link State Routing)의 MPR(Multi-Point Relay) 선택방법을 개선할 수 있는 방법을 제안한다. OLSR의 MPR 선택 방법은 노드의 이동성과 밀도에 무관하게 2홉 이웃 노드를 많이 포함하는 노드를 위주로 선택한다. 하지만 노드가 이동성을 갖는 경우에 이동성이 큰 노드를 MPR로 선택할 경우 성능이 저하될 수 있다. 또한 노드의 밀도가 균일 하지 않은 경우에는 밀도가 높은 지역의 노드들이 우선적으로 MPR로 선택되면 네트워크 전체의 성능을 향상시킬 수 있다. 따라서 본 논문에서는 노드의 이동성과 밀도를 Hello 메시지 교환을 통해 측정하고 노드의 이동성과 밀도를 반영하여 MPR 선택에 우선순위를 부여하는 방법을 제안한다. 본 논문에서 제안한 MPR 선택 방법의 성능을 알아보기 위해 OPNET을 활용하여 시뮬레이션을 수행하고 제안 방법의 성능이 가장 우수함을 보인다.

Key Words : ad hoc networks, routing, multi-point relay, node mobility, node density.

ABSTRACT

In this paper, we propose an improved MPR selection method considering mobility and density of nodes for ad-hoc networks. In Optimized Link State Routing(OLSR), a node selects 1-hop Multi-Point Relay(MPR) nodes to cover all 2-hop neighbor nodes. In a high population area, many nodes are likely to be selected as MPR nodes by their neighbors. This leads to increase in contention among MPR nodes and may decrease overall performance of the network. In addition, when an MPR node leaves the communication range of its MPR selector node, it can no longer perform as the MPR node and the performance of the network may also decrease. In this paper, we propose an MPR selection method which measures the mobility and density of nodes by exchanging the hello messages and gives the priorities to the nodes for MPR selection. Performance evaluation results using OPNET show that the proposed method is superior to OLSR or the MPR candidate method in terms of connectivity and throughput.

※ 본 연구는 2012년도 삼성탈레스(주)의 재원을 지원받아 수행된 연구임.

※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 육성지원 사업의 연구결과로 수행되었음(NIPA-2012-(H0301-12-1005)).

※ 본 연구는 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단-차세대정보컴퓨팅기술개발사업의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2012-0006422).

◆ 주저자 : 성균관대학교 정보통신대학 네트워크시스템 연구실, tamalove@ece.skku.ac.kr, 정희원

◦ 교신저자 : 성균관대학교 정보통신대학 네트워크시스템 연구실, tjlee@skku.edu, 종신회원

* 성균관대학교 정보통신대학 네트워크시스템 연구실

** 삼성탈레스 무선통신그룹

논문번호 : KICS2012-08-356, 접수일자 : 2012년 8월 13일, 최종논문접수일자 : 2012년 11월 24일

I. 서 론

무선 애드혹 네트워크(MANET, Mobile Ad-hoc Network)는 기반(infrastructure) 네트워크가 존재하지 않거나 이의 설치가 용이하지 않은 경우 독립적으로 이동 단말들이 자율적이고 임시적으로 구성할 수 있는 무선 통신 네트워크이다. MANET은 각 단말이 라우팅(routing) 기능을 포함하므로 여러 홉(hop)에 걸쳐 넓은 범위까지 통신할 수 있는 장점을 갖는다. 그러나 다중 홉(multi-hop) 전송 시 같은 데이터(data)를 여러 단말을 통해 중계해서 전송해야 하기 때문에 많은 무선자원이 필요하게 되고 지연시간이 길어지게 된다. 또한 라우팅 경로 설정을 위한 네트워크를 구성하는 일부 또는 전체 단말 간 제어 메시지 교환이 필요한데, 라우팅 성능을 향상시키기 위해서는 제어 메시지 교환으로 인한 네트워크 오버헤드를 줄이는 것이 필요하다^[1].

테이블 기반(table-driven) 방식 라우팅 프로토콜에서는 전체 네트워크 내 모든 노드의 상태 정보를 제어 메시지 교환을 통해 각 단말이 공유하여 라우팅 경로를 결정하게 된다. 전체 네트워크에 제어 메시지를 전달하는 데 일반적으로 플러딩(flooding) 기법이 사용되는데, 모든 단말들이 각자 자신의 제어 메시지를 플러딩하는 기본 플러딩 방법은 네트워크 오버헤드를 증가시키는 문제 있다. 링크 상태

(link state) 알고리즘 기반 유니캐스트 라우팅 방식인 OLSR(Optimized Link State Routing) 프로토콜^[2]에서는 MPR(Multi-Point Relay)을 이용한 제어 메시지를 플러딩하여 플러딩 효율을 개선시켰다^[3]. 선택된 MPR들은 브로드캐스트 패킷을 전달하는데 효과적으로 활용될 수 있으며, 관련 연구에서는 제어 메시지 전달에만 국한되어 MPR을 사용하는 것이 아니라 새로운 MPR 기반 라우팅 알고리즘에 대해서도 연구가 진행되었다^[4,5]. 또한, MPR 플러딩 성능 향상 방안에 대한 연구도 수행되었는데, [6]에서는 MPR 노드를 선택할 때 이웃 노드들에 의해 이미 MPR 로 선택된 노드들을 그렇지 않은 노드보다 우선적으로 선택하는 방법을 제안하였다. [7]에서는 기존 방법을 통해 MPR 로 선택된 노드들 중 노드의 밀도(node density)를 기준으로 불필요한 MPR 노드를 제거하는 방법을 제안하였다. [8]에서는 전체 노드들 중에서 MPR 노드로 선택될 수 있는 노드들을 MPR 후보(candidate) 노드로 정의하고, 이 MPR 후보 노드들 중에서 MPR을 선택하도록 함으로써 네트워크 전체에서 MPR 노드의 개수를 감소시키는 방법을 제안하였다.

그러나 단말의 이동에 따른 단말의 분포나 상태가 시시각각으로 변하는 MANET의 특성을 고려하면, 기존의 MPR 선택 방법^[6-8]은 동적으로 변하는 네트워크 상황에 적응적으로 대처할 수 없기 때문

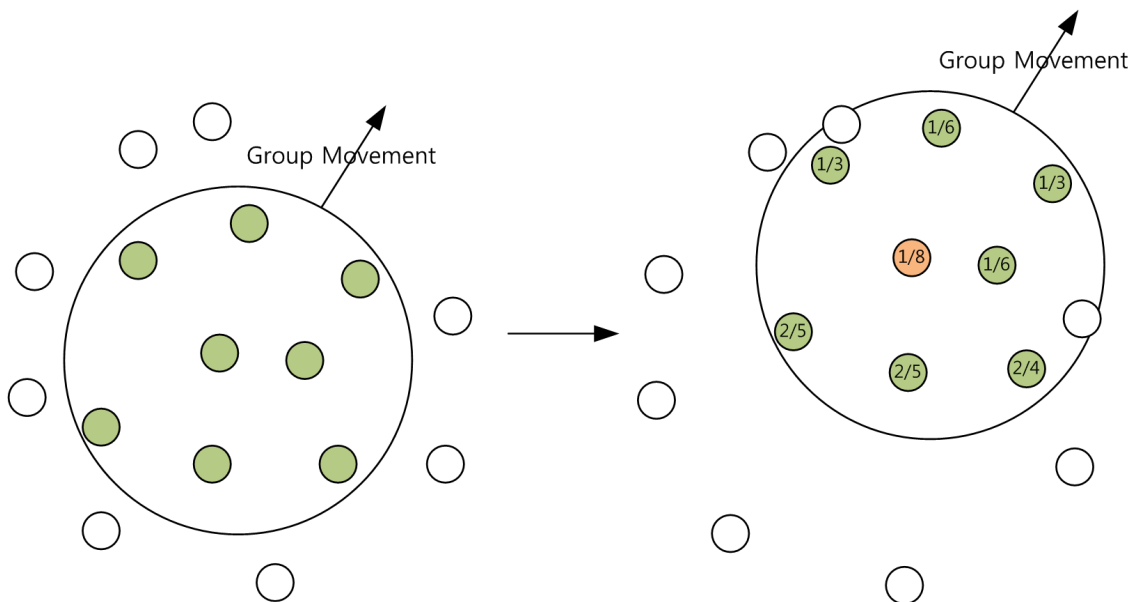


그림 1. 노드 이동성에 따른 주변 단말 변화의 예
Fig. 1. An example of changes in neighbors due to mobility of nodes

에 단말 이동성이 큰 환경에서는 라우팅 성능이 크게 저하될 수 있다. 따라서 노드의 이동성을 고려한 MPR 선택 방법이 제안되었다. MPR predictive 알고리즘^[9]은 특정 노드에 멀어지는 MPR 노드와 가까워지는 MPR 노드를 각각 previous MPR 및 predicted MPR 로 정하고, 최단 경로 외에 previous 및 predicted MPR을 이용한 중복 전송 경로를 활용함으로써 노드가 이동할 때 생길 수 있는 경로 단절 문제를 완화시키는 방법을 제안하였다. MPR predictive 알고리즘의 경우 동일한 데이터를 여러 경로로 전송해야 하기 때문에 재전송 횟수가 늘어날 수 있다. Fast-OLSR^[10]은 이웃 노드 테이블에서 일정 수준 이상 잦은 변화가 감지될 경우 Hello 메시지의 전송 빈도를 높이는 방법이다. 노드의 이동성을 고려하여 각 노드들은 이웃 노드 테이블에 노드의 이동으로 변화된 이웃 노드들의 정보를 반영할 수 있다. Fast-OLSR 은 Hello 메시지의 전송 주기가 짧아져서 자주 전송해야 하는 단점이 있다. [9]와 [10]에서 제안된 이동성을 고려한 MPR 선택 방법들은 프로토콜 오버헤드가 커지게 되는 단점이 있다.

한편, 애드혹 네트워크에서 노드의 이동성을 고려한 라우팅 방법은 주로 클러스터(cluster) 구조를 도입한 알고리즘으로 제안되었다. 클러스터 구조는 대부분 단위 클러스터 내 하나의 클러스터 헤드와 다수의 클러스터 멤버들로 구성된다. 클러스터 헤드는 클러스터 멤버의 클러스터 소속 정보 및 게이트웨이 정보를 관리하고, 다른 클러스터 헤드 노드들에게 자신의 클러스터 정보를 알리는 역할을 수행한다. 즉, 네트워크는 단위 클러스터들로 그룹화 되고 단위 클러스터 내의 단말 이동성이나 단말 분포에 따른 클러스터 관리의 주로 클러스터 헤드들에 의해서 관리된다. 그러므로 클러스터링 기반 라우팅 알고리즘에서는 클러스터 헤드 노드 선택 방법이 주요 핵심이다. 네트워크 전체를 구성하는 단말 정보를 바탕으로 클러스터 헤드를 결정하는 것이 최적이었지만 애드혹 네트워크의 특성상 네트워크 전체에 대한 정보를 모든 노드가 공유하기에는 제약이 따르기 때문에 대부분 자신의 이웃 노드 정보(local information)를 바탕으로 클러스터 헤드를 선택한다.

분산 클러스터 알고리즘(DCA, Distributed Cluster Algorithm)^[11]은 네트워크 전체 노드에 대한 정보를 필요로 하지 않고, 각 노드가 이웃 노드들에 대한 정보를 기반으로 분산적으로 클러스터 헤드를

정한 뒤 이렇게 정해진 클러스터 헤드에 합류(join)하는 방법이다. 각 노드는 먼저 자신의 1홉 이웃 노드들에게 자신의 ID 와 가중치(weight) 값을 알린다. 여기서 가중치 값은 클러스터 헤드로 선택될 때 고려되는 가중치 값으로써, 가중치 값이 큰 노드가 우선적으로 클러스터 헤드로 선택되게 된다. 연결 기반 분산 노드 클러스터링 알고리즘(CDC, Connectivity-based Decentralized Node Clustering)^[12]은 자신의 이웃 노드 정보를 일정 홉만큼 떨어진 이웃 노드들까지 공유해서 클러스터 헤드를 결정하는 방법이다. 네트워크를 구성하는 전체 노드 중에서 일부 노드가 클러스터 헤드의 후보 노드라고 할 수 있는 시작(originator) 노드로서 존재하며, 이 시작 노드들 중 DCA와 유사하게 가중치가 가장 큰 노드를 클러스터 헤드로 선택한다. DCA에서는 구체적으로 가중치를 설정하는 방법이 제시되어 있지 않지만, CDC에서는 최초 자신의 1홉 이웃 노드 개수의 역수로 가중치를 설정하는데 클러스터 메시지가 전파되면서 계속 누적되기 때문에 임의의 노드로부터 시작 노드까지 도달할 수 있는 확률을 반영하고 있다.

MPR은 1홉 이웃 노드에 대한 데이터를 전달해주는 역할을 수행하지만 클러스터 헤드의 경우 1홉 이상으로 구성된 클러스터 내의 노드정보를 관리하고 라우팅 정보를 축약하여 라우팅 오버헤드를 감소시키는 역할을 한다. 기본적인 사용목적은 상이하지만 MPR과 클러스터 헤드는 이동성 등에 의해 자주 변경될 경우 성능이 저하되고 가능하면 많은 노드를 커버할 수 있도록 선택되어야 성능이 향상된다는 공통점을 갖고 있다. 또한 기존 클러스터 기반 라우팅 방법은 클러스터 헤드의 역할이 라우팅 오버헤드 감소로 제한되어 실제 데이터 전송과정의 효율성은 떨어진다. 하지만 MPR 기반 라우팅 방식은 효율적으로 선택된 MPR이 데이터 전송과정에 참여하기 때문에 MPR 선택 방법의 개선으로 네트워크의 성능을 향상시킬 수 있다. 따라서 본 논문에서는 노드의 이동성과 분포특성(밀도)을 반영하여 효율적인 MPR을 선택하는 방법을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 기존 단말 이동성 및 단말 분포를 고려한 클러스터 헤드 선택 방법과 OLSR 프로토콜의 MPR 선택 방법에 대한 관련 연구를 소개한다. III장에서는 제안하는 단말 이동성 및 단말 밀도를 고려한 MPR 선택 방법을 설명한다. IV장에서 시뮬레이션을 위한 네트워크 환경을 서술하고 제안하는 MPR 선택 방법과 기

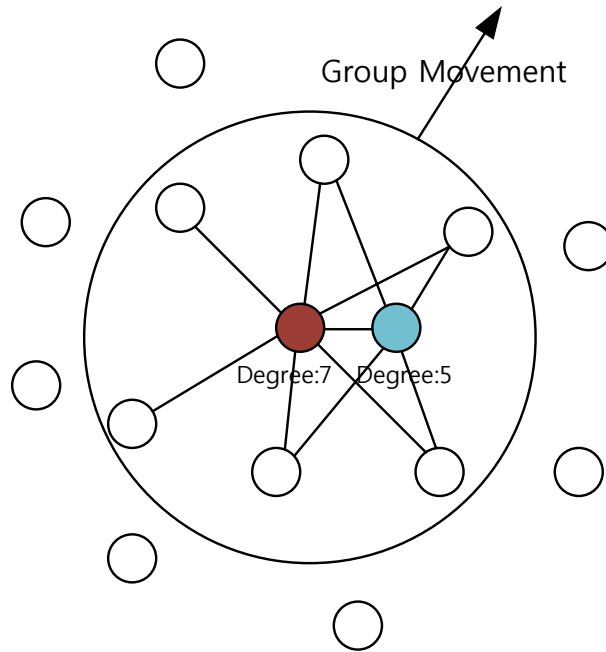


그림 2. K홉 복합지표 기반 클러스터 알고리즘^[13] 동작 예
 Fig. 2. An example of k-hop Compound Metric Based Clustering Scheme

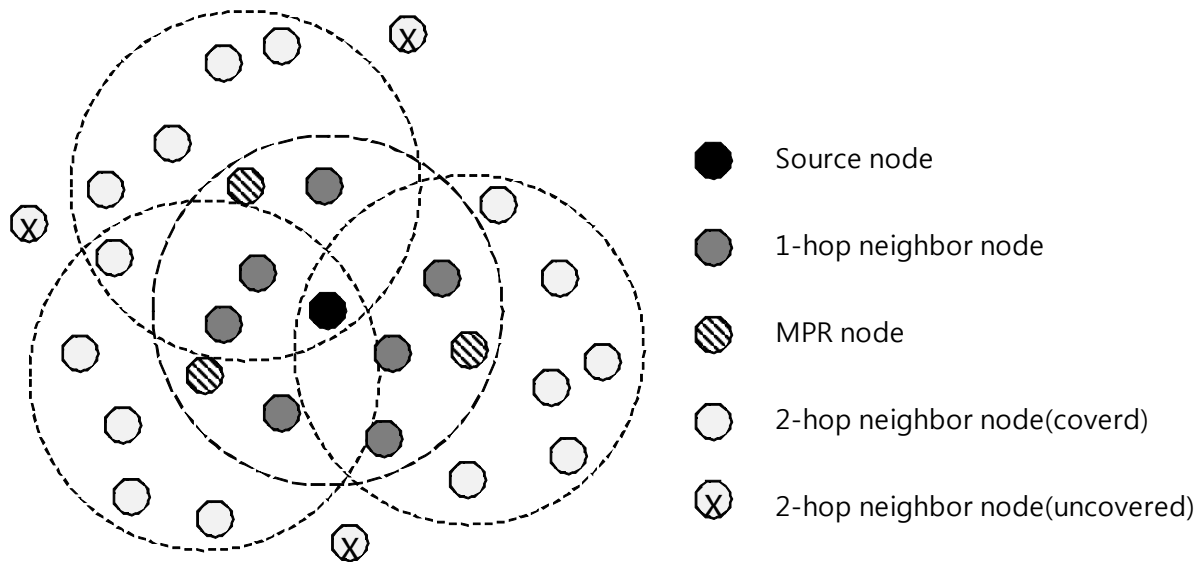


그림 3. OLSR 프로토콜의 MPR 선택 예
 Fig. 3. An example of MPR selection in OLSR protocol

존 MPR 선택 방법의 성능을 비교한다. 마지막으로 V장에서 결론을 맺는다.

II. 관련 연구

2.1 단말 이동성 및 단말 밀도를 고려한 기존 클러스터 헤드 선택 방법

K홉 복합지표 기반 클러스터링(K-Hop Compound Metric Based Clustering) 알고리즘^[13]은

단말 이동성을 반영한 지표를 이용하여 클러스터 헤드를 선택하는 방법이다. 노드가 이동하게 되면 이동하기 전에 이웃 노드 관계를 맺고 있던 노드들과 연결성이 끊어지게 되고, 클러스터 구조가 해체될 수 있는 위험이 존재한다. 이를 해결하기 위해 K홉 복합지표 기반 클러스터링 알고리즘에서는 average link expiration time이라는 지표를 사용하는데, 이 지표는 각 노드가 다른 노드와 연결되는 링크가 유지되는 평균 시간, 즉 특정 노드가 이웃

노드와의 연결을 얼마나 안정적으로 유지될 수 있는지를 나타내는 값이다. 따라서 이 값이 일정 수준 이상으로 큰 노드일수록 안정적으로 클러스터 멤버 노드들과 연결을 유지할 수 있다고 판단하고 클러스터 헤드 선택에 반영한다. 논문에서 제안하고 있는 복합 지표는 1홉 이웃 노드의 개수와 average link expiration time(각 노드가 다른 노드와 연결된 링크가 유지되는 평균 시간)를 포함하고 있다. 각 노드에서 계산한 복합지표 값을 주변 K홉까지 플러딩하고 각 노드들은 자신이 수신한 가장 큰 성능 지표 값을 갖는 노드를 클러스터 헤드로 선택하게 된다.

2.2. OLSR에서의 MPR 선택 방법

OLSR에서 각 노드는 Hello 메시지 교환으로 2홉 반경 내의 이웃 노드 정보를 얻을 수 있으며 가장 많은 2홉 이웃 노드를 연결할 수 있는 1홉 이웃 노드를 MPR 노드로 추가하고, 이렇게 추가된 MPR 노드에 의해 연결되는 2홉 이웃 노드를 제거하는 과정을 모든 2홉 이웃 노드가 제거될 때 까지 반복한다. 그림 3에서는 선택된 MPR은 TC(Topology Control) 메시지 전송을 위한 중간 전달노드의 역할을 한다. 그림 3에서 중심의 기준 노드가 선택한 MPR 노드들은 송신 노드로부터 2홉 반경 내에 있는 노드들을 가장 많이 커버할 수 있는 1홉 반경 내의 이웃 노드들 중에서 선택되었다.

각 노드는 Hello 메시지 교환(플러딩)을 통해 자신이 선택한 MPR 정보를 이웃 노드들에게 알려주게 되며, 자신을 MPR로 선택한 이웃노드의 정보도 얻게 된다. MPR 플러딩은 브로드캐스트 메시지의 효과적인 전달을 가능하게 해주며 네트워크 내의 과도한 트래픽 생성 및 전송을 막아준다는 장점이 있다. 뿐만 아니라, 네트워크 전체 노드에 메시지를 전달하기 위한 홉 수나 중간 전달 노드의 전송 횟수를 줄여 준다는 측면에서 효과가 크다.

2.3. MPR 후보 노드 선택 방법

[8]에서는 애드혹 네트워크 환경에 적합하도록 적응적으로 MPR 비율을 적절하게 유지할 수 있도록 하는 확실적인 MPR 후보 노드 선택 방법이 제안되었다. 각 노드는 주변의 MPR 후보 수를 파악하여 MPR 후보 노드의 수를 일정 비율로 유지하기 위해 자신이 MPR 후보 노드가 될 지 여부를 독립적으로 판단한다. 각 노드는 자신의 1홉 내에 MPR 후보 노드의 수와 1홉 이웃 노드의 수를 이용하여

MPR 후보 노드의 비율을 계산하고 목표로 하는 MPR 후보 노드의 비율보다 낮을 경우 MPR 후보 노드로 확률적으로 변경하고 MPR 후보 노드의 비율보다 높을 경우 MPR 후보 노드에서 일반 노드로 확률적으로 변경한다. 이러한 방식으로 MPR 후보 노드의 비율을 동적으로 조절하여 MPR의 수를 줄일 수 있다. 이런 방식은 추가 오버헤드 없이 효과적으로 사용자가 원하는 비율의 MPR 노드를 선택할 수 있는 장점을 갖는다. 하지만 노드의 분포가 균일하지 않거나 이동성이 있는 환경에서는 성능이 저하될 수 있다.

III. 제안 방법: 제안하는 단말 이동성과 단말 밀도를 고려한 MPR 기반 라우팅 알고리즘

본 논문에서는 기존 MPR 후보 노드 선택 방법을 개선하기 위하여 노드의 이동성과 주변 노드의 수를 반영하여 MPR 후보 노드를 선택하는 방법을 제안한다. 각 노드는 이동성을 반영하기 위해 이웃 노드의 변화율을 계산한다. 제안 방법에서 고려하는 노드의 이동성은 주변 노드와의 상대적인 이동성으로써 주변 노드의 변화가 많은 노드는 상대적으로 이동성이 큰 노드이며 노드 이웃 노드의 변화가 적은 노드는 상대적으로 이동성이 작은 노드이다. 따라서 노드가 정지되어 있는 경우에도 주변 노드의 이동성이 큰 경우에는 이동성이 크게 계산될 수 있다. 또한 그룹 이동을 하는 경우 절대적인 이동성이 크더라도 상대적인 이동성은 작게 계산될 수 있다. 따라서 노드의 상대적인 이동성은 이웃 노드가 변화하는 정도로 표현할 수 있으며, 노드 i 의 이웃 노드 변화도(M_i)는 변화가 없는 이웃 노드의 수 대비 변화가 있는 이웃 노드의 수로 정의한다. 즉 노드 i 의 이웃 노드 변화도(M_i)는

$$M_i = \frac{|N_{L,i} + N_{A,i}|}{N_i} \quad (1)$$

로 정의 된다. 여기서 N_i 는 노드 i 의 이웃 노드의 수이며 $N_{L,i}$ 과 $N_{A,i}$ 은 각각 노드 i 에서 삭제된 이웃 노드의 수와 새로 추가된 이웃 노드의 수를 나타낸다. M_i 가 크다는 것은 주변 노드에 비해 상대적으로 이동성이 크다는 의미이며 M_i 가 큰 노드는 MPR 후보 노드로 선택될 경우 MPR으로써의 역할을 제대로 수행할 수 없기 때문에 MPR 후보 노드로

Algorithm 1 Proposed MPR Candidate Selection

```

1:  Procedure MPRCandidate( $k, N_{minMPR}, N_{maxMPR}$ )
2:  Compute  $N_i$  and  $N_{MPR,i}$ 
3:  Calculate  $N_{req,i} = \lceil kN_i \rceil$ 
4:  if  $W$  is 0 then
5:    Compute  $P_{MPR,i}$  using Eq. (6)
6:  else
7:    Compute  $P_{norm,i}$  using Eq. (7)
8:  end if
9:  // proposed algorithm begin
10: Compute  $M_i$  for all 1 hop neighbor nodes using Eq. (1)
11: Compute  $P_i$  for all 1 hop neighbor nodes using Eq. (2)
12: Sort  $P_i$  in descending order
13: for  $j=1:N_i$ 
14:   Find the node index  $l$  of the node which has  $j$ th priority  $P_l$ 
15:    $R_l = N_i - j$ 
16: end
17: if  $W$  is 0 then
18:   Compute  $P_{MPR,i}^*$  using Eq. (3)
19:   Change  $W$  to 1 with probability  $P_{MPR,i}^*$ 
21: else
22:   Compute  $P_{norm,i}^*$  using Eq. (4)
23:   Change  $W$  to 0 with probability  $P_{norm,i}^*$ 
24: end if
25: end procedure

```

선택될 확률을 낮추어야 한다. 이러한 M_i 는 각 노드가 이웃 노드로부터 Hello 메시지를 수신했을 때 기존 이웃 노드 테이블과 Hello 메시지에 포함된 이웃 노드 리스트를 비교하여 계산되며 계산된 M_i 는 메시지에 포함된 이웃 노드의 수 N_i 와 함께 이웃 노드 테이블에 저장된다.

또한 노드의 밀도를 반영하기 위해 이웃 노드의 수를 이용한다. 이웃 노드의 수가 많다는 것은 MPR로 선정되어 많은 노드를 커버할 수 있다는 의미이기 때문에 다른 노드에 비해 MPR이 되었을 때 기대 효과가 크다고 할 수 있다. 따라서 노드 i 의 이웃 노드의 수 N_i 를 이웃 노드 변화도와 함께 고려하여 MPR 후보 노드를 선택하면 이동성과 이웃 노드의 분포를 반영하여 효율적으로 MPR 후보 노드를 선택할 수 있다.

이웃 노드 변화도와 이웃 노드의 수는 네트워크의 규모와 상황에 따라 다양한 범위의 값을 가질 수 있다. 따라서 이웃 노드 변화도와 이웃 노드의 수는 각 노드에서 자신의 이웃 노드와의 상대적인 비교를 통해 MPR 선택의 기준으로 적용되어야 한다. 이웃 노드 변화도와 이웃 노드의 수를 상대적으

로 반영하여 MPR 후보 노드를 선택하기 위해 이웃 노드 변화도와 이웃 노드의 수를 이용하여 각 노드의 순위(rank)를 부여한다. 순위의 기준은 이웃 노드 변화도와 이웃 노드의 수를 동시에 고려한 우선순위 값이다. 노드 i 의 우선순위 값(P_i)은

$$P_i = \frac{N_i}{M_i} \tag{2}$$

로 정의된다. 각 노드는 이웃 노드 테이블에 저장된 M_i 와 N_i 를 이용하여 자신을 포함한 이웃 노드들의 P_i 를 계산하고 계산된 우선순위 값 P_i 를 이용하여 자신을 포함한 이웃 노드들의 순위 R_i 를 부여한다. 이웃 노드들의 순위는 우선순위 값을 내림차순으로 정렬하여 우선순위 값이 가장 큰 순서대로 $N_i, N_i - 1, \dots, 1$ 의 값을 할당한다. 이렇게 결정된 순위를 MPR 후보 확률(MPR candidate probability)에 반영하여 MPR 후보 확률을 보정한다. 우선순위를 반영한 일반 노드 i 가 MPR 후보 노드가 될 확률은

$$P_{MPR,i}^* = \min\left(\left(P_{MPR,i} \times \frac{2}{N_i} \times R_i\right), 1\right) \tag{3}$$

이고, MPR 후보 노드 i 가 일반 노드로 변경될 확률은

$$P_{norm,i}^* = \min\left(\left(P_{norm,i} \times \frac{2}{N_i} \times \frac{1}{R_i}\right), 1\right) \quad (4)$$

이다. 여기서 $P_{MPR,i}$ 와 $P_{norm,i}$ 는 [8]에서 제안된 MPR 후보 노드 선택 방법에서의 확률을 따르며 계산 과정은 다음과 같다.

- 1) 1홉 이웃 노드들로부터 Hello 메시지를 수신한다.
- 2) 수신한 Hello 메시지로부터 1홉 이웃 노드의 수(N_i)를 계산하고, 1홉 범위 내에서 충분한 MPR을 선택할 수 있도록 하는 목표 MPR 후보 노드 비율($k, 0 \leq k \leq 1$)에 이웃 노드의 수를 곱하여 1홉 이웃 노드들 중 필요한 MPR 후보 노드의 수($N_{min\ MPR} \leq N_{req,i} \leq N_{max\ MPR}$)를 결정한다. 여기서 $N_{min\ MPR}$ 과 $N_{max\ MPR}$ 은 각각 MPR 후보 노드의 최소, 최대 개수를 나타낸다. (k 는 1홉 범위에 따라 다르게 설정할 수 있다.) 여기서 $N_{req,i}$ 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$N_{req,i} = \lceil kN_i \rceil \quad (5)$$

여기서, $\lceil x \rceil$ 는 x 보다 크거나 같은 정수 중 가장 작은 정수를 의미한다.

- 3) 각 노드는 계산한 $N_{req,i}$ 를 기준으로 자신이 1홉 네트워크에서 충분한 MPR 후보 노드 비율을 유지하기 위해 자신이 MPR 후보 노드가 될지 일반 노드가 될지 확률적으로 결정한다. 일반 노드가 MPR 후보 노드로 변경될 확률은

$$P_{MPR,i} = \max\left(\frac{N_{MPR,i} - \max(\min(N_{max\ MPR}, N_{req,i}), N_{min\ MPR}, N_i)}{N_{MPR,i}}, 0\right) \quad (6)$$

이고, MPR 후보 노드가 일반 노드로 변경될 확률은

$$P_{norm,i} = \max\left(\frac{\min(\max(N_{min\ MPR}, N_{req,i}), N_{max\ MPR}, N_i) - N_{MPR,i}}{N_i - N_{MPR,i}}, 0\right) \quad (7)$$

이다. 여기서 $N_{MPR,i}$ 은 현재 MPR 후보 노드의 수를 나타낸다. 이에 따라 자신의 MPR_candidate_willingness (W) 값이 달라진다 ($W=1$: MPR 후보 노드, $W=0$: 일반 노드).

본 논문에서 제안한 알고리즘은 OLSR 및 MPR 후보 노드 선택 방법과 비교했을 때 연산량이 늘어날 수 있다. 각 노드가 MPR 후보 확률과 이웃 노드 변화도를 추가로 계산해야 하기 때문이다. 그러나 제안 알고리즘의 계산 복잡도는 이웃 노드의 개수가 N_i 일 때 $O(N_i)$ 정도이기 때문에, 하드웨어 및 소프트웨어 기술의 고도화에 따른 연산 효율성 증가로 극복 가능하다. 노드의 이동성이 있는 애드혹 네트워크 환경에서 연결성, 처리율 등 성능 향상을 위해서는 노드의 이동성을 고려한 알고리즘이 필요하며, 본 논문에서 제안한 알고리즘은 적은 오버헤드로 노드의 이동성을 효과적으로 반영할 수 있다.

IV. 성능 평가

본 논문에서 제안한 MPR 선택 방법의 성능을 평가하기 위해 OPNET을 이용한 시뮬레이션을 수행하였다. MAC 계층 프로토콜로 OPNET에서 제공되는 IEEE 802.11g를 사용하였으며 전송률은 54Mbps로 설정하였다. 네트워크 토폴로지는 랜덤 토폴로지로서 300m 반경 내에 uniform 하게 분포시켰으며 300m 반경의 중심에 그룹 리더가 위치한다. 그룹 이동성을 반영하기 위해 RPGM(Reference Point Group Movement)^[14] 모델을 사용하였다. 그룹 내의 리더 이동은 random way point 모델을 사용하였으며 리더의 속도는 20~45km/h이다. 리더를 제외한 노드의 이동 모델에서 ADR(Angle Deviation Ratio)은 0.08이며 SDR(Speed Deviation Ratio)은 0.1이다. RPGM 시나리오는 Mobisim^[15]을 이용하여 생성하였다. 각 노드의 전송범위는 100m이며, 전체 노드 수의 1/4개의 노드가 임의의 목적지 노드에게 CBR(Constant Bit Rate) 트래픽을 전송하며 CBR 트래픽의 전송률은 2.5Mbps이다. 제안 방법의 성능향상 정도를 알아보기 위해 제안 MPR 선택 방법과 OLSR 기본 MPR 선택방법, MPR 후보 노드 선택 방법^[8]을 비교하였다. 세 가지 방법 모두 Hello 메시지 전송 주기는 2초이고 TC 메시지 전송 주기는 6초이다.

그림 4는 각 MPR 선택 방법을 적용했을 때 한번 이상 MPR로 선택되는 노드의 수를 나타낸다.

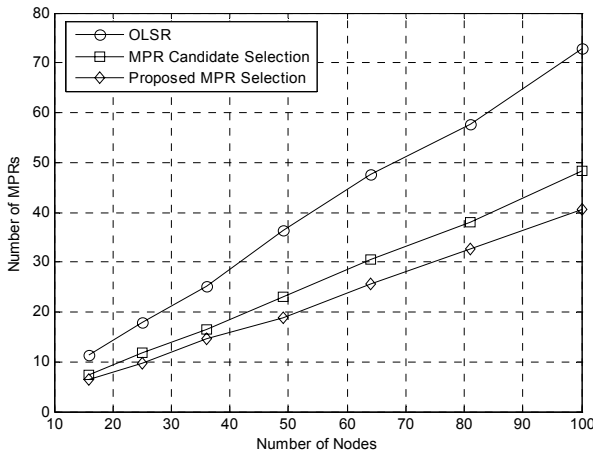


그림 4. 한번 이상 MPR로 선택된 노드의 수
Fig. 4. The number of nodes selected as MPR

기존 OLSR의 경우 대부분의 노드가 한번 이상 MPR로 선택되어 MPR의 수가 상대적으로 많은 것을 알 수 있다. 제안 MPR 선택 방법과 MPR 후보 노드 선택 방법은 기존 OLSR의 MPR 수에 비해 약 60% 정도의 MPR이 선택되었다. 기존 MPR 후보 노드 선택 방법은 MPR이 될 수 있는 노드의 비율을 감소시킬 수 있으나 MPR로 선택되었을 때의 효율성은 고려하지 않는다. 제안 MPR 선택 방법에서는 노드의 밀도와 이동성을 고려하여 MPR 후보 노드를 선택하기 때문에 기존 MPR 후보 노드 선택 방법에 비해 적은 수의 MPR만을 선택할 수 있다. 적은 수의 MPR을 선택하면 TC 메시지로 인한 오버헤드를 줄일 수 있으며 라우팅 경로의 효율성을 향상시킬 수 있다.

그림 5는 각 MPR 선택 방법을 사용했을 때의 처리율 성능을 나타낸다. 기본 OLSR의 경우 약 25Mbps 정도에서 최대 처리율을 보이며 기존 MPR 후보 노드 선택 방법은 약 27Mbps에서 최대 처리율을 나타낸다. 제안 MPR 선택 방법은 최대 약 33Mbps의 처리율 성능을 보이며 이는 MPR 선택 효율성이 향상되었고 TC 메시지로 인한 오버헤드가 감소한 결과이다. 또한 이동성을 고려하여 MPR을 선택하였기 때문에 경로가 끊어질 확률이 상대적으로 적으며 MPR 선택 시 이웃 노드를 많이 포함하는 노드를 위주로 선택하였기 때문에 MPR의 수가 감소되어 TC 오버헤드가 감소하였고 TC 메시지로 인한 충돌도 감소하여 성능이 개선되었다.

그림 6은 경로의 존재 유무를 비율로 나타낸 연결성 성능을 알아보았다. 연결성 성능은 특정 노드에서 다른 모든 노드로의 경로가 형성된 비율을 뜻

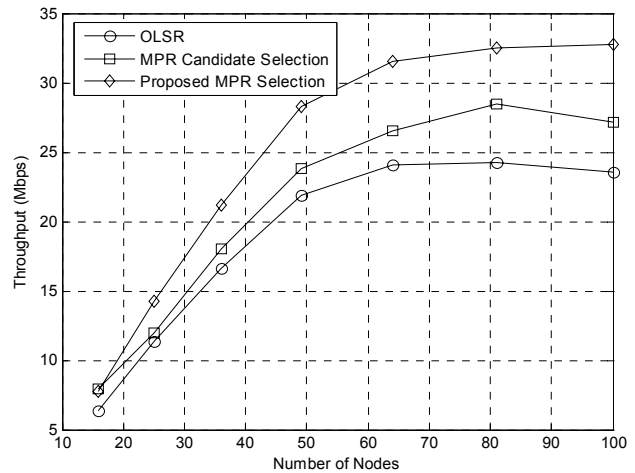


그림 5. 노드 수 변화에 따른 처리율 성능
Fig. 5. Throughput performance with varying number of nodes

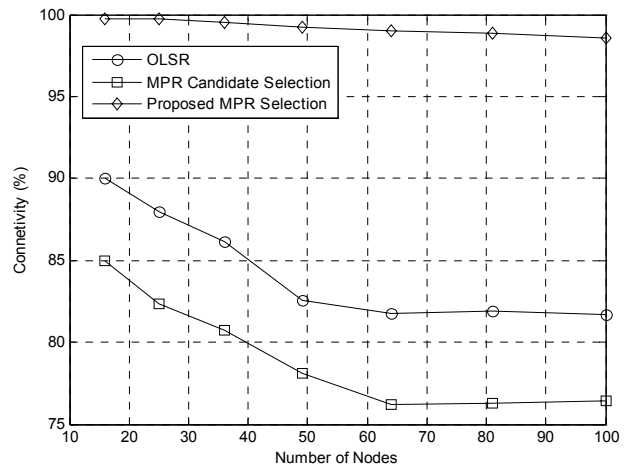


그림 6. 노드 수 변화에 따른 연결성 성능
Fig. 6. Connectivity performance with varying number of nodes

한다. 본 시뮬레이션에서는 이동성을 반영하였기 때문에 노드의 이동으로 인한 경로 재설정 문제가 발생한다. 제안 MPR 선택 방법에서는 이웃 노드의 변화가 가장 적은 노드를 위주로 MPR을 선택하기 때문에 경로 재설정이 발생할 확률이 낮다. 따라서 가장 우수한 연결성 성능을 보인다. 기존 MPR 후보 노드 선택 방법의 경우 기존 OLSR에 비해 낮은 연결성 성능을 보인다. 기존 MPR 후보 노드 선택 방법에서는 MPR의 수가 부족하게 되어 경로가 설정되지 못하여 연결성 성능이 떨어지며 이동성으로 인하여 MPR 후보가 자주 변경되어 MPR의 변화가 자주 발생하여 경로가 재설정되는 문제가 발생한다. 제안 MPR 선택 방법에서는 적은 수의 MPR만을 사용하면서도 기존 OLSR과 MPR 후보 선택 방법에 비해 우수한 연결성 성능을 보인다.

V. 결 론

본 논문에서는 노드의 이동성이 존재하고 노드의 밀도가 균일하지 않은 동적인 애드혹 네트워크에서 라우팅 성능을 개선하기 위해 노드의 이동성과 밀도를 고려하여 OLSR의 MPR 선택방법을 개선할 수 있는 방법을 제안하였다. 기존 OLSR의 MPR 선택 방법에서 노드의 이동성과 밀도를 반영하지 못하는 문제점을 해결하기 위해 노드의 이동성과 밀도를 Hello 메시지 교환을 통해 측정하고 노드의 이동성과 밀도를 반영하여 MPR 선택에 우선순위를 부여하는 방법을 제안하였다. 제안 방법을 적용할 경우 이동성이 있는 환경에서도 적은 수의 MPR을 사용하면서 높은 처리율과 연결성 성능을 보이며, 노드의 밀도가 균일하지 않은 네트워크에서도 MPR의 수를 적게 유지 할 수 있다. 본 논문에서 제안한 MPR 선택 방법의 성능을 알아보기 위해 OPNET을 활용하여 시뮬레이션을 수행하였으며 제안 방법의 성능이 가장 우수함을 보였다.

참 고 문 헌

- [1] C. K. Toh, *Ad Hoc Wireless Networks: Protocols and Systems*, 1st Ed., Prentice Hall, Dec. 2001.
- [2] T. Clausen, and P. Jacquet, "Optimized link state routing protocol," *IETF RFC 3626*, Oct. 2003.
- [3] P. Jacquet, A. Laouiti, P. Minet, and L. Viennot, "Performance analysis of OLSR multipoint relay flooding in two ad hoc wireless network models," *INRIA Technical Report Research Report 4260*, Sep. 2001.
- [4] C.-Y. Oh, J. Park, J. Ahn, M. Lee, T.-J. Lee, W. Cha, and P. S. Mah, "Tree-based multicast protocol using multi-point relays for mobile ad hoc networks," in *Proc. ICUFN*, pp. 174-178, Jun. 2011.
- [5] J. Park, C.-Y. Oh, J. H. Ahn, M. Seo, H.-W. Cho, and T.-J. Lee, "Efficient Relay Selection Algorithm Using S-MPR for Ad-Hoc Networks Based on CSMA/CA," *The Journal of Korea Information And Communications Society*, vol. 37B, no. 8, pp. 657-667, Aug. 2012.
- [6] K. Yamada, T. Itokawa, T. Kitasuka, and M. Aritsugi, "Cooperative MPR selection to reduce topology control packets in OLSR," in *Proc. IEEE Region 10 Conference*, pp. 293-298, Nov. 2010.
- [7] Y. Bai, Y. Liu, and D. Yuan, "An optimized method for minimum MPRs selection based on node density," in *Proc. WiCOM*, Sep. 2010.
- [8] H.-W. Cho, J.-M. Chung, M. Seo, J. Park, J. Ahn, B. Choi, and T.-J. Lee, "Dynamic multipoint relay candidate selection for broadcast data aggregation in mobile ad-hoc networks," *IEICE Trans. on Commun.*, vol. E94-B, no. 9, pp. 2629-2633, Sep. 2011.
- [9] A. Khan, S. Rashid and A. Iqbal, "Mobility vs. predictive MPR selection for mobile ad hoc networks using OLSR," in *Proc. ICET*, pp. 52-57, Sep. 2005.
- [10] M. Benzaid, P. Minet and K. A. Agha, "Integrating fast mobility in the OLSR routing protocol," in *Proc. MWCN*, pp. 217-221, Sep. 2002.
- [11] S. Basagni, "Distributed clustering for ad hoc networks," in *Proc. I-SPAN*, pp. 310-315, Jun. 1999.
- [12] L. Ramaswamy, B. Gedik, and L. Liu, "A distributed approach to node clustering in decentralized peer-to-peer networks," *IEEE Trans. Parall. Distr.*, vol. 16, no. 9, pp. 814-829, Sep. 2005.
- [13] S. Leng, Y. Zhang, H.-H. Chen, L. Zhang, and K. Liu, "A novel k-hop compound metric based clustering scheme for ad hoc wireless networks," *IEEE Trans. on Wireless Commun.*, vol. 8, no. 1, pp. 367-375, Jan. 2009.
- [14] X. Hong, M. Gerla, G. Pei, and C. Chiang, "A group mobility model for ad Hoc wireless networks," in *Proc. MSWiM*, pp. 53-60, Aug. 1999.
- [15] S. M. Mousavi, H. R. Rabiee, M. Moshref, and A. Dabirmoghaddam, "Mobisim : a framework for simulation of mobility models in mobile ad-hoc networks," in *Proc. IEEE WiMob*, pp. 82-89, Oct. 2007.

박 종 호 (Jongho Park)



2004년 2월 성균관대학교 정보통신공학부 졸업(학사)
2006년 2월 성균관대학교 전자전기공학과 졸업(석사)
2012년 8월 성균관대학교 전자전기컴퓨터공학과 졸업(박사)

2012년 12월~현재 LG전자 CTO부문 선임연구원
<관심분야> 통신 네트워크 성능 분석 및 설계, 무선 LAN/PAN, ad-hoc/센서/RFID 네트워크

김 정 식 (Joung-Sik Kim)



2005년 2월 경북대학교 컴퓨터공학과(학사)
2007년 2월 경북대학교 컴퓨터공학과(석사)
2007년 3월~2011년 2월 한국전자통신연구원 연구원
2011년 3월~현재 삼성탈레스

선임연구원
<관심분야> Mobile Ad-hoc Network, Wireless Sensor Network, Network Synchronization, Military Wireless Communications

오 창 영 (Chang-Yeong Oh)



2008년 2월 한양대학교 전자전기컴퓨터공학부 졸업(학사)
2010년 2월 성균관대학교 휴대폰학과 졸업(석사)
2010년 3월~현재 성균관대학교 휴대폰학과 박사과정

<관심분야> 협력통신, 펌토셀, 무선 LAN, ad-hoc 네트워크

정 성 현 (Sunghun Jung)



1990년 2월 연세대학교 전자공학과(학사)
1992년 2월 연세대학교 전자공학과(석사)
2006년 8월 연세대학교 전자공학과(박사)
1992년 3월~현재 삼성탈레스

수석연구원(그룹장)
<관심분야> Military Wireless Communications, Array Signal Processing, Anti-Jamming, Mobile Ad-hoc Network, Wireless Mesh Network

안 지 형 (Ji Hyoung Ahn)



2010년 2월 성균관대학교 정보통신공학부 졸업(학사)
2012년 2월 성균관대학교 전자전기컴퓨터공학과 졸업(석사)
2012년 3월~현재 성균관대학교 전자전기컴퓨터공학과 박사과정

<관심분야> 통신 네트워크 성능 분석 및 설계, 무선 LAN/PAN, ad-hoc/센서 네트워크

이 태 진 (Tae-Jin Lee)



1989년 2월 연세대학교 전자공학과 졸업(학사)
1991년 2월 연세대학교 전자공학과 졸업(석사)
1995년 12월 University of Michigan, Ann Arbor, EECS(M.S.E.)

1999년 5월 University of Texas, Austin, ECE(Ph.D.)
1999년 5월~2001년 2월 삼성전자 중앙연구소 책임 연구원
2001년 3월~현재 성균관대학교 정보통신공학부 부교수
<관심분야> 통신 네트워크 성능 분석 및 설계, 무선 LAN/PAN/MAN, ad-hoc/센서/RFID 네트워크, 무선 통신 시스템