

# 그룹 이동성을 가지는 무선 네트워크에서 이동 적응적인 라우팅 업데이트 구조

준회원 강 현 제\*, 정회원 임 성 국\*, 종신회원 전 한 얼\*\*, 이재용\*,  
정회원 박 수 범\*\*\*, 유 영 빈\*\*\*

## Mobility-Adaptive Routing Update Scheme for Wireless Networks with Group Mobility

Hyunjae Kang\* Associate Member, Sunggook Lim\* Regular Member, HahnEarl Jeon\*\*,  
Jaiyong Lee\* Lifelong Members, Soo Bum Park\*\*\*, Young Bin You\*\*\* Regular Members

### 요 약

다수의 노드들이 유사한 이동 특성을 보이는 그룹 이동성을 고려하였을 때, 동일 그룹에 속한 노드간의 상대 속도는 작기 때문에 그룹 내 라우팅 업데이트 주기를 길게 설정하여 라우팅 오버헤드를 최소화하는 것이 가능하지만, 수집된 정보의 정확성이 저하되기 때문에 상대 속도가 큰 그룹 간의 패킷 전송 성공률이 감소된다. 그룹 간의 라우팅 오버헤드를 패킷 전송 성공률의 저하 없이 감소시키기 위해 이동 적응적인 라우팅 업데이트 구조가 본 논문에서 제안된다. 제안하는 알고리즘은 각 그룹 단위로 이동성을 예측을 하고 이를 통해 라우팅 업데이트 주기를 유동적으로 조절하여 라우팅 오버헤드를 감소시킨다. 또한 적절한 인접 그룹을 중계(relay) 그룹으로 설정하여, 추후 이동성에 의해 두 그룹간의 직접적인 연결이 단절되더라도 중계 그룹을 통해 통신이 원활이 유지될 수 있도록 지원함으로써 오버헤드가 감소하고 패킷 전송 성공률이 높아지게 된다.

**Key Words** : Group mobility, mobility prediction, routing update overhead, delivery success ratio

### ABSTRACT

With group mobility, minimizing routing overhead among intra-group nodes can be achieved by making longer the routing update period, which may lead to degradation of inter-group's routing performance and consequently the inter-group packet delivery success ratio will be decreased. To reduce the inter-group routing overhead without lowering the inter-group packet delivery success ratio, a mobility-adaptive routing update(MARU) scheme is proposed in this paper. Main idea of the proposed scheme is group-based mobility prediction and updating routing paths by selecting intermediate common relay groups.

### I. 서 론

무선 통신 기술의 발전에 따라, 이동성을 지원하

는 네트워크에 대한 관심이 최근에 점점 더 늘어나고 있다. 이에 따라 통신의 영역이 고정된 인프라에서 벗어나 다양한 이동성을 가지는 사물로 확장해

※ 본 연구는 (주)LIG넥스윈의 전술환경에서의 통신망 연구(Y10-005)의 지원을 받아 연구되었음

※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 육성지원 사업의 연구결과로 수행되었음(NIPA-2011-C1090-1111-0006)

\* 연세대학교 전기전자공학과 유비쿼터스 연구실 (jsyhjmin@naver.com, big92style@yonsei.ac.kr, jy1@yonsei.ac.kr), (° :교신저자)

\*\* 한국방송통신전파진흥원 (hearlj@yonsei.ac.kr)

\*\*\* (주)LIG 넥스윈 통신연구소 (sbpark93@lignex1.com, youngbin.you@lignex1.com)

논문번호 : KICS2011-08-359, 접수일자 : 2011년 8월 19일, 최종논문접수일자 : 2011년 12월 30일

나아가고 있으며, 통신 노드의 이동성에 대하여 여러 측면에서 연구가 진행되고 있다.

이러한 연구를 통해 현실에서 노드의 이동성이 개별 단위의 이동성뿐만 아니라 많은 경우 그룹 단위로 움직이는 경향을 보인다는 것이 알려지게 되었다<sup>[1]</sup>. 이러한 이동 연관성(mobility correlation)이 통신 노드 간에 매우 빈번하게 나타나므로 이를 활용하는 응용 및 통신 기술에 대한 연구의 필요성이 대두되었다. 팀 단위 활동이나, 전장 상황에서 운용되는 군용 네트워크의 군사 임무와 같은 경우처럼 다수의 통신 노드들이 유사한 이동 특성을 보여주는 그룹 이동성이 가정되는 네트워크의 경우에는 개별 단위의 이동성을 기본으로 한 이동 네트워크와는 다른 특성을 가지게 된다. 개별 단위 이동성은 노드들 간의 이동시에 공통되는 이동 특성이 없이 모두 별개로 움직이기 때문에 상호 의존성 없이 임의적으로 이동을 하게 된다. 반면 그룹 단위 이동의 경우에는, 그림 1에서 볼 수 있듯이 공통의 특성을 공유하는 그룹이 이동성 또한 공유하기 때문에 그룹과 멤버 노드간의 상호 의존성이 존재하여 그룹 멤버 노드들은 그룹이 움직이는 궤도를 따라서 움직이는 특성을 가진다.

따라서 상대적으로 그룹 단위 이동의 경우 동일 그룹 내부의 노드들 간의 통신은 위치 변화가 그룹 범위로 제한되어 나타나게 되고, 이는 고정된 네트워크내의 노드간 통신과 보다 가까운 특성을 가지게 된다. 하지만 서로 다른 그룹에 속해 있는 노드간의 통신의 경우에는 개별 단위 이동의 경우와 마찬가지로 위치 변화가 전 네트워크 범위에 걸쳐서 나타나게 되고, 이는 이동성의 변화가 극심한 경우 이므로 라우팅 신뢰성 및 오버헤드로 인한 성능 저하에 매우 직접적인 영향을 주게 된다.

이러한 그룹 이동 특성을 가진 네트워크에서, 일반적인 라우팅 구조를 사용하지 않고 그룹 기반으로 라우팅을 하는 경우 얻을 수 있는 장점은 라우팅 오버헤드를 경감시켜 라우팅 성능을 향상시킬 수 있다는 점이다. 상대적으로 그룹 내부 노드간의 토폴로지가 안정적이기 때문에 주기적인 라우팅 업데이트를 사용하지 않고 상태 변화가 있는 경우에 한하여 그룹 내부 노드간의 경로를 갱신하게 되면 그룹 내 노드간의 통신에 따르는 많은 수의 라우팅 오버헤드를 줄일 수 있다. 또한 그룹 리더와 그룹 멤버라는 개념을 두어서 그룹 간의 통신을 그룹 리더라는 노드가 담당하게 하도록 계층적인 라우팅을 적용하는 경우, 그룹 내에 있는 개별 노드들이 모두

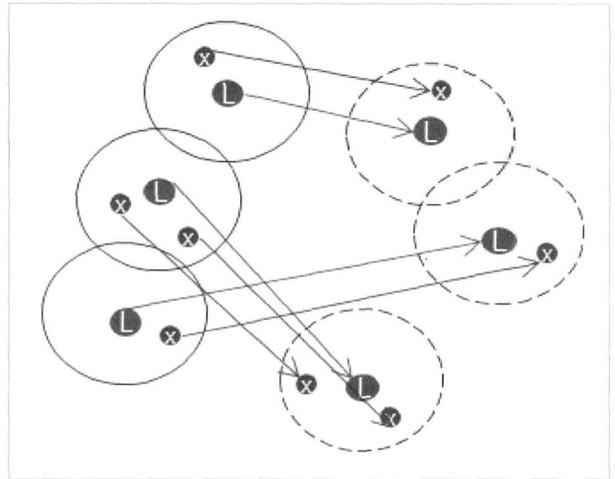


그림 1. 그룹 이동성 예제  
Fig. 1. Example of group mobility

타 그룹에 대한 라우팅 경로를 파악하지 않아도 그룹 리더가 이를 대신하여 수행하기 때문에 그룹간의 통신에 따르는 라우팅 오버헤드 또한 이러한 방식으로 상당부분 감소시킬 수 있게 된다. 즉, 그룹 내부에서의 통신은 개별 노드가 담당하고 만약 타 그룹에게 전송할 패킷이 있다면 그룹 리더에게로 포워딩하여 전송하도록 하여 중복되는 라우팅 경로 갱신을 효과적으로 줄일 수 있다.

그렇지만 이동 환경에서 그룹 간 통신에서 각각의 그룹 리더가 다른 그룹에 대한 경로를 계속해서 유지하는 것은 패킷 전송 성공률과 같은 라우팅 성능을 저하시킬 수가 있다. 이러한 사실로부터, 본 논문에서는 그룹 이동성을 가지는 네트워크에서 이동 적응적인 라우팅 업데이트 구조를 제안한다. 제안하는 구조는 그룹 간 라우팅에서의 업데이트 간격을 이동성에 따라 가변적으로 설정하여 패킷 전송 성공률의 저하 없이 라우팅 오버헤드를 경감시켜서 라우팅 성능이 향상되도록 하는 것이다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 그룹 이동성을 고려한 라우팅 관련 연구들을 소개하고, III장에서는 이동성을 고려한 라우팅 업데이트 구조를 제안한다. IV장에서는 모의실험을 통해 기존의 라우팅 기법들과 성능비교를 하여 제안하는 알고리즘이 라우팅 오버헤드의 감소에 효과적임을 증명한다. 마지막으로 V장에서는 결론과 향후 연구과제에 대해 서술한다.

## II. 관련연구

기존의 이동성을 지원하는 MANET(mobile ad

hoc network)에서의 라우팅 프로토콜이 그룹 이동 특성을 가지는 네트워크에 또한 적용될 수 있다. 이 경우 동일 그룹 내의 노드들이 가지는 상호 의존성을 활용하지 않고, 모든 노드들이 개별 이동성을 가지고 있다고 가정하여 라우팅을 하기 때문에 그룹 내부 통신이나 그룹 간의 통신에 대해서 동일하게 라우팅을 수행하게 되고 이에 따라서 라우팅 오버헤드가 지나치게 발생하는 문제점을 가지고 있다.

이와 달리, 그룹 기반 이동 특성에 적합한 라우팅 프로토콜들이 제안되기 시작하였다. 대부분의 제안되는 그룹 기반 라우팅 방법들은 그룹 내부 노드 간의 토폴로지 유지를 위한 라우팅 프로토콜과, 그룹 간의 토폴로지 유지를 위한 라우팅 프로토콜을 달리하는 하이브리드 라우팅 프로토콜(hybrid routing protocol)을 사용하고 있다<sup>[2][3]</sup>. 그룹 내부 노드간의 통신에 따른 라우팅 오버헤드를 최소화하기 위해서 그룹 내부의 통신을 위한 라우팅 프로토콜을 따로 두고, 타 그룹과의 연결을 유지하기 위해서 그룹 리더가 타 그룹 리더와의 경로를 유지하기 위한 라우팅 프로토콜을 따로 두는 방식으로 라우팅을 수행한다. 각각의 그룹은 서로 다른 이동 특성을 가지기 때문에 그룹 리더 단위의 라우팅 업데이트는 개별 단위 이동성의 경우처럼 생각될 수가 있고 이에 따라 기존의 이동성을 지원하는 라우팅 방법이 응용되어 사용되고 있다.

Geo-LANMAR<sup>[4][5]</sup>와 같은 경우, 대표적인 그룹 기반 라우팅 프로토콜로서, 그림 2와 같이 그룹 내부 노드간의 통신을 위해서는 링크 상태(link-state) 라우팅을 사용하고 그룹 간 리더 사이의 통신을 위해서는 그리디 포워딩(greedy forwarding)의 일종인 geo-forwarding을 사용하는 하이브리드 라우팅을 제안하고 있다. 그룹 내부 노드들은 상대적으로 안정적인 토폴로지를 유지하기 때문에 상태 변화에 따라 업데이트하는 링크 상태 라우팅을 사용하여도 신뢰성이나 효율성에서 좋은 성능을 나타내게 된다. 하지만 빈번하게 이동하고 연결이 끊어지는 그룹 간의 통신을 위해서 그룹 리더들은 거리에 따라 주기적으로 그룹 간 라우팅 정보를 geo-forwarding을 통하여 갱신하게 된다. 이 때에, 자신의 위치 정보를 담은 링크 상태 패킷을 전송할 때에 TTL(time-to-live) 설정을 통하여, 결과적으로 그룹 간 라우팅 업데이트는 홉 수에 따라서 주기적으로 수행되게 된다.

Geo-LANMAR의 inter-group 라우팅은 가까이 있는 그룹일수록 정확한 정보를 가지게 되는 방식

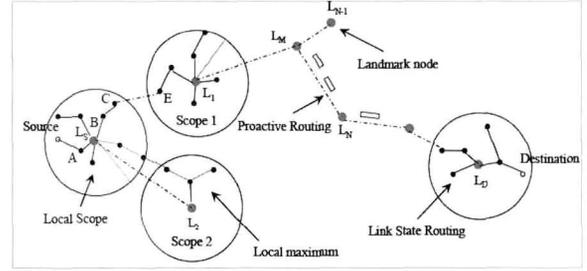


그림 2. Geo-LANMAR 라우팅 프로토콜  
Fig. 2. Geo-LANMAR routing protocol

으로 이는 그룹 이동성의 변화가 낮은 경우에 적합한 방식이다. 전송을 원하는 목적지 그룹의 이동이 제한적으로 나타나서 위치 정보를 이용한 geo-forwarding을 통해서 목적지 그룹을 추적해 나갈 수 있다면 라우팅 오버헤드도 줄일 수 있고 성공적으로 그룹 간의 전송을 수행할 수 있겠지만, 이동성이 매우 큰 그룹 이동 네트워크의 경우라면 위치 정보를 바탕으로 떨어져 있는 그룹을 찾아 나가는 것이 성공률이 매우 낮을뿐더러 국부 최대점(local maxima)이 빈번하게 발생하여 패킷 전송 성공률이 급격하게 낮아지게 되는 단점을 가지고 있다. 불필요한 플러딩(flooding)을 제한하면서도 그룹 간의 연결을 지속적으로 유지하는 방법이 요구되는 것이다.

이와 같이 단순히 위치 정보만을 가지고 목적지 그룹을 추정하는 경우의 신뢰성 하락 문제를 피하기 어렵다. 그룹 간의 이동성에 따라서 가변적으로 라우팅 업데이트 간격을 제어하여 정확한 경로를 유지해야 하는 것이다. 이에 따라 그룹 간 라우팅 업데이트 수는 최소화 하면서도 이동성 변화에 상관없이 지속적으로 그룹 간 연결을 유지할 수 있는 다음과 같은 기법이 필요하게 되었다. 이동성 예측(mobility prediction)은 각 노드의 이동성 정보를 바탕으로 노드간의 연결이 유지되는 시간을 예측하는 방식이다<sup>[6]</sup>. 이를 이용하여 현재의 상호 이동 상황에서 언제까지 연결이 유지될 수 있는지를 파악하고 라우팅 업데이트를 적절한 시간에 조건적으로 수행할 수 있다.

$$D_{i,j} = \frac{-(ab+cd) + \sqrt{(a^2+c^2)r^2 - (ad-bc)^2}}{a^2+c^2} \quad (1)$$

$$a = V_i \cos \theta_i - V_j \cos \theta_j$$

$$b = x_i - x_j$$

$$c = V_i \sin \theta_i - V_j \sin \theta_j$$

$$d = y_i - y_j$$

이동 노드  $i$ 와  $j$ 의 좌표를 각각  $(x_i, y_i), (x_j, y_j)$ 라고 하고, 각각의 이동 속도가  $V_i, V_j$ 일 때 식 (1)을 이용하여 LET(link expiration time)  $D_{i,j}$ 를 구할 수 있다<sup>[9]</sup>. 여기서  $\theta_i, \theta_j$ 는 이동 방향을 나타내며  $0 \leq \theta_i, \theta_j < 2\pi$ 를 만족한다. 이를 통해 링크 연결이 끊어지는 시간을 구하여 라우팅에 활용할 수 있다. 그룹 단위 이동성을 가지는 네트워크의 경우 그룹 내부 노드간의 LET 값은 무척 크겠지만 인접한 서로 다른 그룹의 노드와 같은 경우 서로 다른 이동 특성으로 인하여 LET 값의 변화가 클 것이다. 따라서 이러한 LET 값을 바탕으로 그룹 간의 연결을 신뢰할 수 있는 구간을 예측하고 구간 내에 추가적인 그룹 간 라우팅 경로를 확보하여 연결이 끊어지지 않도록 유지하여야 한다.

### III. 이동성을 고려한 라우팅 업데이트 구조

어떤 그룹 내의 노드가 패킷을 전송하고자 할 때에 두 가지 경우를 고려할 수 있다. 첫 번째의 경우는 동일한 그룹 내에 있는 다른 노드에게 패킷을 전송하고자 하는 경우이다. 두 번째의 경우는 자신이 속해 있는 그룹에 존재하는 노드가 아닌 다른 그룹에 속한 노드에게 패킷을 전송하고자 하는 경우이다. 본 논문에서는 각각의 경우에 대해 라우팅 업데이트 방법을 기술한다.

#### 3.1. 그룹 내의 노드간의 라우팅 업데이트

동일한 이동 특성  $f$ 를 갖는 노드들로 이루어진 임의의 그룹을  $G^f$ 라고 정의한다. 여기서 각 그룹의 그룹 리더는 자신이 속한 그룹 내의 일반 멤버 노드의 라우팅 및 멤버 노드의 그룹 탈퇴와 가입을 관리한다. 또한 그룹 리더로부터 일정 거리 내에 멤버 노드들이 존재하며 그룹 리더와 각각의 멤버 노드 사이에는 통신 경로가 존재해야 한다. 이러한 그룹 이동 조건에서 그룹 내 노드들 간의 토폴로지는 노드간의 상대속도가 작기 때문에 비교적 안정적으로 유지가 된다. 따라서 본 논문에서는 그룹 내 노드간의 라우팅 시에는 Geo-LANMAR와 같은 링크 상태 라우팅 방식으로 경로를 갱신하도록 가정한다. 이는 그룹내에서의 이동 범위가 제한되어 있는 그룹이동특성 때문에 라우팅 테이블의 갱신이 매우 드물게 일어날 것이고 경로 변화시에 이를 빠르게 파악할 수 있기 때문이다. 따라서 그룹 내 멤버 노드들이 지속적으로 그룹 리더 노드에 대한 경로를

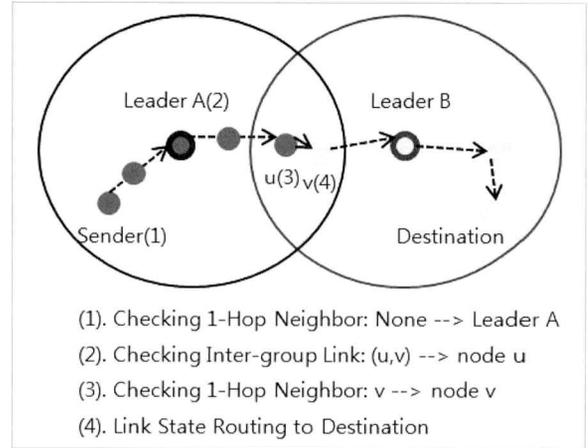


그림 3. 직접 연결된 그룹간의 라우팅 예제  
Fig. 3. Routing example between two directly connected groups

유지하여 그룹 간 통신에 있어서 빠르게 패킷 전달이 이루어질 수 있게 한다.

#### 3.2. 그룹 간의 라우팅 업데이트

임의의 그룹 A와 B가 서로 연결되어 있는지의 여부는 다음과 같이 판단할 수 있다.

$$connect(G_A^f, G_B^f) \Leftrightarrow \exists link(u, v) \text{ s.t. } \{u \in G_A^f\}, \{v \in G_B^f\} \quad (2)$$

그룹 A의 특정 멤버 노드  $u$ 와 그룹 B의 특정 멤버 노드  $v$ 가 서로 연결된 링크를 가지고 있는 경우, 각 그룹은  $u$ 와  $v$ 를 게이트웨이로 이용하여 서로 정보 전달이 가능하다. 따라서 그룹 A와 B가 서로 직접적으로 연결되어 있다고 판단한다. 이 때 두 노드  $u, v$ 간에 형성된 링크를  $link(u, v)$ 라 하고 식 (2)와 같이 두 그룹  $G_A^f, G_B^f$  간의 연결성을 정의한다. 인접 그룹과의 연결성을 판단하기 위해서는 그룹 내의 노드간의 링크 상태 라우팅 업데이트를 통해 그룹 리더가 다른 그룹 노드와의 링크를 가지고 있는 노드에 대한 정보를 파악하고 있어야 한다.

그림 3과 같이 그룹 A에 있는 노드(sender)가 다른 그룹 B에 있는 노드(destination)에게로 전송하고자 할 때, 그룹 A에 있는 노드는 자신의 1홉 이웃정보를 우선 확인한다. 그룹 B의 노드가 이웃으로 존재하는 경우에는 패킷을 바로 전송하도록 한다. 그렇지 않은 경우에는 속해 있는 그룹 A의 리더에게로 패킷을 전달하게 된다. 자신의 그룹 멤버로부터 패킷을 전달받은 그룹 A의 리더는 수집한 링크 상태 정보를 바탕으로 목적지 그룹 B가 직접적으로 연결되어 있는 그룹인지 분리되어 있는 그

롭인지를 판단하고 이에 따라 그룹 B에게로 전송하는 방식을 달리하게 된다.

그룹 A와 B가 직접 연결되어 있는 경우에는  $link(u,v)$ 와 같은 두 그룹을 이어주는 내부 링크가 존재하기 때문에 그룹 리더는 타 그룹 노드와 링크를 가지고 있는 노드에게 패킷을 재전송하게 된다. 이를 받은  $u$ 와 같은 노드들은 앞서 설명한대로 자신의 1홉 이웃정보를 바탕으로 상대  $v$ 와 같은 노드에게 바로 전송을 수행하도록 하고, 이를 받은  $v$  노드는 목적지 노드에게로 그룹 내의 노드간의 링크 상태 기반 라우팅을 수행한다.

이렇게 직접 연결되어 있는 경우의 라우팅 방식은 상호 그룹이 연결되어 있는 링크를 따라서 전송을 하게 만드는 식으로 간단하게 구현할 수 있지만 본격적으로 다뤄야하는 문제는 이러한 그룹 간의 연결을 지속적으로 유지할 수 있도록 적절한 시점에 라우팅 정보를 갱신하도록 하는 것이다. 만약 라우팅 업데이트 시점이 너무 빠르게 되면 불필요한 라우팅 오버헤드가 발생하게 되고, 라우팅 업데이트 시점이 너무 늦게 되면 상호 그룹 사이의 경로를 잃게 되어서 라우팅이 실패하게 되어 신뢰성이 저하되게 된다.

따라서 그룹 단위의 이동성 예측을 통하여 상호 그룹이 중첩되지 않고 분리되는 시점을 예측하여, 사전에 상호 그룹간의 연결을 지속시킬 수 있는 중계 그룹을 선택하도록 한다. 이를 통해 계속해서 그룹 간의 라우팅 경로를 유지하여 이동 적응적인 라우팅 업데이트로 신뢰성을 저하시키지 않으면서도 라우팅 오버헤드를 줄일 수 있는 알고리즘을 다음과 같이 제안한다.

### 3.2.1. 연결 구간 및 업데이트 구간 계산

관련연구를 통해 개별 단위 노드의 이동에 있어서 식 (1)과 같은 방식으로 노드간의 LET를 구할 수 있음을 확인하였다. 이를 그룹 단위로 적용하여 그룹간의 연결이 끊어질 때까지의 시간을 계산하기 위해서는 게이트웨이간의 연결성을 고려해야 한다. 그룹 간에  $link(u,v)$ 와 같이 상호 연결을 가능하게 하는 링크가 끊어지더라도 다른 상호 연결 링크  $link(u',v')$ 가 만들어진다면 그룹 간의 연결은 계속해서 유지될 수 있다. 따라서 단순히 특정 시점에 존재하는 한 쌍의 게이트웨이간의 LET를 구하여 그룹 간의 LET를 측정하는 것은 부정확하다. 기존의 노드간 LET와 구분하기 위하여 그룹간의 LET를 virtual LET라고 정의하고, 이를 구하기 위해 두

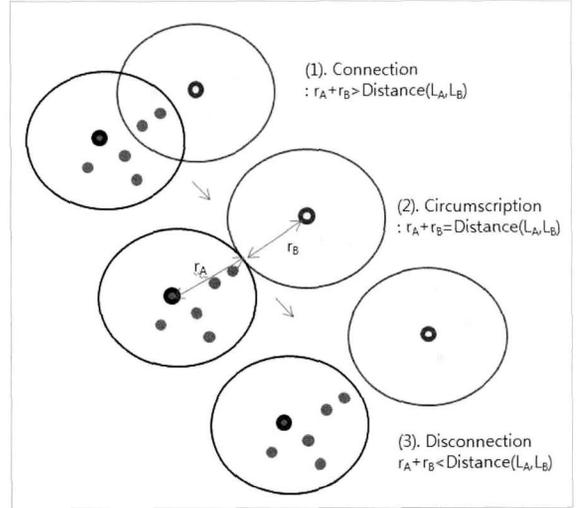


그림 4. 통신 반경의 외접과 통신 단절 시점과의 상관관계  
Fig. 4. Correlation between the circumscription of coverage and the disconnection of communication for two groups

그룹간에 링크를 형성할 수 있는 모든 노드의 쌍을 식 (3)과 같이 비교하여 그룹간 최대 거리를 유지하고 있는 노드 쌍인  $(u^*, v^*)$ 를 찾는다.

$$(u^*, v^*) = \underset{(u,v)}{\operatorname{argmax}} \{ \operatorname{dist}(u, l_A) + \operatorname{dist}(v, l_B) \} \quad (3)$$

where,  $\exists link(u,v) \text{ s.t. } \{u|u \in G_A^f\}, \{v|v \in G_B^f\}$

각각 그룹 A와 그룹 B에 속한 임의의 노드  $u, v$ 가 서로 근접하여 통신 링크가 존재할 때, 이러한 노드 쌍의 집합은 게이트웨이로 사용될 수 있는 후보군이 된다. 이 때, 그룹 A의 리더  $l_A$ 와 노드  $u$ 간의 물리적 거리인  $\operatorname{dist}(u, l_A)$ 와 그룹 B의 리더  $l_B$ 와 노드  $v$ 간의 거리  $\operatorname{dist}(v, l_B)$ 의 합이 최대가 되는 노드 쌍  $(u^*, v^*)$ 는 두 그룹이 멀어질 때 가장 마지막까지 링크를 유지할 수 있는 게이트웨이가 된다. 따라서 그룹 A와 그룹 B의 통신 반경  $r_A, r_B$ 는 각 그룹리더와  $u^*, v^*$ 간의 거리에 개별 노드의 통신 반경인  $r_{tx}$ 를 더해 식 (4), 식 (5)와 같이 구할 수 있으며, 이는 상대 그룹에 대해 작용하는 통신 범위를 의미한다.

$$r_A = \operatorname{dist}(u^*, l_A) + r_{tx} \quad (4)$$

$$r_B = \operatorname{dist}(v^*, l_B) + r_{tx} \quad (5)$$

위 식으로 부터 상호 연결된 그룹 A와 B에 대하여 최대 통신 반경을 각각 구하고, 이에 따른 그룹 통신 반경의 외접 조건을 식 (6)을 통해 구하여 두 그룹간의 연결성이 끊어지는 시점을 찾을 수

있다.

$$r_A + r_B = \sqrt{(x_A - x_B)^2 + (y_A - y_B)^2} \quad (6)$$

이 때, 각 그룹의 위치 좌표  $(x_A, y_A)$ 와  $(x_B, y_B)$ 는 각 그룹 리더  $l_A, l_B$ 의 위치 좌표와 동일한 것으로 간주한다. 그 이유는 그룹의 구성이 그룹 리더로부터 일정 반경 안에 속한 노드들로 이루어지도록 했기 때문이다. 따라서 그룹 A와 B의 이동속도  $V_A, V_B$ 는 각 그룹 리더의 이동속도와 동일하다. 이는 현 시간에서 각 그룹의 최대 통신 반경을 나타내는 것으로 실제 시간이 지남에 따라 이동하게 되면서 상호 그룹에 작용하는 통신 반경은 변화하게 된다. 그렇지만 그룹 내 멤버간의 의존성에 따라 상대적으로 안정된 토폴로지를 유지하므로 그룹 이동에 따르는 오차도 제한적으로 나타나게 되며 차후 신뢰구간계수 K값을 두어 신뢰할 만한 연결 구간을 구할 수 있게 된다.

그림 4에서 알 수 있듯이 기존 연결 구간에서 연결이 끊어지는 시기를 계산하는 것은 통신 반경이 외접하는 순간을 계산하며 구할 수 있다. 두 그룹간의 외접 조건인 식 (6)을 이용하여 속도 단위를 대입하여 식을 풀이하면 다음과 같이 두 그룹 A와 B의 virtual LET값인  $T_{A,B}$ 를 구할 수 있게 된다.

$$T_{A,B} = \frac{-(ab+cd) + \sqrt{(a^2+c^2)\left(\frac{r_A+r_B}{2}\right)^2 - (ad-bc)^2}}{a^2+c^2} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} a &= V_A \cos\theta_A - V_B \cos\theta_B \\ b &= x_A - x_B \\ c &= V_A \sin\theta_A - V_B \sin\theta_B \\ d &= y_A - y_B \end{aligned}$$

$T_{A,B}$ 는 실제 그룹 내의 노드들이 조밀하지 않고 균등 분포(uniform distribution)되어 있지 않은 상황에서는 오차를 가지게 된다. 따라서 신뢰성을 보장하기 위해서는 계산된 virtual LET보다 미리 인접 그룹 간 라우팅 업데이트를 수행하여야 한다. 그림 5는 라우팅 업데이트 구간이 두 그룹간의 연결이 완전히 단절되기 이전에 이루어지는 것을 도식화한 것이다. 이를 제어하기 위한 0과 1사이의 값 K를 신뢰구간계수로 두고 본 논문의 마지막에 실험을 통해 이 값을 달리하면서 라우팅 업데이트를 수

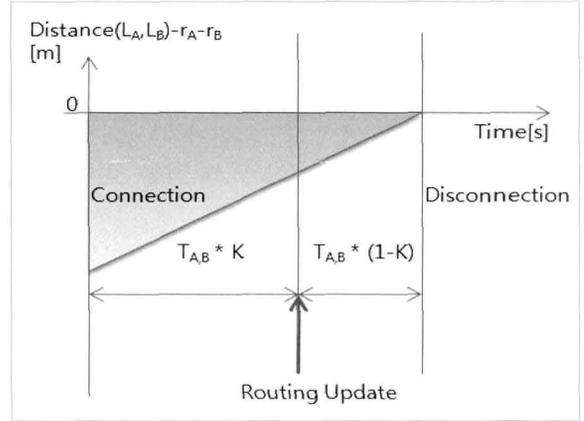


그림 5. 신뢰구간계수 K와 라우팅 업데이트 구간  
Fig. 5. Routing update point depends on the reliability factor K

행하여 성능을 비교 한다. 이를 통해 신뢰성을 유지하면서도 라우팅 업데이트 오버헤드를 경감시킬 수 있는 K 값을 찾아보도록 한다.

### 3.2.2. 라우팅 업데이트를 통한 중계 그룹 선택

앞서 그룹 단위의 위치 정보 및 이동성 정보를 활용하여 그룹 간 연결이 언제까지 유지되는지 계산하고 신뢰구간계수 K를 이용해서 다음 라우팅 업데이트 구간을 정하는 것에 대해서 설명하였다. 처음 네트워크 전반에 걸쳐서 초기화 과정을 통해 라우팅 정보를 갱신한 이후부터는 연결 구간 및 업데이트 구간을 계산하는 제안 알고리즘을 활용하여 다음 라우팅 업데이트를 계획하고 수행하게 된다. 이러한 라우팅 업데이트 시에 우리는 기존의 그룹 간 직접적인 연결이 더 이상 지속되지 못하기 때문에 중간에 중계 그룹을 선정하여 그룹 경로를 우회하여 두 그룹간의 라우팅을 지원하도록 한다.

각각의 개별 그룹 리더들은 링크 상태 라우팅 업데이트를 통해 다른 그룹과의 링크가 연결되어 있는지의 정보를 수집하고 있다. 이에 따라 제안한 이동성 예측 기법을 통하여 각 그룹과의 virtual LET 값을 가지고 있고 이를 활용하여 중계 그룹을 선정한다. 즉, 추가적인 라우팅 경로를 확보하기 위해서 현재 연결되어 있는 두 그룹 리더는 가지고 있는 이웃 그룹들의 ID정보와 각 그룹에 해당하는 virtual LET 값을 라우팅 업데이트의 경우에 교환하게 된다. 이를 교환하면 각 그룹 리더는 자신과 상대 그룹 사이에서 가장 오랫동안 연결을 유지하는 이웃 그룹을 중계 그룹으로 선택하도록 한다.

그림 6과 같은 경우 그룹 A와 B는 현재 직접 연결이 유지되고 있지만 그룹 이동성에 따라서 연

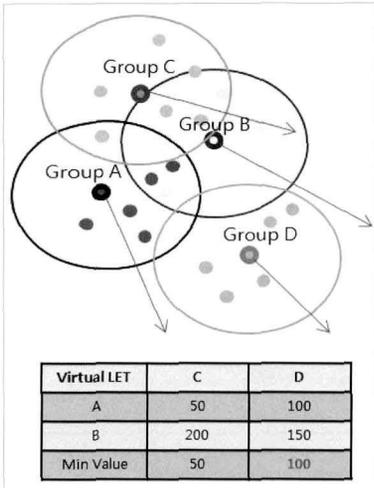


그림 6. Virtual LET와 중계 그룹 선정  
Fig. 6. Relay group selection using virtual LET

결이 단절되는 것을 예방하기 위해 라우팅 업데이트를 수행하여 서로 상대방의 이웃 그룹 ID와 이에 해당하는 virtual LET 값을 교환한다. 만약 그룹 C를 중계 그룹으로 선택하는 경우, A-C 사이의 연결은 50, B-C 사이의 연결은 200으로 전체적인 A-C-B의 virtual LET는 C에 해당하는 virtual LET의 최소값인 50이 된다. 마찬가지로 그룹 D의 경우에는 100이라는 값이 나타나게 된다. 이를 통해서 그룹 D를 중계 그룹으로 선정하는 경우, C를 선택했을 경우보다 오랫동안 그룹 A와 B 사이의 연결을 유지할 수 있으므로 D를 중계 그룹으로 각 그룹 A와 B의 리더가 판단하여 라우팅 테이블에 저장한다. 따라서 라우팅 업데이트 이후 그룹 A에 있는 노드가 그룹 B에게 패킷을 전송하려고 하는 경우, 그룹 A의 리더는 그룹 D의 노드에게 패킷을 전달하고, D가 다시 B에게 중계하는 라우팅 경로를 확보하게 된다. 물론 추가적인 이동성으로 인해 중계 그룹과의 경로가 갱신되는 경우, 지나치게 홉 수가 늘어나서 라우팅이 혼잡해지고 성능이 저하되므로 중계 그룹은 단일 그룹으로 제한하고 경로가 변경되는 경우에는 다음의 분리된 그룹 간의 위치 정보를 이용한 라우팅 업데이트 구조를 수행하여 라우팅을 시도하도록 한다. 즉 A-D-B에서 A-D-C-B와 같은 식으로 경로가 늘어나지 않도록 한다. 위에 기술된 이웃 그룹을 선택하는 알고리즘은 그림 7과 같이 정리될 수 있다.

#### IV. 성능평가

본 논문에서 제안하는 그룹 이동 네트워크에서의

```

if(Ti,j * K Connection Update timer is expired)
// i,j groups are connected
{ exchange LET table and complete LET table
max=0;
num=0;
for (n=0; i<N; n++)
{ if (n is common neighbor?)
{ RET(n)= Min {LET(i,n),LET(j,n) }
if (max==0)
{ max=RET(n); num=n }
else
{ if(RET(n)>max)
{ max=RET(n); num=n }
} }
if(max!=0)
{ update ROUTE(i,j)
} then return num; //set i-n-j route
// num: Relaying Group ID, max: Relaying RET
    
```

그림 7. 중계 그룹 선정 알고리즘  
Fig. 7. Relay group selection algorithm

표 1. 모의실험 환경  
Table 1. Simulation parameters

Parameter	Value
Simulation Time	1000s
Number of Mobile Nodes, N	50
Simulation Area	2000m x 2000m
Transmission Range for Mobile Nodes	100m
Pause Time for Mobile Nodes	50s
Max. speed of Mobile Nodes, V <sub>max</sub>	15m/s
Number of traffic pairs	20
Speed of Mobile Nodes	V <sub>leader</sub> (±5)
Reliability Factor, K	0.8

이동 적응적인 라우팅 업데이트의 성능 평가를 위하여 MATLAB을 사용하여 제안한 알고리즘을 구현하였으며, 비교 분석을 위해 플러딩 기반의 on-demand 라우팅 프로토콜인 AODV와 그룹 기반의 주기적인 라우팅 업데이트를 수행하는 Geo-LANMAR를 추가 구현하였다. 데이터 전송 성공률과 라우팅 오버헤드 측면에서 모의실험을 수행하였으며 기본적인 환경 설정은 표 1과 같다. 또한 전송된 신호의 세기가 거리에 지수비례하여 감소하는 전파경로손실모델을 사용하였다. 이를 통해서 이동 적응적인 라우팅 업데이트를 통해 제안하는 기법이 라우팅 오버헤드를 효과적으로 경감시키면서 동시에 전송 성공률과 같은 신뢰성 측면에서의 성능 저하

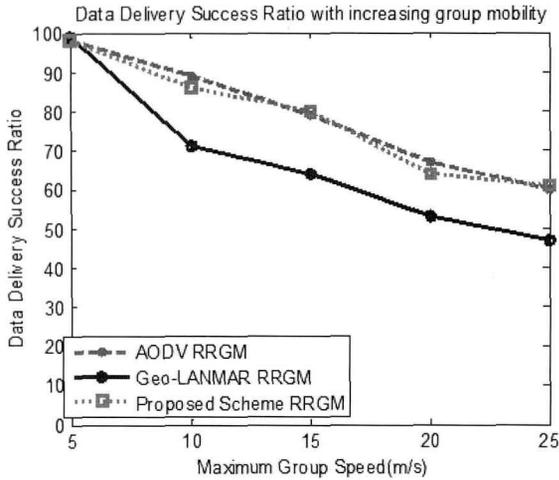


그림 8. 이동 속도에 따른 패킷 전송 성공률  
Fig. 8. Packet delivery success ratio with mobile group speed

를 나타내지 않는 것을 확인하고자 하였다.

그림 8은 이동 속도에 따른 패킷 전송 성공률을 알아본 것이다. 그룹 이동의 최대 속도가 증가함에 따라 그룹 간의 라우팅이 깨어지고 라우팅이 실패하는 경우도 점차 많아지게 된다. RREQ, RREP와 같은 제어 메시지로 필요시마다 플러딩을 통해 경로를 확보하는 AODV의 경우 이동 속도가 증가하여도 상대적으로 높은 데이터 전송 성공률을 보이는 것을 알 수 있다. 이에 비하여 Geo-LANMAR는 흡수에 따라서 주기적인 라우팅 업데이트를 geo-forwarding을 통하여 수행하기 때문에 실제 그룹의 최대 이동 속도가 증가함에 따라서 라우팅 성공률이 급격하게 낮아지는 것을 확인할 수 있다. 오히려 그룹 내부 노드간의 전송이 성공적으로 이뤄져서 라우팅 성공률의 저하가 상대적으로 작게 나타나는 경향을 보인다. 제안하는 라우팅 프로토콜은 이론적으로 그룹 간 연결이 끊어지는 것을 예측하여 이동 적응적으로 라우팅을 업데이트 하여 경로를 지속적으로 유지하여야 하지만 이동성이 커지면서 분리되는 그룹이 발생하고 그룹 단위의 제한된 위치 추정으로 AODV와 같은 필요시 마다 플러딩을 통해 경로를 확보하는 데에 비해서 경로 갱신이 제한되기 때문에 전송 성공률이 AODV에 비해서는 약간 낮게 나타난다.

그림 9는 이동 속도가 변화함에 따른 라우팅 오버헤드를 측정된 결과이다. AODV의 경우, 그룹 내부 노드이건 외부 노드이건 관계없이 경로를 찾기 위해 네트워크 전반적으로 플러딩을 활용하기 때문에 그룹 이동 속도가 증가하여 경로를 지속적으로 확인할 필요가 있는 경우 라우팅 오버헤드가 증가

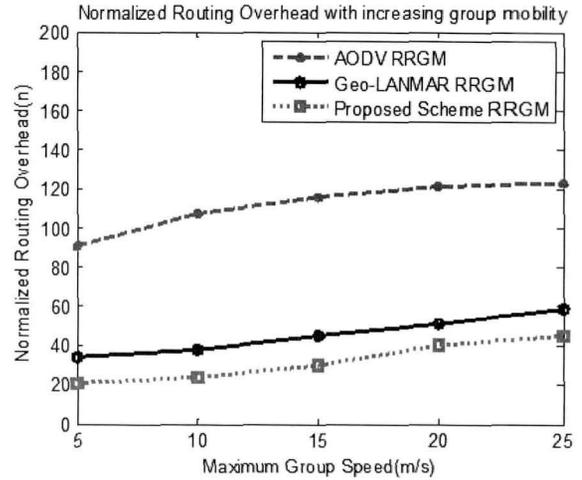


그림 9. 이동 속도에 따른 라우팅 오버헤드  
Fig. 9. Routing overhead with mobile group speed

하는 것을 확인할 수 있다. 반면 Geo-LANMAR는 그룹 내 라우팅은 노드 간 상호 의존성으로 인해 자주 발생하지 않고, 그룹 간 라우팅도 주기적으로 geo-forwarding을 사용하여 많이 발생하지 않는 모습이지만, 목적지 노드가 이동성으로 인해 위치가 빈번하게 바뀌는 상황에서 이를 추적하려는 프로세스를 더 하여, 전체적으로 라우팅 오버헤드가 증가하면서 성능을 저하시키는 결과를 보여주고 있다. 반면에 제안하는 라우팅 알고리즘의 경우 인접 그룹에 대한 라우팅 업데이트를 이동성 예측을 기반으로 조건부로 수행하기 때문에 상당 부분 라우팅 오버헤드가 줄어드는 것을 확인할 수 있다.

본 논문에서 제안하는 이동성 예측 기반 라우팅에서 고려해야 하는 점은 그룹의 이동 상황에 따라 각 그룹의 상대 그룹에 대한 통신 환경이 고정적이지 않고 변화한다는 점이다. 따라서 구한 virtual LET 값에 맞춰서 라우팅 업데이트를 수행하게 되면 이미 연결이 끊어진 이후에 뒤늦게 중계 그룹을 찾게 되는 경우가 발생한다. 따라서 신뢰성의 수준을 결정하는 신뢰구간계수 K값을 0부터 1 사이의 값으로 임의적으로 설정하여 이를 조절하면서 전송 성공률 및 라우팅 오버헤드에 어떠한 변화가 나타나는지 확인하였다.

K값이 0에 가까울수록 연결이 끊어지기 훨씬 이전에 라우팅 업데이트를 수행하는 것이고 1에 가까울수록 연결이 끊어지는 순간이 다 되어야 라우팅 업데이트를 수행하도록 하는 것이다. 그림 10에서 볼 수 있듯이 K가 0.8까지 증가할 때 까지는 전송 성공률에 있어서의 성능 저하가 크게 나타나지 않는 것을 확인할 수 있었다. 그림 11은 K와 라우

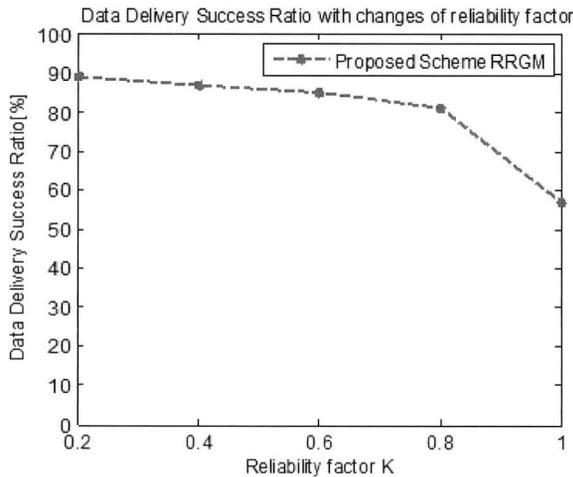


그림 10. 신뢰구간계수 K에 따른 전송 성공률  
Fig. 10. Packet delivery success ratio with reliability factor K

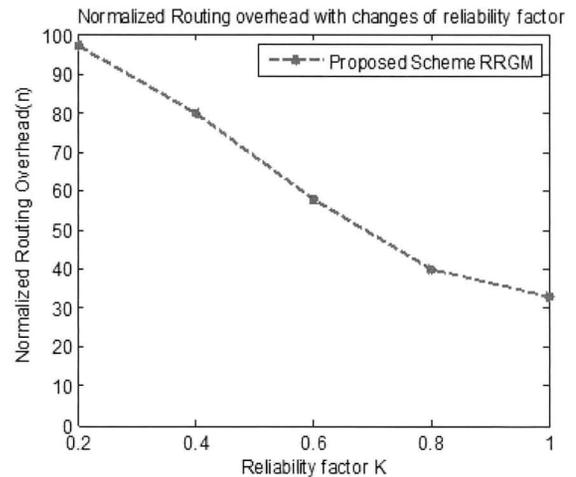


그림 11. 신뢰구간계수 K에 따른 오버헤드  
Fig. 11. Routing overhead with reliability factor K

팅 오버헤드의 상관관계를 나타내며, 라우팅 오버헤드와 K값은 서로 반비례하는 특성을 보여준다. 이는 너무 작은 값의 경우에는 불필요한 사전 라우팅 업데이트를 자주 수행하기 때문에 매우 큰 오버헤드를 유발한다. 반면에 K값이 클수록 그룹간의 연결이 단절되는 시점 직전까지 라우팅 업데이트를 제한하여 오버헤드를 상당부분 줄일 수 있게 된다. 결과적으로 최적의 K 값을 선택하여 전송 성공률의 큰 저하 없이 라우팅 오버헤드를 줄일 수 있도록 하는 알고리즘이 요구된다.

### V. 결 론

그룹 이동 네트워크에서 개별 그룹에 속한 노드들은 그룹이 움직이는 궤도를 따라서 움직이게 된다. 이러한 그룹 이동성의 특성을 갖는 환경에서, 그룹 내부 노드 간의 라우팅 업데이트를 최소화 하는 것이 가능하다. 그러나 서로 다른 그룹 간의 통신이 데이터 전송 성공률 측면에서 성능을 하락시키고 결과적으로 그룹 간의 라우팅을 위한 업데이트로 인해서 라우팅 오버헤드가 증가하게 된다. 데이터 전송률의 성능 저하 없이 라우팅 업데이트로 인한 오버헤드를 감소시키기 위해서 이동성 예측을 그룹 기반 라우팅에 응용하여 이동 적응적인 라우팅 업데이트 구조가 본 논문에서 제안되었다. 모의실험 결과, 제안하는 구조는 고정된 주기를 사용하는 라우팅 업데이트 구조나 전송 필요시에만 플래딩을 통해 라우팅 업데이트를 하는 구조에 비해서 전송 성공률의 성능 저하 없이 상당한 라우팅 오버헤드를 줄일 수 있음을 확인할 수 있었다. 추후

연구에서는 이동성 예측 모델을 통해 최적화된 신뢰구간계수 K를 찾는 알고리즘을 개발하여 실험적이지 아닌 이론적으로 효과적인 신뢰구간계수를 산출해 낼 수 있도록 할 것이다.

### 참 고 문 헌

- [1] X. Hong, M. Gerla, G. Pei, and C.C. Chiang, "A group mobility model for ad hoc wireless networks," in Proc. 2nd ACM International Workshop on Modeling, Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems, Seattle, Washington, 1999.
- [2] W. Su, S.-J. Lee, and M. Gerla, "Mobility Prediction in Wireless Networks," in Proceedings of IEEE MILCOM 2000, Los Angeles, CA, October 2000.
- [3] D. Son, A. Helmy, B. Krishnamachari, "The effect of mobility-induced location errors on geographic routing in mobile ad hoc and sensor networks: Analysis and improvement using mobility prediction," IEEE Transactions on Mobile Computing, 2004, pp 233-205.
- [4] J. Liu, F. Sailhan, D. Sacchetti, and V. Issarny, "Group management for mobile ad hoc networks: Design, implementation and experiment," in Proc. of the 6th Int'l Conf. on Mobile Data Management, 2005.
- [5] F. D. Rango, M. Gerla, B. Zhou, S. Marano, "Geo-LANMAR routing: asymptotic analysis of

a scalable routing scheme with group motion support," 2nd International Conference on Broadband Networks, 2005.

[6] J.M. Ng and Y. Zhang, "A Mobility Model with Group Partitioning for Wireless Ad Hoc Networks," Proc. Int'l Conf. Information Technology and Applications, vol. 2, pp 289-294, 2005.

[7] T.Camp, J.Boleng, and V.Davies, "A survey of mobility models for ad hoc network research," Wireless Communications and Mobile Computing- Special issue on Mobile Ad Hoc Networking: Research, Trends and Application, pp 483-502, 2002.

[8] Zhang, M. and Chong, P.H.J., "Performance comparison of flat and cluster-based hierarchical ad hoc routing with entity and group mobility," Proceedings of the 2009 IEEE conference on Wireless Communications & Networking Conference, pp 2050-2055, 2009.

[9] Nen-Chung Wang, Yu-Li Su, "A power-aware multicast routing protocol for mobile ad hoc networks with mobility prediction," IEEE conf. on Local Computer Networks (LCN'05), 2005.

[10] Zhou, B. and Xu, K. and Gerla, M., "Group and swarm mobility models for ad hoc network scenarios using virtual tracks," Military Communications Conference (MILCOM) 2004, pp 289-294, 2004.

[11] Hong, X. and Gerla, M., "Dynamic group discovery and routing in ad hoc networks," Proceedings of the First Annual Mediterranean Ad Hoc Networking Workshop, Med-hoc-Net 2002, 2002.

[12] Ng, J.M. and Zhang, Y., "Impact of group mobility on ad hoc networks routing protocols," Advanced Communication Technology, 2006. ICACT 2006. The 8th International Conference, vol. 2, Feb. 2006.

[13] Shou-Chih Lo, Jen-Chu Liu, and Wen-Tsuen Chen, "Heterogeneous Routing Protocol for Group Communication in Wireless Ad Hoc Networks," Proceedings of the 2nd International Conference on Information Technology for Application (ICITA 2004), 2004.

[14] Santivanez, C. and Ramanathan, R , "Hazy sighted link state (HSLs) routing: A scalable link state algorithm," BBN Technologies, Cambridge, MA, Tech. Rep. BBN-TM-1301, 2001.

[15] Biao Zhou, Yeng-Zhong Lee, Gerla M., "Direction assisted Geographic Routing for mobile ad hoc networks," Military Communications Conference (MILCOM) 2008, pp 1-7, 2008.

강 현 제 (Hyunjae Kang)

준회원



2009년 2월 연세대학교 전기  
전자공학과  
2011년 2월 연세대학교 전기전  
자공학과 석사  
2011년 3월~현재 국방기술품  
질원  
<관심분야> 이동통신공학, 위  
성통신공학

임 성 국 (Sungook Lim)

정회원



2005년 2월 연세대학교 전기  
전자공학부  
2008년 3월~현재 연세대학교  
전기전자공학과 석박통합과정  
<관심분야> 차세대 통신망, 릴  
레이 시스템, 자원 관리,  
QoS Management, Wireless  
Multihop Network

전 한 얼 (HahnEarl Jeon)

중신회원



1995년 2월 연세대학교 전자공학과  
1997년 8월 연세대학교 전자공학과 석사  
2003년 3월 연세대학교 전기전자공학과 박사  
2003년 3월~2004년 2월 연세

대학교 차세대방송기술 연구센터 연구교수  
2004년 7월~2008년 2월 방송위원회 연구위원  
2009년 3월~2010년 2월 연세대학교 차세대 RFID/USN 연구센터 연구교수  
2010년 3월~현재 한국방송통신전파진흥원 책임연구원  
<관심분야> QoS Routing, Wireless Sensor Network, Wireless Multihop Network, 융합기술, n-스크린

이 재 용 (Jaiyong Lee)

중신회원



1977년 2월 연세대학교 전자공학과  
1984년 5월 IOWA State University 공학석사  
1987년 5월 IOWA State University 공학박사  
1987년 6월~1994년 8월 포항공과대학 교수

1994년 5월~현재 연세대학교 전자공학과 교수  
<관심분야> Protocol Design for Wired/Wireless QoS Management, Ubiquitous Sensor Network, Wireless Multihop Network

박 수 범 (Soo Bum Park)

정회원

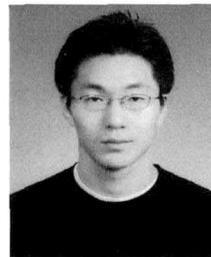


2001년 8월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과  
2006년 2월 한양대학교 정보통신공학과 석사  
2000년 4월~2005년 9월 (주)시머스 기술연구소  
2007년 10월~현재 (주)LIG넥스원 통신연구소

<관심분야> MANET, WSN, Cognitive Radio

유 영 빈 (Young Bin You)

정회원



2005년 2월 연세대학교 정보산업공학전공  
2007년 2월 연세대학교 컴퓨터과학 석사  
2007년 3월~2007년 12월 삼성전자 정보통신총괄 통신연구소  
2008년 1월~현재 (주)LIG넥스원 통신연구소

<관심분야> MANET, WSN, RTOS