

논문 2010-47TC-5-2

# 무선 하이브리드 메쉬 네트워크를 위한 개선된 계층구조 라우팅 프로토콜

( An Improved Hierarchical Routing Protocol for Wireless Hybrid Mesh Network )

기 상 렬\*, 윤 원 식\*\*

( Sangyoul Ki and Wonsik Yoon )

## 요 약

본 논문에서는 이동 Ad-hoc 네트워크를 지원하여 확장성과 광대역의 무선 환경을 제공하는 무선 메쉬 네트워크인 무선 하이브리드 메쉬 구조를 고려하여, 이에 효율적으로 적용될 수 있는 무선 하이브리드 메쉬 네트워크를 위한 계층구조의 라우팅 기법을 제안하였다. 무선 하이브리드 메쉬 네트워크상에서 효율적인 토폴로지 관리와 소스노드에서 목적노드로 라우팅 패스를 설정할 시에 발생하는 트래픽을 감소시키고 노드간 링크 안정성을 고려하고, 노드의 문제 또는 링크간 장애로 인한 잦은 라우팅 재설정 문제를 해결하는 계층구조의 라우팅 기법을 제안하였다. 또한 case study를 통하여 본 논문에서 제안된 계층구조의 라우팅 기법을 이용하여 네트워크 클러스터링 및 토폴로지 관리의 효율성을 인지할 수 있었으며, 성능분석 결과에서는 제안된 방법을 적용하였을 때, 링크의 상태가 좋지 않을 경우 기존 HOLSRL (hierarchical optimized link state routing) 방법보다 데이터 전송에 따른 중단간 지연시간이 감소되고 aggregate goodput과 packet delivery ratio가 향상됨을 알 수 있었다.

## Abstract

In this paper we propose an improved hierarchical routing protocol for wireless hybrid mesh network. The proposed method efficiently manages network topology and reduces overhead traffic for setting routing path by considering link stability. The simulation results show that the proposed method outperforms the HOLSRL (hierarchical optimized link state routing) method in aggregate goodput, packet delivery ratio, and end-to-end delay.

**Keywords :** Wireless hybrid mesh network, Hierarchical routing, Self-healing.

## I. 서 론

무선 메쉬 네트워크는 차세대 무선 네트워크를 위한 주요기술로 최근에 활발히 연구되기 시작하였으며, 기존의 인프라스트럭처에 의존함이 없이 쉽고 빠르게 광역 무선 네트워크를 구축할 수 있다<sup>[1]</sup>. 따라서 무선 메쉬 네트워크는 유비쿼터스 환경에서 각 정보기기 및 모

바일 단말기들이 지능적으로 연결되어 원하는 정보를 누구나, 언제, 어디서나, 어느 상황에서도 쉽게 이용할 수 있게 하는 네트워크 환경을 제공해 줄 수 있다.

현재의 802.11x를 기반으로 한 무선 인터넷기술은 그 서비스 범위가 매우 제한적이고 네트워크에 접속된 모바일 단말기의 다양성/편재성/변동성 등을 지원하기에 충분하지 못하기 때문에 무선 메쉬 네트워크가 이동 Ad-hoc 네트워크를 지원하여 보다 넓은 서비스 범위 및 고용량으로서 모바일단말기를 지원할 수 있는 무선 하이브리드 메쉬 네트워크에 대한 연구가 필요하다.

기존 이동 Ad-hoc 네트워크는 모바일 노드들의 멀티홉 무선 링크를 통한 통신을 가능하게 하는 특징을 가

\* 정회원, 자동차부품연구원  
(KATECH)

\*\* 정회원, 아주대학교 전자공학부  
(Department of Electrical and Computer Eng.,  
Ajou University)

접수일자: 2009년10월3일, 수정완료일: 2010년5월17일

지고 있다. 하지만 동적 네트워크 토폴로지, 제한적인 배터리 및 무선 대역폭과 통신 품질 등 사용자가 편리하게 사용하기에는 많은 제약사항 또한 가지고 있다. 이를 위하여 지금까지 이동 Ad-hoc 네트워크를 위한 다양한 관리 기법 및 효율적인 라우팅기법 등이 연구되고 있으나, 이는 Ad-hoc 네트워크의 특성상 소규모의 네트워크에서만 적용이 가능한 구조가 대부분이며, 인터넷 망 접속이 요구되는 상황을 충분히 수용하기에 어렵다.

이동 Ad-hoc 네트워크가 보다 보편화되고 유비쿼터스 환경에 적합하게 발전하려면 현재보다 자유롭고 넓은 활동영역이 반드시 충족되어야 한다. 이를 효과적으로 실현하기 위하여 무선 메쉬 네트워크가 등장하였다.

이미 MIT 대학<sup>[2]</sup> 및 CUWIN<sup>[3]</sup> (The Champaign-Urbana Community Wireless Network) 등에서 무선 메쉬 네트워크에 관한 연구를 진행하고 있거나 구현 중에 있다. 캐나다 Communications Research Center에서는 이동 Ad-hoc 네트워크를 위한 OLSR (Optimized Link State Routing)을 활용하여 계층적 구조로 발전시킨 HOLSRL(Hierarchical Optimized Link State Routing) 라우팅 기법을 제안하였다<sup>[4]</sup>. 이는 OLSR의 효율적인 네트워크 토폴로지 관리와 multi-radio를 지원하는 라우팅 기법이다. 또한 Heterogeneous Ad-hoc 네트워크에 적용하기에 적합하도록 계층적 구조로 이루어져 있어, CH(Cluster Head)를 가진 클러스터를 두고 CH와 일반 노드 간의 통신을 다중 레벨로 구분하였다. 그러나 주 대상을 이동 Ad-hoc 네트워크로 하고 있고 노드들의 상위부터 하위까지 모두 관리하고 있다.

무선 하이브리드 메쉬 네트워크는 기존의 무선 메쉬 네트워크의 구조적 장점으로 이동 Ad-hoc 네트워크를

지원하게 된다. 다수의 무선 랜카드를 장착한 고정된 메쉬 라우터들은 Wi-Fi 네트워크, WiBro, 셀룰라, 센서 네트워크, 이동 Ad-hoc 네트워크 등 동기종 네트워크는 물론 이기종 네트워크간에 연결을 위하여 게이트웨이 및 브릿지의 기능을 가지며 인터넷은 물론 다른 네트워크에 있는 데이터도 사용자가 원하는 곳에서 사용할 수 있다. 또한 multi-hop에 multi-link 및 radio를 가짐으로써 무선환경의 커버리지를 넓혀주는 효과뿐만 아니라, 대상노드까지의 여러 라우팅 패스를 가지기 때문에 데이터 전송의 신뢰성을 높일 수 있다. 높은 신뢰성은 데이터의 재전송의 횟수를 감소시키고 따라서 많은 데이터를 효과적으로 전송할 수 있게 된다.

본 논문에서는 이와 같은 무선 하이브리드 메쉬 네트워크에 효율적으로 적용될 수 있는 라우팅 기법으로서 OLSR 라우팅 프로토콜을 기반하여, 계층구조의 라우팅 기법으로 발전시킨 HOLSRL을 개선하여 무선 하이브리드 메쉬 네트워크에 적용하였으며, 라우팅시에 발생하는 control 오버헤드를 줄이고 throughput을 향상시킬 수 있는 발전된 라우팅 기법을 제안하였다.

서론에 이어 II장에서는 무선 하이브리드 메쉬 네트워크를 위한 효과적인 라우팅 기법에 대하여 기술하고, III장에서 성능평가를 기술하며, 마지막으로 IV장에서 결론을 맺는다.

## II. 제안한 효율적인 라우팅 기법

효과적인 라우팅 기법에 있어서 무엇보다도 중요한 것은 문제가 발생한 링크 혹은 노드로 인하여 손실된 라우팅 패스를 얼마나 빠르게 복구하는가 하는 문제이며, 더 나아가 링크 또는 노드의 문제로 인한 라우팅 패스의 손실을 사전에 예측하여 다른 라우팅 패스로 연계해주는가 하는 부분이다. 본 논문에서는 링크의 재설정을 효과적으로 하기 위한 방법으로 링크의 안정성을 고려한 self-healing 라우팅 기법을 제안한다.

그림 2는 edge effect에 대하여 나타낸 것이다. 그림 2를 살펴보면 점선으로 되어 있는 링크가 최단 hop을 가지는 링크이다. 하지만 대상 네트워크가 이동 Ad-hoc 네트워크라는 점을 고려하면 몇 가지 문제점을 가진다. 첫 번째로 점선으로 되어 있는 링크는 각 노드간의 거리가 거의 최장 거리로 설정되어 있는 상황이라면 노드가 조금만 움직여도 쉽게 링크의 단절을 야기시킬 수 있으며, 두 번째는 이에 따라 다량의 배터리

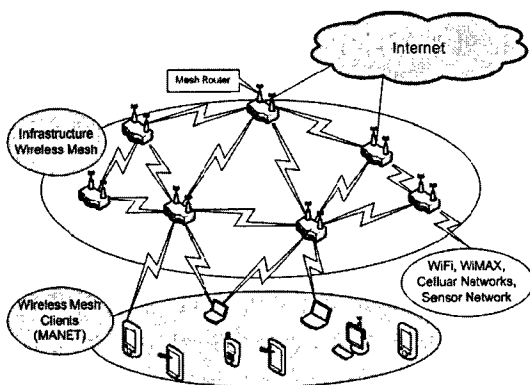


그림 1. 무선 하이브리드 메쉬 네트워크 구조  
Fig. 1. Wireless hybrid mesh network architecture.

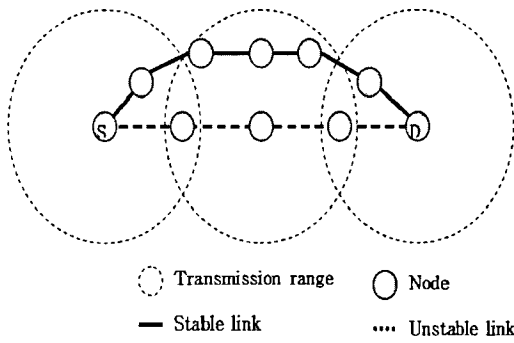


그림 2. Edge effect의 예  
Fig. 2. Example of edge effect.

리 손실이 발생한다는 것이다. 따라서 hop은 많아도 굵은 실선으로 되어 있는 링크가 오히려 안정적일 수 있다. 실선의 노드는 움직임으로 인한 링크의 단절이 덜 일어 날수 있을 뿐 아니라, 잦은 라우팅 패스 재설정으로 인한 노드의 트래픽 발생량도 줄일 수 있고 또한 배터리의 소모도 감소시킬 수 있다. 따라서 self-healing 라우팅 기법으로서 완전히 링크의 단절이 되기 이전에 보조링크로 라우팅 패스를 재설정 할 때, 위와 같은 문제를 최소화하고 최적의 패스를 선택하여 잦은 라우팅의 재설정을 줄이고자 링크의 안정성을 고려하였다.

$$LSV = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N SNR_i \quad (1)$$

여기서 LSV는 링크의 안정도를 나타내며,  $SNR_i$ 는  $i$ 번째 데이터 프레임의 수신전력 대 잡음비를 나타낸다. 링크의 LSV에 threshold값을 설정하고  $LSV \leq LSV_{TH}$  상태가 발생되면 새로운 링크를 검색하여 설정하게 된다.

그림 3은 본 논문의 대상 네트워크인 계층구조의 무선 하이브리드 메쉬 네트워크를 보여주고 있다. 본 구조는 HOLSRL의 이기종 이동 Ad-hoc네트워크 구조와 유사하나 각 클러스터의 CH가 이동성이 없는 고정형 메쉬 라우터로서 구성되었다. 고정된 메쉬 라우터는 이동 Ad-hoc네트워크의 CH와 비교하여 배터리 문제에 영향을 받지 않고, 충분한 대역을 하위 노드들에게 제공할 수 있으며, 보다 신뢰성 있는 네트워크 환경을 제공할 수 있다.

무선 하이브리드 메쉬 네트워크를 효율적으로 관리하기 위하여 HOLSRL과 마찬가지로 계층구조로서 네트워크를 형성하였으며, 각 CH에 해당하는 메쉬 라우터

들은 네트워크의 계층구조를 위하여 다중 네트워크 인터페이스를 가지게 된다. Level 1의 하위 노드들은 이동 Ad-hoc 네트워크를 그대로 수용하여 CH인 메쉬 라우터에 각각 소속되어 클러스터를 형성한다.

무선 하이브리드 메쉬 네트워크의 라우팅 기법은 일반적인 Ad-hoc 네트워크와 마찬가지로 2가지의 방식이 존재한다. 자신 노드와 1-hop떨어진 노드의 경우는 직접적으로 경로를 설정하게 되고, 2-hop이상 다른 클러스터에 소속된 노드와는 CH를 거쳐서 목적노드 CH를 통해 경로가 설정되는 방식이다. 그러나 이동 Ad-hoc 네트워크와 달리 무선 하이브리드 메쉬 네트워크는 CH간의 대역폭이 매우 높고 전원문제도 거의 없기 때문에 조건에 따라 목적노드까지의 경로를 노드간 직접적으로 설정해야 할 상황이 적어진다. 이는 바로 링크의 안정성과 관련이 되는 것으로써 앞서 알아본 바와 같이 edge effect를 최대한 피하여 안정된 링크를 형성함을 주목적으로 한다.

주 대상이 level 1의 이동 Ad-hoc네트워크이기 때문에 이 또한 노드의 잦은 이동 및 변화가 발생하게 된다. 따라서 링크를 설정할 때, 충분한 이동 범위를 고려하여 링크가 설정되어야 하며, 그 이상으로 벗어났을 경우는 신속히 CH를 거쳐 목적 노드까지 새로운 경로를 설정해주는 것이 보다 나은 결과를 낳게 된다.

그림 4에서 클러스터 C1.A의 노드2와 클러스터 C1.B의 노드3간의 링크에 문제가 발생됨을 가정하였다. 노드 2와 3사이의 링크가 완전히 끊어지지는 않았지만 현

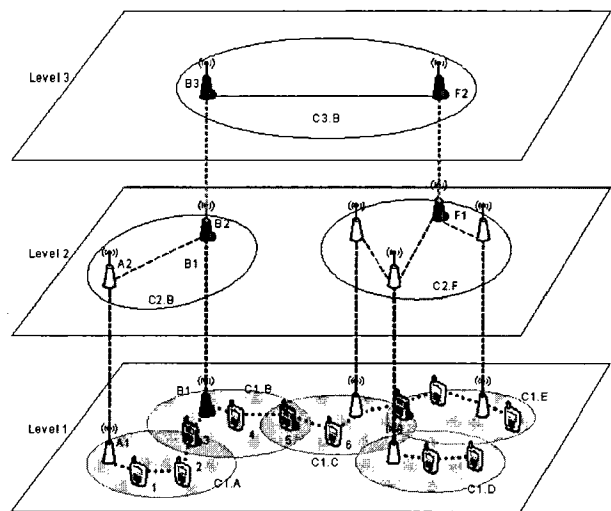


그림 3. 계층구조의 무선 하이브리드 메쉬 네트워크  
Fig. 3. Wireless hybrid mesh network with hierarchical architecture.

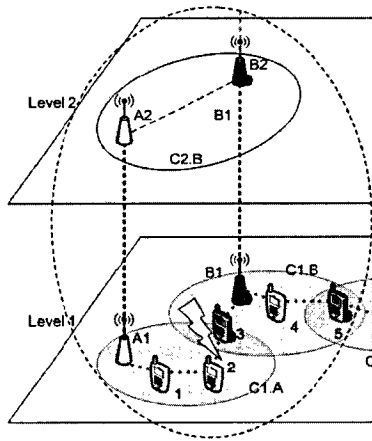


그림 4. Case study를 위한 대상 네트워크  
Fig. 4. A target network for case study.

재 링크가 상당히 불안정한 상태로서 패킷의 손실이 발생되고 있는 상태라고 했을 경우, 기존의 방법은 노드 2와 3이 1-hop간 떨어져 있기 때문에 직접적으로 라우팅 경로를 설정하여 데이터를 송수신 하게 된다. 이때 링크가 완전히 끊어지게 되면 자동적으로 CH를 거쳐 노드3까지의 경로를 재설정하지만 현재는 완전히 끊어지지 않은 상태이므로 새로운 라우팅 테이블이 업데이트되기 전까지는 계속적으로 전송을 시도하게 된다. 이때 링크의 안정도를 고려한 계층구조의 라우팅 프로토콜을 적용하게 되면, 비록 1-hop간의 노드임에도 불구하고 링크의 상태가 threshold이하로 떨어졌기 때문에 다른 링크 즉, CH를 거쳐 노드 3까지 도달하는 새로운 경로를 선택할 수 있게 된다.

또한, 아래의 식 (2)를 추가하여 LSV값만을 가지고 다른 링크로 재설정을 하는 것이 아니라 다른 링크로 설정된 즉, CH를 거쳐 링크가 재설정될 때 LCV와 LSV를 비교하여 LCV가 좋을 경우에만 링크의 재설정이 이루어진다. 여기서 C는 CIA(Cluster ID Announcement)로서 CH와 노드간의 hop 수를 나타낸다.

$$LCV = \frac{1}{C} \sum_{i=1}^C LSV_i \quad (2)$$

이외에 링크 안정성을 고려하여 얻는 잇점은 case study에서 자세히 다루겠지만, CH 또는 주변 노드의 이상을 기존에 소속되었던 클러스터와 단절되어 다른 클러스터로 소속되어야 하는 경우나, 같은 CIA의 값을 수신하였을 경우 어느 쪽의 클러스터로 소속될지에 관한 부분에도 효율적인 결과를 낼 수 있다.

### III. 성능 평가

#### 1. Case study - 계층구조의 라우팅 기법

본 절에서는 발생 가능한 상황에 따른 문제 해결 과정을 다루었으며, 특히 링크의 안정성을 고려하였을 때 기존의 라우팅 프로토콜을 이용한 방법과 제안하는 방법을 비교하였다.

#### 가. Case study 1 - CIA와 링크 안정성을 고려한 클러스터링

기존 방법인 HOLSRL에서 level 1의 최하위 노드들을 CH를 기준으로 클러스터링할 경우에 CIA의 값을 이용하여 구성되어진다. CIA는 CH와 노드간의 hop 수를 나타내주는 값으로서 값이 클수록 멀고 낮을수록 가깝다는 것을 의미한다. 따라서 자신의 이웃노드들과 연결이 될 때 HELLO 메시지와 함께 오는 CIA 메시지를 비교하여 낮은 쪽의 클러스터로 참여하는 방식을 취하고 있다. 또한 같은 CIA값을 가진 경우는 먼저 도착한 쪽의 클러스터로 참여하게 된다. 이러한 방법에서 무선 네트워크의 특성상 링크 상태가 좋지 않은 경우가 발생될 수가 있게 되는데, 이는 최적 클러스터링에 장애 요소가 될 수 있다.

그림 5는 기존의 방법을 이용하여 클러스터링 된 상황을 나타낸 그림이다. 현재 그림 5에서 노드 3은 클러스터 C1.B에 소속되어져 있는 상태이다. 기존의 방법을 토대로 노드2로부터 받은 CIA값보다 CH인 B1에서 받은 CIA값이 더 작기 때문이다.

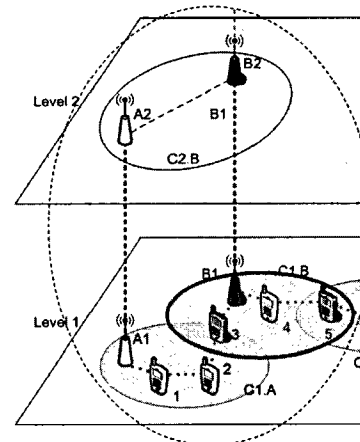


그림 5. 기존 HOLSRL 방법에 의해 클러스터링된 상황 1  
Fig. 5. A clustering situation 1 using the HOLSRL method.

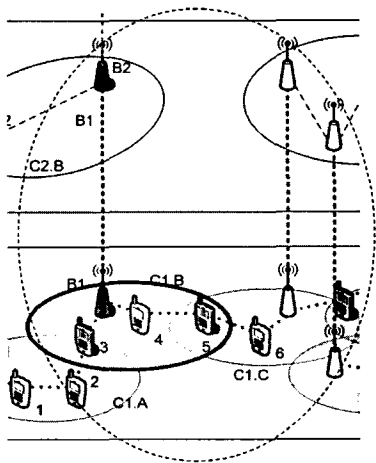


그림 6. 기존 HOLSR 방법에 의해 클러스터링된 상황 2  
 Fig. 6. A clustering situation 2 using the HOLSR method.

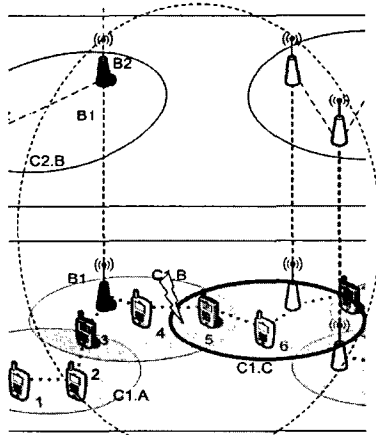


그림 7. 제안한 방법을 사용한 클러스터링 상황 1  
 Fig. 7. A clustering situation 1 using the proposed method.

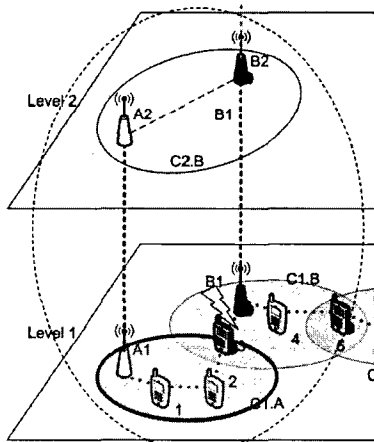


그림 8. 제안한 방법을 사용한 클러스터링 상황 2  
 Fig. 8. A clustering situation 2 using the proposed method.

또 다른 상황2를 그림 6에서 살펴보자. 노드5는 서로 다른 클러스터로부터 같은 CIA값을 받은 상태이며, 노드6보다 노드 4로부터 먼저 CIA값을 받았을 경우 클러스터 C1.B에 소속된다. 이와 같은 상황에서 현재 소속된 클러스터의 앞선 노드와 링크의 상태를 고려한다면 보다 좋은 쪽으로 클러스터링 될 수 있다.

그림 7과 8은 노드3과 5가 자신의 이웃노드인 노드의 링크 안정성을 고려하여 연결된 상태이다. 먼저 도착한 CIA값만 가지고 하지 않고 둘 중에 링크상태가 좋은 클러스터로 참여된 것을 볼 수 있다.

나. Case study 2 - 새로운 클러스터로 소속되는 경우  
 그림 9와 같이 기존에 있던 CH가 사라질 경우에 그 하위로 존재하던 노드들은 새로운 클러스터로 소속되어야 지속적인 서비스를 사용할 수 있다. 기존 HOLSR의 방법에서는 CIA값을 가지고 낮은 쪽으로 참여하는 기

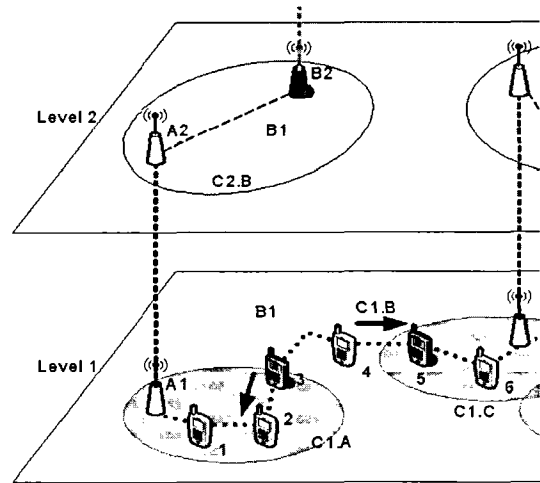


그림 9. 기존 HOLSR 방법을 의한 새로운 클러스터에 소속되는 상황  
 Fig. 9. A joining situation in new cluster using the HOLSR method.

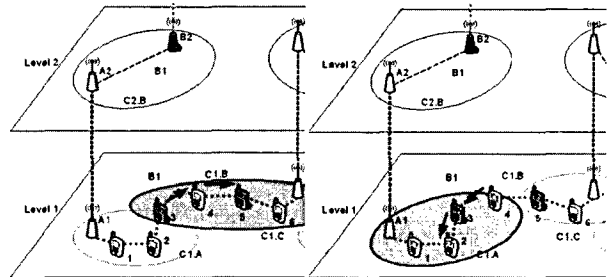


그림 10. 제안한 방법에 의하여 새로운 클러스터에 소속된 상황  
 Fig. 10. A joining situation in new cluster using the proposed method.

본 알고리즘을 가지고 있다. 따라서 현재와 같은 상황에서 주위 노드들 중에 낮은 CIA값을 가진 노드들로 참여를 하게 된다. 그러나 이 또한 링크의 상태에 따라서 그림 10과 같이 클러스터링 될 수 있다.

다. Case study 3 - 1-hop 노드간 라우팅

그림 11은 기존 HOLSAR에서 1-hop간 떨어진 노드의 경우, 직접적으로 라우팅을 하는 상황을 표현한 것이다. 앞서 살펴본 바와 같이, 링크가 완전히 단절된 상태가 아닌 불안정한 상태에 있는 경우 HOLSAR방법에서는 그 상황을 알 수 없으며, 완전히 끊어지기 전까지는 링크의 상태여부와 상관없이 계속 라우팅 경로를 유지하게 된다.

HOLSAR은 링크가 완전히 단절되어야만 가지고 있는

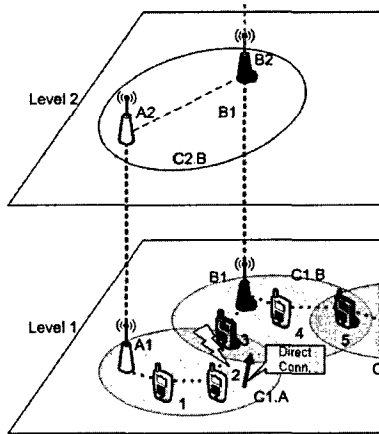


그림 11. 기존 HOLSAR 방법을 이용한 1-hop간 라우팅  
Fig. 11. A routing situation between 1-hop nodes using the HOLSAR method.

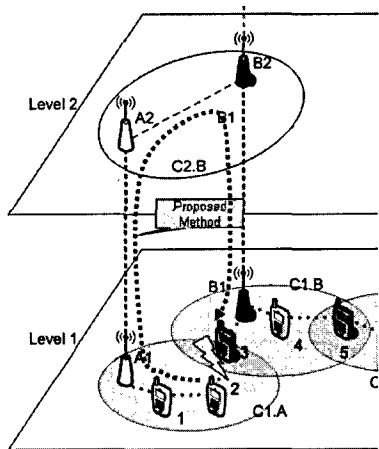


그림 12. 제안한 방법을 이용한 1-hop간 라우팅  
Fig. 12. A routing situation between 1-hop nodes using the proposed method.

라우팅 테이블을 기반으로 대체 노드를 재설정하여 라우팅을 하는 전형적인 proactive방식을 사용하고 있다. 하지만, 이 상황에서는 링크의 상태를 미리 파악하고, 대체 링크와 현재 링크의 상태를 비교한 후에 현재 링크가 완전히 손실되기 이전에 재설정이 이루어지는 것이 보다 효율적인 방법이다. 그림 12는 링크의 상태에 따라 대체 노드로 재설정되어 CH를 거친 라우팅 상황을 보여주고 있다.

2. 성능 분석을 위한 시뮬레이션 환경

성능분석을 위하여 NS2<sup>[5]</sup>를 사용하였으며, HOLSAR 라우팅 프로토콜과 같은 기능을 하는 인도공과대학의 TENS - WLSTATIC 라우팅프로토콜<sup>[6]</sup>을 이용하여 시뮬레이션 하였다. 성능 비교 항목으로는 링크의 상태에 따른 aggregate goodput과 end-to-end delay 및 packet delivery ratio를 이용하여 네트워크 성능을 비교 분석 하였다.

가. 시뮬레이션 환경

시뮬레이션에 사용된 시나리오와 파라미터 설정은 아래와 같다.

- Case study 3. 1-hop 노드간 라우팅

표 1에 시뮬레이션 시나리오를 설정한 내용이 나와 있다. 네트워크는 가로 1.5km, 세로 1.5km의 지역에 12

표 1. 시뮬레이션 시나리오 - Case study 3  
Table 1. Simulation scenario - Case study 3.

구분	설정값
네트워크 크기 (m × m)	1500 × 1500
노드의 수 (개)	Level 2 - CH : 2
	Level 1 - Node : 10 (CH당 5개씩 소속)
시뮬레이션 시간(sec)	20
이동속도 (m/s)	0
Loss model	Random loss modulation
전송 범위 (m)	Level 2 - CH: 750
	Level 1 - Node: 200
Demand 모델	FTP Traffic Flow

표 2. 랜덤 loss module  
Table 2. Random loss module.

```

set loss_module [new ErrorModel]
$loss_module set rate_ 0.5
$loss_module set unit pkt
$loss_module ranvar [new RandomVariable/Uniform]
$loss_module drop-target [new Agent/Null]
    
```

개의 노드를 level 2의 CH에 2개, level 1의 노드는 각 CH당 5개씩 소속되어 총 10개를 배치하였다. 이 노드들 중에서 소스 노드와 목적지 노드를 대상 모델과 같이 정하며, demand 모델은 FTP traffic demand를 사용하고, level 2의 대역폭은 5.5Mb/s, level 1의 대역폭은 2Mb/s로 설정하였다. 그리고 노드의 이동성은 고려하지 않았으며, 링크의 상태를 변화시키기 위하여 표 2와 같은 랜덤 loss module을 사용하였다.

- 전체 네트워크에 적용한 경우

표 3에는 시뮬레이션 시나리오 설정이 나와 있다. 네트워크는 가로 1.5km, 세로 1.5km의 지역에 38개의 노드를 level 3의 CH에 2개, level 2의 CH에 6개, level 1의 노드는 총 30개로 배치하였다. 이 노드들 중에서 소스 노드와 목적지 노드를 모든 노드 중에서 랜덤하게 정하며, demand 모델은 FTP traffic demand를 사용하고, level3의 대역폭은 11Mb/s, level 2의 대역폭은 5.5Mb/s, level 1의 대역폭은 2Mb/s로 설정하였다. 또한

표 3. 시뮬레이션 시나리오 - 전체 네트워크  
Table 3. Simulation scenario - Whole Network.

구분	설정값
네트워크 크기 (m × m)	1500 × 1500
노드의 수 (개)	Level 3 - CH : 2
	Level 2 - CH : 6
	Level 1 - Node : 30
Level1 노드의 정지 시간(sec)	0, 150, 300, 600
이동속도 (m/s)	Level 3 - 0
	Level 2 - 0
	Level 1 - 5
Loss model	Random loss modulation
이동 모델	Random Waypoint Mobility
전송 범위 (m)	Level 3 - Point-to-Point
	Level 2 - 750
	Level 1 - 200
Demand 모델	FTP Traffic Flow

이동성은 random waypoint mobility를 사용하였으며, level 1노드의 정지시간은 0, 150, 300, 600으로 설정하였다. 또한, 링크의 상태를 변화시키기 위하여 앞에서 설정하였던 랜덤 loss module을 사용하였다.

나. Case study 성능분석 결과 및 토의

- Case study 3

그림 13은 초당 소스 노드로부터 목적지 노드까지 성공적으로 전송된 데이터(bit)를 나타낸 aggregate goodput을 비교한 그림이다. HOLSR방법은 링크가 불안정한 상태에 따른 대처를 즉시 하지 못하기 때문에 패킷의 많은 손실에도 불구하고 대체 링크로 재설정되지 못한다. 하지만 제안 방법은 링크가 불안정화 상태로 들어간 후 즉, 총 20초의 시뮬레이션시간 중에 2초가 경과한 후부터 새로운 링크로 재설정이 되므로 HOLSR방법 보다 안정적으로 데이터를 전송할 수 있는 것을 확인할 수 있다.

그림 14는 시간에 따른 소스 노드로부터 목적지 노드까지 전송 패킷량 대비 수신 패킷량의 비율을 나타낸 packet delivery ratio이다. 정상적인 링크에서는 HOLSR방법과 제안 방법 모두 약 95%정도의 비율을 보이고 있지만, 2초가 넘어가면서 기존의 HOLSR 방법은 패킷 손실이 발생하고 빈도가 잦아짐에 따라 20초까지 최대 약 80%까지 낮아짐을 보여준다. 하지만 제안한 방법에서는 2초 이후에 대체 링크로 재설정되면서 약간 낮아지는 경향을 보이지만 HOLSR에 비해 10%이상이 높은 90%를 상회하는 결과를 보여준다.

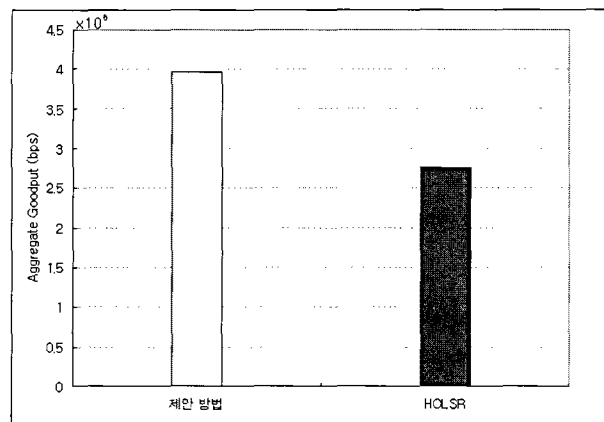


그림 13. Case study 3의 성능 비교 - aggregate goodput  
Fig. 13. Performance comparison of case study 3 - aggregate goodput.

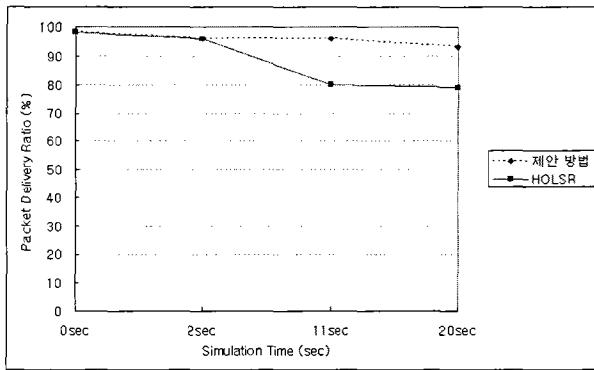


그림 14. Case study 3의 성능 비교 - packet delivery ratio

Fig. 14. Performance comparison of case study 3 - packet delivery ratio.

- 전체 네트워크에 적용한 경우

그림 15는 end-to-end delay를 나타낸 것이다. 이 그림에서 x축은 pause time 변화에 따른 값을 나타낸 것으로 노드가 이동 중에 정지하는 시간을 말한다. 0초는 계속적인 움직임이 있는 상태이며, 600초는 이동을 멈춘 상태이다. 시뮬레이션 시에 전체 노드를 대상으로 랜덤한 움직임과 loss module을 적용한 상태이므로, 움직임이 약해질수록 지연시간이 감소되는 경향을 볼 수 있다. Pause time 0초일 때 HOLSR과 제안방법이 가장 큰 차이를 보였으며 pause time 150초부터 차이가 크진 않지만 제안 방법이 평균적으로 20msec 정도 낮은 지연시간을 가진다.

그림 16은 case study 3에서 살펴보았던 packet delivery ratio로써 x축은 앞에서 언급한 바와 같은 pause time을 나타낸다. 이동성이 적어질수록 전송률이

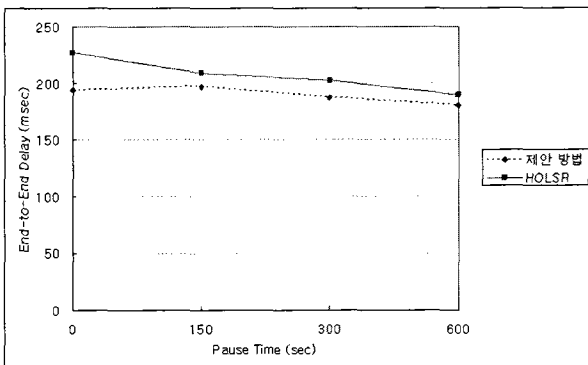


그림 15. 전체 네트워크의 성능 비교 - end-to-end delay

Fig. 15. Performance comparison of whole network - end-to-end delay.

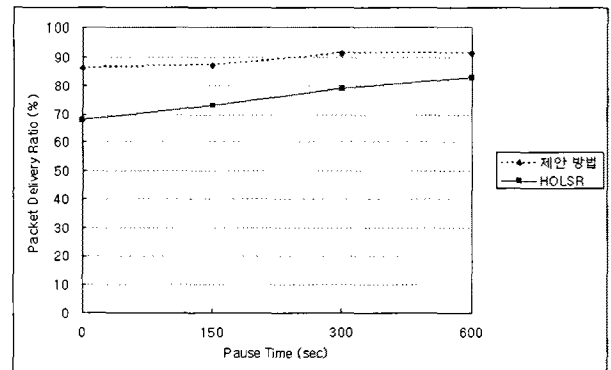


그림 16. 전체 네트워크의 성능 비교 - packet delivery ratio

Fig. 16. Performance comparison of whole network - packet delivery ratio.

상승하는 경향을 나타내며, HOLSR은 정지시간에 따라 최고 80%를 약간 상회하는 그래프를 내지만 제안방법은 최고 90%이상의 전송률을 보이고 있다. 특이할 점으로 기존의 HOLSR은 정지시간에 따라 큰 차이를 보이나, 제안방법은 정지시간에 따른 변화율이 HOLSR에 비해 매우 적게 나타나며, 전체적으로 링크의 안정성을 고려한 링크의 재설정으로 제안한 방법이 약 10%이상 높은 패킷 전송률을 나타내었다.

IV. 결 론

본 논문에서는 이동 Ad-hoc 네트워크를 지원하여 확장성과 광대역의 무선 환경을 제공하는 무선 메쉬 네트워크인 무선 하이브리드 메쉬 구조를 고려하였고, 이에 효율적으로 적용될 수 있는 무선 하이브리드 메쉬 네트워크를 위한 계층구조의 라우팅 기법을 제안하였다. 무선 하이브리드 메쉬 네트워크상에서 효율적인 토폴로지 관리와 소스노드에서 목적노드로 라우팅 패스를 설정할 시에 발생하는 트래픽을 감소시키고 노드 간 링크 안정성을 고려하고, 노드의 문제 또는 링크 간 장애로 인한 잦은 라우팅 재설정 문제를 해결하는 계층구조의 라우팅 기법을 제안하였다. 또한 case study를 통하여 본 논문에서 제안된 계층구조의 라우팅 기법을 이용하여 네트워크 클러스터링 및 토폴로지 관리의 효율성을 인지할 수 있었으며, 성능분석 결과에서는 제안된 방법을 적용하였을 때, 링크의 상태가 좋지 않을 경우 기존 HOLSR 방법보다 데이터 전송에 따른 종단간 지연시간이 감소되고 aggregate goodput과 packet delivery ratio가 향상됨을 알 수 있었다.



따라서 본 논문에서 제안된 링크 안정성을 고려한 계층구조의 라우팅 기법은 유연하고 신뢰도 높은 네트워크 환경을 요구하는 유비쿼터스 환경에서 매우 효율적인 기법이 될 것이다.

### 참 고 문 헌

- [1] I. F. Akyildiz and X. Wang, "A survey on wireless mesh networks", IEEE Communications Magazine, Vol. 43, No. 9, pp. 23-30, Sept. 2005.
- [2] MIT - RoofNet: <http://pdos.csail.mit.edu/roofnet>
- [3] CUWIN (Champaign-Urbana Community Wireless Network) <http://www.cuwireless.net>
- [4] L. Villasenor-Gonzalez, Y. Ge, and L. Lament, "HOLSR: a hierarchical proactive routing mechanism for mobile ad hoc networks", IEEE Communications Magazine, Vol. 43, No. 7, pp. 118-125, July 2005.
- [5] The Network simulator- ns-2: <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>
- [6] TENS (The Enhanced Network Simulator-Release Version 1.2): <http://www.cse.iitk.ac.in/users/braman/tens/>

### 저 자 소 개

#### 기 상 렬(정회원)

2004년 동양대학교 제어계측공학과 학사 졸업  
 2007년 아주대학교 전자공학부 석사 졸업.  
 2007년~현재 자동차부품연구원 연구원  
 <주관심분야 : 지능형자동차, V2x통신>



윤 원 식(정회원)-교신저자  
 1984년 서울대학교 제어계측공학과 학사 졸업.  
 1986년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사 졸업.  
 1991년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사 졸업.

1991년 금성전기 선임연구원  
 1994년 금성정밀 책임연구원  
 1995년 University of Victoria 방문교수  
 2001년 콘텔라 CTO  
 2007년 University of Florida 방문교수  
 1994년~현재 아주대학교 전자공학부 교수  
 <주관심분야 : 이동통신, 무선네트워크>