

## Improvement of OLSR Through MIMC's Decreased Overhead in MANET

Jae-young Jang<sup>†</sup> · Jung-ho Kim<sup>††</sup>

### ABSTRACT

The most critical research issue in MANET environment is on supporting reliable communication between various devices. Various Multi-Hop Routing Protocol studies have proceeded. However, some problems you might have found when you use the existing link state routing technique are that it increases Control Message Overhead and it is unstable when node moves in CR circumstance which has transformation of using channel and MIMC circumstance which uses a number of interfaces. This essay offers a technique which is based on On-Demand Hello and the other technique which used Broadcast Interface of optimization as a solution to decrease Control Message Overhead. Also it proposes Quick Route Restoration technique which is utilized by GPS and MPR Selection technique which consider mobility as a solution of stable communication when node moves. Those offered Routing Protocol and OPNET based simulator result will be expected to be an excellent comparison in related research fields.

**Keywords :** MANET, Multi-Interface Multi-Channel, Control Message, Overhead, Decrease

## 모바일 애드 혹 네트워크 환경 하에서 멀티인터페이스 멀티채널의 오버헤드 감소를 통한 OLSR의 성능 개선

장재영<sup>†</sup> · 김정호<sup>††</sup>

### 요 약

MANET(Mobile Ad-hoc Network) 환경에서 가장 중요시되는 것은 여러 장비간의 신뢰성 있는 통신이다. 이를 위해 다양한 멀티 홉 라우팅 프로토콜 연구가 진행되어 왔다. 하지만 기존의 Link State Routing 기법은 사용채널의 변화가 존재하는 CR(Cognitive Radio) 환경과 다수의 인터페이스를 사용하는 MIMC(Multi-Interface Multi-Channel) 환경에서 제어 메시지 오버헤드를 증가시키는 단점 및 노드가 이동할 때 안정적이지 않은 문제점이 있다. 본 논문은 Control Message Overhead를 감소시키기 위한 방안으로 On-demand Hello를 사용한 기법, Broadcast Interface의 최적화를 이용한 기법을 제시한다. 또한 노드가 이동할 때 안정적인 통신을 위한 방안으로 노드의 이동성을 고려한 MPR 선정기법, 위치정보를 활용한 빠른 경로 복구기법을 제시한다. 제시한 라우팅 프로토콜과 OPNET 기반의 시뮬레이터 결과는 관련 분야 연구에 비교 대상으로 활용할 수 있을 것으로 기대한다.

**키워드 :** 모바일 애드혹 네트워크, 멀티인터페이스 멀티채널, 제어메세지, 오버헤드, 감소

### 1. 서 론

DARPA는 1973년에 전쟁과 같은 극한 상황에서 사용할 수 있는 무선 통신망 기술을 개발하기 위해 PRNet 프로젝

트를 시작하였고, 이 프로젝트에서 MANET(Mobile Ad-hoc Network) 기술을 연구하였다[1]. MANET 기술은 다양한 모바일 환경에서 현재까지도 활용이 되고 있으며, 최근에는 DARPA에서 주도하고 있는 WNaN project, 즉, 군용 이동 통신망 구축에 적극적으로 활용되고 있다. WNaN의 통신 프레임워크는 MANET 환경 하에서 무선 자원의 효율적인 사용과 데이터 전송 성능을 극대화하기 위한 기술들이 접목되어 있다. WNaN의 MAC 계층에서는 채널 사용의 효율성을 높이기 위한 Cognitive Radio(CR) 기술을 사용한다. CR 기술은 각 장비가 위치한 지역의 채널 상태를 고려하여, 각 노드가 현재 환경에 적합한 채널을 선택적으로 사용하는 기

\* 본 연구는 한밭대학교 정보통신전문대학원 박사과정 중 수행되었습니다.

<sup>†</sup> 준 회원 : 한밭대학교 정보통신대학원 박사과정

<sup>††</sup> 종신회원 : 한밭대학교 컴퓨터공학과 교수

Manuscript Received: December 9, 2015

First Revision: February 3, 2016

Second Revision: February 15, 2016

Third Revision: March 2, 2016

Accepted: March 5, 2016

\* Corresponding Author : Jung-ho Kim(jhkim@hanbat.ac.kr)

술인데 Multiple-Interface Multiple-Channel(MIMC) 기술을 접목하여 그 성능을 극대화하고 있다[8]. 그리고 Link State 기반의 멀티 홉 라우팅 기법을 적용하여 Network 계층에서는 망의 전송 신뢰성과 경로 탐색 시간을 감소시키고 있다. 하지만 Link State Routing 기법은 사용 채널의 변화가 존재하는 CR 환경과 다수의 인터페이스를 사용하는 MIMC 환경에서 제어 메시지 오버헤드를 급격히 증가시키는 단점을 가지고 있다.

이번 연구에서는 위치 정보를 기반으로 한 MIMC 환경에서 무선전송 성능을 향상시키기 위해서 제어 메시지 오버헤드를 감소할 수 있는 새로운 라우팅 프로토콜을 제안하고자 한다. 제안하고자 하는 라우팅 프로토콜은 OPNET 기반 시뮬레이터 구축을 통해 기본 노드 모델을 MIMC의 특성에 맞도록 시뮬레이션 환경을 정의하고 이를 반영한 노드 모델로 개발하고자 한다. 또한, 개발된 노드 모델은 Link state Routing의 대표적인 표준인 OLSR을 기반으로 위치정보와 Link cost를 활용하여 노드 간 정보를 교환하고 이를 라우팅 경로로 선택할 때 활용할 수 있도록 각종 메시지의 format을 정의한다. MIMC를 위해 제안한 효율적인 라우팅 기법은 MIMC를 라우팅에 적용했을 때 발생할 수 있는 문제점의 해결과 네트워크 성능 극대화를 위한 제어 메시지 감소방안으로 오버헤드 감소, 브로드캐스트 인터페이스 최적화 선택과 위치정보를 활용한 방법으로 MPR 선정, 위치정보를 이용한 빠른 경로 복구 등이다. 그리고 제안한 방법별 성능 평가를 통해 표준 OLSR 알고리즘에 비해 멀티미디어의 어플리케이션에 적용했을 때 더 높은 QoS 제공이 가능하고 네트워크의 효율성 측면에서 delay, 패킷 전송률이 좋으면서 상대적으로 제어 메시지 오버헤드가 감소됨을 증명한다.

## 2. 표준 OLSR 방식의 문제점

MIMC 기법은 SISC에 비해 다수의 인터페이스를 활용하여 안정적으로 데이터를 전송할 수 있는 장점을 갖고 있지만 사용이 복잡하고 인터페이스 수에 따라 라우팅을 위한 제어 오버헤드가 배수로 증가하는 단점이 있다. 특히 견고한 망 구성 및 지연시간의 최소화를 위해 사용하는 Link State Routing의 경우 모든 인터페이스가 주기적으로 Hello 메시지의 브로드캐스트를 실시하기 때문에 제어 메시지 감소가 필수적으로 요구된다. Link State Routing에서의 제어 메시지 오버헤드 문제를 해결하기 위해 개발된 Routing scheme은 대표적으로 Optimized Link State Routing (OLSR)이 있다. OLSR과 같은 Link State 기법은 각 노드가 자신의 정보를 이웃 노드에게 전달하기 위해 Hello 메시지를 주기적으로 브로드캐스트 형태로 전송한다.

MANET과 같은 분산 네트워크 환경은 중앙에서 네트워

크의 상태를 관리하는 노드가 없기 때문에 각 노드 스스로 자신과 통신이 가능한 이웃노드를 탐색해야 한다. 이를 위해 각 노드는 자신이 갖고 있는 모든 인터페이스를 통해 주기적으로 Hello 메시지를 전파한다. OLSR의 Hello 메시지 내에는 자신의 정보뿐만 아니라 자신의 이웃 노드 정보인 이웃 인터페이스 Address 정보가 있다. 이를 Hello 패킷에 담아 1홉 브로드캐스트 한다. 이 메시지를 수신한 각 이웃 노드는 자신의 2홉 노드 정보 및 이웃 노드 정보를 획득하고, 추후 MPR 노드를 선정하거나 TC 메시지를 전송하는데 사용한다. MIMC 환경에서는 각 노드가 다수의 인터페이스를 사용하기 때문에 이웃 노드 간 연결이 가능한 link 혹은 인터페이스의 수가 다수 존재할 수 있다. 노드 간 다수의 link 정보를 교환하기 위해서 OLSR은 각 인터페이스마다 Hello 메시지를 전파하게 된다. 이와 같이 제어 메시지 오버헤드가 증가하게 됨에 따라 네트워크의 효율이 저하된다[3, 4]

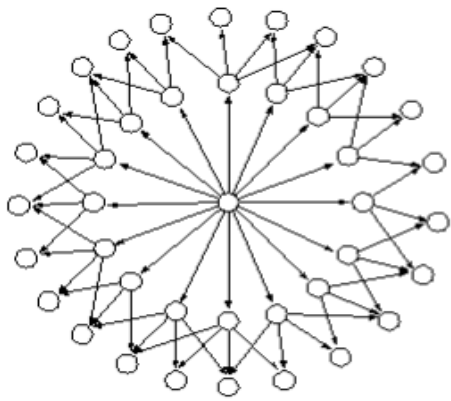
### 2.1 주기적인 Hello 브로드캐스트의 문제점

OLSR에서는 인터페이스마다 동일한 메시지가 주기적으로 1홉 브로드캐스트 된다. 하지만 네트워크 내의 모든 노드가 주기적으로 브로드캐스트하는 방법은 실제 데이터 전송이 이루어지지 않더라도 제어 메시지를 발생시켜 전송 대역폭을 소모하고 네트워크 내의 패킷 혼잡 및 충돌을 증가시켜 데이터 전송 성공률을 저하시키는 원인이 된다. 특히 CR 네트워크에서 이웃 노드 간 채널 정보 교환을 위해 발생시키는 2계층의 Beacon 메시지와 3계층의 Hello 메시지의 중복적인 브로드캐스트는 네트워크 내 제어 메시지의 부담을 더욱 가중시킨다.

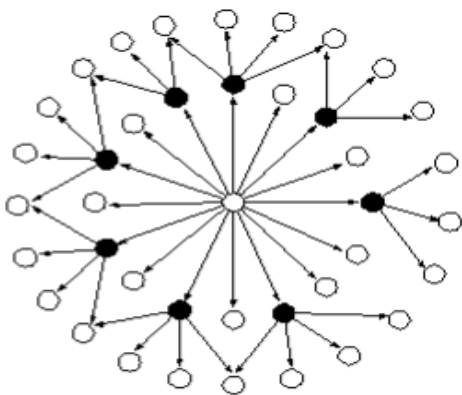
Hello 메시지는 사이즈가 이웃 노드의 수에 비례하여 증가할 뿐 아니라, 인터페이스 수에 따라 제어 오버헤드가 배수로 증가하게 된다. 이렇게 주기적으로 메시지를 전송하는 방법은 토폴로지의 변화나 이동성에 상관없이 네트워크의 자원을 일정 부분 소모하게 된다.

### 2.2 MIMC 환경에서 발생하는 OLSR Hello 브로드캐스트의 문제점

기존 Link State Routing 알고리즘에서는 각 노드의 link 정보를 네트워크 내에 알려주기 위해 각 노드가 주기적으로 자신의 link 정보를 브로드캐스트 한다[1, 7]. 이 방법은 안정적으로 네트워크 전체에 자신의 정보를 전달할 수 있지만, 각 노드가 동일한 내용의 데이터를 중복 수신하는 단점이 발생하게 된다. OLSR은 이 문제를 해결하기 위해 MPR 노드를 선정하고, MPR 노드만이 메시지를 재전송할 수 있도록 한다. Fig. 1은 OLSR과 Link State 라우팅 알고리즘에서 실시하는 브로드캐스트의 차이를 나타낸 것이다. 이를 통해 기존의 Link State Routing 알고리즘이 동일한 내용의 데이터를 중복 수신한다는 것을 확인할 수 있다. 하지만 OLSR의 경우 MIMC 환경에서 발생하는 제어 메시지를 감소시키기 위한 알고리즘은 포함하지 않고 있다.



(a) Link State Routing Broadcast(Quotation)



(b) OLSR Routing Broadcast Optimizing(Quotation)

Fig. 1. Best Cuit OLSR Algorithm's Broadcast as Link State Routing

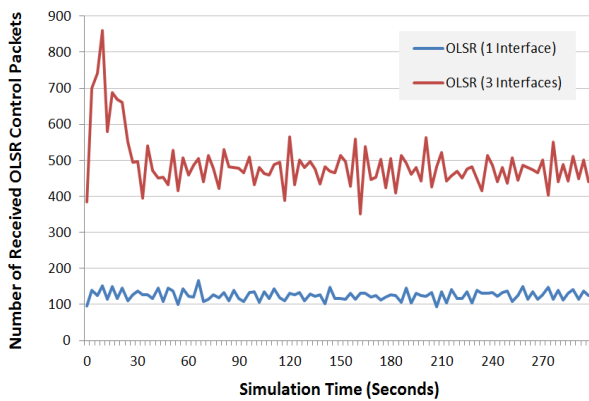


Fig. 2. Comparison of Receive Quantity a SISC(1 Interface) with MIMC(3 Interfaces)

기본적으로 MIMC 에서 동작하는 Hello 메시지는 이웃노드 간 모든 link 정보를 유지해야하기 때문에 모든 인터페이스를 통해 전송이 되도록 설계되어 있다[1, 8]. 하지만 Hello 메시지는 사이즈가 이웃 노드의 수에 비례하여 증가할 뿐 아니라, 모든 노드에서 주기적으로 발생하도록 되어있어 인터페이스 수에 따라 급격하게 증가하게 된다. 즉, 동일한 메

시지가 인터페이스의 수만큼 전송이 되어 MIMC 환경에서의 전송 효율을 저하 시키게 된다. Fig. 2는 네트워크 내의 모든 노드가 수신한 OLSR 제어 메시지의 양을 시간단위로 보여주고 있다. 3개의 인터페이스를 갖는 노드는 1개의 인터페이스를 갖는 노드보다 적게는 4배, 많게는 8배 이상의 제어 메시지를 수신하는 것을 확인할 수 있다.

### 2.3 MPR노드 선정방법의 문제점

OLSR 표준 프로토콜은 브로드캐스트 메시지의 최소화를 위해 MPR노드를 선정한다. 즉, 브로드캐스트의 감소를 위해 자신의 2홉 노드와 최대한 많이 연결 가능한 노드를 MPR 노드로 선정하고, 해당 노드를 통해서만 브로드캐스트가 재전파되도록 설정한다[1, 11].

하지만 OLSR의 MPR 선정기법은 노드의 이동성이 없고 정적으로 배치 된 경우에는 안정적으로 동작하나 노드가 이동하는 상황에서는 다르다. Fig. 3은 OLSR 표준에 따른 MPR 선정방법이며 이동성이 있는 환경에서 발생하는 비효율적인 MPR 선정기법을 Fig. 4에 나타냈다. S는 MPR을 선정하는 소스노드가 되며 이 노드로 부터 1 홉 노드는 a, b, c, d, e로 정의되며, 2홉 노드는 숫자 1, 2, 3, 4, 5로 정의 된다. b 노드는 4번 노드 방향으로 이동 중에 있으며, 나머지 노드는 이동성이 없다[12].

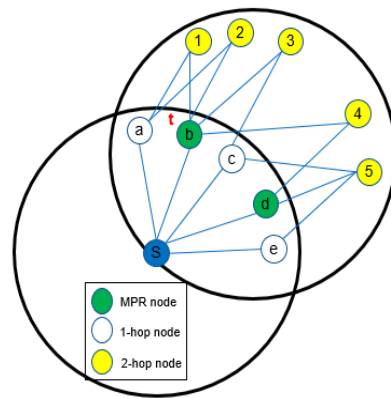


Fig. 3. MPR Decision on OLSR Standard

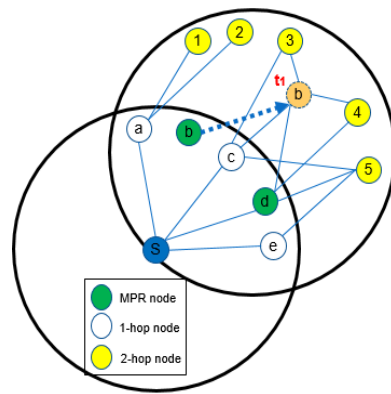


Fig. 4. Connection Fail of MPR Node on Mobility

2.4 표준 OLSR 경로 복구기법의 문제점

OLSR이 기반으로 하고 있는 Link State Routing에서는 경로를 탐색하기 위해 각 노드가 GPS를 포함한 자신의 정보를 네트워크로 전파시킨다. 즉, 각 노드가 목적지 주소를 스스로 탐색할 수 없으며 특정 목적지 주소로 패킷을 전송하려면 해당 경로가 생성되기를 기다려야 한다.

표준 OLSR에서는 사용 중이던 경로가 사라질 경우, 별다른 경로 복구 방법을 사용하지 않는다[10].

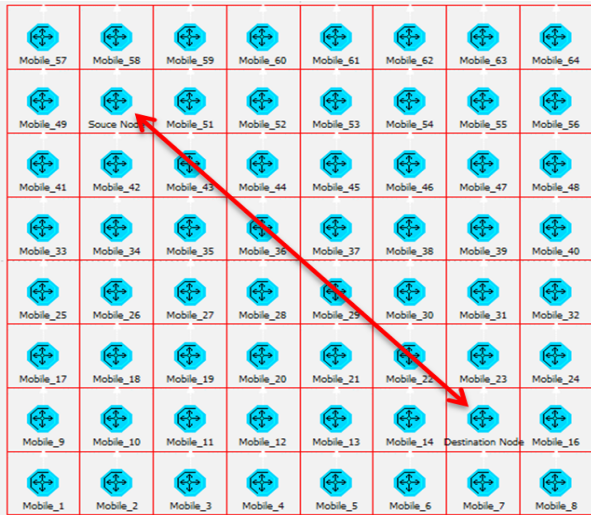


Fig. 5. Simulation Topology

따라서 사용 중이던 특정 목적지 경로가 제어 패킷의 손실로 인해 단절될 경우, 해당 목적지로 향하는 모든 패킷은 해당 경로가 재구성되기까지 모두 손실되게 된다. Fig. 5는 목적지 노드 손실에 따른 패킷 전송 성공률의 저하를 분석하기 위한 시뮬레이션이다. 그림에서 화살표 양 끝의 노드는 서로 음성 패킷을 주고받고 있고 모든 노드는 3 m/s의 속도를 갖고 랜덤한 방향으로 이동하도록 설정했다. Fig. 6은 경로 손실 대비 패킷 전송 성공률의 결과 그래프이다. 시뮬레이션 결과에서 볼 수 있듯이 표준 OLSR은 경로의 복구 시간이 지연될수록 전송 성공률이 급격하게 저하되는 양상을 보인다[1, 10].

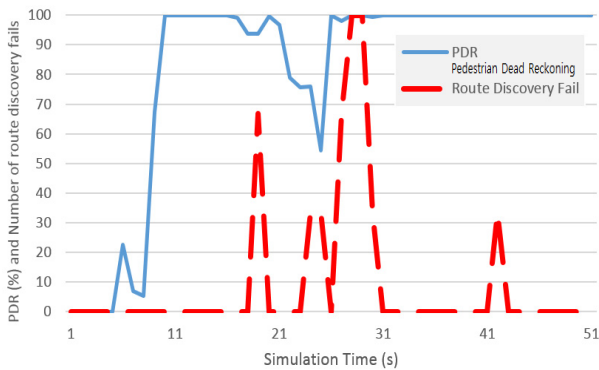


Fig. 6. Path Lost Rate and Packet Trans Success Rate

3. 제어 메시지 오버헤드 감소 방안

3.1 On-demand Hello를 사용한 제어 메시지 감소 방법

기존 OLSR에서는 Hello 메시지가 모든 인터페이스를 통해 주기적으로 전송된다는 문제점이 있다. 하지만 제안기법에서는 크로스레이어 구조를 기반으로 Beacon을 통해 검출된 이웃노드의 정보를 라우팅 영역에서 활용하여 제어메시지의 전송여부를 결정한다.

1) 제약 조건

On-demand Hello 기법을 개발하기 위해선 몇 가지 제약 조건이 있는데 먼저 구성된 환경에서 각 노드는 이웃 노드와 공유 채널의 선정 및 탐색 등 기본적인 노드 간 주파수 정보의 교환을 위해 Beacon 메시지를 활용한다. Beacon 메시지는 주기적 또는 가변적으로 전송한다. 전송되는 메시지 내에는 각 이웃 노드의 사용채널 및 가용채널 정보 등이 담겨있다. 또한, 이웃 노드와의 원활한 통신을 위해 이웃 노드의 정보를 MAC 계층 내에서 관리한다. 해당 정보는 주기적인 Beacon의 교환을 통해 갱신되며, 정의된 특정시간 이내에 메시지가 수신되지 않을 경우 해당 정보를 삭제하게 된다. 마지막으로 MAC 계층에서 수집한 이웃 노드의 정보는 네트워크 계층에서 라우팅 프로토콜이 확인할 수 있다[1, 5].

2) 전송 알고리즘

제안한 기법은 Fig. 7과 같이 크로스 레이어 구조를 기반으로 동작한다. 즉 MAC 영역에서 Beacon을 통해 검출된 이웃 노드의 정보를 상위 계층인 라우팅 영역에서 활용하여 제어 메시지의 전송여부를 결정하게 된다. 알고리즘은 총 3단계의 과정으로 동작한다.

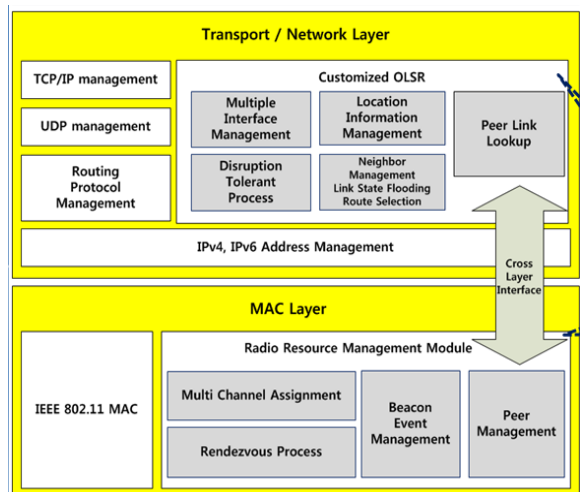


Fig. 7. Cross Layer Interface Structure

MIMC를 사용하는 MANET 환경에서는 각 노드가 위치한 지역 및 환경에 따라 다수의 가용 채널을 갖게 된다. 따라서 각 노드는 이웃 노드와의 사용 주파수를 결정하기 위해 자신



의 가용채널 정보와 주사용 채널을 Beacon 메시지에 담아 주기적으로 전파한다. 이를 위해 2계층의 Peer Management 모듈에서 저장하고 있는 정보는 Table 1과 같다.

Table 1. Neighbor Information Structure Checked on Beacon Message

IP Address	MAC Address	Channel List	Expiration Time
192.168.0.1	AA:BB:CC:DD:EE:FF	1,2,3,4,5	5000ms
...	...	...	...
...	...	...	...

기존 OLSR 기법에서는 Hello 메시지가 모든 인터페이스를 통해 주기적으로 전송이 된다. 하지만 제안 기법에서는 특정 조건에 따라 Hello 메시지의 전송여부를 결정하는데 Fig. 8과 같다.

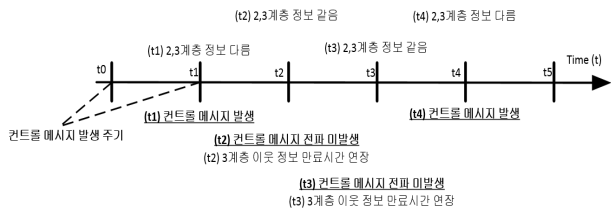


Fig. 8. (Example) Layer to Layer Information Exchange to Hello Message Transfer

Hello 메시지 전송주기는 RFC 3626 표준문서에서 정의하고 있는 주기로 결정한다. 주기의 기본값은 2초로 정의되어 있으나 환경 및 알고리즘에 따라 다르게 사용할 수 있다. [1, 6]. 그래서 제안한 알고리즘에서는 주기를 RFC 표준을 따르도록 설정했다. 상황별 Hello 메시지 전송조건은 2, 3계층의 라우팅 테이블 변화가 있는 경우 Hello 메시지 전파주기 도래 시 2계층의 정보와 3계층의 이웃노드 정보를 비교하고 두 계층의 이웃노드 정보가 상이한 경우이다. 이 때 3계층의 Hello 메시지를 전송한다. 만약 2, 3계층의 이웃노드 정보가 동일한 경우, Hello 메시지는 전송되지 않으며, 3계층의 Expiration Time은 표준에 정의된 시간으로 연장된다. Fig. 9는 3계층의 이웃노드 정보이며 Fig. 10은 2계층의 정보이다. 3계층과 2계층의 정보와 상이한 정보가 있을 경우 Hello 메시지가 발생된다.

3계층 라우팅 테이블에 Asym 정보가 등록된 경우에 Fig. 11처럼 Asym link정보는 두 노드 간 이웃노드를 등록하는 과정에서 단 방향으로만 정보가 수신된 경우를 지정한다. 이 경우, Asym으로 등록된 각 노드는 타이틀을 전달하거나 MPR 노드의 역할을 할 수 없게 된다. 따라서 2-3계층의 정보가 동일하더라도 3계층에서 이웃노드가 Asym 상태로 등록된 경우 Hello 메시지를 전송하여 모든 노드를 Sym link로 연결하는 과정을 수행하게 된다.

Address		Link Type	Expiration Time
192.168.1.1	00:00:00:00:00:01	sym	
192.168.1.2	00:00:00:00:00:02	sym	
192.168.1.3	00:00:00:00:00:03	asym	

Fig. 9. 3Layer's Neighbor Node Information

Address	available channels	...	Expiration Time
00:00:00:00:00:01			
00:00:00:00:00:02			

Fig. 10. 2Layer's Neighbor Node Information

Address		Link Type	Expiration Time
192.168.1.1	00:00:00:00:00:01	sym	
192.168.1.2	00:00:00:00:00:02	sym	
192.168.1.3	00:00:00:00:00:03	asym	

Fig. 11. Hello Message Transfer as Information to Asym Node

### 3.2 브로드캐스트 인터페이스의 최적화를 통한 감소 방법

기존 OLSR에서 제어 메시지는 모든 인터페이스를 통해 전송이 된다. 하지만 제안 기법에서는 특정 조건에 따라 인터페이스를 선택하게 된다. 2계층의 Beacon 메시지 교환을 통해 획득한 이웃노드의 정보를 기준으로 이웃노드가 하나의 인터페이스를 통해서 연결이 가능한 경우에는 해당 인터페이스만을 브로드캐스트용 인터페이스로 설정한다.

#### 1) 제약 조건

제시한 기법은 다수의 무선 인터페이스를 사용해야한다. 각 노드는 2개 이상의 인터페이스를 사용하여 이웃노드와 연결을 실시해야하는데 본 논문에서는 3개의 인터페이스를 사용한 결과를 제시하였다. 각 노드는 이웃노드와 공유채널의 선전 및 탐색 등 기본적인 Cognitive Radio의 동작을 위해 Beacon 메시지를 활용한다. Beacon 메시지는 주기적 또는 가변적으로 전송되고 이웃노드의 정보를 MAC 계층 내에서 관리한다. MAC 계층에서 수집한 이웃노드의 정보를 네트워크 계층의 라우팅 프로토콜이 아래 계층의 정보로 활용할 수 있다. Fig. 12에서 노드 M은 각 노드 간 주기적으로 발생하는 Beacon 메시지를 수신하여 이웃노드들의 정보를 획득한 후 2계층 이웃노드 정보에 각 인터페이스별로 연결이 가능한 이웃노드의 목록을 저장한다. 이웃노드 M과 연결이 가능한 1, 2, 3, M1 노드가 M이 갖고 있는 모든 인터페이스인 IF1, IF2로 연결이 가능하므로 두 인터페이스 중 하나의 인터페이스만을 브로드캐스트 인터페이스로 선정한다[1].

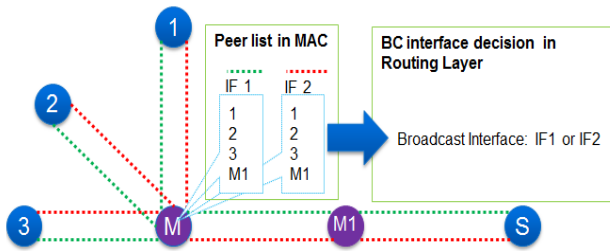


Fig. 12. Best Cuit of Interface to MAC Information Used Broadcast

2) 선정 알고리즘

위에서 설명한 브로드캐스트 인터페이스 선정 알고리즘은 다음과 같은 과정을 거쳐 최적화 된다. 1단계 알고리즘에서 각 노드는 자신의 이웃 노드 중 오직 하나의 인터페이스만으로 연결이 가능한 모든 노드를 검색하고, 이 중 가장 많은 이웃 노드를 갖는 인터페이스를 브로드캐스트 인터페이스로 선정한다. 이후 IF<sub>k</sub>과 연결이 가능한 이웃 노드는 모두 다이어그램에서 삭제된다.

$$\begin{aligned} \widehat{IF}_1 &= n(IF_1 - (IF_2 \cup IF_3 \cup \dots \cup IF_n)) \\ \widehat{IF}_2 &= n(IF_2 - (IF_1 \cup IF_3 \cup \dots \cup IF_n)) \\ &\vdots \\ \widehat{IF}_n &= n(IF_n - (IF_2 \cup IF_3 \cup \dots \cup IF_{n-1})) \end{aligned}$$

MAX( $\widehat{IF}_1, \widehat{IF}_2, \dots, \widehat{IF}_n$ ) => 'IF<sub>k</sub>' is selected

$$\begin{aligned} IF_1 &= IF_1 - IF_k \\ IF_2 &= IF_2 - IF_k \\ &\vdots \\ IF_n &= IF_n - IF_k \\ &\Rightarrow IF_k \text{ will be removed} \end{aligned}$$

2단계 과정부터는 1단계와 같은 과정을 반복한다. 이 과정은 잔존 노드가 있는 한 계속 진행되고 잔존한 노드가 없는 경우 알고리즘은 종료하게 된다.

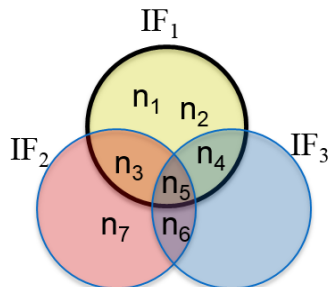


Fig. 13. Root Diagram on Each Interface

예를 들어 설명해보면 Fig. 13은 특정 노드에서 각 인터페이스별로 연결이 가능한 이웃 노드를 구분한 다이어그램이다. 이 다이어그램으로 브로드캐스트 인터페이스를 선정해보면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \widehat{IF}_1 &= n(IF_1 - (IF_2 \cup IF_3)) \\ &= n(\{n_1, n_2, n_3, n_4, n_5\} - \{n_3, n_4, n_5, n_6, n_7\}) \\ &= 2 \\ \widehat{IF}_2 &= n(IF_2 - (IF_1 \cup IF_3)) \\ &= n(\{n_3, n_5, n_6, n_7\} - \{n_1, n_2, n_3, n_4, n_5, n_6\}) \\ &= 1 \\ \widehat{IF}_3 &= n(IF_3 - (IF_1 \cup IF_2)) \\ &= n(\{n_4, n_5, n_6\} - \{n_1, n_2, n_3, n_4, n_5, n_6, n_7\}) \\ &= 0 \end{aligned}$$

MAX( $\widehat{IF}_1, \widehat{IF}_2, \widehat{IF}_3$ ) => IF<sub>1</sub> is selected

$$\begin{aligned} IF_2 &= IF_2 - IF_1 = \{n_6, n_7\} \\ IF_3 &= IF_3 - IF_1 = \{n_6\} \end{aligned}$$

Fig. 14의 경우에는 1단계 과정에서 선정된 브로드캐스트 인터페이스 IF1의 노드들을 제거한 다이어그램이다.

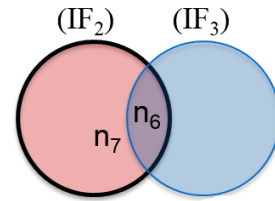


Fig. 14. Root Diagram on Each Interface

브로드캐스트 인터페이스를 찾기 위하여 1단계와 동일한 과정을 거치면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \widehat{IF}_2 &= n(IF_2 - IF_3) \\ &= n(\{n_6, n_7\} - \{n_6\}) \\ &= 1 \\ \widehat{IF}_3 &= n(IF_3 - IF_2) \\ &= n(\{n_6\} - \{n_6, n_7\}) \\ &= 0 \end{aligned}$$

MAX( $\widehat{IF}_2, \widehat{IF}_3$ ) => IF<sub>2</sub> is selected

$$IF_3 = IF_3 - IF_2 = \{ \}$$

잔존한 노드가 없으므로 알고리즘은 종료된다. 그러므로 이 다이어그램의 브로드캐스트 인터페이스는 IF1, IF2가 된다.

3.3 노드의 이동성을 고려한 MPR 선정 방법

OLSR에서는 안정적인 MPR노드의 선정 알고리즘이 필수적으로 필요하며, 선정된 MPR노드가 불안정할 경우 네트워크의 견고성이 저하되는 등 데이터 전송 신뢰성에 큰 영향을 미치게 된다[1, 11].

MPR 선정의 불안정성을 개선하기 위해 위치 정보를 기반으로 MPR을 선정하는 알고리즘은 위치 정보의 삽입을 위한 제어 메시지의 확장과 link의 만료 시간 예측 과정을 기반으로 동작한다.

1) 제약 조건

제안기법은 다수의 무선 인터페이스를 사용해야하며 각 노드가 2개 이상의 인터페이스를 사용하여 이웃노드와 연결을 실시한다. 연구를 위해 3개의 인터페이스를 사용하여 시뮬레이션을 실시했다. 그리고 무선 전송장치의 통신가능거리를 모든 노드에 동일하게 적용했다[1, 9].

2) 위치정보의 공유 방법

OLSR에서는 이웃 노드 간 정보를 교환하기 위해 주기적으로 Hello 메시지의 브로드캐스트를 실시한다. 이 알고리즘에서는 Hello 메시지 헤더 내에 자신의 위치 정보를 삽입하고, 메시지 데이터 내의 각 이웃 노드 정보에 해당 노드의 위치 정보를 담아 전파하도록 OLSR 표준 헤더를 확장했다. 위에서 제안한 위치정보전파기법을 토대로 각 노드의 연결 만료시간인 LET(Link Expiration Time)를 아래에서 계산할 수 있다[16].

$$LET_{ij} = \frac{-(ab+cd) + \sqrt{(a^2+c^2)r^2 - (ad-bc)^2}}{a^2+c^2}$$

- r = Transmission Range
- a =  $v_i \cos \theta_i - v_j \cos \theta_j$  ( $v_i, v_j$  is velocity of nodes)
- b =  $x_i - x_j$
- c =  $v_i \sin \theta_i - v_j \sin \theta_j$
- d =  $y_i - y_j$
- $\theta_i, \theta_j$  ( $0 \leq \theta \leq 2\pi$ ) (moving direction)

Fig. 15의 경우에 노드 ij간 이동속도 및 방향을 고려한 link 만료시간을 아래의 식으로 계산하면 각 노드는 LET값을 기반으로 자신과 연결이 곧 끊어질 노드를 구분할 수 있다.

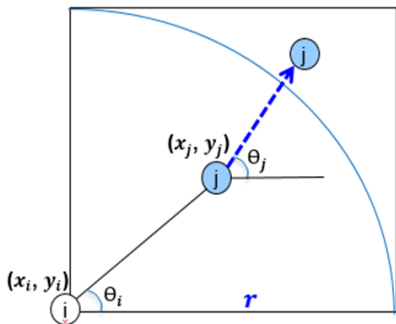


Fig. 15. To I Node From J Node Mobile Speed and Course

이를 통해 MPR 후보군에서 해당 노드를 제거하여 안정적인 MPR 노드를 선택한다. LET는 Hello 메시지 등 특정 주기시간마다 측정되며, 해당 값은 이웃 노드 테이블에 삽입된다.

다음은 LET를 이용해 MPR 후보를 선정하고 MPR을 선택하는 방법으로 MPR 선정 시 사용되는 표준의 Willingness 지수는 5단계의 (Never, Low, Default, High, Always) 값이 존재하며 Willingness 지수가 Never로 설정된 경우 MPR 노드로

선정되지 않는다[1, 5, 6, 9]. 반대로 Always 로 설정된 노드인 경우에는 연결된 2홉 노드의 개수와 상관없이 무조건 선택이 된다. 이 제안 기법에서는 자신과 연결이 끊어질 노드를 MPR 후보군에서 제거하기 위해 Hello 메시지 수신 시 해당 노드의 이동성 정보를 확인하고, 해당 노드의 LET 시간이 Hello 메시지의 주기시간보다 작을 경우 Willingness 값을 Low로 낮추어 저장한다. 따라서 각 노드는 자신과 연결이 끊어질 것으로 예측되는 노드의 MPR 우선순위를 낮추어 보다 안정적인 노드를 자신의 MPR로 선정할 수 있게 된다.

3.4 위치정보를 활용한 빠른 경로복구 방법

OLSR이 기반으로 하고 있는 Link State Routing에서는 각 노드가 네트워크로 전송하는 제어 메시지의 주기시간에 따라 네트워크의 견고성이 결정된다.

OLSR 표준 프로토콜은 Proactive 방식의 라우팅 방식으로 각 노드가 즉각적으로 패킷의 목적지 경로를 탐색하는 메시지를 발생시키지 않는다. 따라서 경로가 손실될 경우 해당 경로를 사용하는 패킷은 경로가 재구성되기 전까지 모두 손실이 되며, 패킷 전송 성공률의 저하를 유발시키는 원인이 된다. 이를 해결하기 위해 제안한 알고리즘은 위치 정보를 기반으로 경로를 복구하는 기법이다.

1) 제약 조건

제안 알고리즘의 제약조건 중 하나는 GPS 등의 사용을 통한 노드의 절대위치를 측정해야하는 것이다. 구성환경에서 각 노드는 자신의 위치 정보를 전파시키기 위한 GPS 등의 장비를 장착하여 정확한 자신의 위치 정보를 획득할 수 있다. 획득한 정보는 제어 메시지를 통해 네트워크로 전파되며 각 노드는 다른 노드의 위치 정보를 라우팅 테이블 등에 저장할 수 있다. 또 다른 제약조건은 위치정보 활용을 위한 제어 메시지의 확장이 필요한데 위치정보의 교환은 Hello 및 TC 메시지의 확장을 통해 이루어진다는 것이다. 이때 각 노드는 자신의 라우팅 테이블 등에 네트워크 내 모든 노드의 위치 정보를 저장한다[12, 13].

2) 분실된 목적지 노드와의 최인접 노드 경로 복구 방법

제안한 알고리즘은 패킷 손실 없이 경로를 복구하기 위해 소실된 목적지 노드와 가장 인접한 노드를 자신의 라우팅 테이블에서 탐색한다. 각 노드는 목적지 노드의 경로 손실 시 아래 식을 이용하여 해당 목적지 노드와 상대거리(Relative Distance)가 가장 가깝게 위치한 최인접 노드를 탐색한다.

$$\begin{aligned} \text{Relative distance } (D) &= \text{root}(dx^2 + dy^2) \\ - dx &= R * \cos \phi * d\theta \quad [R: \text{radius of the earth}, \phi: \text{latitude}] \\ - dy &= R * d\theta \end{aligned}$$

분실된 목적지 노드의 최인접 노드 탐색이 성공한 경우 해당 노드는 소실한 목적지 노드로 향하는 Next홉 노드의 주소를 최인접 노드의 Next홉 주소로 교체 한다. 즉, 목적지

경로가 분실되더라도 목적지 노드 정보가 사라지지 않으며 목적지 노드의 최인접 노드로 향하는 경로가 생성된다. Fig. 16은 표준 OSLR을 사용했을 때 경로손실을 나타내는 예이다. Fig. 17은 제안 알고리즘을 사용한 경로 복구 기법을 나타내는 예이다. 그림에서 초록색 노드는 빨간색인 D 노드로 데이터 패킷을 전송 중에 있다.

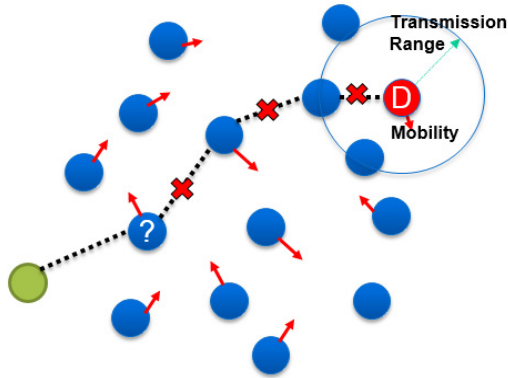


Fig. 16. Path Lose of Standard OSLR

표준 OSLR에서는 목적지 경로가 분실될 경우, 해당 데이터 패킷은 모두 소실되게 된다[13]. 하지만 제안 기법인 Fig. 17의 경우, 해당 목적지 노드를 라우팅 테이블에서 삭제하지 않고, Relative Distance가 가장 짧은 노드인 파란색 D노드를 향해 데이터 패킷을 전송한다. 따라서 목적지 노드의 경로를 손실하더라도 각 노드가 패킷을 전송할 수 있으며 표준 OSLR 기법에 따라 목적지 노드 근처부터 경로가 복구되어 해당 패킷은 안전하게 최종 목적지로 전달된다. 목적지 노드와 최인접에 위치한 노드가 목적지 노드를 탐색하지 못한 경우, 더 이상 새로운 우회 경로를 생성할 수 없으므로 패킷이 손실된다. OSLR에서 각 노드는 주기적으로 자신의 경로 정보를 TC 메시지에 담아 네트워크로 브로드캐스트하게 된다. 따라서 경로 복구 기법은 목적지 노드의 경로 정보 소실 이후 최대 TC 메시지의 주기시간 동안에만 동작하게 되며, 해당 시간이 만료될 경우 목적지 노드의 완전한 소실로 처리하고 라우팅 테이블에서 삭제된다[1, 14, 15].

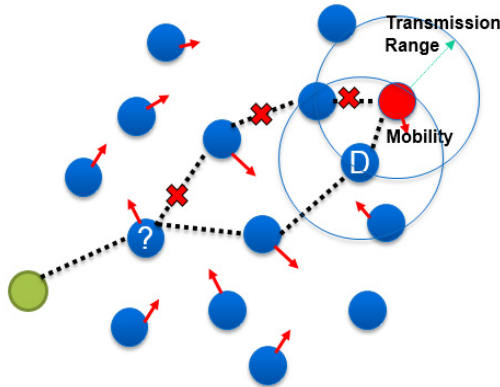


Fig. 17. Fast Path Recovery Used New Scheme

#### 4. MIMC-OLSR Routing 알고리즘 분석 및 상호 비교

MIMC-OLSR Routing 알고리즘에서 제시된 기존 기법을 확인하고 최근 제시된 “A MIMC Chain-Type Routing Protocol for Wireless Ad Hoc Networks” 알고리즘과는 저자가 제시한 알고리즘과 상호비교 분석했다.

##### 4.1 OLSR Enhancement for Multi-Interface Multi-Channel Ad-Hoc Networks[17]

OLSR Enhancement 알고리즘은 멀티 홉의 Ad-hoc 네트워크 환경에서 처리량을 향상시키기 위해 IC2A2R scheme을 제안하고 있다. 제안한 두 가지의 요소는 첫째, 주기적으로 다른 척도를 가지고 채널의 상태를 평가하는 것이고 두 번째는 경로를 선택하면서 채널의 다양성과 변경을 확인하는 요소를 가지는 것이다. 이를 통해 probe를 주기적으로 발생시켜 이웃 채널 검색, 채널 상태 통보를 평가하고 최적의 경로를 선택하게 된다고 제시하고 있다.

채널 변경 횟수, 채널 quality, 홉수를 적용하여 다음과 같은 metric을 제안하여 네트워크의 처리량을 향상시켰음을 제시하였다.

$$M = \theta_1 \times hop + \theta_2 \times qual + \theta_3 \times alter$$

##### 4.2 Link-State Routing Protocol for Multi-Channel Multi-Interface Wireless Networks[18]

Link-State Routing Protocol 알고리즘은 통신 시스템이 멀티 무선 채널을 사용하나 브로드캐스팅 동작으로 인해 높은 오버헤드가 발생한다는 문제를 지적하고 이를 최소화하기 위해 네트워크에서 노드들의 집합에 클러스터 헤드의 개념을 도입하여 MCLSR 프로토콜을 제안하였다.

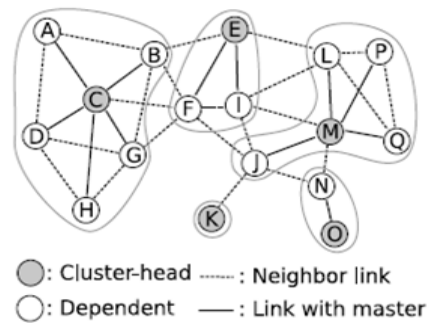


Fig. 18. Example Topology

Fig. 18에서 보는 바와 같이 클러스터 헤드와 노드로 구성되어 있고 노드들은 Hello 메시지를 통해 링크 정보를 공유하고 클러스터 헤더는 다른 클러스터 헤더와 링크정보를 상호 교환하여 네트워크 전체의 링크 정보를 공유한다. 이를 통해서 제안 알고리즘 MCLSR은 짧은 루트 탐색 시간과 낮은 패킷 손실율을 달성하였다.

인터페이스의 정의를 fixed interface and switchable interface로 구분하였고 fixed interface는 데이터 수신용으로 사용되며 때로는 송신전용으로 사용한다. 고정 채널이 있다고 가정하였으므로 switchable interface는 링크상태를 확인하여 가변적으로 운용할 수 있다. 그래서 만약 브로드캐스팅 파일이 있다면 이웃 노드들이 모든 채널을 사용할 수 있기 때문에 가용채널을 통해 패킷을 전달한다. 이런 이유로 switchable interfaces는 고정된 채널을 제외한 모든 채널을 통해서 Round Robin 스위칭이 가능함을 제시하고 있다.

4.3 A MIMC Chain-Type Routing Protocol for Wireless Ad Hoc Networks[19]

Chain-Type Routing Protocol 알고리즘은 Joint Routing과 Channel Assignment에 기반을 둔다. MIMC-plugin은 Fig. 19에서와 같이 OLSR daemon에서 MIMC-OLSR Protocol 실행의 수단이 된다.

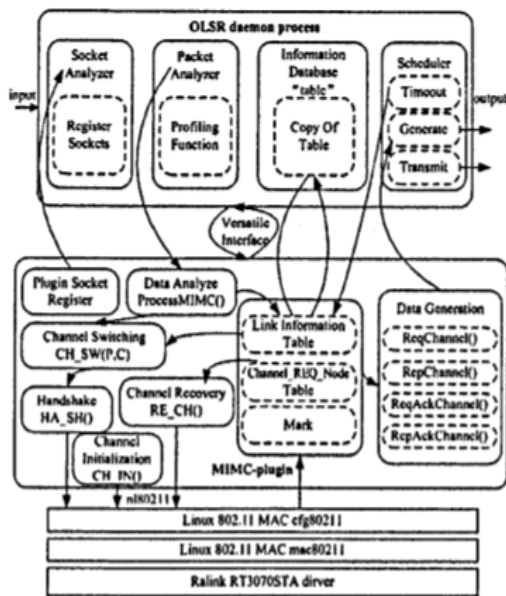


Fig. 19. Structure of MIMC-Plugin

제시한 기법은 2부분으로 나눌수 있다.

첫 번째는 Channel Assignment & Routing Formation 알고리즘이다. 우선 Channel Initialization을 통하여 채널의 초기값을 설정해준다. 이후 Channel Switching 과정을 거친다. Channel Assignment 되지 못한 노드는 REQ-HELLO 메시지를 주기적으로 보내고 이를 Parent Node가 받고 처리한다, Parent Node는 가장 빠른 채널 속도를 가진 노드를 Child Node로 선택한다. Parent Node는 Child Node에 REP\_HELLO 메시지를 보내고 하향 interface를 이 채널로 변경한다. 그동안 Child Node가 REP\_HELLO 메시지를 받으면 채널 스위칭은 끝이 난다.

그 후 Handshake 과정을 거친다. Child Node는 REQ\_ACK 메시지를 상향 interface를 통하여 보내고 REQ\_ACK 메시지

를 받은 Parent Node는 REP\_ACK 메시지를 보내게 된다. Child Node가 REP\_ACK 메시지를 받으면 Handshake phase는 성공이다. Handshake가 성공하면 Child Node는 새로운 Parent Node가 된다. 이 과정은 Child Node의 Channel Assignment가 완료될 때까지 반복된다. 그 결과는 Fig. 20과 같다.

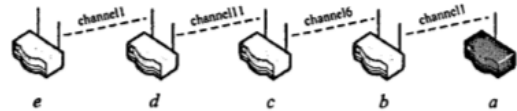


Fig. 20. Final Result of Channel Assignment

두 번째는 Channel Recovery & Routing Maintenance 알고리즘이다. 소실된 노드가 c라고 가정하면 노드 d의 상향 interface와 노드 b의 하향 interface가 연결되지 않은 상태로 발견된다. 그러면 노드 d가 상향 interface를 통하여 REQ\_HELLO 메시지를 전송한다. 이를 노드 b가 받으면 노드 c를 제외하고 노드 b와 d가 바로 연결된다. 그 결과는 Fig. 21과 같다. 만약 노드 b와 d 사이에 새로운 노드 m이 나타나면 노드 b - m - d로 연결된다.

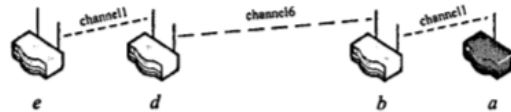


Fig. 21. Result of the Channel Recovery

이를 통하여 처리량, Packet Loss Rate, End-to-End Delay, Delay Jitter의 성능이 향상된다. Chain-Type 알고리즘과 저자가 제시한 기법의 상호비교는 Table 2와 같다.

Table 2. Comparison existing paper to research paper

	Chain Type 알고리즘	제시한 알고리즘
기법	Channel Assignmnet & Routing Formation / Channel Recovery & Routing Maintenance 알고리즘	On-Demand HELLO / 최적화된 브로드캐스트 인터페이스 / 노드의 이동성을 고려한 MPR 선정 / 위치정보를 활용한 빠른 경로복구 기법
상호비교	추가적인 하드웨어 제공의 불필요 / 처리량의 향상 / Multi-Hop 전송의 최적화/ HELLO 메시지 감소 방안의 부재 / 노드의 이동성 미고려 / 견고성 저하 우려 / 경로 복구 속도 저하 우려	HELLO 메시지 감소 방안 제시 / 노드의 안정성 증가 / 경로 손실 시 빠른 복구 가능 / Support of hardwares 필요 / 위치 정보 활용에 따른 비용 증가



### 5. 제안기법의 성능평가

3절에서 제안한 라우팅 기법들을 제어 메시지 오버헤드 감소와 위치정보를 이용한 감소기법으로 구분하여 시뮬레이션을 통해 성능평가를 진행하고 결과를 분석했다.

#### 5.1 시뮬레이션 환경 설정과 성능평가 요소

시뮬레이션은 OPNET 시뮬레이터를 기반으로 개발된 MIMC 시뮬레이터를 활용하여 진행했다. 제안 기법의 제어 메시지 감소량 및 전송 성공률의 비교 결과를 확인하기 위한 시뮬레이션 환경 설정은 Table 3과 같다.

Table 3. Simulation Environment

	Type	Value
Application	Voice	G.729 (240 kb/s)
	Number of Voice Traffic	5, 10, 15 session
	Start / End Time	19-20 sec / End of Simulation
Routing	Proposed Schemes	RFC 3626 OLSR
	RFC 3626 OLSR	
MAC/PHY 3 Interfaces	IEEE 802.11a with RRM	Data Rate: 54 Mb/s
	IEEE 802.11a	
Mobility	Random Waypoint	Speed: 1-3 m/s
Communication Range	Transmission Range	180m
	Interference Range	240m
Distance	Distance between 노드s	50m
Simulation Time	Number of Simulations	10 seed (1 to 10)
	Duration	300 seconds

시뮬레이션에 사용한 토폴로지는 Fig. 22와 같이 최초 36개의 노드가 6행6열의 그리드 배치로 시작되며, 이후 다양한 방향으로 각 노드가 이동을 실시한다. 각 노드의 이동속도는 1-3m/s로 다양하게 할당한다. 성능평가에서는 음성 트래픽의 품질을 측정하기 위해 네트워크의 전송 신뢰성 및 전송 지연시간을 기준으로 시뮬레이션을 진행하였으며, 더불어 각 제안 기법의 효과를 분석하기 위하여 제어 메시지 오버헤드의 경로 탐색 실패율 등을 분석하였다.

성능 분석은 ① 제어 메시지 감소기법의 성능 평가(Multiple interface aware OLSR(M-OLSR)의 전송 성공률, 지연시간, 제어 패킷 오버헤드 비교) ② 위치 정보 기반 기법의 성능 평가(Geographical Multiple interface aware OLSR(GM-OLSR)의 전송 성공률, 지연시간, 경로탐색 실패 횟수 비교) ③ 마지막으로 통합 성능 평가(GM-OLSR-ALL의 전송 성공률, 지연시간, 제어 패킷 오버헤드, 경로 탐색 실패 횟수 비교)는 voice어플리케이션과 다양한 어플리케이션 환경으로 구분하여 실시하였다. 성능 평가는 RFC 3626 표준 OLSR의 성능을 기준으로 분석 및 비교 평가하였다[1].

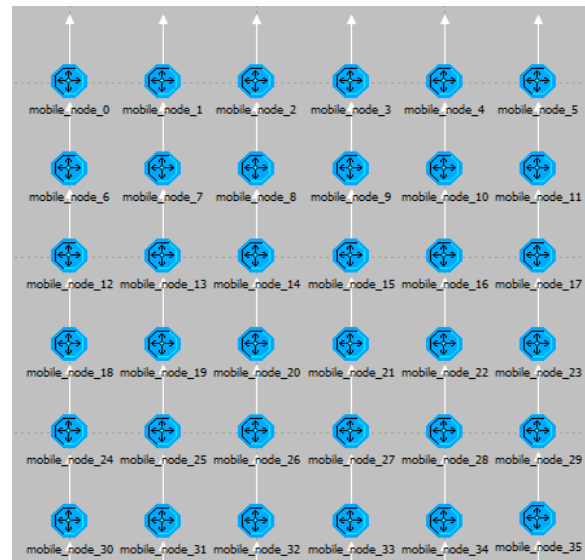


Fig. 22. Node Position in Simulation

#### 5.2 제어 메시지 감소기법의 성능평가

제어 메시지 감소 기법인 M-OLSR 기법의 성능평가를 진행했다. 성능평가는 종단 간 패킷 전송 성공률, 음성 패킷의 종단 간 평균 지연시간 및 제어 메시지 오버헤드를 기준으로 OLSR 표준 프로토콜과 비교하였다. 시뮬레이션에서는 36개의 노드를 기준으로 Voice Traffic의 발생량을 5, 10, 15 세션(10, 20, 30개의 노드가 서로 음성 통신 실시)으로 증가시키며 성능을 측정하였으며, 각 세션은 20초부터 시뮬레이션이 끝나는 300초 까지 지속적으로 데이터를 주고 받는다.

##### 1) 제어 메시지 발생량 비교

Fig. 23에 36개 노드가 발생시킨 총 제어 메시지의 전송량을 나타냈다. 시뮬레이션 결과, 제어 발생량이 15 pair의 초당 85kbps에서 20kbps로 감소하였다.

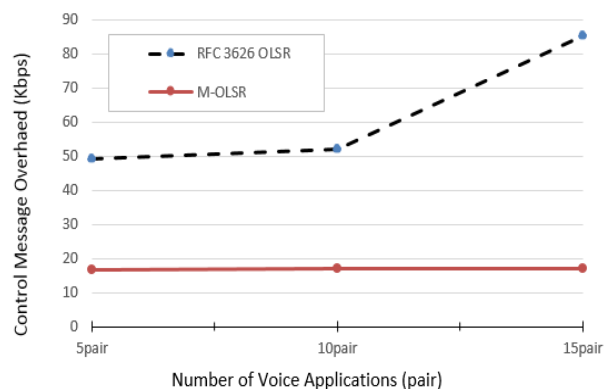


Fig. 23. Comparison of Control Message Overhead

측정된 제어 메시지의 사이즈는 MAC 및 PHY의 헤더나 Tail Data가 삽입되지 않은 순수한 3계층 제어 메시지의 사이즈를 나타낸 값으로 전송되는 각 패킷의 크기는 최대



1500 byte에 이른다. 따라서 실제 전송 시 발생하는 제어 메시지의 오버헤드는 수 Mbps 단위까지 증가될 수 있다.

2) 종단 간 평균 패킷 전송 성공률 비교

Fig. 24는 종단 간 전송 성공률을 나타낸 그래프이다. 표준 OLSR의 경우, 세션의 수가 증가할수록 종단 간 평균 전송 성공률이 10 세션에서는 84%, 15세션에서는 64%로 급격하게 저하되는 양상을 보였다. 반면 제안 기법인 M-OLSR은 평균 전송 성공률이 5, 10, 15 세션 모두 95-96%로 나타나 매우 우수한 전송 신뢰성을 보였다.

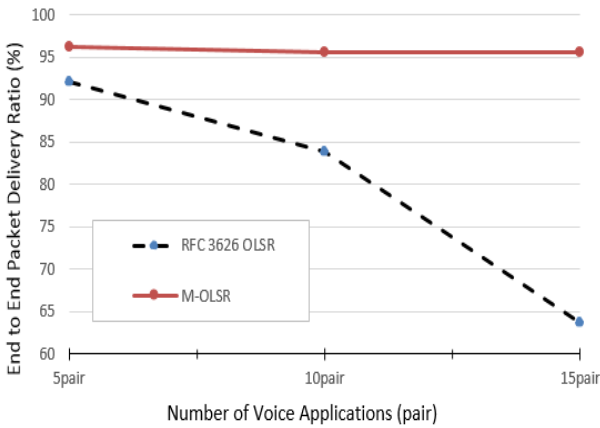


Fig. 24. Comparison of average transfer success on End to End

3) 종단 간 평균 전송 지연시간 비교

종단 간 평균 전송 지연시간은 종단 간 전송에 성공한 모든 패킷의 평균 전송지연시간을 나타낸 값으로 음성 트래픽의 품질을 가늠하는 중요한 요소이다. Fig. 25는 평균 지연시간을 나타낸 것으로 제안기법의 경우 15 pair의 음성 패킷 지연시간이 평균 200ms로 나타나 OLSR 대비 1/4 수준의 지연시간을 보였다. 이와 같은 제어 메시지 오버헤드의 감소는 데이터 전송에 필요한 전송 대역폭을 증가시켜, 패킷 전송 성공률이 향상되고 전송 지연시간이 감소하였다.

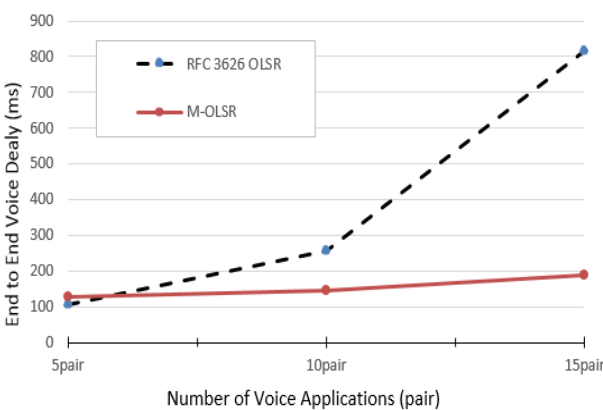


Fig. 25. Comparison of Average Transfer Delay Time on End to End

5.3 위치정보기반 기법의 성능평가

위치정보를 활용한 효율적인 라우팅 기법인 GM-OLSR의 성능 평가를 진행했다. 제안기법은 GM-OLSR scheme 1 및 GM-OLSR scheme 2가 합쳐진 알고리즘이며, 제안기법의 성능은 종단 간 패킷 전송 성공률, 음성 패킷의 종단 간 평균 지연시간 및 평균 경로 탐색 기준으로 표준 OLSR과 비교평가 하였다. 시뮬레이션에서는 36개의 노드를 기준으로 Voice Traffic의 발생량을 5, 10, 15 세션(10, 20, 30개의 노드가 서로 음성통신 실시)으로 증가시키며 성능을 측정하였으며, 각 세션은 20초부터 시뮬레이션이 끝나는 300초까지 지속적으로 데이터를 주고받도록 설정했다.

1) 종단 간 평균 패킷 전송 성공률 비교

Fig. 26은 종단 간 전송 성공률을 나타낸 그래프이다.

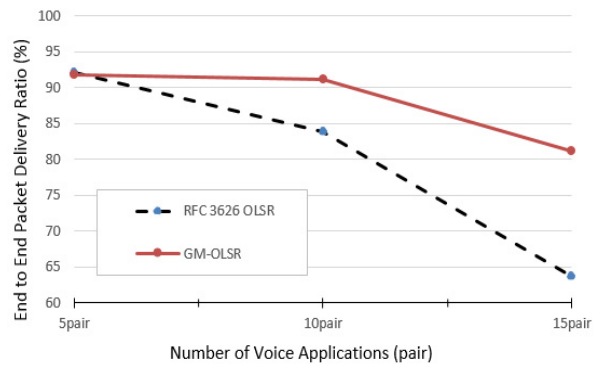


Fig. 26. Comparison of Average Transfer Success on End to End

표준 OLSR의 경우, 세션의 수가 증가할수록 종단 간 평균 전송 성공률이 10 세션에서는 84%, 15세션에서는 64%로 급격하게 저하되는 양상을 보였다. 반면 제안 기법인 위치 정보 기반의 GM-OLSR의 경우 평균 전송 성공률이 5, 10, 15 세션에 따라 각각 93%, 92%, 82%를 보였다.

2) 종단 간 평균 전송지연 시간 비교

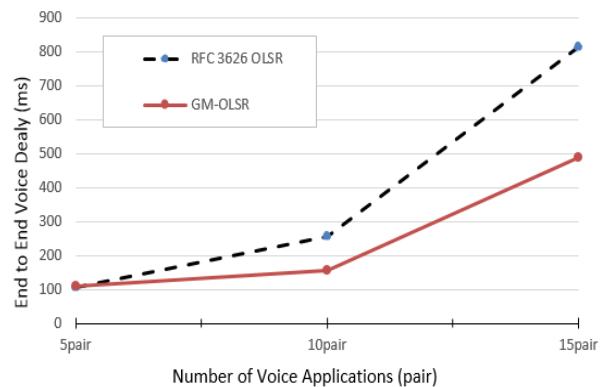


Fig. 27. Comparison of Average Transfer Delay Time on End to End

종단 간 평균 전송 지연시간은 종단 간 전송에 성공한 모든 패킷의 평균 전송지연시간을 나타낸 값으로, 음성 트래픽의 품질을 가늠하는 중요한 요소이다. Fig. 27은 평균 지연시간을 나타낸 그림으로 본 연구의 제안기법의 경우 평균 패킷 전송 지연시간이 OLSR 대비 절반으로 감소된 결과를 보였다.

3) 평균 경로탐색 실패횟수 비교

GM-OLSR은 위치 정보를 활용한 효율적인 MPR 선정과 경로를 복구하는 기법으로, 각 노드의 경로 탐색 실패율을 감소시켜 전송 신뢰성을 향상 시킨다. Fig. 28은 네트워크 내의 각 노드에서 발생한 경로 탐색 실패를 초당 평균으로 나타낸 그래프이다. 표준 OLSR은 15세션에서 초당 평균 80번의 경로 탐색 실패가 네트워크 내에서 발생하였지만 제안 기법의 경우 58회의 경로 탐색 실패를 보였다. 제안 기법인 위치 정보 기반의 MPR 선정 기법과 빠른 경로 복구 알고리즘이 효과적으로 동작하는 것을 알 수 있다. 결론적으로 제시한 알고리즘을 적용한 시뮬레이션이 평균 전송 성공률 표준 OLSR의 경우, 세션의 수가 증가할수록 종단 간 평균 전송 성공률이 10 세션에서는 84%, 15세션에서는 64%로 급격하게 저하되는 양상을 보였다. 반면 제어 메시지 감소 및 위치 정보 기반의 라우팅 기법을 적용한 최종 알고리즘은 15세션(36개 노드 중 30개 노드가 음성 통신)까지 평균 97%의 매우 높은 전송 성공률을 나타내었다.

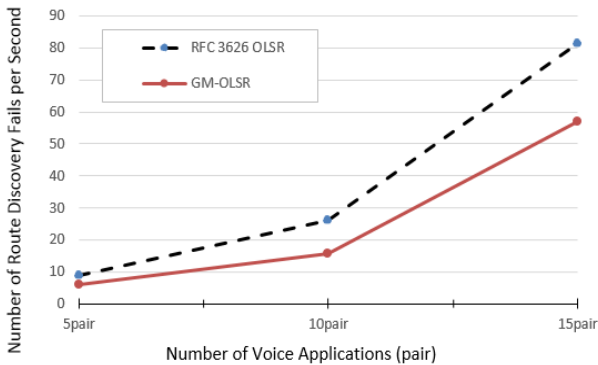


Fig. 28. Fails Num. Route Search Per Sec. of All Node in NET

5.4 Voice 어플리케이션 환경에서의 성능평가

지금까지 제안한 두 알고리즘을 하나로 통합한 최종 GM-OLSR-ALL의 성능평가를 진행했다. 성능 평가는 종단 간 패킷 전송 성공률, 음성 패킷의 종단 간 평균 지연시간 및 평균 경로 탐색 실패율, 제어 메시지 오버헤드 및 처리량을 기준으로 다양하게 평가 하였으며, OLSR을 비롯한 각각의 제안 기법들과의 성능이 비교 분석되었다. 시뮬레이션에서는 각 Voice Traffic의 발생량을 5, 10, 15 세션 기준으로 설정하였으며, 각 세션은 20초부터 시뮬레이션이 끝나는 300초까지 지속적으로 데이터를 주고받는다.

1) 종단 간 평균 패킷 전송 성공률 비교

Fig. 29는 종단 간 전송 성공률을 각 제안 기법별로 나타낸 그래프이다.

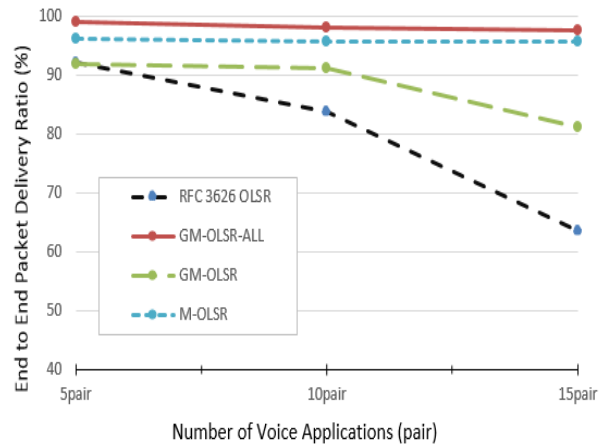


Fig. 29. Comparison of Average Transfer Success on End to End

표준 OLSR의 경우, 세션의 수가 증가할수록 종단 간 평균 전송 성공률이 10 세션에서는 84%, 15세션에서는 64%로 급격하게 저하되는 양상을 보였다. 반면 제어 메시지 감소 및 위치 정보 기반의 라우팅 기법을 적용한 최종 알고리즘은 15세션(36개 노드 중 30개 노드가 음성 통신)까지 평균 97%의 매우 높은 전송 성공률을 나타내었다.

2) 종단 간 평균 전송 지연시간 비교

종단 간 평균 전송 지연시간은 종단 간 전송에 성공한 모든 패킷의 평균 전송지연시간을 나타낸 값으로, 음성 트래픽의 품질을 가늠하는 중요한 요소이다. Fig. 30은 평균 지연시간을 비교한 그래프로 본 연구의 최종 제안기법의 경우 평균 패킷 전송 지연시간이 15 pair의 경우 표준 OLSR 대비 최대 1/8 수준의 지연시간을 보였다.

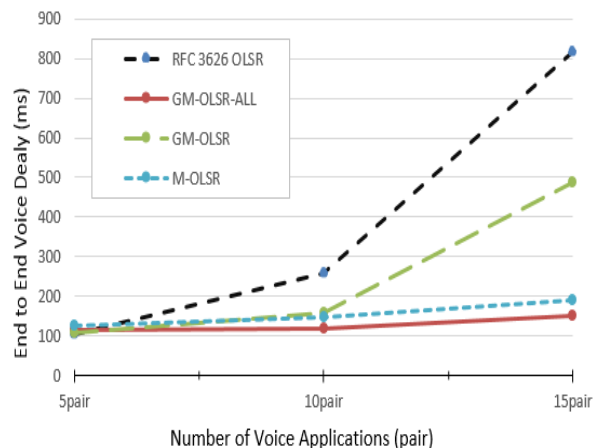


Fig. 30. Comparison of Average Transfer Delay Time on End to End

3) 제어 메시지 발생량 비교

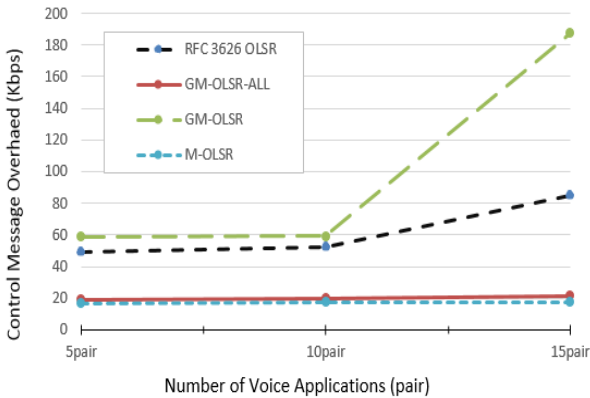


Fig. 31. Comparison of Control Message Overhead

Fig. 31은 36개 노드가 발생시킨 총 제어 메시지의 전송량을 나타낸 것이다. 위치정보를 활용한 GM-OLSR은 15 pair에서 OLSR 표준보다 높은 제어 메시지 오버헤드를 보였다. 이는 GM-OLSR의 MPR 선정이나 경로복구기법의 경우 제어 메시지를 발생시키는 MPR 노드의 수가 표준 OLSR보다 많아져 발생하는 현상으로 이동성이 높은 특정 노드 대신 다수의 이웃노드가 MPR노드로 선정되거나 경로를 복구하는데 사용되기 때문이다. 하지만 제어 메시지 감소 기법인 M-OLSR과 결합된 최종 알고리즘 GM-OLSR-ALL은 OLSR 표준 대비 약 1/5 수준의 낮은 제어 메시지 발생량을 보였다.

4) 평균 경로 탐색 실패 횟수 비교

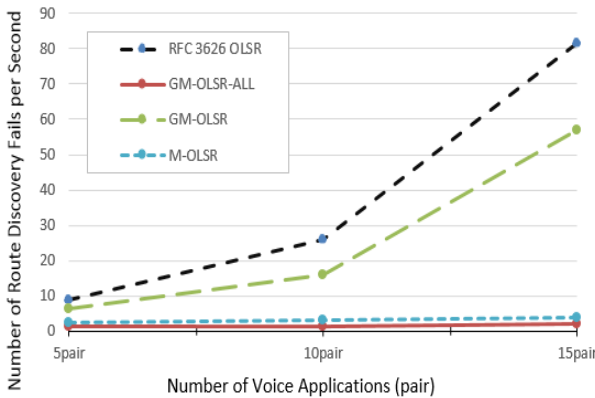


Fig. 32. Fails Num, Route Search Per Sec. of All Node in NET

Fig. 32는 네트워크 내의 각 노드에서 발생한 경로 탐색 실패의 초당 평균을 나타낸 그래프이다. 그래프에서 표준 OLSR은 15세션에서 초당 평균 80번의 경로 탐색 실패가 네트워크 내에서 발생하였다. M-OLSR은 GM-OLSR보다 적은 경로 손실을 보였다. 이는 2계층의 beacon 메시지를 활용한 3계층 이웃노드 정보의 구성 및 유지가 작은 제어 메시지 오버헤드를 발생시키고 네트워크의 혼잡을 줄여 네트워크의 건

고성을 증가시켰기 때문이다. M-OLSR과 GM-OLSR이 통합된 GM-OLSR-ALL은 모든 경우에서 경로 탐색 실패가 5회 미만으로 현저하게 저하된 결과를 보였다.

5.5 다양한 어플리케이션 환경에서의 성능평가

다양한 어플리케이션이 혼재된 환경에서의 최종 알고리즘 성능평가를 진행했다. 성능 평가는 종단 간 패킷 전송 성공률 및 지연시간을 기준으로 평가되었으며, 표준 OLSR 및 최종 알고리즘인 GM-OLSR-ALL의 비교 평가가 진행되었다.

시뮬레이션에서 어플리케이션의 환경 설정은 아래와 같으며 다른 설정은 앞에서 설명한 환경과 동일하다. 시뮬레이션에 진행한 어플리케이션의 발생량 증가는 다음과 같다.

- ① (5/1/8): 5pair의 Voice Traffic, 1개의 Video 세션, 8개의 Text 메시지 전송
- ② (10/2/8): 10pair의 Voice Traffic, 2개의 Video 세션, 8개의 Text 메시지 전송
- ③ (10/5/3): 10pair의 Voice Traffic, 5개의 Video 세션, 3개의 Text 메시지 전송

1) 종단 간 평균 패킷 전송 성공률 비교

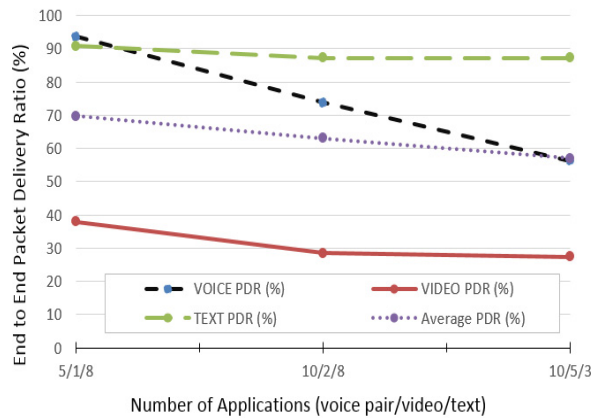


Fig. 33. Comparison of Packet Transfer Success on Application of OLSR Standard

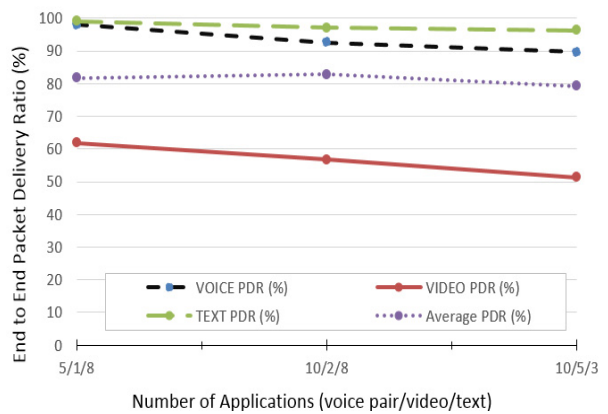


Fig. 34. Comparison of Packet Transfer Success on Application of GM-OLSR-ALL

Fig. 33과 Fig. 34는 OLSR 표준과 GM-OLSR-ALL의 중단 간 전송 성공률을 각 어플리케이션별로 측정된 그래프이다. 발생량이 크지 않은 Text 메시지의 경우 OLSR과 GM-OLSR-ALL에서 모두 90% 이상의 안정적인 전송 성공률을 보였다. Voice 트래픽의 경우 OLSR 표준은 전송 성공률이 60%로 저하되는 양상을 보이는 반면 GM-OLSR-ALL의 경우 90%에 가까운 전송 성공률을 보였다. Video 트래픽의 경우 OLSR 표준은 전송 성공률이 30~40%, GM-OLSR-ALL은 50~60%였다. 이는 패킷의 사이즈가 다른 메시지에 비해 매우 커 성공률이 떨어졌기 때문이다. 하지만 GM-OLSR-ALL의 전송 성공률이 OLSR 표준에 비하면 약 1.5배 정도 높았다.

Fig. 35는 3가지 트래픽이 혼합된 환경에서의 전체 평균 전송 성공률을 비교한 것이다. GM-OLSR-ALL의 전송 성공률이 OLSR 대비 각각 20%, 15%, 20%의 향상을 보였다.

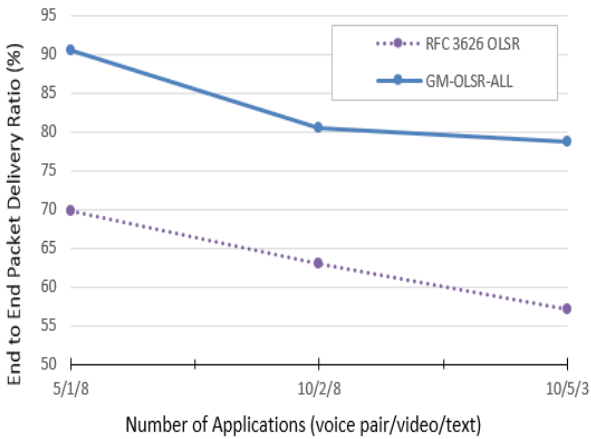


Fig. 35. Comparison of Packet Transfer Success on with OLSR or New Scheme of All Traffic Environment

2) 중단 간 평균 전송 지연시간 비교

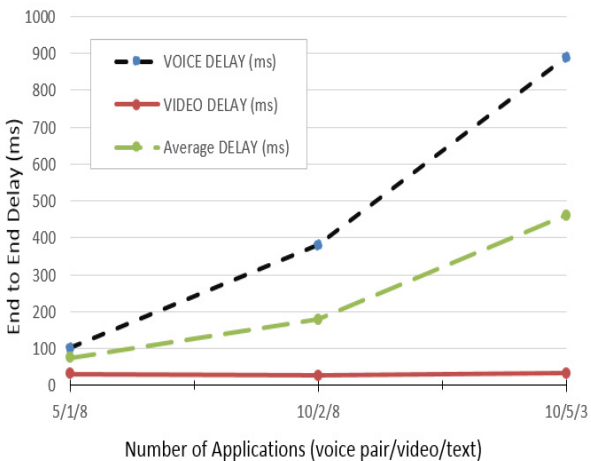


Fig. 36. Comparison of Packet Transfer Success on Application of OLSR Standard

Fig. 36은 OLSR 표준의 중단 간 전송 지연 시간을 각 어플리케이션 별로 측정된 것이다. 데이터가 빈번하게 발생하는 Voice 트래픽의 경우 지연시간이 상대적으로 높게 나타나 10pair의 음성통화 발생시 800ms까지 증가된 것을 볼 수 있다. 시뮬레이터에서는 Text 메시지의 경우 전송 지연시간을 따로 산출할 수 없어 제외하였다.

반면 제안 기법의 측정 결과인 Fig. 37의 경우, 각 어플리케이션별 지연시간은 OLSR과 동일한 양상을 보이고 있으나, 각 어플리케이션의 전송 지연시간이 OLSR 대비 1/4 이하로 감소된 양상을 보였다.

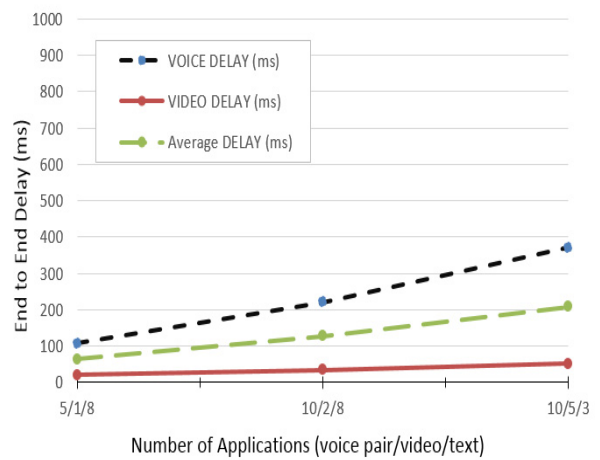


Fig. 37. Comparison of Packet Transfer Success on Application of New Scheme

Fig. 38은 OLSR 및 제안 기법인 GM-OLSR-ALL의 평균 전송 지연 시간을 나타낸 것이다. 평균 전송 지연시간은 10/5/3 트래픽 발생 시나리오에서 OLSR 대비 절반 이하로 나타나 매우 높은 성능 향상 폭을 보였다.

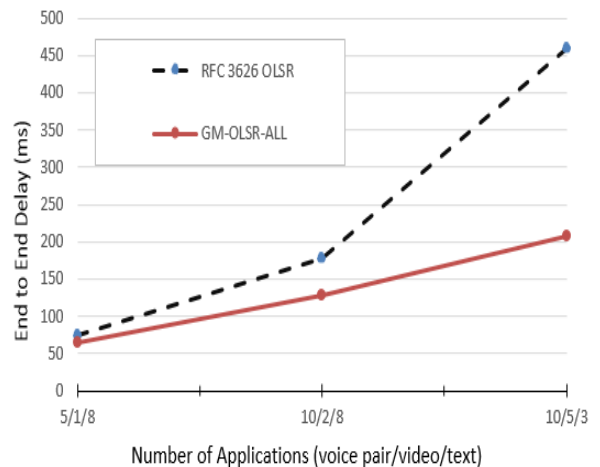


Fig. 38. Comparison of Packet Transfer Success on with OLSR or New Scheme of All Traffic Environment

## 6. 결 론

Mobile MIMC 환경에서의 OLSR 표준이 갖는 문제점을 분석 및 검토하고, 이를 개선하기 위해 새로운 기법을 제안하고 제안방법별 성능을 평가 했다. 제안한 기법을 다시 정리하면 제어 메시지 오버헤드 경감기법으로 On-demand Hello를 이용한 브로드캐스트 최소화 기법과 브로드캐스트 인터페이스의 최적화 기법을 제시했고 위치 정보를 활용한 효율적인 라우팅 기법으로 노드의 이동성을 고려한 MPR 선정 기법과 위치 정보를 이용한 경로 복구 기법을 제안했다. 제안한 기법들은 모두 OPNET을 기반으로 개발한 시뮬레이터를 통해 시뮬레이션 되었으며, 그 결과 표준 OLSR 대비 매우 우수한 전송 성공률, 전송 지연시간, 제어 메시지 오버헤드 등의 감소 등을 확인할 수 있었다. 그리고 연구결과를 보다 구체화하고 효율적인 활용기법을 제시하기 위해 향후 연구방향은 MIMC Greedy 라우팅 알고리즘에 대한 연구가 될 것이다.

## References

[1] AJ Univ. and ETRI, "Research on Networking Method used Local Based routing control for Multi Channel MANET Environment," 2013.

[2] J. Redi and R. Ramanathan, "The DARPA WNaN network architecture," *IEEE Military Communications Conference*, 2011.

[3] Su-Jin Lee and Dae-In Choi, "A node Status Control Algorithm in Mobile Ad-Hoc Networks," in *Proc. KICS Int*, Vol.39B, No.3, pp.188-190, 2014.

[4] Jin-su Kim, "An Efficient routing Algorithm Considering Packet Collisions in Cognitive Radio Ad-hoc Network," in *Proc. KICS Int*, Vol.38B, No.9, pp.751-764, 2013.

[5] K. N. Ramachandran et al., "On the Design and Implementation of Infrastructure Mesh Networks," *IEEE Wireless Mesh Networks Workshop*, 2005.

[6] A. P. Subramanian, M. M. Buddhikot, and S. C. Miller, "Interference Aware routing in Multi-Radio Wireless Mesh Networks," *IEEE Wireless Mesh Networks Workshop*, 2006.

[7] C. Toham, F. Jan, and A. Duda, "OLSR Enhancement for Multi-interface Multi-Channel Ad hoc Networks," *Mobile Ad hoc and Sensor Systems*, 2008.

[8] C. Kim, Y. B. Ko, and N. H. Vaidya, "Link-State routing protocol for Multi-Channel Multi-interface Wireless Networks," *IEEE Military Communications Conference*, 2008.

[9] S. Sharma, "P-OLSR: Position-Based Optimized Link State routing for Mobile Ad hoc Networks," *IEEE Local Computer Networks*, 2009.

[10] A. Belghith and M. Belhassen, "Routing Enhancements in Dynamic MANETs with Obstacles," *Wireless Mobile Networking Conference*, 2011.

[11] M. Zhichao, Y. Weibo, N. Dawei, and D. Chao, "The Position-Aware routing protocol for Pre-handoff on OLSR in Vehicular Networks," *Intelligent System Design and Engineering Application*, 2012.

[12] D. Passos, D. Teixeira, D. C. Muchaluat-Saade, L. C. Schara Magalhes, and C. Albuquerque. "Mesh network performance measurements," *International Information and Telecommunications Technologies Symposium*, 2006.

[13] A. Kumar, D. Manjunath, and J. Kuri, "Wireless Networking," *Morgan Kaufmann Publishers Inc.*, 2008.

[14] The New Mainstream Wireless LAN Standard [Internet], [http://www.dell.com/downloads/global/shared/broadcom\\_802\\_11\\_g.pdf](http://www.dell.com/downloads/global/shared/broadcom_802_11_g.pdf).

[15] Y. B. Ko and N. H. Vaidya, "Location-Aided routing (LAR) in mobile ad hoc networks," *Wireless Networks*, Vol.4, pp. 307-321, 2012.

[16] Pervis Fly, Natarajan Meghanathan, "Predicted Link Expiration Time Based Connected Dominating Sets for Mobile Ad hoc Networks," in *International Journal on Computer Science and Engineering*, Vol.2, No.6, pp.2096-2103, 2010.

[17] Carine Toham, Orange Labs., Lannion, Francois Jan, and Andrzej Duda, "OLSR enhancement for multi-interface multi-channel ad hoc networks," in *Mobile Ad Hoc and Sensor Systems*, pp.672-677, 2008.

[18] Cheolgi Kim, Young-Bae Ko, and Nitin H. Vaidya, "Link-State Routing Protocol for Multi-Channel Multi-Interface Wireless Networks," *Military Communications Conference*, pp.1-7, 2008.

[19] Jiali Liu, Yanjing Sun, Yi Jian, and Chenglong Feng, "A MIMC Chain-Type Routing Protocol for Wireless Ad Hoc Networks," Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pp.403-413, 2015.



## 장 재 영

e-mail : capsig0526@naver.com

1991년 금오공과대학 전자공학(공학사)

2004년 정보통신기술사

2005년 대전대학교 컴퓨터공학(공학석사)

2013년 한밭대학교 정보통신대학원

박사과정

관심분야 : 정보보호, Ad-hoc, CR



## 김 정 호

e-mail : jhkim@hanbat.ac.kr

1980년 경북대학교 전자공학(공학사)

1983년 경북대학교 전자공학(공학석사)

1983년~1996년 ETRI 실장

1989년 정보처리기술사

1990년 산업계측제어기술사

1991년 정보통신기술사

1994년 단국대학교 컴퓨터공학(공학박사)

1996년~현 재 한밭대학교 컴퓨터공학과 교수

관심분야: 네트워크와 데이터통신, 정보보호, 통신서비스