

## 이동예측이 가능한 철도차량의 이동성을 기반으로 한 네트워크 이동성 핸드오프 방안

### An Efficient Network Mobility Handoff Scheme Based on Movement Pattern of a Train

이일호<sup>†</sup> · 이준호<sup>\*</sup>

Il-Ho Lee · Jun-Ho Lee

**Abstract** In this paper, we propose an efficient seamless handoff scheme to minimize packet loss and unnecessary packets on the Internet using the peculiar mobility characteristics of public vehicles such as trains. MR (Mobile Router) in a train visits each AR (Access Router) in the fixed order. As the MR detects reachability to the NAR (Next Access Router) on the new link, the PAR (Previous Access Router) can directly deliver packets from MR's HA (Home Agent) to the NAR according to the HML (Handoff Mobile router List). Then, the NAR buffers them until the MR finishes L3 (Layer 3) handoff procedure with the NAR. Therefore, our scheme can support a seamless handoff without the packet loss and unnecessary packets on the Internet. The result of our performance evaluation has shown that the proposed scheme could provide excellent performance, compared with the NEMO basic support protocol and the Bi-casting protocol.

**Keywords** : Network mobility support, L2 Trigger, Packet buffering, Packet forwarding

**요 지** 본 논문에서는 철도차량의 이동성을 기반으로 MR의 핸드오프 때 발생할 수 있는 패킷손실량을 최소화하는 방안을 제안하고자 한다. 철도차량에 탑재된 MR은 기본적으로 고정된 AR 영역을 따라 이동한다. MR이 NAR로 이동하면, PAR은 MR의 HA로부터 전송받은 패킷을 자신의 HML에 따라 NAR로 전송시킨다. 그 후 NAR은 MR의 L3 핸드오프과정이 마칠 때 까지 PAR로부터 전송받은 패킷을 버퍼링하게 된다. 이와 같은 절차에 따라 MR의 핸드오프 소요시간 동안에는 패킷의 손실을 최소화하게 되고, 아울러 인터넷 상에 불필요한 패킷이 발생하지 않게 된다. 성능분석 결과 제안한 방안은 NEMO Basic 방안과 Bi-casting 방안보다 효율적인 방안임을 확인할 수 있었다.

**주 요 어** : 네트워크 이동성 지원, L2 트리거, 패킷 버퍼링, 패킷 포워딩

## 1. 서 론

최근 NEMO Basic Support Protocol(NEMO Basic)[1,2] 방안을 교통수단에 적용하여 차량이 이동 중에도 무선 인터넷 서비스를 이용할 수 있도록 하는 방안들이 발표되고 있다 [3-5]. 이러한 방안들은 이동차량에 탑재된 MR(Mobile Router)

이 현재 서버 넷에서 또 다른 서버 넷으로 이동하더라도 MR 과 연결된 MNN(Mobile Network Node) 혹은 LFN (Local Fixed Node)에게 끊임없는 인터넷 서비스를 제공함을 목적으로 한다.

이와 같은 방안들에 따라서 앞으로는 철도차량 내에서도 탑승객들에게 무선 인터넷 서비스를 효율적으로 제공하기 위해서 NEMO Basic 방안을 도입할 가능성이 높다고 할 수 있다. 하지만 NEMO Basic 방안은 L3(Layer 3) 핸드오프로 인한 패킷 손실문제를 고려하지 않기 때문에 끊임없는 인터넷 서비스를 제공하기가 어렵다는 문제점을 가진다. 따라서 본 논문에서는 그와 같은 문제점을 해결할 수 있는 방안을 제시하고자 한다.

<sup>†</sup> 책임저자 : 정희원, 서울산업대학교 철도전문대학원 박사과정  
E-mail : leeih98@hanmail.net  
TEL : (02)970-6883

<sup>\*</sup> 교신저자 : 정희원, 서울산업대학교 전자정보공학과 부교수  
E-mail : ljh@snut.ac.kr  
TEL : (02)970-6418 FAX : (02)979-7903

본 논문에서는 이동예측이 가능한 철도차량의 이동성과 AR (Access Router)과 연결된 AP(Access Point)의 L2(Layer 2) LD(Link Down), LU(Link Up) Trigger[6] 신호를 이용하여서 패킷 부하량을 증가시키지 않으면서도 MR의 L2 핸드오프 시작시점부터 L3 핸드오프가 마치는 시점까지 발생하는 패킷의 손실을 최소화하는 방안을 제안한다. 제안한 방안에서는, MR이 연결되었던 AR은 L2, L3 핸드오프 소요시간동안 MR로 전달할 패킷을 현재 MR이 L3 핸드오프를 시도하는 AR로 전송하고, 그 패킷을 수신한 AR은 MR이 핸드오프를 마칠 때까지 버퍼링을 수행하여서 별도의 패킷 발생 없이도 L3 핸드오프에 따른 패킷 손실을 최소화하게 된다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 NEMO Basic 방안과 기존 연구사례의 문제점을 살펴보고, 3장에서는 철도차량에 탑재된 MR의 패킷 손실을 최소화하는 L3 핸드오프 방안을 제안한다. 4장에서는 본 논문에서 제안한 방안을 성능 평가한 후 5장에서 결론을 맺는다.

## 2. 관련 연구

본 장에서는 NEMO Basic 방안과 Bi-casting 방안의 L3 핸드오프 과정을 분석하여 문제점을 살펴본다.

### 2.1 NEMO Basic Support Protocol

NEMO Basic 방안에서 CN(Correspondent Node)이 전송한 패킷은 MR의 HA(Home Agent)를 거쳐 해당 목적지인 MR로 전송된다. 여기서, CN은 MR의 HA와 MR 사이에서의 Bi-directional tunnel을 통하여 MR 내에 있는 MNN들과 패킷을 송수신할 수 있게 된다. MR은 다수의 MNN들을 대표하여 이동성 관리를 수행하기 때문에 각 MNN에게 이동의 투명성을 제공하는 역할을 한다. 이러한 MR의 역할로 인해 MR에 접속한 MNN들에 대해서는 별도의 L3 핸드오프 절차를 필요로 하지 않게 된다.

하지만, NEMO Basic 방안에서는 MR이 현재 서브 넷에서 또 다른 서브 넷으로 이동 시 L3 핸드오프로 인한 패킷 손실 문제에 대해 아직 구체적으로 고려하지 않아 L3 핸드오프 소요시간 동안 MR로 전달되는 모든 패킷이 손실되는 문제점을 가지고 있다. 더욱이, L3 핸드오프로 인한 패킷 손실량은 핸드오프 소요시간의 증가에 따라 비례적으로 증가하기 때문에 끊임없는 인터넷 서비스 제공을 어렵게 만드는 요인이 된다. Fig. 1은 MR이 새로운 서브 넷으로 이동 할 때 L2, L3 핸드오프의 소요시간을 나타낸 그림이다. MR이 새로운 서브 넷으로 이동하면, L2, L3 핸드오프가 발생하게 되는데 이때 L2 핸드오프 소요시간은 일반적으로 약 100~300[ms]정도 소요

되는 반면, L3 핸드오프 소요시간은 약 2~3[s]정도 소요된다 [7]. Fig. 2는 가장 많은 소요시간을 차지하는 L3 핸드오프의 메시지 절차를 나타낸 그림이다. 메시지 절차는 MR의 RS (Router Solicitation)와 RA(Router Advertisement) 메시지에 의한 이동검출과정 후에 새로운 서브 넷에서 임시 IP 주소를 얻기 위한 CoA(Care of Address) 구성을 한 다음 새로운 서브 넷의 위치 정보를 자신의 HA에 등록하면 L3 핸드오프 과정이 마치게 된다. 이러한 L3 핸드오프 절차 동안에는 MR로 전달되는 모든 패킷이 손실되므로 끊임없는 인터넷 서비스를 제공해주지 못한다.

### 2.2 Bi-casting Protocol

Fig. 3의 Bi-casting 방안[7]에서는 패킷을 MR의 HA에서 복제하여 서로 다른 경로를 통해 PAR(Previous AR)과 NAR (Next AR)로 동시에 전송하여 MR이 L3 핸드오프가 발생하더라도 패킷의 손실을 최소화할 수 있도록 한 방안이다. 이 방안의 동작과정을 살펴보면, 먼저 MR은 새로운 서브 넷으로 이동하기 전에 Predictive BU(Binding Update) 메시지를 자신의 HA로 전송하여 새로운 서브 넷에서 수행해야 할 위치 등록과정을 사전에 마치게 된다. 이때 MR의 HA는 이 메시지를 수신한 시점부터 PAR과 NAR로 패킷을 동시에 전송하기 때문에 L3 핸드오프가 발생하더라도 패킷의 손실을 감소시킬 수 있다.

하지만, MR의 HA는 MR로부터 Predictive BU 메시지를

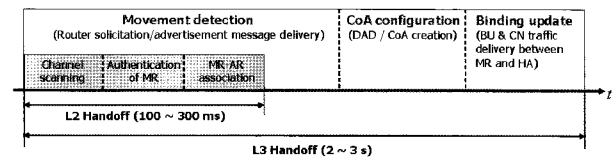


Fig. 1. L2, L3 handoff latency

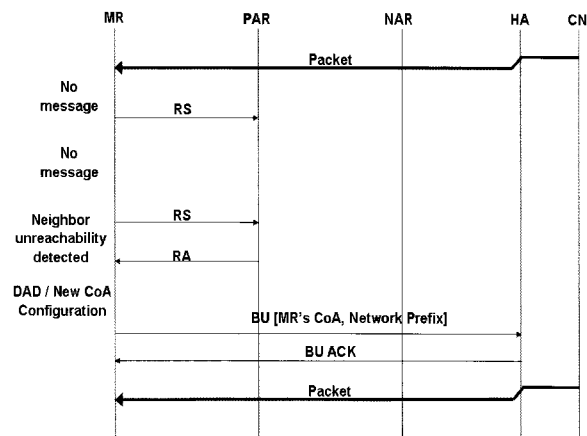


Fig. 2. The message flow of the NEMO basic protocol

수신한 시점부터 Stop Bi-casting 메시지를 수신한 시점까지 양방향으로 패킷을 전송시키기 때문에 인터넷상에 불필요한 패킷이 전송된다. 이 때문에 인터넷상에는 패킷 부하량이 증가하게 되고 패킷 전달시간이 지연되는 문제가 발생한다.

### 3. 제안한 방안

Fig. 4는 철도 환경을 고려하여 구축된 가상 무선 네트워크 구조이다. 가상 무선 네트워크는 철도선로를 따라 AP가 설치되고, 각 AP는 유선으로 AR과 연결되어 MR이 탑재된 철도 차량이 또 다른 서버 넷으로 이동하더라도 인터넷 서비스를 제공할 수 있도록 구성된 네트워크이다.

철도차량은 임의로 움직이는 일반 무선 단말기와 달리 이동하고자 하는 방향이 명확하기 때문에 이동경로를 예측할 수 있다. 즉, 철도차량은 정해진 선로를 따라 이동하기 때문에 AR1을 거쳐 반드시 AR2로 도달하게 된다. 따라서 AR1은 MR의 이동 방향을 알 수 있으므로 다음 AR인 AR2로의 L3 핸드오프가 발생할 것이라는 사실을 미리 인지할 수가 있다. 본 논문에서는 이와 같은 철도차량의 이동특성을 이용하여

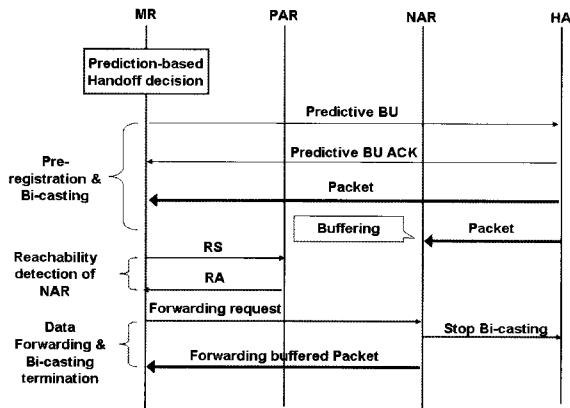


Fig. 3. The message flow of the Bi-casting protocol

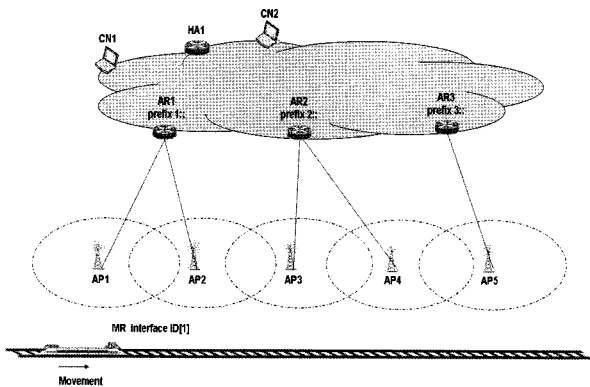


Fig. 4. Wireless network for a train

L3 핸드오프로 인한 패킷 손실문제를 최소화하고, 아울러 Bi-casting 방안에서 문제 시 되고 있는 인터넷 망에서의 패킷 부하량 증가 문제를 해결할 수 있는 방안을 제안한다.

### 3.1 확장된 메시지 정의

본 논문에서는 ICMPv6에서 규정하고 있는 메시지들을 다음과 같이 확장하여 사용한다.

Fig. 5는 RS 메시지를 확장한 구조를 나타낸 그림이다. MR은 AP로부터 L2 LU Trigger 신호를 수신 할 때 마다 AR로부터 New CoA[8]를 요청하기 위해 MR의 Interface ID(MRID)로 구성되는 MR Interface ID option을 포함하는 Extended RS 메시지를 전송한다. 여기서 New CoA는 MR과 접속 중인 AR이 다음 AR의 Network prefix와 MRID를 조합하여 미리 구성한 주소를 말한다.

Fig. 6의 Extended RA 메시지에는 AR이 구성한 MR의 New CoA로 구성되는 MR New CoA option과 현재 MR에 할당된 CoA로 구성되는 MR CoA option, 그리고 MR의 Interface ID(MRID)로 구성되는 MR Interface ID option이 포함된다.

Fig. 7의 End L3 Handoff 메시지는 AR에게 L3 핸드오프 과정이 끝났음을 알리는 메시지로서 패킷 형식 필드(Type)는 160으로 정의한다. MR은 L3 핸드오프 과정 중 위치등록과정을 마치면, End L3 Handoff 메시지를 AR로 전송한다. 이 메시지를 수신한 AR은 MR의 L3 핸드오프과정이 끝났음을 인

Type	Code	Checksum
Reserved		
Option code(30)	Option length	
Option = MR Interface ID(MRID)		

Fig. 5. The extended RS message format

Type	Code	Checksum
Cur Hop Limit	M O H Reserved	Router Lifetime
Reachable Time		
Retrans Timer		
Option code(31)	Option length	
Option = MR New CoA		
Option code(32)	Option length	
Option = MR CoA		
Option code(30)	Option length	
Option = MR Interface ID(MRID)		

Fig. 6. The extended RA message format

지한다.

Fig. 8의 Request Buffered Packet 메시지는 이동 검출 과정을 마친 MR이 AR로 버퍼링된 패킷을 요청하는 메시지로서 패킷 형식 필드는 161로 정의한다. Request Buffered Packet 메시지를 수신한 AR은 메시지 안에 포함된 MR CoA option의 CoA와 동일한 목적지 주소를 가진 버퍼링된 패킷을 MR로 전송한다.

### 3.2 L3 핸드오프 발생시점

본 논문에서는 L3 핸드오프 시점을 결정하기 위해 FMIPv6 (Fast Mobile IPv6)[9]와 유사한 L2 Trigger를 사용한다. L2 Trigger는 AP에서 발생된 Trigger로서 링크연결 상태가 끊어졌음을 알리는 L2 LD 신호와 링크가 연결되었음을 알리는 L2 LU 신호로 정의된다. 패킷 손실은 L2, L3 핸드오프가 시작되는 시점부터 발생되므로 패킷 포워딩 시점을 L2, L3 핸드오프가 시작될 때로 설정한다. 이 시점을 결정하는 각 AP들은 BSSID (Basic Service Set ID)라는 48bit 이진 식별자와 64bit로 이루어진 MR의 식별자 MRID를 함께 가진다. 이 식별자들은 기본적으로 L2 Trigger에 포함된다.

우선, 각 AR은 L2, L3 핸드오프를 관여하는 AP의 BSSID를 사전에 알고 있다고 가정한다. L2 LD Trigger에는 AP의 고유 ID인 BSSID 정보가 포함되어 있어 각 AR은 이 정보를 통해 L2, L3 핸드오프의 시작시점을 알 수 있다. 예를 들어 Fig. 4에서 MR이 AR2로 이동하면, AP2는 L2 LD Trigger를 전송하고 이를 수신한 AR1은 MR이 AR2와 L2, L3 핸드오프 중이라고 인지한다. 마찬가지로 AP4로부터 L2 LD Trigger를 수신한 AR2는 MR이 AR3과 L2, L3 핸드오프 중이라고 인지한다.

### 3.3 AR의 HML 등록과정

각 AR은 AR간 신뢰성 있는 패킷전송을 위해 Table 1의 New CoA List와 Table 2의 HML(Handoff MR List)를 가진다. New CoA List는 MR이 L3 핸드오프를 수행할 때 AR이

Type(160)	Code(0)	Checksum
Reserved		

Fig. 7. The End L3 Handoff message format

Type(161)	Code(0)	Checksum
Reserved		
Option code(32)	Option length	
Option = MR CoA		

Fig. 8. The Request Buffered Packet message format

MR로 New CoA를 할당하기 위한 리스트이다. HML은 L3 핸드오프가 진행 중인 MR의 주소정보가 저장된 리스트이다. AR은 HML\_From\_PAR 영역과 HML\_To\_NAR 영역에 등록된 MR들에 한해서만 패킷 전송과 버퍼링 과정을 수행한다. New CoA List와 HML의 구체적인 주소등록 과정은 다음과 같다.

- ① AR1은 MR로부터 End L3 Handoff 메시지를 수신하면, MR의 L3 핸드오프 과정이 끝났음을 인지한다. 이후 AR1은 MRID와 AR2의 Network prefix를 조합하여 New CoA를 구성한 다음 Extended RA 메시지 안에 New CoA를 포함시켜 AR2로 전송한다.
- ② AR1은 Fig. 9와 같이 HML\_From\_PAR에 저장된 MR의 주소정보를 ML로 옮겨 저장시키고 HML\_From\_PAR에 저장된 MR의 주소정보를 제거시킨다. 그리고 AR2로 전송했던 New CoA는 MRID와 함께 HML\_To\_NAR에 저장시킨다.
- ③ ML에 저장된 MR들은 AR1과 주기적으로 RA 메시지를 전송할 수 있는 상태이다.
- ④ AR2는 AR1로부터 Extended RA 메시지를 수신하면, 메시지에 포함된 주소정보를 자신의 New CoA List에 저장한다.
- ⑤ AR1이 L3 핸드오프를 관여하는 AP로부터 L2 LD Trigger를 수신하여 MRID를 획득하면, 획득한 MRID가 자신의 ML에 저장되어 있는지 확인한다. 만일 동일한 MRID가 저장되어 있으면, ML에 저장된 해당 MRID의 주소정보는 Fig. 10과 같이 HML\_To\_NAR에

Table 1. AR's New CoA List

New CoA List	
MRID	CoA
-	-
-	-

Table 2. AR's HML

HML_From_PAR		ML		HML_From_NAR		
MRID	CoA	MRID	CoA	MRID	CoA	New CoA
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-

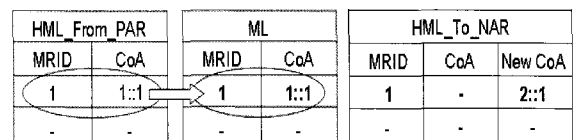


Fig. 9. HML\_From\_PAR → ML

이미 저장된 동일한 MRID 주소정보에 덮어쓰기로 저장시킨다. 이 때 ML에 저장된 MR의 주소정보는 제거된다.

- ⑥ AR2가 L3 핸드오프를 관여하는 AP로부터 L2 LU Trigger를 수신하여 MRID를 획득하면, AR2는 획득한 MRID가 자신의 New CoA List에 저장되어 있는지 확인한다. 만일 동일한 MRID가 저장되어 있으면, AR2는 해당 MRID의 New CoA를 Extended RA 메시지에 포함시켜 MR로 전송한다. 존재하지 않으면, New CoA 구성 과정에 따라 New CoA를 구성하고 MR로 할당한다.
- ⑦ AR2는 MR로 할당한 New CoA 주소정보를 Fig. 11과 같이 HML\_From\_PAR에 저장시키고, New CoA List에 저장된 New CoA를 제거한다.

### 3.4 AR의 동작과정

본 논문에서의 AR 패킷 전송 방식은 HML에 등록된 주소에 따라 패킷의 목적지 주소를 변환한 후 그 다음 AR로 전송하게 된다. 즉 수신된 패킷의 목적지 주소가 HML에 어느 영역에 저장되어 있는가에 따라 AR은 수신된 패킷 목적지 주소를 변환 후 그 다음 AR로 전송하거나 버퍼링을 수행하게 된다.

Fig. 12는 AR의 동작 절차를 나타낸 그림이다. 패킷을 수신한 AR은 항상 수신된 패킷의 목적지 주소가 자신의 HML에 어느 영역에 포함되어 있는지를 확인한다. 그 이유는 HML의 HML\_From\_PAR 영역과 HML\_To\_NAR 영역 중 패킷의 목적지 주소가 어디에 포함되어 있는가에 따라 AR이 그 다음 AR로 전송할지 혹은 버퍼링을 수행하게 될지를 결정하기 때문이다. 예를 들어 AR이 MR의 HA로부터 Fig. 13과 같은 목적지 주소(1::1)를 갖는 패킷을 수신하면, AR은 먼저

HML_From_PAR		ML		HML_To_NAR		
MRID	CoA	MRID	CoA	MRID	CoA	New CoA
.	.	1	1::1	1	1::1	2::1
.	.	.	.	.	.	.

Fig. 10. ML → HML\_To\_NAR

New CoA List		HML_From_PAR		ML		HML_To_NAR		
MRID	CoA	MRID	CoA	MRID	CoA	MRID	CoA	New CoA
1	2::1	1	2::1	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.

Fig. 11. NAR' HML

수신된 패킷의 목적지 주소가 자신의 HML의 HML\_From\_PAR에 포함되어 있는지 확인한다. 만일 수신된 패킷의 목적지 주소가 HML\_From\_PAR에 포함되어 있다면, 수신된 패킷을 버퍼링하지만 만약 포함되어 있지 않으면, AR은 HML\_To\_NAR 영역에 포함되어 있는지 확인한다. 만일, 수신된 패킷의 목적지 주소가 HML의 HML\_To\_NAR에 동일한 주소로 포함되어 있으면, AR은 수신된 패킷의 목적지 주소를 Fig. 14와 같이 HML\_To\_NAR에 저장된 New CoA(2::1)로 변환시킨 후 그 다음 AR로 전송하게 된다. 만일 수신된 패킷의 목적지 주소가 HML 어느 영역에도 포함되어 있지 않으면 패킷은 해당 목적지 주소로 전송된다. 이와 같이 본 논문에서 제안한 절차에 따르면 MR에서 L3 핸드오프가 발생한다 하더라도 AR간에 패킷전송 및 버퍼링 과정이 수행되기 때문에 Bi-casting 방식을 사용하지 않더라도 패킷의 손실을 방지할 수가 있다.

### 3.5 버퍼링된 패킷을 MR로 전송

AR은 MR과의 이동검출 과정 중 New CoA List 안에 저장된 해당 MRID의 New CoA를 Extended RA 메시지에 포함시

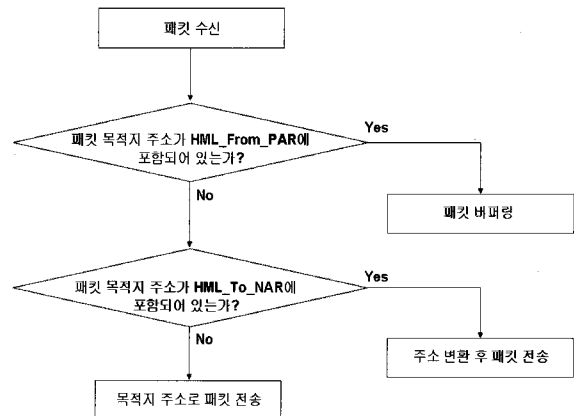


Fig. 12. AR's packet forwarding operation

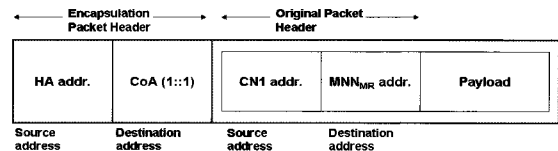


Fig. 13. The layout of an original packet from MR's HA

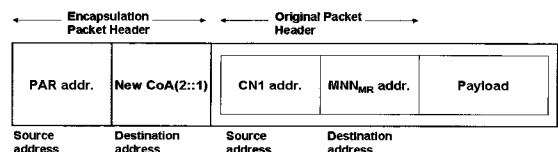


Fig. 14. The layout of the modified packet to AR2

켜 MR로 할당한다. AR로부터 New CoA를 할당받은 MR은 AR과 L3 통신이 가능한 상태가 되며, 이 때 MR은 버퍼링된 패킷을 요청하는 메시지인 Request Buffered Packet 메시지를 AR로 전송한다. Request Buffered Packet 메시지를 수신한 AR은 버퍼링된 패킷의 목적지 주소가 MR로부터 획득한 주소와 동일한 패킷만을 MR로 전송한다. 만일 주소가 동일하지 않은 경우, 해당 패킷은 전송 처리를 하지 않는다. 동시에 MR은 AR로부터 할당 받은 New CoA를 자신의 HA로 BU 메시지를 전송하여 위치등록을 수행한다. BU 메시지를 수신한 MR의 HA는 BU Ack 메시지를 MR로 전송하게 된다. 이 후부터 MR의 HA는 더 이상 PAR 경로로 패킷을 전송하지 않고, 현재 접속된 AR 경로로 패킷을 전송한다.

한편, MR의 HA로부터 BU Ack 메시지를 수신한 MR은 L3 핸드오프 과정이 끝났음을 인지하고, AR에게 End L3 Handoff 메시지를 전송하여 L3 핸드오프 과정이 끝났음을 알린다. End L3 Handoff 메시지를 수신한 AR은 3.3절의 ①, ② 절차에 따라 HML\_From\_PAR에 저장된 MR의 주소정보를 ML로 저장시키고 HML\_From\_PAR에 저장된 MR의 주소정보를 삭제한다. 따라서 HML의 주소정보 상태는 Fig. 15와 같이 나타낼 수 있다.

#### 4. 성능분석

본 장에서는 NEMO Basic 방안과 Bi-casting 방안, 제안한 방안의 핸드오프 소요시간을 분석한 후 이를 기반으로 핸드오프로 인한 패킷 손실량을 비교 분석한다. 아울러 핸드오프 소요시간동안 인터넷 망에서 발생하는 패킷 부하량을 추가적으로 비교분석하여 제안한 방안이 기존방안보다 효율적인 방안인지를 평가하도록 한다.

##### 4.1 핸드오프 소요시간에 따른 패킷 손실량 분석

NEMO Basic 방안의 핸드오프 절차는 일반적으로 L2핸드오프 절차가 끝난 후 L3 핸드오프 절차를 가진다. 따라서 전체 핸드오프 소요 시간은 식(1)과 같이 L2, L3 핸드오프 소요시간의 합  $NEMO\_T_{HO}$ 으로 나타낼 수 있다.

- $T_{L2}$  : L2 핸드오프 소요시간
- $T_{L3}$  : L3 핸드오프 소요시간

HML_From_PAR		ML		HML_To_NAR		
MRID	CoA	MRID	CoA	MRID	CoA	New CoA
1	2::1	1	2::1	1	-	3::1
-	-	-	-	-	-	-

Fig. 15. NAR's HML after MR's L3 handoff

$$NEMO\_T_{HO} = T_{L2} + T_{L3} \quad (1)$$

식(1)에서  $T_{L3}$ 의 지연요소는 MR의 이동검출시간  $T_{MD}$ 와 CoA 구성시간  $T_{CoA}$ , 위치등록시간  $T_{BU}$ 의 합으로 이루어진다. 따라서 식(2)와 같이 표현된다.

- $T_{MD}$  : MR의 이동검출시간
- $T_{CoA}$  : MR의 CoA구성시간
- $T_{BU}$  : MR의 위치등록시간

$$NEMO\_T_{HO} = T_{L2} + T_{MD} + T_{CoA} + T_{BU} \quad (2)$$

$T_{MD}$ 는 MR과 AR간 RS 메시지, RA 메시지의 송수신 시간  $RTT_{MR-AR}$ (Round Trip Time between the MR and the AR)과 RA 메시지의 전송 주기 R 값의 합으로 나타낼 수 있다.  $T_{CoA}$ 의 소요시간은 DAD(Duplicate Address Detection) 과정을 위한 메시지 송수신 소요시간이므로  $RTT_{MR-AR}$ 로 나타낼 수 있다.  $T_{BU}$ 는 MR과 MR의 HA간 위치등록을 수행하기 위한 메시지 송수신 소요시간으로  $RTT_{MR-HA}$ (Round Trip Time between the MR and the HA)로 나타낸다. 따라서 식(2)는 식(3)과 같이 표현될 수 있다.

$$NEMO\_T_{HO} = T_{L2} + R + 2RTT_{MR-AR} + RTT_{MR-HA} \quad (3)$$

한편, 제안한 방안에서의 MR은 L3 핸드오프를 관여하는 AP로부터 L2 LU Trigger를 수신하자마자 NAR로 Extended RS 메시지를 전송하기 때문에 MR은 L2 핸드오프가 끝난 즉시 Extended RA 메시지를 AR로부터 수신 받을 수 있다. 따라서 제안한 방안에서는 R 값이 생략될 수 있다. 또한 PAR이 사전에 MR의 MRID를 이용하여 New CoA를 구성하였기 때문에 MR은 Extended RA 메시지를 통해 New CoA를 획득할 수 있다. 따라서 제안한 방안에서는 별도의 DAD 과정을 수행하지 않아도 된다. 다만, MR이 새로운 CoA를 획득하기 위해서는 NAR로부터 New CoA가 포함된 Extended RA 메시지를 수신해야 하므로 이때 소요되는 시간은  $RTT_{MR-AR}$ 가 소요된다. 따라서 제안한 방안의 전체 핸드오프 소요시간  $Proposed\_T_{HO}$ 는 L2 핸드오프 소요시간  $T_{L2}$ 와 이동검출시간  $RTT_{MR-AR}$ , 위치등록시간  $RTT_{MR-HA}$ 의 합으로 나타낼 수 있다.

$$Proposed\_T_{HO} = T_{L2} + RTT_{MR-AR} + RTT_{MR-HA} \quad (4)$$

Bi-casting 방안은 L2 핸드오프 발생 전에 L3 핸드오프의 절차를 모두 처리한 이상적인 방식으로 실제 발생하는 전체 핸드오프 소요시간은  $T_{L2}$ 와 같다.

Fig. 16은 NEMO Basic 방안, Bi-casting 방안, 제안한 방안의 핸드오프 소요시간을 비교한 그래프이다. 성능분석을 위해  $T_{L2}$ 는 200 [ms], MR과 AR간의 패킷전송시간  $RTT_{MR-AR}$ 는

10 [ms]로 설정하였다. R 값은 1 [s]로 가정한다.  $RTT_{AR-HA}$ 는 100~1000 [ms]에서 100 [ms]씩 변화시키면서 성능을 분석하였다. 단, 본 논문에서는 각 노드들의 메시지 처리시간을 고려하지 않았다.

핸드오프 소요시간 성능분석 결과, NEMO Basic 방안의 핸드오프 소요시간은  $RTT_{AR-HA}$ 가 증가함에 따라 1.4~2.7 [s] 정도 소요되는 반면, 제안한 방안에서는 약 0.3~1.1 [s]로 나타났다. Bi-casting 방안의 핸드오프 소요시간은  $T_{L2}$ 와 같은 200 [ms]로 나타났다.

본 논문에서는 각 방안의 핸드오프 소요시간을 토대로 패킷 손실량을 구하고자 한다. 핸드오프 소요시간 동안 발생하는 패킷의 손실량 L은 식(5)와 같이 전체 핸드오프 소요시간  $T_{HO}$ 와 인터넷 대역폭의 곱으로 표현할 수 있다. 여기에서 인터넷 대역폭  $BW_{(Internet)}$ 는 10 [Mbps]로 가정하였다.

$$L \geq T_{HO} \cdot BW_{(Internet)} \quad (5)$$

Fig. 17은 NEMO Basic 방안과 제안한 방안, Bi-casting 방

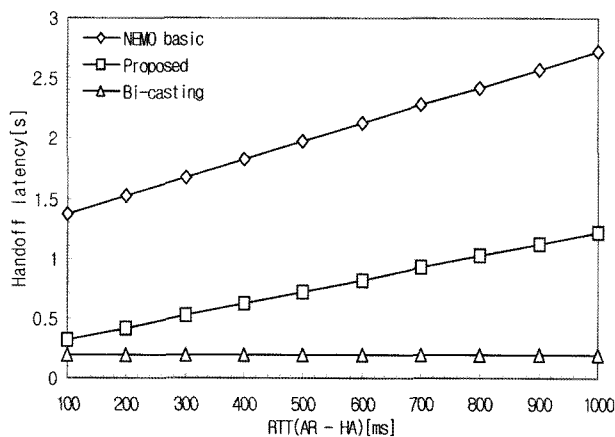


Fig. 16. Comparison of handoff latency

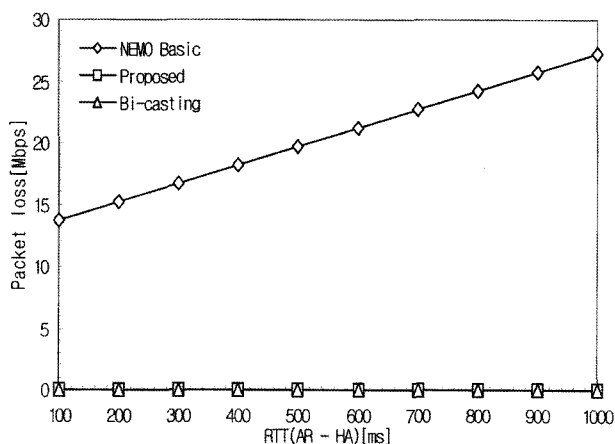


Fig. 17. Comparison of packet loss

안의 핸드오프 소요시간에 따른 패킷 손실량을 나타낸 그래프이다. 제안한 방안에서는 L3 핸드오프를 관여하는 AP의 L2 LD Trigger를 수신한 PAR이 MR로 전송되는 패킷을 NAR로 전송시키면, NAR은 L3 핸드오프 중에도 수신된 패킷을 버퍼링하기 때문에 핸드오프가 발생한다 하더라도 패킷의 손실이 발생하지 않는다. Bi-casting 방안도 핸드오프가 발생하더라도 MR의 HA가 패킷을 PAR과 NAR로 동시에 전송시키기 때문에 제안한 방안과 마찬가지로 패킷 손실이 발생하지 않는다.

#### 4.2 인터넷 패킷 부하량 분석

본 절에서는 NEMO Basic 방안, Bi-casting 방안, 그리고 제안한 방안의 핸드오프 소요시간 동안 발생하는 패킷 부하량을 추가적으로 분석하였다.

세 방안의 인터넷 패킷 부하량은 MR과 통신하는 CN의 개수에 따라서 변하므로 본 논문에서는 MR과 통신하는 CN의 개수 n을 1부터 10까지 증가시키면서 패킷 부하량 Proposed\_P(n)과 NEMO\_P(n)을 분석하였다.

제안한 방안과 NEMO Basic 방안에서는 L3 핸드오프가 발생되면, MR의 HA는 MR로 전송하고자 하는 패킷을 한 개의 AR 경로로만 전송하게 된다. 따라서 두 방안의 패킷 부하량은 핸드오프 소요시간동안 CN의 개수 n이 증가한 만큼만 발생한다. CN의 인터넷 대역폭  $BW_{(Internet)}$  모두 동일하다면,

$$\text{Proposed\_P}(n) = n \cdot BW_{(Internet)} \cdot \text{Proposed\_T}_{HO} \quad (6)$$

$$\text{NEMO\_P}(n) = n \cdot BW_{(Internet)} \cdot \text{NEMO\_T}_{HO} \quad (7)$$

Bi-casting 방안의 경우, MR의 HA는 MR로부터 Predictive BU 메시지를 수신한 시점부터 NAR로부터 Stop Bi-casting 메시지를 수신한 시점까지 두 AR로 패킷이 동시에 전송된다. 따라서 패킷이 동시에 두 AR로 전송되는 시간 Bi-casting\_T는 Bi-casting 절차에 의해 식(8)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\text{Bi-casting\_T} = T_{L2} + \frac{3}{2} RTT_{MR-AR} + \frac{1}{2} RTT_{AR-HA} \quad (8)$$

Bi-casting 방안에서 MR의 HA는 CN으로부터 수신된 패킷을 Bi-casting\_T 동안 두 AR로 전송하기 때문에 인터넷 상에 흐르는 패킷 부하량은 두 배로 증가하게 된다. 따라서 패킷 부하량 Bi-casting\_P(n)는 식(9)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\text{Bi-casting\_P}(n) = 2n \cdot BW_{(Internet)} \cdot \text{Bi-casting\_T} \quad (9)$$

Fig. 18은 CN의 개수가 증가함에 따라 MR의 HA와 AR간의 패킷 부하량을 나타낸 그래프이다. 이때,  $RTT_{AR-HA}$ 는 500

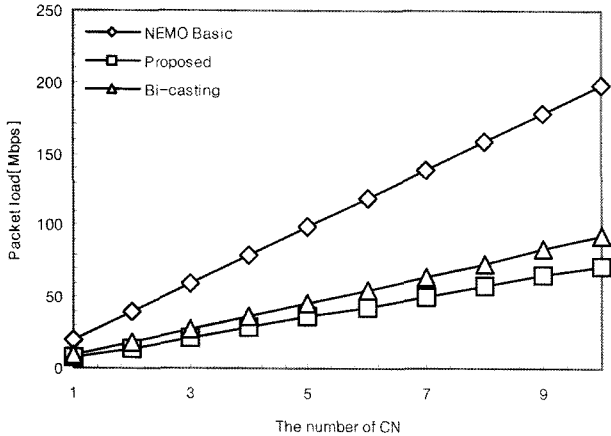


Fig. 18. Comparison of Internet packet load

[ms], 각 CN의 인터넷 대역폭  $BW_{(Internet)}$ 는 10 [Mbps]로 모두 동일하다고 가정하였으며,  $Proposed\_T_{HO} = 800$  [ms],  $NEMO\_T_{HO} = 2$  [s]로 설정하였다.

Fig. 18을 통해서 제안한 방안의  $Proposed\_P$ 가  $Bi-casting\_P$ 보다 최소 2 [Mbps], 최대 20 [Mbps] 낮은 패킷 부하량으로 나타나 제안한 방안의 성능이  $Bi-casting$  방안보다 우수함을 확인할 수 있었다.

## 5. 결론

$Bi-casting$  방안은 NEMO Basic 방안에서 고려되지 않은 핸드오프로 인한 패킷 손실문제를 해결한 방안이다. 하지만, 핸드오프 소요시간 동안 발생하는 인터넷 망에서의 패킷 부하량이 커진다는 문제를 가지고 있다.

따라서 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 이동 예측이 가능한 철도차량의 이동성을 기반으로 AP의 L2 LD, LU Trigger 신호와 AR의 HML를 이용하여 핸드오프 동안 발생하는 패킷 손실량을 최소화할 뿐만 아니라 핸드오프 소요시간동안 인터넷 망에서의 패킷 부하량까지 고려한 방안을 제안하였다.

성능분석 결과 제안한 방안은 핸드오프 소요시간 동안 패

킷 손실량이 발생하지 않는 결과로 나타나 이동하는 철도차량 내에서도 끊임없는 인터넷 서비스 제공이 가능한 것으로 나타났다. 뿐만 아니라 핸드오프 소요시간 동안 인터넷 망에서 발생하는 패킷 부하량에 대해서는  $Bi-casting$  방안보다 최대 20 [Mbps], NEMO Basic 방안보다 최대 140 [Mbps] 감소된 결과로 나타나 제안한 방안이 기존방안보다 효율적인 방안을 확인할 수 있었다.

## 참고문헌

1. Devarapalli, V., Wakikawa, R., Petrescu, A., and P.Thubert, "Network Mobility (NEMO) Basic Support Protocol", RFC 3963, January 2005.
2. Ernst, T. and H. Lach, "Network Mobility Support Terminology", draft-ietf-nemo-terminology-06), November 2006.
3. M. Tsukada, T. Ernst. "Vehicle Communication Experiment Environment With MANET And NEMO", in: 2nd International Workshop on Network Mobility (WONEMO) co-located with the International Symposium on Applications and the Internet (SAINT), Hiroshima, Japan, January 2007.
4. M. Watari, T. Ernst, R. Wakikawa. "Design and Analysis of Resource Management Software for In-Vehicle IPv6 Networks", in: IEICE Transactions on Communications, vol.E87-B, no7, 1874p, July 2004.
5. Baldessari, R., Festag, A., and J. Abeille, "NEMO meets VANET: A Deployability Analysis of Network Mobility in Vehicular Communication", Under sub-mission, February 2007.
6. Alper E. Yegin, "Link-Layer Trigger Protocol", IETF draft-yegin-l2-triggers-00.txt, June 2002.
7. 박희동 외5명, "네트워크 이동성 지원을 위한 이동경로 예측 기반의 끊임없는 핸드오버 방안", 한국통신학회논문지, pp.550-556, 2005.
8. 이일호, 이준호, "철도차량의 이동 특성을 고려한 네트워크 이동성 지원을 위한 효율적인 Care of Address 구성방안", 한국철도학회논문지, Vol.9 No.3, pp.313, 2006.
9. Koodli, R., "Fast Handovers for Mobile IPv6", RFC 4068, July 2005.

(2007년 10월 26일 논문접수, 2007년 11월 20일 심사완료)