

네트워크 이동성 지원을 위한 이동경로 예측 기반의 끊김없는 핸드오버 방안

정희원 박희동*, 권용하**, 이강원**, 최영수**, 조유제**, 조봉관†

A Seamless Handover Scheme Based on Path-Prediction for Network Mobility

Hee-Dong Park*, Yong-Ha Kwon**, Kang-Won Lee**,
Young-Soo Choi**, You-Ze Cho** and Bong-Kwan Cho[†] *Regular Members*

요약

본 논문은 철도와 같은 이동 네트워크 환경에서 핸드오버로 인한 서비스 중단 시간 및 패킷 손실을 최소화하기 위하여 이동경로 예측 기반의 끊김없는 핸드오버 방안을 제안한다. 정해진 경로를 따라 이동하는 철도차량의 고유한 특징을 이용하여, 2계층 핸드오버를 수행하기 전에 미리 3 계층 핸드오버를 수행함으로써 핸드오버로 인한 서비스 단절과 패킷 손실을 최소화 시킬 수 있다. 성능평가 결과 제안된 방안은 기존 NEMO 방안에 비해 핸드오버 수행에 있어 우수한 성능을 나타냄을 알 수 있었다.

Key Words : network mobility, mobile network, prediction-based handover

ABSTRACT

This paper proposes a path prediction-based seamless handover scheme to minimize service disruption and packet loss due to handovers for mobile networks such as trains. This scheme exploits a peculiar characteristics of trains which move on a predetermined path. The mobile router on the train can predict a handover point and then perform network-layer handover before link-layer handover occurs. This leads to the reduction of handover latency and packet loss during handovers. The performance evaluation showed that the proposed scheme could provide excellent performance, compared with the NEMO basic support scheme.

I. 서론

유무선 통신기술의 발전으로 언제 어디서나 인터넷에 접속하여 원하는 서비스를 이용할 수 있는 유니쿼터스(ubiquitous) 컴퓨팅 환경이 현실로 다가오고 있다. 차세대 유무선 통합망에서는 모든 서비스

가 IP 기반으로 제공되며, 사용자들에게 이동성을 지원하기 위한 Mobile IP가 핵심적인 기술로 대두되고 있다^{[1][2]}. IETF에서 표준화된 Mobile IP 기술은 이동 노드에게 IP 주소의 변경 없이 자신에게 전달되는 패킷을 그대로 수신할 수 있도록 해 준다. 최근에는 단말 뿐만 아니라 기차나 비행기, 선박,

* 포항1대학 컴퓨터응용계열(hdpark@pohang.ac.kr)

** 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 통신망연구실({skymiso, kw0314, yschoi, yzcho}@ee.knu.ac.kr)

† 한국철도기술연구원 전기신호연구본부(bkcho@krii.re.kr)

논문번호 : KICS2004-11-283, 접수일자 : 2004년 11월 17일

※ 본 논문은 한국과학재단 특정기초(R01-2003-000-10155-0), 정보통신부의 ITRC 사업, 한국철도기술연구원의 일부 연구비 지원으로 수행되었음.

버스 등과 같이 차량 네트워크(vehicular network) 전체가 이동하는 경우의 네트워크 이동성 지원에 관한 연구가 IETF NEMO Working Group(WG)을 중심으로 활발히 진행되고 있다³⁾.

NEMO basic 방안(NEMO basic support)은 이동 라우터(Mobile Router: MR)와 홈 에이전트(Home Agent: HA) 간의 양방향 터널링을 통해 이동 네트워크 내의 각 호스트들에게 투명한 이동성을 제공한다. 이러한 MR-HA 양방향 터널링은 기본적으로 Mobile IP의 이동노드(MN)와 HA 간의 양방향 터널링과 같은 메커니즘을 사용한다. 따라서, NEMO basic 방안은 Mobile IP와 동일한 핸드오버 문제, 즉 서비스 단절 및 패킷 손실을 겪게 된다. 특히, 고속철도와 같이 이동 네트워크의 이동속도가 매우 빠를 경우 핸드오버로 인한 성능 저하는 더욱 커질 수 있다.

따라서, 본 논문은 이동경로 예측이 가능한 철도 차량의 고유한 특징을 이용하여 네트워크 이동성 지원을 위한 끊김없는 핸드오버 방안을 제안하고자 한다. 제안된 방안에서는 이동경로를 통해 핸드오버 시점을 예측하여 MR은 다음 액세스 라우터 (Access Router: AR) 영역의 현지주소 (Care-of-Address: CoA)를 2계층 핸드오버가 발생하기 전에 자신의 HA에 미리 등록함으로써 전체 핸드오버 지연시간 및 패킷 손실을 최소화 하여 끊김없는 서비스를 지원할 수 있다.

본 논문은 서론에 이어 II장에서는 네트워크 이동성에 관련된 핸드오버 지연요소 및 이를 줄이기 위한 기존 방안들을 살펴보고, III장에서 제안된 이동경로 예측을 이용한 끊김없는 핸드오버 지원 방안을 설명한다. IV장에서 제안된 방안의 성능을 평가한 후, V장에서 결론을 맺는다.

II. 관련 연구

2.1 이동 네트워크의 핸드오버

NEMO basic 방안은 Mobile IPv6를 확장한 것으로 기본적으로 동일한 핸드오버 과정을 수행한다. 핸드오버는 2계층(L2) 핸드오버와 3계층(L3) 핸드오버로 나눌 수 있으며, 일반적으로 L2 핸드오버가 먼저 수행된 후 L3 핸드오버를 수행한다. 각각에 대한 핸드오버 지연 요소는 그림 1에서와 같다. L2 핸드오버는 채널 검색, 인증 과정, 및 연결 과정을 수행하기까지 일반적으로 100~300ms의 시간이 소요되고, L3 핸드오버는 라우터 광고(router adverti-

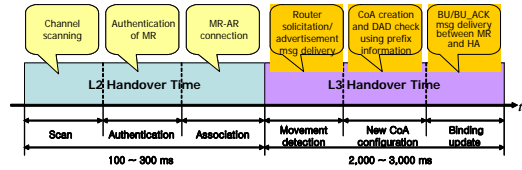


그림 1. 핸드오버 지연 요소
Fig. 1. Components of handover latency.

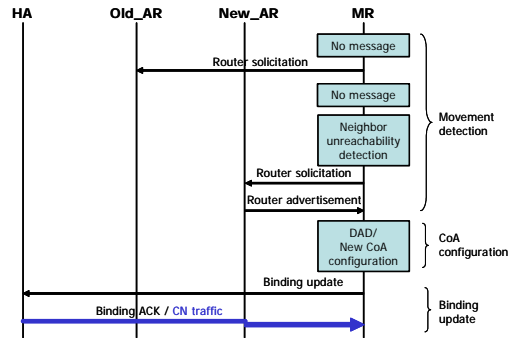


그림 2. IP 계층의 핸드오버 메시지 다이어그램
Fig. 2. IP layer handover message diagram.

ment) 메시지를 수신해서 이동을 인지하고 새로운 CoA 주소를 설정하는 시간과 CoA 주소를 HA에게 등록하기 위해 바인딩 업데이트(Binding Update: BU) 메시지를 전송하는 시간으로 총 2,000~3,000ms의 시간이 소요된다.

그림 2는 이동 네트워크를 위한 IP 계층의 일반적인 핸드오버 메시지 다이어그램을 나타내었다. MR은 AR(Old_AR)이 주기적으로 광고하는 라우터 광고 메시지를 수신해야 한다. 하지만 MR이 Old_AR로부터 아무런 메시지를 수신하지 못할 경우, 라우터 요청(router solicitation) 메시지를 송신하여 Old_AR에게 라우터 광고 메시지의 재전송을 요구하게 된다. 그러나 MR이 여전히 아무런 메시지를 수신하지 못할 경우, 더 이상 Old_AR로 연결할 수 없다는 것을 판단한 후 새로운 AR(New_AR)을 발견하기 위하여 라우터 요청 메시지를 송신한다. 라우터 요청 메시지를 수신한 New_AR은 자신의 라우터 광고 메시지를 전송하며, 이를 수신한 MR은 새로운 CoA를 구성한 후 그것을 BU 메시지를 통하여 자신의 HA에 등록하게 된다.

2.2 기존 방안 고찰

핸드오버로 인한 서비스 단절 및 패킷 손실을 줄이기 위하여 다양한 방안들이 제안되어 왔다. 본 논문에서는 그 중에서도 특히, L2 핸드오버가 발생하기 전에 미리 L3 핸드오버 수행을 시작하는 방안들

에 대해 살펴보고자 한다.

Pre-registration^[4] 및 Proactive FMIPv6^[5] 기법들은 L2 핸드오버가 수행되기 전에 2계층에서 알려주는 L2 trigger 정보에 의해 AR 간의 터널링을 수행함으로써 L3 핸드오버를 시작한다. 그러나, 이 기법들은 AR 간의 중첩 영역이 존재할 경우에만 적용 가능하다는 제한을 가진다.

Neighborcasting^[6] 기법은 MN의 핸드오버 수행 전 현재의 FA가 자신의 테이블에 기록되어 있는 모든 이웃 FA들에게 미리 패킷을 전송함으로써 성능을 향상시키는 방안이다. 따라서, 패킷의 중복 전송이 많아질 수 있다.

S-MIP^[7] 기법은 MN의 움직임을 추적하고 핸드오버를 예측하기 위하여 DE (Decision Engine)를 사용한다. 그러나, 모든 MN에 관한 정보들이 하나의 DE에 집중되고, 이를 위한 시그널링 오버헤드가 커지는 단점이 있다.

Explicit Proactive Handoff^[8] 기법 역시 L2 trigger를 사용하여 미리 L3 핸드오버를 수행한다. 이를 위해 MN은 계속해서 수신 신호의 세기를 측정해야 하며 복잡한 경로 예측 알고리즘을 사용한다.

앞에서도 언급한 바와 같이, 위의 방안들은 L2 trigger를 사용함으로써 일반적인 IP 계층 핸드오버 방안에 비해 우수한 성능을 나타낼 수 있다. 그러나, 이것은 2계층과 독립적으로 L3 핸드오버를 수행하고자 하는 Mobile IP의 원래 취지에 벗어나며, 경우에 따라 불필요한 L3 핸드오버 수행의 원인이 될 수도 있다.

III. 이동경로 예측 기반의 끊임없는 핸드오버 방안

본 절에서는 미리 정해진 경로대로 이동하는 철도 이동 네트워크의 특징을 이용함으로써 핸드오버로 인한 서비스 단절 및 패킷 손실을 최소화 할 수 있는 방안을 제안하고자 한다^[9].

3.1 동작 개요

철도차량에 탑재된 MR은 자신의 데이터베이스에 경로상의 모든 AR의 위치 정보, 셀 반경, 네트워크 프리픽스(network prefix), CoA 등에 대한 정보를 저장하고 있다. 철도차량의 MR은 이동경로와 이동방향을 미리 알고 있기 때문에, 다음 AR로 이동하기 전 다음 CoA를 미리 자신의 HA에 등록함으로써 이동 네트워크의 인터넷 접속점이 매번 바뀔 때마다 발생하는 서비스 중단 시간 및 패킷 손실을

최소화 할 수 있다. 또한 핸드오버가 수행되는 동안 HA는 바이캐스팅을 통해 이전과 다음의 두 AR 방향으로 동시에 패킷을 전송함으로써 보다 끊임없는 서비스가 가능하도록 할 수 있다.

3.2 핸드오버 시기 및 Predictive 바인딩 갱신

그림 3에서와 같이, 제안된 방안의 핸드오버는 AR의 광고 메시지와 상관없이 미리 정해진 핸드오버 수행 지점에 도착했을 때 이루어진다. 핸드오버 수행 지점은 철로변에 미리 설치한 센서를 이용하여 GPS의 위치 정보를 이용하여 판단할 수 있다.

철도차량의 MR이 핸드오버 수행 지점에 도착하면 자신의 데이터베이스에 기록되어 있는 New_AR 영역의 CoA를 미리 HA에 등록하기 위해서 Predictive BU 메시지를 Old_AR을 통해 전송한다. Predictive BU 메시지는 기존의 Mobile IPv6 BU 메시지에 새로운 P 플래그 1비트를 추가한 것으로 그 메시지 형식은 그림 4와 같다^[2]. 이러한 사전 등록을 통해 New_AR로 이동하기 전 핸드오버를 미리 수행함으로써 New_AR영역으로 이동한 후에는 추가적인 핸드오버 수행 절차 없이 지속적인 패킷 수신이 가능하다.

Predictive BU 메시지를 수신한 HA는 핸드오버 과정 동안 Old_AR 및 New_AR 양방향으로 패킷을 전송하는 바이캐스팅을 수행한다.

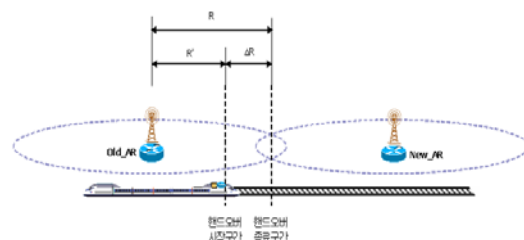


그림 3. 핸드오버 수행 지점
Fig. 3. Handover decision point.

0							15		31	
A	H	L	K	R	P	Reserved	Sequence #			
							Lifetime			
Mobility Options										

A : Acknowledge
H : Home Registration
R : Mobile Router
L : Link-Local Address Compatibility
K : Key Management Mobility Capability
P : Predictive Registration

그림 4. Predictive BU 메시지 형식
Fig. 4. Predictive BU message format.

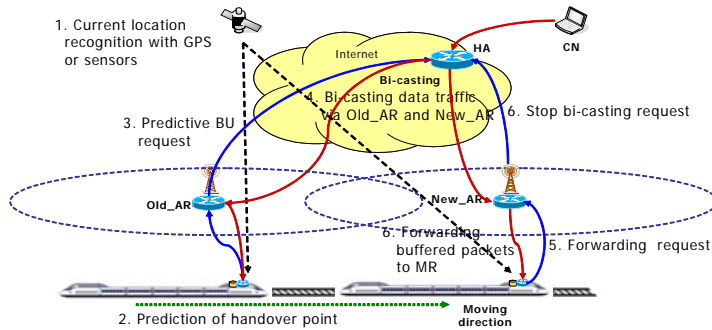


그림 5. 핸드오버 동작 과정
Fig. 5. Handover procedures.

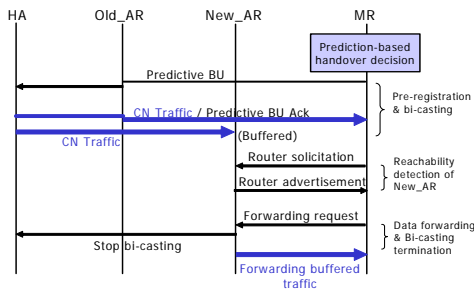


그림 6. 제안 방안의 메시지 다이어그램
Fig. 6. Message diagram of the proposed scheme.

3.3 핸드오버 절차

제안된 방안의 구체적인 핸드오버 동작과정은 그림 5와 같이 6 단계로 설명할 수 있다.

- ① 철도차량의 MR은 Old_AR을 통해 통신을 유지하면서 GPS나 철로변의 센서를 이용해 자신의 현재 위치를 항상 파악한다.
- ② MR은 셀 내의 현재 위치와 이동속도를 고려해 핸드오버 수행 지점의 도착유무를 판단한다.
- ③ MR이 핸드오버 수행 지점에 도착하면 New_AR 영역의 CoA 정보를 포함하고 있는 Predictive BU 메시지를 Old_AR을 통하여 HA에게 전송한다.
- ④ Predictive BU 메시지를 수신한 HA는 CN으로부터 수신한 데이터를 기존의 Old_AR 뿐만 아니라 predictive BU 메시지 내에 포함된 New_AR 영역의 CoA 주소로도 동시에 전송하는 바이캐스팅을 수행한다. Old_AR 방향으로 전송하는 데이터에는 predictive BU에 대한 ACK가 포함된다. 만약 MR이 HA로부터 predictive BU ACK 메시지를 수신하지 못한 채 New_AR의 라우터 광고 메시지를 수신할

경우에는, 사전 등록이 실패한 것으로 간주하고 일반적인 NEMO 핸드오버 과정을 수행한다.

- ⑤ New_AR 영역으로의 이동을 감지한 MR은 New_AR로 Forwarding request 메시지를 전송한다.
- ⑥ MR로부터 Forwarding request 메시지를 수신한 New_AR은 버퍼링하고 있던 패킷을 해당 MR로 전달함과 동시에 HA에게 Stop bi-casting 메시지를 보내 HA가 더 이상 Old_AR 방향으로 패킷을 보내지 않도록 한다.

그림 6에서는 이와 같은 핸드오버 수행 과정 중에 각 요소 간에 교환되는 메시지 다이어그램을 보여주고 있다.

IV. 성능 분석

본 절에서는 NEMO basic과 제안한 이동 경로 예측 방안의 서비스 중단 시간 및 패킷 손실률에 대한 성능 비교 분석을 기술한다. 성능 분석을 위한 파라미터들은 표 1에서와 같다.

표 1. 파라미터 정의
Table 1. Parameter definitions.

파라미터	정의
T_{HO}	핸드오버로 인한 서비스 중단 시간
T_{L2}	L2 핸드오버 소요 시간
T_{L3}	L3 핸드오버 소요 시간
T_{MD}	이동 감지 소요 시간
$T_{CoA-Conf}$	CoA 설정 소요 시간
T_{BU}	BU 소요 시간
τ	라우터 광고 메시지 전송 간격
RTT_{MR-AR}	MR과 AR 사이의 RTT
RTT_{AR-HA}	AR과 HA 사이의 RTT

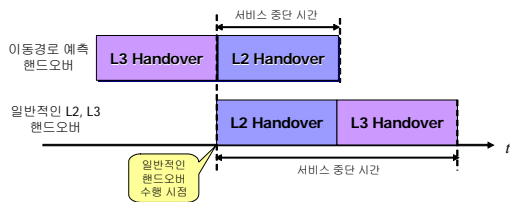


그림 7. 핸드오버 시 서비스 중단 시간
Fig. 7. Service disruption time during a handover.

4.1 서비스 중단 시간

NEMO 방안에서 핸드오버로 인한 서비스 중단 시간은 수식 (1)에서와 같이 이동 검출, CoA 생성, 및 바인딩 갱신을 위한 총 지연 시간으로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned}
 T_{HO} &= T_{MD} + T_{CoA-Conf} + T_{BU} \\
 &= 2\tau + RTT_{MR-AR} + RTT_{MR-AR} + RTT_{AR-HA} \quad (1) \\
 &= 2\tau + 2RTT_{MR-AR} + RTT_{AR-HA}
 \end{aligned}$$

반면에 이동경로 예측 방안은 이동 감지, 새로운 CoA 획득 시간, 등록 과정의 L3 핸드오버를 사전에 수행하기 때문에 실제로 핸드오버로 인한 서비스 중단 시간은 T_{L2} 와 동일한 값을 갖는다.

이동경로 예측 방안과 NEMO 방안의 핸드오버 수행으로 인한 서비스 중단 시간은 그림 7과 같이 나타내었다. 그림 중앙의 세로 눈금은 Old_AR에서 New_AR로 철도차량이 이동할 때, 핸드오버를 수행하는 시점을 나타낸다.

일반적인 핸드오버의 경우 L2 핸드오버와 L3 핸드오버가 순차적으로 수행되는데 반해, 이동경로 예측 방안의 경우 New_AR에서 수행되는 L2 핸드오버가 일어나기 전에 L3 핸드오버를 미리 수행한다. 따라서 Old_AR을 통해서 사전에 수행하는 L3 핸드오버는 실제 서비스의 중단 없이 등록 과정만 수행하게 되며 이때 인터넷 서비스는 Old_AR을 통해 지속적인 지원이 가능하다. 결국 New_AR에서의 핸드오버 시간이 최소화 되어 고속 이동 네트워크 환경에서 끊임없는 서비스를 지원할 수 있다.

이동 네트워크 환경에서 RTT_{AR-HA} 의 변화에 따른 각 방안의 핸드오버로 인한 서비스 중단 시간의 변화를 그림 8과 같이 나타내었다. T_{L2} 는 200msec, 라우터 광고 메시지 주기 τ 는 1초, AR의 셀 반경은 1km, RTT_{MR-AR} 를 10msec로 각각 가정하였다. 그림 8에서 알 수 있듯이 NEMO 방안의 핸드오버로 인한 서비스 중단 시간은 RTT_{AR-HA} 가 증가할수록 증가하며 약 2~2.5초의 값을 갖는 것으로 나타

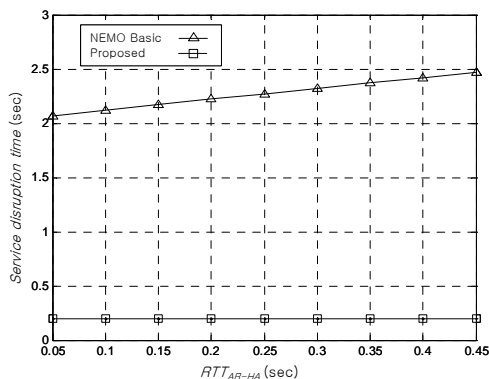


그림 8. RTT_{AR-HA} 에 따른 서비스 중단시간 비교
Fig. 8. Comparison of the service disruption time according to RTT_{AR-HA} .

났다. 이동경로 예측 방안의 경우 L2 핸드오버 지연 시간과 동일한 값을 가짐으로 고속 이동 네트워크 환경에서 끊임없는 인터넷 서비스 지원이 가능함을 알 수 있다.

4.2 패킷 손실률

패킷 손실은 HA의 바인딩이 갱신된 이후 HA에서 MR까지 데이터가 전송되는 동안에는 발생하지 않는다. 따라서 패킷 손실 시간은 $T_{HO} - 0.5RTT_{MR-HA}$ 로 나타낼 수 있으며, 아래 식과 같이 표현할 수 있다.

$$T_{loss} = 2\tau + 1.5RTT_{MR-AR} + 0.5RTT_{AR-HA} \quad (2)$$

핸드오버 시 패킷 손실량(L)은 다음 식과 같이 패킷 손실 시간과 인터넷 대역폭의 곱으로 표현할 수 있다.

$$L \geq T_{HO} \times BW \quad (3)$$

반면에 이동경로 예측 방안은 핸드오버 수행 시 T_{L2} 만큼의 서비스 중단 시간이 존재하지만 HA의 바이캐스팅 및 AR에서의 버퍼링을 통해 손실이 발생하지 않게 된다.

핸드오버로 인한 패킷의 손실률(ρ_{loss})은 핸드오버 시 손실되는 패킷량과 하나의 셀에서 전송되는 전체 패킷의 비로써 표현할 수 있으며 이것은 다시 아래 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$\rho_{loss} = \frac{T_{HO}}{T_{cell}} \times 100 (\%) \quad (4)$$

여기에서 T_{cell} 은 이동 네트워크가 하나의 셀을 통과하는 데 소요되는 시간을 의미한다.

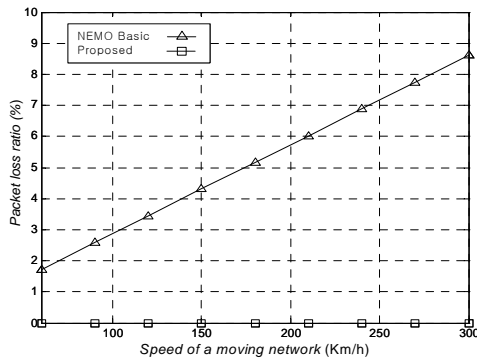


그림 9. 철도차량의 이동속도에 따른 패킷 손실률 비교
Fig. 9. Comparison of the packet loss ratio according to moving speed.

그림 9는 이동 네트워크의 이동속도에 따른 패킷 손실률을 나타낸 것이다. 그림 9에서 사용한 매개변수들은 그림 8에서 사용된 매개변수들과 모두 같은 값을 갖지만, RTT_{AR-HA} 는 100msec의 고정 값을 갖는 것으로 가정하였다. 그림 9에서 알 수 있는 바와 같이 NEMO basic 경우 이동속도에 따른 패킷 손실률은 지속적으로 증가하지만, 이동경로 예측 방안의 경우 AR에서 버퍼링이 적용될 때 패킷 손실이 발생하지 않는 결과를 보여주고 있다.

V. 결론

본 논문은 정해진 경로를 따라 이동하는 철도차량 이동 네트워크의 고유한 특징을 이용하여 L2 핸드오버가 수행되기 전에 미리 L3 핸드오버를 수행함으로써 핸드오버로 인한 서비스 단절과 패킷 손실을 최소화 할 수 있는 방안을 제안하였다. 기존의 빠른 핸드오버 기법들에 비해 제안된 방안은 다음과 같은 장점을 갖는다. 첫째, 제안 방안은 L2 trigger를 사용하지 않으므로 2계층과의 독립성을 유지할 수 있다. 둘째, 이웃 AR 간의 중첩 영역이 존재하지 않더라도 사용 가능하다. 셋째, 움직임 예측을 위한 복잡한 알고리즘을 사용할 필요가 없다는 장점을 가진다. 그러나, 이를 위해 MR은 이동성 관리를 위한 데이터베이스를 유지해야 하며, 부가적인 시그널링 메시지들을 필요로 한다.

성능 분석 결과, NEMO basic 방안에 비해 우수한 성능을 나타냄을 확인할 수 있었다.

참고 문헌

[1] C. Perkins, "IP Mobility Support for IPv4,"

RFC 3344, Aug. 2002.

[2] D. Johnson, "Mobility Support in IPv6," *IETF Internet draft*, June 2003.
 [3] V. Devarapalli, "NEMO Basic Support Protocol," *IETF Internet draft*, Sep. 2003.
 [4] K. Malki et al., "Low Latency Handoffs in Mobile IPv4," *IETF Internet draft*, June 2004.
 [5] R. Koodli, "Fast Handovers for Mobile IPv6," *IETF Internet Draft*, Oct. 2004.
 [6] E. Shim et al., "Low Latency Handoff for Wireless IP QoS with Neighborcasting," *Proc. of ICC 2002*, Apr. 2002.
 [7] R. Hsieh et al., "S-MIP: A Seamless Handoff Architecture for Mobile IP," *Proc. of INFOCOM 2003*, Mar. 2003.
 [8] F. Feng and D. Reeves, "Explicit Proactive Handoff with Motion Prediction for Mobile IP," *Proc. of WCNC 2004*, Mar. 2004.
 [9] Eun Kyoung Paik and Yang Hee Choi, "Prediction-Based Fast Handoff for Mobile WLANs," *Proc. of ICT 2003*, Feb. 2003.

박 희 동 (Hee-Dong Park)

정회원



1993년 2월 경북대학교 전자공학과 졸업
 1998년 2월 경북대학교 전자공학과(석사)
 2001년 3월 경북대학교 전자공학과 박사수료
 1998년 3월~현재 포항1대학 컴퓨터응용학계열 조교수

<관심분야> 네트워크 이동성, 차세대 네트워크

권 용 하 (Yong-Ha Kwon)

정회원



2003년 2월 대구대학교 통신공학과 졸업
 2003년 9월~현재 경북대학교 전자공학과 석사과정
 <관심분야> IP 이동성, 네트워크 이동성

이 강 원 (Kang-Won Lee)

정회원



2002년 2월 경북대학교 전자공학과 졸업
2004년 2월 경북대학교 전자공학과(석사)
2004년 3월~현재 경북대학교 전자공학과 박사과정
<관심분야> 네트워크 이동성, 트래픽 제어, BcN, Wibro

최 영 수 (Young-Soo Choi)

정회원



1998년 2월 경북대학교 전자공학과 졸업
2000년 2월 경북대학교 전자공학과(석사)
2000년 3월~현재 경북대학교 전자공학과 박사과정
<관심분야> 트래픽 제어, 차세대 인터넷 프로토콜 및 이동 통신망, 광 인터넷

조 유 제 (You-Ze Cho)

정회원



1982년 2월 서울대학교 전자공학과 졸업
1983년 2월 한국과학기술원 전기전자공학(석사)
1988년 2월 한국과학기술원 전기전자공학(박사)
1989년 3월~현재 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 교수
2002년 2월~2003년 1월 미국 국립표준연구소(NIST), 객원연구원
1992년 8월~1994년 1월 Univ. of Toronto, 객원교수
<관심분야> 차세대 이동 네트워크, BcN, 센서 네트워크

조 봉 관 (Bong-Kwan Cho)

정회원



1992년 2월 대구대학교 전자공학과 졸업
1995년 3월 일본 게이오대학교 계측공학과(석사)
1996년 12월~현재 한국철도기술연구원 전기신호연구본부 선임연구원
<관심분야> Mobile IP, 철도차량 이동 네트워크