

# NEMO에서의 이동 시나리오 분류 및 빠른 핸드오버 성능 분석

준회원 최 승 준\*, 수 동\*, 정회원 유 상 조\*\*,

## Handover Mobility Scenario Classification and Fast Handover Performance Analysis in NEMO Network

SeungJoon Choi\*, Dong Su\* Associate Members, Sang-Jo Yoo\*\* Regular Member

### 요 약

본 논문에서는 NEMO 환경에서 핸드오버를 통해 발생할 수 있는 이동 시나리오의 정의와 핸드오버 실패시의 지연 및 패킷 손실과 전송비용의 분석을 목적으로 한다. 이를 위해 네트워크 노드의 이동성을 지원하며 핸드오버 절차의 성능향상을 위한 메커니즘 중 하나인 빠른 핸드오버 (FMIPv6)와 계층적 이동 IPv6 구조 (HMIPv6)가 NEMO와 결합했을 때 발생할 수 있는 네트워크 개체의 다양한 이동 시나리오를 분류하고, 각 시나리오에서의 핸드오버 실패의 경우를, 빠른 핸드오버 절차에 기반한 시점을 기준으로 정의하였으며 이동 네트워크 개체의 핸드오버가 실패했을 경우 절차를 완료하는데 필요한 지연 및 그 시간 동안의 패킷 손실과 전송비용 측면에서 분석했다.

**Key Words** : Network Mobility, Fast Handover, Hierarchical MIPv6, NEMO, HMIPv6

### ABSTRACT

In NEMO scenarios, mobile node's variety of movements and mobile router's point of attachment changes can result in handover. This handover process needs additional time to finish due to the multiple levels of indirection involved in NEMO. And the performance issues of mobile node's handover such as handover delay and packet loss in above cases haven't been studied thoroughly. So, in this paper, we define fast handover failure cases in hierarchical mobile IPv6 network based NEMO. We briefly described NEMO architecture and handover procedures of FMIPv6 and HMIPv6. And then, we classified mobile node or mobile router's movement pattern into several scenarios. Analysis for the fast handover classified NEMO scenarios, in terms of handover latency and packet delivery cost have been performed.

### I. 서 론

최근 네트워크를 구성하는 노드의 이동성 지원에 대한 필요성이 증가하고 있으며 노드의 이동성을 지원하는 Mobile IPv4 (MIP) [1]와 Mobile IPv6 (MIPv6) [2]와 같은 프로토콜들이 제안되고 표준화

되었다. 이러한 노드의 이동성에 대한 연구는 점차적으로 발전하여 노드의 이동성뿐만 아니라 네트워크 자체의 이동성에 대한 연구로 발전하고 있으나 MIP나 MIPv6와 같은 노드의 이동성을 지원하는 프로토콜들은 네트워크 이동에 대한 지원은 하지 않기 때문에 네트워크 이동성을 지원하는 프로토콜

※ 본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음(IITA-2006-C1090-0603-0019).

\* 인하대학교 정보통신대학원 멀티미디어 통신망연구실 (popopo77@hanafos.com)

\*\* 인하대학교 정보통신대학원 교수 (sjyoo@inha.ac.kr)

논문번호 : KICS2006-05-208, 접수일자 : 2006년 5월 11일, 최종논문접수일자 : 2006년 11월 7일

의 연구가 필요하게 되었다.

IETF (Internet Engineering Task Force)의 NEMO (Network Mobility) 워킹그룹에서는 네트워크의 이동성을 지원하는 NEMO basic support protocol [3]을 제안했으며 해당 프로토콜은 네트워크의 이동뿐만 아니라 네트워크 내의 노드에 대한 IP 연결을 지원한다. 실제적으로 네트워크의 이동성 지원은 비단 이동 네트워크뿐만 아니라 이동 노드(MN: Mobile Node)에 대해서도 영향을 주게 된다. 일단 MN이 현재 속해 있는 네트워크가 아닌 또 다른 도메인으로 이동하게 되면, MN은 자신의 홈 에이전트(HA: Home Agent)에게 새로운 위치에 대한 등록절차를 수행한다. 이러한 일련의 절차를 핸드오버라고 할 수 있으며 이 과정에서 많은 시간과 심각한 정도의 패킷 전송 지연 및 손실을 초래할 수 있다. 이러한 문제들을 해결하기 위해 몇 가지 메커니즘이 제안되고 표준화 되었는데, 그 중 계층적 MIPv6 (HMIPv6: Hierarchical MIPv6) [4]에서는 MAP (Mobility Anchor Point)이라는 새로운 개념의 이동 네트워크 개체를 이용하여 핸드오버 수행 시 MN과 HA 사이의 메시지 양을 줄임으로써 새로운 위치로 이동한 MN의 등록절차에 필요한 시간을 줄일 수 있도록 하고 있다. 또한 빠른 핸드오버 메커니즘(FMIPv6: Fast Handover MIPv6)<sup>[5]</sup>은 MN이 외부 도메인으로 이동하기 위해 필요한 핸드오버 지연 및 과정에서의 패킷 손실을 최소화 하고자 한다.

이와 같은 프로토콜들에 의해서 핸드오버 절차에서의 성능향상을 가져올 수 있으나, 위에서 소개한 메커니즘들이 MEMO와 결합했을 때 발생할 수 있는 다양한 핸드오버 시나리오와 그 절차가 실패했을 때의 핸드오버 지연 및 비용에 관한 연구는 많이 이루어지지 않았다. 따라서 본 논문에서는 빠른 핸드오버 메커니즘과 계층구조의 NEMO가 결합했을 때 발생할 수 있는 다양한 핸드오버 시나리오와 이러한 시나리오에서의 핸드오버 실패의 경우들에 대한 정의를 내리고, NEMO 구조에서 빠른 핸드오버 절차가 실패했을 때의 지연 및 패킷 전송비용에 대해서 분석했다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2장에서는 다양한 NEMO의 구조 및 FMIPv6와 HMIPv6의 결합된 형태에 대해서 논의하고, 제 3장에서는 NEMO 기반의 계층적 이동 네트워크에서 빠른 핸드오버에 의해 발생할 수 있는 이동 시나리오를 정의한다. 제 4장에서는 NEMO 기반 이동 네트워크에서 발생할

수 있는 빠른 핸드오버 실패의 경우들을 정의하고 이동 시나리오 별로 빠른 핸드오버 실패의 경우를 핸드오버 지연 및 패킷 전송 비용 측면에서 분석하며, 제 5장에서는 시나리오 별 분석 내용에 대한 실제적인 수치 해석을 한다. 마지막으로 제 6장에서는 본 논문의 결론을 맺는다.

## II. 관련 연구

이 장에서는 NEMO의 구조와 관련된 연구 및 핸드오버 지연을 줄이기 위한 FMIPv6와 HMIPv6의 결합된 형태인 F+HMIPv6에 대해서 논의한다.

### 2.1 이동성을 가진 네트워크의 구조

네트워크의 이동성을 지원하는 NEMO는 여러 가지 형태의 구조가 가능하다. 그림 1은 [6]에서 제안된 NEMO 구조로서 모델 1은 PAN (Personal Area Network) 과 같이 사람에게 의해서 이동되는 하나의 이동 네트워크가 접속지점 (AP: Access Point)을 변경하는 경우이다. 모델 2는 버스나 택시와 같은 대중 교통 수단에 이동 라우터 (MR: Mobile Router)가 이 있어 MN이 연결되는 경우이며, 모델 3은 이동성을 가진 네트워크들이 연결되어 하나의 계층적 이동 네트워크를 구성하는 경우를 보여준다.

위와 같은 경우에서 라우터는 이동 라우터 (MR: Mobile Router)와 고정 라우터 (SR: Stationary Router)로 분류할 수 있으며, 노드의 경우에는 이동 노드 (MN: Mobile Node)와 고정 노드 (SN: Stationary Node)로 분류할 수 있다. SR과 SN은 이동 네트워크 내에서 고정된 개체로서 AP와 IP 주소를 변경할 수 없으나, MN과 MR은 이동 네트워크에 일시적으로 연결되어 있는 경우이기 때문에 방문이동노드(visiting mobile node)라고도 한다.

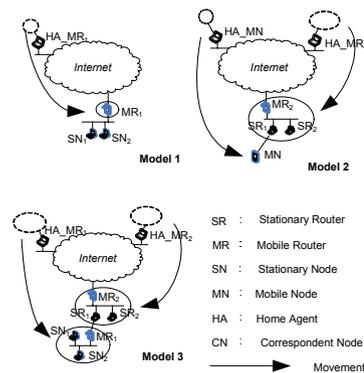


그림 1. 이동 네트워크의 구조

그림 1에서 MR1과 MR2는 이동 네트워크와 외부 네트워크를 연결하는 게이트웨이의 역할을 한다.

### 2.2 F+HMIPv6

FMIPv6와 HMIPv6는 핸드오버 지연과 패킷 전송지연 및 손실을 줄이고자 제안된 프로토콜들이다. FMIPv6의 경우 핸드오버 절차에 있어서 지연 및 패킷 손실에 그 초점이 맞춰져 있으며, HMIPv6는 MAP이 도메인 내에서 지역 HA의 역할을 함으로써, 핸드오버 절차에서 MN과 HA간 메시지 양을 줄이는데 그 초점을 맞춘다.

[7]에서는 두 가지 프로토콜의 결합된 형태인 F+HMIPv6에 대해서 논의하고 있으며, MAP이 자신의 도메인에 속하는 Access Router (AR)와 관련된 IP 주소, IPv6 Prefix, 링크 주소 등에 대한 정보를 모두 알고 있다고 가정한다. 또한 이 구조에서는 다음과 같은 MN의 위치를 나타내는 3가지 형태의 의탁 주소 (CoA: Care of Address)가 있다. RCoA (Regional Care-of Address)는 MN이 속한 MAP의 도메인을 의미하고 LCoA (on-Link Care-of Address)는 현재 이동 네트워크에서의 위치를 나타내는 PLCoA (Previous on-Link Care-of Address)와 새로운 이동 네트워크로 이동했을 때 사용하게 될 NLCoA (New on-Link Care-of Address)로 분류할 수 있다. 그림 2는 F+HMIPv6의 빠른 핸드오버 절차 [7]를 보여주며, 이 과정에서 FMIPv6에서의 메시지가 그대로 사용된다.

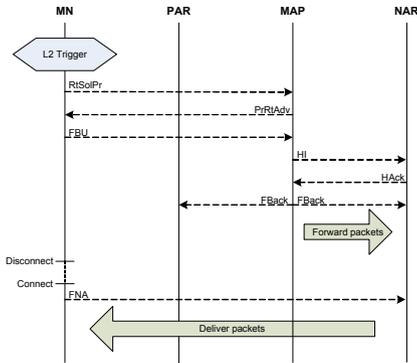


그림 2. F+HMIPv6에서의 빠른 핸드오버 절차

### III. NEMO에서의 이동 시나리오 정의

MIPv6에서 MN의 IP 계층 핸드오버는 하나의 AR에서 또 다른 AR로 AP가 변경되었을 때 발생

하게 된다. 그러나 NEMO에서는 MN의 핸드오버 이외에도 MR의 핸드오버에 의해 MR의 이동 네트워크에 속해 있는 노드들에게도 영향을 미치는 다양한 핸드오버 시나리오들이 발생한다. 본 장에서는 NEMO 기반의 계층적 이동 IPv6 망에서 빠른 핸드오버 메커니즘을 이용하여 발생하는 다양한 NEMO 시나리오들에 대해서 정의한다.

그림 3은 이동 네트워크에서의 핸드오버에 의한 MN과 MR의 이동 시나리오를 보여주고 있다. 각 시나리오에서 이동개체는 새로운 위치로 이동 후, 자신의 새로운 주소를 MAP에게 알림으로써 MAP이 관리하는 바인딩 캐시를 업데이트한다. 시나리오 1에서는 MN이 이동 네트워크에 들어가는 경우로서, MN은 MNP (Mobile Network Prefix)로부터 새로운 LCoA를 설정한다. 시나리오 2는 MN이 이동 네트워크에서 이탈하는 경우로서 AR에 의해 방송되는 MNP 정보에 의해 또 다른 LCoA를 생성하고 시나리오 3에서는 현재 MN이 속해 있는 이동 네트워크에서 또 다른 이동 네트워크로 옮겨가는 경우이다. 시나리오 4부터는 MR의 핸드오버와 관련된 경우로서 MR의 이동은 마이크로 이동과 매크로 이동으로 구분할 수 있다. 시나리오 4는 MR이 현재 MAP 도메인 내에서 AR을 변경하는 경우로서 마이크로 이동이라고 할 수 있으며, 시나리오 5와 6은 현재 속해 있는 MAP 도메인에서 또 다른 MAP 도메인으로 이동하는 매크로 이동이라고 할 수 있다.

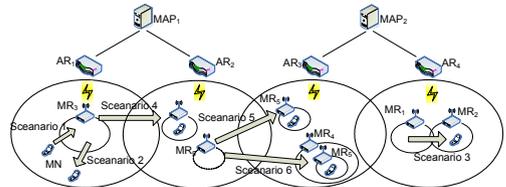


그림 3. 이동 네트워크에서의 이동 시나리오

(1) 시나리오 1 (MN이 이동 네트워크에 들어가는 경우)

이동 네트워크에 들어가기 전 MN은 2개의 의탁 주소를 가지고 있다. 또한 MAP<sub>1</sub>에서는 MN의 주소 정보를 가진 바인딩 캐시를 관리한다.

핸드오버 절차는 MN이 AR<sub>1</sub>에 속해 있는 AP에 대한 정보를 얻기 위해 RtSolPr (Router Solicitation Proxy) 메시지를 AR<sub>1</sub>에게 전송하면서부터 시작된다. AR<sub>1</sub>은 자신에게 속해 있는 AP 정보를 관리하는 테이블에서 AP의 MAC 주소를 찾아 자신의 이동 네

트위크에 속해 있는 AP임을 확인하고 MN에 대해서 MNP 등의 정보를 포함한 PrRtAdv(Proxy Router Advertisement) 메시지를 전송하며, 이 메시지에 의해 MN은 NLCoA를 설정하고 MAP<sub>1</sub>에 대해서 FBU(Fast Binding Update) 메시지를 전송한다.

FBU 메시지를 전달하는 목적은 MAP<sub>1</sub>에 대해서 AR<sub>1</sub>과 연관된 PLCoA와 이동하는 이동 네트워크에 대해서 MN이 설정한 NLCoA의 바인딩 및 MN의 새로운 위치로 패킷을 전달하기 위한 터널을 구성하는 것이다. 그러나 NLCoA가 이미 다른 MN에 의해서 사용되지 않는다는 보장이 있어야 하기 때문에 MAP<sub>1</sub>은 HI (Handover Initiate)와 HAck (Handover Acknowledgement) 메시지를 주고 받을 때 NLCoA가 유효한 주소인지를 결정해야 한다. 즉, MN이 이동하는 이동 네트워크의 MR (NAR)은 HI 메시지에 포함되어 있는 NLCoA가 기존에 사용되고 있는 주소인지를 확인한다. HAck 메시지를 전달 받은 MAP<sub>1</sub>은 MN에 대한 바인딩 캐시를 업데이트 하며, 동시에 MN에 대해서 현재 연결되어 있는 PAR (Previous Access Router)과 핸드오버에 의해 새로 연결되는 NAR (New Access Router) 사이의 핸드오버 절차가 종료되었음을 알리는 FBACk 메시지를 전달한다. MN은 MR에게 접속하는 즉시 자신이 접속했다는 것을 알리기 위해 FNA (Fast Neighbor Advertisement) 메시지를 전송하고 FNA 메시지를 전송 받은 MR은 터널을 통해 전달받아 저장하고 있던 패킷들을 MN에게 전송한다.

(2) 시나리오 2 (MN이 이동 네트워크에서 이탈하는 경우)

시나리오 2에서는 MR<sub>3</sub>가 PAR이고 AR<sub>1</sub>이 NAR이라는 것 이외에 시나리오 1과 동일한 핸드오버 절차를 갖는다. MR<sub>3</sub>는 AR<sub>1</sub>에 연결되어 있기 때문에 LCoA, AP의 링크 계층 주소, MNP 등의 AR<sub>1</sub>과 연관된 정보를 알 수 있으며 이러한 정보를 포함한 PrRtAdv 메시지를 MN에게 전달하고, MN이 설정한 NLCoA에 대한 유효성 검사 후, FBU 메시지에 의해 MAP<sub>1</sub>에서 MN에 대한 바인딩 정보를 업데이트 한다.

(3) 시나리오 3 (MN이 이동 네트워크를 변경하는 경우)

핸드오버를 위해 MN이 MR<sub>1</sub>에게 전송한 RtSolPr 메시지에 대해서 MR<sub>1</sub>은 또 다른 이동 네트워크에 속해 있는 AP 정보를 알지 못하기 때문에 해당 메시지를 AR<sub>4</sub>에게 전달한다. MR<sub>1</sub>은 AR<sub>4</sub>에게 연결되

어 있기 때문에 RtSolPr 메시지를 전달할 수 있다. AR<sub>4</sub>는 자신의 도메인에 속하는 네트워크 정보를 모두 알고 있기 때문에 MN이 원하는, AP에 대한 정보를 포함한 PrRtAdv 메시지를 MN에게 전달하고 MN은 NLCoA를 생성한 후, MAP<sub>2</sub>에 대해서 FBU 메시지를 전송한다.

(4) 시나리오 4 (동일한 MAP 도메인 내에서 AR을 변경하는 경우)

마이크로 이동의 경우로서 NEMO 구조에서 MR<sub>3</sub>는 MN과 동일하게 동작하게 된다. 이동 네트워크가 여전히 동일한 MAP 도메인 내에서 움직이고 있기 때문에 MR<sub>3</sub>는 NLCoA 만을 설정한다. 즉, MAP 도메인과 연관이 있는 RCoA에 대해서는 변경할 필요가 없다. 마이크로 핸드오버에 대한 절차는 시나리오 1과 유사하다.

(5) 시나리오 5 (또 다른MAP 도메인으로 AR을 변경하는 경우)

이동 네트워크가 MAP<sub>1</sub>에서 MAP<sub>2</sub>의 도메인으로 이동하기 때문에 MR<sub>5</sub>는 새로운 MAP 도메인 및 AR과 연관된 RCoA와 LCoA를 생성하며 MAP<sub>2</sub>에 대해서 FBU 메시지를 통해 등록절차를 수행한다. 새로운 MAP 도메인의 네트워크 정보는 AR의 Router Advertisement (RA) 메시지를 통해 네트워크 내로 방송되며, MN은 RA 메시지를 통해 자신의 RCoA를 생성한다. MR과 MN이 모두 RCoA를 변경했기 때문에 연관되어 있는 HA와 상대노드 (correspondent node)에게 변경된 주소 (RCoA)를 업데이트를 해야 한다.

(6) 시나리오 6 (또 다른MAP 도메인 내의 이동 네트워크와 연결되는 경우)

시나리오 5의 핸드오버 절차와 거의 유사하지만, MR이 새로운 MAP 도메인 내의 또 다른 이동 네트워크와 연결된다. MR<sub>5</sub>는 RtSolPr 메시지를 MAP<sub>2</sub>에게 전달하고, MAP<sub>2</sub>는 MR<sub>5</sub>가 연결될 이동 네트워크와 핸드오버 절차를 위한 메시지를 교환한다. MR<sub>5</sub>는 새로운 도메인의 정보를 얻어 RCoA와 LCoA를 설정하고, HA와 상대노드에게 바인딩 업데이트를 한다.

IV. NEMO에서의 핸드오버 실패 및 비응답성의 정의와 분석

본 장에서는 NEMO 기반의 이동 네트워크에서 발생할 수 있는 핸드오버 절차의 실패의 경우들에

대해서 정의하고 제 3 장에서 정의한 NEMO 시나리오에 적용하여, 각 시나리오에 대한 패킷 전송 비용 및 핸드오버 지연 측면에서 분석한다.

#### 4.1 빠른 핸드오버 실패의 정의

빠른 핸드오버 절차는 이동 개체가 RtSolPr 메시지를 전송함으로써 시작되고, FBACk 메시지를 수신함으로써 종료하게 된다. 그러나 절차가 성공적으로 종료되기 전에 급격한 수신 감도 저하로 PAR과의 연결이 끊어질 수도 있다. 본 논문에서는 다음과 같이 NEMO 구조에서의 핸드오버 실패의 경우에 대해서 정의한다.

(1) 경우 1 (RtSolPr을 전송하지 못하거나,

PrRtAdv 전송 받지 못한 경우)

RtSolPr 메시지를 전송하지 못했거나, 전송했다더라도 그에 대한 PrRtAdv 메시지를 전송 받지 못했기 때문에 이동 개체는 새로운 네트워크에 대해서 어떠한 정보도 가지고 있지 않다. 따라서 핸드오버의 실패를 예상할 수 있는 경우이며, 결과적으로 기본적인 MIPv6 핸드오버 절차를 수행해야 한다. 이동 개체가 PrRtAdv 메시지를 전달 받는 시간을 ‘시작시점’ (operate point)이라고 정의한다.

(2) 경우 2 (FBU 메시지를 전달하지 못한 경우)

이동 개체는 핸드오버가 발생할 것을 예상할 수 있으나 MAP에게 FBU 메시지를 전송하지 못하고 PAR과의 연결이 끊어진 경우이다. 이것은 MAP에게, 이동 개체를 목적지로 하는 패킷들을 PAR이 아닌 NAR에게 전달하도록 요구할 수 있는 시간이 없었다는 것을 의미하기 때문에 PAR로 전달되는 패킷들은 모두 손실된다. 그러나 RtSolPr 메시지를 통해 새로운 주소에 대한 설정 등을 이미 끝마쳤기 때문에 움직임 감지에 필요한 시간이 줄어들게 된다. MAP이 FBU 메시지를 전달 받는 시간을 ‘반성공시점’ (semi-successful-point)이라고 정의한다. 그러나 NEMO 시나리오 2와 3에서는 이동개체가 이동 네트워크 안에 있을 경우 이동개체가 전송하는 모든 패킷은 MR을 거쳐야 하기 때문에, 결과적으로 반 성공시점은 MR이 FBU 메시지를 전송 받는 시간이 된다.

(3) 경우 3 (FBACk 메시지를 전달 받지 못한 경우)

이동 개체가 FBU 메시지를 전달했으나, 실제 이동 전에 그에 대한 응답을 받지 못한 경우이다. MAP에게 정상적으로 FBU 메시지가 전달되었다면,

이동 개체가 NAR에게 FNA 메시지의 전달로 새로운 이동 네트워크에 접속했다는 것을 알리기 전까지 MAP에서 NAR로 패킷들이 전달될 수 있으나 핸드오버 절차가 성공적으로 종료되기 전에 이동 개체와 PAR의 연결이 끊어졌기 때문에 그 시간 동안 MAP에서 PAR로 전달되던 경로상의 패킷들이 손실될 수 있다. 이동 개체가 MAP으로부터 FBACk 메시지를 받는 시간을 ‘성공시점’ (fully-successful point)이라고 정의하며 이동 개체가 PAR과의 연결이 끊어진 시점을 ‘단절시점’ (break-down point)라고 정의한다.

#### 4.2 단절확률(Pd)과 패킷 전송비용 함수의 정의

본 논문에서는 Layer 2 (L2) 트리거 시간 ( $t_{L2}$ )을 L2 트리거 이벤트가 발생하고 나서 실제 L2 핸드오버가 시작되는 시간까지로 정의하며 이동 개체와 PAR 사이의 거리 ( $d$ )가 증가할수록  $t_{L2}$ 가 증가한다고 가정한다. 따라서  $t_{L2}$ 가 작은 값을 갖는다면 L2 트리거 이벤트 발생 직후 짧은 시간 내에 L2 핸드오버가 발생했다는 의미이며, 이동 개체와 PAR 사이의 연결이 끊어질 확률, 즉 단절확률 ( $P_d$ )이 작다는 것을 의미한다. 실제적으로 네트워크 상에서 이동 개체와 PAR의 단절확률에 대한 분석을 할 수 있을 것이며, AR과 이동개체의 전송영역 및 이동속도 등이 단절확률에 영향을 미칠 수 있으나, 무선환경에서의 다양한 환경조건을 수식으로 정의한다는 것은 불가능하기 때문에 기본적으로는 시간만이 단절확률에 영향을 준다고 가정했다. 또한 본 논문에서는  $d$ 와  $t_{L2}$ 에 관해서 유사한 가정을 하고 있는 [8]에서 정의한 단절확률에 대한 수식 (1)을 사용하며  $v$ 를 통해 무선환경에서의 다양한 감소 파라미터를 나타낸다.

$$P_d = 1 - e^{-vt_{L2}} \quad (1)$$

(1)에 의하면  $P_d$ 는  $t_{L2}$ 에 의해서 결정된다. 가장 이상적인 경우는  $t_{L2}$ 가 0이 되는 것으로,  $P_d$ 는 0이 된다. 이와 반대로 최악의 경우는  $t_{L2}$ 가  $\infty$ 에 근접하는 것이며  $P_d$ 는 1이 된다.

또한 핸드오버 절차가 실패했을 경우 지연이 발생하게 되고, 이미 이동 개체와 PAR 사이의 연결이 비정상적으로 끊어진 상태에서 발생하는 지연에 의해 이동 개체를 목적지로 하는, PAR로 전달되는 패킷들은 버려지게 되기 때문에 발생하는 비용은 핸드오버 지연과 패킷 전송비용으로 나눌 수 있으며, 특히 패킷 전송비용은 NAR에서의 패킷저장비

용과 PAR과 경로상에서의 패킷손실비용으로 나눌 수 있다. 따라서 패킷전송비용 ( $C_{packet}$ )은 (2)와 같이 패킷저장비용 ( $C_{buffer}$ )과 패킷손실비용 ( $C_{loss}$ )의 합으로 정의되며  $\tau$ 는 가중치이다.

$$C_{packet} = \tau C_{buffer} + (1 - \tau) C_{loss} \quad (2)$$

(3)에서는 각기 다른 시점의 빠른 핸드오버 실패시의 단절확률과 패킷 전송비용에 의한 총 패킷 전송비용을 정의하고 있다.  $C_{success}$ 는 핸드오버 절차가 성공적으로 종료한 경우의 패킷 전송비용으로서 핸드오버 절차의 수행 중 이동 개체와 PAR간의 연결이 비정상적으로 끊어지지 않기 때문에 손실 비용은 고려되지 않고 NAR에게 전달되는 packet의 buffering 비용만을 고려하며  $t$ 는 단절시점이다.

$$C_{total} = P_d(t) \times C_{packet}(t) + (1 - P_d(t)) \times C_{success} \quad (3)$$

빠른 핸드오버의 실패는 단절시점이 성공시점보다 이전일 경우이며, 패킷의 저장비용과 손실비용은 패킷의 도착률 ( $\lambda_p$ )에 비례한다. 또한 핸드오버 지연은 단절시점이 어디인가에 따라 달라진다. 그림 4는 빠른 핸드오버 실패시의 시간 배치도를 보여준다.

본 논문에서는 핸드오버 지연 ( $t_{DELAY}$ )을 이동 개체가 PAR에게 RtSolPr 메시지를 전송한 시점부터 이동 개체가 NAR에게 패킷을 전송 받는 시점까지로 정의한다. 또한 이동 개체가 RtSolPr을 전송한 시점부터 PrRtAdv 메시지를 전송 받는 시점까지를 요구과정 ( $t_{SP}$ )이라 하며 이동 개체가 FBU 메시지를 전송한 시점부터 FBACk 메시지를 전송 받는 시점까지를 확립과정 ( $t_{EP}$ )이라 한다.

그림 4에 의해서 핸드오버 지연은 (4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$t_{DELAY} = X + \Theta + t_p \quad (4)$$

$\Theta$ 는 PAR과의 단절시점부터 연결이 끊어졌다는 것을 이동 개체가 인식하는 시점까지의 시간이다. NAR로부터 첫 번째 패킷을 받을 때까지의 지연시

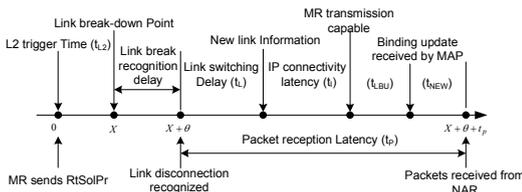


그림 4. 빠른 핸드오버 절차 실패시의 시간 배치도

간 ( $t_p$ )은 실패의 경우에 따라서 달라지게 된다.

(5.1)은 첫 번째 실패의 경우인, 단절시점이 시작 시점보다 이전인 경우의 지연시간이며  $t_p$ 는 기본 MIPv6 핸드오버 절차를 수행하는 시간이다. 이 시간을  $t_{N,H}$  라고 하고,  $t_{N,H} = t_L + t_i + t_{LBU} + t_{NEW}$  가 된다.

$$t_{DELAY} = X + \Theta + t_{N,H} \quad (5.1)$$

(5.2)는 두 번째 실패의 경우인, 단절시점이 반 성공시점 보다 이전인 경우이며  $t_p$ 는 정상종료 되지 않은 빠른 핸드오버 절차를 완료하는데 걸리는 시간이다. 이 시간을  $t_{F,H1}$ 이라고 하고,  $t_{F,H1} = t_L + t_i + t_{LBU} + t_{NEW}$  가 된다.

$$t_{DELAY} = X + \Theta + t_{F,H1} \quad (5.2)$$

(5.3)은 세 번째 실패의 경우인, 단절시점이 성공 시점 보다 이전인 경우이며  $t_p$ 는 정상종료 되지 않은 빠른 핸드오버 절차를 완료하는데 걸리는 시간이다. 이 시간을  $t_{F,H2}$ 라고 하고,  $t_{F,H2} = t_L + t_i'$  가 된다.  $t_i'$ 는 핸드오버 실패의 경우 2에서 움직임 감지 시간이 없기 때문에 줄어든 IP 연결을 위한 시간이다.

$$t_{DELAY} = X + \Theta + t_{F,H2} \quad (5.3)$$

패킷 전송 측면에서, 반 성공시점은 핸드오버 절차 중에서 중요한 지점이라고 할 수 있다. 이 시점에서 MAP은 이동 개체로부터 FBU 메시지를 전달받게 되고, NAR에게 패킷을 전달하기 시작하며, NAR에게는 전송되는 패킷에 대한 저장을 요구하게 되는 시점이기 때문이다. MAP과 NAR에게는 이동 개체의 위탁주소에 대한 유효성 검사와 HI 메시지와 HAcK 메시지를 교환함으로써 양방향 터널을 구성해야 하기 때문에 추가적인 시간이 필요하다. 따라서 MAP이 PAR에게 패킷 전송을 중단하고 NAR에게 패킷을 전송하는 정확한 시점은 NAR로부터 HAcK 메시지를 전송 받는 시점이다.

### 4.3 NEMO 시나리오에서의 빠른 핸드오버 분석

그림 5~10은 NEMO 시나리오 1~6에서의 빠른 핸드오버 절차에 대한 시간 배치도를 보여준다. 그림에서  $a$ 는 이동 개체가 이동 네트워크 안에 있을 때 상위 MR과의 메시지 교환에 걸리는 시간을 의미하고,  $\beta$ 는 이동 개체와 AR의 메시지 교환시간을 나타내며  $\gamma$ 는 AR과 MAP간 메시지 교환에 걸리는 시

간을 의미하며, 마지막으로  $\delta$ 는 MAP간 메시지 교환 시간을 의미한다. 또한 양방향의 전송률은 같다고 가정하고, 각 메시지에 대한 처리시간은 무시한다.

각 NEMO 시나리오의 시간 배치도와 핸드오버 실패의 경우에 대한 정의에 의해 패킷 전송비용은 다음과 같이 분석할 수 있다.

시나리오 1에서 단절시점이  $0 < X < 3\beta + \gamma$  일 경우,

$$C_{buffer} = 0, \begin{cases} C_{loss} = \lambda_P(\theta + t_{N-H}); 0 \leq X < 2\beta \\ C_{loss} = \lambda_P(\theta + t_{F-HI}) \end{cases}; 2\beta \leq X < 3\beta + \gamma \quad (6.1)$$

단절시점이  $3\beta + \gamma \leq X < 6\beta + 4\gamma$  일 경우,

$$C_{buffer} = \lambda_P[X + \theta + t_{N-H2} - (5\beta + 3\gamma)] \quad (6.2)$$

$$C_{loss} = \lambda_P[(5\beta + 3\gamma - X) + (\beta + \gamma)]$$

시나리오 2에서 단절시점이  $0 \leq X < 3\alpha$  일 경우,

$$C_{buffer} = 0, \begin{cases} C_{loss} = \lambda_P(\theta + t_{N-H}); 0 \leq X < 2\alpha \\ C_{loss} = \lambda_P(\theta + t_{F-HI}); 2\alpha \leq X < 3\alpha \end{cases} \quad (7.1)$$

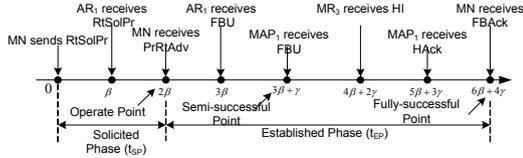


그림 5. NEMO 시나리오 1의 시간 배치도

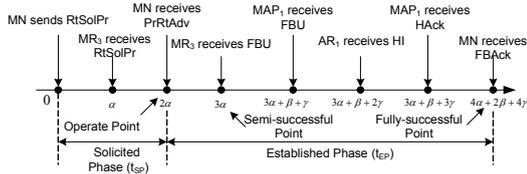


그림 6. NEMO 시나리오 2의 시간 배치도

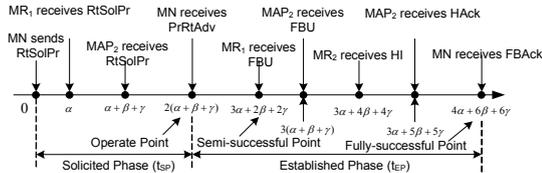


그림 7. NEMO 시나리오 3의 시간 배치도

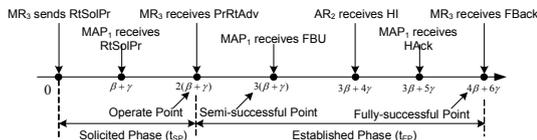


그림 8. NEMO 시나리오 4의 시간 배치도

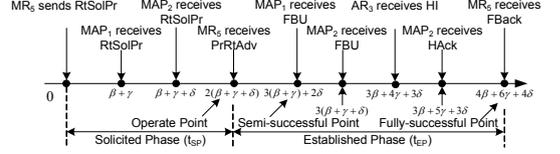


그림 9. NEMO 시나리오 5의 시간 배치도

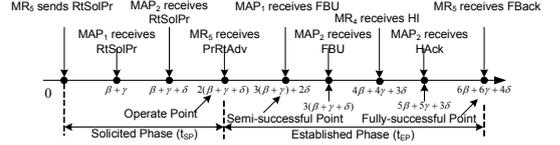


그림 10. NEMO 시나리오 6의 시간 배치도

단절시점이  $3\alpha \leq X < 4\alpha + 2\beta + 4\gamma$  일 경우,

$$C_{buffer} = \lambda_P[X + \theta + t_{N-H2} - (3\alpha + \beta + 3\gamma)] \quad (7.2)$$

$$C_{loss} = \lambda_P[(3\alpha + \beta + 3\gamma - X) + (\alpha + \beta + \gamma)]$$

시나리오 3에서 단절시점이  $0 \leq X < 3\alpha + 2\beta + 2\gamma$  일 경우,

$$C_{buffer} = 0, \begin{cases} C_{loss} = \lambda_P(\theta + t_{N-H}); 0 \leq X < 2(\alpha + \beta + \gamma) \\ C_{loss} = \lambda_P(\theta + t_{F-HI}) \end{cases}; 2(\alpha + \beta + \gamma) \leq X < 3\alpha + 2\beta + 2\gamma \quad (8.1)$$

단절시점이  $3\alpha + 2\beta + 2\gamma \leq X < 4\alpha + 6\beta + 6\gamma$  일 경우,

$$C_{buffer} = \lambda_P[X + \theta + t_{N-H2} - (3\alpha + 5\beta + 5\gamma)] \quad (8.2)$$

$$C_{loss} = \lambda_P[(3\alpha + 5\beta + 5\gamma - X) + (\alpha + \beta + \gamma)]$$

시나리오 4에서 단절시점이  $0 \leq X < 3(\beta + \gamma)$  일 경우,

$$C_{buffer} = 0, \begin{cases} C_{loss} = \lambda_P(\theta + t_{N-H}); 0 \leq X < 2(\beta + \gamma) \\ C_{loss} = \lambda_P(\theta + t_{F-HI}) \end{cases}; 2(\beta + \gamma) \leq X < 3(\beta + \gamma) \quad (9.1)$$

단절시점이  $3(\beta + \gamma) \leq X < 4\beta + 6\gamma$  일 경우,

$$C_{buffer} = \lambda_P[X + \theta + t_{N-H2} - (3\beta + 5\gamma)] \quad (9.2)$$

$$C_{loss} = \lambda_P[(3\beta + 5\gamma - X) + (\beta + \gamma)]$$

시나리오 5에서 단절시점이  $0 \leq X < 3(\beta + \gamma) + 2\delta$  일 경우,

$$C_{buffer} = 0, \begin{cases} C_{loss} = \lambda_P(\theta + t_{N-H}); 0 \leq X < 2(\beta + \gamma + \delta) \\ C_{loss} = \lambda_P(\theta + t_{F-HI}) \end{cases}; 2(\beta + \gamma + \delta) \leq X < 3(\beta + \gamma) + 2\delta \quad (10.1)$$

단절시점이  $3(\beta + \gamma) + 2\delta \leq X < 4\beta + 6\gamma + 4\delta$  일 경우,

$$\begin{aligned} C_{buffer} &= \lambda_P [X + \theta + t_{N-H2} - (3\beta + 5\gamma + 3\delta)] \quad (10.2) \\ C_{loss} &= \lambda_P [(3\beta + 5\gamma + 3\delta - X) + (\beta + \gamma + \delta)] \end{aligned}$$

시나리오 6에서 단절시점이  $0 \leq X < 3(\beta + \gamma) + 2\delta$  일 경우,

$$\begin{aligned} C_{buffer} &= 0, \\ \begin{cases} C_{loss} = \lambda_P (\theta + t_{N-H}); 0 \leq X < 2(\beta + \gamma + \delta) \\ C_{loss} = \lambda_P (\theta + t_{F-H1}) \end{cases} \\ :2(\beta + \gamma + \delta) \leq X < 3(\beta + \gamma) + 2\delta \quad (11.1) \end{aligned}$$

단절시점이  $3(\beta + \gamma) + 2\delta \leq X < 6\beta + 6\gamma + 4\delta$  일 경우,

$$\begin{aligned} C_{buffer} &= \lambda_P [X + \theta + t_{N-H2} - (5\beta + 5\gamma + 3\delta)] \quad (11.2) \\ C_{loss} &= \lambda_P [(5\beta + 5\gamma + 3\delta - X) + (\beta + \gamma + \delta)] \end{aligned}$$

### V. 수치 해석

이 장에서는 앞에서 논의한 각 NEMO 시나리오에서의 핸드오버 비용함수에서 사용되는 변수들에 대해 실제의 값을 할당하여 수치적인 분석을 한다. 표 1은 분석을 위해 사용된 값을 나타내고 있고 [9]에서 논의된 것과 같이 기본 MIPv6 핸드오버에서의 링크계층 이동 지연시간 ( $t_L$ )과 IP 계층의 연결 지연시간 ( $t_I$ )은 각각 50ms와 525ms로 설정했으며, 분석을 위해  $\theta$ 는 10ms로 설정했다.

요구과정에서 빠른 핸드오버가 실패했을 경우, 이동 개체는 기본 MIPv6 핸드오버를 수행하게 된다. 따라서 핸드오버 지연은 처음부터 기본 MIPv6 핸드오버 절차를 수행하는 것 보다 더 많은 시간이 걸린다. 반면 확립과정에서 실패가 발생하게 되면 IP 계층 연결 지연시간이 없기 때문에 핸드오버 지

표 1. 수치적 분석에 사용된 변수들의 값

$\tau$	$a$	$\beta$	$\gamma$	$\delta$	$\lambda_p$	$\theta$
0.2	1ms	3ms	1ms	2ms	1ms	10ms

연시간은 극적으로 줄어들게 이동 개체가 빠른 핸드오버 절차를 수행할 때 PAR과의 절차를 성공적으로 완료할 수 있는 시간만큼 PAR과 연결되어 있을 수 있다면 빠른 핸드오버 절차는 성공적으로 완료될 수 있다.

그림 11~16은 다양한 단절확률에서의 각 이동 시나리오 별 총 패킷 전송비용을 나타내고 있다. 감소요소가 높아지는 것은 단절확률이 높아진다는 것과 모든 이동 시나리오에서의 패킷 전송비용이 높아진다는 것을 의미한다. 만약 감소요소가 고정되어 있다면, 시나리오 2가 가장 낮은 총 패킷 전송비용이 들고, 시나리오 6이 가장 높은 패킷 전송비용이 든다는 것을 알 수 있다. 그 이유는 시나리오 2의 빠른 핸드오버 절차 시간이 가장 짧은 반면, 시나리오 6은 가장 긴 핸드오버 절차 시간을 갖기 때문이다. 이것은 핸드오버 절차 시간이 짧을수록 핸드오버 수행이 성공적으로 종료될 수 있는 확률이 높아진다는 것을 의미한다.

### VI. 결론

본 논문에서는 빠른 핸드오버 메커니즘과 계층적 이동 IPv6 구조를 이용한 MN 및 MR의 이동에 의해 발생하는 다양한 시나리오와 빠른 핸드오버 실패의 경우에 대해서 정의했다. 뿐만 아니라 각각의 실패의 경우에 있어서 이동 개체와 PAR과의 단절 시점에 따라 달라지는 핸드오버 지연과 패킷 전송비용에 대해서 분석했다.

수치 해석에서는 빠른 핸드오버가 요구과정에서

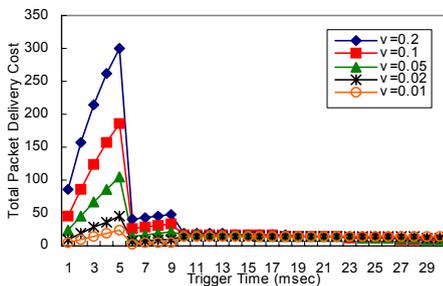


그림 11. 시나리오 1의 총 패킷 전송비용

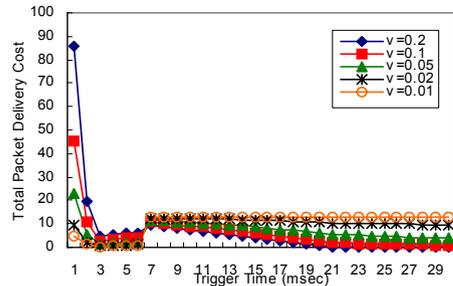


그림 12. 시나리오 2의 총 패킷 전송비용

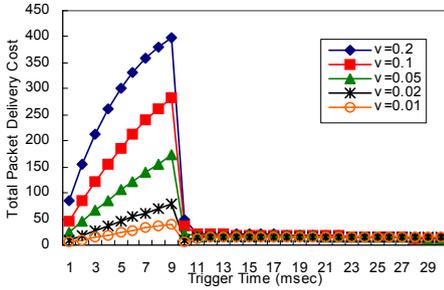


그림 13. 시나리오 3의 총 패킷 전송비용

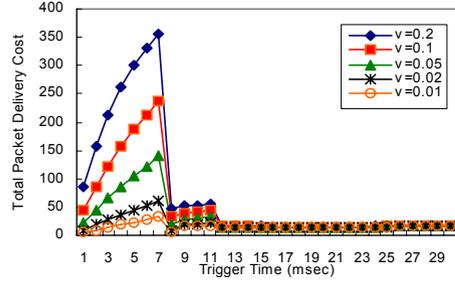


그림 14. 시나리오 4의 총 패킷 전송비용

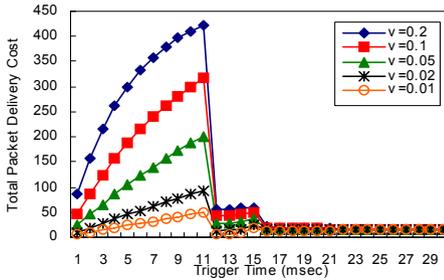


그림 15. 시나리오 5의 총 패킷 전송비용

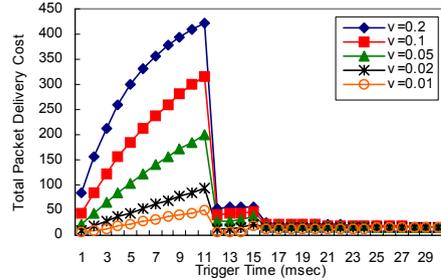


그림 16. 시나리오 6의 총 패킷 전송비용

실패했을 경우 기본 MIPv6 핸드오버를 수행하는데 필요한 핸드오버 지연시간 보다 더 많은 시간을 필요로 한다는 것과 확립과정에서 발생한 핸드오버 실패에서는 지연이 극적으로 줄어든다는 것을 보여 준다. 또한 이동 개체가 이동 네트워크를 벗어나는 경우인 두 번째 시나리오가 가장 적은 총 패킷 전송비용을 갖는다는 것을 알게 되었고, 이러한 결과에 의해 핸드오버 지연시간이 짧아수록 패킷 전송비용 또한 줄어들게 된다는 것을 알게 되었다.

참 고 문 헌

[1] C. Perkins, "IP Mobility support for IPv4", RFC 3220, *IETF*, January 2002  
 [2] D. Johnson, C. Perkins and J. Arkko, "Mobility Support in IPv6", RFC 3775, *IETF*, January 2004  
 [3] V. Devarapalli, R. Wakikawa, A. Petrescu and P. Thubert "Nemo Basic Support Protocol", RFC 3963, *IETF*, January 2005.  
 [4] H. Soliman, C. Castelluccia, K. El-Malki and L. Bellier, "Hierarchical Mobile IPv6 mobility management (HMIPv6)", RFC 4140, *IETF*, August 2005. [5] R. Koodli, "Fast Handovers for

Mobile IPv6", RFC 4068, *IETF*, July 2005.  
 [6] I. Okajima, N. Umeda, and Y. Yamao "Architecture and Mobile IPv6 Extensions Supporting Mobile Networks", *IEEE 54th Vehicular Technology Conference VTC*, pp. 2533-2537, Fall 2001.  
 [7] Hee Young Jung and SeokJoo Koh, "Fast Handover Support in Hierarchical Mobile IPv6", *The 6th International Conference on Advanced Communication Technology*, Vol.2, pp.551-554, February 2004.  
 [8] P. Sangheon and C. Yanghee, "Performance Analysis of Fast Handover in Mobile IPv6 Networks", *Springer-Verlag, Lecture Notes in Computer Science (LNCS)*, Vol. 2775, pp.679-691, September 2003.  
 [9] Jun-Seob Lee, Jae-Hong Min and Sang-Ha Kim, "Considerations for Designing Fast Handoff Mechanisms in Mobile IPv6", *The 6th International Conference on Advanced Communication Technology*, Vol.1, pp.21-24, February 2004.

최 승 준 (Seung Joon Choi)

준회원



2003년 2월 인하대학교컴퓨터  
공학과, 공학사  
2005년 8월~현재 인하대학교정  
보통신대학원 석사과정  
<관심분야> Mobile IP, Sensor  
networks, Cross-layer

수 동 (Dong Su)

준회원



2003년 7월 동북대학교 학사  
2005년 8월 인하대학교 교환학생  
2006년 6월 동북대학교 석사  
<관심분야> Sensor Networks

유 상 조 (Sang-Jo Yoo)

정회원



1988년 2월 한양대학교 전자통  
신학과(공학사)  
1990년 2월 한국과학기술원 전  
기 및 전자공학과(공학석사)  
2000년 8월 한국과학기술원전  
자전산학과(공학박사)  
1990년 3월 2001년 2월 KT 연

구개발본부

2001년 3월~현재 인하대학교 정보통신대학원 부교수  
<관심분야> 인터넷 QoS, 초고속 통신망 구조, 멀티미  
디어 네트워킹, 센서 네트워크, 모바일 컴퓨팅