

## Fast Handovers for Mobile IPv6 구현 및 성능 평가

김용성<sup>o</sup> 권동희 서영주  
포항공과대학교 컴퓨터공학과  
{freekys<sup>o</sup>, ddal, yjsuh}@postech.ac.kr

### An Implementation and Performance Evaluations of Fast Handovers for Mobile IPv6

Yong-Sung Kim<sup>o</sup>, Dong-Hee Kwon, Young-Joo Suh  
Dept. of Computer Science and Engineering, Pohang University of Science and Technology

#### 요 약

이동 장치의 발전과 인터넷의 급격한 성장에 따라, 호스트의 이동성을 제공하기 위해 IETF에서는 Mobile IPv6를 제안하였다. Mobile IPv6는 노드의 위치 및 이동성 관리를 통해 호스트에게 끊임없는 서비스를 제공하고 있다. 그러나 Mobile IPv6에서는 노드가 이동하는 동안 데이터 통신을 할 수 없는 시간이 존재하게 되는데 이것을 핸드오버 지연 시간이라 한다. Mobile IPv6는 VoIP와 같은 지연 시간에 민감한 트래픽을 지원하기에는 핸드오버 지연 시간이 크다. FMIPv6는 이러한 지연 시간을 줄이고자 제안된 프로토콜로서 두 가지 모드, 즉 predictive 모드와 reactive 모드가 존재한다. 본 논문에서는 FMIPv6 구현을 통해 기존의 MIPv6와의 핸드오버 성능을 실제 테스트베드 네트워크에서 비교 분석하고자 한다. 실험 결과를 통해 reactive FMIPv6가 기존의 MIPv6보다 predictive FMIPv6가 reactive FMIPv6보다 더 좋은 성능을 보여준다는 것을 알 수 있다. 그리고, FMIPv6 역시 지연 시간에 민감한 트래픽을 지원하기에는 부족하다는 것을 보여준다.

#### 1. 서론

이동 장치의 발전과 더불어 인터넷의 급격한 성장과 발전에 따라, 이동 호스트 (MN)의 로밍 지원에 대한 사용자의 요구가 증가하고 있다. 이런 사용자의 요구에 맞추어 Internet Engineering Task Force (IETF)에서는 이동 호스트의 위치 관리 및 로밍 서비스를 제공하기 위해 Mobile IPv6 [1] 프로토콜을 제안하였다. Mobile IPv6 [1]에서는 노드의 위치 관리 및 이동성을 지원하기 위해서 Home Agent (HA)를 홈 네트워크에 정의하고 있다. MN은 핸드오버를 수행할 때마다 해당 네트워크에서 설정한 Care-of Address (CoA)를 HA에게 알림으로써, MN의 위치 정보를 갱신하게 된다. 이런 위치 정보를 바탕으로 HA는 MN에게 향하는 데이터를 가로채어 캡슐화 및 터널링을 통해 MN에게 전달하게 된다. MN은 HA로부터 터널링된 데이터를 받았을 경우, 그 데이터를 보낸 송신자에게 자신의 위치 정보를 갱신한다. 송신자는 이 위치정보를 바탕으로 다음 데이터 전송 시에는 HA를 거치지 않고 MN에게 직접 데이터를 전달함으로써, 최적화된 경로를 통해 MN과 통신을 하게 된다. 이러한 Mobile IPv6는 MN의 위치 정보를 바탕으로 MN의 핸드오버를 지원하고 있으나, MN이 핸드오버하는 동안에 데이터를 받지도 보내지도 못하는 시간이 존재하게 된다. 이 기간을 핸드오버 지연 시간이라 한다. 이러한 지연 시간을 줄이기 위해 많은 연구들이 진행되고 있는데, 그 연구 중 대표적인 프로토콜로 Fast Handovers for Mobile IPv6 (FMIPv6) [2]를 들 수 있다. FMIPv6는 MN이 핸드오버 후에 수행해야 할 동작을 현재 네트워크의 Access Router (AR)의 도움을 통해 핸드오버 전에 미리 수행함으로써, 핸드오버 지연시간을 줄이고자 제안된 프로토콜이다. FMIPv6에서는 MN이 핸드오버

할 AR의 Layer 2 (L2) 정보를 바탕으로 Layer 3 (L3) 정보를 현재 AR로부터 얻어오으로써, 핸드오버 후에 수행해야 할 Duplicate Address Detection (DAD) 과정을 현재 AR의 도움으로 미리 수행하게 된다. MN은 이러한 과정을 통해 핸드오버 후에 미리 생성한 CoA를 바로 사용할 수 있게 됨으로써, 핸드오버 시 발생하는 지연 시간을 줄일 수 있게 된다. 본 논문에서는 노드의 이동성을 지원하기 위해 제안된 MIPv6와 FMIPv6를 실제 테스트베드 네트워크에 적용하고 각 프로토콜의 핸드오버 성능을 비교, 분석 및 평가를 하고자 한다.

2장에서는 Fast Handovers for Mobile IPv6 프로토콜을 설명을 하고, 3장에서는 MIPv6와 FMIPv6의 성능 평가에 대해서 설명하도록 한다. 그리고 4장에서는 결론을 맺도록 한다.

#### 2. Fast Handovers for Mobile IPv6 (FMIPv6)

FMIPv6는 핸드오버 후에 사용할 CoA에 대해서 DAD 과정을 미리 수행함으로써, 핸드오버 지연 시간을 줄이고자 제안된 프로토콜이다. FMIPv6 프로토콜은 MN이 old AR (oAR)에 Router Solicitation for Proxy (RtSolPr) 메시지를 보내고 Proxy Router Advertisement (PrRtAdv) 메시지를 받음으로써, MN이 핸드오버 할 new AR (nAR)의 L2/L3 매핑 정보를 알게 된다. MN은 이 매핑 정보를 바탕으로 nAR에서 사용할 new CoA (nCoA)를 생성한 후 Fast Binding Update (FBU) 메시지에 담아서 oAR에게 전송하게 된다. 이 FBU 메시지는 oAR에 old CoA (oCoA)와 nCoA를 바인딩 시킴으로써, oAR이 MN의 oCoA로 향하는 데이터를 nCoA로 터널링 시키기 위해 사용된다. 이러한 터널링을 통해 핸드오버 지연 시간동안 MN에서 발생할 수 있는 데이터 손실을 최소화 하고자 한다. 터널링 서비스 시작 시점에 따라 MN의 데이

터 손실 정도가 결정이 되기 때문에 MN은 가능하다면 FBU 메시지를 oAR 네트워크에 존재할 때 보내도록 해야 한다. 만약 그렇지 못할 경우에는 MN은 nAR 네트워크에서 FBU 메시지를 전송할 수 있다. MN은 FBU 메시지에 대한 응답으로 Fast Binding Acknowledge (FBack) 메시지를 oAR로부터 전송받게 되는데, 그 메시지를 받는 MN의 위치에 따라 FMIPv6는 두가지 모드로 분류가 된다. MN이 FBack 메시지를 oAR 네트워크에서 받았을 때 수행되는 모드는 predictive 모드이고, nAR 네트워크에서 받았을 때는 reactive 모드가 된다. Predictive FMIPv6는 DAD 과정을 oAR 네트워크에서 미리 수행을 하게 되는데, 이것은 oAR과 nAR 사이의 Handover initiate (HI) 메시지와 Handover Acknowledge (HACK) 메시지 교환에 의해 수행된다. 그러나, reactive FMIPv6의 경우는 nAR 네트워크로 핸드오버 후에 DAD 과정을 수행하기 때문에 HI/HACK 교환없이 동작한다. 대신 FBU 메시지를 Fast Neighbor Advertisement (FNA) 메시지에 캡슐화해서 nAR에 전송하고, nAR이 FBU 메시지를 oAR에 포워딩함으로써, oAR이 터널링을 시작하도록 한다. 여기서 FNA 메시지는 MN이 핸드오버를 했다는 것을 nAR에게 알리는 역할을 한다. 그 메시지를 받은 nAR은 버퍼링한 데이터가 존재할 경우 그 데이터를 MN에게 포워딩 시켜준다.

각 모드의 메시지 플로우의 위의 차이점을 제외하고는 거의 동등하기 때문에, 여기서는 predictive FMIPv6의 메시지 플로우 다이어그램만을 나타내도록 한다. 그림 1은 predictive 모드의 메시지 플로우 다이어그램을 나타낸 것이다. 그림 1에서 L2 trigger는 FMIPv6 동작의 시작 시점을 나타내는 신호로서, MN이 oAR과의 신호 세기가 일정 수준 이하로 감소하게 되면 L2에서 핸드오버 이전에 발생하는 신호라고 할 수 있다.

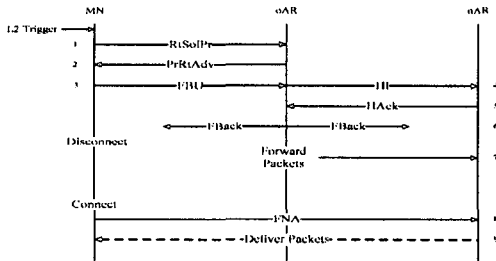


그림 1 Predictive FMIPv6 메시지 플로우 다이어그램

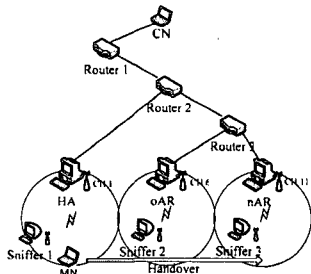


그림 2 성능 평가를 위한 테스트베드 네트워크 구조

3. 성능 평가

이번 장에서는 앞서 언급한 MIPv6, reactive FMIPv6 와 predictive FMIPv6 프로토콜의 핸드오버 성능을 비교 분석한 결과를 보여준다. MIPv6 프로토콜은 헬싱키 대학에서 개발한 MIPL

MIPv6 [3] 를 사용하였고, reactive와 predictive FMIPv6 프로토콜은 실제 구현을 하였다. 또한, 각 프로토콜의 핸드오버 성능 분석을 위해 테스트베드 네트워크를 구축을 하였는데 그 구조는 다음 그림 2와 같다. 그림 2에서 각 AR은 IEEE 802.11b 무선 랜 (LAN) 카드와 유선 랜 카드를 사용하여 무선 랜 및 유선 랜 서비스를 동시에 제공하도록 하였다.

3.1 핸드오버 지연 시간 비교

핸드오버 지연 시간은 L2 핸드오버 지연 시간과 L3 핸드오버 지연시간으로 구분될 수 있다. L2 핸드오버 지연 시간은 채널을 스캔하는 시간 (예를 들면, IEEE 802.11의 경우 11개 혹은 13개의 채널을 스캔하는데 발생하는 지연 시간), 해당 AP와 인증을 하기위해 소요되는 시간, 그리고 해당 AP와 re-association을 하는 지연 시간으로 구성된다. L3 핸드오버 지연 시간은 MN이 다른 네트워크로 핸드오버 했다는 것을 알게 걸리는 시간, DAD를 수행하는 시간, HA의 binding 정보를 갱신하는데 걸리는 시간으로 구성된다. 표1, 2와 3에서 알 수 있듯이 L2 핸드오버 지연 시간은 206ms~518ms 사이의 값을 가지며, 5번의 실험한 결과 대략 500ms 지연 시간이 발생한다는 것을 알 수 있다.

표 1 MIPv6의 핸드오버 지연 시간

실행횟수	1	2	3	4	5	평균
L2 지연시간(ms)	504	457	458	504	510	486.6
L3	1154	1404	3174	2417	2211	2072
합계	1658	1861	3632	2921	2721	2558.6

그와 반면, 각 프로토콜의 L3 핸드오버 지연 시간은 큰 차이를 띄게 된다. 이것은 MIPv6의 경우 L2 핸드오버 후 수행해야할 L3 핸드오버 지연 시간이 대략 2s~3s 시간이 소요되지만, predictive FMIPv6의 경우 L3 핸드오버 지연 시간을 줄이기 위해 DAD를 미리 수행하기 때문에 L3 핸드오버 지연 시간이 MIPv6와는 달리 1초 이내의 값을 가지는 것이다. 그러나, reactive FMIPv6의 경우 MN이 핸드오버 후에 DAD 과정을 수행하기 때문에 predictive FMIPv6와 달리 L3 핸드오버 지연 시간이 길다는 것을 표 2에서 살펴볼 수 있다.

표 2 Reactive FMIPv6의 핸드오버 지연 시간

실행횟수	1	2	3	4	5	평균
L2 핸드오버 지연시간	471ms	206ms	518ms	283ms	511ms	397.8ms
L3 핸드오버 지연시간	1609ms	2178ms	1796ms	1847ms	1991ms	1884.2ms
전체 지연 시간	2080ms	2384ms	2314ms	2130ms	2502ms	2282ms
oAR에서 포워딩된 데이터 개수	0	0	1	0	0	0.2

표 3 Predictive FMIPv6의 핸드오버 지연 시간

실행횟수	1	2	3	4	5	평균
L2 핸드오버 지연시간	511ms	206ms	518ms	283ms	511ms	405.8ms
L3 핸드오버 지연시간	282ms	272ms	291ms	371ms	281ms	299.4ms
전체 지연 시간	793ms	478ms	809ms	654ms	792ms	705.2ms
oAR에서 포워딩된 데이터 개수	52	57	34	45	47	47

또한, reactive와 predictive FMIPv6의 oAR에서 포워딩되는 데이터 개수가 큰 차이를 보이는 것을 알 수 있다. 이것은 두 모

드에 따라 oAR이 터널링을 시작하게 되는 시점이 틀린데 기인한다. 즉, predictive FMIPv6의 경우 MN이 핸드오버 이전에 터널링 서비스를 시작을 하게 되지만, reactive의 경우 MN이 핸드오버 후 DAD 수행과정을 거쳐야 비로소 FBU 메시지를 oAR에게 전송을 하게 됨으로, CN에게 BU 메시지가 나가는 시점과 거의 동등하게 된다. 따라서, reactive FMIPv6의 경우 predictive FMIPv6와는 달리 CN에서 바로 데이터를 전송받게 된다. 이러한 이유로 predictive FMIPv6가 reactive FMIPv6보다 L3 핸드오버 지연 시간이 적다는 것을 표2와 3을 통해 쉽게 알 수 있다. 또한, predictive FMIPv6의 경우 oAR의 터널링 서비스를 이용하여 MIPv6와 reactive FMIPv6 보다 데이터의 지연 시간 및 손실을 줄임으로써, 핸드오버 성능 향상을 꾀하고 있다.

3.2 UDP 연결에서의 핸드오버 성능 비교

그림3, 4와 5는 MN과 CN사이의 UDP 연결을 통해 각 UDP 데이터에 대한 중단간 전송 지연 시간을 보여주고 있다. 이 실험에서는 CN에서 매 50ms당 UDP 데이터 256 바이트를 MN에게 전송시의 MIPv6, reactive FMIPv6와 predictive FMIPv6의 핸드오버 성능을 측정하였다. 그림 3에서 보는 바와 같이 MIPv6에서는 대략 4초간 79개의 데이터 손실이 발생한다는 것을 알 수 있다. 이것은 앞서 살펴본 MIPv6의 핸드오버 지연 시간에 따라 발생하는 데이터 손실이라 할 수 있다. Reactive FMIPv6의 경우도 MIPv6와 비슷한 데이터 손실을 경험하게 되는데, MIPv6보다는 짧은 핸드오버 지연 시간에 의해 대략 2.5 초간 49개의 데이터 손실이 발생한다는 것을 그림 4를 통해 알 수 있다.

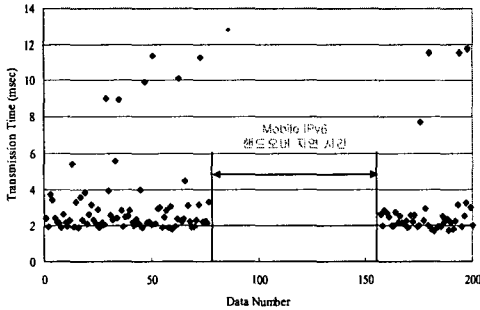


그림 3 UDP 연결시 MIPv6 핸드오버 성능

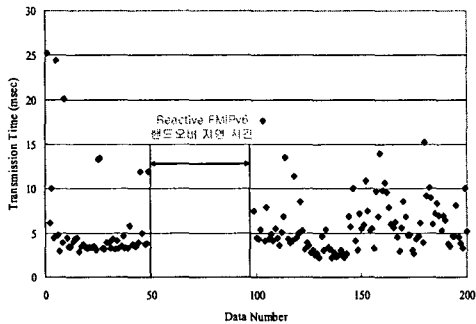


그림 4 UDP 연결시 reactive FMIPv6 핸드오버 성능

그와 반면, predictive FMIPv6의 경우 핸드오버 지연 시간 동안 데이터 손실이 위에서 언급한 두 프로토콜보다 크게 줄어든다는 것을 그림 5를 통해 알 수 있다. 또한, 5번의 실험결과 MIPv6

와 reactive FMIPv6와는 달리 predictive FMIPv6의 경우 손실되는 데이터가 존재하지 않는 것을 확인할 수 있었다. 데이터 손실 면에서 이렇게 큰 차이를 보이는 것은 predictive FMIPv6의 경우 MN이 핸드오버 하는 동안에 oAR에서 터널링되는 데이터가 nAR에서 버퍼링되고 MN이 핸드오버 후에 nAR로부터 버퍼링 된 데이터를 전송받을 수 있기 때문이다. 그러나 predictive FMIPv6 프로토콜에서, oAR에서 터널링되는 첫번째 데이터의 중단간 지연시간이 대략 1.1초인 걸 그림 5를 통해 알 수 있다. 이러한 긴 지연시간이 발생하는 가장 큰 이유는 L2 핸드오버 지연 시간에 의한 것이라 할 수 있다. 그림 4와 5를 통해 FMIPv6 프로토콜도 실시간 응용 프로그램과 같은 지연 시간에 민감한 트래픽에 대해서 충분한 핸드오버 성능을 제공하지 못한다는 것을 예측할 수 있다.

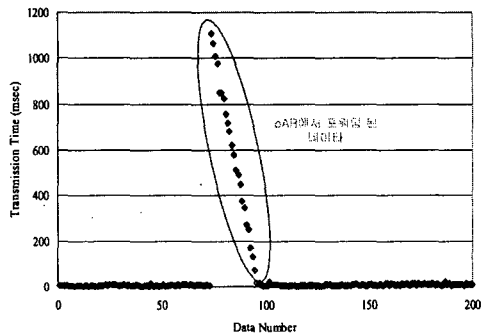


그림 5 UDP 연결시 predictive FMIPv6 핸드오버 성능

4. 결론

본 논문에서는 실제 테스트베트 네트워크를 구축하여 MIPv6와 FMIPv6의 핸드오버 성능을 평가하였다. 또한, FMIPv6의 두 가지 모드 즉, reactive와 predictive 모드를 구현함으로써, 핸드오버 지연 시간 및 UDP 연결에 대한 성능 평가를 수행하였다. 실험 결과를 통해, L3 핸드오버 지연 시간뿐만 아니라 L2 핸드오버 지연 시간 역시 핸드오버 성능에 큰 영향을 끼칠 수 있다는 것을 살펴보았다. MIPv6에서는 핸드오버 지연 시간이 대략 2s~4s인데, 이 지연 시간은 실시간 데이터 서비스를 받고자 하는 사용자에게는 만족스럽지 못한 결과를 초래할 수 있다. Reactive FMIPv6의 경우, MIPv6와 비교하여 L3 핸드오버 지연 시간을 줄임으로써, 핸드오버 성능 향상을 꾀하였지만, 2.5초라는 핸드오버 지연 시간은 효율적인 핸드오버 성능을 사용자에게 제공하기에는 부족하다. Predictive FMIPv6에서는 핸드오버 지연 시간 및 데이터 손실 측면에서 가장 좋은 핸드오버 성능을 보여주고 있으나, 이 역시 지연 시간에 민감한 트래픽을 지원하기에는 아직 부족하다는 것을 알 수 있다.

5. 참고 문헌

[1] D.Johnson et. al., "Mobility Support in IPv6," Internet Draft, IETF, June 2003. Work in progress.  
 [2] R.Koodli et. al., "Fast Handovers for Mobile IPv6," Internet Draft, IETF, Oct. 2003. Work in progress.  
 [3] A.J.Tuominen and H.Petander, et al., MIPL Mobile IPv6 for Linux in HUT Laboratory, available from <http://www.mobile-ipv6.org>