

IP 이동성 지원 프로토콜에 대한 비교 연구 : Fast Handover 대 Mobile IPv6

준회원 백상헌*, 정회원 최양희*

A Comparative Study of IP Mobility Protocols: Fast Handover vs. Mobile IPv6

Sangheon Pack* Associate Member, Yanghee Choi* Regular Member

요 약

Fast Handover[1] 프로토콜은 핸드오프 과정에서 발생하는 지연 시간을 줄임으로써 끊임없는 핸드오프가 가능하도록 해준다. 핸드오프 지연시간을 줄이기 위해서 Fast Handover는 링크 계층의 트리거 정보를 이용한 예측 기법을 사용한다. 따라서 기존 Mobile IPv6에 비해서 더 많은 시그널링 비용을 초래한다. 뿐만 아니라 가변적인 특성을 가지는 링크 특성으로 인해 예측한 정보가 정확하지 않을 수도 있고 이 경우에는 불필요한 버퍼 공간을 낭비하게 된다. 따라서, 이러한 부가적인 비용을 고려하여 Fast Handover와 Mobile IPv6의 성능을 비교, 평가하는 것이 필요하다. 본 논문에서는 두 프로토콜에서의 시그널링 비용과 패킷 전송 비용을 모델링하여 링크 계층 트리거의 시점이 전체 비용에 미치는 영향과 핸드오프 과정에서의 버퍼 요구량을 비교하였다. 그 결과 최적화된 핸드오프 성능을 위해서 트리거 시점을 적절하게 설정하는 것이 중요하다는 것을 알 수 있었다.

Key Words : IP Mobility; Mobile IPv6; Fast Handover; Performance analysis; L2 trigger.

ABSTRACT

The Fast Handover protocol [1] provides seamless handover in wireless IP networks by minimizing handover latency, which uses anticipation based on layer 2 (L2) trigger information. Therefore, it incurs higher signaling costs compared with the basic Mobile IP protocol. Furthermore, since the L2 trigger is based on fluctuating wireless channel states, the handover anticipation may sometimes be incorrect. In the case of incorrect anticipation, unnecessary buffer space may be used for the purpose of providing a smooth handover. Therefore, it is essential to analyze these overhead costs, in order to evaluate and compare the performance of Fast Handover with that of the basic Mobile IP protocol. In this paper, we analyzed the overhead associated with Fast Handover including the signaling cost and the packet delivery cost. We formulated these costs based on a timing diagram and compared Fast Handover with basic Mobile IPv6 in terms of their packet loss rates and buffer requirements. Also, we studied the impact of the L2 triggering time on the total overhead cost.

I. 서론

IP 기반의 무선망에서 핸드오프 과정에서의 지연 시간을 최소화하는 것은 아주 중요한 이슈 중의 하나이다.

Mobile IPv6 (MIPv6)는 이동 호스트 (Mobile Host: MH)가 한 액세스 라우터에서 다른 액세스 라우터로 이동하는 경우에도 인터넷에서의 연결성을 제공하는 기법을 기술한다. 하지만 이러한

* 서울대학교 전기컴퓨터공학과 멀티미디어 통신 연구실(shpack@mmlab.snu.ac.kr, yhchoi@snu.ac.kr)

논문번호 : 030504-1118, 접수일자 : 2003년 11월 20일

※ 본 연구는 2003년 두뇌한국 21과 국가지정연구실 프로젝트 지원을 받아 수행되었음.

핸드오프 과정에서는 이동 호스트가 연결의 단절로 인해 패킷을 보내거나 받을 수 없는 시간 구간이 존재하는데 이는 링크 전환으로 지연 시간과 IP 프로토콜의 기본적인 동작 과정 (예를 들면, 바인딩과 같은)으로 인해 발생하는 것이다. 이러한 시간 구간을 흔히 핸드오프 지연 시간이라고 부른다. 많은 경우에 이러한 MIPv6의 핸드오프 지연 시간은 실시간 응용 프로그램에서 허용 가능한 지연 시간보다 크게 된다. 따라서 이러한 핸드오프 지연 시간을 줄이기 위해서 개선된 MIPv6인 Fast Handover [1]가 인터넷 표준화 기구인 IETF (Internet Engineering Task Force)에서 제안되었다. Fast Handover의 기본적인 개념은 링크 계층의 트리거 (L2 Trigger)를 사용하여 IP 계층에서의 핸드오프 지연 시간을 줄이는 것이다. 이러한 Fast Handover는 여러 논문에서 다양한 네트워크 환경에 기반하여 그 성능이 분석되었다 [4-7].

Koodli는 두 액세스 라우터 사이에서 빠른 핸드오프와 문맥 전달을 가능하게 하는 방법을 연구하였다 [4]. 또한, 그는 일반적인 문맥 전달을 위한 프레임워크를 제안하였다. 성능 평가의 경우, 핸드오프 지연 시간을 두 가지 다른 경우에 대해서 분석하였는데, 즉 Fast Binding Acknowledgment 메시지가 이전 링크에서 수신되는 경우와 새로운 링크에서 수신되는 경우로 나누어서 핸드오프 지연 시간을 분석하였다.

Costa는 현재 IETF에서 논의되고 있는 IP 이동성 지원 프로토콜에 대한 핸드오프 지연 시간을 비교하였다. 즉, MIPv6와 Fast Handover, 그리고 Hierarchical MIPv6 (HMIPv6)의 핸드오프 지연 시간을 비교하였다. Fast Handover와는 달리 HMIPv6는 이동성 에이전트가 여러 계층으로 구성되는 구조를 지원하는 프로토콜이다 [5]. 이 연구에서는 각 프로토콜의 핸드오프 지연 시간을 분석한 뒤 성능 최적화를 위한 최선의 기법은 Fast Handover와 HMIPv6를 결합하는 것이라고 결론지었다.

Fikouras는 Mobile IP 핸드오프의 성능을 분석하였다 [6]. 이 연구의 결과, 핸드오프 지연 시간은 Lazy Cell Switching, Eager Cell Switching, Prefix Matching과 같은 다양한 이동 감지 기법의 성능에 크게 의존한다는 것을 보여준다. 또한 이 연구에서는 Lazy Cell switching과 Eager Cell Switching의 평균 핸드오프 지연 시간을 결정하는 두 개의 일반식을 계산하였다.

Blondia는 선등록(Pre-registration), 후등록(Post-registration) 기법으로 불리는 낮은 핸드오프

지연 시간 프로토콜에 대한 성능을 분석하였다 [7]. 그들은 패킷 손실과 지연 시간에 대한 특성을 나타내는 간단한 분석적 모델을 제안하였고, 프로토콜의 확장성을 OPNET 시뮬레이션 모델을 사용하여 분석하였다.

Fast Handover는 낮은 핸드오프 지연 시간을 제공할 수는 있지만 이는 부가적인 비용을 초래할 수도 있다. 우선 예측적인 핸드오프 처리를 위해서는 액세스 라우터와 이동 호스트 사이에서 더 많은 시그널링 메시지가 교환되어야 한다. 또한 Fast Handover는 링크 계층의 정보를 이용한 미래의 핸드오프 이벤트를 예측하기 때문에 부정확한 예측의 경우 부가적인 비용을 초래하기도 한다. 예를 들어, 핸드오프 과정에서 패킷 전달이 지원된다면 이러한 패킷들은 모두 버퍼 공간에 저장된다. 하지만 부정확한 핸드오프 예측이었다면 실제로 핸드오프는 발생하지 않게 되고 할당된 버퍼 공간은 결국 낭비되는 것이다. 따라서, Fast Handover의 성능을 평가하기 위해서는 이와 같은 다양한 부가 비용을 고려해야 한다. 하지만 기존의 연구 [4-7]의 경우 이러한 부가 비용에 대한 고려를 하고 있지 않다.

본 논문에서는 이러한 부가 비용을 고려하여 Fast Handover와 MIPv6의 성능을 분석, 비교하고자 한다. 분석 결과 Fast Handover는 MIPv6와는 달리 L2 트리거가 IP 계층으로 통보되는 시점이 전체 비용에 큰 영향을 끼친다는 것을 알 수 있었다. 따라서 본 연구에서는 Fast Handover의 부가 비용을 최소화할 수 있는 최적의 L2 트리거 전달 시점에 대한 연구도 수행하였다. 또한 패킷 손실과 버퍼 요구량에 대해서도 Fast Handover와 MIPv6의 성능을 비교하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 Fast Handover에 대한 기본적인 동작 과정을 설명하고 3장에서는 Fast Handover와 MIPv6의 부가 비용에 대한 분석적 모델을 제안한다. 4장에서는 분석적 모델에 기반한 수치 분석 결과를 보여주고 5장에서는 결론을 맺는다.

II. Fast Handover 개요

그림 1은 Fast Handover에서의 메시지 전달 과정을 보여준다.

한 이동 호스트가 이전 액세스 라우터 (PAR: Previous Access Router)에 연결되어 있다가 새로운 액세스 라우터 (NAR: New Access Router)로 이동

하려고 할 때는 다음과 같은 과정을 거치게 된다.

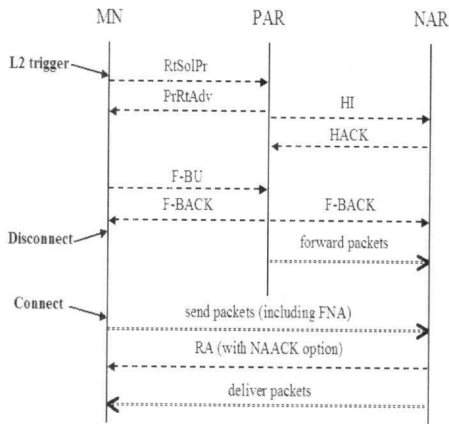


그림 1. Fast Handover 프로토콜.

Proxy (RtSolPr) 메시지를 PAR로 보내면서 L3 핸드오프를 시작하게 되고, 만약 L2 트리거가 PAR에서 수신되었다면 PAR이 Proxy Router Advertisement (PrRtAdv) 메시지를 해당 이동 호스트로 보내게 된다.

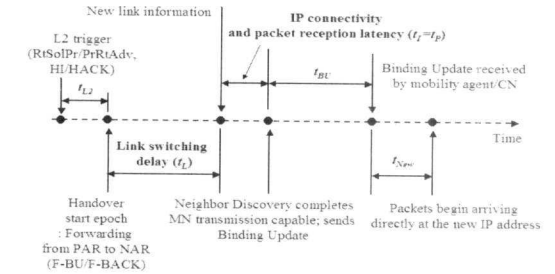


그림 3. Fast Handover의 시간 배치도

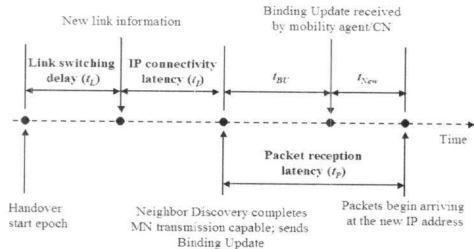


그림 2. Mobile IPv6의 시간 배치도

앞서 말한바와 같이 이동 호스트는 NAR의 브로드캐스트 메시지를 이용하여 PAR에 연결된 상태에서 새로운 CoA (NCoA)를 구성하게 된다. 그러면 PAR은 이동 호스트의 새로운 CoA가 유효한 것인지를 NAR을 통해서 확인하게 되고 PAR과 NAR 사이의 양방향 터널의 설정을 시작한다. 이러한 과정은 PAR이 NAR로 Handover Initiate (HI) 메시지를 보냄으로서 시작된다. NAR은 새로운 CoA가 유효한 것인지를 검사한 뒤에 Handover Acknowledge (HACK) 메시지를 보내게 되고 이동 호스트의 이전 CoA (PCoA)에 대한 호스트 경로를 설정한다.

- 이동 호스트는 PAR에 연결된 채로 NAR에서의 새로운 CoA (Care-of address)를 얻게 된다.
- 그런 다음 이동 호스트는 새로운 CoA에 대한 바인딩 정보를 갱신하기 위해서 Binding Update 메시지를 PAR에게 보낸다.
- 바인딩 정보 갱신 후 PAR은 NAR에 연결된 이동 호스트로 향하는 패킷들을 포워딩하기 시작한다.

이동 호스트는 PrRtAdv 메시지를 받았다면 이전 링크의 연결이 끊어지기 전에 Fast Binding Update (F-BU) 메시지를 보내야한다. PAR이 F-BU 메시지를 받았을 때 PAR은 요청된 핸드오프가 HACK 메시지의 상태 코드에 표시되어 있는 NAR에 의해서 수락될 것인지를 검사해야 한다. 그런 다음에 PAR은 PCoA로 오는 모든 패킷들을 NAR로 포워딩하기 시작하고 Fast Binding Acknowledgement (F-BACK) 메시지를 이동 호스트로 보내게 된다.

Fast Handover에서는 이동 호스트 또는 PAR이 L2 트리거에 의해서 핸드오프를 시작할 수 있다. 링크 계층의 정보는 해당 이동 호스트가 곧 PAR에 연결된 한 무선 액세스 포인트에서 NAR에 연결된 다른 무선 액세스 포인트로 이동할 것이라는 것을 알려주게 된다. 만약 L2 트리거가 이동 호스트에서 수신되었다면 이동 호스트가 Router Solicitation for

Mobile IPv6의 경우, 일반적으로 핸드오프 과정에서 서비스 중단 시간이 존재하게 된다. 이러한 중단 시간은 이동 호스트가 홈 에이전트 (HA: Home Agent)에게 자신의 현재 위치를 알려주는데 시간이 소비되기 때문에 발생하는 것이다. 이러한 중단 시간 동안에는 이동 호스트가 기존 연결을 계속하거나 새로운 연결을 설정할 수 없다. 이에 비해서 Fast Handover의 경우 L2 핸드오프가 완료된 뒤에 L3

핸드오프를 시작하지 않고 L2 트리거에 의해 예측적으로 L3 핸드오프를 시작하기 때문에 L3 핸드오프에 대한 지연 시간을 줄일 수 있다.

그림 2와 3은 참고 논문 [4]에서 인용된 것인데 Mobile IPv6와 Fast Handover에서의 시간 배치도를 보여준다. 아래 그림에서 핸드오프가 시작되는 지점은 “Handover start epoch”이라고 표시된 지점이다. Fast Handover의 경우 L2 트리거가 먼저 발생하지만 핸드오프 시작 지점은 실제 링크 스위칭이 일어나는 지점으로 동일하다. Mobile IPv6의 경우 $tL+tI+tP$ 가 서비스 중단 시간이 되는데 비해서 Fast Handover에서는 패킷 수신 지연 시간과 IP 연결 지연 시간이 같기 때문에 $tL+tI$ 가 서비스 중단 시간이 된다. 하지만 Fast Handover에서는 PAR에서 NAR로의 패킷 포워딩이 지원되기 때문에 $tL+tI$ 시간 동안에 도착한 패킷들도 손실되지는 않는다.

III. 성능 비교 모델

본 장에서는 Fast Handover와 Mobile IPv6를 비교하기 위한 분석적 모델을 제안한다. 이를 위해 우리는 전체 비용을 시그널링 비용과 패킷 전송 비용, 두 가지로 분류하였다. 시그널링 비용은 핸드오프를 처리하는 과정에서 발생하는 패킷 단위의 시그널링 메시지와 관련된 것이고 패킷 전송 비용은 핸드오프 과정에서의 패킷 손실, 포워딩과 관련된 패킷 단위의 부가 비용이다. 따라서 핸드오프 과정에서 발생하는 전체 비용은 아래와 같이 표현될 수 있다.

$$C_{total} = C_{signal} + C_{packet} \quad (1)$$

1. 시그널링 비용

지역적인 이동성 지원 프로토콜 [2-3]과는 달리 Fast Handover는 시그널링 비용을 줄이는데에는 관심을 기울이지 않는다. 따라서 본 논문에서는 Fast Handover에서 부가적으로 발생하는 시그널링 비용을 분석한다. Fast Handover의 메시지 교환 과정은 그림 1에 나와 있다. Fast Handover는 L2 트리거를 사용하는 예측 기법을 사용하기 때문에 핸드오프 예측이 정확할 확률에 따라서 시그널링 비용이 달라지게 된다. P_s 와 P_f 를 각각 L2 트리거 후에 실제로 L3 핸드오프가 일어날 확률과 일어나지 않을 확률이라고 가정하자. 만약 L2 트리거 후에 실제 핸드오프

가 발생하지 않았다면 RtSolPr/PrRtAdv와 HI/HACK 메시지 교환은 무효한 것이 된다. 이러한 경우의 시그널링 비용을 M_f 로 표시한다. 이에 비해 M_s 는 예측이 올바른 경우에서의 시그널링 비용을 나타낸다. 이러한 시그널링 비용은 그림 1에서 표시된 메시지 흐름에 의해서 계산되어진다. 이러한 비용 계산은 아래의 식과 같다. 아래의 식에서 TCMP는 이동 호스트와 PAR사이의 무선 링크에서의 전송 비용을 나타내고 TCPN은 PAR과 NAR 사이의 전송 비용을 나타낸다. 그리고 PCN과 PCP는 각각 NAR과 PAR에서의 처리 비용을 나타낸다. 일반적으로 전송 비용은 링크의 홉 수에 비례하기 때문에 TCMP와 TCPN은 각각 $\rho\Theta U$ 와 $IPN\Theta U$ 로 표현될 수 있다. 여기서 IPN은 PAR과 NAR 사이의 평균 홉 수를 나타내고 ΘU 와 ρ 는 단위 업데이트 비용과 무선 링크에 대한 가중치이다.

$$M_f = 2TC_{MP} + 2TC_{PN} + PC_N + 2PC_P$$

$$M_s = 4TC_{MP} + 3TC_{PN} + 2PC_N + 3PC_P$$

여기서 M_s 와 M_f 는 Fast Handover에서의 부가적인 비용만을 고려한 것이다. 이러한 비용과 함께 Mobile IPv6에서의 기본적인 핸드오프 동작 과정에서 필요한 일반적인 시그널링 비용도 고려해야만 한다. 이를 M_n 이라고 표시하자. 즉, Mobile IPv6에서의 전체 시그널링 비용은 M_n 이 되는 것이다. 이러한 M_n 은 Mobile IPv6와 Fast Handover에 공통적으로 포함되는 값이기 때문에 본 논문에서는 이 값이 특정 상수값을 가진다고 가정하였다. 아래의 식 (2)는 Fast Handover에서의 전체 시그널링 비용을 나타낸다. 여기서 α , β , γ 는 가중치를 나타낸다.

$$C_{signal} = \alpha M_s P_s + \beta M_f P_f + \gamma M_n \quad (2)$$

- 성공 확률의 결정 (P_s)

앞에서 언급한 시그널링 비용을 계산하기 위해서는 L2 트리거에 의한 핸드오프 예측이 성공적일 확률을 구해야 한다. 그림 3에 나와있는 바와 같이 tL_2 는 L2 트리거가 발생한 시점에서부터 실제 링크 계층에서 스위칭이 시작될 때까지의 시간을 나타낸다. 따라서 tL_2 가 작다는 것은 L2 트리거가 실제 링크 스위칭이 시작되는 시점에 보다 가까워서 일어난다는 것을 의미한다. 이러한 경우에 성공확률은 더 높아진다. 왜냐하면, 핸드오프에 대한 결정과 L2 트

리거 발생 여부 모두 수신된 신호의 세기에 기반해서 이루어지는데 t_{L2} 가 작아지게 되면 핸드오프를 결정하는 시점에 보다 근접해서 L2 트리거를 발생시킬 수 있기 때문이다. 따라서 본 논문에서는 성공 확률이 L2 트리거의 시점에 의해 결정된다고 가정하였다. t_{L2} 와 P_s 사이의 상관 관계를 고려하여 성공확률을 구하기 위해서 아래의 관계식을 사용하였다. 아래의 식 (3)에서 τ 는 감소 인자인데 이는 다양한 감소 패턴을 반영하기 위한 값이다.

$$P_s = \frac{1}{e^{\tau t_{L2}}} \quad (3)$$

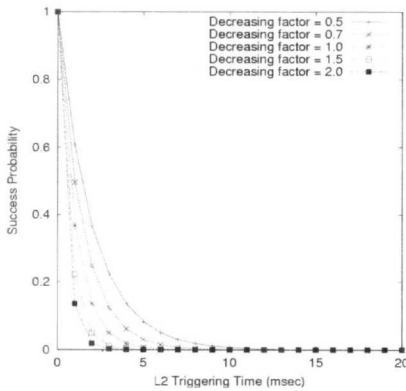


그림 4. t_{L2} 를 이용한 P_s 의 결정

식 (3)에 따라서 성공 확률은 $e^{-\tau t_{L2}}$ 에 반비례하게 된다. 이상적인 경우, 즉 t_{L2} 가 0인 경우에는 성공 확률이 1이 되고 만약 t_{L2} 가 무한대로 접근한다면 성공 확률은 0이 될 것이다. 왜냐하면 t_{L2} 가 무한대로 접근한다는 것은 핸드오프 예측이 정확한 링크 상태 정보없이 성급하게 이루어졌다는 것을 의미하기 때문이다. 그림 4는 τ 가 변할 때의 P_s 와 t_{L2} 의 상관 관계를 보여준다.

2. 패킷 전송 비용

패킷 전송 비용의 경우 포워딩되는 패킷과 손실된 패킷과 관련된 비용을 고려하였다. 식 (4)는 포워딩 비용과 손실 비용으로 구성된 패킷 전송 비용을 보여준다. 여기서 δ 와 ϵ 는 가중치이다.

$$C_{packet} = \delta C_{forwarding} + \epsilon C_{loss} \quad (4)$$

Fast Handover에서 PAR에서 NAR로의 패킷 포워딩은 패킷 손실을 막고 보다 나은 핸드오프를 지원하기 위해서 사용된다. RtSolPr/PrRtAdv과 HI/HACK 메시지 교환후에 설정된 양방향 터널을 통해서 PAR은 이동 호스트로부터 F-BU 메시지를 받은 뒤에 NAR로 포워딩을 시작한다. 그림 3에 나와 있는 것처럼 이동 호스트가 NAR의 NCoA을 통해 직접 패킷을 받을 때까지는 $t_L+t_{L2}+t_{BU}+t_{New}$ 의 지연 시간이 존재한다. 만약 이동 호스트가 PAR로 F-BU가 보냈을 경우에는 반드시 NAR로 L3 핸드오프를 수행한다고 가정하자. 본 논문에서는 이 기간 동안에 포워딩된 패킷을 저장하는 부가적인 버퍼 공간을 포워딩 비용으로 간주하였다. 따라서 포워딩 비용은 패킷 도착 비율과 포워딩 시간에 비례하게 된다.

일반적으로 Fast Handover는 L2 트리거 후의 모든 패킷들을 버퍼링하기 때문에 핸드오프 과정에서는 패킷이 손실되지 않는다. 하지만 이동 호스트가 포워딩을 위한 터널을 만들기 전에 다른 AP의 영역으로 이동했다면 일부 패킷이 손실될 수도 있다. 보다 구체적으로 설명하면, Fast Handover의 경우 터널은 RtSolPr/PrRtAdv과 HI/HACK 메시지 교환후에 생성된다. t_R 을 이러한 터널을 생성하는데 필요한 시간이라고 하자. 이러한 t_R 값은 [5]에서 사용된 것과 유사한 분석적 기법으로 구할 수 있다. 대부분의 경우 t_{L2} 는 t_R 보다 크기 때문에 핸드오프 과정에서 도착한 패킷들은 터널을 통해 NAR로 전달된다. 하지만 빠르게 이동하는 이동 단말기의 경우 t_{L2} 가 아주 작을 수도 있다. 만약 t_{L2} 가 t_R 보다 작다면 $(t_R - t_{L2})$ 기간 동안에 PAR에 도착한 패킷들은 터널이 아직 생성되지 않았기 때문에 손실되게 된다. 따라서 Fast Handover에서의 패킷 손실 비용은 $\lambda \max\{t_R - t_{L2}, 0\}$ 로 표현된다.

정리하면, Fast Handover에서의 패킷 전송 비용은 식 (5)와 같이 표현된다.

$$C_{packet} = \delta \lambda_p (t_L + t_I + t_{BU} + t_{New}) + \epsilon \lambda_p \max\{(t_R - t_{L2}), 0\} \quad (5)$$

반면, Mobile IPv6에서의 패킷 전송 비용은 식 (6)과 같다. Mobile IPv6의 경우 패킷 포워딩은 Neighbor Discovery 과정 후에 시작된다고 가정하였다. 따라서 포워딩 시간은 $t_{BU}+t_{New}$ 이다. 또한 Mobile IPv6는 핸드오프 예측을 지원하지 않기 때문에 t_L+t_I 동안의 모든 패킷은 손실된다.

$$C_{packet} = \delta\lambda_p(t_{BU} + t_{New}) + \varepsilon\lambda_p(t_L + t_I) \quad (6)$$

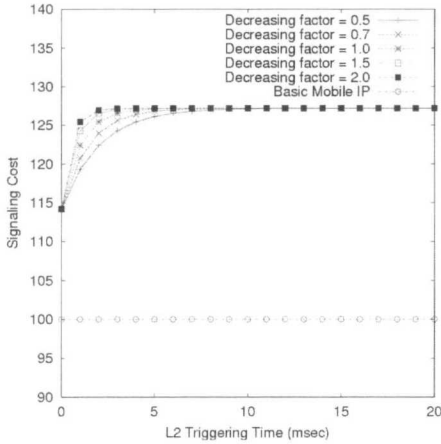


그림 5. 시그널링 비용 비교

IV. 수치 분석 결과

앞서 설명한 바와 같이 Fast Handover는 L2 트리거에 의해서 초기화된다. L2 트리거는 링크 계층에서 IP 계층으로 통보되는 일종의 이벤트 정보이다. 핸드오프 과정에서 L2 트리거는 하나 이상의 AP에서 수신된 신호의 세기의 변화에 따라서 발생하게 된다. 따라서 L2 트리거가 IP 계층에 통보되는 시점은 프로토콜 구현에서 사용되는 신호 세기에 대한 한계값에 의해서 결정된다. 본 논문에서는 전체 부가 비용을 최소화하기 위한 최적의 L2 트리거 시간에 초점을 맞추었다. Fast Handover의 전체 비용은 이

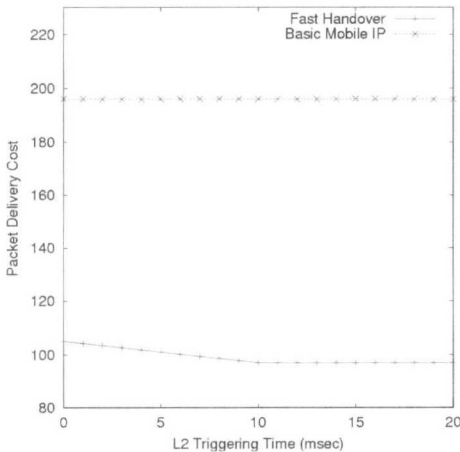


그림 6. 패킷 전송 비용 비교

값에 의존하기 때문에 실제로 Fast Handover를 구현할 때 이는 아주 중요한 값이다.

1. 링크 계층 트리거링 시점의 영향

첫번째 분석 결과는 tL2의 영향만을 고려한 것이다. 다른 지연 시간 값들은 해당 메시지 처리 과정에 따라서 미리 결정되었다고 가정하였다. 표 1은 수치 분석에 사용된 파라미터 값들을 보여준다. 본 분석에서 tR은 10ms로 설정되었고 tL+tI와 tBU+tNew는 [4]에서 사용된 값에 기반하여 각각 165ms와 320ms로 설정되었다. 그 이외의 인자값은 [8]등의 참고 자료에 기반하여 부여되었다. 즉, 핸드오프 예측이 실패한 경우의 가중치(β)를 성공한 경우의 가중치(α)보다 크게 부여하였고 패킷 손실에 대한 가중치를 패킷 포워딩에 대한 가중치보다 더 높게 설정하였다. 또한 무선 링크의 업데이트 비용을 10으로 유선망의 1보다 크게 설정하였다. NAR과 PAR의 처리비용은 동일하다고 가정, 5로 설정되었고 Mn은 Mf와 Ms의 계산 결과에 기반하여 100으로 설정하였다.

표 1. 시스템 인자값

α	β	γ	δ	ε	Θ_U
0.2	0.8	1.0	0.2	0.8	1
ρ	I_{PN}	PC_N	PC_P	λ_p	M_n
10	2	5	5	1	100

그림 5와 6은 tL2가 변화할 때의 시그널링 비용과 패킷 전송 비용을 보여준다. 시그널링 비용의 경우 Mobile IPv6는 L2 트리거 시간과는 상관없이 일정한 값을 보여주었다.

반면 Fast Handover의 시그널링 비용은 L2 트리거 시간이 증가함에 따라서 같이 증가하는 경향을 보여준다. 이러한 증가 경향은 사용된 감소 인자에 의해서 달라진다. 하지만 이러한 시그널링 비용은 L2 트리거 시간이 특정 값에 이른 뒤에는 더 이상 증가하지 않게 된다. 이러한 한계 지점 역시 사용된 감소 인자에 따라 달라진다.

시그널링 비용과는 달리 패킷 전송 비용은 성공

확률에 의존하지 않는다. 패킷 전송 비용의 경우 Mobile IPv6는 Fast Handover보다 더 많은 비용을 초래한다는 것을 알 수 있다. 이는 Mobile IPv6에서의 핸드오프 지연 시간이 Fast Handover보다 더 크기 때문이다. 비록 성급한 핸드오프 예측에 의해서 부가적인 패킷 손실이 발생할 수도 있지만 그러한 패킷 손실의 양은 Mobile IPv6의 핸드오프 지연 시간으로 인한 패킷 손실에 비해 무시할 수 있을 정도로 적은 양이다.

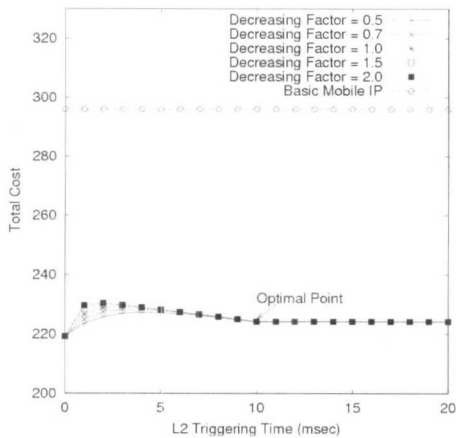


그림 7. 전체 비용 비교

그림 7은 Fast Handover와 Mobile IPv6에서의 전체 비용을 보여준다. 그림 7에서 볼 수 있듯이, 전체 비용이 최소가 되는 tL2의 값은 약 10ms이다. 즉, 전체 비용은 tL2가 tR과 같을 경우 전체 비용이 최소가 된다. 이러한 사실은 앞에서 정의한 비용 함수를 이용하여 이론적으로 증명 가능하다. 이는 부록 부분에서 자세히 다루게 된다. 따라서 정확한 핸드오프 예측과 최적화된 핸드오프 성능을 얻기 위해서는 tL2의 값을 tR에 가능한 가깝도록 조정하는 것이 필요하다.

2. 버퍼 요구량 분석

Fast Handover는 L2의 정보를 이용하여 이동 호스트가 곧 다른 셀로 이동을 할지 하지 않을지를 예측하게 된다. 예측 기간 동안의 패킷 손실을 막기 위해서 Fast Handover는 Mobile IPv6보다 더 긴 시간 동안 패킷 포워딩을 수행해야 한다. 본 장에서는 이러한 패킷 포워딩에 의한 Fast Handover와 Mobile IPv6의 버퍼 요구량을 분석하였다. 본 분석에서는 평균 패킷 크기를 200 바이트로 가정하였고

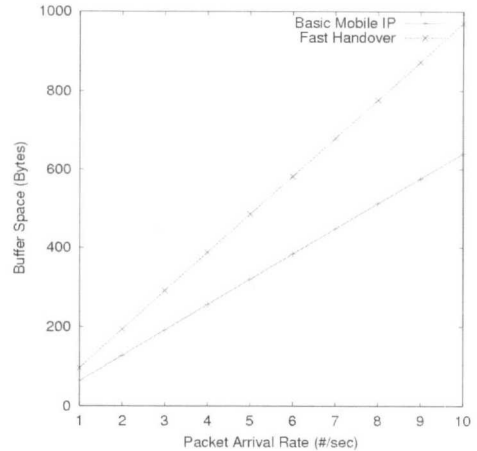


그림 8. 버퍼 요구량 비교

한 이동 호스트의 핸드오프 과정에서의 버퍼 공간을 계산하였다. 그림 8은 Fast Handover와 Mobile IPv6에서의 버퍼 요구량을 보여준다. 앞서 설명한 바와 같이 Fast Handover는 Mobile IPv6보다 더 일찍 포워딩을 시작하기 때문에 더 많은 버퍼를 요구하게 된다. 이러한 버퍼 요구량은 패킷 도착율에 비례하게 된다. 또한 버퍼 요구량은 핸드오프를 수행하는 이동 호스트의 수에 따라 증가하게 된다. 또한 버퍼링 시간은 실시간 응용 프로그램에서의 패킷의 정시 도착에 영향을 끼치게 된다. 예를 들어, 일부 패킷이 수용 가능한 중단간 지연 시간보다 더 긴 시간동안 버퍼에 저장되어 있다면 이러한 패킷은 의미 없는 것이 될 수도 있다. 따라서 최소한의 부가 비용 가지는 Fast Handover를 지원하고 보다 확장성있는 서비스를 제공하기 위해서는 이러한 포워딩 버퍼를 효과적으로 관리하는 것이 필요하다.

V. 결 론

IP 기반의 무선망에서 핸드오프 지연 시간을 줄이는 것은 중요한 이슈 중의 하나이다. 기본 프로토콜에 비해서 Fast Handover는 핸드오프 지연 시간을 줄임으로서 보다 나은 핸드오프를 제공한다는 장점을 가진다. 하지만, 이를 위해서 Fast Handover는 부가적인 비용을 초래하기도 한다.

이전의 연구 결과와는 달리 본 논문에서는 Fast Handover와 관련된 부가 비용을 분석하여 Fast Handover와 Mobile IPv6의 성능을 비교, 분석하였다. 이를 위해 우선 전체 부가 비용을 시그널링 비

용과 패킷 전송 비용으로 구분하였고 이러한 비용을 Mobile IPv6와 Fast Handover 각각에 대해서 계산, 비교한 결과를 제시하였다. 첫번째 분석에서는 L2 트리거 시점에 따른 비용의 변화를 관찰하였는데, 그 결과 전체 비용은 tL2의 값이 tR 과 같아지는 경우에 최소가 된다는 것을 알 수 있었다. 이러한 요건을 만족시키기 위해서는 보다 정확한 L2 트리거 통보가 필요하다. 즉, 최적화된 핸드오프 성능을 얻기 위해서는 하위 계층에서의 적합한 지원이 필수적이다. 패킷 포워딩을 위해서 필요한 버퍼 요구량의 경우 효과적인 버퍼 관리 기법과 최적화된 패킷 포워딩 시점을 결정하는 것이 버퍼 관리 비용을 최소화하고 실시간 응용 프로그램을 지원하기 위해서 필요하다.

본 논문에서 제시된 분석 결과는 L2 트리거를 위한 신호 한계치의 값을 결정하고 효과적인 버퍼 관리 기법을 설계하는데 폭넓게 활용될 수 있을 것이다. 논문 [9]에서는 에뮬레이션 시스템을 이용하여 측정된 Fast Handover의 성능을 보여준다. 측정 결과는 본 논문에서 설명된 바와 같이 핸드오프의 성능은 L2 트리거의 시점에 큰 영향을 받는다는 것을 보여준다. 추후 연구에서 우리는 ns-2 시뮬레이터 [10]를 이용하여 본 논문에서 설명된 분석적 결과를 시뮬레이션으로 검증하는 작업을 수행할 것이다.

참 고 문 헌

[1] R. Koodli, "Fast Handover for Mobile IPv6," Internet draft (Work in progress), March 2003.
 [2] E. Gnustafsson, A. Jonsson, and C. Perkins, "Mobile IP Regional Registration," Internet draft (Work in progress), March 2000.
 [3] H. Soliman, C. Castelluccia, K. Malki, and L. bellier, "Hierarchical Mobile IPv6 Mobility Management (HMIPv6)," Internet draft (Work in progress), July 2000.
 [4] R. Koodli and C. Perkins, "Fast Handovers and Context Transfers in Mobile Networks," ACM Computer Communication Review, 31(5), October 2001.
 [5] X. Costa, R. Schmits, H. Hartenstein, and M. Liebsch, "A MIPv6, FMIPv6 and HMIPv6 Handover Latency Study: Analytic Approach," Proc. IST Mobile & Wireless Telecommunications Submit, June 2002.

[6] N. Fikouras, K. Malki, and S. Cvetkovic, "Performance Analysis of Mobile IP Handoffs," Proc. APMC 1999, Dec. 1999.
 [7] C. Blondia, O. Casals, L. Cerda, N. Wijngaert, G. Willems, and P. Cleyn, "Performance Comparison of Low Latency Mobile IP Schemes," Proc. WiOpt 2003, March 2003.
 [8] J. Xie and I. Akyildiz, "A Novel Distributed Dynamic Location Management Scheme to Minimizing Signaling Costs in Mobile IP," IEEE Trans. Mobile Computing, 1(3), July 2002.
 [9] J. Kempf, J. Wood, and F. Guangrui, "Fast Mobile IPv6 Handover Packet Loss Performance," Proc. IEEE WCNC 2003, May 2003.
 [10] The Network Simulator: ns-2, <http://www.isi.edu/nsnam/ns>.

부록: 최적 트리거 시점의 증명

전체 비용을 최소화시키는 최적의 L2 트리거 시점을 찾기 위해서 아래와 같이 식 (1)의 전체 비용에 대한 식을 tL2에 대한 함수로 정의하자.

$$C_{total}(t_{L2}) = \alpha M_s P_s + \beta M_f P_f + \gamma M_n + \delta \lambda_p (t_L + t_I + t_{BU} + t_{New}) + \epsilon \lambda_p \max\{(t_R - t_{L2}), 0\} \quad (7)$$

1) 0 < tL2 < tR

위의 Ctotal(tL2)를 tL2에 대해서 미분하고 그 식을 0으로 두면 아래와 같은 식을 얻게 된다.

$$C'_{total}(t_{L2}) = -\tau \alpha M_s e^{-\tau t_{L2}} + \tau \beta M_f e^{-\tau t_{L2}} - \epsilon \lambda_p = 0 \quad (8)$$

그러면 위 식의 해는 다음과 같이 표현된다.

$$t^*_{L2} = \frac{\ln(\tau \beta M_f) - \ln(\tau \alpha M_s) - \ln(\epsilon \lambda_p)}{\tau} \quad (9)$$

즉, tL2의 값이 위의 식의 해보다 작다면 Ctotal'(tL2)는 0보다 크고, tL2가 해보다 크다면 Ctotal'(tL2)는 0보다 작다. 즉, 전체 비용은 [0, tR]

구간에서 t_{L2} 가 t_{R} 와 같을 때 최대가 되고 t_{L2} 가 t_{R} 에 접근할 때 최소가 된다. 이는 $C_{total}(0)$ 이

$\lim_{t_{L2} \rightarrow t_R} C_{total}(t_{L2})$ 보다 크기 때문이다.

2) $t_{L2} > t_R$

t_{L2} 가 t_R 보다 큰 경우에 $C_{total}(t_{L2})$ 를 t_{L2} 에 대해서 미분하면 아래의 식을 얻게 된다.

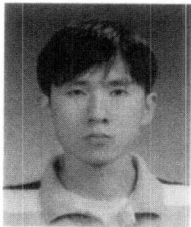
$$C'_{total}(t_{L2}) = -\tau\alpha M_s e^{-\tau t_{L2}} + \tau\beta M_f e^{-\tau t_{L2}} \quad (10)$$

앞서 설명한 바와 같이 M_f 와 β 는 각각 L2 트리거에 의한 핸드오프 예측이 실패한 경우의 비용과 그에 대한 기중치값이므로 M_s 와 α 보다 항상 큰 값을 가지게 된다. 따라서, $[t_R, \infty]$ 구간에서, $C'_{total}(t_{L2})$ 는 항상 0보다 크다. 따라서 $C_{total}(t_{L2})$ 는 이 구간에서 증가함수이고, 전체 비용은 t_{L2} 가 t_R 과 같을 때 최소가 된다.

결론적으로 전체 비용은 t_{L2} 가 t_R 과 같을 때 최소가 된다. (여기서 $C_{total}(t_{L2})$ 는 연속 함수이다.)

백 상 현 (Sangheon Pack)

준회원



2000년 2월 : 서울대학교
전기컴퓨터공학과 졸업
2002년 2월 : 서울대학교
전기컴퓨터공학과 석사
2002년 3월~현재 : 서울대학교
전기컴퓨터공학과 박사과정

<관심분야> 이동 인터넷, 이동성 지원, 무선 QoS

최 양 희 (Yanghee Choi)

정회원



1975년 2월 : 서울대학교
전자공학과 졸업
1977년 2월: 한국과학기술원
석사
1984년 : ENST 전산학 박사
1991년 ~현재 : 서울대학교
전기컴퓨터공학과 교수

<관심분야> 유무선 인터넷, IPv6, 멀티미디어 통신