

## HMIPv6 환경에서의 동적 페이징 향상 기법

이선영<sup>0</sup> 최종원  
숙명여자대학교 컴퓨터과학과 대학원  
{sylee<sup>0</sup>, choejn}@sookmyung.ac.kr

### A Dynamic Paging Enhancement Mechanism for Hierarchical Mobile IPv6

Sunyoung Lee<sup>0</sup> Jongwon Choe  
Dept. of Computer Science, Sookmyung Women's University

#### 요 약

인터넷의 급격한 성장으로 인해 무선 네트워크에서의 인터넷 서비스 수요가 급증하고 있다. 이에 따라 시그널링 비용의 증가와 핸드오프 지연이 네트워크의 부하를 비롯, 통신 품질 저하 등의 문제점들을 야기했고, 이를 해결하기 위해 HMIPv6(Hierarchical Mobile IPv6)와 IP 페이징 기법들이 제안되고 있다. 본 논문에서는 HMIPv6 환경에서 이동노드의 특성을 고려하여 각각의 이동노드에게 적합한 MAP 도메인과 페이징 영역을 동시에 설정하는 기법(Adaptive Dynamic scheme)을 제안하며, 이때 PAMAP(Paging Agent MAP)이라는 새로운 개념을 제시한다. 이를 통해 동적 페이징에서의 불필요한 시그널링 비용을 줄임으로써 전체 네트워크의 부하를 줄여, 궁극적으로 통신 품질의 향상을 기대할 수 있다.

#### 1. 서 론

무선 네트워크에서의 인터넷 수요의 급격한 성장은 Mobile IP의 발전을 야기했다. 이에 따라 IETF는 주소 부족 문제나 서비스의 질 향상을 위한 Mobile IPv6[4]를 비롯하여 핸드오프 지연, 패킷 손실과 시그널링 비용의 감소를 가져올 수 있는 이동노드의 마이크로 이동성을 고려한 HMIPv6(Hierarchical Mobile IPv6)를 제안하였다[5].

HMIPv6에서는 MAP(Mobile Anchor Point)이라는 새로운 개념을 제시하여, MAP domain 내부에서 이루어지는 모든 위치등록의 절차를 MAP이 관리하도록 하고, 외부 네트워크에게는 알리지 않도록 하여 네트워크의 부하를 줄일 수 있다. 따라서 HMIPv6에서는 어떤 MAP을 선택할 것인가가 매우 중요하고, 현재 이와 관련된 여러 가지 방식들이 논의되고 있다[1].

그러나 HMIPv6는 이동노드의 마이크로 이동성을 고려하여 전체 네트워크의 부하를 어느 정도 줄였으나, 이동노드의 대부분을 차지하는 dormant 상태의 이동노드들에 대해서까지 불필요한 위치등록으로 인한 시그널링 비용을 발생시킨다. 따라서 이러한 비효율적인 동작을 해결하기 위해 페이징 기법이 제안되었다[3,6].

페이징 기법에서는 페이징 영역을 설정하고, 이 영역 내에서 움직이는 dormant 상태의 이동노드에 대해서는 네트워크에게 알리지 않는다. 대신, active 상태로 전환되면 네트워크에게 알리는 방식이다. 이 기법에서는 페이징 영역에 따라서 네트워크의 트래픽이 달라지게 되므로, 페이징 영역을 정하는 방식은 매우 중요하고, 이와 관련된 여러 가지 방식들이 현재 논의되고 있다[3,6,8,9].

따라서 본 논문에서는 HMIPv6 환경에서 가장 효율적으로 알려진 동적 MAP 선택 방식[1]과 동적 페이징 방식[3]을 조합하여, 시그널링 비용을 줄임으로써 전체 네트워크의 부하를 줄여 통신 품질을 향상시킬 수 있는 방식을 제안한다.

본문의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 HMIPv6와 HMIPv6 환경에서의 IP 페이징 기법을 소개한다. 3절에서는 본 논문의 제안 기법인 Adaptive Dynamic Scheme에서의 동적 페이징 향상 기법을 소개한다. 그리고 기존의 방식들(Simple Dynamic Scheme, 정적 MAP 선택 방식)과 새로 제안된 방식들(Adaptive Dynamic Scheme, 동적 MAP 선택 방식)에서의 동적 페이징 비용을 비교하여 본 논문에서 제안한 Adaptive Dynamic Scheme에서의 동적 페이징이 보다 효율적임을 보인다. 마지막으로 4절에서는 결론을 내리고, 향후 계획을 밝힌다.

#### 2. 관련 연구

##### 2.1. HMIPv6

HMIPv6[5]에서는 MIPv6에서 발생하는 핸드오프를 효율적으로 관리하기 위해 MAP을 도입하여 이동 노드의 마이크로 이동성을 보장한다.

이동노드는 AC(Access Router)에서 주기적으로 제공하는 RA(Router Advertisement) 메시지를 받음으로써 이동노드가 속해 있는 현재 MAP에 대한 정보를 제공 받는다. 이 과정을 통해 네트워크는 이동노드가 속해 있는 MAP 도메인의 변화 유무를 확인할 수 있다. 즉, 이동노드의 MAP 도메인이 변경되었을 경우, 이동노드는 자신의 현재 주소인 LCoA(on-link CoA)를 새로운 MAP에게, 이 MAP은 자신의 주소 RCoA(Regional CoA)를 HA(Home Agent, 홈 에이전트)와 CN(Correspondent node, 상대노드)에게 바인딩 업데이트를 수행한다. 반면, 이동노드의 MAP 도메인이 변경되지 않았을 경우, 이동노드는 자신의 위치인 LCoA를 MAP에게만 바인딩 업데이트를 수행한다. 한편, MAP은 로컬 HA로서 이동노드로 전달되는 데이터를 버퍼링 하고 있다가 위치 업데이트가 끝난 후, 데이터를 이동노드로 전달한다.

## 2.2. HMIPv6 환경에서의 IP 페이징 기법

네트워크에 존재하는 이동노드의 대부분은 데이터를 주고 받지 않는 상태로 움직임에 따라서 불필요한 위치등록과정을 수행한다[10]. 이 과정은 네트워크의 부하를 유발할 뿐만 아니라, 이동노드의 전력 소모를 초래한다. 따라서 이러한 이동노드(dormant mobile node)에 대한 관리가 필요하여 페이징 기법이 도입되었다[6].

페이징 기법이란 dormant 상태의 이동노드가 페이징 영역(Paging Area)이라고 불리는 영역 안에서 이동할 경우, 새로운 지점으로 이동하였음을 네트워크에게 알리지 않는 방법이다. 특히, HMIPv6 환경에서 이 페이징 기법을 적용했을 때 더 효과적이다[8,9].

HMIPv6 환경에서 적용된 페이징 기법에서는 MAP이 MIPv6 환경에서의 HA를 대신하여 소규모 네트워크(MAP domain)의 HA의 역할을 한다. 즉, dormant 상태의 이동노드는 페이징 영역이 변경되었을 때와 active 상태로 변경되었을 때에만 MAP domain에서 HA의 역할을 하는 MAP에게 위치 업데이트를 한다. 또한, CN이 dormant 상태의 이동노드에게 패킷을 보낼 경우, MAP은 이 패킷을 버퍼링하고 이동노드의 위치를 파악하기 위해 페이징 영역을 관할하는 PA(Paging Agent)에게 페이징 요청 메시지를 보낸다. 이 PA 통해 메시지를 받은 이동노드는 업데이트 메시지를 MAP에 보내고, active 상태로 전환한다. 그 이후, 비로서 MAP은 버퍼링 해놓은 패킷을 이동노드에게 전달하고, 이동노드와 CN의 통신이 가능해진다.

## 3. Adaptive Dynamic Scheme에서의 동적 페이징 향상 기법

### 3.1. 개요

페이징 기법이나 HMIPv6는 무선 네트워크 환경에서 통신 품질의 향상을 위해 제안된 기법들이다. 그리고 두 방식 모두 페이징 영역이나 MAP 도메인을 정하는 방식에 따라 크게 정적인 방식과 동적인 방식으로 분류된다. 특히, 두 방식 중에서 동적인 방식은 정적인 방식보다 효율적인 것으로 알려졌다[1,3]. 또한, 페이징 기법은 HMIPv6 환경에서 비용 효과적이어서 현재 두 방식을 조합하는 연구가 활발히 진행되고 있다[8,9]. 따라서 본 논문에서는 효율적으로 알려진 동적 페이징 기법과 동적 MAP 선택 방식을 HMIPv6 환경에 적절히 적용하여 페이징을 향상시키는 방법을 제안한다. 특히, 본 논문에서는 페이징 내부 동작을 향상시키는 방식에만 중점을 두도록 한다.

### 3.2. 동작

본 논문에서 우리는 PAMAP(Paging Agent MAP)이라는 개념을 새로이 도입하여, 이 PAMAP이 PA와 MAP의 역할을 모두 수행하도록 한다.

이동노드의 동작은 active인 상태에서는 HMIPv6 환경에서와 같다. 그러나 이동노드가 dormant 상태로 전환할 때, 이동노드는 자신과 통신하는 패킷의 비율, 위치등록 비용, 거리 등 이동노드의 특성을 고려하여 이동노드 각각에게 적합한 영역을 계산하고, 이를 PAMAP 도메인이라 부른다. 그리고 그 PAMAP 도메인의 중앙에 위치한 BS(Base Station)이 PAMAP의 역할을 한다. 이때 이동노드는 자신의 상태가 dormant임을 PAMAP에게 알린다. 한편, CN이 dormant 상태인 이동노드에게 패킷을 전달하고자 할 때, PAMAP은 이 패킷을 버퍼링해 두고, PAMAP 도메인 내부에 있는 모든 라우터들에게 페이징 요청 메시지를 멀티캐스트로 보낸다. 그러면 이 메시지를 받은 이동노드는 자신의 위치를 업데이트 하기 위해 PAMAP에게 메시지를 보내고,

active 상태로 전환한다. 이후, 이동노드로부터 업데이트 메시지를 받은 PAMAP은 버퍼링 해놓은 패킷을 이동노드로 전달하고, 이동노드는 CN과의 통신을 시작한다.

### 3.3. 성능평가

제안한 기법을 평가하기 위해 이 섹션에서는 두 가지 기법의 성능을 비교를 한다. 첫째, 동적 MAP 선택 방식과 정적 MAP 선택 방식에서의 동적 페이징 비용의 비교를 통해, 동적 MAP 선택 방식에서 동적 페이징 동작이 더 효율적임을 보인다. 둘째, 기존의 동적 MAP 선택 방식과 동적 페이징의 조합 기법(Simple Dynamic scheme)에서의 동적 페이징과 본 논문에서 제안한 기법(Adaptive Dynamic scheme)에서의 동적 페이징의 비용 비교를 통해, 제안한 기법이 더 우수함을 보인다.

본 논문에서 사용하는 용어를 다음과 같이 정의한다.

- $Ric$ : 이동노드의 패킷 전달 비율(calls/sec)
- $NM$ : 하나의 MAP이 관리하는 서브넷의 수
- $NW$ : 네트워크에 존재하는 모든 서브넷의 수
- $MDC$ : 동적 MAP 선택 방식의 MAP 결정 비용
- $DOC$ : 정적 MAP 선택 방식의 MAP 결정 비용
- $U_K$ : 페이징 영역  $K$ 에 대한 이동노드의 위치 업데이트 비용
- $C_{Global}$ : 이동노드의 글로벌 위치 업데이트 비용
- $C_{Paging}$ : 페이징 비용(bytes/paging/cell)
- $C_{Update}$ : 위치 업데이트 비용(bytes/paging/cell)
- $\alpha$ : 라우터들 사이에서의 페이징 요청 무게 상수
- $\beta$ : 무선상에서의 페이징 요청 무게 상수
- $D_{MN,PA}$ : 이동노드와 PA 사이의 거리
- $D_{MN,MAP}$ : 이동노드와 MAP 사이의 거리
- $D_{PA,MAP}$ : PA와 MAP 사이의 거리
- $D_{MN,PAMAP}$ : 이동노드와 PAMAP 사이의 거리

첫 번째 비교를 위해 다음과 같은 식들을 정의한다. 정적 MAP 선택 방식(1)과 동적 MAP 선택 방식(2)에서의 MAP 도메인을 벗어날 확률은 [2,7]에 의해서 다음과 같다.

$$E(M) = 1 + \frac{NW-1}{NW-NM}, P_{GS} = \frac{1}{E(M)}, P_{LS} = \frac{E(M)-1}{E(M)} \quad (1)$$

$$E(M) = 1 + (NW-1) \sum_{i=1}^{NM} \frac{1}{NW-i}, P_{GD} = \frac{1}{E(M)}, P_{LD} = \frac{E(M)-1}{E(M)} \quad (2)$$

또한, 최적의 페이징( $K_{opt}$ ) 영역은 [3]에 의해 다음과 같다.

$$K_{opt} = \begin{cases} 1; & \text{if } \delta(2, Ric, U, 1, D_{MN,MAP}) > 0 \\ \max(K: 3K(K-1)^2 \leq U(1/2 D_{MN,MAP} + 1/2) Ric); & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

(3)에서 구한 최적 영역을 바탕으로 페이징 요청 비용과 위치 업데이트 비용은 [3]에 의해서 다음과 같다.

$$C_{Paging} = \alpha(\alpha + \beta)K(K-1)C$$

$$C_{Update} = Ric(\alpha(D_{MN,PA} + 2D_{MN,MAP}) + 3\beta)C + 2U(\alpha D_{MN,MAP} + \beta)C/K \quad (4)$$

위에서 구한 식들을 바탕으로 정적 MAP 선택 방식 동적 MAP 선택 방식에서의 동적 페이징 비용을 다음과 같이 구할 수 있다.

$$Cost_{STATIC} = P_{GS}(C_{Global} + DOC) + P_{LS}(C_{Paging} + C_{Update})$$

$$Cost_{DYNAMIC} = P_{GD}(C_{Global} + MDC) + P_{LD}(C_{Paging} + C_{Update}) \quad (5)$$

한편, 두 번째 비교를 위해 (4)에서 구한 식들을 수정한다. 이 비교에서는 페이징 내부 동작만을 생각하도록 한다. 특히, 기존의 식에서 고려하지 않던 MAP에서 PA까지의 페이징 요청 동작을 고려한다. 또한, 최적의 PAMAP 도메인은 (3)과 같은 방식으로 구하도록 한다. 이에 따라 기존의 동적 MAP 선택 방식과 동적 페이징의 조합 기법(Simple Dynamic scheme)에서

의 동적 페이징 요청 비용과 위치 업데이트 비용은 다음과 같다.

$$C_{Paging} = (3(\alpha + \beta)K(K - 1) + \alpha D_{PA,MAP} + 3\beta)C$$

$$C_{Update} = Ric(\alpha(D_{MN,PA} + 2D_{MN,MAP}) + 3\beta)C * P_{LD} \quad (6)$$

그리고 MAP과 PA의 역할을 동시에 수행하는 PAMAP을 고려하여 (4)를 수정하면, 제안한 기법(Adaptive Dynamic scheme)에서의 동적 페이징 요청 비용과 위치 업데이트 비용을 다음과 같이 구할 수 있다.

$$C_{Paging} = (3(\alpha + \beta)K(K - 1))C$$

$$C_{Update} = Ric(\alpha(D_{MN,PAMAP} + 3\beta)C * P_{LD} \quad (7)$$

따라서 총 페이징 비용은 다음과 같다.

$$C_{Total} = C_{Paging} + C_{Update} \quad (8)$$

### 3.4. 결과분석

이 섹션에서는 위에서 구한 식을 바탕으로 얻은 실험 결과를 보여준다.

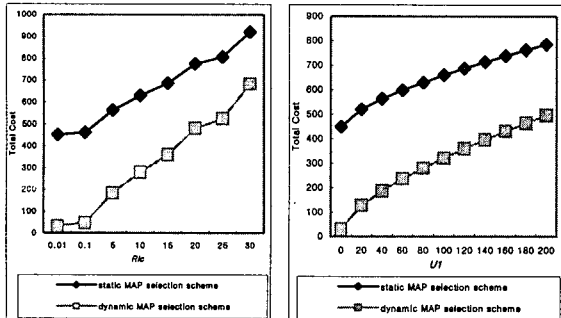


그림 1. 이동 노드의 특성과 MAP 따른 동적 페이징 비용 변화

그림 1은 MAP 선택 방식에 따른 동적 페이징 비용을 이동 노드의 특성( $Ric, Ut$ )에 따라서 보여준다. 그림에서 보여주듯, 페이징 비용은 모든 이동노드에게 동일하게 적용되는 정적 MAP 선택방식에서 보다 이동노드의 특성을 고려한 동적 MAP 선택 방식에서 훨씬 적게 든다. 이를 통해 동적 페이징은 정적 MAP 선택 방식 보다는 동적 MAP 선택 방식에서 더 효과적으로 작동하는 것을 알 수 있다.

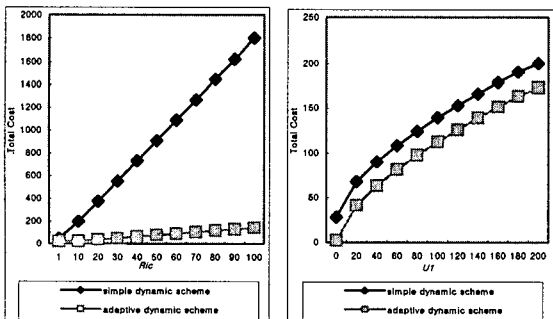


그림 2. 이동 노드의 특성에 따른 동적 페이징 비용 변화

위의 실험으로 얻은 결과를 통해, 동적 페이징과 동적 MAP 선택 방식의 조합과 관련된 실험을 수행한다. 그림 2는 동적 MAP 선택 방식과 동적 페이징의 조합 방식에 따른 페이징 비용

변화를 이동 노드의 특성( $Ric, Ut$ )에 따라 보여준다. 실험 결과에서 알 수 있듯이 MAP과 PA 사이에서의 동작으로 발생한 트래픽으로 인해, Simple Dynamic scheme에서의 동적 페이징이 본 논문에서 제안한 기법인 Adaptive Dynamic scheme에서의 동적 페이징에 비해 비용이 많이 드는 것을 알 수 있다. 즉, Adaptive Dynamic scheme에서는 MAP과 PA 사이의 불필요한 동작을 줄이기 위해 PAMAP 개념을 새로이 도입하여, Simple Dynamic scheme에서 보다 훨씬 더 효과적인 페이징 효과를 얻을 수 있다.

### 4. 결론 및 향후 계획

본 논문에서는 HMIPv6 환경에서 비용 효과적으로 알려진 동적 MAP 선택방식에서 동적 페이징 기법의 새 매커니즘을 제안한다. 이 기법에서는 MAP 선택과 PA 선택에 동일 방식을 적용한 PAMAP이 MAP과 PA의 역할을 동시에 수행 하도록 하여, MAP과 PA 사이의 동작으로 발생하는 불필요한 비용을 줄였다. 특히, 실험에서는 이동노드 하나만을 고려한데 비해 실제환경에서는 이동노드의 대부분이 dormant 상태이고[10], 기하급수적으로 늘어나는 이동 통신 가입자가 존재하는 것을 고려한다면 본 논문에서 제안한 기법으로 훨씬 더 많은 트래픽을 줄일 수 있고, 결과적으로 통신 품질의 향상을 가져올 수 있을 것으로 기대된다.

향후, 본 연구는 시뮬레이터를 통해 좀 더 신뢰성있는 연구가 필요하다. 또한 내부 페이징 동작에만 중점을 둔 본 논문을 발전시켜, 네트워크 전체를 고려한 페이징 영역 외부와의 관련연구가 필요하다.

### 5. 참고문헌

- [1] Sangheon Pack, Taekyoung Kwon and Yanghee Choi, " A Comparative Study of Mobility Anchor Point Selection Schemes in Hierarchical Mobile IPv6 Networks," MobiWac 2004, Oct. 2004
- [2] Jiang Xie and Ian F.Akyildiz, " A Novel Distributed Dynamic Location Management Scheme for Minimizing Signaling Costs in Mobile IP," IEEE TRANSACTIONS ON MOBILE COMPUTING, VOL.1, NO.3, Jul. 2002
- [3] Claude Castelluccia, " Extending Mobile IP with Adaptive Individual Paging: A Performance Analysis," ACM SIGMOBILE Mobile COMPUTING and COMMUNICATIONS Review, Volume5, Issue2, Apr. 2001
- [4] David B. Johnson, Charles Perkins, " Mobility Support in IPv6," internet draft, June 2004
- [5] Hesham Soliman, Claude Castelluccia, Karim El-Malki and Ludovic Bellier, " Hierarchical Mobile IPv6 mobility management(HMIPv6)," Internet draft, June 2003
- [6] Xiaowei Zhang, Javier Gomez Castellanos, Andrew T. Campbell, " P-MIP: paging extensions for mobile IP," Mobile Networks and Applications, Volume 7, Issue 2, April 2002
- [7] Jin Lee, Yujin Lim and Jongwon Choe, " How to Determine MAP Domain Size Using Node Mobility Pattern in HMIPv6," ICOIN, 2005
- [8] B. Sarikaya, Xiaofeng Xu and Vinod Kumar Choyi, " Mobile IPv6 Hierarchical Paging," Internet Draft, Jul. 2001
- [9] 이준성, 인재홍, " 효율적인 페이징 관리를 위한 동적 페이징 영역 설정 기법," 한국 해양 정보통신학회, 춘계종합학술대회지, 제 6권, 제1호,2002
- [10] A.Campbell, J.Gomes, C.-Y.Wan, Z.Turanyi and A.Valko, " Cellular IP," Internet draft, January 2001