



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

碩士學位論文

핸드오버 기법의 성능평가에
관한 연구



濟州大學校 大學院

電算統計學科

任 鎔 浩

2006年 12月

핸드오버기법의 성능평가에 관한 연구

指導教授 朴 景 麟

任 鎔 浩

이 論文을 理學 碩士學位 論文으로 提出함

2006年 12月

任鎔浩의 理學 碩士學位 論文을 認准함

審査委員長 _____ (印)

委 員 _____ (印)

委 員 _____ (印)

濟州大學校 大學院

2006年 12月

A Study on the Performance Evaluation of Handover Scheme

Yong-Ho Lim

(Supervised by professor Gyung-Leen Park)

A thesis submitted in partial fulfillment of the requirement
for the degree of Master of Science

Department of Computer Science and Statistics

Graduate School

Cheju National University

December 2006

목 차

List of Figures	III
List of Tables	IV
Abstract	V
I. 서 론	1
II. 관련연구 및 배경	4
1. 주소구성방법	4
1) Stateless Address Autoconfiguration	4
2) Neighbor Discovery	6
3) DAD (Duplicate Address Detection)	7
2. 모바일 IPv6 (MIPv6 : Mobile IPv6)	9
3. 계층적 모바일 IPv6 (HMIPv6 : Hierarchical Mobile IPv6)	12
1) HMIPv6의 개요 및 구조	12
2) HMIPv6 메시지와 동작과정	15
3) MAP Discovery	20
4. MAP 선택의 필요성	22
5. 기존의 MAP 선택 기법	23
1) 거리를 기반으로 한 MAP 선택 기법	23
2) 모바일 노드의 속도를 기반으로 한 MAP 선택 기법	24
3) 네트워크 토폴로지(Topology)를 기반으로 한 MAP 선택 기법	25
4) 적응적 MAP 선택 기법	26

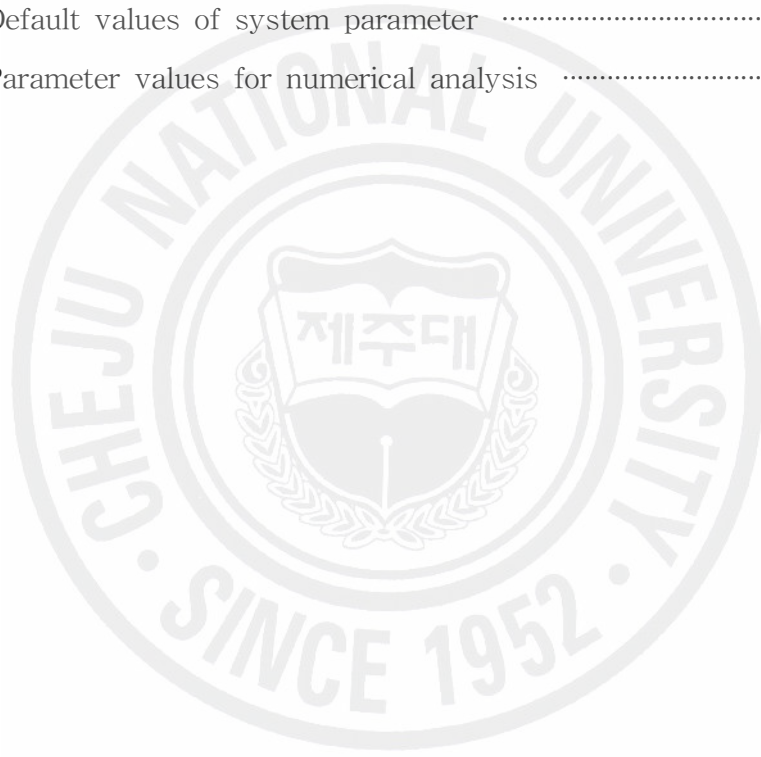
Ⅲ. 제안기법	27
1. 개요	27
1) 분산 다계층 HMIPv6 네트워크 단순화 모형	27
2) Handover 지연시간	29
3) 등록 지연시간	30
2. HMIPv6 메시지 헤더 크기 및 파라미터 정의	31
1) IP 터널링 헤더	31
2) 등록 메시지 헤더	32
3) IPv6 패킷 헤더	34
4) 분석적 모델을 위한 파라미터 정의	35
3. 분석적 모델	36
1) Handover 비용	37
2) 패킷전달비용	43
Ⅳ. 성능평가	45
1. 성능평가 시나리오	45
2. MAP 레벨에 따른 핸드오버 비용과 패킷전달 비용	47
1) MAP 레벨에 따른 핸드오버 비용	47
2) MAP 레벨에 따른 패킷전달 비용	48
3. MAP 선택 시 고려해야할 요인 분석	49
1) 모바일노드의 속도	49
2) 데이터량	52
3) 패킷의 전송 성공 확률	53
4) DAD 시간	54
Ⅴ. 결론	55
Ⅵ. 참고문헌	56

List of Figures

Figure 1. Interface identifier	2
Figure 2. Link-local address	2
Figure 3. Router and network prefix discovery	6
Figure 4. DAD process	8
Figure 5. Mobile IPv6 architecture	9
Figure 6. Message signaling and packet delivery in MIPv6	10
Figure 7. HMIPv6 architecture	13
Figure 8. Local binding update message	15
Figure 9. MAP Option	15
Figure 10. Macro mobility operation in HMIPv6	17
Figure 11. Micro mobility operation in HMIPv6	17
Figure 12. HMIPv6 operation	18
Figure 13. MAP Discovery	20
Figure 14. Example of the Multi-Level Distributed HMIPv6	28
Figure 15. Handover Latency in MIPv6	29
Figure 16. Registration delay in HMIPv6	30
Figure 17. Unit handover latency	47
Figure 18. Unit packet delivery cost	48
Figure 19. Total cost comparison according to the MN's speed [1]	49
Figure 20. Total cost comparison according to the MN's speed [2]	50
Figure 21. The number of movement according to the MN's speed	51
Figure 22. Minimum cost MAP's level according to the MN's speed	52
Figure 23. Total cost comparison according to the size of transfer data	53
Figure 24. Minimum cost MAP's level according to the size of data	53
Figure 25. Total cost comparison according to the success probability of the BU message	53
Figure 26. Total cost comparison according to the DAD latency	54

List of Tables

Table 1. Default values of parameter in DAD test	7
Table 2. Exponential back-off mechanism parameters	11
Table 3. Standard MIPv6 handover latency	29
Table 4. The size of the tunneling header	31
Table 5. The size of the registration message header	32
Table 6. The size of the packet header	34
Table 7. Default values of system parameter	35
Table 8. Parameter values for numerical analysis	45



Abstract

Internet Engineering Task Force (IETF) has researched not only Mobile IP protocol supporting a Mobile Node's(MN's) mobility but also some protocols in order to reduce the handover latency. Fast Handover for Mobile IPv6 (FMIPv6) and Hierarchical Mobile IPv6 (HMIPv6) have already been standardized in IETF. FMIPv6 is efficiently reduced the handover latency by starting layer 3 handover before layer 2 handover is completed whenever the MN moves. HMIPv6 introduces the Mobility Anchor Point (MAP) which improves performance of the handover by reducing the amount of signalling between the MN, its Correspondent Nodes(CNs), and its Home Agent(HA). FMIPv6 should predict the MN's movement fast and correctly, while HMIPv6 should support effectively the MN's mobility and packet delivery services by selecting the MAP adequately.

This paper proposes an analytical model that calculates both the handover latency and the packet delivery cost based on the MN's speed and an amount of transmission packets. We can select the MAP minimizing the total cost by using the analytical model under various conditions. This paper presents the guideline when network designers is to select the optimal MAP.

I. 서론

휴대전화와 인터넷이 보급됨에 따라 PDA, 노트북 등 다양한 무선 디바이스들이 생겨나고 이를 활용하는 유저들 또한 급격하게 증가하였다. 이들 유저들은 기존의 서비스를 기반으로 무선/모바일 서비스의 다각화와 신규 서비스 창출, 기존 서비스의 향상 뿐 아니라 광대역, 고품질의 무선 인프라 및 네트워킹 기술에 대한 요구를 증대시켰다. 또한 언제 어디서나 원하는 정보를 얻을 수 있는 유비쿼터스 시대가 눈앞에 다가오면서 단말 간의 효율적인 정보 전달을 위한 네트워킹 기술은 점점 더 중요해 지고 있다.

시대적 요구변화에 발맞추어 IETF(Internet Engineering Task Force)에서는 다양한 통신 프로토콜의 제안과 기술 표준화에 앞장서 왔으며, 특히 IP 주소 공간의 부족 문제를 해결하기 위해 제안된 IPv6(RFC 2460)는 주소 공간이 확장과 효율적인 라우팅을 제공함으로써 모든 단말에 IP 주소를 할당하고 상호 네트워킹 할 수 있는 기반을 다졌다. 하지만, IPv6는 이동성이 고려되지 않아 사용자에게 무선/모바일 환경을 제공하지 못하는 단점이 있다. 이에 IETF의 mipv6 워킹그룹에서는 모바일 노드에 이동성을 제공하기 위한 모바일 IP(Mobile IPv6)(RFC 3775) 프로토콜을 제안하고 표준화하였다. 하지만, 모바일 IP(Mobile IPv6)는 또한 모바일 노드의 접속점이 바뀔 때 주소 생성과 연결 수립을 위한 지연시간이 존재해 실시간 서비스에 적합하지 못하다.

현재 핸드오버 지연시간을 단축시키고자 하는 많은 연구가 수행되고 있으며 모바일 IP를 확장한 빠른 핸드오버와 계층적 모바일 IPv6 프로토콜이 표준으로 채택되었다. 첫째, 모바일 IP를 위한 빠른 핸드오버(FMIPv6 : Fast Handover for Mobile IPv6)(RFC 4068)는 사용자의 이동을 미리 예측하고 이동전에 핸드오버를 수행함으로써 핸드오버 지연시간을 효율적으로 줄였다. 둘째, 계층적 모바일 IPv6(HMIPv6 : Hierarchical Mobile IPv6)(RFC 4140)에서는 MAP(Mobility Anchor Point)이라는 새로운 에이전트(Agent)를 도입하고 모바일 노드가 특정 지역 내에서 이동할 때, 홈 에이전트(HA : Home Agent)와 상대노드(CN :

Corresponding Node)에게 보내지는 등록 메시지를 하나로 줄임으로써 핸드오버 성능을 크게 향상시켰다.

FMIPv6 프로토콜에서 핸드오버 지연시간을 효과적으로 줄이기 위해서는 사용자의 이동을 얼마나 빨리, 정확하게 예측할 수 있느냐가 중요하고 HMIPv6 프로토콜에서는 MAP이 얼마나 모바일 노드의 이동성과 패킷전달 서비스를 효과적으로 제공하느냐가 핸드오버 성능향상에 결정적인 역할을 한다.

HMIPv6 프로토콜에서는 상대적으로 비용이 많이 드는 MAP 도메인간의 이동 확률을 줄이기 위하여 거리를 기반으로 가장 먼 MAP을 선택하는 방법을 제안했다. 하지만, 모든 모바일 노드가 먼 MAP을 선택하면 해당 MAP은 과도한 등록 시그널링과 패킷들로 인하여 과부하 뿐 아니라 패킷의 병목현상을 일으키고 이는 결과적으로 모바일 노드에게 적절한 서비스를 제공할 수 없다. 또한 가까운 MAP을 선택하는 것에 비해 모바일 노드와의 상대적 거리가 멀어져 패킷전송 시에 생기는 터널링의 길이가 길어진다. 따라서 전체 계층 구조상에서 모바일 노드에게 효과적인 이동성과 패킷전달 서비스를 제공해줄 수 있는 최적의 MAP을 선택하는 것은 궁극적으로 핸드오버의 성능을 향상시킨다. 현재까지 제안된 MAP 선택 기법으로는 거리를 기반으로 하는 방법과 모바일 노드의 속도에 따른 선택 방법, 토폴로지에 따른 선택 방법, 적응적 MAP 선택 기법 등이 있다.

본 논문은 분산 다계층 HMIPv6 네트워크 모형에서 모바일 노드의 속도와 세션에서의 통신량을 기반으로 모바일 노드의 등록비용과 패킷전달비용을 산출하는 분석적 모델을 제시하고 해당 모델을 통하여 최소의 비용을 가지는 MAP을 선택할 수 있는 방법을 제안한다. MAP 선택에서의 비용은 메모리(Memory)와 저장공간(Storage), 전력(power) 및 대역폭(bandwidth) 등 여러 가지 비용이 있지만 핸드오버의 성능 향상을 목적으로 하므로 모바일 노드(사용자) 측면에서 경험하는 시간적인 지연요소만을 산출한다. 각 모바일 노드는 비용산출식을 기반으로 계층구조상에 분산되어 있는 각 MAP들에 대한 전체 비용을 산출하고 Valid Life과 Preference 값이 유효할 때 전체 비용이 가장 적은 MAP을 선택한다. 성능평가를 통하여 각 모바일 노드는 각각의 속도와 통신량을 기반으로 다른 레벨에 위치한 MAP을 선택하는 것을 확인하였고 이는 특정 MAP으로 로드

가 집중되는 것을 방지할 뿐 아니라 각 모바일 노드의 특성에 맞게 최소비용으로 위치관리 및 패킷서비스를 받을 수 있다. 또한 각 변수들을 변화하면서 측정함으로써 각 변수가 MAP 선택과 핸드오프 성능 향상에 얼마나 영향을 미치는지를 알아보았다.

이 논문의 구성은 2장 관련연구로 MIPv6와 주소구성방식, HMIPv6, MAP의 필요성과 기존에 제안된 선택방법에 대하여 알아보고 3장에서는 분석적 모델을 위한 분산 다계층 HMIPv6 기본 모형을 제시하고 비용 산출을 위한 선행 작업으로 각 메시지의 데이터량과 변수들을 정의한 후 분석적 모델을 제안한다. 4장에서는 성능평가 모델을 통하여 성능평가를 수행하고 5장에서 결론을 맺는다.



II. 관련연구 및 배경

본 논문의 관련연구로 HMIPv6 네트워크에서 노드의 주소구성방법과 HMIPv6 프로토콜의 모체가 되는 MIPv6 프로토콜, HMIPv6 프로토콜, MAP 선택의 필요성, 기존에 제안된 MAP 선택 알고리즘에 대하여 설명한다.

1. 주소구성방법

모바일 IP를 지원하는 노드는 고정적인 주소가 아닌 각 위치에 적절한 주소를 자동구성 할 수 있어야 한다. 현재까지 제안된 방법을 살펴보면, 서버를 사용하여 주소를 동적으로 할당해 주는 DHCP(Dynamic Host Configuration Protocol) (RFC2131와 RFC 3315)방법과 단말에서 자체적으로 주소를 생성하여 할당하는 Stateless Address Autoconfiguration(RFC 2462)방법이 IETF에 의해 표준으로 채택되었다. 하지만 HMIPv6 에서는 Stateless Address Autoconfiguration 방법으로 RCoA (Regional Care-of Address) 와 LCoA (On-Link Care-of Address) 를 각각 생성하므로 이 논문에서는 Stateless 방법만을 고려한다.

1) Stateless Address Autoconfiguration (RFC 2462)

Stateless Address Autoconfiguration 은 별도의 서버를 두지 않고, 단말 스스로가 IP 주소를 생성하고 네트워크 내에서의 유일성을 확인한 후에 주소를 할당하는 방식으로 네트워크에 할당된 64 bit 프리픽스(Prefix)와 자신의 인터페이스 ID(Interface Identifier) 64 bit를 합하여 128 bit의 IPv6 주소를 자동적으로 생성하는 방식이다.

네트워크 프리픽스는 네트워크의 액세스 라우터(Access Router)에 의해 주기적으로 광고되는 라우터광고(RA : Router Advertisement) 메시지에 들어있으며

모바일 노드는 빠르게 RA 메시지를 받기 위해 라우터 요청(RS : Router Solicitation) 메시지를 보낼 수 있다. RA 메시지와 네트워크 프리픽스를 얻는 방법은 다음에 설명하겠다.

Interface ID 생성 방식은 인터페이스 종류에 따라 다르나 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 첫 번째 방법은 모바일 노드가 RNG(Random Number Generator)를 이용하여 랜덤하게 64bit 인터페이스 ID를 얻는 방법이고 두 번째는, 이더넷 MAC 주소를 가지고 64bit 인터페이스 ID를 만드는 방법이다. 일반적으로 이더넷(Ethernet) 인터페이스인 경우 IEEE EUI-64(Extended Unique Identifier- 64)를 이용하여 구성하고 EUI-64 포맷은 유일한 주소를 가지는 48bit MAC 주소에 나머지 16bit를 생성규칙에 의해 자동 생성하게 된다. (RFC 2373, RFC 3513)

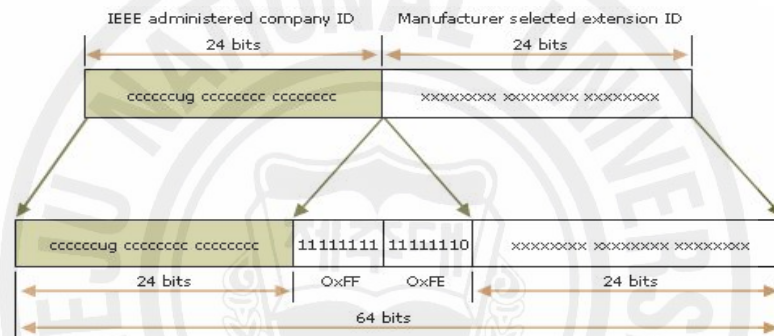


Figure 1. Interface identifier

<Figure 1>는 EUI-64 포맷에 따른 인터페이스 ID 구성방법이다.

모바일 노드는 위에서 구성된 인터페이스 ID에 64bit 링크로컬 프리픽스를 합하여 현재 링크에서만 사용 가능한 주소를 생성하고 이를 링크로컬 주소라고 한다.

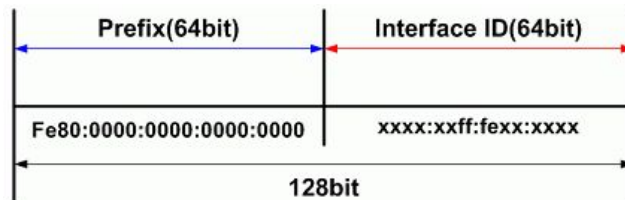


Figure 2. Link-local address

<Figure 2>은 링크로컬 주소 구성을 나타낸다.

이렇게 구성된 링크로컬 주소를 가지고 모바일 노드는 자신의 속해 있는 네트워크에 Neighbor Discovery 메시지를 이용한 주소중복검사(DAD : Duplicate Address Detection)를 수행하고 유일하다고 판단되면 네트워크 프리픽스 정보를 합하여 전역주소(Global Address)를 생성한다. HMIPv6에서는 RA 메시지에 들어 있는 네트워크 프리픽스를 가지고 LCoA를 생성하고 MAP 옵션 정보에 들어 있는 MAP 주소를 가지고 RCoA를 구성한다.

2) Neighbor Discovery (RFC 2461)

Neighbor Discovery는 크게 5개의 메시지와 관련 옵션으로 구성되나 여기서는 HMIPv6에서 주소구성에 필요한 라우터 정보 및 프리픽스 정보를 얻는 과정만을 설명한다. RA 메시지는 해당 네트워크의 프리픽스 정보와 해당 링크에서 전송 가능한 최대 패킷양(PMTU : Path Maximum Translate Unit), 라우터의 라이프타임(LifeTime), RA 메시지의 재전송시간(Retrans Timer) 등의 정보를 포함하며 해당 라우터에 의해 주기적으로 광고된다. RA 메시지의 광고주기는 해당 라우터에 의해 정해지며 재전송 시간(Retrans Timer) 필드에 들어있다.

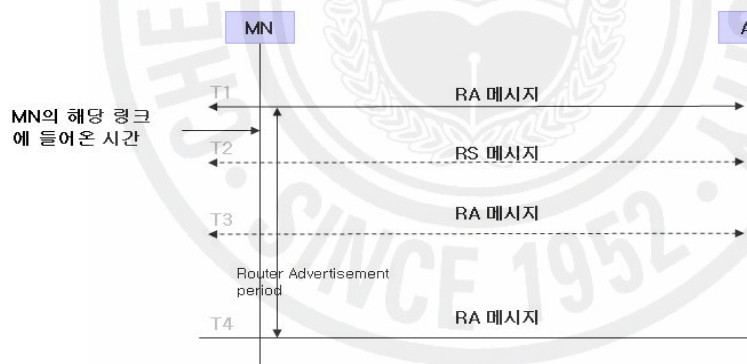


Figure 3. Router and network prefix discovery

<Figure 3> 라우터정보 및 프리픽스 정보를 얻는 과정을 보여준다. 모바일 노드가 새로운 네트워크로 이동하면 T4 시간에 주기적으로 광고되는 RA메시지를 받게 되고 프리픽스 옵션에 들어있는 네트워크의 프리픽스를 얻는다. 또한 모바일 노드는 좀 더 빠르게 라우터 정보 및 프리픽스 정보를 얻기 위해 T2 시간에 RS 메시지를 보낼 수 있다.

3) DAD (Duplicate Address Detection)

DAD는 주소의 중복을 검사하는 과정이다. 모바일 노드가 새로운 네트워크로 이동하게 되면 앞에서 설명한 과정을 통하여 주소를 생성한다. 하지만 IP망에서 주소구성 방법은 다양하며 모바일 노드에 의해 생성된 주소가 항상 유일하다고 단정지을 수 없으므로 모바일 노드는 생성된 주소가 유일한지에 대한 DAD과정이 필요하다.

DAD 수행과정은 주소를 생성한 후에 이 주소를 NS(Neighbor Solicitation) 메시지에 넣어서 해당링크에 있는 노드들에게 광고한다. 이 광고를 받은 이웃 노드들은 해당 주소와 자신의 주소가 같은지를 확인한 후에 같으면 NA(Neighbor Advertisement) 메시지를 보내어 주소가 중복되었음을 알린다. 주소가 중복되면 정상적인 통신이 이루어지지 않으므로 주소 중복 검사는 무선/모바일 네트워크에서 중요한 역할을 한다. 따라서 DAD를 위한 NS메시지는 한 번만 보내지는 것이 아니라 설정에 따라 여러 번에 걸쳐 보내지고 최종적으로 보내진 NS메시지로부터 일정시간(Retrans Timer)을 기다린 후에 NA 메시지를 받지 않으면 주소가 유일하다고 가정하고 이를 인터페이스에 할당한다. 만약 NA메시지를 받으면 주소가 중복되었으므로 새로운 주소를 구성하고 다시 DAD를 수행한다.

Table 1. Default values of parameters in DAD test

변수	설명	기본값
DupAddrDetect Transmits	NS 메시지의 전송횟수를 명시한다.	1
RETRANS_TIMER	NS 메시지의 전송간격을 의미하며 이 전송 간격 내에 NA 메시지를 받지 못하면 주소가 유일하다고 가정한다.	1000ms
Random delay	NS 메시지를 보내기 전에 기다리는 시간을 나타낸다.	0~MAX_RTR
MAX_RTR_SOLICITATION_DELAY	Random delay의 최대값을 나타낸다.	1s

<Table 1>은 DAD 수행을 위해 표준에 정의된 기본 설정 값을 나타낸다.

DAD시간은 모바일 IP 프로토콜에서 가장 큰 비중을 차지하고 있으며 이 시간을 줄이면 핸드오버 성능은 향상된다. 따라서 Y. Han 등(2003)은 AR에서 중복이 없는 주소를 할당받음으로써 DAD 시간을 없애는 Advance DAD 프로토콜을 제안한 바 있고 N. Moore(RFC 4429, 2006)는 DAD의 주소중복확률이 극히 작으므로 주소가 유효하다고 가정하여 사용하고 추후에 DAD를 수행하는 Optimistic DAD 프로토콜을 제안하였다.

HMIPv6에서 LCoA는 모바일 노드에 의해, RCoA는 MAP에 DAD를 검사한다.

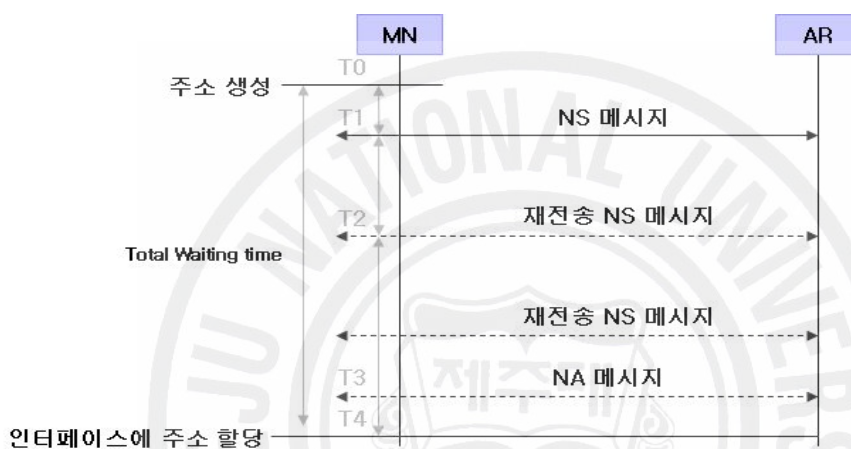


Figure 4. DAD process

<Figure 4>는 DAD과정을 나타내고 있다. 그림에서 $T1 - T0$ 시간은 임의 지연시간(Random delay)을 나타내고 최대 1초로 지정된다. $T2 - T1$ 시간은 재전송 시간을 나타내며 그림에서 총전송 횟수가 3회인 경우를 예를 들었다. 주소가 중복된 노드가 있으면 모바일 노드는 $T3$ 시간에 NA 메시지를 받게 되고, 없을 경우 $T4$ 시간에 인터페이스에 주소를 할당한다. 따라서 전체 DAD 수행에 걸린 시간은 $T4 - T0$ 시간이며 기본적으로 1초 이상이 걸린다.

2. 모바일 IPv6 (MIPv6 : Mobile IPv6)(RFC 3775)

IP 네트워크에서 모바일 노드가 통신 중에 다른 네트워크로 이동하게 되면 이전 주소를 이용하여 설립된 세션을 유지 할 수 없다. 하지만, 모바일 IP는 노드가 다른 네트워크로 이동하여도 계속적으로 연결성을 제공할 수 있도록 설계된 프로토콜로서 현재 MIPv4(RFC 3220, RFC 3344)와 이를 확장한 MIPv6가 표준으로 채택되었다. MIPv6는 MIPv4에서의 트라이앵글(Triangle) 문제를 해결하고 복잡한 등록절차와 추가적인 패킷들을 제거함으로써 모바일 노드가 다른 네트워크로 이동했을 때에도 효율적으로 연결을 유지할 수 있도록 해준다. 이를 위해 MIPv6에서는 Mobility 헤더와 여러 Mobility 옵션들을 포함하고 있다.

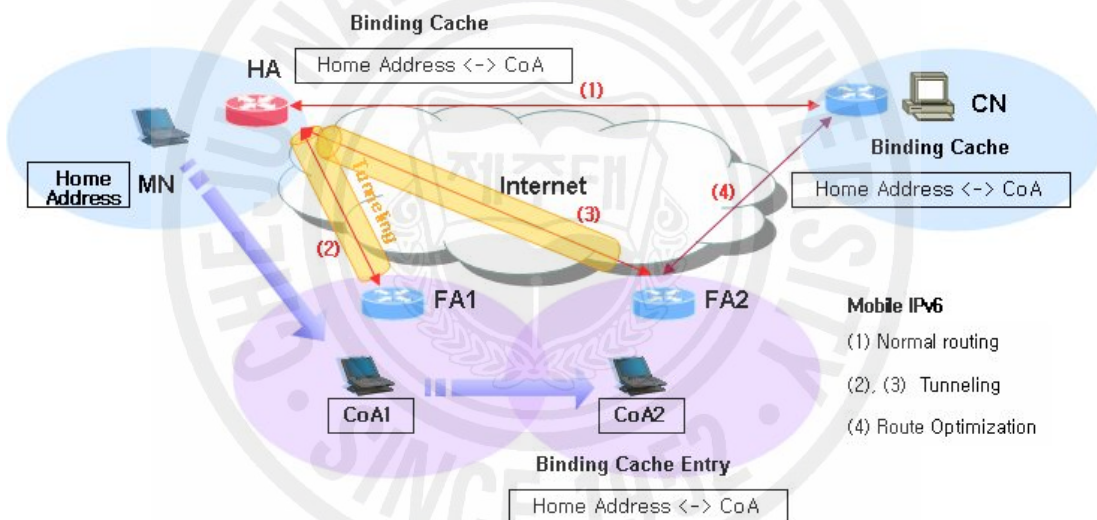


Figure 5. Mobile IPv6 architecture

<Figure 5>은 MIPv6의 구조를 나타낸다. MIPv6에서 연결성 유지의 핵심은 Home Address(HoA)와 Care-of Address(CoA)로 이루어진 이중 구조의 주소 체계에 있다. HoA는 홈 링크에서 모바일 노드로 할당된 IP 주소를 말하며 이 주소로 보내지는 패킷은 일반적인 인터넷 라우팅 매커니즘에 의해 모바일 노드의 홈 링크로 전달된다. CoA는 모바일 노드가 홈 네트워크 외부에서 이동할 때마다 생성되는 주소를 나타내고 주소 생성과정은 앞에서 언급한 바 있다.

모바일 노드가 홈 네트워크가 아닌 다른 네트워크로 이동하면 해당 주소에서 사용가능한 주소(CoA)를 얻고 바인딩 업데이트 메시지에(BU : Binding Update) CoA와 HoA를 삽입하여 홈 에이전트에게로 보낸다. 홈 에이전트는 이 메시지를 받으면 HoA에 대한 DAD를 수행한 후, 두 주소 간의 바인딩을 위한 캐쉬(Binding Cache)를 생성하고 이에 대한 응답(BU : Binding Acknowledgment)을 모바일 노드에게 보낸다. 위 과정을 등록(Registration)이라 하고 등록이 성공적으로 수행되면 홈 에이전트는 모바일 노드의 HoA로 향하는 모든 패킷을 프락시(Proxy)서비스를 이용하여 모바일 노드의 현재위치(CoA)로 터널링(Tunneling)함으로써 홈 네트워크가 아닌 이동한 네트워크에서도 계속적으로 통신이 가능하게 된다. 또한 MIPv6는 모바일 노드가 패킷의 소스주소를 HoA로 했을 때 생기는 내부 필터링(Ingress Filtering) 문제와 HoA 부재 시에 세션을 잃어버리는 문제 등을 Home Address 옵션을 이용함으로써 효과적으로 해결하였다.

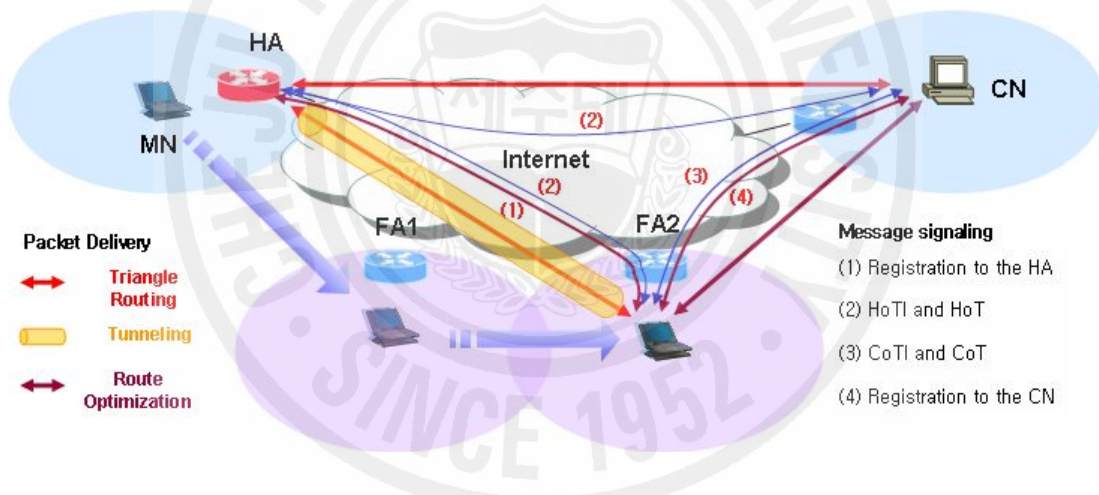


Figure 6. Message signaling and packet delivery in MIPv6

<Figure 6>는 MIPv6에서 각 메시지 시그널링의 흐름과 패킷전달 과정을 보여준다. 패킷 전달은 상대노드에서 홈 에이전트를 거쳐 모바일 노드의 현재 위치로 전달되는데 홈 에이전트와 모바일 노드의 거리가 멀게 되면 패킷을 전송하는데 있어 직접 통신하는 것보다 더 많은 비용이 들어간다. 이 문제를 트라이앵글 라우팅(Triangle Routing)이라하고 MIPv6에서는 이를 해결하기 위해 라우팅 최적화(Route Optimization)를 지원한다. 모바일 노드는 현재 위치에 대한 정보를

상대노드에게 등록함으로써 상대노드와 직접 통신이 가능한 라우팅 최적화를 수행할 수 있다. 상대노드의 등록과정은 바인딩 설립에 대한 권한을 부여하기 위한 RR 테스트(Return Routability Test)와 바인딩 설립과정으로 나뉜다. 만약, 그림에서 (1)만을 수행하면 패킷은 홈 에이전트를 걸쳐 라우팅되며 홈 에이전트와 모바일 노드 사이에는 터널링이 형성된다. 또한, (1)~(4)를 수행하게 되면 패킷은 상대노드와 모바일 노드 사이 최적화 경로를 이용하여 직접 전달된다.

Table 2. Exponential back-off mechanism parameters

변수	설명	기본값
INITIAL_BINDACK_TIMEOUT	재등록 시, 초기 BU메시지와 다음 BU메시지의 전송간격	1s
InintialBindackTimeoutFirstReg	처음 등록 시, 초기 BU메시지와 다음 BU메시지의 전송간격	1.5s
MAX_BINDACK_TIMEOUT	최대 재전송시간 간격을 나타내며 재전송간격이 이 시간에 도달하면 다른 홈 에이전트로 대체한다.	32s

<Table 2>는 BU 메시지 전송에서 Back-off 매커니즘을 지원하기 위한 파라미터 값을 나타낸다. MIPv6에서 등록과정은 모바일 노드에 의해 만들어진 두 주소간의 바인딩을 설립하는 것이며 이를 통하여 모바일 노드와 상대노드 간에 지속적인 연결성을 유지할 수 있도록 해준다. 등록을 위한 BU 메시지를 보낸 모바일 노드는 등록이 성공여부를 확인하기 위하여 BA 메시지를 기다리고 특정 시간동안 BA 메시지가 안 오면 모바일 노드는 다시 BU 메시지를 재전송한다. BU 메시지의 재전송은 Exponential Back-off 매커니즘을 이용하고 초기 Timeout 시간의 두 배씩 증가하며 최대 Timeout 시간은 정해져 있다. 등록의 성공 여부는 BA 메시지의 상태(status) 필드에 명시되며, 만약 등록이 실패하면 모바일 노드는 다른 홈 에이전트에게 다시 같은 등록을 시도한다. 적절한 홈 에이전트를 알지 못하면 동적인 홈 에이전트 주소 검색(Dynamic Home Agent Address Discovery)을 수행하여 대체할 수 있는 홈 에이전트를 찾는다.

3. 계층적 모바일 IPv6 (HMIPv6 : Hierarchical Mobile IPv6)(RFC 4140)

HIPv6와 FMIPv6 (Fast Handover for Mobile IPv6)(RFC 4068)는 MIPv6에서의 문제점을 개선하기 위하여 제안된 프로토콜이다. FMIPv6는 모바일 노드의 이동을 예측하여 좀 더 빠른 핸드오버를 지원하기 위하여 제안되었다면 HMIPv6는 모바일 노드의 잦은 이동으로 인한 과도한 시그널링을 막기 위해 특정 지역 내에서 이동하는 모바일 노드의 이동성 관리를 위한 메시지의 수를 줄임으로써 끊김이나 지연을 줄인다. 이 절에서는 HMIPv6의 개요 및 구조를 살펴보고 HMIPv6에서의 메시지 형식 및 동작과정을 살펴본다.

1) HMIPv6의 개요 및 구조

MIPv6는 모바일 노드가 인터넷 토폴로지 내에서 움직일 때 통신하고 있는 상대 노드와의 지속적인 통신을 위한 도착 가능성(Reachability)과 연결성(on-going connection)을 유지할 수 있도록 해준다. 이를 위해 모바일 노드는 AR이 매번 바뀔 때마다 BU 메시지를 홈 에이전트에게 보냄으로써 상대노드와 통신하는 패킷을 잃어버리지 않고 홈 에이전트를 걸쳐 모바일 노드의 새로운 주소로 전송할 수 있다. 또한 상대노드와의 직접적인 통신을 위하여 라우팅 최적화를 수행할 수 있다. 하지만, 모바일 노드와 상대노드 사이에 라우팅 최적화 시에 BU 메시지의 인증을 위한 RR 테스트는 패킷 손실이 없는 최상의 시나리오에서 1.5 RTT(Round-Trip Time)가 요구되고 동시에 홈 에이전트의 업데이트를 위하여 1 RTT가 요구된다. RR 테스트에서 홈 쿠키(Home Cookie)의 재사용은 테스트를 위한 메시지의 수를 줄이지만 상대노드의 업데이트에 필요한 RTT의 수를 줄이지는 못한다. 이러한 RTT 전송지연은 모바일 노드가 새로운 AR로 이동하여 핸드오프를 수행 할 때마다 필요하며 이는 연결을 일시적으로 단절시킨다. 또한 통신하는 상대노드의 수에 따라 비례적으로 증가한다. 따라서 보내지는 메시지의 수를 줄이는 것은 이러한 지연요소를 제거하며 시간 결정적인 핸드오프에 중요한 향상을 가져올 뿐만 아니라 메시지 전송 시 상대적으로 지연시간이 큰 무선 링크에서의 메시지 수를 동시에 줄이는 결과를 얻을 수 있다.

HIPv6에서는 홈 에이전트와 상대노드로 보내는 메시지의 수를 줄이기 위해 MAP(Mobility Anchor Point)이라는 새로운 노드를 추가하였다. MAP은 라우터로써 한 네트워크 내에 여러 개의 MAP의 존재할 수 있고 AR을 포함한 라우터의 계층구조상에서 어떠한 레벨에도 위치할 수 있으며 IPv4에서의 외부 에이전트(FA : Foreign Agent)와 다르게 각 서브넷(Subnet)마다 요구되지는 않는다.

HMIPv6는 MIPv6나 다른 IPv6 프로토콜에 영향을 최소화하면서 MIPv6의 수행을 향상시켰으며 모바일 노드가 이동 중에 끊임없는 서비스를 받을 수 있도록 FMIPv6 핸드오버와 같은 프로토콜을 지원할 수 있다. 또한 하위 접속 기술(underlying access technology)과도 독립적으로 동작할 뿐 아니라 모바일 노드의 위치를 상대노드이나 홈 에이전트로부터 숨길 수 있어 모바일 노드의 위치를 알릴 필요가 없는 응용이나 Micro 이동성 때문에 자주 주소가 바뀌는 응용에 적합하다.

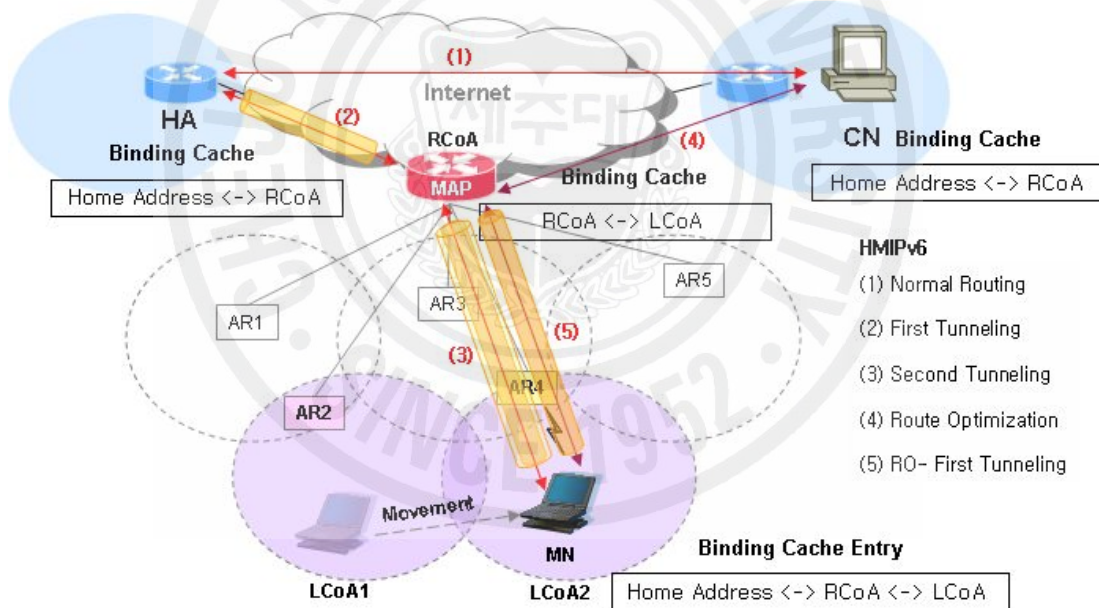


Figure 7. HMIPv6 architecture

<Figure 7>은 HMIPv6 구조를 나타내고 있다. MAP 도메인에 들어간 모바일 노드는 하나 이상의 Local MAP 정보를 포함하는 RA 메시지를 받게 되고 이를 이용하여 RCoA와 LCoA를 생성한다. LCoA는 링크상의 모바일 노드의 주소이

고 RCoA는 MAP 서브넷 상의 주소이다. RCoA는 MAP 옵션(MAP Option)정보로부터 얻은 MAP 프리픽스를 이용하여 주소를 구성하고 LCoA는 RA 메시지에서 AR의 프리픽스 정보를 얻어 stateless 방법으로 주소를 구성한다. 모바일 노드는 홈 에이전트와 상대노드에게 RCoA를 알려주고 MAP에게는 RCoA와 LCoA를 바인딩하도록 요청할 수 있다. 이렇게 함으로써 모바일 노드는 Local MAP 도메인 내에서 움직일 때에는 RCoA가 변하지 않기 때문에 단지 MAP에게만 새로운 주소(new LCoA) 등록이 필요하게 되고 홈 에이전트와 상대노드에게는 알릴 필요가 없다. 이는 결과적으로 외부로 나가는 메시지의 수를 줄임으로써 모바일 IP의 수행을 향상시킨다. 또한, 통신하는 상대노드에게 모바일 노드의 이동을 알리지 않고 수행되기 때문에 상대노드로부터 모바일 노드의 이동 투명성을(transparent) 제공해 줄 수 있다.

지역적인 홈 에이전트처럼 동작하는 MAP은 모바일 노드로 향하는 모든 패킷을 받게 되고 이 패킷들은 모바일 노드의 현재 주소(LCoA)로 터널링(tunneling)을 이용하여 전달된다. 만약 모바일 노드에서 외부로 나가는 패킷이 있을 때는 역 터널링(reverse tunneling)을 이용하여 외부 네트워크로 전달된다. MAP 도메인의 경계는 모바일 노드에게 MAP 정보를 광고하는 AR에 의해 정의되며 상세한 내용은 MAP Discovery 에서 설명하도록 하겠다.

HMIPv6는 MIPv6 프로토콜에서 단순한 확장의 개념으로 항상 이에 따르는 것이 아니라 어떤 경우에는 표준 MIPv6를 수행할 수도 있다. 예를 들면 모바일 노드가 방문한 네트워크가 홈 링크(Home Link) 내에 위치하게 되면 홈 에이전트는 방문한 네트워크에 가까이 위치하게 되므로 MAP을 선택하는 대신에 홈 에이전트를 사용할 수 있다. 따라서 이런 경우 모바일 노드가 움직일 때마다 홈 에이전트에게 바인딩 업데이트를 수행해야 한다.

2) HMIPv6 메시지와 동작과정

HMIPv6 에서는 MIPv6와 Neighbour Discovery 메시지를 확장함으로써 Local Mobility를 처리할 수 있도록 설계되었다.

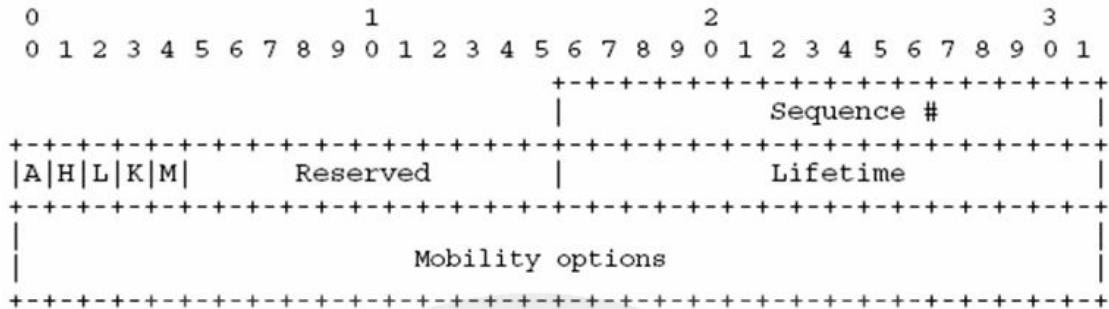


Figure 8. Local binding update message

<Figure 8>은 MIPv6의 확장으로 BU 메시지에 새로운 M 플래그(flag)를 추가한 지역적 바인딩 업데이트(Local Binding Update) 메시지를 정의하고 있다. M 플래그는 MAP 등록(Registration)을 나타내고, 모바일 노드가 MAP을 등록할 때에는, 홈 에이전트나 상대노드로 보내는 BU 메시지와 구분하기 위하여 M과 A 플래그를 반드시 '1'로 설정해 주어야 한다. M 플래그를 제외한 다른 필드의 내용은 MIPv6의 BU 메시지와 동일하고 M 플래그가 '1'로 설정되면 MAP 등록을 나타낸다.

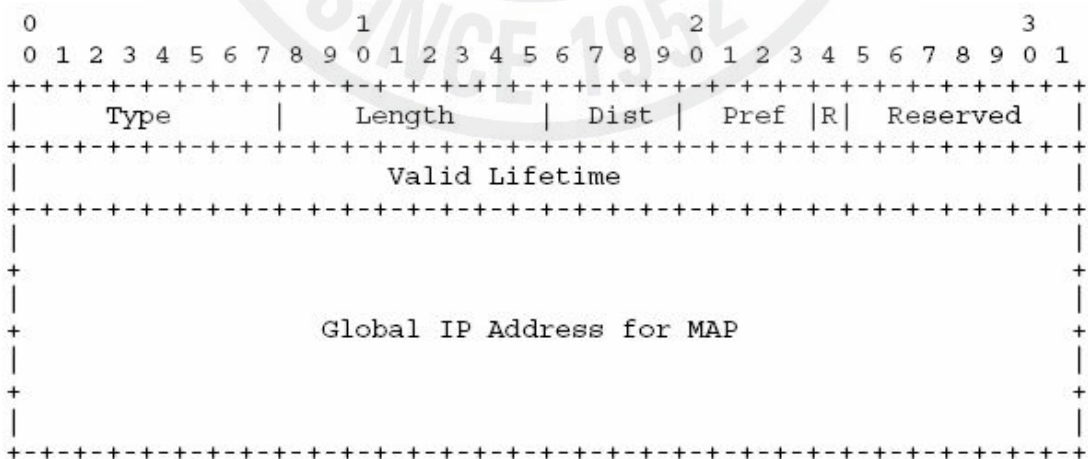


Figure 9. MAP Option

<Figure 9>은 Neighbour Discovery의 확장으로 새로운 MAP 옵션 메시지를 정의하고 있다. 각 필드의 내용은 다음과 같다.

Type	IPv6 Neighbor Discovery 옵션 타입을 나타내며 '23'이다.
Length	8bit 부호가 없는 정수이며 옵션의 길이를 나타낸다. '3'으로 지정한다.
Dist	4bit 부호 없는 정수이며 수신자와 MAP사이 거리를 나타낸다. 만약 Dynamic MAP discovery를 사용하면 기본값으로 '1'을 셋한다. 이 값이 반드시 홉(Hop)수를 나타내는 것은 아니며 한 도메인 내에서 일관성 있게 해석되기만 하면 된다. '0'은 사용하지 않는다.
Pref	MAP의 우선순위를 나타내며 4bit 부호 없는 정수이고 '0'에서 '15'까지의 수를 가진다.
R	'1'로 셋되면 모바일 노드는 MAP 옵션에 프리픽스를 기반으로 RCoA를 생성해야 한다.
Valid Lifetime	MAP 서브넷에 할당된 프리픽스의 Preferred Lifetime과 Valid Lifetime 중에 작은 값이며 MAP 주소의 유효성(Validity)과 RCoA가 유효한 시간을 나타낸다.
Global Address	MAP이 전역주소로써 이 주소로 부터 얻어진 64bit 프리픽스를 사용하여 모바일 노드는 RCoA를 구성한다.

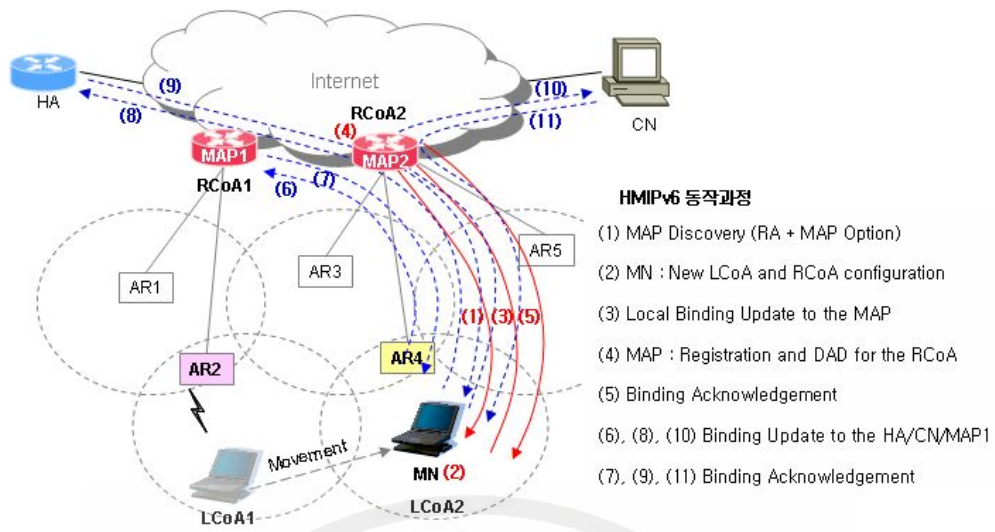


Figure 10. Macro mobility operation in HMIPv6

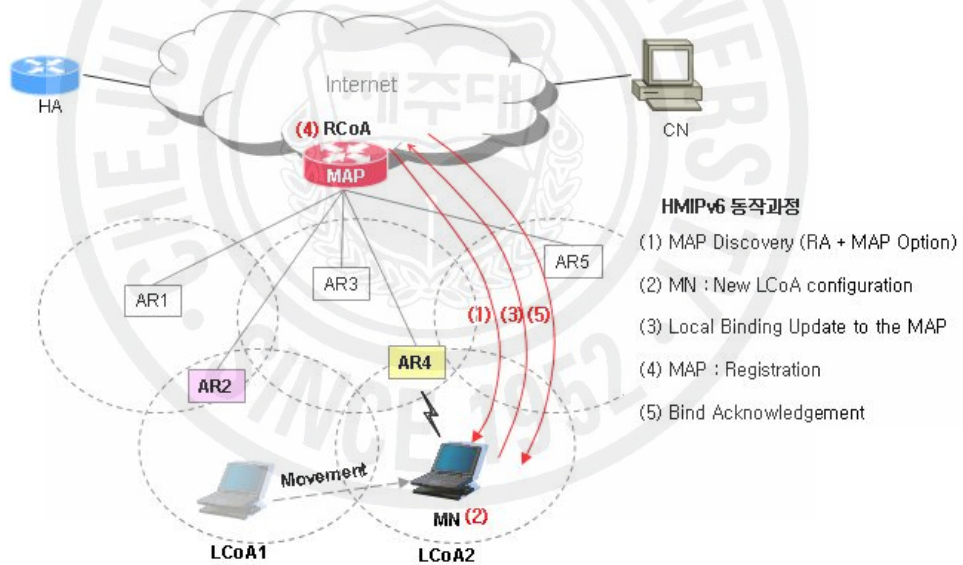


Figure 11. Micro mobility operation in HMIPv6

<Figure 10>은 모바일 노드가 새로운 MAP 도메인에 들어갔을 때(Macro Mobility)의 동작과정을 보여주며 <Figure 11>은 등록되어 있는 MAP 도메인 내에서 모바일 노드가 움직일 때(Micro Mobility)의 동작과정을 보여준다.

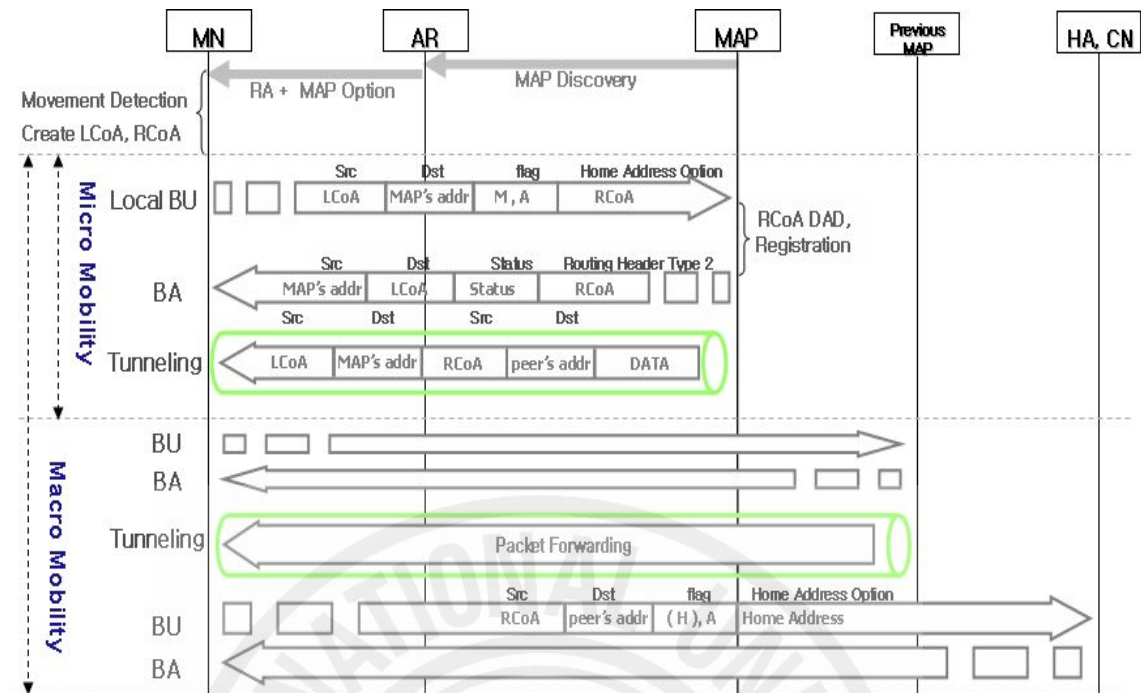


Figure 12. HMIPv6 operation

<Figure 12>는 HMIPv6에서의 각 이동 특성에 따른 메시지 전송과 주소지정의 특징을 보여준다.

HMIPv6에서의 동작과정은 다음과 같다.

- MAP은 MAP 옵션 정보를 이웃한 라우터에 주기적으로 전달하는 MAP Discovery 과정을 수행한다.
- AR는 MAP에서 전달되어져 온 MAP 옵션 정보를 저장하고 이를 RA 메시지 뒤에 추가하여 주기적으로 광고한다.
- 모바일 노드가 새로운 MAP 도메인으로 움직이면 AR로부터 광고되어져 온 RA 메시지와 MAP 옵션 정보를 확인하여 자신의 이동과 MAP의 존재를 감지하고 각 설정에 따라 한개 또는 여러 개의 MAP을 선택한다.
- 모바일 노드는 MAP 옵션에 포함된 MAP의 Global IP로부터 얻은 프리픽스를 가지고 RCoA를 생성하고 RA 메시지에서 AR의 프리픽스 정보를 얻어 LCoA를 생성한다.

- 모바일 노드는 Local BU 메시지를 MAP에게로 보낸다. 이때 LCoA는 Source 필드에 RCoA는 Home Address Option Header에 추가되고 M, A 플래그가 '1'로 설정된다.
- MAP이 BU 메시지를 받으면 MAP 링크 상에서 RCoA에 대한 DAD를 수행하고 바인딩 캐쉬(Binding Cache)에 RCoA와 LCoA에 대한 새로운 엔트리(Entry)를 추가함으로써 등록을 한다.
- 등록 결과는 모바일 노드에게 BA 메시지를 통하여 전달되는데 BA 메시지의 상태(Status) 필드는 MIPv6에 명시된 것과 같고 Routing Header Type 2 Option에 RCoA를 포함한다.
- 이때부터 목적지 필드가 모바일 노드의 RCoA로 되어 있는 패킷은 MAP에 의해 모바일 노드의 현재 위치인 LCoA로 터널링 된다.
- 모바일 노드가 BA 메시지의 상태 필드에 Binding Update 성공을 알리는 값을 받으면 Source 필드에 RCoA를 Home Address Option에 HoA를 넣어 홈 에이전트와 상대노드에게 각각 BU 메시지를 보낸다.
- 만약 모바일 노드가 BA 메시지의 상태 필드에 실패의 값을 알리면 대체할 수 있는 다른 MAP을 선택하여 다시 등록과정을 수행한다.
- 패킷 손실을 줄이고 MAP간의 핸드오버를 빠르게 진행하기 위하여 모바일 노드는 이전 MAP으로 새로운 위치를(LCoA) 알리는 Local BU를 보내고 이전 MAP으로 도착하는 패킷은 모바일 노드의 새로운 위치로 전송된다.
- 홈 에이전트와 상대노드는 모바일 노드로 보내지는 모든 패킷의 주소를 RCoA로 설정하여 보내야 하며 MAP은 목적지 주소가 RCoA로 설정된 패킷을 모바일 노드의 현재 위치인 LCoA로 터널링을 이용하여 보낸다.
- 모바일 노드가 MAP 도메인 내에서 움직이면, RCoA가 바뀌지 않으므로 MAP에게만 새로운 local BU를 수행하고 홈 에이전트와 상대노드에게는 따로 등록을 할 필요가 없다. 패킷은 새롭게 설정된 터널을 통해 계속적으로 모바일 노드에게로 전송된다.
- 만약 상대노드가 같은 링크에 위치하면 LCoA를 포함하는 BU 메시지를 보내어 모바일 노드와의 직접적인 경로로 패킷을 전송할 수 있다.

3) MAP Discovery

MAP Discovery는 도메인 내에 AR들이 어떻게 MAP을 발견하는지? 그리고 모바일 노드가 어떻게 MAP 주소를 얻는지? 를 말해주는데 HMIPv6에서는 두 가지 방법을 제안하고 있다.

첫째는 같은 도메인 내에 있는 AR과 MAP들에 각 MAP 옵션 정보를 수동적으로 설정하는 것이며, 둘째는 네트워크 내에 있는 라우터들의 특정 인터페이스를 이용하여 RA 메시지를 MAP에서 모바일 노드로 전파한다. 각 MAP이 옵션 정보는 RA 메시지 뒤에 각각 추가되면서 전달된다. 이러한 방법을 Dynamic MAP Discovery 하는데 이 방법에서도 처음 각 MAP에 대한 구성은 수동적으로 설정해야 한다. 하지만 네트워크가 유동적으로 움직이는 상황에서는 수동 구성에 비하여 더 효율적이라 하겠다. Dynamic MAP Discovery는 자신의 MAP 옵션 정보를 이웃한 라우터로 전달하는 과정을 각 라우터마다 수행함으로써 모바일 노드의 AR까지 MAP 옵션 정보가 전달되게 된다. 최종적으로 AR은 자신의 RA 메시지에 MAP 옵션 정보 포함하여 광고를 한다.

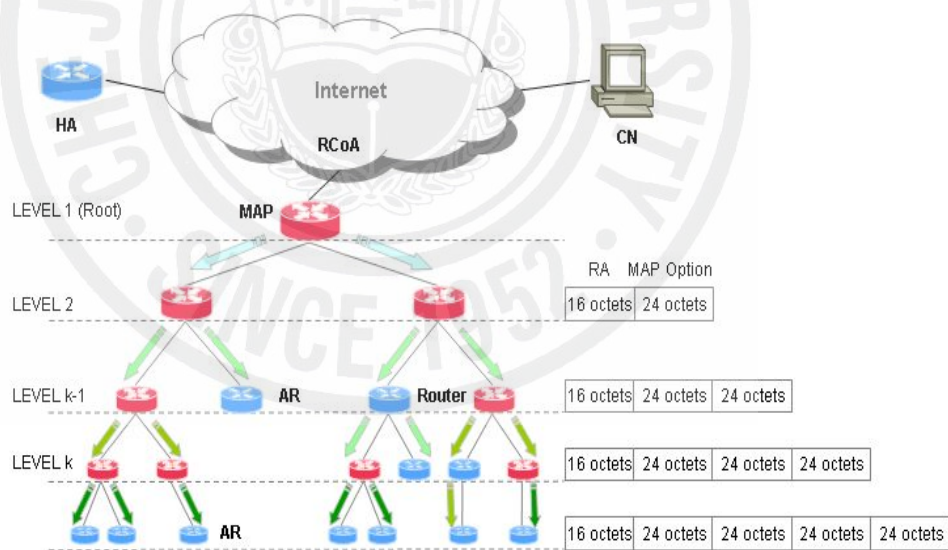


Figure 13. MAP Discovery

<Figure 13> 은 Dynamic MAP Discovery 매커니즘이 전반적으로 어떻게 수행되는지를 보여주고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 AR과 최상위 MAP 사이에

여러 MAP이 존재하면 AR에서는 해당하는 MAP의 수만큼 MAP 옵션 정보를 받게 되고 이를 RA 메시지에 실어 모바일 노드에게로 광고한다.

MAP Discovery 동작과정을 살펴보면 다음과 같다.

- HMIPv6 네트워크에 속한 MAP과 라우터는 각각 자신의 MAP 옵션을 보내거나 다른 MAP의 옵션을 전달하는 역할을 한다.
- 만약 다른 MAP의 광고하는 옵션을 MAP이 받으면 받은 광고 메시지에 자신의 MAP 옵션을 추가하여 다음 라우터나 AR로 전달한다.
- MAP과 AR을 포함한 모든 라우터들은 MAP 옵션을 받으면 Distance 필드를 '1' 증가시키고 네트워크상의 다른 라우터나 AR로 전달한다.
- 만약 다른 인터페이스를 통해서 같은 MAP에서 보내진 하나 이상의 MAP 옵션을 받으면 Distance 필드가 가장 작은 옵션을 선택하여 다음 라우터나 AR로 전달한다.
- 모바일 노드는 RA 메시지와 더불어 하나 이상의 MAP 옵션을 받을 수 있는데 각 설정에 따라 MAP 알고리즘을 이용하여 MAP을 선택할 수 있고 기본적으로는 Preference 필드 값이 가장 높은 MAP을 선택하거나 Distance 필드 값이 가장 큰 것을 선택하여 등록할 수 있다.
- 사용 가능한 MAP이 없거나 MAP 옵션을 받지 못하면 MIPv6 프로토콜을 수행한다.

MAP 옵션의 초기 설정은 Preference 필드가 '10', Distance 필드가 '1' 이고 전달되는 과정에서 각 필드는 라우터나 MAP에 의해 동적으로 변화한다. Distance 필드는 '0'이 아닌 값이라야 하며 Preference 필드가 '0'이면 해당 노드가 과부하이거나 사용하지 못함(Failure)을 나타낸다. Valid Lifetime 값이 '0'이면 MAP의 사용가능 시간의 만료를 나타내므로 모바일 노드는 이 값이 '0'인 MAP은 선택 하지 말아야 한다. 모바일 노드는 하나 이상의 MAP을 동시에 등록할 수 있으며 이전에 수신한 MAP 옵션을 저장하여 여분의 MAP 선택이나 이동 감지에 사용할 수 있다.

4. MAP 선택의 필요성

계층형 네트워크 구조는 네트워크 관리가 쉽고 구축비용을 절감할 수 있어 현재 많이 사용되고 있다. 학교를 예를 들면, 중앙에 외부로 나가는 게이트웨이와 있고 여기에 여러 라우터들이 연결되고 각 라우터에는 허브나 리피터와 같은 장치들이 연결되어 있는 것을 자주 볼 수 있다. 이 또한 하나의 계층형 네트워크이다. MIPv6를 지원하는 망 또한 위와 비슷한 구조를 가질 것이며 광범위한 모바일 서비스를 제공하기 위하여 여러 계층으로 나뉘 질 수 있다. MAP은 라우터이므로 네트워크의 어디에도 존재할 수 있고, 같은 도메인 내에 각각 독립적으로 여러 MAP들이 위치 할 수 있다. 또한 MAP 도메인간의 오버랩핑(Overlapping) 뿐만 아니라 정적 또는 동적인 구조를 지원하므로 MIPv6에 각 계층마다 여러 개의 MAP이 존재하게 된다. 하지만 HMIPv6에서는 고장 대비를 위한 여분의 MAP 선택을 제외하고는 계층구조상의 여러 MAP을 선택하는 것은 추가적인 포워딩 딜레이를 가져오고 IP 라우팅의 강력함을 오히려 줄인다고 언급하고 있다. (RFC 4140)

또한 앞서서도 말했듯이 HMIPv6에서는 외부로 나가는 시그널링 수를 줄이기 위해 제안되었으며 MAP이라는 새로운 노드를 추가하였다. MAP 내부 영역에서 모바일 노드가 움직이면, MAP에 Local BU 메시지만을 보내므로 MIPv6 프로토콜보다 적은 등록비용이 들지만, MAP 도메인 밖으로 움직이면 MAP에 Local BU 뿐 아니라 홈 에이전트와 상대노드 그리고 끊임없는 통신을 위해 이전 MAP에 각각의 등록을 수행해야 하므로 더 많은 등록비용이 든다. 따라서 MAP 도메인 간의 이동확률을 줄일수록 전체적인 등록비용은 줄어들게 된다. 일반적으로 거리가 먼 MAP이 가까운 MAP보다 더 많은 AR을 관리하게 되고 따라서 더 넓은 영역을 커버한다. 그러므로 모바일 노드가 같은 속도로 움직인다고 가정할 때 가장 먼 MAP을 선택하면 MAP 도메인 간의 이동확률은 줄어들어 전체적인 등록비용은 줄어든다. 하지만, MAP과 모바일 노드간의 거리가 멀어지면 패킷전송 시에 생기는 터널링의 길이가 길어지고 이는 추가적인 딜레이로 작용한다.

따라서 모바일 노드는 등록에 필요한 시그널링 오버헤드와 패킷을 전달할 때의 오버헤드를 가장 적게 만드는 최적의 MAP을 선택하기 위하여 자신의 경험적인 이동 특성이나 MAP 옵션 정보, 통신하는 상대노드에 대한 정보, 패킷 전송비용 등 여러 가지 요소를 고려하여야 하며 이에 따른 최적의 MAP을 선택할 수 있는 알고리즘이 제안되어야 한다.

5. 기존의 MAP 선택 기법

1) 거리를 기반으로 한 MAP 선택 기법

모바일 노드가 빠르게 움직이게 되면 잦은 등록이 발생하고 이는 MAP 외부로 나가는 시그널링 수를 증가시킨다. 따라서 잦은 핸드오버의 수행은 많은 딜레이를 가져오고 결국은 통신의 단절을 가져온다. HMIPv6에서는 최적의 알고리즘을 사용할 수 없을 경우에 사용할 수 있는 기본 알고리즘으로 거리를 기반으로 한 MAP을 선택하는 알고리즘을 추천하고 있다. 이 알고리즘은 사용이 쉽고 모바일 노드가 기존 MAP 도메인을 벗어나 새로운 MAP에 등록하는 횟수를 줄임으로써 홈 에이전트와 상대노드에게로 보내지는 시그널링의 양을 최소화한다.

하지만, 거리가 먼 MAP을 선택하는 방법은 시그널링의 집중과 패킷로드의 증가로 인한 과부하로 시스템 성능 저하 뿐 아니라 고장의 원인이 된다. 또한 등록에 필요한 시그널이 전송거리가 멀어지고 패킷전송에 필요한 터널링이 길어지므로 시그널과 패킷 전송 딜레이가 커진다는 단점이 있다.

J. Jeong 등(2005)은 MAP영역을 벗어나 이동하는 Macro Mobility에 대한 비용이 상대적으로 크고 상대노드의 수에 많은 영향을 받는다는 사실에 착안하여 Macro Mobility가 일어날 때 RCoA의 변경이 일어나지 않게 하는 Autoconfigured Logical Topology를 사용함으로써 외부로 나가는 시그널링 비용을 줄이는 방법을 제안했으며 패킷전달 비용을 줄이기 위하여 처음 HMIPv6 도메인 영역에 들어왔을 때, 모바일 노드와의 거리가 가장 가까운 MAP을 선택하도록 하고 있다.

2) 모바일 노드의 속도를 기반으로 한 MAP 선택 기법

K. Kawano 등(2002)은 HMIPv6에서 거리를 기반으로 MAP을 선택했을 때 트래픽이 특정 MAP에 집중될 뿐 아니라 모바일 노드의 속도에 따라서 MAP 외부 네트워크로 나가는 시그널링의 수가 증가한다는 사실에 기인하여 모바일 노드의 속도를 기반으로 한 MAP 선택 알고리즘을 제안하고 3 계층 N-ary 트리 구조로 이루어진 두개의 네트워크 구조에서 상위 MAP과 하위 MAP의 각각 모든 모바일 노드를 관리하는 모델과 랜덤하게 MAP을 선택하는 모델과 제안한 모델을 비교함으로써 제안한 모델이 효과적으로 동작함을 보였다. 이 방법에 따르면 모바일 노드의 속도를 추정하기 위해 이전등록시간과의 차이를 이용한 거주시간과 미리 정의된 표준거리(standard distance)를 이용하여 속도를 추정하고 이 속도와 이전에 추정된 속도를 가지고 historical speed를 얻는다. 각 AR에는 모바일 노드의 MAP 선택을 지원하기 위해 ST(Selection Table)과 UA(User Agent)를 생성하고 추정된 historical speed 와 ST에 정해져 있는 threshold를 비교하여 UA가 MAP을 선택하여 등록과정을 수행한다.

또한 K. Kawano 등(2004)에서 좀 더 향상된 로드 밸런싱(Load Balancing)을 얻기 위해 하나의 MAP에서 수용 가능한 최소 로드와 최대 로드를 각각 설정하고 Meshed 네트워크 환경에서 UA와 ST 그리고 추정된 속도 정보가 잘 동작하는지 확인하였으며 E. Natalizio 등(2005)은 HMIPv6와 FMIPv6를 통합한 모델에서 모바일 노드의 속도에 따른 MAP을 선택 기법을 제안하였다.

위 방법은 모바일 노드에 의해 MAP을 선택하는 것이 아니라 AR에 위치한 UA가 추정된 속도를 가지고 ST의 내용을 기반으로 MAP을 선택한다. 그러나 각 MAP의 네트워크 프리픽스가 다르므로 UA에서 모바일 노드의 MAP 선택을 지원하기 위해서는 RCoA 구성을 위한 프로토콜이 수정되어야 한다. 또한 AR은 각 모바일 노드에 대해서 새로운 에이전트와 테이블을 구성해야 한다는 단점이 있다.

3) 네트워크 토폴로지(Topology)를 기반으로 한 MAP 선택 기법

지역적인 이동성 관리를 위하여 HMIPv6와 Dynamic MAP Discovery는 제안되었으며 모바일 노드는 추가적인 시그널링이나 패킷 손실을 줄이기 위하여 가장 먼 MAP을 선택한다. 하지만 트리형태의 토폴로지(Tree Topology)를 기반으로 한다는 제약을 가지며 도메인이 크기가 커지면 지역적인 시그널링 양도 증가하는 문제가 있다. L. L. THING 등(2002)은 이러한 문제를 없애기 위해서 네트워크 토폴로지의 구성에 상관없이 MAP을 발견하고 모바일 노드와 홈 에이전트 사이에 최적 경로 상에 위치한 가장 먼 MAP을 선택하는 방법을 제안했다. 여기서 MAP의 발견과 선택을 위한 두 가지 개념을 소개하고 있다.

첫째로 Route Tracing은 모바일 노드와 홈 에이전트 사이 최적경로에 위치한 LMA(Local Mobility Agent)중에 가장 먼 LMA를 찾기 위한 과정이다. 모바일 노드가 해당 도메인으로 움직이면 CoA를 얻고 도메인 내에 사용가능한 LMA의 리스트를 받게 된다. 동시에 ICMP 메시지를 이용한 Probing Process를 진행하여 홈 에이전트와 최적경로 상에 위치한 중간 노드의 정보를 얻는다. 모바일 노드는 이 정보와 LMA 리스트를 상호 비교하여 가장 먼 LMA를 찾게 된다.

두 번째로 En-Route LMAs Recording은 홈 에이전트로 보내는 ICMP 메시지에 Hop-by-Hop 옵션(Record LMAs)을 추가하고 경로 중간에 위치한 LMA들의 위 옵션에 주소를 추가함으로써 최종 홈 에이전트는 Record LMAs 옵션을 포함한 ICMP 메시지를 받게 되고 이 정보를 복사하여 모바일 노드에게 알리면 모바일 노드는 가장 거리가 먼 LMA를 선택할 수 있다.

이 기법은 Dynamic MAP Discovery의 약점을 보완하고 각 모바일 노드별로 홈 에이전트와의 최적 경로 상에 위치한 가장 먼 MAP을 선택하도록 제안하고 있다. 선택되는 MAP은 네트워크 토폴로지가 어떻게 구성되느냐에 따라 달라지므로 최적인지 아닌지를 판단하기는 어렵다. 하지만 HMIPv6에서 고려된 트리 구조의 토폴로지만이 아니라 다양한 토폴로지 유형에서 동작하고 노드나 링크의 고장을 빨리 회복한다는 장점이 있다.. 하지만 이 기법은 기존의 프로토콜에 대한 수정이 불가피하고 처음 MAP 도메인에 들어왔을 때 빠른 등록을 시도하는 것이 아니라 적절한 MAP을 선택하기 위하여 ICMP 메시지를 교환함으로써 등록에 더 많은 딜레이가 걸린다는 단점이 있다.

4) 적응적 MAP 선택 기법

S. Pack 등(2004, 2005)과 X. Hu 등(2005)은 이동성이 크다 하더라도 MAP을 선택하게 되면 세션 도착율(Session Arrival Rate)에 따라 패킷 전달비용(Packet Delivery cost)은 증가하고 따라서 전체적인 비용은 증가하므로 세션 도착율과 모바일 노드의 이동특성을 고려하여 MAP을 선택하는 적응적 MAP 선택 기법을 제안했다. 이 기법에서는 세션 도착율과 이동특성을 이용한 SMR(Session-to-Mobility Ratio)이라는 개념을 도입하고 각 비용함수를 통하여 SMR의 효과를 측정하였다. 또한 향상된 로드 밸런싱(Load Balancing)을 얻기 위하여 각 네트워크의 레벨에 따른 SMR의 threshold를 둬으로써 추정된 SMR이 크면 비용함수를 재계산하고 전체비용의 최소인 MAP을 다시 선택하여 새로운 등록을 수행한다. 이는 기존에 등록된 MAP이 모바일 노드의 세션과 이동 특성이 변화로 인하여 최적의 서비스를 제공하지 못한다고 판단하고 새로운 MAP을 등록하도록 만든다. 따라서 모바일 노드는 MAP 영역을 벗어나거나 추정된 SMR 값에 따라 지속적인 MAP 선택과정을 수행하고 최소의 비용으로 효과적인 로드 밸런싱을 얻게 된다.

하지만, 위 기법에서 각 비용함수는 모바일 노드가 MAP 선택 시에 활용하기 어려운 정보를 식에 추가함으로써 실제에 적용이 모호한 면이 있다. 예를 들면 특정 네트워크에 속한 모바일 노드의 수는 해당 라우터나 MAP 등 관리 노드만이 알고 있는 정보로 모바일 노드가 이 정보를 활용하여 MAP을 선택하기는 힘들다. 이를 활용하기 위해서는 모바일 노드와 라우터간의 추가적인 메시지 전달이 필요하거나 MAP 옵션에 해당 네트워크에 속한 모바일 노드의 수를 삽입하여 지속적으로 광고해줘야 하는데 이는 프로토콜이 수정을 필요로 한다.

SMR은 한 서브넷에서 몇 개의 세션이 추가적으로 생성되는지를 나타내는데 모바일 노드와 상대노드간의 통신에서 생성된 세션의 크기는 세션의 생성부터 종료될 때까지로 볼 수 있다. 하지만 SMR은 세션의 도착율만을 고려하기 때문에 기존에 설립된 세션에서의 비용 또한 추가되어야 한다고 볼 때 세션의 도착율과 평균 세션의 크기를 이용한 비용함수식은 적절하다고 판단하기 어렵다. 모바일 노드와 상대 노드간의 통신은 패킷 형태로 이루어지므로 패킷 도착율과 평균 패킷 크기를 이용하여 패킷 전달비용을 계산하는 것이 적절하다고 판단된다.

III. 제안기법

본 논문에서 제안하고자 하는 바는 HMIPv6 네트워크 모형의 전체 계층 구조에서 모바일 노드에게 효과적인 이동성과 패킷전달 서비스를 제공해줄 수 있는 최적의 MAP 선택을 궁극적인 목적으로 하며 이를 위하여 모바일 노드의 속도와 통신량을 기반으로 HMIPv6 네트워크에 분산된 각 MAP에 대한 비용을 산출하고 이를 기반으로 최소의 비용을 갖는 MAP을 선택한다. 이렇게 선택된 MAP과 기존에 MAP선택방법을 사용했을 때 HMIPv6 프로토콜의 성능을 비교한다.

1. 개요

이 절에서는 분석적 모델을 위한 분산 다계층 HMIPv6 네트워크 모형과 HMIPv6에서의 핸드오버 지연시간을 정의한다.

1) 분산 다계층 HMIPv6 네트워크 단순화 모형

HMIPv6 네트워크 모형 설정을 위해 다음과 같이 가정한다.

- 같은 레벨에 속하는 MAP들은 서로 같은 정보를 광고한다.
- HMIPv6 네트워크 구조는 완전트리 구조이다.
- 레벨차이가 '1'인 상·하위 계층 간에만 직접 연결된 링크를 가진다.

같은 레벨에 속한 MAP 사이에 서로 같은 정보를 광고한다고 가정하는 이유는 모바일 노드가 처음에 MAP영역에 들어갔을 때 일반적으로 전체 네트워크의 구조와 각각의 MAP에 대한 정보를 알 수 없기 때문에 MAP 선택 시 정확한 예측 비용을 산정하기 어렵다. 따라서 초기 모바일 노드가 획득한 정보를 기반으로 MAP을 선택하는 것이 가장 적절하다. 또한, 완전트리 구조를 가정하는 이유는

만약 매쉬(Mesh)구조를 가지는 네트워크를 가정하면 MAP Discovery 과정에 의해 AR과 레벨차이가 '1'인 MAP만이 존재하게 되고 하나의 MAP의 관리하는 영역은 AR 전체의 영역의 되기 때문에 MAP선택의 의미가 상실되고 실제 설계비용상의 문제로 위와 같은 구조는 존재하기가 어렵다. 만약, 실제 네트워크와 비슷하게 일부 라우터간의 연결 링크가 있다고 가정하면 MAP 선택알고리즘의 복잡도가 증가하여 적절한 분석적 모델을 구현하기 힘들다. 따라서 완전트리 구조를 기반으로 적절한 분석적 모델을 설계하고 해당 네트워크 구조에 맞게 분석적 모델의 비용 산출식을 변경하여 실제 네트워크 모델에 적용하는 것이 적절하다. 그리고 완전트리 구조를 가정하였으므로 상·하위 계층 간에만 직접 연결 링크를 가진다. 또한, 분석적 모델의 일반화를 위하여 모바일 노드의 홈 에이전트와 상대노드는 네트워크 외부에 위치하고 인터넷망으로 연결되어 있다. 라고 가정한다.

<Figure 14>은 가정에 따라 재구성한 4-레벨 2진 완전트리 모형을 가지는 분산 다계층 HMIPv6 네트워크 모형의 예이다.

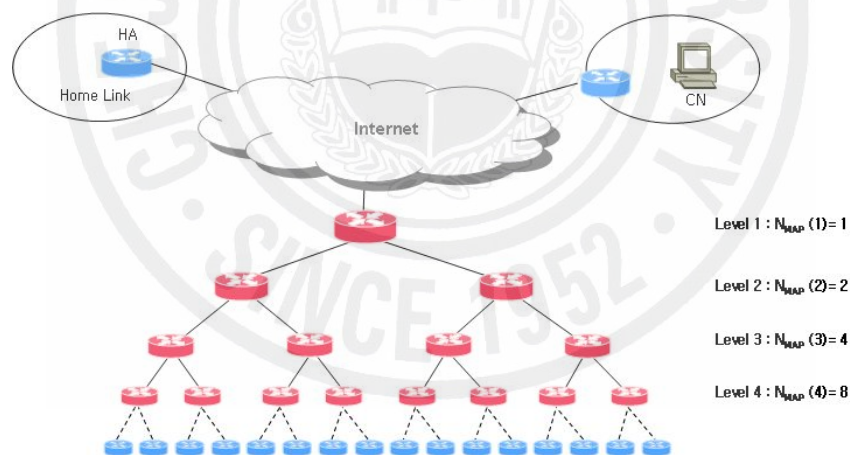


Figure 14. Example of the Multi-Level Distributed HMIPv6

모바일 노드가 처음 MAP 영역에 들어오면 AR로부터 RA 메시지와 MAP 옵션을 받게 되는데 이 정보를 이용하여 분산 다계층 HMIPv6 네트워크 모형을 구성한다. 분산 다계층 HMIPv6 네트워크 모형은 레벨 수가 MAP 옵션의 개수와 같고 각 노드 간의 거리는 해당하는 MAP 옵션의 Distance 필드 값과 일치한다.

모형의 차수와 AR의 커버리지는 사용자에게 의해 사전에 정의 될 수 있으며 네트워크에 대한 사전 정보를 알고 있다면 이에 해당하는 값으로 구성될 수 있다. 대역폭(bandwidth)과 홈 에이전트와의 거리, 상대노드와의 평균거리, 링크 에러율, 평균패킷 전송률(Packet transmission rate) 등과 같은 인자들 또한 사용자에게 의해 정의되거나 기존에 저장된 값을 활용 할 수 있다.

2) Handover 지연시간

HMIPv6에서 MAP 선택에 따른 등록비용을 산출하기 위하여 HMIPv6 프로토콜에서의 핸드오버 절차와 지연시간에 대해 자세히 알아볼 필요가 있다.

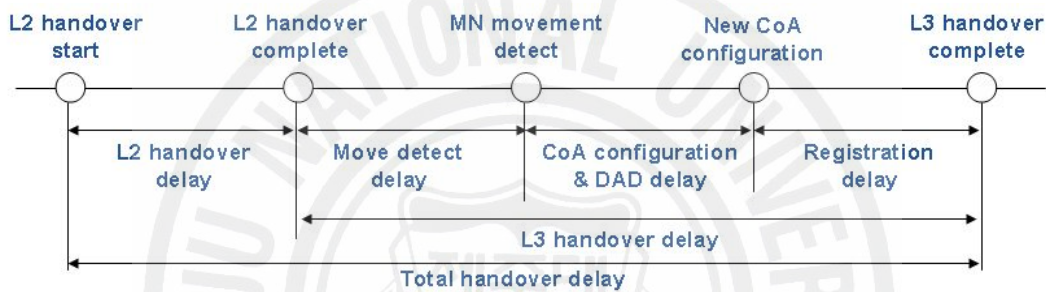


Figure 15. Handover Latency in MIPv6

<Figure 15>는 MIPv6에서의 핸드오버 지연시간을 보여준다. (Y.G.Hong 등 2003), (RFC 2460, RFC 2461, RFC 2462, RFC 3775)

Table 3. Standard MIPv6 handover latency

L2 Handover	Movement detect delay	DAD delay
50msec	0~500msec	1~2sec

W.K. Lai 와 H.C. Chium(2005)의 연구와 본 논문의 관련 연구에 따르면, 표준 핸드오버 지연시간은 표 <Table 3>와 같다. MIPv6에서 핸드오버시간은 그림과 같이 L2 핸드오버와 L3 핸드오버로 나눈다. L2 핸드오버는 AP 또는 라우터가 바뀔 때 링크 레이어 연결을 위하여 필요하고 L3 핸드오버는 라우터가 바뀔 때

모바일 노드의 새로운 주소를 상대노드 또는 특정 에이전트에게 알리기 위하여 필요하며 이는 이동을 감지하는 Movement Detection과 주소 구성, 등록 등의 절차를 걸쳐 수행된다. Movement detection은 라우터에서 주기적으로 보내주는 RA 메시지를 받고 이를 처리하는 과정에서 알 수 있으며 라우터의 주소가 바뀌면 모바일 노드는 자신이 이동했다는 것을 감지한다. 또는 주기적으로 받는 RA 메시지가 부재 시 RS 메시지를 보내고 RA 메시지를 받은 후에 이동을 감지할 수 있다. 이동을 감지한 모바일 노드는 수신한 RA 메시지의 정보를 가지고 CoA를 구성하고 DAD를 걸쳐 이동한 링크에서 사용할 수 있는 주소를 생성한다. HMIPv6에서 모바일 노드의 이동은 크게 Micro 이동과 Macro 이동으로 나눌 수 있다. Micro 이동은 RA 메시지의 라우터 주소가 이전 값과 다르지만 MAP 주소는 같은 경우이고, Macro 이동은 라우터 주소와 MAP 주소가 모두 다른 경우이다. 모바일 노드가 Micro 이동인 경우 RA 메시지를 기반으로 새로운 LCoA를 구성하고, Micro 이동인 경우에는 수신한 MAP 옵션과 RA 메시지의 정보를 기반으로 RCoA와 LCoA를 각각 구성한다.

3) 등록 지연시간

LCoA에 대한 DAD를 수행한 후, 모바일 노드는 각 이동특성에 따라 각각의 등록절차를 수행한다. <Figure 16>은 HMIPv6에서 이동 특성에 따른 등록 지연시간을 나타낸다.

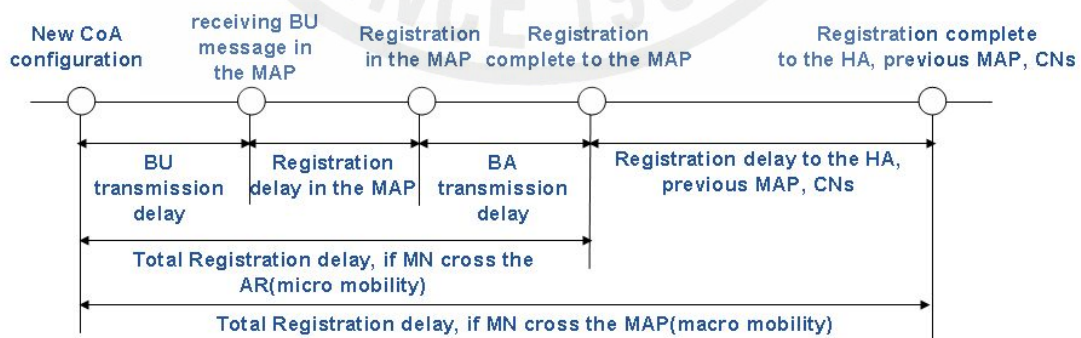


Figure 16. Registration delay in HMIPv6

HMIPv6에서 등록 지연시간(Registration delay)은 모바일 노드의 이동성에 따라 달라지는데 Micro 이동인 경우에는 MAP으로의 Local BU 메시지만을 보내지만, Macro 이동인 경우에는 MAP과 홈 에이전트에게 BU 메시지를 전송해야 한다. 또한, 효과적이 패킷전달을 위하여 상대노드와 이전MAP에도 등록 메시지를 보낸다. 모바일 노드가 각 BU 메시지에 대하여 바인딩이 성공적으로 수행되었다는 BA메시지를 받으면 등록이 성공적으로 완료된다. MAP에서는 BU 메시지를 받으면, 먼저 RCoA가 바인딩 캐쉬(Binding Cache)에 있는지를 검색하고 없으면 RCoA에 대한 DAD를 수행한 후에 바인딩 캐쉬에 새로운 엔트리를 생성하고 있으면 해당 엔트리를 새로운 값으로 업데이트한다.

2. HMIPv6 메시지 헤더 크기 및 파라미터 정의

이 절에서는 터널링 헤더와 등록 메시지의 헤더, 패킷 헤더의 크기에 대하여 정의하고 분석적 모델을 위한 파라미터를 정의한다.

1) IP 터널링 헤더

Table 4. The size of the tunneling header (Byte)

IP 터널링 과정에서 추가되는 데이터량	
IP Tunneling	$H_{Tun} = 40$ (IPv6 Header) + 8 (Tunneling Extension Header)

<Table 4>은 터널링 과정에서 추가되는 데이터량을 보여준다. RFC 2473에 따르면, IPv6 헤더와 터널링 확장헤더를 합하여 터널 IPv6 헤더(Tunnel IPv6 Headers)를 구성하고 이 헤더는 터널링 과정에서 원래 패킷 앞에 추가된다. 위와 같은 터널링 과정은 여러번 겹쳐서 수행될 수 있다. HMIPv6에서 모바일 노드와 상대노드 사이 통신하는 패킷은 모바일 노드와 MAP사이에 2번의 터널링을 수행하고 홈 에이전트와 MAP간에 1번의 터널링을 통하여 전송된다.

2) 등록 메시지 헤더

Table 5. The size of the registration message header (Byte)

MAP 등록을 위한 메시지 헤더	
MAP 등록메시지 (MN<->MAP)	$Data_{MAP}^{BU} = 40$ (IPv6 Header) + 20 (Authentication Header) + 12 (Mobility Header [BU]) + 20 (HoA option)
	$Data_{MAP}^{BA} = 40$ (IPv6 Header) + 20 (Authentication Header) + 12 (Mobility Header [BA]) + 24 (Type2 Routing Header)
	$Data_{MAP}^{BU} = 92$, $Data_{MAP}^{BA} = 96$
CN 등록을 위한 메시지 헤더	
CN 등록메시지 (MAP<->CN)	$Data_{CN}^{BU} = 40$ (IPv6 Header) + 12 (Mobility Header [BU]) + 18 (Mobility Option [Home and Care-of Nonce Index , Binding Authorization Data option]) + 20 (HoA option)
	$Data_{CN}^{BA} = 40$ (IPv6 Header) + 12 (Mobility Header [BA]) + 6 (Mobility Option [Binding Authorization Data option]) + 24 (Type2 Routing Header)
	$Data_{CN}^{BU} = 90$, $Data_{CN}^{BA} = 82$
Tunneling (MAP<->MN)	$Data_{CN}^{BU}[Tun] = Data_{CN}^{BU} + H_{Tun} = 138$ $Data_{CN}^{BA}[Tun] = Data_{CN}^{BA} + H_{Tun} = 130$
HOT메시지 (CN<->HA)	$Data_{CN}^{HoTI} = 40$ (IPv6 Header) + 16 (Mobility Header [HoTI])
	$Data_{CN}^{HoT} = 40$ (IPv6 Header) + 24 (Mobility Header [HoT])
	$Data_{CN}^{HoTI} = 56$, $Data_{CN}^{HoT} = 64$
Tunneling (HA<->MAP)	$Data_{CN}^{HoTI}[Tun] = Data_{CN}^{HoTI} + H_{Tun} = 104$ $Data_{CN}^{HoT}[Tun] = Data_{CN}^{HoT} + H_{Tun} = 112$
2 Tunneling (MAP<->MN)	$Data_{CN}^{HoTI}[2Tun] = Data_{CN}^{HoTI} + 2H_{Tun} = 152$
	$Data_{CN}^{HoT}[2Tun] = Data_{CN}^{HoT} + 2H_{Tun} = 160$
COTI Message(CN<- >MAP)	$Data_{CN}^{CoTI} = 40$ (IPv6 Header) + 16 (Mobility Header [CoTI])
	$Data_{CN}^{CoT} = 40$ (IPv6 Header) + 24 (Mobility Header [CoT])
	$Data_{CN}^{CoTI} = 56$, $Data_{CN}^{CoT} = 64$
Tunneling (MAP<->MN)	$Data_{CN}^{CoTI}[Tun] = Data_{CN}^{CoTI} + H_{Tun} = 104$ $Data_{CN}^{CoT}[Tun] = Data_{CN}^{CoT} + H_{Tun} = 112$

HA 등록을 위한 메시지 헤더	
HA 등록메시지 (HA<->MAP)	$Data_{HA}^{BU} = 40$ (IPv6 Header) + 20 (Authentication Header) + 12 (Mobility Header [BU]) + 20 (HoA option) $Data_{HA}^{BA} = 40$ (IPv6 Header) + 20 (Authentication Header) + 12 (Mobility Header [BA]) + 24 (Type2 Routing Header) $Data_{HA}^{BU} = 92$, $Data_{HA}^{BA} = 96$
Tunneling (MAP<->MN)	$Data_{HA}^{BU}[Tun] = Data_{HA}^{BU} + H_{Tun} = 140$ $Data_{HA}^{BA}[Tun] = Data_{HA}^{BA} + H_{Tun} = 144$
PMAP 등록을 위한 메시지 헤더	
PMAP 등록메시지	$Data_{PMAP}^{BU} = 40$ (IPv6 Header) + 20 (Authentication Header) + 12 (Mobility Header [BU]) $Data_{PMAP}^{BA} = 40$ (IPv6 Header) + 20 (Authentication Header) + 12 (Mobility Header [BA]) $Data_{PMAP}^{BU} = 72$, $Data_{PMAP}^{BA} = 72$
Tunneling (MAP<->PMAP)	$Data_{PMAP}^{BU}[Tun] = Data_{PMAP}^{BU} + H_{Tun} = 120$ $Data_{PMAP}^{BA}[Tun] = Data_{PMAP}^{BA} + H_{Tun} = 120$

<Table 5>는 HMIPv6절차에 따른 각 메시지와 데이터양을 나타낸다. MIPv6에서 MAP과 홈 에이전트, 이전 MAP으로의 등록을 위한 BU와 BA 메시지는 보안을 위해 IPsec 확장헤더를 사용하고 상대노드로 보내는 BU와 BA 메시지의 보안은 Binding Authorization Data Option을 사용한다.(RFC 3776) IPsec 확장헤더로는 ESP(Encapsulating Security Payload) 확장헤더와 AH(Authentication Header) 확장헤더를 사용할 수 있는데 본 논문에서는 AH 확장헤더를 사용한다고 가정하였다. ESP 확장헤더에 대한 내용은 RFC 2406과 RFC 4303에 명시되어 있으며 AH 확장헤더에 대한 내용은 RFC 2402와 RFC 4302에 명시되어 있다.

HMIPv6에서 MAP과 홈 에이전트, 상대노드로의 BU메시지는 RCoA와 HoA를 위한 Home Address Option을 포함하고 있으며 이전 MAP으로의 BU 메시지는 LCoA를 이용하므로 Home Address Option이 필요 없다. 또한 Home Address Option을 포함하는 BU 메시지를 받은 노드는 BA 메시지를 보낼 때 타입 2 라

우팅 헤더를 추가하여야 한다. 추가적으로 상대노드의 등록을 위한 BU메시지에는 RR 테스트에 사용되는 Home Nonce Index와 Care-of Nonce Index를 포함하고 2바이트의 헤더와 가변길이의 Authenticator를 가지는 Binding Authorization Data Option이 추가되는데 본 논문에서는 가변길이가 4바이트인 Authenticator를 가정한다. MAP을 통하여 전송되는 각 등록 메시지들은 <Table 5>에 명시된 것처럼 헤더 외에 터널링을 위한 IP 터널링 헤더가 추가된다. 또한 MIPv6에서는 RR테스트를 위한 HoTI와 HoT메시지는 보안을 위하여 모바일 노드와 홈 에이전트 사이에 터널링을 이용하여 전송된다.

3) IPv6 패킷 헤더

Table 6. The size of the packet header (Byte)

패킷 전달에 필요한 IPv6 헤더와 확장헤더		
Tunneling mode	CN<->HA	$H_{Tun}^{Pk1} = 40$ (IPv6 Header) + 20 (Authentication Header) + 8 (Fragment Header) = 68
	HA<->MAP	$H_{Tun}^{Pk2} = H_{Tun}^{Pk1} + H_{Tun} = 116$
	MAP<->MN	$H_{Tun}^{Pk3} = H_{Tun}^{Pk1} + H_{Tun} + H_{Tun} = 164$
Optimization mode	CN<->MAP	$H_{Opt}^{Pk1} = 40$ (IPv6 Header) + 20 (Authentication Header) + 8 (Fragment Header) + 20 (Destination Options Header - HoA option) = 88
	MAP<->MN	$H_{Opt}^{Pk2} = H_{Opt}^{Pk1} + H_{Tun} = 136$

<Table 6>은 HMIPv6에서 상대노드와 통신하기 위한 헤더와 헤더의 크기를 나타낸다. RFC 3776에 따르면 각 등록 시그널링 뿐만 아니라 상대노드와의 통신패킷에도 보안을 요구 되고 RFC 1981, RFC 2464, RFC 2467, RFC 2470에 따르면 Path MTU (Maximum Transmission Unit)보다 큰 패킷은 PMTU 보다 작은 패킷으로 나뉘어서 전송한다. 따라서 본 논문에서는 인증헤더(Authentication Header)와 조각헤더(Fragment Header)만을 고려한다.

4) 분석적 모델을 위한 파라미터 정의

MAP 선택을 위한 비용 산출을 위하여 분석적 모델에서는 링크에서의 전송비용과 노드에서의 처리시간을 고려한다. 링크에서의 전송비용은 전송지연시간과 전파지연시간으로 구분하며 노드의 처리시간은 MAP과 홈 에이전트, 라우터 등 패킷의 전송되는 경로 상에 위치한 노드의 처리시간을 의미한다.

X. Hu 등(2005)과 S. Pack 등(2004, 2005) 에 연구에서는 노드의 처리시간으로 라우팅비용과 바인딩 캐쉬 검색비용, 터널링 비용을 각각 산출했다. 해당 연구에 의하여 라우팅 비용은 라우팅 테이블의 엔트리 수(이웃라우터의 수)의 로그값 ($O(\log(N_{\text{entry}}))$)에 비례하고 바인딩 캐쉬 검색시간은 등록 테이블의 엔트리 수(등록된 MN의 수)에 비례하며($O(N_{\text{entry}})$) 터널링을 위한 Encapsulation/ Decapsulation 비용은 상수값으로 정의하고 있다. 하지만 모바일 노드가 MAP을 선택하기 위한 과정에서 해당 테이블의 엔트리 수에 대한 정확한 정보를 미리 알 수 없으므로 위와 같은 정보는 활용하기 어렵다.

Table 7. Default values of system parameter

비용 산출을 위한 파라미터		
$\omega_{MAP/HA}$	MAP과 HA에서의 평균 처리 시간	0.05 ms
$\omega_{MN/CN/PMAP}$	MN, CN, PMAP에서의 평균 처리 시간	0.03 ms
ω_R	중간 라우터에서의 평균 처리 시간	0.001 ms
π_{WL}	무선 링크에서의 전파지연시간	2 ms

분석적 모델에 사용된 각 파라미터를 <Table 7>과 같이 정의한다. HMIPv6 프로토콜에서 노드의 처리시간을 살펴보면, MAP과 홈 에이전트는 바인딩 캐쉬의 검색, 등록, IP라우팅, 터널링 처리, 기타 처리 등을 수행하고 모바일노드와 상대노드는 터널링 처리 및 송·수신 패킷의 처리, 기타 처리 과정을 수행한다. 이러한 처리 시간은 수행해야할 작업량과 노드의 처리량에 의해 결정되며 현재 GHz 클럭 속도를 가지는 컴퓨팅 노드들이 보편화되어 고속의 처리가 가능하므로 점점 줄어들 것이다.(S. Pack 등 2005)

3. 분석적 모델

이 절에서는 모바일 노드가 수신한 RA 메시지와 MAP 옵션 정보를 기반으로 최적의 MAP을 선택할 수 있도록 하는 분석적 모델을 제시한다 먼저 등록비용 및 패킷전송비용을 구하기 위하여 유·무선 링크에서의 홉 당 표준전송시간을 정의한다.

$$T_{Unit}^W[L_{Pk}] = \frac{L_{Pk}}{BW_W}, \quad T_{Unit}^{WL}[L_{Pk}] = \frac{L_{Pk}}{BW_{WL}} + \pi_{WL} \quad (1)$$

유·무선 링크에서의 홉 당 표준전송시간은 잘 알려진 것과 같이 전송지연시간과 전파지연시간으로 나뉘지며 (1)식에서와 같이 표현된다. BW , L_{Pk} , π 는 각각 대역폭과 데이터의 크기, 지연시간을 나타낸다.

다음은 HMIPv6에서 패킷의 전송경로별로 데이터의 전송시간을 정의한다.

$$C_{MN \leftrightarrow MAP}[L_{Pk}] = \omega_{MN} + \omega_{MAP} + (T_{Unit}^W[L_{Pk}] + \omega_R) \times (D_{MN-MAP} - 1) + T_{Unit}^{WL}[L_{Pk}] \quad (2)$$

$$C_{MAP \leftrightarrow HA}[L_{Pk}] = \omega_{MAP} + \omega_{HA} + (T_{Unit}^W[L_{Pk}] + \omega_R) \times D_{HA-MAP}$$

$$C_{HA \leftrightarrow CN}[L_{Pk}] = \omega_{HA} + \omega_{CN} + (T_{Unit}^W[L_{Pk}] + \omega_R) \times D_{HA-CN}$$

$$C_{CN \leftrightarrow MAP}[L_{Pk}] = \omega_{CN} + \omega_{MAP} + (T_{Unit}^W[L_{Pk}] + \omega_R) \times D_{CN-MAP}$$

$$C_{MAP \leftrightarrow PMAP}[L_{Pk}] = \omega_{MPA} + \omega_{PMAP} + (T_{Unit}^W[L_{Pk}] + \omega_R) \times D_{PMAP}$$

HMIPv6에서 전송되는 모든 패킷은 위 5가지 전송경로를 통하여 전송되며 모바일 노드와 MAP 사이에는 한 개의 무선 홉의 존재하고 나머지는 유선 홉만 존재한다. 정의된 식은 홉 당 표준전송시간에 홉 수를 곱하여 산출한 링크의 전송시간에 각 노드에서의 처리시간을 합하여 산출한다.

다음은 K 레벨 MAP을 선택했을 때 트리구조를 가지는 HMIPv6 네트워크 모델에서 모바일 노드가 이동 가능한 최대 Micro와 Macro 이동 횟수를 정의한다.

$$N_{Max}^{Micro}[K] = n^{M-K+1} - 1 \quad (3)$$

$$N_{Max}^{Macro}[K] = n^{K-1} - 1$$

M은 수신한 MAP 옵션의 개수이고 n은 트리에서의 자식노드의 개수이다. 모바일 노드가 K 레벨의 MAP을 선택했을 때, 최대 Micro와 Macro 이동횟수는 각각 K 레벨 MAP이 관할하는 AR의 개수와 동 레벨에 위치한 MAP의 개수에서 1을 뺀 값이다.

다음은 HMIPv6 네트워크에서 비용 산출을 위한 홉 수를 정의한다.

$$D_{HA-MAP[K]} = D_{MN-HA} - D_{MN-MAP[K]} \quad (4)$$

$$D_{CN-MAP[K]} = D_{MN-CN} - D_{MN-MAP[K]}$$

$$D_{BET[K]} = D_{MAP[K]-MN} - D_{MAP[K-1]-MN} \quad \text{단, } D_{BET[M]} = D_{MAP[M]} - 1$$

$$D_{PMAP[K]} = \frac{(2D_{BET[K-1]} \times (n-1)) \times n^{K-2} + (D_{PMAP[K-1]} + 2D_{BET[K-1]}) \times N_{Max}^{Macro}[K-1]}{N_{Max}^{Macro}[K]}$$

$$\text{단, } D_p[1] = 0$$

D_{HA-MN} 와 D_{CN-MN} , D_{HA-CN} , $D_{MAP[K]-MN}$, 는 각 노드간의 홉 수를 나타내며 MAP[K]는 모바일 노드에 의해 선택된 K 레벨에 위치한 MAP을 나타낸다. 각 값은 기존에 수립된 세션과 MAP옵션 정보를 통하여 예측이 가능하다. 이 값을 바탕으로 $D_{HA-MAP[K]}$ 와 $D_{CN-MAP[K]}$, $D_{BET[K]}$, $D_{PMAP[K]}$ 을 구한다. $D_{BET[K]}$ 는 계층구조상에서 상·하위 계층에 위치한 MAP간의 거리이고 $D_{BET[M]}$ 은 최하위 계층 MAP과 AR 사이에 거리이며 $D_{PMAP[K]}$ 은 $D_{BET[K]}$ 을 기반으로 구해진 이전 MAP과의 평균 거리를 나타낸다.

1) Handover 비용

총 핸드오버 비용을 다음과 같이 정의한다.

$$C_{Handover}^{Total} = N_{Handover}^{Micro} \times C_{Handover}^{Micro} + N_{Handover}^{Macro} \times C_{Handover}^{Macro} \quad (5)$$

HMIPv6에서는 두 가지 이동 특성을 정의하고 있다. 따라서 각 이동 특성에 맞는 비용을 산출하고 이동횟수로 곱하여 총 핸드오버 비용을 산출한다.

$C_{Handover}^{Macro}$, $C_{Handover}^{Micro}$ 과 $N_{Handover}^{Macro}$, $N_{Handover}^{Micro}$ 는 각각 Macro, Micro 이동시 핸드오버의 단위 비용과 이동횟수를 나타낸다.

핸드오버 비용은 <Figure 15>와 <Figure 16> 같이 구분되며 크게 등록 전 단계와 등록 단계로 나눠 생각할 수 있다. 등록 전 단계의 비용은 <Table 3>에 나와 있는 것처럼 이미 알려진 값을 사용하고 분석적 모델에서는 상수로 취급한다. 등록 단계의 비용은 각 이동특성에 따라 다른 등록 시나리오를 가지며 이를 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$C_{Handover}^{Micro} = C_{L2} + C_{L3} = C_{L2} + C_{MD} + C_{DAD}^{LCoA} + C_{REG}^{Micro} \quad (6)$$

$$C_{Handover}^{Macro} = C_{L2} + C_{L3} = C_{L2} + C_{MD} + C_{DAD}^{LCoA} + C_{REG}^{Macro}$$

식(6)은 이동특성에 따른 단위 핸드오버비용을 나타낸다.

C_{L2} , C_{MD} , C_{DAD}^{LCoA} 는 각각 L2 핸드오버시간과 이동감지시간, LCoA에 대한 DAD 시간을 나타내고 C_{REG}^{Micro} , C_{REG}^{Macro} 는 각 이동 특성에 따른 총 등록시간을 나타낸다.

각 이동 특성에 따른 총 등록시간은 아래와 같다.

$$C_{REG}^{Micro} = T_{MAP}^{Micro} \quad (7)$$

$$C_{REG}^{Macro}[Tun] = T_{MAP}^{Macro} + T_{DAD}^{RCoA} + T_{HA} + T_{PMAP}$$

$$C_{REG}^{Macro}[Opt] = T_{MAP}^{Macro} + T_{DAD}^{RCoA} + T_{HA} + T_{PMAP} + T_{CN}^{Total}$$

(7)식은 각 등록 시나리오에 따른 등록비용을 나타낸다.

등록메시지 교환에 따른 지연시간은 모바일 노드의 이동특성에 따라 Micro이동과 Macro이동으로 나눠 산출한다. Micro 인 경우에는 MAP으로의 등록메시지 교환만 필요하고 Macro 이동시는 MAP으로의 등록메시지 교환뿐만 아니라 MAP에서의 RCoA에 대한 주소중복검사시간, 홈 에이전트로의 등록메시지 교환이 필요하며 끊임없는 서비스를 위해 이전 MAP으로의 등록메시지 교환 또한 필요하다. 위 등록과정이 끝나면 통신패킷은 터널링을 통하여 모바일 노드로 전달된다. 패킷 전송 시 모바일 노드는 선택적으로 경로최적화를 지원한다. 경로를 최적화하기 위해서는 추가적으로 상대노드에 대한 등록이 필요하다.

(7)식에 나타난 각 등록메시지 교환시간을 정의한다. ($T_{first} = 1.5$, $T_{init} = 1$)

$$T_{MAP}^{Micro} = T_{MAP}^{BU}[Micro] + T_{MAP}^{BA} \quad (8)$$

$$= p \times C_{MN \rightarrow MAP}[Data_{MAP}^{BU}] + \sum_{i=2}^7 p(1-p)^{i-1} (C_{MN \rightarrow MAP}[Data_{MAP}^{BU}] + 2^{i-2} \times T_{init}) \\ + C_{MN \rightarrow MAP}[Data_{MAP}^{BA}]$$

$$T_{MAP}^{Macro} = T_{MAP}^{BU}[Macro] + T_{MAP}^{BA}$$

$$= p \times C_{MN \rightarrow MAP}[Data_{MAP}^{BU}] + \sum_{i=2}^6 p(1-p)^{i-1} (C_{MN \rightarrow MAP}[Data_{MAP}^{BU}] + 2^{i-2} \times T_{first}) \\ + C_{MN \rightarrow MAP}[Data_{MAP}^{BA}]$$

$$T_{HA} = T_{HA}^{BU} + T_{HA}^{BA}$$

$$= p \times (C_{MN \rightarrow MAP}[Data_{HA}^{BU}[Tun]] + C_{MAP \rightarrow HA}[Data_{HA}^{BU}]) \\ + \sum_{i=2}^7 p(1-p)^{i-1} (C_{MN \rightarrow MAP}[Data_{HA}^{BU}[Tun]] + C_{MAP \rightarrow HA}[Data_{HA}^{BU}] + 2^{i-1} \times T_{init}) \\ + C_{HA \rightarrow MAP}[Data_{HA}^{BA}] + C_{MAP \rightarrow MN}[Data_{HA}^{BA}[Tun]]$$

$$T_{PMAP} = T_{PMAP}^{BU} + T_{PMAP}^{BA}$$

$$= p \times (C_{MN \rightarrow MAP}[Data_{PMAP}^{BU}[Tun]] + C_{MAP \rightarrow PMAP}[Data_{PMAP}^{BU}]) \\ + \sum_{i=2}^7 p(1-p)^{i-1} (C_{MN \rightarrow MAP}[Data_{PMAP}^{BU}[Tun]] + C_{MAP \rightarrow PMAP}[Data_{PMAP}^{BU}] + 2^{i-1} \times T_{init}) \\ + C_{PMAP \rightarrow MAP}[Data_{PMAP}^{BA}] + C_{MAP \rightarrow MN}[Data_{PMAP}^{BA}[Tun]]$$

$$\begin{aligned}
T_{CN}^{Total} &= T_{CN}^{BU} + T_{CN}^{BA} + T_{CN}^{HoTI} + T_{CN}^{HoT} + T_{CN}^{CoTI} + T_{CN}^{CoT} \\
&= T_{CN}^{REG} + T_{CN}^{HT} + T_{CN}^{CT}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
T_{CN}^{REG} &= T_{CN}^{BU} + T_{CN}^{BA} \\
&= p \times (C_{MN \rightarrow MAP}[Data_{CN}^{BU}[Tun]] + C_{MAP \rightarrow CN}[Data_{CN}^{BU}]) \\
&\quad + \sum_{i=2}^7 p(1-p)^{i-1} (C_{MN \rightarrow MAP}[Data_{CN}^{BU}[Tun]] + C_{MAP \rightarrow CN}[Data_{CN}^{BU}] + 2^{i-1} \times T_{init}) \\
&\quad + C_{CN \rightarrow MAP}[Data_{CN}^{BA}] + C_{MAP \rightarrow MN}[Data_{CN}^{BA}[Tun]]
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
T_{CN}^{HT} &= T_{CN}^{HoTI} + T_{CN}^{HoT} \\
&= C_{MN \rightarrow MAP}[Data_{CN}^{HoTI}[2Tun]] + C_{MAP \rightarrow HA}[Data_{CN}^{HoTI}[Tun]] + C_{HA \rightarrow CN}[Data_{CN}^{HoTI}] \\
&\quad + C_{CN \rightarrow HA}[Data_{CN}^{HoT}] + C_{HA \rightarrow MAP}[Data_{CN}^{HoT}[Tun]] + C_{MAP \rightarrow MN}[Data_{CN}^{HoT}[2Tun]]
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
T_{CN}^{CT} &= T_{CN}^{CoTI} + T_{CN}^{CoT} \\
&= C_{MN \rightarrow MAP}[Data_{CN}^{CoTI}[Tun]] + C_{MAP \rightarrow CN}[Data_{CN}^{CoTI}] \\
&\quad + C_{CN \rightarrow MAP}[Data_{CN}^{CoT}] + C_{MAP \rightarrow MN}[Data_{CN}^{CoT}[Tun]]
\end{aligned}$$

각 등록 메시지의 교환은 요청메시지와 응답메시지가 각 한 쌍을 이루어 같은 경로로 전송되므로 이를 묶어서 표현하였다. $T_{HA}^{BU/BA}$, $T_{PMAP}^{BU/BA}$, $T_{CN}^{BU/BA}$, $T_{CN}^{BU/BA}$, $T_{CN}^{HoTI/HoT}$, $T_{CN}^{CoTI/CoT}$ 는 각 메시지의 전달비용을 나타내고 (3)식으로부터 얻을 수 있다. $Data_{MAP}^{BU}$, $Data_{HA}^{BU}$, $Data_{PMAP}^{BU}$, $Data_{CN}^{BU}$ 은 각각 MAP과 홈 에이전트, 이전 MAP, 상대노드로 향하는 메시지의 크기를 나타내고 <Table 5>을 참고하기 바란다. MAP으로의 등록 메시지를 제외하고 나머지 메시지들은 모바일 노드와 MAP 사이에서 터널링과 역터널링을 이용하여 전송되고 HoT와 HoTI 메시지는 보안을 위하여 모바일 노드와 홈 에이전트 사이에 추가적인 터널링을 형성한다. 또한, MIPv6에서는 BU 메시지의 정확한 전송을 위하여 BU메시지를 보내고 재전송시간(Retrans Time) 후에 BA메시지를 받지 못하면 BU메시지를 재

전송한다. BU 메시지의 재전송은 Exponential Back-off 알고리즘을 이용하며 기다리는 시간을 두 배씩 증가하면서 전송된다. 처음 등록을 위한 BU메시지 ($T_{MAP}^{BU}[Macro]$)는 재전송 시간의 1.5초이고 등록을 업데이트하기 위한 BU 메시지 ($T_{MAP}^{BU}[Micro]$)는 1초이다. 재전송은 BA 메시지를 받거나 최대타임아웃(32초) 시간이 지나면 종료된다. 이러한 BU메시지의 재전송은 성공확률이 p 인 초기하 분포를 따르며 ($X \sim \text{Geo}(p)$) 이 때 등록을 위한 추가비용을 (8)식에 포함시켰다.

다음은 모바일 노드의 이동속도에 따른 Micro와 Macro 이동횟수를 산출한다.

- 모바일 노드의 속도가 V 움직일 때, T 시간 후 모바일 노드의 주소 등록 횟수

$$AR[T] = \lfloor (V \times T) / Cov \rfloor + 1 \quad (9)$$

$$N_T^{Macro} = \lfloor (AR[T] - 1) / (N_{Max}^{Micro} + 1) \rfloor + 1$$

$$N_T^{Micro} = AR[T] - N_T^{Macro}$$

모바일 노드가 T 시간 후에 위치한 AR을 $AR[T]$ 라 하면 이는 속도, 시간, AR의 커버리지를 이용하여 구할 수 있고, k레벨 MAP의 영역과의 관계를 이용하여 Micro와 Macro 이동시에 등록 횟수를 구할 수 있다. N_T^{Macro} , N_T^{Micro} 은 각각 T 시간 후 Macro, Micro 이동횟수를 나타낸다. N_{Max}^{Micro} 는 k레벨 MAP선택 시 최대 Micro 이동횟수로 (3)식을 참조 바란다. Macro 이동은 맨 처음 MAP 영역에 들어왔을 때와 MAP 커버리지 만큼 모바일노드가 움직일 때마다 발생하고 Micro 이동과 Macro 이동의 합은 모바일 노드가 T 시간 후에 위치한 AR의 위치와 같다. $\lfloor \rfloor$ 표식은 해당 값보다 크지 않은 정수를 나타낸다.

- 모바일 노드가 V 속도로 움직이면서 D 만큼의 데이터양을 전송할 때 모바일 노드의 주소 등록 횟수

먼저 D 만큼의 데이터양을 전송하는데 걸린 시간을 T_D 라 하면 T_D 시간동안 추가적인 등록으로 인한 지연 시간이 생기는데 이를 $T_{R(1)}$ 이라 두자. $T_{R(1)}$ 시간동안 다시 이동으로 인한 등록이 생기므로 i 번째 추가적인 등록비용은 다음과 같다.

$$\Delta T_{R(i)} = N_{T_{R(i-1)}}^{Macro} \times C_{handover}^{Macro} + N_{T_{R(i-1)}}^{Micro} \times C_{handover}^{Micro} \quad (10)$$

(9)식에 T 대신 T_D 를 대입하여 $N_{T_{R(i-1)}}^{Macro}$ 와 $N_{T_{R(i-1)}}^{Micro}$ 를 얻고 (10)식을 계산하여 $\Delta T_{R(1)}$ 을 얻는다. 이 과정을 반복하여 i 번째 추가비용을 계산한다.

(9), (10)식에 의해 모바일 노드가 V 속도로 움직이면서 D 만큼의 데이터를 받기 위한 총 등록 횟수는 다음과 같다.

$$AR[D] = \left\lceil (V \times (T + \sum_{i=1}^{\infty} \Delta T_{R(i)})) / Cov \right\rceil + 1 \quad (11)$$

$$N_D^{Macro} = \left\lceil (AR[D] - 1) / (N_{Max}^{Micro} + 1) \right\rceil + 1$$

$$N_D^{Micro} = AR[D] - N_D^{Macro}$$

- 모바일 노드가 HMIPv6 네트워크의 전체 영역을 통과했을 때 주소 등록 횟수

$$N_{All}^{Macro} = N_{Max}^{Macro} + 1 \quad (12)$$

$$N_{All}^{Micro} = N_{Max}^{Micro} \times N_{All}^{Macro}$$

완전이진 트리를 가정했으므로 k 레벨 MAP의 개수만큼 Macro 이동이 생기고 Micro 이동 횟수는 k 레벨 MAP 내에서의 최대 Micro 이동횟수에 MAP의 개수를 곱하여 구한다.

$N_{Handover}^{Micro}$, $N_{Handover}^{Macro}$ 는 핸드오버시의 이동 유형에 따른 이동 횟수를 나타내고 이는 각 이동유형에 맞춰 (9), (11), (12)식에 대입하여 구할 수 있다.

2) 패킷전달비용

HMIPv6에서 상대노드와의 통신은 홈 에이전트를 걸쳐 전송되는 터널링모드와 상대노드와 직접 통신하는 최적화모드로 나눌 수 있다. 상대노드와의 통신에서 사용되는 각 패킷은 PMTU 크기로 나뉘어서 전송되고 각 패킷에는 IP헤더가 추가되므로 실제 보내지는 데이터의 양은 PMTU에서 추가된 헤더를 뺀 양과 같다. 또한 각 전송경로별 추가되는 헤더의 양이 다르므로 각각의 전송되는 패킷의 수는 각 전송경로마다 다르다. (13), (14)식은 각 전송모드별로 전송경로에 따라 전송되는 패킷의 수(전송횟수)를 나타낸다.

$$r_{Tun}^{Pk1} = DATA_{Total} / (PMTU_{Tun} - H_{Tun}^{Pk1}) \quad (13)$$

$$r_{Tun}^{Pk2} = DATA_{Total} / (PMTU_{Tun} - H_{Tun}^{Pk2})$$

$$r_{Tun}^{Pk3} = DATA_{Total} / (PMTU_{Tun} - H_{Tun}^{Pk3})$$

$$r_{Opt}^{Pk1} = DATA_{Total} / (PMTU_{Opt} - H_{Opt}^{Pk1}) \quad (14)$$

$$r_{Opt}^{Pk2} = DATA_{Total} / (PMTU_{Opt} - H_{Opt}^{Pk2})$$

$DATA_{Total}$ 은 통신하고 있는 전체 데이터량을 나타내고 $PMTU_{Opt}$, $PMTU_{Tun}$ 는 각각 최적화 모드와 터널링 모드로 패킷을 전송 시에 각 링크상의 PMTU를 나타낸다. H_{Tun}^{Pk} , H_{Opt}^{Pk} 는 각 패킷의 전송모드별로 추가되는 헤더를 나타내며 <Table 6>을 참조 바란다.

(13), (14)식에 의해 각 전송모드별 총 PMTU 패킷의 전송횟수는 각각 $\lfloor r_{Tun}^{Pk} \rfloor$, $\lfloor r_{Opt}^{Pk} \rfloor$ 이고 마지막 조각패킷의 데이터 크기는 $MOD(r_{Tun}^{Pk})$, $MOD(r_{Opt}^{Pk})$ 에 의해 구할 수 있다.

PMTU 패킷과 마지막 조각패킷의 전송비용은 (2)식에 의해 다음과 같다.

$$C_{Opt}[PMTU] = C_{MN \rightarrow MAP}[PMTU_{Opt}] + C_{MAP \rightarrow CN}[PMTU_{Opt} - H_{Tun}] \quad (15)$$

$$C_{Tun}[PMTU] = C_{MN \rightarrow MAP}[PMTU_{Tun}] + C_{MAP \rightarrow HA}[PMTU_{Tun} - H_{Tun}] \\ + C_{HA \rightarrow CN}[PMTU_{Tun} - 2H_{Tun}]$$

$$C_{Opt}[MOD(r_{Opt}^{Pk})] = C_{MN \rightarrow MAP}[MOD(r_{Opt}^{Pk}) + H_{Tun}] + C_{MAP \rightarrow CN}[MOD(r_{Opt}^{Pk})]$$

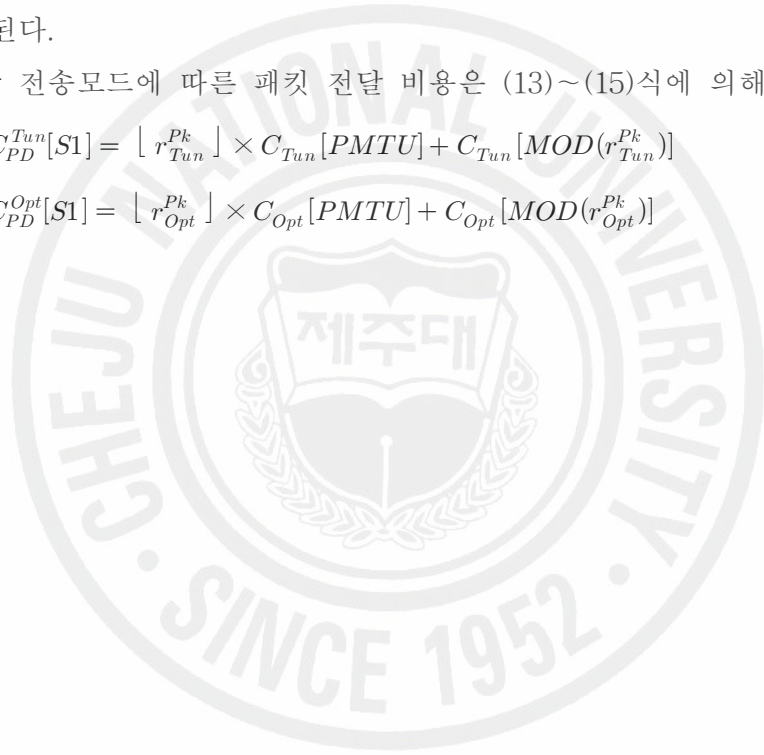
$$C_{Tun}[MOD(r_{Tun}^{Pk})] = C_{MN \rightarrow MAP}[MOD(r_{Tun}^{Pk}) + 2 \times H_{Tun}] + C_{MAP \rightarrow HA}[MOD(r_{Tun}^{Pk}) + H_{Tun}] \\ + C_{HA \rightarrow CN}[MOD(r_{Tun}^{Pk})]$$

상대노드와 홈 에이전트모바일 노드와 MAP 사이에는 PMTU에 같은 양의 패킷의 전달된다.

따라서 각 전송모드에 따른 패킷 전달 비용은 (13)~(15)식에 의해 다음과 같다.

$$C_{PD}^{Total} = C_{PD}^{Tun}[S1] = \lfloor r_{Tun}^{Pk} \rfloor \times C_{Tun}[PMTU] + C_{Tun}[MOD(r_{Tun}^{Pk})] \quad (16)$$

$$C_{PD}^{Total} = C_{PD}^{Opt}[S1] = \lfloor r_{Opt}^{Pk} \rfloor \times C_{Opt}[PMTU] + C_{Opt}[MOD(r_{Opt}^{Pk})]$$



IV. 성능평가

이 장에서는 제안된 분석적 모델을 바탕으로 HMIPv6 네트워크에서 특정 조건이 주어질 때 각 MAP 레벨에 따른 총비용을 산출하고 이 때 최소 비용을 가지는 MAP을 선택한다. 또한 각 요인들을 변화하면서 MAP에서의 총 비용 변화를 알아보고 해당 조건이 MAP 선택에 미치는 영향정도를 알아본다. 추가적으로 다른 MAP 선택알고리즘과의 비교를 위하여 HMIPv6에 제안되어 있는 가장 먼 MAP을 선택하는 방법과 제안기법에 의해 선택된 MAP 간의 비용을 비교하고 그 결과를 살펴본다.

MAP에 대한 선택비용은 HMIPv6 전체 네트워크에서의 총 핸드오버비용과 총 패킷전달비용으로 나뉘지고 패킷전달비용은 다시 터널링모드와 최적화 모드로 나뉘서 구할 수 있다. 총 핸드오버 비용은 각 이동특성에 따른 핸드오버 비용과 각 이동 횟수를 곱하여 산출하고 (5)식에 나타냈다. 패킷전달비용은 터널링과 최적화 경로로 나뉘 산출하고 총 비용은 식(16)에 나타내었다.

따라서 각 레벨의 MAP을 선택했을 때의 총 비용은 다음과 같다.

$$C_{TOTAL} = C_{Handover}^{Total} + C_{PD}^{Total}$$

1. 성능평가 시나리오

<Table 8>은 성능평가에 사용된 각 상수 값을 정의한다..

Table 8. Parameter values for numerical analysis

변수	설명	값
M	전체 MAP의 레벨 수	10
K	비용 측정을 위해 선택된 MAP의 레벨 ($K \leq M$)	1 ~ 10
n	상위계층과 하위계층 간의 링크의 수 ($n \in N$)	2
Cov	AR의 커버리지 (m)	100
BW _w	유선링크에서의 평균 대역폭	100 Mbps

BW_{WL}	무선링크에서의 평균 대역폭	11 Mbps
$\omega_{MAP/HA}$	MAP과 HA에서의 평균 처리 시간	0.05 ms
$\omega_{MN/CN/PMAP}$	MN, CN, PMAP에서의 평균 처리 시간	0.03 ms
ω_R	중간 라우터에서의 평균 처리 시간	0.001 ms
π_{WL}	무선 링크에서의 지연시간	2 ms
C_{L2}	L2 핸드오버 지연시간	50 ms
C_{MD}	이동 감지 지연시간	100 ms
D_{BET}	상·하위 계층에 위치한 MAP 사이 홉 수	2
D_{MN-HA}	AR에서 HA까지 홉 수	30
D_{MN-CN}	AR에서 CN까지 홉 수	30
D_{HA-CN}	HA와 CN들 사이 평균 홉 수	10
V	모바일 노드의 평균속도 (km/h)	5 ~ 100
$Data_{Total}$	총 통신하고자 하는 데이터 양 (Mbyte)	10 ~ 1000
p	패킷의 전송 성공 확률	0.99 ~ 0.999
C_{DAD}	LCoA와 RCoA의 DAD 수행시간(sec)	0, 1

현재 유선링크의 속도는 약 100Mbps 정도이며, 무선링크의 속도는 약 11Mbps이다. 라우터의 커버리지는 약 100m이며, 그 외 처리시간 및 지연시간은 앞에서 설명한 바가 있다. 패킷의 전송 성공 확률은 링크 에러율과 노드의 고장률을 생각하여 0.99에서 0.999에 대하여 측정한다. DAD의 성공확률은 <Table 3>에 나타난 것과 같지만, Y. Han 등(2003) 와 N. Moore (RFC 4429 , 2006)가 제안하는 프로토콜이 경우 0 초이므로 0, 1 로 값을 변화하며 측정한다. 모바일 노드의 속도와 총 데이터양은 아주 가변적이기 때문에 변화의 폭을 넓게 하여 측정한다.

2. MAP 레벨에 따른 핸드오버 비용과 패킷전달 비용

1) MAP 레벨에 따른 핸드오버 비용 (Micro, Macro[Tun], Macro[Opt])

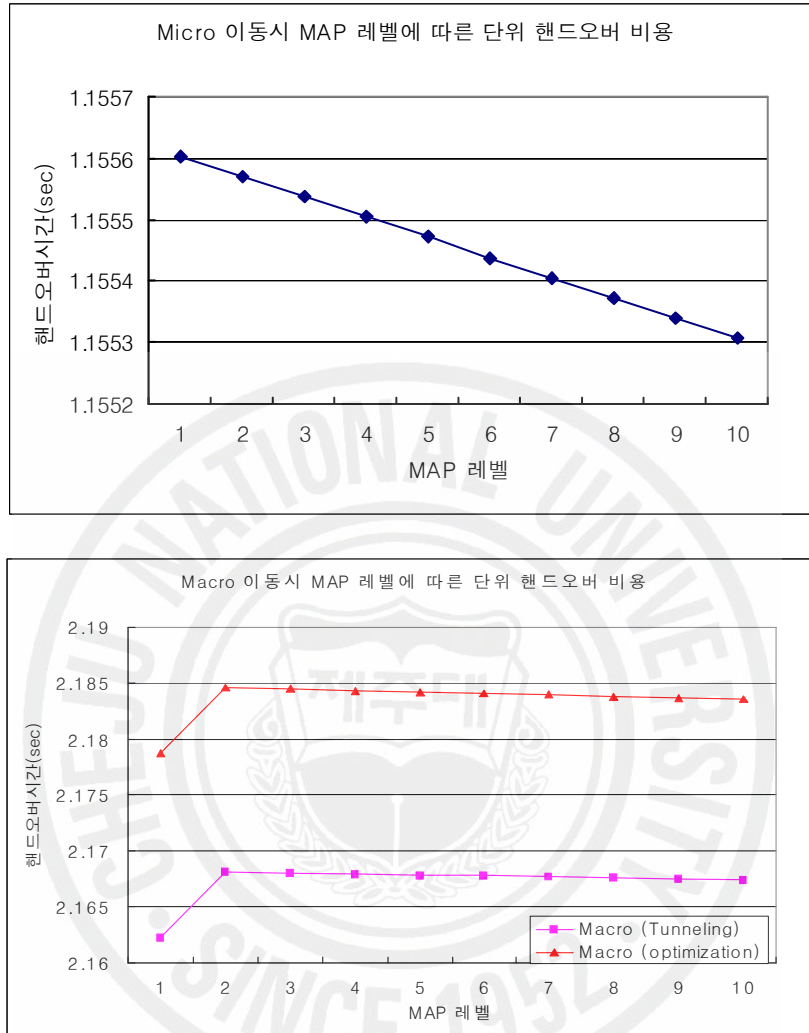


Figure 17. Unit handover latency

<Figure 17>는 핸드오버 지연시간을 나타내며 DAD 시간을 1초로 했을 때의 값이다. 모바일 노드가 Micro 이동시에는 약 1.1556 ~ 1.1558 초 정도이며 Macro 이동시에는 약 2.162 ~ 2.185 초 정도의 시간이 걸린다. 하위 레벨의 MAP 일 수록(레벨 10) 모바일 노드와의 거리가 가까워지므로 등록메시지 교환 시간은 더 짧아지고 결과적으로 핸드오버 지연시간 또한 짧아짐을 알 수 있다. Macro 이동시 최상위 1 레벨에 위치한 MAP인 경우 핸드오버시간이 짧은 이유

는 이전 MAP으로의 등록을 수행하지 않기 때문이다. HMIPv6 프로토콜에서 이전 MAP으로의 등록은 패킷 손실을 줄이는 목적으로 사용되지만, 같은 ISP나 Administrator에 의해 관리되는 영역으로만 보낼 수 있다. 따라서 최초 HMIPv6 네트워크로 들어왔을 때는 이전 MAP으로의 등록은 수행하지 않는다. 전체적으로 핸드오버 시간은 1 ~ 2 초 정도의 시간이 걸리며 이는 LCoA와 RCoA의 DAD 지연시간과 이동을 감지하기 위한 Movement Detect를 수행하기 때문이다.

2) MAP 레벨에 따른 패킷전달 비용 (Tunneling, Optimization)

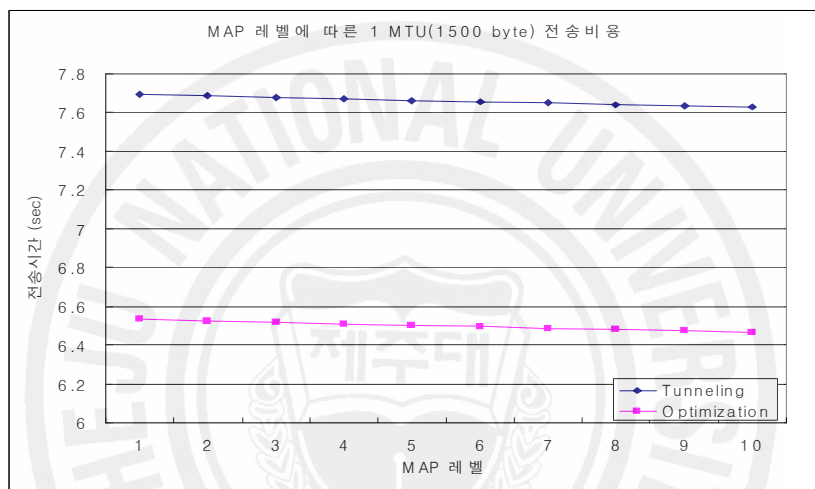


Figure 18. Unit packet delivery cost

패킷전달은 홈 에이전트와 MAP을 걸쳐 전송되는 터널링 모드와 상대노드와 직접 통신하는 최적화 모드로 나뉘 볼 수 있다. 최적화 모드의 경우 터널링을 사용하는 것에 비하여 전송거리가 가까울 뿐 아니라 추가되는 헤더의 양의 적기 때문에 상대적으로 패킷 전송을 위한 비용이 적다. 또한 앞에서와 마찬가지로 하위에 위치한 MAP일수록 패킷 전송 비용이 줄어드는 것을 볼 수 있다. 패킷전송에서 헤더의 크기는 중요한 역할을 하며 식(13, (14)에 따라 헤더의 크기가 크면 클수록 전송되는 패킷의 수는 증가하고 이는 총 패킷전송비용의 증가요인이 된다.

3. MAP 선택 시 고려해야할 요인 분석

1) 모바일노드의 속도

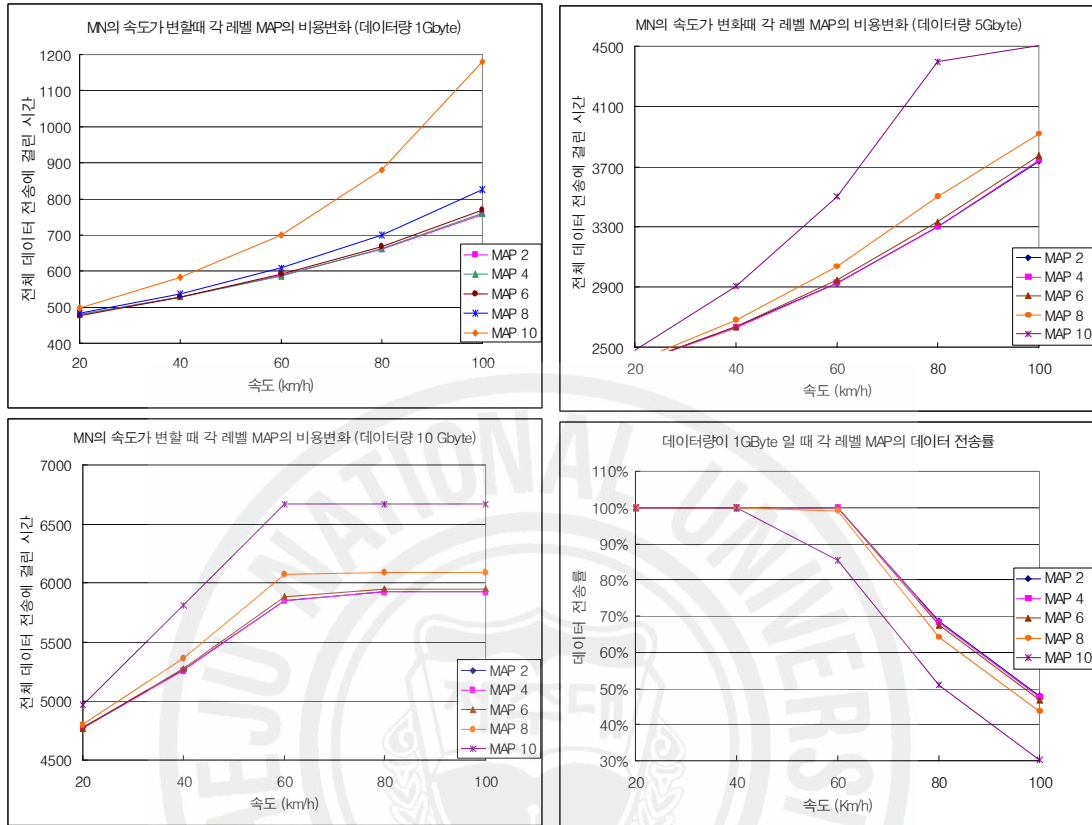


Figure 19. Total cost comparison according to the MN's speed [1]

<Figure 19>는 $p=0.999$, $DAD=1$ 일 때, 데이터량을 달리하면서 속도에 따른 MAP 선택비용의 변화를 측정하였다. 데이터량을 변화시킨 각 그래프에서 전체 비용은 큰 폭으로 증가하는 경향을 보이는데 이는 데이터량이 증가 폭과 거의 비례하여 증가하며 패킷전송비용의 증가에 기인한다. 또한 지수함수 모양으로 증가하다가 특정 정점에 도착하면 거의 일정하게 유지되는 것을 볼 수 있다. 이는 전체 AR 영역을 모두 통과하는 동안의 데이터양만을 그래프에 표현했기 때문이다. 특히 속도가 빠른 경우 이러한 경향이 두드러지게 나타났으며 참고적으로 데이터량이 10GByte일 때 전체 네트워크에서 속도에 따른 데이터 전송률을 나타냈다.

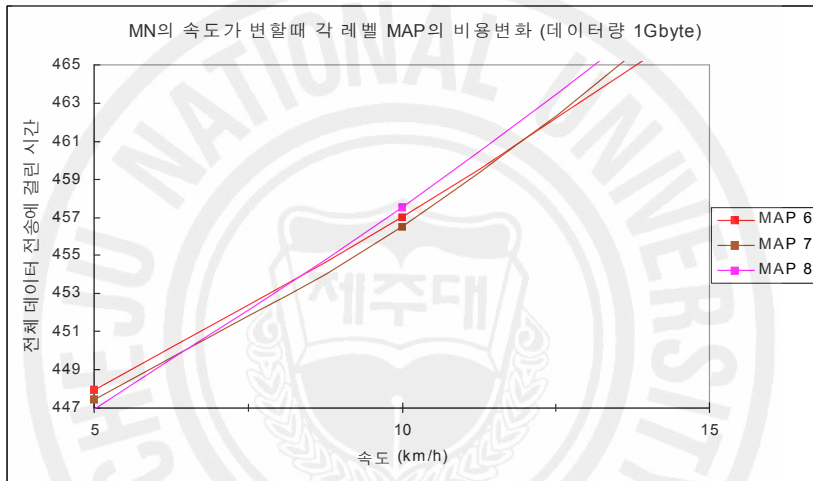
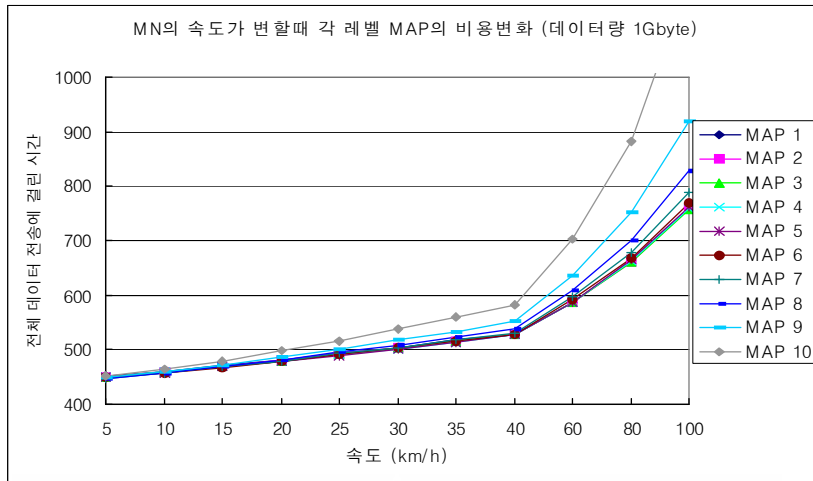


Figure 20. Total cost comparison according to the MN's speed [2]

<Figure 20>은 속도에 따른 MAP의 총비용을 좀 더 자세히 알아보기 위하여 전체적인 MAP의 총비용과 그래프의 일부를 확대한 모습이다. 그래프에 따르면 데이터량이 일정한 경우, 모바일 노드의 속도가 증가함에 따라 MAP 선택비용은 증가하는 경향을 보이는데 이는 속도가 높을수록 더 많은 거리를 이동하므로 핸드오버비용이 더 많이 필요하게 된다. 또한 하위에 위치한 MAP일수록 속도변화에 따른 비용이 기울기가 커지는 것을 볼 수 있는데 이는 Micro 이동에 비해 상대적으로 비용이 큰 Macro 이동이 많아졌기 때문이다. 아래 그림에서는 속도가 5, 10, 15로 변할 때 MAP 6, 7, 8에서의 비용변화를 보여준다. 먼저 속도가 5일 때, 레벨 8인 MAP이 최소비용을 갖지만 속도 10으로 증가하면서 레벨 7인

MAP이 최소비용을 가진다. 속도가 더 증가하여 15가 되면 6레벨의 MAP이 최소비용을 갖는 것을 볼 수 있다. 최소비용을 갖는 MAP 레벨의 변화를 좀 더 확실히 알아보기 위하여 총 데이터량이 정해졌을 때 각 이동 특성에 따른 이동 횟수와 최소비용을 갖는 MAP 레벨변화를 나타냈다.

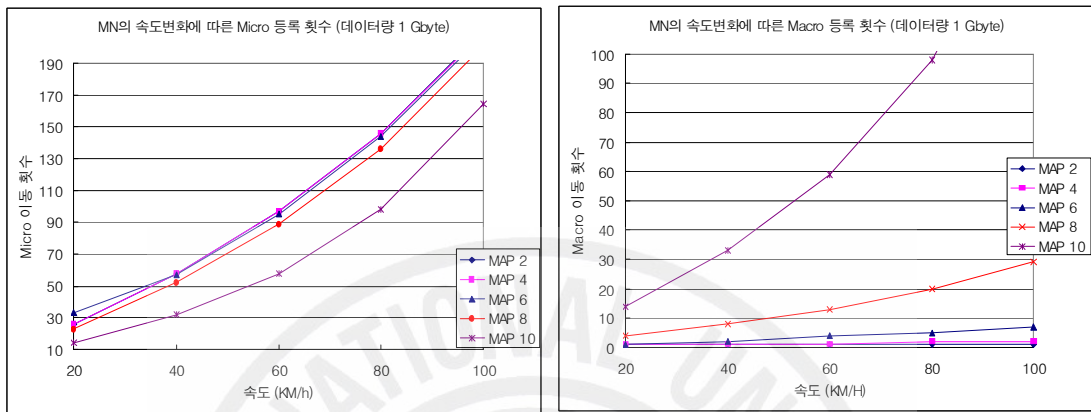


Figure 21. The number of movement according to the MN's speed

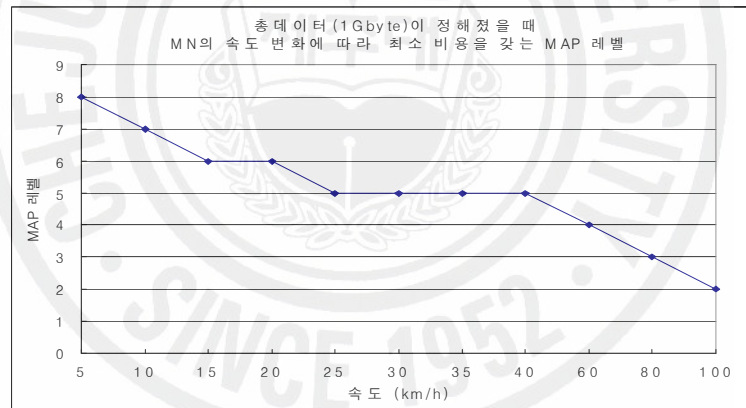


Figure 22. Minimum cost MAP's level according to the MN's speed

<Figure 21>과 <Figure 22>의 결과를 보면, 속도가 증가함에 따라 상위 레벨에 위치한 MAP의 최소비용을 갖는다는 것을 알 수 있으며 이는 하위에 위치한 MAP일수록 상대적으로 비용이 큰 Macro 핸드오버가 자주 발생하여 총 핸드오버비용을 증가시켰기 때문이다. 위 사실에서 알 수 있듯이 MAP의 선택은 속도에 따라 달라지며 MAP 선택 시에는 속도에 대한 고려가 필요하다는 결론을 내릴 수 있다.

2) 데이터량

다음은 총 데이터량을 변화하면서 측정된 결과이다.

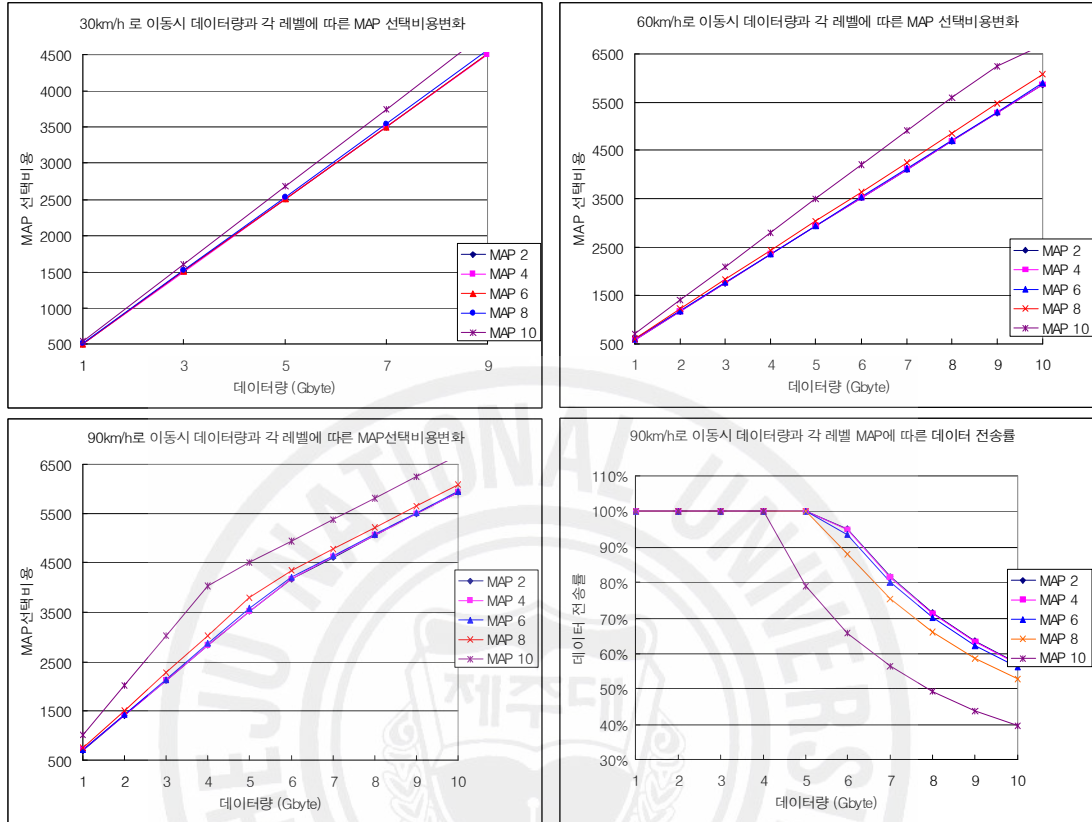


Figure 23. Total cost comparison according to the size of transfer data

위 그래프를 살펴보면, 모바일 노드의 속도가 30, 60일 때에는 직선의 형태로 증가하고 90일 때에는 증가폭이 변화하는 것을 볼 수 있다. 속도가 낮을 때에는 데이터량이 증가함에 따라 패킷전달비용과 핸드오버 비용이 동시에 증가하지만 속도가 높아짐에 따라 기울기가 변하는 점이 나타나는 것을 확인할 수 있다. 이는 전체 AR 영역을 모두 통과하여 핸드오버 비용이 더 이상 증가하지 않기 때문이다. 추가적으로 속도가 90 Km/h 일 때, 데이터량에 따른 전송률을 나타냈다.

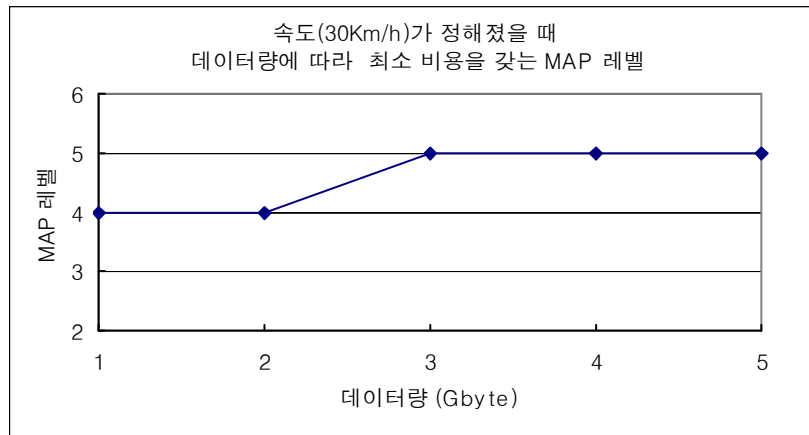


Figure 24. Minimum cost MAP's level according to the size of data

<Figure 24>는 데이터량에 따라 최소비용을 갖는 MAP을 나타낸다. 2GByte와 3GByte 사이에서 데이터의 양이 증가하면 하위에 위치한 MAP의 최소비용을 갖는 것을 확인할 수 있다. 그 외 구간에서는 데이터량에 따라 최소비용을 갖는 MAP 레벨의 변화가 없는데 이는 총비용에 데이터 전달비용과 핸드오버비용이 같이 작용했기 때문이다.

3) 패킷의 전송 성공 확률

HMIPv6에서는 확실한 등록을 수행하기 위해 BU 메시지의 Back-off 매커니즘을 지원한다. 따라서 이에 따라 MAP의 총비용의 변화를 살펴본다.

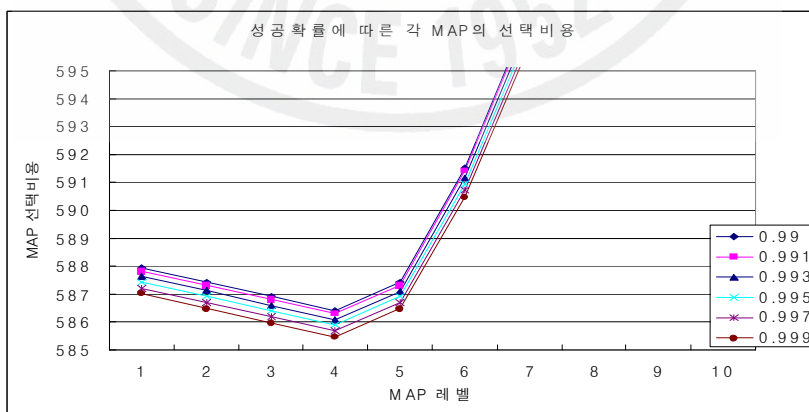


Figure 25. Total cost comparison according to the success probability of the BU message

<Figure 25>는 모바일 노드의 속도가 60Km/h 이고 데이터량이 1GByte일 때 BU 메시지의 전송성공확률을 달리하면서 측정한 그래프로써 최소비용을 갖는 MAP의 레벨은 메시지 전송성공확률과 무관하지만 성공확률이 높을수록 각 MAP 레벨에서의 총비용은 감소하는 것을 볼 수 있다.

4) DAD 시간

앞에서도 살펴봤지만 DAD시간은 핸드오버시간의 대다수를 차지한다. 따라서 이 시간의 변함에 따라 MAP선택이 어떻게 변하는지를 살펴본다.

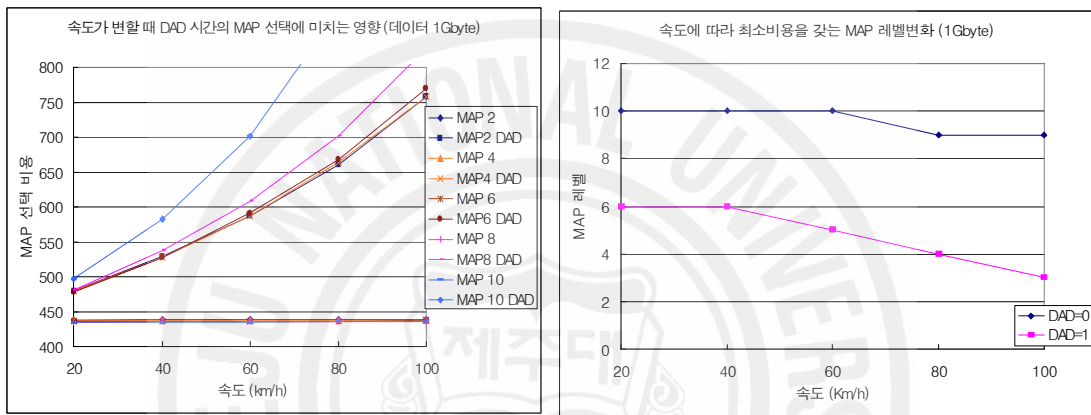


Figure 26. Total cost comparison according to the DAD latency

왼쪽그래프에 따르면 속도가 증가함에 따라 총비용은 증가한다. 이는 데이터량이 정해져 있으므로 이동속도에 따라 핸드오프 비용의 증가하였기 때문으로 판단할 수 있다. DAD지연시간이 1일 때는 지수적으로 증가하고 DAD지연시간이 0일 때는 직선인 것을 볼 수 있는데 핸드오프비용의 지수적 증가는 DAD 지연시간이 원인이며 DAD 지연시간을 줄이면 MAP의 총비용은 이동속도에 관계없이 일정함을 알 수 있다. 오른쪽그래프에서는 속도 증가에 따라 최소비용을 갖는 MAP을 나타내며 앞서도 말했듯이 이동속도가 높을수록 상위 레벨에 위치한 MAP이 선택됨을 알 수 있다. DAD 시간이 0일 때는 선택된 MAP 레벨의 차이가 1인 것을 알 수 있고 DAD 시간이 1일 때는 선택된 MAP 레벨의 차이가 3인 것을 알 수 있다. 결과적으로 DAD시간은 MAP선택에 영향을 주지만 그 영향이 정도가 작다.

V. 결론

이 논문은 HMIPv6에서 핸드오버의 성능에 결정적인 역할을 하는 MAP 선택에 관한 문제를 다루었으며 이를 위해 MIPv6와 HMIPv6 프로토콜의 동작과정과 기존에 제안된 MAP 선택 알고리즘이 특징과 단점을 살펴보았으며 이를 기반으로 기존에 프로토콜에 대한 수정이나 추가적인 프로세스 없이 모바일 노드에 의해 쉽고 빠르게 MAP을 선택할 수 있는 분석적 모델을 설계하였다. 해당 모델은 MAP 선택과 관련된 핵심인자들만으로 구성된 간단한 모델로써 실제에서 간편하게 구현이 가능하다.

본 논문에서 제안된 분석적 모델의 평가결과, 모바일 노드의 속도가 증가함에 따라 MAP을 선택하기 위한 비용은 지수적으로 증가한다는 사실과 데이터양과 MAP 선택 비용은 비례하며 데이터양이 클수록 모바일 노드와 가까운 하위레벨 MAP이 선택되는 것을 볼 수 있었다. 또한, BU메시지의 성공확률이 높을수록 MAP 선택비용은 줄어들지만 MAP선택에는 영향을 못 미친다는 것을 알았고 DAD 지연시간은 속도 증가에 따라 MAP 선택비용이 지수적인 증가의 원인임을 알았다. MAP의 선택은 거리에만 영향을 받는 것이 아니라 속도와 데이터량, DAD지연시간에 따라 선택되는 MAP이 변하며 각각의 값에 따라 최소비용을 가지는 MAP을 선택하는 방법이 필요하다. 본 논문은 HMIPv6 프로토콜 적용 시 최소비용을 갖는 MAP을 모바일 노드가 선택할 수 있도록 하는 분석적 모델을 제시했으며 MAP 선택과 관련된 여러 변수를 변화하면서 측정함으로써 HMIPv6 프로토콜을 적용하고자 하는 네트워크 관리자나 ISP관리자들에게 가이드라인을 제공한다. 향후에는 좀 더 실질적이면서 많은 변수를 포함하는 MAP 선택 알고리즘의 제안과 여러 네트워크 환경 하에서 제안된 모델이 잘 동작함을 확인할 필요가 있다.

VI. 참고문헌

- A. Conta, and S. Deering, "ICMP for the Internet Protocol Version 6 (IPv6)", RFC 2463. Dec. 1998.
- A. Conta, S. Deering, "Generic Packet Tunneling in IPv6 Specification", RFC 2473, December 1998.
- C. Perkins, Ed., "IP Mobility Support for IPv4", RFC 3344, August 2002.
- D. Johnson, C. Perkins, J. Arkko, "Mobility Support in IPv6", RFC 3775, June 2004.
- H. Soliman, C. Castelluccia, K. El Malki, L. Bellier, "Hierarchical Mobile IPv6 Mobility Management(HMIPv6)", RFC 4140, August 2005.
- Hu, X. Song, J Song, M. 2005, "An Adaptive Mobility Anchor Point Selection Algorithm for Hierarchical MobileMIPv6", In "IEEE International Symposium on Communications and Information Technology (ISCIT 2005). Vol.2 pp.1148~1151.
- J. Arkko, V. Devarapalli, F. Dupont, " Using IPsec to Protect Mobile IPv6 Signaling Between Mobile Nodes and Home Agents", RFC 3776, June 2004.
- J. McCann, S. Deering, J. Mogul, "Path MTU Discovery for IP Version 6", RFC 1981. August. 1996.
- Jeong, J. Youn, H. Choo, H. Lee, E. 2005, "Improved Location Management Scheme based on Autoconfigured Logical Topology in HMIPv6", In "International Conference on Computational Science and Its Application (ICCSA 2005), vol. 3480 pp.291~300.
- Kawano, K. Kinoshita, K. Murakami, K. 2004, "Multilevel Hierarchical Mobility Management Scheme in Complicated Structured Networks", In "29th Annual IEEE International Conference on Local Computer Networks (LCN 2004)". pp.34~41.
- Kawano, K. Kinoshita, K. Murakami, K. 2002, "A Multilevel Hierarchical Distributed IP Mobility Management Scheme for Wide Area Networks", In "Proceedings. Eleventh International Conference on Computer Communications and Networks". pp.480~484.
- Kumagai, T. Asaka, T. Takahashi, T. 2004, "Location Management using Mobile History for Hierarchical Mobile IPv6 Networks", In "Global Telecommunications Conference (GLOBECOM'04. IEEE)". Vol.3 pp.1585~1589.

- Lai, W. Chiu, J. 2005, "Improving Handoff Performance in Wireless Overlay Networks by Switching between Two-layer IPv6 and One-layer IPv6 Addressing", In "IEEE Journal on Selected Areas in Communications". 23(11) pp.2129~2137
- M. Crawford, "Transmission of IPv6 Packet over Ethernet Networks", RFC 2464, December 1998.
- M. Crawford, "Transmission of IPv6 Packets over FDDI Networks", RFC 2467, December 1998.
- M. Crawford, T. Narten, S. Thomas, "Transmission of IPv6 Packets over Token Ring Networks", RFC 2470, December 1998.
- N. Moore, "Optimistic Duplicate Address Detection(DAD) for IPv6", RFC 4429, April 2006
- Natalizio, E. Scicchitano, A. Marano, S. 2005, "Mobility Anchor Point Selection based on User Mobility in HMIPv6 Integrated with Fast Handover Mechanism", In "IEEE Wireless Communications and Networking Conference". Vol.3 pp.1434~1439.
- Pack, S. Nam, M. Kwon, T. Choi, Y. 2006, "An Adaptive Mobility Anchor Point Selection Scheme in Hierarchical Mobile IPv6 Networks", In "Elsevier Computer Communications". 29(16) pp.3066~3078.
- Pack, S. Kwon, T. Choi, Y. 2005, "Adaptive Local Route Optimization in Hierarchical Mobile IPv6 Networks", In "IEEE Wireless Communications and Networking Conference". Vol.3 pp.1421~1426.
- Pack, S. Choi, Y. Nam, M. 2006, "Design and Analysis of Optimal Multi-Level Hierarchical Mobile IPv6 Networks", In "Wireless personal Communication". 36(2) pp.95~112.
- Pack, S. Kwon, T. Choi, Y. 2004, "A Comparative Study of Mobility Anchor Point Selection Schemes in Hierarchical Mobile IPv6 Networks", In "Proceedings of the second international workshop on Mobility management & wireless access protocol (MOBICOM 2004)". pp.130~131.
- Pack, S. Nam, M. Choi, Y. 2004, "A Study on Optimal Hierarchy in Multi-level Hierarchical Mobile IPv6 Networks", In "IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBECOM'04)". vol.2 pp.1290~1294.
- S. Deering, R. Hinden, "Internet Protocol, Version 6 (IPv6) Specification", RFC 2460, December 1998.
- S. Kent, "IP Encapsulating Security Payload(ESP)", RFC 4303, December 2005.
- S. Kent, "IP Authentication Header", RFC 4302, December 2005.
- S. Thomson, T. Narten, "IPv6 Stateless Address Autoconfiguration", RFC 2462, December 1998.

- R. Koodli, Ed. "Fast Handovers for Mobile IPv6", RFC 4068, July 2005.
- R. Droms "Dynamic Host Configuration Protocol", RFC 2131, March 1997.
- R. Droms, ED., J. Bound, B. Volz, T. Lemon, C. Perkins, M. Carney, "Dynamic Host Configuration Protocol for IPv6(DHCPv6)", RFC 3315, July 2003.
- R. Hinden, S. Deering, "Internet Protocol Version 6 (IPv6) Addressing Architecture", RFC 3513, April 2003.
- T. Narten, E. Nordmark, W. Simpson, "Neighbor Discovery for IP Version 6 (IPv6)", RFC 2461, December 1998.
- Thing, V. Lee, H. Yi, X. 2002, "Designs and Analysis of Local Mobility Agents Discovery, Selection and Failure Detection for Mobile IPv6", In "4th International Workshop on Mobile and Wireless Communications Network". pp.465~469.
- Xie, J. Akyildiz, I. 2002, "A Novel Distributed Dynamic Location Management Scheme for Minimizing Signaling Costs in Mobile IP", In "IEEE Transactions on mobile computing". 1(3) pp.163~175
- Y. Han, J. Choi, H. Jang, S. Park, "Advance Duplicate Address Detection", Internet-Draft : draft-han-mobileip-adad-01, July 2003.
- 홍 용근, 이경진, 신명기, 김형준, "Mobile IPv6에서 Fast Handover를 위한 IETF 기술동향", 전자통신동향분석 제 18권 제5호, 2003년 10월