

# IP기반 차세대 무선 네트워크에서의 교차계층 핸드오프 기법의 성능 분석

이재숙\*, 정종필<sup>o</sup>

## Performance Analysis of Cross-Layer Handoff Scheme in IP-Based Next-Generation Wireless Networks

JaeSuk Lee\*, Jongpil Jeong<sup>o</sup>

### 요 약

무선 네트워크의 사용이 모바일 사용자로 점점 확대되고 무선 네트워크 기술의 발달로 다양한 무선 네트워크 시스템이 생겨났다. 무선 네트워크 시스템들은 중첩되어 있을 수 있으며 네트워크 간 전환을 필요로 한다. NGWN(Next Generation Wireless Networks)은 다양한 무선 네트워크를 통합하여 사용자에게 넓은 커버리지 영역과 최적화된 서비스를 제공한다. 기존의 핸드오프 관리 프로토콜은 NGWN의 응용프로그램에 핸드오프 지원을 보장하기에 충분하지 않다. CLH(Cross-Layer Handoff) 프로토콜 기법은 NGWN의 네트워크 내와 네트워크 간의 효율적인 핸드오프 관리를 위해 개발되었다. CLH은 무선 네트워크 환경에서 이동성관리를 지원하고 핸드오프 성능 향상을 위해 모바일의 속도와 핸드오프 시그널링 지연 정보를 이용한다. 본 논문에서는 핸드오프 성능 분석을 위해 링크계층 및 네트워크계층의 민감도를 분석하고 이것을 기반으로 CLH 기법을 제안한다. CLH가 네트워크 내와 네트워크 간 핸드오프의 성능 향상을 높여준다는 것을 본 논문의 다양한 이론적 분석을 통하여 평가하고 분석한다.

**Key Words** : NGWN, Cross-Layer Handoff(CLH), IP-based Mobile Networks, Mobility Management

### ABSTRACT

The development of wireless network technology and the increasing use of wireless networks to mobile users with a variety of wireless network systems has arisen. Wireless sensor networks, they can be nested together, and the need to switch between the network, depending on your needs. Next Generation Wireless Networks(NGWN) gives the mobile user a wide coverage and optimized service etc. Previous hand off management protocol is not enough to secure support of the NGWN application program. Cross-layer Handoff(CLH) protocol technique has been developed to support between and inside networks of handoff management of NGWN. CLH supports mobility management in a wireless network environment and also utilizes mobility speed and handoff signaling delay information to improve the handoff performance ability. For the analysis of handoff performance ability, we analyzed sensitivity of link layer and network layer, therefore, CLH technique is suggested based on this analysis.

### I. 서 론

개인 영역을 위한 블루투스, 로컬 영역을 위한

IEEE 802.11기반 WLAN, 광역을 위한 UMTS(Universal Mobile Telecommunication System) 그리고 글로벌 네트워크를 위한 위성 네트

\* 주저자 : 성균관대학교 컴퓨터공학과, [whitepaper82@gmail.com](mailto:whitepaper82@gmail.com), 정희원

<sup>o</sup> 교신저자 : 성균관대학교 정보통신대학, [jpjeong@skku.edu](mailto:jpjeong@skku.edu), 정희원

논문번호 : KICS2013-01-012, 접수일자 : 2013년 1월 9일, 최종논문접수일자 : 2013년 6월 1일

워크등과 같이 다양한 형태의 무선 통신 시스템이 생겨났고, 이 시스템들의 통신 기술과 무선 네트워킹 기술은 급진적으로 발전하고 있다. 무선 네트워크의 사용이 모바일 사용자로 점점 확대되면서 다양한 NGWN 환경에서 최상의 서비스 품질을 보장하는 것이 중요한 문제가 되었다. 통합된 NGWN에서 사용자는 항상 최상의 상태의 사용 가능한 네트워크에 연결되어 있어야 하며 서비스의 필요에 따라 다른 네트워크들 사이를 전환해야 한다<sup>11</sup>. NGWN 간의 전환은 고품질의 서비스를 제공하기 위한 이동성관리를 필요로 한다. 이동성관리는 위치 관리와 핸드오프 관리로 구성된다<sup>12</sup>. 위치 관리는 MN(Mobile Node)의 연속적인 통신을 할 수 있도록 하기 위해 MN의 위치를 탐지하기 위한 시스템이다. 또한, 핸드오프 관리는 하나의 MAG(Mobile Access Gateway)에서 다른 곳으로 이동할 때 MN의 연결을 활성화하는 프로세스이다. NGWN를 위한 효율적인 관리 기법<sup>13,14</sup>이 제안되었지만 핸드오프 관리의 끊어짐 없는 서비스 지원은 여전히 해결해야 할 과제로 남아 있다.

IETF(Internet Engineering Task Force)에서는 이동성관리 기법의 주요 프로토콜로 MIPv6(Mobile IPv6)<sup>15</sup>를 제안했으나, MIPv6는 시그널링을 전송하는데 있어서 사용자들에게 불편을 가져다 줄 수 있는 몇 가지의 단점을 가지고 있다. MIPv6에서 시그널링을 전송할 때, HA(Home Agent)와 CN(Correspondent Node) 그리고 MN간에 거리가 멀 경우에는 비싼 비용을 들여 BU(Binding Update)를 수행해야 한다. 이러한 고비용의 핸드오프가 발생하는 단점을 보완하기 위하여 FMIPv6(Fast Handover for MIPv6)<sup>16</sup>, HMIPv6(Hierarchical MIPv6)<sup>17</sup> 프로토콜이 제안되었다. 최근에는 네트워크 기반 프로토콜인 PMIPv6(Proxy MIPv6)<sup>18</sup>와 FPMIPv6(Fast Handover for Proxy MIPv6)<sup>19,34</sup> 이 제안되었다. 효율적인 핸드오프 관리 프로토콜의 성능은 다양한 기법들로 평가되고 제안되었다. 모바일 IP 핸드오프 지연은 핸드오프 요구 사항 검출 및 모바일 IP 등록<sup>10</sup>에 대한 대기 시간으로 구성되어 있다. 핸드오프 요구 검출 딜레이를 줄이기 위해 링크계층 정보의 사용이 주목 받고 있다<sup>11-13</sup>. 이러한 접근 방식 뒤에 기본적인 아이디어는 MN가 서비스 MAG의 커버리지 영역 밖으로 이동하기 전에 핸드오프 절차가 성공적으로 집행 될 수 있도록 사전에 네트워크 내와 네트워크 간 핸드오프의 가능성을 예측하

는 링크계층 정보를 사용하는 것이다. 링크계층 정보의 사용은 핸드오프 관리 프로토콜의 핸드오프 지연과 핸드오프 실패 확률을 상당히 감소시킨다. UMP(User Mobility Profile)은 향상된 핸드오프 관리를 지원하기 위해 사용된다<sup>11</sup>. Inter System Boundary cells의 개념은 사전에 네트워크 간 핸드오프를 준비하기 위해 사용되었다<sup>14</sup>. 이것은 네트워크 간 핸드오프 실패 확률을 상당히 줄일 수 있다. 일반 링크계층 기술은 모바일 IP의 핸드오프 성능을 향상시키기 위해 사용된다<sup>13</sup>. 핸드오프 지연 및 핸드오프 실패 확률을 줄이기 위해 링크계층의 RSS(Received Signal Strength)정보를 사용한 알고리즘이 제안되었다<sup>10</sup>. 그러나 이러한 연구는 3G Cellular네트워크 및 WLANs 사이의 핸드오프로 제한된다. 링크계층을 이용한 핸드오프 프로토콜은 절대적으로 네트워크 내와 네트워크 간 핸드오프들의 핸드오프 지연 시간이 일정하다고 가정한다. 이런 가정 하에, 이 프로토콜들은 서비스 중인 MAG의 RSS가 미리 정의된 고정 임계 값 이하로 떨어질 때 핸드오프를 시작한다. 하지만, 실제 시나리오에서는, 네트워크 내와 네트워크 간 핸드오프의 시그널링 딜레이는 백본 네트워크에서 트래픽 부하, 무선 링크 품질, 그리고 핸드오프 인스턴스에서 사용자와 홈 네트워크 사이의 거리와 관계되어 있다. 그러므로 이 프로토콜들은 핸드오프 시그널링 지연이 달라지면 핸드오프 성능 저하를 갖는 네트워크 내와 네트워크 간의 고정된 시그널링 지연을 가정하여 설계하였다. 또한, 기존의 링크계층을 이용한 핸드오프 프로토콜은 핸드오프 프로토콜의 성능에 대한 사용자의 속도의 영향을 고려하지 않는다. 원활한 링크계층 핸드오프를 제공하기 위한 효율적인 알고리즘은 이미 제안되었다<sup>10</sup>. 그러므로 본 논문에서는 링크계층 핸드오프에 관련된 문제의 해결방안은 제안하지 않는다. 하지만 원활한 네트워크 내와 네트워크 간 핸드오프 지원을 위한 방안은 아직도 해결해야 할 이슈이다<sup>12</sup>. 시그널링 지연의 최고 값은 네트워크 내와 네트워크 간 핸드오프<sup>17</sup>와 관련된 지연에 민감한 실시간 서비스를 제공하기 위해 요구되었던 임계 값 보다 높을 수 있다<sup>13</sup>. 높은 핸드오프 지연 시간 동안 전송 패킷은 MN에게 전달되지 않는다. 그러므로 네트워크 내와 네트워크 간 핸드오프 동안 상당한 패킷 손실이 발생한다. 효율적인 네트워크 내와 네트워크 간 핸드오프 프로토콜은 NGWN의 원활한 핸드오프를 제공하기 위해서 다음과 같은 특징을 가져야 한다. 첫 번째는 핸드오

프 관리 프로토콜은 지속적인 통신을 위해 핸드오프 지연을 최소화한다. 두 번째는 핸드오프 중에 패킷 손실이 최소화되어야 한다. 세 번째는 핸드오프 실패 확률은 설정 값으로 제한되어야 한다.

CLH 기법을 이용하여 링크계층(예: 사용자의 속도)과 네트워크계층(예: 핸드오프 신호 지연 파라미터)의 민감도에 대한 성능을 분석한다. 제안된 CLH은 모바일의 속도와 핸드오프 시그널링 지연 정보를 사용하며 PMIP 핸드오프 성능을 크게 향상시킨다. 마지막으로, CLH의 성능을 평가하기 위해 광범위한 시뮬레이션 실험을 실시했다. 이론적 분석과 시뮬레이션 결과는 CLH는 네트워크 내외 네트워크 간 모두의 핸드오프 성능을 향상 것을 보여준다. 앞에서 언급한 효율적인 핸드오프 관리 프로토콜의 원하는 모든 특성은 CLH에서 모두 충족한다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. II에서는 NGWN과 이동성 관리 프로토콜에 관련 연구에 대해 소개하고 III에서는 CLH 프로토콜의 아키텍처와 작동 절차에 대해 설명한다. IV에서는 핸드오프 과정과 지연 시간 그리고 패킷 손실에 대한 모델링에 대한 성능을 분석하고 V에서는 성능 평가를 수행한다. 마지막으로 VI에서는 CLH의 장점을 요약한다.

## II. 관련 연구

### 2.1. NGWN

무선 네트워크의 사용이 모바일 사용자로 확대되면서 UMTS, CDMA, WiMAX, WIFI, LTE Advanced 등의 다양한 무선 네트워크 간의 서비스 품질 보장을 위한 추가적인 연구가 필요하다. NGWN은 이런 다양한 무선 네트워크 환경이 통합 운영될 수 있는 환경을 제공한다. IETF에 제정한 IP를 기반으로 한 네트워크계층의 이동성 지원 기법들에 대해 IEEE 802.21 WG(Working Group)은 이기종의 핸드오프에 대한 표준을 제정하는 그룹으로, 사용자가 고품질 서비스를 보장받으면서 다양한 네트워크 시스템들을 연동하기 위한 표준을 제정하고 있다. 여러 네트워크 간의 패킷 서비스의 품질 보장을 위한 연구와 최적의 네트워크를 선택할 수 있는 알고리즘에 대한 연구가 진행되어지면서 다양한 요소들을 고려하여 알고리즘을 제안하고 있다<sup>[2,18,19]</sup>. 그러나 이전 연구들은 네트워크 선택에 대한 부담을 단말이 지니고 있을 뿐만 아니라, 단말이 네트워크 선택 과정에서의 핸드오프 지연을 가중시키

므로 데이터 손실 문제를 발생시킨다. 그림 1에서는 NGWN에서 다양한 핸드오프 시나리오와 이동성 관리의 종류 그리고 그에 대한 분류를 나타낸 것이다. 이동성관리에는 호스트 기반 프로토콜과 네트워크 기반 프로토콜 두 가지의 프로토콜로 나눌 수 있고, MN이 이동하는 도메인 영역에 따라 도메인 내부의 이동은 로컬 이동성관리, 도메인 변경이 발생하는 이동은 글로벌 이동성관리로 분류할 수 있다. NGWN는 두 가지의 핸드오프 시나리오가 발생할 수 있다<sup>[12,20]</sup>. 실제 시나리오에서의 통합 아키텍처는 더 많은 무선 시스템으로 이루어질 수도 있다.

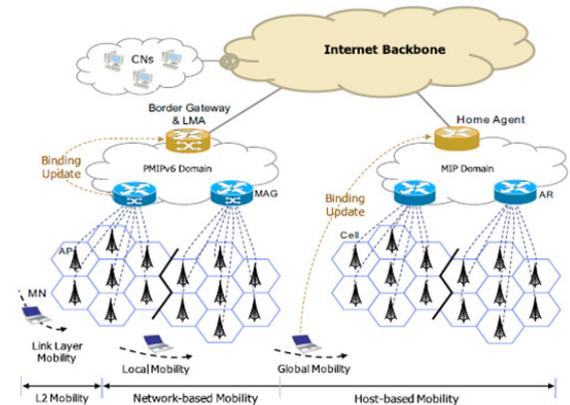


그림 1. 통합된 NGWN 아키텍처의 핸드오프  
Fig. 1. Handoff in the integrated NGWS architecture

수평 핸드오프는 동일한 시스템의 두 MAG 사이의 핸드오프로 링크계층 핸드오프와 네트워크 간 핸드오프로 다시 나눌 수 있다. 링크계층 핸드오프는 같은 MAG 아래에 있는 다른 AP 사이의 핸드오프이다. 그림 1의 Link Layer Mobility 핸드오프가 그 예이다. 네트워크 간 핸드오프는 같은 시스템 아래 다른 MAG 아래 있고 같은 LMA(Local Mobility Anchor)에 있는 두 MAG 사이의 수평 핸드오프이다. 그림 1의 Local Mobility 핸드오프가 그 예이다. 수직 핸드오프(네트워크 간 핸드오프)는 두 개의 다른 시스템 아래 있으며, 두 개의 다른 LMA 아래 있는 두 개의 MAG 사이의 핸드오프이다. 그림 1의 Global Mobility 핸드오프가 그 예이다.

### 2.2. 이동성 관리 프로토콜

PMIPv6는 네트워크 기반 이동성을 지원하며, MN이 아닌 망의 구성요소가 이동성관리 역할을 대신한다. 그러므로 이동성을 지원하지 않는 단말이라도 IPv6 기능을 가지고 있다면 이동성 서비스를 받

을 수 있다. 네트워크 기반 이동성을 지원하기 위해 PMIPv6에는 MAG, LMA 그리고 AAA(Authentication Authorization and Accounting) 의 새로운 구성 요소로 이루어진다. MAG는 AR(Access Router) 상에서 MN의 이동을 탐지하고 탐지된 MN을 LMA에 등록하는 시그널링 메시지를 전송한다. 현재 서비스 중인 MAG를 pMAG(previous MAG)라 부르고 이동하고자 하는 MAG를 nMAG(new MAG)라고 부른다. LMA는 MN을 위한 MIPv6의 HA와 같은 역할을 하며 도메인 내에 다른 MN의 접근 가능 상태 정보를 관리한다. LMA와 MAG는 시그널링 메시지 또는 MN의 패킷을 전달하기 위해 양방향 터널이 존재한다. MN이 홈 네트워크 안에 들어오면 MN이 자신의 ID와 프로파일 정보를 담은 RtrSol(Router Solicitation) 메시지를 MAG에게 전송하여 AAA 인증 절차를 수행한다. MAG는 프로파일에 포함된 LMA의 주소로 Proxy Binding Update(PBU)를 보내어 MN의 위치를 등록하고 PBU를 수신한 LMA는 MN의 ID를 검색하여 위치 정보를 갱신하고 PBAck(Proxy Binding Acknowledgement)를 MAG에게 보낸다. LMA는 PBA를 보내고 난 후 MAG의 주소를 이용하여 MAG와의 양방향 통신 터널을 형성한다. LMA로부터 응답을 받은 MAG는 RtrAdv(Router Advertisement) 메시지를 MN에게 보낸다. MIPv6에서는 각 MN마다 고유한 프리픽스가 할당 되어 있기 때문에 유니캐스트로 메시지를 보낸다. MN은 RtrAdv 메시지에 포함된 주소 정보를 이용하여 HoA를 생성한다. MAG는 MN에게 오는 패킷을 터널을 이용하여 LMA에게 전달한다. PMIPv6프로토콜은 그림 2에서 확인 할 수 있고 핸드오프 과정 그림 3에서 확인할 수 있다.

FPMIPv6은 PMIPv6에 빠른 핸드오프를 적용함으로써 핸드오프 지연시간을 최소화하고 패킷 손실을 줄인 프로토콜이다. PMIPv6는 핸드오프가 진행되는 동안 버퍼링을 사용하지 않기 때문에 핸드오프 절차와 별도로 인증 및 등록 단계를 수행해야만 했다.

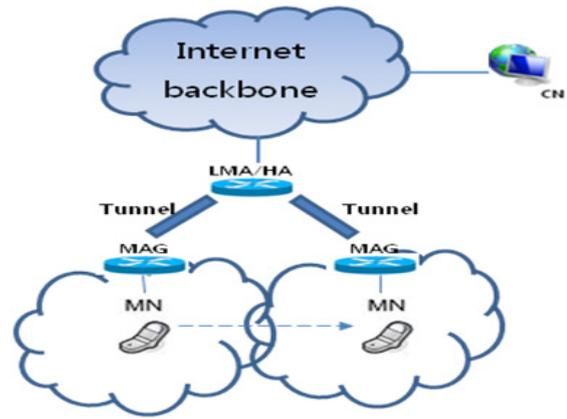


그림 2. PMIPv6 프로토콜  
Fig. 2. PMIPv6 Protocol

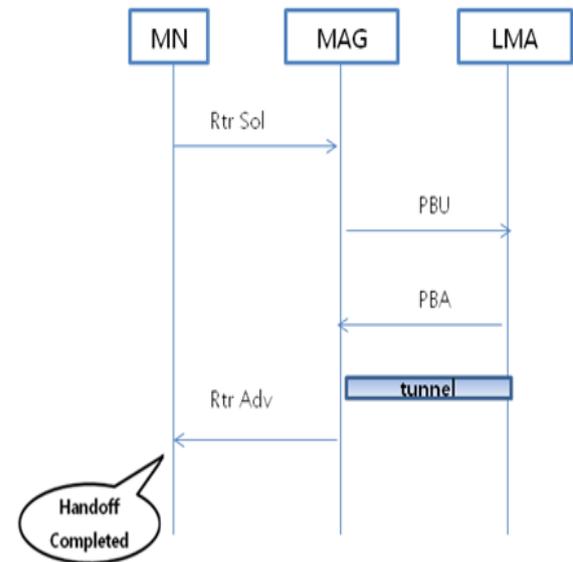


그림 3. PMIPv6 프로토콜 핸드오프 과정  
Fig. 3. PMIPv6 protocol handoff Procedure

그래서 FPMIPv6는 기존의 FMIPv6와 마찬가지로 MN이 nMAG로 접근할 때 pMAG와 nMAG 사이에 터널을 생성하여 MN이 핸드오프 수행 중에 패킷을 터널링 함으로써 패킷 손실을 줄이고자 제안되었다. MN이 핸드오프를 수행하면 pMAG는 nMAG로 HI 메시지를 전송하고 nMAG는 HI에 대한 결과로 Hack 메시지를 pMAG로 전송하고 pMAG와 nMAG 사이에 터널이 생성된다. 새로운 도메인으로 이동한 MN이 nMAG와 새로운 연결을 생성하면 nMAG는 LMA로 PBU 메시지를 전송하고 그에 대한 결과로 PBAck 메시지를 수신한다. FPMIPv6의 프로토콜은 그림 4에서 확인 할 수 있고 핸드오프 과정은 그림 5에서 확인할 수 있다.

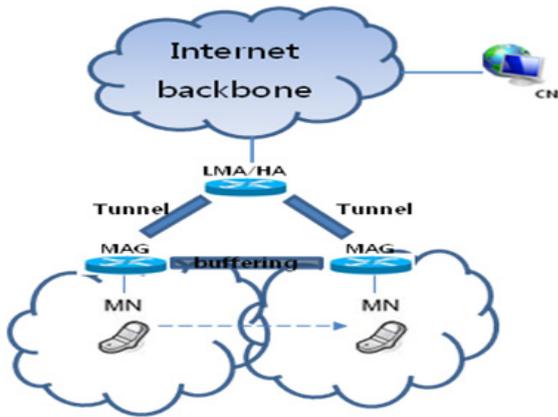


그림 4. FPMIPv6 프로토콜  
Fig. 4. FMIPv6 Protocol

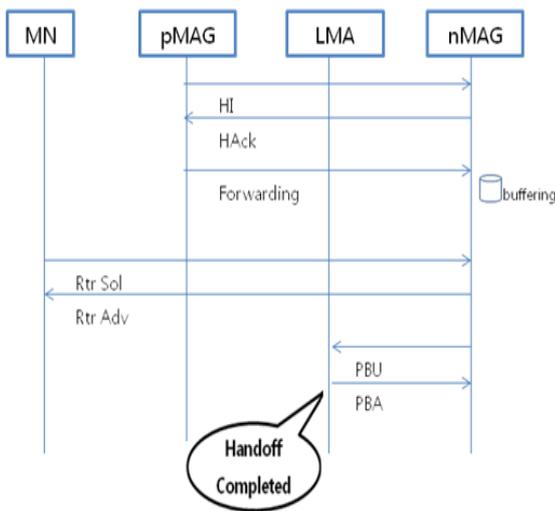


그림 5. FPMIPv6 프로토콜 핸드오프 과정  
Fig. 5. FPMIPv6 Protocol handoff Procedure

### III. CLH 프로토콜

#### 3.1. CLH 프로토콜 아키텍처

네트워크 내와 네트워크 간 핸드오프 알고리즘의 성능은 MN의 이동 속도와 핸드오프 시그널링 지연에 따라 달라진다. 속도와 핸드오프 시그널링 지연 정보를 사용하면 속도와 네트워크 역학 관계를 고려하지 않는 기존 핸드오프 관리 프로토콜의 성능을 개선할 수 있다. 본 논문에서는 링크계층과 네트워크계층의 매개 변수에 대한 적응형 핸드오프 관리를 구현하기 위해 아키텍처를 설계하였다. 그리고 이 아키텍처를 사용하여 CLH 이라는 새로운 핸드오프 관리 프로토콜을 제안한다. CLH의 모듈 구성은 그림 6에서 보여 준다. 이 모듈의 일부는 링크와 네트워크계층의 핸드오프 관리에 유용한 정보

를 수집하며, 다른 일부 모듈은 수집된 정보를 사용하여 핸드오프 절차를 시작하기에 적절한 시간을 결정한다. 정보 수집 모듈은 이웃 탐지 유닛, 네트워크계층에서 구현된 핸드오프 시그널링 지연 추정 유닛 그리고 속도 추정 유닛, 링크계층에서 구현된 RSS 측정 유닛이 포함되어 있다. 이 모듈의 핸드오프 절차는 핸드오프 트리거 유닛과 핸드오프 실행 유닛을 실행하기 위해 링크계층과 네트워크계층 정보를 사용한다. 이러한 유닛들의 기능은 다음과 같다.

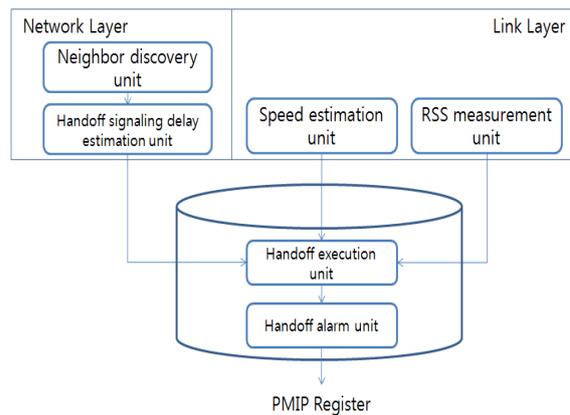


그림 6. CLH 프로토콜 아키텍처의 모듈 구조  
Fig. 6. Module structure of CLH architecture

- 이웃 탐지 유닛 : 이웃한 MAG에 대한 정보를 얻기 위해 MN을 지원한다. 이것은 네트워크 탐지 프로토콜을 구현하거나 CARD(Candidate Access Router Discovery)<sup>[21]</sup> 프로토콜과 같은 네트워크 탐지 프로토콜의 인터페이스를 가지고 있다.
- 핸드오프 시그널링 지연 추정 유닛 : 네트워크 내와 네트워크 간의 핸드오프와 관련된 지연을 추정한다. 핸드오프 시그널링 추정에 대한 내용은 이번 장의 뒷부분에서 더 자세히 논의하기로 한다.
- 속도 추정 유닛 : VEPSD(수신된 신호 포락선의 파워 스펙트럼 밀도를 이용한 속도 추정)<sup>[22]</sup> 자체 알고리즘을 사용하여 모바일의 속도를 추정한다.

$$v = \left( \frac{c}{f_c} \right) f_m$$

$f_m$ 은  $v$ ,  $c$ ,  $f_c$ 와 관계가 있다. VEPSD은 MN의 속도 추정을 위해  $f_m$ 의 수신 신호 포락선을 사

용한다. 이것은 수신된 신호 포락선의 PSD(power spectral density)의 기울기를 이용하여  $f_m$  을 추정하고 있다. 수신된 신호 포락선의 PSD의 기울기는 모바일 환경에서 최대 주파수  $f_c \pm f_m$  을 가진다<sup>[22]</sup>. VEPSD는  $f_m$  을 예측하기 위해 가장 높은 주파수 성분( $f_c \pm f_m$ )에 해당되는 수신 신호 포락선의 PSD의 최대 값을 감지한다. 속도 추정 알고리즘<sup>[23,24]</sup>을 선택한다.

- 핸드오프 트리거 유닛 : 핸드오프 시그널링 지연 추정 유닛, 속도 추정 유닛, 그리고 RSS 측정 유닛으로부터 수집된 정보를 이용하여 핸드오프 과정을 시작하기 위한 적절한 시간을 결정한다. 핸드오프 개시 시간 추정의 자세한 내용은 4.2에서 다룬다.
- 핸드오프 알림 유닛 : 핸드오프 트리거 유닛에 의해 이동할 네트워크를 선택하고 MAG에게 PMIPv6 등록 절차를 등록 요청을 알린다.

표 1. 미리 정의된 매개 변수  
Table 1. Predefined parameters

Parameter	Description
$f_m$	Doppler frequency
$c$	Speed of light in free space
$f_c$	carrier frequency of the received signal
$v$	Velocity of MN
$S_{th}$	threshold value of RSS
$S_{min}$	Minimum value of RSS
$a$	Size of one side of the hexagonal cell
$\theta$	Probability density of direction of movement
$d$	Distance to the cell boundary
$t_f$	Time between frames
$r_f$	Frame error rate
$D_{wl}$	Wireless link delay
$n$	Maximum number of retransmissions performed
$k$	Number of packets per frame
$L_p$	Packet size
$L_f$	Frame Size
$BW_{wired}$	Bandwidth

$D_{wired}$	Wired link delay
$h$	Number of hops
$P_f$	Handoff failure probability
$\tau$	Handoff signaling delay
$x$	MAG-MN Distance
$d_0$	Reference distance
$\alpha$	Path loss exponent
$\epsilon$	Gaussian random variable
$L_{HO}^{(PMIPv6)}$	Handoff latency in PMIPv6
$T_{L2}$	Linklayer handoff
$d_{lma-paci}$	LMA to the MN data packet transmission time
$L_{HO}^{(FPMIPv6)}$	FPMIPv6 the handoff delay
$PL$	Sum of packet loss
$\lambda_s$	Average session arrival rate of MN
$E(S)$	Average session length of the packet
$L_{HO}^{(\cdot)}$	Handoff delay
N	Number of packets lost

### 3.2. CLH 기법의 작동 절차

CLH의 작동 절차는 그림 7에 요약되어 있다. MN은 이웃 탐지 프로토콜을 사용하여 이웃에 대한 정보를 얻는다. 그 다음, 인접한 nMAG에게 이동하기 위한 핸드오프 타입(예, 링크계층 핸드오프, 네트워크 내 또는 네트워크 간 핸드오프)을 결정한다. 인접한 nMAG에 대해 MN이 알게 될 때, 핸드오프 시그널링 지연 유닛은 네트워크 내 또는 네트워크 간 핸드오프의 시그널링 지연을 추정한다. RSS 모니터링 유닛은 MN이 속한 pMAG의 RSS 모니터링을 시작하고 RSS가 지속적으로 감소할 때 핸드오프를 예측한다. MN의 기존 이동 감지 기술<sup>[11,15]</sup>를 사용하여 이동할 nMAG에 대해 알게 된다. 그리고 다음 아래의 세 단계 중 하나가 수행된다.

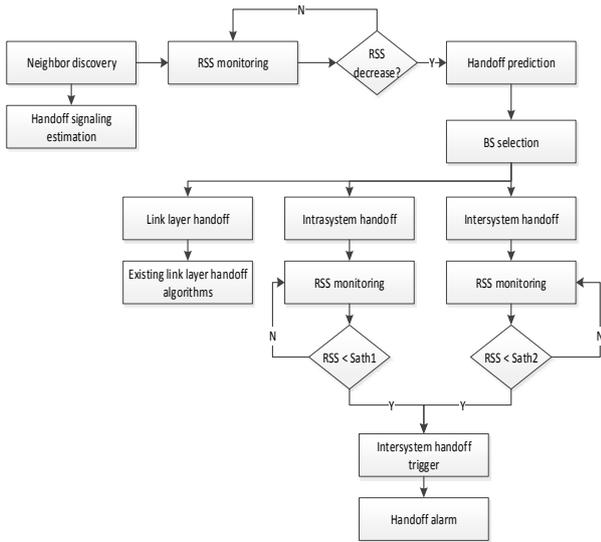
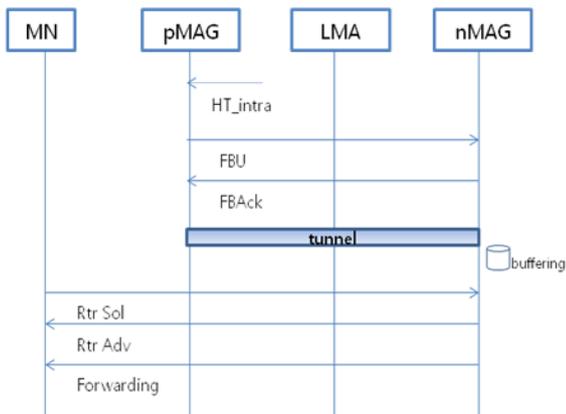
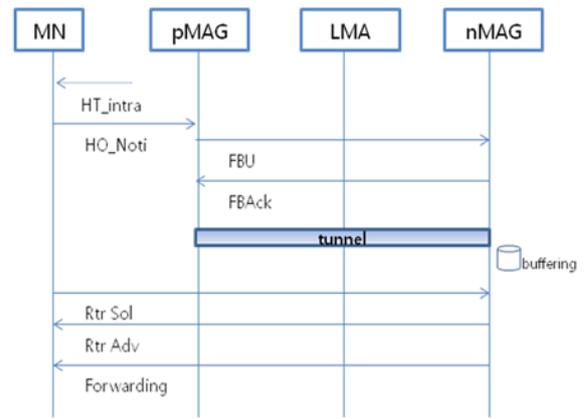


그림 7. CLH 작동 절차  
Fig. 7. Flow diagram of CLH operation

- 링크계층 핸드오프 경우, 기존 링크계층 핸드오프 알고리즘<sup>1)</sup>이 사용되며 CLH은 수행되지 않는다.
- 네트워크 내 핸드오프 경우, 핸드오프 트리거 유닛은 3.나절에서 논의할  $S_{ath1}$ 로 동적 RSS 임계 값을 예상한다.
- 네트워크 간 핸드오프의 경우, 네트워크 내 핸드오프와 비슷하고 네트워크 간 핸드오프에 해당하는 동적 RSS 임계 값은 그림 7의  $S_{ath2}$ 에 언급되었다. PMIPv6 네트워크 간 핸드오프 과정은 MN이 속한 MAG의 RSS가  $S_{ath2}$  아래로 떨어질 때 수행된다.



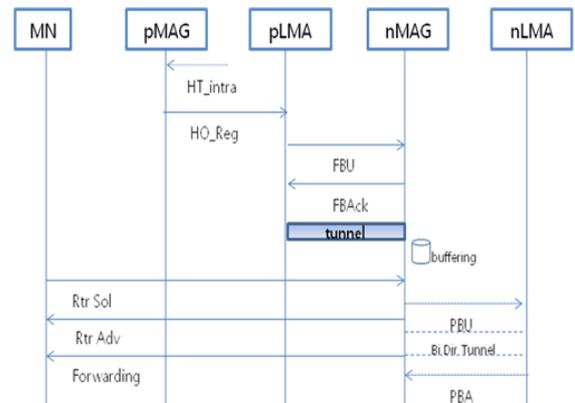
Mobile Assisted



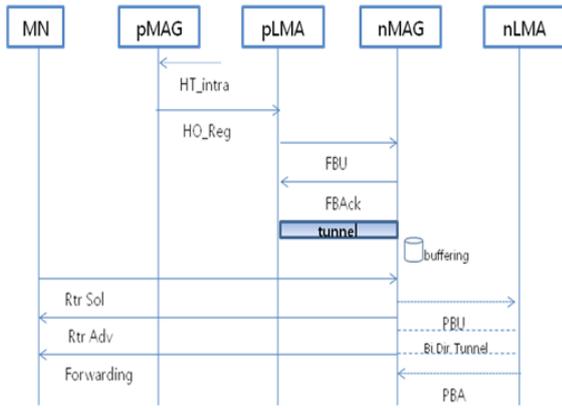
Network Assisted

그림 8. 네트워크 내 FPMIPv6 교차계층 핸드오프 메시지 흐름도  
Fig. 8. Timing diagram for cross-layer intrasystem FPMIPv6 handoff

CLH의 기능은 MN 또는 네트워크 측면에서 구현될 수 있다. CLH를 사용한 핸드오프 관리는 MAHO(Mobile Assisted network controlled HandOff)와 NAHO(Network Assisted controlled HandOff)로 나눌 수 있다. MAHO의 경우, MN이 속도 추정, RSS 측정 그리고 핸드오프 CLH의 시그널링 지원 유닛을 구현한다. 네트워크는 속도와 MN으로부터 핸드오프 시그널링 지원을 측정하고 동적  $S_{ath}$  추정에 대한 정보를 수집하는 핸드오프 트리거 유닛을 구현한다. pMAG의 RSS가  $S_{ath}$  이하로 떨어질 때, 네트워크는 HT\_intra 또는 HT\_inter에 언급된 네트워크 내 또는 네트워크 간 각각의 핸드오프 트리거를 생성한다. 그림 8, 그림 9에서 CLH를 사용한 MAHO와 NAHO의 네트워크 내와 네트워크 간 FPMIPv6 핸드오프 타이밍 다이어그램을 각각 보여준다.



Mobile Assisted



Network Assisted

그림 9. 네트워크 간 FPMIPv6 교차계층 핸드오프 메시지 흐름도  
 Fig. 9. Timing diagram for cross-layer intersystem FPMIPv6 handoff

pMAG가 nMAG에게 FBU를 보낸 후 nMAG로부터 PBA를 받고 FPMIPv6 핸드오프를 시작한다. 반면, NAHO에서, 네트워크는 이웃을 발견하고 nMAG 선택 하는데 MN을 지원한다. MN은 동적  $S_{ath}$ 을 계산하고 HT\_intra 또는 HT\_inter 핸드오프 트리거를 생성하며 pMAG의 RSS가  $S_{ath}$  아래로 떨어질 때, pMAG에게 HO\_Noti를 보내어 핸드오프 시작을 요청한다.

NGWN에서 무선 시스템의 셀 사이즈에 따라, 네트워크 내 핸드오프의 두 가지 형태의 시나리오와 네트워크 간 핸드오프의 네 가지 형태의 시나리오가 있다. 네트워크 내 핸드오프는 매크로셀 사이의 macro-intra 핸드오프와 마이크로셀 사이의 micro-intra 핸드오프가 있다. 네트워크 간 핸드오프는 다음 4가지 형태 중 하나가 될 수 있다.

- Inter\_MA\_HO : 다른 매크로셀로의 네트워크 간 핸드오프
- Inter\_MAMI\_HO : 매크로셀에서 마이크로셀로 네트워크 간 핸드오프
- inter\_MI\_HO : 다른 마이크로셀로의 네트워크 간 핸드오프
- inter\_MIMA\_HO : 마이크로셀에서 매크로셀로 네트워크 간 핸드오프

마이크로셀은 보통 매크로셀들에 의해 중복된다 고 할 수 있다. 따라서 마이크로셀에서 매크로셀로 네트워크 간 핸드오프(Inter\_MAMI\_HO) 동안, 매크

로셀 커버리지는 항상 가능하므로 핸드오프 실패가 없다.

#### IV. 성능 분석

##### 4.1. 핸드오프 과정의 모델링

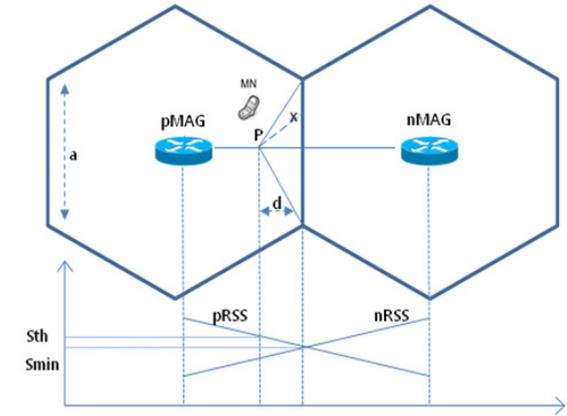


그림 10. 핸드오프 프로세스 분석  
 Fig. 10. Analysis of the handoff process

CLH은 핸드오프 성능이 MN의 속도와 네트워크 역학에 관계없이 동일하게 유지 되도록 하기 위해서 링크계층과 네트워크계층의 정보를 어떻게 사용할 것인가에 대한 분석 결과를 가지고 개발되었다. 그림 10은 pMAG로부터 nMAG로 이동하는 핸드오프 과정을 보여주고 있다. MN은 현재 pMAG에 의해 서비스 되고 있으며 MN이 속도  $v$ 로 움직이는 것을 고려하였다.  $v$ 는  $[v_{min}, v_{max}]$  안의 범위에서 균일하게 배포되어 있다고 가정한다. 따라서  $v$ 의 pdf(probability density function)은 다음과 같이 주어진다.

$$f_v(v) = \frac{1}{v_{max} - v_{min}}, v_{min} < v < v_{max} \quad (1)$$

이동 과정 동안, MN은 nMAG의 커버리지 영역 안으로 이동 예정이라는 것을 발견하고, nMAG를 제공하기 위한 PMIPv6 등록 수행을 필요로 한다. MN은 지속적으로 감소되는 pRSS로부터 다른 셀로의 이동의 가능성에 대해 알게 된다. nMAG의 커버리지 영역에 들어간 MN이 발견되면, 그 다음 과정은 nMAG에 PMIPv6 등록 절차를 시작하기 위한 적절한 시간을 결정하는 것이다. 서비스 중인 pMAG로부터 RSS가 고정된  $S_{th}$  이하로 떨어지면,

PMIPv6 프로토콜은 PMIPv6 등록 시작을 요청한다. MN이 이동하는 과정 동안 그림 10와 같이 점 P에 도달할 때 pMAG의 RSS는  $S_{th}$  이하로 떨어진다고 가정한다. 그러므로 MN이 P에 도달했을 때, nMAG에 PMIPv6 등록이 시작된다. 이 시점에서 RSS는 그림 10의 nRSS로 표시된 nMAG로부터 MN까지 수신 된다. 그러나 nMAG를 통해 MN이 RtrSol 메시지를 보내기 위해 RSS가 충분하지 않을 수 있으며, MN은 pMAG를 통해 nMAG에 RtrSol 메시지를 보낼 수 있다. 이것은 preregistration이라고 한다<sup>[13]</sup>. pMAG에서 nMAG로 성공적인 핸드오프를 위해, 링크계층과 네트워크계층이 협력하여 pRSS가  $S_{min}$  아래로 떨어지기 전에 nMAG에게 PMIPv6 등록을 완료해야 한다. pMAG의 커버리지 영역을 넘어 이동하기 전에 PMIPv6 등록을 완료한다. MN은 P (그림 10에 표시)에 위치한 경우, 그것이 동등한 확률로 어느 방향으로든 이동할 수 있다고 가정한다. MN의  $\theta$ 는 아래와 같이 주어진다.

$$f_{\theta}(\theta) = \frac{1}{2\pi}, \quad -\pi < \theta < \pi \quad (2)$$

pMAG의 커버리지 영역 밖으로 이동하는 동안 P로부터 MN의 이동 방향과 속도는 동일하게 유지된다고 가정한다. MN이 100km/h로 이동하고 있을 때,  $d = 50m$ , 2sec의 핸드오프 시그널링 지연을 고려하였다. 이 속도로 이동하는 차량은 거의 50m 거리 이내에 속도와 방향을 바꿀 것으로 예상되지 않는다. 낮은  $v$ 의 값과 핸드오프 지연에 대해  $d$ 는 아주 작을 것이다. 그림 10로부터, P에서 MN의 운동 방향이 범위

$[\theta \in (-\theta_1, \theta_1)]$ ,  $\theta_1 = \arctan\left(\frac{a}{2d}\right)$  에 있는 경우에만 nMAG의 핸드오프에 대한 필요성이 발생할 것이 분명하다. 그렇지 않으면, 잘못된 핸드오프 시작이다. 그러므로 (2)를 사용하여, 잘못된 핸드오프 시작 확률은 아래와 같이 주어진다.

$$\begin{aligned} p_a &= 1 - \int_{-\theta_1}^{\theta_1} f_{\theta}(\theta) d\theta \\ &= 1 - \frac{2\theta_1}{2\pi} = 1 - \frac{1}{\pi} \arctan\left(\frac{a}{2d}\right) \end{aligned} \quad (3)$$

$t$ 의 pdf는 아래와 같이 주어진다.

$$f_t(t) = \begin{cases} \frac{d}{\theta_1 t \sqrt{v^2 t^2 - d^2}}, \\ 0 \end{cases}$$

$$\frac{d}{v} < t < \frac{\sqrt{\frac{a^2}{4} + d^2}}{v} \quad (4)$$

otherwise.

핸드오프 실패 확률은 아래와 같이 주어진다.

$$p_f = \begin{cases} 1, & \tau > \frac{\sqrt{\frac{a^2}{4} + d^2}}{v} \\ p(t < \tau), & \frac{d}{v} < \tau < \frac{\sqrt{\frac{a^2}{4} + d^2}}{v} \\ 0, & \tau \leq \frac{d}{v}, \end{cases} \quad (5)$$

이 식의  $\tau$ 은 핸드오프 시그널링 지연이고  $p(t < \tau)$ 은  $t < \tau$ 의 확률이다.

$\frac{d}{v} < \tau < \frac{\sqrt{\frac{a^2}{4} + d^2}}{v}$  경우, (4)를 사용하여 아래의 수식을 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} p(t < \tau) &= \int_0^{\tau} f_t(t) dt \\ &= \int_{\frac{d}{v}}^{\tau} \frac{d}{\pi t \sqrt{v^2 t^2 - d^2}} dt \\ &\approx \frac{1}{\theta_1} \arccos\left(\frac{d}{v\tau}\right) \end{aligned} \quad (6)$$

(5)과 (6)을 사용하여 아래의 수식을 얻을 수 있다.

$$p_f = \begin{cases} 1 & , \quad \tau > \frac{\sqrt{\frac{a^2}{4} + d^2}}{v} \\ \frac{1}{\theta_1} \arccos\left(\frac{d}{v\tau}\right) & , \quad \frac{d}{v} < \tau < \frac{\sqrt{\frac{a^2}{4} + d^2}}{v} \\ 0 & , \quad \frac{d}{v} \geq \tau. \end{cases} \quad (7)$$

본 장에서 위의 수식을 사용하여 PMIPv6 핸드오프 성능에 대해 자세히 논의하기로 한다.

핸드오프를 위한 패킷 전송 메시지 사이즈는 표 2와 같이 정의한다<sup>[27,28]</sup>.

표 2. 메시지 사이즈  
Table 2. Message Size

Message	Size [byte]	Description
$L_{RtrSol}$	52	Router solicitation message
$L_{UNA}$	52	unsolicited neighbor advertisement message
$L_T$	40	Tunneling header
$L_D$	120	User data packet
$L_{FBU}$	56	Fast binding update message
$L_{PBU-LMA}$	76	Proxy binding update message(sent from MAG to LMA)

무선링크는 유선링크에 비해 신뢰할 수 없다. MN은 무선링크를 통해 AR에 접속하고 데이터와 제어 패킷도 무선링크를 통해 전송한다. 따라서 패킷 전송 지연은 무선링크에서 중요한 성능 요소이다. 무선링크에서 프레임 간 시간과 FER(Frame Error Rate)은 각각  $t_f$  와  $r_f$  로 표시한다. MN으로부터 전송된 첫 번째 프레임이 AR에 성공적으로 도착할 확률을  $p_{i,j}$  라고 하자. j번째 재전송 수행 시 i번째 재전송 프레임이 시작된다. 따라서 무선링크를 통해 MN과 AR 사이의 단방향 프레임 전송 지연은 다음과 같이 표현한다<sup>[29,30]</sup>.

$$d_{frame} = D_{wl}(1-p_f) + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^i p_{i,j} (2i \times D_{wl} + 2(j-1)t_f) \quad (8)$$

$i \leq n, j \leq i$  이고 (8)은 다음과 같이 표현한다<sup>[29,30]</sup>.

$$p_{i,j} = p_f(1-p_f)^2((2-p_f)p_f)^{((i^2-i)/2)+j-1} \quad (9)$$

$k$ 는 다음과 같이 표현한다.

$$k = \left\lceil \frac{L_p}{L_f} \right\rceil \quad (10)$$

(8),(9) 그리고 (10)을 통해 무선링크 상의 단방향 패킷 전송 지연  $d_{wl}(L_p)$ 은 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$d_{wl}(L_p) = d_{frame} + (k-1)\tau \quad (11)$$

유선 링크는 무선 링크에 비해 신뢰할 수 있다. 유선링크를 통한 패킷 전송시 패킷 손실이 발생되지 않는다고 가정한다면, 재전송 수행 없이 목적지에 도착할 수 있다. 유선링크 상의 단방향 패킷 전송 지연  $d_{wd}(L_p)$ 은 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$d_{wd}(L_p) = \frac{L_p}{BW_{wired}} + D_{wired} \quad (12)$$

두 엔드 노드 사이의 홉 수를 고려하여 유선링크  $d_{wd}(L_p, h)$ 의 수를 통해 단방향 패킷 전송 지연은 다음과 같이 얻을 수 있다<sup>[31]</sup>.

$$d_{wd}(L_p, h) = \frac{L_p \times h}{BW_{wired}} + D_{wired} \quad (13)$$

$h$ 는 소스 노드로부터 목적지 노드까지의 홉 수이다.

#### 4.2. 핸드오프 지연 시간 및 패킷 손실의 모델링

핸드오프 트리거 유닛은 속도와 핸드오프 시그널링 지연 정보를 사용하여 PMIPv6 핸드오프 절차를 시작하기 위한 적응  $S_{ath}$ 을 결정한다.  $S_{ath}$ 은 다음과 같이 추정 된다.

$$p_f = \frac{1}{\theta_1} \arccos\left(\frac{d}{v\tau}\right);$$

$$\frac{d}{v} < \tau < \frac{\sqrt{\frac{a^2}{4} + d^2}}{v} \quad (14)$$

(14)의 유래는 4장에서 논의할 수식에 의해 제공된다. 방정식 (14)은  $d$ 의 비선형 방정식이다. Closed-Form의 표현은 항상 가능하지 않을 수 있다. 하지만  $d$ 의 대략적인 값은 아래의 수식을 사용하여 계산할 수 있다.

$$p_f = \frac{\cos^{-1}\left(\frac{d}{v\tau}\right)}{\tan^{-1}\left(\frac{a}{2d}\right)} = \frac{\frac{\pi}{2} - \frac{d}{v\tau}}{\frac{\pi}{2} - \frac{2d}{\sqrt{4d^2 + a^2}}} \quad (15)$$

$d$ 를 계산하기 위해 이분법<sup>[25]</sup>을 사용하고 이분법을 사용할 때,  $d$ 의 계산을 위해 몇 번의 반복을 해야 한다. 또한,  $d$ 의 계산은 계산 복잡도가 많지 않고 MN 또는 네트워크 측면(예, MAG 또는 LMA)에서의 구현을 쉽게 할 수 있다.  $S_{ath}$ 의 해당하는 값은 경로 손실 모델과 pMAG의 셀 사이즈를 사용하여 계산되고 경로 손실 모델<sup>[26]</sup>을 사용한다.

$$P_r(x) = P_r(d_0) \left(\frac{d_0}{x}\right)^\alpha + \delta \quad (16)$$

(16)에서  $x$ 는 MAG와 MN 사이의 거리이고  $P_r(d_0)$ 은  $d_0$ 에서 수신된 힘이다.  $d_0$ 의 일반적인 값은 매크로셀의 1km, 야외 마이크로셀의 100m, 그리고 실내 피코셀은 1m이다<sup>[26]</sup>.  $P_r(d_0)$ 의 값은 주파수, 안테나 높이, 그리고 안테나 이득(절약)에 따라 달라진다.  $\alpha$ 의 수치는 셀 크기와 지역의 지형 특성에 따라 다르다.  $\alpha$ 의 일반적인 값은 보통 매크로셀과 마이크로셀 환경 각각을 위해 3~4까지 그리고 2~ 8까지 범위를 가진다.  $\epsilon$ 은 쉐도우잉 때문에 일어난  $P_r(x)$ 의 통계적 편차를 나타낸다.  $\epsilon$ 의 일반 표준 편차는 8dB 이고<sup>[26]</sup> 일반 표준 편차의 실제 가치는 셀 크기에 따라 달라진다. (16)을 사용하여, MN가 셀 경계에서  $d$ 의 거리에 있을 때 아래의 수식을 사용하여 RSS 값을 구한다.

$$S_{ath} = 10 \log_{10} [P_r(a-d)] \quad (17)$$

그림 7에서 네트워크 내와 네트워크 간 핸드오프

를 위해  $S_{ath1}$ 과  $S_{ath2}$ 로  $S_{ath}$ 를 참조한다. 핸드오프 트리거 유닛은 pMAG로부터 RSS를 모니터링하고 MAG로부터 RSS가  $S_{ath}$ 이하로 떨어질 때, PMIPv6 등록 절차를 시작하기 위해 핸드오프 실행 유닛에게 트리거를 보낸다.

## V. 수치 분석 결과

### 5.1. 핸드오프 과정의 분석

PMIPv6의 핸드오프 지연은 MN이 새로운 네트워크에 접속하면, MN의 이동 탐지와 등록은 nMAG에 의해 처리된다. MN은 nMAG에서 전송된 RtrSol 메시지에 포함된 동일한 HNP(Home Network Prefix)를 얻는다. 그렇기 때문에 MN은 PMIPv6 도메인에서 핸드오프가 수행 될 때 주소 구성과 DAD 프로세스를 수행하지 않아도 된다.

$L_{HO}^{(PMIPv6)}$ 은 다음과 같이 표현한다.

$$L_{HO}^{(PMIPv6)} = T_{L2} + T_{LMA} \quad (18)$$

$T_{LMA}$ 는 RtrSol 메시지, MAG와 LMA 사이의 PBU/PBAck의 교환, 그리고 LMA로부터 첫 번째 데이터 패킷을 수신하는데 소요되는 시간을 포함하고 있다. MAG가 MN으로부터 RtrSol 메시지를 수신하면 MN의 이동을 탐지 한다고 가정한다.  $T_{LMA}$ 는 다음과 같이 표현한다.

$$T_{LMA} = d_{wl}(L_{RtrSol}) + d_{wd}(L_{PBU}, h_{G-A}) + d_{lma-packet} \quad (19)$$

LMA와 MAG 사이의 양방향 터널은 정적 터널링으로 구현될 수 있다. 따라서 추가 터널 생성을 위한 지연은 발생하지 않는다. 여기에서 PMIPv6에 정적 터널링이 고려되었다. LMA는 MAG에서 전송된 유효한 PBU 메시지를 수신하고 PBAck 메시지와 함께 MN을 목적지로 하는 데이터 패킷을 보낸다. 따라서,  $d_{lma-packet}$ 는 다음과 같이 표현한다.

$$d_{lma-packet} = d_{wl}(L_D) + d_{wd}(L_D + L_T, h_{G-A}) \quad (20)$$

$L_T$ 은  $d_{wd}(L_p, h)$ 에서 고려한다. MN의 데이터 패킷은 LMA와 MAG 사이에서 터널링 되기 때문이다. 이것은 HMIPv6와 다른 점이다. PMIPv6와

HMIPv6이 유사하게 지역화 된 방식으로 MN을 관리하더라도, PMIPv6은 무선 링크를 통해 패킷 전송 오버 헤드를 줄일 수 있다<sup>32)</sup>.

FPMIPv6의 핸드오프 지연은 MN이 nMAG에 연결되기 전에 HI/Hack 메시지를 통해 nMAG와 MN의 정보를 성공적으로 교환하면 수행된다. 성공적인 HI/Hack 메시지 교환 후, pMAG와 nMAG 사이에 양방향 터널을 생성한다. pMAG는 MN에게 데이터 패킷을 전달하기 위해 이 터널을 이용하여 nMAG로 패킷을 전송한다. MN이 nMAG에 연결되면 nMAG를 통해 연결되던 데이터 패킷은 직접 MN으로 전송된다.  $L_{HO}^{(FPMIPv6)}$  은 다음과 같이 표현한다.

$$L_{HO}^{(FPMIPv6)} = T_{L2} + T_P \quad (21)$$

$T_p$ 는 IP계층 연결 설정 지연  $D_\pi$ 와 nMAG에서 MN에 도착한 첫 번째 데이터 패킷 지연  $d_{mag-packet}$ 의 합으로 구성된다. 따라서  $T_p$ 는 다음과 같이 표현한다.

$$T_p = D_\pi + d_{mag-packet} \quad (22)$$

$D_\pi$ 는  $d_{wl}(L_{UNA})$ 와 같고

$d_{mag-packet} = d_{wl}(L_D)$ 라고 가정한다.

MN의 핸드오프가 일어나는 동안, 네트워크 측에서 버퍼 관리를 하지 않을 경우 MN에게 전달되는 데이터 패킷이 손실된다. 핸드오프 동안의 패킷 손실  $PL$ 의 양은 CN에서 MN에게 발송되는 모든 손실된 데이터 패킷의 합계로 정의된다.

$$PL = \lambda_s E(S) L_{HO}^{(\cdot)} \quad (23)$$

위 수식에서  $PL$ 는  $L_{HO}^{(\cdot)}$ 에 직접적으로 비례한다. FMIPv6와 FPMIPv6과 같은 Fast 핸드오프 프로토콜은 패킷 버퍼링을 함으로써 패킷 손실이 발생하지 않는다. 하지만 패킷 전송 지연은 발생할 수 있다<sup>33)</sup>.

핸드오프 시작을 위해  $d$ 가 불필요하게 큰 값

( $S_{th}$ 에 해당하는 값)이 사용된다면, 잘못된 핸드오프 시작 확률이 증가하는 것을 (3)로 부터 확인 할 수 있다. 이것은 제한된 무선 시스템의 자원을 낭비한다. 그리고 핸드오프 시작에서 발생하는 네트워크의 부하를 증가시킨다. 각 셀 크기  $a$ 의 잘못된 핸드오프 시작 확률과  $d$  사이의 관계를 그림 11에서 보여주고 있다.

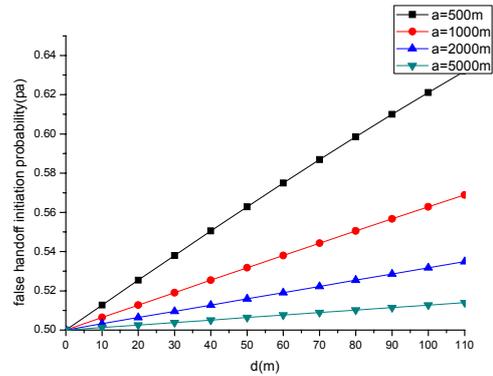
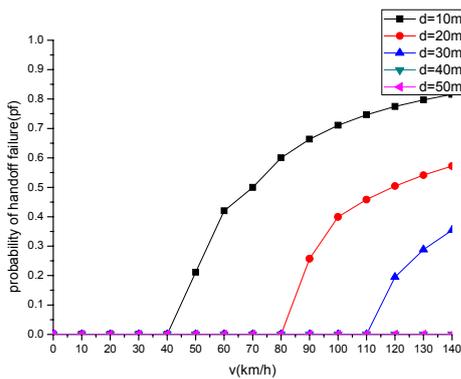


그림 11. 잘못된 핸드오프 시작 확률과  $d$  사이의 관계  
Fig. 11. Relationship between false handoff initiation probability and  $d$

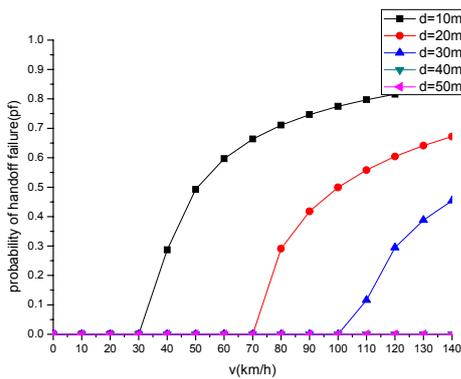
$a$ 의 특정 값이 증가 할수록 잘못된 핸드오프 시작 확률 역시 증가하는 것을 그림 11에서 볼 수 있다. 셀 크기가 감소할 때 잘못된 핸드오프 초기화 문제는 더욱 심각해지는 것을 볼 수 있다. 무선 시스템의 셀 사이즈는 용량과 통신 속도를 증가 시킬 수 있도록 감소되어가고 있다. 따라서 NGWN에서, 잘못된 핸드오프 시작 확률을 줄이기 위해  $d$ 의 적절한 값을 선택하는 것이 중요하다. (7)의

$$\frac{d}{v} < \tau < \frac{\sqrt{\frac{a^2}{4} + d^2}}{v} \quad \text{일 때, 만약 } S_{th} \text{의 고정된 값}(d \text{에 해당하는 고정된 값}) \text{을 사용한다면, 핸드오프 실패 확률은 MN의 속도에 달려있다는 것을 보여준다. 핸드오프 실패 확률 } p_f \text{는 MN의 속도가 증가하면 증가한다. } p_f \text{와 MN의 속도 사이의 관계는 네트워크 내와 네트워크 간의 핸드오프를 그림 12.(a)와 그림 12.(b)에서 각각 보여 준다. 이 수치들은 다양한 } d \text{의 값에 대한 } p_f \text{의 값을 보여준다. 이 시뮬레이션을 위해 } 1\text{km} \text{의 셀 사이즈를 고려하였다. 네트워크 내와 네트워크 간 핸드오프 사이의 주요 차이점은 핸드오프 과정과 연관된 대기 시간이 다. 네트워크 간 핸드오프 대기시간은 네트워크 내}$$

핸드오프보다 크다. 네트워크 내와 네트워크 간 핸드오프 절차에 대해 각각, 0.5초와 1초의 핸드오프 지연시간,  $\tau$ 을 고려하였고 다양한 분석을 위하여 1~10초로  $\tau$ 를 설정하였다<sup>35)</sup>. 그림 12.(a)와 그림 12.(b)에  $d$ 의 특정 값에 대해, 속도가 증가할수록 네트워크 내와 네트워크 간 핸드오프에 대한 핸드오프 실패 확률 증가를 보여주고 있다. 속도가 증가할수록, 평균적으로, MN은 pMAG의 커버리지 영역을 통과하는 시간이 짧기 때문이다. 이러한 수치는  $S_{th}$ 의 특정 값이 사용될 때,  $p_f$ 의 다양한 속도에 대해 네트워크 내 핸드오프에 비해 네트워크 간 핸드오프가 높아지는 것을 보여준다. 그러므로 네트워크 내와 네트워크 간 핸드오프에서 같은 값의  $S_{th}$  사용하는 것은 효율적이지 않다. 요약하면, 이 분석은  $d$ 의 값과  $S_{th}$ 의 값이 원하는 핸드오프 실패 확률을 보장하기 위해 MN의 속도와 핸드오프의 형태에 적응해야 한다는 것을 보여준다.



(a)  $\tau = 0.5$ 의 네트워크 내 시스템 핸드오프



(b)  $\tau = 1$ 의 네트워크 간 핸드오프

그림 12. MN의 속도와 핸드오프 실패 확률 사이의 관계  
Fig. 12. Relationship between handoff failure probability and MT's speed

네트워크 내와 네트워크 간 핸드오프의 경우 핸드오프 신호 지연 값은 혼잡 수준, 무선 링크 상태, 그리고 홈 네트워크로부터 사용자 위치 등의 네트워크 역학에 따라 변화한다.  $S_{th}$ 가 고정된 값을 사용할 때, 핸드오프 시그널 지연과 핸드오프 실패 확률 사이의 관계를 그림 13에서 보여준다.  $S_{th}$ 가 고정된 값을 사용하므로,  $d$  역시 고정된 값이 사용되었다.  $\tau$ 의 높은 값은 네트워크 간 핸드오프 시나리오에 해당하고  $\tau$ 의 낮은 값은 네트워크 내 핸드오프 시나리오에 해당한다. 고정된  $S_{th}$  값이 사용될 때 핸드오프 시그널링 지연 증가에 따라 핸드오프 실패 확률도 증가하는 것을 그림 13을 통해 알 수 있다. 핸드오프 실패 확률 제한을 유지하기 위해서는 사전에 핸드오프 시그널링 지연을 예측하는 것이 필수적이며, 적응  $S_{th}$  값을 사용한다.

요약하면, 고정된  $S_{th}$  값이 사용될 때 핸드오프 실패 확률은 MN의 속도 증가에 따라 증가하고 (그림 12.(a)와 그림 12.(b)) 핸드오프 실패 확률은 핸드오프 시그널링 지연 증가에 따라 증가한다(그림 13). 이 분석은  $S_{th}$ 가 불필요하게 큰 값이 사용되면 잘못된 핸드오프 시작 확률이 증가(그림 12 표시)하고, 시스템의 성능에 부정적인 영향을 미친다는 것을 보여 준다. 따라서 핸드오프 시작을 위한 적응  $S_{th}$ 의 사용을 제안한다. 적절한  $S_{th}$  값은 MN의 속도와 핸드오프 신호 지연에 따라 달라진다. 본 논문의 목표는 핸드오프 실패 확률 제한에 대한 적응  $S_{th}$  사용하고 동시에, 잘못된 핸드오프 실행 때문에 발생하는 시스템의 불필요한 부하를 줄이는 것이다.

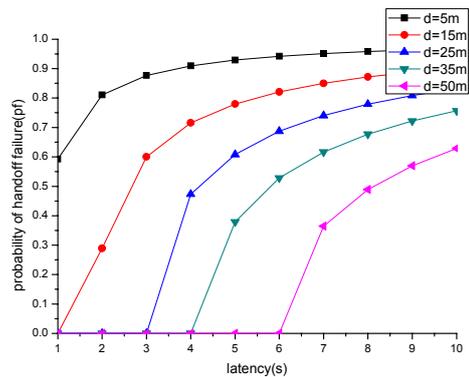


그림 13. 핸드오프 실패 확률과  $\tau$  사이의 관계  
Fig. 13. Relationship between handoff failure probability and  $\tau$

5.2. 핸드오프 지연 시간 및 패킷 손실의 분석

그림 14 그림 15은  $r_f$ 에 대한 핸드오프 지연을 보여준다.  $r_f$ 의 높은 값은 무선 링크를 통한 잘못된 패킷 전송 확률을 증가시킨다. 따라서 이동성 시그널링 재전송 수는 증가하고 핸드오프 지연도 증가된다. 각 이동성 관리 프로토콜의 핸드오프 지연은  $r_f$ 에 비례한다는 것을 그림 14와 그림 15에서 보여준다.  $D_{wl}$ 의 값은 핸드오프 지연의 원인이 되기도 한다. 예를 들어  $D_{wl}$ 의 높은 값과 함께  $r_f$  값의 증가는 핸드오프 지연을 크게 증가시킨다. 이 분석을 통해 FPMIPv6는 다른 이동성 관리 프로토콜보다 핸드오프 지연이 낮다는 것을 알 수 있다.

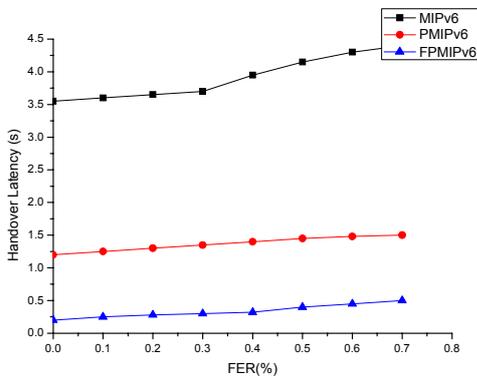


그림 14.  $D_{wl} = 10ms$ 일 때,  $r_f$ 와 핸드오프 지연 관계  
Fig. 14. Handoff Latency versus  $r_f$  with  $D_{wl} = 10ms$

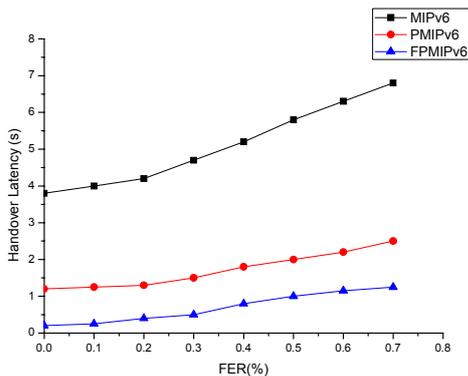


그림 15.  $D_{wl} = 40ms$ 일 때,  $r_f$ 와 핸드오프 지연 관계  
Fig. 15. Handoff Latency versus  $r_f$  with  $D_{wl} = 40ms$

MN의 핸드오프가 수행되는 동안 버퍼링 메커니즘 없이 CN에서 MN에게 전송되는 모든 데이터 패킷이 손실된다. 그림 16과 그림 17은 핸드오프 동

안의 패킷 손실을 보여준다.  $\lambda_s$ 와  $E(S)$ 는 각각 1과 10으로 설정한다. 그리고  $D_{wl}$ 의 다양한 값과 함께  $r_f$ 는 0~0.7이다. 그림 16에서  $D_{wl}$ 은 10ms로 설정하고, 그림 17에서  $D_{wl}$ 은 40ms로 설정한다. 그림 16과 그림 17의 결과에 따르면,  $D_{wl}$ 의 높은 값과 함께  $r_f$ 은 패킷 손실에 많은 영향을 끼친다. 앞 절에서 핸드오프 시 패킷 손실이 핸드오프 지연 시간에 비례하였다. MIPv6의 경우 다른 프로토콜보다 더 많은 시간이 필요하기 때문에 패킷의 손실 수가 더 많다. FMIPv6와 FPMIPv6 등의 프로토콜은 AR과 MAG에서 패킷 버퍼링 메커니즘을 사용하기 때문에 핸드오프 동안 패킷 손실이 발생하지 않는다. FPMIPv6의 경우, MN이 nMAG와의 핸드오프가 완료되지 않은 경우 pMAG를 통해 수신된 패킷은 nMAG로 포워딩 되고 nMAG은 MN의 핸드오프가 완료 될 때까지 패킷을 버퍼링 하게 된다. PMIPv6의 경우 핸드오프 지연 시간이 낮은 경우에도 패킷 손실이 발생한다. PMIPv6은 MN의 핸드오프 동안 패킷 손실을 방지하기 위한 버퍼링 메커니즘을 제공하지 않기 때문이다.

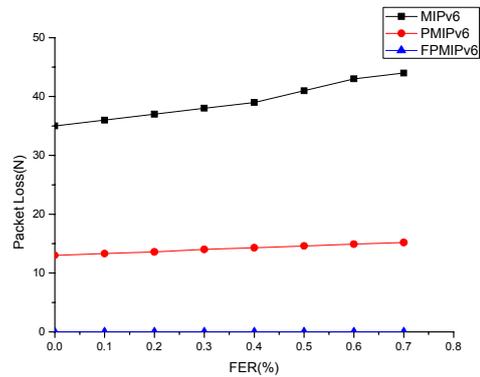


그림 16.  $D_{wl} = 10ms$ 일 때,  $r_f$ 와 패킷 손실의 관계  
Fig. 16. Packet Loss versus  $r_f$  with  $D_{wl} = 10ms$

$\tau$ 의 값에 대한  $v$ 와  $S_{th}$  간의 관계를 분석한다.  $v$ 의 값이 서로 다른 경우 (14)를 사용하여  $d$ 의 값을 계산한다. 그 다음 (17)을 사용하여,  $S_{th}$ 의 값을 계산한다. 그림 18.(a)는 pMAG가 마이크로셀에 속할 때, 다양한  $\tau$ 의 값에 대한  $S_{th}$ 와  $v$  사이의 관계를 보여준다. 그림 18.(b)는 pMAG가 매크로셀에 속해 있을 때, 유사한 결과를 보여준다. 그림 18.(a)는 Intra\_MI\_HO, Inter\_MI\_HO 그리고

Inter\_MIMA\_HO에 해당되고 그림 18.(b)는 Intra\_MA\_HO, Inter\_MA\_HO 그리고 Inter\_MAMI\_HO에 해당하는 결과를 보여준다.

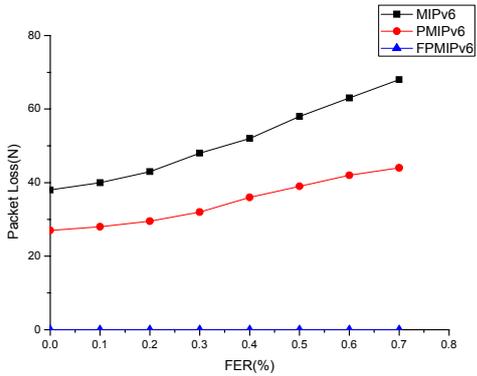
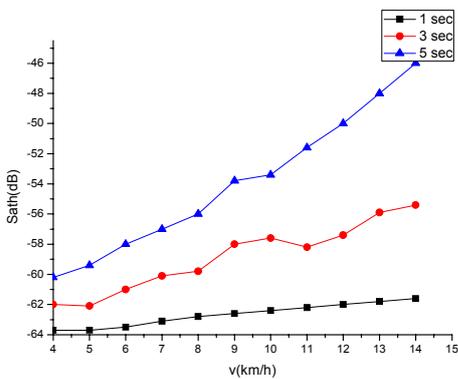
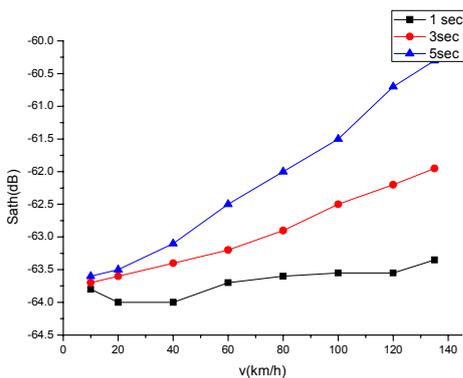


그림 17.  $D_{wl} = 40ms$ 일 때,  $r_f$ 와 패킷 손실의 관계  
Fig. 17. Packet Loss versus  $r_f$  with  $D_{wl} = 40ms$



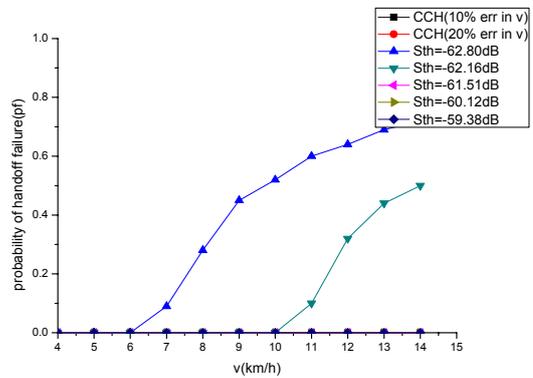
(a) pMAG 마이크로셀



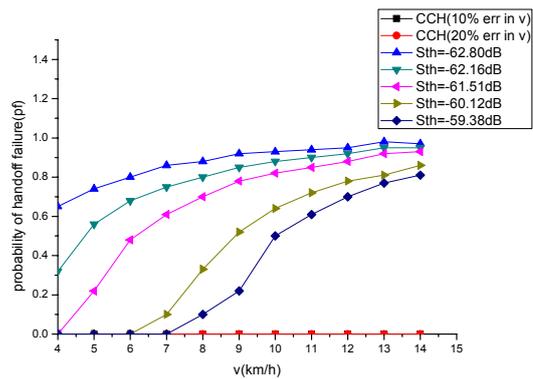
(b) pMAG 매크로셀

그림 18. 다른 속도 값에 대한  $S_{ath}$   
Fig. 18.  $S_{ath}$  for different speed values

그림 18.(a)와 그림 18.(b)은  $\tau$ 의 특정 값에 대해 MN의 속도 증가에 따라  $S_{th}$ 가 증가하는 것을 보여준다. 이것은 빠른 속도로 이동 중인 MN의 경우, 핸드오프 실패 확률 제한을 위해서 천천히 움직이는 MN에 비해 더 먼저 핸드오프를 시작해야 한다는 것을 의미한다. 또한  $\tau$  증가에 따라  $S_{th}$ 가 증가함을 보여준다.  $\tau$ 가 큰 경우  $\tau$ 가 작은 경우에 비해 핸드오프를 먼저 시작해야 해야 하기 때문이다.  $\tau$ 의 값은 네트워크 내와 네트워크 간 핸드오프와 관련이 있다. 그러므로, CLH는  $v$ 와  $\tau$ 에 적응  $S_{th}$ 가 사용된다. MN의 속도와 시그널링 지연 추정과 윈도우 패딩 효과 내부의 에러 때문에  $S_{th}$ 에 약간의 변화가 추정된다. 이러한 부정적 효과를 제거하기 위해서 (14)에 의해 계산된  $d$ 의 값을 10% 증가시켰고 (17)에 이 값을 적용하여  $S_{th}$ 를 계산하였다.



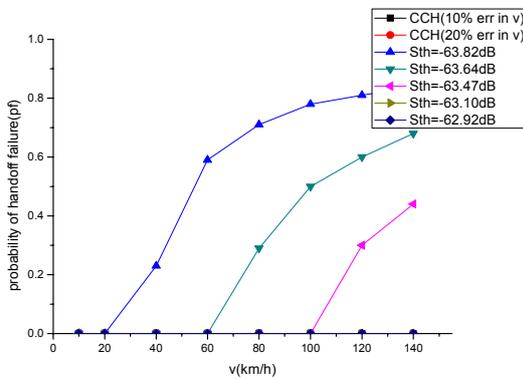
(a) 네트워크 내 핸드오프 시나리오



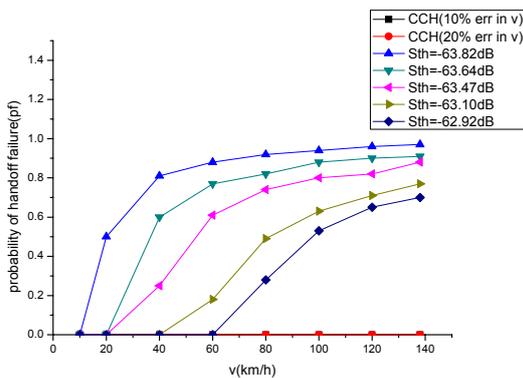
(b) 네트워크 간 핸드오프 시나리오

그림 19. pMAG가 마이크로셀에 속할 때, CLH의 핸드오프 실패 확률과 속도 사이의 관계  
Fig. 19. Relationship between handoff failure probability of CLH and speed when the pMAG belongs to a microcellular system

네트워크 내와 네트워크 간 핸드오프의 다른 형태에 대한 CLH의 핸드오프 실패 확률을 조사하고 기존 고정된 RSS 임계 값 기반 핸드오프 프로토콜의 핸드오프 실패 확률을 비교한다. CLH에서는 핸드오프 시그널링 지연 정보와 속도를 이용하여  $S_{th}$ 을 계산한다. 속도 추정에서 최대 20% 에러가 도입되었다고 가정한다. 그 다음, 핸드오프 실패 확률을 결정하고 핸드오프를 시작하기 위해  $S_{th}$ 을 사용한다. 그림 19.(a)와 그림 19.(b)은 pMAG가 마이크로셀에 있을 경우, 속도의 다양한 값에 대한 CLH와 기존의 고정된  $S_{th}$  기반 알고리즘의  $p_f$ 을 보여준다. 그림 19.(a)는 Intra\_MI\_HO에 대한  $p_f$ 을 보여주고 그림 19.(b)는 Inter\_MI\_HO와 Inter\_MIMA\_HO에 대한  $p_f$ 를 보여준다.



(a) 네트워크 내 핸드오프 시나리오



(b) 네트워크 간 핸드오프 시나리오

그림 20. pMAG가 매크로셀에 속할 때, CLH의 핸드오프 실패 확률과 속도 사이의 관계  
Fig. 20. Relationship between handoff failure probability of CLH and speed when the OBS belongs to a macrocellular system

MN의 속도를 알고 있는 경우, 고정 RSS 기반의

핸드오프 알고리즘에 비해 CLH의  $p_f$ 가 70 %~80 % 감소하는 것을 입증해 준다. 또한, CLH를 사용할 때,  $p_f$ 가 MN의 속도에 독립되는 것을 보여준다. 반면, 고정된 RSS 임계 값 기반 알고리즘의  $p_f$ 은  $S_{th}$  값과 MN의 속도에 따라 달라진다. 그림 19.(a)와 그림 19.(b)은 고정된 RSS 임계 값에 대해,  $p_f$ 의 값이 네트워크 내와 네트워크 간 핸드오프에 따라 달라지는 것을 비교하여 보여주고 있고 CLH를 사용할 때,  $p_f$ 가 MN의 속도에 독립되는 것을 보여준다. 반면, 고정된 RSS 임계 값 기반 알고리즘의 경우,  $p_f$ 은  $S_{th}$ 의 값과 MN의 속도에 따라 달라진다. 핸드오프 프로토콜은 핸드오프 형태에 대해 적응이 필요함을 보여준다. CLH는 인접한 MAG들의 존재에 대해 알게 되고 난 후 특정 nMAG로 MN이 이동하는 경우 핸드오프 형태를 결정하여 구현한다. 그림 20.(a)와 그림 20.(b)는 매크로셀에 pMAG가 속해 있을 경우와 유사한 결과를 보여준다.

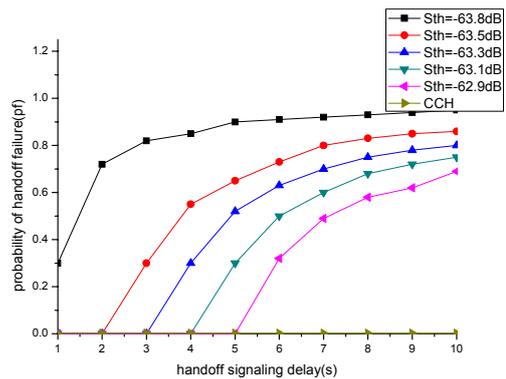
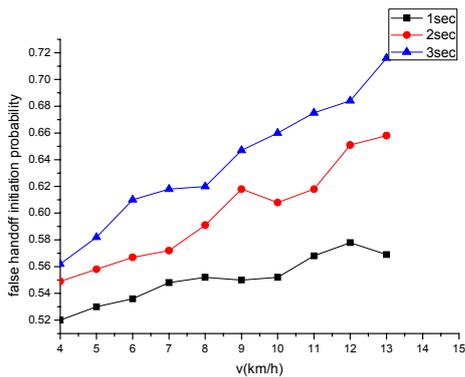


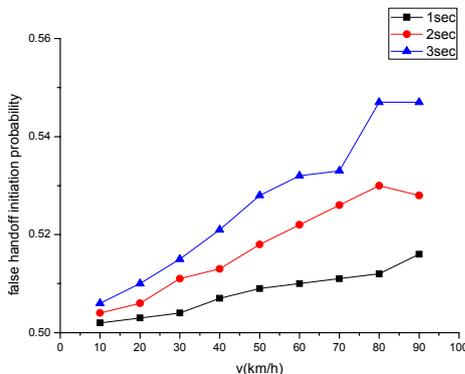
그림 21. CLH의 핸드오프 실패 확률과 핸드오프 시그널링 지연 사이의 관계  
Fig. 21. Relationship between handoff failure probability of CLH and handoff signaling delay.

그림 21은  $\tau$  값에 따른 CLH의 핸드오프 실패 확률을 보여준다. 이 결과는 고정 RSS 기반의 핸드오프 프로토콜과는 달리 CLH의  $p_f$ 는  $\tau$ 와 독립적임을 보여준다. CLH 예상  $\tau$ 와 동적 RSS 임계 값의 계산을 위해 사용하기 때문이다. 그림 21은 고정된 RSS 기반 핸드오프 프로토콜에 비해 CLH의  $p_f$ 가 70~80% 감소한 것을 보여준다.  $\tau$ 의 낮고 값은 네트워크 내 핸드오프에 해당하고 높은 값은 네트워크 간 핸드오프에 해당한다. 그러므로 동적 RSS 계산에  $\tau$ 의 예상 값을 포함하여,  $p_f$ 는 MN의

속도와 핸드오프 신호 지연 변동에 관계없이 원하는 값으로 제한된다. 적응 RSS 임계 값 사용은 핸드오프의 성공적인 실행을 위해 충분한 시간을 가지고 핸드오프 절차를 시작한다. 적응  $S_{th}$ 의 값은 너무 빠르거나 너무 늦은 핸드오프 절차의 시작을 방지하기 때문에 잘못된 핸드오프 시작 확률을 제한할 수 있다. 잘못된 핸드오프 시작 확률과 핸드오프 실패 확률 사이의 최적의 균형을 공격한다.  $S_{th}$ 이 고정 값을 사용할 경우, MN이 빠른 속도로 이동할 때,  $p_f$ 의 원하는 값을 보장한다고 가정한다.



(a) pMAG 마이크로셀



(b) pMAG 매크로셀

Fig. 22. Relationship between false handoff initiation probability of CLH and speed

그림 22. CLH의 잘못된 핸드오프 시작 확률과 속도 사이의 관계

그림 22.(a)와 그림 22.(b)는 마이크로셀과 매크로셀 시스템에 pMAG가 속해 있을 때, CLH와 고정  $S_{th}$  기반 알고리즘의 잘못된 핸드오프 시작 확률을 비교하여 보여준다. CLH의 잘못된 핸드오프 개시 확률은 고정 RSS 임계 값 기반의 알고리즘에 비해 5% ~ 15% 낮은 것으로 나타났다. 따라서,

CLH는 잘못된 핸드오프 초기화와 관련된 비용을 15%까지 절감 시키는 것을 알 수 있다.

## VI. 결론

본 논문에서, NGWN의 핸드오프의 다양한 종류와 링크계층지원 핸드오프 관리 프로토콜 설계의 최근 추세에 대해 논의 하였다. 그 다음 핸드오프 과정을 시작하기 위한  $S_{th}$ 의 고정된 값을 사용한 핸드오프 관리 프로토콜의 성능을 분석하였다. 이 분석을 통해  $S_{th}$ 의 고정 값이 사용될 때와 속도나 핸드오프 시그널링 지연이 증가되면 핸드오프 실패 확률도 증가하는 것을 알 수 있었다. 본 논문의 분석을 통해 예상 가능한 핸드오프들의 핸드오프 시그널링 지연을 예측하는 CLH 교차계층 핸드오프 관리 프로토콜을 제안하였다. CLH는 핸드오프 시작에 대한 동적  $S_{th}$ 을 계산하기 위해 사용된다. 본 논문의 분석과 시뮬레이션 결과는 CLH가 네트워크 내와 네트워크 간 핸드오프 모두의 성능 향상에 도움이 되는 것을 보여준다. 또한 CLH는 잘못된 핸드오프 시작 확률을 낮추는 성과를 보여주기 때문에 잘못된 핸드오프 시작과 관련된 비용을 줄일 수 있다.

이 논문을 바탕으로 더 많은 네트워크 환경에서 고품질의 서비스를 제공하기 위한 네트워크 기술들을 추가 연구해 나갈 계획이다. 앞에서 분석한 프로토콜 이외의 프로토콜에도 CLH를 적용하여 성능을 평가하고 시그널링 지연을 줄이기 위한 방안을 연구하여 CLH의 성능을 향상시켜 나갈 계획이다.

## References

- [1] I. F. Akyildiz, S. Mohanty, and J. Xie, "A ubiquitous mobile communication architecture for next generation heterogeneous wireless systems," *IEEE Radio Commun. Mag.*, vol. 43, no. 6, pp. S29-S36, June 2005.
- [2] I. F. Akyildiz, J. McNair, J. S. M. Ho, H. Uzunalioglu, and W. Wang, "Mobility management for next generation wireless systems," in *Proc. IEEE*, vol. 87, no. 8, pp. 1347-1384, Aug. 1999.
- [3] J. Xie and I. F. Akyildiz, "A novel distributed dynamic location management scheme for

- minimizing signaling costs in mobile IP,” *IEEE Trans. Mobile Comput.*, vol. 1, no. 3, pp. 163-175, July 2002.
- [4] J. Xie, “User-independent paging scheme based on mobility rate for mobile IP,” in *Proc. IEEE Globecom*, vol. 3, pp. 1554-1558, Dallas, U.S.A., Nov. 2004.
- [5] D. B. Johnson, C. E. Perkins, and J. Arkko, “Mobility support in IPv6,” *IETF RFC 3775*, June 2004.
- [6] G. Koodli, “Fast handovers for mobile IPv6,” *IETF RFC 4068*, July 2005.
- [7] H. Soliman, C. Castelluccia, K. El-Malki, and L. Bellier, “Hierarchical mobile IPv6 mobility management (HMIPv6),” *IETF RFC 4140*, Aug. 2005.
- [8] S. Gundavelli, K. Leung, V. Devarapalli, K. Chowdhury, and B. Patil, “Proxy Mobile IPv6,” *IETF RFC 5213*, Aug. 2008.
- [9] H. Yokota, K. Chowdhury, R. Koodli, B. Patil, and F. Xia, “Fast handovers for proxy mobile IPv6,” *IETF RFC 5949*, Sep. 2010.
- [10] H. Yokota, A. Idoue, T. Hasegawa, and T. Kato, “Link layer assisted mobile IP fast handoff method over wireless LAN networks,” in *Proc. ACM MOBICOM '02*, pp. 131-139, Atlanta, U.S.A., Sep. 2002.
- [11] I. F. Akyildiz and W. Wang, “A predictive user mobility profile for wireless multimedia networks,” *IEEE/ACM Trans. Networking*, vol. 12, no. 6, pp. 1021-1035, Dec. 2004.
- [12] I. F. Akyildiz, J. Xie, and S. Mohanty, “A survey on mobility management in next generation all-IP based wireless systems,” *IEEE Wireless Commun.*, vol. 11, no. 4, pp. 16-28, Aug. 2004.
- [13] K. El Malki, “Low latency handoff in mobile IPv4 (Work in Progress),” *IETF Draft*, <http://tools.ietf.org/html/draft-ietf-mobileip-low-latency-handoffs-v4-01>, May 2001.
- [14] J. McNair, I. F. Akyildiz, and M. Bender, “An inter-system handoff technique for the IMT-2000 system,” in *Proc. IEEE INFOCOM 2000*, vol. 1, pp. 208-216, Tel-Aviv, Israel, Mar. 2000.
- [15] R. Hsieh, Z. G. Zhou, and A. Seneviratne, “S-MIP: a seamless handoff architecture for mobile IP,” in *Proc. IEEE INFOCOM '03*, vol. 3, pp. 1774-1784, San Francisco, U.S.A., Apr. 2003.
- [16] N. Zhang and J. M. Holtzman, “Analysis of handoff algorithms using both AMAGolute and relative measurements,” *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 45, no. 1, pp. 174-179, Feb. 1996.
- [17] A.-T. Cheng, C.-H. Wu, J.-M. Ho, and D.T. Lee, “Secure transparent mobile IP for intelligent transportation systems,” in *Proc. IEEE Int. Conf. Networking, Sensing and Controls*, vol. 1, pp. 495-500, Taipei, Taiwan, Mar. 2004.
- [18] P. A. Pangalos, K. boukis, L. Burness, A. Brookland, C. Beauchamps, and A. H. Aghvami, “End-to-end SIP based real time application adaptation during unplanned vertical handovers,” in *Proc. IEEE Globecom 2001*, vol. 6, pp. 3488-3493, San Antonio, U.S.A., Nov. 2001.
- [19] S. Jun-Zhao and J. Sauvola, “Mobility and mobility management : a conceptual framework,” in *Proc. IEEE Int. Conf. Networks (ICON) 2002*, pp. 205-210, Singapore, Aug. 2002.
- [20] M. Stemm and R. H. Katz, “Vertical handoffs in wireless overlay networks,” *ACM J. Mobile Networks and Applicat. (MONET)*, vol. 3, no. 4, pp. 335-350, 1998.
- [21] M. Liebsch, “Candidate access router discovery,” *IETF Draft (Work in Progress)*, <http://tools.ietf.org/html/draft-ietf-seamoby-card-protocol-07>, June 2004.
- [22] S. Mohanty, “VEPSD: velocity estimation using the PSD of the received signal envelope in next generation wireless systems,” *IEEE Trans. Wireless Comm.*, vol. 4, no. 6, pp. 2655-2660, Nov. 2005.
- [23] M. D. Austin and G. L. Stuber, “Velocity adaptive handoff algorithms for microcellular systems,” *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 43, no. 3, pp. 549-561, Aug. 1994.

[24] J. M. Holtzman and A. Sampath, "Adaptive averaging methodology for handoffs in cellular systems," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 44, no. 1, pp. 59-66, Feb. 1995.

[25] A. Neumaier, *Introduction to Numerical Analysis*, Cambridge Univ. Press, 2001.

[26] G. L. Stuber, *Principles of Mobile Communication*, Kluwer Academic, 2001.

[27] J.-H. Lee, T.-M. Chung, "How much do we gain by introducing Route Optimization in Proxy Mobile IPv6 networks," *Anna. Telecommun.*, vol. 65, no. 5 - 6, pp. 233 - 246, June 2010.

[28] H. Fathi, S. S. Chakraborty, and R. Prasad, "Optimization of mobile IPv6-based handovers to support VoIP services in wireless heterogeneous networks," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 56, no. 1, pp. 260-270, Jan. 2007.

[29] G. Bao, "Performance evaluation of TCP/RLP protocol stack over CDMA wireless link," *Wireless Networks*, vol. 2, no. 3, pp. 229 - 237, Sep. 2006.

[30] S. Yang, H. Zhou, Y. Qin, and H. Zhang, "SHIP: cross-layer mobility management scheme based on session initiation protocol and host identity protocol," *Telecommun. Syst.*, vol. 42, no. 1-2, pp. 5-15, Oct. 2009.

[31] N. Banerjee, W. Wu, S. K. Das, S. Dawkins, and J. Pathak, "Mobility support in wireless internet," *IEEE Wireless Commun.*, vol. 10, no. 5, pp. 54-61, Oct. 2003.

[32] J.-H. Lee, Y.-H. Han, S. Gundavelli, and T.-M. Chung, "A comparative performance analysis on hierarchical mobile IPv6 and proxy mobile IPv6," *Telecommun. Syst.*, vol. 41, no. 4, pp. 279 - 292, Aug. 2009.

[33] C. Makaya and S. Pierre, "An analytical framework for performance evaluation of IPv6-based mobility management protocols," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 7, no. 3, pp. 972 - 983, Mar. 2008.

[34] D-K. Oh and S-W. Min, "A fast handover scheme of multicast traffics in PMIPv6," *KICS Inform. Mag.*, vol. 36, no. 3, pp. 208-213,

Mar. 2011.

[35] J.-H. Lee, J.-M. Bonnin, I. You, and T.-M. Chung, "Comparative handover performance analysis of IPv6 mobility management protocols," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 60, no. 3, pp. 1077-1088, Mar. 2012.

이 재 속 (JaeSuk Lee)



2013년 2월 성균관대학교 컴퓨터공학과 석사과정  
<관심분야> 모바일네트워크, 대용량처리, 검색

정 증 필 (Jongpil Jeong)



2008년 2월 성균관대학교 정보통신대학(공학박사)  
2009년 성균관대학교 컨버전스 연구소 연구교수  
2010년~현재 성균관대학교 산학협력단 산학협력중점교수

<관심분야> 모바일 컴퓨팅, 센서 이동성, 차량 모바일 네트워크, 스마트기기 보안, 네트워크 보안, IT 융합, 인터랙션사이언스 등