

비용효과적인 이동성 관리 지원을 위한 새로운 인터넷워킹 아키텍처의 성능분석

송명석*, 정종필**

*성균관 대학원 정보보호학과

**성균관 대학원 컴퓨터공학과

e-mail : bestsong21@hotmail.com

Performance Analysis of A Novel Inter-Networking Architecture for Cost-Effective Mobility Management Support

Myoung-Seok Song*, Jong-Pil Jeong**

*Dept of Information Protection, SungKyunKwan University

**Dept of Computer Engineering, SungKyunKwan University

요 약

PMIPv6(Proxy Mobile IPv6)는 네트워크 주도형 IP 기반 이동성 관리 프로토콜로서 액세스 시스템의 종류나 단말의 능력에 의존하지 않고, 단말 이동성 제어가 가능하다. 이러한 PMIPv6에 SIP 이동성을 접목하면 더 효율적인 경로를 사용해 터미널 이동성 및 세션 이동성을 확립할 수 있다. 이러한 이동성 관리를 위해 현재 PMIPv6-SIP에 대한 활발한 연구가 진행되고 있지만, 효과적인 성능평가 및 수학적 모델링이 표준화되지 못하고 있다. 이에 새로운 PMIPv6-SIP 아키텍처를 제안하고 핸드오버 시에 발생하는 지연과 패킷손실을 Pure-SIP과 비교하여 수학적 모델링을 통한 효과적인 성능평가를 제안한다.

1. 서 론

최근 이동단말의 발달로 인해 무선 랜 서비스가 폭넓게 전개되고 있다. 이로 인해 세션을 유지하면서 다양한 종류의 무선망을 핸드오버 할 수 있는 기술들도 소개되고 있다. 그러나 이동단말이 핸드오버를 할 때, IP주소 변화가 생기게 되면 TCP 연결을 유지하기 어렵기 때문에 통신의 끊김이 발생하게 된다. 끊김 없는 핸드오버를 실현시킬 수 있는 기술이 MIPv6[1]와 SIP[2]을 이용한 기술이다. 그러나 MIPv6와 SIP을 사용하기 위해서는 이동단말에 미들웨어의 구현이 필요하다. PMIPv6는 MAG(Mobile Access Gateway)에 의해 네트워크 측에서 네트워크 주도형 핸드오버가 실행된다. LMA(Local Mobility Anchor)와 MAG 간에 핸드오버처리를 실시함으로써, 이동단말에 핸드오버에 필요한 특별한 기능 추가는 필요 없다.

본 연구에서는 이동단말이 핸드오버를 할 때 특별한 기능 추가 및 미들웨어 없이 세션을 유지한 채 네트워크 주도형 핸드오버가 가능한 새로운 PMIPv6-SIP 아키텍처를 제안한다. 제안된 아키텍처는 터미널 이동성 관리를 위해서 PMIPv6를 사용하고, 중앙 집중식 세션 이동성 관리를 위해서 SIP를 사용한다. 이 구조를 위해 SIP 메시지에 새로운 정보를 추가한다. 그리고 제안된 새로운 아키텍처와 Pure-SIP를 사용한 모델을 비교 분석하고 이에 따른 수학적 분석 모델을 제시하여 효과적인 성능평가를 한다.

2. 이동성 관리 지원을 위한 새로운 인터넷워킹 아키텍처

이동성 관리를 위한 새로운 인터넷워킹 아키텍처를 위해 WiMAX는 CSN(Connectivity Services Network) 게이트웨이를 통해서, UMTS는 GGSN(GPRS Gateway Support Node)를 통해서, CDMA2000은 PDSN를 통해서, WLAN은 GGSN 에뮤레이터를 통해서, LTE는 S-GW(MAG), P-GW(LMA)를 통해서 ALL-IP 코어 네트워크에 연결된다. SIP과 PMIPv6-MAG의 남은 요소들은 이동단말의 홈 네트워크에 위치해 있다.

그림 1의 내용과 같이 SIP INVITE 메시지는 P-CSCF에 의해 UMTS 인터페이스에서 S-CSCF로 전송되고, 마지막으로 목적지로 전송된다. 이것은 세션 수립 전에 필수

조건인 QoS가 충족되기 위한 호(call) 흐름 모델에 대한 요청도 가지고 있기 때문이다. 그 후, 목적지는 SDP(Session Description Protocol)에 대한 응답을 포함한 183 Session Progress Message와 함께 전송한다. 이 PRACK(Precondition ACKnowledgement) 요청에 의한 입시 응답 수신에 대한 확인은 다음과 같다. PRACK 요청이 목적지에 도달하면 200 OK response가 SDP 응답과 함께 도착한다. 그런 다음 출발지에 의해, 자원 예약을 확인하는 업데이트 요청이 전송된다. 목적지가 업데이트 요청을 수신하면, 200 OK Response를 생성한다. 그 다음 UMTS 인터페이스를 통해 세션이 진행된다. 이동단말이 LTE로 이동될 때 LTE로의 세션 연결이 요청된다. 우선 표준 LTE 등록 절차 및 PMIPv6-MAG와 함께 PMIPv6 등록 절차가 수행된다. 그런 다음 이 요청을 PMIPv6-LMA로 전달하고, LTE 인터페이스로 할당된 홈 IP 주소를 취득한다. 그 뒤에, 상대노드가 전송한 패킷이 이동노드로 직접 전달되지 못하고 항상 HA를 거쳐서 전달되는 현상(Triangular Routing)을 방지하기 위해서 PMIPv6의 Binding Update Message가 이동단말과 코어 네트워크 사이에서 교환된다.

제안하는 통신 환경은 단말 간의 통신에서 PMIPv6와 SIP를 활용하는 것이다. 무선 랜 라우터에 SIP를 도입해서 무선 랜 라우터 간의 세션 확립, 변경, 절단을 함으로써 무선 랜 라우터 간의 핸드오버를 처리한다. 그리고 이동단말에 동일 IP주소를 할당함으로써 IP주소의 변경을 숨기고 이동단말에 핸드오버를 위한 기능 추가를 하지 않는다. 무선 랜 라우터간의 핸드오버를 처리하기 위해 SIP 서버와 SIP메시지의 확장이 필요하다. 표준적인 SIP서버는 SIP 단말이 가지는 SIPURI와 IP주소의 매핑을 가진다. 여기에 단말 정보와 세션성립정보를 각 SIP단말의 SIPURI와 IP주소에 대해 추가한다. 단말 정보란 SIP단말인 무선 랜 라우터에 접속한 이동단말의 링크로컬주소이다. 세션확립정보는 그 이동단말과 통신을 하려는 상대방이 접속하고 있는 무선 랜 라우터의 SIPURI이다. 이것을 가짐으로써 SIP서버에 의한 이동단말의 위치관리가 가능하다. 이러한 정보를 SIP서버에 등록하기 위해 SIP메시지의 확장이 필요하다. SIP 메시지에 여러 메시지가 있는데 등록 요구 메시지인 REGISTER와 확립요구 메시지

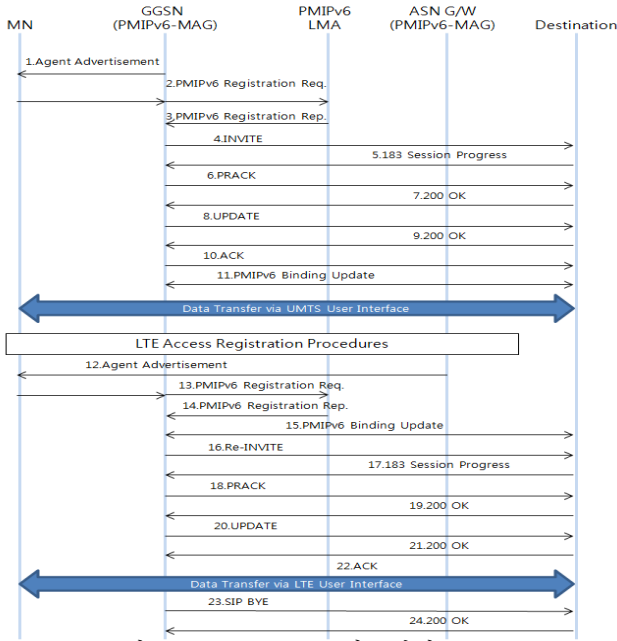


그림 1. PMPv6-SIP 시그널링

인 INVITE 메시지에 정보를 추가한다. REGISTER에서는 메시지에 무선 랜 라우터에 접속한 이동단말의 링크로컬 주소를 추가하고 INVITE에는 통신 상대의 IP주소를 메시지에 추가한다. 그래서 SIP서버는 각 메소드에 따라 이동단말정보와 세션확립정보를 유지한다.

3. 성능평가

3.1 시스템 모델링

사용자의 세션은 양방향 통신이 서로 독립적이고, 통신 채널을 먼저 연결하고 기존 채널을 끊는 핸드오버 방식을 따른다고 가정한다. 따라서 전체 트래픽의 일부분으로 각 개인이 독립적으로 생성시킨 트래픽들은 Poisson 도착 프로세스를 따른다고 가정할 수 있다[3]. 또한 백 그라운드 트래픽이 제한된 모델의 성능에 영향을 미칠 수 있기 때문에, 분석은 트래픽이 갑자기 집중적으로 한 번씩 소규모로 발송되는 습성을 포함하는 네트워크 환경인 최악의 시나리오를 고려했다[4]. 세션을 맺고 있는 동안의 이동성에 대한 표준 Vertical 핸드오버는 다음으로 규정한다. 상위 계층에서의 Vertical 핸드오버 지연은 D_1 을 고려하지 않고 계산하였고, 주로 D_3 과 D_4 로 구성되었다. 그리고 DHCP를 사용한 주소할당은 고려하지 않는다. 따라서 네트워크 계층 기반의 Vertical 핸드오버 지연의 주된 원인은 D_4 라고 주장할 수 있고, 다음 식으로 표현 할 수 있다.

$$D_4 = D_{wl} + D_w + L_{wl} + L_w \quad (1)$$

수식 (1)에서 D_{wl} 은 무선 인터페이스에서의 총 지연이고, D_w 는 유선 링크에서의 총 지연, L_{wl} 은 무선 링크에서의 대기 시간, L_w 가 유선링크에서의 대기시간이다. D_{wl} 과 D_w 을 유도하기 위해서, 시그널링과 데이터 라우팅 경로에 M/M/1 큐잉 모델이 무선 BS(Base Station)와 다른 네트워크 요소에 적용되었다. M/M/1 분석을 적용할 때, 몇 가지의 가정이 이루어져야 하는데, 그중 제일 중요한 것은 패킷이 다른 노드에서 경험하는 서비스 타임은 서로 독립적이라는 것이다. 이러한 독립가정은 대형 네트워크 환경에서는 사용가능하다는 것을 알 수 있다[5]. 사용되어진 큐잉이론에서 D_{wl} 와 D_w 은 다음 식으로 표현할 수 있다.

$$D_{wl} = \frac{1}{\mu_{wl} - \lambda_{wl}} \quad (2)$$

μ_{wl} 은 무선 인터페이스에서 프로세싱 비율이고 λ_{wl} 은 무선 인터페이스에서의 도착비율이다. 명확성을 위해 μ_{wl}

의 단위는 packet/sec에서 bit/sec으로 변경되었다. 만약 패킷 크기 x 의 확률밀도함수(PDF: Probability density function)가 bit로 표현될 때 $1/\mu$ bit/packet의 평균 패킷 길이가 $\mu e^{-\mu x}$ 이 되면, 통신채널 i 의 수용력은 C_i bits/sec 이고, 통신채널 i 의 도착비율은 λ_{wl} packet/sec되고, μC_i 는 서비스율이 된다. 따라서 통신채널 i 에 대해서 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$D_{wl} = \frac{1}{\mu C_i - \lambda_{wl}} \quad (3)$$

D_{wl} 은 큐잉지연과 전송지연을 포함한다. 평균 패킷 사이즈는 통신채널의 수용력과 입력 비율에 영향을 받지 않는다. D_w 은 여러 M/M/1 큐의 지연들의 집합으로 표현될 수 있다. 여러 M/M/1서버의 출력이 다른 서버의 입력 큐에 공급된다면 입력 프로세스 결과 또한 Poisson 이론을 따르고 공급 프로세스의 평균값의 합이 같다는 의미를 가진다[5].

$$D_w = \frac{1}{\lambda_w} \sum_j \lambda_j \left(\frac{1}{\mu C_j - \lambda_j} \right) \quad (4)$$

λ_w 가 패킷의 총 도착 비율이고, λ_j 가 j^{th} 노드의 도착 비율, μC_j 가 j^{th} 노드의 서비스율 이다. 따라서 수식 (1),(3),(4)을 결합해보면 다음과 같은 결과를 얻을 수 있다.

$$D_4 = \left(\frac{1}{\mu C_i - \lambda_{wl}} \right) + \frac{1}{\lambda_w} \sum_j \lambda_j \left(\frac{1}{\mu C_j - \lambda_j} \right) + L_{wl} + L_w \quad (5)$$

그러므로 수식 (5)을 이용함으로써, 그림 6의 메시지 흐름을 위한 $D_{Handover}$ 는 수식 (6)과 같이 표현될 수 있다.

$$D_{Handoff} = \sum_{i=1}^{i+1} (D_{PMPv6} + D_{SIP}) + \Delta \quad (6)$$

Δ 는 HSS 검색을 위한 대기시간이다. 그러나 수식 (5)은 다양한 메시지들을 손실되게 만들 수도 있는 예러들을 수용한 것은 아니다. 성공적인 세션 수립을 위해 전체 메시지 흐름이 반드시 전부 발생되어야 하는데, 이 때 이 중 하나 이상의 메시지가 손상되거나 손실되는 경우 핸드오버 프로세스가 실패하게 된다. 그래서 큰 지연 값을 가지는 핸드오버에서 지연을 줄이기 위해서는 통신채널을 먼저 연결하고 기존 통신채널을 끊는 핸드오버 방식이 적용된다.

세션을 맺고 있는 동안의 총 패킷 손실은 이동단말이 데이터 패킷을 다운 받으면서 이동할 때의 패킷 손실의 총합으로 정의될 수 있다. 패킷 손실은 Layer 2 핸드오버가 감지되었을 때 시작되고, 이동 시에 발생된 모든 패킷은 Vertical 핸드오버 시간동안 손실된다고 간주한다. 이 내용은 아래와 같이 표현될 수 있다:

$$Pkt Loss = \frac{1}{[(2T_{ad} + D_{Handover})]} \times \lambda_d \times N_m \quad (7)$$

Vertical 핸드오버 동안의 이동성 관리의 시그널링 코스트 결과는 이동단말의 세션 동안 교환된 시그널링 메시지의 축적된 트래픽 로드로 분석 될 수 있다.

$$Cost = P \times S_{message} \times H_{a-b} \quad (8)$$

P 는 각 핸드오버가 발생할 확률이고, S 는 시그널링 메시지의 평균 사이즈이며, H_{a-b} 은 a와 b사이의 평균 홉 수이다. 이동단말이 한 네트워크에서 다른 네트워크로 이동할 때 성공적인 세션 핸드오버가 이루어지려면, 그림 2에서 보는바와 같이 이동단말이 네트워크에서 이동해 나갈 때 가지는 활성화 상태로 남는 것이 중요하다[6]. 이러한 가정을 바탕으로 확률함수가 파생된다. 세션의 평균 도착비율 λ 는 Poisson 프로세스를 수행한다고 가정하고, Time Period t 가 $\lambda t e^{-\lambda t}$ 되는 동안에 도착한 어떤 세션이 있을 확률은 평균 비율 λ 을 가지는 Poisson 프로세스를 따르는 세션이라고 가정한다. t_0 과 t_2 사이에서 네트워크 간의 핸드오버를 하는 이동단말을 위한 세션 도착

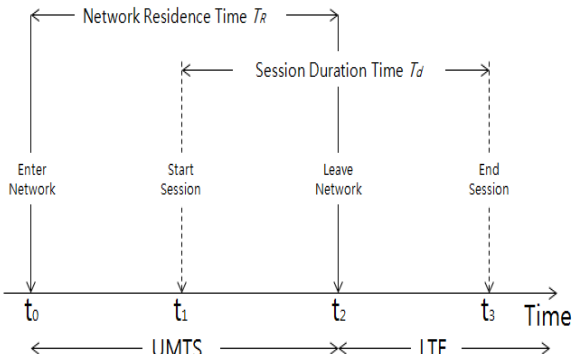


그림 2. Timing Diagram

확률인 P_1 은 다음 수식으로 표현할 수 있다.

$$P_1(t_0 \leq t_1 \leq t_0 + T_R) = \int_0^\infty \lambda t e^{-\lambda t} f_{T_R}(t) dt \quad (9)$$

$f_{T_R}(t)$ 는 네트워크 대기시간인 T_R 의 확률밀도함수(PDF)이다. 주어진 네트워크에서 이동단말의 대기시간인 T_R 은 평균값 $1/\eta$ 을 가지는 지수분포를 보인다. 이때 η 은 네트워크 이동률이다. 따라서 $f_{T_R}(t)$ 은 다음과 같이 표현될 수 있다:

$$f_{T_R}(t) = \eta e^{-\eta t} \quad (10)$$

수식 (9)에서 $f_{T_R}(t)$ 부분의 치환에 의해 수식 P_1 을 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$P_1(t_0 \leq t_1 \leq t_0 + T_R) = \int_0^\infty \lambda t e^{-\lambda t} \eta e^{-\eta t} dt$$

$$P_1 = \frac{\lambda \eta}{(\lambda + \eta)^2} \quad (11)$$

다음 조건은 Session Duration Time인 T_D 가 네트워크 대기시간인 T_R 보다 커야 한다는 것이다. Session Duration Time를 의미하는 T_D 는 $1/\eta$ 의 평균값을 가지는 지수분포이고 μ_{wl} 은 무선 링크의 평균 메시지 프로세싱 서비스율이다. 따라서 T_D 의 확률밀도함수(PDF)인 $f_{T_D}(t)$ 는 다음과 같이 표현될 수 있다:

$$f_{T_D}(t) = \mu_{wl} e^{-\mu_{wl} t} \quad (12)$$

그러므로 이 조건의, Vertical Session 핸드오버 확률인, P_2 는 다음과 같이 표현될 수 있다:

$$P_2(T_D < T_R) = \int_0^\infty \int_t^\infty \mu_{wl} e^{-\mu_{wl} y} f_{T_R}(t) dy dt \quad (13)$$

수식 (3)에서 보인 것처럼, μC_i 가 packet/sec인 서비스율일 때, μC_i 은 μ_{wl} 으로 대체되었다. 그러므로 P_2 는 최종적으로 이렇게 표현될 수 있다:

$$P_2 = \frac{\eta}{(\mu C_i + \eta)} \quad (14)$$

이제 P_1 과 P_2 에 파생된 값이 수식 (8)에 주어진 시그널링 값의 초기에 정의된 값으로 대체될 수 있다. 또한, η 의 평균값과 λ 의 평균값이 마지막 수식에 포함된다. S_I (SIP INVITE message sequence)는 세션 도달 확률과 세션 도달 비율인 P_1 과 연관이 있다. 그리고 S_R (SIP ReINVITE message sequence)는 Vertical 핸드오버 가능성과 Inter-Network 이동성 비율인 P_2 와 연관이 있다. 따라서 주어진 데이터 세션 중에 Vertical 핸드오버에 의해

발생한 총 시그널링 오버헤드는 다음과 같이 표현될 수 있다:

$$Cost = P_1 \lambda \sum_{i=1}^{n_1} (S_I \times H_{(a-b)_i}) + P_2 \eta \sum_{i=1}^{n_2} (S_R \times H_{(a-b)_i}) \quad (15)$$

n_1 과 n_2 는 각 메시지 당 핸드오버 순서가 포함된 메시지 수를 나타낸다. 만약 η 이 이동단말의 네트워크 이동률의 평균이고 λ 가 세션 도착율의 평균이면, λ/η 는 CMR(Call-to-Mobility Ratio)로 정의될 수도 있다[8]. 그러므로 수식 (15)은 다음과 같이 재배열될 수 있다:

$$Cost = P_1 \eta \sum_{i=1}^{n_1} (S_I \times H_{(a-b)_i}) \frac{\lambda}{\eta} + P_2 \eta \sum_{i=1}^{n_2} (S_R \times H_{(a-b)_i}) \quad (16)$$

3.2 수치 분석 결과

다음의 결과들은 표준 3GPP-SIP 메시지를 사용하여 (5),(7),(15),(16) 수식으로부터 생성되었고, 전형적인 SIP 메시지 크기와 참고논문[7],[8]에서 얻은 기타 관련 매개변수 및 흡수를 가지고 적용하였다.

그림 3는 각각 UMTS-to-LTE와 LTE-to-UMTS에서 증가되는 세션 핸드오버에 대한 Vertical 핸드오버 지연의 동작을 나타낸다. LTE-to-UMTS 경우에, 핸드오버의 수가 5에서 6으로 증가함에 따라, 지연 값이 급격한 지수적인 증가를 보인다. 이는 시스템 사용률은 ρ 인 λ/μ 가 1인, 비교적 낮은 대역폭의 링크에서 여러 핸드오버가 발생되기 때문이다. 만약 핸드오버가 향후 링크의 최대 용량을 증가하는 패킷이 유입되는 지점에서는 결국 패킷 전송이 실패하게 될 것이다. 마지막으로, PMIPv6-SIP 기반의 핸드오버 메커니즘이 Pure-SIP 기반의 접근방식과 비교하여 전반적으로 낮은 Vertical 핸드오버 지연을 보이는 것을 볼 수 있다. PMIPv6-SIP 기반의 핸드오버가 Pure-SIP 기반보다 Vertical 핸드오버 지연이 적다. 이것은 상대적으로 높은 수의 IMS 관련 응용 계층 기반의 메시지 흐름들과 대기시간을 가진 Pure-SIP 기반의 접근 방식 때문이다[10].

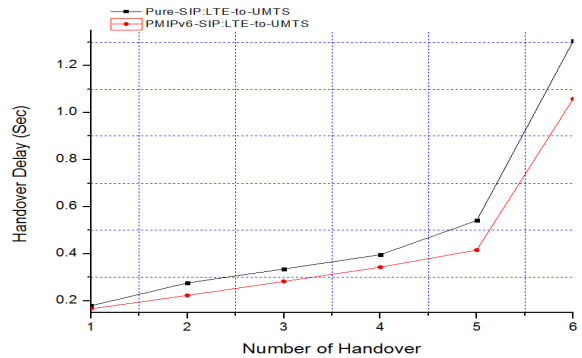


그림 3. Vertical 핸드오버 지연 vs 세션 핸드오버 수

그림 4는 핸드오버 수가 증가함에 따라 Vertical 핸드오버 동안의 일반적인 전송 패킷 손실을 나타내고 있다. 수식 (7)에 따르면, 일시적 패킷 손실은 Vertical 핸드오버 지연에 정비례한다. 따라서 그림 4의 전송 패킷 손실 그래프는 그림 3과 비슷한 경향을 보인다. 그림 4를 보면 Pure-SIP이 PMIPv6-SIP보다 다소 패킷 손실이 크다. 그림 3과 그림 4에서 흥미로운 점은 그래프가 패킷 전송률과 핸드오버의 수가 증가함에 따라 서로 갈라진다는 것이다. 이는 Pure-SIP에 추가되어진 IMS 관련 대기시간 때문이다. 결국 높은 일시적인 패킷 손실을 초래한다.

그림 5는 η 과 μC_i 가 일정할 때(case 1)와 λ 과 μC_i 이 일정할 때(case 2)의 CMR에 대한 정규화 된 시그널링 코스트를 보여준다. Case 1에 관한 그래프는 CMR에 대한 시그널링 코스트의 다소 느린 증가를 보인다. Case 2에 해당하는 그래프는 λ 과 μC_i 가 일정할 때, CMR은 증가하면서 시그널링 코스트가 지수적으로 감소하는 것을 보여준다.

그림 6는 μC_i 와 λ 이 일정 할 때, η 에 대해 시그널링 코스트가 어떻게 반응하는지를 보여준다. η 가 증가될 때,

P_1 과 P_2 도 직선으로 증가한다. 그리고 결국 시그널링 코스트도 직선으로 증가시킨다.

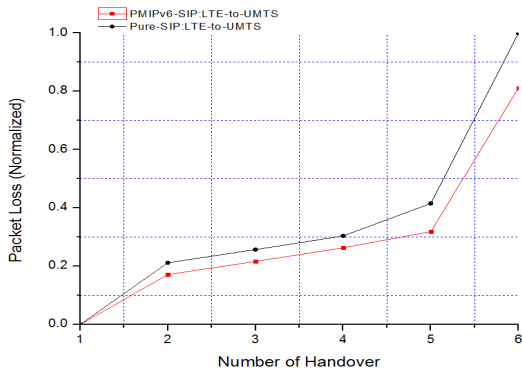


그림 4. 일시적 패킷 손실 vs 핸드오버 수

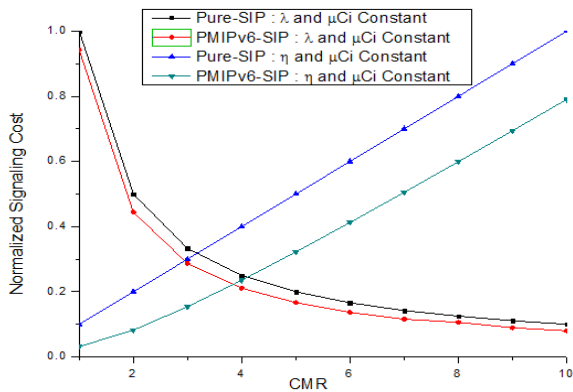


그림 5. Cost vs CMR(Call-to-mobility Rate)

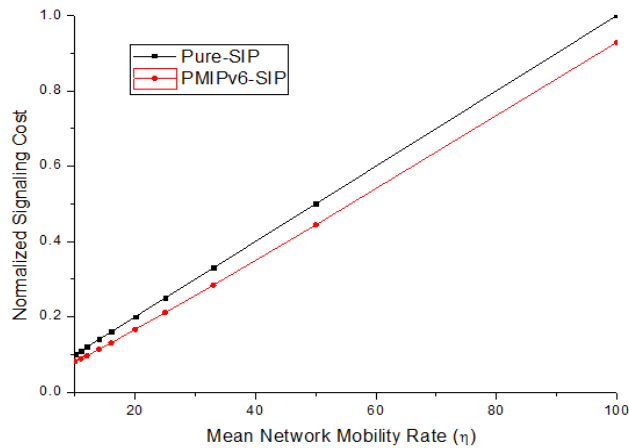


그림 6. Cost vs μC_i 와 λ 가 일정할 때의 η

마지막으로, 그림 7는 η 와 μC_i 가 일정할 때, λ 의 증가에 시그널링 코스트가 어떻게 반응하는지를 보여준다. λ 가 증가함에 따라 시스템도 결국은 포화점에 도달한다. 이것은 시그널링 코스트 곡선의 안정화 효과에 의해 나타나진다. 위의 분석과 결과는 서로 독립적으로 무작위 패킷으로 이동하는 사용자를 상정해서 얻어진 것이라는 점 또한 주목해야 한다. 그러나 사용자 사이에 그들의 움직임 혹은 그룹 이동성의 집합으로 이르게 하는 추가 상관관계가 존재하는 경우가 있을 수 있다. 그룹 이동성에서, 각 그룹은 일반적으로 그룹의 궤도를 정의하는 논리적 의미의 센터를 가지고 있다. 보통, 사용자는 논리적 센터에 대하여 랜덤 이동을 가지고 있고, 그룹의 지리적 범위 내에서 랜덤하게 배포되는 것으로 여겨진다. 논리적 센터의 움직임은 미리 정의된 모션 경로 혹은 개별 이동성 모델[9]에 의해 정의될 수 있다. 만약 그것이 미리 정의된 모션 경로

이면, 논리적 센터의 움직임은 랜덤하지 않을 것이다. 그러나 그룹 이동성의 특별한 케이스 시나리오로, 이러한 논리적 센터의 움직임이 랜덤하게 개별적으로 도보 이동하는 단말에 대한 이동성 모델에 의해 반응한다면, 이러한 시나리오는 여기서 분석한 이동성 모델[9]에 매우 가까울 수 있다고 말할 수 있다.

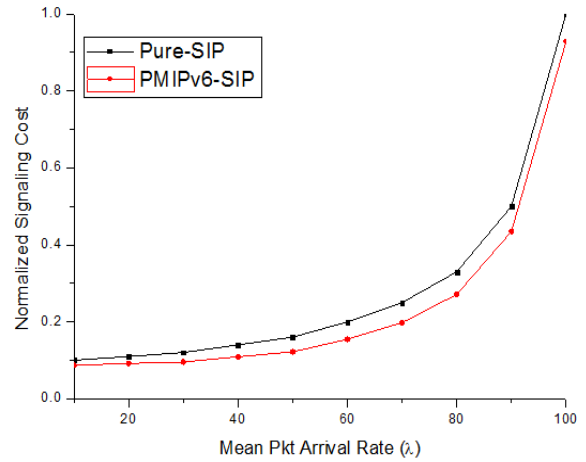


그림 7. Cost vs μC_i 와 η 가 일정할 때의 λ

4. 결론

이 논문에서 차세대 무선 네트워크에 대한 새로운 인터워킹 아키텍처와 이들의 자세한 성능평가에 대해 서술하였다. 분석 모델은 지연, 일시적인 패킷 손실, 시그널링 코스트와 같은 Vertical 핸드오버 성능 메트릭을 연구하였다. 수치적 계산 결과는 응용계층에서 추가적인 대기 시간이 전체 성능에 상당한 영향을 미칠 수 있다는 것을 알려준다. 고려되었던 시나리오에서 엔드 투 엔드 지연과 패킷 손실 파라미터들 모두는 실시간 VoIP통신에서의 허용 수준이다.

참고 논문

- [1] (D. Johnson, C. Perkins, J. Arkko, "Mobility Support in IPv6," RFC3775, 2004.)
- [2] (J. Rosenberg, H. Shulzrinne, G. Camarillo, A. Johnston, J. Peterson, R. Sparks, M. Handley, E.Schooler, "SIP :Session Initiation Protocol," RFC3261, 2002.)
- [3] (M. Karam and F. Tobagi, "Analysis of delay and delay jitter of voice traffic in the Internet," Computer Networks, vol. 40, pp. 711-726, 2002.)
- [4] (V. Paxson and S. Floyd, "Wide area traffic: the failure of Poisson modeling," in IEEE/ACM Trans. Networking, vol. 3, pp. 226-244, 1995.)
- [5] (L. Kleinrock, Queueing Systems: Theory. John Wiley and Sons, 1975.)
- [6] (U. Narayan and X. Jiang, "Signaling cost analysis of handoffs in mixed IPv4/IPv6 mobile environment," in Proc. IEEE Globecom, Washington, D.C., Nov. 2007.)
- [7] (S. C. Lo, et al., "Architecture for mobility and QoS support in all-IP wireless Networks," IEEE J. Select, Areas Commun., vol. 22, pp. 691-705, 2004.)
- [8] (Q. Wang and M. A. Abu-Rgheff, "Interacting mobile IP and SIP for efficient mobility support in all IP wireless Networks," in Proc. IEE Int. Conf. on 3G Mobile Commun., London, Oct. 2004.)
- [9] (L. Badia and N. Bui, "A group mobility model based on nodes attraction for next generation wireless Networks," in Proc. Int. Conf. on Mobile Technol., Applications and Systems, Bangkok, 2006.)
- [10] (Bo-Wei Li, Kuo-chen Wang, and Yi-Ling Hsieh "A Hierarchical Social Network-based P2P SIP System for Mobile Environments1" 2010)