

<http://dx.doi.org/10.7236/JIWIT.2012.12.4.65>

JIWIT 2012-4-10

프록시 모바일 IPv6 네트워크에서 시그널링 비용을 최소화하기 위한 분산된 이동성관리 기법

dMMS: A Novel Distributed Dynamic Mobility Management Scheme for Minimizing Signaling Costs in Proxy Mobile IPv6 Networks

고현우, 정종필**

Hyunwoo Ko, Jongpil Jeong

요약 모바일 IP는 간단하고 확장 가능한 글로벌 이동성을 지원하지만 과도한 시그널링 트래픽과 긴 시그널링 지연을 야기한다. 그래서 MN(Mobile Node)의 홈 네트워크에 위치업데이트 횟수를 줄이기 위해서는 시그널링 지연을 줄일 필요가 있다. 본 논문에서는 시그널링 오버헤드가 균등하게 분산되도록 지역 네트워크의 경계에 동적인 이동성과 각 MN의 트래픽 부하에 따라 조정되는 PMIPv6(Proxy Mobile IPv6) 네트워크에서의 동적인 지역적 이동성관리 기법(dMMS)을 제안한다. 제안하는 분산된 네트워크 시스템에서 각 사용자는 최소한의 시그널링 트래픽에 맞춘 최적화된 시스템을 구성한다. 시그널링 비용 함수를 제안하기 위해서 새로운 이산적 분석 모델을 제안하고, MN의 이동성 및 패킷 도착 패턴을 분석한다. 위치업데이트와 패킷 전달 비용의 총 평균을 계산하고, 최적의 지역 네트워크의 크기를 결정하기 위한 알고리즘을 제안한다. 수학적 분석의 결과, 제안한 dMMS 기법은 전체 시그널링 비용을 줄이는 측면에서 우수한 성능을 보일 수 있는 네트워크 환경을 제시한다.

Abstract Mobile IP is a simple and scalable global mobility solution. However, it may cause excessive signaling traffic and long signaling delay. So MN (Mobile Node) to the home network in order to reduce the number of location update signaling is necessary to reduce the delay. In this paper, the signaling overhead to be distributed evenly on the boundary of the regional network, each MN's dynamic mobility and traffic load is adjusted according to the PMIPv6 (Proxy Mobile IPv6) networks in the proposed dynamic regional mobility management scheme (dMMS). Each user in a distributed network system that offers the least amount of signaling traffic is tailored to the optimized system configuration. Signaling cost function in order to propose a new discrete analytical model is proposed, MN's mobility and packet arrival patterns. Location update and packet delivery costs to calculate the total average, the optimized area to determine the size of the network is proposed. The results of mathematical analysis, the proposed technique dMMS in terms of reducing the cost of the entire signaling were found to be excellent performance.

Key Words : PMIPv6, 이동성관리, 분산기법, dMMS.

*정회원, 성균관대학교 정보통신대학원 정보통신공학과

**정회원, 성균관대학교 정보통신공학부 (교신저자)

접수일자 : 2012년 6월 30일, 수정완료 : 2012년 7월 25일

게재확정일자 : 2012년 8월 10일

Received: 30 June 2012 / Revised: 25 July 2012 /

Accepted: 10 August 2012

**Corresponding Author: jpjeong@skku.edu

Information Communications, Graduate School of Information and Communication, Sungkyunkwan University, Korea

I. 서 론

모바일 무선 생태계는 인간의 삶을 위한 디지털 생태계로 더욱 빠르게 성장한다^[1-6]. 이동성관리 프로토콜은 모바일 무선 생태계의 핵심이다. 모바일 소셜 네트워킹, 모바일 협업 컴퓨팅, 모바일 쇼핑 등 이동성관리 아키텍처가 현실이 된다. 모바일 서비스 활성화를 위한 다양한 이동성관리 프로토콜이 도입되었다. 특히, 네트워크 계층에서의 이동성을 지원은 IETF(Internet Engineering Task Force)에 의해 MIPv6(Mobile IPv6)^[7], FMIPv6 (Mobile IPv6 Fast Handovers)^[8]와 HMIPv6 (Hierarchical Mobile IPv6)^[9]이 개발되었다. MIPv6의 성능 향상을 위하여 다양하게 확장되었고, 비교 및 성능분석을 위한 자료로 사용되고 있다^[10, 11]. 예를 들어, MIPv6, FMIPv6 그리고 HMIPv6의 성능분석을 통하여 FMIPv6와 HMIPv6의 조합^[12]이 진행되었고, 각 이동성관리 프로토콜의 특성과 평가 지표를 제시했다^[13].

PMIPv6(Proxy Mobile IPv6)^[14]의 지역 등록은 MN(Mobile Node)이 다른 서브넷으로 이동할 때 홈 네트워크로의 시그널링 메시지의 수를 줄이고, 시그널링 지연을 감소시키는 것을 목표로 한다. 지역 등록은 지역 네트워크에 등록하기 위한 것이다. MN이 최초의 지역 네트워크에 도착하면 LMA(Local Mobility Anchor)에서 위치정보를 등록한다. 위치정보를 등록할 때 LMA는 MN의 주소를 등록하지만, 실제로는 MN이 속한 MAG(Mobile Access Gateway)의 주소이다. 같은 지역의 네트워크에서 MN이 이동할 경우, MAG는 LMA에 바인딩 업데이트 절차를 진행한다. 다른 지역 네트워크로 이동할 때 이동하려는 LMA에서 위치정보를 등록한다. 통신 중에 패킷이 CN(Correspondent Node)으로부터 MN으로 전송되었을 때, 그들은 MN의 현재 등록된 LMA로 전송된다. MN이 등록된 LMA에 도달할 때까지 이러한 패킷은 네트워크를 통해 포워딩된다. LMA는 MN이 방문한 서브넷의 해당 MAG의 방문자 리스트를 전송하는 패킷을 검사한다. MAG는 또 MN에 릴레이 패킷을 전송한다. 그러나, PMIPv6 네트워크는 중앙 집중의 시스템 아키텍처를 가진다. 즉, 중앙의 LMA는 지역 네트워크의 모든 트래픽을 관리하기 때문에 지역 등록을 위한 MAG들에 의해 장애가 발생하기 쉽다. LMA 지역 네트워크에 모든 사용자의 라우팅 패킷이 막힐 수 있다. 그리고 MAG의 몇몇이 홈 네트워크로 과도한 위치정보 업데이트를

수행하게 되면, 지역 등록은 충분한 이점을 제공하지 않는다. 그것은 패킷 전송의 높은 비용을 초래하고 LMA에 높은 트래픽 부하를 생성하기 때문에, MAG의 수가 많으면 전체적인 성능이 저하된다.

시스템 성능을 향상시키기 위해, 각 MAG가 MAG 또는 LMA 중 하나로서 기능을 할 수 있는 분산 LMA 관리 기법을 제안한다. LMA는 사용자의 이동이 많은지 여부에 따라서 지역 네트워크 트래픽 부하가 균등하게 각 MAG에 분산된다. 이 방법으로 시스템의 안정성이 강화된다. 또한 사용자 변화와 시간의 변화 등의 매개변수에 따라 각 LMA에서 MAG 수를 조정할 수 있는 동적 기법을 제안한다. 이 동적인 시스템은 각 MN을 위한 고정 지역 네트워크 경계가 없다. MN의 이동성과 패킷 도착 패턴에 따라 홈의 위치를 업데이트하는데 결정된다.

본 논문에서 위치업데이트와 패킷 전송을 위한 총 시그널링 트래픽이 최소한의 네트워크 리소스를 소모하는 등 LMA 아래 MAG들의 최적의 숫자를 계산하는 새로운 수학적 모델을 제안한다. 이 모델은 시스템 토폴로지에 대한 제한을 부과하지 않는다. 그것은 서브넷의 모든 유형에 적용하는 일반적인 모델이다. 제안하는 모델에서 거리 단위는 홈 패킷의 이동 수이다. 이 모델을 기반으로, 평균적인 위치업데이트 및 패킷 전달 비용을 유도한다. 최소한의 평균 시그널링 전달 비용을 구하고, LMA에서 최적의 MAG 수를 결정하기 위한 기법을 사용하고 있다. 또한 시스템의 성능 향상을 위해 분산 및 동적 기법의 최적값을 이용한다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 2장에서는 프록시 모바일 IPv6에 대한 개요와 IP네트워크에서의 지역 이동성관리 기법을 설명한다. 3장에서는 위치업데이트 및 패킷 전달 비용을 줄이기 위한 이동성관리 기법을 제안하고, 4장에서 수학적 분석 결과를 보여 준다. 본 논문의 결론은 5장에서 제시한다.

II. 관련연구

1. 프록시 모바일 IPv6 개요

PMIPv6는 다음과 같이 존재하는 호스트 기반 이동성 프로토콜의 문제 해결에 제안되는 네트워크 기반 이동성 프로토콜이다^[14]. 호스트 기반 이동성 프로토콜은 모바일 기기의 이동성을 제공하기 위해 수많은 시그널링을 필요

로 하는 몇 가지 약점을 가지고 있고, 이것이 제한된 링크 리소스에 과부하를 줄 수 있다. 그러나 MIPv6의 약점을 해결하기 위한 PMIPv6는 네트워크가 MN 대신 MN의 이동성을 제공하기 위해 필요한 시그널링을 수행할 수 있다. 그래서, MN은 복잡한 시그널링 함수의 구현 없이 이동성을 제공할 수 있다. PMIPv6에 정의된 MAG는, MN의 이동성관리^[14]를 LMA로 제공하는 라우터이다. MAG는 일반적으로 MN의 움직임을 관찰하고 위치업데이트를 수행을 통해 MN으로 이동성을 제공하는 액세스 라우터 역할을 수행한다. LMA는 MIPv6에서 HA(Home Agent) 역할을 수행한다. 그것은 MN의 위치 정보를 관리한다. 그래서 외부 네트워크에서 MN의 액세스 라우터 MAG로 데이터를 전송한다. 따라서 LMA는 MN에 대한 프록시이다. 그림 1은 PMIPv6 네트워크 아키텍처를 보여준다.

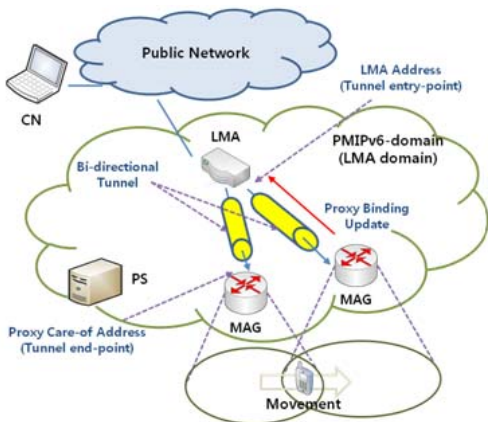


그림 1. PMIPv6 네트워크 아키텍처
Fig. 1. PMIPv6 Network Architecture

2. IP네트워크에서의 지역 이동성관리 기법

IETF NETLMM WG는 PMIPv6와 MIPv6 시그널링을 결합한 새로운 글로벌 이동성을 제안했다. 이 제안은 PMIPv6 프로토콜의 장점을 가지고 있지만, 그것은 또한 LMA와 HA 간의 추가적인 시그널링을 발생하는 불필요한 지연을 가지고 있다. 따라서 새로운 에이전트 기능을 라우터에 추가하여 이러한 문제를 해결하기 위해 제안되었다(I-PMIP)^[15]. 이 방법은 HA를 사용하지 않고 있지만 처음 등록된 LMA는 MN의 HA로 수행한다. 그림 2는 I-PMIP 작동절차를 보여준다. 기본적으로 첫 번째 MN이 LMA 1에 등록하는 동작이다. 그러나 그림 2에서, 움

직이는 MN이 MAG3에 조인하고, LMA2는 LMA1로 MN의 바인딩을 요청한다. 이 절차에서, LMA1은 MN의 첫 번째 등록 LMA이고, 이것을 SMA(Session Mobility Anchor)라고 하고 MN에 완벽한 세션을 제공한다. SMA는 MN의 HA로 수행하기 때문에 MN으로 보내지는 모든 데이터는 SMA를 통해 전송된다. 그래서, MN은 SMA가 포함된 PMIPv6 도메인에서 멀리 이동할 때, 새로운 PMIPv6 도메인의 LMA는 이 SMA로 바인딩을 요청한다. 그런 다음 양방향 터널은 SMA 및 새로운 LMA 사이에 설정된다. 모든 데이터는 양방향 터널을 통해 MN으로 전송된다.

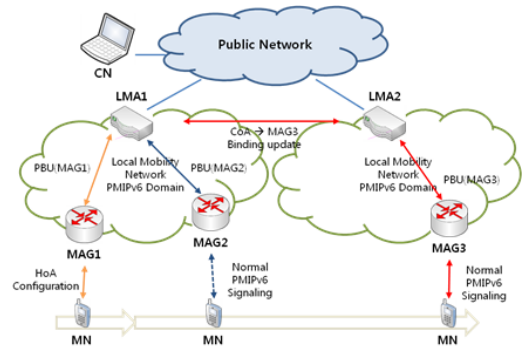


그림 2. I-PMIP 네트워크에서의 지역 이동성관리기법
Fig. 2. Regional Mobility Management Scheme in I-PMIP Networks

III. 분산된 이동성관리 기법 (dMMS)

1. 네트워크 아키텍처

PMIPv6 네트워크에서 각 MAG가 선택적으로 MAG나 LMA로 이동성관리 역할을 수행할 수 있는 새로운 분산 시스템 아키텍처(dMMS)를 제안한다. 제안 기법에서 MAG나 LMA로 동작해야 할지는 지역 네트워크의 트래픽에 달려 있다. 지역 네트워크에서 LMA는 지역의 MAG 목록을 유지할 필요가 있고, 지역 네트워크의 다른 MAG가 보낸 지역 등록 요청에 따라 업데이트된 목록의 항목을 유지하고 있어야 한다. 또한 LMA는 HA의 역할을 수행한다. 물론, 메시지 전달의 안정성을 보장하기 위해 MAG 간과 MAG와 LMA 간에는 보안관계가 설정되어 있어야 한다.

지역 관리 기법은 분산고정기법과 분산동적기법이 있다. 그림 3은 분산고정기법을 보여준다. LMA에서 MAG

의 수가 고정되어 있어 MN의 트래픽 집중 시 부하가 발생할 수 있다. 예를 들어 지역 네트워크2에 속한 MN들이 지역 네트워크1로 이동 시 지역 네트워크1에 트래픽이 집중된다. 분산동적기법은 LMA에서 MAG의 수는 고정되어 있지 않지만 전체 시그널링 트래픽을 최소화하기 위해 각 MN에 최적화되어 있고, 최적의 수는 들어오는 패킷의 도착 비율 및 각 사용자의 이동성 특성에 따라 정해진다. 이동성과 각 사용자의 패킷 도착율이 일정하지 않을 수 있기 때문에, MAG의 최적 수는 각 사용자마다 다르고 시간에 따라 조정이 가능하다. 따라서 동적 시스템에서 모든 사용자에게 최적으로 실행될 수 있다.

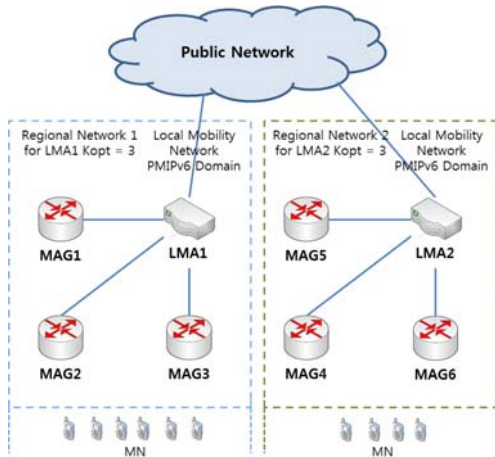


그림 3. 분산고정기법
Fig. 3. Distributed Fixed Scheme

제안하는 시스템의 아키텍처는 그림 4에서 보여준다. 여기서 처음에는 지역 네트워크1에 홈 등록은 LMA1이 하고, 지역 네트워크2에 대해서는 LMA2가 홈 등록을 한다. 최적의 지역네트워크 크기는 4라고 가정하면, 4개의 서브넷(MAG1, MAG2, MAG3, 그리고 MAG4)에서 MN이 MAG6로 이동하면 MN이 이동할 MAG6은 MN을 위한 새로운 지역 네트워크인 LMA2로 바인딩을 요청한다. 다음에 LMA2는 최근의 이동성과 트래픽 부하의 값에 따라 새로운 최적의 지역 네트워크 크기를 업데이트하여 MAG들을 지정한다. 여기서 지역 네트워크2에서 최적의 지역 네트워크의 크기는 2이다.

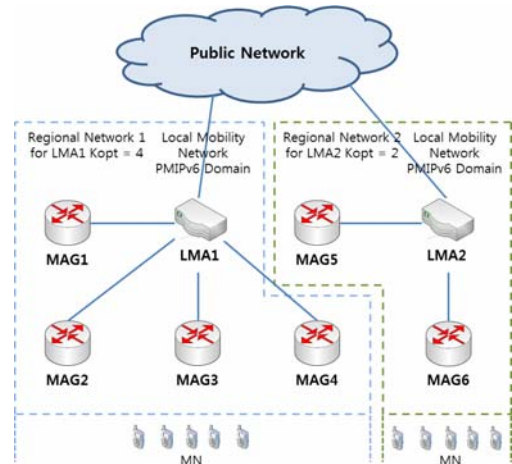


그림 4. 제안하는 분산동적기법의 아키텍처(dMMS)
Fig. 4. The Proposed Architecture of Distributed Dynamic Scheme

그림 5는 지역 네트워크의 트래픽 집중 시 MAG가 새로운 지역 네트워크를 구성하고, LMA의 역할을 하는 것을 보여준다. 지역 네트워크1에서 새로운 MN들이 유입되고, MAG들은 MN의 위치정보를 업데이트한다. LMA1은 트래픽 집중을 판단하여, MAG1, MAG2의 목록을 삭제한다. MAG1은 새로운 지역 네트워크를 구성하고, MAG2를 지역의 MAG로 관리한다. 이처럼 LMA는 지역 네트워크의 최적 크기를 동적으로 조정하고, 새로운 지역 네트워크마다 MN의 이동성을 변경한다. 따라서 분산동적기법에서 각 사용자는 서로 다르게 네트워크를 구성하게 된다. 즉, 지역 네트워크 내에 있는 LMA와 다수의 MAG들은 각 사용자와 MAG의 수에 따라 적절한 크기의 LMA들을 구성하게 된다. 제안하는 분산된 동적 시스템의 장점은 다음과 같다.

- (1) 지역 네트워크의 모든 사용자의 트래픽 부하는 각 MAG와 LMA에 분산된다.
- (2) LMA에 장애가 발생하면 하나의 LMA에 의해 관리되는 MN으로의 라우팅 패킷만 영향을 주기 때문에 시스템의 안정성이 보장된다.
- (3) 각 MN은 자신의 최적화된 시스템을 구성하게 된다.

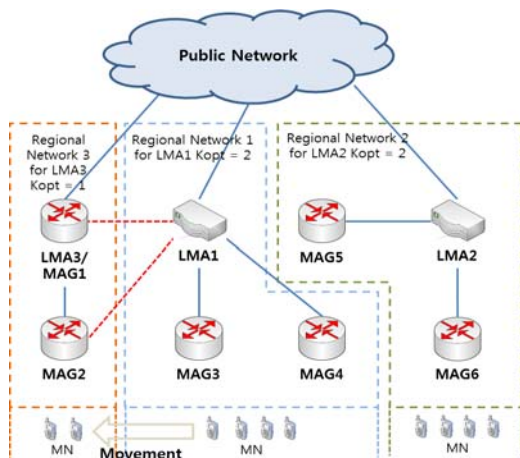


그림 5. 지역 네트워크의 분산동적기법
Fig. 5. Distributed Dynamic Scheme in Regional Networks

2. 작동절차

가. MAG의 LMA 역할

실제의 구현에서 MAG와 LMA의 역할 설정 절차를 설명한다. 각 MAG는 LMA의 기능을 할 수 있도록 내부에 별도의 모듈을 가지고 있다. LMA는 지역 네트워크에 라우팅된 MAG들로부터 MN의 위치정보를 업데이트 받는다. LMA는 MN들의 수와 트래픽에 따라 지역 네트워크의 MAG 수를 결정한다. LMA의 지역 네트워크 설정에 따라 라우팅에서 제외된 MAG는 LMA의 역할을 시작한다. LMA의 역할을 시작한 MAG는 인접 MAG로 바인딩 메시지를 보내고, 어떤 지역에도 포함되지 않은 MAG일 경우 LMA로 바인딩한다. 바인딩을 받은 LMA는 MAG의 주소를 버퍼에 저장하고 새로운 지역 네트워크를 구성한다. 그림 6은 MAG의 LMA 기능에 대한 절차를 나타낸다.

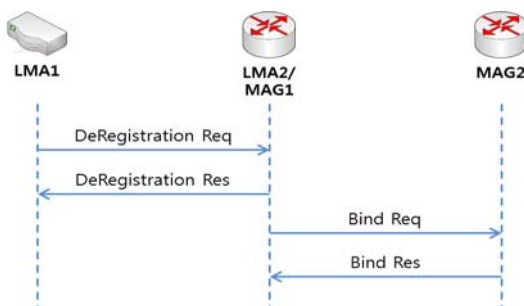


그림 6. 지역 등록 절차
Fig. 6. Regional Registration Procedures

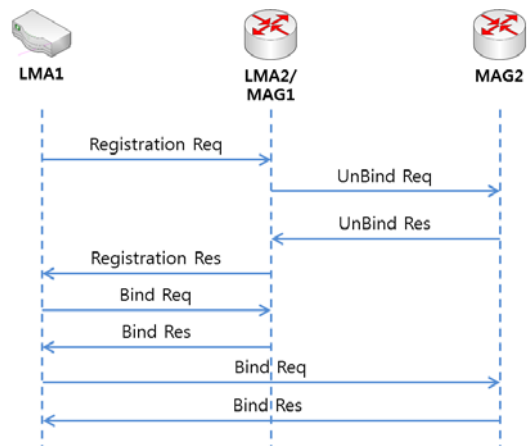


그림 7. 지역 귀속 절차
Fig. 7. Regional Returning Procedures

이전 LMA에 할당된 MN의 수가 감소하거나, 트래픽이 줄어들 경우 LMA는 지역 네트워크에서 제외했던 MAG들을 다시 지역 네트워크로 포함하기 위해 MAG들에 등록 메시지를 보낸다. LMA 역할을 하고 있던 MAG는 지역 네트워크로 구성된 MAG들에 UnBind를 요청하고, 지역의 MAG들은 결과를 응답한다. LMA 역할의 MAG는 지역의 모든 MAG들과 라우팅을 중단하고, 이전 LMA로 등록에 대한 응답을 보낸다. 이전 LMA는 이전에 제외했던 모든 MAG들에 Bind를 요청하고, 지역 네트워크를 구성한다. 이 같은 절차는 그림 7에서 보여준다.

나. 위치 등록 절차

MN의 실제 구현에서 위치등록을 위하여 작동하는 절차를 설명한다. 특히 LMA가 지역 네트워크에서 동적으로 경계를 조정하는 방법을 설명한다. 각 LMA의 MAG와 MN의 IP 주소를 저장하는 버퍼를 유지한다. MN이 새로운 지역 네트워크에 들어가고 새로운 LMA를 통하여 홈 등록을 수행할 때 LMA는 MAG와 MN의 주소를 기록한다. 홈 등록을 수행한 후, 지역 네트워크를 위한 MAG의 최적 수는 MN의 수에 따라 계산된다. 최적의 값을 도출하기 위한 알고리즘은 다음 장에서 설명한다. 이 최적의 값은 LMA 내에 임계값에 설정되어 있다. MN이 새로운 서브넷에 들어가는 경우에 MAG는 지역 네트워크 내에 등록된 LMA의 주소로 지역 등록 요청을 전송함으로써 지역 등록을 수행한다. LMA 내에서 MAG의 주소 개수가 설정된 임계값을 초과하면, 처음으로 초과된 MAG가 새로운 지역네트워크의 LMA가 된다. 따라서 각

LMA에 대한 엄격한 지역 네트워크의 경계는 없다. LMA와 MAG간에는 동적으로 역할을 변경할 수 있기 때문이다. LMA에 설정된 임계값을 초과한 이후 처음으로 초과되었던 MAG가 LMA의 역할을 수행하기 때문에 지역 네트워크 내의 과도한 홈 위치 등록을 수행하지 않는 효과가 있다. LMA에서의 분산된 지역적 위치 등록 프로토콜을 그림 4와 5에서 설명한다.

IV. 성능평가

1. 비용 모델링

이 절에서는 위치업데이트 및 지역 네트워크의 최적 크기를 찾기 위한 패킷 전달의 비용 함수를 도출한다. 위치업데이트 및 패킷 전송의 총 시그널링 비용은 성능 메트릭으로 간주된다. MN이 계정에 자신의 캐시를 새로 업데이트하기 위해 MA에 전송되는 정기적인 바인딩 업데이트는 고려하지 않는다.

가. 위치업데이트 비용

위치업데이트 비용을 정의하기 위해 다음 매개변수를 정의한다^[6].

- (1) C_{gf} . LMA와 MAG 사이에 위치 업데이트 전송 비용.
- (2) C_{fm} . MAG와 MN 사이에서 무선 연결을 통한 전송 비용.
- (3) a_g . LMA의 위치 업데이트 처리 비용.
- (4) a_f . MAG의 위치 업데이트 처리 비용.

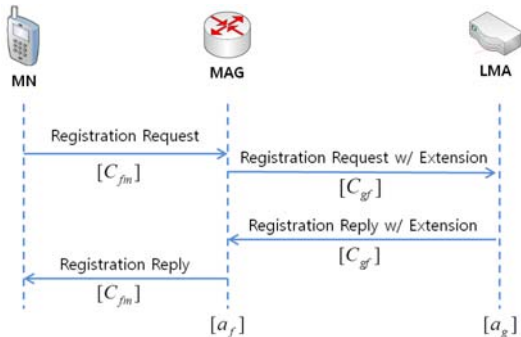


그림 8. 홈 위치 등록 절차
Fig. 8. Process of home location registration

그림 8은 각각 MN의 홈 네트워크로 지역 등록과 위치 등록을 위한 시그널링 메시지 흐름을 보여준다. 이러한 메시지 흐름에 따라 각각의 위치 업데이트를 위한 홈 등록 비용이나 지역의 등록 비용을 계산할 수 있다^[17].

$$C_{update}^h = C_{U_h} = C_{U_r} = 2a_f + a_g + 2C_{gf} + 2C_{fm} \quad (1)$$

l_{gf} 는 LMA와 MAG 사이의 평균 거리이다. 전송 비용이 시작점과 목적지의 MA 사이의 거리에 비례한다고 가정하고 있고, 이 비례상수는 δ_U 이다. 따라서 $C_{gf} = l_{gf}\delta_U$ 로 표현할 수 있다. 일반적으로 무선 링크 전송 비용은 유선 연결에 비해 높기 때문에, 무선 링크 ρ 를 통해 전송 비용이 단위 거리에서 유선 전송 비용의 배 이상임을 전제로 하고 있다. MAG와 MN 사이의 전송 비용은 $C_{fm} = \rho\delta_U$ 와 같이 구할 수 있다. 그런 다음 홈 등록 및 지역 등록비용은 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$C_{U_r} = 2a_f + a_g + 2(l_{gf} + \rho)\delta_U \quad (2)$$

주의할 것은, 분산된 LMA 아키텍처는 서버넷의 첫번째 MAG는 MN의 LMA로 방문한다. MN이 LMA 서버넷에 존재하는 경우, 지역 등록 비용은 MN이 LMA에 의해 서비스가 제공되지 않는 서버넷에 있는 것과는 다르다. 이 경우의 지역 등록 \widetilde{C}_{U_r} 을 아래와 같이 정의한다.

$$\widetilde{C}_{U_r} = a_g + C_{fm} = a_g + \rho\delta_U \quad (3)$$

그 후, MN이 N개의 서버넷을 무작위로 이동하고, 지역 네트워크에서 k개의 서버넷이 있다고 가정한다. MN은 2개의 서버넷 사이에서 이동하고 여러 번 서버넷을 방문할 수도 있다.

MN이 서버넷 외부로의 이동을 "a movement"라 부른다. MN의 이동을 M이라 하면 지역 네트워크 밖으로 이동할 때 확률 변수 M을 정의한다. 이산 시스템으로 MN의 움직임을 모델링한다. movement 1에서는 MN 중 하나의 서버넷 (1,2,... 또는 N번)에 거주할 수 있다. movement 2에서는 MN이 다른 N-1 서버넷으로 이동할 수 있다. MN이 동일한 확률 $\frac{1}{N-1}$ 로 다른 N-1

서버넷으로 이동한다고 가정한다.

중앙고정기법을 위한 지역 네트워크 외부로 이동하는 확률, 즉 움직임 m 에서 홈 등록을 수행하는 확률은 다음과 같다.

$$P_{h_cf}^m = \frac{N-k}{N-1} \cdot \left(\frac{k-1}{N-1}\right)^{m-2} \text{에서 } 2 \leq m < \infty \quad (4)$$

m 은 1보다 큰 정수이다. 그것이 M 의 평균을 나타낼 수 있다.

$$E[M]_{cf} = \sum_{m=2}^{\infty} m P_{h_cf}^m = 1 + \frac{N-1}{N-k} \quad (5)$$

지역 네트워크로 가정하여 각 서브넷에 남는 MN의 평균 시간 T_f 이다. 따라서 중앙고정기법의 평균 위치 업데이트 비용은 다음과 같다.

$$C_{LU_cf} = \frac{E[m]_{cf} C_{Ur}}{E[M]_{cf} T_f} \quad (6)$$

분산 LMA 시스템 아키텍처는 MN이 다른 서브넷 k 개를 방문한 후에만 지역 네트워크의 외부로 이동한다. 성능 분석을 위해 마코프 모델^[18] 또는 랜덤 워크 모델^[19,20]들을 사용한다. 하지만, 분산 기법을 위한 MN의 움직임은 마코프 프로세스가 아니기 때문에 MN은 지역 네트워크 외부로 이동할 수 있는지 여부의 결정은 그 이동의 이력, 즉 MN이 다른 지역 네트워크인지 여부와 그것이 다른 k 개의 서브넷 방문 여부에 따른다.

따라서, 분산 기법을 위한 지역 네트워크 밖으로 이동하는 확률은 MN이 다른 k 개의 서브넷을 방문했을 때와 MN이 지정된 k 개의 서브넷을 이동하는 시간의 합과 같다. 후자는 정확하게 중앙고정기법 $E[M]_{cf}$ 이다. 그것은 첫 번째 서브넷에서 두 번째 새로운 서브넷으로 이동할 때 MN이 이동하는 평균 수로 정의한다. 즉, 아래와 같이 MN이 두 개의 다른 서브넷을 방문했다는 의미이다.

$$E[M]_{1 \rightarrow 2} = 1 \quad (7)$$

마찬가지로, MN은 두 개의 서브넷을 방문했을 때, 그

것은 MN이 $E[M]_{2 \rightarrow 3}$ 으로 세 번째 새로운 서브넷으로 이동하는 평균 수를 아래와 같이 정의한다.

$$E[M]_{2 \rightarrow 3} = \sum_{n=1}^{\infty} n \cdot \left(\frac{1}{N-1}\right)^{n-1} \frac{N-2}{N-1} = \frac{N-1}{N-2} \quad (8)$$

그 후, MN의 예상되는 이동은 $(k-1)$ 번째 서브넷에서 k 번째 서브넷으로 이동하는 평균 수는 아래와 같다.

$$E[M]_{k-1 \rightarrow k} = \sum_{n=1}^{\infty} n \cdot \left(\frac{k-2}{N-1}\right)^{n-1} \frac{N-k+1}{N-1} = \frac{N-1}{N-k+1} \quad (9)$$

분산고정기법과 분산동적기법에 대한 MN의 지역 네트워크 밖으로 이동하는 평균은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} E[M]_{df} &= E[M]_{dd} \\ &= E[M]_{1 \rightarrow 2} + E[M]_{2 \rightarrow 3} + \dots + E[M]_{k-1 \rightarrow k} + E[M]_{cf} \\ &= 1 + \frac{N-1}{N-2} + \dots + \frac{N-1}{N-k+1} + \frac{N-1}{N-k} + 1 \\ &= 1 + (N-1) \sum_{i=1}^k \frac{1}{N-i} \end{aligned} \quad (10)$$

분산 시스템에 대한 지역 네트워크 밖으로 MN이 이동하는 평균은 항상 중앙 시스템보다 크다. 그 결과 단위 시간당 홈 등록 수가 감소된다. 분산고정기법과 분산동적기법의 단위 시간당 총 위치 업데이트 비용의 상한은 다음과 같다.

$$C_{LU_df} \leq \frac{\widetilde{C}_{Ur} + (E[M]_{df} - 1) C_{Ur}}{E[M]_{df} T_f} \quad (11)$$

$$C_{LU_dd} \leq \frac{\widetilde{C}_{Ur} + (E[M]_{dd} - 1) C_{Ur}}{E[M]_{dd} T_f} \quad (12)$$

위 수식에 따라 평균 위치 업데이트 비용을 얻는다. 제안된 방법은 네트워크 토폴로지와 서브넷의 지리적 위치에 대한 제한을 두지 않는다. 그것은 특정 서브넷에 적용되는 일반적인 모델이다.

나. 패킷 전송 비용

지역 등록에서 MN로 향하는 모든 IP 패킷은 LMA가 MN의 이동을 지원하는 MAG와 터널링하고 전달한다. 따라서 패킷 전송을 위한 추가 비용이 있다.

- (1) $T_{LMA-MAG} = T_{gf}$. LMA와 MAG 사이에서 패킷 전송의 전송 비용.
- (2) v_g . LMA 패킷 전송 처리 비용.

패킷 전달 절차에 대한 비용은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$C_{PD} = v_g + T_{gf} \quad (13)$$

위치 업데이트의 경우 데이터 패킷을 전송하는 비용은 그 비례 상수 δ_D 와 송신자와 수신자의 MA 사이의 거리에 비례한다. $T_{gf} = l_{gf}\delta_D$ 로 가정한다.

LMA들의 처리 비용은 타겟 MN, IP 패킷 재캡슐화 및 MAG들에 패킷을 라우팅 해야 하는지 확인하고 방문자 목록을 확인하여 LMA에서 터널링된 IP 패킷의 캡슐화 해제가 포함되어 있다. 각 MAG로 패킷을 처리하고 라우팅하기 위한 LMA 부하가 있고, k 는 LMA에서 MAG의 수에 따라 달라진다. k 가 크면 MAG 방문자 목록 검색과 IP 라우팅 룩업의 비용이 높고, 시스템 성능이 저하된다. 네트워크의 총 대역폭이 제한되어 있기 때문에, LMA의 트래픽이 많은 경우와, 전송 지연과 재전송 횟수 등이 영향을 준다. 이러한 요소는 LMA의 높은 처리 비용이 있게 된다. 서버넷의 MN 평균을 ω 로 가정하고, 중앙 시스템 아키텍처는 지역 네트워크 내에서 이동하는 모든 지역 네트워크 MN의 총 수이고, 평균은 ωk 이다. 따라서 LMA 방문자 목록 룩업의 비용은 ωk 에 비례한다. 한편, 분산 시스템 아키텍처에서 MN은 LMA로 다른 MAG를 선택한다. LMA는 최초의 지역 네트워크에서 이 LMA에 의해 관리되는 서버넷을 등록하고 MN에게 제공한다. 트래픽이 지역 네트워크의 모든 MAG에 균등하게 할당되기 때문에 분산 시스템의 LMA의 패킷 처리 부하는 중앙 시스템에 비해 훨씬 낮다. 따라서 분산 시스템에 대한 LMA 방문자 목록 룩업의 비용은 ω 에 비례한다. IP 라우팅 테이블 룩업은 LPM (Longest Prefix Matching)을 기반으로 Patricia trie^[21]를 사용하고 있다

므로, IP 주소 룩업의 복잡도는 라우팅 테이블 k 길이의 로그값에 비례한다^[22]. 중앙 시스템과 분산 시스템에서 LMA의 패킷 처리를 위한 비용 함수는 아래와 같이 정의한다.

$$v_{g_cf} = \zeta k \cdot \lambda_a(\alpha\omega k + \beta\log(k)) \quad (14)$$

$$v_{g_df} = v_{g_dd} = \zeta k \cdot \lambda_a(\alpha\omega + \beta\log(k)) \quad (15)$$

여기서 λ_a 는 각 MN의 패킷 도착률이며, α 와 β 는 방문자 목록과 라우팅 테이블 룩업의 가중치 계수이며, ζ 는 LMA의 대역폭 할당 비용을 나타내는 상수이다. ζ 가 높을수록 MN이 네트워크 대역폭을 충분히 사용할 수 없게 된다. 다음 세 가지 기법의 단위 시간당 총 패킷 전달 비용은 다음과 같다.

$$C_{PD_cf} = \zeta k \cdot \lambda_a(\alpha\omega k + \beta\log(k)) + l_{gf} \cdot \delta_D \quad (16)$$

$$\begin{aligned} C_{PD_df} &= C_{PD_dd} \\ &= \zeta k \cdot \lambda_a(\alpha\omega + \beta\log(k)) + l_{gf} \cdot \delta_D \end{aligned} \quad (17)$$

다. 총 시그널링 비용

위의 분석을 바탕으로, 전체적인 시그널링 비용 함수를 구한다.

$$C_{TOT.}(k, \lambda_a, T_f) = C_{LU}(\cdot) + C_{PD}(\cdot) \quad (18)$$

여기서 $C_{TOT}(\cdot)$, $C_{LU}(\cdot)$ 와 $C_{PD}(\cdot)$ 는 총 시그널링 비용, 위치 업데이트 비용, 패킷 전달 비용이다.

2. 최적의 네트워크 크기

MAG의 최적의 수, k_{opt} 는 계산된 비용 함수를 최소화하는 k 값으로 정의되어 있다. k 는 정수이고, 비용 함수는 k 의 연속적 함수는 아니다. 따라서 최소값을 얻기 위한 비용 함수의 k 에 대해 미분은 적절하지 않다. 작은 문제의 해결은^[23] 번호 k 및 시스템 간의 비용 차이의 함수를 정의한다^[24].

$$\begin{aligned} \Delta_{cf}(k, \tilde{\lambda}_a, \tilde{T}_f) \\ = C_{TOT_cf}(k, \tilde{\lambda}_a, \tilde{T}_f) - C_{TOT_cf}(k-1, \tilde{\lambda}_a, \tilde{T}_f) \end{aligned} \quad (19)$$

$$\begin{aligned} \Delta_{df}(k, \bar{\lambda}_a, \bar{T}_f) \\ = C_{TOR_df}(k, \bar{\lambda}_a, \bar{T}_f) - C_{TOR_df}(k-1, \bar{\lambda}_a, \bar{T}_f) \end{aligned} \quad (20)$$

$$\begin{aligned} \Delta_{dd}(k, \lambda_a, T_f) \\ = C_{TOR_dd}(k, \lambda_a, T_f) - C_{TOR_dd}(k-1, \lambda_a, T_f) \end{aligned} \quad (21)$$

여기서 $\bar{\lambda}_a$ 와 \bar{T}_f 는 모든 MN에 대한 패킷의 평균 도착률과 평균 서버넷 체류 시간이고, $\bar{\lambda}_a$ 와 \bar{T}_f 는 각 MN에 대한 패킷의 평균 도착률과 평균 서버넷 체류 시간이다. 주어진 $\Delta(\cdot)$ 에서, k 의 최적값을 찾기 위한 알고리즘은 다음과 같이 정의하고 있다.

$$k_{opt_cf}(\bar{\lambda}_a, \bar{T}_f) = \begin{cases} 1, & \text{if } \Delta_{cf}(2, \bar{\lambda}_a, \bar{T}_f) > 0 \\ \max\{k : \Delta_{cf}(k, \bar{\lambda}_a, \bar{T}_f) \leq 0\}, & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (22)$$

$$k_{opt_df}(\bar{\lambda}_a, \bar{T}_f) = \begin{cases} 1, & \text{if } \Delta_{df}(2, \bar{\lambda}_a, \bar{T}_f) > 0 \\ \max\{k : \Delta_{df}(k, \bar{\lambda}_a, \bar{T}_f) \leq 0\}, & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (23)$$

$$k_{opt_dd}(\lambda_a, T_f) = \begin{cases} 1, & \text{if } \Delta_{df}(2, \lambda_a, T_f) > 0 \\ \max\{k : \Delta_{dd}(k, \lambda_a, T_f) \leq 0\}, & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (24)$$

중앙고정기법의 최적값은 모든 MN의 최적값과 같고, 항상 고정되어 있는 것에 주의해야 한다. 분산고정기법의 최적값은 항상 고정되어 있지만, 각 사용자가 다른 최적값을 가질 수 있다. 그래서 최적의 제안인 분산동적기법의 값은 각 MN에 적응적이고 최근의 패킷 도착률과 사용자의 이동성에 의존한다.

예상되는 패킷 도착률 알고리즘^[24]은 각 MN의 서버넷과 지역 네트워크는 T_f 의 평균에서 소비된 시간을 계산하는 타이머를 사용할 수 있지만 k_{opt} 를 계산하기 전에 계산된다. 지역 네트워크의 각 서버넷에서 MN의 체류 시간의 확률 밀도 함수(pdf)가 알려져 있는 경우 T_f 도 추정할 수 있다. 예를 들어, MN의 체류 시간 $f_r(t)$ 는 라플라스 변환에 의해 $F_r(s) = \left(\frac{\mu\gamma}{s + \mu\gamma}\right)^\gamma$ 을 가진 감마분

포이다. 평균은 $\frac{1}{\mu}$, 분산은 V 이고 $\gamma = \frac{1}{V\mu^2}$ 이다. 그래서 $T_f = \frac{1}{\mu}$ 이다. 제안하는 알고리즘은 LMA와 MAG, l_{gf} 사이의 홉 수를 알 필요가 있다. 각 MN은 MAG들에서 LMA에 시그널링 메시지를 전송하기 위한 경로로 MA 사이의 홉 수 l_{gf} 는 고정된 숫자이다. MN은 홉당 패킷 이동^[25]의 번호를 IP 패킷 헤더의 TTL 필드를 사용할 수 있다. 그런 다음, 평균값은 최적의 수를 계산하는데 사용할 수 있다.

3. 수치 분석 결과

이 절에서는 중앙고정기법, 즉 IETF의 지역 등록^[28]에 대한 분산동적기법의 성능 향상을 보여준다. 분산동적기법과 중앙고정기법이 동일하지 않기 때문에 먼저 중앙고정기법으로 분산고정기법의 비용 절감을 보여준다. 다음으로 분산고정기법에서 제안하는 분산동적기법의 장점을 보여준다.

표 1. 성능분석을 위한 매개변수 값
Table 1. Parameter Values for Performance Analysis

매개변수	값	설명
a_g	15.0	Pkt Process Cost
a_f	10.0	
δ_U	0.1	Distance Cost Unit
δ_D	0.05	
ρ	10	Wireless Multiple
ω	10	# of MNs/subnet
α	0.3	Weight
β	0.7	
ζ	0.01	Pkt Process Const.
η	10.0	

성능분석을 위해, 시그널링 메시지와 MA의 패킷 처리를 위한 비용을 전송하는 비용을 사용할 수 있다고 가정한다. 비용 매개변수는 시그널링 메시지를 처리하는데 필요한 지연 측면에서 설명할 수 있다^[26]. 예를 들어, a_g 및 a_f 는 각각 시그널링 메시지에 의해 요구되는 위치 업데이트를 처리하기 위해 LMA 및 MAG에 필요한

지연 시간을 나타낸다. δ_U 와 δ_D 는 특정 경로를 통해 시그널링 메시지를 보내기 위한 지연 시간에 해당된다. 또한, 네트워크 관리자는 현재 사용 가능한 대역폭을 시스템의 컴퓨팅 자원 및 특정 MA를 실행하는 데 필요한 비용을 기반으로 MA에 상대적인 비용을 할당할 수 있다. 실제 구현은 매개변수 값이 미리 정의된다. 서로 다른 시스템 아키텍처라면 매개변수가 다르다. 테이블 룩업 프로세스가 특정 네트워크의 구현에 사용될 수 있다^[27]. 하루 중 특정 시간을 생각하면, 각 MAG의 위치 테이블은 최적의 지역 네트워크 크기를 결정하는 MN을 위한 매개변수를 제공한다. 매개변수 테이블은 네트워크 상태를 반영하기 위하여 정기적으로 업데이트해야 한다. 표 1은 성능 분석에 사용되는 매개변수이다. MN은 무선 채널을 통해 액세스할 수 있는 서버넷의 수가 한정되어 있기 때문에 $N = 30$ 이다. 수치 분석을 위해, l_{gf} 는 고정되어 있다고 가정한다. IP 헤더의 TTL 필드는 일반적으로 32나 64로 초기화되기 때문에^[25] 즉, 패킷이 통과하는 홉 수의 제한은 32나 64이고, $l_{gf} = 10$ 을 가정한다.

가. 중앙고정기법과 분산고정기법 비교

중앙고정기법과 분산고정기법의 성능을 비교한다. 이동성 속도와 패킷 도착률의 비율로 SMR(Session-to-mobility ratio)을 정의한다. 즉 $SMR = \lambda_a T_f$. 두 기법의 비용 함수는 서로 다른 것이기 때문에, 각 서버넷과 모든 MN의 패킷 도착률의 체류 시간의 평균값은 동일한 분산고정기법 $C_{TOT_df}(k_{opt_df}(\bar{\lambda}_a, \bar{T}_f), \lambda_a, T_f)$, 중앙고정기법 $C_{TOT_cf}(k_{opt_cf}(\tilde{\lambda}_a, \tilde{T}_f), \lambda_a, T_f)$ 의 총 시그널링 비용을 비교하는 데 중점을 둔다. 즉, $\bar{T}_f = \tilde{T}_f$ 와 $\bar{\lambda}_a = \tilde{\lambda}_a$ 이다. 그림 9는 중앙고정기법과 분산고정기법에 대한 SMR의 함수는 k_{opt} 이다. 두 시스템에 대해 최적의 지역 네트워크 크기 k_{opt} 가 미리 정한 값으로 사용자 매개변수의 평균값을 기준으로 미리 계산된다. 그림 9와 같이, SMR은 중앙 집중식 및 분산 시스템 모두에 대한 증가로 최적의 지역 네트워크의 크기는 줄어든다. SMR이 낮을 경우 이동성 비율이 높은 패킷 도착률에 비해 및 위치 업데이트에 대한 비용이 우위를 차지하고 있다. 넓은 지역의 네트워크와 시스템은 홉 등록의 수를 줄이고 지역 등록의 혜택을 제공할 수 있다. SMR이 높은 경우 패킷 전달 비용의 우위는 패킷 전달의 비용이 절약된다는 의미

이다. 그 이유는 지역 네트워크의 크기에 작기 때문이다. 분산 시스템에서 최적의 지역 네트워크의 크기가 항상 크거나 중앙 시스템의 그것과 동일하다. 이것은 분산 시스템은 더 큰 지역 네트워크 크기를 가지고 있으며, 중앙 시스템에 비해 적은 홉 등록을 수행하는 것을 의미한다.

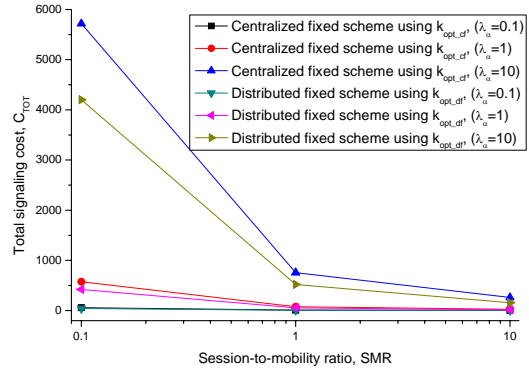


그림 9. 고정 기법에 대한 총 시그널링 비용의 비교.
Fig. 9. Comparison of total signaling cost for fixed schemes

그림 9도 최적화되지 않은 지역 네트워크 크기에서 분산 기법이 항상 중앙고정기법보다 더 수행했음을 나타낸다. 그리고, 최적의 지역 네트워크 크기에서 분산 기법의 성능을 더욱 향상시킬 수 있다. 분산 시스템 아키텍처를 사용할 때 최대 시그널링 전달 비용을 25%까지 줄일 수 있다.

나. 분산고정기법과 동적분산기법 비교

다음으로 다양한 시나리오에서 제안된 분산동적기법 $C_{TOT_dd}(k_{opt_dd}(\lambda_a, T_f), \lambda_a, T_f)$ 과 분산고정기법 $C_{TOT_df}(k_{opt_df}(\bar{\lambda}_a, \bar{T}_f), \lambda_a, T_f)$ 의 총 시그널링 비용을 비교한다. 참고로 $k_{opt_df}(\bar{\lambda}_a, \bar{T}_f)$ 는 통신하기 전에 이미 계산되어 있다. 그것이 설정되면 변경되지 않는다. 그러나 $k_{opt_dd}(\lambda_a, T_f)$ 는 동적으로 통신하는 동안 사용자가 매개변수를 적용하고 있다. 두 기법의 비용 함수가 동일하기 때문에 사용자의 매개변수를 변화할 때, 고정기법을 동적기법의 장점이 반영된다. 따라서 사용자 변화와 시간 변화의 사용자 매개변수의 영향을 분석한다.

(1) 사용자 거주 시간 변화의 영향

먼저 사용자가 변화할 때 이동성의 영향을 분석한다.

패킷 도착률 λ_a 는 고정된 숫자이다. 즉 $\lambda_a = \bar{\lambda}_a =$ 상수이다.^[24]과 마찬가지로, 두 그룹으로 가정한다. 한 그룹은 각 서버넷의 평균 체류 시간 $\bar{T}_{f_1} = 1.0$ 과 “active” 사용자를 나타낸다. 다른 그룹은 각 서버넷의 평균 체류 시간 $\bar{T}_{f_2} = 100$ 과 “passive” 사용자이다. 그룹 1 사용자의 체류 시간은 지수분포를 따른다.

$$f_1(T_f) = \frac{1}{T_{f_1}} e^{-T_f/\bar{T}_{f_1}}, \quad T_f \geq 0 \quad (25)$$

그룹 2 사용자의 체류 시간은 정규분포를 따른다.

$$f_2(T_f) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-(T_f - \bar{T}_{f_2})^2/2\sigma^2}, \quad T_f \geq 0 \quad (26)$$

$\sigma = 10$. 각 그룹은 전체 사용자의 50%를 가지고 있다고 가정한다. 무작위로 선택된 사용자의 체류 시간 T_f 는 아래의 pdf로 나타낼 수 있다.

$$f(T_f) = 0.5(f_1(T_f) + f_2(T_f)) \quad (27)$$

그리고 전체 평균 체류 시간은 다음과 같다.

$$\bar{T}_f = 0.5\bar{T}_{f_1} + 0.5\bar{T}_{f_2} \quad (28)$$

따라서 분산고정기법의 총 시그널링 비용은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} C_{df} = & 0.5 \int_0^\infty f_1(T_f) C_{TOT_df}(k_{opt_df}(\bar{\lambda}_a, \bar{T}_{f_1}), \lambda_a, T_f) dT_f \\ & + 0.5 \int_0^\infty f_2(T_f) C_{TOT_df}(k_{opt_df}(\bar{\lambda}_a, \bar{T}_{f_2}), \lambda_a, T_f) dT_f \end{aligned} \quad (29)$$

그룹 1 사용자 k_{opt} 가 그룹 2 사용자들의 평균 체류 시간 \bar{T}_{f_1} 과 k_{opt} 을 기준으로 계산되는 위치는 \bar{T}_{f_2} 을 기준으로 계산된다. 분산고정기법에 대해 최적 지역 네트워크의 크기가 사용자 변화 또는 모든 사용자에게

동일하다. 모든 사용자에게 고정된 k_{opt} 를 사용하여 분산고정기법의 총 시그널링 비용은 다음과 같다.

$$\widetilde{C}_{df} = \int_0^\infty f(T_f) C_{TOT_df}(k_{opt_df}(\bar{\lambda}_a, \bar{T}_f), \lambda_a, T_f) dT_f \quad (30)$$

그리고 분산동적기법의 총 시그널링 비용은 다음과 같다.

$$C_{dd} = \int_0^\infty f(T_f) C_{TOT_dd}(k_{opt_dd}(\lambda_a, T_f), \lambda_a, T_f) dT_f \quad (31)$$

그림 10은 분산동적기법의 총 시그널링 비용과 사용자 변화의 체류 시간 T_f 에서 분산고정기법을 보여준다.

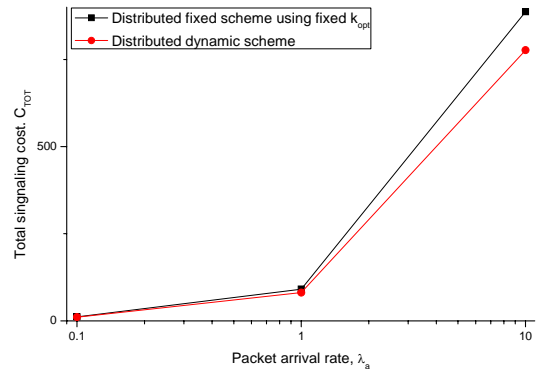


그림 10. 사용자 변화의 체류 시간에서 총 시그널링 비용의 비교
Fig. 10. Comparison of total signaling cost under user-variant residence time

그림 10에서 네모점은 실제로 고정 k_{opt_df} 를 사용한 분산고정기법의 시그널링 비용이다. 분산동적기법의 시그널링 전달 비용이 고정된 최적의 지역 네트워크 크기를 사용하고 사용자 변화의 최적 크기를 사용하여 분산고정기법 모두의 밀도보다 낮다는 것을 그림 10에서 보여준다. C_{TOT} 는 고정된 k_{opt} 로 대입하여 고정 기법이 동적 기법에 비해 15% 감소되는 것을 보여준다. 분산동적기법의 성능 향상은 사용자가 변형 k_{opt} 에서 분산고정기법에 비해 크기는 아니지만, 시간 변화의 체류 시간 상황에서, 동적 기법은 장점을 보여준다.

(2) 거주 시간 변화의 영향

패킷 도착률 λ_a 는 여전히 상수이다. 모든 MN, T_f 의 체류 시간은 지수분포이다.

$$f(T_f) = \frac{1}{T_f} e^{-T_f/\bar{T}_f} \quad (32)$$

T_f 는 평균 체류 시간이고 \bar{T}_f 는 시간변화이다. 분산 고정체계의 전반적인 시그널링 비용은 다음과 같다.

$$C_{df}(\bar{T}_f) = \int_0^{\infty} f(T_f) C_{TOT_df}(k_{opt_df}, \lambda_a, T_f) dT_f \quad (33)$$

\bar{T}_f 는 통신 중에 다양하게 변화하지만, 고정 기법 k_{opt_df} 는 최적의 값을 미리 계산하고 통신하는 동안 항상 고정되어 있다. 분산동적기법의 시그널링 전달 비용은 위 수식과 같이 새로운 pdf 함수 $f(T_f)$ 를 사용하여 계산한다.

그림 11과 그림 12는 $\lambda_a = 3.0$ 일때 평균 체류 시간 \bar{T}_f 의 함수로 총 시그널링 비용을 보여준다. 분산고정기법의 두 가지 경우가 표시 된다: 하나는 최적의 지역 네트워크 크기 k_{opt_df} 미리 계산되는 모든 사용자에게 대한 평균 체류 시간 $\bar{T}_f = 0.1$ 를 사용하고 있는 것이다. 그리고 다른 하나는 $\bar{T}_f = 100$ 을 사용하여 최적의 크기 k_{opt_df} 가 미리 계산된 것이다. 분산고정 시스템이 항상 분산동적 시스템보다 더 높은 비용을 지불한다. 결과는 최대 5% 비용이 최적의 지역 네트워크의 크기 계산을 위한 $\bar{T}_f = 0.1$ 을 사용하여 분산고정기법에 비해 분산동적기법으로 저장할 수 있다는 것을 보여준다. 최대 7%의 비용 계산을 위해 $\bar{T}_f = 100$ 을 사용하여 분산고정기법에 비해 절약할 수 있다. 사용자의 체류 시간이 작을 때 최적의 크기를 계산할 때 $\bar{T}_f = 0.1$ 를 사용하여 분산고정 시스템은 효율적으로 실행할 수 있는 숫자에서 볼 수 있다. 하지만 체류 시간이 큰 경우, 고정 기법보다 네트워크 리소스를 소모한다. 마찬가지로, 계산은 $\bar{T}_f = 100$ 를 사용하여 동적 시스템 및 고정 시스템 간

의 비용 격차는 \bar{T}_f 가 큰 경우 작다. 하지만 \bar{T}_f 가 작은 경우에 고정 시스템은 더 많은 여분의 대역폭을 지불한다. 따라서 분산고정기법에 대해 사전에 최적의 지역 네트워크 크기를 설계하는 어려운 작업이다. 사용자 이동성은 정상적인 평균 값, 미리 디자인된 고정 지역 네트워크의 크기와 시스템에 대한 몇 가지 이례적으로 큰 변화가 있다면 더 많은 대역폭을 소비하며 네트워크가 혼잡할 수 있다.

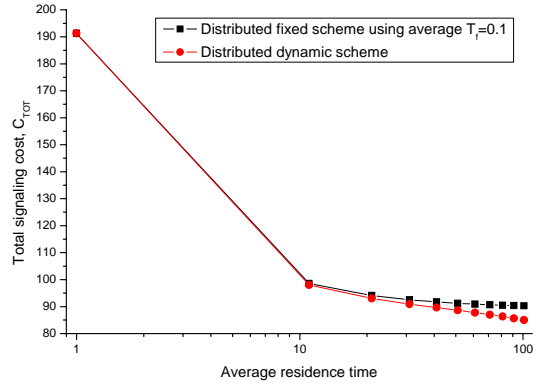


그림 11. 시간 변화의 체류 시간에서 총 시그널링 비용의 비교
Fig. 11. Comparison of total signaling cost under time-variant residence time

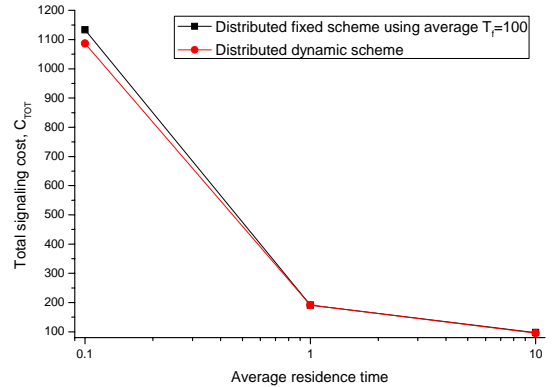


그림 12. 시간 변화의 체류 시간에서 총 시그널링 비용의 비교
Fig. 12. Comparison of total signaling cost under time-variant residence time

(3) 사용자 패킷 도착률 변화의 영향

이제, 사용자가 변형 패킷 도착률의 영향을 분석한다. 사용자 체류 시간 T_f 는 고정된 숫자이다. 즉, $T_f = \bar{T}_f$ 의 상수이고, MN을 두 그룹으로 가정한다. 하나는 일반

사용자의 평균 패킷 도착률 $\overline{\lambda_{a_1}} = 0.1$ 로 나타낸다. 다른 그룹은 특별한 사용자를 위한 평균 패킷 도착률 $\overline{\lambda_{a_2}} = 10.0$ 이다. 그룹 1 일반 사용자의 패킷 도착률은 지수분포를 따른다. 즉,

$$f_1(\lambda_a) = \frac{1}{\lambda_{a_1}} e^{-\lambda_a/\lambda_{a_1}}, \lambda_a \geq 0 \quad (34)$$

그리고 그룹2의 특별한 사용자의 패킷 도착률은 정규 분포를 따른다.

$$f_2(\lambda_a) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-(\lambda_a - \overline{\lambda_{a_2}})^2/2\sigma^2}, \lambda_a \geq 0 \quad (35)$$

$\sigma = 4.0$ 이다. 각 그룹은 전체 사용자의 50%를 기여하고 있다고 가정한다.

임의의 MN의 경우 패킷 도착률은 아래의 pdf를 가진다.

$$f(\lambda_a) = 0.5(f_1(\lambda_a) + f_2(\lambda_a)) \quad (36)$$

그리고 전체 평균 패킷 도착률은 다음과 같다.

$$\overline{\lambda_a} = 0.5\overline{\lambda_{a_1}} + 0.5\overline{\lambda_{a_2}} \quad (37)$$

따라서 모든 MN에 대한 고정 k_{opt} 을 사용하고 그룹1과 그룹2 사용자에게 대해 다른 k_{opt} 를 사용하여 분산조정 기법의 총 시그널링 전달 비용은 다음과 같다.

$$\overline{C_{df}} = \int_0^\infty f(\lambda_a) C_{TOT_df}(k_{opt_df}(\overline{\lambda_a}, \overline{T_f}), \lambda_a, T_f) d\lambda_a \quad (38)$$

$$\begin{aligned} C_{df} = & 0.5 \int_0^\infty f_1(\lambda_a) C_{TOT_df}(k_{opt_df}(\overline{\lambda_{a_1}}, \overline{T_f}), \lambda_a, T_f) d\lambda_a \\ & + 0.5 \int_0^\infty f_2(\lambda_a) C_{TOT_df}(k_{opt_df}(\overline{\lambda_{a_2}}, \overline{T_f}), \lambda_a, T_f) d\lambda_a \end{aligned} \quad (39)$$

그리고, 분산동적기법의 총 시그널링 비용은 다음과

같다.

$$C_{dd} = \int_0^\infty f(\lambda_a) C_{TOT_dd}(k_{opt_dd}(\lambda_a, T_f), \lambda_a, T_f) d\lambda_a \quad (40)$$

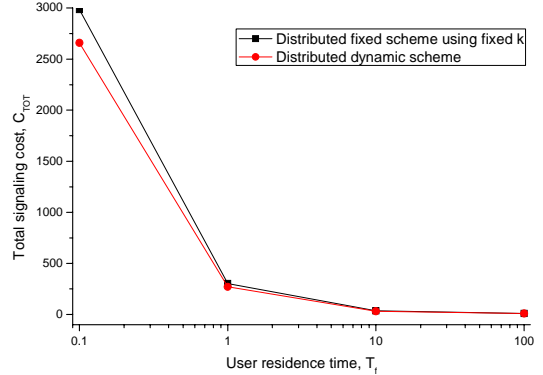


그림 13. 사용자 변화의 패킷 도착률에서 총 시그널링 비용의 비교

Fig. 13. Comparison of total signaling cost under user-variant packet arrival rate

그림 13은 분산동적기법의 총 시그널링 비용과 사용자 변화의 패킷 도착률 λ_a 의 분산조정기법을 보여준다. 분산동적기법의 시그널링 전달 비용은 고정된 최적의 지역 네트워크 크기를 사용하고 사용자 변화의 최적 크기를 사용하여 분산조정기법 모두와 거의 동일하다. 분산동적기법을 사용하여 3%의 비용만 줄일 수 있다. 그것은 최적의 지역 네트워크 크기가 패킷 도착률에 비교적 둔감함을 나타낸다.

(4) 시간 변화의 패킷 도착률 영향

시간 변화의 패킷 도착률의 영향을 분석한다. 사용자 체류 시간 T_f 는 고정되었다. 모든 MN의 패킷 도착률은 기하 급수적으로 분산된다.

$$f(\lambda_a) = \frac{1}{\lambda_a} e^{-\lambda_a/\overline{\lambda_a}} \quad (41)$$

$\overline{\lambda_a}$ 는 평균 도착률이며 $\overline{\lambda_a}$ 는 시간의 변화이다. 분산조정기법의 전반적인 시그널링 비용에 의해 주어진다.

$$C_{df}(\bar{\lambda}_a) = \int_0^{\infty} f(\lambda_a) C_{TOT_df}(k_{opt_df}, \lambda_a, T_f) d\lambda_a \quad (42)$$

k_{opt_df} 는 항상 미리 계산되고 고정된다. 분산동적기법의 시그널링 전달 비용은 위 수식의 $f(\lambda_a)$ 를 사용하여 제공된다.

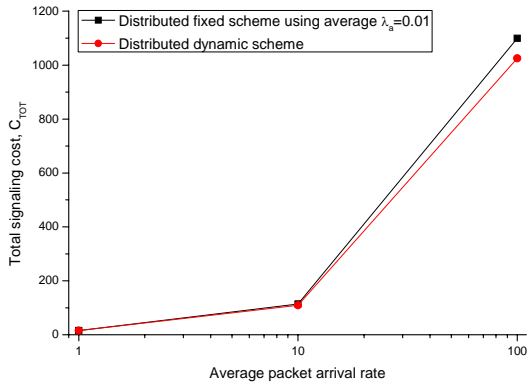


그림 14. 시간 변화의 패킷 도착률에서 총 시그널링 비용의 비교

Fig. 14. Comparison of total signaling cost under time-variant packet arrival rate

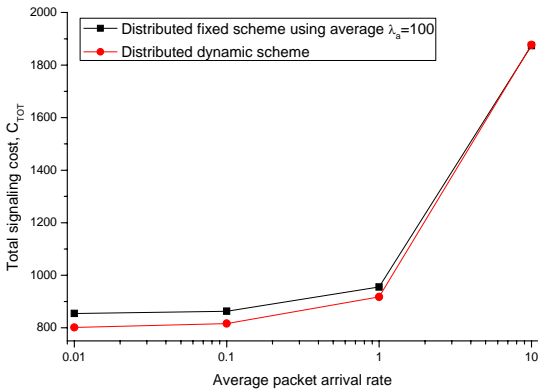


그림 15. 시간 변화의 패킷 도착률에서 총 시그널링 비용의 비교

Fig. 15. Comparison of total signaling cost under time-variant packet arrival rate

그림 14와 그림 15에서 총 시그널 비용 $\bar{T}_f = 10$ 일 때 시간 변화의 평균 패킷 도착률 $\bar{\lambda}_a$ 이다. 그림 14에서 대쉬라인은 $\bar{\lambda}_a = 0.01$ 을 사용하여 계산한 k_{opt} 를 기반으로 한다. 그림 15에서 점선은 $\bar{\lambda}_a = 100$ 을 사용하여

계산한 k_{opt} 를 기반으로 한다. 두 그림에서 실선은 제안된 분산동적기법이고 k_{opt} 는 최근의 매개변수에 따라 다르다. 그림은 고정 시스템이 항상 동적 시스템보다 더 높은 비용을 지불하는 것을 보여준다. 비용의 차가 큰 경우는 그림 15에서 $\bar{\lambda}_a < 0.1$ 이고 그림 14에서 $\bar{\lambda}_a > 10$ 이다. 동적 시스템이 사용하는 고정 시스템이 사용하는 $\bar{\lambda}_a = 0.01$ 과 $\bar{\lambda}_a = 100$ 에 비해 비용을 절약할 수 있다. 그것은 사용자 매개변수와 시간이 변화될 때 분산동적기법이 비용효과적임을 보여준다.

V. 결론

본 논문에서는 모바일 IP에 대한 분산과 동적인 지역 위치관리 기법을 제안한다. 즉, 각 MAG가 MAG 또는 LMA 중 하나로서 기능을 할 수 있도록 분산 LMA 시스템 아키텍처를 제안한다. 이 분산 시스템은 시그널링 부하를 더 균등하게 지정할 수 있다. 동적 기법이 현재 트래픽 부하와 이동성에 따라 각 MN의 지역 네트워크의 크기를 최적화하는 분산 시스템에서 사용된다. 제안한 분산동적기법은 시스템 안정성을 강화하고 모든 사용자에게 최적으로 실행할 수 있다. MN의 이동이 마코프 과정을 따르지 않기 때문에 비용 분석을 위한 새로운 이산적인 해석 모델을 도입하여 최소한의 네트워크 자원을 사용하는 지역 네트워크인 MAG들의 최적 숫자를 찾기 위하여 알고리즘을 사용한다. 제안하는 모델은 네트워크 구조나 인터넷 서브넷과 같은 지리적 장소의 제약이 없다. 분석 결과는 시그널링 대역폭이 큰 모바일 IP의 지역 등록 기법과 비교하여 제안한 분산 시스템 아키텍처는 줄어든다는 것을 보여준다. 또한 최적의 지역 네트워크의 크기 결정이 분명하지 않은 때, 제안하는 동적 기법이 사용자의 매개변수에 큰 이점이 있음을 보여준다. 그러나 제안하는 분산동적기법은 모든 MAG들과 LMA 모두에 작동할 수 있다. 이것은 각 MA의 용량이 증가되어야 함을 요구한다.

참고 문헌

[1] L. Barolli and F. Xhafa, "JXTA-OVERLAY: A P2P

- Platform for Distributed, Collaborative and Ubiquitous Computing", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 58, no. 6, pp. 2163-2172, June 2011.
- [2] A. B. Waluyo, W. Rahayu, D. Taniar, and B. Srinivasan, "A Novel Structure and Access Mechanism for Mobile Broadcast Data in Digital Ecosystems", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 58, no. 6, pp. 2173-2182, June 2011.
- [3] J. Arnedo-Moreno, K. Matsuo, L. Barolli, and F. Xhafa, "Secure Communication Setup for a P2P based JXTA-Overlay Platform", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 58, no. 6, pp. 2086-2096, June 2011.
- [4] L. Han, J. Wang, X. Wang, and C. Wang, "Bypass Flow-splitting Forwarding in FISH Networks", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 58, no. 6, pp. 2197-2204, June 2011.
- [5] Z. An, H. Zhu, X. Li, C. Xu, Y. Xu, X. Li, Nonidentical Linear Pulse-Coupled Oscillators Model with Application to Time Synchronization in Wireless Sensor Networks", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 58, no. 6, pp. 2205-2215, June 2011.
- [6] B.-S. Choi, J.-W. Lee, J.-J. Lee, and K.-T. Park, "A Hierarchical Algorithm for Indoor Mobile Robots Localization using RFID Sensor Fusion", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 58, no. 6, pp. 2226-2235, June 2011.
- [7] D. Johnson, C. Perkins, and J. Arkko, "Mobility Support in IPv6", *IETF RFC 3775*, June 2004.
- [8] R. Koodli, "Fast Handovers for Mobile IPv6", *IETF RFC 4068*, July 2005.
- [9] H. Soliman, C. Castelluccia, K. ElMalki, and L. Bellier, "Hierarchical Mobile IPv6 Mobility Management (HMIPv6)", *IETF RFC 4140*, August 2005.
- [10] R. Koodli, "Mobile IPv6 Fast Handovers", *IETF RFC 5568*, July 2009.
- [11] H. Soliman, C. Castelluccia, K. ElMalki, and L. Bellier, "Hierarchical Mobile IPv6 (HMIPv6) Mobility Management", *IETF RFC 5380*, October 2008.
- [12] X. Perez-Costa, M. Torrent-Moreno, and H. Hartenstein, "A Performance Comparison of Mobile IPv6, Hierarchical Mobile IPv6, Fast Handovers for Mobile IPv6 and their Combination", *ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review*, vol. 7, no. 4, pp. 5.19, October 2004.
- [13] C. Makaya and S. Pierre, "An Analytical Framework for Performance Evaluation of IPv6-Based mobility Management Protocols", *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 7, no. 3, pp. 972-983, March 2008.
- [14] S. Gundavelli, K. Leung, V. Devarapalji, K. Chowdhury, B. Patil, "Proxy Mobile IPv6," *IETF RFC 5213*, Aug, 2008.
- [15] N. Neumann, J. Lei, X. Fu, G. Zhang, "I-PMIP: An Inter-Domain Mobility Extension for Proxy-Mobile IP," *IWCMC' 09*, Jun. 2009.
- [16] Y. Wang, W. Chen, and J.S.M. Ho, "Performance Analysis of Mobile IP Extended with Routing Agents," *Technical Report 97-CSE-13*, Southern Methodist Univ., 1997.
- [17] J. Xie and I.F. Akyildiz, "A Distributed Dynamic Regional Location Management Scheme for Mobile IP," *Proc. IEEE INFOCOM 2002*, vol. 2, pp. 1069-1078, 2002.
- [18] A. Bar-Noy, I. Kessler, and M. Sidi, "Mobile Users: To Update or Not to Update?" *ACM-Baltzer J. Wireless Networks (WINET)*, vol. 1, no. 2, pp. 175-185, July 1995.
- [19] I.F. Akyildiz, Y.-B. Lin, W.-R. Lai, and R.-J. Chen, "A New Random Walk Model for PCS Networks," *IEEE J. Selected Areas in Comm. (JSAC): Wireless Series*, vol. 18, no. 7, pp. 1254-1261, July 2000.
- [20] I.F. Akyildiz, J.S.M. Ho, and Y.-B. Lin, "Movement-Based Location Update and Selective Paging for PCS Networks," *IEEE/ACM Trans. Networking*, vol. 4, no. 4, pp. 629-638, Aug. 1996.
- [21] B. Lampson, V. Srinivasan, and G. Varghese, "IP

- Lookups Using Multiway and Multicolumn Search," IEEE/ACM Trans. Networking, vol. 7, no. 3, pp. 324-334, June 1999.
- [22] H.-Y. Tzeng and T. Przygienda, "On Fast Address-Lookup Algorithms," IEEE J. Selected Areas in Comm. (JSAC), vol. 17, no. 6, pp. 1067-1082, June 1999.
- [23] J.S.M. Ho and I.F. Akyildiz, "Mobile User Location Update and Paging under Delay Constraints," ACM-Baltzer J. Wireless Networks (WINET), vol. 1, no. 4, pp. 413-425, Dec. 1995.
- [24] H. Xie, S. Tabbane, and D.J. Goodman, "Dynamic Location Area Management and Performance Analysis," Proc. 43rd IEEE Vehicular Technology Conf., pp. 536-539, 1993.
- [25] W.R. Stevens, TCP/IP Illustrated, Volume 1: The Protocols. Addison Wesley Longman, Inc., 1994.
- [26] J.S.M. Ho and I.F. Akyildiz, "Local Anchor Scheme for Reducing Signaling Costs in Personal Communications Networks," IEEE/ACM Trans. Networking, vol. 4, no. 5, pp. 709-725, Oct. 1996.
- [27] J.S.M. Ho and I.F. Akyildiz, "Dynamic Hierarchical Database Architecture for Location Management in PCS Networks," IEEE/ACM Trans. Networking, vol. 5, no. 5, pp. 646-660, Oct. 1997.
- [28] E. Gustafsson, A. Jonsson, and C.E. Perkins, "Mobile IPv4 Regional Registration (work in progress)," Internet Draft, Internet Engineering Task Force, draft-ietf-mobileip-reg-tunnel-06.txt, Mar. 2002.

※ 이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임(2011-0027030) 교신저자 : 정종필

저자 소개

고 현 우(정회원)



- 2008년 : 울산대학교 컴퓨터정보통신 공학과(공학사)
 - 2012년 ~ 현재 : 성균관대학교 정보통신대학원(석사과정)
- <주관심분야 : 모바일컴퓨팅>

정 종 필(정회원)



- 2008년 : 성균관대학교 정보통신대학 (공학박사)
- 2009년 : 성균관대학교 컨버전스연구 교수
- 2010년 ~ 현재 : 성균관대학교 산학협력중점교수

<주관심분야 : 모바일컴퓨팅, 센서 이동성, 차량 모바일 네트워크, 스마트기기 보안, 네트워크 보안, IT융합, 인터랙션사 이언스 등>