

논문 2012-50-6-2

# 계층적 LTE 네트워크에서 최적의 트래킹 로드밸런스 기법의 성능분석

## ( Performance Analysis of Optimal Tracking Load Balance Scheme in Hierarchical LTE Networks )

전 민 수\*, 정 종 필\*\*

( Minsu Jeon and Jongpil Jeong<sup>©</sup> )

### 요 약

트래킹(Tracking)은 셀의 관점에서 트래킹 영역내의 UE(User Equipment)를 탐색하는 과정이다. 이 논문에서는, 매크로셀-마이크로셀 계층적 LTE 네트워크에 관한 PMMT(Pure Macro-Micro Tracking)과 IMMT(Integrated Macro-Micro Tracking)로 불리는 두 가지 트래킹 기법의 성능을 평가한다. 이런 네트워크에서 UE들은 매크로셀과 겹쳐 있는 마이크로셀 모두에서 신호를 받을 수 있다. PMMT 기법에서 UE는 매크로셀-계층 또는 겹쳐있는 마이크로셀-계층에서 각각 호출될 수 있다. IMMT 기법에서 UE는 매크로셀-계층과 겹쳐있는 마이크로셀-계층의 조합으로 호출된다. 매크로셀-계층과 마이크로셀-계층 사이에 최적의 로드밸런스가 평가되었고, 분석 모델은 두 기법을 평가하기 위해 개발되었다.

### Abstract

Tracking is a process which explores user equipment (UE) in the area of tracking in terms of cells. In this paper, two tracking schemes based on macrocell-microcell tiers in hierarchical LTE networks, PMMT and IMMT, are evaluated. In this network, UE can receive a signal from macrocells and overlapping microcells, and can be called from each macrocell or microcell-tier in the PMMT. Also, the UE can be called from the combined macrocell-tier and microcell-tier in the IMMT. Finally, we analyze the optimization of load balance between macrocell-tier and microcell-tier, and an analytical model is developed to evaluate those two arrangements.

**Keywords** : LTE Networks, Tracking, Load Balancing, Hierarchical Networks

### I. 서 론

최근 많은 스마트폰의 보급으로 모바일 유저들은 다양한 서비스를 이용할 수 있게 되었다. 이런 모바일의

다양한 서비스는 좀 더 빠른 무선 네트워크의 수요로 나타났고 통신사들은 LTE(Long Term Evolution) 서비스를 가입자에게 제공하게 되었다. 3G에 비해 LTE의 주요 이점은 높은 처리량, 낮은 지연시간, 플러그 앤 플레이, 같은 플랫폼에서 FDD(Frequency Division Duplex)와 TDD(Time Division Duplex)를 사용할 수 있다는 점, 향상된 사용자 성능, 단순한 아키텍처, 그로 인한 낮은 운영비 등이다. EPS(Evolved Packet System)는 LTE, HSDPA/HSPA+(High Speed Downlink Packet Access)등 다양한 액세스 네트워크를 지원하는 All-IP 기반의 시스템이다. LTE는 EPS 기술

\* 학생회원, 성균관대학교 컴퓨터공학과 석사과정  
(Department of Computer Engineering,  
Sungkyunkwan University)

\*\* 정회원, 성균관대학교 정보통신대학  
(College of Information and Communication  
Engineering, Sungkyunkwan University)

© Corresponding Author(E-mail: jpjeong@gmail.com)  
접수일자 2012년12월20일, 수정완료일 2013년5월20일

을 이용하고 3GPP(3rd Generation Partnership Project)의 릴리즈 8을 기반으로 하고 있으며 현재 릴리즈 10까지 나왔다<sup>[1]</sup>. LTE와 같은 빠른 무선 네트워크에서는 이전 보다 더 많은 트래픽 부하가 발생할 수 있다. 그래서 본 논문에서는 셀의 관점에서 탐색할 영역내의 UE(User Equipment)를 탐색하는 과정인 트래킹에 대한 로드밸런싱을 통해 비용과 지연시간을 줄여 트래픽 부하를 줄이고 효과적으로 빠른 네트워크를 이용할 수 있도록 기법을 제안하고 성능을 평가한다.

각 LA(Location Area)내에는 여러 개의 셀이 존재하고 각 셀에는 eNB(Evolved Node B)와 많은 UE들이 존재한다. 하나의 LA내의 모든 eNB들은 MME(Mobility Management Entity)로 연결되어 있다. 위치 관리는 위치 업데이트와 트래킹이라는 두 가지 기본적인 작업을 포함하는데 위치 업데이트는 LA 또는 TA(Tacking Area)와 같은 영역의 관점에서 UE의 현재 위치를 결정하는 절차이다. TA는 아마도 하나 또는 그 이상의 셀을 포함하고 일반적으로 LA의 하위 집합이다. 3G 무선 네트워크에 대한 페이지는 [2-10] 문헌에 잘 연구 되었다. 그러나 가장 이용 가능한 기법은 단일 계층 페이지 연구에 집중 되었다. 또한 기존 시스템은 전체 페이지 기법을 이용하고 착신호출이 도착하면 LA에 있는 모든 셀들이 호출되는데 이러한 기법은 대역폭이 많이 낭비 된다. 많은 순차적 페이지 기법(선택적 페이지기법<sup>[2-6]</sup>과 지능형 페이지 기법<sup>[7-8]</sup>)은 페이지 비용을 줄이기 위해 제안되었다. 순차적 페이지 기법에서는 MT(Mobile Terminal)에 착신호출이 도착하는 시점에 관련된 LA는 여러 PA로 나누어지고 MT를 찾을 때까지 하나하나 호출된다.

[11,12]에서는 처리할 수 있는 용량을 늘리고 다른 속도로 MT들을 제어하는 매크로셀-마이크로셀 계층적 이동통신 네트워크를 소개한다. [13]에서는 무선 통신의 서비스 수요가 증가 함에 따른 시스템 용량의 증가에 대한 문제를 해결하기 위한 계층적 무선 통신 시스템의 성능을 분석하였다. 3장의 그림 2는 LA가 여러 매크로셀로 나뉘어지고 매크로셀은 여러개의 마이크로셀들로 결합되어 있는 것을 잘 보여준다. 매크로셀은 고속 MT들의 핸드오프에 사용될 수 있고 마이크로셀은 저속 MT들의 핸드오프에 사용될 수 있다.

이 논문에서는 PMMT(Pure Macrocell-Microcell Tracking)와 IMMT(Integrated Macrocell-Microcell

Tracking)라는 매크로셀-마이크로셀 계층적 LTE 네트워크에 대한 두 가지 트래킹 기법을 제안한다. 두 기법에 대해 총 지연시간 제약조건에 따라 최적의 트래킹 로드밸런싱을 연구하였고 성능을 평가하였다. 즉 미리 정의된 총 지연시간 제약조건 값에 따라 매크로셀 계층과 겹쳐진 마이크로셀 계층 사이에서 최적의 트래킹 로드밸런싱이 수행 되었고 이러한 기법에서 TAU 요청(Tacking Area Update Request)은 미리 정의된 시간 내에 완료할 수 있고 총 지연시간은 큐잉 지연시간과 트래킹 지연시간 모두를 포함한다.

논문은 다음과 같이 구성되어 있다. II장에서는 관련 연구를 설명하고 III장은 제안하는 기법을 설명한다. IV장에서는 제안 기법의 성능평가를 수행하고 마지막으로 V장에서는 성능평가 결과에 따른 결론을 내린다.

## II. 관련 연구

### 1. LTE 네트워크 개요

LTE 네트워크에서는 3G 기술에서 발전한 다양한 요소들이 있다. LTE-Advanced는 3GPP(3rd Generation Partnership Project)에서 개발 중인 LTE의 발전된 프로젝트명으로서, ITU(International Telecommunication Union)에서 지정한 IMT-Advanced 요구 사항들을 만족하거나 이를 능가한다. LTE 프로젝트는 3GPP 릴리즈 8부터 시작하여 릴리즈 10부터는 LTE-Advanced의 사양을 일부 명시하였다<sup>[14]</sup>.

LTE는 20MHz 대역에서 다운링크 100Mbps, 업링크 50Mbps의 데이터 전송속도를 지원하는 무선통신기술

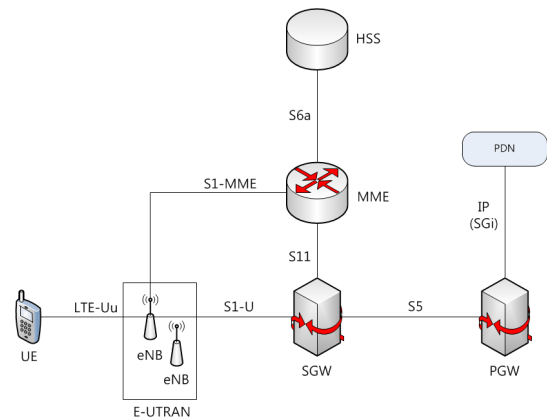


그림 1. LTE 시스템  
Fig. 1. LTE System.

이고, LTE-Advanced는 최대 100MHz 대역에서 다운 링크 1Gbps, 업링크 500Mbps의 데이터 전송속도를 지원하는 “글로벌-컨버전스형의 무선통신 기술”이다<sup>[15]</sup>. 또한 LTE 시스템 규격은 이전 이동통신 시스템 규격과 달리 하향채널과 상향채널이 각각 OFDMA(Orthogonal Frequency Division Multiple Access)와 SC-FDMA (Single-Carrier Frequency Division Multiple Access) 방식으로 서로 상이 한 전송 및 다중전송방식을 채택하였다<sup>[16]</sup>.

그림 1은 LTE 시스템의 구조를 설명한다<sup>[1]</sup>.

eNB들로 구성되어 있는 E-UTRAN(Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network)은 IP기반의 평면적 구조를 가지고 단말과 CN(Core Network) 간의 트래픽을 처리하고 이들 사이의 신호제어(signalling control)는 MME(Mobile Mobility Entity)가 담당한다. MME는 eNB와 SGW(Serving Gateway)간의 신호제어를 담당하고 단말로부터 유입되는 트래픽을 어느 곳으로 라우팅 할지를 결정한다. SGW는 eNB와 eNB간 3GPP 네트워크와 E-UTRAN간의 단말이동에 대한 anchoring 기능을 담당한다. PGW(Packet data network Gateway)는 3G의 GGS에 해당되는 노드로 LTE에서 트래픽이 IMS로 유입되는 접점이면서 LTE와 non-3GPP 네트워크간의 단말 이동에 대한 anchoring을 담당한다. 각각의 eNB는 한 개 이상의 MME 및 SGW와 연결점을 가짐으로써 network redundancy와 traffic load sharing을 실현한다. SGW와 PGW, MME를 EPC(Evolved Packet Core)라 칭하고 또한 MME, SGW, PGW와 더불어 HSS와 PCRF를 포함하여 IMS와 상용하는 개념으로 EPS(Evolved Packet System)라 부를 수 있다.

## 2. 부하 분산 기법

로드 밸런싱(부하분산)은 자원관리에 있어 중요한 문제이며 과거의 연구 중에도 로드밸런싱에 대해 많은 연구가 진행되었다.

이동통신 네트워크에서 핫스팟 문제를 해결할 수 있는 한 가지 방법으로는 동적으로 혼잡셀을 로드밸런싱하는 것이다. 즉, 네트워크에서 비혼잡 셀을 통해 혼잡 셀의 트래픽을 처리하는 것이다. [17]-[26]에서는 과거 몇몇 연구자들이 혼잡 문제를 해결하기 위해 동적 로드 밸런싱 및 채널 할당 기법을 제안하였다. 이러한 기법

은 전부 이동통신 네트워크에서 통화 차단 성능을 향상시키기 위해 제안되어졌다. 그러나 이러한 기법은 각각 자신들의 제한사항에 대한 집합을 가지고 있다. 채널 차입에 기반을 둔 기술(예를 들면 [20],[21] 에 있는 CBWL과 같은)은 공동으로 채널 간섭을 처리하고 전송 품질이 모든 동일한 채널의 셀 내에서 허용할 수 있는 수준에 있는지 확인해야 한다. 이 문제에 대한 기존의 해결책은 재사용 거리에 있는 동일한 채널의 잠금을 포함하고(simple borrowing) 이는 다중 채널 셀의 용량이 감소하게 되며 동일한 채널 내에 있는 셀의 과도한 간섭을 피하기 위해 낮은 전력으로 전송하고 채널 잠금을 방지한다(CBWL). 로드밸런싱의 또다른 접근 방식은 혼잡셀의 과도한 트래픽을 이웃 셀에 전달하는 것이다 ([22],[25]에서의 단말기 재시도, iCAR). 이러한 접근의 장점은 이웃 셀로 통화를 전달하거나(단말기 재시도) 또는 중계 기지국을 통해(iCAR) 동일 채널간의 간섭을 피할 수 있다. 그러나 이러한 기법(단말기 재전송, iCAR)의 성능은 셀 내에 사용자의 분포에 따라 달라지고 사용가능한 중계 기지국의 수와 범위중 하나뿐만 아니라 셀의 경계영역이 겹쳐진 크기에 따라 달라진다.

[27]과 [28]에서는 분산협회 알고리즘은 WLAN에서 AP들 사이에 로드밸런싱을 효과적으로 하기위해 제안 되어졌다. [29]에서는 동종의 여러 무선네트워크에서 자원공유의 최적화에 대한 흥미로운 통찰이 국제적 협력으로 제안되어졌다. [30]에서는 LTE, Wibro 및 WLAN에 대한 이기종 무선 네트워크에 적용된 로드밸런싱 아키텍처를 발표하였다. 그러나 이러한 로드밸런싱 기법은 여러 네트워크간에 간섭이 미치는 영향을 고려하지는 않았다. [31]에서는 트래픽 부하와 WLAN/WPAN의 로드밸런싱에서 간섭에 대한 상호작용을 포함한다. [32]에서는 부하가 균일하지 않은 다중 셀 환경 하에서 다양한 형태의 서비스를 수용하기 위한 호 제어 방법을 고찰하였고 특히 핸드오프 호에 대해 버퍼를 사용하였을 때 버퍼의 대기 시간을 호의 이동 속도를 고려하여 할당함으로써 보다 낮은 핸드오프 호의 절단률을 가질 수 있음을 보여준다.

상당한 양의 무선자원관리에 대한 연구가 완료되었지만 제안된 기법은 전통적인 단일 무선네트워크 또는 여러 무선네트워크에 적합하다. 그러나 LTE-A의 이기종 네트워크에서 협력적인 자원 관리와 간섭 관리는 대부분 연구되어지지 않고 남아있다.

### III. 제안 기법

제안하는 네트워크의 아키텍처에서 LA는 많은 매크로셀을 가지고 각 매크로셀은 몇 개의 마이크로셀을 가진다. UE들은 매크로셀과 겹쳐진 마이크로셀 모두에서 신호를 받을 수 있다. 따라서 UE는 각각의 매크로셀-계층 또는 겹쳐진 마이크로셀-계층에서 호출될 수 있다. 즉, UE 들은 동시에 여러 eNB에서 호출될 수 있다. 그림 2에서 제안하는 네트워크의 아키텍처를 설명한다.

$C_a$ 와  $C_i$ 는 각각 매크로셀 트래킹과 마이크로셀 트래킹에 대한 비용을 표기하기로 한다. 또한  $N_r = 3r^2 - 3r + 1$ 은 매크로셀에서 링의 개수  $r$ 에 따른 마이크로셀의 수로 정의한다.  $R_{MM} = C_a / N_r C_i$ 는 매크로셀-마이크로셀의 비율로 정의하고 이것은 로드 밸런싱에 대한 중요한 요소 중 하나이다.  $R_{MM}$ 이 1 일 때, 매크로셀 트래킹과 모든 마이크로셀 트래킹은 총 트래킹 비용 같은 매크로셀 내에 있다.

최적의 트래킹 로드 밸런스 문제는 미리 정의 되어있는 총 지연시간 제약조건  $T$ 에 대한 상한선인 트래킹 지연시간과 큐잉 지연시간 모두를 포함하는 평균 총 지연시간 제약조건에 대해 총 트래킹 비용을 최소화하는 방법으로 정의 되었다.

다음으로 최적의 로드밸런스를 통한 총 지연시간 제약조건  $T$ 에 따라 Pure Macro-Micro Tracking (PMMT)과 Integrated Macro-Micro Tracking(IMMT)을 제안하고 설명한다.

제안된 PMMT 기법에서  $N_r D$ 는 트래킹 지연 시간의 한계값이고 LA에서 매크로셀은  $N_r D$  매크로 트래킹

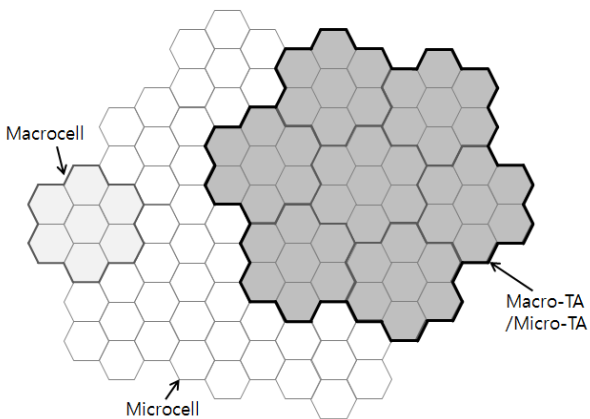


그림 2. 매크로셀-마이크로셀 계층 구조  
Fig. 2. Macrocell-Microcell hierarchical architecture.

영역들(Macro-TAs)로 그룹화 된다. 유사하게 LA에서 마이크로셀은  $N_r D$  마이크로 트래킹 영역들(Micro-TAs)로 그룹화 되고  $N_r D$  트래킹 사이클 내에서 제공되는 TAU 요청과 관련된 UE를 LA 외부 또는 내부에서 각각 찾아낸다. 위 기법의 특별한 경우는 Macro-TA에 속하는 모든 마이크로셀은 Micro-TA에 속한다. 단, 평균 큐잉 지연시간과 평균 트래킹 지연시간의 합인  $N_r D$ 는 총 지연시간 제약 조건  $T$ 가 아니다.

Macro-TA에서 UE가 호출될 때 Macro-TA에 있는 모든 매크로셀은 매크로셀의 해당 트래킹 채널에서 동시에 호출 된다. 마찬가지로 Micro-TA에서 UE가 호출될 때 Micro-TA에 있는 모든 마이크로셀은 마이크로셀의 해당 트래킹 채널에서 동시에 호출 된다.

두 개의 TWQs(Tracking Wating Queues)가 이용된다. 첫 번째 TAU 요청들에 대한 트래킹 대기 큐는 Macro-TA들에서 호출될 것이고 그것은 Macro-Queue로 불린다. TAU 요청들에 대한 두 번째 트래킹 대기 큐는 Micro-TA들에서 호출될 것이고 그것은 Micro-Queue로 불린다.

LA로 TAU 요청이 도착할 때 TAU 요청은 확률  $p$ 와 함께 무작위로 Macro-Queue에 삽입하고 또한 확률  $1-p$ 와 함께 무작위로 Micro-Queue에 삽입하고  $p$ 는 Macro-Queue와 Micro-Queue 사이에 트래킹 로드 밸런스와 관련이 있다. Macro-Queue와 Micro-Queue에 삽입된 TAU 요청들은 FIFO 기법으로 하나하나 제공

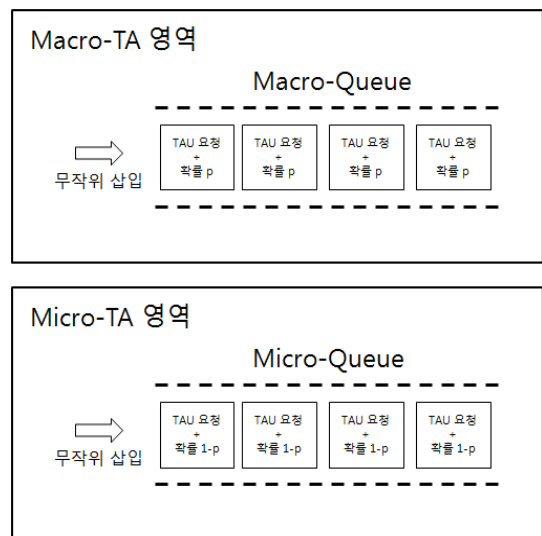


그림 3. PMMT 구조 개념도  
Fig. 3. PMMT architecture conceptual diagram

한다. Macro-Queue의 헤드에 TAU 요청이 삽입 될 때 해당되는 UE는 모든 Macro-TA 또는 모든 Micro-TA가 호출 되거나 UE를 찾을 때 까지 Macro-TA들 또는 Micro-TA들에서 하나하나 호출 된다.

$R_{MM}=1$ 이면, 매크로셀 트래킹 비용과 모든 마이크로셀에서 트래킹의 비용은 같고  $p=0.5$  일 때 최적의 트래킹 로드 밸런스가 이루어질 수 있다.  $R_{MM} \neq 1$ 이면, 최적의 트래킹 로드 밸런스 문제는 적절한  $p$  값을 설계하는 것이다. 이 문제는 4장에서 해결 될 것이다.

제안된 IMMT 기법은 PMMT 기법과 유사하게 LA에서 매크로셀은  $N_r D$  매크로 트래킹 영역들(Macro-TAs)로 그룹화되고 LA에서 마이크로셀은  $N_r D$  마이크로 트래킹 영역들(Micro-TAs)로 그룹화된다. Macro-TA에서 UE가 호출될 때 Macro-TA의 모든 매크로셀은 매크로셀에 해당하는 트래킹 채널에서 동시에 호출 되고 Micro-TA에서 UE가 호출될 때 Micro-TA의 모든 마이크로셀은 마이크로셀에 해당하는 트래킹 채널에서 동시에 호출된다.

두 개의 TWQs(Tracking Wating Queues)를 이용하고 TWQ-1과 TWQ-2로 표기한다. LA로 TAU 요청이 도착할 때 TWQ-1 또는 TWQ-2에 각각 삽입된다. TWQ-1과 TWQ-2에서의 TAU 요청들은 트래킹 영역에서의 두 가지 다른 집합 SET-1과 SET-2에 의해 제공된다.



그림 4. IMMT 구조 개념도  
Fig. 4. IMMT architecture conceptual diagram.

SET-1은  $D_1(\geq 0)$  Macro-TAs와  $N_r D - D_1(\geq 0)$  Micro-TAs를 포함하고 또한 트래킹 영역들로 분리되고 모든 LA를 커버한다. SET-2는  $N_r D - D_1(\geq 0)$  Macro-TAs와  $D_1(\geq 0)$  Micro-TAs를 포함하고, 이러한 트래킹 영역들로 분리되고 모든 LA를 커버한다. 트래킹 지연시간의 최대값은  $N_r D = D_1 + N_r D - D_1$ , 즉  $N_r D(\geq 1)$  트래킹 사이클 내에 제공되는 TAU 요청과 관련된 UE를 LA 외부 또는 내부에서 각각 찾아낸다.

LA로 TAU 요청이 도착할 때 TAU 요청 확률  $p$ 와 함께 무작위로 TWQ-1에 삽입되고 확률  $1-p$  함께 TWQ-2에 삽입된다. IMMT 기법에 대한 디자인 선택의 일부는 다음과 같이 나열된다.

- 집합에서 Macro-TAs와 Micro-TAs를 어떻게 그룹화 하는지, 즉 어떤  $D_1$ 의 값을 선택 할 것인가?
- 두 TWQ 사이에 로드 밸런스를 어떻게 수행할 것인가, 즉 어떤  $p$  값을 선택 할 것인가?
- SET-1 또는 SET-2 내에, UE가 Macro-TA 또는 Micro-TA에서 첫 번째로 호출되었는지 여부가 중요한가?

일반적으로  $R_{MM} \leq 1$  일 때, 총 트래킹 비용을 최소화 하려면 Macro-TA가 처음으로 호출 되어야 한다. 실제로,  $D_1 = 0$  또는  $D_1 = N_r D$  일 때, PMMT 기법은 IMMT 기법에 대한 특별한 경우로 여길 수 있다.

#### IV. 성능 분석

##### 1. 네트워크 모델링

성능 측정은 다음과 같이 정의된다. Cost ( $\bar{C}$ )는 TAU 요청 당 호출된 셀 개수의 평균으로 정의한다. Tracking Delay ( $\bar{D}$ )는 평균 TAU 요청 출발 시간과 제공되는 TAU 요청 시간 사이의 시간으로 정의한다. TAU 요청 출발 시간은 해당 UE를 찾거나 TAU 요청에 대해 모든 TA가 호출될 때의 시간으로 정의한다. Total Delay ( $\bar{T}$ )는 TAU 요청 도착 시간과 TAU 요청의 평균 출발 시간 사이의 시간으로 정의한다. 지연시간을 측정할 때 총 지연시간은 더 정확한 측정 매개변수이기 때문에 트래킹 지연시간 대신 성능측정의 하나로 총 지연시간을 채택한다<sup>[10]</sup>.

각 TAU 요청은 각각 다른 사용자의 요청이라고 가정한다. 다시 말해, 바쁜 트래킹 효과와 바쁜 회선은 고

려하지 않는다. 바쁜 트래킹은 동일한 사용자의 또 다른 TAU 요청이 제공되는 동안 TAU 요청이 제공되는 것으로 정의한다. 바쁜 회선은 사용자가 지속적인 통화를 할 때 TAU 요청이 제공되는 것으로 정의한다. 푸아송 분포에 따른 TAU 요청의 도착 속도와 지수 분포에 따른 트래킹 서비스 시간을 가정한다. 서비스 시간은 TAU 요청의 도착 프로세스에 독립적인 것이 분명하다. 트래킹 서비스 시간(트래킹 사이클 당)은 트래킹 분석에 대한 문헌에서 사용되었던 페이지징 분석에 대한 문헌에서 사용한 추세이기 때문에 기하급수적으로 배포되었다고 가정한다. 예를 들어 참고한 문헌은 [7, 8, 10]이다.

$N_a$ 와  $N_i (= N_r N_a)$ 는 각각 LA의 매크로셀과 마이크로셀의 수를 나타내고 큐의 길이는 무한정으로 가정한다. 도착 속도는  $\lambda$ 로 나타내고  $1/\mu (\lambda < \mu)$ 는 서비스 시간을 의미하고  $\sigma$ 는 서비스 시간의 분포를 의미한다.  $M/G/1$ 은 큐잉 시스템에 대한 총 지연시간은 [33]에서 얻는다.

$$\bar{T}_{M/G/1} = \frac{1}{\mu} + \frac{\frac{\lambda}{\mu}(1 + \sigma^2 \mu^2)}{2(\mu - \lambda)} \quad (1)$$

다음으로 PMMT 기법과 IMMT 기법을 분석할 뿐만 아니라 그것들의 최적의 트래킹 로드밸런스를 모델로 삼을 것이다.

PMMT 기법에서 매크로큐와 마이크로큐에 대한 TAU 요청 속도는 각각  $p\lambda$ 와  $(1-p)\lambda$ 이다. 푸아송 분포와 속도  $\lambda$ 에 따라 LA로 TAU 요청들이 도착할 때 속도  $p\lambda$ 와  $(\lambda - p\lambda)$ 의 푸아송 분포에 따른다. 또한 TWQ-1로 TAU 요청들이 도착하고 TWQ-2로 TAU 요청들이 도착할 때 푸아송 분포의 Type-1/Type-2에 따른다.

$\bar{T}_a$ 와  $\bar{T}_i$ 는 각각 매크로큐와 마이크로큐에서 TAU 요청들의 평균 총 지연시간을 표기하기로 하고 큐잉지연시간과 트래킹 지연시간 모두를 포함한다. TAU 요청은 매크로큐 또는 마이크로큐 반드시 하나의 대기큐를 통해 이동해야 한다. 그리고 평균에서의  $m$  트래킹 단계는 다음의 수식에서 얻을 수 있다.

$$m = \sum_{i=1}^{N_r D} i \frac{1}{N_r D} = (N_r D + 1)/2 \quad (2)$$

현재 각 도착속도  $p\lambda$ 와  $(1-p)\lambda$ ,  $M/E_m/1$  큐잉 모델

과 매크로큐와 마이크로큐에서 트래킹 시스템을 모델링할 수 있다.  $m$ -stage Erlangian server  $E_m$ 은  $\sigma^2 = m/\mu^2$ 의 분산 그리고  $m/\mu$ 의 의미를 가진다.

따라서,

$$\bar{D} = \frac{m}{\mu} \quad (3)$$

$$\bar{T}_a = \frac{m}{\mu} + \frac{p\lambda m(m+1)}{2\mu(\mu - p\lambda m)} \quad (4)$$

$$\bar{T}_i = \frac{m}{\mu} + \frac{(1-p)\lambda m(m+1)}{2\mu[\mu - (1-p)\lambda m]} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \bar{C} &= pc_a S_1^{N_r D}(N_a) + (1-p)c_i S_1^{N_r D}(N_r N_a) \\ &= \frac{N_a m N_r c_i}{N_r D} [pR_{MM} + (1-p)] \end{aligned} \quad (6)$$

$$S_h^f(N) = \sum_{i=h}^f \frac{1}{N_r D} \sum_{j=1}^i \frac{N}{N_r D} \quad (7)$$

$S_h^f(N)$ 은 표기법일 뿐이다. PMMT 기법에 대해 3장에서 정의한 최적의 트래킹 로드밸런스 문제를 연구하고 수식(6)에서의 비용과 수식(4)와 수식(5)에서 총 지연시간을 모두 고려해야 한다. 다음과 같은 목표를 가진다. 1) 비용  $\bar{C}$  최소화, 2) 미리 정의된 값  $T$ 와 함께 총지연시간의 상한값  $\bar{T}_a$ 와  $\bar{T}_i$ , 3) 총 지연시간  $\bar{T}_a$ 와  $\bar{T}_i$  최소화, 위 두 가지 목표를 만족할 수 있다는 조건 하에 모든 두 가지 목표를 만족할 수 없다.

최적의 트래킹 부하 문제는 세 가지 경우가 있다. 내용은 다음과 같다.

· Case 1: 만약에  $R_{MM} = 1$  이면, 즉, 매크로셀 트래킹의 비용과 매크로셀에서의 모든 마이크로셀의 트래킹 비용은 같고 최적의 로드밸런스는  $p_{opt} = 0.5$ 에서 달성될 수 있다.

· Case 2: 만약에  $R_{MM} < 1$  이면, 즉 매크로셀의 트래킹 비용은 모든 매크로셀에서 모든 마이크로셀 트래킹의 비용보다 작고, 더 많은 트래킹 비용을 절약하기 위해 마이크로큐 대신에 매크로큐로 이동해야 한다. 즉,  $\bar{T}_a \leq T$ 이다.  $\bar{T}_a \leq T$ 로부터 수식(8)에서 정의되어진  $A(T, m, \lambda)$ 에서  $p \leq A(T, m, \lambda)$ 를 가질 수 있다.

·Case 3: 만약에  $R_{MM} > 1$  이면, 매크로셀의 트래킹 비용은 매크로셀에서 모든 마이크로셀 트래킹 비용보다 크고, 더 많은 트래킹 트래픽의 일부 비용을 절약하기 위해 매크로큐 대신에 마이크로큐로 이동해야 한다. 즉,  $p < 0.5$ 이다. 그러나 총 지연시간 제약조건을 고려할 필요가 있다. 즉,  $\bar{T}_i \leq T$ 이고  $1 - A(T, m, \lambda) \leq p$ 를 얻을 수 있다.

다음의 표기법을 사용할 수 있다.

$$A(T, m, \lambda) = \frac{(T\mu - m)2\mu}{\lambda m(m+1) + (T\mu - m)2\lambda m} \quad (8)$$

요약하면 최적의 트래킹 로드밸런스는 다음 수식에서 달성된다.

$$p_{opt} = \begin{cases} 0.5, R_{MM}=1 \\ \max(0.5, \min(1, A(T, m, \lambda))), R_{MM} < 1 \\ \min(0.5, \max(0, 1 - A(T, m, \lambda))), R_{MM} > 1 \end{cases} \quad (9)$$

위 경우(case1에서 case 3)의 주장들은 다음과 같이 수학적으로 입증할 수 있다. 수식(6)에서 첫 번째 비용을 도출할 수 있다.

$$\frac{\partial \bar{C}}{\partial p} = \frac{N_a m N_r c_i}{N_r D} (R_{MM} - 1) \quad (10)$$

수식(6)에서  $R_{MM} = 1$ 이면,  $p$ 의 상수 함수인 비용 함수를 관찰하고  $R_{MM} < 1$ 이면 감소함수,  $R_{MM} > 1$ 이면  $p$  증가함수이다. 따라서 위의 경우(case1에서 case3)들에서 이러한 주장을 쉽게 입증할 수 있다.

위 분석은 필요한 총 지연시간 제약조건과 트래킹 부하를 제공할 수 있는 시스템으로 가정한다. 트래킹 부하의 범위로 트래킹 시스템의 도메인을 정의하기로 하고 필요한 총 지연시간 제약조건이 만족하는 내에 그리고 넘어서는 범위는 필요한 총 지연시간 제약조건이 만족하지 않는다.  $\mu - p\lambda m \geq 0$ 과  $\mu - (1-p)\lambda m \geq 0$ 의 수식을 얻을 수 있다. 그러므로  $\mu / (pm) \geq \lambda$ 와  $\mu / [(1-p)m] \geq \lambda$ 를 얻을 수 있다. 다음과 같은 간격으로 PMMT 기법의 도메인을 얻을 수 있다.  $Domain_{PMMT}(T, p) = [0, x]$ , 이 도메인은 다음의 수식에서 얻는다.

$$x = \max(0, \min \left\{ \frac{\mu}{pm}, \frac{\mu}{(1-p)m}, A(T, m, p), A(T, m, 1-p) \right\}) \quad (11)$$

위 도메인은  $T$ 와  $p$  모두에 따라 달라진다.  $Domain_{PMMT}(\infty, p)$ ,  $Domain_{PMMT}(T, p_{opt})$ 와  $Domain_{PMMT}(\infty, p_{opt})$ ,  $Domain_{PMMT}(\infty, p)$ 는 총 지연시간 제약조건이 없을 때 도메인이다.  $Domain_{PMMT}(T, p_{opt})$ 는 총 지연시간 제약조건  $T$ 와 최적의  $p$  값이 사용될 때 도메인이다.  $Domain_{PMMT}(\infty, p_{opt})$ 는 총 지연시간 제약조건이 없고 이 조건하에 최적의  $p$  값이 사용될 때 도메인이다. 따라서 다음과 같은 수식을 얻는다.

$$Domain_{PMMT}(\infty, p) = \left[ 0, \min \left( \frac{\mu}{pm}, \frac{\mu}{(1-p)m} \right) \right] \quad (12)$$

IMMT 기법에서, TWQ-1과 TWQ-2로 TAU 요청의 속도는 각각  $p\lambda$ 와  $(1-p)\lambda$ 이다.  $\bar{T}_1$ 과  $\bar{T}_2$ 는 각각 TWQ-1과 TWQ-2에서 TAU 요청들의 평균 총 지연시간으로 표기하기로 하고, 큐잉 지연시간과 트래킹 지연시간 모두를 포함한다. TWQ-1을 통해서 반드시 이동하는 TAU 요청의 트래킹 단계의 수는 다음의 수식으로 얻는다.

$$\sum_{i=1}^{D_1} i \frac{1}{N_r D} + \sum_{i=D_1+1}^{N_r D} i \frac{1}{N_r D} = (N_r D + 1) / 2 = m \quad (13)$$

유사하게, TWQ-2를 통해 반드시 이동하는 TAU 요청의 트래킹 단계의 수 또한  $m$ 이다. 따라서 TWQ-1(TWQ-2)에서 TAU 요청은 반드시 통하여 이동하는 하나의 대기큐, TWQ-1(TWQ-2), 그리고  $m$  트래킹 단계이고  $m$ 은 수식(2)에 정의되어 있다.

TWQ-1과 TWQ-2와  $M/E_m/1$  큐잉 모델과 각각 도착시간  $p\lambda$ 와  $(1-p)\lambda$  하에 트래킹 시스템을 모델링할 수 있다.  $m$ -stage Erlangian server  $E_m$ 은  $m/\mu$ 의 의미와  $\sigma^2 = m/\mu^2$ 의 분산의 의미를 가진다. 수식(3)에 정의된대로 같은 트래킹 지연시간을 가지고  $\bar{T}_1 = \bar{T}_a$ 와  $\bar{T}_2 = \bar{T}_i$ 를 얻는다. 그러나 비용함수는 트래킹 순서와 관련이 있다. 즉, Macro-TA들의 첫 번째 호출인지 Micro-TA들의 첫 번째 호출인지이다. PMMT 기법에 대한 분석과 유사하게 IMMT 기법에 대해 세가지 경우로 분류한다. Case 1은  $R_{MM} = 1$ 일 때, Case 2는  $R_{MM} < 1$ 일 때, 그리고 Case 3은  $R_{MM} > 1$ 일 때이다. Case 1에서, 트래킹 순서는 비용함수에 영향을 주지 않는다. Case 2에서 Macro-TA는 최소화한 총 트래킹 비용에서 첫 번째로 호출되어야 한다. Case 3에서,

Micro-TA는 최소화한 총 트래킹 비용에서 첫 번째로 호출 되어져야 한다. 이 조건 하에,  $\bar{C}_i (i=1,2,3)$ 은  $i$ 의 경우에서 비용함수로 표기하리라고 하고 다음의 수식들을 얻는다.

$$\begin{aligned} \bar{C}_1 &= p \left[ c_a S_1^{D_1}(N_a) + c_i S_{D_1+1}^{N_r D}(N_r N_a) \right] + \\ & (1-p) \left[ c_a S_1^{N_r D - D_1}(N_a) + c_i S_{D-D_1+1}^{N_r D}(N_r N_a) \right] \\ &= \frac{N_a m c_a}{N_r D} \end{aligned} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} \bar{C}_2 &= p \left[ c_a S_1^{D_1}(N_a) + c_i S_{D_1+1}^{N_r D}(N_r N_a) \right] + \\ & (1-p) \left[ c_a S_1^{N_r D - D_1}(N_a) + c_i S_{D-D_1+1}^{N_r D}(k N_a) \right] \\ &= \frac{N_a m N_r c_i}{N_r D} + \frac{N_a N_r c_i (R_{MM} - 1)}{2(N_r D)^2} \times \\ & [(N_r D - D_1)^2 + (N_r D - D_1) + \\ & p[2D_1 + (N_r D)^2 + 2(N_r D)D_1 - (N_r D)]] \end{aligned} \quad (15)$$

$$\begin{aligned} \bar{C}_3 &= p \left[ c_i S_1^{D_1}(N_r N_a) + c_a S_{D_1+1}^{N_r D}(N_a) \right] \\ & + (1-p) \left[ c_i S_1^{N_r D - D_1}(N_r N_a) + c_a S_{N_r D - D_1 + 1}^{N_r D}(N_a) \right] \\ &= \frac{N_a m c_a}{N_r D} + \frac{N_a N_r c_i (1 - R_{MM})}{2(N_r D)^2} \times \\ & [(N_r D - D_1)^2 + (N_r D - D_1) + \\ & p(2D_1 - (N_r D)^2 + 2(N_r D)D_1 - (N_r D))] \end{aligned} \quad (16)$$

사실  $\bar{C}_1$ 은 각각  $p$  또는  $D_1$ 에 의존적이지 않는다. 그러나 총 지연시간을 줄이기 위한 로드 밸런스를 하기 위해  $p=0.5$ 를 가져야 한다. 최적 방식의 특별한 경우 중 하나는 각각  $D_1=0$  또는  $D_1=N_r D$  일 때 이다. 즉 PMMT 방식을 얻는다. 요약하면 다음과 같은 원리를 얻는다.

이론 1 : PMMT 기법은 비용의 측면에서 IMMT 방식보다 낫다. 최적의 PMMT 기법은, 최적의  $p$  값과 PMMT 기법은 IMMT 기법에서의 다른 선택( $D_1$ 과  $p$ )보다 아주 좋다.

## 2. 수치분석 결과

PMMT 기법과 IMMT 기법에 대한 종합적인 평가를 제공한다. 매개변수는  $N_a=10$ ,  $r=3$ ,  $\mu=10$ ,  $c_i=1$ 를 이용한다.

그림 5와 그림 6은  $D$ 의 증가에 대해, 총 지연시간이 증가하는 것을 보여준다. 또한 그림 7은  $D$ 의 증가에 대해 총 트래킹 비용이 감소하는 것을 보여준다.

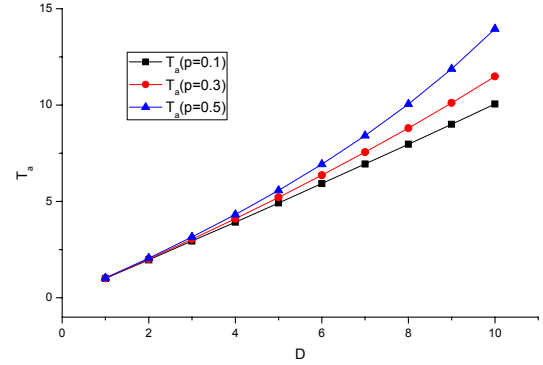


그림 5. 매크로큐 TAU 요청 평균 지연 시간 vs. D ( $\lambda=0.1$ ,  $R_{MM}=1$ )

Fig. 5. Average total delay of TAU Request in Macro-queue vs. D ( $\lambda=0.1$ ,  $R_{MM}=1$ )

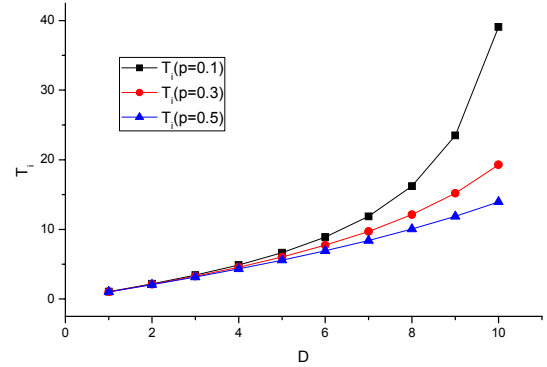


그림 6. 마이크로큐 TAU 요청 평균 지연 시간 vs. D ( $\lambda=0.1$ ,  $R_{MM}=1$ )

Fig. 6. Average total delay of TAU Request in Micro-queue vs. D ( $\lambda=0.1$ ,  $R_{MM}=1$ )

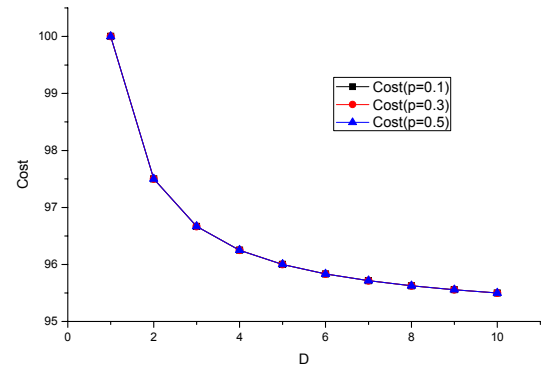


그림 7. PMMT 기법에서 TAU 요청당 비용 평균 vs. D ( $\lambda=0.1$ ,  $R_{MM}=1$ )

Fig. 7. Average cost of TAU Request in PMMP Scheme ( $\lambda=0.1$ ,  $R_{MM}=1$ )

그림 8, 그림 9, 그림 10은 총 지연시간 제약조건  $T$ 와 PMMT 기법의 도메인들( $[0,x]$ )의 값  $x$ 를 보여준다.



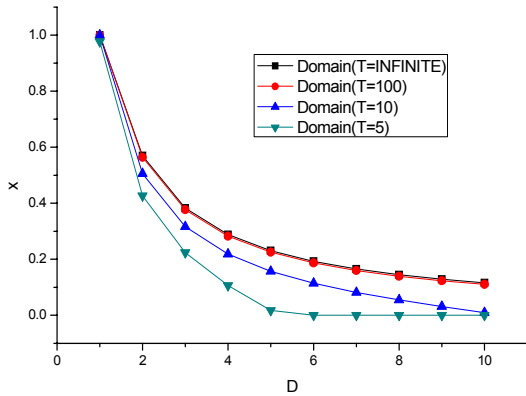


그림 8. Domain vs. D ( $p = 0.1$ )  
Fig. 8. Domain vs. D ( $p = 0.1$ )

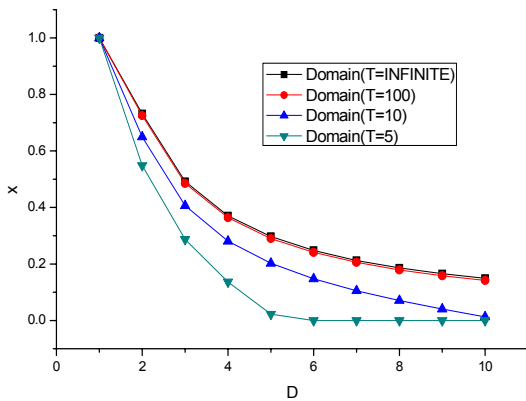


그림 9. Domain vs. D ( $p = 0.3$ )  
Fig. 9. Domain vs. D ( $p = 0.3$ )

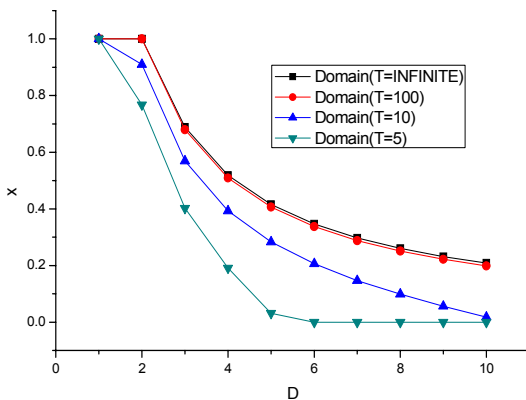


그림 10. Domain vs. D ( $p = 0.5$ )  
Fig. 10. Domain vs. D ( $p = 0.5$ )

보여진 것과 같이  $D$ 가 증가할수록 도메인은 작아지고, 총 지연시간의 증가에 대해 더 많은 TAU 요청은 총 지연시간 제약조건에 만족할 수 없다. 총 지연시간 제약조건  $T$ 의 증가는 지연시간 요구사항의 도메인 증가를 느리게 한다. 또한, 그림 9와 그림10에서의 관찰은  $T = \infty$ 가 가장 작을 때 도메인과  $T = 100$ 일 때 도메인

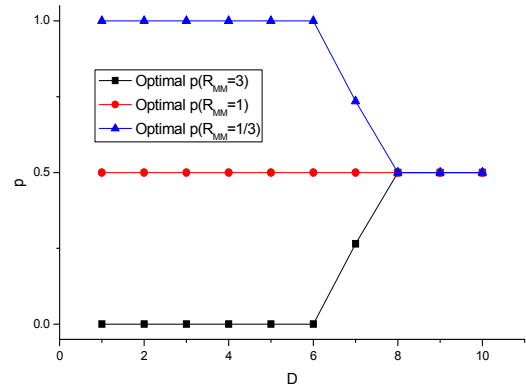


그림 11. Optimal p vs. D ( $T = 10, \lambda = 0.1$ )  
Fig. 11. Optimal p vs. D ( $T = 10, \lambda = 0.1$ )

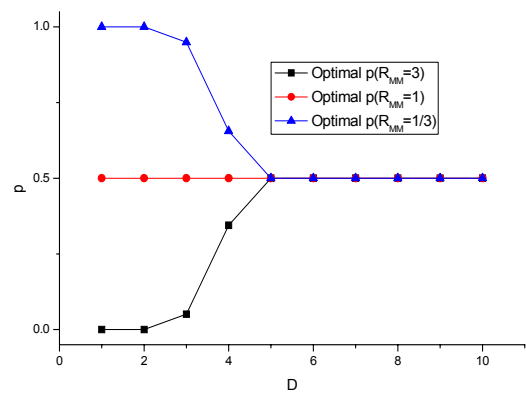


그림 12. Optimal p vs. D ( $T = 10, \lambda = 0.3$ )  
Fig. 12. Optimal p vs. D ( $T = 10, \lambda = 0.3$ )

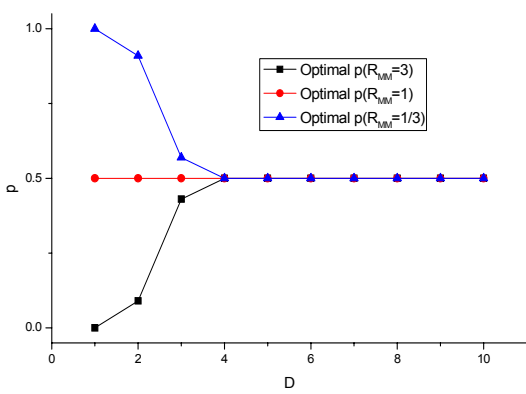


그림 13. Optimal p vs. D ( $T = 10, \lambda = 0.5$ )  
Fig. 13. Optimal p vs. D ( $T = 10, \lambda = 0.5$ )

은 서로 다르다.

그림 11, 그림 12, 그림 13은  $R_{MM}$ 과  $\lambda$ 값에 따른 최적의  $p$ 값을 보여준다.  $D$  또는  $\lambda$ 중 하나의 증가로 도메인이 감소하기 때문에, 최적의  $p$ 값은 0.5로 빨라지는 것을 보여준다. 이 때문에 수식(9)에서, 총 지연시간 제약조건을 보장할 수 없을 때  $p = 0.5$ 로 하고 그것은 도메

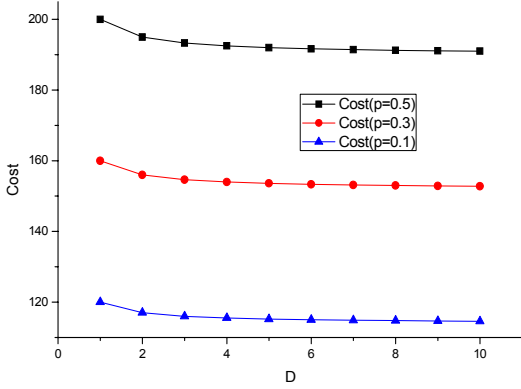


그림 14. Cost vs. D ( $R_{MM} = 3$ )  
Fig. 14. Cost vs. D ( $R_{MM} = 3$ )

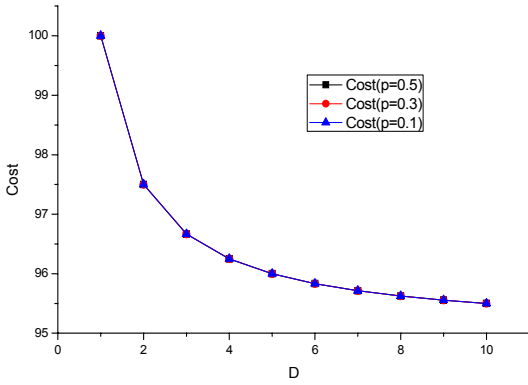


그림 15. Cost vs. D ( $R_{MM} = 1$ )  
Fig. 15. Cost vs. D ( $R_{MM} = 1$ )

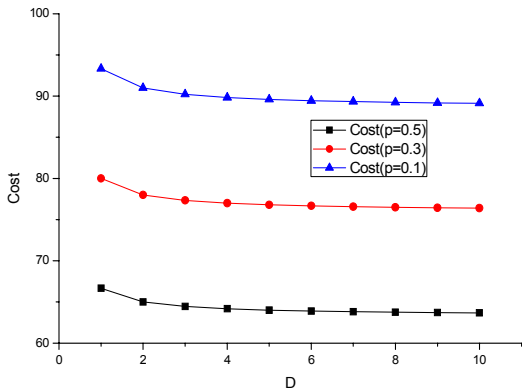


그림 16. Cost vs. D ( $R_{MM} = 1/3$ )  
Fig. 16. Cost vs. D ( $R_{MM} = 1/3$ )

인의 바깥이다. 그림에서 보여진 것과 같이, 총 지연시간 제약조건이 보장되지 않을 때 매크로큐 이상으로 가면 큰  $R_{MM}$ 은 값이 큰 최적의  $p$ 값을 발생시키고, 이 상황에서 인위적으로  $p$ 는 0.5와 같게 한다.

그림 14, 그림 15, 그림 16은 서로 다른  $R_{MM}$ 과  $p$ 값에

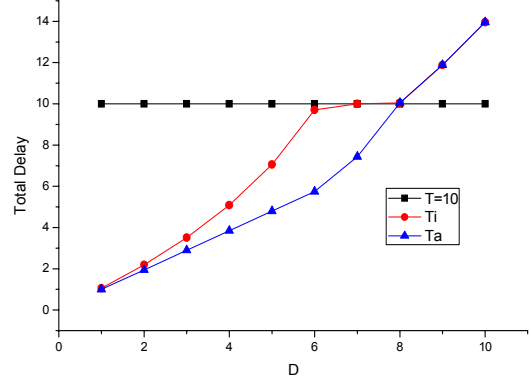


그림 17. Total Delay vs. D ( $\lambda = 0.1, R_{MM} = 3$ )  
Fig. 17. Total Delay vs. D ( $\lambda = 0.1, R_{MM} = 3$ )

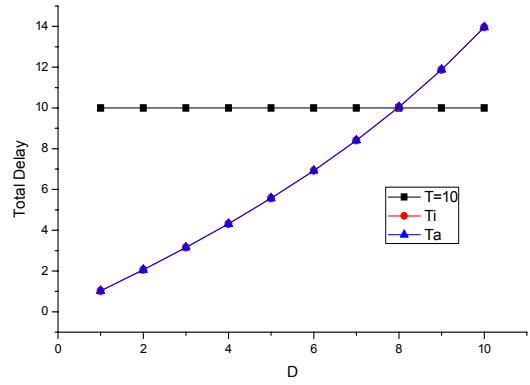


그림 18. Total Delay vs. D ( $\lambda = 0.1, R_{MM} = 1$ )  
Fig. 18. Total Delay vs. D ( $\lambda = 0.1, R_{MM} = 1$ )

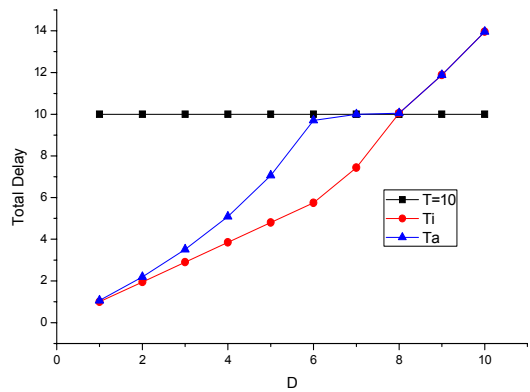


그림 19. Total Delay vs. D ( $\lambda = 0.1, R_{MM} = 1/3$ )  
Fig. 19. Total Delay vs. D ( $\lambda = 0.1, R_{MM} = 1/3$ )

대한 총 비용을 보여준다. 그림에서 보여진 것과 같이, 최적의  $p$ 값은 실제로 최소한의 비용을 만들어 낸다.  $R_{MM}=1$ 일 때 비용은 감소한다. 그러나 D가 커질 때 감소의 정도는 작아진다. 즉 D값이 커질 때 곡선은 수평이 된다. 따라서 비용 감소의 이점을 무시하기 때문

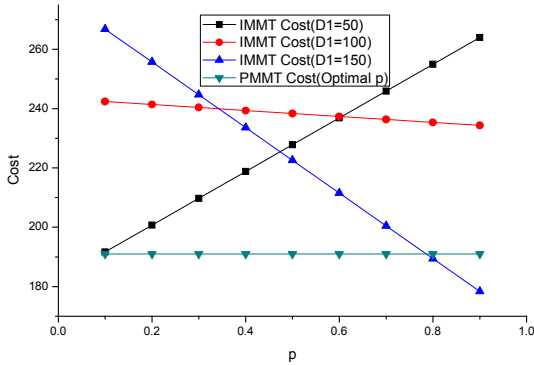


그림 20. Cost vs. D ( $T=10, D=10, R_{MM}=3$ )  
Fig. 20. Cost vs. D ( $T=10, D=10, R_{MM}=3$ )

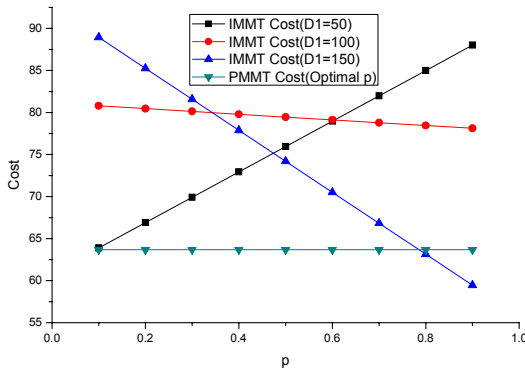


그림 21. Cost vs. D ( $T=10, D=10, R_{MM}=1/3$ )  
Fig. 21. Cost vs. D ( $T=10, D=10, R_{MM}=1/3$ )

에 D는 너무 큰 값을 선택할 수 없다.

그림 17, 그림 18, 그림 19는 최적의  $p$  값을 이용할 때, 서로 다른  $R_{MM}$  값에 의한 총 지연시간을 보여준다. 그림에서 보여진 것과 같이 D가 8이 될 때까지 총 지연시간 제약조건  $T=10$ 이 보장되지만 9이상은 보장되지 않는다는 것을 보여준다.

그림 20, 그림 21은 비용의 측면에서 최적의  $p$  값으로 IMMT 기법과 PMMT 기법을 비교한다. 그림에서 보여진 것과 같이  $D_1 < 150$  또는  $p < 0.8$  일 때에는 PMMT 기법이 비용의 측면에서 IMMT 기법보다 더 낮지만  $D_1 \geq 150$  이고  $p \geq 0.8$  이면 PMMT 보다 IMMT 가 더 낮다는 것을 보여준다.

## V. 결 론

이 논문에서 매크로셀-마이크로셀 계층적 LTE 네트워크에 대해 두가지로 매크로-마이크로 트래킹 기법을 제한한다. Pure Macro-Micro Tracking(PMMT) 기법

과 Integrated Macro-Micro Tracking(IMMT) 기법이 다. 매크로셀 계층과 마이크로셀 계층 사이의 최적의 트래킹 로드밸런스가 연구 되었고 다음과 같은 결과를 얻었다.

·PMMT 기법에 대해, (1) D 증가로 도메인이 작아진다. (2) 총 지연시간 제약조건 T 증가, 도메인 증가 (3) 큰  $R_{MM}$  값이 큰 최적의  $p$  값을 발생 (4) 최적의  $p$  값은 최소의 비용을 만든다. (5) D가 큰 경우 비용 감소의 이점을 무시하기 때문에 D는 너무 큰 값을 선택해서는 안된다. (6) 최적의  $p$  값이 이용되어질 때 총 지연시간 제약조건은 보장할 수 있다.

·비용의 측면에서는  $D_1 < 150$  이거나  $p < 0.8$  이면 IMMT 기법보다 PMMT 기법이 더 낮다. 그러나  $D_1 \geq 150$  이고  $p \geq 0.8$  이면 PMMT 기법보다 IMMT 기법이 더 낮다.

## REFERENCES

- [1] Third Generation Partnership Project; Technical specification Group Services and System Aspect. "General Packet Radio Service (GPRS) enhancements for Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network(E-UTRAN) access, (Release 10)," 3GPP TS 23.401 version 10.7.0 March 2012.
- [2] 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, pp. 629-638, Aug. 1996.
- [3] Z. Mao and C. Douligeris, "A location-based mobility tracking scheme for PCS networks," Computer Commun., pp. 1729-1739, Dec. 2000.
- [4] W. Wang, I. F. Akyildiz, and G. Stuber, "An optimal partition algorithm for minimization of paging costs," IEEE Commun. Lett., vol. 5, no. 2, pp. 42-45, Feb. 2001.
- [5] G. L. Lyberopoulos, J. G. Markoulidakis, D. V. Polymeros, D. F. Tsirkas, and E. D. Sykas, "Intelligent paging strategies for third generation mobile telecommunication systems," IEEE Trans. Veh. Technol., vol. 44, no. 3, pp. 543-553, Aug. 1995.
- [6] W. Wang, I. F. Akyildiz, G. L. Stuber, and B.-Y. Chung, "Effective paging schemes with delay bounds as QoS constraints in wireless systems," Wireless Networks, vol. 7, pp.

- 455-466, Sep. 2001.
- [7] C. Rose and R. Yates, "Minimizing the average cost of paging under delay constraints," *Wireless Networks*, vol. 1, no. 2, pp. 211-219, June 1995.
- [8] C. Rose, "Minimizing the average cost of paging and registration: A timer-based method," *Wireless Networks*, vol. 2, no. 2, pp. 109-116, June 1996.
- [9] A. Abutaleb and Victor O. K. Li, "Paging strategy optimization in personal communication systems," *Wireless Networks*, vol. 3, no. 3, pp. 195-204, May 1997.
- [10] Y. Xiao, H. Chen, and M. Guizani, "Performance evaluation of pipeline paging under paging delay constraint for wireless systems," *IEEE Trans. Mobile Comput.*, vol. 5, no. 1, pp. 64-76, Jan. 2006.
- [11] L. Hu and S. S. Rappaport, "Personal communication systems using multiple hierarchical cellular overlays," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 13, no. 2, pp. 406-415, Feb. 1995.
- [12] L.-C. Wang, G. L. Stuber, and C.-T. Lea, "Architecture design, frequency planning, and performance analysis for a macrocell/microcell overlaying system," *IEEE Trans. Veh. Technol.*,
- [13] 성홍석, "호 유지 시간에 따른 계층 셀룰라 시스템의 성능 분석," *대한전자공학회, 전자공학회논문지-IE*, 제41권 4호, 61-67쪽 2004년 12월
- [14] 김영현, 이장희, 신민수, 백상현, "Beyond 4G 시스템에서의 모바일 핫스팟 네트워크 이동성 관리기술," *대한전자공학회, 전자공학회지*, 제39권 3호, 31-38쪽, 2012년 3월
- [15] 송평중, 고영조, 임선배, "LTE-Advanced 표준 기술 동향," *대한전자공학회, 전자공학회지*, 제36권 1호, 52-63쪽, 2009년 1월
- [16] 김경호, "LTE 단말 모뎀 기술 및 동향," *대한전자공학회, 전자공학회지*, 제36권 2호, 105-120쪽, 2009년 2월
- [17] T. Rappaport, *Wireless Communications: Principles and Practice*. Prentice Hall, 1996.
- [18] J. C.- I. Chuang, "Performance Issues and Algorithms for Dynamic Channel Assignment," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 11, no. 6, pp. 955-963, Aug. 1993.
- [19] M. Zhang, T.- S. P. Yum, "Comparisons of Channel-Assignment Strategies in Cellular Mobile Telephone Systems," *IEEE Trans. Vehic. Tech.*, vol. 38, no. 4, pp. 211-215, Nov. 1989.
- [20] T. J. Kahwa and N. D. Georganas, "A Hybrid Channel Assignment Scheme in Large-Scale, Cellular-Structured Mobile Communication Systems," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-26, no. 4, pp. 432-438, Apr. 1978.
- [21] H. Jiang and S.S. Rappaport, "CBWL: A New Channel Assignment and Sharing Method for Cellular Communication Systems," *IEEE Trans. Vehic. Tech.*, vol. 43, no.2, pp. 313-322, May 1994.
- [22] B. Eklundh, "Channel Utilization and Blocking Probability in a Cellular Mobile Telephone System with Directed Retry," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 34, no. 4, pp. 329-337, Apr. 1986.
- [23] J. Karlsson and B. Eklundh, "A Cellular Mobile Telephone System with Load Sharing-An Enhancement of Directed Retry," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 37, no. 5, pp. 530-535, May 1989.
- [24] W. Yue, "Analytical Methods to Calculate the Performance of a Cellular Mobile Radio Communication System with Hybrid Channel Assignment," *IEEE Trans. Vehic. Tech.*, vol. 40, no. 2, pp. 453-460, May 1991.
- [25] H. Wu, C. Qiao, S. De, and O. K. Tonguz, "Integrated Cellular and Ad-Hoc Relay Systems: iCAR," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 19, no. 10, pp. 2105-2115, Oct. 2001.
- [26] E. Yanmaz and O. K. Tonguz, "Dynamic Load Balancing and Sharing Performance of Integrated Wireless Networks," *IEEE JSAC Special issue on Advanced Mobility Management and QoS Protocols for Next Generation Wireless Internet*, vol. 22, no. 5, pp. 862-872, June 2004.
- [27] A. Hills and B. Friday, "Radio resource management in wireless LANs," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 42, no. 12, pp. 9 - 14, Dec. 2004.
- [28] H. Gong and J. Kim, "Dynamic load balancing through association control of mobile users in Wi-Fi networks," *IEEE Trans. Consumer Electron.*, vol. 54, no. 2, pp. 342 - 348, May 2008.
- [29] Y. Matsunaga and R. H. Katz, "Inter-domain radio resource management for wireless LANs," *Proc. IEEE Wireless Commun. Networking Conf.(WCNC 2004)*, vol. 4, pp. 2183 - 2188, 2004.
- [30] H. Jeounglak, K. JiYeon, K. Jin-Up, and K. Sang-Ha, "Dynamic load balancing architecture in heterogeneous wireless network environment," *Communications and Information Technology, ISCIT 2009. 9th International Symposium*, pp. 248 - 253, 2009.
- [31] X. Jiang and I. Howitt, "Multi-domain WLAN

load balancing in WLAN/WPAN interference environments,” IEEE Trans. on Wireless Communications, vol. 8, no. 9, pp. 4884 - 4894, Sep. 2009.

- [32] 성홍석, “핸드오프 호를 위한 버퍼의 대기 시간에 대한 연구,” 대한전자공학회, 전자공학회논문지-IE, 제38권 4호, 72-79쪽, 2001년 12월
- [33] L. Kleinrock, Queuing Systems, Volume I: Theory. John Wiley and Sons, 1975.

— 저 자 소 개 —



전 민 수(학생회원)  
2012년~현재 성균관대학교  
컴퓨터공학과 석사과정  
2013년~현재 (주)이글루시큐리티  
선행기술연구소  
기반기술팀  
2010년~2013년 (주)하우리  
엔진개발팀

<주관심분야 : 모바일컴퓨팅, 네트워크 보안, 악성코드, 등>



정 종 필(정회원)-교신저자  
2008년 성균관대학교  
정보통신대학(공학박사)  
2009년 성균관대학교  
컨버전스연구소  
연구교수

2010년~현재 성균관대학교 정보통신대학 겸  
산학협력단, 산학협력중점교수

<주관심분야 : 모바일컴퓨팅, 센서 이동성, 차량  
모바일 네트워크, 스마트기기 보안, 네트워크 보  
안, IT융합, 인터랙션사이언스 등>