

# PCS 네트워크에서 3-레벨 데이터베이스 구조를 위한 효과적인 위치 캐시 기법

## (An Efficient Location Cache Scheme for 3-level Database Architecture in PCS Networks)

한 연 희 \* 송 의 성 \* 황 종 선 \*\* 정 영 식 \*\*\*

(Youn-Hee Han) (Ui-Sung Song) (Chong-Sun Hwang) (Young-Sik Jeong)

**요약** 최근에, 개인 통신 시스템(PCS)에서 증가하는 개인 사용자의 수요에 대처하기 위하여 위치 관리 데이터베이스의 계층적 구조가 제안되어왔다. 특히, 3-레벨 계층적 데이터베이스 구조는 현재 셀룰러 이동 시스템에 쉽게 적용 가능하며, 이 구조에서는 기존 HLR과 VLR 사이에 새로운 부가적 데이터베이스인 지역 위치 데이터베이스 RLR이 위치한다. 본 논문은 이동단말의 위치 관리를 위한 효과적인 캐시 기법인 이중 T-임계값 위치 캐시 기법을 제안한다. 이 기법은 IS-41과 GSM에 적용된 위치 관리 데이터베이스의 2-레벨 구조에 응용할 수 있는 기존 T-임계값 캐시 기법을 확장한 것이다. 제안하는 기법은 2개의 캐시 정보, 즉 현재 피 호출 이동단말을 서비스하고 있는 VLR과 RLR 정보를 함께 이용한다. 이 두개의 캐시 정보를 통하여, 등록 영역(RA)의 지역성과 RLR에 의해 관리되는 영역인 지역 등록 영역(RRA)의 지역성을 동시에 이용할 수 있다. 또한, 제안하는 기법은 두 개의 캐시 정보가 유효한지를 결정하기 위하여 각각에 대응되는 두 개의 임계값을 이용한다. 한편, RRA 상주시간을 모델링하기 위하여, Branching Erlang- $\infty$  분포를 이용하고, 이것을 이용한 비용 분석은 제안하는 기법이 이동단말의 대부분의 유형에 대하여 네트워크와 데이터베이스 비용을 대폭 감소시킴을 보여준다.

**키워드** : 개인 휴대 통신 시스템, 위치 관리, 위치 캐시 스킴

**Abstract** Recently, hierarchical architectures of databases for location management have been proposed in order to accommodate the increase in user population in future personal communication systems. In particular, a 3-level hierarchical database architecture is compatible with current cellular mobile systems. In the architecture, a newly developed additional databases, regional location database(RLR), are positioned between HLR and VLRs. We propose an efficient cache scheme, called the Double T-thresholds Location Cache Scheme. The cache scheme extends the existing T-threshold location cache scheme which is competent only under 2-level architecture of location databases currently adopted by IS-41 and GSM. The idea behind our scheme is to use two pieces of cache information, VLR and RLR serving called portables. The two pieces are required in order to exploit not only locality of registration area(RA) but also locality of regional registration area(RRA) which is the wide area covered by RLR. We also use two threshold values in order to determine whether the two pieces are obsolete. In order to model the RRA residence time, the branching Erlang- $\infty$  distribution is introduced. Our minute cost analysis shows that the double T-threshold location cache scheme yields significant reduction of network and database costs for most patterns of portables.

**Key words** : Personal Communication Systems, Location Management, Location Cache Scheme

\* 이 연구는 정보통신부 대학기초연구 지원사업에 의하여 수행되었음 (2001).

† 비 회 원 : 고려대학교 컴퓨터학과  
yhhan@disys.korea.ac.kr  
ussong@disys.korea.ac.kr

\*\* 종신회원 : 고려대학교 컴퓨터학과 교수

hwang@disys.korea.ac.kr

\*\*\* 종신회원 : 원광대학교 컴퓨터정보통신공학부 교수

ysjeong@wonkwang.ac.kr

논문접수 : 2001년 4월 13일

심사완료 : 2002년 3월 15일

1. 서론

앞으로의 컴퓨팅 시스템은 사용자의 물리적 위치에 관계없이 사용자에게 언제 어느 곳에서나 원하는 정보를 손쉽게 접근할 수 있는 이동 컴퓨팅(mobile computing) 환경을 제공하게 될 것이다. 이동단말 사용자들은 자신이 가입한 네트워크 범위 내에서 계속적인 서비스가 제공되길 원하기 때문에, 이동 컴퓨팅 시스템은 효과적인 이동성 관리를 제공할 필요가 있다.

이동 컴퓨팅 시스템중 많이 사용되는 셀룰라 시스템은 많은 셀(cell)들로 구성되고, 그 셀들은 등록 영역(registration area, RA)으로 그룹지어지며, 이동성 관리는 크게 위치 등록(location registration)과 위치 질의(location query) 절차로 구성된다. 이동단말은 새로운 RA로 이동할 때마다 위치 등록 절차가 수행되며, 임의의 이동단말에서 다른 이동단말로 호가 발생할 때, 위치 질의 절차가 수행된다. 현재 이동성 관리 기법에 대한 2가지 표준이 존재하는데, 하나는 IS-41 [1]이며, 다른 하나는 GSM [2] 방식이다. IS-41은 일반적으로 북미에서 이용되고, GSM은 유럽에서 이용되는데, 두 가지 표준 모두 2-레벨 데이터베이스 계층 모델 즉, HLR(Home Location Register)와 VLR(Visitor Location Register)의 계층적 구성에 기반한다. HLR은 원격 A 링크를 통하여 RSTP에 연결되고, RSTP는 D 링크를 통하여 여러 개의 LSTP들에 연결된다. 다시 각각의 LSTP는 지역 A 링크를 통하여 여러 개의 SSP와 연결되며, VLR과 MSC는 보통 하나의 SSP와 연결된다. 모든 SSP는 정확하게 하나의 RA를 서비스하며, 하나의 RA는 여러 개의 셀들로 구성된다. 그림 1(가)는 이와 같은 일반적인 IS-41의 이동성 관리 참조 모델을 보여주고 있으며, 요즘 많은 연구가 되고 있는 IS-95B

에서도 이동성 관리를 위한 참조 모델은 IS-41 방식을 수정 없이 그대로 이용하고 있다.

이동단말의 수가 증가함에 따라, 짐차 많아지는 위치 관리 관련 네트워크 트래픽을 안전하게 사용하기 위하여, 계층적 데이터베이스 구조가 [3-9]에 연구되어 왔다. 이러한 구조에서, 각 데이터베이스는 특정 지리적 영역을 관리하고, 그 영역에 현재 상주하고 있는 모든 이동단말에 대한 위치 정보를 지니게 된다. 계층의 내부 노드에 있는 지역 데이터베이스는 자신의 자식노드의 데이터베이스가 관할하는 영역에 등록된 모든 이동단말에 대한 위치 정보를 포함한다. 특히, [3]과 [4]에서는 3-레벨 데이터베이스 구조를 소개하며, 이 구조는 현재의 이동성 관리 참조 모델에 가장 쉽게 도입될 수 있음을 강조하고 있다. 이러한 구조는 HLR과 VLR 사이에 새로운 유형의 데이터베이스 도입을 요구하고, 본 논문도 3-레벨 데이터베이스 구조를 사용하며 그 새로운 데이터베이스를 RLR(Regional Location Register)이라고 지칭하겠다. 그림 1(b)는 본 논문에서 제시하는 3-레벨 데이터베이스 모델을 제시한다. 임의의 RLR은 각 LSTP에 한 개씩 설치되고, RLR이 관리하는 영역을 지역 등록 영역(Regional Registration Area, RRA)이라고 하며, RRA는 해당 LSTP에 연결된 SSP/MSC/VLR들이 관리하는 여러 개의 RA들이 모여서 구성된다. 이러한 데이터베이스 구조는 기존의 HLR과 VLR의 배치에 변화를 주지 않으며, 그들이 지닌 위치 관리 절차를 가급적 변하지 않도록 한다. 그러므로, 3-레벨 데이터베이스 구조는 현재의 이동 컴퓨팅 구조에 쉽게 도입될 수 있다.

임의의 이동단말에 대한 착호율에 비해 새로운 RA로의 이동율이 높다면, 이동 관련 비용을 줄이는 것이 중요하다. [10]과 [11]은 그러한 이동 관련 비용을 줄이기 위한 새로운 기법을 제안하고 있다. 반면에, 만약 착호율이 새로운 RA로의 이동율보다 높다면, 질의 비용을 줄이는 것이 중요하다. [12]와 [13]은 그러한 질의 비용을 줄이기 위하여 캐시 기법을 제안한다. 캐시 기법의 기본 개념은 MSC 내의 데이터베이스에 자주 호출되는 이동단말의 위치 정보를 저장하는 것이다. 지금까지의 연구에서 그 위치 정보는 피호출 이동단말이 현재 등록되어 있는 VLR 이었다. 착호가 발생했을 때, 캐시된 피호출 이동단말의 VLR 정보를 이용하면, HLR까지 위치 질의 메시지를 보내지 않기 때문에, 네트워크 트래픽을 줄일 수 있다. 특히, 논문 [13]에서는 T-임계값 위치 캐시 기법이 제안되었는데, 이 기법에서의 임계값 T는 캐시된 VLR 위치 기록이 유효한지를 결정하는 데 이용

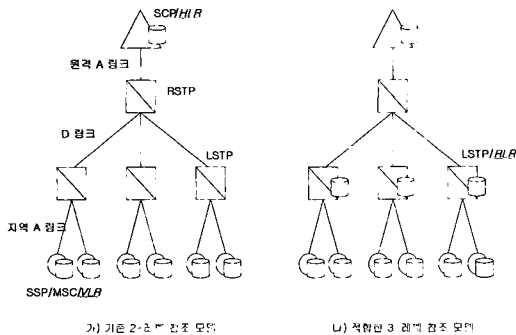


그림 1 IS-41 이동성 관리 참조 모델

된다. T-입계값 위치 캐시 기법은 RA의 지역성을 이용하는 것으로서, 이동단말의 이동패턴에 따라 입계값 T를 동적으로 변화시키며, 캐시 미스(miss)가 나는 확률을 크게 줄일 수 있다.

하지만, 3-레벨 데이터베이스 구조에서는 피호출 이동단말이 여러 개의 RA를 자주 이동한다고 하더라도, 그 이동은 하나의 RRA내에서 이루어질 수 있다. 그러므로, 인의 이동단말이 낮은 RA-지역성을 보인다 하더라도, 이들의 대부분이 상대적으로 높은 RRA-지역성을 보일 수 있다. 이 논문에서는 3-레벨 데이터베이스 구조를 활용하기 위하여 기존의 T-입계값 위치 캐시 기법을 확장하여 이중 T-입계값 위치 캐시 기법을 제안한다. 이 기법에서, 캐시 데이터는 한 쌍의 위치 정보 즉, VLR과 RLR을 포함한다. VLR은 피호출 이동단말이 현재 등록된 데이터베이스이고, RLR은 그 VLR과 직접 연결된 데이터베이스이다. 제안하는 기법은 2개의 입계값을 사용한다. 각각의 입계값은 캐시에 있는 VLR 정보가 유효한지, 그리고 캐시에 있는 RLR 정보가 유효한지를 결정하는 데 이용된다. 캐시에 있는 RLR 정보는 RRA 지역성을 이용하며, VLR 정보는 단일 RA-지역성을 이용하기 때문에, 제안하는 기법은 기존의 T-입계값 위치 캐시 기법에서 HLR로 보내야 했던 그 질의 메시지를 더 줄일 수 있게 되므로, 네트워크와 데이터베이스 비용을 줄일 수 있다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2 장에서는 기존 IS-41에서의 위치 등록과 위치 질의 절차 및 기존의 T-입계값 위치 캐시 기법을 설명한다. 3 장에서는 3-레벨 데이터베이스 구조에 적합한 위치 관리 기법을 설명한다. 4 장에서는 본 논문에서 제안하는 이중 T-입계값 위치 캐시 기법을 소개한다. 그리고 이 제안된 기법에 대한 네트워크와 데이터베이스 비용 비교 분석을 5 장에서 설명한다. 마지막으로 본 논문의 결론을 6 장에 기술한다.

2. 관련 연구

2.1 IS-41에서의 위치 등록과 위치 질의

IS-41에 따르면, HLR은 관련된 이동단말이 상주하는 정확한 MSC 및 VLR을 알고 있으며, 이동단말이 임의의 RA에 들어갈 때, 위치 등록을 수행한다. 그림 2는 위치 등록에 대한 절차를 나타낸다. 그림 2와 함께 앞으로 보게 될 그림 3, 그림 4 및 그림 5에서 각각의  $e_i$ 는 메시지를 보낼 때 발생하는 네트워크 비용을 나타내고, 각각의  $d_r$ ,  $d_h$ ,  $d_r$ ,  $d_h$ 는 각각 VLR, HLR, RLR

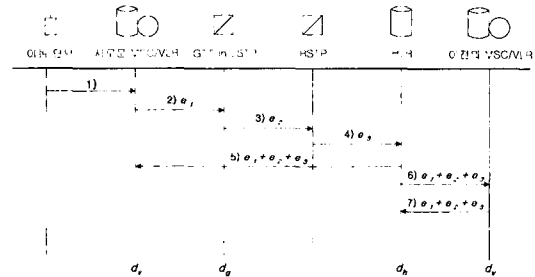


그림 2 IS-41에서 위치 등록 절차

및 GTT(Global Title Translation)를 위한 데이터베이스에 접근하거나 갱신하는 비용을 가리킨다. 이들 매개 변수는 5장의 표 1에서 자세하게 설명한다. IS-41에서의 위치 등록에 대한 절차는 다음과 같다.

- 1) 이동단말이 새로운 RA에 들어가고, 위치 등록 메시지를 그 영역에 위치한 MSC에게 보낸다.
- 2) MSC는 이동단말과 관련된 VLR을 갱신하고, 위치 등록 메시지를 HLR에 보낸다.
- 3) 이 메시지는 LSTP에 전달되어 GTT 검색 절차에 의한 이동단말의 HLR을 결정한다.
- 4) 이 메시지는 해당 HLR에 연결된 RSTP를 경유하여 최종적으로 HLR에 전달된다.
- 5) HLR은 자신의 기록을 갱신하고, 등록 확인 메시지를 새로운 MSC에게 보낸다.
- 6) HLR은 등록 취소 메시지를 이전의 MSC에게 보낸다.
- 7) 이전의 MSC는 자신과 관련된 VLR에서 이동단말의 기록을 삭제하고, HLR에 취소 확인 메시지를 보낸다.

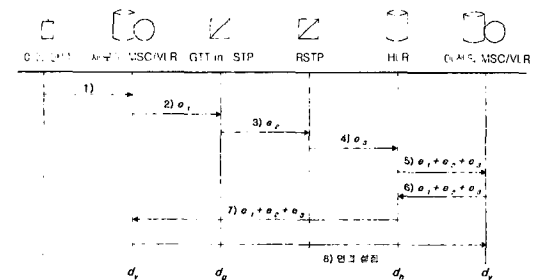


그림 3 IS-41에서 위치 질의 절차

그림 3은 위치 질의에 대한 절차를 보여준다. IS-41에서의 위치 질의 절차는 다음과 같다.

- 1) 호출 이동단말은 위치 질의 메시지를 요청하고, 지국은 그 요청을 MSC에 전달한다.
- 2) MSC는 위치 요청 메시지를 HLR에 보낸다.
- 3) 이 메시지는 LSTP에 전달되며 GTT 검색 절차에 의해 이동단말의 HLR을 결정한다.
- 4) 이 메시지는 해당 HLR에 연결된 RSTP를 경유하여 최종적으로 HLR에 전달된다.
- 5) HLR은 위치 요청 메시지를 피호출 이동단말을 관리하는 MSC에게 보낸다.
- 6) MSC는 피호출 이동단말의 셀 위치를 결정하고, HLR에게 위치 정보를 보낸다.
- 7) HLR은 위치 정보를 호출 MSC에게 보낸다.
- 8) 호출 MSC는 위치 정보를 이용하여 피호출 MSC와 연결을 설정한다.

위의 위치 질의 절차는 호출 단말과 피호출 단말이 다른 RA에 존재한다고 가정하는 것이다. 만약 이들이 동일한 RA에 존재한다면, 피호출 이동단말의 정보를 같은 MSC/VLR에서 찾을 수 있기 때문에 HLR에 대한 질의는 필요하지 않다.

## 2.2 기존 T-입계값 위치 캐시 기법

위치 캐시 기법은 피호출 이동단말의 위치를 MSC에 캐시함으로써 위치 질의를 위한 네트워크 트래픽 비용과 데이터베이스 접근 비용을 줄이는 기법이다. 그 캐시 정보는 피호출 이동단말이 현재 등록되어 있는 VLR 식별자를 포함한다.

논문 [13]에서, 임계값  $T$ 는 해당 캐시 정보를 적용할 수 있는 시간 범위를 지니며, 그 임계값은 해당 캐시 정보를 이용해야 할지를 결정하는 기준으로서 이용된다. 임의의 이동단말  $p$ 에 대해서, MSC는 자신의 캐시에  $ct_p$ 와  $l_p$  레코드를 함께 유지한다.  $ct_p$ 는 이동단말  $p$ 로의 마지막 호출 시각을 지니며,  $l_p$ 는 피호출 이동단말이 시각  $ct_p$ 에 등록되어져 있던 VLR을 지낸다.

이제, 임의의 MSC에서 시각  $t$ 에 이동단말  $p$ 로의 호가 발생했다고 가정하자.

경우 1. 만약  $t - ct_p \leq T$  이면,  $p$ 의 위치를 찾기 위하여  $l_p$  를 이용한다.

경우 1-1. 만약  $p$ 가  $l_p$  가 가리키는 VLR에서 발견된다면, 캐시 적중(hit)이 발생한 것이며,  $ct_p$ 에 시각  $t$  값이 할당된다.

경우 1-2. 그렇지 않다면 캐시 미스(miss)가 발생한 것이며, 다시 IS-41 기법의 위치질의 절차를 수행된다. 위치가 발견된 이후에,  $l_p$ 에는 현재 이동단말이 등록되어 있는 VLR이 할당되며,  $ct_p$ 에 시각  $t$  값이 할당된

다.

경우 2. 만약  $t - ct_p > T$  이거나 레코드가 존재하지 않을 경우, IS-41 위치 질의 절차가 곧 바로 수행된다. 위치가 발견된 이후에,  $l_p$ 에는 현재 이동단말이 등록되어 있는 VLR이 할당되며,  $ct_p$ 에 시각  $t$  값이 할당된다.

만약 경우 1에서 캐시 적중이 발생한다면, 이동단말을 찾는 비용이 낮아짐이 분명하다. 반면에, 캐시 미스가 발생하면 피호출 이동단말의 현재 위치를 찾기 위하여 IS-41 방식보다 추가적인 비용이 발생한다. 만약 이동단말이 높은 CMR(Call-to-Mobility Ratio)과 높은 RA-지역성을 보인다면, 캐시 히트는 자주 발생하게 될 것이며, 위치 질의 비용은 IS-41 보다 상당히 낮아질 것이다.

## 3. 3-레벨 데이터베이스 구조에서의 위치 관리

3-레벨 데이터베이스 구조는 기존의 2-레벨 데이터베이스 구조에서 HLR과 VLR 사이에 새로운 데이터베이스 RLR을 추가로 두어 이동단말들에 대한 호 지역성 및 이동 지역성을 통하여 비용절감을 얻고자 제안되었다. 이 구조에서 이동단말은 동일한 RRA 내의 인접한 RA로 이동할 때, 그 RRA 내에 있는 RLR만을 갱신한다. 게다가, 동일한 RRA 내의 인접한 이동단말에 대한 위치 질의 절차에서도 상위에 있는 HLR에 접근할 필요가 없다. 그러므로 3-레벨 데이터베이스 구조는 증가하는 네트워크 트래픽을 감소시키고, 데이터베이스 사이의 접근과 갱신에 균형이 잡히도록 해준다.

그림 4는 3-레벨 데이터베이스 구조하에서 위치 등록에 대한 절차를 보여준다. 그 위치 등록 절차는 다음과 같다.

1) 이동단말이 새로운 RA에 들어가고, 위치 등록 메시지를 그 영역에 위치한 MSC에게 보낸다.

2) MSC는 이동단말과 관련된 VLR을 갱신하고, 위치 등록 메시지를 RLR에 보낸다.

3) 만약 RRA내의 이동이 발생했다면, 다음의 절차를 수행한다.

3-1) RLR이 새로운 MSC를 가리키도록 이동단말에 대한 레코드를 갱신한다. 그리고, RLR은 등록 확인 메시지를 새로운 MSC에 보낸다.

3-2) RLR은 등록 취소 메시지를 이전의 MSC에 보낸다.

3-3) 이전의 MSC는 자신과 관련된 VLR에서 이동단말의 기록을 삭제하고, RLR에 취소 확인 메시지를 보낸다.

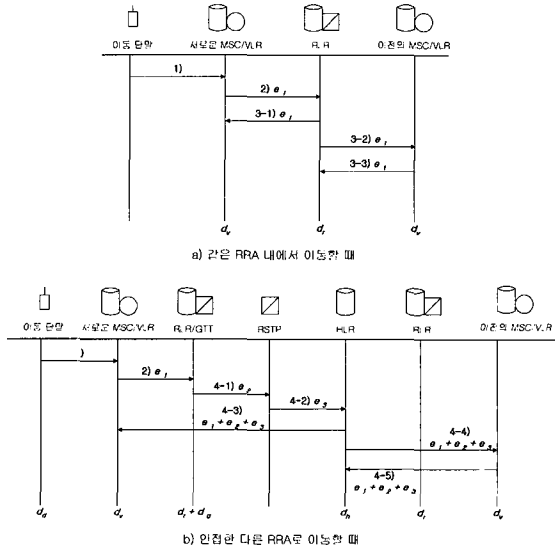


그림 4 3-레벨 데이터베이스 구조에서 위치 등록 절차

4) 만약 서로 다른 RRA 사이에 이동이 발생했다면, 다음을 따른다.

4-1) 새로운 RLR은 이동단말이 새롭게 이동한 MSC를 가리키기 위해 그 이동단말에 대한 레코드를 갱신하고, RLR과 함께 있는 LSTP에서 GTT 검색 절차를 이용하여 이동단말의 HLR을 결정한다.

4-2) 이 메시지는 해당 HLR과 연결된 RSTP를 경유하여 최종적으로 HLR에 전달된다.

4-3) HLR은 새로운 RLR을 가리키기 위해 그 이동단말에 대한 레코드를 갱신하고, 새로운 MSC에 등록 확인 메시지를 보낸다.

4-4) HLR은 등록 취소 메시지를 이전 RLR에게 보내고, 이전의 RLR은 이 메시지를 받는 즉시 해당 이동단말에 대한 레코드를 삭제한다. 그리고, 이 메시지는 이전의 MSC로 전달된다.

4-5) 이전 VLR은 이동단말에 대한 레코드를 삭제하고, HLR에 취소 확인 메시지를 보낸다.

그림 5는 3-레벨 데이터베이스 구조에서의 위치 질의에 대한 절차를 보여준다. 그 위치 질의 절차는 다음과 같다.

- 1) 호출 이동단말은 위치 질의 메시지를 요청하고, 기지국은 그 요청을 MSC에 전달한다.
- 2) MSC는 위치 요청 메시지를 HLR에 보낸다.
- 3) 만약 피호출 이동단말이 호출한 이동단말과 동일한 RRA에 상주하고 있다면, 다음 절차를 수행한다.

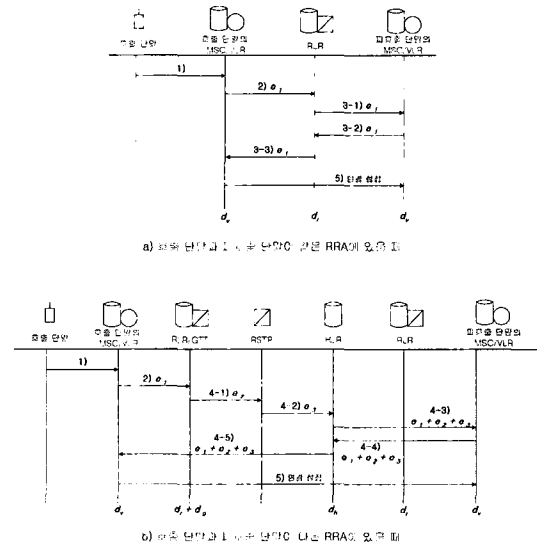


그림 5 3-레벨 데이터베이스 구조에서 위치 질의 절차

3-1) RLR은 위치 요청 메시지를 피호출 이동단말을 관리하는 MSC에게 보낸다.

3-2) MSC는 피호출 이동단말의 셀 위치를 결정하고, RLR에 그 위치 정보를 보낸다.

3-3) RLR은 호출 단말을 관리하는 MSC에게 그 위치 정보를 보낸다.

4) 만약 피호출 이동단말이 호출한 이동단말과 다른 RRA에 상주한다면, 다음 절차를 수행한다.

4-1) 그 위치 요청 메시지는 LSTP에 전달되며 GTT 검색 절차에 의해 이동단말의 HLR을 결정한다.

4-2) 이 메시지는 해당 HLR에 연결된 RSTP를 경유하여 최종적으로 HLR에 전달된다.

4-3) HLR은 위치 요청 메시지를 피호출 이동단말을 관리하는 RLR에게 보내고, 이 메시지는 피호출 이동단말을 관리하는 MSC로 전달된다.

4-4) MSC는 피호출 이동단말의 셀 위치를 결정하고, RLR에게 위치 정보를 보내고, 이 메시지는 HLR까지 전달된다.

4-5) HLR은 그 위치 정보를 호출 단말을 관리하는 MSC에 보낸다.

5) 호출 단말을 관리하는 MSC는 위치 정보를 이용하여 피호출 단말을 관리하는 MSC와 연결을 설정한다.

#### 4. 3-레벨 데이터베이스 구조에서의 이중 T-임계값 위치 캐시 기법

이번 장에서는 본 논문에서 제안하는 이중 T-임계값 위치 캐시 기법을 자세하게 설명한다. 이 기법에서는 임의의 이동단말에 대하여, 두 개의 임계값,  $T_V$ 와  $T_R$ 을 정의한다.  $T_V$ 는 상대적으로 좁은 RA의 지역성을 이용하기 위한 임계값이며,  $T_R$ 은 상대적으로 넓은 RRA의 지역성을 이용하기 위한 임계값이다.

모든 MSC는 캐시 정보를 저장하기 위한 데이터베이스를 지닌다. 그 데이터베이스에는 임의의 이동단말  $p$ 에 대하여 다음의 3개의 레코드,  $ct_p$ ,  $lw_p$ ,  $lr_p$ 를 캐시에 유지한다.

$ct_p$  : 이동단말  $p$ 로의 마지막 호출 시간

$lw_p$  : 시각  $ct_p$ 에  $p$ 를 서비스했던 VLR

$lr_p$  : 시각  $ct_p$ 에  $p$ 를 서비스했던 RLR

이제, 임의의 MSC에서 시각  $t$ 에 이동단말  $p$ 로의 호가 발생했다고 가정하자.

경우 1. 만약  $t - ct_p \leq T_V$  이면,  $p$ 의 위치를 찾기 위하여  $lw_p$ 를 이용한다.

경우 1-1. 만약  $p$ 가  $lw_p$ 가 가리키는 VLR에서 발견된다면, 캐시 적중이 발생한 것이며,  $ct_p$ 에 시각  $t$  값이 할당된다.

경우 1-2. 그렇지 않다면 캐시 미스가 발생한 것이며, 경우 3의 절차가 수행된다.

경우 2. 만약  $T_V < t - ct_p \leq T_R$ 이면,  $p$ 의 위치를 찾기 위하여  $lr_p$ 를 이용한다.

경우 2-1. 만약  $p$ 가  $lr_p$ 가 가리키는 RLR 및 그 RLR이 가리키는 VLR을 순차적으로 검색하여 발견된다면, 캐시 적중이 발생한 것이며,  $ct_p$ 에 시각  $t$  값이 할당된다. 만약, 발견된 VLR이 현재의  $lw_p$ 와 다르다면,  $lw_p$ 에 새롭게 발견된 그 VLR이 할당된다.

경우 2-2. 그렇지 않다면 캐시 미스가 발생한 것이며, 경우 3의 절차들이 수행된다.

경우 3.  $t - ct_p > T_R$  이거나 레코드가 존재하지 않을 경우, 3-레벨 데이터베이스의 일반적인 위치 질의 절차가 곧 바로 수행된다. 위치가 발견된 이후에,  $lw_p$ 에 현재 이동단말이 등록되어 있는 VLR이 할당되고,  $lr_p$ 에 그 VLR과 연결된 RLR이 할당되며,  $ct_p$ 에 시각  $t$  값이 할당된다.

만약 경우 1-1이나 2-1이 많이 발생한다면, 이동단말에 대한 위치 질의 비용은 명백히 낮아진다. 반면에, 경우 1-2나 2-2가 많이 발생한다면, 피호출 이동단말의 위치를 찾기 위한 비용이 3-레벨 데이터베이스 구조에서 일반적인 위치 질의 절차 비용보다 높아진다. 그러

나, 실제로 임의의 이동단말은 어느 정도 높은 RA 및 RRA-지역성을 지니기 때문에, 경우 1-1과 2-1과 같은 캐시 적중이 자주 발생하게 된다. 게다가, 이동단말의 CMR 값도 높다면, 제안하는 기법은 큰 비용 절감 효과를 보여줄 수 있다.

## 5. 이중 T-임계값 위치 캐시 기법의 비용 분석

### 5.1 분석 모델

두 개의 연속적인 호 발생 사이 시간, RA 상주시간, RRA 상주시간을 각각  $t_c$ ,  $t_v$ ,  $t_r$ 이라는 i.i.d(independent and identically distributed) 확률변수로서 정의하고,  $t_c$ ,  $t_v$ ,  $t_r$ 의 밀도 함수를 각각  $f_c(t)$ ,  $f_v(t)$ ,  $f_r(t)$ 이라고 정의하자. 여기서  $t_c$ 와  $t_r$ 는 평균으로서  $\lambda_c$ 와  $\lambda_r$ 를 지니는 지수분포를 따른다고 가정한다. 임의의 이동단말에 대해서, RRA 이동율(RRA inter-moving rate)을  $1 - \emptyset$ 로 정의하며, 이것은 임의의 이동단말들이 RA 사이를 이동할 때, RRA도 함께 이동하는 횟수를 전체 이동 횟수로 나눈 값이다. 또한, RRA 원격 호출율(RRA remote calling rate)을  $1 - \Omega$ 로 정의하며, 이것은 임의의 이동단말들이 다른 이동단말로 호를 발생할 때, 그 두 개의 이동단말이 서로 다른 RRA에 위치하게 되는 횟수를 전체 호출 횟수로 나눈 값이다. 그러므로,  $\emptyset$ 와  $\Omega$ 는 각각 RRA 내부 이동율(RRA intra-moving rate)과 RRA 지역 호출율(RRA local calling rate)을 가리킨다.

임의의 이동단말이  $n$ 개의 RA를 이동한 후에 RRA를 떠난다고 가정하자.  $t_r$ 은 이동단말이 임의의 RRA에 들어간 뒤에  $n$ 번의 RA 이동을 한 후 다른 RRA로 이동할 때까지의 경과 시간이 되므로,  $t_r$ 은 Erlang- $n$  분포를 따른다고 가정할 수 있다.  $t_r$ 을 이동단말  $p$ 가 임의의 RRA내에서  $i$ 번째 RA에서의 상주시간이라고 가정하고,  $E[t_r] = 1/\lambda_r$ 이라고 가정하자. 그러면,  $t_r = t_{r1} + t_{r2} + \dots + t_{rn}$ 이고, 이것의 평균은  $n/\lambda_r$ 가 된다. 한편 Erlang- $n$  분포의 밀도 함수는

$$\frac{\lambda_r (\lambda_r t)^{n-1}}{e^{-\lambda_r t} (n-1)!} \quad (1)$$

이다.

일반적인 경우, 이동단말의 이동성 모델링(mobility modeling)은 이동단말의 이동 방향과 속도에서의 변화를 고려해야 한다[14]. 이동단말의 이동 방향과 속도가 모두 비결정적 변수이므로, 이동단말의 경로는 확률적 궤적(random trajectory)이 되며, 이동 방향과 속도에

있어서의 변화는 RRA내에서 이동한 RA의 수의 변화에 큰 영향을 미친다. 이동단말이 이동 방향을 자주 바꾼다면, 이동한 RA 수를 사실상 증가시키게 된다. 그 반대로, 이동단말의 속도가 크다면, 이동한 RA 수를 사실상 감소시키게 된다. 따라서, 이동단말에 대한 Erlang- $n$  분포에서 교차하는 RA의 수인  $n$  값을 결정하는 것은 어렵다.

이런 사실들을 고려해볼 때, RRA 상주 시간인  $t_r$ 은 Erlang 분포의 일반화된 분포인 Branching Erlang  $\infty$  분포를 따라야 한다. 이동단말이 임의의 RRA 내의 가능한 모든 RA를 계속해서 이동하는 아니라, 임의의 RA에서 해당 RRA를 떠날 수 있다는 점에서 Branching Erlang  $\infty$  분포는 Erlang  $\infty$  분포와 다르다.

이와 같은 가정을 고려해 볼 때,  $t_r$ 은  $1-\phi$  확률로서  $t_r$  값을 가지게 되며,  $\phi(1-\phi)$  확률로서  $t_r + t_r$  값을 가지게 된다.  $t_r$ 의 밀도 함수를 구하기 위한  $\Delta_i$ 와  $\eta_i$ 를 다음과 같이 정의하고,

$$\Delta_i = \sum_{j=1}^i t_{r_j}, \quad \eta_i = \phi^{i-1}(1-\phi)$$

$\Delta_i$ 에 대한  $f_{\Delta}(t)$ 가 다음과 같을 때,

$$f_{\Delta}(t) = \frac{\lambda_r(\lambda_r t)^{i-1} e^{-\lambda_r t}}{(i-1)!}$$

$t_r$ 의 평균값은 다음과 같이 정의되며,

$$E[t_r] = \sum_{i=1}^{\infty} \eta_i \frac{i}{\lambda_r} = \frac{1}{\lambda_r(1-\phi)} \quad (2)$$

$t_r$ 의 밀도 함수  $f_r(t)$ 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} f_r(t) &= \sum_{i=1}^{\infty} \eta_i f_{\Delta}(t) \\ &= (1-\phi)\lambda_r e^{-\lambda_r t} \sum_{i=1}^{\infty} \frac{(\phi\lambda_r t)^{i-1}}{(i-1)!} \\ &= (1-\phi)\lambda_r e^{-(1-\phi)\lambda_r t} \end{aligned} \quad (3)$$

식 (3)으로부터 Branching Erlang  $\infty$  분포를 따르는  $t_r$ 은 결국 평균으로  $(1-\phi)\lambda_r$ 을 지니는 지수분포를 따를 수 있다. 만약 임의의 RRA내에 많은 RA가 있을수록, RRA 내부 이동률인  $\phi$ 는 더 높아지고, 평균 RRA 상주시간도 길어질 것이다. 본 논문에서  $\phi$ 의 값은 제안하는 기법과 기존 기법들의 비용 비교에 있어서 중요한 역할을 차지한다.

RRA 내부 이동률  $\phi$ 을 모델링하기 위해, 논문 [10]에서 소개한 단순 모델을 이용한다. 모든 RA는 정사각형 모양이고, 하나의 RRA가  $k \times k$ 개의 RA로 구성된 정사각형 영역이라고 가정하자. 모든 이동단말은 PCS 서비스 영역에 편중없이 분산되어 있다고 가정한다. 게다가, 이동단말이 하나의 RA를 떠날 때마다, 네 면중 하

나로 떠날 확률은 1/4 로서, 각 면이 동일한 확률로 할당된다. 이 때, 임의의 이동단말  $p$ 에 대하여 다음과 같은 확률 값이 정의된다.

$$\begin{aligned} P[p \text{가 임의의 RRA를 떠남}] &= P[p \text{가 RRA의 경계영역에 속한 RA에 존재}] \\ &\quad \times P[p \text{가 RRA의 경계영역을 이동}] \\ &= \frac{2k+2(k-2)}{k^2} \times \left( \frac{4}{2k+2(k-2)} \times \frac{1}{2} \right. \\ &\quad \left. + \frac{4k-6}{2k+2(k-2)} \times \frac{1}{4} \right) \\ &\approx \frac{1}{k} \\ &= 1-\phi \end{aligned}$$

[10]에서는 각 RRA에 하나의 LSTP에 대응되고, 각 RA는 하나의 SSP에 대응된다고 가정할 때  $k$  값은 7.4로서 정하고,  $\phi$ 의 값은 0.87라고 설명하고 있다. 본 논문에서도  $\phi$ 에 대해서 동일한 값을 채택한다.

임의의 이동단말에 대해서, 두 개의 연속적인 호 발생 사이 시간에 RA를  $K$ 번 이동할 확률을  $\alpha_r(K)$ 라고 가정하고, RRA를  $K$ 번 이동할 확률을  $\alpha_r(K)$ 라고 가정할 때, 이들 값은 [11]로부터 다음과 같이 정의될 수 있다.

$$\alpha_r(K) = \begin{cases} 1 - \frac{\lambda_r}{\lambda_c} (1 - f_r^*(\lambda_c)) & , K=0 \\ \frac{\lambda_r}{\lambda_c} (1 - f_r^*(\lambda_c))^2 (f_r^*(\lambda_c))^{K-1} & , K>0 \end{cases} \quad (4)$$

$$\alpha_r(K) = \begin{cases} 1 - \frac{(1-\phi)\lambda_r}{\lambda_c} (1 - f_r^*(\lambda_c)) & , K=0 \\ \frac{(1-\phi)\lambda_r}{\lambda_c} (1 - f_r^*(\lambda_c))^2 (f_r^*(\lambda_c))^{K-1} & , K>0 \end{cases} \quad (5)$$

여기서,  $f_r^*$ 과  $f_r^*$ 은  $t_r$ 과  $t_r$  분포에 대한 Laplace-Stieltjes 변환이며, 다음과 같이 주어진다.

$$\begin{aligned} f_i^*(s) &= \frac{\lambda_r}{s + \lambda_r} \\ f_r^*(s) &= \frac{(1-\phi)\lambda_r}{s + (1-\phi)\lambda_r} \end{aligned}$$

$\mu_r$ 를 임계값  $T_V$ 와 함께 캐시 적중이 발생할 확률이라고 가정하자. 즉,  $\mu_r$ 는 기존의 T-임계값 기법과 이중 T-임계값 기법 모두에서 경우 1 이 발생할 확률이다.

$$\begin{aligned} \mu_r &= \Pr[t_c \leq T_V] \alpha_r(0) \\ &= \int_0^{T_V} \lambda_c e^{-\lambda_c t} dt \left( 1 - \frac{\lambda_r}{\lambda_c} (1 - f_r^*(\lambda_c)) \right) \\ &= (1 - e^{-\lambda_c T_V}) \frac{\lambda_c}{\lambda_c + \lambda_r} \end{aligned} \quad (6)$$

$\nu_r$ 를 임계값  $T_V$ 와 함께 캐시 미스가 발생할 확률이라고 가정하자. 즉,  $\nu_r$ 는 기존의 T-임계값 기법과 이중 T-임계값 기법 모두에서 경우 2가 발생할 확률이다.

$$\begin{aligned} \nu_r &= \Pr[t_c \leq T_V] (1 - \alpha_r(0)) \\ &= (1 - e^{-\lambda_c T_V}) \frac{\lambda_r}{\lambda_c + \lambda_r} \end{aligned} \quad (7)$$

$\mu_r$ 는 이중 T-임계값 기법에서 경우 2에 해당하는

확률로서 임계값  $T_R$ 과 함께 캐시 적중이 발생할 확률이라고 가정하고, 다음과 같이 정의된다.

$$\begin{aligned} \mu_r &= \Pr[T_V < t_c \leq T_R] \alpha_r(0) \\ &= \int_{T_V}^{T_R} \lambda_c e^{-\lambda_c t} dt \left(1 - \frac{(1-\phi)\lambda_v}{\lambda_c} (1 - f_r^*(\lambda_c))\right) \quad (8) \\ &= \frac{(e^{-\lambda_c T_V} - e^{-\lambda_c T_R}) \lambda_c}{\lambda_c + (1-\phi)\lambda_v} \end{aligned}$$

$\nu_r$ 은 이중 T-임계값 기법에서 경우 2-2에 해당하는 확률로서 임계값  $T_R$ 과 함께 캐시 미스가 발생할 확률이라고 가정하고, 다음과 같이 정의된다.

$$\begin{aligned} \nu_r &= \Pr[T_V < t_c \leq T_R] (1 - \alpha_r(0)) \\ &= \frac{(e^{-\lambda_c T_V} - e^{-\lambda_c T_R}) (1-\phi)\lambda_v}{\lambda_c + (1-\phi)\lambda_v} \quad (9) \end{aligned}$$

캐시에 존재하는 레코드가  $T_V$  및  $T_R$ 과 함께 유효하지 않을 확률을  $x'$ 과  $x''$ 라 하자. 즉,  $x'$ 는 기존 T-임계값 기법에서 경우 3에 해당하는 확률이며,  $x''$ 는 제안하는 이중 T-임계값 기법에서 경우 3에 해당하는 확률이다.

$$\begin{aligned} x' &= \Pr[t_c > T_V] \\ &= \int_{T_V}^{\infty} \lambda_c e^{-\lambda_c t} dt = e^{-\lambda_c T_V} \quad (10) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x'' &= \Pr[t_c > T_R] \\ &= \int_{T_R}^{\infty} \lambda_c e^{-\lambda_c t} dt = e^{-\lambda_c T_R} \quad (11) \end{aligned}$$

2, 3, 4 장에서 설명한 기존 기법들 및 제안하는 기법에 대하여 위의 6개의 확률  $\mu_r, \nu_r, \mu_r, \nu_r, x', x''$ 들은 앞으로 설명하게 될 네트워크 및 데이터베이스 비용의 비교 분석을 위해 사용된다.

**5.2 비용 분석**

비용 분석을 위해서 이 논문에서는 3-레벨 데이터베이스 구조를 기본 구조로 택하고, 기존 T-임계값 기법과 비교하여 이중 T-임계값 기법에 의해 얻어지는 네트워크와 데이터베이스 비용 감소가 어느 정도 인지를 알아본다.

표 1은 네트워크 비용과 데이터베이스 접근 및 갱신에 대한 비용을 나타내는 매개변수를 설명한다.  $CSN$ 과  $CSD$ 를 캐시를 사용하지 않는 IS-41 데이터베이스 구조에서의 위치 질의 비용 중 각각 네트워크 및 데이터베이스 비용이라고 가정하고,  $CSN_H$ 과  $CSD_H$ 를 캐시를 사용하지 않는 3-레벨 데이터베이스 구조에서의 위치 질의 비용 중 각각 네트워크 및 데이터베이스 비용이라고 가정하자. 2 장과 3장에서 주어진 위치 질의 절차에 기반하여 이들 값은 다음과 같이 정의된다.

$$CSN = 4(e_1 + e_2 + e_3) \quad (12)$$

$$CSD = 2d_v + d_h + d_g \quad (13)$$

표 1 네트워크 및 데이터베이스 비용에 대한 매개변수

매개변수	설명
$e_1$	MSC/VLR에서 연결된 LSTP/RLR까지 메시지를 보낼 때의 네트워크 비용(지역 A 링크의 네트워크 비용)
$e_2$	LSTP/RLR에서 RSTP까지 메시지를 보낼 때의 네트워크 비용(D 링크의 네트워크 비용)
$e_3$	RSTP에서 HLR까지 메시지를 보낼 때의 네트워크 비용(원격 A 링크의 네트워크 비용)
$d_v$	VLR 질의 및 갱신 비용
$d_r$	RLR 질의 및 갱신 비용
$d_h$	HLR 질의 및 갱신 비용
$d_g$	GTT 수행 비용
$d_c$	캐시 데이터베이스 질의 및 갱신 비용

$$\begin{aligned} CSN_H &= 4(\Omega e_1 + (1-\Omega)(e_1 + e_2 + e_3)) \\ &= 4(e_1 + e_2 + e_3 - \Omega(e_2 + e_3)) \quad (14) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} CSD_H &= \Omega(2d_v + d_r) + (1-\Omega)(2d_v + 2d_r + d_h + d_g) \\ &= 2d_v + 2d_r + d_h + d_g - \Omega(d_r + d_h + d_g) \quad (15) \end{aligned}$$

기존의 T-임계값 기법과 제안하는 이중 T-임계값 기법에 기반하여, 표 2는 각각의 경우에 대한 위치 질의 비용을 보여준다.  $CSN_i$ 와  $CSD_i$ ( $i = 1, 2, 3, 4, 5$ )는 각각 네트워크 비용과 데이터베이스 비용을 나타낸다. 경우 1-1, 경우 1-2, 경우 3은 기존 T-임계값 기법과 이중 T-임계값 기법 모두에 적용되는 반면에, 경우 2-1과 경우 2-2의 비용은 이중 T-임계값 기법에만 적용된다. 예를 들어  $CSN_1$ 과  $CSD_1$ 을 고려하면, 피호출 이동 단말  $p$ 의 위치를 질의할 때, 캐시 레코드  $lr_p$ 가 호출한 이동단말과 동일한 RRA 내의 RLR을 가리키고, 이 RLR이 호출 MSC에게 캐시 미스를 알리는 메시지를 보낸다면,  $2e_1$ 이 필요하다. 만약 캐시 레코드  $lr_p$ 가 다른 RRA내의 RLR을 가리키고, 이 RLR이 캐시 미스 메시지를 보낸다면,  $2(e_2 + e_3)$ 가 필요하다. 추가로, 캐시 미스로 인해 3-레벨 데이터베이스 구조에서의 호 전달 기법에 대한 네트워크 비용  $CSN_H$ 가 요구된다. 그러므로, 전체 네트워크 비용은  $\Omega e_1 + 2(1-\Omega)(e_1 + e_2) + CSN_H$ 이다. 한편, 이동단말  $p$ 가 호출 단말과 같은 RA내에 존재하는 지를 질의하기 위하여 호출한 이동 단말의 VLR에 대한 접근 비용  $d_v$ 가 요구되며, 캐시 데이터베이스 접근 및 그 캐시가 가리키는 RLR에 대한 접근 비용  $d_c + d_r$ 이 요구된다. 추가로 캐시 미스 때문에, 3-레벨 데이터베이스 구조에서의 위치 질의 기법에 대한 데이터베이스 비용  $CSD_H$ 가 필요하다. 비용  $CSD_H$ 에도 이동단말  $p$ 가 호출 단말과 같은 RA내에 존재하는 지를 질의하기 위하여 호출한 이동단말의 VLR에 대



표 2 T-임계값 및 이중 T-임계값 기법에서 각 경우에 대한 위치 질의 비용

각 경우	네트워크 및 데이터베이스 비용	
1-1	$CSN_1$	$4(\Omega e_1 + (1-\Omega)(e_1 + e_2)) = 4(e_1 + e_2 - \Omega e_2)$
	$CSD_1$	$d_r + d_c + d_r + d_c = 2(d_c + d_r)$
1-2	$CSN_2$	$CSN_1 + CSN_H = 4(2e_1 + 2e_2 + e_3 - \Omega(2e_2 + e_3))$
	$CSD_2$	$CSD_1 + CSD_H - d_r = 2d_c + 3d_r + 2d_r + d_h + d_H - \Omega(d_r + d_h + d_H)$
2-1	$CSN_3$	$4(\Omega e_1 + (1-\Omega)(e_1 + e_2)) = 4(e_1 + e_2 - \Omega e_2)$
	$CSD_3$	$d_r + d_c + d_r + d_r + d_c = 2(d_c + d_r) + d_r$
2-2	$CSN_4$	$2\Omega e_1 + 2(1-\Omega)(e_1 + 2e_2) + CSN_H$ $= 2(3e_1 + 4e_2 + 2e_3 - 2\Omega(2e_2 + e_3))$
	$CSD_4$	$d_r + d_c + d_r + CSD_H - d_r + d_c$ $= 2d_c + 2d_r + 3d_r + d_h + d_H - \Omega(d_r + d_h + d_H)$
3	$CSN_5$	$CSN_H = 4(e_1 + e_2 + e_3 - \Omega(e_2 + e_3))$
	$CSD_5$	$d_c + CSD_H = d_c + 2d_r + 2d_r + d_h + d_H - \Omega(d_r + d_h + d_H)$

한 접근 비용  $d_r$ 를 포함하고 있으므로, 그 비용  $d_r$ 를 뺀다. 마지막으로, 캐시 데이터베이스 내의 레코드를 갱신하기 위하여  $d_c$ 가 필요하다. 따라서, 전체 데이터베이스 비용은  $d_r + d_c + d_r + CSD_H - d_r + d_c$  가 된다.

본 논문에서, 이동성(mobility) 비율에 대한 호 도착율(call arrival rate)로 정의되는 CMR은 다음과 같이  $\rho$ 로 정의한다.

$$\rho = \frac{\lambda_c}{\lambda_r} \quad (16)$$

임계값  $T_V$ 와  $T_R$ 의 선택은 제안하는 기법의 비용을 산출하는 데에 중요한 영향을 미친다. 그래서, 이러한 값들은 임의의 이동단말에 대한 호 도착율 및 이동율이 변할 때, 그에 알맞은 값으로 수정되어야 한다. 그러나, 본 논문에서는 단순화를 위해  $T_V$ 값으로 평균 RA 상주 시간인  $\frac{1}{\lambda_r}$ 를 할당하고,  $T_R$ 값으로 평균 RRA 상주 시간인  $\frac{1}{\lambda_r(1-\phi)}$ 를 할당한다. 이와 같은 사실을 이용하여, 이전에 정의한 3가지 확률  $\mu_r, \nu_r, x'$ 를 다음과 같이 다시 계산한다.

$$\mu_r = (1 - e^{-\lambda_r T_V}) \frac{\lambda_c}{\lambda_c + \lambda_r} = (1 - e^{-\rho}) \frac{\rho}{1 + \rho} \quad (17)$$

$$\nu_r = (1 - e^{-\lambda_r T_V}) \frac{\lambda_r}{\lambda_c + \lambda_r} = (1 - e^{-\rho}) \frac{1}{1 + \rho} \quad (18)$$

$$x' = e^{-\lambda_r T_R} = e^{-\rho} \quad (19)$$

위의 확률을 이용하여, 기존 T-임계값의 위치 질의 절차에 대한 네트워크 비용 및 데이터베이스 비용을  $CSN'$ 과  $CSD'$ 으로 가정하고, 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$CSN' = \mu_r CSN_1 + \nu_r CSN_2 + x' CSN_5 \quad (20)$$

$$CSD' = \mu_r CSD_1 + \nu_r CSD_2 + x' CSD_5 \quad (21)$$

또한, 이중 T-임계값 기법에서의 위치 질의 비용을 정의하기 위해, 다음과 같이 3개의 확률,  $\mu_r, \nu_r, x''$ 을 다시 계산한다.

$$\mu_r = (e^{-\lambda_r T_V} - e^{-\lambda_r T_R}) \frac{\lambda_c}{\lambda_c + (1-\phi)\lambda_r} \quad (22)$$

$$= (e^{-\rho} - e^{-\rho(1-\phi)}) \frac{\rho}{\rho + (1-\phi)}$$

$$\nu_r = (e^{-\lambda_r T_V} - e^{-\lambda_r T_R}) \frac{(1-\phi)\lambda_r}{\lambda_c + (1-\phi)\lambda_r} \quad (23)$$

$$= (e^{-\rho} - e^{-\rho(1-\phi)}) \frac{(1-\phi)}{\rho + (1-\phi)}$$

$$x'' = e^{-\lambda_r T_R} = e^{-\rho(1-\phi)} \quad (24)$$

위의 세 개의 확률 및  $\mu_r, \nu_r$ 를 이용하여, 제안하는 이중 T-임계값의 위치 질의 절차에 대한 네트워크 비용 및 데이터베이스 비용을  $CSN''$  및  $CSD''$ 으로 가정하고, 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$CSN'' = \mu_r CSN_1 + \nu_r CSN_2 + \mu_r CSN_3 + \nu_r CSN_4 + x'' CSN_5 \quad (25)$$

$$CSD'' = \mu_r CSD_1 + \nu_r CSD_2 + \mu_r CSD_3 + \nu_r CSD_4 + x'' CSD_5 \quad (26)$$

제안하는 이중 T-임계값 기법의 비용 평가 기준으로 다음과 같이 6가지의 비용 즉, 네트워크 비용 비율로서  $CSN_H/CSN, CSN'/CSN, CSN''/CSN$ 과 데이터베이스 비용 비율로서  $CSD_H/CSD, CSD'/CSD, CSD''/CSD$ 을 정의한다.  $CSN_H/CSN$ 과  $CSD_H/CSD$ 는 IS-41 구조에서의 위치 질의 기법에 대하여 3-레벨 데이터베이스 구조에서의 위치 질의 기법의 네트워크 비용과 데이터베이스 비용 비율이다.  $CSN'/CSN$ 과  $CSD'/CSD$ 는 IS-41 구조에서의 위치 질의 기법에 대하여 3 레벨 데

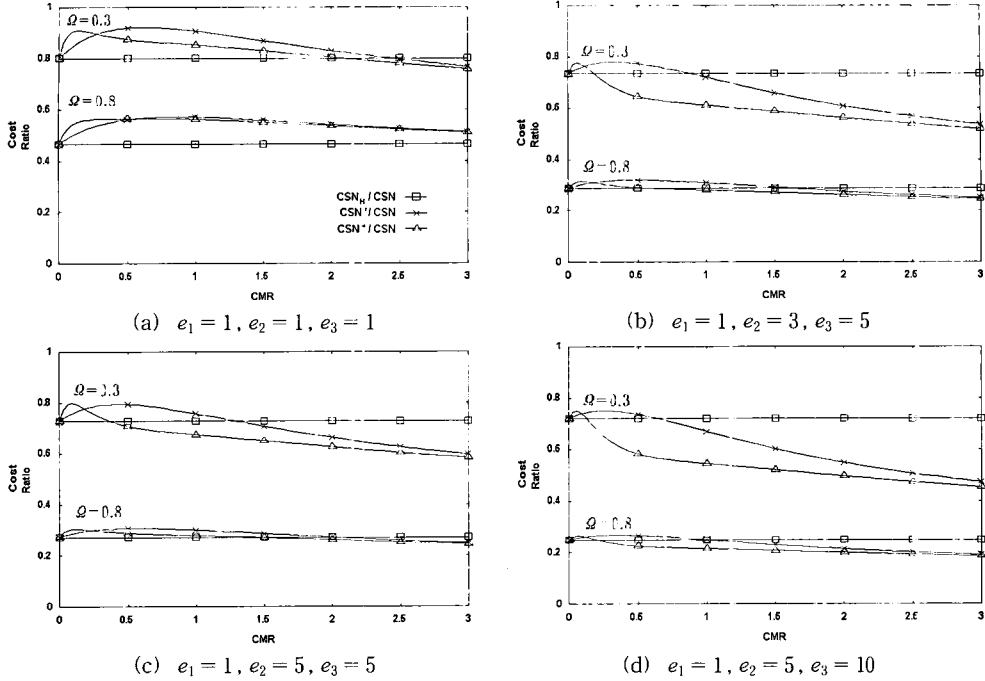


그림 6 제안 기법과 기존 기법들간의 네트워크 비용 비율

이타베이스 구조에서의 기존 T-임계값 위치 질의 기법의 네트워크 비용과 데이터베이스 비용 비율이다.  $CSN_H/CSN$ 과  $CSD''/CSD$ 는 IS-41 구조에서의 위치 질의 기법에 대하여 3-레벨 데이터베이스 구조에서의 제안하는 이중 T-임계값 위치 질의 기법의 네트워크 비용과 데이터베이스 비용 비율이다. 이와 같은 6가지 비용 비율은 0.0에서 0.3까지의 범위를 지니는 CMR 값에 의존한다.

그림 6은 네트워크 비용 중 IS-41에서의 비용인  $CSN$ 에 비해 3-레벨 데이터베이스 구조에서의 비용인  $CSN_H$ ,  $CSN'$ , 및  $CSN''$ 가 줄어드는 정도를 보여준다. 우선, 3-레벨 데이터베이스 구조에서의 위치 질의 기법이 IS-41 구조에서의 위치 질의 기법보다 네트워크 비용을 더 많이 줄일 수 있다는 것을 볼 수 있다. 캐시 기법의 네트워크 비용 감소는 RRA 지역 호출율,  $\Omega$ 와 네트워크 매개 변수 설정 값에 따라 다양하다. 그림 6(a)는 3가지의 네트워크 매개변수 즉, 지역 A-링크, D- 링크, 원격 A-링크 사이에 메시지를 보내는 비용이 동일한 경우일 때 각 기법들의 네트워크 비용 감소율을 보여준다. 이 경우, 만약  $\Omega = 0.3$ 이고 CMR값이 2~2.5 보다 크다면, 2 개의 캐시 기법이 캐시가 없는 기법보다 네트워크 비용을 더

많이 줄인다. 한편,  $\Omega = 0.8$ 일 때의 캐시 기법 네트워크 비용은  $\Omega = 0.3$ 일 때에 비해 크게 줄어들지 않는다. 그림 6(b), 6(c), 6(d)는 원격 A-링크와 D-링크 메시지 전송 비용이 지역 A-링크보다 큰 경우를 보여준다. 이 경우, CMR 값이 클 때 캐시 기법은 캐시가 없는 기법보다 네트워크 비용을 더 많이 줄일 수 있다. VLR과 HLR사이의 메시지 전송비용이 높을수록, 그 비용 감소도 커진다. 한편,  $\Omega$ 값이 높을 때 캐시 기법의 비용 감소는 낮아지기 때문에, 만약  $\Omega$ 가 높다면 3-레벨 데이터베이스 구조 자체로도 네트워크 비용을 크게 감소시킬 수 있다. 본 논문에서 제안하는 이중 T-임계값 기법이 대부분의 CMR에 대해서 기존 T-임계값 기법에 비해서 더 낮은 네트워크 비용을 나타내고 있다. 그러나, CMR이 매우 낮을 때(0.1~0.2) 이중 T-임계값 기법은 기존 T-임계값 기법보다 더 많은 네트워크 비용을 초래한다. 그 이유는 이동성이 매우 높은 이동단말에 대해서, 두 개의 캐시 정보에 대한 캐시 미스 확률이 상당히 높아지기 때문이다. 그러나, CMR이 약 0.2이상일 때, 즉 대부분의 CMR 값에 대하여 이중 T-임계값 기법은 네트워크 비용을 상당히 감소시킬 수 있다.

그림 7은 데이터베이스 비용 중 IS-41에서의 비용인

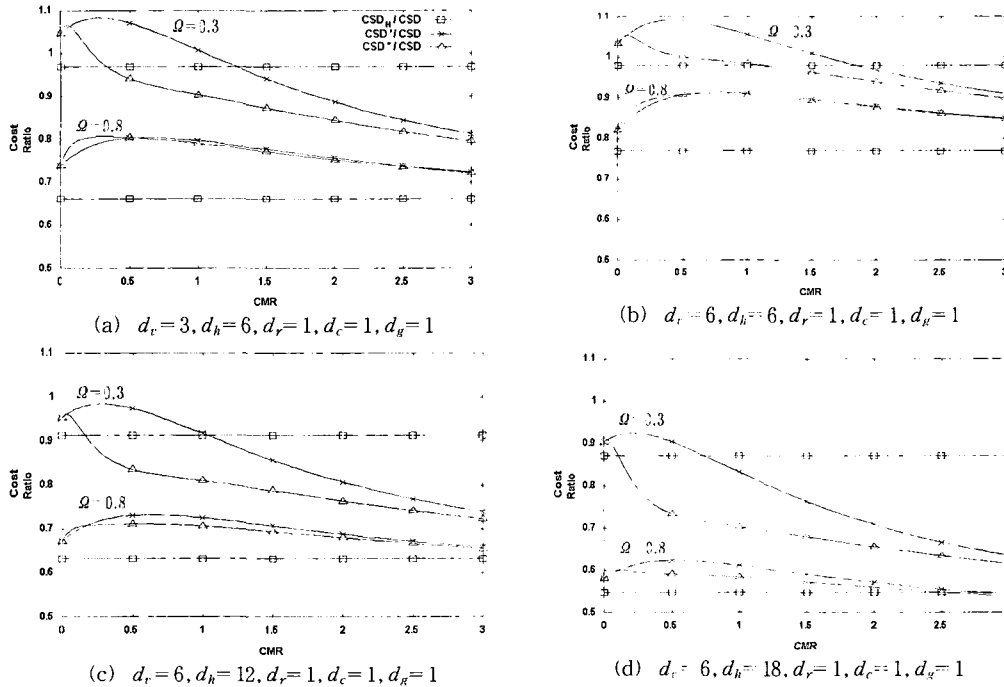


그림 7 제안 기법과 기존 기법들간의 데이터베이스 비용 비율

CSD에 비해 3-레벨 데이터베이스 구조에서의 비용인  $CSD_H$ ,  $CSD'$ , 및  $CSD''$ 가 줄어드는 정도를 보여준다. 이 비용 비율은 RRA 지역 호출율,  $\Omega$ 와 데이터베이스 매개변수 집합에 의존한다. 3-레벨 데이터베이스 구조에 있어서 데이터베이스의 수가 IS-41 데이터베이스 구조보다 더 많고 그에 따라 데이터베이스 접근 및 갱신 횟수도 증가되기 때문에, 3-레벨 데이터베이스 구조는 캐시의 유무에 관계없이 대부분의 CMR에 대해서 많은 비용 감소를 얻지 못한다. 그리고, 캐시 기법을 사용한다면 부가적인 캐시 데이터베이스 접근이나 갱신으로 인하여 데이터베이스 비용은 높아질 수 밖에 없다. 하지만 만약 RRA 내부 이동율인,  $\phi$ 가 높다면 (본 논문에서는  $\phi$ 를 0.87로 가정한다), 3-레벨 데이터베이스 구조에서도 데이터베이스 비용 감소를 얻을 수 있다. 특히, 내부 RRA 호출율이 높을 때, 캐시 기법을 이용할 때의 데이터베이스 비용은 캐시를 쓰지 않을 때의 데이터베이스 비용보다 높다. 그림 7(c), 7(d)에 보여지는 것처럼, 만약 HLR로 접근이나 갱신 비용이 매우 높고,  $\Omega$ 가 낮다면, 데이터베이스 비용은 크게 감소된다. 그리고, 제안하는 이중 T 임계값 기법이 대부분의 CMR에 대해서 기존 T 임계값 기법보다 더 많이 비용을 감소시킴을 알 수 있다.

### 6. 결론

본 논문은 IS-41과 GSM의 전통적인 HLR/VLR 위치 관리 기법에 대하여 3-레벨 데이터베이스 구조에서 효율적인 위치 캐시 기법을 제안하고 있다. 본 논문에서 제안하는 이중 T 임계값 위치 캐시 기법은 자주 호출되는 이동단말의 위치 정보로서 VLR 및 상위 레벨 데이터베이스인 RLR을 함께 호출단말의 MSC 지역에 저장하여, 그 MSC 지역에서 해당 피호출단말에 발생하는 다음 호 발생시에 HLR로의 위치 질의 메시지 전송을 피하고 그 캐시 정보를 이용하게끔 한다. 이 기법은 기존 T 임계값 위치 캐시 기법에서 이용하던 RA-지역성 이외에 RRA 지역성을 함께 이용함으로써 좀 더 효율적으로 사용자의 위치 정보를 활용한다.

또한, 본 논문은 서로 다른 세 개의 위치 관리 기법, 즉 3-레벨 데이터베이스 구조에서 기본적인 위치 질의 기법, 기존 T 임계값 위치 캐시 기법, 제안하는 이중 T 임계값 위치 캐시 기법들에 대하여 자세한 비용 분석을 보여준다. 비용 분석의 결과는 일반적으로 3-레벨 데이터베이스 구조에서의 위치 질의 기법이 IS-41 구조에서의 위치 질의 기법보다 네트워크 및 데이터베이스

비용을 더 많이 줄일 수 있음을 보여준다. 그리고, 3-레벨 데이터베이스 구조에서는 기존 T-임계값 위치 캐시 기법보다 제안하는 이중 T-임계값 위치 캐시 기법이 매우 낮은 CMR을 지닌 이동단말들을 제외하곤 대부분의 경우에 있어서 네트워크 비용 및 데이터베이스 비용을 줄일 수 있음을 알 수 있다.

### 참 고 문 헌

- [1] EIA/TIA, "Cellular Radio-Telecommunications Intersystem Operations," Technical Report IS-41 Revision B, EIA/TIA, 1991.
- [2] M. Mouly and M. B. Pautet, "The GSM System for Mobile Communications," M.Mouly, 49 rue Louise Bruneau, Palaiseau, France, 1992.
- [3] J. S. M. Ho, "Dynamic Hierarchical Database Architecture for Location Management in PCS Networks," IEEE/ACM Transactions on Networking, Vol. 5, No. 5, pp. 646-660, Oct. 1997.
- [4] Z. Jian and W. Jing, "3-level Database Hierarchy for Location Management in PCS Networks," Intl. Conf. on Communication Technology(ICCT'98), Oct. 1998.
- [5] J. Z. Wang, "A fully distributed location registration strategy for universal personal communication systems," IEEE Journal of Selected Areas in Communications, Vol. 11, pp. 850-860, Aug. 1993.
- [6] V. Anantharam, M. L. Hoing, U. Madhow, and V. K. Wei, "Optimization of a database hierarchy for mobility tracking in a personal communications network," Performance Evaluation, vol. 20, no. 1-3, pp. 287-300, May 1994.
- [7] E. Pitoura and I. Fudos, "An Efficient Hierarchical Scheme for Locating Highly Mobile Users," Proceedings of the 6th ACM International Conference on Information and Knowledge Management(CIKM98), pp. 218-225, Nov. 1998.
- [8] R. Jain, "Reducing Traffic Impacts of PCS Using Hierarchical User Location Databases," Proceedings of the IEEE International Conference on Communications, 1996.
- [9] M. van Steen, F. J. Hauck, P. Homburg, and A. S. Tanenbaum "Locating Objects in Wide-Area Systems," IEEE Communication Magazine, pp. 2-7, Jan. 1998.
- [10] R. Jain and Y.-B. Lin, "Performance modeling of an auxiliary user location strategy in a PCS network," ACM-Baltzer Wireless Networks, vol. 1, pp. 197-210, 1995.
- [11] Y.-B. Lin, "Reducing location update cost in a PCS network," IEEE/ACM Transactions on Networking, vol. 5, no. 1, pp. 25-33, Feb. 1997.
- [12] R. Jain, Y.-B. Lin, C. N. Lo, and S. Mohan, "A caching strategy to reduce network impacts of PCS," IEEE Journal of Selected Areas in Communications, Vol. 12, no. 8, pp. 1434-1445, 1994.
- [13] Y.-B. Lin, "Determining the User Locations for Personal Communications Services Networks," IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 43, No. 3, pp. 466-473, Aug. 1994.
- [14] M. M. Zonoozi and P. Dassanayake, "User Mobility Modeling and Characterization of Mobility Patterns," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 15, No. 7, pp. 1239-1252, Sep. 1997.

#### 한 연 회



1996년 고려대학교 수학과 졸업(학사). 1998년 고려대학교 대학원 컴퓨터학과 졸업(이학석사). 1998년 ~ 현재 고려대학교 대학원 컴퓨터학과 박사과정 재학 중. 관심분야는 이동컴퓨팅, 분산시스템, 분산객체 등임.

#### 송 의 성



1994년 고려대학교 수학교육과 학사. 1997년 고려대학교 컴퓨터학과 학사. 1999년 고려대학교 컴퓨터학과 석사. 1999년 ~ 현재 고려대학교 컴퓨터학과 박사과정. 관심분야는 PCS network, Mobile IP, Adhoc network.

#### 황 중 선



1978년 Univ. of Georgia, Statistics and Computer Science 박사. 1978년 South Carolina Lander 주립대학교 조교수. 1981년 한국표준연구소 전자계산실 실장. 1995년 한국정보과학회 회장. 1982년 ~ 현재 고려대학교 컴퓨터학과 교수. 1996년 ~ 현재 고려대학교 컴퓨터과학기술대학원 원장. 관심분야는 알고리즘, 분산시스템, 데이터베이스 등임.

#### 정 영 식



1987년 고려대학교 수학과 졸업. 1989년 고려대학교 대학원 석사학위취득(전산학). 1993년 고려대학교 대학원 박사학위취득(전산학). 1997년 1월 ~ 1998년 1월 미시간주립대학교 교환교수. 1993년 9월 ~ 현재 원광대학교 컴퓨터정보통신학부 부교수. 관심분야는 병렬분산처리, 멀티미디어 CAI, 컴퓨터 시뮬레이션 등임.