

Simulated Annealing 기법을 이용한 도심지역 PCS 시스템의 채널운용 최적화

정희원 윤현영*, 한정혜**, 김낙명*

Channel Optimization in Metropolitan PCS System by Simulated Annealing

Hyun Young Yoon*, Jeong Hye Han**, Nak-Myeong Kim* *Regular Members*

요 약

도심지역에서의 개인휴대통신 시스템은 매 시각 달라지는 가입자의 이동특성으로 인하여 한 가지의 일관된 채널 운용 방법으로는 최적화된 시스템 성능을 기대할 수 없다. 특히, 핸드오프 실패 확률을 줄이는 일은 총체적인 서비스 품질을 높이는 데 중요한 요인이 된다. 이에 따라, 본 논문에서는 도심 지역에서 운용되는 개인휴대 통신 시스템을 모델로 하여 핸드오프 채널 운용 최적화를 연구하였다. 먼저 도심 지역 가입자들의 이동 성향을 해석하고 이를 토대로 simulated annealing 기법을 이용한 핸드오프 유보 채널수의 최적화 설계 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘은 성능 평가 변수를 신규호 블록킹 확률과 핸드오프호 거부 확률에 대한 가중치 합으로 정의하고, 각 기지국에서의 핸드오프 유보 채널의 수를 주어진 트래픽 패턴에 맞도록 최적화 함으로써 총체적인 서비스 품질 평가치를 최소화하였다. 결과로서 40%~70%까지의 품질 평가치 감소 효과를 얻을 수 있었으며, 제안된 최적화 알고리즘의 성능을 일반적인 greedy 알고리즘의 결과와 비교함으로써 가입자 트래픽 패턴이 불규칙적이 될수록 제안된 알고리즘의 최적화 결과가 상대적으로 우수하다는 점을 알 수 있었다. 제안된 알고리즘을 PCS 사업자가 활용할 경우, 채널 운용의 최적화를 통한 간접적인 시스템 용량 증가 효과를 가져다준다.

ABSTRACT

Personal communication system in metropolitan area needs an adaptive channel assignment strategy to cope with the dynamic traffic behaviors of customers even during a day. Reducing overall hand-off failure rates is a very important factor to improve the service quality. Accordingly, in this paper, we studied an optimal channel assignment problem for the number of reserved hand-off channels at each base station in a metropolitan personal communication system. Specifically, we analyzed the mobility of subscribers, and then proposed an optimization algorithm to search for a sub-optimal set of the numbers of hand-off channels at the base stations, using simulated annealing technology which was a general approach to NP-complete combinatorial optimization problems. By defining a cost function that was the sum of the originating call blocking probability and a weighted value of the dropping probability of hand-off calls, we minimized the sum of the cost functions at all e base stations, given any typical pattern of subscribers' mobilities in the metropolitan area. As a result, we found that the call dropping probability could be controlled low by adjusting the numbers of hand-off reservation channels at each base station dynamically to the overall metropolitan traffic characteristics. We could get about 40%~70% reduction of costs. We also proved that the proposed optimization algorithm indeed gave a much

* 이화여자대학교 전자공학과(nmKim@mm.ewha.ac.kr)

** 이화여자대학교 전산원

논문번호: 99043-0203, 접수일자: 1999년 2년 3일

better sub-optimal set of channel assignments than a simple Greedy optimization algorithm. The proposed algorithm can be utilized as an off-line supplementary guideline to the PCS operators, who can get benefits by controlling the daily channel allocation strategies according to the optimized solutions.

I. 서론

Communication Services : PCS) 시스템은 이동 통신의 궁극적인 목표에 가장 근접한 시스템의 하나로서 셀의 구성과 무선 다중 접속기술을 핵심으로 하고 있다. 특히, 시스템 용량 증대를 위하여 매우 작은 셀 구성이 필요하게 되나 셀의 크기가 작아지면 통화상태에서 셀을 벗어나는 이동 가입자들의 통화를 지속시켜 주는 핸드오프 트래픽이 급증하게 된다. 따라서 효율적인 시스템 설계를 위해서는 높은 신규호 접속확률 뿐 아니라, 증가하는 핸드오프 트래픽을 효율적으로 수용하여 핸드오프 호의 블로킹 확률을 낮출 수 있는 알고리즘이 필수적이다^[1].

본 논문에서는 code division multiple access (CDMA) 이동통신 기술에 근거한 도심 지역의 PCS 시스템 환경에서, 신규호 접속확률 및 핸드오프호 수용확률을 극대화할 수 있는 기지국 채널운용 최적화 방안을 제안한다. 일반적으로 기지국에서는 핸드오프가 발생하면 통화중인 호가 끊어지는 것을 방지하기 위하여 신규호보다 통화중인 호에 우선권을 주는 것이 일반적이며, 구체적으로는 핸드오프 전용채널을 설정하는 Reserved Channel Scheme(RCS) 방식과 핸드오버 호를 큐잉(Queueing)시키는 방식 등을 적용하고 있다^[2]. 본 논문에서는 RCS 방식이 운용됨을 가정하되, 동시에 핸드오프 호의 queueing 방식을 운용할 경우에도 적용이 가능하다.

본 논문에서는 우선, 도심지역 PCS 시스템에서의 단위 기지국을 M/M/c 구조로 모델링하여 단일 셀에서 일어나는 호처리 과정을 분석하고, 개인휴대통신 가입자의 이동성에 따른 멀티 셀에서의 셀간의 트래픽 변화를 모델링한다. 이 모델을 기초로 멀티 셀 환경에서 기지국당의 초기 가입자수 분포, 셀별 가입자 이동성향에 관한 변수, 최적화 하고자 하는 시간대별 가입자 이동의 방향성 변수 등을 입력 변수로 하여 각 기지국별로 최적화된 통화 채널 설정 방안을 도출한다. 최적화 기법으로서 NP - Complete 문제들에 대하여 매우 효과적이며 최적치에 대한 수렴 특성이 뛰어난 simulated annealing 기법

을 적용하고^[3], 최적화 과정의 매 단계마다 트래픽 분포 및 품질 목표값을 새로이 분석하여 add, delete, 및 branch exchange (BXC) heuristic 등을 제안하여 적용함으로써 빠른 시간 내에 sub-optimal 해법을 구할 수 있는 알고리즘을 토론한다.

본 논문에서 고려한 각 기지국에서의 서비스 목표는 총 기용 통화 채널 중 핸드오프 전용 채널을 최적으로 설정함으로써, 가입자 호의 평균 손실율을 최소로 한다고 가정하였다. 이 경우 어느 한 기지국의 핸드오프 전용채널 수의 결정은 인접 기지국들에서의 가입자 이동특성에 영향을 받고, 또 그 인접 기지국은 그 자체의 인접 기지국의 영향을 받으므로 수십 수 백 개의 기지국을 운영하여야 하는 도심 지역 PCS 시스템에서 총체적인 최적해를 산술적으로 구하기는 불가능하다^[4,5]. 따라서, 채널 운영의 최적화를 위해서는 simulation에 의한 sub-optimal 최적화 기법의 연구가 필수적이다.

한편, 이동 가입자들의 트래픽 패턴은 하루 동안에도 출퇴근 시간대와 낮 시간대의 특성이 서로 다르므로, 기지국당의 채널 운용을 출근시간대, 퇴근 시간대, 기타 시간대 등으로 나누어 볼 수 있다. 즉, 출근시간대에 이동 가입자들이 주거지역을 떠나 목적인 비즈니스 지역으로 도착할 때까지 주된 이동경로를 따라 많은 핸드오프 호들이 발생하는 시간대와, 동/서/남/북으로 비슷한 이동성을 가지고 핸드오프 호들이 발생하는 시간대에는 뚜렷한 특성차를 보이게 된다. 따라서 제안된 알고리즘은 가입자의 이동성에 따른 셀간의 트래픽 변화를 분석할 수 있게 하고, 전체 서비스 영역을 대상으로 각 셀마다 단계적으로 변화된 신규호 트래픽과 핸드오프 트래픽을 고려하여 총체적인 서비스 품질 목표치를 극대화할 수 있는 통화 채널 운용 방법을 도출한다.

본 논문의 구성은, 1장의 서론에 이어 2장에서는 도심형 PCS 시스템의 구조 및 특성에 대해 살펴보고 3장에서는 멀티셀 환경에서의 가입자 이동성에 따른 트래픽을 분석하고, 최적화를 위한 모델링을 수행한다. 4장에서는 본 논문에서 제안한 simulated annealing 기법에 근거한 기지국 채널 설정 최적화 알고리즘을 토론하고, 5장에서 제안된 알고리즘을 이용한 컴퓨터 시뮬레이션 결과를 분석한다. 마

지막으로 6장에서 결론을 맺는다.

II. 도심형 PCS 시스템의 구조 및 특성

도심형 PCS 시스템은 마이크로 셀 구조를 취하고 있으므로, 셀의 크기가 작아지고 따라서 핸드오프 트래픽이 많이 증가되는 특징을 가진다. 이 경우, 각 기지국에서 운용 중인 통화 채널에 여유가 있을 경우에는 문제가 없으나, 여유가 없을 경우에는 핸드오프호의 거부가 발생되고 따라서 통화호가 강제 종료됨으로써 서비스 품질이 열화된다. 본 논문에서는 이러한 문제를 극복하기 위하여 각 기지국에 적정량의 핸드오프 전용 채널을 설정할 경우를 가정한다.

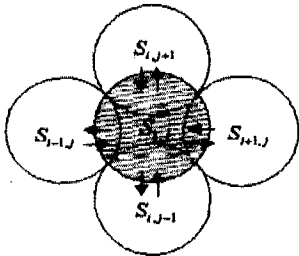


그림 1. 기준셀과 인접셀 간의 트래픽 기준모델 ($S_{i,j} : (i,j)$ 번째의 마이크로셀)

그림 1은 도심형 PCS 시스템의 어느 한 기지국에서 본 마이크로셀 환경을 도시한 것이다. 잘 정돈된 도심에서의 이동가입자는 주로 도로를 따라 이동하므로 도로의 구조가 이동가입자의 트래픽 특성에 큰 영향을 주게 된다. 따라서 도심 환경에서의 셀 형태는 매크로 셀 환경에서의 원 혹은 육각형 셀과는 달리 도로의 모양을 닮은 동/서/남/북 방향의 십자 형태로 가정할 수 있다⁶⁾

그림에서 표현되었듯이, 각 셀의 형태는 분석의 용이함을 위해 전파특성을 고려한 원형으로 가정하고, CDMA 단말기에서는 등록된 기지국과의 조정을 통하여 소프트 핸드오프의 시작점과 종료점에 관한 파일럿신호의 전력 세기 기준이 결정된다고 가정 이러한 모형을 확장하여 도심형 PCS 시스템 전체 그림을 모델링하면 그림 2와 같이 표현할 수 있다. 그림에서 각 셀은 반지름이 약 1Km인 원형 셀로 가정할 수 있으며, 하나의 기준셀에는 네 개의 인접셀들이 구성되므로, 각 기지국에서 서비스해야

할 이동 가입자 수의 변화는 동/서/남/북 방향으로 인접한 네 개의 셀들간의 상호 작용을 통하여 예측 가능하며, 이 네 가지의 상호 작용을 연속적으로 적용해 감으로써 어느 지역에서의 특정 가입자들의 이동에 따른 트래픽 분포의 변화를 추정할 수 있다.

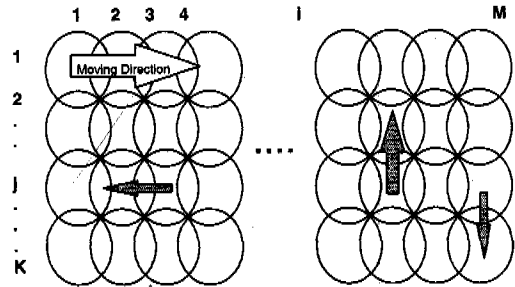


그림 2. 도심형 PCS 시스템에서 이동성향 모델링 M:열의 최대 수. K:행의 최대 수

즉, 설정 초기에 모든 셀 영역에 동일한 수의 이동가입자들이 분포되어 있어도 이동국의 이동성향에 따라 각 셀의 이동가입자의 수는 지속적인 변화를 거듭한다.

그림 2와 같은 모델을 기준으로 볼 때, 한 기지국에서의 품질에 관한 비용함수는 셀 내에서 자체적으로 발생하는 신규호의 블록킹 확률과 인접셀로부터 오는 핸드오프 호의 거부 확률의 함수로 결정된다. 따라서, 어떤 기준셀에서의 최적의 채널운영 방식은 해당 셀내에 위치한 가입자수 뿐 아니라, 해당 시점에 네 개의 인접셀들로부터 유입되거나 인접셀로 유출되는 핸드오프 호의 수에 의해 결정된다. 그런데, 일반적으로 핸드오프 호의 실패는 통화 중에 호가 끊기는 것이므로 이동가입자가 느끼는 불편함은 새로운 호의 블록킹보다 훨씬 크게 느껴진다. 따라서 도심지역 PCS 시스템에서 채널운영의 최적화를 위한 서비스 품질 목표는 신규호의 블록킹 확률과 핸드오프호의 거부 확률에 대한 가중 평균 함수를 적용함이 바람직하다고 볼 수 있다.

본 논문에서는 CDMA 시스템에서 일반적인 소프트 핸드오프를 가정한다. 셀간 소프트 핸드오프는 단말기에서 본, 기지국 파일럿 전력 수신신호의 임계치값(T_ADD, T_DROP)에 의해 결정된다⁷⁾. 따라서, 전체 셀 영역에서 소프트 핸드오프가 가능한 영역의 비는 두 개 이상의 기지국으로부터 받은 파일럿 신호 세기 차가 T_COMP 인 지점에 의해 만들어지는 면적과 T_DROP 지점을 반경으로 하여 만들

어지는 셀 면적의 비로 나타낼 수 있다^[8]. 빈 채널이 하나밖에 없는 셀에 호의 시도와 핸드오프의 시도가 동시에 발생하게 되면 핸드오프의 시도에 우선권을 둔다. 이를 위하여, 각 기지국에서는 핸드오프 전용채널을 설정한다. 핸드오프 전용채널은 핸드오프의 시도에만 할당되며 새로 발생하는 호의 시도에는 할당되지 않는다. 본 논문에서는 어느 통화 채널의 개수를 C_T 라고 하고 C_T 개의 채널 중에서 핸드오프용으로만 사용되는 채널을 C_H 개만큼 두고 나머지는 신규호 및 핸드오프호 모두에게 할당할 수 있게 하는 핸드오프 우선 제어 방식을 가 정하였다.

III. PCS 시스템의 채널운영 최적화 모델링

도심형 PCS 시스템의 채널운영의 최적화는 시스템의 기본 구조가 주어지고, 셀당의 평균 가입자수가 정해졌을 때, 가입자들의 평균 호발생률, 호지속 평균시간, 셀당의 가입자 이동성향 변수 등을 평가 하여 이를 토대로 셀당의 핸드오프 전용 채널 수의 최적치를 산출해 내고자 하는 문제이다. 따라서, 이 문제는 다음과 같은 식으로 표현할 수 있다. 먼저 CDMA 방식의 PCS 시스템을 기지국 $S_{i,j}$ 들의 집합, $S = \{S_{i,j}\}, 0 \leq i \leq M, 0 \leq j \leq K$ 로 표현하고 각 기지국에는 최대 $C_{T,i,j}$ 개의 통화가능 채널이 구비되어 있다고 가정한다. 이 경우, 채널 운영의 최적화 문제는 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$\text{Minimize Cost} = \sum_{i=0}^M \sum_{j=0}^K F_{i,j}(C_{H,i,j}), \quad (1)$$

subject to

$$F_{i,j}(C_{H,i,j}) = P_{B,i,j} + aP_{D,i,j} \quad (2)$$

식(1) 및 (2)에서 $C_{H,i,j}$ 는 기지국 $S_{i,j}$ 에서 정의한 핸드오프 전용채널의 수를 의미하고, $P_{B,i,j}$ 는 해당 셀에서의 신규호 블로킹 확률, $P_{D,i,j}$ 는 해당 셀에서 발생하는 핸드오프호의 거부 확률을 의미한다. 또, 식(2)에서 정의한 계수 a 는 비용 함수 $F_{i,j}$ 를 결정함에 있어서 핸드오프 거부 확률에 두 가중치를 표현한다.

한편, 가입자 당의 신규호의 발생률은 전체 서비스 영역 내에서 균일하다고 가정하고, 한 가입자당 새로운 호의 발생 분포는 발생률이 $\lambda_{i,j}$ 인 포아송

분포이고 호의 지속시간은 평균이 $1/\mu$ 인 지수할 수 분포로 가정한다. 이 경우, 셀 $S_{i,j}$ 내에서 발생하는 전체 신규호의 발생률은 식 (3)과 같이 주어진다.

$$\Lambda_{i,j} = (N_{i,j} - n_{i,j}) * \lambda_{i,j} \quad (3)$$

식 (3)에서 $N_{i,j}$ 는 셀 $S_{i,j}$ 내에 위치한 이동가입자의 총 수를 나타내며, $n_{i,j}$ 는 가입자 중, 현재 통화중인 가입자의 수를 표현한다.

그런데, 셀 $S_{i,j}$ 에서 발생하는 핸드오프호를 평가하기 위해서는 셀 $S_{i,j}$ 에서 외부로 나가는 가입자의 통화 채널수와 인접 셀 들로부터 들어오는 통화 채널수를 구분하여 분석할 필요가 있다. 본 논문에서는 셀 $S_{i,j}$ 에서 동,서,남,북 네 방향으로 나가는 핸드오프 통화 채널수를 다음과 같이 모델링한다.

$$n_{i,j,h,E} = n_{i,j} * \gamma_{i,j} * m_{f,i,j} * P_{i,j,ou}(E) \quad (4)$$

$$n_{i,j,h,W} = n_{i,j} * \gamma_{i,j} * m_{f,i,j} * P_{i,j,ou}(W) \quad (5)$$

$$n_{i,j,h,S} = n_{i,j} * \gamma_{i,j} * m_{f,i,j} * P_{i,j,ou}(S) \quad (6)$$

$$n_{i,j,h,N} = n_{i,j} * \gamma_{i,j} * m_{f,i,j} * P_{i,j,ou}(N) \quad (7)$$

위 식에서 $\gamma_{i,j}$ 는 셀 전체 면적 대비 핸드오프 가능 영역의 비율을 의미하며, $m_{f,i,j}$ 는 셀 $S_{i,j}$ 에서 본 가입자들의 이동성향 변수(mobility factor)를 의미하고, $P_{i,j,ou}(\cdot)$ 은 동,서,남,북 각 방향의 핸드오프 영역내에 있는 통화중인 가입자 중에서 실제 인접 셀로 이동하게 되는 비율을 나타낸다. 이 확률은 각 셀 내에 존재하는 이동가입자들의 편향성 흐름 현상(drift)을 모델링한다.

어느 한 셀 $S_{i,j}$ 에서 관측되는 트래픽의 변화는 새로 발생된 호의 트래픽, 인접 셀로부터 유입되는 핸드오프 호의 트래픽, 인접셀로 유출된 핸드오프 호의 트래픽, 및 단위시간 동안 통화가 종료된 호의 트래픽 등을 고려하여야 평가할 수 있다. 즉, 셀 $S_{i,j}$ 에서 진행중인 호의 수, $n_{i,j}$ 는 시간에 따라 변하므로, 시간 $t = \Delta t$ 에서 관측한 통화중인 호의 수는 $n_{i,j}(t) = n_{i,j}(\Delta t)$ ($0 \leq k < \infty$)로 나타내고, 그 값은 다음과 같이 구해진다.

$$\begin{aligned}
 n_{i,j}(\Delta t) = & \text{Min} \{ C_{T,i,j}, n_{i,j}(l-1) + n_{i,j,\text{new}}(\Delta t) \\
 & - n_{i,j,\text{end}}(\Delta t) + n_{i+1,j,h,E}(\Delta t) + n_{i-1,j,h,W}(\Delta t) \\
 & + n_{i,j-1,h,S}(\Delta t) + n_{i+1,j,h,N}(\Delta t) - n_{i,j,h,E}(\Delta t) \\
 & - n_{i,j,h,W}(\Delta t) - n_{i,j,h,S}(\Delta t) - n_{i,j,h,N}(\Delta t) \}
 \end{aligned} \tag{8}$$

식(8)에서 $n_{i,j,\text{new}}(\Delta t)$ 및 $n_{i,j,\text{end}}(\Delta t)$ 는 각각 Δt 시간 동안에 신규로 발생한 호 및 종료된 호의 수를 나타내며, PCS 시스템의 초기 조건으로

$$\begin{aligned}
 n_{0,j,h,E}(\Delta t) = n_{M,j,h,W}(\Delta t) = \\
 n_{i,K,h,S}(\Delta t) = n_{i,0,h,N}(\Delta t) = 0
 \end{aligned} \tag{9}$$

을 가정한다.

한편, 위와 같이 정의된 환경에서 핸드오프 전용 채널이 설정된 어느 한 셀에서 관측되는 통화 채널의 점유 상태의 변화는 M/M/c/c reserved channel 큐잉 모델로 해석할 수 있으며, 그림 3과 같이 모델링할 수 있다. 이 경우, 신규호의 블록킹 확률 P_B 는 새로 발생한 호 중에서 채널의 포화로 말미암아 채널 설정이 거부된 호의 수로 결정되며, 핸드오프 호의 거부 확률 P_D 는 핸드오프를 시도한 호 중에서 채널 부족으로 호가 강제 종료된 경우의 수로 결정된다. 그림 3의 모델에서 평형상태에 도달했을 때 시스템의 상태가 j 일 확률 P_j 를 birth-death 프로세스에 의하여 유도하여 구하면 식 (10)-(13)과 같다.^[9]

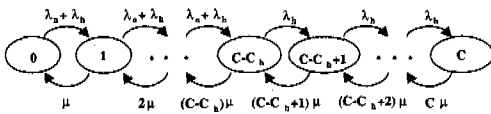


그림 3. Reserved channel 방식의 M/M/c/c 큐잉 모델의 상태 천이도 λ_n :신규호발생률, λ_h :핸드오프호발생률, μ :호종료률, C:전체 채널수, C_h :핸드오프 전용채널수

이 결과를 이용하면, 신규 호의 블록킹 확률 P_B 는 사용중인 채널수가 $C - C_h$ 이상이 될 확률들의 합과 같으며, 핸드오버 호의 거부 확률 P_D 는 사용중인 채널수가 C 가 될 확률과 같으므로 이를 정리하면 식(14) 및 (15) 와 같다.

$$P_j = \begin{cases} \frac{\rho^j}{j!} \cdot P_0, & 1 \leq j \leq C - C_h \\ \left(\frac{\rho}{\rho_h}\right)^{C-C_h} \cdot \frac{\rho_h^j}{j!} \cdot P_0, & C - C_h + 1 \leq j \leq C \end{cases} \tag{10}$$

$$P_0 = \left[\sum_{k=0}^{C-C_h} \frac{\rho^k}{k!} + \sum_{k=C-C_h+1}^C \left(\frac{\rho}{\rho_h}\right)^{C-C_h} \cdot \frac{\rho_h^k}{k!} \right]^{-1} \tag{11}$$

$$\rho = \frac{\lambda_n + \lambda_h}{\mu} \tag{12}$$

$$\rho_h = \frac{\lambda_h}{\mu} \tag{13}$$

$$P_B = \sum_{k=C-C_h}^C P_k \tag{14}$$

$$P_D = P_C \tag{15}$$

IV. 채널 운영 최적화 알고리즘

식 (1)에서 정의된 최적화 문제는 기지국의 수의 증가에 따라 계산량이 기하급수적으로 증가하는 NP-complete 문제의 하나이다. 따라서 본 논문에서는 simulated annealing 기법을 이용하여 준 최적치 획득을 보장할 수 있는 heuristic 알고리즘을 제안한다. Simulated annealing의 원리는 고체를 녹을 때 까지 가열한 후, 완전 결정체가 될 때까지 천천히 식히는 과정을 반복하여 고체의 자유에너지를 최소화시키는 것이다. Simulated annealing 최적화는 대상이 되는 시스템 환경과 비용함수 $F(\cdot)$ 를 정의한 후, cooling schedule을 결정하고 시스템 상태를 변화시키면서 새로 제시된 시스템 구조에 대한 비용함수 값 F_{new} 를 계산하여 기존의 비용함수 값 F_{old} 와 비교한다. 최적화 단계는 이 두 비용함수 값의 차이인 ΔF 를 그 시점에서의 온도 T 의 함수로 평가하여, 새로 제시된 시스템 구조의 선택여부를 결정하는 과정으로 정의된다. 즉, $\Delta F < 0$ 이면 새로 제시된 시스템 구조는 항상 선택되며, $\Delta F \geq 0$ 이면

$$P = 1 - \exp(-\Delta F/T) \tag{16}$$

의 확률로 선택된다. 반면, greedy 알고리즘 또는 hill-climbing 알고리즘의 경우에는 $\Delta F < 0$ 일 때만 새로 제시된 시스템 구조를 선택하게 된다. 따라서 전통적인 greedy 알고리즘을 사용하면 최적의 값을 찾는 과정에서 지역 최소값을 구하게 되어 보다 나은 최소값이 존재하더라도 찾지 못할 경우가 많지만, simulated annealing 기법은 그림 4와 같이 uphill 이동을 허용함으로써 NP-complete 문제들에서 지역 최소값보다 더 나은 결과를 얻을 수 있게 한다.

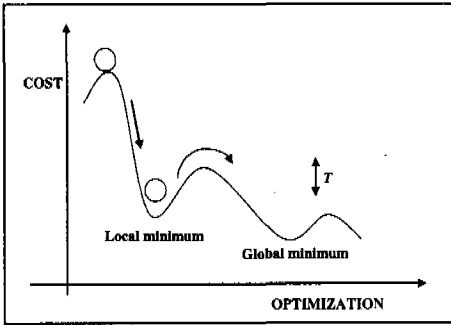


그림 4. Simulated Annealing의 uphill 이동허용.

한편, 최적화의 과정은 온도 T 를 줄여 감으로써 제어하게 되는데, 한 단계가 진행됨에 따른 온도 변화는 다음과 같은 관계식으로 정의된다. 여기서 T' 는 한 단계가 진행된 후의 온도변화를 의미한다.

$$T' = \beta T, \quad 0 < \beta < 1 \quad (17)$$

식 (17)에서 β 는 annealing을 위한 cooling factor를 나타내며, 일반적으로 β 의 값은 0.9부터 0.99의 범위에서 선택된다.

본 논문에서 제안된 채널 운용 최적화의 흐름도는 그림 5와 같다. 최적화의 기준으로 사용되는 비용함수는 식 (2)와 같이 정의하며, 이동가입자의 이동 성향을 고려한 비용 최소화 과정을 수행한다. 한 가입자의 핸드오프 확률은 해당 가입자가 핸드오프 가능 영역에 머무르는 시간에 반비례하므로 이는 이동가입자의 이동속도의 영향을 받는다. 따라서, 최적화 과정에서는 ΔT 구간을 기준으로 이동 가능한 가입자 수를 고려하여 신규호의 발생량과 핸드오프호의 발생량을 통계적으로 산출한다. 그림 5에서 채널 운용 최적화는 5단계를 거쳐 수행된다. 첫

째, 초기값으로 처음에 할당된 채널 수를 기준으로 일정 시간동안 변화된 트래픽에 대한 비용을 구한다. 둘째, 할당된 핸드오프 전용 채널 수를 변화시키고 일정 시간 동안 변화된 트래픽에 대한 비용을 구한다.

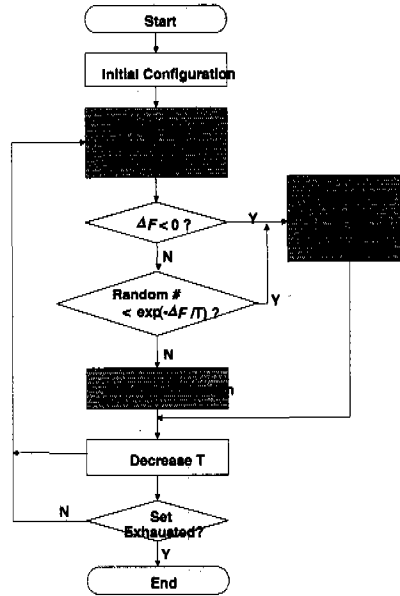


그림 5. 채널 운용 최적화 과정도

셋째, 비용의 변화 ΔF 에 대하여 새로운 채널 할당 구조의 채택여부를 결정한다. 넷째, 새로운 채널 할당을 채택한 경우 채널 수를 변화시키고, 채택하지 않은 경우에는 이전에 할당된 채널 수로 복귀시킨다. 다섯째, 온도 T 를 감소시키면서 온도 T 가 충분히 낮아져 수렴할 때까지 위의 5단계를 반복한다.

최적화 과정의 가장 중요한 부분은 각 단계별로 현재의 시스템 구조에서 어떤 조건을 개선시킴으로써 보다 바람직한 방향으로 진화시킬 것인가를 결정하는 알고리즘에 있다. 본 논문에서는 최적화의 초기 단계에는 ADD 및 DELETE 휴리스틱을 적용하고, 다음 단계로는 셀 간의 상호 작용을 증시하여 제안한 ADD-based Branch Exchange (A-BXC) 휴리스틱을 적용하였다. A-BXC 알고리즘은 전체 셀들 중 가장 비용이 높은 셀에 대하여 핸드오프 전용 채널의 수를 1 증가시키면서(ADD), 이 셀과 인접한 셀들 중 비용이 가장 낮은 셀의 채널을 1 감소시키는 알고리즘이다(A-BXC). 이러한 방법은 대상 셀에

미치는 트래픽 집중 현상을 인접 셀로 퍼뜨림으로써 전체적인 품질을 높일 수 있는 효과가 있다. 세부적인 최적화 알고리즘의 구성은 다음과 같다.

Optimization {

For some integer L_1 ,

For L_1 iterations, perform **ADD** or **DELETE**

heuristic at random:

ADD: $C_{H,i,j} = C_{H,i,j} + 1,$

for $S_{i,j}$ such that

$$F_{i,j}(C_{H,i,j}) = \begin{matrix} \text{Max} \\ 0 \leq i' \leq M \\ 0 \leq j' \leq K \end{matrix} F_{i',j'}(C_{H,i',j'})$$

and $C_{H,i,j} \neq C_{T,i,j}$

DELETE: $C_{H,i,j} = C_{H,i,j} - 1,$

for $S_{i,j}$ such that

$$F_{i,j}(C_{H,i,j}) = \begin{matrix} \text{Min} \\ 0 \leq i' \leq M \\ 0 \leq j' \leq K \end{matrix} F_{i',j'}(C_{H,i',j'})$$

and $C_{H,i,j} \neq 0$

Until exhaustive, perform Add-based BXC heuristic:

A-BXC: $C_{H,i_1,j_1} = C_{H,i_1,j_1} + 1,$

and $C_{H,i_2,j_2} = C_{H,i_2,j_2} - 1,$

for S_{i_1,j_1} and S_{i_2,j_2} such that

$$F_{i_1,j_1}(C_{H,i_1,j_1}) = \begin{matrix} \text{Max} \\ 0 \leq i' \leq M \\ 0 \leq j' \leq K \end{matrix} F_{i',j'}(C_{H,i',j'})$$

, $C_{H,i_1,j_1} \neq C_{T,i_1,j_1}$

$$F_{i_2,j_2}(C_{H,i_2,j_2}) = \begin{matrix} \text{Min} \\ 0 \leq i' \leq M \\ 0 \leq j' \leq K \end{matrix} F_{i',j'}(C_{H,i',j'})$$

, $C_{H,i_2,j_2} \neq 0$

and (i_1, j_1) and (i_2, j_2) are adjacent.

}

V. 컴퓨터 시뮬레이션

제안된 채널 운영 최적화 알고리즘의 성능을 검증하기 위하여 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다. 알고리즘을 구성하는 소프트웨어는 C 언어로 구성하였으며, 컴퓨터 시뮬레이션은 펜티엄-II 컴퓨터 환경에서 수행하였다. 도심지역 PCS 시스템 환경을 표현하는 전체 서비스 영역은 한 개의 반지름이 1km 인 원형 셀을 이용하여 그림 2와 같은 구조로 취하

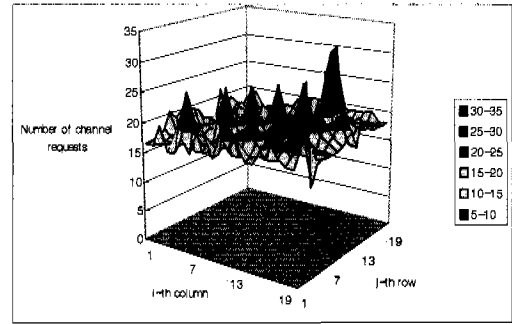
였으며, $M=K=20$ 을 가정하였다. 시뮬레이션을 위하여 이동가입자의 이동성향은 2가지 대표적인 클래스로 구분하여 각각 적용하였다. 각 클래스는 호의 발생빈도, 호의 지속시간, 가입자의 이동성향, 그리고 이동 방향별 확률 분포 등으로 구분된다. 본문에서 정의한 클래스-I 트래픽은 가입자의 이동이 주거지역에서 사무 지역으로 집중 이동되는 오전 시간의 분포를 가상적으로 다루었고, 클래스-II 트래픽은 전체 도심 지역 내에서 고른 이동 성향 (mobility factor)을 보이는 트래픽으로 설계하였다. 시뮬레이션 과정에서 사용된 초기 설정 값을 요약하면 표 1과 같다.

시뮬레이션은 가입자의 평균 이동속도를 50 Km/H 정도를 기준으로 하여 실제 시간과 시뮬레이션에서 사용한 시간간의 매핑을 하였으며, 논문에서 토론하는 시간의 단위는 실제 시간으로 환산하여 분석하였다.

먼저 클래스-I 트래픽의 특성을 알아보기 위하여 초기 가입자 분포와 30분 동안 시뮬레이션을 수행한 후의 트래픽 분포를 그림 6에 도시하였다. 그림에서 보듯이 클래스-I 의 경우에는 시뮬레이션이 진행됨에 따라서 도심 간선도로를 중심으로 가입자 집중되는 현상을 보였다. 반면, 클래스-II 트래픽의 경우에는 셀당 가입자의 수에는 큰 변화가 없으나, 이동성향이 클수록 핸드오프 발생이 빈번해진다. 한편, 각 기지국에서 본 통화 채널의 요구량은 클래스-I 의 경우 그림 7과 같은 결과를 보였다. 그림에서 초기 채널 점유량은 "0" 이며 시뮬레이션이 진행되면서 클래스-I의 경우 변화된 채널 요구량에 대한 분포는 그림 7b와 같이 도로형태를 따라 트래픽 요구도가 집중적으로 발생하여 이 지역에 이동가입자가 집중되는 그림 6의 분포와 같은 성향을 갖는다. 그림 7에서는 시간이 흐르면서 트래픽이 어떻게 이동되는지를 보기 위해 시뮬레이션 시작 후 15분 뒤와 30분 뒤에 대한 각각의 트래픽 분포를 보인 것이다. 그림을 보면, 대체로 각 셀별로 15 채널 내외의 점유를 나타내지만, 시간이 흐름에 따라서, 주요 간선 도로를 중심으로 20 채널 이상의 호 요구를 나타낼 확률이 크게 상승함을 알 수 있다. 그림 8에서 보인 클래스-II의 경우에는 동/서/남/북 이동 방향을 동일하게 설정하고 호의 발생 확률과 호의 지속시간이 모든 셀들에 동일하게 설정되었으므로 시뮬레이션 후 채널 요구량의 분포는 모든 셀들에 균일하게 분포되었다.

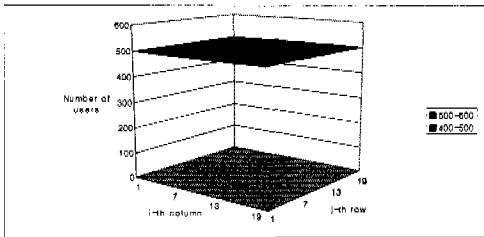
표 1. 시뮬레이션 초기 설정값

변 수	초기 설정값
셀 당 가입자수 ($N_{i,j}$)	500명
가입자당 신규호의 발생률 ($\lambda_{i,j}$)	1 call/hour
호의 평균지속시간 ($1/\mu$)	2.6분/call
셀 당 채널용량 (C_{new}/C_H)	20 (19/1)
핸드오프 가능 영역의 비율 ($\gamma_{i,j}$)	0.36
Annealing 시작 온도 (T)	0.5
Cooling factor (β)	0.9

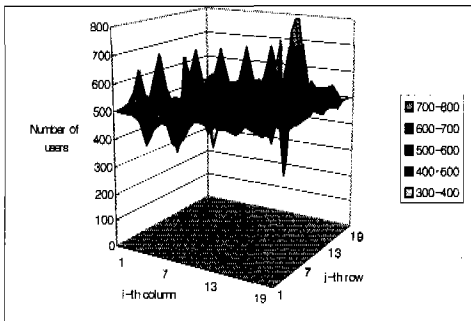


(b)

그림 7. 클래스-I 트래픽에 대한 통화 채널 요구량 (a) 15분 경과 후의 통화 요구량, (b) 30분경과 후의 통화 요구량



(a)



(b)

그림 6. 클래스-I 트래픽의 셀당 가입자수 변화 (a)초기가입자분포,(b)30분경과 후 가입자 분포

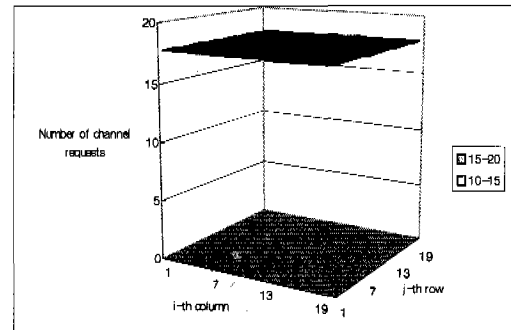
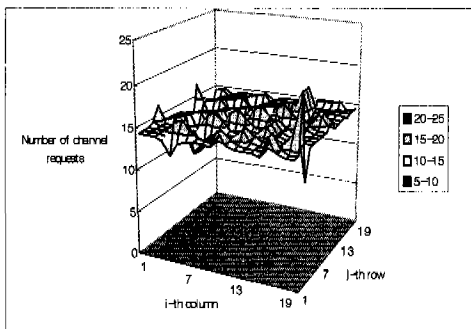


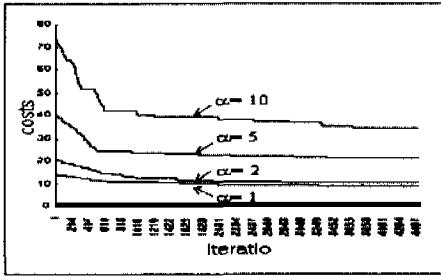
그림 8. 클래스-II 트래픽에 대한 통화 채널요구량 분석(30분 경과후)



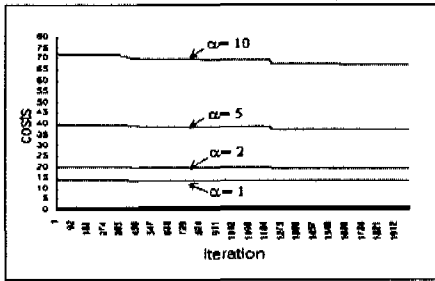
(a)

다음으로 그림 9에서는 클래스-I 모델에 대하여 제안된 최적화 알고리즘과 greedy 알고리즘을 각각 적용하여 그 비용의 변화를 살펴 본 결과이다. 그림 9a에서 보듯이 최적화를 전혀 하지 않았을 경우와 최적화에 따른 채널 운용을 할 경우는 최고 38.8%에 이르는 매우 큰 차이를 보인다. 본 논문에서 정의한 비용함수가 핸드오프 거부 확률에 가중치를 주고 설계하고 있으므로, 비용의 감소는 이동 가입자의 만족도를 높일 수 있다는 의미가 된다. 또, 그림 9a에서 α 값이 클수록 최적화에 따른 비용 감소폭이 컸다는 점은 최적화를 실시할 경우 비교적 적은 규모의 추가설비로도 광역 PCS 이동통신서비스에 대한 고객 만족도를 크게 높일 수 있다는 점을 나타낸다. 반면, 그림 9b는 동일한 조건에서 greedy 알고리즘을 적용하여 시뮬레이션을 했을 때 얻을 수 있는 효과를 나타낸 것이다. 물론 이 경우에도 상당한 비용 감소를 얻을 수 있으나, 본 논문에서

제안한 최적화 알고리즘 대비 크게 열등한 비용 수렴치를 보이고 있다. 이 점은 simulated annealing 기법의 up-climbing 효과가 채널운용의 최적화 단계에서 매우 중요한 역할을 한다는 점을 보여 준다.



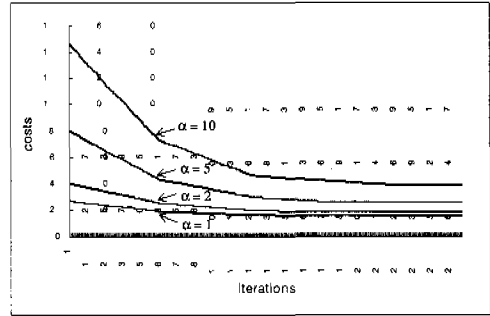
(a)



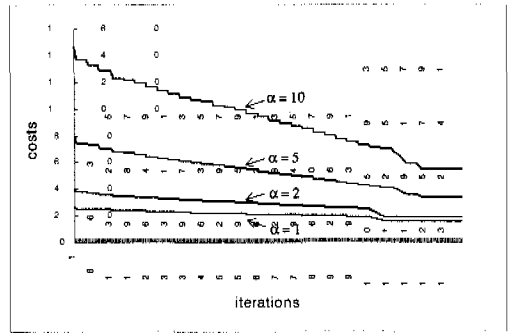
(b)

그림 9. 최적화에 따른 비용함수의 감소(클래스-I 트래픽)(a) 제안된 알고리즘, (b) greedy algorithm

그림 10은 클래스-II에 대하여 제안된 알고리즘과 greedy 알고리즘을 적용한 경우에 대한 비용의 변화를 보여준다. 이 경우에도 제안된 알고리즘은 월등한 최적화 성능을 보였으며, 최적화 결과 최고 70%에 이르는 비용 감소 폭이 관측되었다. 그림 9과 그림 10을 비교해 보면 이동성향이 균일한 경우(클래스-I)가 일정 지역으로 트래픽이 집중되는 경우(클래스-II)보다 초기 비용은 2배 정도로 높으나 최적화 된 뒤의 비용은 거의 비슷하게 되는 결과를 보인다. 즉, 비용의 감소 폭은 클래스-I 보다 클래스-II가 더 크게 된다. 이것은 이동성향이 균일한 경우에는 셀 전체에서 신규호의 블록킹 확률과 핸드오프호의 거부 확률이 고르게 발생하므로 전체적인 비용은 높게 되지만 길을 따라 트래픽이 이동하여 한 지역으로 집중되는 경우에는 트래픽이 집중되는 지역에서만 호의 블록킹과 거부 현상이 크게 발생하기 때문이다.



(a)



(b)

그림 10. 최적화에 따른 비용함수의 감소(클래스-II 트래픽) (a) 제안된 알고리즘, (b) greedy algorithm

그림 11은 제안된 알고리즘에서 적용한 simulated annealing의 초기 단계에서 비용이 보다 높은 선택을 하게 함으로써 궁극적으로는 보다 낮은 최적치를 쫓아 갈 수 있음을 보여주고 있다. 그림에서 greedy 알고리즘의 경우에는 새로운 최적치를 한동안 찾지 못하고 있는 반면, 제안된 알고리즘의 경우에는 당장은 높지만, 채널 운용 방식에 변화를 줌으로써 보다 큰 낙차의 비용 감소를 이루게 된다.

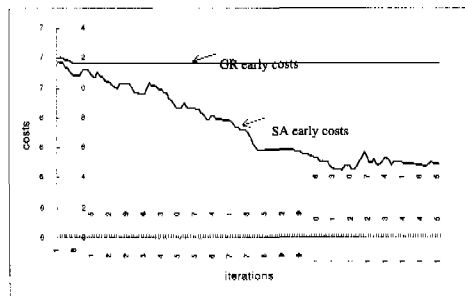
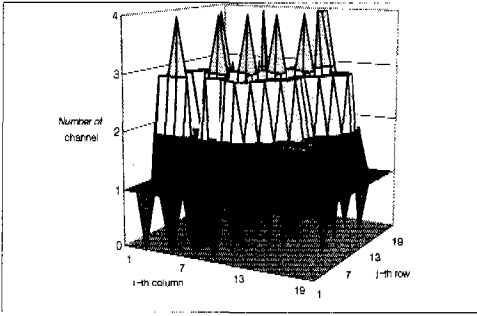
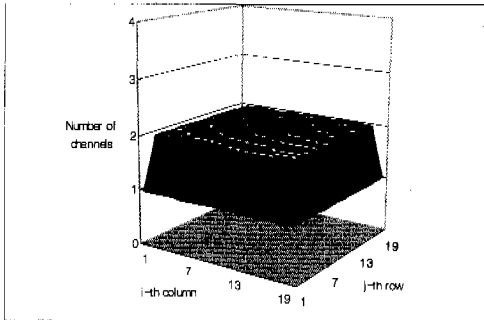


그림 11. Simulated annealing 초기 비용함수 변화



(a)



(b)

그림 12. 최적화된 핸드오프 전용채널수.(a)클래스 I
(b) 클래스 II

그림 12는 각 셀당의 초기가입지수는 500명이이고 핸드오프 가중치를 10으로 줄 경우 최적화 시물레이션 종료 뒤 각 셀 당의 조정된 핸드오프 전용 채널 수를 클래스-I 및 클래스-II 트래픽에 대하여 각각 입체적으로 표현한 것이다. 그림 12a를 보면 초기에 할당된 전용 채널 수는 각 셀별로 1개였으나, 시물레이션 결과 셀별 전용채널의 수는 0에서 4까지 다양한 분포를 보이며, 특히 트래픽이 집중되는 도로 형태의 방향으로 3~4개의 채널을 배정함을 보여준다. 그림 12b는 클래스-II의 경우이므로 전 지역에 걸쳐 핸드오프 전용 채널이 2개로서 일정하다.

최적화 시물레이션의 결과를 요약하여 표 2에서 비교하였다. 먼저 클래스-I 트래픽에 대하여 제안된 알고리즘과 greedy 알고리즘을 각각 적용한 경우 핸드오프 가중치를 변화시키며 시물레이션을 한 결과, 비용 값을 서로 비교해 보면 시작 비용은 같으나 결과 비용에 의한 변화량을 비교해 보았을 때 제안된 알고리즘을 적용한 경우가 각 사례별로 7~9배에 이르는 비용 감소 폭을 보임을 확인할 수 있다. 클래스-II의 경우 역시 제안된 알고리즘과 greedy 알고리즘을 적용한 각각의 결과 비용 값을 비교해 보면 클래스-I에서의 효과보다는 낮지만 제안된 알고리즘을 적용한 경우가 1.2배 정도로 더 나은 효과를 보임을 알 수 있다. 또한 클래스-II의 경우 클래스-I과의 비용 감소 폭을 비교해 보면 앞서 그림에서도 보았듯이 클래스-I의 경우보다 2~3배 정도 더 많은 비용의 감소 효과를 보여주고 있다.

표 2. 시물레이션 결과 총 비용합수의 변화

Class	적용알고리즘	핸드오프 가중치	시작 비용	결과 비용	변화량
Class I	제안된 알고리즘	$\alpha = 10$	72.7	33.9	Δ53.34%
		$\alpha = 5$	40.0	20.8	Δ48.00%
		$\alpha = 2$	20.5	10.2	Δ50.24%
		$\alpha = 1$	14.0	8.9	Δ36.43%
	Greedy	$\alpha = 10$	72.7	67.2	Δ7.56%
		$\alpha = 5$	40.0	37.3	Δ6.75%
		$\alpha = 2$	20.5	19.3	Δ5.85%
		$\alpha = 1$	14.0	13.3	Δ5.00%
Class II	제안된 알고리즘	$\alpha = 10$	146.7	39.8	Δ72.87%
		$\alpha = 5$	80.0	26.0	Δ67.50%
		$\alpha = 2$	40.0	18.4	Δ54.00%
		$\alpha = 1$	26.7	15.8	Δ40.82%
	Greedy	$\alpha = 10$	146.7	55.4	Δ62.23%
		$\alpha = 5$	80.0	34.3	Δ57.13%
		$\alpha = 2$	40.0	19.4	Δ51.50%
		$\alpha = 1$	26.7	15.8	Δ40.82%

IV. 결 론

본 논문에서는 도심 지역에서 운용되는 개인휴대통신 시스템을 모델로 하여 각 기지국별 통화 채널의 효율적인 운용을 목표로 한 핸드오프 채널 운용 최적화 알고리즘을 제안하였다. 도심지역에서의 개인휴대통신 시스템은 매 시각 달라지는 가입자의 이동특성으로 인하여 한 가지의 일관된 채널 운용 방법으로는 최적화된 시스템 성능을 기대할 수 없다. 특히, 핸드오프 실패 확률을 줄이는 일은 총체적인 서비스 품질을 높이는 데 중요한 요인이 된다. 제안된 알고리즘은 성능 평가 변수를 신규호 블록킹 확률과 핸드오프호 거부 확률에 대한 가중치 합으로 정의하고, 각 기지국에서의 핸드오프 유보 채

널수를 주어진 트래픽 패턴에 맞도록 최적화함으로써 총체적인 서비스 품질 평가치를 최소화하였다. 클래스-I과 클래스-II로 대표된 도심지역에서 전형적으로 나타나는 트래픽에 적용하여 시뮬레이션을 수행한 결과, 최고 40%~70%까지의 비용 감소 효과를 얻을 수 있었으며, 제안된 최적화 알고리즘의 성능을 일반적인 greedy 알고리즘의 결과와 비교하여 제안된 알고리즘의 효과를 입증하였고, 가입자 트래픽 패턴이 불규칙적이 되면 될수록 제안된 알고리즘의 최적화 결과가 상대적으로 우수하다는 점을 알 수 있었다. 제안된 알고리즘을 PCS 사업자가 기지국 운영과정에 활용할 경우, 채널 운용의 최적화를 통한 간접적인 시스템 용량 증가를 효과를 가져다준다.

참 고 문 헌

[1] Aura Ganz,C.M.Krishna, DingyiTa "On Optimal design of Multitier wire-less Cellular Systems," *IEEE communications magazine*, <http://www.comsoc.org/pubs/ci/comsoc/private/1997/feb/Ganz.htm>

[2] D. Hong and S.S.Rappaport, "Tra Model and Performance Analysis for Cellular Mobile Radio Telephone Systems with prioritized and Non prioritized handoff Procedures," *IEEE Trans. on VTC*, vol VT-35, No.3, pp77-92, Aug.1986.

[3] Manuel Duque-Anton, "Cha assignment for cellular radio using simulated annealing," *IEEE trans. on VTC*,vol.42,No.1, pp.14-21, Feb. 1993.

[4] Derek Lam and Donald C. "Teletramodeling for personal communications services *IEEE communications magazine* <http://www.comsoc.org/pubs/ci/comsoc/private/1997/feb/Lam.htm>.

[5] R.Vijayan,Jack M. Holtzman,"A model for analyzing handoff algorithms," *IEEE trans. on VTC*, Vol.42, No.3, pp.351-356, Aug. 1993.

[6] William C.Y.Lee, *Mobile communications design fundamentals 2nd*, John Wiley & Sons Inc., 1993.

[7] S-H Hwang et al, "Variable Threshold handoff for IS-95 based cellular CDMA

systems," *Proc. the 2nd Int. workshop on MDMC (Multi-Dimensional Mobile Communications)*Seoul, Korea, pp.773-776, 1996.

[8] 김광식,한영남, "최적 핸드오프 파라미터 정," *JCCI*, pp.449-453, 1995.

[9] Dimitri Bertsekas, Robert Gallag *Data Networks*, 2nd Prentice-Hall International, Inc., pp 152-209, 1993

[10] Theodore S. Rappaport, *Wireless communications*, IEEE press, 1996.

[11] 조호신,정운원,성단근,박판중, "도심 환경에서의 2가지 마이크로셀 형태에 대한 성능 비교," *JCCI*, pp.33-37, 1996.

[12] Jeong-HyeHan and Nak-Myeong Ki"Channel Optimization in Metro-politan PCS System by Simulated Annealing," *4th International Work-shop on Mobile Multimedia Communications*, pp. 189-192, Oct. 2, 1997.

윤 현 영(Hyen-Young Yoon) 부회원
 1998년 2월 : 원광대학교 전자공학과 졸업.
 1998년 3월~현재 : 이화여자대학교 전자공학과 대학원
 <주관심 분야> 채널 모델링, CDMA 이동통신 시스템, CDMA 간섭제거 방식

한 정 혜(Jeong-Hye Han) 정회원
 1988년 2월 : 이화여자대학교 전자계산학과 졸업
 1992년 2월~1996년 4월 : 한국 과학 기술 연구원
 1995년 3월~1997년 8월 : 이화여자대학교 정보과학 대학원 정보통신학과 졸업
 1996년~현재 : 이화여자대학교 정보전산원

김 낙 명(Nak-Myeong Kim) 정회원
 1980년 : 서울대학교 전자공학과 졸업
 1982년 : KAIST 전기 및 전자공학과 석사
 1990년 : 미국 Cornell University 전기공학과 공학박사
 1990년~1996년 : LG 정보통신(주) 책임연구원.
 1996년~현재 : 이화여자대학교 공과대학 전자공학과 조교수.
 <주관심 분야> 디지털 이동통신, 위성통신, 통신망이론