

클러스터 기반의 적응적 호 수락 제어와 보호 채널을 갖는 이동통신망의 성능 분석에 관한 연구

정희원 정 주 영*, 류 호 용*, 구 창 회**, 이 재 호*

A Study on the Performance Evaluation of Mobile Network with Cluster-based Adaptive Call Admission Control and Guard-channel

Ju Young Jung*, Ho Yong Ryu*, Chang Hee Goo**, Jae Ho Lee* *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 호의 도착률과 서비스 율의 변화에 따른 클러스터 기반의 적응적 호 수락제어와 각 기지국에서 핸드오프 호를 위한 보호채널 및 새로운 호를 위한 큐의 사용을 통해 서비스 품질로서 미리 설정된 새로운 호의 블로킹 확률과 핸드오프 호의 블로킹 확률의 보장할 수 있는 방안을 제시하였다. 또한, 제안한 방식을 통해 총 전송되는 트래픽의 양을 증가시킬 수 있게 된다. 클러스터 기반의 호 수락 제어 임계치를 설정함으로써 나타나는 장점은 클러스터 내의 과부하 상태를 방지함으로써 핸드오프 호의 블로킹 확률을 감소시킬 수 있고, 각 셀의 호 도착률에 따라 클러스터의 채널 제어가 동적으로 각 셀에 채널을 할당하는 효과를 거둘 수 있다. 본 논문의 성능 분석을 위해 큐잉 모델을 통한 수치해석을 수행하였다.

ABSTRACT

In this paper, we propose the algorithm that can guarantee the pre-decided blocking probability of handoff call and new call, and increase the total transmitted traffic as using guard channel for handoff call and queue for new call in each basestation, and cluster-based adaptive call admission control. The merit of cluster-based CAC threshold can decrease the blocking probability of handoff call by preventing overload state in cluster and have an effect that the channel controller allocates dynamically channels according to the call arrival rate of each cell. We analyze the performance as queuing model.

I. 서 론

이동통신망의 최근 진보와 더불어 무선/이동망은 현대통신의 중요한 요소 중의 하나가 되었다. 이동 통신의 제한된 주파수 자원과 사용자수의 급속한 증가 등으로 인해 서비스 영역은 작은 셀(cell)들로 나누어지고, 주파수 채널들은 이동 통신망에 할당된 제한된 주파수의 효율적 사용을 위해 여러 번 재사용 될 것이다[1][2]. 이동 통신 시스템에서 고려되는 호의 종류로는 새로운

호(new call)와 핸드오프 호(handoff call)가 있다. 새로운 호는 이동가입자가 발신 또는 착신하는 경우와 같이 새로운 무선채널을 할당하는 경우이고, 임의의 셀에서 호가 설정된 후 이동가입자의 이동에 따른 기지국과 이동가입자 사이의 연결을 계속 유지시키기 위하여 새로운 기지국으로 호를 인계하는 것을 핸드오버 호라 한다. 새로운 호가 임의의 셀에 접속을 시도할 때, 그 셀에 할당된 주파수 채널중의 하나가 이것에 할당되어지고 만일 그 셀에 모든 채널이 사용중이라면

* 광운대학교 전자통신공학과 : 정희원, ** 삼성전자 정보통신 개발센터 : 정희원
논문번호 : 98299-0715, 접수일자 : 1998년 7월 15일

그 호는 블로킹 되어진다. 호가 연결되어진 후 이동 가입자가 근접한 셀로 이동 할 경우, 이동 가입자에게 연속적인 서비스를 제공하기 위해 그 호는 이웃한 셀로 핸드오프 되어져야 하고, 만일 이동한 근접한 셀에 이용할 수 있는 채널이 없을 시, 핸드오프 호는 블로킹 되어진다. 블로킹 확률은 이동 시스템에서 가장 중요한 서비스 품질(QoS)의 기준 중 하나이고, 특히 핸드오프 호의 블로킹은 통신 도중에 호의 절단이 발생하므로 서비스 품질에 더욱 심각한 영향을 줄 수 있다. 따라서 새로운 호에 비해서 핸드오프 호에 보다 우선 순위가 주어져야 한다. 그러나, 핸드오프 호 블로킹 확률의 감소는 새로운 호(new call)의 서비스 품질에 대한 감소 없이는 이루어 질 수 없다. 본 논문에서는 호의 도착률과 서비스율의 변화에 따른 클러스터 기반의 적응적 호 수락제어와 각 기지국에서 핸드오프 호를 위한 보호채널 및 새로운 호를 위한 큐의 사용을 통해 서비스 품질로서 미리 설정된 새로운 호의 블로킹 확률과 핸드오프 호의 블로킹 확률의 보장할 수 있는 방안을 제시하였다. 또한, 제안한 방식을 통해 총 전송되는 트래픽의 양을 증가시킬 수 있게 된다. 제안한 방식은 기존의 클러스터 기반의 고정된 호 허용 임계치만을 갖는 방식에 비해 트래픽 특성에 따라 적응적으로 허용 임계치를 변화시킴으로써 새로운 호의 손실 확률과 채널의 이용율을 증가시킬 수 있게 된다. 각 기지국에 핸드오프 호를 위한 보호 채널을 사용함으로써 핸드오프 호의 블로킹 확률을 감소시켰으며, 클러스터 내로 이미 허용된 새로운 호에 대해 해당 기지국에 가용 채널이 없을 시 더 이상의 호 블로킹이 발생하지 않도록 호를 기지국의 큐(Queue)에 저장하도록 하여 새로운 호의 블로킹 확률을 개선시켰다. 여기서 큐의 크기는 클러스터 내의 허용된 모든 호가 한 기지국으로 몰릴 경우에도 블로킹이 발생하지 않도록 클러스터의 총 채널 수와 같게 설정하였다. 클러스터와 각 기지국에서의 성능 분석을 위해 큐잉 모델을 통한 수치해석을 하였고, 이 해석을 통해 기존에 핸드오프 블로킹 확률을 개선시키기 위해 기존에 제안된 클러스터 기반의 고정된 임계치만을 갖는 시스템과의 성능 비교를 수행하였으며, 새로운 호의 트래픽 부하와 핸드오프 확률의 변화에 따른 각 기지국에서의 핸드오프 호 블로킹 확률 그리고 새로운 호의 지연 확률을 구하였다. 또한 서비스 품질로서 미리 설정된 새로운 호의 지연 확률과 핸드오프 호의 블로킹 확률을 만족할 수 있는 보호 채널의 수를 구하였다. 그리고 보호 채널의 설정으로 인해 핸드오프 호의 블로킹 확률은 감소되지만, 새로운

호의 지연 확률이 증가되는 단점을 보완하기 위해 핸드오프 호의 블로킹 확률과 새로운 호의 지연 확률 모두를 만족할 수 있도록 하는 보호 채널의 수를 구하였다.

II. 클러스터 기반의 적응적 호 수락 제어 방식

2.1 제안한 방식의 기본 개념

여러 개의 인접 셀들로 구성된 클러스터에서 새로운 호(new call)가 클러스터 내로 연결을 요구 할 때 그 호에 대한 수락제어는 클러스터의 호 수락 제어기(CAC : Call Admission Controller)에서 제어하도록 하고, 새로운 호가 클러스터의 CAC에 채널 할당을 요구할 때 CAC는 자신의 허용 임계치가 초과 되었는 지의 여부를 판단한 뒤 그 호를 수락 할 것인가를 결정한다. 그림 1은 7개의 셀로 구성된 클러스터의 기본 개념도이며, 음영부분이 한 클러스터 내에서 제어를 받는 셀들이다.

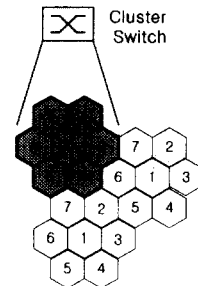


그림 1. 7개의 셀로 구성된 클러스터
Fig. 1 Cluster constituted as seven cell

핸드오프 호의 블로킹 확률을 개선시키기 위해 기존에 제안된 클러스터 기반의 고정된 호 허용 임계치만을 갖는 시스템은 낮은 트래픽 부하에서는 새로운 호의 블로킹이 어느 정도 낮게 나타나지만 높은 트래픽 부하에서는 상당한 양의 새로운 호가 블로킹 되어진다. 또한 이미 클러스터 내로 허용된 호의 경우에 임의의 기지국으로 호(call)들이 몰렸을 경우에 상당한 호의 블로킹이 발생하게 된다. 실제적으로 성능분석의 결과 클러스터에서의 블로킹 보다 각 기지국에서의 블로킹이 훨씬 많이 발생하는 것을 확인하였다. 기존의 방식에서는 핸드오프에 대한 어느 정도의 성능 개선을 확인하였지만, 새로운 호에 대한 상당한 성능 감소와 그 호에 대해서는 어떤 서비스 품질도 보장할 수 없게 된다. 본 논문에서는 클러스터 기반의

호 허용 임계치를 호 도착률과 서비스율의 변화에 따라 적응적으로 변화시킴으로써 서비스 품질로서 미리 설정된 새로운 호의 블로킹 확률을 보장할 수 있게 하였다. 그리고 이미 클러스터 내로 허용된 새로운 호가 각 기지국에 도착 시 이용할 수 있는 채널이 존재하지 않을 경우 더 이상의 호 손실을 막기 위해 각 셀의 큐에 호를 저장하도록 하였다. 핸드오프 호에 비해 새로운 호는 지연에 둔감하기 때문에 새로운 호를 저장하는 것이 가능하며, 통신 도중에 호의 절단이 발생하는 핸드오프 호의 블로킹 확률을 줄이기 위해 각 셀에 핸드오프 호를 위한 보호 채널을 사용함으로써 새로운 호에 대해 핸드오프 호에 우선권을 부여하였다. Cutoff priority scheme라 불리는 보호 채널 기법은 각 셀에 핸드오프를 위한 몇 개의 채널을 예약함으로써 핸드오프 성공확률을 향상시킬 수 있고, 보호 채널을 제외한 나머지 채널은 핸드오프 호와 새로운 호가 똑같이 공유하게 된다. 이 방식에서의 결점은 새로운 호에 더 적은 수의 채널이 할당됨으로서 전송되는 총 트래픽이 줄어드는 단점이 있다. 이 점은 앞에서와 같이 새로운 호를 해당 기지국의 큐에 저장함으로써 무시되어질 수 있다. 성능 분석에서 보호 채널을 사용할 경우 보호 채널을 한 개 증가시킬 때 핸드오프 호의 블로킹 확률은 새로운 호의 큐잉 확률이 증가하는 것 보다 훨씬 빨리 감소한다는 것을 보였으며, 핸드오프 호를 위한 보호 채널과 새로운 호를 큐에 저장함으로써 핸드오프 호의 블로킹을 최소화 할 수 있을 뿐만 아니라 총 전송되는 트래픽을 증가시킬 수 있게 된다. 이것은 새로운 호는 큐에 저장되어 결국 서비스를 받을 것이기 때문에 핸드오프 호의 블로킹 확률을 감소시키는 것이 결과적으로는 총 전송 트래픽을 증가시키게 되기 때문이다. 따라서 보호 채널과 새로운 호의 저장을 위한 큐를 갖는 시스템은 총 전송 트래픽 양을 증가시킬 수 있게 된다. 그리고 클러스터 기반의 호 허용 임계치 설정할 때, 새로운 호의 최대 허용 가능한 블로킹 확률을 P_{QoS} 라 할 때 클러스터 당 허용가능한 호 임계치는 Erlang loss formula에 의해서 식 (1)과 같이 나타낼 수 있고, 이것을 이용하여 허용가능 임계치 N_{TH} 를 결정할 수 있다.

$$E(N_{TH}, \frac{B\lambda_n}{\mu}) = P_{QoS} \quad (1)$$

여기서 B는 클러스터 내의 셀의 수이고, $E(N_{TH}, \frac{B\lambda_n}{\mu})$ 는 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{\left(\frac{B\lambda_n}{\mu}\right)^{N_{TH}} / N_{TH}!}{\sum_{i=0}^{N_{TH}} \left(\frac{B\lambda_n}{\mu}\right)^i / i!} \quad (2)$$

λ_n 과 μ 의 변화에 따라 새로운 호의 허용가능 임계치가 변하므로써 새로운 호의 미리 설정된 서비스 품질(QoS)인 P_{QoS} 를 보장할 수 있게 된다. 따라서 실제로 각 기지국 내로 입력되는 새로운 호의 도착률 λ_{en} 은 $\lambda_n(1-P_{QoS})$ 가 된다. 또한 낮은 트래픽 부하에서 임계치가 낮게 설정되어 나타나는 채널의 비효율적 사용을 막기위해 임계치가 총 채널 수의 x%이하일 경우 임계치가 x%이상일 때까지 P_{QoS} 에 값 $y(0 < y < 1)$ 를 반복적으로 곱하므로써 P_{QoS} 를 단계적으로 낮춘다. 다음은 NTH 설정과정의 절차 흐름도이다.

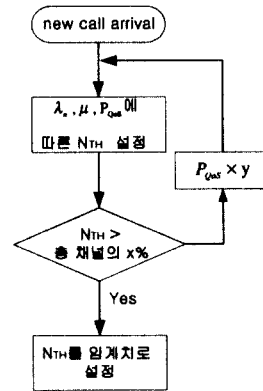


그림 2. 클러스터 임계치 설정과정
Fig. 2 The flowchart for deciding cluster threshold

III. 기지국 내의 상태 확률의 큐잉 해석

본 장에서는 클러스터 기반의 호 수락 제어, 새로운 호의 저장 그리고 핸드오프 호를 위한 보호 채널을 갖는 시스템의 상태 확률을 유도한다. 각 셀의 시스템 모델은 그림 3과 같다.

본 논문에서 성능 분석을 위해 사용되는 가정은 다음과 같다.

- 1) 클러스터 내의 각 셀당 새로운 호는 도착률이 λ_n 인 포아송 분포로 발생한다.
- 2) 호의 지속 시간은 평균 $1/\mu$ 인 지수 분포를 갖는다.

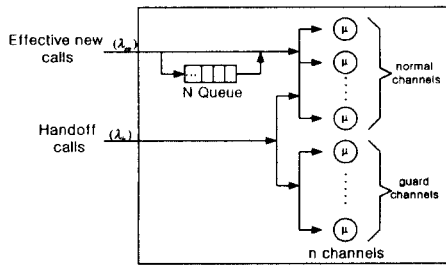


그림 3. 각 기지국의 시스템 모델
Fig. 3 the system model of each basestation

- 3) 한 셀에서 다른 셀로의 핸드오프 확률은 클러스터 내의 모든 셀에서 같다.
- 4) 모든 무선 연결은 같은 형태이고(예를 들면, 10 kbps의 음성 연결)이고, 각 기지국은 동시에 n개의 호까지 서비스 가능하다.
- 5) 클러스터 간에 핸드오프가 발생할 경우, 그 호는 이동되는 쪽 클러스터에서는 새로운 호로 간주한다.

클러스터 내의 총 채널수는 N이며, 각 셀은 n개의 채널을 갖는다. 버퍼의 수를 N으로 두는 이유는 클러스터 내의 모든 호들이 한 셀로 몰렸을 경우에도 모든 호를 수용함으로써 더 이상의 새로운 호의 손실이 발생하지 않도록 하기 위해서이다. 클러스터 내의 셀 수를 B라고 하고, 각 셀에서 핸드오프 확률을 Ph라 할 때 $N = B \times n$ 이 되고 각 셀의 실제적인 새로운 호와 핸드오프 호의 도착률은 다음 식과 같다.

$$\lambda_{en} = \lambda_n(1 - P_{QoS}) \quad (3)$$

$$\lambda_h = \lambda_{en} \cdot P_h \quad (4)$$

또한, 각 셀 내에서 제안한 모델의 상태 천이도는 그림 4와 같다.

여기서 시스템의 상태를 (i_1, i_2) 로 표현하였으며, i_1 은 현재 큐에 저장되어 있는 새로운 호의 수이고, i_2 는 현재 서비스 중인 호의 수를 의미한다. 또한 N_{TH} 는 클러스터 내의 새로운 호의 임계치를 의미하며, g는 보호 채널(guard channel)의 수를 의미한다. 이 상태 천이도는 두 개의 부분으로 나누어진다. 즉, (n-g)개 이하의 호가 서비스 중인 상태와 그 이외의 부분으로 구분할 수 있다. 범위 $i_1 = 0, 0 \leq i_2 \leq n-g$ 에서의 상태 확률은 Erlang loss formula로 부터 쉽게 얻어질 수 있다.

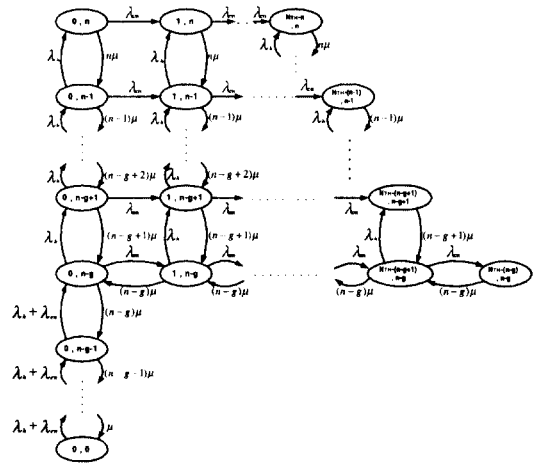


그림 4. 기지국 내에서의 상태 천이도
Fig. 4 The state-transition diagram of each basestation

$$P(0, i_2) = \frac{(\lambda_{en} + \lambda_h)^{i_2}}{i_2! \mu} P(0, 0), \text{ for } 0 \leq i_2 \leq n-g \quad (5)$$

여기서 $P(0, 0)$ 에 대한 수식은 다음 부분에서 얻어진다.

이제 범위 $i_1 \geq 0, n-g \leq i_2 \leq n$ 의 부분에 대한 핸드오프 호의 블록킹 확률을 구하기 위해 본 논문에서는 상태천이도의 $i_1 \leq N_{TH} - n$ 의 범위만을 고려하여 호 블록킹 확률을 구할 것이다. 이는 $N_{TH} \gg n$ 이므로 고려되는 부분과 그 부분을 제외한 우측 나머지 부분과의 상태 확률 사이의 차이는 거의 0이기 때문에 가능하다[3]. 상태확률을 구하기 위하여 먼저 $i_2 \geq n-g$ 인 범위에 대해서 다음과 같은 파라미터를 사용한다.

$$P_{i_2} = \sum_{i_1=0}^{N_{TH}-n} P(i_1, i_2), \text{ for } n-g \leq i_2 \leq n \quad (6)$$

그림 1에서 보는 것처럼 같은 열(row)에 있는 모든 상태는 같은 incoming flux와 outgoing flux를 갖는다. 예를 들어 (n-1)열을 보면, 모든 상태는 위 방향으로 λ_h 와 아래 방향으로 $(n-1)\mu$ 의 outgoing flux를 갖는다. 또한 위 방향으로부터 $n\mu$ 와 아래 방향으로부터 λ_h 의 incoming flux를 갖는다. 이것은 같은 i_2 값을 갖는 열 전체를 i_2^* 로 표현하면 i_2^* 는 outgoing flux와 incoming flux를 사용해서 $(i_2-1)^*$ 와 $(i_2+1)^*$ 에

연관시킬 수 있게 된다. 이 상태 천이도는 전형적인 블럭킹 시스템의 천이도이며, P_{n-g} 를 사용해서 상태 확률을 얻을 수 있다.

$$P_{i_2} = \left(\frac{\lambda_h}{\mu}\right)^{i_2-(n-g)} \frac{(n-g)!}{i_2!} \cdot P_{n-g} \quad (7)$$

이것은 다시 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\sum_{i_1=0}^{N_{TH}-n} P(i_1, i_2) = \left(\frac{\lambda_h}{\mu}\right)^{i_2-(n-g)} \frac{(n-g)!}{i_2!} \sum_{i_1=0}^{N_{TH}-n} P(i_1, n-g), \quad \text{for } n-g \leq i_2 \leq n \quad (8)$$

또한, 흐름 보존의 법칙(flow conservation law)에 의해 같은 i_1 값을 갖는 행(column)전체의 오른쪽으로의 outgoing flux는 상태 $(i_1+1, n-g)$ 로 부터의 incoming flux에 의해 균형이 맞춰진다.

$$\begin{aligned} (n-g)\mu P(i_1+1, n-g) &= \lambda_{en} \sum_{i_2=n-g}^n P(i_1, i_2), \\ &\text{for } 0 \leq i_1 \leq N_{TH}-n-1 \\ \Rightarrow P(i_1+1, n-g) &= \frac{\lambda_{en}}{(n-g)\mu} \sum_{i_2=n-g}^n P(i_1, i_2) \\ \Rightarrow \sum_{i_1=0}^{N_{TH}-n-1} P(i_1+1, n-g) &= \frac{\lambda_{en}}{(n-g)\mu} \sum_{i_1=0}^{N_{TH}-n-1} \left(\sum_{i_2=n-g}^n P(i_1, i_2) \right) \\ \Rightarrow \sum_{i_1=1}^{N_{TH}-n} P(i_1, n-g) &= \frac{\lambda_{en}}{(n-g)\mu} \sum_{i_1=n-g}^n \left(\sum_{i_1=0}^{N_{TH}-n-1} P(i_1, i_2) \right) \\ \Rightarrow \sum_{i_1=0}^{N_{TH}-n} P(i_1, n-g) &= P(0, n-g) \\ &+ \frac{\lambda_{en}}{(n-g)\mu} \sum_{i_1=n-g}^n \left(\sum_{i_1=0}^{N_{TH}-n-1} P(i_1, i_2) \right) \end{aligned} \quad (9)$$

여기서 위의 방정식을 식(8)의 형태에 대입하면 식(10)과 같이 방정식을 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \Rightarrow \sum_{i_1=0}^{N_{TH}-n} P(i_1, i_2) &= \left(\frac{\lambda_h}{\mu}\right)^{i_2-(n-g)} \frac{(n-g)!}{i_2!} \\ &\cdot \left[P(0, n-g) + \frac{\lambda_{en}}{(n-g)\mu} \sum_{i_1=n-g}^n \left(\sum_{i_1=0}^{N_{TH}-n-1} P(i_1, i_2) \right) \right] \end{aligned} \quad (10)$$

여기서 $N_{TH} \gg n$ 이므로

$$\sum_{i_1=0}^{N_{TH}-n-1} P(i_1, i_2) \approx \sum_{i_1=0}^{N_{TH}-n} P(i_1, i_2) \text{이고,}$$

따라서, $\sum_{i_1=n-g}^n \left(\sum_{i_1=0}^{N_{TH}-n-1} P(i_1, i_2) \right) \approx \sum_{i_1=n-g}^n \left(\sum_{i_1=0}^{N_{TH}-n} P(i_1, i_2) \right)$ 가 된다.

윗 식에 의해 식(10)은 식(11)과 같이 나타낼 수 있게 된다.

$$\begin{aligned} \sum_{i_1=0}^{N_{TH}-n} P(i_1, i_2) &= \left(\frac{\lambda_h}{\mu}\right)^{i_2-(n-g)} \frac{(n-g)!}{i_2!} \\ &\cdot \left[P(0, n-g) + \frac{\lambda_{en}}{(n-g)\mu} \sum_{i_1=n-g}^n \left(\sum_{i_1=0}^{N_{TH}-n} P(i_1, i_2) \right) \right] \end{aligned} \quad (11)$$

stationary system이 되기 위해서 모든 상태 확률의 총합은 1이 되어야한다.

$$\sum_{i_2=n-g}^n \left(\sum_{i_1=0}^{N_{TH}-n} P(i_1, i_2) \right) = 1 - \sum_{i_2=0}^{n-g-1} P(0, i_2)$$

위의 과정을 정리하면 다음 방정식과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} P_{i_2} &= \sum_{i_1=0}^{N_{TH}-n} P(i_1, i_2), \quad \text{for } n-g \leq i_2 \leq n \\ &= \left(\frac{\lambda_h}{\mu}\right)^{i_2-(n-g)} \frac{(n-g)!}{i_2!} \\ &\cdot \left[P(0, n-g) + \frac{\lambda_{en}}{(n-g)\mu} \left(1 - \sum_{i_2=0}^{n-g-1} P(0, i_2) \right) \right] \\ \Rightarrow P_{i_2} &= \left(\frac{\lambda_h}{\mu}\right)^{i_2-(n-g)} \frac{(n-g)!}{i_2!} \cdot \left[\frac{\left(\frac{\lambda_{en} + \lambda_h}{\mu}\right)^{(n-g)}}{(n-g)!} P(0,0) \right. \\ &\left. + \frac{\lambda_{en}}{(n-g)\mu} \left(1 - P(0,0) \sum_{i_2=0}^{n-g-1} \frac{\left(\frac{\lambda_{en} + \lambda_h}{\mu}\right)^{(n-g)}}{i_2!} \right) \right] \end{aligned} \quad (12)$$

$T = \frac{\lambda_{en} + \lambda_h}{\mu}$, $EN = \frac{\lambda_{en}}{\mu}$, $H = \frac{\lambda_h}{\mu}$ 로 치환하고, 윗 식을 $P(0,0)$ 에 대해 정리하면 P_{i_2} 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} P_{i_2} &= P(0,0) \left[\left(\frac{T}{H}\right)^{(n-g)} \cdot \frac{H^{i_2}}{i_2!} - \frac{EN}{(n-g)} \right. \\ &\cdot \left. \frac{(n-g)!}{H^{(n-g)}} \cdot \frac{H^{i_2}}{i_2!} \left(\sum_{i_2=0}^{n-g-1} \frac{T^{i_2}}{i_2!} \right) \right] \\ &+ \frac{EN}{(n-g)} \cdot \frac{(n-g)!}{H^{(n-g)}} \cdot \frac{H^{i_2}}{i_2!} \end{aligned} \quad (13)$$

마지막으로, $\sum_{i_2=0}^{n-g-1} P(0, i_2) + \sum_{i_2=n-g}^n P_{i_2} = 1$ 이고

$0 \leq i_2 \leq n-g$ 에 대해 $P(0, i_2) = \frac{\left(\frac{\lambda_{en} + \lambda_h}{\mu}\right)^{i_2}}{i_2!} P(0, 0)$
 이므로 앞의 방정식을 $P(0, 0)$ 를 갖는 방정식으로 유도할 수 있다.

$$1 = P(0, 0) \sum_{i_2=0}^{n-g-1} \frac{T^{i_2}}{i_2!} + P(0, 0) \left(\frac{T}{H}\right)^{(n-g)} \sum_{i_2=n-g}^n \frac{H^{i_2}}{i_2!} - P(0, 0) \frac{EN}{(n-g)} \cdot \frac{(n-g)!}{H^{(n-g)}} \cdot \left(\sum_{i_2=n-g}^n \frac{H^{i_2}}{i_2!}\right) \left(\sum_{i_2=0}^{n-g-1} \frac{T^{i_2}}{i_2!}\right) + \frac{EN}{(n-g)} \frac{(n-g)!}{H^{(n-g)}} \left(\sum_{i_2=n-g}^n \frac{H^{i_2}}{i_2!}\right)$$

윗 식으로 부터 $P(0, 0)$ 를 구하면

$$P(0, 0) = \left(1 - \frac{EN}{(n-g)} \cdot \frac{(n-g)!}{H^{(n-g)}} \sum_{i_2=n-g}^n \frac{H^{i_2}}{i_2!}\right) \cdot \Delta^{-1} \quad (14)$$

이 된다.

여기서,

$$\Delta = \left(\sum_{i_2=0}^{n-g-1} \frac{T^{i_2}}{i_2!}\right) \left(1 - \frac{(n-g)!}{H^{(n-g)}} \frac{EN}{(n-g)} \sum_{i_2=n-g}^n \frac{H^{i_2}}{i_2!}\right) + \left(\frac{T}{H}\right)^{(n-g)} \left(\sum_{i_2=n-g}^n \frac{H^{i_2}}{i_2!}\right)$$

이제, 위의 과정으로 부터 핸드오프 호의 블로킹 확률, P_{BH} 를 구하자. 상태 천이도에서 $i_2 = n$ 인 경우 즉, 셀 안의 모든 채널이 점유된 경우에 핸드오프 호의 블로킹이 발생하므로 $P_{BH} = P_n$ 이 된다.

$$P_{BH} = P_n = P(0, 0) \left[\left(\frac{T}{H}\right)^{(n-g)} \cdot \frac{H^n}{n!} - \frac{EN}{(n-g)} \cdot \frac{(n-g)!}{H^{(n-g)}} \cdot \frac{H^n}{n!} \left(\sum_{i_2=0}^{n-g-1} \frac{H^{i_2}}{i_2!}\right) \right] + \frac{EN}{(n-g)} \cdot \frac{(n-g)!}{H^{(n-g)}} \cdot \frac{H^n}{n!} \quad (15)$$

또, 새로운 호에 대한 지연 확률 P_{ND} 을 구하면

$$P_{DN} = 1 - \left(\sum_{k=0}^{n-g-1} \frac{T^k}{k!}\right) P(0, 0) \quad (16)$$

이 된다.

또한, 제안한 시스템이 안정성을 갖기 위해서는 $P(0, 0) > 0$ 이어야 하고, 윗 식 $P(0, 0)$ 의 확률로 부터 $\frac{EN}{(n-g)} \cdot \frac{(n-g)!}{H^{(n-g)}} \left(\sum_{i_2=n-g}^n \frac{H^{i_2}}{i_2!}\right) < 1$ 을 만족하여야 한다.

IV. 큐와 보호 채널을 갖지 않는 시스템의 큐잉 해석

본 장에서는 클러스터 기반의 고정된 임계치만을 설정하고, 각 기지국에 보호 채널과 큐를 갖지 않는 시스템의 성능을 해석한다. 먼저, 각 기지국에 큐가 존재하지 않을 때의 상태 확률을 구한다. 상태 천이도는 그림 4에서 시스템의 상태를 $(0, i_2)$, $0 \leq i_2 \leq n$ 으로 고려한 부분과 같다. i_2 를 i 로 치환하여 풀면 다음과 같다.

$$P_i = \frac{\left(\frac{\lambda_h + \lambda_{en}}{\mu}\right)^i}{i!} P_0, \quad \text{for } 0 \leq i < n-g$$

$$P_i = \frac{\left(\frac{\lambda_h}{\mu}\right)^{i-(n-g)} \left(\frac{\lambda_h + \lambda_{en}}{\mu}\right)^{n-g}}{i!} P_0, \quad \text{for } n-g \leq i \leq n$$

여기서,

$$P_0 = \left\{ \sum_{i=0}^{n-g-1} \frac{\left(\frac{\lambda_h + \lambda_{en}}{\mu}\right)^i}{i!} + \left(\frac{\lambda_h + \lambda_{en}}{\mu}\right)^{n-g} \sum_{i=n-g}^n \frac{\left(\frac{\lambda_h}{\mu}\right)^{i-(n-g)}}{i!} \right\}^{-1}$$

이다.

클러스터 내로 이미 허용된 호가 각 기지국에서 블로킹 당할 확률

$$P_B = \sum_{i=n-g}^n \frac{\left(\frac{\lambda_h}{\mu}\right)^{i-(n-g)} \left(\frac{\lambda_h + \lambda_{en}}{\mu}\right)^{n-g}}{i!} P_0, \quad \text{for } n-g < i < n$$

핸드오프 호의 블로킹 확률

$$P_{HB} = P_n = \frac{\left(\frac{\lambda_h}{\mu}\right)^g \left(\frac{\lambda_h + \lambda_{en}}{\mu}\right)^{n-g}}{n!} P_0, \quad \text{for } i = n$$

다음으로 총 전송되는 트래픽의 양을 구하면,
[큐가 없는 경우]

$$TransmittedTraffic = OfferedTraffic \times (1 - PNB)(1 - P_B)(1 - P_{HB})^h$$

여기서, PNB는 클러스터에서의 새로운 호의 블로킹 확률을 의미하고, h는 연결이 끝날 때까지의 핸드오프 회수가 된다.

[큐가 있는 경우]

$$TransmittedTraffic = OfferedTraffic \times (1 - PNB)(1 - P_{HB})^h$$

임계치가 적용적인 경우에도 두 번째 식과 같은 공식이 적용되나 PNB값이 계속적으로 변하게 된다.

[큐와 보호 채널 모두 존재하지 않는 경우]

위의 식들에 보호 채널의 수 g에 0을 대입하므로써 구해질 수 있다.

V. 성능 분석

본 논문의 성능 분석에서 하나의 클러스터는 7개의 셀로 구성되어 있고 각 셀은 40개의 채널을 가지고 있는 시스템을 가정한다. 그림 5는 새로운 호의 트래픽 부하에 따른 클러스터의 호 허용 임계치를 나타낸 것이다. 여기서 PNB는 새로운 호의 블로킹 확률을 나타낸 것으로서 미리 설정되어 있는 P_{QoS}를 나타낸 것이다. 나머지 하나의 결과는 PNB를 가변시킴으로서 낮은 트래픽 부하에서 임계치가 낮게 설정되므로 인한 채널의 비효율적 사용을 막기 위한 것이다. 여기서 호 허용 임계치를 80%이상으로 유지시켰으며 새로운 호의 최대 허용 블로킹 확률, P_{QoS}을 먼저 0.01로 설정한 후 임계치가 80%이하일 경우 P_{QoS}에 임계치가 80% 이상이 될 때까지 y = 0.1을 반복적으로 곱함으로써 NTH를 결정하였다. PNB를 1 × 10⁻², 1 × 10⁻³ 그리고 1 × 10⁻⁴로 고정하였을 경우 84 erlang 이상 168 erlang이하의 트래픽 부하에서는 채널의 이용률이 35~70%정도이지만 PNB를 가변시켰을 경우 채널 이용률을 80%이상으로 유지시킬 수 있게 된다. 그림 5~7에서는 클러스터에 고정된 임계치만을 설정하고 각 기지국에 보호 채널과 큐를 갖지 않는 시스템과의 성능 비교이다. 그림 5에서는 각 기지국에 큐

를 갖지 않는 시스템과 본 논문에서 제안한 새로운 호의 고정된 블로킹 확률에 따라 임계치가 설정되는 시스템 그리고 새로운 호의 가변 블로킹 확률에 따라 임계치가 설정되는 시스템 사이의 총 전송 트래픽 양을 비교한 것이다. 여기서 성능 비교를 위해 큐가 없는 경우의 클러스터 임계치를 총 채널수의 80%로 고정시켰다.

그림 6에서는 보호 채널의 수를 5, 핸드오프 확률을 0.5 그리고 핸드오프 수를 5번으로 고려했을 때의 성능 비교이며, 큐가 있는 경우는 PNB를 0.01로 고정시켰다.

성능 분석 결과, 트래픽 부하가 높아 질 수록 총 전

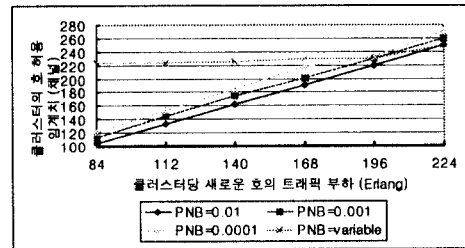


그림 5. 새로운 호의 트래픽 부하에 따른 클러스터 임계치 Fig. 5 Cluster threshold for the traffic load of new call

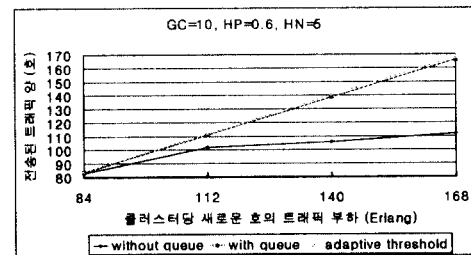
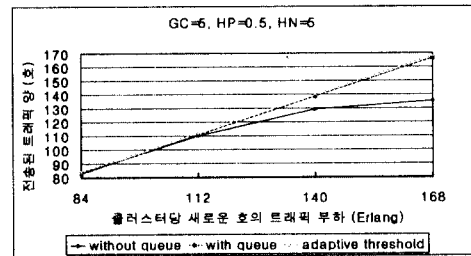


그림 6. 새로운 호의 트래픽 부하에 따른 총 전송 트래픽 Fig. 6 Total transmitted traffic for the traffic load of new call

송되는 트래픽의 양은 제한한 방식과 기존의 방식 사이에 많은 차이가 남을 알 수 있고, 특히 168 erlang에서는 PNB를 고정시켰을 경우와 약 31 call정도 그리고 PNB를 가변시켰을 경우에는 33 call정도의 전송량의 차이가 있음을 알 수 있다. 또한, 보호 채널의 수를 10, 핸드오프 확률을 0.6 그리고 핸드오프 수를 5번으로 고려한 경우이며, 큐가 있는 경우 PNB를 0.01로 고정 시켰다. 결과 그래프로 부터 제한한 방식과 기존의 방식 사이의 차이를 더욱 확실히 볼 수 있다.

표 1은 각 새로운 호의 트래픽 부하에 따른 새로운 호의 블로킹 확률의 변화를 나타내었다. 이것은 클러스터 기반의 호 수락 제어에서의 블로킹 확률과 각 기지국에서의 블로킹 확률의 합에 의해서 구해졌다. 트래픽 부하가 낮은 곳에서는 큐가 없는 시스템이 고정된 PNB를 갖는 큐가 있는 경우보다 블로킹 확률이 오히려 더 낮지만 부하가 증가할 수록 블로킹 확률의 차이가 나타남을 볼 수 있다. 또한 클러스터의 호 허용 임계치가 80%로 고정되고 큐를 갖지 않는 시스템은 낮은 트래픽 부하에서 클러스터에서의 호 블로킹은 거의 발생하지 않으나 각 기지국에서 많은 블로킹이 발생하는 것을 알 수 있다. 이것은 표에서 "without queue"와 "with queue and adaptive threshold" 사이의 차이이며, 84 erlang에서 각각 약 1×10^{-26} 과 1×10^{-17} 정도의 차이가 남을 알 수 있다. 그리고 높은 부하에서는 클러스터와 각 기지국 모두에서 많은 블로킹이 발생됨을 알 수 있다.

그림 7은 각 시스템에 보호채널이 있는 경우와 없는 경우의 성능 비교이다. 여기서 G는 보호 채널의 수를 의미하며, 140 erlang에서 보호 채널이 10개인 경우와 없는 경우에는 약 1×10^{-6} 정도의 블로킹 확률 차이가 나고, 보호 채널이 5개인 경우에는 약 1×10^{-3} 정도의 차이가 남을 알 수 있다.

그림 8은 클러스터당 새로운 호의 트래픽 부하와 핸드오프 확률의 변화에 따라 안정 시스템을 만족시

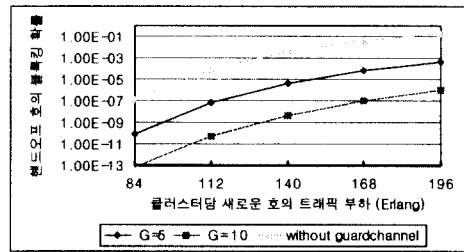


그림 7. 보호 채널의 유무에 따른 성능 비교
Fig. 7 Performance comparison for the existing or non-existing of guard channel

기기 위한 최대 보호 채널의 수를 나타내었다. 낮은 트래픽 부하에서는 각 셀당 총 채널수의 거의 반정도를 보호 채널로 사용해도 안정 시스템을 구성할 수 있으나 224 erlang이상의 높은 트래픽 부하에서는 보호 채널이 없을 때 안정 시스템을 만족할 수 있게된다.

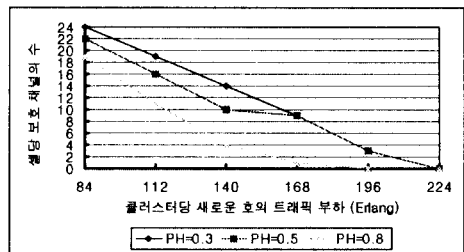


그림 8. 새로운 호의 트래픽 부하의 변화에 따른 최대 허용 보호 채널수의 변화
Fig. 8 The variation of the number of maximum guard channel according to the traffic load of new call

그림 9는 보호 채널의 수, 새로운 호의 트래픽 부하 그리고 핸드오프 확률의 변화에 따른 각 셀당 핸드오프 호의 블로킹 확률을 나타낸 것이다. 여기서

표 1. 새로운 호의 트래픽 부하에 따른 새로운 호의 블로킹 확률
Table 1. Probability of new call blocking according to the traffic load of new call

	보호 채널 = 5, 핸드오프 확률 = 0.5, 핸드오프 수 = 5			보호 채널 = 10, 핸드오프 확률 = 0.6, 핸드오프 수 = 5		
	without queue	with queue	with queue and adaptive threshold	without queue	with queue	with queue and adaptive threshold
84 erlang	1.28E-4	1.00E-2	1.12E-30	2.86E-3	1.00E-2	1.34E-20
112 erlang	8.57E-3	1.00E-2	1.43E-21	8.01E-2	1.00E-2	1.47E-14
140 erlang	6.78E-2	1.00E-2	2.31E-17	2.37E-1	1.00E-2	3.56E-10
168 erlang	1.86E-1	1.00E-2	1.23E-12	4.01E-1	1.00E-2	2.45E-8

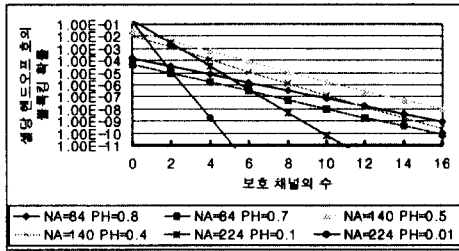


그림 9. 보호 채널 수 따른 핸드오프 호 블로킹 확률
Fig. 9 Probability of handoff call blocking for guard channel

NA는 새로운 호의 트래픽 부하이고 PH는 핸드오프 확률을 나타낸 것이다.

그림 10은 새로운 호의 트래픽 부하, 핸드오프 확률 그리고 보호 채널 수의 변화에 따른 새로운 호의 지연 확률을 나타낸 것이다. 여기서도 앞에서와 마찬가지로 지연에 민감한 트래픽에 미리 설정된 서비스 품질을 보장할 수 있는 보호 채널의 수를 구하였다. 즉, NA가 84일 때, 지연 확률 1×10^{-3} 을 만족할 수 있는 보호 채널의 수는 4개가 되고, NA가 140일 때 지연 확률 1×10^{-3} 을 만족시킬 수 있는 보호 채널의 수는 0개가 된다.

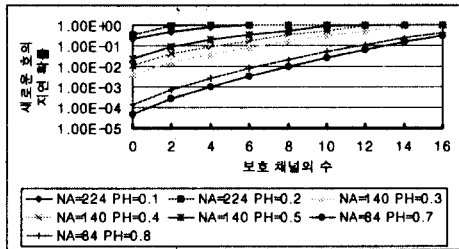


그림 10. 보호 채널 수 따른 새로운 호의 지연 확률
Fig. 10 Probability of new call delay for guard channel

그림 11은 각 시스템에서 미리 설정된 서비스 품질을 보장할 수 있도록 하는 보호 채널의 수를 나타냈다. 여기서는 미리 설정된 핸드오프 호의 블로킹 확률과 새로운 호의 지연확률 모두를 만족시킬 수 있는 보호 채널의 수를 결정하였다. 이 결과로부터 NA가 84 erlang일 때, 서비스 품질을 만족시킬 수 있는 보호 채널의 수는 12개이고, 112 erlang일 때의 보호 채널의 수는 5개가 된다. 특히 224 erlang의 높은 트래픽 부하에서는 어떤 시간대에서나 서비스 품질을

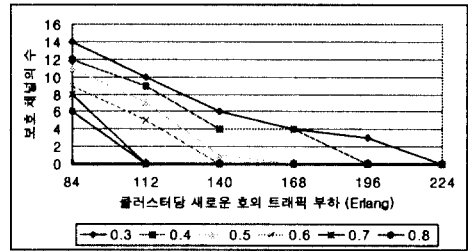


그림 11. 지연과 블로킹 확률을 만족할 수 있는 보호 채널의 수
Fig. 11 The number of guard channel satisfying both delay and blocking probability

만족시킬 수 있는 보호 채널의 수는 0만이 존재한다.

V. 결 론

본 논문에서는 호의 도착률과 서비스 율의 변화에 따른 클러스터 기반의 적응적 호 수락제어를 통해 미리 설정된 새로운 호의 서비스 품질을 보장할 수 있을 뿐만 아니라 각 기지국에 보호 채널과 큐를 사용함으로써 핸드오프 호의 블로킹 확률과 새로운 호의 지연확률을 보장할 수 있고, 또한 총 전송되는 트래픽의 양을 증가시킬 수 있는 방안을 제시하였다. 제안한 방식의 성능 분석을 위해 큐잉 모델을 통한 수치해석을 하였고, 이 해석을 통해 새로운 호의 트래픽 부하와 핸드오프 확률의 변화에 따른 핸드오프 호 블로킹 확률 그리고 새로운 호의 지연 확률을 구하였다. 그리고 미리 설정된 지연 확률과 블로킹 확률을 만족할 수 있는 보호 채널의 수를 구하였다. 또한 기존에 제안된 클러스터 기반의 고정된 호 허용 임계치만을 갖는 방식과의 성능 비교를 수행하였다.

성능 분석 결과, 큐를 갖는 시스템중 고정된 새로운 호 블로킹 확률을 갖는 시스템은 보호 채널의 수를 5, 핸드오프 확률을 0.5, 핸드오프 수를 5번 그리고 새로운 호의 블로킹 확률을 0.01로 고려했을 때 기존의 방식보다 168 erlang에서 약 31 call정도의 전송량이 개선됨을 보였고, 가변의 새로운 호 블로킹 확률을 갖는 시스템의 경우에는 33 call정도의 전송량이 개선됨을 보였다. 또한 보호 채널의 수를 10, 핸드오프 확률을 0.6 그리고 핸드오프 수를 5번으로 설정한 경우에도 기존의 방식과의 성능 비교를 수행하였다. 그리고 클러스터 기반의 호 수락제어를 통한 새로운 호의 블로킹과 각 기지국에서의 새로운 호의 블

록킹 확률의 합인 새로운 호의 총 블로킹 확률 측면에서 성능 비교를 수행하였다. 결과 낮은 부하에서는 큐를 갖는 시스템중 새로운 호의 고정된 블로킹 확률을 갖는 시스템보다 블로킹 확률이 낮으나 112 또는 140 erlang의 중간 이상의 부하부터는 블로킹 확률이 상당히 개선됨을 알 수 있다. 안정 시스템을 구성하기 위한 최대 가능한 보호 채널의 수를 구하였으며, 새로운 호의 트래픽 부하가 높고 핸드오프 확률이 낮을 수록 보호 채널의 수의 증가에 따른 핸드오프 호의 블로킹 확률이 더 급속히 감소하는 것을 알 수 있다. 보호 채널의 설정으로 인해 핸드오프 호의 블로킹 확률은 개선되지만 새로운 호의 지연이 증가 되는 단점을 가질 있다. 이러한 문제점은 앞에서와 같이 핸드오프 호의 블로킹 확률과 새로운 호의 지연 확률 둘 다의 서비스 품질을 만족할 수 있도록 보호 채널을 설정함으로써 해결되어질 수 있다.

참 고 문 헌

1. Mahmoud Naghshineh and Anthony S. Acampora, "QoS Provisioning in Micro-Cellular Networks Supporting Multimedia Traffic," Proc. of IEEE INFO-COM'95, Boston, pp. 1075-1084 April, 1995.
2. Se-Hyun Oh and Dong-Wan Tcha, "Prioritized Channel Assignment in a Cellular Radio Network," IEEE Trans. Comm. VOL. 40, NO. 7, July 1992.
3. Mischa Schwartz, Broadband Integrated Networks, New Jersey, Prentice Hall, 1996.
4. Roch Guerin, "Queueing-Blocking System with Two Arrival Streams and Guard Channels," IEEE Trans. Comm., VOL. 36, NO. 2, Feb. 1988.
5. D. Hong and S. S. Rappaport, "Traffic model and performance analysis for cellular mobile radio telephone systems with prioritized and nonprioritized handoff procedures," IEEE Trans. Veh. Technol., VOL. VT-35, pp. 77-92, Aug. 1986.
6. Antony S. Acampora and Mahmoud Naghshineh, "Control and Quality-of-Service Provisioning in High-Speed Microcellular Networks," IEEE Personal Comm. Mag., VOL. 1, NO. 2, 1995.



정 주 영 (Ju Young Jung) 정회원
 1997년 2월 : 광운대학교 전자통신공학과 공학사
 1997년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 대학원 전자통신공학과 석사과정
 <연구분야> ATM 네트워크, 큐잉 네트워크, 트래픽 제어

류 호 응 (Ho Yong Ryu) 정회원
 1993년 2월 : 광운대학교 전자통신공학과 공학사
 1995년 2월 : 광운대학교 대학원 전자통신공학과 공학석사
 1995년 2월 ~ 현재 : 광운대학교 대학원 전자통신공학과 박사과정 재학중
 <연구분야> ATM 네트워크, 큐잉 네트워크, 트래픽 제어

구 창 희 (Chang Hee Goo) 정회원
 1991년 2월 : 광운대학교 전자통신공학과 공학사
 1993년 2월 : 광운대학교 대학원 전자통신공학과 공학석사
 1997년 2월 : 광운대학교 대학원 전자통신공학과 공학박사
 1997년 ~ 현재 : 삼성전자 연구원
 <연구분야> ATM 네트워크, IMT-2000

이 재 호 (Jae Ho Lee) 정회원
 1968년 2월 : 광운대학교 통신공학과 공학사
 1978년 2월 : 단국대학교 대학원 전자공학과 공학석사
 1988년 9월 : 경희대학교 대학원 전자공학과 공학박사
 1970년 ~ 현재 : 광운대학교 교수
 1985년 ~ 현재 : 광운대학교 통신공학 연구소 소장
 1980년 ~ 1992년 : 한국 통신학회 이사
 1990년 ~ 1994년 : 한국 전산원 전산통신 표준화 연구위원회 위원
 1993년 2월 ~ 1994년 12월 : 한국 통신학회 감사
 <연구분야> 데이터 통신, 통신망 제어, 디지털 교환기