

다중 트래픽 지원을 위한 CDMA 예약 ALOHA 방안의 성능 분석

정희원 조춘근*, 허 경*, 이연우*, 차균현*

Performance Analysis of CDMA Reservation ALOHA for Multi-traffic Services

Choon-Geun Cho*, Kyeong Hur*, Yeonwoo Lee*, Kyun Hyon Tchah* *Regular Members*

요 약

본 논문은 음성 그리고 우선권이 있는 연속적인 트래픽 및 우선권이 없는 랜덤 트래픽을 완전 패킷 방식으로 제공할 수 있는 CDMA 예약 ALOHA 방식을 제안한 것으로, 성능에 영향을 미치는 패킷의 충돌과 타사용자 간섭을 최소화 하는 구조로 되어 있다. 제안된 구조에서 시간 슬롯과 패킷은 같은 크기를 갖고 각각 액세스/전송 단계와 액세스/전송 필드로 나누어져 있다. 액세스 단계에서 패킷의 충돌을 줄이기 위해 piggyback을 이용한 예약과 시스템 평형 상태에서 추정된 경쟁 사용자 수를 이용한 액세스 허용 확률을 이용하고, 전송 단계에서의 타사용자 간섭을 줄이기 위해서 액세스 단계에서 기지국으로부터 전송코드를 할당받은 패킷만이 전송 단계에서 전송을 할 수 있게 하였다. 즉, 음성과 우선 순위가 있는 연속적인 트래픽에 대해 예약을 허용하여 실시간 전송을 가능하게 하였고, 우선권이 없는 랜덤 트래픽에도 액세스 허용 확률을 적용하여 전송 지연을 줄일 수 있었다. 또한, 단일 셀 환경의 평형 상태에서 Markov 모델링 기법을 이용하여 각 트래픽이 요구하는 성능을 수식적으로 유도하고, 모의실험을 통해 성능을 도시하였다.

ABSTRACT

In this paper, CDMA Reservation ALOHA scheme which can reduce multiple access interference and packet collision is proposed to support multi-traffic such as voice and random data with and without priority. In this scheme, the time slot is divided into two stage, access and transmission stage. Only packets with spreading codes assigned from base station in access stage can transmit their packets in transmission stage, so MAI can be reduced. To reduce packet collision in access stage, the code reservation and access permission probability are used. Code reservation is allowed for voice traffic and continuous traffic with priority using piggyback and access permission probability based on the estimation of the number of contending users in the steady-state is adaptively applied to each traffic terminal. Also, we analyzed and simulated the numerical performances required for each traffic using Markov chain modeling in a single cell environment.

I. 서론

차세대 이동 통신의 실현을 위해서는 현재의 음성 서비스 뿐 아니라 초고속 데이터 및 화상 통신 등과

같은 멀티미디어 서비스를 각각의 요구되는 서비스 품질을 유지하면서 제한된 무선 자원을 효율적으로 이용할 수 있는 매체 접근 제어(MAC)방법이 필요하다. CDMA망에서 멀티미디어 서비스를 지원하는 방식은 크게 회선 방식과 패킷 방식이 혼합된 경우

* 고려대학교 전자공학과 통신연구실(ckcho@popeyes.korea.ac.kr)
논문번호 : 99297-0723, 접수일자: 1999년 7월 23일

와 완전 패킷 방식의 두 가지로 나눌 수 있는데, 혼합된 트래픽의 다중화 기법과 다중 접속시 발생하는 간섭(MAI)을 제한하는 기법이 요구된다. 즉, 액세스 단계에서의 충돌과 전송 단계에서의 MAI에 의한 성능 저하를 최소화하는 방법이 필요하다. 따라서, 다양한 트래픽을 효율적으로 지원할 수 있으며, 액세스 단계에서의 패킷 충돌과 패킷 전송 단계에서의 MAI를 감소시킬 수 있는 방안으로 CDMA 예약 ALOHA (CDMA R-ALOHA) 방식을 제안한다. 제안된 방식은 음성, 랜덤 트래픽(우선 순위가 없는 랜덤 데이터) 및 연속적인 트래픽(우선 순위가 있는 랜덤 데이터) 전송 요구의 특성을 지닌 세 가지 형태의 트래픽이 혼재된 경우를 고려한 것으로, 시간적 지연에 민감한 음성 및 연속적인 트래픽 사용자들에게는 코드 예약을 허용함으로써 높은 QoS를 얻을 수 있고, 시간적 지연에 비교적 강한 랜덤 트래픽 사용자에는 코드 예약을 허용하지 않는 구조로 되어 있다. 또한, 전송코드의 예약과 액세스 허용 확률을 기반으로 액세스 단계에서 충돌과 MAI를 줄일 수 있으며, 전송 단계에서의 MAI를 줄일 수 있는 슬롯과 패킷의 구조를 제안한다. 즉, 단일 셀 환경에서 piggyback을 이용한 전송코드의 예약과 시스템의 평형 상태에서 각 트래픽의 전송 채널 경쟁 사용자 수의 추정을 통한 액세스 허용 확률을 이용하여 액세스 단계에서의 충돌을 감소시킬 수 있고, 전송 단계에서의 MAI를 감소할 수 있는 슬롯과 패킷의 구조를 제안하고, 제안된 시스템에서 Markov모델링 기법을 이용하여 각 트래픽별로 요구되는 성능을 분석한다.

II. 본 론

제안된 방안에서는 음성, 연속적 및 랜덤 트래픽이 혼합되어 있고, 시간 축은 예약 기반 ALOHA 방식과 같이 슬롯 단위로 구분되고, 슬롯은 프레임 단위로 묶어진다⁽¹⁾. 즉, 그림 1과 같이 슬롯과 패킷은 같은 크기를 갖고, 각각 액세스 단계와 전송 단계로 나누어져 있으며, 코드도 액세스 전송코드와 전송 전용코드로 나누어져 있다. 액세스 단계에서 이용되는 액세스 코드는 모든 트래픽 단말이 공유할 수 있으나 액세스 허용 확률에의 적용을 위해 액세스 코드의 일정량(K_a)을 랜덤 트래픽에 할당한다. 한편, 전송코드는 음성/랜덤 트래픽($K_t - K_b$) 및 연속적인 트래픽 전용(K_c)의 두 부분으로 나누어진다.

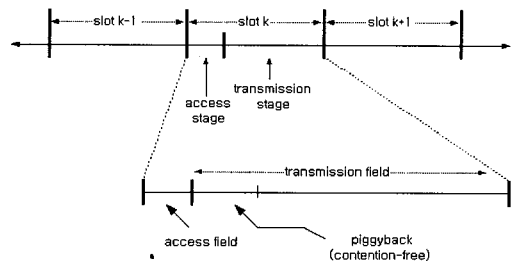


그림. 1 슬롯과 패킷의 구조

- K_a : 시스템의 전체 액세스 코드의 개수
($K_a = K_t = K_d + K_b + K_c$)
- K_d : 랜덤 트래픽에 할당된 액세스 코드의 개수
- K_t : 시스템의 전체 전송 코드의 개수
- K_b : 음성 트래픽에 할당된 전송 코드의 개수
- K_c : 연속적 트래픽에 할당된 전송 코드의 개수

2.1 전송 단계에서의 MAI 감소 방안

그림 1의 슬롯과 패킷의 구조를 통해 전송할 패킷이 있는 단말은 패킷의 액세스 부분을 임의로 선택한 액세스 코드를 이용하여 확산한 후, 슬롯의 액세스 단계에서 전송 채널의 획득을 위해 경쟁한다. 만약, 단말이 액세스에 성공하면 액세스 코드와는 독립적인 전송코드를 기지국으로부터 할당받고, 이 전송코드를 이용하여 패킷의 전송 부분을 확산하여 전송하게 된다. 그러나, 단말이 전송코드를 할당받지 못하면 패킷의 나머지 부분을 전송을 할 수 없다. 그러므로 전송 단계에서의 MAI는 일정수준 이하로 유지되고, 요구되는 트래픽의 품질을 만족시킬 수 있다.

2.2 액세스 단계에서의 패킷 충돌 감소 방안

액세스 단계에서의 패킷 충돌을 줄이기 위한 방안으로 piggyback을 이용한 전송코드의 예약과 액세스 허용 확률을 이용한다⁽²⁾. 랜덤 트래픽을 사용하는 단말을 제외한 모든 단말은 piggyback 정보를 기지국에 전달함으로써 전송코드의 예약을 요구한다. 기지국은 piggyback 정보에 따라 현재 단말에 대한 전송코드 예약을 실시하고, 예약이 된 단말은 추후 채널의 획득을 위해 액세스를 하지 않아도 됨으로 액세스 단계에서의 패킷 충돌은 감소하게 된다. 또한, 예약 상태와 시스템 평형상태에서의 각 트래픽에 대한 사용자 수의 추정을 통한 액세스 허용 확률을 이용함으로써 패킷 액세스 단계에서의 MAI를 줄일 수 있게 된다. 평형상태에서의 각 트래픽에 대한 가용 전송코드의 수는 $K_b - R_v$, $K_c - R_c$, K_d (랜덤 트

래픽의 경우, 전체 액세스 코드 수 중 일부분을 할당)이고, 여기서 R_v 와 R_c 는 각각 평형 상태에서 음성 및 연속적인 트래픽에 의해 예약된 전송코드의 개수이다. V_c, C_c, b 를 평형상태에서 추정된 음성, 연속적 및 랜덤 트래픽의 전송 경쟁 사용자 수로 정의하면, 평형상태에서 각 트래픽의 액세스 허용 확률은 식(1)과 같다.

$$P_v = \frac{K_{bv} - R_v}{V_c}, \quad P_c = \frac{K_{bc} - R_c}{C_c}, \quad P_d = \frac{K_d}{b} \quad (1)$$

여기서 P_v, P_c, P_d 는 각각 음성, 연속적 및 랜덤 트래픽에 대한 액세스 허용 확률이다.

한편, K_{bv}, K_{bc}, K_d 및 P_v, P_c, P_d 는 각 트래픽의 요구 BER, 전송 속도와 전력제어 방식 및 각 트래픽의 우선권에 따라 결정되고, 각 트래픽 단말의 액세스 단계에서 액세스 코드의 수는 매 슬롯의 액세스 허용 확률에 따라 변화한다. 그러므로, 액세스 허용 확률은 매 슬롯에서의 전송코드 예약상태, 평형상태에서 계산된 각 트래픽의 경쟁 사용자수 및 각 트래픽의 우선권에 따라서 결정된다. 액세스 단계에서 높은 우선권은 랜덤 트래픽 사용자에게 비해 시간 지연에 민감한 음성 및 연속적인 트래픽 사용자들에게 주어지고, 둘의 우선권은 같다고 가정한다. 매 슬롯마다 계산된 각 트래픽의 액세스 허용 확률은 기지국으로부터 각 트래픽 단말들에게 주어지고, 전송할 패킷을 가진 단말은 액세스 단계에서 임의로 선택한 액세스 코드와 주어진 액세스 허용 확률을 이용하여 전송코드 요구 신호를 기지국에게 보낸다. 결과적으로, 기지국은 매 슬롯마다 계산된 액세스 허용 확률로써 각 트래픽 단말들에게 요구되는 QoS를 제공할 수 있고 액세스시 패킷 충돌 확률은 각 트래픽의 추정된 경쟁 사용자 수가 실제 경쟁 사용자 수보다 작을 때는 커지고, 시스템이 평형상태로 도달함에 따라 감소하게 된다.

2.3 전송코드 할당 방법

만약, 예약되지 않은 전송코드가 있을 때, 각 단말들은 서로 다른 액세스 허용 확률을 가지고 기존의 spread slotted ALOHA 시스템에서와 동일한 과정을 이용하여 전송코드 획득을 위해 경쟁한다⁽³⁾. 한편, 전송코드 할당 방안은 그림 2와 같다.

음성 트래픽이 액세스 단계에서 전송코드를 획득하게 되면, piggyback 정보를 이용하여 전체 패킷에 대한 전송이 끝날 때까지 그 후 연속되는 프레임의

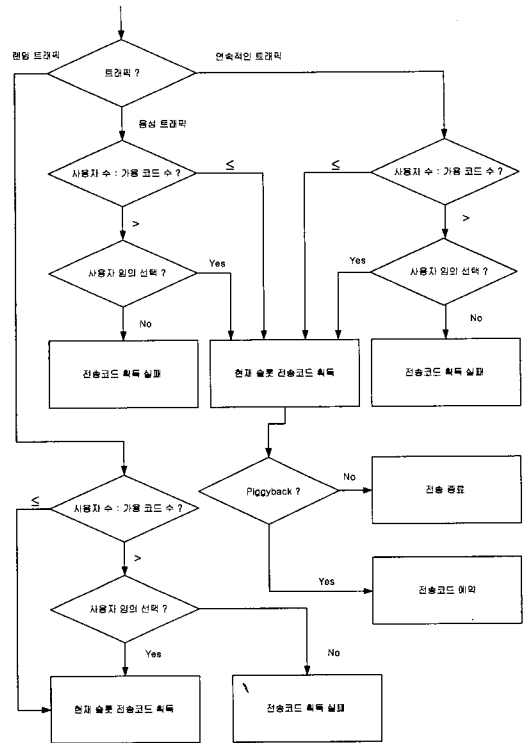


그림. 2 전송코드 할당 순서도

같은 슬롯에서 할당받은 전송코드에 대한 독점적인 사용권을 얻게 된다. 이와는 달리 연속적인 트래픽은 연속되는 슬롯에서 할당받은 전송코드를 독점적으로 사용하게 된다. 한편, 유한 크기의 버퍼를 가진 랜덤 트래픽 단말은 전체 전송코드 중에서 음성 트래픽과 연속적 트래픽에게 할당되고 남은 코드와 K_d 개만큼 현재 슬롯에 대한 전송코드를 획득하게 된다. 그러나 할당받은 전송코드에 대한 예약은 허용되지 않는다. 결과적으로, 두 가지 트래픽만이 코드 예약을 할 수 있고, 모든 사용자는 전송할 패킷이 만들어진 후 전송코드를 요구하는 경쟁 상태에 들어가게 되고 액세스를 시도한다. 이와 같은 과정을 통해 기지국은 음성 트래픽에 대한 다음 한 프레임 동안의 전송코드 예약 상황과 연속적인 트래픽 사용자에게 대한 다음 한 슬롯의 전송코드 예약 상황에 대한 정보를 갖게 된다.

III. 수학적 해석

수학적 해석에서는 각 트래픽의 특성과 코드할당 알고리즘을 바탕으로 각 트래픽의 마코비안 모델을

정의하고, EPA (Equilibrium Point Analysis) 분석 방법을 이용한 시스템 평형상태에서 세 가지 트래픽의 전송 채널 경쟁 사용자 수의 추정을 통해 성능을 분석한다⁽⁴⁾. 이때, 각 트래픽 사용자의 패킷들은 서로 독립적으로 발생된다는 가정하에 마코프 체인 (Markov chain) 모델링 기법이 성능 분석에 사용되었고, 각 트래픽 부시스템은 액세스시 패킷 충돌에 있어서 다른 부시스템들과 상호작용이 이루어진다. 제공되는 트래픽이 세 가지이므로, 평형상태에서의 각 트래픽의 경쟁 사용자 수를 계산하는 것은 세 개의 비선형 방정식의 해를 구하는 것을 필요로 한다. 그러나 적절한 변수의 상호 변환을 이용하여, 음성 단일 시스템과 같은 형태의 단일 변수 문제로 단순화할 수 있다.

3.1 음성 트래픽 부시스템

음성 트래픽은, 그림 3처럼 묵음, 경쟁 및 예약 상태로 구성되어 있는 On-Off 모델을 적용하였다⁽⁵⁾. 음성 사용자의 활성 구간(talkspurt)에 대해 한 패킷이 생성되면, 음성 사용자는 경쟁상태에 들어가게 되고, 시스템 평형상태 방정식에 의해 묵음, 경쟁 및 예약 상태에 대한 다음과 같은 식이 성립한다. 이때, 임의의 전송코드에 대한 획득률 f 는 액세스시 충돌을 고려하여 식(5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$V_c \gamma_f + K_b r_v \gamma_f = \sigma_v i_v \tag{2}$$

$$\sigma_v i_v = \gamma_f V_c + K_b f V_c \tag{3}$$

$$f V_c + 1 \cdot (r_v - f V_c) = r_v (1 - \gamma_f) + r_v \gamma_f \tag{4}$$

$$f = \left(\frac{K_a}{1} \right) \left(\frac{1}{K_a} \right) P_v \left(1 - \frac{P_v}{K_a} \right)^{V_c - 1} \left(1 - \frac{P_c}{K_a} \right)^{C_c} \left(1 - \frac{P_d}{K_a} \right)^b \tag{5}$$

- f : 임의의 전송코드에 대한 획득률
- i_v : 평형상태에서 묵음 상태에 있는 사용자 수
- V_c : 평형상태에서 경쟁 상태에 있는 사용자 수
- r_v : 평형상태에서 임의의 전송코드에 대한 이용률

$$R_v = K_b r_v (1 - \gamma_f), \quad (0 \leq r_v \leq 1)$$

F : 프레임 당 슬롯 수

$RC_{i,j}$: 임의의 전송코드 i 의 j 번째 슬롯 전송 대기상태

σ_v : 음성 트래픽의 활성 패킷 발생율

$$\sigma_v = 1 - (1 - \sigma_s)^F$$

$$\sigma_s = 1 - \exp(-\tau/\beta_v)$$

τ : 슬롯의 길이

β_v : 음성 트래픽의 평균 비활성 구간

γ_f : 활성 패킷 발생 종료율

$$\gamma_f = 1 - (1 - \gamma_s)^F$$

$$\gamma_s = 1 - \exp(-\tau/\alpha_v)$$

α_v : 음성 트래픽의 평균 활성구간

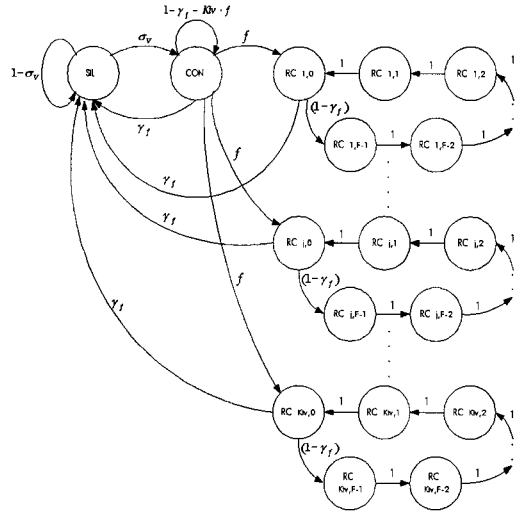


그림. 3 음성 트래픽의 마코비안 모델

또한, 식(2)와 (3)으로부터 r_v 와 f 의 관계를 다음과 같이 유도할 수 있다.

$$f = \frac{\gamma_f}{V_c} r_v \tag{6}$$

3.2 연속적인 트래픽 부시스템

연속적인 트래픽 사용자의 마코비안 모델은 슬롯 단위의 망각(memoryless) 특성을 이용하여 나타낼 수 있고, 그림 4처럼 유휴(idle), 경쟁 및 예약 상태로 구성되어 있다. 평형상태에서 유휴, 경쟁 및 예약 상태에 대해 다음과 같은 식이 성립하고, 임의의 전송 코드 j 에 대한 획득률 f_c 는 식(10)과 같이 주어진다.

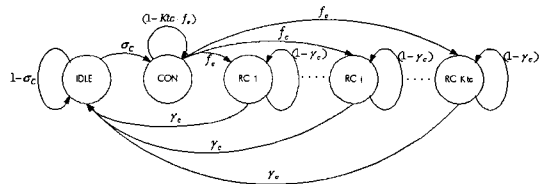


그림. 4 연속적인 트래픽의 마코비안 모델

$$K_{tc} r_c \gamma_c = \sigma_c i_c \tag{7}$$

$$\sigma_c i_c = K_{tc} f_c C_c \tag{8}$$

$$f_c C_c = r_c r_c \quad (9)$$

$$f_c = \binom{K_a}{1} \left(\frac{1}{K_a} \right) P_c \left(1 - \frac{P_c}{K_a} \right)^{C_c-1} \left(1 - \frac{P_v}{K_a} \right)^{V_c} \left(1 - \frac{P_d}{K_a} \right)^b \quad (10)$$

- f_c : 임의의 코드 j 에 대한 획득률
- i_c : 평형상태에서 idle 상태에 있는 사용자 수
- C_c : 평형상태에서 경쟁 상태에 있는 사용자 수
- r_c : 평형상태에서 임의의 전송코드에 대한 이용률
- $R_c = K_{tc} r_c (1 - r_c)$, ($0 \leq r_c \leq 1$)
- σ_c : 연속적인 트래픽 패킷의 발생률
- $\sigma_c = 1 - \exp(-\tau/\beta_c)$
- β_c : 연속적 트래픽의 평균 비활성 구간
- r_c : 연속적 트래픽 패킷 발생 종료율
- $r_c = 1 - \exp(-\tau/a_c)$
- a_c : 연속적 트래픽의 평균 활성 구간

식(9)로부터 r_c 와 f_c 와의 관계는 다음과 같이 표현된다.

$$f_c = \frac{\gamma_c}{C_c} r_c \quad (11)$$

3.3 랜덤 트래픽 부시스템

랜덤 트래픽의 마코비안 모델은 한 슬롯동안 임의의 랜덤 트래픽 사용자에게 두 개 이상의 패킷 발생이나 전송이 일어날 수 없으므로 그림 5와 같이 생성-사멸 모델(birth-death)로서 나타낼 수 있다. 각 상태에서 식(12)가 성립하고, 식(14)와 같이 정리되며, 패킷 전송 성공률 w 는 식(13)과 같다.

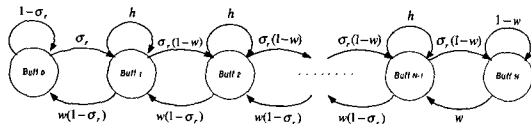


그림 5. 랜덤 트래픽의 마코비안 모델

$$\begin{aligned} w(1-\sigma_r)b_1 &= b_0\sigma_r, \\ b_0\sigma_r + w(1-\sigma_r)b_2 &= b_1(w(1-\sigma_r) + \sigma_r(1-w)) \\ b_{j-1}\sigma_r(1-w) + w(1-\sigma_r)b_{j+1} &= b_j(w(1-\sigma_r) + \sigma_r(1-w)) \\ b_{N-2}\sigma_r(1-w) + b_N w &= b_{N-1}(w(1-\sigma_r) + \sigma_r(1-w)) \\ \sigma_r(1-w)b_{N-1} &= w b_N, \quad (2 \leq j \leq N-2) \end{aligned} \quad (12)$$

$$w = K_d \binom{K_a}{1} \left(\frac{1}{K_a} \right) P_d \left(1 - \frac{P_d}{K_a} \right)^{b-1} \left(1 - \frac{P_c}{K_a} \right)^{C_c} \left(1 - \frac{P_v}{K_a} \right)^{V_c} \quad (13)$$

- σ_r : 랜덤 트래픽 패킷의 발생률
- $\sigma_r = 1 - \exp(-\tau/\beta_r)$
- β_r : 랜덤 트래픽의 평균 비활성 구간
- w : 랜덤 트래픽의 패킷 전송 성공률

- N : 랜덤 트래픽 사용자의 버퍼 크기
- b : 평형상태에서 랜덤 트래픽의 경쟁 사용자 수
- b_j : j 개의 전송할 패킷을 지닌 랜덤 트래픽 사용자 수

$$\begin{aligned} b_j &= \left[\frac{\sigma_r(1-w)}{w(1-\sigma_r)} \right]^{j-1} \frac{\sigma_r}{w(1-\sigma_r)} b_0, \quad (1 \leq j \leq N-1) \\ b_N &= b_{N-1} \frac{\sigma_r(1-w)}{w} \\ b &= \sum_{j=1}^N b_j \\ &= \frac{\sigma_r}{w(1-\sigma_r)} b_0 \left(\frac{1 - \left(\frac{\sigma_r(1-w)}{w(1-\sigma_r)} \right)^{N-1}}{1 - \left(\frac{\sigma_r(1-w)}{w(1-\sigma_r)} \right)} \right) \\ &\quad + \frac{\sigma_r}{w(1-\sigma_r)} b_0 \left(\frac{\sigma_r(1-w)}{w(1-\sigma_r)} \right)^{N-2} \frac{\sigma_r(1-w)}{w} \end{aligned} \quad (14)$$

3.4 평형 상태에서의 각 트래픽별 경쟁 사용자 수의 계산

기지국에서는 셀 내의 각 트래픽 사용자 수를 알 수 있으므로 다음이 성립한다.

$$i_v + V_c + K_{av}\{r_v + (F-1)(r_v - fV_c)\} = M_v \quad (15)$$

$$i_c + C_c + K_{tc}r_c = M_c \quad (16)$$

$$b_0 = M_d - b \quad (17)$$

여기서 M_v, M_c, M_d 는 각각 셀 내의 음성, 연속적 및 랜덤 트래픽 사용자 수이다. 한편, 식(5), (10) 및 (13)을 이용하면 평형상태에서 각 트래픽의 전송코드 획득률은 액세스시의 충돌을 고려하면 다음과 같은 관계를 갖는다.

$$f_c = f \frac{\left(\frac{P_c}{P_v} \right) \left(1 - \frac{P_v}{K_a} \right)}{\left(1 - \frac{P_c}{K_a} \right)} \quad (18)$$

$$w = f \frac{\left(\frac{K_d P_d}{P_v} \right) \left(1 - \frac{P_v}{K_a} \right)}{\left(1 - \frac{P_d}{K_a} \right)} \quad (19)$$

$$w = f_c \frac{\left(\frac{K_d P_d}{P_c} \right) \left(1 - \frac{P_c}{K_a} \right)}{\left(1 - \frac{P_d}{K_a} \right)} \quad (20)$$

그리고, 식(2),(15) 및 식(7),(16)을 이용하면 V_c 및 r_c, C_c 의 관계는 다음과 같이 표현된다.

$$r_v = \phi_{r_v}(V_c) \quad (21)$$

$$r_c = \phi_{r_c}(C_c) \quad (22)$$

그러므로, 평형 상태에서 랜덤 트래픽의 경쟁 사용자 수, b 는 식(1)을 바탕으로 식(19), (6) 및 (21)을 이용하여 V_c 와 함수 관계가 됨을 알 수 있다.

$$b = \min\{\phi_b(V_c), M_d\} \quad (23)$$

또한, C_c 의 값은 식(21)과 (22)을 식(6)와 (11)에 대입한 후, 식(1) 및 식(18)의 관계를 이용하여, V_c 의 값으로부터 구할 수 있다.

$$C_c = \phi_{C_c}(V_c) \quad (24)$$

최종적으로, 식(6)를 이용하여 다음의 식으로부터 V_c 의 값을 구할 수 있다.

$$r_f \phi_{r_f}(V_c) - V_c \phi_f(V_c, \phi_{C_c}(V_c), \phi_b(V_c)) = 0 \quad (25)$$

3.5 시스템 평형상태에서 각 트래픽별 성능평가
유한한 버퍼를 지닌 랜덤 트래픽 사용자들은 전송 코드를 할당받지 못하였을 때, 패킷의 전송을 버퍼의 크기만큼 지연시킬 수 있다. 이와는 반면, 음성 트래픽은 신속한 패킷 전송을 필요로 하기 때문에, 설정된 값 이상 지연된 패킷은 버려지게 된다. 따라서, 제안된 프로토콜의 성능을 평가하는 척도로는 음성 트래픽의 강제적 패킷 손실 확률(forced termination probability), 랜덤 트래픽 및 연속적인 트래픽의 평균 지연 시간 그리고 각 트래픽별 차단율 및 수율 등이 있다.

3.5.1 각 트래픽의 패킷 전송 차단율 및 수율

그림 3과 그림 4 및 그림 5로부터 음성, 연속적 및 랜덤 트래픽에서의 평균 패킷 전송 차단율(blocking)을 구하면 다음과 같다.

$$P_{B,v} = \frac{V_c(1-fK_{tw})}{M_v}, \quad P_{B,c} = \frac{C_c(1-f_cK_{tc})}{M_c}$$

$$P_{B,d} = \frac{b(1-w)}{M_d} \quad (26)$$

또한 평형상태에서 각 트래픽의 슬롯 당 수율 즉, 호 요구에 대한 처리율(throughput)은 다음과 같다.

$$P_{th,v} = \frac{V_c K_{tw} f}{\sigma_v \tau (M_v - F K_{tw} r_v (1 - \gamma_f))}$$

$$P_{th,c} = \frac{C_c K_{tc} f_c}{\sigma_c \tau (M_c - K_{tc} r_c (1 - \gamma_c))}$$

$$P_{th,d} = \frac{bw}{\sigma_d \tau M_d} \quad (27)$$

3.5.2 음성 트래픽의 강제적 패킷 손실 확률

음성 트래픽이 코드예약을 얻을 때까지 j 개의 슬롯을 기다릴 확률은 다음과 같은 기하분포를 갖는다.

$$P_w(j) = (1 - P_{B,v} - \gamma_f) P_{B,v}^{j-1} = (K_{tw} f) P_{B,v}^{j-1} \quad (28)$$

음성 트래픽의 패킷이 한 프레임마다 발생될 때, 음성 트래픽의 활성 패킷 길이가 L 개일 확률과 평균 활성 패킷 길이는 다음과 같다.

$$\Pr[L] = (1 - \gamma_f)^{L-1} \gamma_f, \quad \bar{L} = \sum_{L=1}^{\infty} L P_f[L] = \frac{1}{\gamma_f} \quad (29)$$

따라서, 음성 트래픽 패킷의 최대 극복가능 지연 슬롯수가 D 개로 주어질 때, L 개의 패킷으로 구성된 활성 패킷이 j 개 슬롯만큼 지연을 겪을 때, 손실된 패킷의 수를 $n_{drop}(j, L)$ 로 나타내면 식(30)이 성립하고, 식(31)로부터 평균 손실된 패킷수는 식(32)와 같이 구해진다.

$$n_{drop}(j, L) = \begin{cases} 0, & j \leq D \\ k, & (k-1)F + D < j \leq kF + D \\ L, & \text{when } (L-1)F + D \geq j, k=1, 2, \dots, L-1 \\ & j > (L-1)F + D \end{cases} \quad (30)$$

$$\Pr[N_{drop} = 0 | L] = (1 - P_{B,v} - \gamma_f) \left\{ \frac{1 - P_{B,v}^D}{1 - P_{B,v}} \right\}$$

$$\Pr[N_{drop} = L | L] = 1 - (1 - P_{B,v} - \gamma_f) \left\{ \frac{1 - P_{B,v}^{(L-1)F+D}}{1 - P_{B,v}} \right\}$$

$$\Pr[N_{drop} = k | L]$$

$$= (1 - P_{B,v} - \gamma_f) \left[\left\{ \frac{1 - P_{B,v}^{(k-1)F+D}}{1 - P_{B,v}} \right\} - \left\{ \frac{1 - P_{B,v}^{kF+D}}{1 - P_{B,v}} \right\} \right] \quad (31)$$

$$\begin{aligned} \bar{N}_{drop} &= \sum_{k=0}^L k \Pr[N_{drop} = k] \\ &= \sum_{k=0}^L \sum_{L=1}^{\infty} k \Pr[L] \Pr[N_{drop} = k | L] \\ &= \sum_{L=1}^{\infty} (1 - \gamma_f)^{L-1} \gamma_f \left[\sum_{k=1}^{L-1} \{ (1 - P_{B,v} - \gamma_f) k \right. \end{aligned}$$

$$\cdot \left\{ \left(\frac{1 - P_{B,v}^{(k-1)F+D}}{1 - P_{B,v}} \right) - \left(\frac{1 - P_{B,v}^{kF+D}}{1 - P_{B,v}} \right) \right\} + L \left\{ 1 - (1 - P_{B,v} - \gamma) \left(\frac{1 - P_{B,v}^{(L-1)F+D}}{1 - P_{B,v}} \right) \right\} \quad (32)$$

결과적으로 음성 트래픽의 평균 패킷 손실 확률은 식(29)와 (32)로부터 식(33)과 같이 주어진다.

$$P_{drop} = \frac{\bar{N}_{drop}}{L} = \gamma_f \bar{N}_{drop} \quad (33)$$

3.5.3 랜덤 트래픽 및 연속적인 트래픽의 평균 지연 시간

랜덤 트래픽 사용자의 평균 지연 슬롯 수, D_{av} 를 구할 때, 우선 backlog된 랜덤 트래픽 사용자의 패킷이 성공적인 전송을 위해 i 개의 슬롯을 기다린다고 가정하면, i 의 평균은 다음과 같다.

$$Mean[i] = \sum_{i=0}^{\infty} i(1-w)^i w = \frac{1-w}{w} \quad (34)$$

이로부터, $Buff_i$ 상태의 랜덤 트래픽 사용자에게 발생하는 패킷은 평균적으로 $(j+1)(1-w)/w$ 의 지연 시간을 겪는다 ($j=0, \dots, N-1$). 이때, 랜덤 트래픽 사용자가 $Buff_i$ 상태에 있을 확률은 b_j/M_d 이 되므로 평형상태에서의 D_{av} 는 식(35)와 같다.

$$D_{av} = \left(\frac{1-w}{w} \right) \sum_{j=0}^{N-1} \frac{b_j}{M_d} (j+1) = \left(\frac{1-w}{wM_d} \right) \left[\left(\frac{\sigma_r b_0}{w(1-\sigma_r)} \right) \cdot \left(\frac{1 - \left(\frac{\sigma_r(1-w)}{w(1-\sigma_r)} \right)^{N-1}}{1 - \left(\frac{\sigma_r(1-w)}{w(1-\sigma_r)} \right)} - (N-1) \left(\frac{\sigma_r(1-w)}{w(1-\sigma_r)} \right)^{N-1} \right) + \left(M_d - \left(\frac{\sigma_r(1-w)}{w(1-\sigma_r)} \right)^{N-1} \left(\frac{\sigma_r}{w(1-\sigma_r)} \right) b_0 \left(\frac{\sigma_r(1-w)}{w} \right) \right] \quad (35)$$

연속적인 트래픽 사용자의 평균 지연 슬롯 수, $D_{av,c}$ 는 전송코드 예약이 가능하므로 첫 번째로 전송되는 패킷이 평균적으로 기다리게 되는 슬롯 수와 같다.

$$D_{av,c} = \sum_{i=0}^{\infty} i(P_{B,c})^i (1 - P_{B,c}) = \frac{P_{B,c}}{1 - P_{B,c}} \quad (36)$$

IV. 수학적 모의실험

단일 셀 내의 상향 링크에 대해 수학적 모의실험을 수행하였으며, 실제 전송에 있어서의 액세스시의 충돌을 고려하고, 액세스를 성공한 각 트래픽 사용자가 전송한 패킷은 오류가 없이 전송된다고 가정하였다. 음성 활성 상태에서 19.2kbps의 비트 발생률을 가정하면, 매 20ms의 프레임 동안 384비트의 음성 데이터가 발생하고, 이에 따라 4ms 슬롯 당 데이터 비트 발생률은 활성상태에서 96kbps로 가정한다. 패킷 당 비트수는 460비트로 모든 트래픽에서 동일하며, 384비트의 데이터와 76비트의 헤더로 구성된다. 채널 대역폭은 IMT-2000 표준안 중의 하나인 광대역 cdmaOne과 같은 3.68MHz로 잡았으며, 채널 비트율로부터 슬롯 당 동시에 전송할 수 있는 패킷의 수 즉, 전송코드의 수는 액세스 코드의 수와 같고 각 트래픽에 대한 요구 비트 오류율을 공통적으로 10^{-3} 으로 정하고, 확산이득 G 는 11이 된다.

앞에서 분석한 수학적 결과와 표1에 설정된 파라미터 값을 토대로 제안된 방식의 평형상태 성능을 분석하였다. 즉, 세 가지 트래픽의 특성에 따라 수율, 차단율, 평균 지연시간 및 손실율에 대해 모의

표 1. 수학적 모의실험 파라미터 값

파라미터	표기	설정값
대역폭	BW	3.68 MHz
확산 이득	G	32
채널 전송률	R_{ch}	115 kbps
데이터 비트율	R_d	96 kbps
음성 데이터 발생률	R_s	19.2 kbps
헤더 길이	H	76 비트
전체 전송코드 개수	K_t	11
프레임당 슬롯 수	F	5 슬롯
최대허용 음성패킷 지연시간	D	5 슬롯
음성패킷 평균 활성시간	α_v	1000 ms
음성패킷 평균 비활성시간	β_v	1350 ms
연속적패킷 평균 활성시간	α_c	100 ms
연속적패킷 평균 비활성시간	β_c	1900 ms
랜덤패킷 평균 비활성시간	β_r	1900 ms
슬롯 길이	τ	4 ms
랜덤트래픽 버퍼 크기	N	200

실험을 수행하였다. 그림 6,7,8은 각 트래픽의 평균 패킷 전송 차단율을 나타낸 것으로, 할당된 전송코드 수가 많을수록 차단율은 낮아지고, 사용자가 증가할수록 증가함을 알 수 있다. 그리고 랜덤 트래픽은 코드 예약권이 없으므로 사용자 수의 변화에 따른 전송 차단율의 변화가 작음을 알 수 있다.

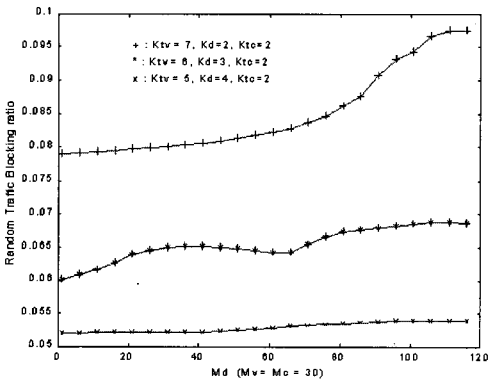


그림 6. 랜덤트래픽 사용자 수에 따른 랜덤트래픽 차단율

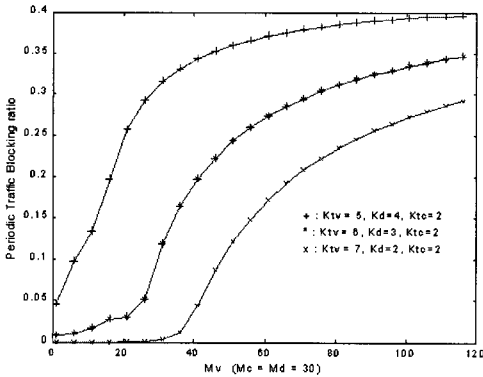


그림 7. 음성트래픽 사용자 수에 따른 음성트래픽 차단율

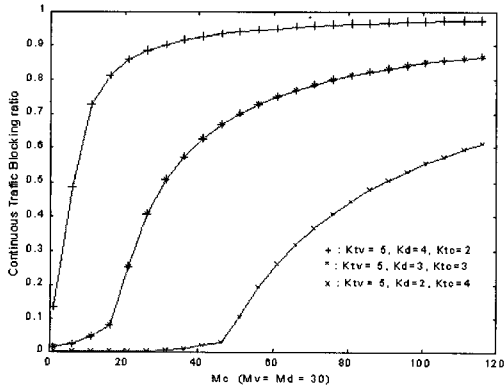


그림 8. 연속적인 트래픽 사용자 수에 따른 연속적인 트래픽 차단율

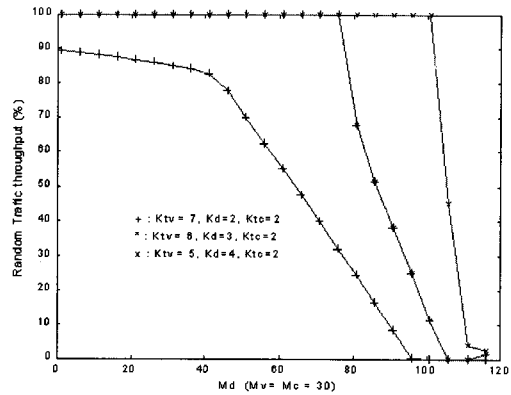


그림 9. 랜덤트래픽 사용자 수에 따른 랜덤트래픽 수율

패킷 전송 차단율과 함께 그림 9,10,11에 나타난 각 트래픽 수율의 변화를 살펴보면 코드 예약율의 증가와 동시에 전송 차단율이 증가하고 수율은 감소함을 알 수 있고, 랜덤 트래픽의 경우 사용하지 않은 전송코드가 남아 있을 경우에도 할당받을 수 있으므로 망의 과부하시 액세스 허용 확률을 적용함으로써 수율이 향상되었음을 알 수 있고, 주어진 전송코드의 수에 따라 급격하게 감소하는 한계 사용자 수가 존재함을 알 수 있다.

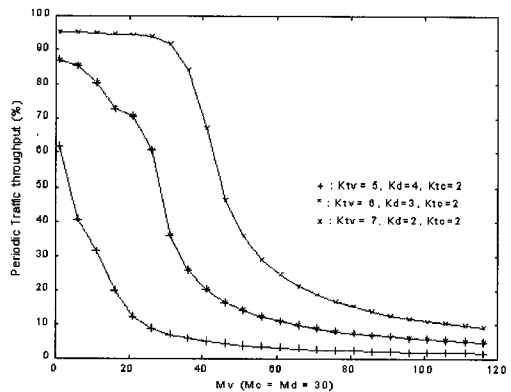


그림 10. 음성트래픽 사용자 수에 따른 음성트래픽 수율

그림 12는 랜덤 트래픽의 평균 지연 시간을 나타낸 것으로 할당된 전송코드 수가 많을수록, 액세스 허용 확률은 증가하고 평균 지연 시간은 감소한다. 그러나 수율에서와 같이 주어진 전송코드의 수에 대한 한계 사용자 수에서는 지연 시간이 급격하게 증가하는 것을 볼 수 있다. 또한, 랜덤 트래픽은 다른 트래픽이 사용하고 있지 않는 전송코드에 대해 추가적으로 코드를 할당받는 구조로 되어 있고, 또한 액세스 허용 확률을 지원함으로써 지연 시간이 감소함을 알 수 있다.

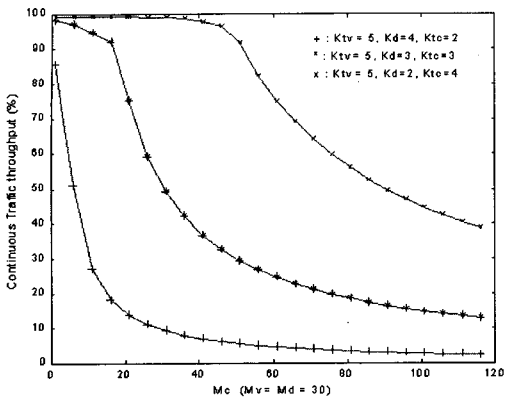


그림 11. 연속적인 트래픽 사용자 수에 따른 연속적 트래픽 수율

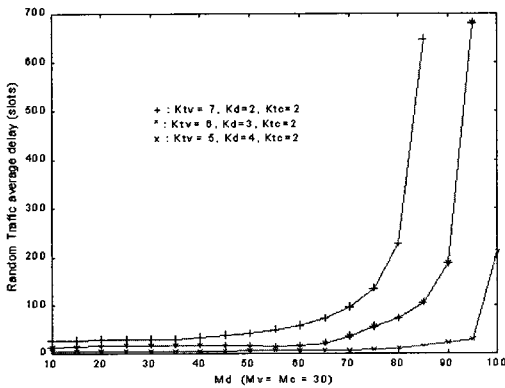


그림 12. 랜덤트래픽 사용자 수에 따른 랜덤트래픽 평균 지연시간

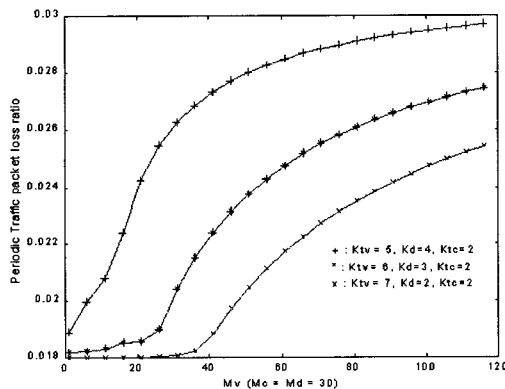


그림 13. 음성트래픽 사용자 수에 따른 음성트래픽 패킷 손실율

그림 13은 음성 트래픽의 강제적 패킷 손실율을 나타낸 것으로 할당된 전송코드의 수가 증가할수록 손실율은 감소하고, 사용자가 많아지면 증가하나 점차 증가율은 감소한다. 마지막으로, 그림 14는 연속

적인 트래픽의 평균 지연시간을 나타낸 것으로, 할당된 전송코드 수에 따라 평균 지연 시간이 큰 차이를 보임을 알 수 있다.

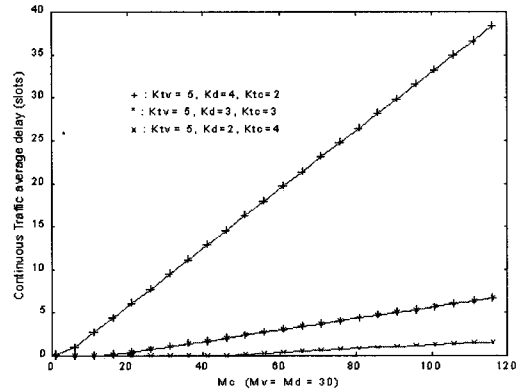


그림 14. 연속적인 트래픽 사용자 수에 따른 연속적인 트래픽 평균 지연시간

V. 결론

본 논문에서는 단일 셀에서 음성, 랜덤 및 연속적인 데이터 전송 요구의 특성을 지닌 세 가지 형태의 트래픽을 지원하기 위한 CDMA 예약 ALOHA 방식을 제안하였다. 제안된 방식은 전송시간섭을 줄일 수 있는 슬롯과 패킷의 구조를 제시하고 있고, 예약과 액세스 허용 확률을 적용함으로써 패킷 충돌을 줄일 수 있다. 한편, 평형 상태에서 마코프 모델을 이용하여 경쟁 사용자수 추정을 통한 수학적 해석과 모의실험을 수행하였고, 각 트래픽에 대한 적절한 전송코드의 분배를 통해 각 트래픽이 요구하는 QoS를 만족시킬 수 있었다. 특히, 우선 순위가 있는 연속적인 트래픽과 우선 순위가 없는 랜덤 트래픽에 대해 액세스 허용 확률을 적용함으로써 MAI를 감소시키고, 평균 전송 지연 시간을 줄일 수 있었다. 수학적 모의실험으로부터 평형 상태에서의 각 트래픽 특성에 적합한 성능을 살펴보고, 이를 통해 제안된 방식은 중앙 집중 제어 방식으로서 시스템의 처리 부하가 적으면서 각 트래픽을 효과적으로 통합할 수 있음을 알 수 있었다. 제안된 방식은 우선 순위와 예약을 기본으로 함으로써 회선 및 패킷 방식을 요구하는 트래픽을 동시에 제공할 수 있어 IMT-2000과 같은 차세대 이동 통신 시스템 환경에 적합한 방식으로 사료된다.

참 고 문 헌

[1] D.J. Goodman and S.X. Wei, "Efficiency of Packet Reservation Multiple Access," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 40, no. 1, pp. 170-176, 1991.

[2] N.M. Mitrou, TH.D. Orinos and *et al.*, "A reservation multiple access protocol for micro-cellular mobile-communication systems," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 39, no. 4, pp. 340-351, 1990.

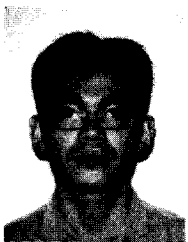
[3] Zhao Liu and M.E. Zarki, "Performance analysis of DS-CDMA with slotted ALOHA access for packet pens," *Proc. of PIMRC'94*, pp. 1034-1039, 1994.

[4] S. Nanda, "Analysis of packet reservation multiple access : voice data integration for wireless networks," *Proc. of GLOBECOM'90*, pp. 1984-1988, 1990.

[5] Lijun Tan and *et al.*, "A Reservation Random Access Protocol for Voice/Data Integrated Spread-Spectrum Multiple-Access Systems," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 14, no. 9, pp. 1717-1727, December 1996.

조 춘 근(Choon Geun Cho)

정회원



1993년 2월: 고려대학교
전자공학과 학사
1996년 8월: 고려대학교
전자공학과 석사
1998년 8월: 고려대학교
전자공학과 박사과정
수료

<주관심 분야> 이동 통신망, 멀티코드 CDMA

허 경(Kyeong Hur)

정회원



1998년 2월: 고려대학교
전자공학과 학사
1998년 3월~현재: 고려대학교
전자공학과 석사과정
재학 중

이 연 우(Yeonwoo Lee)

정회원



1992년 2월: 고려대학교 전자공
학과 학사
1994년 2월: 고려대학교 전자공
학과 석사
1998년 2월: 고려대학교 전자공
학과 박사과정 수료

1999년 8월~현재: 고려대학교 정보통신기술공동연구
소 연구원

<주관심 분야> Spread Spectrum 시스템, 멀티미디어
CDMA 시스템, 차세대 이동 통신
시스템 및 위성 이동통신 시스템

차 균 현(Kyun Hyon Tchah)

정회원



1965년 2월: 서울대학교 전기
공학과 학사
1967년 6월: 미국 일리노이
공과대학 석사
1976년 6월: 서울대학교 전자
공학과 박사

1977년 3월~현재: 고려대학교 전자공학과 전자공학
과 교수

1998년 1월~1998년 12월: 한국통신학회 회장

1998년 4월~현재: 한국전자통신연구원 부이사장

<주관심 분야> 통신 이론, 이동 통신, 위성 통신, 이
동 멀티미디어 시스템