

멀티미디어 CDMA 이동통신 시스템에서의 다양한 QoS 요구조건을 고려한 성능 분석

준회원 김 백 현*, 신 승 훈*, 정회원 곽 경 섭**

Performance Analysis of Multimedia CDMA Mobile Communication System Considering Diverse QoS Requirements

Baek-hyun Kim*, Seung-hoon Shin*, Kyung-sup Kwak** *Regular Members*

요 약

멀티미디어 CDMA(code division multiple access) 이동통신 서비스는 음성, 동영상, 파일 전송, 전자 우편, 인터넷 접속 등과 같은 다양한 어플리케이션들을 이동중인 사용자들에게 각각의 요구 조건에 부합할 수 있는 QoS(quality of service)로 제공하여야 한다. 본 논문에서 고려한 시스템은 음성, 스트림 데이터 및 패킷 데이터의 혼합 트래픽 환경에서 실시간 전송을 요구하는 음성 서비스에게는 선점 우선권(preemptive priority)을 부여하고, 지연에 다소 민감하지 않은 스트림 데이터 서비스에 대해서는 버퍼를 부여하였다. 또한, 최선형(best-effort) 서비스를 받는 패킷 데이터 서비스에 대해서는 기지국의 방송 제어 신호에 의해 송신 허용 확률(transmission permission probability)을 결정함으로써 효율을 향상시킬 수 있는 접속 제어 시스템을 고려한다.

본 논문에서는 멀티미디어 CDMA 이동통신 시스템의 성능 분석을 위하여 음성 및 스트림 데이터 트래픽을 2차원-마르코프 체인으로 모델링하고 분석하였으며, 잔여 용량(residual capacity)을 기초로 하여 패킷 데이터 트래픽에 대한 수학적 분석을 수행하였다.

ABSTRACT

In the multimedia CDMA mobile communication service, it is required to support various applications, such as voice, video, file transfer, e-mail, and Internet access, with guaranteed QoS. In the mixed traffic environment, which consists of voice, stream data, and packet data, we analyze the network where preemptive priority is granted to delay-intolerant voice service and a buffer is offered to delay-tolerant stream data service. And, for best-effort packet data service, the access control by transmission permission probability is applied to obtain prominent throughput.

To analyze the multimedia CDMA mobile communication system, we build a 2-dimensional markov chain model about prioritized-voice and stream data services and accomplish numerical analysis in combination with packet data traffic based on residual capacity equation.

I. 서 론

멀티미디어 CDMA 이동통신 서비스는 이동중

사용자에게 해당 기지국의 전파 영역인 셀 내에서 무선 링크를 통하여 음성, 동영상, 파일전송, 전자우편 등과 같은 통합된 서비스를 각각의 서비스에

* 인하대학교 전자공학과 통신공학연구소(bhkim100@hanmail.net), ** 인하대학교 정보통신공학부(kskwak@inha.ac.kr)

논문번호 : 010281-1011, 접수일자 : 2001년 10월 11일

* 본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R01-1999-002133) 지원으로 수행되었습니다.

다른 대역폭 및 QoS의 요구에 부합하도록 제공하여야 한다. 무선 통신 시스템에 있어서 주파수는 한정된 자원으로써 제한된 대역폭만을 사용하여야 하며, 일반적으로 유선 통신 시스템에 비해 현저히 작은 용량을 가진다. 특히, 멀티미디어 CDMA 이동통신 서비스를 제공함에 있어서, 대역폭의 부족으로 인해 실시간 서비스를 요구하는 음성 서비스의 경우 호의 차단(blocking)이 발생할 수 있으며, 패킷 발생률이 불규칙적인 동영상 서비스와 같은 스트림 데이터 서비스의 경우에는 버퍼 대기 시간에 따른 지연이 발생할 수 있다. 이에 비해, 전자 우편 등과 같은 패킷 데이터 서비스는 타 서비스에 의해 사용되어지고 있지 않는 잔여 채널을 최선의 시도를 통해 전송하도록 한다. 따라서, 각각의 상이한 서비스 요구를 만족시키며 대역폭을 효율적으로 할당할 수 있도록 네트워크를 설계하는 것이 필수적이다.

CDMA 무선 네트워크와 관련하여 많은 연구들이 주로 음성 트래픽을 중심으로 하여 이루어졌다. 그 중 K. Gilhousen과 A. M. Viterbi 등은 단일 셀에서 수용 가능한 음성 사용자의 수에 대한 해석을 수행하였으며^{[1][2]}, Y. Ishikawa와 S. Shin 등은 음성 채널과 관련된 자원 할당 문제를 해석하였다^{[3][4]}. 그러나, 이와 같은 연구 결과는 멀티미디어 트래픽 환경에서의 성능 분석에 부적합하다. 따라서, N. B. Mandayam과 I. Koo 등에 의해 음성 및 스트림 데이터의 두 가지 트래픽 환경에서 CDMA 시스템의 열량 용량(erlang capacity) 분석을 하려는 시도가 있었다^{[5][6]}. 하지만, 이들의 방법 역시 지연 특성을 고려해야 하는 데이터 트래픽에 대한 성능 분석으로는 부족한 면이 없지 않았다. 이 외에도 F. N. Pavlidou는 음성 및 스트림 데이터 트래픽만을 고려한 셀룰러 무선 네트워크에 대한 대기 체계 수학 모델이 제시하였으며^[7], Y. R. Haung은 이를 바탕으로 데이터 트래픽에 대하여 유한한 크기를 가지는 버퍼를 고려한 성능 분석을 수행하였다^[8]. Comanicu와 A. Sampath 등은 음성과 패킷 데이터 트래픽만을 고려한 성능 분석 및 패킷 데이터 서비스에 대한 접속 제어 방법들을 제시하였다^{[9][10]}.

본 논문에서는 음성, 스트림 데이터 및 패킷 데이터의 3 가지 혼합 트래픽 환경에서, 각 서비스의 QoS를 고려한 멀티미디어 CDMA 이동통신 네트워크를 마르코프 체인 및 잔여용량 관계식을 이용하여 분석하였다. 회선 교환(circuit switching) 형태로 채널을 사용하는 음성 서비스와 스트림 데이

터 서비스에 대해서는 음성 서비스에 대한 선점 우선권을 고려하여 마르코프 체인으로 모델링하고 분석하였으며, 패킷 교환(packet switching) 형태로 동작하는 패킷 데이터 서비스에 대해서는 랜덤 접속을 시도하는 사용자의 송신허용확률을 예측하여 전송하는 알고리즘을 고려하여 분석을 수행하였다.

본 논문의 II절에서는 우선적으로 선점 우선권을 가지는 음성 서비스 및 유한 크기의 버퍼를 가지는 스트림 데이터 서비스에 대한 부시스템을 모델링하여, 이를 2차원 마르코프 체인으로 분석한 결과를 제시하였으며, III절에서는 상기 II절에서 얻은 음성 및 스트림 데이터 사용자수의 정상 상태 확률을 바탕으로 잔여용량을 계산하여 패킷 데이터 서비스 사용자의 송신허용확률을 제어하는 알고리즘을 제시하였다. 그리고, IV절에서는 수치 해석에 따른 분석 결과를 도표로 설명하였으며, 마지막으로 V절에서 본 논문의 결론을 서술하였다.

II. 시스템 용량 모델

통신 서비스에 있어서 각 사용자는 최소한의 QoS 요구조건을 지니며, 이를 위해 일반적으로 비트오율(BER, bit error rate) 또는 프레임오율(FER, frame error rate)이 우선적으로 만족되어야 한다. 그리고, 이와 같은 비트오율 또는 프레임오율은 등가의 신호 대 간섭비, E_b/I_0 로 나타내어질 수 있다. 따라서, 의사잡음(PN, pseudo-noise) 부호열을 확산 및 역확산 부호로 사용하는 CDMA 시스템에서의 단일 셀에 대해 전송중인 음성 서비스, 스트림 데이터 서비스, 패킷 데이터 서비스의 사용자수를 각각 i_{Tx} , j_{Tx} , k_{Tx} 이라고 하면, 각 서비스 사용자 신호의 수신 신호 대 간섭비 및 QoS를 만족시키기 위한 최소 요구 신호 대 간섭비에 따른 최소 전체 송신 전력을 최적화시키는 유일해가 존재하기 위한 조건식은 다음과 같다^{[11]-[13]}.

$$\sum_{s=0}^{i_{Tx}} \frac{1}{\left(\frac{W}{R_v} \cdot \frac{1}{\Gamma_v^{(s)}} + 1\right)} + \sum_{s=0}^{j_{Tx}} \frac{1}{\left(\frac{W}{R_{sd}} \cdot \frac{1}{\Gamma_{sd}^{(s)}} + 1\right)} + \sum_{s=0}^{k_{Tx}} \frac{1}{\left(\frac{W}{R_{pd}} \cdot \frac{1}{\Gamma_{pd}^{(s)}} + 1\right)} < 1 \quad (1)$$

식(1)에서 W 는 전체 대역폭을 의미하며, R_v , R_{sd} , R_{pd} 는 음성 서비스, 스트림 데이터 서비스 및

패킷 데이터 서비스에 대한 데이터율이다. 또한, $\Gamma_v^{(s)}$, $\Gamma_{sd}^{(t)}$, $\Gamma_{pd}^{(u)}$ 은 각각 s 번째 음성 사용자, t 번째 스트림 데이터 사용자, u 번째 패킷 데이터 사용자에 대한 요구 E_b/I_0 이다. 동일한 종류의 서비스를 요구하는 사용자들에 대해서는 동일한 E_b/I_0 를 요구하는 것으로 가정하고, 완전한 전력제어가 수행되었다고 가정하면, 식 (1)은 다음과 같이 간략화시킬 수 있다.

$$\frac{i_{Tx}}{\left(\frac{W}{R_v \Gamma_v} + 1\right)} + \frac{j_{Tx}}{\left(\frac{W}{R_{sd} \Gamma_{sd}} + 1\right)} + \frac{k_{Tx}}{\left(\frac{W}{R_{pd} \Gamma_{pd}} + 1\right)} < 1 \quad (2)$$

음성 서비스, 스트림 데이터 서비스, 패킷 데이터 서비스의 처리 이득은 각각 $W/R_v = G_v$, $W/R_{sd} = G_{sd}$, $W/R_{pd} = G_{pd}$ 으로 정의할 수 있으므로, 식 (2)는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{\Gamma_v}{G_v + \Gamma_v} i_{Tx} + \frac{\Gamma_{sd}}{G_{sd} + \Gamma_{sd}} j_{Tx} + \frac{\Gamma_{pd}}{G_{pd} + \Gamma_{pd}} k_{Tx} < 1 \quad (3)$$

또한, $g_v = (G_v + \Gamma_v)/\Gamma_v$, $g_{sd} = (G_{sd} + \Gamma_{sd})/\Gamma_{sd}$, $g_{pd} = (G_{pd} + \Gamma_{pd})/\Gamma_{pd}$ 로 정의하면, 식 (3)은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{i_{Tx}}{g_v} + \frac{j_{Tx}}{g_{sd}} + \frac{k_{Tx}}{g_{pd}} < 1 \quad (4)$$

위의 식 (4)에서 단일 서비스만을 고려한다면, 각각의 서비스에 대해 최대도 가능한 서비스 용량은 각각 $[g_v]$, $[g_{sd}]$, $[g_{pd}]$ 임을 알 수 있다(여기에서, $[X]$ 는 X 이하의 가장 큰 정수를 의미한다). 따라서, 가장 낮은 데이터 속도를 가지는 음성 서비스에 따라 단위 채널을 분리하고, 높은 데이터 속도의 서비스들은 복수의 단위 채널을 사용하여 전송하는 것으로 생각할 수 있다. 즉, 각각의 스트림 데이터 서비스는 $\rho = [g_v/g_{sd}]$ 개의 단위채널을 사용하며, 패킷 데이터 서비스는 $\eta = [g_v/g_{pd}]$ 개의 단위채널을 사용한다(여기에서, $[X]$ 는 X 이상의 가장 작은 정수를 의미한다).

III. 음성 및 스트림 데이터 부시스템

1. 대기체계 시스템 모델

멀티미디어 CDMA 이동통신 시스템에 있어서

채널 코드에 의해 분할된 트래픽 채널은 서버의 개수가 c 개인 다중 서버로 고려할 수 있다. 음성 트래픽 및 스트림 데이터 트래픽의 두 가지 입력은 도착율이 각각 λ_v, λ_{sd} 인 포아송(Poisson) 분포로 가정하며, 서비스시간의 분포는 평균이 각각 $1/\mu_v, 1/\mu_{sd}$ 인 지수분포로 가정한다. 그리고, 스트림 데이터 서비스에 대해서만 유한 크기, b 를 가지는 버퍼를 적용하였다. 한 셀내에의 음성, 스트림 데이터, 패킷 데이터 사용자수는 각각 K_v, K_{sd}, K_{pd} 로 유한의 사용자 환경을 고려하였으며, 각 사용자들은 전송할 메시지의 서비스가 완료되기 전에는 새로운 메시지를 발생하지 않는 것으로 가정하였다. 이와 같은 환경을 가정하여, 그림 1에 단일 셀 기지국에서의 대기체계 구조를 나타내었다.

음성 서비스 채널을 기본 채널로 설정하면, 단일 셀의 기지국에서 사용할 수 있는 전체 가용 채널의 수, c 는 $[g_v]$ 이며, 각각의 스트림 데이터 서비스를 위해서는 ρ 개의 기본 채널이 사용되어진다. 따라서, n 개의 스트림 데이터 전용 채널을 위해서는 $n \cdot \rho$ 개의 기본 채널이 할당되어진다. 그리고, 나머지 $c - n \cdot \rho$ 개의 채널은 음성 트래픽이 선점 우선권을 가지고 스트림 데이터 서비스 트래픽과 공유하여 사용되어진다.

즉, 음성 트래픽이 도착하였을 때, 사용 가능한 공유 채널이 없을 경우, 스트림 데이터 트래픽을 서비스하고 있는 공유 채널이 있으면, 스트림 데이터를 서비스하고 있는 임의의 공유 채널의 사용을 중단하고 음성 트래픽이 사용하도록 할당하며 스트림 데이터는 버퍼에 대기시킨다. 그러나, 사용중인 $c - n \cdot \rho$ 개의 모든 공유 채널이 음성 트래픽에 할당되어 있는 경우, 새로이 도착한 음성 트래픽은 서비스를 받지 못하고 차단된다. 스트림 데이터 트래픽이 도착할 경우, 우선 버퍼에서 대기하며, 사용 가능한 채널이 있는 경우 전송된다. 그러나, 도착시점에서의 버퍼에 대기하고 있는 데이터 사용자의 수가 b 명일 경우, 도착한 스트림 데이터 트래픽은 서비스를 받지 못하고 차단되어진다.

2. 마르코프 체인 분석

앞 절에서 멀티미디어 CDMA 이동통신 네트워크의 기지국 측면에서의 대기체계 시스템을 모델링하였다. 서비스중인 음성 사용자의 수, i 와 버퍼에 대기중인 사용자수를 포함한 스트림 데이터 사용자의 수, j 의 정상 상태 확률을 $P_{i,j} = \Pr(\text{voice} = i, \text{data} = j)$ 로 정의하면, 이를 해석하기 위한 첫 단계로

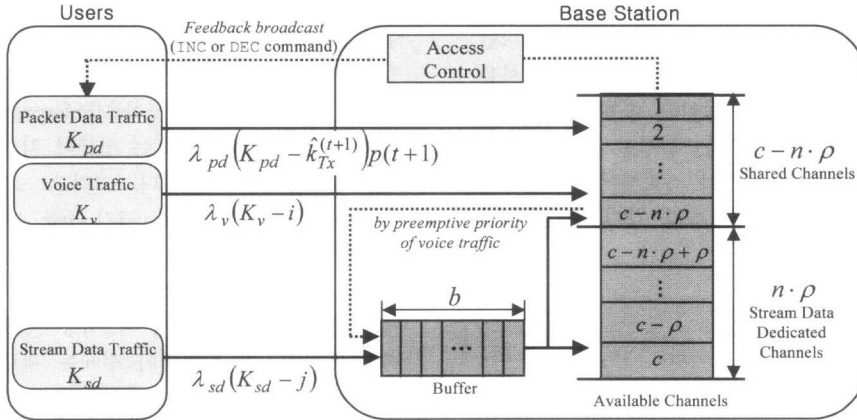


그림 1. 기지국의 대기체계 구조

써, 연속 시간을 고려하여 미소 시간에서의 상태, (i, j) 의 천이 관계에 의해 그림 2와 같은 정상 상태 천이도를 얻을 수 있다. 포아송 과정의 특성에 의하여, 미소 시간에서의 천이를 고려하므로 동시에 두 사용자 이상의 증가나 감소는 발생하지 않는다.

서비스중인 음성 트래픽의 수, i 가 $c - n \cdot \rho$ 보다 적을 경우, 스트림 데이터 트래픽은 여분의 채널, 즉, $c - i$ 개 채널을 사용하여 데이터를 전송한다. 또한, 스트림 데이터 트래픽은 버퍼에 대기중인 트래픽의 수, j 가 $\lfloor (c - i) / \rho \rfloor$ 보다 적을 경우에는 $j \mu_{sd}$ 의 서비스율로 전송되며, $\lfloor (c - i) / \rho \rfloor$ 보다 클 경우에는 $\lfloor (c - i) / \rho \rfloor \mu_{sd}$ 의 서비스율로 전송된다. 따라서, 그림 2의 상태 천이도에 의해, $0 \leq i \leq c - n \cdot \rho$, $0 \leq j \leq \lfloor (c - i) / \rho \rfloor + b$ 범위에 대해서 식 (5)와 같은 평형 방정식을 얻을 수 있다.

식 (5)에서 $u[X]$ 함수는 $X > 0$ 이면 1, $X \leq 0$ 이면 0인 계단(unit step) 함수로써, 상태 천이도의 경계부분에 있어서 천이의 유무를 표현하기 위해 사용되었다. 그리고, $\min(X, Y)$ 함수는 X 와 Y 의 두 값 중 작

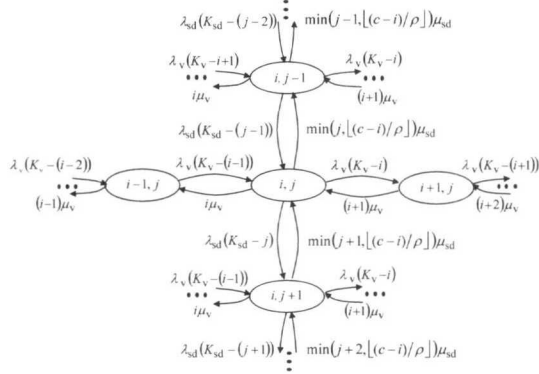
은 값을 구하는 함수로써, 최대한 서비스가 가능한 스트림 데이터 사용자의 수가 $\lfloor (c - i) / \rho \rfloor$ 임을 나타낸다. 즉, 전체 c 개의 채널에서 i 명의 음성 사용자가 사용하고 남은 여분의 채널을 사용하여 스트림 데이터 사용자가 서비스를 받는다. 또한, 마지막 항에서의 $(1 - (-1)^{\lfloor (c - i) / \rho \rfloor}) \cdot (-1)^{\lfloor (c - i - 1) / \rho \rfloor} / 2$ 는 그림 2에서 열(column)의 개수가 변화할 때, $(i - 1, j + 1)$ 상태에서 (i, j) 상태로의 천이를 나타내기 위해 사용되었다.

그림 2의 상태 천이도에서 기지국의 대기체계 시스템의 전체 상태 개수는 다음과 같다.

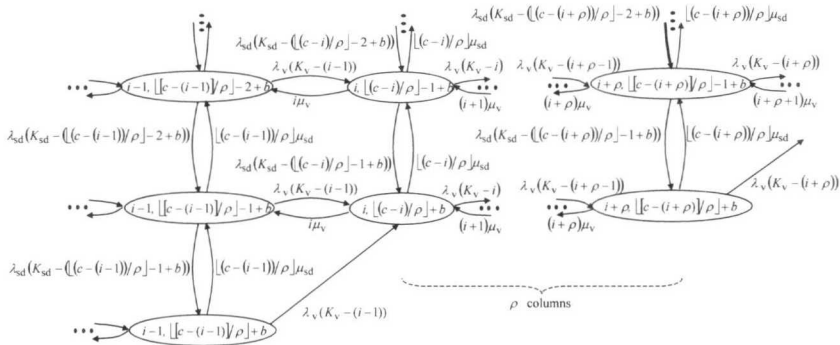
$$N_s = (c - \lfloor c / \rho \rfloor \cdot \rho + 1) + \rho \cdot (k - n)(k - 1 + n) / 2 + (c - n \cdot \rho + 1)(b + 1)$$

수치해석을 용이하게 하기 위해, 위의 상태천이도의 상태에 따른 2 차원 정상 상태 확률 행렬을 다음과 같이 N_s 개의 정상 상태 확률을 원소로 하는 1 차원 벡터, \mathbf{p} 로 재구성할 수 있다.

$$\begin{aligned} & \{ u[(c - n \cdot \rho) - i] \cdot \lambda_v \{ K_v - i \} + u[\lfloor (c - i) / \rho \rfloor + b - j] \cdot \lambda_{sd} \{ K_{sd} - j \} \\ & + i \mu_v + \min(j, \lfloor (c - i) / \rho \rfloor) \mu_{sd} \} \cdot P_{i,j} \\ & = u[i] \times \lambda_v \{ K_v - (i - 1) \} P_{i-1,j} \\ & + u[j] \times \lambda_{sd} \{ K_{sd} - (j - 1) \} P_{i,j-1} \\ & + u[\lfloor (c - i) / \rho \rfloor + b - j] \times \min(j + 1, \lfloor (c - i) / \rho \rfloor) \mu_{sd} P_{i,j+1} \quad (5) \\ & + u[(c - n \cdot \rho) - i] \times \frac{1 + (-1)^{\lfloor (c - i) / \rho \rfloor} \cdot (-1)^{\lfloor (c - i - 1) / \rho \rfloor}}{2} \cdot (i + 1) \mu_v P_{i+1,j} \\ & + u[i] \cdot u[j - (\lfloor (c - i) / \rho \rfloor) + b + 1] \\ & \times \frac{1 - (-1)^{\lfloor (c - i) / \rho \rfloor} \cdot (-1)^{\lfloor (c - i - 1) / \rho \rfloor}}{2} \cdot \lambda_v \{ K_v - (i - 1) \} P_{i-1,j+1} \end{aligned}$$



(a) $0 \leq i \leq c - n \cdot \rho$, $1 \leq j \leq [(c-i)/\rho] - 1 + b$ 인 경우의 상태 천이도.



(b) $0 \leq i \leq c - n \cdot \rho$, $j = [(c-i)/\rho] + b$ 인 경우의 상태 천이도.

그림 2. 음성 서비스의 선점 우선권을 고려한 정상 상태 천이도

$$\mathbf{p} = [P_{0,0}, \dots, P_{0,[(c-\rho)/\rho]+b}, P_{1,0}, \dots, P_{1,[(c-1)/\rho]+b}, \dots, P_{c-n \cdot \rho,0}, \dots, P_{c-n \cdot \rho,n+b}]^T \quad (6)$$

위의 식에서, $[\cdot]^T$ 는 전위(transpose) 연산자이다. 또한, 위의 식 (5)만으로는 N_s-1 개의 독립된 선형 방정식만을 얻을 수 있으므로, 확률 총합의 법칙($\sum_{i=0}^{c-n} \sum_{j=0}^{[(c-i)/\rho]+b} P_{i,j}$)을 추가 정리하여 행렬식, $\mathbf{Q} \cdot \mathbf{p} = \mathbf{q}$ 를 구성한다. 이 식에서 \mathbf{Q} 는 평형 방정식에 의해 얻어진 $N_s \times N_s$ 차원의 계수행렬이며, \mathbf{q} 는 $N_s \times 1$ 차원의 $[0,0,\dots,1]^T$ 인 벡터이다. 따라서, $\mathbf{p} = \mathbf{Q}^{-1} \cdot \mathbf{q}$ 를 풀어서 모든 상태($0 \leq i \leq c - n \cdot \rho$, $0 \leq j \leq [(c-i)/\rho] + b$)에 대한 정상 상태 확률, $P_{i,j}$ 를 구할 수 있다.

3. 음성 및 스트림 데이터 서비스의 성능 분석

앞의 분석에 의해 구하여진 정상 상태 확률, $P_{i,j}$ 을 이용하여, 다음과 같은 시스템의 성능을 나타내는 지표들에 관한 관계식을 얻을 수 있다.

1) 음성 서비스의 차단 확률, P_{B-v} : 음성 사용자가 스트림 데이터 사용자에 대하여 선점 우선권을 지니므로, 스트림 데이터 사용자의 수와는 상관이 없이 시스템내의 음성 사용자수가 $c - n \cdot \rho$ 일 경우에 서비스를 받지 못하고 차단되어 진다.

$$P_{B-v} = \sum_{j=0}^{n+b} P(c - n \cdot \rho, j) \quad (7)$$

2) 스트림 데이터 서비스의 차단 확률, P_{B-sd} : 기지국 시스템의 전체 사용자수($i+j$)가 가용 채널수와 버퍼 크기의 합, $i + [(c-i)/\rho] + b$ 와 동일할 경우에 새로이 도착한 스트림 데이터 사용자는 서비스를 받지 못하고 차단되어 진다.

$$P_{B-sd} = \sum_{i=0}^{c-n \cdot \rho} P(i, [(c-i)/\rho] + b) \quad (8)$$

3) 평균 스트림 데이터 버퍼 길이, $E[L_{sd-buff}]$: 기지국 시스템의 전체 사용자수 중 $i + [(c-i)/\rho]$ 명을

제외한 사용자가 버퍼에 대기하므로, 스트림 데이터 버퍼에 대기중인 스트림 데이터 사용자 수의 평균 값은 다음과 같은 식으로 구할 수 있다.

$$E[L_{sd-buff}] = \sum_{i=0}^{c-n} \sum_{j=\lfloor (c-b)/\rho \rfloor + 1}^{\lfloor (c-i)/\rho \rfloor + b} \{(j - \lfloor (c-i)/\rho \rfloor) \cdot P(i, j)\} \quad (9)$$

4) 평균 스트림 데이터 서비스 전송 지연 시간 $E[D_{sd}]$: Little의 법칙을 사용하여, 스트림 데이터 서비스의 평균 전송 지연 시간은 다음 식과 같이 구할 수 있다.

$$E[D_{sd}] = 1 + \frac{E[L_{sd-buff}]}{\lambda_{sd}(1 - P_{B-sd})} \quad (10)$$

IV. 패킷 데이터 부시스템

음성 서비스 및 버퍼를 사용하는 스트림 데이터 서비스에서는 전송 시점이 기지국에 의해서 제어를 받는 중앙 접속 제어 방식을 사용하며, 패킷 데이터 서비스에서는 음성 서비스 및 스트림 데이터 서비스에 의해 사용되고 남은 잔여 용량(residual capacity)을 기반으로 각 사용자에게 의해 전송 시점을 결정하는 분산 접속 제어 방식이 이용된다. 즉, 패킷 데이터를 전송하려는 사용자는 음성 및 스트림 데이터 서비스에 의해 사용되어지고 남은 잔여 용량 정보를 사용하여, 음성 서비스 및 스트림 데이터 서비스 사용자를 포함한 다른 사용자에게 간섭 전력을 최소화할 수 있도록 제어하여 전송하여야 한다. 본 논문에서는 패킷 데이터 사용자는 기지국에서 예측된 음성 및 데이터 사용자수에 관한 방송 신호를 사용하여 바로 이전 단계의 상태에 의존해서 송신 허용 확률을 조절하는 랜덤 접속 방식을 제안하였다.

우선, 위의 식 (4)의 조건식을 재정리하면, 식 (11)과 같이 서비스 가능한 패킷 데이터 사용자수에 대한 잔여 용량 조건식을 얻을 수 있다.

$$k_{Tx} \leq g_{pd} \left(1 - \frac{i_{Tx}}{g_v} - \frac{j_{Tx}}{g_{sd}} \right) \quad (11)$$

1. 잔여 용량 예측 알고리즘

패킷 데이터를 전송하기 위해 사용되는 랜덤 접속 방식에 있어서, 일정한 시간 구간(슬롯), Δd 마다 구간의 길이와 동일한 크기를 가지는 패킷을 전송

하는 슬롯형 시스템을 가정한다. 분산 제어형의 랜덤 접속 방식을 사용함에 있어서, 시스템의 효율을 결정짓는 가장 중요한 파라미터는 시스템에 실제로 부가되는 부하를 결정짓는 송신 허용 확률이다. 따라서, 본 논문에서는 슬롯 시작점마다 기지국에 의해 1-비트 귀환 신호를 방송하고, 사용자는 기지국으로부터 전달된 귀환 신호를 이용하여 잔여 용량을 예측하여 $t+1$ 번째 슬롯 구간에서의 간섭 전력을 최소로 할 수 있도록 송신 허가 확률, $p(t+1)$ 를 결정하는 제어 방법을 제안한다. 즉, 패킷 데이터 서비스를 요구하는 사용자는 잔여 용량 예측을 위해 그림 3과 같이 3 가지 상태를 가지며, 기지국으로부터 방송되는 INC(증가)와 DEC(감소) 제어 명령 및 이전의 상태에 따라 그림 3과 같이 천이를 한다. 기지국은 측정된 잔여 용량보다 예측한 잔여 용량이 클 때에는 모든 패킷 데이터 서비스 사용자에게 예측된 잔여용량의 수를 감소시키도록 DEC 명령을 방송한다. 반대로 측정된 잔여 용량보다 예측한 잔여 용량이 작을 때에는 예측된 잔여 용량의 수를 증가시키도록 INC 명령을 방송한다.

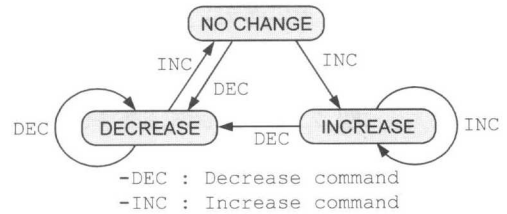


그림 3. 패킷 데이터 사용자의 잔여 용량 예측 제어 명령에 따른 상태 천이도

2. 패킷 데이터 서비스의 성능 분석

기지국에서는 매 슬롯 구간마다 모든 패킷 데이터 서비스 사용자에게 전송 허용 확률, $p(t+1)$ 을 가지고 데이터를 송신하도록 제어한다. 즉, $t+1$ 슬롯 구간에서 예측된 $k_{Tx}^{(t+1)}$ 명의 패킷 데이터 사용자가 다음 슬롯 구간에서 패킷 데이터를 전송할 확률을 최대로 하기 위한 전송 허용 확률은 다음과 같이 최대 가능 예측(maximum likelihood estimation)으로 구할 수 있다^[9].

$$\Pr\{k_{Tx}^{(t+1)} = \widehat{k_{Tx}^{(t+1)}} | p(t+1)\} = \left(\frac{K_{pd}}{k_{Tx}^{(t+1)}} \right) p(t+1)^{k_{Tx}^{(t+1)}} \{1 - p(t+1)\}^{K_{pd} - k_{Tx}^{(t+1)}} \quad (12)$$

$$\frac{\partial \Pr\{k_{Tx}^{(t+1)} = \widehat{k}_{Tx}^{(t+1)} | p(t+1)\}}{\partial p(t+1)} = 0,$$

$$p(t+1) = \frac{\widehat{k}_{Tx}^{(t+1)}}{K_{pd}}$$

모든 서비스 종류에 대해서 식 (13)과 같이 최소 전체 송신 전력의 최적화 가능 조건이 만족되어지 못하는 상황에서는 슬롯 단위의 메시지 전송이 실패하게 된다. 즉, 음성 메시지와 같이 실시간을 요구하면서 어느 정도의 오류를 허용하는 서비스에서는 이와 같이 전송이 실패한 메시지는 폐기하며, 어느 정도의 지연은 감수하지만 오류를 허용하지 않는 데이터 메시지의 경우에는 재전송을 수행한다.

$$\begin{aligned} P_{out} &= \lim_{t \rightarrow \infty} \Pr\left\{ \frac{i_{Tx}^{(t+1)}}{g_v} + \frac{j_{Tx}^{(t+1)}}{g_{sd}} + \frac{k_{Tx}^{(t+1)}}{g_{pd}} \geq 1 \right\} \\ &= \sum_{i=0}^{c-n\rho} \sum_{j=0}^{\lfloor (c-i)/\rho \rfloor + b} \Pr\left\{ k_{Tx} \geq g_{pd} \left(1 - \frac{i_{Tx}}{g_v} - \frac{j_{Tx}}{g_{sd}} \right) \right. \\ &\quad \left. \middle| i_{Tx} = i, j_{Tx} = \min\left(j, \lfloor \frac{(c-i)}{\rho} \rfloor\right) \right\} \cdot P(i, j) \end{aligned} \quad (13)$$

잔여 용량 예측 알고리즘에 의해 서비스 중인 음성 사용자수와 스트림 데이터 사용자수에 따른 최적의 패킷 데이터 사용자수를 $\widehat{k}_{Tx} = \lfloor g_{pd}(1 - i_{Tx}/g_v - j_{Tx}/g_{sd}) \rfloor$ 으로 예측할 수 있으므로, 위의 식 (13)은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} P_{out} &= \sum_{i=0}^{c-n\rho} \sum_{j=0}^{\lfloor (c-i)/\rho \rfloor + b} \Pr\left\{ k_{Tx} \geq \widehat{k}_{Tx} = \left\lfloor g_{pd} \left(1 - \frac{i}{g_v} - \frac{\min(j, \lfloor (c-i)/\rho \rfloor)}{g_{sd}} \right) \right\rfloor \right\} \cdot P(i, j) \\ &= \sum_{i=0}^{c-n\rho} \sum_{j=0}^{\lfloor (c-i)/\rho \rfloor + b} \sum_{k_{Tx}=\widehat{k}_{Tx}+1}^{K_{pd}} \left\{ \left(\frac{K_{pd}}{k_{Tx}} \right) \cdot \left[\frac{\widehat{k}_{Tx}}{K_{pd}} \right]^{k_{Tx}} \right. \\ &\quad \left. \times \left[1 - \frac{\widehat{k}_{Tx}}{K_{pd}} \right]^{K_{pd}-k_{Tx}} \cdot P(i, j) \right\} \end{aligned} \quad (14)$$

패킷 데이터 서비스의 패킷 전송이 허용되지 않을 확률의 평균, 즉 평균 차단 확률을 구하면 다음 식과 같다.

$$\begin{aligned} P_{B-pd} &= E_{k_{Tx}}[P_{out}] \\ &= \sum_{i=0}^{c-n\rho} \sum_{j=0}^{\lfloor (c-i)/\rho \rfloor + b} \left(1 - \frac{\widehat{k}_{Tx}}{K_{pd}} \right) P(i, j) \end{aligned} \quad (15)$$

다음으로, 패킷 데이터 서비스의 전송 지연을 구

하기 위해서, 슬롯당 성공적으로 전송된 패킷의 수에 의해 패킷 데이터 서비스의 효율, S_{pd} 을 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} S_{pd} &= \frac{1}{g_{pd}} \sum_{i=0}^{c-n\rho} \sum_{j=0}^{\lfloor (c-i)/\rho \rfloor + b} \sum_{k=0}^{\min(k_{Tx}, K_{pd})} \\ &\quad k \binom{K_{pd}}{k} \left[\frac{\widehat{k}_{Tx}}{K_{pd}} \right]^k \left[1 - \frac{\widehat{k}_{Tx}}{K_{pd}} \right]^{K_{pd}-k} P(i, j) \end{aligned} \quad (16)$$

따라서, 패킷 데이터 서비스의 평균 지연 시간은 Little의 식에 의해 다음과 같이 구할 수 있다.

$$E[D_{pd}] = 1 + \frac{1}{2} + \frac{K_{pd}}{S_{pd}} \quad (17)$$

위의 식에서, 1 및 1/2는 각각 하나의 패킷을 전송하기 위한 서비스 시간 및 패킷이 도착한 시점부터 다음 슬롯의 시작점까지의 평균 지연 시간이다.

음성 서비스 및 스트림 데이터 서비스를 포함한 전체 시스템의 효율은 서비스가 가능한 최대 채널수에 대하여 성공적으로 서비스를 수행한 채널수의 비로 정의할 수 있다. 즉, 성공적으로 전송을 수행한 음성 사용자수와 스트림 데이터 사용자수 및 패킷 데이터 사용자수에 의해 전체 시스템의 정규화된 효율, S_{Total} 은 식 (18)과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} S_{Total} &= \sum_{i=0}^{c-n\rho} \sum_{j=0}^{\lfloor (c-i)/\rho \rfloor + b} \\ &\quad \left\{ \left(\frac{i}{g_v} + \frac{\min(j, \lfloor (c-i)/\rho \rfloor)}{g_{sd}} \right) (1 - P_{out}) \cdot P(i, j) \right\} \\ &\quad + \sum_{i=0}^{c-n\rho} \sum_{j=0}^{\lfloor (c-i)/\rho \rfloor + b} \sum_{k_{Tx}=0}^{\min(k_{Tx}, K_{pd})} \left\{ \frac{k}{g_{pd}} \binom{K_{pd}}{k} \right. \\ &\quad \left. \times \left[\frac{\widehat{k}_{Tx}}{K_{pd}} \right]^k \cdot \left[1 - \frac{\widehat{k}_{Tx}}{K_{pd}} \right]^{K_{pd}-k} \cdot P(i, j) \right\} \end{aligned} \quad (18)$$

V. 수치 해석

성능 분석을 위해 수치 해석에 사용된 파라미터 들을 표 1에 나타내었다. 음성 서비스 및 스트림 데이터 서비스의 도착률 및 서비스율은 앞서 설명한 바와 같이 지수분포를 가진다. 그러나, 패킷 데이터 서비스의 경우, 한 패킷의 길이는 슬롯 구간의 시간 간격과 동일한 것으로 가정하여, 614 bits의 고정 길이 패킷을 고려한다. 음성 서비스의 경우, 음성 활성화 검출기(SAD; speech activity detector)를 고려하여, 활성화(talkspurt)과 묵음(silence)의 구간

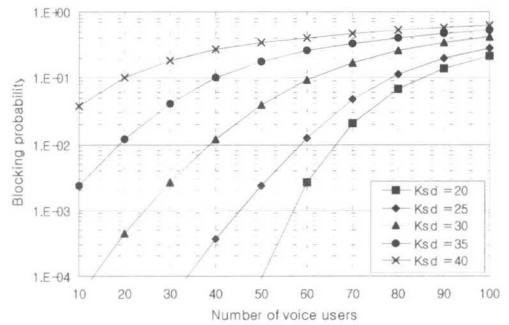
표 1. 수치해석에 사용되어진 파라미터들.

파라미터	기호	값
대역폭	W	3.84 MHz
음성 서비스의 데이터율/(처리이득)	R_v	16 Kbps
스트림 데이터 서비스의 데이터율/(처리이득)	R_{sd}	64 Kbps
패킷 데이터 서비스의 데이터율/(처리이득)	R_{pd}	64 Kbps
음성 메시지의 도착 간격 시간	$1/\lambda_v$	2.35 sec
음성 메시지의 서비스 시간	$1/\mu_v$	1 sec
스트림 데이터 메시지의 도착 간격 시간	$1/\lambda_{sd}$	0.5 sec
스트림 데이터 메시지의 서비스 시간	$1/\mu_{sd}$	0.2 sec
패킷 데이터 서비스의 서비스 시간(=슬롯 구간)	$1/\mu_{pd} (= \Delta d)$	0.01 sec
음성 서비스의 요구 E_b/I_0 값	Γ_v	7 dB
스트림 데이터 서비스의 요구 E_b/I_0 값	Γ_{sd}	7 dB
패킷 데이터 서비스의 요구 E_b/I_0 값	Γ_{pd}	7 dB
스트림 데이터 서비스를 위한 버퍼의 크기	b	10
스트림 데이터 전용 채널의 수	n	5

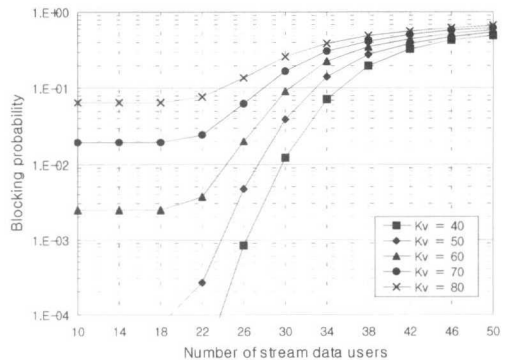
을 각각 1.0 [sec]와 1.35 [sec]로 가정한다. 즉, 음성 서비스의 서비스율은 $1 [\text{sec}^{-1}]$ 이며, 도착율은 $0.425[\text{sec}^{-1}]$ 로 고려한다. 또한, 스트림 데이터 사용자의 트래픽 모델의 경우도 2-상태 마르코프 모델로 가정하였다. 즉, ON-상태 및 OFF-상태는 각각 평균 지속 시간이 0.2 [sec]와 0.3 [sec]인 지수분포로 가정한다. 따라서, 각각의 스트림 데이터 사용자에게 대한 도착율은 $2 [\text{sec}^{-1}]$ 이고, 서비스율은 $5 [\text{sec}^{-1}]$ 로써 가정한다. 마지막으로 기본 채널의 개수, c 는 $\lfloor (G_v + \Gamma_v) / \Gamma_v \rfloor = 48$ 을 사용하였다.

그림 5에 음성 서비스의 차단 확률을 음성 및 스트림 데이터의 사용자수 변화에 따른 결과를 나타내었다. 그림 5.(a)는 스트림 데이터 사용자수를 파라미터로 하였을 경우에 있어서, 음성 사용자수가 증가함에 따른 차단 확률 특성을 나타낸다. 결과 그래프에서 QoS를 만족시키기 위한 차단확률을 10^{-2} 으로 가정할 경우, 이를 만족시키는 음성 사용자 용량은 스트림 데이터 사용자수가 20에서 5씩 증가함에 따라 66, 58, 39, 19, 0으로 감소된다. 즉, 스트림 데이터 사용자수의 증가에 따른 음성 사용자수의 감소폭이 증가함을 알 수 있다. 그림 5.(b)는 음성 사용자수를 파라미터로 한 경우, 스트림 데이터 사용자수를 증가함에 따른 차단 확률 특성을 나타낸다. 그림 5.(a)와 동일한 QoS 조건을 고려할 경우 음성 사용자가 40에서 10씩 증가함에 따라 스트림 데이터 사용자의 용량은 29, 27, 24, 0, 0명이 된다. 위의 결과에 의해 음성 사용자가 포화상태(약 65)이상이 되면, 스트림 데이터 사용자에게 대한 서비스가 불가능함을 알 수 있다. 그림 5.(a)의 결과에 의하면, 음성 서비스의 용량은 데이터율인 높은 서

비스인 스트림 데이터 서비스에 의해 현저한 영향을 받음을 알 수 있다. 또한, 그림 5.(b)의 결과에 따르면, 스트림 데이터 서비스 사용자수의 변화는 선점 우선권을 지닌 음성 서비스의 QoS에 미비한 영향을 끼침을 알 수 있다.



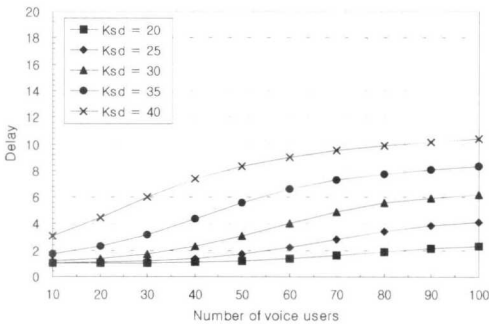
(a) 음성 서비스 사용자수에 따른 차단확률.



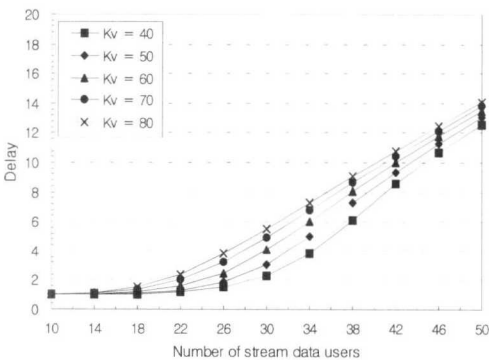
(b) 스트림 데이터 서비스 사용자수에 따른 차단확률.

그림 5. 음성 서비스의 차단 확률.

그림 6은 스트림 데이터 서비스의 지연 시간을 음성 및 스트림 데이터의 사용자 수 변화에 따른 결과를 나타낸다. 그림 6.(a)는 스트림 데이터 사용자 수를 파라미터로 하여 음성 사용자 수의 증가에 따른 지연 특성을 나타내었으며, 그림 6.(b)는 음성 사용자 수를 파라미터로 하여 스트림 데이터 사용자 수의 증가에 따른 지연 특성을 나타내었다. 그림 6.(a)의 결과를 살펴보면, 스트림 데이터 서비스의 지연 시간 특성은 음성 사용자 수의 증가에 의한 영향이 미소함을 알 수 있다. 또한, 음성 사용자 수의 증가에 의한 지연의 증가는 상한값을 가지게 된다. 이와 같은 결과에 의해 스트림 데이터 서비스에 대한 전용 채널의 할당은 음성 사용자 수의 증가에 의한 스트림 데이터 서비스에 대한 영향을 한정시킬 수 있다. 다음으로 그림 6.(b)의 결과를 살펴보면, 스트림 데이터 사용자 수가 증가함에 따라 지연은 최소치를 유지하다가, 앞의 그림 5에서 살펴본 용량 부근에서 지연이 점차적으로 증가함을 나타내고 있다. 즉, 비실시간 서비스인 스트림 데이터 서비스를 위한 버퍼의 적용이 대기 체계에 따른 지연을 야기함을 확인할 수 있다.



(a) 음성 서비스 사용자수에 따른 지연시간



(a) 스트림 서비스 사용자수에 따른 지연시간

그림 6. 스트림 데이터 서비스의 지연 시간($\times 1/\mu_{sd}$ [sec]).

다음으로 그림 7에 패킷 데이터 서비스 시스템과 관련된 성능 특성을 스트림 데이터 사용자의 수는 10으로 하고, 음성 사용자 수를 파라미터로 하여, 패킷 데이터 사용자 수의 변화에 따라 나타내었다. 그림 7.(a)에 의해 패킷 데이터의 전송에 있어서, 전송 허용 확률에 의한 랜덤 접속 방식의 전송 제어가 확률적 특성에 의해 누설(outage)을 발생시킬 수 있으며, 음성 사용자 수의 증가에 의한 영향이 미소함을 나타내고 있다. 그림 7.(b)는 패킷 데이터 부시스템만을 고려한 시스템의 효율로써 패킷 데이터 사용자 수의 증가에 따라 효율이 점차 증가하다가 다시 감소하며, 이와 같은 감소는 전송 허용 확률의 제어에 의해 하한값 이하로 감소하지 않고 효율을 유지함을 보여준다. 그리고, 그림 7.(c)는 음성 및 스트림 데이터 서비스를 포함한 전체 시스템의 효율을 나타내고 있다. 결과 그래프에서 음성 사용자 수가 증가함에 따라 최대 효율값을 가지는 패킷 데이터 사용자 수는 감소되나, 이와 같은 감소는 음성 사용자 수에 비해 미비함을 알 수 있다. 그리고, 패킷 데이터 사용자의 수가 증가함에 따라 효율은 점차적으로 감소하여 일정한 값을 유지하며, 음성 사용자의 수가 증가할수록 일정하게 유지되어지는 효율값은 더욱 높아진다. 이와 같은 현상은 음성 사용자가 많을수록 할당되어져 사용되어지는 대역폭이 증가하므로 랜덤접속방식에 의해 효율이 감소되는 대역폭의 양이 줄어들기 때문이다. 마지막으로 그림 7.(d)에 패킷 데이터 서비스의 지연 특성을 나타내었다. 그림 7.(c)에서 나타나 있는 최대값을 가지는 패킷 데이터 사용자 수 이상으로 패킷 데이터 사용자의 수가 증가하면 지연이 급격히 증가함을 알 수 있으며, 이와 같은 증가 특성은 음성 사용자의 수가 클수록 더욱 지연의 증가율이 더욱 커짐을 알 수 있다. 이와 같은 현상은 음성 및 스트림 데이터 서비스에게 할당되어지고 남은 잔여 용량이 감소함에 따라 랜덤접속방식의 패킷 데이터 사용자의 전송 허용확률이 줄어들고, 효율이 감소하여 재전송 횟수가 증가하게 되어 지연의 증가율이 더욱 커지는 것으로 사료된다. 그림 7의 결과에 의하면, 랜덤 접속을 시도하는 패킷 데이터 서비스에 대하여 예측 알고리즘을 사용함으로써, 타 서비스에 대한 간섭을 제한하여 일정한 수준의 전체적인 채널 효율을 보장할 수 있음을 확인하였다.

VI. 결론

본 논문에서는 각 서비스에 따른 최소한의 QoS 요구 조건을 만족시킬 수 있도록 트래픽 특성을 고려한 효율적 제어 방안을 연구하였으며, 이를 위하여, 음성, 스트림 데이터, 패킷 데이터의 각기 다른 3가지 종류의 서비스를 고려한 멀티미디어 CDMA 이동통신 네트워크를 마르코프 체인 모델 및 잔여 용량 분석에 따른 수식을 유도하여 차단 확률, 효율, 누설 확률, 지연의 성능 척도를 수학적으로 분석하였다.

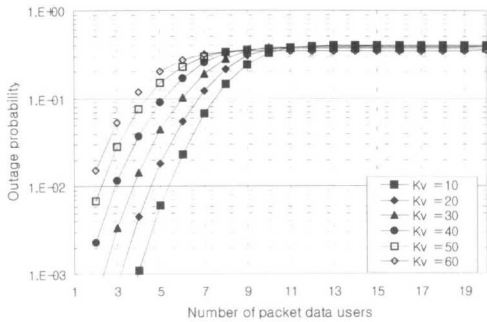
음성 사용자의 경우, 실시간 서비스가 요구되어지므로, 어느 정도 지연을 감수할 수 있는 스트림 데이터 사용자에게 비해 공유되어 사용되어지는 채널에 대하여 선점하여 사용할 수 있는 우선권이 부여된다. 그리고, 스트림 데이터 사용자에게 대해서는 이에 대한 보완 방안으로써, 전용의 채널 및 버퍼를 할당하여 최소한의 성능을 보장받을 수 있다.

성능 분석 결과에 의하면, 시스템의 용량은 데이터율이 높은 서비스에 의해 영향을 받음을 알 수 있었다. 채널 선점 우선권 방식으로 실시간 서비스를 요구하는 음성 서비스의 경우 타 서비스의 트래픽에 의해 QoS 성능 변화가 크게 영향 받지 않음을 컴퓨터 수치 분석을 통해 알 수 있었다. 그리고, 우선권이 없는 스트림 데이터 트래픽에 대해서는 전용 채널 및 버퍼를 할당하여 최소한의 QoS를 보장받을 수 있음을 확인하였다. 또한, 패킷 데이터의 랜덤 접속 트래픽을 고려한 성능 분석을 통하여 타 서비스에 대한 간섭을 예측 알고리즘을 통해 제한함으로써 일정한 수준의 전체적인 채널 효율을 보장할 수 있음을 관찰하였다.

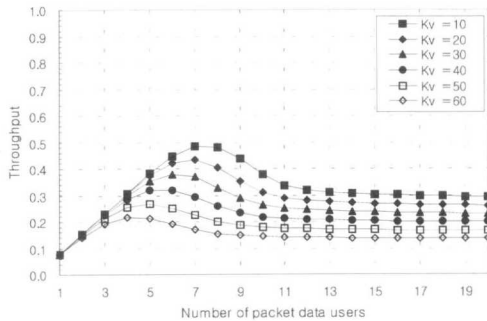
본 논문에서 제안된 해석적인 방법은 차세대 이동통신 시스템의 보다 실제적인 모델링 및 해석에 이용될 수 있을 것으로 기대된다.

참고 문헌

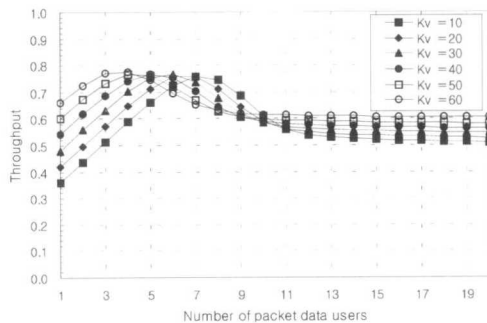
- [1] K. Gilhousen., I. Jacobs, R. Padovani, A. J. Viterbi, L. Weaver, C. Wheatley, "On the capacity of a cellular CDMA system," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 40, pp. 303~312, May 1991.
- [2] A. M. Viterbi, A. J. Viterbi, "Erlang capacity of a power controlled CDMA system," *IEEE*



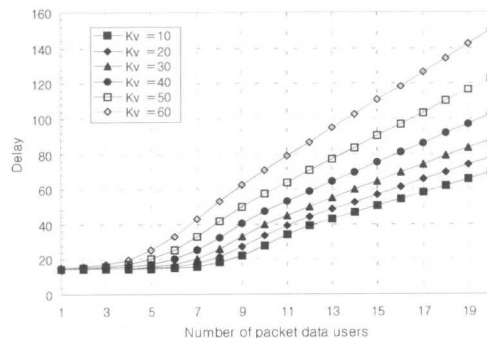
(a) 전체 서비스의 누설 확률.



(b) 패킷 데이터 부시스템의 효율.



(c) 전체 시스템의 효율.



(d) 패킷 데이터 서비스의 지연시간($\times 1/\mu_{pd}$ [sec]).

그림 7. 패킷 데이터 서비스에 따른 성능 결과.

J. Select. Areas Commun., vol. 11, pp. 892~899, Aug. 1993.

[3] Y. Ishikawa, N. Umeda, "Capacity design and performance of call admission control in cellular CDMA systems," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 15, pp. 1627~1635, Oct. 1997.

[4] S. Shin, C. Cho, D. Sung, "Interference-based channel assignment for DS-CDMA cellular systems," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 48, pp. 233~239, Jan. 1999.

[5] N. B. Mandayam, J. Holtzman, S. Barberis, "Erlang capacity for an integrated voice/data DS-CDMA wireless system with variable bit rate sources," *Proc. PIMRC'95*, vol. 3, pp. 1078~1082, 1995.

[6] I. Koo, E. Kim, K. Kim, "Erlang capacity of voice-data DS-CDMA systems with prioritized services," *IEICE Trans. Commun.*, vol. E84-B, Apr. 2001.

[7] F. N. Pavlidou, "Two-dimensional traffic models for cellular mobile systems," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 42, pp. 1505~1511, Feb./Mar./Apr., 1994.

[8] Y. R. Haung, Y. B. Lin, J. M. Ho, "Performance analysis for voice/data integration on a finite-buffer mobile system," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 49, pp. 367~378, Mar., 2000.

[9] Comanicu, C. and Mandayam, N. B., "Delta modulation based prediction for access control in integrated voice/data CDMA systems," *IEEE J. Select. Areas Commun.* vol. 18, pp. 112~122, Jan. 2000.

[10] A. Sampath, J. M. Holtzman, "Access control of data in integrated voice/data CDMA system: benefits and tradeoffs," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 15, pp. 1511~1526, Oct. 1997.

[11] Ashwin Sampath, P. Sarath Kumar and Jack M. Holtzman, "Power control and resource management for a multimedia CDMA wireless system", *Proc.*

PIMRC'95, pp. 21~25, Toronto, Canada, Sept. 1995.

[12] Sudhir Ramakrishna and Jack M. Holtzman, "A scheme for throughput maximization in a dual-class CDMA system," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 16, pp. 830~844, Aug. 1998.

[13] Louis C. Yun and David G. Messerschmitt, "Power control for variable QoS on a CDMA channel," *Proc. MILCOM'94*, pp. 178~182, Fort Monmouth, NJ, Oct. 1994.

김 백 현(Baek-hyun Kim)

준회원



1994년 2월 : 인하대학교
전자공학과 학사 졸업
1996년 2월 : 인하대학교
전자공학과 석사 졸업
1996년 3월~현재 : 인하대학교
전자공학과 박사과정

<주관심 분야> 이동통신, 위성통신, 접속 제어

신 승 훈(Seung-hoon Shin)

준회원



1995년 2월 : 인하대학교
전자공학과 학사 졸업
1997년 2월 : 인하대학교
전자공학과 석사 졸업
1997년 3월~현재 : 인하대학교
전자공학과 박사과정

<주관심 분야> 이동통신, 위성통신, 전력제어

곽 경 섭(Kyung-sup Kwak)

정회원



1977년 2월 : 인하대학교
전기공학과 학사 졸업
1979년 2월 : 인하대학교
전기공학과 석사 졸업
1981년 12월 : 미국 University
of Southern California
전자공학과 석사 졸업

1988년 2월 : 미국 University of Southern
California 통신이론 및 시스템 박사
1988년 2월~1989년 2월 : 미국 Hughes Network
Systems 연구원

1989년 2월~1990년 3월 : 미국 IBM Network
Analysis Center 연구원

1995년 1월~1999년 12월 : IEEE Seoul Section
총무이사

2000년 3월~현재 : 인하대학교 정보통신전문대학원
원장

2002년 1월~현재 : 통신학회 부회장
<주관심 분야> 위성 및 이동 통신, 멀티미디어 통신