

CDMA 이동통신 시스템에서 멀티미디어 트래픽에 대한 마르코프 체인 해석

김백현[†] · 김철순^{**} · 광경섭^{***}

요 약

본 논문에서는 음성, 스트림-데이터 및 패킷-데이터 트래픽이 혼합된 환경에서 전체 채널을 음성 우선 채널과 음성 비우선 채널로 구분하여 공유하는 CDMA 시스템을 마르코프 체인으로 해석한다. 실시간 전송이 요구되는 음성 서비스는 음성 우선 채널에 대해서는 선점 우선권(preemptive priority)을 가지고 사용하며, 음성 비우선 채널에 대해서는 스트림-데이터 서비스와 동등한 순위를 지니고 사용한다. 지연에 다소 민감하지 않은 스트림-데이터 서비스에 대해서는 버퍼를 사용한다. 또한, 전자우편 등과 같은 패킷-데이터 서비스는 타 서비스에 의해 사용되고 있지 않는 잔여 채널을 이용하여 최선의 시도를 통해 전송하도록 한다. 본 논문에서는 채널의 선점 우선권을 지니는 음성 서비스 및 버퍼가 적용된 스트림-데이터 서비스를 2-차원 마르코프 체인으로 모델링하고 분석하였으며, 잔여 용량(residual capacity)을 기초로 하여 패킷 데이터 트래픽에 대한 수학적 분석을 수행하였다.

Multimedia Traffic Analysis using Markov Chain Model in CDMA Mobile Communication Systems

Baek-Hyun Kim[†], Cheol-Soon Kim^{**} and Kyung-Sup Kwak^{***}

ABSTRACT

We analyze an integrated voice/data CDMA system, where the whole channels are divided into voice prioritized channels and voice non-prioritized channels. For real-time voice service, a preemptive priority is granted in the voice prioritized channels. And, for delay-tolerant data service, the employment of buffer is considered. On the other hand, the transmission permission probability in best-effort packet-data service is controlled by estimating the residual capacity available for users. We build a 2-dimensional markov chain about prioritized-voice and stream-data services and accomplish numerical analysis in combination with packet-data traffic based on residual capacity equation.

Key words: multimedia CDMA, markov chain, residual capacity, preemptive priority

1. 서 론

멀티미디어 CDMA 이동통신 서비스를 제공함에 있어서, 대역폭의 부족으로 인해 실시간 서비스를 요구하는 음성 서비스의 경우 호의 차단(blocking)이 발생할 수 있으며, 데이터 서비스의 경우에는 버퍼의

사용에 따른 대기 지연이 발생할 수 있다. 따라서, 각각의 상이한 서비스 요구를 만족시키는 동시에 대역폭을 효율적으로 할당할 수 있도록 시스템을 설계하는 것이 필수적이다.

CDMA 무선 통신 시스템과 관련하여 많은 연구들이 이루어져 왔다. 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 단일 음성 채널과 관련된 자원 할당 문제

접수일: 2002년 7월 30일, 완료일: 2003년 4월 15일

[†] 정회원, 한국철도기술연구원 전기신호연구본부

^{**} 정회원, 인하대학교 전자컴퓨터공학부 멀티미디어공학 전공

^{***} 정회원, 인하대학교 정보통신공학부

를 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-데이터 트래픽 환경에서 CDMA 시스템의 얼랑(erlang) 용량 분석을 하려는 시도가 있었다[5,6]. 하지만, 이들의 방법 역시 지연 특성을 고려해야 하는 스트림-데이터 트래픽에 대한 성능 분석으로는 부족한 면이 없지 않았다. 이 외에도 F. N. Pavlidou는 음성 및 스트림-데이터 트래픽을 고려한 셀룰러 무선 네트워크에 대한 대기체계 수학 모델을 제시하였으며[7], Y. R. Haung은 이를 바탕으로 스트림-데이터 트래픽에 대하여 유한한 크기를 가지는 버퍼를 고려한 성능 분석을 수행하였으나[8], 음성과 스트림-데이터 각각의 전송 속도에 따른 채널 점유폭의 차이는 반영하지 못하였다. 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-데이터 서비스의 혼합 트래픽 환경에서, 각 서비스의 QoS를 만족시키기 위한 방안으로써, 실시간 전송을 요구하는 음성 서비스에게 일부 채널에 대하여 채널 선점 우선권을 부여하고, 어느 정도의 지연은 허용하는 스트림-데이터 서비스에 대해서는 버퍼를 적용하며, 잔여 용량을 활용하여 최선의 시도로 패킷-데이터를 서비스하는 멀티미디어 CDMA 이동통신 시스템을 마르코프 체인으로 모델링하여 수치 분석하였다.

본 논문의 2절에서는 CDMA 시스템의 용량에 대하여 간략히 살펴 본 후, 음성 및 스트림-데이터 서비스 CDMA 시스템의 대기체계 모델을 제시하였으며, 3절에서는 제시된 시스템 모델에 대하여 2-차원 마르코프 체인에 의한 해석적 분석을 수행하였다. 4절에서는 2절에서 얻은 음성 및 스트림-데이터 사용자 수의 정상 상태 확률을 바탕으로 잔여용량을 계산하여 패킷-데이터 서비스 사용자의 송신허용확률을 제어하는 알고리즘을 제시하였다. 그리고, 5절에서는 수치 해석에 따른 분석 결과를 설명하였으며, 마지막으로 6절에서 본 논문의 결론을 서술하였다.

2. 시스템 모델

2.1. 시스템 용량 모델

통신 서비스에 있어서 각 사용자는 최소한의 QoS

요구 조건을 지니며, 이를 위해 일반적으로 비트 오류율(BER, bit error rate) 또는 프레임 오류율(FER, frame error rate)이 우선적으로 만족되어야 한다. 그리고, 이와 같은 비트 오류 또는 프레임 오류는 증가의 신호-대-간섭비, E_b/I_0 로 나타내어질 수 있다. 따라서, 단일 셀에 대해 전송중인 음성호, 스트림-데이터호, 패킷-데이터호의 개수를 각각 i_{Tx}, j_{Tx}, k_{Tx} 이라고 하고, 동일한 종류의 서비스를 요구하는 사용자들에 대해서는 동일한 E_b/I_0 를 요구하는 것으로 가정하고, 완전한 전력 제어가 수행되었다고 가정하면, 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].

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

식(1)에서 W 는 전체 대역폭을 의미하며, R_v, R_{sd}, R_{pd} 는 음성, 스트림-데이터 및 패킷-데이터 서비스의 비트 속도이다. 그리고, $\Gamma_v, \Gamma_{sd}, \Gamma_{pd}$ 는 각각 음성, 스트림-데이터, 패킷-데이터의 QoS를 만족시키기 위해 요구되는 신호-대-간섭비이다. 또한, $g_v=(W/R_v+\Gamma_v)/\Gamma_v, g_{sd}=(W/R_{sd}+\Gamma_{sd})/\Gamma_{sd}, g_{pd}=(W/R_{pd}+\Gamma_{pd})/\Gamma_{pd}$ 로 정의하면, 식 (1)은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{i_{Tx}}{g_v} + \frac{j_{Tx}}{g_{sd}} + \frac{k_{Tx}}{g_{pd}} < 1 \quad (2)$$

위의 식 (2)에서 단일 서비스만을 고려한다면, 각각의 서비스에 대해 최대 서비스 가능 용량이 각각 $\lfloor g_v \rfloor, \lfloor g_{sd} \rfloor, \lfloor g_{pd} \rfloor$ 임을 알 수 있다 ($\lfloor X \rfloor$ 는 X 이하의 가장 큰 정수). 따라서, 가장 낮은 데이터 속도를 가지는 음성 서비스에 따라 단위 채널(unit channel)을 분리하고, 높은 데이터 속도의 서비스들은 복수의 단위 채널을 사용하여 전송하는 것으로 간주할 수 있다. 즉, 각각의 스트림-데이터호는 ($= \lfloor g_v/g_{sd} \rfloor$ 개의 단위채널을 사용하며, 패킷-데이터호는 ($= \lfloor g_v/g_{pd} \rfloor$ 개의 단위채널을 사용한다 ($\lfloor X \rfloor$ 는 X 이상의 가장 작은 정수).

2.2 대기체계 시스템 모델

멀티미디어 CDMA 이동통신 시스템에 있어서 채

널 코드에 의해 분할된 트래픽 채널은 서버의 개수가 c 개인 다중 서버로 고려할 수 있다. 음성 트래픽 및 스트림-데이터의 두 가지 트래픽의 입력은 각 사용자에 의해 발생하는 호간의 도착 시간 간격의 평균이 각각 $1/\lambda_v, 1/\lambda_{sd}$ 인 지수 분포(exponential distribution)를 따르는 것으로 가정하며, 서비스 시간의 분포는 평균이 각각 $1/\mu_v, 1/\mu_{sd}$ 인 지수 분포로 가정한다. 그리고, 스트림-데이터 서비스에 대해서만 유한 크기, b_{sd} 를 가지는 버퍼를 적용한다. 한 셀내에의 음성, 스트림-데이터 및 패킷-데이터 사용자의 수는 각각 K_v, K_{sd}, K_{pd} 로 유한한 사용자 환경을 고려하고, 각 사용자들은 전송할 메시지의 서비스가 완료되기 전에는 새로운 메시지를 발생하지 않는 것으로 가정하여, 그림 1에 기지국에서의 대기체계 구조(queueing model)를 나타내었다.

음성호가 새로이 도착하면, 전체 채널 중에서 사용되고 있지 않는 채널을 통해 서비스가 이루어진다. 그러나, 사용 가능한 채널이 없을 경우, 음성호를 서비스하고 있는 채널의 수가 $c \cdot n \cdot \rho$ 보다 적으면, 스트림-데이터호를 서비스하고 있던 ρ 개의 음성 우선 채널의 사용을 중단하고 음성호가 사용하도록 할당하며, 중단된 스트림-데이터호는 버퍼에 대기시킨다. 그러나, 사용중인 $c \cdot n \cdot \rho$ 개의 모든 음성 우선 채널이 음성 서비스에 대해 할당되어 있는 경우, 새로이 도착한 음성호는 나머지 $n \cdot \rho$ 개의 음성 비우선 채널에 대하여 스트림-데이터호와 동등한 우선 순위를 지니고 공유한다. 음성호의 경우에는 사용 가능한 단위 채널이 최소한 1개 이상이면 서비스를 받을 수 있으나, 스트림-데이터호는 최소한 ρ 개 이상의 단위 채널이 사용 가능하여야만 서비스를 받을 수 있다. 다음으로, 스트림-데이터호가 도착할 경우, 우선

버퍼에서 대기하며, 사용 가능한 ρ 개의 단위 채널이 있는 경우에 전송된다. 그러나, 스트림-데이터호가 도착한 시점에서 버퍼에 대기중인 스트림-데이터호의 수가 b_{sd} 일 경우, 새로이 도착한 스트림-데이터호는 서비스를 받지 못하고 차단된다.

3. 음성 및 스트림-데이터 부시스템

3.1 마르코프 체인 모델

서비스중인 음성 메시지의 수, i 와 버퍼에 대기중인 메시지수를 포함한 기지국에서 서비스중인 스트림-데이터 메시지의 수, j 의 정상 상태 확률을 $P_{i,j} = \Pr(\text{음성 사용자수}=i, \text{스트림-데이터 사용자수}=j)$ 로 정의하면, 연속 시간을 고려하여 미소 시간에서의 상태, (i, j) 의 천이 관계에 의해 그림 2와 같은 정상 상태 천이도를 얻을 수 있다.

새로이 도착하는 스트림-데이터호는 우선 버퍼에 전달되며, 버퍼에 대기중인 스트림-데이터호가 없을 경우($j \leq \lfloor (c-i)/\rho \rfloor$), $j \mu_{sd}$ 의 서비스율로 전송되며, 버퍼에 대기중인 스트림-데이터호가 있을 경우($j > \lfloor (c-i)/\rho \rfloor$), 음성 트래픽에 의해 사용되고 남은 채널을 사용하여 $\lfloor (c-i)/\rho \rfloor \cdot \mu_{sd}$ 의 서비스율로 전송된다 [그림 2.(a)]. 그리고, 음성 비우선 채널의 사용에 있어서, 그림 2.(b)와 2.(c)에 나타낸 바와 같이 서비스중인 음성호의 수, i 가 $c \cdot k \cdot \rho$ ($k=1, 2, \dots, n$)이고, 기지국내의 스트림-데이터호의 수가 $\lfloor (c-i)/\rho \rfloor$ 이상이면, $k \cdot \rho$ ($k=1, 2, \dots, n$)개의 음성 비우선 채널은 스트림-데이터 트래픽에 의해서만 사용된다. 이와 같은 이유는 스트림-데이터호에 의한 사용이 완료된 채널이 생기면, 즉각적으로 버퍼에 대기하던 스트림-데이터호가 서비스되고, 새로이 도착한 음성호는 서비스 받지 못하고 차단되기 때문이다. 따라서, $i=c \cdot k \cdot \rho$, $\lfloor (c-i)/\rho \rfloor \leq j \leq \lfloor (c-i)/\rho \rfloor + b_{sd} - 1$, ($k=1, 2, \dots, n$)인 경우의 (i, j) 상태에서 $(i+1, j)$ 상태로의 천이 및 $i=c \cdot k \cdot \rho + 1$, $\lfloor (c-i)/\rho \rfloor \leq j \leq \lfloor (c-i)/\rho \rfloor + b_{sd} - 1$, ($k=1, 2, \dots, n$)인 경우의 (i, j) 상태에서 $(i-1, j)$ 상태로의 천이는 일어나지 않는다.

그리고, 음성호의 수가 $i \leq c \cdot n \cdot \rho$ 일 경우에는 음성 서비스가 음성 우선 채널에 대한 선점 우선권을 가지므로, 그림 2.(d)와 같이 모든 상태에 있어서 음성호의 수가 증가하는 천이가 가능하다. 즉, 버퍼에 여유 공간이 있거나, 1개 이상의 사용되고 있지 않는

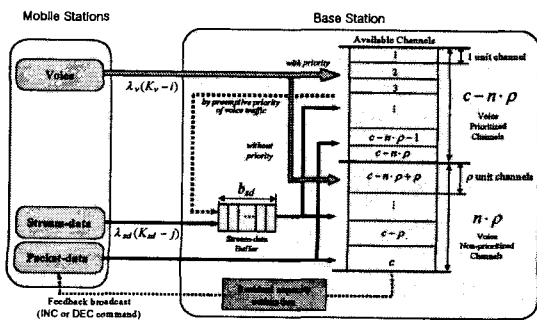
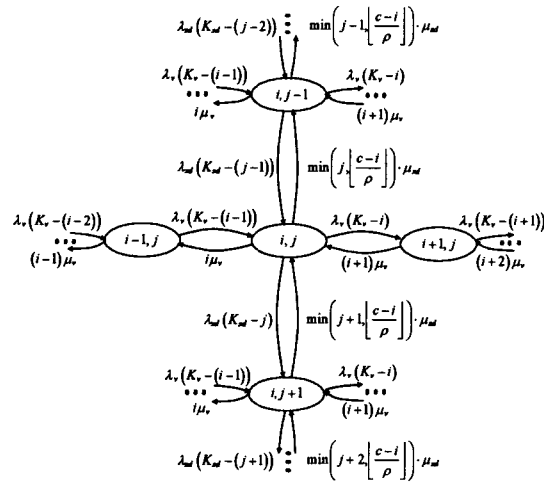
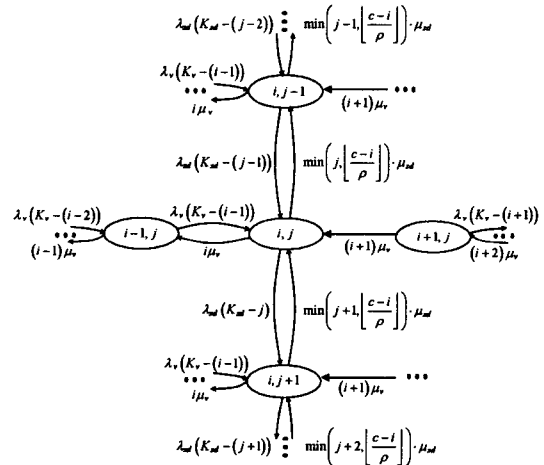


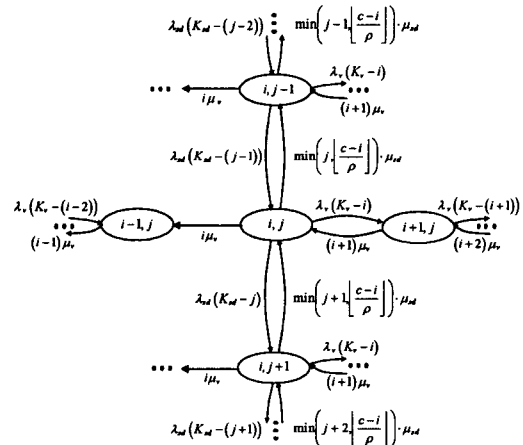
그림 1. 기지국의 대기 체계 모델



(a) $0 \leq i \leq c, 0 \leq j \leq \lfloor (c-i)/\rho \rfloor + b_{sd} - 1$ 인 경우의 상태 천이도(단, $i=c-k \cdot \rho, \lfloor (c-i)/\rho \rfloor \leq j \leq \lfloor (c-i)/\rho \rfloor + b_{sd} - 1$ 인 경우 및 $i=c-k \cdot \rho + 1, \lfloor (c-i)/\rho \rfloor \leq j \leq \lfloor (c-i)/\rho \rfloor + b_{sd} - 1$ 인 경우는 제외, $k=1,2,\dots,n$).

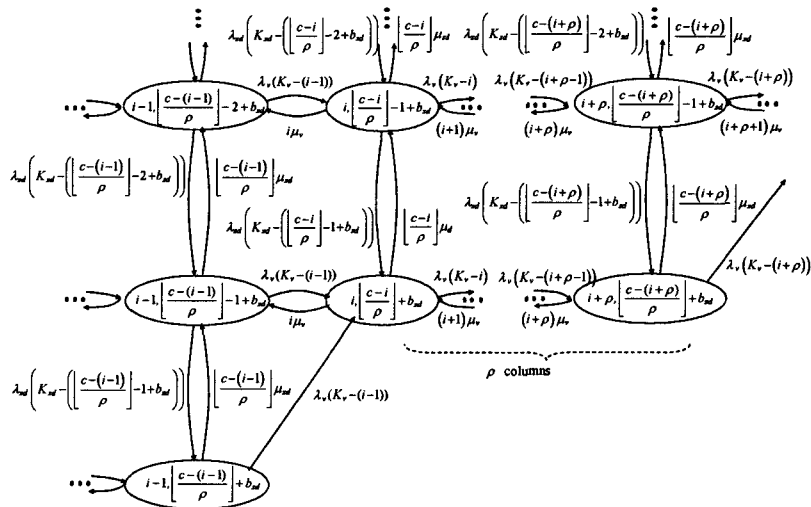


(b) $i=c-k \cdot \rho, \lfloor (c-i)/\rho \rfloor \leq j \leq \lfloor (c-i)/\rho \rfloor + b_{sd} - 1, (k=1, 2, \dots, n)$ 인 경우의 상태 천이도.

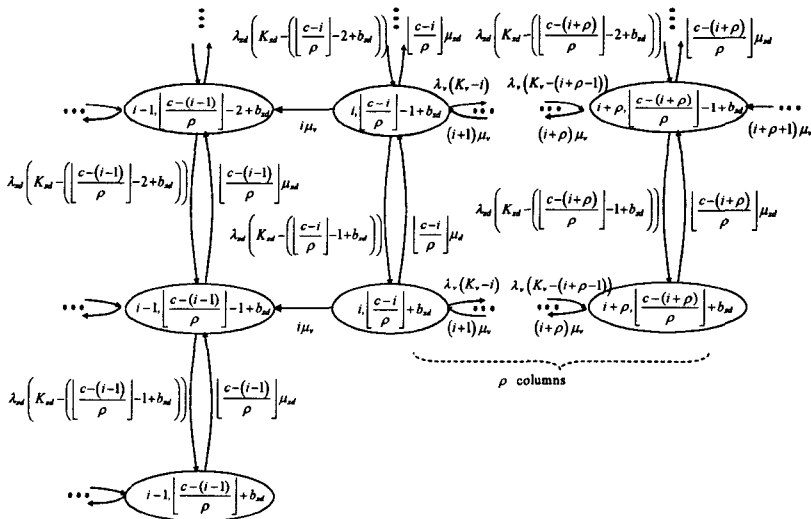


(c) $i=c-k \cdot \rho + 1, \lfloor (c-i)/\rho \rfloor \leq j \leq \lfloor (c-i)/\rho \rfloor + b_{sd} - 1, (k=1,2,\dots,n)$ 인 경우의 상태 천이도.

그림 2. 시스템의 정상 상태 천이도



(d) $0 \leq i \leq c - n \cdot \rho, j = \lfloor (c-i)/\rho \rfloor + b_{sd}$ 인 경우의 상태 천이도.



(e) $c - n \cdot \rho + 1 \leq i \leq c, j = \lfloor (c-i)/\rho \rfloor + b_{sd}$ 인 경우의 상태 천이도.

그림 2. 계속

음성 우선 채널이 있는 경우, 음성호가 도착하면 (i, j) 상태에서 $(i+1, j)$ 상태로의 천이가 일어난다. 그리고, 모든 채널이 사용되고 있고 버퍼에 여유 공간이 없는 경우, 음성호가 도착하면 음성 우선 채널을 사용하고 있는 스트림-데이터호를 버퍼에 대기시키고 버퍼의 마지막 메시지를 폐기시키므로, 그림 2.(d)의 하단부에 나타난 것과 같이 (i, j) 상태에서 $(i+1, j-1)$ 상태로의 천이가 일어난다.

그러나, 그림 2.(e)의 하단부와 같이 모든 음성 우선 채널이 음성 서비스에 의해 사용되어지고 음성

비우선 채널을 스트림-데이터 서비스와 경쟁하는 경우 $(c - n \cdot \rho + 1 \leq i \leq c)$ 에 있어서 사용 가능한 단위 채널이 전혀 없는 경우 $(i = c - k \cdot \rho, k = 1, 2, \dots, n)$, 음성 서비스에 대해 선점 우선권이 없으므로 (i, j) 상태에서 $(i+1, j-1)$ 상태로의 천이는 일어나지 않는다. 결과적으로, 그림 2의 상태 천이도에 의해, 다음과 같은 평형 방정식들을 얻을 수 있다.

1) $0 \leq i \leq c, 0 \leq j \leq \lfloor (c-i)/\rho \rfloor + b_{sd} - 1$ 범위(단, $i = c - k \cdot \rho, \lfloor (c-i)/\rho \rfloor \leq j \leq \lfloor (c-i)/\rho \rfloor + b_{sd} - 1$ 인 경우 및 $i = c - k \cdot \rho + 1, \lfloor (c-i)/\rho \rfloor \leq j \leq \lfloor (c-i)/\rho \rfloor + b_{sd} - 1$ 인

경우는 제외, $k=1,2,\dots,n$ 에서의 평형 방정식

$$\begin{aligned} & \left\{ u[c-i] \cdot \lambda_v(K_v-i) + \lambda_{sd}(K_{sd}-j) + i\mu_v + \min\left(j, \left\lfloor \frac{c-i}{\rho} \right\rfloor\right) \cdot \mu_{sd} \right\} \cdot P(i, j) \\ & = u[i] \cdot \lambda_v(K_v-(i-1)) \cdot P(i-1, j) + u[j] \cdot \lambda_{sd}(K_{sd}-(j-1)) \cdot P(i, j-1) \\ & + u[c-i](i+1) \cdot \mu_v \cdot P(i+1, j) + \min\left(j+1, \left\lfloor \frac{c-i}{\rho} \right\rfloor\right) \cdot \mu_{sd} \cdot P(i, j+1) \end{aligned} \quad (3)$$

2) $i=c-k \cdot \rho$, $\lfloor (c-i)/\rho \rfloor \leq j \leq \lfloor (c-i)/\rho \rfloor + b_{sd} - 1$, ($k=1,2,\dots,n$) 범위에서의 평형 방정식

$$\begin{aligned} & \left\{ \lambda_{sd}(K_{sd}-j) + i\mu_v + \min\left(j, \left\lfloor \frac{c-i}{\rho} \right\rfloor\right) \cdot \mu_{sd} \right\} \cdot P(i, j) \\ & = u[i] \cdot \lambda_v(K_v-(i-1)) \cdot P(i-1, j) + u[j] \cdot \lambda_{sd}(K_{sd}-(j-1)) \cdot P(i, j-1) \\ & + u[c-i](i+1) \cdot \mu_v \cdot P(i+1, j) + \min\left(j+1, \left\lfloor \frac{c-i}{\rho} \right\rfloor\right) \cdot \mu_{sd} \cdot P(i, j+1) \end{aligned} \quad (4)$$

3) $i=c-k \cdot \rho + 1$, $\lfloor (c-i)/\rho \rfloor \leq j \leq \lfloor (c-i)/\rho \rfloor + b_{sd} - 1$, ($k=1,2,\dots,n$) 범위에서의 평형 방정식

$$\begin{aligned} & \left\{ \lambda_v(K_v-i) + \lambda_{sd}(K_{sd}-j) + i\mu_v + \min\left(j, \left\lfloor \frac{c-i}{\rho} \right\rfloor\right) \cdot \mu_{sd} \right\} \cdot P(i, j) \\ & = u[j] \cdot \lambda_{sd}(K_{sd}-(j-1)) \cdot P(i, j-1) \\ & + u[c-i](i+1) \cdot \mu_v \cdot P(i+1, j) + \min\left(j+1, \left\lfloor \frac{c-i}{\rho} \right\rfloor\right) \cdot \mu_{sd} \cdot P(i, j+1) \end{aligned} \quad (5)$$

4) $0 \leq i \leq c-n \cdot \rho$, $j = \lfloor (c-i)/\rho \rfloor + b_{sd}$ 범위에서의 평형 방정식

$$\begin{aligned} & \left\{ \lambda_v(K_v-i) + i\mu_v + \left\lfloor \frac{c-i}{\rho} \right\rfloor \cdot \mu_{sd} \right\} \cdot P(i, j) \\ & = u[i] \cdot \lambda_v(K_v-(i-1)) \cdot P(i-1, j) + \lambda_{sd}(K_{sd}-(j-1)) \cdot P(i, j-1) \\ & + \frac{1+(-1)^{\lfloor (c-i)/\rho \rfloor} \cdot (-1)^{\lfloor (c-i)/\rho \rfloor}}{2} \cdot (i+1) \cdot \mu_v \cdot P(i+1, j) \\ & + u[i] \cdot \frac{1-(-1)^{\lfloor (c-i)/\rho \rfloor} \cdot (-1)^{\lfloor (c-i)/\rho \rfloor}}{2} \cdot \lambda_v(K_v-(i-1)) \cdot P(i-1, j+1) \end{aligned} \quad (6)$$

5) $c-n \cdot \rho + 1 \leq i \leq c$, $j = \lfloor (c-i)/\rho \rfloor + b_{sd}$ 범위에서의 평형 방정식

$$\begin{aligned} & \left\{ u[c-i] \cdot \frac{1-(-1)^{\lfloor (c-i)/\rho \rfloor} \cdot (-1)^{\lfloor (c-i)/\rho \rfloor}}{2} \cdot \lambda_v(K_v-i) + i\mu_v + \left\lfloor \frac{c-i}{\rho} \right\rfloor \cdot \mu_{sd} \right\} \cdot P(i, j) \\ & = \frac{1+(-1)^{\lfloor (c-i)/\rho \rfloor} \cdot (-1)^{\lfloor (c-i)/\rho \rfloor}}{2} \cdot \lambda_v(K_v-(i-1)) \cdot P(i-1, j) \\ & + u[c-i] \cdot \frac{1+(-1)^{\lfloor (c-i)/\rho \rfloor} \cdot (-1)^{\lfloor (c-i)/\rho \rfloor}}{2} \cdot (i+1) \cdot \mu_v \cdot P(i+1, j) \\ & + \lambda_{sd}(K_{sd}-(j-1)) \cdot P(i, j-1) \end{aligned} \quad (7)$$

위의 식에서 $\min(X, Y)$ 함수는 X 와 Y 의 두 값 중 작은 값을 구하는 함수로서, 최대한 서비스가 가

능한 스트림-데이터호의 수가 $\lfloor (c-i)/\rho \rfloor$ 임을 나타낸다. 즉, 전체 c 개의 단위 채널에서 i 개의 음성호가 사용하고 남은 여분의 채널을 사용하여 스트림-데이터호가 서비스를 받는다. 또한, 식 (6)과 (7)에서 $(1+(-1)^{\lfloor (c-i)/\rho \rfloor} \cdot (-1)^{\lfloor (c-i)/\rho \rfloor})/2$ 와 $(1-(-1)^{\lfloor (c-i)/\rho \rfloor} \cdot (-1)^{\lfloor (c-i)/\rho \rfloor})/2$ 는 각각 그림 2에서 열(column)의 개수가 변화하지 않을 때와 변화할 때, $(i+1, j)$ 상태에서 (i, j) 상태로의 천이 및 $(i-1, j+1)$ 상태에서 (i, j) 상태로의 천이 유무를 나타내기 위해 사용되었다.

그림 2의 상태 천이도에서 시스템내의 음성호의 수와 스트림-데이터호의 수에 대한 전체 상태의 개수, N_s 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} N_s & = \sum_{l=0}^c \left(\left\lfloor \frac{c-l}{\rho} \right\rfloor + b_{sd} + 1 \right) \\ & = \lfloor c/\rho \rfloor \cdot \left\{ c - \rho \cdot \lfloor c/\rho \rfloor + 1 + \frac{\rho \cdot (\lfloor c/\rho \rfloor - 1)}{2} \right\} + (c+1)(b_{sd} + 1) \end{aligned} \quad (8)$$

수치해석의 용이를 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.

$$\mathbf{p} = [P_{0,0}, \dots, P_{0,\lfloor c/\rho \rfloor + b_{sd}}, P_{1,0}, \dots, P_{1,\lfloor (c-1)/\rho \rfloor + b_{sd}}, \dots, P_{c-\rho,0}, \dots, P_{c-\rho,\lfloor (c-\rho)/\rho \rfloor + b_{sd}}, \dots, P_{c,0}, \dots, P_{c,b_{sd}}]^T \quad (9)$$

위의 식에서, $[\cdot]^T$ 는 전위(transpose) 연산자이다. 식 (3)~(7)의 평형 방정식의 계수들에 의해 $N_s \times N_s$ 차원인 행렬, \mathbf{Q}' (infinitesimal generator)을 구성하면, 식 $\mathbf{Q}' \cdot \mathbf{p} = \mathbf{0}$ 을 얻을 수 있다. 그러나, 식 (3)~(7)만으로는 N_s-1 개의 독립된 선형 방정식만을 얻을 수 있으므로, 확률 총합의 법칙 ($\sum_{i=0}^c \sum_{j=0}^{\lfloor (c-i)/\rho \rfloor + b_{sd}} P_{i,j} = 1$)을 추가 정리하여 $\mathbf{Q} \cdot \mathbf{p} = \mathbf{q}$ (\mathbf{q} 는 $N_s \times 1$ 차원의 $[0,0,\dots,1]^T$ 인 벡터)를 구성하고, $\mathbf{p} = \mathbf{Q}^{-1} \cdot \mathbf{q}$ 를 풀어서 모든 상태 ($0 \leq i \leq c, 0 \leq j \leq \lfloor (c-i)/\rho \rfloor + b_{sd}$)에 대한 정상 상태 확률, $P(i, j)$ 를 구할 수 있다.

3.2 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) 음성호의 차단 확률, $P_{b,v}^{\text{single-s}}$: 새로운 음성호가 도착하는 시점에서 서비스중인 음성호의 수가 음성

우선 채널의 수, $c - n \cdot \rho$ 보다 적을 경우, 음성 서비스는 스트림-데이터 서비스에 대하여 채널 선점 우선권을 지니므로 음성호에 대한 차단은 발생하지 않는다. 그러나, 서비스중인 음성호의 수가 음성 우선 채널의 수보다 커지게 되면, 버퍼에 스트림-데이터호가 대기중이고 음성 비우선 채널을 사용하는 음성호의 수가 ρ 의 정수배로 모든 채널이 사용중인 경우, 음성호는 서비스를 받지 못하고 차단된다. 단, 음성 비우선 채널을 사용하는 음성호의 수가 ρ 의 정수배가 아닐 경우에는 버퍼에 스트림-데이터호가 대기하고 있더라도 채널을 할당할 수 없으며, 음성호에게 할당된다. 따라서, 부분적 우선권을 고려한 공유 방식에 있어서 음성호의 차단 확률, $P_{b,v}^{single-s}$ 은 다음 식 (10)과 같이 구할 수 있다.

$$P_{b,v}^{single-s} = \sum_{k=0}^n \sum_{j=k}^{k+b_{sd}} P(c-k \cdot \rho, j) \quad (10)$$

2) 스트림-데이터호의 차단 확률, $P_{b,sd}^{single-s}$: 기지국 내의 모든 가용 채널이 음성호 및 스트림-데이터호에 할당되고, 버퍼가 모두 스트림-데이터호에 의해 사용되고 있는 경우, 새로이 도착한 스트림-데이터호는 차단된다. 즉, 시스템내의 스트림-데이터호의 수, j 가 전체 가용 채널 중에서 음성호를 서비스하고 있는 채널을 뺀 나머지 채널에 의해 서비스 가능한 스트림-데이터호의 수, $\lfloor (c-i)/\rho \rfloor$ 와 버퍼의 크기를 합한 값과 동일한 경우, 더 이상의 스트림-데이터호를 수용할 수 없다. 따라서, 스트림-데이터호의 차단 확률, $P_{b,sd}^{single-s}$ 은 다음 식 (11)과 같이 구할 수 있다.

$$P_{b,sd}^{single-s} = \sum_{i=0}^c P(i, \lfloor (c-i)/\rho \rfloor + b_{sd}) \quad (11)$$

3) 스트림-데이터호의 평균 지연 시간, $E[W_{sd}^{single-s}]$: 기지국내의 전체 스트림-데이터호 중에서 $\lfloor (c-i)/\rho \rfloor$ 개를 제외한 스트림-데이터호가 버퍼에서 대기하므로, 버퍼에 대기중인 스트림-데이터호의 평균값은 다음 식 (12)와 같이 구할 수 있다.

$$E[N_{b,sd}^{single-s}] = \sum_{i=0}^c \sum_{j=\lfloor (c-i)/\rho \rfloor + 1}^{\lfloor (c-i)/\rho \rfloor + b_{sd}} (j - \lfloor (c-i)/\rho \rfloor) \cdot P(i, j) \quad (12)$$

따라서, Little의 공식에 의해 위의 식 (12)를 스트림-데이터호의 평균 유효 도착율로 나누면, 스트림-

데이터호의 평균 지연 시간은 다음 식 (13)과 같이 구할 수 있다.

$$E[W_{sd}^{single-s}] = \frac{E[N_{b,sd}^{single-s}]}{\sum_{i=0}^c \sum_{j=0}^{\lfloor (c-i)/\rho \rfloor + b_{sd} - 1} \lambda_{sd} \cdot (K_{sd} - j) \cdot P_{sd}(i, j)} \quad (13)$$

4. 패킷-데이터 부시스템

음성 서비스 및 스트림-데이터 서비스에 대해서는 전송 시점에 대해 기지국에 의해서 제어를 받는 중앙 제어 방식을 사용하며, 패킷-데이터 서비스에 대해서는 음성 서비스 및 스트림-데이터 서비스에 의해 사용되어지고 남은 잔여 용량(residual capacity)을 기반으로 각 사용자에 의해 전송 시점을 결정하는 분산 제어 방식을 가진다.

즉, 패킷-데이터를 전송하려는 사용자는 음성 및 스트림-데이터 서비스에 의해 사용되어지고 남은 잔여 용량을 사용하며, 음성 서비스 및 스트림-데이터 서비스 사용자를 포함한 다른 사용자에 대해 간섭 전력을 최소화할 수 있도록 제어하여 전송하여야 한다. 본 논문에서는 패킷-데이터 사용자는 기지국에서 예측된 음성 및 스트림-데이터 사용자수에 관한 방송 신호를 사용하여 바로 이전 단계의 상태에 의존해서 전송 허용 확률(transmission permission probability)을 조절하는 랜덤 접속 방식을 제안한다.

우선, 위의 식 (2)의 조건식을 재정리하면, 식 (14)와 같이 서비스 가능한 패킷-데이터호의 수에 대하여 잔여 용량 조건식을 얻을 수 있다.

$$k_{Tx} < g_{pd} \left(1 - \frac{i_{Tx}}{g_v} - \frac{j_{Tx}}{g_{sd}} \right) \quad (14)$$

4.1 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 전송하는 슬롯형 시스템을 가정한다. 분산 제어형의 랜덤 접속 방식을 사용함에 있어서, 시스템의 효율을 결정짓는 가장 중요한 파라미터는 시스템에 실제로 부가되는 부하를 결정짓는 전송 허용 확률이다. 따라서, 본 논문에서는 슬롯의 시작점마다 기지국에 의해 1-비트 귀환(feedback) 신호를 방송하고, 사용자는 기

지국으로부터 전달된 귀환 신호를 이용하여 잔여 용량을 예측하여, 다음 $t+1$ 번째 슬롯 구간에서의 간섭 전력을 최소로 할 수 있도록 전송 허용 확률, $p_{tx}(t+1)$ 를 결정하는 제어 방법을 제안한다. 즉, 패킷-데이터 서비스를 요구하는 사용자는 잔여 용량 예측을 위해 그림 3과 같이 3가지 상태를 가지며, 기지국으로부터 방송되는 'INC(증가)'와 'DEC(감소)' 제어 명령 및 이전의 상태에 따라 천이를 한다. 기지국은 측정된 잔여 용량보다 예측한 잔여 용량이 클 때에는 모든 패킷-데이터 서비스 사용자에게 예측된 잔여 용량의 수를 감소시키도록 'DEC' 명령어를 방송한다. 반대로 측정된 잔여 용량보다 예측한 잔여 용량이 작을 때에는 예측된 잔여 용량의 수를 증가시키도록 'INC' 명령어를 방송한다.

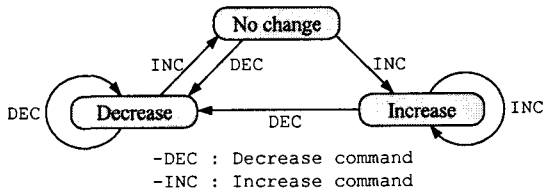


그림 3. 잔여 용량 예측 제어 명령에 따른 상태 천이도

4.2 패킷-데이터 서비스의 성능 분석

기지국에서는 매 슬롯 구간마다 모든 패킷-데이터 서비스 사용자에게 전송 허용 확률(transmission permission probability), $p_{tx}(t+1)$ 으로 데이터의 송신을 제어한다. 즉, $t+1$ 슬롯 구간에서 예측된 $\hat{k}_{Tx}^{(t+1)}$ 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].

즉, 다음과 같이 K_{pd} 명의 패킷-데이터 사용자가 $p_{tx}(t+1)$ 의 전송 허용 확률로 전송할 경우, $\hat{k}_{Tx}^{(t+1)}$ 개의 패킷-데이터호가 전송될 확률은 다음 식 (15)와 같다.

$$\Pr\left[\hat{k}_{Tx}^{(t+1)} = \hat{k}_{Tx}^{(t+1)} \mid p_{tx}(t+1)\right] = \binom{K_{pd}}{\hat{k}_{Tx}^{(t+1)}} p_{tx}(t+1)^{\hat{k}_{Tx}^{(t+1)}} [1 - p_{tx}(t+1)]^{K_{pd} - \hat{k}_{Tx}^{(t+1)}} \quad (15)$$

$$\frac{\partial \Pr\left[k_{Tx} = \hat{k}_{Tx} \mid p_{tx}\right]}{\partial p_{tx}} = 0 \quad (16)$$

$$p_{tx} = \frac{\hat{k}_{Tx}}{K_{pd}} \quad (17)$$

모든 서비스 종류에 대해서 최소 전체 송신 전력의 최적화 가능 조건이 만족되지 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. 잔여 용량 예측 알고리즘에 의해 서비스 중인 음성 사용자수와 스트림 데이터 사용자수에 따른 최적의 패킷 데이터 사용자수를 $\hat{k}_{Tx}^{(t+1)} = \lfloor g_{pd}(1 - i_{Tx}/g_v - j_{Tx}/g_{sd}) \rfloor$ 으로 예측할 수 있으므로, 패킷-데이터 서비스의 누설 확률(outage probability)은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_{out} = \sum_{i=0}^{c-n-p} \sum_{j=0}^{\lfloor (c-i)/\rho \rfloor + b} \Pr\left\{k_{Tx} > \hat{k}_{Tx} = \left\lfloor g_{pd} \left(1 - \frac{i}{g_v} - \frac{\min(j, \lfloor (c-i)/\rho \rfloor)}{g_{sd}} \right) \right\rfloor\right\} \cdot P(i, j) \\ = \sum_{i=0}^{c-n-p} \sum_{j=0}^{\lfloor (c-i)/\rho \rfloor + b} \sum_{k_{Tx}=\hat{k}_{Tx}+1}^{K_{pd}} \binom{K_{pd}}{k_{Tx}} \left(\frac{\hat{k}_{Tx}}{K_{pd}}\right)^{k_{Tx}} \left[1 - \frac{\hat{k}_{Tx}}{K_{pd}}\right]^{K_{pd}-k_{Tx}} \cdot P(i, j) \quad (18)$$

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

$$P_{B-pd} = E_{k_{Tx}} \left\{ \sum_{i=0}^{c-n-p} \sum_{j=0}^{\lfloor (c-i)/\rho \rfloor + b} \Pr\left(k_{Tx} > \hat{k}_{Tx} \mid i, j\right) \cdot P(i, j) \right\} \\ = \sum_{i=0}^{c-n-p} \sum_{j=0}^{\lfloor (c-i)/\rho \rfloor + b} \left(1 - \frac{\hat{k}_{Tx}}{K_{pd}} \right) \cdot P(i, j) \quad (19)$$

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

$$S_{pd} = \frac{1}{g_{pd}} \sum_{i=0}^{c-n-p} \sum_{j=0}^{\lfloor (c-i)/\rho \rfloor + b} \sum_{k=0}^{\min(k_{Tx}, K_{sd})} \binom{K_{pd}}{k} \left(\frac{\hat{k}_{Tx}}{K_{pd}}\right)^k \left[1 - \frac{\hat{k}_{Tx}}{K_{pd}}\right]^{K_{pd}-k} \cdot P(i, j) \quad (20)$$

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

$$E[D_{pd}] = 1 + \frac{K_{pd}}{S_{pd}} \quad (21)$$

음성 서비스 및 스트림 데이터 서비스를 포함한 전체 시스템의 효율은 서비스가 가능한 최대 채널수에 대하여 성공적으로 서비스를 수행한 채널수의 비

로 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 (22)과 같이 구할 수 있다.

$$S_{overall} = \sum_{i=0}^{c-n} \sum_{j=0}^{c-i} \left\{ \left(\frac{i}{g_v} + \frac{\min(j, \lfloor (c-i)/\rho \rfloor)}{g_{sd}} \right) \cdot (1 - P_{out}) \cdot P(i, j) \right\} + \sum_{i=0}^{c-n} \sum_{j=0}^{c-i} \sum_{k=0}^{\min(\lfloor \frac{K_{pd}}{k} \rfloor, K_{sd})} \frac{k}{g_{pd}} \left(\frac{K_{pd}}{k} \right) \left[1 - \frac{k}{K_{pd}} \right]^k \cdot P(i, j) \quad (22)$$

5. 수치 해석

성능 분석을 위해 수치 해석에 공통적으로 적용되는 파라미터를 다음 표 1에 나타내었다.

제시된 파라미터 값에 의해 단일 셀 기지국내의 전체 단위 채널의 개수, c 는 48로 설정하였다. 음성 사용자의 수, K_v 는 20~100으로 변화하며, 스트림-데이터 사용자의 수, K_{sd} 는 음성 사용자의 수에 대하여 0.5배로 변화한다. 음성호 및 스트림-데이터호의

표 1. 단일 셀 환경의 시스템 파라미터

시스템 파라미터	기호	파라미터 값
전체 대역폭	W	3840 KHz
음성 서비스의 비트 속도	R_v	16 Kbps
스트림-데이터 서비스의 비트 속도	R_{sd}	64 Kbps
패킷-데이터 서비스의 비트 속도	R_{pd}	64 Kbps
음성 서비스의 요구 신호-대-간섭비	Γ_v	7 dB
스트림-데이터 서비스의 요구 신호-대-간섭비	Γ_{sd}	7 dB
패킷-데이터 서비스의 요구 신호-대-간섭비	Γ_{pd}	7 dB
스트림-데이터 버퍼의 크기	b_{sd}	5
스트림-데이터 전용 채널의 수	n	가변(2~10)
음성 사용자의 수	K_v	가변
스트림-데이터 사용자의 수	K_{sd}	가변 ($0.5 \times K_v$)
패킷-데이터 사용자의 수	K_{pd}	20
사용자당 음성호의 도착율	λ_v	1/300 [call/sec]
음성호 지속시간	$1/\mu_v$	3 [min]
사용자당 스트림-데이터호의 도착율	λ_{sd}	1/15000 [call/sec]
스트림-데이터호 지속시간	$1/\mu_{sd}$	30 [min]

도착율과 서비스율은 앞서 살펴본 바와 같이 지수 분포를 가진다. 즉, 음성 서비스는 평균적으로 사용자당 5분에 하나의 호가 발생하며($1/\lambda_v=300$), 평균적으로 3분의 음성호 지속시간($1/\mu_v=180$)을 가지는 지수 분포를 따른다. 그리고, 스트림-데이터 서비스는 평균적으로 사용자당 250분에 하나의 호가 발생하며($1/\lambda_{sd}=15000$), 평균적으로 30분의 스트림-데이터호 지속시간($1/\mu_{sd}=1800$)을 가지는 지수 분포를 따른다.

그림 4부터 11은 음성 비우선 채널의 수, n 이 2~10으로 변화할 때, 서비스에 따른 다양한 성능 지표들을 음성 사용자수의 증가에 따라 나타낸 것이다. 그림 4는 음성호의 차단 확률을 나타낸 것이다. n 이 증가할수록 음성 서비스의 성능이 저하되는 정도가 줄어든다. 특히, n 이 8이상이면, 음성 서비스에 대해서 더 이상의 성능 저하가 일어나지 않는다. 이는 동일한 부하에 대하여 n 이 커짐에 따라 스트림-데이터호가 사용할 수 있는 채널에 여유분이 생기며, 이를 음성호와 공유하기 때문인 것으로 사료된다.

그림 5는 스트림-데이터호의 차단 확률을 나타낸다. 음성 비우선 채널의 수가 2 또는 4인 경우, 스트림-데이터 서비스의 성능은 거의 비슷하며, 6 및 8로 증가하면 성능이 개선됨을 알 수 있다. 그러나, 10으로 증가하면 성능 개선의 차이가 그리 크지 않음을 알 수 있다. 이와 같은 성능 특성을 보이는 이유는 비교적 적은 음성 비우선 채널의 증가는 버퍼에 대기하고 있는 스트림-데이터호를 서비스함에 따라 성능 개선에 별로 영향을 주지 못하는 것으로 사료된다. 또한, 음성 및 스트림-데이터 서비스가 채널을 공유하므로, 어느 정도(그림 5의 경우: 8) 이상의 음성 비우선 채널의 설정은 스트림-데이터 서비스의 성능

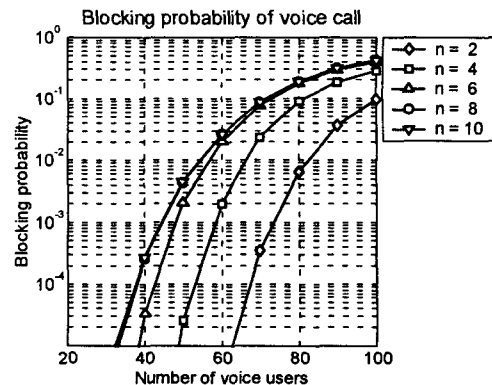


그림 4. 음성호의 차단 확률, ($K_v=20\sim 100, n=2\sim 10$).

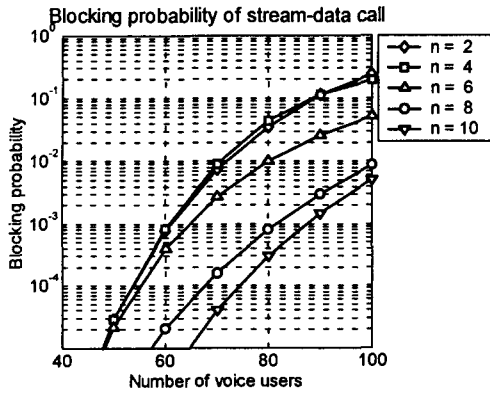


그림 5. 스트림-데이터호의 차단 확률, ($K_v=20\sim100$, $n=2\sim10$).

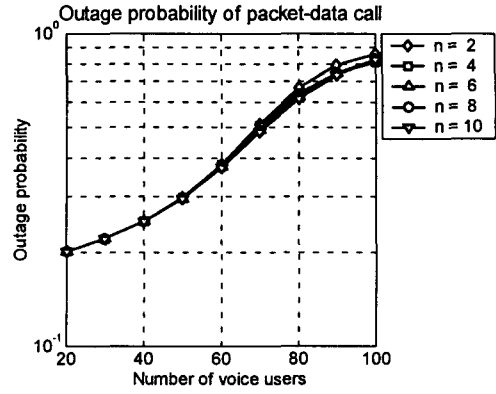


그림 7. 패킷-데이터호의 누설 확률, ($K_v=20\sim100$, $n=2\sim10$).

개선에 그다지 큰 영향을 주지 못한다.

그림 6은 스트림-데이터호의 평균 지연 시간을 나타낸 것이다. 음성 비우선 채널수의 증가에 따른 지연 성능의 개선의 차이는 증가하다가 다시 감소하게 된다. 이는 앞서 그림 5의 스트림-데이터호의 차단 확률의 특성에서 살펴본 바와 마찬가지로 과도한 음성 비우선 채널의 설정은 음성 및 스트림-데이터 서비스의 공유에 따라 지연 성능의 개선에 큰 영향을 주지 못하게 된다.

그림 7에서 9는 패킷-데이터 서비스에 대한 누설 확률과 효율, 그리고 평균 지연 시간의 성능 지표를 나타낸 것이다. 패킷-데이터 서비스의 성능은 음성 비우선 채널의 설정에 따라 거의 영향을 받지 않는 특성을 나타내는데, 이는 음성 비우선 채널수가 변화하더라도 음성 및 스트림-데이터가 공유하여 사용하므로, 잔여 용량 측면에서는 거의 변화가 없기 때문이다.

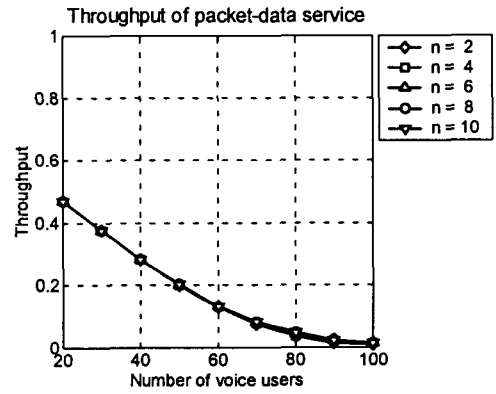


그림 8. 패킷-데이터 서비스의 효율, ($K_v=20\sim100$, $n=2\sim10$).

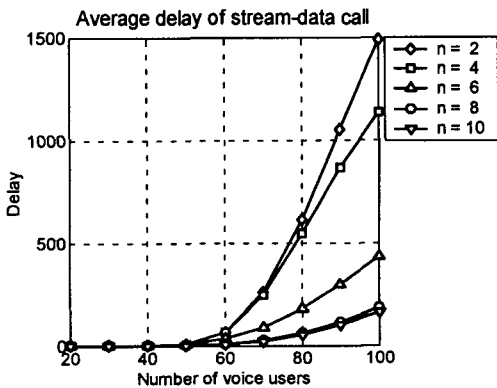


그림 6. 스트림-데이터호의 평균 지연 시간, ($K_v=20\sim100$, $n=2\sim10$).

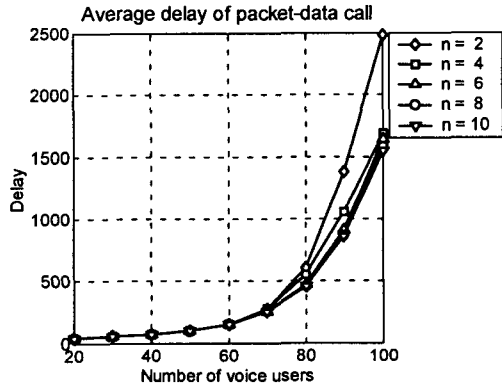


그림 9. 패킷-데이터호의 평균 지연 시간, ($K_v=20\sim100$, $n=2\sim10$).

마지막으로, 그림 10에 중앙 제어 방식의 호 수락 제어에 따른 효율성을 살펴보기 위해 음성 및 스트림-데이터 서비스만으로 이루어진 트래픽에 대한 정규

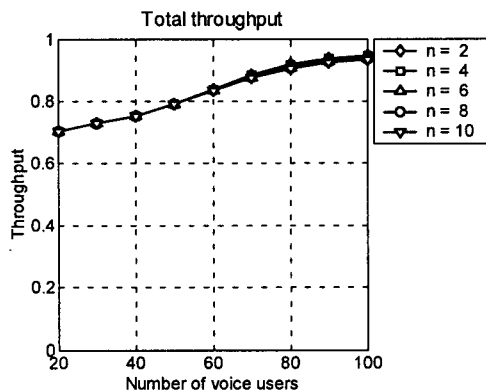


그림 10. 전체 시스템의 정규화된 효율, ($K_v=20\sim 100$, $n=2\sim 10$).

화된 효율을 나타내었다. 음성 비우선 채널에 대하여 음성 및 스트림-데이터 서비스가 공유하므로, 전체적인 효율의 차이는 미비함을 알 수 있다.

6. 결론

본 논문에서는 QoS 요구 조건이 상이한 음성, 스트림-데이터 및 패킷-데이터 서비스가 통합된 CDMA 이동 통신 시스템을 마르코프 체인에 의해 해석적으로 모델링하고 수치 분석하였다. 실시간 서비스가 요구되는 음성 서비스에 대해서는 전체 채널 중 일부분의 채널을 음성 우선 채널로 설정하여, 어느 정도 지연을 감수할 수 있는 데이터 사용자보다 선점하여 사용할 수 있는 우선권을 부여한다. 그리고, 스트림-데이터 서비스에 대해서는 음성 서비스의 채널 선점 우선권에 대한 보완 방안으로써, 음성 서비스에 대해 선점 우선권을 부여한 채널을 제외한 나머지 채널을 동등한 우선 순위를 지니고 사용하며, 버퍼를 부여하여 사용 가능한 음성 비우선 채널이 생기면 대기중인 스트림-데이터호를 즉시 전송할 수 있도록 한다.

해석적 모델링을 위해, 우선 각기 다른 전송 속도를 가지는 음성 및 스트림-데이터 서비스에 따른 채널 점유 대역폭을 구한 후, 채널 선점 우선권 및 버퍼를 반영한 2-차원 마르코프 체인으로 모델링하고, 이를 1-차원으로 재정렬하여 성능 지표를 구하였다. 그리고, 랜덤 접속을 시도하는 패킷-데이터 서비스에 대해서는 잔여 용량식을 적용하여 분석하였다. 수치 해석에 따른 성능 분석 결과에 의하면, 음성 우선 채

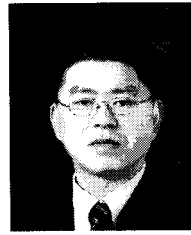
널에서의 채널 선점 우선권에 의해 실시간 서비스를 요구하는 음성 서비스의 QoS를 데이터 서비스에 비해 우선적으로 보장받을 수 있음을 확인하였으며, 이에 비해 우선권이 없는 스트림-데이터 서비스에 대해서는 음성 비우선 채널 및 버퍼를 할당하여 최소한의 QoS를 유지할 수 있음을 확인하였다. 그리고, 패킷-데이터 서비스의 경우 랜덤 접속 방식에 의해 잔여 용량을 최선의 시도(best effort)로 서비스 받으므로 음성 비우선 채널수의 변화에 거의 영향을 받지 않음을 확인하였다. 또한, 시스템 설계시 제공하고자 하는 각 서비스의 용량에 따라 음성 비우선 채널수의 설정을 최적화해야 함을 확인하였다.

본 논문에서 제안된 해석적인 방법은 우선 순위 및 점유 대역폭이 상이한 멀티미디어 서비스를 제공하기 위한 차세대 CDMA 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 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] Comaniciu, 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

1994년 인하대학교 전자공학과 (공학사)
 1996년 인하대학교 전자공학과 (공학석사)
 2003년 인하대학교 전자공학과 (공학박사)
 2003년~현재 한국철도기술연구원

전기신호연구본부

관심분야: 이동통신, 철도통신, 무선자원관리(RRM)



김 철 순

1996년 인천대학교 전자계산학과(공학사)
 1998년 인하대학교 정보공학과 (공학석사)
 2000년 인하대학교 전전컴공학부 멀티미디어공학 전공 (박사과정)

관심분야: 멀티미디어통신, 차세대네트워크



곽 경 섭

1979년 인하대학교 전기공학과 (공학석사)
 1981년 미국 University of Southern California 대학원(EE석사)
 1988년 미국 University of California San Diego 대

학원(통신이론 및 시스템 박사)

1989년~1990년 미국 IBM 연구원
 1990년~현재 인하대 정보통신공학부 교수
 1995년~2001년 통신학회 상임이사
 2002년~현재 통신학회 부회장
 2003년~현재 UWB-ITRC 센터장
 관심분야: 이동통신, 위성통신, 초광대역무선통신(UWB)

교신저자

김 백 현 437-050 경기도 의왕시 월암동 360-1 한국철도
 기술연구원 전기신호연구본부