韓國經營科學會誌
第28卷 第3號
2003年 9月

CDMA 패킷 서비스 시스템에서 채널 엑세스 제어 기법 연구

이 강 원*

Channel Access Control Method for the CDMA Packet Service System

Kang Won Lee*

■ Abstract ■

In the IS-95 packet service system, the radio channels are generally classified into the dedicated and the common traffic channels. In this paper, a common traffic channel access method is proposed for the CDMA packet service system to enhance the radio resource utilization while guaranteeing QoS to the users. The proposed method is based on the permission probability for the common traffic channel user. To derive permission probability, optimization models are developed for two different QoS constraints. Approximation methods are also developed.

Keyword : CDMA, Permission Probability, Channel Access Control

1. 서 론

차세대 이동 통신 시스템에서는 CBR 형태의 음성과 데이터, VBR 형태의 비디오, 그리고 Interactive한 패킷 데이터를 포함한 광범위한 형태의 트래픽 특성을 갖는 서비스들을 모두 수용해야 할 것이다. 한정된 무선 자원을 갖고 이와 같이 다양한 형태의 서비스를 요구 품질 수준으로 처리하기 위해서는 기지국에 할당된 무선 자원의 관리와 운영이 무엇보다도 선결되어야 할 사항이다. 한편 음성과 데이터가 동시에 수용되어야하기 때문에 기존의 회선 교환 형태보다는 패킷 교환 방식이 보다 더 유

논문접수일 : 2003년 3월 24일 논문게재확정일 : 2003년 9월 1일
* 서울산업대학교 산업정보시스템공학과

력한 대안이 될 수밖에 없어 보인다.

무선자원의 효율적 운영 측면에서 가장 중요한 기술적 사항은 광범위하고 다양한 트래픽 특성을 갖는 사용자들에게 무선 채널 자원의 효율적이고 공정한 사용을 보장해 줄 수 있는 채널 엑세스 제어(Channel Access Control)문제이다. 사용되는 채널 엑세스 제어의 효율성은 크게 다음의 3가지 측면에서 살펴 볼 수 있다.

- Flexibility : 음성과 데이터 그리고 비디오 트래픽과 같은 다양한 종류의 서비스를 처리 할 수 있는 능력.
- Quality : 다양한 종류의 트래픽 특성을 갖는 가입자들에게 지연시간이나 호 손실율과 같은 서비스 품질(Quality of Service)을 만족시킬 수 있는 능력.
- Capacity : 주어진 Bandwidth 내에서 수용 할 수 있는 최대 사용자 수.

Multi-media 환경이 요구하는 서비스마다 상이한 다양한 종류의 서비스 품질과 트래픽 특성하에서 높은 Spectrum Efficiency를 획득하기 위해서는 무선 채널의 트래픽 부하정보에 따라 기지국에서 사용자들의 전송을 적당하게 제어 할 수 있는 기능이 있어야 할 것이다. 또한 기지국이 요구 QoS에 따라 사용자들간에 조정(Coordination) 과정을 거쳐 다양한 트래픽 요구를 처리 할 수 있는 유연성(Flexibility)도 갖고 있어야 할 사항이다. 무선 자원의 효율적인 사용과 요구 QoS를 보장해 주면서 다양한 서비스를 수용할 수 있는 CDMA 방식의 여러 채널 엑세스 제어 프로토콜들이 과거 수년간에 걸쳐 제안되어 왔다. 이에 대한 보다 상세한 설명은 2장에서 구체적으로 행하였다.

IS-95 패킷 서비스 시스템에서는 무선채널 자원의 효율적 사용을 위해서 트래픽 채널을 Dedicated 트래픽 채널과 Common 트래픽 채널 2가지 종류로 구분하고 있다. Dedicated 트래픽 채널들은 활동(Active) 상태에 있는 음성, 데이터, 비디오 등의 사용자들에게 할당되어진다. 짧은 데이터의 전송, 예를 들어 Mobile-IP 등록이나 통지서비스(Notification Service), 위치 추적 서비스 등처럼 송수신되는 데이터 양이 적은 서비스들의 경우 IS-95시스템에서는 Dedicated 트래픽 채널의 할당과 관련된 추가부담을 줄이기 위하여 Common 트래픽 채널을 사용한다. 이 Common 트래픽 채널은 여러 이동국들 사이에 공유되며 경쟁(Contention)을 통해 엑세스가 이루어진다. Common 트래픽 채널에 랜덤 엑세스 제어(Random Access Control) 방법을 사용하면 다소 큰 분산을 갖는 불규칙한 간섭형태(Interference Pattern)를 보여준다. 이것은 Common 트래픽 채널의 활용도를 낮출 뿐 아니라 Dedicated 트래픽 채널 사용자들의 서비스 품질에 영향을 미치게 되어 전반적 시스템 용량 감소를 초래한다. 그러므로, Common 트래픽 채널에 대한 엑세스 허용은 Common 트래픽 채널뿐만 아니라 Dedicated 트래픽 채널의 트래픽 양을 모두 고려하여 이루어져야 하는데 아직 어떤 엑세스 프로토콜도 제안된 것이 없다. 본 연구에서 제안하는 채널 엑세스 제어기법은 매 프레임마다 유도되는 채널 엑세스 허용확률(Permission Probability)을 토대로 한다. 이 허용 확률은 트래픽 채널 사용자들의 요구 QoS를 보장해 주면서 Common 트래픽 채널 이용 효율을 극대화시킬 수 있다. 현재 프레임 k의 트래픽 정보를 기초로 다음 프레임인 $(k+1)$ 번째 프레임의 트래픽 부하 확률 분포를 예측한다. 이 예측 결과를 토대로 $(k+1)$ 번째 프레임의 채널 엑세스 허용 확률을 현재 k 번째 프레임에서 최적화 기법을 통해 구한다. 본 연구에서 제안한 방법은 현 프레임 입력원들의 트래픽 특성을 토대로 다음 프레임에서 무선채널의 총 트래픽양을 바로 예측하기 때문에 기존 연구들에서는 필수적인 경쟁상태에 있는 단말의 수를 예측하는 과정이 필요 없게 된다. 무엇보다도 본 제안 방법의 특징은 최적화 기법을 이용하여 목적함수로서 허용 확률을 취함으로 무선 채널 자원 효율을 극대화하는 동시에 제약조건으로서 BER(Bit Error Rate) 기준을 사용함으로 사용자에게 일정수준 이상의 QoS를 보장해 줄

수 있다는데 있다.

서론에 이어 2장에서는 채널 엑세스 제어 방법에 대해 구체적으로 설명하였다. 랜덤 엑세스 방식의 한계점 및 여러 채널 엑세스 제어 방법에 대한 검토를 하였다. 3장에서는 IS-95 CDMA 패킷 서비스 시스템에 대해 간단한 설명을 하였으며, 트래픽과 채널 모델을 기술하였다. 4장에서는 허용 확률의 유도를 위한 모형 구축을 하였다. 5장에서는 두 가지 경우의 실례를 들었고, 6장에서는 허용 확률의 근사적 계산 방법에 대해 살펴보았으며 7장에 결론을 기술하였다.

2. 기존의 채널 엑세스 제어 방법 검토

2.1 랜덤 엑세스 제어방법 및 한계점

음성과 데이터, 그리고 비디오를 포함한 모든 사용자 정보들이 일정 크기의 패킷 형태로 전송되는 패킷 CDMA 방식의 경우 랜덤 엑세스 방식하에서 단말은 전송할 패킷이 있을시 언제든지 특정 DS Code를 갖고 전송을 시작할 수 있다. CBR 형태를 갖는 음성과 같은 트래픽은 입력원의 Bit Rate에 맞도록 조정된 Duty Cycle을 갖고 주기적인 패킷 형태로 전송된다. 한편 데이터들은 패킷이 발생 할 때마다 가용한 최대 CDMA 채널 전송 속도로 하나의 연속된 Burst 형태로 전송된다. 사용자들이 전송할 데이터를 갖고 있는 경우에 어떤 조정 없이 바로 데이터를 전송하는 랜덤 엑세스 CDMA 방식은 다양한 형태의 트래픽 특성을 갖고 서로 다른 QoS를 요구하는 Multi-Media 환경하에서는 그 효율성 측면에서 다음의 여러 가지 한계점을 내포하고 있다.

(1) 패킷의 채널 엑세스시 트래픽이 동일한 슬롯에 집중되면 Interference Power가 급격히 증가하게 되어 호 손실 확률이 커지게 된다. 이와 같이 패킷의 채널 엑세스시에 트래픽이 매우 불균형하게 들어오게 되면 Interference Power 분산이 높게 되므로 사용자들의 요구 QoS를 만족시켜 주기가 힘들게 되고 전반적인 시스템 용량도 낮아지게 된다.

(2) 음성과 같이 패킷이 일정 Duty Cycle을 갖고 주기적으로 발생하는 경우에는 PRMA(Packet Reservation Multiple Access) 방식 등을 이용하여 어느 정도 효율적인 채널 사용을 기대할 수 있지만 VBR 패킷의 경우처럼 트래픽들이 임의로 발생하는 경우에는 각 사용자들의 채널 엑세스시 적절한 제어 없이는 무선 자원의 효율적 이용을 기대할 수 없다.

(3) Multi-Media 환경에서는 각 사용자들이 매우 다양한 트래픽 특성과 서로 다른 QoS를 갖고 있다. 따라서 이러한 사항을 고려하지 않은 랜덤 엑세스 방법은 무선자원의 무분별한 사용을 야기시킬 수 있고 동시에 호의 요구 QoS를 효율적으로 보장해 줄 수 없다.

(4) 매우 짧은 'Packet-Based' 데이터의 경우 모두 각각 다른 Spreading Code를 부여하고 또한 긴 'Stream-Based' 서비스와 같은 호 설정 절차를 사용한다면 시스템의 전반적인 용량 저하는 물론 음성 사용자와 'Stream-Based' 서비스 사용자들에게 효율적인 QoS 보장을 해줄 수 없다.

2.2 채널 엑세스 제어 방법

본 절에서는 랜덤 엑세스 CDMA 방식하에서 제기된 문제점을 극복하기 위한, 즉 무선 자원의 효율적인 사용과 요구 QoS를 보장해주면서 다양한 서비스를 수용 할 수 있는 CDMA 방식의 여러 채널 엑세스 제어 방법에 대해 살펴보았다.

랜덤 엑세스 CDMA 방식하에서는 단말에서 전송지연으로 인한 패킷의 손실(Drop)은 일어나지 않지만 패킷이 일시에 몰릴 경우 과도한 다중 접근 간섭(Muliple Access Interference)으로 인한 기지국에서 간섭의 분산이 커지게 된다. 이로 인해 패킷의 손상(Corruption) 확률이 높아지는 등 전체적인

〈표 1〉 채널 엑세스 제어 방법

	제안된 방법	참고문헌
• 사용자 요구 품질 (QoS)에 따른 제어	• 음성 사용자의 요구 품질은 일정 수준이상 만족시켜 주면서 음성의 (E_b/N_o) 값에 따라 데이터 사용자의 채널 접근 제어	1
	• 음성과 데이터의 SIR 측정치와 요구 QoS 값을 토대로 데이터의 전송속도를 조정해 나가면서 시스템 용량증대	2
	• 사용자들의 요구 QoS를 토대로 Schedulding Slot을 이용하여 패킷들을 Priority화 한 후 이를 기초로 전송하기 때문에 주어진 QoS를 만족하면서 시스템 용량 극대화	3
	• '채널 요구' 채널을 별도로 두어 채널을 확보한 후에 사용자들의 요구 QoS에 따라 적당한 Scheduling 기법을 사용하여 채널 할당	4, 5
	• PRMA 방식을 이용한 Multiservice 수용방법	6
• 트래픽 특성에 따른 제어	• 패킷 트래픽이 일시에 몰리는 집중현상을 막기 위해 채널 Access Function을 이용하여 트래픽 부하에 따라 채널 허용 여부를 결정함으로써 Interference Power 분산을 낮추고 이를 통해 시스템 용량 증대	7
	• 짧은 'Packet-Based' 데이터 트래픽의 효율적인 처리를 통해 전반적인 시스템 용량 증대	8
	• CBR 형태의 트래픽과 VBR 형태의 트래픽을 Movable Boundary로 나누어 채널 자원을 이용함으로써 채널자원의 효율적인 이용기대	9

시스템 용량이 줄어들게 된다. 반면에 채널 엑세스 시 사용자가 전송할 패킷을 갖고 있다 하더라도 시스템의 트래픽정도, 요구 QoS 등을 토대로 하여 채널 엑세스 허용 여부를 결정해 주는 접근제어 방법하에서는 단말에서 요구 데이터 패킷의 QoS 수준과 시스템 트래픽정도에 따라 채널 엑세스 시기를 결정한다. 따라서 단말에서 패킷 데이터의 요구 QoS 수준에 따른 일정 수준 이하의 지연과 이로 인한 패킷 손실(Drop)은 허용하더라도 전반적인 간섭의 분산을 낮추게 되어 패킷 손상 확률은 감소시킬 수 있게 된다.

본 절에서는 채널 엑세스 조정 방법을 크게 사용자 요구 품질 QoS에 따른 조정과 트래픽 특성에 따른 제어 2가지로 대별하여 살펴본 후 이를 <표 1>에 정리하였다.

2.3 허용 확률을 이용한 채널 엑세스 제어 방법

PRMA(Packet Reservation Multiple Access)방식에서 충돌을 줄이기 위하여 혹은 CDMA/PRMA 방식에서는 다중 접근 간섭을 줄이기 위해 허용 확률 개념이 도입되었다. 경쟁을 통하여 무선 채널을 확보하는 단말에게 특정 허용 확률값을 부여함으로써 큰 분산을 갖는 불규칙한 다중 접근 간섭 형태를 방지하고자 하는데 이 허용 확률값을 결정하는 여러 가지 방법이 제안되었다[10-14]. 일반적으로 허용 확률은 가용한 채널 수(가용자원)와 경쟁하는 단말의 수로부터 구해질 수 있다. 따라서 가용한 무선 채널의 수를 결정하는 것과 경쟁상태에 있는 단말의 수를 정확하게 예측하는 것이 무엇보다도 중요하다. 참고문헌[7]에서는 시뮬레이션을 통해 Heuristic 방법으로 채널 엑세스 허용 확률을 결정하였다. 경쟁상태에 있는 단말의 수를 예측하기 위한 여러 가지 방법들이 제안되어왔다. 참고문헌[12]에서는 경쟁하는 단말개수에 변동(Fluctuation)을 조정하기 위해 확률변수를 사용하였으며[13]은 Pseudo-Bayesian 방법을 이용하였다. 참고문헌[11, 15]는 입력 트래픽 모델의 통계적 특성을 토대로 경쟁상태에 있는 단말의 개수를 보다 정확하게 예측하고자 시도하였다.

본 연구에서는 IS-95 패킷 서비스 시스템 무선 채널 자원의 효율적 사용을 위해서 Common 트래

픽 채널의 접근 제어 문제를 다루었다. 아직 어떠한 효율적인 접근제어 방법도 제안된 것이 없다. 본 연구에서 제안한 방법은 기본적으로 허용 확률 개념을 이용하였다. 현 프레임 입력원들의 트래픽 특성으로부터 다음 프레임 무선 채널의 총 트래픽 양을 바로 예측하여 이를 토대로 허용확률 값을 결정하기 때문에 기존 연구들에서는 필수적인 가용한 무선 채널수와 경쟁상태에 있는 단말의 수를 예측하는 과정이 필요 없게 된다. 이때 BER로 표시되는 채널 사용자들의 QoS가 수리적으로 표현가능해지고 이는 허용 확률의 함수로 나타난다. 따라서 본 제안 방법의 특징은 최적화 기법을 이용하여 목적함수로서 허용 확률을 취함으로 무선 채널 자원 효율을 극대화하는 동시에 제약 조건으로서 BER (Bit Error Rate)기준을 사용함으로 사용자에게 일정수준 이상의 QoS를 보장해 줄 수 있다는데 있다.

3. CDMA 패킷 서비스 시스템

3.1 IS-95 패킷 서비스 시스템

패킷 서비스의 MAC(Medium Access Control) 계층은 패킷 데이터 서비스를 사용하는 많은 수의 이동국을 지원하도록 설계되어야 한다. 전형적인 패킷 데이터 트래픽의 Burstiness 속성과 비교적 긴 휴지기간을 갖는 성질은 이동국의 요구에 의해 Dedicated 채널을 할당하고 전송이 끝난 후에는 즉시 채널을 회수하는 시스템 설계를 요한다. 그러나, Dedicated 채널들을 해제하고 다시 채널을 설정하는 문제는 데이터를 전송하기 전에 기지국과 이동국 사이에서 발생하게 되는 재협상(Re-negotiation) 과정으로 인한 Latency와 신호 Overhead 문제를 야기시킨다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 IS-95 패킷 서비스 시스템에서는 Packet Null, Initialization, Control Hold, Active, Suspended, Dormant와 Reconnect State 등과 같은 몇 개의 패킷 서비스 상태들을 도입하였다.

Dedicated 트래픽 채널들은 Active 상태에 있는 음성, 랜덤 데이터, 비디오 등의 사용자들에게 할당되어진다. Dedicated 채널의 할당과 관련된 추가 부담을 줄이기 위하여 IS-95 시스템의 패킷 서비스는 Dormant 상태에서 Common 트래픽 채널을 사용하여 짧은 Bursty 데이터 전송을 가능하게 한다. 예를 들어, Mobile-IP 등록이나 통지 서비스(Notification Service)(예를 들어, e-mail 통지 등), 위치 추적 서비스등 처럼 송수신 되는 데이터 양이 작은 서비스들이 이 범주에 속한다. 이 Common 트래픽 채널들은 경쟁(Contention)을 통해 엑세스 되기 때문에 이 Common 트래픽 채널은 여러 이동국(Mobile Station)들 사이에 공유된다.

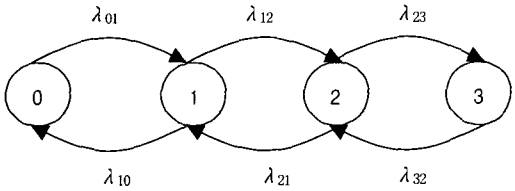
3.2 트래픽 모델

무선 서비스들의 트래픽 특성은 아직 일반적으로 알려진 것이 없다. 따라서 본 연구에서는 참고문헌[7, 16]의 자료를 바탕으로 트래픽 모델을 설정하였다.

3.2.1 Dedicated 채널 트래픽

- 음성 트래픽은 $On-Off$ 프로세스를 따른다고 가정한다. Talk spurt인 활동과 비활동 상태에 머무는 시간은 평균 v_{on}과 v_{off}를 따르는 지수분포라고 가정한다. 각 상태의 전송률은 $R_{v,on}$과 $R_{v,off}$로 표현되며, $N_{v,A}$와 $N_{v,I}$는 활동기간과 비활동 기간의 음성 사용자의 수를 나타낸다 ($N_v = N_{v,A} + N_{v,I}$).
- 데이터 트래픽은 $On-Off$ 프로세스를 따른다고 가정한다. On과 Off의 시간은 각각 평균 d_{on}과 d_{off} 갖는 기하분포를 따른다고 가정한다. 활동구간과 비활동 구간의 Data 사용자의 수는 $N_{d,A}$와 $N_{d,I}$로 나타내어진다($N_d = N_{d,A} + N_{d,I}$). R_d는 Active 상태에서 데이터 전송률을 나타낸다.
- 비디오 트래픽은 다음의 [그림 1]과 같이 전이율 λ_{ij}를 갖는 4가지 상태의 Markov 프로세스

를 따른다고 가정한다.



[그림 1] 비디오 모델을 위한 Markov 모델

$N_{vd,i}$은 상태 i에 있는 비디오 사용자의 수를 나타낸다($N_{vd} = \sum_i N_{vd,i}$). 각 상태에서의 전송 속도는 $R_{vd,i}$로 주어진다.

3.2.2 Common 채널 트래픽

- 짧은 Bursty 데이터 사용자의 수는 N_{bd}로 주어진다. Dormant/Burst 상태에 있는 데이터는 R_{bd}의 율로 한 Frame 동안에 전송된다고 가정한다. Dormant/Idle 상태에 체류하는 시간은 평균 w_{off}를 갖는 지수분포를 따른다고 가정한다. 한편 새롭게 Common 트래픽 채널에 도착하는 사용자들의 수는 평균 $h_{bd}(= N_{bd} \times$ 프레임 길이 / $W_{off})$를 갖는 포아송 프로세스로 근사화 될 수 있다.

CDMA 환경에서 확산 대역폭은 5.5296 *Mbps*이다. 혼합된 멀티미디어 서비스에서 CDMA 시스템은 음성 트래픽이 요구하는 $BER = 10^{-3}$의 수준과 데이터, 비디오, 짧은 Bursty 데이터들이 요구하는 $BER = 10^{-6}$의 수준을 보장해 주어야 한다. 이것은 E_b / N_0 값으로 7 *dB*과 10 *dB*에 상응되는 값이다. 프레임 크기는 20 *ms*로 가정한다. 변조와 부호화 방법이 같은 종류의 서비스를 이용하는 모든 사용자들간 서로 같다고 할 때 같은 종류의 서비스를 이용하는 모든 사용자들을 위한 기지국에서의 수신 전력은 같다. 여기에서 i 형태의 서비스를 위한 수신전력은 P_i로 나타낸다. 그러나, 다른 전송률과 QoS를 갖는 사용자는 수신 기지국에서 동일한 전력수준을 갖지 않는다. 설명을 간단히 하기 위하여 서비스되는 모든 형태 서비스들의 전송 속도를 활동상태의 음성 전송 속도인 9.6 *Kbps*의 상수배로 가정하였다. 각 서비스에서 요구하는 수신전력 수준은 전송률(R_i)과 QoS($(E_b/N_0)_i$)에 비례한다고 할 때, 비디오 데이터의 수신전력 수준은 활동상태에 있는 음성의 수신전력($P_{v,A}$)값으로 환산하여 표현될 수 있다. 예로, 전송률(R_d)이 19.2 *Kbps*이고 요구하는 $BER = 10^{-6}$인 데이터 사용자들의 수신파워(P_d)는 $4 \cdot P_{v,A}$로 표현할 수 있으며, 전송률(R_{vd})이 76.8 *Kbps* 이고 요구하는 $BER = 10^{-6}$인 비디오 사용자들의 수신파워(P_{vd})는 $16 \cdot P_{v,A}$로 표현할 수 있다.

3.3 채널 모델

Standard Gaussian Approximation(SGA)은 단일 셀 환경에서의 CDMA 채널 *BER*을 결정하는데 가장 널리 사용되는 근사방법이다. 다중 엑세스 간섭은 Gaussian으로 가정하고 단순한 Correlation Receiver들을 사용할 때, *BER* 또는 Bit Error의 확률(Q_E)은 아래와 같이 구할 수 있다 [7].

$$Q_E \approx Q(\overline{SNR}) \tag{1}$$

여기에서,

$$Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^{\infty} e^{-u^2/2}\, du$$

이고, 그리고

$$\overline{SNR} = \sqrt{\frac{P_i}{(3N)^{-1} \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{K} P_j} + \frac{N_0}{2T}}$$

이다.

여기에서,

K : 동시 전송 중인 사용자 수

P : 수신 전력 수준

N : 확장 계수

$N_0/2$: Additive White Gaussian 잡음의 Two-Sided Spectral Density

T : 데이터 Bit Duration

만약, 여기에서 모든 종류의 트래픽을 전송중인 음성 트래픽으로 환원해 나타낸다면, Q_E는 K의 함수로 표현될 수 있다.

4. 허용 확률 유도 모델

이 장에서는 매 프레임에서 Common 트래픽 채널 사용자들을 위한 허용 확률 계산 모델을 구축하였다. 이 모델에서는 일단 음성 서비스 사용자의수(N_v), 데이터 서비스 사용자의 수(N_d), 비디오 서비스 사용자의 수(N_{vd}), 그리고 Common 트래픽 채널을 이용하는 짧은 Bursty 데이터 사용자의 수(N_{bd})는 고정시킨다. 먼저 현재 프레임 k에서 $N_{v,A}(k)$, $N_{d,A}(k)$, $N_{vd,i}(k)$ 그리고 $h_{bd}(k)$가 주어졌을 때 $(k+1)$ 번째 프레임에서 Dedicated 채널 사용자들 수의 확률분포와 Common 채널 사용자들의 평균수를 추정한다. 이 추정을 바탕으로 해서 $(k+1)$ 번째 프레임의 허용확률, $PS(k+1)$을 유도한다. 허용 확률의 궁극적 목표는 BER 요구목표치를 만족시키면서 시스템 효율(Through-put)이 극대화 되도록 매 프레임에서 Common 채널 사용자들의 수를 조정해 나가는 것이다.

4.1 $(k+1)$ 번째 프레임에서 활동상태에 있는 채널 사용자들의 수

이제 $N_{v,A}(k)$, $N_{d,A}(k)$, $N_{vd,i}(k)$, 그리고 $h_{bd}(k)$가 주어졌을 때 $(k+1)$ 번째 프레임에서 이 변수들의 확률 분포를 유도해 본다.

4.1.1 음 성

음성 트래픽의 비활동 상태와 talk spurt 구간인 활동 상태에의 체류시간은 각각 평균 v_{off}와 v_{on}을 갖는 지수분포를 따른다고 가정하였으므로 다음 두 가지 확률은 아래와 같이 유도된다.

Pr[음성사용자가 프레임길이 20msec 내에 비활동기에서 활동기로 전환]

$$= \int_0^{0.02} \frac{1}{v_{off}} e^{-\frac{t}{v_{off}}} dt = P_{s,a}(v) \tag{2}$$

그리고,

Pr[음성사용자가 프레임길이 20msec 내에 활동기에서 비활동기로 전환]

$$= \int_0^{0.02} \frac{1}{v_{on}} e^{-\frac{t}{v_{on}}} dt = P_{a,s}(v) \tag{3}$$

이제 $N_{v,A}(k)$가 주어졌을 때 $N_{v,A}(k+1)$의 확률 분포는 다음과 같이 유도 될 수 있다.

$$\begin{aligned} \Pr\ [N_{v,A}(k+1) &= n_{v,A}(k+1) \mid N_{v,A}(k) \\ &= n_{v,A}(k)] \end{aligned} \tag{4}$$

$$\begin{aligned} &= \sum_{i=0}^{n_{v,A}(k)} \binom{n_{v,A}(k)}{i} P_{a,s}(v)^i \\ &\quad (1-P_{a,s}(v))^{n_{v,A}(k)-i} \\ &\quad \cdot \binom{n_v - n_{v,A}(k)}{n_{v,A}(k+1) - n_{v,A}(k) + i} \\ &\quad \cdot P_{s,a}(v)^{n_{v,A}(k+1) - n_{v,A}(k) + i} \\ &\quad \cdot (1-P_{s,a}(v))^{n_v - n_{v,A}(k+1) - i} \end{aligned}$$

4.1.2 데이터

데이터 트래픽의 On과 Off 시간은 각각 평균 d_{on}과 d_{off}를 갖는 기하분포(Geometrical Distribution)를 가정하였으므로 다음 두 가지 확률은 아래와 같이 유도된다.

Pr[데이터 사용자가 20msec 내에 비활동기에서 활동기로 전환]

$$= \frac{1}{50 \times d_{off}} = P_{s,a}(d) \quad (5)$$

Pr[데이터 사용자가 20msec 내에 활동기에서 비활동기로 전환]

$$= \frac{1}{50 \times d_{on}} = P_{a,s}(d) \quad (6)$$

이제 $N_{d,A}(k)$가 주어졌을 때 $N_{d,A}(k+1)$의 확률 분포는 다음과 같이 구해질 수 있다.

$$\Pr\ [N_{d,A}(k+1) = n_{d,A}(k+1) \mid N_{d,A}(k) = n_{d,A}(k)] \quad (7)$$

$$= \sum_{i=0}^{n_{d,A}(k)} \binom{n_{d,A}(k)}{i} P_{a,s}(d)^i (1-P_{a,s}(d))^{n_{d,A}(k)-i} \cdot \binom{n_d - n_{d,A}(k)}{n_{d,A}(k+1) - n_{d,A}(k) + i} P_{s,a}(d)^{n_{d,A}(k+1) - n_{d,A}(k) + i} \cdot (1 - P_{s,a}(d))^{n_d - n_{d,A}(k+1) - i}$$

4.1.3 비디오

비디오 트래픽의 각 상태에 있는 사용자들의 수는 한 프레임동안 최대 1의 변화만을 가정한다(1 증가, 무변동, 1 감소). 비디오 트래픽은 4가지 상태를 갖는 마코브 프로세스를 가정하였기 때문에 연속되는 다음 프레임에서 가능한 상태의 조합수는 3^4= 81개이다. 물론 $\sum_i N_{vd,i} = N_{vd}$가 유지되야 하고 전이(Transition)는 오직 인접한 상태로만 가능한 점을 고려하면 이 숫자는 크게 감소할 수 있다. $P_{ij}(vd)$를 비디오 사용자가 한 프레임내에 상태 i에서 j로 전이할 확률을 나타낸다고 하자. 예로 2명의 비디오 사용자가 있고 한프레임내에 상태 0에서 1개의 증가(상태 1에서 1개의 감소) 그리고 상태 3에서 1개의 증가(상태 2에서 1개의 감소)가 있을 확률은 다음과 같이 계산될 수 있다.

$$\Pr\ [N_{vd,0}(k+1)=1, N_{vd,1}(k+1)=0, N_{vd,2}(k+1)=0, N_{vd,3}(k+1)=1 \mid N_{vd,0}(k)=0, N_{vd,1}(k)=1, N_{vd,2}(k)=1, N_{vd,3}(k)=0] \approx P_{1,0}(vd) \cdot P_{2,3}(vd) \quad (8)$$

여기서,

$$P_{1,0}(vd) = \frac{\lambda_{10}}{\lambda_{10}+\lambda_{12}} \int_0^{0.02} (\lambda_{10}+\lambda_{12}) e^{-(\lambda_{10}+\lambda_{12})t} dt$$

그리고,

$$P_{2,3}(vd) = \frac{\lambda_{23}}{\lambda_{21}+\lambda_{23}} \int_0^{0.02} (\lambda_{21}+\lambda_{23}) e^{-(\lambda_{21}+\lambda_{23})t} dt$$

다른 전이 확률도 비슷한 방법으로 계산 될 수 있다.

4.1.4 짧은 Bursty 데이터

한 프레임 내에 새롭게 도착하는 Common 트래픽 채널 사용자들의 수는 평균 $h_{bd}(= N_{bd} \cdot \frac{1}{50 \cdot w_{off}})$를 갖는 포아송 분포로 가정하였다. k번째 프레임의 Common 트래픽 채널 사용자들의 허용확률을 $PS(k)$로 나타내자. 그러면 $(k+1)$ 번째 프레임에서 Common 트래픽 채널을 사용하고자 시도하는 평균수는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$h_{bd}(k+1) = h_{bd}(k)(1-PS(k)) + h_{bd}, \quad h_{bd}(1) = h_{bd} \quad (9)$$

4.2 활동 음성 사용자수로 정규화된 활동 채널 사용자의 수

각 형태 서비스의 BER을 구하기 위해서는 먼

저 해당 서비스들의 수신전력 수준을 알아야만 한다. 비디오와 데이터 서비스의 전송율은 활동상태 음성 전송율 $R_{v,on}$의 상수배로 가정했기 때문에 비디오와 데이터 서비스의 수신전력 수준은 음성 수신전력 $P_{v,A}$의 함수로 표현될 수 있다. 또한 BER도 K의 함수, 즉 $Q_E(K)$로 표현될 수 있는데 K는 활동 음성 사용자로 정규화된 활동 사용자 수를 나타낸다. 이제 현재 프레임 k에 $N_{v,A}(k)$, $N_{d,A}(k)$, $N_{vd,1}(k)$, $N_{vd,2}(k)$, 그리고 $N_{vd,3}(k)$가 주어졌을 때 $(k+1)$ 번째 프레임에 활동 상태 음성 사용자로 정규화된 K_1개의 Dedicated 채널 활동 사용자가 있을 확률은 다음과 같이 구해진다.

$$\begin{aligned}
&\Pr[K_1 \text{ 활동 음성 사용자수} \mid N_{v,A}(k) = n_{v,A}(k), \\
&\quad N_{d,A}(k) = n_{d,A}(k), \qquad (10)\\
&\quad N_{vd,1}(k) = n_{vd,1}(k), N_{vd,2}(k) = n_{vd,2}(k), \\
&\quad N_{vd,3}(k) = n_{vd,3}(k)] \\
&= \sum_S \Pr[N_{v,A}(k+1) = n_{v,A}(k+1) \mid \\
&\qquad N_{v,A}(k) = n_{v,A}(k)] \\
&\quad \cdot \Pr[N_{d,A}(k+1) = n_{d,A}(k+1) \mid \\
&\qquad N_{d,A}(k) = n_{d,A}(k)] \\
&\quad \cdot \Pr[N_{vd,1}(k+1) = n_{vd,1}(k+1), \\
&\qquad N_{vd,2}(k+1) = n_{vd,2}(k+1), \\
&\qquad N_{vd,3}(k+1) = n_{vd,3}(k+1) \mid \\
&\qquad N_{vd,1}(k) = n_{vd,1}(k), \cdots, \\
&\qquad N_{vd,3}(k) = n_{vd,3}(k)]
\end{aligned}$$

윗 식에서 S는 정규화된 활동 음성 사용자수가 K_1이 되는 Dedicated 채널의 활동사용자들 수의 집합을 나타낸다. 즉,

$$\begin{aligned}
S = \Big\{ & n_{v,A}(k+1), n_{d,A}(k+1), n_{vd,1}(k+1), \\
& n_{vd,2}(k+1), n_{vd,3}(k+1) \mid \qquad (11)\\
& \lceil (n_v - n_{v,A}(k+1)) \cdot \frac{R_{v,off}}{R_{v,on}} + n_{v,A}(k+1) \\
& + n_{d,A}(k+1) \cdot \frac{R_d}{R_{v,on}} \cdot 2 \\
& + (n_{vd,1}(k+1) \cdot \frac{R_{vd,1}}{R_{v,on}} \\
& + n_{vd,2}(k+1) \cdot \frac{R_{vd,2}}{R_{v,on}} \\
& + n_{vd,3}(k+1) \cdot \frac{R_{vd,3}}{R_{v,on}}) \cdot 2 \rceil = K_1 \Big\}
\end{aligned}$$

여기서 $N = \lceil a \rceil$는 $N \geq a$를 만족하는 가장 작은 정수를 나타낸다.

$(k+1)$ 번째 프레임에서 Common 트래픽 채널의 허용확률은 $PS(k+1)$로 주어진다. $(k+1)$ 번째 프레임에서 경쟁(Contention)을 통해 Common 채널로 전송하는 짧은 Bursty 데이터의 활동 사용자의 수가 K_2'일 확률은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
&\Pr[\text{Common 트래픽 채널로 전송하는 사용자 수가} \\
&\quad K_2' \mid h_{bd}(k+1)] \qquad (12)\\
&= \sum_{n_{bd,a}=0}^{\infty} \frac{e^{-h_{bd}(k+1)}(h_{bd}(k+1))^{n_{bd,a}}}{n_{bd,a}!} \cdot \binom{n_{bd,a}}{K_2'} \\
&\quad \cdot PS(k+1)^{K_2'}(1 - PS(k+1))^{n_{bd,a} - K_2'}
\end{aligned}$$

여기서,

$$h_{bd}(k+1) = h_{bd}(k)(1 - PS(k)) + h_{bd}$$

이제 짧은 bursty 데이터 사용자의 수 K_2'은 아래와 같이 활동 음성 사용자의 수 K_2로 정규화 된다.

$$K_2 = K_2' \cdot 2 \cdot \frac{R_{bd}}{R_{v,on}} \qquad (13)$$

4.3 허용 확률의 유도

$(k+1)$ 번째 프레임에서 Common 채널 활용도를 극대화하기 위해서는 채널 사용자들의 QoS (BER) 요구조건을 만족시켜주면서 $PS(k+1)$를

최대화시킬 필요가 있다. *BER* 요구조건을 위해서 아래와 같은 2가지의 기준을 설정하였다.

- 평균 $BER \le 10^{-3*}$
- $\Pr[BER \ge 10^{-3*}] \le 10^{-2}$

(* 모든 트래픽들을 동량의 음성 트래픽으로 바꾸었으므로 음성 트래픽의 *BER* 요구조건 10^{-3}을 사용하였다.)

(1) 평균 $BER \le 10^{-3}$

Dedicated 채널을 사용하는 활동상태의 음성, 데이터, 비디오 사용자 수와 현 프레임 k에 있는 Common 채널 사용자들의 평균 수가 주어졌을 때 다음 프레임 $(k+1)$에서 평균 *BER*(ABER)은 $PS(k+1)$의 함수로 표현되어진다.

$$\begin{aligned}&\mathrm{ABER}\,(PS(k+1) \mid n_{v,A}(k),\, n_{d,A}(k),\, n_{vd,1}(k),\\ &\qquad n_{vd,2}(k),\, n_{vd,3}(k),\, h_{bd}(k))\\ &= \sum_{k_2}\sum_{k_1} Q_E(k_1+k_2)\cdot \Pr[K_1=k_1]\cdot \Pr[K_2=k_2]\end{aligned}$$

이제 허용확률은 다음의 최적화 문제를 통해 구해질 수 있다.

$$\begin{aligned}&\text{Maximize} \quad PS(k+1) \qquad (14)\\ &\text{s.t.} \quad \mathrm{ABER}\,(PS(k+1) \mid \cdot) \le 10^{-3}\end{aligned}$$

(2) $\Pr[BER \ge 10^{-3}] \le 10^{-2}$

K^*가 $Q_E(K^*) = 10^{-3}$을 만족시키는 값이라고 하자. 실제적으로 $K^* = 160$의 값을 갖는다. 그러면 위의 두 번째 기준조건하에서 허용확률은 다음과 같이 구해질 수 있다.

$$\begin{aligned}&\text{Maximize} \quad PS(k+1) \qquad (15)\\ &\text{s.t.} \quad \Pr[K_1+K_2 \ge K^*] \le 0.01\end{aligned}$$

여기서 K_1+K_2의 확률분포는 식 (10)과 식 (12)로부터 다음과 같이 구해진다.

$$\begin{aligned}&\Pr[K_1+K_2=k_{12}]\\ &= \sum_{n=0}^{k_{12}} \Pr[K_1=n]\cdot \Pr[K_2=k_{12}-n] \quad (16)\end{aligned}$$

5. Numerical Examples

BER 요구조건의 기준에 따라 두 가지 예제를 살펴보았다. 예제 1에서는 평균 *BER*이 10^{-3} 이하가 되는 기준을 이용하였으며 예제 2에서는 *BER*이 10^{-3} 보다 클 확률이 10^{-2} 이하가 되는($\Pr[BER \ge 10^{-3}] \le 10^{-2}$) 기준을 이용하였다.

5.1 예제 1

5.1.1 시스템 파라메타

예제 1을 위한 시스템 파라메타는 아래 <표 2>와 같이 주어진다.

파라메타 값들 중 일부는 참고문헌[1, 7]의 값들

〈표 2〉 예제 1을 위한 시스템 파라메타

시스템 파라메타	값
각 서비스별 사용자 수	$N_v = 160$, $N_d = 51$, $N_{vd} = 1$, $N_{bd} = 0 \sim 5000$
매 프레임에서 Common 트래픽 채널을 통해 새롭게 패킷 전송을 시작하는 사용자들의 평균 수	$h_{bd} = 0 \sim 100$
전송률(*Kbps*)	$R_{v,on} = 9.6$, $R_{v,off} = 1.2$, $R_d = 38.4$, $R_{vd,1} = 76.8$, $R_{vd,2} = 153.6$, $R_{vd,3} = 230.4$, $R_{bd} = 4.8$
다른 파라메타들	$v_{on} = 1\text{sec}$, $v_{off} = 1.35\text{sec}$, $d_{on} = 4\text{sec}$, $d_{off} = 36\text{sec}$, $w_{off} = 1\text{sec}$, $\lambda_{01} = 2.7/\text{sec}$, $\lambda_{10} = 0.9/\text{sec}$, $\lambda_{12} = 4.4/\text{sec}$, $\lambda_{21} = 1.2/\text{sec}$, $\lambda_{23} = 0.68/\text{sec}$, $\lambda_{32} = 1.5/\text{sec}$

을 사용하였다.

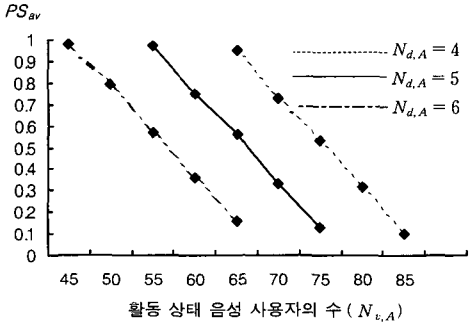
5.1.2 허용 확률 결과

허용 확률 PS_{av}를 C 언어로 작성된 프로그램을 이용하여 순차적으로 계산하였다. 식 (14)를 이용하여 PS_{av}를 $0 \le N_{v,A} \le 160$, $0 \le N_{d,A} \le 51$, $N_{vd,i} = 1(i = 0, 1, 2, 3)$, 그리고 $0 \le h_{bd} \le 100$의 모든 조합에 대해 구하였다. Common 트래픽 채널 사용자는 어떤 특정 프레임에서 패킷을 전송하기 위한 경쟁에서 실패한다면 다음 프레임에서 재시도 해야만 한다. 이 현상은 트래픽 부하가 높아지거나 PS_{av}가 작은 경우 매우 자주 발생하게 된다. 그러므로 식 (14)에 의해서 구해지는 $h_{bd}(k+1)$의 값이 100보다 크게 되는 경우가 발생하게 된다. $(k+1) \ge 100$의 경우 $PS_{av}(k+1)$은 다음 식에 의해 근사화 될 수 있다.

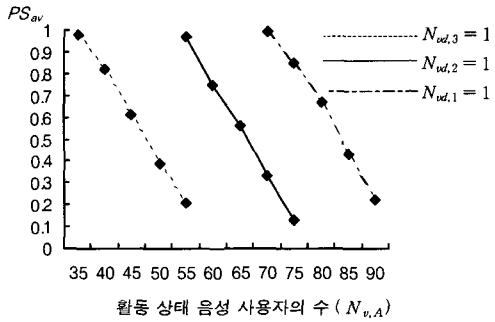
$$PS_{av}(k+1) = \frac{100}{h_{bd}(k+1)} \cdot \quad (PS_{av} \mid h_{bd}(k+1) = 100) \tag{17}$$

다음 [그림 2]에 여러 가지 경우의 허용확률결과를 나타냈다.

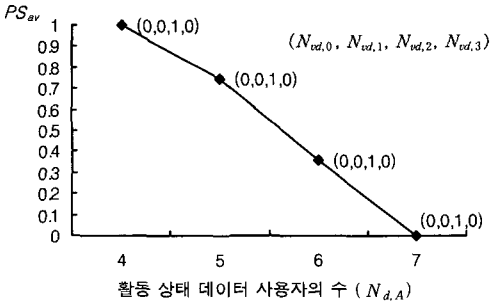
[그림 2](a)에서는 주어진 $N_{d,A} = 4$, $N_{vd,2} = 1$, 그리고 $h_{bd} = 20$의 값에 대해 활동 상태의 음성 사용자 수가 변해나갈 때 PS_{av}값들을 보여준다. [그림 2](a)는 또한 $N_{d,A}$의 값이 5와 6으로 변할 때 PS_{av} 값들을 나타내준다. 활동상태 데이터 사용자



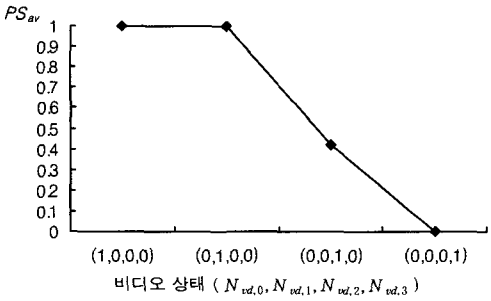
(a) ($N_{vd,2} = 1$, $h_{bd} = 20$)



(b) ($N_{d,A} = 5$, $h_{bd} = 20$)



(c) ($N_{v,A} = 60$, $N_{vd,2} = 1$, $h_{bd} = 20$)



(d) ($N_{v,A} = 68$, $N_{d,A} = 5$, $h_{bd} = 20$)

[그림 2] 허용 확률 PS_{av} 결과

의 수가 하나 증가(감소)할 때 동일한 PS_{av} 값을 얻기 위해서는 음성 사용자의 수는 대략 10정도 감소(증가)해야 함을 알 수 있다. $N_{d,A} = 5$, $N_{vd,1} = 1$, 그리고 $h_{bd} = 20$의 값이 주어졌을 때 PS_{av}의 값을 [그림 2](b)에 나타냈다. [그림 2](b)는 또한 $N_{vd,2} = 1$, $N_{vd,3} = 1$의 경우에 PS_{av} 값들을 보여준다. 비디오 트래픽의 상태변화가 데이터사용자의 하

나 변동 보다 더 많은 동량(Equivalent)의 음성 사용자수에 해당되므로 [그림 2](b)의 그래프 사이 간격은 [그림 2](a)의 그것보다 넓다. [그림 2](c)는 활동상태 데이터 사용자 수가 변해 나갈 때 $N_{v,A}=60$, $N_{vd,2}=1$ 그리고 $h_{bd}=20$을 위한 PS_{av} 값들을 보여준다. $N_{v,A}=68$, $N_{d,A}=5$, 그리고 $h_{bd}=20$이 주어졌을 때 각 비디오 상태들에 대한 PS_{av} 값이 [그림 2](d)에 나와있다. [그림 2](d)에서 (0, 1, 0, 0)는 $N_{vd,0}=0$, $N_{vd,1}=1$, $N_{vd,2}=0$, 그리고 $N_{vd,3}=0$의 상태를 나타낸다. PS_{av} 값의 변화는 [그림 2](a)와 [그림 2](b)에서 보다 [그림 2](c)와 [그림 2](d)에서 더 급격히 변해 나간다. 이것은 데이터와 비디오 서비스의 높은 대역(Bandwidth)과 *BER* 요구조건으로 인해 음성 서비스에 비해 더 높은 수신 전력을 요구하기 때문이다.

5.2 예제 2

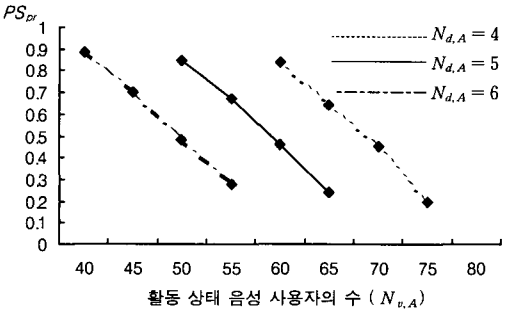
5.2.1 시스템 파라메타

예제 2를 위한 시스템 파라메타는 다음 <표 3>과 같이 주어진다.

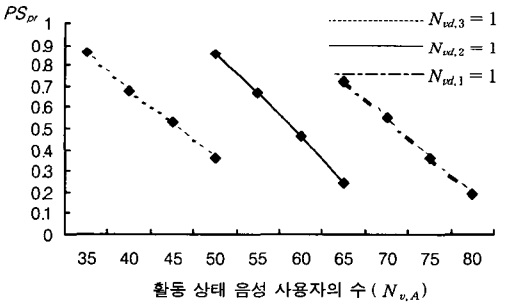
5.2.2 허용확률 결과

허용확률 PS_{pr}을 C 언어로 작성된 프로그램을 이용하여 수치적으로 계산하였다. 식 (15)를 이용하여 $0 \le N_{v,A} \le 100$, $0 \le N_{d,A} \le 35$, $N_{vd,i}=1$($i=0,1,2,3$), 그리고 $0 \le h_{bd} \le 100$의 모든 조합에 대하여 PS_{pr}을 유도하였다. 다음 [그림 3]은 여러 가지 경우의 PS_{pr} 결과를 보여준다.

윗 그림들로부터 같은 트래픽 부하에 대해 PS_{pr}이 PS_{av}보다 작은 값을 갖음을 알 수 있다. 예로 $N_{v,A}=60$, $N_{d,A}=5$, $N_{vd,2}=1$, 그리고 $h_{bd}=20$의 트래픽하에서 PS_{pr}과 PS_{av}는 각각 0.46과 0.75의



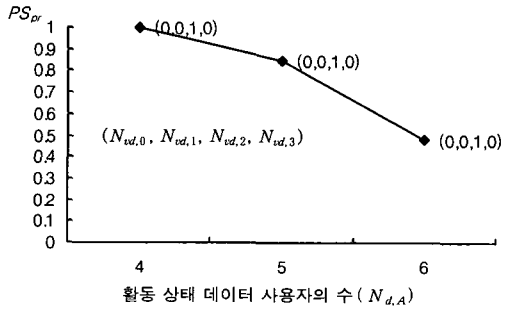
(a) ($N_{vd,2}=1$, $h_{bd}=20$)



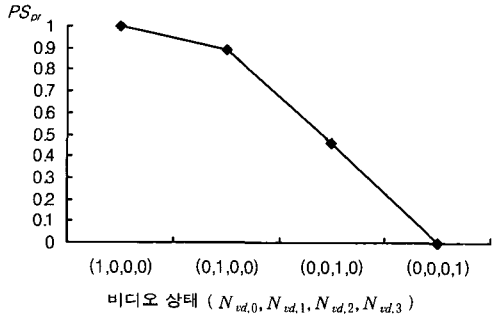
(b) ($N_{d,A}=5$, $h_{bd}=20$)

〈표 3〉 예제 2를 위한 시스템 파라메타

시스템 파라메타	값
각 서비스별 사용자 수	$N_v=100$, $N_d=35$, $N_{vd}=1$, $N_{bd}=0\sim5000$
매 프레임에서 Common 트래픽 채널을 통해 새롭게 패킷 전송을 시작하는 사용자들의 평균 수	$h_{bd}=0\sim100$
전송률(*Kbps*)	$R_{v,on}=9.6$, $R_{v,off}=1.2$, $R_d=38.4$, $R_{vd,1}=76.8$, $R_{vd,2}=153.6$, $R_{vd,3}=230.4$, $R_{bd}=4.8$
다른 파라메타들	$v_{on}=1\text{sec}$, $v_{off}=1.35\text{sec}$, $d_{on}=4\text{sec}$, $d_{off}=36\text{sec}$, $w_{off}=1\text{sec}$, $\lambda_{01}=2.7/\text{sec}$, $\lambda_{10}=0.9/\text{sec}$, $\lambda_{12}=4.4/\text{sec}$, $\lambda_{21}=1.2/\text{sec}$, $\lambda_{23}=0.68/\text{sec}$, $\lambda_{32}=1.5/\text{sec}$



(c) ($N_{v,A} = 50$, $N_{vd,2} = 1$, $h_{bd} = 20$)



(d) ($N_{v,A} = 60$, $N_{d,A} = 5$, $h_{bd} = 20$)

[그림 3] 허용확률 PS_{pr} 결과

값을 갖는다. 그리고 $N_{v,A}=85$, $N_{d,A}=5$, $N_{vd,1}=1$, 그리고 $h_{bd}=20$의 트래픽하에서 PS_{pr}은 0.04, PS_{av}는 0.43의 값을 갖는다. $\Pr[BER \geq 10^{-3}] \leq 10^{-2}$이 평균 $BER = 10^{-3}$보다 더 엄격한 QoS 요구조건이기 때문에 한 프레임내에 전송되는 트래픽(Carried Traffic)양이 QoS 조건을 만족시키기 위해서는 줄어들 수 밖에 없다. 평균 $BER = 10^{-3}$ 기준조건의 경우 PS_{av}는 한 프레임내에 운송되는 총 트래픽이 대략 $K^*(Q_E(K^*)=10^{-3})$가 되도록 결정된다는 사실을 PS_{av}의 수치적 계산결과에서 확인할 수 있었다. 이때 K^*는 160의 값을 갖는다. 한편, $\Pr[BER \geq 10^{-3}] \leq 10^{-3}$ 기준조건의 경우 PS_{pr}은 한 프레임내에 운송되는 총 트래픽이 대략 $K=139 \sim K=148$이 되도록 결정된다는 사실을 PS_{pr}의 수치적 계산 결과로부터 확인할 수 있었다. 이때 K 값은 활동중인 비디오 트래픽의 상태에 따라 변한다는 사실도 확인하였다.

6. 근사방법

허용 확률의 수치적 유도를 위해서는 상당한 양의 계산과정이 필요하다. 그러므로 실제환경에서 허용 확률값을 이용하기 위해서는 미리 허용 확률값을 위한 일종의 데이터베이스를 구축할 필요가 있다. 그래서 어떤 특정 트래픽 부하가 주어졌을 때 데이터베이스 검색을 통해 원하는 허용 확률값을 구한다. 본 장에서는 간단한 근사방법에 대해 살펴보았다.

6.1 PS_{av} 근사방법

식 (14)에 의해 구해진 PS_{av}의 결과치들로부터 PS_{av}는 한 프레임내에 총 운송 트래픽이 대략 K^* $(Q_E(K^*) = 10^{-3}, K^* = 160)$가 되도록 결정된다는 사실을 알 수 있었다. 그러므로 QoS 요구조건으로 평균 $BER = 10^{-3}$이 주어졌을 때 $(k+1)$번째 프레임의 근사 허용확률 $\widetilde{PS_{av}}(k+1)$은 k 번째 프레임에서 다음과 같이 구해질 수 있다.

$$\widetilde{PS_{av}}(k+1)$$
$$= \min\left[\frac{K^* - ((k+1)\text{ 번째 프레임에 } dedicated \text{ 채널 트래픽양})}{h_{bd}(k+1)}, 1\right]$$
$$\approx \min\left[\frac{K^* - (k\text{번째 프레임에 } dedicated \text{ 채널 트래픽양})}{h_{bd}(k+1)}, 1\right] \quad (18)$$

만약 K^*값이 k 번째 프레임에 있는 Dedicated 채널 트래픽 보다 작다면 $\widetilde{PS_{av}}(k+1)$ 은 음수값을 갖는데 음수의 확률값은 0으로 처리하였다. 윗식을 이용하여 구한 근사 허용확률값은 수치적으로 유도한 그것과 매우 유사함을 보여준다. 다음 <표 4>는 [그림 2](a)의 데이터들에 대한 PS_{av}와 $\widetilde{PS_{av}}$ 값들을 보여준다.

〈표 4〉 $PS_{av}(k+1)$와 $\widetilde{PS_{av}}(k+1)$의 비교

채널 트래픽	$PS_{av}(k+1)$	$\widetilde{PS_{av}}(k+1)$
$N_{d,A}(k)=4,\ N_{vd,2}(k)=1,\ h_{bd}(k+1)=20$		
$N_{v,A}(k)=65$	0.95	0.96
$N_{v,A}(k)=70$	0.73	0.74
$N_{v,A}(k)=75$	0.53	0.52
$N_{v,A}(k)=80$	0.32	0.30
$N_{v,A}(k)=85$	0.1	0.08
$N_{d,A}(k)=5,\ N_{vd,2}(k)=1,\ h_{bd}(k+1)=20$		
$N_{v,A}(k)=55$	0.97	0.99
$N_{v,A}(k)=60$	0.75	0.78
$N_{v,A}(k)=65$	0.56	0.56
$N_{v,A}(k)=70$	0.33	0.34
$N_{v,A}(k)=75$	0.13	0.12
$N_{d,A}(k)=6,\ N_{vd,2}(k)=1,\ h_{bd}(k+1)=20$		
$N_{v,A}(k)=45$	0.98	1
$N_{v,A}(k)=50$	0.79	0.81
$N_{v,A}(k)=55$	0.57	0.59
$N_{v,A}(k)=60$	0.36	0.38
$N_{v,A}(k)=65$	0.16	0.16

〈표 5〉 $PS_{pr}(k+1)$과 $\widetilde{PS_{pr}}(k+1)$의 비교

채널 트래픽	$PS_{pr}(k+1)$	$\widetilde{PS_{pr}}(k+1)$
$N_{d,A}(k)=4,\ N_{vd,2}(k)=1,\ h_{bd}(k+1)=20$		
$N_{v,A}(k)=60$	0.84	0.8
$N_{v,A}(k)=65$	0.64	0.58
$N_{v,A}(k)=70$	0.45	0.36
$N_{v,A}(k)=75$	0.2	0.14
$N_{d,A}(k)=5,\ N_{vd,2}(k)=1,\ h_{bd}(k+1)=20$		
$N_{v,A}(k)=50$	0.85	0.84
$N_{v,A}(k)=55$	0.67	0.62
$N_{v,A}(k)=60$	0.46	0.4
$N_{v,A}(k)=65$	0.24	0.18
$N_{d,A}(k)=6,\ N_{vd,2}(k)=1,\ h_{bd}(k+1)=20$		
$N_{v,A}(k)=40$	0.88	0.88
$N_{v,A}(k)=45$	0.7	0.66
$N_{v,A}(k)=50$	0.48	0.43
$N_{v,A}(k)=55$	0.28	0.22

6.2 PS_{pr} 근사방법

식 (15)에 의해 구해진 PS_{pr} 결과치들로부터 PS_{pr}은 한 프레임내에 총 운송 트래픽이 대략 $\overline{K}=139 \sim \overline{K}=148$이 되도록 결정된다는 사실을 알 수 있었다. 이때 $\overline{K}$는 활동 비디오 트래픽의 상태에 따라 결정된다. 위의 사실을 토대로 $(k+1)$ 번째 프레임의 근사 허용확률 $PS_{pr}(k+1)$은 현재 프레

임 k에서 아래처럼 근사화 될 수 있다.

$$\widetilde{PS}_{\Pr}(k+1) \approx \frac{\overline{K} - k\text{번째 프레임에 } dedicated \text{ 채널 트래픽양}}{h_{bd}(k+1)} \tag{19}$$

여기서,

$$\overline{K} = \begin{cases} 139, \text{ for } N_{vd,0}(k) = 1 \\ 140, \text{ for } N_{vd,1}(k) = 1 \\ 145, \text{ for } N_{vd,2}(k) = 1 \\ 148, \text{ for } N_{vd,3}(k) = 1 \end{cases}$$

다음 <표 5>는 [그림 3](a)의 데이터들에 대한 PS_{pr}과 $\widetilde{PS}_{pr}$ 값들을 보여준다. 윗 식을 이용하여 구한 $\widetilde{PS}_{pr}$ 값은 수치적으로 구한값과 비교적 잘 일치함을 볼 수 있다.

7. 결 론

본 연구에서는 패킷 서비스 시스템의 Common 채널 엑세스 방법에 대해 살펴보았다. 본 연구에서 제안한 채널 엑세스 제어 기법은 매 프레임마다 유도되는 채널 엑세스 허용 확률을 토대로 한다. 허용 확률 유도 모델을 개발하고 두 가지 실례를 들었다. 또한 근사적 방법에 대해서도 논하였다. 근사적 방법은 수치적 계산 결과 자료를 바탕으로 구축하였다.

본 연구는 계속되는 연구의 중간단계라고 생각되며 다음 분야에서 연구 결과는 본 논문에 이어 추후 발표될 예정으로 있다.

(1) 제안된 접근제어 방법 하에서 IS-95 패킷 서비스 시스템의 Common 트래픽 채널 및 Dedicated 트래픽 채널 용량 증대 문제
(2) 근사적 유도된 허용 확률 사용시 IS-95 패킷 서비스 시스템의 용량 변동 사항
(3) 채널 엑세스 허용 확률을 이용한 채널 엑세스 제어 기법 사용시 발생하게되는 전송지연문제 및 *BER* 분산 파악.

참 고 문 헌

[1] Sampath, A., et. al, "Analysis of an Access Control Mechanism for Data Traffic in an Integrated Voice/Data Wireless CDMA System," *Proc.of IEEE ICC '96*, pp.1448-1452.

[2] Wu, J.S. and Lin, J.R., "Performance Analysis of Voice/Data Integrated CDMA System with QOS Constraints," *IEICE Trans. Comm.*, Vol.E79-B, No.3(1996), pp.384-391.

[3] Kumar, S. and Vaman, D.R., "An Access Protocol for Supporting Multiple Classes of Service in a Local Wireless Environment," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol.45, No.2(1996), pp.288-302.

[4] Raychaudhuri, D. and Wilson, N.D., "ATM-Based Transport Architecture for Multiservices Wireless Personal Communication Networks," *IEEE JSAC*, Vol.12, No.8(1994), pp.1401-1414.

[5] Esmaillzadeh, R., et. al, "Spread Spectrum Slot Reservation Multiple Access," *Proc. of IEEE ICC '96*, pp.1715-1719.

[6] Narasimhan, P. and Yates, R.D., "A New Protocol for the Integration of Voice and Data over PRMA," *IEEE JSAC*, Vol.14, No.4(1996), pp.623-630.

[7] Brand, A.E. and Aghvami, A.H., "Performance of a Joint CDMA/PRMA Protocol for Mixed Voice/Data Transmission for Third Generation Mobile Communication," *IEEE JSAC*, Vol.14, No.9(1996), pp.1698-1707.

[8] Guo, N., et. al, "Common Packet Data Channel (CPDC) for Integrated Wireless DS-

CDMA Network," *IEEE JSAC*, Vol.14, No. 4(1996), pp.735-749.

[9] Wilson, N.D., et. al, "Packet CDMA Versus Dynamic TDMA for Multiple Access in an Integrated Voice/Data PCN," *IEEE JSAC*, Vol.11, No.6(1994), pp.870-884.

[10] Goodman, D.J., Valenzuela, R.A., Gayliard, K.T. and Ramamurthi, B., "Packet Reservation Multiple Access for Local Wireless Communications," *IEEE Trans. Commun.*, Vol.37, No.8(1989), pp.885-890.

[11] Wang, L., Wu, J. and Aghvami, A.H., "Performance of CDMA/PRMA with Adaptive Permission Probability Control in Packet Radio Networks," *IEEE 49th Vehicular Technology Conference* (1999), pp.2044-2048.

[12] Mori, K. and Ogura, K., "An Adaptive Permission Probability Control Method for Integrated Voice/Data CDMA Packet Communications," *IEICE Trans. Fundamentals*, Vol.E81-A, No.7(1998), pp.1339-1348.

[13] Brand, A.E. and Aghvami, A.H., "Multidimensional PRMA with Prioritized Bayesian Brodcast-A MAC Strategy fo Multiservice Traffic over UMTS," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, Vol.47, No.4(1998), pp.1148-1161.

[14] Yeh, S.C., Wu, J.S. and Liang, Y.C., "Dynamic Accommodation of the Permission Probability over the Joint Voice/Data Frame Reservation Multiple Access," *Computer Communication*, Vol.22(1999), pp. 1260-1265.

[15] Kang, S.Y., Kook, K.H. and Lee, K.W., "An Adaptive Channel Access Control Method for CDMA/PRMA," *IEICE Trans. Commun.*, Vol.E86-B, No.1(2003), pp.1-15.

[16] IEEE 802.16.3p-00127, "Proposal on Traffic Models," Jan. 2001.