

멀티미디어 서비스를 위한 이동통신 트래픽 처리 기법

이 문 호[†] · 김 병 기[†] · 이 형^{††}

요 약

무선 메시지 전송, 무선 데이터 베이스, 이동 컴퓨팅 등에 대한 관심이 증대됨에 따라 이동 데이터 서비스를 효과적으로 수용할 수 있는 방안이 절실하게 요구되고 있다. 본 논문에서는 음성 뿐 아니라 다양한 데이터의 서비스 특성을 동시에 고려하여 음성과 데이터에 대해 보다 균형된 서비스 품질을 제공하기 위한 트래픽 처리 방법을 제안하고 이 방법의 성능을 분석하였다. 성능분석 결과에 따르면 제안된 방법은 이전의 방법에 비해 데이터 품질을 개선할 수 있으며, 데이터의 부하 크기에 무관하게 허용가능한 수준의 음성 블러킹율을 동시에 제공할 수 있음이 확인되었다. 특히 메시지형 데이터 서비스도 혼합된 환경하에서는 성능향상 효과가 더 크다.

A Traffic Handling Scheme for Multi-Media Mobile Communication

Moon Ho LEE[†] · Byung-Gi KIM[†] · Hyoung LEE^{††}

ABSTRACT

As the greater interests are focused onto wireless message transfer, wireless data base access and mobile computing, the techniques for integrating various data services into the mobile communication systems are seriously needed. In this paper we propose a traffic handling scheme to provide mixed media services more effectively, and analyze its performance. The proposed scheme was found to improve data performances and, regardless of varying data traffic load, provide acceptable level of blocking rate to voice services simultaneously. Also it is more effective for message-oriented data services.

1. 서 론

이동통신은 최근까지 음성통신 서비스를 위주로 발전하여 왔으나 무선 팩시밀리, 무선 메시지 전송, 무선 화일 전송, 무선 데이터베이스 액세스 및 이동 컴퓨팅(mobile computing) 등에 대한 관심이 증가됨에 따라 이동 데이터 서비스를 효과적으로 수용할 수 있는 방안이 요구된다[1]. 이동통신 시스템은 통신 매

체인 주파수 자원의 제한과, 사용자 또는 통신 단말기의 이동이라는 주요한 특징을 가지는데 이러한 특성에 구애되지 않고 통신서비스 품질을 허용 가능한 수준으로 만족시키면서 동시에 채널을 효율적으로 활용하기 위한 시도로서 많은 방법들이 제안되이나 이 방법들은 음성 서비스를 위주로 고안된 것이다[2-4]. 한편 ATM 네트워크에서는 망자원을 효율적으로 활용하고 여러 종류의 트래픽에 대해 각각 요구되는 서비스 품질을 제공하기 위하여 많은 우선순위 기법들이 연구되어 왔다[5-7]. 하지만 이동통신에서 이러한 방법들을 적용하려면, 트래픽을 생성하는 단말기나 사용자의 이동에 따르는 현상들을 비롯하여 여러가

[†] 정 회 원: 숭실대학교 컴퓨터학부

^{††} 종신회원: 대전대학교 정보통신공학과

.. 논문접수: 1995년 12월 2일, 심사완료: 1996년 2월 23일

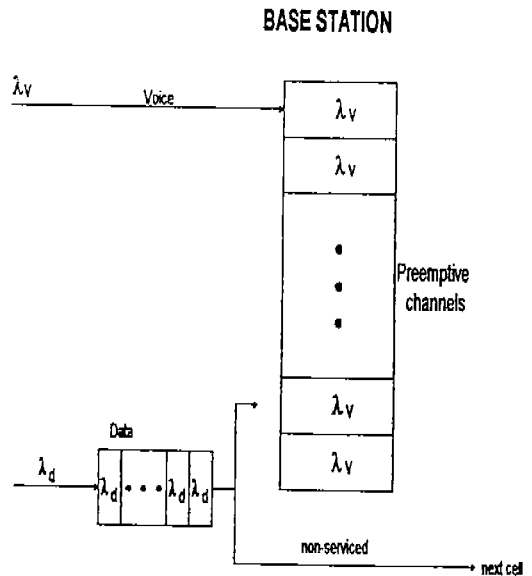
지 사항들을 추가로 고려하여야 한다. 이동통신 시스템에서의 혼합트래픽 처리에 관한 연구는 미미한 상태이다. F.N.Pavlidou는 음성과 데이터를 혼합하여 서비스하는 이동통신 시스템의 기지국(Base Station)에서 트래픽을 신규발신 음성호, 핸드오프 음성호, 신규발신 데이터, 핸드오프 데이터로 분류하여 처리하는 방법에 대하여 시뮬레이션에 의하여 성능을 분석하였다[8]. 이 방법은 유휴 채널 부족시 핸드오프 데이터를 버퍼에 대기시킴으로써 데이터의 성능은 개선되지만 음성의 서비스 품질에 좋지 않은 영향을 미치게 된다. 음성의 서비스 품질을 개선할 필요성을 인식하여 [9]에서는 신규 트래픽과 핸드오프 트래픽을 구분하지 않고 동등하게 처리하는 기지국에서 음성 트래픽에게 우선권(preemptive priority)을 부여하는 방법을 제시하고 이 방법에 대한 수학적 모델의 해(closed form solution)를 구할 수 있음을 확인하였다. 그러나 [9]의 방법은 음성에게 채널 사용의 우선권 뿐 아니라 버퍼에 관해서도 우선권을 부여하기 때문에 데이터의 품질에 좋지 않은 영향을 줄 것으로 판단된다.

본 논문에서는 [9]의 방법을 개선한 트래픽 처리 방법을 제안하고 분석적 방법과 시뮬레이션에 의해 성능을 분석한 후 [9]의 트래픽 처리 방법과 비교함으로써 음성과 데이터에 대해 균형된 서비스 품질을 제공하기 방안을 모색하고자 한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 본 논문에서 제안하는 트래픽 처리 방법에 대해 기술하고 3장에서는 이 방법에 대한 수학적 모델을 제시하며 4장에서는 시뮬레이션에 의해 성능을 분석하고 균형된 서비스 품질을 제공할 수 있는 방안을 모색하며 5장에서는 결론을 제시한다.

2. 제안시스템

제안하는 트래픽 처리 방법에 대해 기술하기 위하여 본 논문에서 고려하는 이동통신 시스템과 트래픽에 대해 다음 사항들을 가정한다. 이동통신 시스템을 구성하는 각 셀의 직경은 L 미터이고 그 중앙에 기지국이 위치하며 각 기지국은 각기 C 개의 채널과 $K-C$ 크기의 버퍼를 갖는다. 여기서 K 는 기지국 시스템이 보유하는 자원의 크기이며 바꾸어 말하자면 기지국

시스템내에 최대 존재할 수 있는 트래픽의 총수를 나타낸다. 한편 이동통신 시스템에서 수용할 트래픽은 각각 다음과 같은 특성을 갖는다. 음성 트래픽은 실시간 전달이 요구되므로 지연에 지극히 민감하며 주요한 서비스 품질 척도는 호 블러킹율, 강제종료율이다. 이에 비하여 TCP(Transmission Control Protocol), FTP(File Transfer Protocol)과 같은 연결형(connection-oriented) 데이터 트래픽은 실시간 특성이 작아서 지연에 덜 민감하며 주요한 품질 척도는 블러킹율, 과부하 확률 및 평균 과부하 기간이다. 전자우편 및 페이징(paging)과 같은 메시지형(message-oriented) 데이터 트래픽에 대해서는 약간의 지연이 허용되며 주요한 품질 척도는 블러킹에 의한 메시지 또는 패킷의 손실이다[10].



(그림 1) 제안 시스템

(Fig. 1) Operation rule of the proposed system

각 기지국 시스템은 다음과 같이 동작한다. 우선 시스템내에 유휴채널이 있을 때 도착하는 음성과 데이터는 각각 도착된 순서에 따라 채널을 할당받는다. C 개 채널 전부가 이미 사용되고 있는 상태에서 도착되는 데이터는 유휴 채널이 생길 때까지 버퍼에서 대기하며 이 버퍼마저도 가득 찬 경우에는 폐기된다.

만편 음성인 경우에는 채널 전부 사용되고 있더라도 그 중에 데이터가 사용하는 채널이 있으면 그 채널을 빼앗아 사용할 수 있으며(preemptive priority), 채널 전부를 다른 음성 호가 이미 사용 중인 경우에는 버퍼에 들어가지 않고 봉쇄된다. 이 때 그 채널을 점유하고 있던 데이터는 채널을 빼앗긴 순서대로 버퍼에서 대기하다가 유휴 채널이 생기면 서비스가 중단되었던 지점에서 부터 서비스를 계속 받게 된다(resume). 또한 처음부터 채널을 할당받지 못한 데이터와, 채널을 빼앗긴 데이터가 함께 존재할 경우 채널을 빼앗겼던 데이터가 먼저 채널을 사용한다(Head Of Line queue). 채널을 할당받은 트래픽은 그 셀에서 서비스가 끝나거나, 이동체가 셀을 벗어날 때 채널을 내어 놓고 그 기지국(Base Station)에서 떠난다. 그리고 버퍼 내의 데이터 트래픽은 해당 이동체가 이동하여 셀에서 벗어날 때 까지 채널을 받지 못하면 다음 셀로 넘겨져 같은 과정을 거치게 된다. 그림 1은 제안하는 방법을 보인다.

3. 시스템 모델

2장에서 제안된 트래픽 처리 방법에 대한 모델을 유도하기 위하여 다음의 사항들을 가정한다. 먼저 음성 트래픽과 데이터 트래픽은 각각 평균 도착율 λ_v, λ_d 의 포아송 과정에 따라 기지국 시스템에 도착하는 것으로 가정한다. 그리고 임의의 이동체가 셀에서 머무를 수 있는 시간, 즉 체류 시간(dwell time) t_Q 는 셀의 크기와 이동체의 속도에 의해 좌우되는데 여기서는 평균 $\bar{T}_Q (= 1/\mu_Q)$ 의 지수분포를 따른다고 가정한다[11-12]. 한편 호 지속시간, 즉 서비스 소요 시간(unencumbered service duration)과 체류 시간이 서로 독립적인 지수분포를 가지면 채널 점유 시간(channel holding time)은 음성과 데이터 각각에 대해서 평균 $1/\mu_v, 1/\mu_d$ 인 지수분포를 따르는 것으로 가정할 수 있다[11].

이제 임의의 주어진 시점에서 시스템 내에 존재하는 음성 트래픽과 데이터 트래픽의 수를 나타내는 확률 변수를 각각 i, j 로 표시하고 시스템 내에 i 개의 음성 트래픽과 j 개의 데이터 트래픽이 존재할 확률을 $P_{i,j}$ 로 표시하면 이 시스템에 대한 상태 방정식은 다음의 식으로 주어진다.

$$[\lambda_v + \lambda_d + i\mu_v + j\mu_d] P_{i,j} = \lambda_v P_{i-1,j} + \lambda_d P_{i,j-1} + (i+1)\mu_v P_{i+1,j} + (j+1)\mu_d P_{i,j+1}$$

for $i + j < C$ (1)

$$[\lambda_v + \lambda_d + i\mu_v + (C-i)\mu_d + (j-C+i)\mu_Q] P_{i,j} = \lambda_v P_{i-1,j} + \lambda_d P_{i,j-1} + (i+1)\mu_v P_{i+1,j} + (C-i)\mu_d P_{i,j+1} + (j-C+i)\mu_Q P_{i,j+1}$$

for $i < C, K > i + j \geq C$ (2)

$$[\lambda_d + C\mu_v + j\mu_Q] P_{i,j} = \lambda_v P_{i-1,j} + \lambda_d P_{i,j-1} + (j+1)\mu_Q P_{i,j+1}$$

for $i = C, j < K - i$ (3)

$$[\lambda_v + i\mu_v + (C-i)\mu_d + (K-C)\mu_Q] P_{i,j} = \lambda_v P_{i-1,j} + \lambda_d P_{i,j-1} + \lambda_v P_{i-1,j}$$

for $i < C, j = K - i$ (4)

$$[C\mu_v + (K-C)\mu_Q] P_{i,j} = \lambda_v P_{i-1,j} + \lambda_d P_{i,j-1} + \lambda_v P_{i-1,j+1}$$

for $i = C, j = K - i$ (5)

그리고 음성은 채널 사용에 있어서 데이터에 비해 preemptive priority를 가지므로 다음의 식이 성립한다.

$$P_{i,0} = P_{0,0} \frac{1}{i!} \left(\frac{\lambda_v}{\mu_v} \right) \quad \text{for } 0 \leq i \leq C \quad (6)$$

또한 모든 확률 값을 더하면 1 이어야 하므로 다음의 식이 성립한다.

$$\sum_i \sum_j P_{i,j} = 1 \quad (i=0, 1, 2, \dots, C, j=0, 1, 2, \dots, K-i) \quad (7)$$

위에서 정의된 식 (1)~(7)으로부터 $P_{i,j} (i=0, 1, \dots, C, j=0, 1, \dots, K-i)$ 에 대한 해를 구한 다음 이를 이용하여 다음과 같은 성능 파라미터들을 얻을 수 있다.

우선 음성과 데이터가 기지국내에서 채널을 획득하지 못할 확률, 즉 블러킹율은 각각 다음의 식으로 주어진다.

$$P_{Bv} = \sum_{j=0}^{K-C} P_{C,j} \quad (8)$$

$$P_{Bd} = \sum_{i=0}^C P_{i,K-i} \quad (9)$$

다음으로 시스템 내에 존재하는 음성과 데이터의 평

군 갯수 \bar{N}_v, \bar{N}_d 는 각각 다음의 식으로 주어진다.

$$\bar{N}_v = \sum_{i=0}^C \sum_{j=0}^{K-i} i P_{i,j} \quad (10)$$

$$\bar{N}_d = \sum_{i=0}^C \sum_{j=0}^{K-i} j P_{i,j} \quad (11)$$

Little의 정리를 이용하여 다음의 식으로부터 음성과 데이터가 시스템에서 소비하는 평균 시간을 구한다 [12].

$$\bar{T}_v \lambda_v = \bar{N}_v \quad (12)$$

$$\bar{T}_d \lambda_d = \bar{N}_d \quad (13)$$

또한 데이터가 채널을 할당받기 위하여 대기열에서 기다려야 하는 평균 지연시간 \bar{T}_{qd} 은 시스템에서 소비한 시간에서 채널 점유시간을 뺀 값이므로 다음의 식이 성립된다[12].

$$\bar{T}_{qd} = \bar{T}_d - 1/\mu_d \quad (14)$$

마지막으로 실패확률, 즉 데이터가 버퍼에 들어 왔으나 채널을 할당받지 못한 채 다음 셀로 넘어 갈 확률 P_{fd} 을 구한다. 먼저 데이터가 채널을 획득하기 위해서 대기열에서 기다려야 하는 시간을 의미하는 확률 변수를 t_d 로 표시하면, 데이터를 생성한 이동체의 t_d 가 t_d 보다 작을 때 채널을 할당받지 못하므로 다음의 식이 성립한다.

$$P_{fd} = \sum_{i=0}^C \sum_{j=C-i+1}^{K-i} P_{i,j} \cdot \text{Prob}(t_d < t_d) \quad (15)$$

여기서 t_d 가 각각 평균 $1/\omega_d$ 의 지수 분포를 갖는다고 가정하면 $\text{Prob}(t_d < t_d)$ 는 다음의 식에 의해 주어진다.

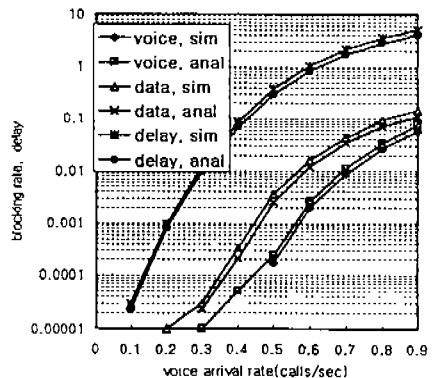
$$\begin{aligned} \text{Prob}(t_d < t_d) &= \int_0^\infty [1 - F_{t_d}(t)] \cdot f_{t_d}(t) dt \\ &= \int_0^\infty e^{-\omega_d t} \cdot f_{t_d}(t) dt = \frac{\mu_Q}{\omega_d + \mu_Q} \quad (16) \end{aligned}$$

이상과 같이 정의되는 파라미터들에 의해 시스템의 성능을 평가할 수 있다.

4. 시뮬레이션 및 성능 분석

제안 시스템의 성능을 평가하고 수학적 모델을 검증하기 위하여 컴퓨터 시뮬레이션을 행하였다.

시뮬레이션에 적용된 시스템 환경은 다음과 같다. 이동통신 시스템을 구성하는 셀의 직경은 1000 미터이고 셀의 중앙에 기지국이 위치하며 각 기지국은 총 28개의 채널과 크기 8의 버퍼를 갖는다. 그리고 이동체가 호를 개시할 때의 셀 안에서의 위치는 균일 분포를 따르고 이동체 속도는 최저 10 미터/초, 최고 20 미터/초의 균일 분포를 가지며, 초기에 결정된 이동 속도와 이동 방향은 셀 경계를 벗어날 때까지 일정하게 유지한다. 입력 트래픽은 포아송 분포(Poisson distribution)을 따르며 음성과 데이터에 대해 각각 10만 개 정도를 생성하였다. 한편 채널점유 시간은 셀 크기, 이동 속도 등에 의해 좌우되어 직접 규정할 수 없으므로 독립 변수인 호 지속 시간, 즉 서비스 소요시간을 시뮬레이션을 위한 변수로 사용한다. 이 때 음성의 평균 서비스 소요 시간은 100 초로 하고, 데이터의 평균 서비스 소요 시간은 이것이 트래픽 처리 방법의 성능에 미치는 영향을 고려하기 위하여 100초, 10초인 두 가지 경우를 고려하였다. 그리고 비교를 위하여 제안 시스템 이외에도 [9]의 방법, 즉 음성에게 채널 사용에 대한 preemptive priority를 부여하고 유휴 채널 부족시 음성과 데이터 모두를 HOL 버퍼에 대기시키는 방법에 대해서도 시뮬레이션을 행하였다. 그림들의 범례에서 p는 제안 시스템을, p/b는 [9]의 방



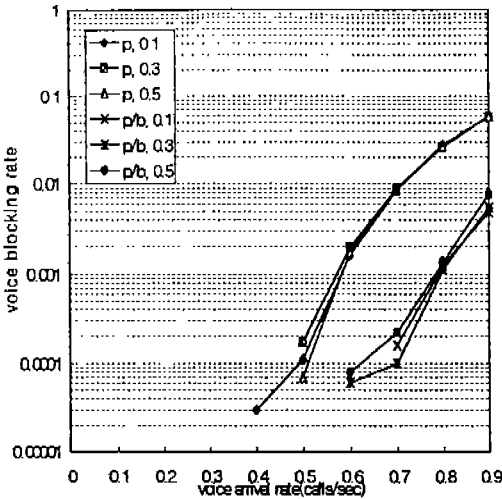
(그림 2) 시뮬레이션과 분석적 방법의 비교
(Fig. 2) Simulation and analytical results

법을 의미하며 p 또는 p/b 다음의 숫자는 데이터 트래픽의 평균 도착율을 나타낸다.

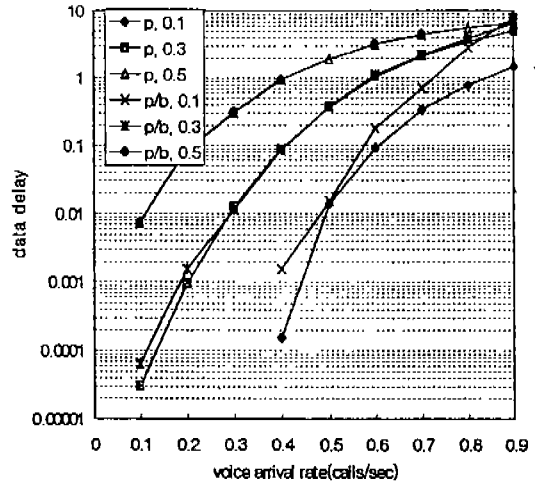
그림 2는 데이터의 평균도착율 0.3, 평균 서비스 소요 시간이 100초인 경우에 대해 시뮬레이션과 분석적 방법에 의해 얻은 음성 블러킹율, 데이터 블러킹율, 데이터의 평균 지연시간을 보이며 다소의 오차가 있음을 알 수 있다.

그림 3, 4, 5, 6은 데이터의 평균 서비스 소요 시간이

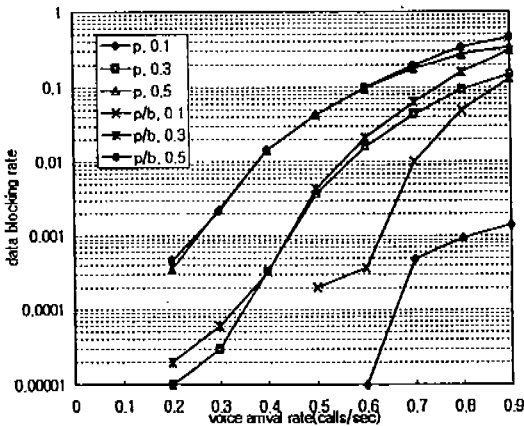
100초인 경우에 이들 방법에 대한 음성 블러킹율, 데이터 블러킹율, 데이터의 평균 지연시간 그리고 데이터의 실패 확률, 즉 데이터가 채널을 받지 못한 채널로 넘겨질 확률을 보인다. 그림 3에서 나타난 바와 같이 제안 시스템은 [9]의 방법과 비교할 때 음성 블러킹율이 다소 크다. 그러나 그림 4, 5, 6에서 알 수 있듯이 제안 시스템은 데이터 부하가 작은 경우 [9]의 방법과 비교할 때 데이터 블러킹율이 아주 작으



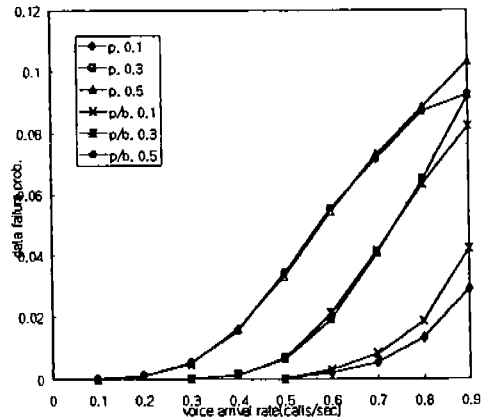
(그림 3) 음성의 블러킹율
(Fig. 3) Blocking rate of voice call



(그림 5) 데이터의 지연시간
(Fig. 5) Queueing delay of data



(그림 4) 데이터의 블러킹율
(Fig. 4) Blocking rate of data



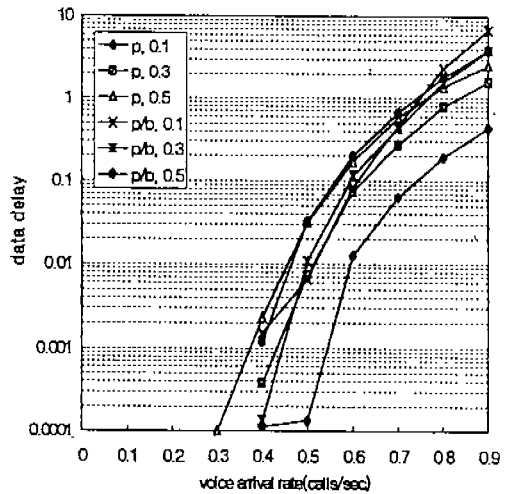
(그림 6) 데이터의 실패 확률
(Fig. 6) Failure probability of data

며 지연시간과 실패확률도 작다. 그림 5에서 데이터 도착율이 0.5 일때는 두 방법의 지연시간이 거의 일치하는 것으로 나타났다. 특기할만한 것은 데이터 부하가 커지면 제안시스템과 [9]의 방법의 차이가 작아진다는 점이다. 이것은 두 방법 모두 음성에게 preemptive priority를 부여하므로, 유휴채널 부족에 의해 버퍼에 들어 갈 음성의 수가 아주 작기 때문이다. 즉 데이터 부하가 커지면 [9]의 방법과 같이 음성을 버퍼에 대기시킨다 하더라도 버퍼내의 음성 수가 데이터 수에 비해 지극히 작게 되어 데이터의 성능에 큰 영향을 주지 못하기 때문이다.

그림 7, 8, 9는 데이터의 평균 서비스 소요 시간이 10초인 경우에 대한 두가지 방법의 데이터 블러킹율, 지연시간과 실패확률을 보인다. 두 방법 모두에 대해 음성의 블러킹율은 데이터의 평균 서비스시간 크기에 의해 영향을 받지 않기 때문에 그림 3과 동일하다. 그리고 그림 7에서 나타나지 않은 것이 있는데 이것은 제안 시스템에서 데이터 도착율이 0.1일 때는 음성 도착율 0.9의 경우를 제외하고는 데이터 블러킹이 관측되지 않았기 때문이다. 이 그림들에서 확인할 수 있는 바와 같이 데이터의 평균 서비스 시간이 작아지면 제안 시스템은 전 데이터 부하 범위에서 10^{-1} 이

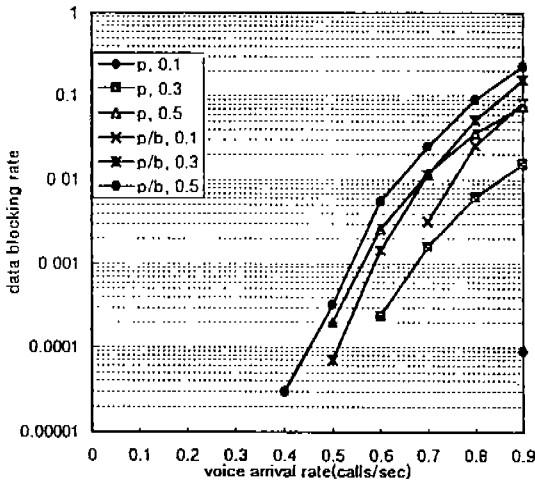
하의 데이터 블러킹율과 3초 이내의 지연시간을 달성할 수 있으며 실패 확률도 작아진다.

성능 분석 결과를 종합하면 제안 시스템은 [9]의 방법과 비교할 때, 데이터의 품질을 개선할 수 있으며 전 부하 범위에서 음성에 대해서도 허용가능한 수준의 블러킹율을 제공하기 때문에 음성과 데이터 사이에 보다 균형된 서비스 품질을 제공할 수 있다. 또한



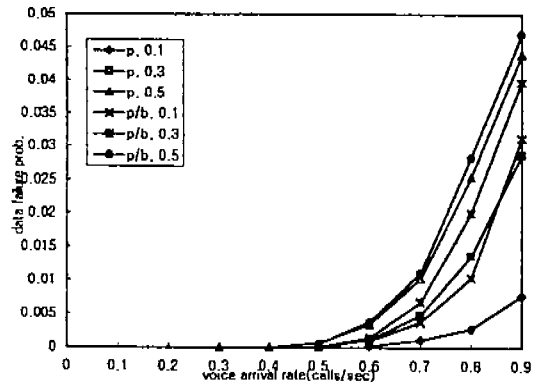
(그림 8) 데이터의 지연시간 (데이터 서비스 소요 시간 = 10초)

(Fig. 8) Queueing delay of data (data service duration = 10 sec)



(그림 7) 데이터의 블러킹율 (데이터 서비스 소요 시간 = 10초)

(Fig. 7) Blocking rate of data (data service duration = 10 sec)



(그림 9) 데이터의 실패 확률 (데이터 서비스 소요시간 = 10초)

(Fig. 9) Failure probability of data (data service duration = 10 sec)

제안 시스템은 메시지형 데이터 트래픽과 같이 평균 서비스 시간이 작은 경우에, 데이터에 대한 서비스 품질 개선 효과가 더 크다.

5. 결 론

음성과 데이터를 혼합하여 서비스하는 이동통신 기지국을 위한 트래픽 처리 방법을 제안하고 이에 대한 수학적 모델을 제시하고 검증하였으며 시뮬레이션에 의해 제안 시스템의 성능을 분석하였다. 성능 분석 결과에 의하면 제안시스템은 이전의 방법 보다 데이터 품질을 개선할 수 있으며 음성에 대해서도 허용 가능한 수준의 블러킹율을 제공함으로써 음성과 데이터에 대해 보다 균형된 서비스 품질을 제공할 수 있음이 확인되었다. 특히 제안 시스템은 데이터의 평균 서비스 소요 시간이 짧아짐에 따라 전 부하범위에서 10^{-1} 이하의 블러킹율과 3초 이내의 지연시간을 달성할 수 있으며, 향후 널리 보급될 메시지 또는 패킷 지향의 서비스를 혼합하여 제공하는 이동통신 시스템에 적용될 경우에는 성능 향상 효과가 더 크다.

참 고 문 헌

- [1] K. Rattay, "Wireless Messaging," *AT&T Technical Journal*, pp. 14-20, May/June 1994.
- [2] S. Tekinay and B. Jabbari, "Handover and Channel Assignment in Mobile Cellular Networks," *IEEE Communications Magazine*, vol. 29, no. 11, pp. 42-46, Nov. 1991.
- [3] Y.B. Lin, S. Mohan and A. Noerpel, "Queueing Priority Channel Assignment Strategies for PCS Handoff and Initial Access," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 43, no. 3, pp. 704-712, Aug. 1994.
- [4] Q.A. Zeng, K. Mukumoto and A. Fukuda, "Performance Analysis of Mobile Cellular Radio System with Priority Reservation Handoff Procedures," *Proceedings of IEEE 44th Vehicular Technology Conference*, pp. 1829-1823, Jun. 1994.
- [5] R. Chipalkatti, J.F. Kurose and D. Towsle, "Scheduling Policies for Real-Time and Nonreal-Time Traffic in a Statistical Multiplexer," *Proceedings of IEEE INFOCOM '89*, pp. 774-783, 1989.
- [6] P. Yegani, M. Krunz and H. Hughes, "Congestion Control Schemes in Prioritized ATM Networks," *Proceedings of IEEE ICC '94*, vol. 2, pp. 1169-1173, May 1994.
- [7] M.H. Lee, Y.S. Mun and B.G. Kim., "Performance Analysis of Delay-Loss Priority Control Mechanism using Markov Modulated Arrival Stream," *Proceedings of IEEE GLOBECOM '95*, pp. 1417-1421, Nov. 1995.
- [8] F.N. Pavlidou, "Mixed Media Cellular Systems," *IEEE Transactions on Communications*, vol. 42, no. 2/3/4, pp. 848-853, Feb./Mar./Apr., 1994.
- [9] F.N. Pavlidou, "Two-Dimensional Traffic Models for Cellular Mobile Systems," *IEEE Transactions on Communications*, vol. 42, no. 2/3/4, pp. 1505-1511, Feb./Mar./Apr., 1994.
- [10] A.S. Acampora and M. Naghshineh, "Control and Quality of Service Provisioning in High Speed Microcellular Networks," *IEEE Personal Communications*, pp. 36-42, Second Quarter, 1994.
- [11] R.A. Guerin, "Channel Occupancy Time Distribution in a Cellular Radio System," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 35, no. 3, pp. 89-99, Aug., 1987.
- [12] D.H. Hong and S.S. Rappaport, "Traffic Model and Performance Analysis for Cellular Mobile Radio Telephone Systems with Prioritized and Non-prioritized Handoff Procedures," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 35, no. 3, pp. 77-92, Aug. 1986.
- [13] L. Kleinrock, *Queueing Systems, vol. I Theory*, New York, Wiley Interscience, 1975.



이 문 호

- 1977년 서울대학교 졸업(공학사)
- 1993년 숭실대학교 정보과학대학원 전산공학과(공학석사)
- 1995년 숭실대학교 대학원 전산학과 박사과정 수료

1979년~1984년 한국전자통신연구소
 1985년~1991년 현대전자(주)
 현재 숭실대학교 강사
 관심분야: ATM, 이동통신, 컴퓨터구조



이 형

- 1964년 서울대학교 사범대학 수학교육과 졸업(이학사)
- 1971년 성균관대학교 경영대학원(전자계산학 전공)
- 1992년 조선대학교 대학원 전산전공(공학박사)
- 현재 대전대학교 공과대학 교수

관심분야: 컴퓨터 통신, 그래픽스



김 병 기

- 1977년 서울대학교 전자공학과 졸업(공학사)
- 1979년 한국과학기술원 전산학과 졸업(이학석사)
- 1979년~1982년 경북대학교 전자공학과 전임강사

1982년~현재 숭실대학교 컴퓨터학부 교수
 관심분야: ATM, 이동통신, 컴퓨터 구조