

# 음성/데이터 통합 이동통신시스템에서의 서비스 품질을 고려한 가격결정모델

정희원 김 환 선\*

## Pricing Decisions to Control Quality-of-Service In Integrated Voice/Data Mobile Communication System

Whan-Seon Kim\* *Regular Member*

요 약

본 연구논문에서는 소비자의 서비스 품질에 따른 지불의사를 고려하여 음성/데이터 통합 이동통신서비스 제공업자의 수익을 극대화시키는 최적 가격을 결정하는 모델을 제시한다 특히 고려되는 음성서비스 및 데이터서비스의 가격방식은 현재 우리나라 이동통신서비스의 회선요금제와 패킷요금제를 각각 적용한다 이 모델은 소비자들이 핸드오프중 발생하는 통화단절에 매우 민감하게 반응한다는 가정하에, 기지국이 무선채널을 할당함에 있어서 핸드오프 트래픽만이 독점사용할 수 있는 가드채널을 할당하는 방안을 고려하며, 더불어 서비스제공업자가 통화단절율의 서비스 품질을 소비자군에게 보장하는 경우를 고려한다 궁극적으로 이 모델은 단기적으로 가격전략 및 무선채널 할당정책에 의존하여 서비스 품질을 개선 보장할 수 있는 방안을 제시하며, 그 결과 시스템자원의 확충없이도 수익과 서비스 품질의 개선 보장간에 상충관계가 존재함을 보여준다

**Key Words** Integrated Voice/Data Mobile Communication System, Quality of Service, Willingness to Pay, Time-sensitive Pricing, Volume-sensitive Pricing

ABSTRACT

This paper presents a pricing model for maximizing a service provider's profit, taking into account consumers' quality-of-service dependent willingness to pay, in integrated voice/data mobile services For the voice and the data services, time-sensitive pricing and volume-sensitive pricing mechanism will be applied, respectively, as in the case of Korea's mobile service market. Assuming that consumers are very sensitive to call interruption during handoff moments, the model presented here considers reserving guard channels exclusively for handoff traffic, in the process of frequency channels allocation, as well as guaranteeing consumers quality of service regarding call interruption rate Ultimately, this model proposes a means to guarantee the quality of service in the short term, through pricing strategies as well as channel allocation policies, and the simulation results show that without expanding system resources, there exists a trade-off between profit and quality-of-service guarantee

### I 서 론

최근 이동통신 기술의 발전으로 인해 서비스 품질이 향상되고 서비스 가격이 하락함에 따라 전세

계적으로 이동통신서비스 가입자가 급격히 증가하는 추세이다. 특히 멀티미디어 데이터를 위한 무선인터넷 활용이 증가함에 따라, 음성/데이터 통합 이동통신서비스에 대한 소비자의 수요가 더욱 증가할 것

\* 명지대학교 정보통신경영대학원(whankim@mju.ac.kr)  
논문번호 KICS2004-05-021, 접수일자 2004년 5월 31일

으로 예상되고 있다. 또한 서비스의 공급측면에 있어서 이동통신사업자들간의 경쟁이 심화됨에 따라, 제한된 주파수 자원의 효율적 활용을 통해 더 많은 수요를 수용함으로써, 소비자들의 만족도와 사업자의 수익을 동시에 증대시킬 수 있는 방안에 대한 연구가 요구되는 실정이다.

소비자들이 중요하게 인식하는 서비스의 품질측면에 있어서, 실시간 처리가 요구되는 음성서비스의 경우 핸드오프도중 발생하는 통화단절은 소비자들의 만족도에 매우 심각한 영향을 미칠 수 있다 특히 한정된 주파수 자원하의 서비스 수요 증가는 한 기지국(Base Station)이 관할하는 서비스 영역인 셀(Cell)의 크기를 점점 작게함으로써 그만큼 핸드오프되는 트래픽의 비율이 증가하게 된다 따라서 한 셀내에서 음성서비스 트래픽을 처리함에 있어서, 새로 발생하는 신규 음성트래픽보다 핸드오프되어 진입하는 음성트래픽에 우선권을 주는 기본적인 방법으로 '가드채널 예약방식(Guard Channel Reservation Scheme)'이 연구되어 왔다[1][2] 가드채널 예약방식은 핸드오프 음성트래픽만이 독점적으로 사용할 수 있는 무선채널들을 할당하여 핸드오프도중의 통화단절을 감소시킴으로써 소비자들의 만족도 저하를 방지하고자 하는데 목적이 있다 한편 데이터서비스의 경우는, 실시간 처리를 필요로 하지 않는 대부분의 경우 대기버퍼를 사용하여 위와 같은 핸드오프 문제를 어느 정도 해결할 수 있다[3].

또한 음성/데이터 통합 이동통신시스템에 있어서 주파수대역폭을 더욱 효율적으로 활용하기 위한 방안으로 '유휴음성채널 활용방식(Movable Boundary Scheme)'이 연구되어 왔다[2][3][4] 유휴음성채널 활용방식은 현재 사용되고 있지 않은 음성채널을 데이터서비스를 위해 임시 할당함으로써 데이터서비스의 품질을 향상시킴과 동시에 사업자의 수익을 증대시키기 위함이다

음성/데이터 통합 이동통신서비스에 관한 기존의 연구논문들은 대부분 서비스 품질을 분석하기 위한 시스템의 성능분석 측면에 치중되어 왔으며, 서비스의 가격측면을 연구한 논문은 극히 드물다 본 연구 논문은 기존에 각기 독립적으로 수행되어져 온 이동통신시스템 측면의 성능분석모델과 이동통신서비스 측면의 소비자분석모델에 관한 연구를 서로 결합/연계하여 가격을 매개로한 상호작용을 분석한다는 점에서 의의가 있다. 특히 기존의 연구에서 다루어지지 않은 서비스 수요를 서비스 품질을 반영하

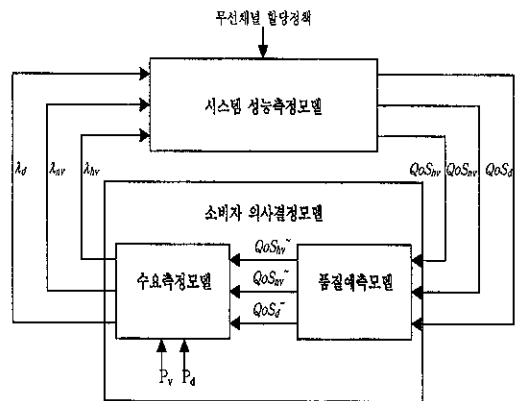
는 소비자 지불의사를 기반으로 측정하는 방법을 제시하며, 이를 통해 음성 및 데이터 서비스의 최적 가격을 결정하는 모델을 구축하는 것이 본 연구논문의 목적이다

본 연구논문의 구성은 다음과 같다. II장에서 가격결정모델의 개요를 설명하고 모델의 가정을 제시한다 III장에서는 적용된 무선채널 할당방식에 대해 설명하고, 기지국시스템의 성능을 측정하기 위한 수학적 모델을 제시한다. IV장에서는 소비자들이 예측하는 서비스 품질과 소비자 수요를 측정하기 위한 소비자 의사결정모델을 제시한다. V장에서는 III장의 시스템행위(system behaviour)모델과 IV장의 소비자행위(consumer behaviour)모델을 결합하여 실질적인 시뮬레이션을 수행한 후 결과를 해석한다 마지막으로 VI장에서는 결론을 제시하고 시사점을 도출한다.

## II 가격결정모델의 개요

### 1. 음성/데이터 통합 서비스의 가격결정모델

음성/데이터 통합 서비스의 가격결정모델은 그림 1과 같다 그림 1에서 보는 바와 같이, 전체 모델은 크게 두개의 모델, 즉 시스템 성능측정모델과 소비자 의사결정모델로 구성되며, 이 중 소비자 의사결정모델은 세부적으로 품질예측모델과 수요측정모델로 구성된다



- $\lambda_{sr}$  핸드오프 음성서비스 수요
- $\lambda_{sr}$  신규 음성서비스 수요
- $\lambda_d$  데이터서비스 수요
- $QoS_{sr}$  측정된 핸드오프 음성서비스 품질
- $QoS_{sr}^e$  예측된 핸드오프 음성서비스 품질
- $QoS_{sr}$  측정된 신규 음성서비스 품질
- $QoS_{sr}^e$  예측된 신규 음성서비스 품질
- $QoS_d$  측정된 데이터서비스 품질
- $QoS_d^e$  예측된 데이터서비스 품질
- $P_v$  음성서비스 가격
- $P_d$  데이터서비스 가격

그림 1 음성/데이터 통합 서비스의 가격결정모델

시스템 성능측정모델은 궁극적으로 이동통신시스템을 통해서 제공되는 서비스의 품질에 대한 지표를 제공해 준다. 시스템 성능측정모델은 음성 및 데이터 서비스에 대한 수요와 서비스제공업자의 무선채널 할당정책을 기반으로 각 서비스의 품질(Quality-of-Service or QoS)을 측정한다. 특히 음성 서비스에 있어서 트래픽이 핸드오프되는 도중에 통화가 단절될 경우 서비스 품질에 심각한 영향을 미치므로, 발생하는 신규 트래픽 수요와 핸드오프 트래픽 수요를 구분하여, 핸드오프 트래픽을 차별화하여 처리한다. 반면에 데이터서비스 트래픽은 버퍼를 통하여 핸드오프 트래픽의 단절 가능성을 낮춤으로써, 신규 및 핸드오프 트래픽 수요를 구분하지 않는다. 시스템 성능측정모델에 대한 보다 자세한 내용은 III장에서 살펴보기로 한다.

소비자 의사결정모델은 품질예측모델과 수요측정모델로 구성된다. 품질예측모델은 소비자들이 현재 및 과거에 측정된 서비스 품질의 정보를 바탕으로 현재에 예측하는 서비스 품질을 산출한다. 여기서 예측되는 서비스 품질이 실제의 수요를 측정하는 수요측정모델에 사용되어진다. 품질예측모델과 수요측정모델에 대한 보다 자세한 내용은 IV장에서 살펴보기로 한다.

그림 1에서 가격벡터 ( $P_v, P_d$ )와 무선채널 할당정책으로 수요벡터 ( $\lambda_m, \lambda_n, \lambda_d$ )와 서비스 품질벡터 ( $QoS_m, QoS_n, QoS_d$ )를 제어할 수 있음을 알 수 있다. 또한 시스템 성능측정모델, 품질예측모델, 수요측정모델이 모두 폐쇄루프(closed loop)로 연결되어 있으며, 각기 다른 가격벡터에 따라 유한한 루프회전 후에, 균형점에서 각기 다른 수요벡터와 서비스 품질벡터로 수렴하게 된다<sup>1)</sup>. 이 가격결정모델의 궁극적인 목적은 최대의 수익을 제공하는 최적의 가격벡터를 찾는 것이다.

## 2 모델의 가정

- 소비자들이 이동통신서비스를 이용하기 위해서는 미리 사업자를 선정하여 가입하여야 한다. 따라서 어느 한 이동통신사업자가 현재의 수익을 극대화하기 위해 고려해야 하는 전체 소비자군은 자사 서비스에 사전 가입한 모든 가입자로 국한하여 정의될 수 있다.

1) 엄밀히 말하지면, 수렴하도록 유도할 수 있다. 좀 더 자세한 내용은 IV장에서 다루도록 한다.

- 모든 기지국의 셀들이 통계적으로 동질적인(homogenous) 트래픽 특성을 갖는다는 가정하에, 본 연구논문의 모델은 한 기지국의 셀을 모델링한다.
- 고려되는 셀의 소비자군 크기 및 구성원 특성(예, 소득, 기호, 자불의사 등)이 단기적으로 변화하지 않는다고 가정한다. 수익 및 서비스 품질의 변화는 가격전략과 기지국내 무선채널 할당정책에 의해서만 가능하며, 셀 분할을 통한 새로운 기지국의 확충을 통해 수요의 증가를 흡수함으로써 수익 및 서비스 품질을 개선할 수 있는 중·장기적인 방안은 고려되지 않는다. 즉 이 모델은 시스템자원에 대한 새로운 투자없이도 단기적으로 서비스의 품질을 개선할 수 있는 방안을 제시해 준다.
- 고려되는 셀의 기지국시스템과 직접적으로 관련된 서비스 품질만을 고려하며, 기지국이외의 시스템<sup>2)</sup> 및 네트워크<sup>3)</sup>에 기인한 서비스 품질의 악화는 발생하지 않거나 소비자가 수용할 수 있는 범위 내에 있음을 가정한다.
- 고려되는 음성서비스 및 데이터서비스의 가격방식은 현재 우리나라의 이동통신서비스에 적용되고 있는 회선요금제<sup>4)</sup>와 패킷요금제<sup>5)</sup>를 각각 적용하기로 한다. 또한 이 모델에서 고려하는 가격은 기본료를 제외한 사용료(통화료)에 국한하며, 특히 데이터서비스의 사용료는 콘텐츠별 데이터 유형에 관계없이 동일한 요금을 부과하는 단순모델이다.

그 밖의 각 세부모델과 관련된 구체적인 가정들은 III장과 IV장에서 언급하기로 한다.

## III. 시스템 성능측정모델

### 1 무선채널 할당정책

기지국의 무선채널 모델이 그림 2에 나타나 있음

- 
- 2) 이동국 및 이동전화교환국 등
  - 3) 음성서비스를 위한 공공교환전화망(PSTN) 및 데이터서비스를 위한 인터넷망 등
  - 4) 음성통화시간에 비례하여 요금을 부과하는 방식이며, 우리나라의 경우 1도수=10초 단위로 요금을 부과한다
  - 5) 데이터량에 비례하여 요금을 부과하는 방식이며, 우리나라의 경우 1패킷=512Bytes 단위로 요금을 부과한다

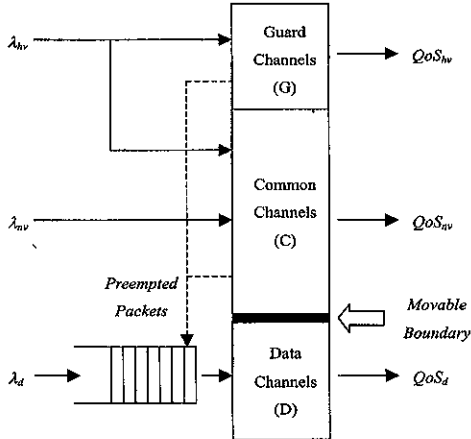


그림 2 기지국내 무선채널 모델

며, 다음과 같은 두가지의 무선채널 할당방식을 제시하고 있다

1) 핸드오프 음성트래픽을 위한 독점채널(가드채널) 예약방식

그림 1의 공동채널들(Common Channels)은 신규 및 핸드오프 음성트래픽들이 공동으로 사용하며, 가드채널들(Guard Channels)은 핸드오프 음성트래픽만이 사용가능하도록 함으로써, 두 종류의 음성트래픽을 구분하여 차별적으로 처리한다.

2) 데이터트래픽을 위한 유휴음성채널 활용방식

데이터트래픽의 패킷들은 그림 2의 데이터채널들(Data Channels)을 독점적으로 사용하게 되며, 사용 가능한 무선채널이 없을 경우 버퍼에서 대기한 후 처리되므로 지연(delay)이 발생하게 된다. 이러한 지연을 최소화하며 전체 주파수대역폭의 효율적인 활용을 위한 유휴음성채널 활용방식은, 음성서비스를 위한 가드채널과 공동채널들을 유희기간(idle time) 동안 데이터트래픽이 임시적으로 사용가능하도록 하는 방식이다<sup>6)</sup>. 하지만 음성트래픽은 가드채널과 공동채널을 우선적으로 사용할 권한이 부여되므로, 그 채널들을 사용중인 데이터트래픽의 패킷들을 필요시 언제든지 제거하고 사용할 수 있으며, 제거된 패킷들은 그림 2에 나타난 바와 같이 버퍼의 맨 앞으로

6) 본 연구논문에서 제시된 가드채널과 공동채널 모두를 임시적으로 사용하도록 하는 방식은, 공동채널만을 임시적으로 사용하도록 하는 기존의 방식<sup>[2]</sup>과 비교하여 주파수 대역폭 사용효율을 더욱 개선시키는 방식이다

이동하여 빈 채널을 기다리게 된다.

궁극적으로 시스템 성능측정모델은, 제시된 무선 채널 할당정책 및 각 서비스의 수요를 기반으로 관련된 서비스 품질에 대한 정보를 제공해 준다 본 연구논문에서는 신규 음성서비스와 관련된 서비스 품질을 '접속실패율(blocking probability)'로, 핸드오프 음성서비스와 관련된 서비스 품질을 '통화단절율(disconnecting probability)'로 국한한다. 또한 그림 2의 버퍼크기가 충분히 커서 접속실패 및 패킷손실이 발생하지 않는다는 가정하에<sup>7)</sup>, 데이터서비스와 관련된 서비스 품질을 '평균지연(average delay)'으로 국한한다. 이 모델에서 사용되는 서비스 품질 지표들은 실질적으로 사용자들이 매우 민감하게 인식하는 경험적 요소들이다

2 기지국시스템 성능측정모델의 수학적 분석

모델에 적용되는 구체적인 가정 및 사용되는 기호들은 다음과 같다.

- 그림 2의 가드채널에 할당된 채널 수를 G, 공동채널에 할당된 채널 수를 C, 그리고 데이터채널에 할당된 채널 수를 D로 표시하며, 모두 채널당 동일한 주파수대역폭이 할당된다
- 한 셀에서 발생하는 각 서비스에 대한 요청은 포아송과정(Poisson process)에 의해 발생되며, 구체적인 서비스 요청율(즉, 단위시간<sup>8)</sup>당 수요)은 다음과 같은 기호들을 사용한다
  - $\lambda_{nv}$  신규 음성서비스 요청율
  - $\lambda_{hv}$  핸드오프 음성서비스 요청율
  - $\lambda_d$  데이터서비스 요청율
- 분(minutes) 단위로 표시되는 음성통화의 길이는 평균이  $1/\mu_v$ 인 지수분포(exponential distribution)를 따르고, 따라서 채널당 음성서비스 처리율은  $\mu_v$ 이다
- 바이트(bytes) 단위로 표시되는 서비스당 이용데이터량은 평균이  $1/\mu_s$ 인 지수분포를 따르며, 각 채널은 데이터서비스를 패킷단위로 처리한다. 하나의 패킷을 처리하는데 걸리는 채널당 서비스

7) 데이터서비스에 대해 패킷요금제를 적용함을 고려할 때, 버퍼크기가 충분히 커서 패킷손실이 발생하지 않는다고 가정함으로써, 그렇지 않을 경우 손실되는 패킷에 대해 요금을 지불해야 하는 불합리성을 배제할 수 있다

8) 이 모델에서의 단위시간은 모두 '1분'으로 통일한다

시간은 평균이  $1/\mu_d$ 인 지수분포를 따르며, 따라서 채널당 데이터서비스 처리율은  $\mu_d$ 이다.

- 각 서비스의 구체적인 서비스 품질은 다음과 같다.
  - $QoS_{nv}$  신규 음성서비스의 접속실패율
  - $QoS_{hv}$  핸드오프 음성서비스의 통화단절율
  - $QoS_d$  데이터서비스의 평균지연

1)  $QoS_{nv}$  &  $QoS_{hv}$

데이터트래픽을 위한 유휴음성채널 할당은 음성서비스의 품질에 아무런 영향을 미치지 않는다 음성트래픽이 가드채널과 공동채널을 사용중인 데이터트래픽의 패킷들을 필요시 언제든지 제거하고 사용할 수 있기 때문이다 따라서  $QoS_{nv}$ 와  $QoS_{hv}$ 를 구하기 위해, 그림 2의 G+C 채널을 D 채널로부터 독립적으로 분리하여 수학적으로 분석할 수 있다

G+C 채널의 활용가능 상태(state)를 나타내는 벡터  $(n_{nv}, n_{hv})$ 를 정의해 보도록 하자 여기서  $n_{nv}$ 는 현재 시스템에서 처리중인 신규 음성통화의 수를 나타내며,  $n_{hv}$ 는 현재 시스템에서 처리중인 핸드오프 음성통화의 수를 나타낸다. 이 경우 활용가능한 모든 상태를 나타내는 상태공간(state space)을  $\Omega$ 라고 표시하기로 한다 위에서 제시된 가정들을 기반으로, 신규 음성서비스의 접속실패율과 핸드오프 음성서비스의 통화단절율을 구하기 위해 얼랑손실모델(Erlang Loss Model)<sup>[5]</sup>을 적용하는 것이 가능하며, 두가지 등급(2-class) 서비스의 정상상태확률  $P(n_{nv}, n_{hv})$ 는 단순히 정상상태확률  $P(n_{nv})$ 과 정상상태확률  $P(n_{hv})$ 의 곱의 형태(product form)로 표현될 수 있다<sup>[9],[10]</sup>.

$$P(n_{nv}, n_{hv}) = P(n_{nv}) * P(n_{hv}) = \frac{\left[ \left( \frac{\lambda_{nv}}{\mu_v} \right)^{n_{nv}} / n_{nv}! \right] \left[ \left( \frac{\lambda_{hv}}{\mu_v} \right)^{n_{hv}} / n_{hv}! \right]}{K_1} \quad (1)$$

여기에서 정규화 상수  $K_1$ 는 다음과 같다

$$K_1 = \sum_{(n_{nv}, n_{hv}) \in \Omega} \left\{ \left[ \left( \frac{\lambda_{nv}}{\mu_v} \right)^{n_{nv}} / n_{nv}! \right] \left[ \left( \frac{\lambda_{hv}}{\mu_v} \right)^{n_{hv}} / n_{hv}! \right] \right\} \quad (2)$$

한편 상태공간  $\Omega$ 중에서 신규 음성서비스의 접속 실패와 관련된 경계상태(boundary state)들의 집합을  $\Omega_{nv}$ , 핸드오프 음성서비스의 통화단절과 관련된 경계상태들의 집합을  $\Omega_{hv}$ 라고 표시할 때, (1)과 (2)로부터  $QoS_{nv}$ 와  $QoS_{hv}$ 를 각각 다음과 같이 구할 수 있다

$$QoS_{nv} = \frac{\sum_{(n_{nv}, n_{hv}) \in \Omega_{nv}} P(n_{nv}, n_{hv})}{K_1} = \frac{\sum_{(n_{nv}, n_{hv}) \in \Omega_{nv}} \left\{ \left[ \left( \frac{\lambda_{nv}}{\mu_v} \right)^{n_{nv}} / n_{nv}! \right] \left[ \left( \frac{\lambda_{hv}}{\mu_v} \right)^{n_{hv}} / n_{hv}! \right] \right\}}{K_1} \quad (3)$$

$$QoS_{hv} = \frac{\sum_{(n_{nv}, n_{hv}) \in \Omega_{hv}} P(n_{nv}, n_{hv})}{K_1} = \frac{\sum_{(n_{nv}, n_{hv}) \in \Omega_{hv}} \left\{ \left[ \left( \frac{\lambda_{nv}}{\mu_v} \right)^{n_{nv}} / n_{nv}! \right] \left[ \left( \frac{\lambda_{hv}}{\mu_v} \right)^{n_{hv}} / n_{hv}! \right] \right\}}{K_1} \quad (4)$$

2)  $QoS$

음성트래픽은 데이터서비스의 품질에 영향을 미친다 즉 유휴음성채널 활용방식에 의해 음성트래픽의 양에 따라 데이터트래픽에 할당될 수 있는 채널의 수가 변화하기 때문이다. 본 연구논문에서는  $QoS_d$ 의 근사해를 구하기 위한 수학적 분석방법을 제시하기로 한다<sup>[9]</sup>

데이터트래픽의 패킷지연은 M/M/D+a/∞ 큐잉모델을 적용하여 근사해를 구할 수 있다<sup>[2],[8]</sup>. 여기서 a는 가드채널과 공동채널에서 현재 처리중인 음성트래픽의 수에 따라 결정된다 즉 'a=G+C-(n<sub>nv</sub>+n<sub>hv</sub>)'이다 또한 앞에서 버퍼의 크기가 패킷손실이 발생하지 않을 만큼 충분히 크다고 가정하였으므로 이론상 큐의 길이를 ∞로 한다. 현재 패킷이 사용가능한 총 채널수를 N이라고 할 때 다음과 같이 표시할

9) 상태공간 다이어그램이 'Coordinate-Convexity Property'<sup>[6]</sup>를 가지고 있을 경우에 해당된다

10) 2차원 Markov chain 및 z-transform을 적용하여 정확한 해를 구하는 방법은 [2],[7]을 참조하기 바란다

수 있다.

$$N = D + a = G + C + D - (n_{nv} + n_{hv}) \quad (5)$$

기호 N을 사용하여 제시된 큐잉모델을 M/M/N/∞로 단순하게 표시하기로 한다

음성트래픽의 현재 상태가 (n<sub>nv</sub>, n<sub>hv</sub>)일 경우, 패킷의 정상상태확률 P(n<sub>d</sub>)를 구해보도록 하자 여기서 n<sub>d</sub>는 현재 시스템(무선채널과 버퍼 모두 포함)에서 처리중인 패킷의 수를 나타낸다 M/M/N/∞ 큐잉모델에서 P(n<sub>d</sub>)는 다음과 같다<sup>[5]</sup>.

$$P(n_d) = \begin{cases} \frac{\left[ \left( \frac{\lambda_d}{\mu_d} \right)^{n_d} / n_d! \right]}{K_2}, & 0 \leq n_d \leq N \\ \frac{\left[ N^N \left( \frac{\lambda_d}{N\mu_d} \right)^{n_d} / N! \right]}{K_2}, & n_d \geq N + 1 \end{cases} \quad (6)$$

여기서 정규화 상수 K<sub>2</sub>는 다음과 같다.

$$K_2 = \sum_{n_d=0}^N \left[ \left( \frac{\lambda_d}{\mu_d} \right)^{n_d} / n_d! \right] + \frac{N^N \left( \frac{\lambda_d}{N\mu_d} \right)^{N+1}}{1 - \frac{\lambda_d}{N\mu_d}} \quad (7)$$

(5), (6), (7)과 Little's Result<sup>[5]</sup>를 이용하여, 음성 트래픽의 현재 상태가 (n<sub>nv</sub>, n<sub>hv</sub>)일 경우의 평균 패킷 지연 T를 다음과 같이 구할 수 있다

$$T = \frac{\sum_{n_d=0}^{\infty} n_d P(n_d)}{\lambda_d} \quad (8)$$

여기서 T는 n<sub>nv</sub>과 n<sub>hv</sub>를 매개변수로 가지므로, T(n<sub>nv</sub>, n<sub>hv</sub>)라는 함수로 표현할 수 있다

궁극적으로 우리가 구하고자 하는 QoS<sub>d</sub>는 (1)의 정상상태확률 P(n<sub>nv</sub>, n<sub>hv</sub>)를 이용하여 다음과 같이 구할 수 있다.

$$QoS_d = \sum_{(n_{nv}, n_{hv}) \in \Omega} P(n_{nv}, n_{hv}) T(n_{nv}, n_{hv}) \quad (9)$$

이 장의 기지국시스템 성능측정모델에서 구한 서비스 품질 QoS<sub>nv</sub>, QoS<sub>hv</sub>, QoS<sub>d</sub>는 궁극적으로 다음 장에서 소개될 소비자 의사결정모델의 입력매개변수로 사용될 것이다

#### IV. 소비자 의사결정모델

##### 1. 품질예측모델

소비자들이 예측하는 서비스의 품질은 서비스구매에 대한 의사결정에 영향을 미치는 중요한 변수이다 이 장에서 소개하는 품질예측모델은, 소비자들이 현재 및 과거에 측정된 서비스 품질의 정보를 바탕으로 현재에 예측하는 서비스 품질을 산출한다 여기서 예측되는 서비스 품질이 수요측정모델의 입력매개변수로 사용되어진다

소비자들이 현재 및 과거의 서비스 품질에 대한 정보를 얻는 경로는 체험, 구전(mouth-to-mouth), 광고 등 여러 가지가 있을 수 있다 소비자는 현재의 서비스 품질을 예측함에 있어서 이러한 정보들을 종합적으로 이용하여 판단하는 경향이 있다. 이러한 경향을 지수평활법<sup>[11]</sup>(exponential smoothing)을 사용하여 다음과 같이 이산적 시간(discrete time) 수학모델로 표현할 수 있다<sup>[9]</sup>.

$$QoS_i^-(t) = (1-w) * QoS_i(t) + w * QoS_i(t-1), \quad w \in [0,1], \quad (i = nv, hv \text{ 또는 } d) \quad (10)$$

여기서 t는 시간영역을 단위시간을 기준으로 분할한 경우의 현재 시점을 의미하고, t-1은 현재 바로 이전 시점을 의미한다. w는 가중치(weight)를 의미한다 이러한 모델을 ‘창의 크기(window size)가 2인 적응적 예측모델(adaptive expectation model)’이라고 부른다<sup>[10]</sup> 여기서 창의 크기가 2이라는 의미는 예측을 하는데 있어서 두 시점(t와 t-1)의 데이터가 사용되었음을 뜻한다

(10)에서 t가 커짐에 따라 QoS<sub>i</sub><sup>-</sup>(t)가 궁극적으로 안정적인 균형상태에 도달하도록 유도하는 것이 가능할 수 있다. 즉 그림 1에서 어느 특정 가격벡터와

11) 가장 최근 데이터에 가장 큰 가중치를 부여하고 시간이 지남에 따라 가중치를 기하학적으로 감소시키는 수학적 기법이다

무선채널 할당정책에 대해  $w$ 를 조절함으로써,  $QoS_i^-(t)$ 가 균형상태에서 고정점(fixed point)의 서비스 품질벡터로 수렴하도록 유도하는 효과를 낼 수 있다. 결국 서비스 품질벡터가 수렴하면 수요벡터도 안정적으로 수렴하는 결과를 낸다

예를 들어, 어느 특정 가격벡터와 무선채널 할당 정책에 대해  $w$ 가  $[a,b]$ 인 구간( $0 \leq a \leq w \leq b \leq 1$ )에서 서비스 품질벡터가 안정적으로 수렴한다고 가정해 보자 여기서 주목할 사항은  $w$ 가  $[a,b]$ 구간 중 어떤 값을 취하더라도 서비스 품질벡터가 같은 고정점으로 수렴한다는 것이다<sup>11)</sup> 따라서 수요벡터도 고정점으로 수렴하게 되며, 결과적으로  $V$ 장에서 언급될 궁극적으로 구하고자 하는 수익도 고정점으로 수렴하게 된다.

적용적 예측모델에서 일반적으로  $w$ 의 값이 커질 수록, 즉 소비자들이 과거의 정보에 더 많은 비중을 둘수록, 균형상태에서 안정적으로 수렴할 확률이 커진다<sup>11)</sup> 따라서 서비스 제공업자가 안정적인 시스템 작용(system behavior)을 얻기 위하여 취할 수 있는 방법은, 과거의 서비스 품질 정보를 광고 등을 통하여 소비자들에게 적극적으로 공개함으로써 소비자들이 현재의 서비스 품질을 예측함에 있어서 과거의 정보에 더 많이 의존하도록 유도하는 것이다. 하지만 소비자들로 하여금 무조건 큰 값의  $w$ 를 선택하도록 유도하는 것 또한 바람직하지 않다. 왜냐하면 과거의 서비스 품질 정보를 공개하기 위한 서비스 제공업자의 비용적 측면에 큰 부담이 될 수 있기 때문이다. 따라서 최적의  $w$ , 즉 안정적인 시스템 작용을 가능하게 해주는 최소의  $w$ 를 찾는 것이 바람직하다

한편 (10)의 창의 크기가 2인 적용적 예측모델을 적용하였을 경우, 어떤  $w$ 값에 대해서도 안정적인 시스템 작용을 얻을 수 없는 경우가 발생할 수도 있다 즉 시간에 따른 수요변동의 기복이 심한 상태가 지속되는 경우이다 이러한 경우 서비스 제공업자는 다음의 두가지 방법 중 하나를 적용할 수 있다.

- 병목현상의 원인이 되는 시스템자원을 늘린다
- 적용적 예측모델에서 창의 크기를 늘린다.

전자의 경우, 불안정의 원인을 직접적으로 제거하는 장점이 있기는 하지만, 단기간에 실행할 수 있는 해결책이 되지 못한다는 단점이 있다 후자의 경우는 광고 등의 수단을 통하여 비교적 단기간에 성과를

거둘 수 있지만, 과거의 시스템 성능정보를 공개적으로 노출하고 싶지 않은 서비스 제공업자에게는 좋은 대안이 아닐 수도 있다. 결국 전자는 시스템자원 구매를 위한 비용지출이, 그리고 후자는 광고 등의 비용수반이 불가피하므로, 서비스 제공업자는 비용 대 편익 분석(cost/benefit analysis)을 통해 유리한 방법을 선택하여야 할 것이다

## 2 수요측정모델

어느 한 소비자  $j$ 의 지불의사(willingness-to-pay)를 나타내는 변수를 다음과 같이 정의하기로 한다.

- $WTP_v^j = f_1(QoS_{sv}^-, QoS_{hv}^-)$  소비자  $j$ 의 음성 서비스에 대한 지불의사를 나타내며,  $QoS_{sv}^-$ 와  $QoS_{hv}^-$ 의 함수이다
- $WTP_d^j = f_2(QoS_d^-)$  소비자  $j$ 의 데이터서비스에 대한 지불의사를 나타내며,  $QoS_d^-$ 의 함수이다

이제 소비자  $j$ 의 효용함수(utility function)를 다음과 같이 정의한다

$$U_v^j = WTP_v^j - P_v \tag{11}$$

$$U_d^j = WTP_d^j - P_d \tag{12}$$

여기서  $U_v^j$ 는 음성서비스에 대한 소비자  $j$ 의 효용을 나타내며, 예측되는 서비스 품질( $QoS_{sv}^-$  및  $QoS_{hv}^-$ )에 따른 지불의사와 음성서비스 가격( $P_v$ )의 함수이다 마찬가지로  $U_d^j$ 는 데이터서비스에 대한 소비자  $j$ 의 효용을 나타내며, 예측되는 서비스 품질( $QoS_d^-$ )에 따른 지불의사와 데이터서비스 가격( $P_d$ )의 함수이다. 여기서  $P_v$ 는 회선요금제 가격이며  $P_d$ 는 패킷요금제 가격이므로,  $WTP_v^j$ 는 도수당 지불의사로,  $WTP_d^j$ 는 패킷당 지불의사로 해석될 수 있다

궁극적으로, 소비자  $j$ 는 다음과 같은 기준에 의해 서비스구매에 대한 의사결정을 내리게 된다

- ' $U_v^j \geq 0$ '일 경우 음성서비스 구매  
' $U_v^j < 0$ '일 경우 음성서비스 구매포기<sup>12)</sup>
- ' $U_d^j \geq 0$ '일 경우 데이터서비스 구매  
' $U_d^j < 0$ '일 경우: 데이터서비스 구매포기<sup>13)</sup>

12) 이동통신 음성서비스의 구매를 포기할 경우, 필요시 다른 대체수단(예 유선 전화)을 이용하는 것이 가능하다

이제 전체 소비자군의 음성서비스에 대한 지불의사 변수를  $WTP_v$ , 전체 소비자군의 데이터서비스에 대한 지불의사 변수를  $WTP_d$ 라고 표시해 보자. 전체 소비자군을 구성하는 개개인의 지불의사는 이질적(heterogeneous)이므로 소비자군의 지불의사 변수  $WTP_v$ 와  $WTP_d$ 는 확률적 분포<sup>14)</sup>를 갖게 된다. 다음과 같이 확률밀도함수에 관한 기호들을 정의해 보도록 하자.

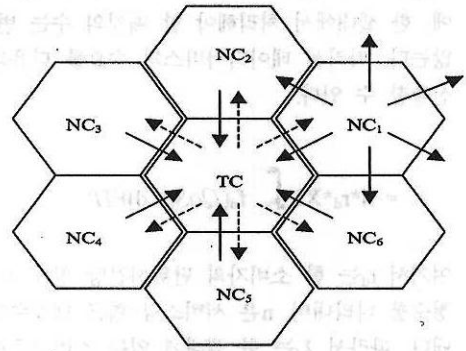
- $f_v(QoS_{nv}, QoS_{hv})$ : 전체 소비자군의 음성서비스에 대한 지불의사 확률밀도함수
- $f_d(QoS_d)$ : 전체 소비자군의 데이터서비스에 대한 지불의사 확률밀도함수

한 셀내의 소비자군 크기를  $X$ 라고 할 때, 그 셀내에서 발생하는 음성서비스의 신규 수요를 다음과 같이 산출할 수 있다.

$$\lambda_{nv} = r_v * X * \int_{p_v}^{\infty} f_v(QoS_{nv}, QoS_{hv}) dWTP_v \quad (13)$$

여기서  $r_v$ 는 한 소비자의 단위시간당 평균 서비스요청수를 나타낸다. 따라서  $\lambda_{nv}$ 는 한 셀내에 있는 소비자들의 신규 음성서비스에 대한 단위시간당 평균 수요(평균 서비스요청수)를 나타낸다.

이제 고려되는 셀내로 핸드오프되어 진입하는 음성서비스의 수요를 구하기 위해, 그림 3의 이론적인 육각형의(hexagonal) 셀 구조를 고려해 보자. II.2절 모델의 가정에서 언급한 바와 같이, 그림 3의 고려되는 셀 TC 및 이웃 셀  $NC_1 \sim NC_6$ 들은 모두 동질적인 트래픽 특성을 갖고 있다. 따라서 각 셀에서 발생하는 신규 음성서비스 수요는  $\lambda_{nv}$ 이며, 이중 핸드오프되어 이웃 셀들로 나가는 비율을  $R^{H/O}$ 라는 기호로 표시하기로 하자. 핸드오프는 사업자의 시스템에 의해서 결정되는 사항이며, 소비자의 의사결정과는 무관하다. 따라서  $\lambda_{hv}$ 는  $\lambda_{nv}$ 처럼 소비자의 의사결정과정을 통해 도출되지 않으며, 소비자의 이동성과 관련된 외생변수  $R^{H/O}$ 에 의해 결정된다.



TC: Target Cell  
NC1~NC6: Neighboring Cells  
: Handoff Traffic

그림 3. 육각형의(hexagonal) 셀 구조

우선 TC의 이웃 셀들 중 하나인  $NC_1$ 을 고려해 보자.  $NC_1$ 에서 핸드오프되어 이웃 셀들로 나가는 음성서비스 수요는 모두  $R^{H/O} * \lambda_{nv}$ 이며,  $NC_1$  또한 TC를 포함한 6개의 셀들과 인접하고 있으므로,  $NC_1$ 으로부터 핸드오프되어 TC로 진입하는 음성서비스 수요는  $(1/6) * R^{H/O} * \lambda_{nv}$ 이다. 궁극적으로  $NC_1 \sim NC_6$ 들로부터 핸드오프되어 TC로 진입하는 음성서비스 수요는 모두  $6 * (1/6) * R^{H/O} * \lambda_{nv} = R^{H/O} * \lambda_{nv}$ 이다. 따라서 (13)으로부터  $\lambda_{hv}$ 를 다음과 같이 산출할 수 있다.

$$\begin{aligned} \lambda_{hv} &= R^{H/O} * \lambda_{nv} \\ &= R^{H/O} * r_v * X * \int_{p_v}^{\infty} f_v(QoS_{nv}, QoS_{hv}) dWTP_v \quad (14) \end{aligned}$$

$\lambda_{hv}$ 는 고려되는 셀에서의 핸드오프 음성서비스에 대한 단위시간당 평균수요(평균서비스요청수)를 나타낸다.

이제 한 셀에서의 데이터서비스 수요를 구해보도록 한다. III장에서 언급한 바와 같이 데이터서비스의 패킷들은 일단 버퍼에 저장된 후 순서대로 처리된다. 그림 3에서 현재 데이터서비스를 받고 있는 소비자가 TC에서  $NC_1$ 으로 핸드오프되어 나가면, 그 소비자의 데이터서비스와 관계된 패킷들이 TC의 버퍼에서 제거된다. 반면에  $NC_1$ 으로부터 TC로 핸드오프되어 진입한 소비자와 관계된 패킷들은 TC의 버퍼로 새로 합류한다. TC와 나머지 이웃 셀들( $NC_2 \sim NC_6$ )과의 관계도 마찬가지이므로, 결국 TC로부터 핸드오프되어 나가는 패킷의 비율과 TC로 헨

13) 이동통신 데이터서비스의 구매를 포기할 경우, 필요시 다른 대체수단(예: 유선 인터넷접속서비스)을 이용하는 것이 가능하다.

14) 이러한 확률적 분포는 전체 소비자군에 대한 표본조사 또는 서베이(Survey) 등을 통하여 구할 수 있다.



드오프되어 진입하는 패킷의 비율이 같다는 가정하에, 한 셀내에서 처리해야 할 패킷의 수는 변화하지 않는다. 따라서 데이터서비스의 수요를 다음과 같이 산출할 수 있다.

$$\lambda_d = n \cdot r_d \cdot X \cdot \int_d f_d(QoS_d) dWTP_d \quad (15)$$

여기서  $r_d$ 는 한 소비자의 단위시간당 평균 서비스요청수를 나타내며,  $n$ 은 서비스당 평균 패킷수를 나타낸다. 따라서  $\lambda_d$ 는 한 셀내에 있는 소비자들의 데이터서비스에 대한 단위시간당 평균수요(평균 패킷수)를 나타낸다.

결과적으로 이 장의 소비자 의사결정모델에서 도출된  $\lambda_{mv}$ ,  $\lambda_{hv}$ ,  $\lambda_d$ 는 III장에서 소개된 시스템 성능측정모델의 입력매개변수로 사용되어진다.

### V. 최적화 문제 및 시뮬레이션

#### 1. 자리올림(Rounding Up)을 통한 회선요금 및 패킷요금 계산법

II.2절 모델의 가정에서 언급한 바와 같이, 음성 서비스는 '1도수=10초' 단위로 요금을 부과하고, 데이터서비스는 '1패킷=512Bytes' 단위로 요금을 부과한다. 따라서 소비자의 총 통화시간을 10초단위로 분할한 뒤, 마지막 통화부분이 10초미만일 경우 10초로 자리올림해야 할 필요성이 발생한다. 마찬가지로 소비자의 총 이용데이터량을 512Bytes 단위로 분할한 마지막 부분이 512Bytes 미만일 경우 512Bytes로 자리올림해야 할 필요성이 발생한다. 이러한 과정은 수학적으로 소비자의 음성통화시간 및 이용데이터량에 관한 연속적(continuous) 분포도를 이산적(discrete) 분포도로 전환하므로써 요금계산이 가능해진다.

분 단위로 표시되는 음성통화시간의 확률밀도함수  $f(t)$ 로, 음성통화의 도수를  $m_v$ 로 표시할 때, 평균 도수  $E[m_v]$ 를 다음과 같이 구할 수 있다.

$$E[m_v] = \sum_{m_v=1}^{\infty} m_v \int_{\frac{m_v-1}{6}}^{\frac{m_v}{6}} f(t) dt \quad (16)$$

마찬가지로, 바이트 단위로 표시되는 이용데이터량의 확률밀도함수를  $f(s)$ 로, 이용데이터량의 패킷수

를  $m_d$ 로 표시할 때, 평균 패킷수  $E[m_d]$ 를 다음과 같이 구할 수 있다.

$$E[m_d] = \sum_{m_d=1}^{\infty} m_d \int_{\frac{m_d-1}{512}}^{\frac{m_d}{512}} f(s) ds \quad (17)$$

우선 음성서비스의 회선요금 계산방식을 유도해 보자. III.2절의 가정에서 언급한 바와 같이, 이 모델의 음성통화시간은 평균이  $1/\mu_v$ [분]인 지수분포를 따르므로, (16)을 이용하여 평균 회선요금을 다음과 같이 산출할 수 있다.

$$\begin{aligned} P_v & \sum_{m_v=1}^{\infty} m_v \int_{\frac{m_v-1}{6}}^{\frac{m_v}{6}} \mu_v e^{-\mu_v t} dt \\ &= P_v \sum_{m_v=1}^{\infty} m_v \left[ e^{-\mu_v \frac{m_v-1}{6}} - e^{-\mu_v \frac{m_v}{6}} \right] \\ &= P_v \left[ \sum_{m_v=1}^{\infty} m_v e^{-\mu_v \frac{m_v-1}{6}} - \sum_{m_v=1}^{\infty} m_v e^{-\mu_v \frac{m_v}{6}} \right] \\ &= P_v \left[ \frac{1}{\left(1 - e^{-\frac{\mu_v}{6}}\right)^2} - \frac{e^{-\frac{\mu_v}{6}}}{\left(1 - e^{-\frac{\mu_v}{6}}\right)^2} \right] \\ &= \frac{P_v}{1 - e^{-\frac{\mu_v}{6}}} \end{aligned} \quad (18)$$

이제 데이터서비스의 패킷요금 계산방식을 유도해 보자. III.2절의 가정에 의해, 서비스당 이용데이터량은 평균이  $1/\mu_s$ [바이트]인 지수분포를 따르므로, (17)을 이용하여 데이터서비스의 평균 패킷요금을 다음과 같이 산출할 수 있다.

$$\begin{aligned} P_d & \sum_{m_d=1}^{\infty} m_d \int_{\frac{m_d-1}{512}}^{\frac{m_d}{512}} \mu_s e^{-\mu_s s} ds \\ &= P_d \sum_{m_d=1}^{\infty} m_d \int_{\frac{m_d-1}{512}}^{\frac{m_d}{512}} \frac{1}{512 n} e^{-\frac{1}{512 n} s} ds \\ &= P_d \sum_{m_d=1}^{\infty} m_d \left[ e^{-\frac{m_d-1}{n}} - e^{-\frac{m_d}{n}} \right] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= P_d \sum_{mv=1}^{\infty} m_d e^{-\frac{md-1}{n}} - \sum_{mv=1}^{\infty} m_d e^{-\frac{md}{n}} \\
 &= P_d \left[ \frac{1}{(1-e^{-\frac{1}{n}})^2} - \frac{e^{-\frac{1}{n}}}{(1-e^{-\frac{1}{n}})^2} \right] \\
 &= \frac{P_d}{1-e^{-\frac{1}{n}}} \quad (19)
 \end{aligned}$$

2. 최적화 문제

궁극적으로 이동통신서비스 사업자의 총수익을 극대화시키는 최적의 가격벡터를 결정하는 모델을 (18)과 (19)를 이용해 다음과 같은 최적화 문제로 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 \text{Max} \quad & [\lambda_{nv} * (1-QoS_{nv}) + \lambda_{hv} * (1-QoS_{hv})] * \frac{P_v}{1-e^{-\frac{\mu_v}{6}}} \\
 & + \frac{P_d}{[\lambda_d/n] * 1 - e^{-\frac{1}{n}}} \quad (20)
 \end{aligned}$$

Subject to:  $QoS_{nv} = g_1(\lambda_{nv}, \lambda_{hv})$  (21)

$QoS_{hv} = g_2(\lambda_{nv}, \lambda_{hv})$  (22)

$QoS_d = g_3(\lambda_{nv}, \lambda_{hv}, \lambda_d)$  (23)

$\lambda_{nv} = h_1(P_v, QoS_{nv}, QoS_{hv})$  (24)

$\lambda_{hv} = h_2(P_v, QoS_{nv}, QoS_{hv})$  (25)

$\lambda_d = h_3(P_d, QoS_d)$  (26)

$P_v, P_d > 0$  (27)

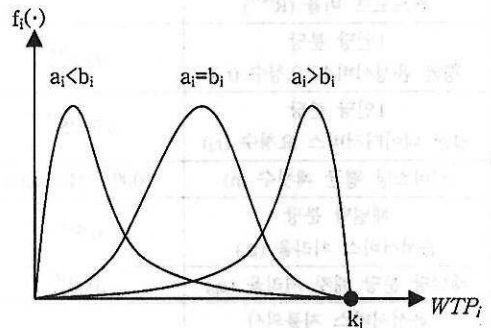
(20)에서  $\lambda_{nv} * (1-QoS_{nv})$ ,  $\lambda_{hv} * (1-QoS_{hv})$ ,  $\lambda_d/n$ 는 모두 한 가지국으로부터 실질적으로 서비스를 제공받는 단위시간(분)당 서비스수요를 의미하며, 따라서 목적 함수(objective function) (20)은 한 가지국의 분당 총수익<sup>15)</sup>을 의미한다. 또한 전체 소비자군의 크기가 유한하며, 소비자의 지불의사 범위가 유한하다는 가정하에<sup>16)</sup>, 위 목적함수의 값(분당 총수익)은 유한한 한계<sup>17)</sup>를 가짐을 알 수 있다. (21)의  $g_1$ , (22)의  $g_2$ , (23)의  $g_3$ 는 각각 시스템 성능측정모델에서의 (3),(4),(9)를, (24)의  $h_1$ , (25)의  $h_2$ , (26)의  $h_3$ 는 각각 소비자 의사결정모델에서의 (13),(14),(15)를 나타내는 비선형(nonlinear) 함수들이다.

위의 최적화 문제를 지금부터 시뮬레이션을 통해 풀어보도록 한다. IV장에서 언급한 적용적 예측모델 기법을 적용함으로써 (21)~(26)는 모두 균형상태에서 수렴하는 고정점을 갖게된다

3. 시뮬레이션 및 결과해석

최적 가격벡터를 찾는 알고리즘을 매서매티카(Mathematica)로 프로그램화한 후 엑셀(Excel)에 연결하여 구현하였다. 그림 1의 루프회전에서 (21)~(26)의 연속된 값들이 모두 1/1000 이하<sup>18)</sup>일 경우 균형상태에서 수렴한 것으로 간주하였다.

소비자의 지불의사분포는 그림 4에 나타난 바와 같이 베타(Beta)확률밀도함수를 사용하였다<sup>19)</sup>. 그림 4에서 음성서비스( $i = v$ )일 경우, 매개변수  $k_v$ 는 확률변수  $WTP_v$ 의 최대값을 의미하며, 따라서 소비자의 지불의사 범위는 '0~ $k_v$ '이다. 마찬가지로 데이터 서비스( $i = d$ )에 대한 소비자의 지불의사 범위는



$i = v$ (음성서비스) 또는  $d$ (데이터서비스)

$f_i(\cdot)$  : 베타(Beta)확률밀도함수

$k_i, a_i, b_i$  : 베타확률밀도함수의 매개변수( $\geq 0$ )

그림 4. 시뮬레이션에 사용된 지불의사분포

15) 이동통신서비스를 제공하는데 드는 비용을 고정비용으로 간주함으로써, 총이윤 극대화 문제는 위의 총수익 극대화 문제로 대체될 수 있다.

16) Finite willingness-to-pay range는 결국 finite price range를 의미한다.

17) Bounded objective function

18) 수렴으로 인정될 수 있는 허용오차가 충분히 적은 값이다

19) 필요한 소비자 지불의사에 대한 데이터가 부재한 상황에서, 유한한 범위를 갖는 분포도중 이 모델에 적합하다고 판단되는 베타분포를 사용하였으며, 이는 후에 다른 분포도로 대체가능하다.

'0~k<sub>d</sub>'이다. 또한 매개변수 a<sub>i</sub>와 b<sub>i</sub>(i= v 또는 d)를 통하여 지불의사 분포를 적절히 조절할 수 있다. 즉 그림 4에서 나타난 바와 같이 매개변수 b<sub>i</sub>의 값이 커질수록(작아질수록) 소비자들의 지불의사 분포가 왼쪽(오른쪽)으로 치우치므로(즉 소비자들의 지불의사가 저하(증가)되므로), b<sub>i</sub>를 소비자들이 예측하는 서비스 품질의 함수로 정의함으로써 소비자들의 지불의사 경향을 반영할 수 있다.

시뮬레이션에 사용된 매개변수들의 값이 표 1에 나타나 있다.

표 1. 시뮬레이션 파라미터

Parameter	Value
기지국의 공동채널 수 (C)	15 (Channels)
기지국의 가드채널 수 (G)	5 (Channels)
기지국의 데이터채널 수 (D)	5 (Channels)
한 기지국 셀의 가입자수 (X)	1000 (명)
음성서비스수요의 핸드오프 비율 (R <sup>HO</sup> )	0.5
1인당 분당 평균 음성서비스 요청수 (r <sub>v</sub> )	0.02 <sup>20)</sup>
1인당 분당 평균 데이터서비스 요청수 (r <sub>d</sub> )	0.0025 <sup>21)</sup>
서비스당 평균 패킷수 (n)	1000 <sup>22)</sup> (Packets)
채널당 분당 음성서비스 처리율 (μ <sub>v</sub> )	0.5 <sup>23)</sup>
채널당 분당 패킷 처리율 (μ <sub>d</sub> )	2000 <sup>24)</sup>
음성서비스 지불의사 범위의 최대값 (k <sub>v</sub> )	50 (원)
데이터서비스 지불의사 범위의 최대값 (k <sub>d</sub> )	10 (원)
지불의사 베타분포 매개변수 (a <sub>v</sub> & a <sub>d</sub> )	a <sub>v</sub> = a <sub>d</sub> = 1 <sup>25)</sup>
지불의사 베타분포 매개변수(b <sub>v</sub> )	QoS <sub>nv</sub> <sup>-</sup> +2QoS <sub>hv</sub> <sup>-</sup> +a <sub>v</sub> <sup>26)</sup>
지불의사 베타분포 매개변수(b <sub>d</sub> )	QoS <sub>nd</sub> <sup>-</sup> +a <sub>d</sub>
시뮬레이션에 사용된 회선요금의 간격 (ΔP <sub>v</sub> )	1 (원)
시뮬레이션에 사용된 패킷요금의 간격 (ΔP <sub>d</sub> )	0.1 (원)

아래의 시뮬레이션에서, 창의 크기가 2인 적용적 예측모델을 적용하였으며, w = 0.5(가중치)를 사용하여 모두 고정점에 수렴할 수 있었다

1) 서비스 품질을 보장하지 않는 경우

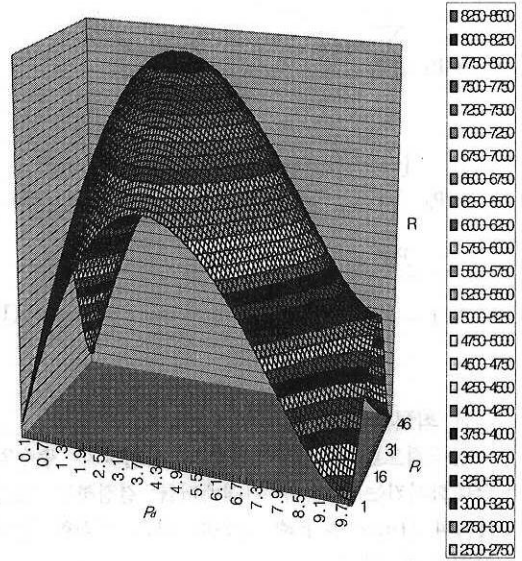


그림 5. 시뮬레이션 결과

시뮬레이션 결과가 그림 5에 나타나 있다. 그림 5에서 3차원 그래프의 표면에 나타나 있는 입자들은 각 가격벡터에 대한 수익을 나타내며, 동일한 수익을 가진 입자들을 연결함으로써 밴드형태의 동일수익곡선(Iso-Revenue Curve)을 얻을 수 있다<sup>27)</sup>. 하지만 동일수익곡선내에서도, 각각의 입자들이 의미하는 시사점은 각기 다르다. 즉 동일한 수익을 제공하지만, 가격벡터가 다르고, 서비스 품질벡터가 다르고, 또한 수요벡터가 다르다. 따라서 서비스 제공업

20) 한 소비자가 1분당 평균 0.02회 음성서비스를 요청하므로, 이는 대략 1시간에 한번 꼴로 서비스요청을 하는 셈이다.

21) 한 소비자가 1분당 평균 0.0025회 데이터서비스를 요청하므로, 이는 대략 하루에 네번 꼴로 서비스요청을 하는 셈이다.

22) '1패킷=512Bytes'으로 환산하였을 경우, 이는 약 0.5Mbytes의 데이터량에 해당된다.

23) 평균 음성통화시간이 약 2분임을 의미한다.

24) 한 채널의 처리속도가 약 136Kbps임을 의미한다.

25) 'a<sub>i</sub>≥1'의 조건을 만족해야만 바람직한(위로 불룩한) 분포도의 모양을 유지할 수 있다.

26) QoS<sub>nv</sub><sup>-</sup>앞의 계수 '2'는 소비자들이 신규 음성서비스의 접속실패보다는 핸드오프도중 발생하는 통화단절에 상대적으로 더 민감하게 반응함을 반영한다.

27) 그림 5는 실질적으로 동일한 수익이라기 보다는 250원 단위로 분할한 밴드형태를 나타낸다. 물론 분할 단위를 더 작게함으로써 더욱 정교한 그래프로 표현할 수 있겠지만, 미관상 250원 단위로 근사화한 그래프를 제시하였다.

자는 동일한 수익을 유지하면서 위와 같은 차별화된 사실들을 전략적으로 활용하는 것이 가능하다. 예를 들어, 동일한 수익을 유지하면서 각 서비스의 품질 및 수요를 전략에 따라 인위적으로 조절하는 것이 가능하다.

그림 5로부터 최적의 가격벡터 및 극대화된 단위 시간당 총수익(R\*)은 다음과 같음을 알 수 있다.

$$(P_v^*, P_d^*) = (31, 4.0); \quad R^* = 8304.99. \quad (28)$$

2) 서비스 품질을 보장<sup>28)</sup>하는 경우

본 연구논문에서는 소비자들이 핸드오프도중 발생하는 통화단절에 상대적으로 더 민감하게 반응한다는 가정하에, 서비스제공업자가 통화단절율(QoS<sub>hv</sub>)만을 보장하는 경우에 국한하여 분석을 수행하기로 한다. 그림 5의 최적점(optimal point)에서의 서비스 품질벡터는 다음과 같다.

$$(QoS_m, QoS_{hv}, QoS_d) = (0.10, 0.08, 0.0005) \quad (29)$$

이제 'QoS<sub>hv</sub> < K'라는 서비스 품질의 구체적인 요건을 충족시켜야 하는 경우를 고려해 보자. 구체적인 예로 'QoS<sub>hv</sub> < 0.01'인 서비스 품질을 보장해야 하는 예를 살펴보도록 한다.

우선 가격전략에 의해 서비스 품질을 보장하는 경우를 살펴보도록 하자. 주어진 서비스 품질을 보장하는 최적의 가격벡터를 찾기위해, 최적화 문제의 제약식 (22)를 다음과 같이 수정해야 한다.

$$QoS_{hv} = g_2(\lambda_{mv}, \lambda_{hv}) < K \quad (30)$$

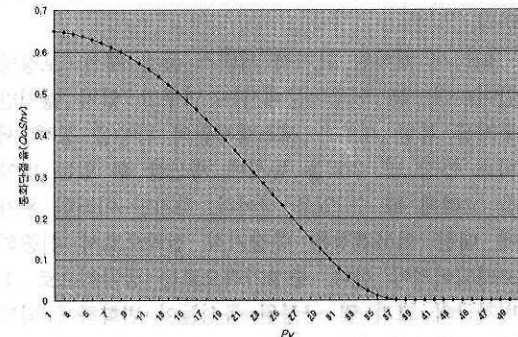


그림 6. 음성서비스 가격에 따른 통화단절율

28) 서비스 품질의 평균치를 보장하므로 통계적 보장 (statistical guarantee)이라고 할 수 있다<sup>[12]</sup>.

그림 6은 주어진 무선채널 할당정책하에서 음성 서비스 가격(P<sub>v</sub>)에 따른 통화단절율(QoS<sub>hv</sub>)의 변화를 보여주고 있다. 즉 가격의 증가에 따른 수요의 감소로 서비스 품질이 개선되는 현상을 보여준다. 결과적으로 그림 5와 그림 6으로부터 'QoS<sub>hv</sub> < 0.01'을 만족하는 새로운 최적점에서의 가격벡터 및 단위시간당 총수익은 다음과 같음을 알 수 있다.

$$(P_v^*, P_d^*) = (36, 4.0); \quad R^* = 7825.69. \quad (31)$$

(31)은 통화단절율을 통계적으로 보장함으로써, 통화단절율을 보장하지 않은 경우의 결과 (28)과 비교하여 수익이 감소함을 보여준다. 즉, 가격의 증가를 통한 수요의 감소는 통화단절율을 향상시키는 효과를 가져다 주지만, 궁극적으로는 수익을 감소시킴을 보여준다.

다음은 가격전략과 더불어 무선채널 할당정책의 유동성을 통해 서비스 품질을 보장하는 경우를 살펴보도록 하자. 즉 주어진 서비스 품질을 보장하는 최적의 가격벡터 및 최적의 무선채널 할당정책을 찾는 것이 목적이다. 그림 7은 가드채널수를 유동적으로 변화시킴과 동시에, 최적화 문제에서 제약식 (30)을 적용하였을 경우의 총수익의 변화를 보여주고 있다. 이를 적용한 새로운 시뮬레이션 결과는 다음과 같다.

$$(P_v^*, P_d^*) = (34, 3.9); \quad G^* = 8; \quad R^* = 7983.54 \quad (32)$$

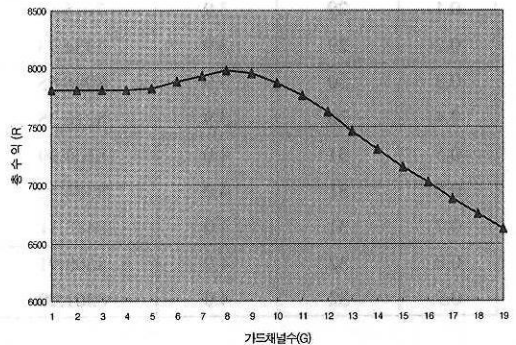


그림 7. 가드채널수에 따른 총수익

(32)는 가격전략에만 의존한 결과인 (31)과 비교하여 가격이 하락하고 총수익이 증가하였음을 알 수 있다. 즉 무선채널을 좀 더 효율적으로 할당함으로써 비롯되는 결과이다.

결과적으로 통화단절율에 관한 서비스 품질을 보장하기 위해 제시된 두가지 방법의 결과를 비교해 보면, 가격전략과 무선채널 할당정책을 조합한 방법이 가격전략에만 의존하는 방법보다 가격의 하락 및 총수익의 상승효과를 가져다 줌으로써, 소비자와 사업자 모두에게 바람직한 결과임을 알 수 있다

3) 시간대별 이동성에 따른 차등적 가격 (Time-of-the-day Pricing) 정책으로의 응용

소비자의 이동성(mobility)은 하루의 시간대별로 상이하다 예를 들어, 대부분 소비자들의 활동시간인 낮시간 중에서도 특히 출·퇴근시간에는 이동성이 증가할 것이며, 비활동시간인 밤시간에는 이동성이 감소할 것이다. 소비자의 이동성을 나타내는 변수인  $R^{H/O}$ 를 사용하여, 하루의 시간대별로 소비자의 이동성이 다르다는 가정하에 이동성의 변화에 따른 최적의 가격 및 총수익을 구해보면 표 2와 같다<sup>29)</sup>.

표 2는 소비자의 이동성이 증가할수록 가격 및 총수익이 증가함을 보여주고 있으며, 특히 소비자의 이동성 정도에 따라 4단계의 차등적 가격배터를 설정할 수 있음을 제시하고 있다. 따라서 시간대별 수요변화의 요인을 이동성에만 국한할 경우, 표 2의 결과를 활용하여 시간대별 차등적 가격정책을 적용하는 것이 가능할 것이다.

표 2 소비자의 이동성에 따른 최적의 가격 및 총수익

$R^{H/O}$	$P_v^*$	$P_d^*$	$R^*$
0.1	29	3.9	7715.72
0.2	29	3.9	7934.73
0.3	30	3.9	8096.65
0.4	30	3.9	8216.35
0.5	31	4.0	8304.99
0.6	31	4.0	8384.12
0.7	31	4.0	8448.11
0.8	32	4.0	8508.91
0.9	32	4.0	8561.90

VI 결론

본 연구논문에서는 소비자의 서비스 품질에 따른

지불의사를 고려하여 이동통신사업자의 수익을 극대화시키는 최적의 가격을 결정하는 모델을 제시하였다. 특히 고려되는 음성서비스 및 데이터서비스의 가격방식은 현재 우리나라 이동통신서비스의 회선요금제와 패킷요금제를 각각 적용하였다 이 모델은 최적의 가격을 설정하기 위해서는, 소비자들의 서비스 품질에 대한 민감도를 파악한 후 수요를 측정하고, 이러한 수요가 다시 서비스 품질에 미치는 영향을 파악하는 등, 보유하고 있는 시스템과 소비자군 간의 상호작용에 대한 면밀한 분석이 선행되어야 함을 시사한다.

이 모델은 소비자들이 핸드오프도중 발생하는 통화단절에 매우 민감하게 반응한다는 가정하에, 기지국이 무선채널을 할당함에 있어서 핸드오프 트래픽만이 독점사용할 수 있는 가드채널을 할당하는 방안을 고려하였으며, 더불어 서비스제공업자가 통화단절율의 서비스 품질을 소비자군에게 보장하는 경우를 고려하였다 결과적으로 통화단절율의 서비스 품질을 보장하기 위해 제시된 두가지 방법의 결과를 비교해 보면, 가격전략과 무선채널 할당정책을 조합한 방법이 가격의 하락 및 총수익의 상승효과를 가져다 줌으로써, 소비자와 사업자 모두에게 바람직한 결과임을 제시하고 있다

그럼에도 불구하고, 통화단절율을 보장하는 경우의 결과인 (31)과 (32)는 통화단절율을 보장하지 않은 경우의 결과 (28)과 비교하여 가격이 상승하고 수익이 감소함을 보여준다. 즉 수익과 서비스 품질의 개선·보장간에는 상충관계가 존재함을 제시한다 궁극적으로 셀 분할을 통한 새로운 기지국의 확충 등 시스템자원의 확충없이 서비스 품질을 개선 보장하기 위해서는 수익의 감소가 불가피함을 의미한다

따라서 제시된 단기적 서비스 품질 개선·보장방안 이외에, 본 연구논문에서는 다루고 있지 않지만 투자를 통한 새로운 시스템자원의 확충을 통해 서비스 품질 및 수익을 동시에 개선할 수 있는 방안을 고려해 볼 수 있을 것이다. 하지만 이러한 투자에 대한 의사결정은 중장기적 전략으로서 신중히 고려되어야 한다 중장기적으로는 궁극적으로 소비자군의 크기 및 구성원 특성들이 변화하게 되므로, 소비자의 지불의사분포 변화를 미리 정확히 예측한 후 투자결정을 해야 할 것이다

이 모델은 무선채널의 할당 및 서비스 품질 보장 측면에 있어서 핸드오프되는 음성트래픽만을 차별적

29) 서비스 품질을 보장하지 않는 경우의 결과이다

으로 처리하고 있다. 같은 원리를 응용하여 핸드오프되는 데이터트래픽까지도 차별적으로 처리함으로써 실시간 데이터서비스에 보다 적합한 확장된 모델을 구축하는 것이 가능할 것이다

### 참 고 문 헌

- [1] 임영훈, 배성수, 오영환, "무선 네트워크에서 신규 호 서비스 향상을 위한 채널할당에 관한 연구," *한국통신학회논문지*, 25(9A), pp 1282-1289, 2000
- [2] W. Gong and Z Gan, "Performance Analysis for Call Admission Control on Voice/Data Integration Mobile Communication System," *Proceedings of the 14th IEEE 2003 International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communication*, pp 50-54, 2003
- [3] Y Haung and Y Lin, "Performance Analysis for Voice/Data Integration on a Finite-Buffer Mobile System," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 49(2), pp 367-378, 2000
- [4] J Wieselthier and A. Ephremudes, "Fixed and Movable Boundary Channel Access Schemes for Integrated Voice/Data Wireless Networks," *IEEE Transactions on Communications*, 43(1), pp 64-74, 1995
- [5] D. Bertsekas, R. Gallager, *Data Networks*, Prentice Hall, 1992
- [6] J. M Aein, "A Multi-User-Class, Blocked-Calls-Cleared, Demand Access Model," *IEEE Transactions on Communications*, 26(3), pp 378-385, 1978
- [7] B. Kraimeche and M Schwartz, "Analysis of Traffic Access Control Strategies in Integrated Service Networks," *IEEE Transactions on Communications*, 33(10), pp 1085-1093, 1985.
- [8] A Leon-Garcia, R Kwong and G. Williams, "Performance Evaluation Methods for an Integrated Voice/Data Link," *IEEE Transactions on Communications*, 30(8), pp 1848-1857, 1982
- [9] C. M. Rump and S. Stidham, "Stability and Chaos in Input Pricing for a Service Facility with Adaptive Customer Response to Congestion," *Management Science*, 44(2), pp. 246-261, 1998
- [10] M Carter and R Maddock, *Rational Expectations*, Macmillan, London, 1984.
- [11] Y. Masuda and S Whang, "Dynamic Pricing for Network Services Equilibrium and Stability," *Management Science*, 45(6), pp 857-869, 1999.
- [12] W Lee, "QoS Provisioning Technologies for Media Streaming Transmission," *Telecommunications Review*, 13(2), pp. 188-197, 2003

김 환 선(Whan-Seon Kim)                                  정희원  
 현재 명지대학교 정보통신경영대학원 조교수  
 <관심분야> 정보통신 경영 및 정책