

# Interactive 데이터 서비스를 위한 무선 패킷망의 성능 분석

조민희, 윤순영  
삼성전자 TN 총괄 통신연구소 차세대시스템기술팀

## Performance of Wireless Packet Access Network for Interactive Data Service

Minhee Cho, Soon Young Yoon  
Next Generation System Technology Lab.  
Telecommunication R&D Center, Samsung Electronics  
E-mail : mini.cho@samsung.com

### Abstract

All-IP 망에서는 core 망 뿐만 아니라 무선망 모두 IP 공유패킷망 (shared packet network)으로 구성된다. 특히 유선망에 비해 대역폭이 제한적인 무선패킷망에서 사용자의 QoS 요구를 만족시키면서 성능을 최대화시키는 것은 매우 중요하다. 본 논문에서는 Web-browsing 과 같은 대화형 (interactive) 데이터 사용자를 위한 무선공유패킷망을 모델링하고 사용자 관점의 성능 분석 결과와 시뮬레이션 결과를 보인다.

### I. 서론

인터넷이 대중화되고 무선접속이 확산됨에 따라서 데이터 어플리케이션에 대한 무선 접속이 증가할 것으로 기대된다. 유선망에 비해 대역폭이 제한적인 무선망을 효율적으로 사용하기 위해서는 회선방식보다는 패킷방식이 유리하다. 3 세대 이후의 셀룰라 시스템에서는 core 망뿐만 아니라 무선망도 IP 공유패킷망 (shared packet network)으로 구성될 예정이다.

공유패킷망에 연결되어 서비스 받는 사용자들이 느끼는 QoS 에 대한 새로운 성능척도로서 ECR (Equivalent Circuit Rate)이 N. K. Shankaranarayanan et al.에 의해 제안

되었다 [1]. 한 공유 채널에 연결되어 있는 어떤 사용자의 ECR 은 '동일한 지연시간을 획득하기 위해 하나의 전용 채널에 연결되어 있는 동일한 사용자에게 의해 요구되는 회선 속도'로 정의된다. ECR 은 무선공유패킷망에서 사용자가 느끼는 성능을 회선망의 체감속도로 환산해 볼 수 있는 좋은 척도라고 보여진다. 무선패킷망 설계와 실제 서비스 제공에서 일정 수준의 지연시간과 ECR 을 보장할 수 있도록 망을 설계하고 패킷서비스를 제공하는 것은 큰 의미가 있다. 이를 위해 [1]에서는 Web-browsing 과 같은 대화형 데이터 어플리케이션을 가진 무선패킷망을 모델링한 후 성능분석과 시뮬레이션 결과를 보였다.

본 논문에서는 [1]의 모델을 확장시켜 한 사용자 그룹뿐만 아니라 서로 다른 채널 상황을 갖고 있는 사용자 그룹들이 하나의 패킷채널을 공유하는 경우에 대해 모델링 및 분석 후 시뮬레이션 결과와 비교한다. 또한 성능분석 결과를 통해 전송지연시간, ECR 과 같은 주어진 QoS 를 만족시키면서 서비스해 줄 수 있는 최대 사용자 수를 제시한다.

### II. 무선 패킷망 모델

그림 1 은 일반적인 무선 데이터망의 구조를 나타

낸다. 여기에서 사용자는 기지국과 라우터를 통해 공중 인터넷에 있는 서버에 연결되어 있다. 본 연구는 이동 사용자와 무선접속 라우터 사이에 있는 부분인 무선접속망 (wireless access network)에만 초점을 둔다. 본 연구에서는 사용자가 느끼는 성능은 무선접속망의 downlink 용량에만 제한되고, 서버와 인터넷, 백본 등의 다른 망 구성요소들은 전송지연시간을 제외하고는 이상적이라고 가정한다. 이것은 전체 망의 병목부분이 무선접속망이므로 타당한 가정이라고 할 수 있다. 또한 대부분의 대화형 데이터 트래픽은 downlink 에 더 많은 데이터가 있는 비대칭형이다. 제안된 모델에서 사용자들은 어떤 분포에 따라 버스티 트래픽을 생성하는 '활동적' 사용자들이다. 본 연구에서 활동적 사용자의 수는 고정되었다고 가정한다. 실제 시스템에서는 보통 패킷무선 가입자의 5%에서 40% 정도가 동시에 활동적이라고 본다.

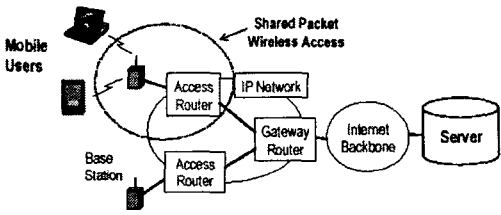


그림 1 무선패킷망의 구조

그림 2 는 본 논문에서 제안하는 무선패킷접속망의 큐잉 모델이다. 이 모델에서 사용자는 유선망에 위치한 서버로부터 웹서비스와 같은 정보서비스를 받으며, 서버는 사용자의 요청을 받은 후 패킷을 백본을 거쳐 라우터로 전송한다. 라우터는 패킷을 큐잉하고 무선 접속망을 통해 패킷을 사용자에게 전송한다. 이 모델에서 무선패킷접속망은 ON/OFF 트래픽을 갖는 여러 대화형 사용자들에 의해 공유된다.

각 ON/OFF 사용자는 ON 상태와 OFF 상태를 번갈아 오간다. 한 사용자의 ON 상태는 서버에 정보를 요청함으로써 시작하고, 요청한 정보가 모두 사용자에게 도착하면 ON 상태가 끝나고 OFF 상태가 시작된다. OFF 상태의 길이는 ON 의 길이와 무관하며, 다음 정보 요청이 일어날 때 OFF 상태가 끝나고 다시 ON 상태가 시작된다. 이와 같이 트래픽의 생성이 트래픽의 수신에 영향을 받는 피드백이 있는 시스템은 closed queueing network

모델에 적합하다 [2].

시스템에 있는 총 사용자의 수는  $M$  명이며, 사용자는  $N$  개의 그룹으로 나뉜다. 그룹  $i$  ( $1 \leq i \leq N$ )에 속해 있는 사용자의 수는  $M_i$  ( $\sum_{i=1}^N M_i$ ) 명이다. 각 사용자의 OFF 시간, 즉 think time 은 평균이  $1/\lambda$ 인 어떤 분포를 따른다. 각 웹 페이지는 서버가 처리하는 하나의 작업으로 모델링된다. 한 사용자의 ON 시간은 백본 전송시간과 큐 대기시간, 그리고 서비스 시간으로 이루어진다. 백본 전송시간의 평균은  $E[D]$ 라고 가정한다. 각 사용자의 think time 과 백본 전송시간의 합은 지수 분포를 갖는 것으로 가정한다. 또한, 그룹  $i$ 에 속해 있는 사용자의 서비스 시간은 평균이  $1/\mu_i$ 인 지수 분포를 따르는 것으로 가정한다. 서버는 큐에 대기하고 있는 사용자들 time-sharing 방식으로 서비스하며 그룹  $i$  사용자가 요청한 페이지에 대해  $\mu_i$  (pages/s)의 서비스율 (service rate)로 서비스한다.

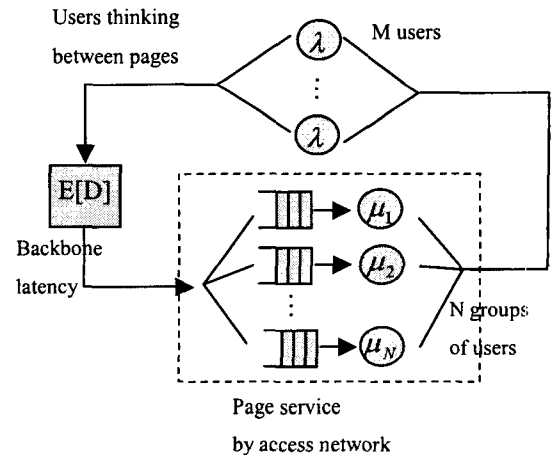


그림 2 공유패킷망 큐잉 모델

그림 2 는 큐에 있는 사용자를 포함해 서버에 있는 각 그룹의 사용자의 수를 상태 공간으로 갖는  $N$  차 마코프 체인으로 모델링될 수 있다.  $P(n_1, n_2, \dots, n_N)$ 는 서버에 그룹  $i$  ( $1 \leq i \leq N$ )의 사용자가  $n_i$ 명 있을 확률을 나타낸다. 평균 think time 이  $1/\lambda$ 이고 그룹  $i$ 에 속해 있는 사용자의 평균 서비스 시간이  $1/\mu_i$ 인 경우 그룹

$i$  의 idle 사용자당 offered load  $\rho_i$  를 식(1)과 같이 정의한다.

$$\rho_i = \frac{1/\mu_i}{1/\lambda + E[D]} \quad (1)$$

$L_i$  를 서버에 있는 그룹  $i$  사용자들의 평균 수라고 하면  $L_i$  는 식 (2)와 같이 표시된다.

$$L_i = \sum_{n_i=0}^{M_i} n_i \cdot \left( \sum_{n_1=0}^{M_1} \sum_{n_2=0}^{M_2} \dots \sum_{n_{i-1}=0}^{M_{i-1}} \sum_{n_{i+1}=0}^{M_{i+1}} \dots \sum_{n_N=0}^{M_N} P(n_1, n_2, \dots, n_N) \right) \quad (2)$$

그룹  $i$  사용자들이 서버에 도착하는 평균도착률  $\lambda'_{e(i)}$  는 식 (3)과 같다.

$$\lambda'_{e(i)} = (M_i - L_i)\lambda' \quad (3)$$

여기에서  $\lambda' = \mu_i \rho_i$  이다.  $W_i$  를 그룹  $i$  사용자가 서버에서 보내는 평균시간이라고 하면 Little's Formula [3]에 의해  $L_i = \lambda'_{e(i)} W_i$  가 만족한다. 따라서  $W_i$  는 식 (4)와 같이 표현될 수 있다.

$$W_i = \frac{L_i}{(M_i - L_i)\lambda'} \quad (4)$$

한 무선공유채널을 사용하는 그룹  $i$  사용자가 한 웹페이지를 요청한 후 모두 서비스받는 데까지 소요되는 평균응답시간을  $E[R_i^{sh}]$ , 전용채널을 사용하는 그룹  $i$  사용자의 평균응답시간을  $E[R_i^{ded}]$  라고 하면,  $E[R_i^{sh}]$  와  $E[R_i^{ded}]$  는 각각 식 (5)와 (6)과 같이 표시될 수 있다.

$$E[R_i^{sh}] = E[D] + W_i = E[D] + \frac{L_i}{(M_i - L_i)\lambda'} \quad (5)$$

$$E[R_i^{ded}] = E[D] + \frac{1}{\mu_i^{ECR}} \quad (6)$$

ECR의 정의에 의해  $E[R_i^{ded}] = E[R_i^{sh}]$ 로 놓으면,

$$\frac{1}{\mu_i^{ECR}} = W_i \quad (7)$$

이고, 그룹  $i$  사용자의 Equivalent Circuit Rate, ECR<sub>i</sub>는 식 (8)과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} ECR_i &= \mu_i^{ECR} \times E[\text{page size}] = \frac{1}{W_i} \times E[\text{page size}] \\ &= \frac{(M_i - L_i)\lambda'}{L_i} \cdot E[\text{page size}] \end{aligned} \quad (8)$$

offered load  $\rho_i$  가 주어졌을 때, 사용자의 수  $M$  이 증가함에 따라 평균응답시간이 급격하게 증가되는 포화점 (saturation point)이 있다. 사용자 수의 포화점은 식 (9)와 같이 구할 수 있다 [2].

$$M^* = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{\tau_i}{\mu_i} + \frac{1}{\lambda} + E[D]}{\sum_{i=1}^N \frac{\tau_i}{\mu_i}} \quad (9)$$

### III. 시뮬레이션

본 절에서는 두 사용자 그룹에 대한 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 분석결과를 입증한다. 그림 3 은 웹서비스 어플리케이션을 가정한 시뮬레이션 모델이다. 무선채널 모델은 IP 기반 패킷망을 가진 셀룰라 TDMA 시스템으로 가정한다. IP 패킷은 radio-level block 으로 나뉘어져서 20ms 프레임의 타임 슬롯을 통해 전송된다. 한 프레임은 8 개의 타임 슬롯으로 나뉘며 radio link 의 에러는 없는 것으로 가정하였다. 각 사용자의 think time 은 평균이 12 초인 Pareto 분포를 가지며, 사용자가 요청하는 웹페이지의 크기는 평균이 20KByte 인 Lognormal 분포를 따른다고 가정한다. 평균 백본 지연시간은 700ms 로 가정한다.

이동 사용자는 채널 상태에 따라 그룹 1 과 그룹 2 로 나뉘어진다. 전체 사용자 수의 20%에 해당하는 그룹 1 의 사용자에게 패킷이 전송되는 속도는 1.5Mbps 이며, 전체 사용자 수의 80%에 해당하는 그룹 2 의 사용자에게는 384Kbps 의 속도로 패킷이 전송된다. 서버는 큐에서 대기하고 있는 사용자에게 공평하게 한 타임 슬롯씩 할당하여 패킷을 전송한다.

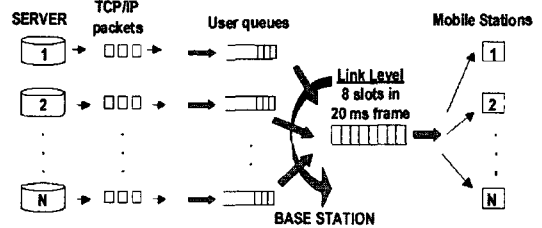


그림 3 웹서비스 어플리케이션의 시뮬레이션 모델

그림 4 와 5 는 각각 시스템에 있는 사용자 수에 따른 평균 페이지 응답시간 ( $E[R_i^{sh}]$ )과 정규화된 평균 페이지

지 응답시간 ( $\mu E[R_i^{sh}]$ )을 나타내며, 분석 결과와 시뮬레이션 결과 그래프가 일치함을 볼 수 있다. 그림 5에서 평균 페이지 응답시간은 사용자 수가 식 (9)에서 구한 포화점인 36.8을 넘어서면 이후에는 기울기 1로 급격히 증가함을 볼 수 있다 [2]. 그림 6은 사용자 수에 따른 ECR을 보여준다. 예상되듯이 ECR은 사용자 수가 증가함에 따라 감소하는 것을 볼 수 있다. 그림 7은 평균 페이지 크기에 따른 사용자 수의 포화점을 보여준다. 사용자가 요청하는 평균 웹페이지의 크기가 작을수록 수용할 수 있는 사용자 수가 많아지는 것을 볼 수 있다.

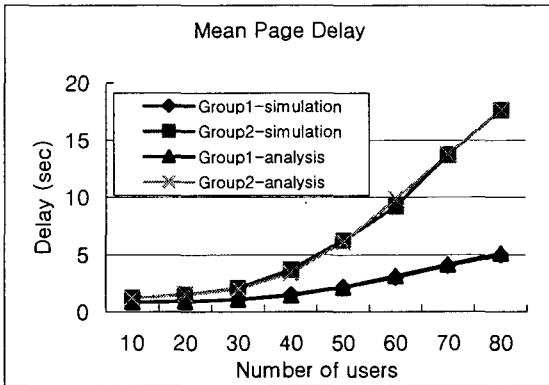


그림 4 Mean page delay ( $E[R]$ ) vs. No. of users

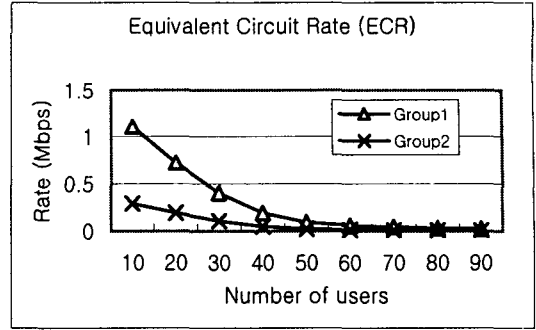


그림 6 Equivalent Circuit Rate (ECR) vs. No. of users

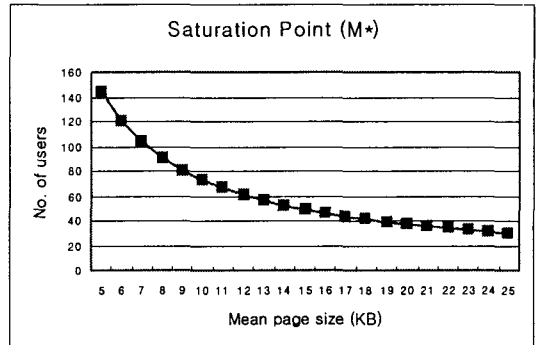


그림 7 Saturation point vs. Mean page size

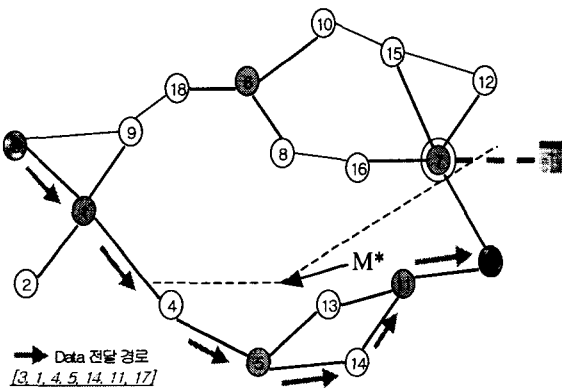


그림 5 Normalized mean page delay ( $\mu E[R]$ ) vs. No. of users

#### IV. 결론

본 논문에서는 Web-browsing 과 같은 대화형 데이터 사용자를 위한 무선공유패킷망을 모델링 및 분석하였다. 특히 한 사용자 그룹뿐만 아니라 서로 다른 채널 상황을 갖고 있는 사용자 그룹들이 하나의 패킷채널을 공유하는 경우에 대해 모델링 및 분석을 하고 시뮬레이션 결과와 비교하였다. 또한 성능분석 결과를 통해 전송지연시간, ECR 과 같은 주어진 QoS 를 만족시키면서 서비스해 줄 수 있는 최대 사용자 수를 제시하였다.

#### 참고문헌

- [1] N. K. Shankaranarayanan et al., "Performance of a shared packet wireless network with interactive data users," [http://www.research.att.com/areas/wireless/Mobile\\_Network\\_Performance/Shared\\_Channel/monet.pdf](http://www.research.att.com/areas/wireless/Mobile_Network_Performance/Shared_Channel/monet.pdf)
- [2] L. Kleinrock, "Queueing Systems," John Wiley & Sons, Vol. 2, 1975
- [3] M. F. Ramalhoto et al., "A survey of J. Little's formula," International Statistical Review, Vol. 51, pp. 255-278