

# 3G 이동통신시스템에서 데이터 트래픽의 버스트성과 지연특성을 고려한 큐잉성능 분석

김창호, 이명훈, 이종규, 최영민\*, 임석구\*\*

LG전자 CDMA시스템연구소\*, 천안대학교\*\*

## An Performance Analysis of Queueing for Data Traffic Considering the Burstiness and Delay Characteristics in 3G Mobile Comm. Systems

Chang-ho Kim, Myong-hoon Lee , Jong-kyu Lee, Young-min Choi\*, Seog-ku Lim\*\*

LG Electronics Inc., CDMA System Research Lab.\*, Cheonan University\*\*

### Abstract

음성 중심의 기존 2G CDMA/PCS의 성능 및 용량을 분석하기 위한 트래픽 모델링에서는 시간당 평균 호 발생률, 발생 간격의 분포, 호 유지시간(Holding Time), 그리고 최번시(Busy Hour)를 결정하는 것이 주요 과제였으며, 이를 이용한 트래픽 엔지니어링은 음성호의 Blocking 확률과 지연시간을 최소화 하기 위한 충분한 호 자원 확보에 중점을 두었던 것이 사실이다. 그러나 CDMA2000 1X 및 1xEV-DO/DV와 같은 3G 고속 데이터 이동통신 시스템에서의 패킷 데이터 트래픽의 특성은 자기 유사성(Self-similarity)이라는 성질을 가진다는 것은 잘 알려진 사실이다. 이와같은 고속 데이터 이동통신 시스템에서 요구되는 효율적인 망의 설계 및 디멘저닝을 위해서는 무엇보다도 데이터 트래픽의 주요 특성인 버스트함과 자기유사성이 반영된 모델 분석이 요구된다. 이러한 관점에서 본 논문에서는 데이터 트래픽의 자기유사성 및 큐잉 지연을 고려한 유효대역폭 산출식을 유도하여 시뮬레이션 결과와 비교 분석하였다.

### I. 서론

CDMA2000 1X 및 1xEV-DO/DV와 같은 고속데이터 이동통신 시스템은 기존의 음성 중심의 2G 시스템과는 달리 가입자의 다양한 서비스 요구를 반영한 패킷 데이터 서비스가 부각되고 있으며, 이러한 서비스의 가장 중요한 트래픽 특성중 하나인 자기유사성(Self-similarity)은 기존에 고려되던 트래픽 특성과는 완전히 다른 장기간 의존성(Long Range

Dependency)를 가진다. 이것은 음성중심의 트래픽에서 나타나는 단기간 의존성(Short Range Dependency)을 표현하는 기존의 모델인 포이송 모델과는 상반되는 개념으로서 효율적인 네트워크 디멘저닝 절차와 트래픽 관리 기능 등에 상당히 중요한 영향을 미칠 것이며, 현재 전 세계적으로 이러한 트래픽 모델에 관한 연구가 활발히 진행 중이다[1][2][3][4][5].

또한 고속의 3G 시스템이 제공됨에 따라 사용자의 Priority를 고려한 고속의 Data 속도 보장 요구 및 Data 서비스 중화상 통신 등과 같은 지연에 민감한 서비스가 요구되고 있다. 이와 같이 지연에 대해 관대했던 기존의 Data 특성과는 달리 3G 시스템에서는 패킷 데이터 서비스에 대한 기존의 셀 손실 확률(CLR) 뿐만 아니라 지연(Delay) 및 지연확률(Delay Probability)이 중요한 GoS 파라미터로 대두되고 있으며, 이러한 GoS 특성을 만족시키기 위해서는 트래픽의 통계적 특성에 기반해서 최대 전송률과 평균 전송률 사이의 값을 갖는 유효 대역폭(Effective Bandwidth)을 얼마나 효율적으로 계산하는가에 달려있다.

따라서 본 논문에서는 자기 유사성 및 버스트성을 갖는 트래픽의 큐잉 성능을 모델링한 해석적 모델인 Norros와 Z. FAN의 Effective Bandwidth Formula에 대해 지연을 고려한 수식을 산출하여 지연이 고려된 셀 손실율(CLR)과 셀 지연확률(Cell Delay Probability)관점에 대해 살펴 보고 이러한 해석적 모델의 타당성을 검토하기 위해 시뮬레이션 결과와 비교 분석하였다.

### II. 유효 대역폭(Effective Bandwidth)

기존의 음성 트래픽과는 달리 자기유사성을 가지는 데이터

트래픽의 경우 시스템이나 네트워크 내에서 수많은 Aggregation과정을 거치더라도 분산이 거의 줄어들지 않기 때문에 단순히 평균 트래픽의 양으로 시스템을 디멘저닝하기에는 무리가 따른다. 따라서 데이터 트래픽의 특징인 버스트함(Burstiness)과 자기유사성(Self-similarity)이 반영된 유효대역폭(Effective Bandwidth)으로 네트워크 트래픽을 수용하는데 필요한 전송용량 및 큐 모델의 서버용량 등을 평가할 필요가 있다.

본 논문에서는 자기유사 트래픽의 큐잉 성능인 셀 손실을 (CLR)과 지연확률(Delay Probability)을 분석하기 위한 해석적 모델로써 Norros의 Effective Bandwidth Formula와 Bahadur-Rao Theorem을 적용해 Norros 수식을 보완한 Z. FAN의 Formula를 고려한다.

### 2.1. Norros's Effective Bandwidth Formula

자기유사 트래픽 소스에 대한 Norros의 유효 대역폭(C)은 식(1)과 같이 정의된다[6].

$$C = m + [x(H)\sqrt{-2 \ln \epsilon}]^{1/H} (ma)^{1/(2H)} B^{-(1-H)/H} \quad (1)$$

여기서,

$m$  : 트래픽 스트림의 평균 비트율 [bits/sec]

$a$  : 트래픽 스트림의 분산계수 ( $\sigma^2/m$ ) [bit-sec]

$H$  : Hurst 파라미터 ( $0.5 \leq H < 1$ )

$B$  : 버퍼 크기(bits)

$x(H) = H^H(1-H)^{1-H}$

$\epsilon$  : Target Cell Loss Rate 이다.

식(1)에서 유효 대역폭(C)은 자기유사성을 나타내는 Hurst 상수(H)와 트래픽의 버스트함을 나타내는 분산계수(a)가 커짐에 따라 증가하고, 또한 버퍼크기(B)와 Target CLR( $\epsilon$ )이 커질수록 유효 대역폭(C)은 낮아짐을 알 수 있다.

### 2.2. 셀 손실 확률

본 절에서는 자기유사 트래픽의 큐잉 성능중 하나인 셀 손실 확률(CLR)에 대한 Norros와 Z. FAN의 두 가지 셀 손실 확률 식에 대해 설명한다.

#### (1) Norros's Formula

버퍼의 크기가 B이고, 자기유사 트래픽을 처리하는 데 요구되는 서버의 서비스율이 C인 Single-Queue Single-Serve 시스템에서의 셀 손실 확률은 식(1)로부터 유도할 수 있으며, 식(2)와 같이 근사화 된다[6][8].

$$\epsilon = \Pr\{Q > B\} = \exp\left[-\frac{(C-m)^{2H}}{2x(H)^2 ma} B^{2-2H}\right] \quad (2)$$

식(2)를 이론적으로 유도하는데 있어서 기반이 되는 두 가지 가정사항은 매우 많은 i.i.d.한 트래픽이 통합되어졌을 때 Gaussian 특성을 따른다는 것과, 큐 길이의 분포의 꼬리부분이 Weibull 분포를 따른다는 가정이다. 따라서, 이 식은 적은 버퍼 크기에 대해서 오차가 많은 단점이 있다.

#### (2) Z. Fan's Formula

Z. Fan은 Norros's Formula의 단점인 적은 버퍼 크기에 대한 오차를 줄이기 위해 Bahadur-Rao Theorem을 사용하여 근사적인 셀 손실 확률을 제시하였으며, 이를 정리하면 식(3)과 같다[9].

$$\Pr\{Q > B\} = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{t^*}^2 \theta_{t^*}}} \exp\left[-\frac{(C-m)^{2H}}{2x(H)^2 ma} B^{2-2H}\right] \quad (3)$$

여기서,

$$\sigma_{t^*}^2 = ma(t^*)^{2H}, \quad \theta_{t^*} = \frac{B + Ct^* - mt^*}{ma(t^*)^{2H}},$$

$$t^* = \frac{HB}{(1-H)(C-m)}$$

이다.

### 2.3. 셀 지연 확률

서론에 밝힌바와 같이 고속 패킷 데이터 서비스에서 요구되는 다양한 지연시간을 충족시키기 위해 시스템 설계 시 CLR 뿐만 아니라 지연시간을 충족시킬 수 있도록 해야 한다. 따라서 본 절에서는 앞 절에서 소개한 셀 손실 확률식[식(2),(3)]으로부터 셀 지연 확률을 유도하고자 한다.

셀 지연 확률을 유도하기 위해 버퍼의 크기는 셀 지연 시간(d)을 만족할 수 있는 만큼 충분히 크다고 가정하면, 버퍼크기(B)와 셀 지연 시간(d)은 다음과 같은 관계를 만족해야 한다.

$$B \geq dC \quad (4)$$

식(4)은 셀 버퍼설계 시 지연시간(d)을 만족하기 위해서는 최소한 dC보다 크게 설계되어야 한다는 것을 의미한다.

이를 바탕으로 하여 지연이 고려된 유효 대역폭을 다음과 같이 산출할 수 있다.

#### (1) 셀 지연이 고려된 Norros's Formula

지연시간이 d이고, 자기유사 트래픽을 처리하는 데 요구되는 서버의 서비스율이 C인 Single-Queue Single-Serve 시스템에서의 셀 지연 확률은 식(2)와 식(4)의 관계로부터 유도할 수 있으며, 식(5)와 같이 근사화 된다.

$$\Pr\{D > d\} = \exp\left[-\frac{(C-m)^{2H}}{2x(H)^2 ma} (dC)^{2-2H}\right] \quad (5)$$

#### (2) 셀 지연이 고려된 Z. Fan's Formula

Z. Fan의 셀 지연 확률도 식(5)와 동일한 방식으로 유도하면 식(6)과 같이 근사화 된다.

$$\Pr\{D > d\} = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{t^*}^2 \theta_{t^*}}} \exp\left[-\frac{(C-m)^{2H}}{2x(H)^2 ma} (dC)^{2-2H}\right] \quad (6)$$

여기서,

$$\sigma_{t^*}^2 = ma(t^*)^{2H}, \quad \theta_{t^*} = \frac{d \cdot C + Ct^* - mt^*}{ma(t^*)^{2H}},$$

$$t^* = \frac{HdC}{(1-H)(C-m)}$$

이다.

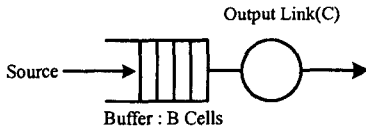
## III. 시뮬레이션

이 장의 앞부분에서는 시뮬레이션에 사용된 자기 유사성을 갖는 호 발생 방법 및 시뮬레이션 모델에 대해 설명하고, 이 장의 마지막 부분에서는 시뮬레이션 결과에 대해 다루었다.

시뮬레이션은 전용언어인 SLAM II를 사용하였다.

### 3.1. 시뮬레이션 모델

기존의 논문들에서 자기유사 트래픽을 발생시키는 많은 방법들이 제안되었다[7],[10]~[14]. 본 논문에서는 시뮬레이션을 위해 참고문헌 [7],[10]에서 제안한 Fractional Gaussian Noise의 Fast Approximation 발생 방법을 사용하는 fft\_fgn 발생기를 이용한다.



[그림 1] 시뮬레이션 모델

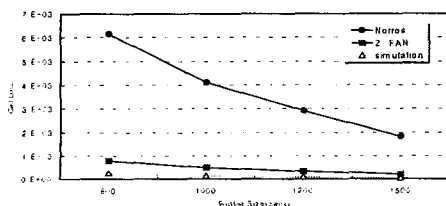
그림 1은 시뮬레이션 모델을 나타내며, Single-Server Single-Queue로 구성된다. 하나의 트래픽 소스는 하나의 출력링크에 의해 서비스되는 버퍼에 입력된다. 시뮬레이션에서 설정되어야 할 파라미터로는 네트워크 구성 측면에서는 버퍼 크기(B)와 출력 링크 용량(C)이고 트래픽 소스의 측면에서는 평균 비트율(m), 분산계수(a), Hurst 파라미터(H)이다. 각각의 파라미터들은 시뮬레이션의 입력 파라미터로 사용되며, 셀 손실 확률(CLR : Cell Loss Rate) 및 셀 지연 확률은 시뮬레이션 출력으로 얻을 수 있는 결과가 된다.

### 3.2. 시뮬레이션 결과

시뮬레이션 수행은 결과의 정확성을 위해 각 Item마다 총 8번씩 실시하였으며, 각각의 수행마다 Seed값을 다르게 하여 평균을 구하였다.

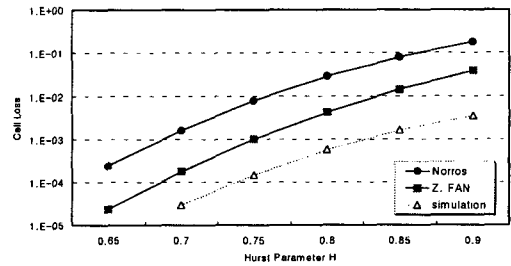
#### (1) 셀 손실 확률(CLR)

그림 2는 버퍼 크기의 변화에 따른 셀 손실 확률을 나타낸다. 여기에서,  $m=525(\text{cells/sec})$ ,  $a=23.9(\text{cell-sec})$ ,  $H=0.83$ ,  $C=700$ 으로 하였다. 그림 2에 의하면, Norros Formula의 경우 앞에서 언급하였듯이 낮은 버퍼사이즈에서 시뮬레이션 결과와 많은 오차가 발생하였음을 알 수 있고, Bahadur-Rao Theorem을 사용한 Z. FAN식의 경우는 시뮬레이션 결과와 거의 일치함을 알 수 있다.



[그림 2] 버퍼 크기의 변화에 따른 셀 손실 확률

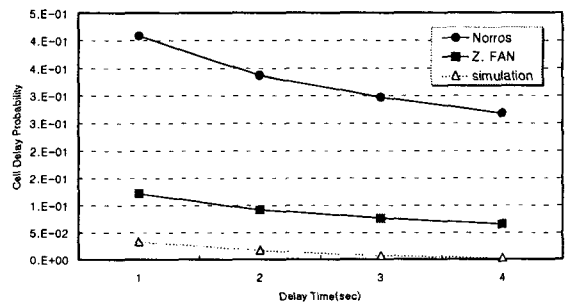
그림 3은 Hurst 파라미터를 0.65~0.95까지 변화시키면서 셀 손실 확률의 변화를 나타내었고,  $m=525(\text{cells/sec})$ 이며,  $a=23.9(\text{cell-sec})$ ,  $B=800(\text{cells})$ ,  $C=650(\text{cells/sec})$ 으로 설정하였다. 여기에서도 해석적 결과와 시뮬레이션 결과는 기본적으로 그 추이는 유사하고 이론식이 시뮬레이션 결과보다 큰 Upper-bound를 제공하므로 해석적 모델로 CLR이나 유효 대역폭을 예측하여도 문제가 없는 것으로 분석할 수 있다.



[그림 3] Hurst Parameter의 변화에 따른 셀 손실 확률

#### (2) 셀 지연 확률

그림 4는 지연시간의 변화에 따른 셀 지연 확률을 나타낸다. 여기에서,  $m=525(\text{cells/sec})$ ,  $a=23.9(\text{cell-sec})$ ,  $H=0.83$ ,  $C=600$ 으로 하였다. 그림 4에 의하면, Norros Formula의 경우 앞의 셀 손실 확률결과 같이 시뮬레이션 결과와 많은 오차가 발생하였음을 알 수 있고, Z. FAN의 식이 시뮬레이션 결과와 거의 일치함을 알 수 있다.

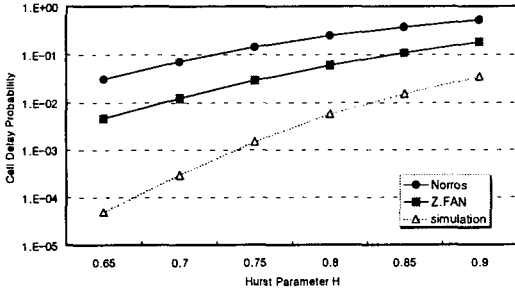


[그림 4] 지연시간의 변화에 따른 셀 지연 확률

그림 5은 Hurst 파라미터를 0.65 ~ 0.95까지 변화시키면서 셀 지연 확률의 변화를 나타내었고,  $m=525(\text{cells/sec})$ 이며,  $a=23.9(\text{cell-sec})$ ,  $d=1(\text{sec})$ ,  $C=650(\text{cells/sec})$ 으로 설정하였다. 여기에서도 해석적 결과와 시뮬레이션 결과는 기본적으로 그 추이는 유사하고 기존의 Norro와 Z. FAN의 해석적 모델이 시뮬레이션 결과보다 큰 Upper-bound를 제공함을 알 수 있다. 시스템 설계시 추후의 확장성이나 마진을 고려한

다면, Z.FAN의 유효대역폭 산출식을 이용하여 CLR이나 지연확률 및 유효 대역폭을 산출하여 시스템의 망 설계 및 디멘전닝에 적용하여도 큰 문제가 없을 것으로 분석된다.

추후로는 3GPP2의 [14]에서 모델링한 가입자 트래픽 모델을 근간으로 하여 다양한 환경에서 가입자당 유효대역폭을 분석 및 시뮬레이션 해야 할 것이며, 이를 바탕으로 고속 데이터 시스템인 1xEV-DO/DV의 망 설계 및 디멘전닝을 수행해야 한다.



[그림 5] Hurst Parameter의 변화에 따른 셀 손실 확률

#### IV. 결론

이동통신시스템이 기존 음성 위주의 2G 시스템에서 고속 데이터 서비스 중심의 3G 시스템으로 Migration함에 따라 Data 트래픽에 대한 특성 분석이 중요한 문제로 대두되고 있다. Data 트래픽은 음성 트래픽과는 달리 Burstiness와 Self-similarity을 가지고 있기 때문에 시스템 설계 및 디멘전닝 시에 기존의 음성과는 다른 방법이 요구되는 것이다.

본 논문에서는 이와 같은 고속 데이터 통신의 망 설계 및 시스템 디멘전닝 시 Data Traffic의 버스트함과 자기유사성을 고려함과 아울러 지연이 고려된 유효 대역폭을 산출식을 유도하였다.

시뮬레이션 결과에 의하면 두 가지 해석적 모델에 의한 결과는 기본적으로 시뮬레이션 결과와 차이가 비슷하고, 시뮬레이션 결과보다 큰 Upper-bound의 CLR과 지연 확률을 제공함을 알 수 있었다. 또한, 두 해석적 모델을 비교해보면 Z. Fan's Formula가 Norros's Formula보다 시뮬레이션 결과에 좀 더 근접함을 알 수 있었다. 따라서, 3G 이동통신시스템의 망 설계 및 디멘전닝 시 추후의 확장성 및 마진을 고려한다면 복잡한 시뮬레이션에 의한 방법보다 Z. Fan's Formula에 의한 해석적 방법을 이용하는 것이 지연 시간을 만족하는 채널용량 및 증계선 용량, 그리고 시스템 내 다양한 디바이스의 Buffer 크기 등을 보다 쉽게 산출하는 Solution으로 활용될 수 있을 것이다.

시스템의 버퍼크기를 설계시 지연시간과 시스템의 유효대역폭을 만족하도록 설계해야 할 것이며, 시스템의 유효대역폭 결정시 지연시간이 1초, 2초를 초과할 지연확률을 5%이하로 고려하고 있다.

#### 참고 문헌

- [1] W. Willinger, "Self-similarity in wide-area network traffic," IEEE LEOS '97, vol.2, pp.462-463, 1997.
- [2] M. Garrett, W. Willinger, "Analysis Modeling and Generation of Self-similar VBR Traffic," Proc. of SIGCOMM '94, August 1994.
- [3] W. Leland, M. Taqqu, W. Willinger, and D. Wilson, "On the Self-similar Nature of Ethernet Traffic," Proc. of SIGCOMM '93, Sept. 1993.
- [4] M. Crovella and A. Bestavros, "Self-similarity in World-wide Web Traffic: Evidence and Possible Causes," Proc. of ACM Sigmetrics Conference on Measurements and Modeling of Computer Systems, May 1996.
- [5] V. Paxson, S. Floyd, "Wide area traffic: the failure of Poisson modeling," IEEE/ACM Transactions on Networking, vol, 3, no.3, pp.226-244, 1995.
- [6] A. Patel and C. Williamson, "Effective Bandwidth of Self-Similar Traffic Sources: Theoretical and Simulation Results," Proceedings of the IASTED Conference on Applied Modeling and Simulation, Banff, AB, July 1997
- [7] Schuler, C. "fft\_fgn". Research Institute for Open Communication systems, GMD FOKUS, Hardenbergplatz 2, D-10623 Berlin, Germany.
- [8] Lennard Kleinrock, "Queueing System," Volume 1; Theory, Wiley, 1975.
- [9] Z. Fan, P. Mars, "Accurate Approximation of Cell Loss Probability for Self-similar Traffic in ATM Networks," Electronics Letters, Vol. 32, No. 19, pp. 1719-1751, Sep. 1996.
- [10] V. Paxson, "Fast Approximation of Self-Similar Traffic," Technical Report LBL-36750, Lawrence Berkeley Laboratory and EECS Division, University of California, Berkeley, April 1995.
- [11] P. Pruthi, " Heavy-tailed ON/OFF Source Behavior and Self-Similar Traffic," ICC'95, 1995
- [12] J.S. Li, A. Wolisz, R.P.Zelein, "Fast Simulation of Selfsimilar Traffic," IEEE/ACM, pp1829-1833, 1998.
- [13] W. Willinger, D. Wilson, M. Taqqu, "Self-similar Traffic Modeling for High-speed Networks," ConneXions, Nov, 1994.
- [14] "1xEV-DV Evaluation Methodology - Addendum [V5]," 3GPP2 WG5 Evaluation AHG, July 16, 2001