

# 3G 이동통신시스템에서의 데이터 트래픽 특성분석

구혜련\*, 임석구  
천안대학교 정보통신학부

## Analysis for Data Traffic Characteristics in 3G Mobile Communication Systems

Hyeryun Koo, SeogKu Lim  
Div. of Information & Communication Engineering, Cheonan Univ.

### 요 약

음성 중심의 기존 2G CDMA/PCS 시스템과 달리 CDMA2000 및 1xEV-DO와 같은 차세대 이동통신 시스템에서 패킷 데이터 서비스가 부각됨에 따라 효율적인 망의 설계 및 디멘저닝을 위해서는 무엇보다도 데이터 트래픽의 주요 특성인 버스트(Burst)와 자기유사성(Self-similarity)이 반영된 모델이 요구된다. 본 논문에서는 차세대 이동통신 시스템에서 자기유사 특성을 갖는 트래픽의 큐잉 성능을 시뮬레이션 하였고, 그 결과를 해석적 모델과 비교하였다. 또한 Crossover Point의 변화와 출력링크의 변화도 분석하였다.

### 1. 서론

음성 중심의 기존 2G CDMA/PCS 시스템 트래픽 모델링에서는 시간당 평균 호 발생률, 발생 간격의 분포, 호 유지시간(Holding Time), 그리고 쉼시간(Busy Hour)를 결정하는 것이 주요 과제였으며, 이를 이용한 트래픽 엔지니어링은 음성호의 블러킹 확률과 지연시간을 최소화하기 위한 충분한 호 자원 확보에 중심을 두었다. 그러나 CDMA2000 및 1xEV-DO와 같은 차세대 이동통신 시스템에서 데이터 통신 서비스가 부각됨에 따라 최적의 망 설계 및 디멘저닝을 위해서는 무엇보다도 데이터 트래픽의 특성이 반영된 해석적 모델이 요구된다.

인터넷 트래픽이 자기유사성(Self-similarity)을 가진다는 것은 이미 여러 연구들을 통해 널리 알려진 사실이며, 자기유사성은 허스트 파라미터(Hurst Parameter)로 특성화 될 수 있다. 또한 자기유사 트래픽을 생성하는 방법에 대해서도 많은 연구들이 진행되어 왔다[1][2].

본 논문의 서술 순서는 다음과 같다. 서론에 이어, 2 장에서는 차세대 이동통신 시스템의 망 설계와 디멘저닝 단계에서 요구되는 채널 및 중계선과 같은 자원들의

효율적인 물량산출 및 설계를 위해 필요한 유효 대역폭(Effective Bandwidth)관점에서 데이터 트래픽의 특징인 버스트성(Burstiness)과 자기유사성이 반영된 해석적 모델과 자원의 이용률에 대해 살펴본다. 3 장에서는 이러한 해석적 모델의 유용성을 평가하기 위해, 네트워크의 성능을 나타내는 QoS 파라미터 중 셀 손실 확률(CLR: Cell Loss Rate)의 관점에서 Norros의 Effective Bandwidth 및 Z. Fan의 Bahadur-Rao Theorem을 적용한 모델의 이론적 결과를 시뮬레이션 결과와 비교 분석하였으며, 또한 Crossover Point의 변화와 출력링크의 변화를 분석하였다. 마지막으로 4 장에서는 결론을 맺는다.

### 2. 해석적인 분석 결과

기존의 음성 트래픽과는 달리 자기유사성을 가지는 데이터 트래픽의 경우 시스템이나 네트워크 내에서 수많은 통합(Aggregation) 과정을 거치더라도 분산이 거의 줄어들지 않기 때문에 단순히 평균 트래픽의 양으로 시스템을 설계하는 데는 무리가 따른다. 따라서 데이터 트래픽의 특징인 버스트성과 자기유사성이 반영된 셀 손실 확률식이나 유효 대역폭(Effective Bandwidth)으로 네트워크

트래픽을 수용하는데 필요한 전송용량 및 큐 모델의 서버용량 등을 평가할 필요가 있다. 셀 손실 확률식이나 유효 대역폭은 호 수락 제어(CAC : Call Admission Control)나 네트워크 디넨저링 시에 유용하게 사용될 수 있다.

$$t^* = \frac{HB}{(1-H)(C-m)}, \quad \sigma_{t^*}^2 = ma(t^*)^{2H},$$

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

### 2.1 유효 대역폭(Effective Bandwidth)

본 논문에서는 Effective Bandwidth 를 산출하기 위한 해석적 모델로써 Norros 의 Effective Bandwidth Formula 를 고려한다. 자기유사 트래픽 소스에 대한 Norros 의 유효 대역폭(C)는 식(1)과 같이 정의된다[3].

$$C = m + \left[ \kappa(H) \sqrt{-2 \ln \varepsilon} \right]^{1/H} (ma)^{(2H)} B^{-(1-H)/H} \quad (1)$$

m : 평균 비트율(bits/sec)

a : 분산계수(Variance Coefficient)(bit-sec)

H : Hurst 파라메타(0.5 ≤ H ≤ 1)

B : 버퍼 크기(bits)

ε : Target Cell Loss Rate

$$\kappa(H) = H^H (1-H)^{1-H}$$

식(1)을 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.

### 2.2 셀 손실 확률

#### (1) Norros's Formula

버퍼의 크기가 B 이고, 자기유사 트래픽을 처리하는 데 요구되는 서버의 서비스율이 C 인 Single-Queue Single-Serve 시스템에서의 셀 손실 확률(CLR)은 식(1)을 ε에 대해 정리하면 식 (2)와 같이 근사화 된다[4].

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

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

Z. Fan 은 Norros's Formula 의 단점인 적은 버퍼 크기에 대한 오차를 줄이기 위해 Bahadur-Rao Theorem 을 사용하여 근사적인 셀 손실 확률을 제시하였으며, 이를 정리하면 식(3)과 같다[5].

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

### 2.3 Crossover Effect

버퍼의 크기가 상대적으로 작은 경우 Self-Similar 트래픽에 의한 CLR 은 Markovian 트래픽보다 작으며, 버퍼의 크기가 증가함에 따라 CLR 이 커지게 되는데, 이러한 현상을 Crossover Effect 라고 한다[4]. 이러한 현상의 원인은 버퍼의 크기나 유효 대역폭을 산출하는데 사용된 Time Scale 에 기인한다.

Crossover 점은 Self-Similar 트래픽에 의한 CLR 과 Markovian 트래픽(H=0.5)에 의한 CLR 이 같은 점을 의미하고 출력링크의 용량 C 와 Hurst Parameter H 에 따라 변한다. Crossover 가 발생할 때의 버퍼의 크기는 식 (2)로부터 유도할 수 있으며, 이를 식 (4)에 나타내었다.

$$B = (C-m) \left( 4\kappa(H)^2 \right)^{\frac{1}{1-2H}} \quad (4)$$

H ∈ [0.5,1) 이므로  $\frac{B}{C-m} \in [1/4,1)$  이다.

### 2.4 출력링크의 이용률(Utilization)

Self-Similar 트래픽 환경에서 자원의 이용률은 Markovian 트래픽 환경에서 자원의 이용률보다 낮다고 알려져 있다[9]. 버퍼의 크기가 B, 출력링크의 용량이 C 인 경우 셀 손실확률이 ε을 만족하면서 처리할 수 있는 최대 이용률은 식 (1)로부터 산출할 수 있는데, 이를 식 (5)에 나타내었다.

$$\frac{1}{\rho} = 1 + \left[ - \frac{2(\ln \varepsilon) \kappa^2(H) ma}{C^{2H} B^{2-2H}} \right]^{\frac{1}{2H}} \quad (5)$$

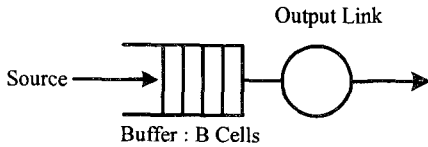
## 3. 시뮬레이션

### 3.1 시뮬레이션 모델

기존의 논문들에서 자기유사 트래픽을 발생시키는 많은 방법들이 제안되었다. 본 논문에서는 시뮬레이션을 위해 Fractional Gaussian Noise 의 Fast Approximation 발생 방법을 사용하는  $m_{fgn}$  발생기를 이용한다[6][7].

[그림 1]은 본 논문에서 사용한 시뮬레이션 모델을 나타내며, Single-Server, Single-Queue 로 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)은 시뮬레이션 출력으로 얻을 수 있는 결과가 된다.



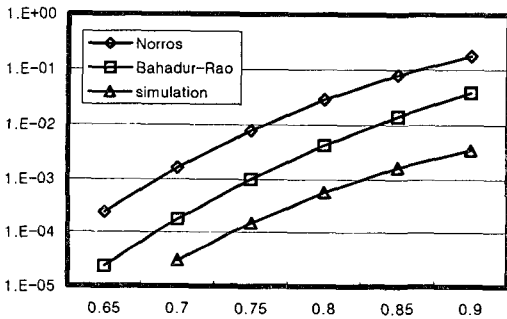
[그림 1] 시뮬레이션 모델

3.2 시뮬레이션 결과

시뮬레이션 수행은 결과의 정확성을 위해 각 항목마다 총 8 번씩 실시하였으며, 각각의 수행마다 Seed 값을 다르게 하여 평균을 산출하였다.

(1) Hurst Parameter의 영향

[그림 2]에는  $H$ 의 값을 0.65~0.95 까지 변화시키면서 셀 손실확률의 변화를 나타내었는데, 평균 트래픽은  $m=525(\text{cells/sec})$ 이며, 분산계수는  $a=23.9$ , 버퍼의 크기는  $B=800(\text{cells})$ , 출력링크의 용량은  $C=650(\text{cells/sec})$ 임을 가정하였다.



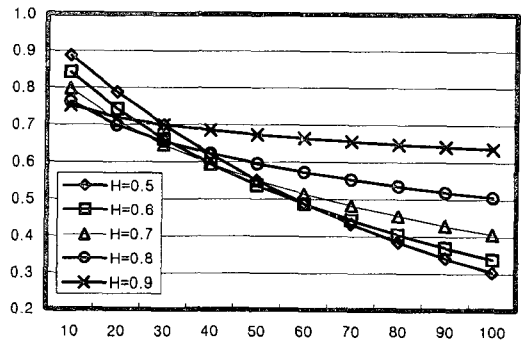
[그림 2]  $H$ 의 변화에 따른 CLR의 변화

해석적인 방법을 시뮬레이션 결과를 비교하여 보면, 셀 손실확률은 분산계수와 Hurst Parameter 에 매우 민감함을 알 수 있으며, 식 (2)에 의한 결과가 시뮬레이션에 의한 결과와 매우 유사함을 알 수 있다. 그러나 식 (1)와 식 (2)에 의한 결과와 시뮬레이션 결과는 기본적으로 그 추이는 유사하고 이론식이 시뮬레이션 결과보다 항상 값이 크므로 이론식으로 셀 손실확률이나 유효 대역폭을

예측하여도 문제가 없는 것으로 분석할 수 있다.

(2) Crossover Point의 변화

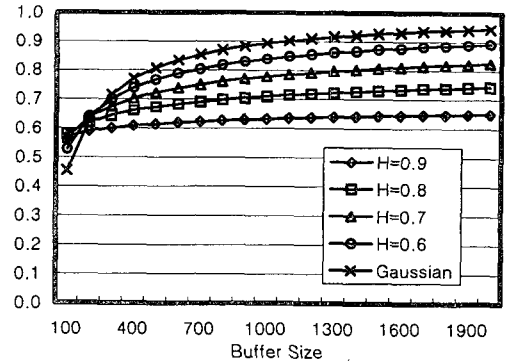
[그림 3]은 여러 가지 Hurst Parameter 값에 대해 버퍼의 크기를 변화시키면서 CLR의 변화를 나타내었다. 여기서 입력 트래픽의 평균은  $m=525(\text{cells/sec})$ , 분산계수  $a=23.9(\text{cells-sec})$ , 출력링크의 용량은  $C=600(\text{cells/sec})$ 임을 가정하였다. Crossover 점은 Self-Similar 트래픽에 의한 CLR 과 Markovian 트래픽에 의한 CLR 이 같은 점을 의미하므로  $H=0.5$  인 곡선과 다른  $H$  값을 갖는 곡선과의 교차점을 구하면 되므로  $H=0.6$  인 경우는  $B=61$  인 지점에서 발생하고  $H=0.9$  인 경우에는  $B=30$  인 지점에서 발생한다.



[그림 3] Crossover Effect

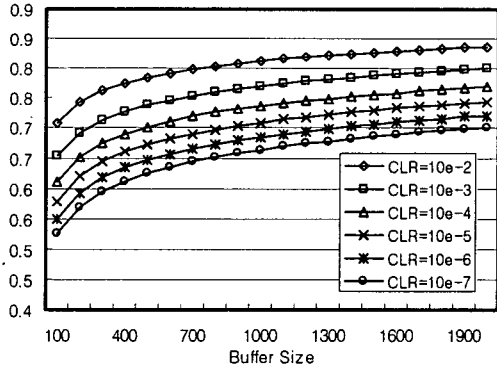
(3) 출력링크의 이용률

[그림 4]는  $m = 525(\text{cells/sec})$ ,  $a = 23.9(\text{cells-sec})$ ,  $CLR = \epsilon = 10^{-5}$  인 경우 Hurst Parameter 와 버퍼크기의 변화에 따른 출력링크의 이용률의 변화를 나타내었다. 버퍼의 크기가 대략 200(cells) 이하인 경우 Gaussian 근사화에 의한 시스템 설계는 Over Engineering 의 결과를 초래하지만 버퍼의 크기가 200(cells) 이상인 경우에는 Under Engineering 이 된다.



[그림 4]  $CLR=10^{-6}$ 을 만족하기 위한 최대 링크 점유율

[그림 5]에는 다양한 셀 손실확률에 대해 버퍼크기의 변화에 따른 출력링크의 이용율의 변화를 나타내었다. 서비스 기증이 강화될수록 링크 이용율은 감소함을 알 수 있다.



[그림 5] B의 변화에 따른 출력링크 점유율의 변화

#### 4. 결론

인터넷 트래픽과 같이 버스트함과 자기유사성을 갖는 데이터 트래픽을 주로 수용하는 차세대 이동통신 시스템에서는 요구되는 채널 및 증계선과 같은 자원들의 효율적인 물량산출 및 설계가 요구된다. 따라서, 망 설계와 디멘저닝 관점에서 필요한 유효 대역폭(Effective Bandwidth)을 산출하기 위한 해석적 모델로써 Norros의 Effective Bandwidth Formula와 Z. Fan의 Formula를 고려하였다. 그리고 이 두 가지 해석적 모델의 유용성 및 타당성을 검토하기 위해 시뮬레이션을 수행하여 그 결과를 비교하였다.

시뮬레이션 결과에 의하면 버퍼크기가 작은 경우에 Norros's Formula는 많은 오차를 나타냈지만, 일반적인 통신시스템의 경우에 16K Cell ~ 256K Cell 이상의 큰 버퍼 크기를 갖기 때문에 해석적 모델로써 큰 문제는 없을 것으로 판단된다. 또한, 두 가지 해석적 모델에 의한 결과는 기본적으로 시뮬레이션 결과와 추이가 비슷하고, 시뮬레이션 결과보다 큰 Upper-bound의 유효 대역폭 및 셀 손실확률을 제공함을 알 수 있었다.

셀 손실확률은 버퍼크기와 링크의 용량에 따라 변하는데, 링크 용량의 변화에 따른 셀 손실확률의 변화가 더욱 현저하며, 출력링크의 용량이 낮을 때, 버퍼크기의 증가가 셀 손실확률에 미치는 영향은 출력링크의 용량이 높을 경우에 비해 크지 않음을 예측할 수 있었다. 또한 버퍼크기의 증가는 지나친 지연시간을 초래하므로 서비스 특성을 고려하여 설계하여야 한다.

또한, 두 해석적 모델을 비교해보면 Z. Fan's Formula가 Norros's Formula보다 시뮬레이션 결과에 좀 더 근접함을 알 수 있었다. 따라서, 차세대 통신망의 설계 및 디멘저닝 시 복잡한 시뮬레이션에 의한 방법보다 Z. Fan's Formula에 의한 해석적 방법을 이용하는 것이 채널용량 및 증계선 용량, 그리고 시스템 내 다양한 디바이스의 Buffer 크기, 출력링크의 점유율 등을 보다 쉽게 산출하는데 용이할 것이다.

#### [참고 문헌]

- [1] M. E. Crovella, A. Bestavros, "Self-similarity in World Wide Web traffic: evidence and possible causes," *IEEE/ACM Transactions on Networking*, vol. 5, no. 6, pp.835-846, 1997.
- [2] 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.
- [3] I. Norros, "On the use of fractional Brownian motion in the theory of connectionless networks," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 13, no. 6, pp. 953-962, 1995.
- [4] 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
- [5] 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.
- [6] Schuler, C. "ffn\_fgn". Research Institute for Open Communication systems, GMD FOKUS, Hardenbergplatz 2, D-10623 Berlin, Germany.
- [7] V. Paxson, "Fast Approximation of Self-Similar Traffic," *Technical Report LBL-36750*, Lawrence Berkeley Laboratory and EECS Division, University of California, Berkeley, April 1995.