

3G 이동통신망에서 데이터 트래픽 특성을 고려한 성능분석

임석구*, 김창호**, 이종규**, 최영민**

*천안대학교 정보통신학부

**LG 전자 CDMA 시스템연구소

e-mail : sklim@infocom.cheonan.ac.kr

Performance Analysis for Data Traffic Characteristics in 3G Mobile Comm. Networks

Seog-Ku Lim*, Chang-Ho Kim**, Jong-Kyu Lee**, Young-Min Choi**

*Div. of Information Communication, Cheon-An University

** LG Electronics Inc., CDMA System Research Lab

요 약

주로 음성 트래픽을 처리하는 2G CDMA/PCS 시스템과 달리 CDMA2000 및 1xEV-DO 와 같은 차세대 이동통신시스템은 음성 트래픽뿐만 아니라 패킷형태의 데이터 트래픽도 처리해야 하므로 차세대 이동통신망의 설계 및 디멘저닝을 위해서는 무엇보다도 데이터 트래픽의 주요 특성인 버스트성(Burstiness)과 자기유사성(Self-similarity)이 반영된 트래픽 모델이 요구된다. 이러한 관점에서 본 논문에서는 데이터 트래픽 특성이 서로 다른 다수의 데이터 트래픽의 통합되어 망에 입력되는 경우의 성능을 시뮬레이션 하였고, 그 결과를 해석적 모델인 Norros의 Effective Bandwidth Formula 및 Z. FAN의 Bahadur-Rao Theorem을 적용한 Formula 와도 비교하였다.

1. 서 론

음성 중심의 기존 2G CDMA/PCS 시스템 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 블러킹 확률과 지연시간을 최소화하기 위한 충분한 호 자원 확보에 중점을 두었다. 그러나 CDMA2000 및 1xEV-DO 와 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)를 가진다는 것은 이미 여러 연구들을 통해 널리 알려진 사실이며, 이러한 자기유사 트래픽을 생성하는 방법에 대해서도 많은 연구들이 진행되어 왔다[1][2][3][4][5].

본 논문의 서술 순서는 다음과 같다. 서론에 이

어, 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 모델인 Norros의 Effective Bandwidth Formula 와 Bahadur-Rao Theorem을 적용한 Formula에 대해 살펴본다[6]. 3 장에서는 이러한 해석적 모델의 유용성을 평가하기 위해, 망의 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, 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 유효 대역폭(Effective Bandwidth)으로 네트워크 트래픽을 수용하는데 필요한 전송용량 및 큐 모델의 서버용량 등을 평가할 필요가 있다. 이러한 유효 대역폭은 호 수락 제어(CAC : Call Admission Control)나 네트워크 디멘셔닝 시에 유용하게 사용될 수 있다.

2.1 유효 대역폭(Effective Bandwidth)

본 논문에서는 Effective Bandwidth 를 산출하기 위한 해석적 모델로써 Norros의 Effective Bandwidth Formula 를 고려한다. 자기유사 트래픽 소스에 대한 Norros의 유효 대역폭(C)는 식(1)과 같이 정의된다[6].

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

- m : 트래픽 스트림의 평균 비트율(bits/sec)
- a : 트래픽 스트림의 분산계수(Variance Coefficient)(bit-sec)
- H : Hurst 파라메타(0.5 ≤ H ≤ 1)
- B : 버퍼 크기(bits)
- ϵ : Target Cell Loss Rate
- $\kappa(H) = H^H (1-H)^{1-H}$

2.2 셀 손실률(Cell Loss Rate)

본 논문에서는 시뮬레이션 수행의 용이성을 위해 시뮬레이션 결과로 셀 손실 확률(CLR)을 사용하였다. 따라서, 이 절에서는 시뮬레이션 결과와 비교하기 위해 아래와 같은 Effective Bandwidth 의 두 가지 셀 손실 확률 식에 대해 설명한다.

(1) Norros's Formula

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

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

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. 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[9].

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

$$t^* = \frac{HB}{(1-H)(C-m)}, \quad \sigma_r^2 = ma(t^*)^{2H}, \quad \theta_r = \frac{B+Ct^*-mt^*}{ma(t^*)^{2H}}$$

2.3 Aggregated 트래픽의 분석

Norros 가 제시한 유효 대역폭 공식은 자기 유사 트래픽의 통계적인 다중화에 관련하여 이론적인 기초를 제공한다. 특히, 이론적인 결과는 자기 유사 트래픽 소스의 경우에서도 통계적인 다중화 이득이 존재한다는 것이다. 표 1.에는 자기 유사 트래픽 소스의 통합에 관련된 이론적인 결과를 요약하였다.

표 1. 통합된 자기유사 트래픽의 통계적인 특성

평균	분산	분산계수	허스트 상수
$m_g = \sum_i m_i$	$v_g = \sum_i v_i$	$a_g = \frac{\sum_i m_i a_i}{\sum_i m_i}$	$H_g = H_{\max}$

표 1.의 비교 분석을 위해 표 2.에는 (a), (b), (c)의 3 가지 각각의 경우에 대해 5 개의 트래픽 Trace 를 Aggregation 하는 경우인데, 분산계수 a 는 시뮬레이션 결과와 잘 일치하지만 Hurst 파라미터 H 는 시뮬레이션 결과와 근사적으로 일치한다.

표 2. 비교 분석

		입력 트래픽					Ana.	Sim.
		1	2	3	4	5		
(a)	m	525	308	434	870	411	2548	2548
	a	23.9	9.2	23.7	30.9	10.8	22.39	22.49
	H	0.83	0.79	0.83	0.75	0.83	0.83	0.8587
(b)	m	206	559	499	665	507	2436	2436
	a	11.9	24.9	31.3	22.5	9.2	21.23	21.30
	H	0.91	0.85	0.93	0.77	0.85	0.93	0.9122
(c)	m	632	370	404	696	767	2869	2869
	a	34.28	14.9	16.6	37.8	27.7	28.35	28.35
	H	0.84	0.83	0.84	0.84	0.74	0.84	0.8709

3. 시뮬레이션

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. `fft_fgn` 발생기를 사용해 시뮬레이션에 사용될 자기유사 트래픽을 생성하는 과정은 다음과 같다.

- (1) `fft_fgn`을 이용하여 단위 슬롯 당 호 도착개수를 발생시킨다. 여기서 슬롯의 길이는 1 초임을 가정하고, 4096 개의 단위 슬롯 당 호 도착개수를 발생시킨다. `fft_fgn`에서 첫 번째로 발생하는 엔트리는 $t=[0, 1]$ 사이에 도착하는 호의 개수를 의미하며, 4096 번째 발생하는 엔트리는 $t=[4095, 4096]$ 사이에 도착하는 호의 개수를 의미한다.
- (2) 슬롯 당 호의 도착 개수를 슬롯기간동안의 호 도착간 시간(Inter-arrival time)으로 변환한다. 예를 들어 슬롯 당 평균 호의 도착수가 200(arrivals/sec)이면 호의 도착시간간격은 0.005 초(=1/200)가 된다.
- (3) 변환된 호 Inter-arrival time 을 시뮬레이션 모델에 적용하기 위해 각 호의 도착을 Scheduling 하며, Scheduling 은 본 논문에서 사용한 시뮬레이션 언어인 SLAM의 "event"노드를 이용하였다.
- (4) 시뮬레이션 모델에서는 이를 처리한다.

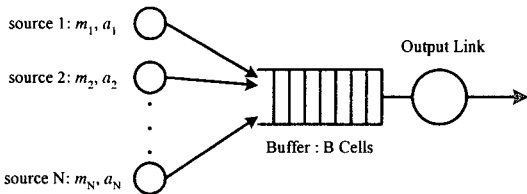


그림 1. 시뮬레이션 모델

그림 1.은 시뮬레이션 모델을 나타내며, 각 트래픽 소스에서 발생된 데이터 트래픽은 Single-Server Single-Queue 인 시스템에 인가된다. 시스템에 도착한 트래픽 데이터는 출력링크가 Busy 이면 큐(Queue)에 있다가 출력링크가 가용해지면 서비스를 받는다. 큐에서의 서비스 방식은 FCFS(First Come First Service)임을 가정한다. 큐가 Full 일 때 도착하는 데이터 트래픽은 블러킹된다. 시뮬레이션에서 설정되어야 할 파라미터로는 네트워크 구성 측면에서는 버퍼 크기(B)와 출력링크 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)은 시뮬레이션 출력으로 얻을 수 있는 결과가 된다.

3.2 시뮬레이션 결과

시뮬레이션 수행은 결과의 정확성을 위해 각 Item 마다 총 8 번씩 실시하였으며, 각각의 수행마다 Seed

값을 다르게 하여 평균을 구하였다.

그림 2.에는 트래픽 소스의 개수가 5 개(표 2. (a)의 입력 트래픽 1 ~ 5)일 경우 버퍼의 크기와 출력링크의 용량이 셀 손실확률(CLR)에 미치는 영향을 나타내었다. 표 2. (a)에 있는 5 개의 입력 트래픽이 혼합될 경우 트래픽의 특성은 평균은 $m=2548(\text{cells/sec})$, 분산계수 $a=22.3932(\text{cells-sec})$, Hurst Parameter는 $H=0.83$ 이다. 버퍼의 크기가 증가함에 따라 CLR 은 감소하고 또한 출력링크의 용량이 증가함에 따라 CLR 도 감소한다. $C=2600(\text{cells/sec})$ 인 경우 버퍼크기에 관계없이 CLR 에 영향을 미치는 주요요인은 출력링크 용량이기 때문에 CLR 이 거의 같다. 그리고 $C=3400(\text{cells/sec})$ 인 경우 버퍼크기에 관계없이 CLR 은 거의 0 임을 알 수 있다. 따라서 CLR 에 관한 서비스 기준이 10^{-6} 정도인 경우 출력링크의 속도는 약 3400(cells/sec) 이상이 되어야 한다.

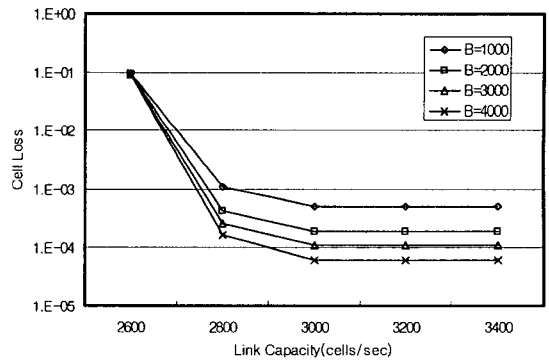


그림 2. 출력링크의 변화에 따른 셀 손실률

그림 3.에는 동일한 환경에서 $C=2600, 2800(\text{cells/sec})$ 인 경우 버퍼 크기의 변화에 따른 CLR 의 변화를 나타내었는데, 버퍼크기의 증가가 CLR 에 미치는 영향은 출력링크의 용량이 커짐에 따라 현저해 짐을 알 수 있다.

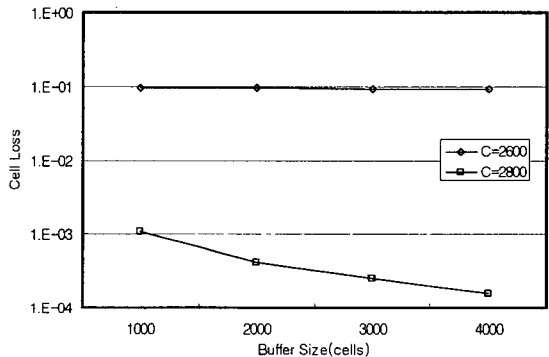


그림 3. 버퍼크기의 변화에 따른 셀 손실률

그림 4.에는 $C=2800$ (cells/sec)인 경우 시뮬레이션 결과를 이론적인 결과(식 (2)와 식(3))와 함께 나타내었다. Norros Formula 의 경우 앞에서 언급하였듯이 낮은 버퍼크기에서 시뮬레이션 결과와 많은 오차가 발생하였음을 알 수 있고, Bahadur-Rao Theorem 을 사용한 식의 경우는 시뮬레이션 결과와 거의 일치함을 알 수 있다.

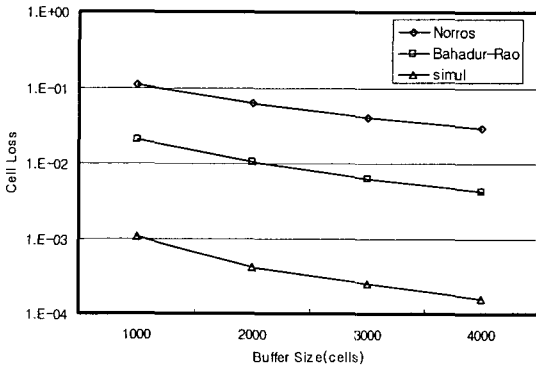


그림 4. CLR 에 관한 이론식과 시뮬레이션 결과비교

4. 결 론

인터넷 트래픽과 같이 버스트성과 자기유사성을 갖는 데이터 트래픽을 주로 수용하는 차세대 이동통신 시스템에서는 요구되는 채널 및 중계선과 같은 자원들의 효율적인 물량산출 및 설계가 요구된다. 따라서, 망 설계와 디멘저닝 관점에서 필요한 유효 대역폭 (Effective Bandwidth)을 산출하기 위한 해석적 모델로써 Norros 의 Effective Bandwidth Formula 와 Z. Fan 의 Formula 를 고려하였다. 그리고 이 두 가지 해석적 모델의 유용성 및 타당성을 검토하기 위해 트래픽 특성이 서로 다른 다수의 데이터 트래픽이 통합되어 망에 입력되는 경우를 시뮬레이션을 수행하여 그 결과를 비교하였다.

시뮬레이션 결과에 의하면 버퍼크기가 작은 경우에 Norros's Formula 는 많은 오차를 나타냈지만, 일반적인 이동통신시스템의 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-bound 의 Effective Bandwidth 및 셀 손실 확률을 제공할 수 있었다.

또한, 두 해석적 모델을 비교해보면 Z. Fan's Formula 가 Norros's Formula 보다 시뮬레이션 결과에 좀 더 근접함을 알 수 있었다. 따라서, 3G 이동통신시스템의 망 설계 및 디멘저닝 시 복잡하고 많은 시간이 소요되는 시뮬레이션에 의한 방법보다 Z. Fan's

Formula 에 의한 해석적 방법을 이용하는 것이 채널 용량 및 중계선 용량, 그리고 시스템 내 다양한 디바이스의 Buffer 크기 등을 보다 쉽게 산출하는데 용이할 것이다.

참고문헌

- [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