

# 데이터 전송률의 적응성을 고려한 CDMA2000 1X EV-DO 시스템의 순방향 데이터 서비스 용량 분석

최우용<sup>†</sup> · 임동구

동아대학교 산업경영공학과

## Forward Link Data Service Capacity Considering Data Rate Adaptation in CDMA2000 1X-EVDO Systems

Woo-Yong Choi · Dong-Gu Lim

Department of Industrial and Management Systems Engineering,  
Dong-A University, Busan 604-714, Korea

The existing approaches for analyzing the data service capacity of CDMA2000 1X EV-DO (Evolution-Data Only) systems have focused on deriving the maximum number of active customers assuming that the data rates provided to the customers can be determined beforehand. However, we have seen that through real experiment, the data rates actually provided to the customers adaptively change according to the number of active customers. In this paper, we propose new capacity analysis model considering the data rate adaptation. Numerical examples are also presented to obtain the maximum input traffic rates for various values of the length of data burst and the required mean delay bound.

**Keywords:** CDMA2000 1X EV-DO, Data Service Capacity, Service Delay

### 1. 서론

1995년에 퀄컴사가 개발한 최초의 CDMA 이동통신 규격이 등장하고 이를 1996년에 우리나라에서 최초로 상용화한 동기식 CDMA 이동통신 서비스는 기본적으로 음성통신 위주로 시작되었다. 그러나 1990년대 중반부터 급격한 인터넷 보급에 의하여 음성 서비스뿐만 아니라 고속 무선 데이터 서비스도 지원이 가능한 시스템이 요구되었다(EIA/TIA-95 Rev A(1995)). 이에 따라 퀄컴사는 1997년에 IS-95B 규격을 개발하였으며 2000년에 CDMA2000 1X EV-DO(Evolution Data Only) 규격을 개발하였다(EIA/TIA-95 Rev B(1997), TIA/EIA/IS-856(2000)).

IS-95A 규격에서는 음성 데이터 속도에 해당하는 9.6 kbps 혹은 14.4 kbps의 데이터 서비스가 가능하지만 이는 영상통화,

멀티미디어 데이터 전송 등의 데이터 서비스를 지원하기에는 부족한 속도라고 할 수 있다. 이에 반해 IS-95B 시스템에서는 IS-95A 시스템의 air interface 규격은 유지하면서 최대 8개의 음성 채널을 묶어 하나의 데이터 호에 할당하는 방식으로 데이터 전송 속도를 최대 76.8 kbps 혹은 115.2 kbps로 확대하였다. 3세대 이동통신 규격인 CDMA2000 1x EV-DO 규격은 변조 방식으로 BPSK(Binary Phase-Shift Keying) 뿐만 아니라 QPSK(Quadrature Phase-Shift Keying), 16-QAM(16-Quadrature Amplitude Modulation) 등의 변조 방식을 사용하는 등의 기술 향상을 통하여 가입자 당 최대 데이터 전송 속도를 약 2.46Mbps로 확대하였다. 이상의 IS-95A, IS-95B, CDMA2000 1X EV-DO 시스템의 기술을 비교하면 <Table 1>과 같다.

전통적으로 CDMA 이동통신 시스템의 음성 서비스 용량은

본 논문은 동아대학교 학술연구비 지원에 의하여 연구되었습니다.

<sup>†</sup> 연락저자 : 최우용 교수, 604-714 부산광역시 사하구 하단 2동 840번지 동아대학교 산업경영공학과, Tel : 051-200-7696, Fax : 051-200-7697,

E-mail : wychoi77@dau.ac.kr

2011년 4월 28일 접수; 2011년 8월 7일 게재 확정.

Table 1. Comparison of IS-95A, IS-95B and CDMA2000 1X EV-DO

Features	IS-95A	IS-95B	CDMA2000 EV-DO
RF Bandwidth	1.25MHz	1.25MHz	1.25MHz
Data Rate	9.6kps or 14.4kbps	up to 76.8kbps or 115.2kbps	up to 2.46Mbps
Modulation	BPSK	BPSK	BPSK, QPSK, 16-QAM

이론적으로 SNR(Signal to Noise Ratio)을 기초로 하여 동시에 서비스 가능한 음성 호의 최대 개수를 구하고 Erlang B 공식을 이용하여 어떤 주어진 호 차단 확률을 만족하는 최대 입력 트래픽 부하를 구함으로써 분석되어 왔다. 그리고 CDMA 이동통신 시스템의 데이터 서비스의 용량은 각 데이터 호의 데이터 전송률이 미리 주어졌을 때 이론적으로 SNR을 기초로 하여 동시에 서비스 가능한 데이터 호의 최대 개수를 유도하고 Erlang C 공식을 이용하여 어떤 주어진 평균 지연시간을 만족하는 최대 입력 트래픽 부하를 구함으로써 분석되어 왔다(Choi and Kim, 2001; Esteves, 2002; Lim, 2001; Park and Lee, 2002). 그 밖에 Bi and Vitebsky(2002)와 Mohanty, Rezaiifar, and Pankaj(2002)에서 CDMA 이동통신 시스템의 데이터 서비스의 용량을 시뮬레이션으로 분석하기 위한 방법이 제안되었다.

CDMA 이동통신 시스템에서 best effort 서비스 형태의 데이터 서비스가 이루어질 때 각 데이터 호의 전송률은 미리 결정될 수 없으며 기지국을 통하여 서비스 되는 데이터 호의 개수에 따라서 각 데이터 호의 전송률은 반비례의 관계를 가지며 변한다. 따라서 SNR과 Erlang C 공식에 기초한 이론적인 데이터 서비스 용량 분석 방법은 best effort 서비스의 경우와 같이 데이터 호의 전송률이 서비스 중인 데이터 호의 개수에 따라서 가변적인 경우 직접적으로 적용하기 어렵다. 그리고 데이터 호의 개수가 주어져 있을 때 주어진 SNR을 만족하는 각 데이터 호의 최대 전송률을 유도할 경우 이는 오직 물리계층의 전파간섭만을 고려한 것이므로 물리계층 위의 상위계층을 동시에 고려할 경우 실질적으로 서비스 가능한 각 데이터 호의 최대 전송률은 달라질 수 있다. CDMA 이동통신 시스템에서 best effort 서비스가 이루어질 때 시뮬레이션을 통하여 데이터 서비스의 용량을 분석할 경우 일반적으로 물리계층뿐만 아니라 상위의 모든 계층을 고려하여 시뮬레이션하기 매우 어렵다. 이러한 것을 고려할 때 CDMA 이동통신 시스템에서 best effort 형태의 서비스가 이루어질 경우 물리계층뿐만 아니라 상위의 모든 계층을 동시에 고려하여 데이터 서비스의 용량을 분석하기 위해서는 새로운 분석 방법이 필요하다고 할 수 있다.

본 논문에서는 CDMA2000 1X EV-DO 시스템에서 best effort 서비스가 이루어질 경우 데이터 서비스의 용량을 물리계층뿐만 아니라 모든 계층을 동시에 고려하여 분석하기 위한 새로운 분석 방법으로써 실제 실험을 통한 분석 결과와 이론적인 분석 결과를 결합하는 하이브리드 분석 방법을 제안하고자 한다. 동시에 서비스 중인 데이터 호의 개수에 따른 데이터 호의 전송률의 변화는 SNR이나 그 밖의 이론적인 분석을 통하여 파악하기 어려우므로 실제 실험을 통하여 분석하고 데이터 버

스트(data burst)의 길이와 도착률에 따른 지연시간에 대한 분석은 데이터 호의 개수와 데이터 호의 전송률 간의 관계를 바탕으로 이론적으로 분석하고자 한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 다음 절에서는 CDMA2000 1X EV-DO 시스템에서 동시에 서비스 중인 데이터 호의 개수와 데이터 호의 전송률 간의 관계를 분석하기 위하여 실제 실험을 통한 분석 방법과 그 분석 결과를 제시한다. 제 3장에서는 동시에 서비스 중인 데이터 호의 개수와 데이터 호의 전송률 간의 관계를 바탕으로 데이터 버스트의 길이와 도착률에 따른 지연시간에 대한 이론적인 분석 방법을 제시한다. 그리고 제 4장에서는 본 논문에서 제안하는 실제 실험을 통한 분석 결과와 이론적인 분석 결과를 결합하는 하이브리드 분석 방법을 통하여 다양한 데이터 버스트의 길이와 평균 지연시간에 따른 데이터 서비스의 용량 분석 결과를 제시한다. 마지막으로 제 5장에서 결론을 맺는다.

## 2. 데이터 호의 개수와 전송률 간의 관계

CDMA2000 1X EV-DO 시스템은 단말과의 무선 인터페이스 지원을 위한 BTS(Base Transceiver Station), 여러 개의 BTS의 관리를 위한 BSC(Base Station Controller), 음성 호를 서비스하기 위하여 PSTN(Public Switched Telephony Network)과의 연결을 위한 MSC(Mobile Switching Center) 그리고 무선 패킷 데이터 서비스를 위한 PDSN(Packet Data Serving Node)으로 구성된다. 이러한 CDMA2000 1X EV-DO 시스템에 <Figure 1>과 같이 단말을 BTS에 무선으로 연결하여 각 단말로 하여금 1 Mbyte의 데이터를 FTP(File Transfer Protocol)를 사용하여 다운로드하도록 하였다.

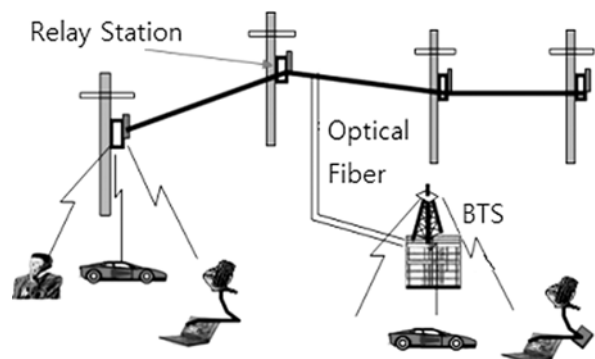


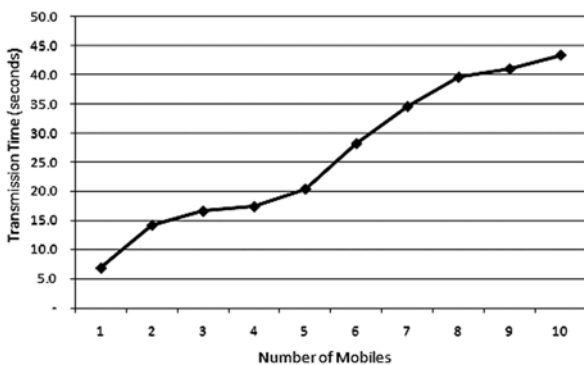
Figure 1. Configuration of Experiment System

측정 장비로는 IS-95A, IS-95B, CDMA2000 1X EV-DO 등의 이동통신 시스템의 성능을 측정할 수 있는 OPTis를 사용하였다. OPTis를 사용하면 사용자는 GUI를 통해 쉽게 이동통신 시스템의 성능을 측정할 수 있다. 그 밖에 실험을 위하여 사용한 장비로는 CDMA2000 1X EV-DO 단말기 10개와 노트북 PC가 있다. 이상의 장비 내역을 요약하면 <Table 2>와 같다.

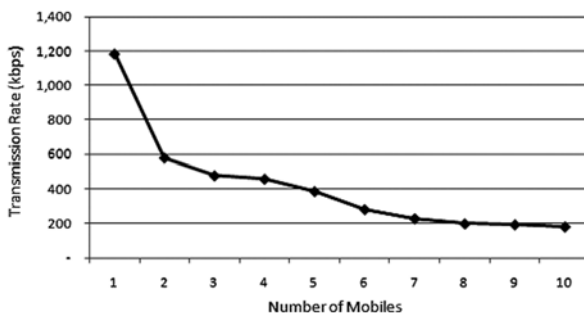
**Table 2.** Equipments for Performance Experiment

Equipment	Specification
Measurement Equipment	OPTis-M
Analyzing Tool	OpTis-DO Analyzer
Mobile Phones	10 CDMA2000 1X EV-DO Phones
Notebook Computer	CPU : Pentium 4, RAM : 512Mbytes

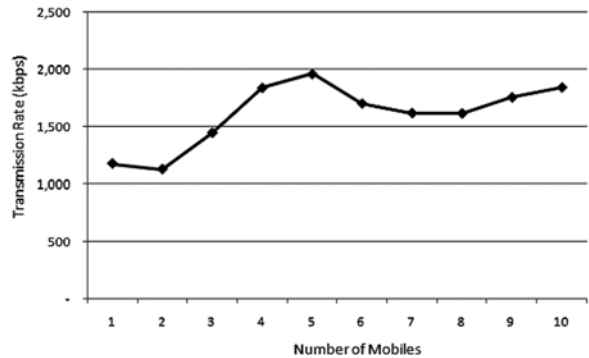
동시에 BTS에 무선으로 연결하여 FTP로 1Mbyte의 데이터를 다운로드하는 단말의 개수를 1에서 10까지 늘려가며 각 단말이 1 Mbyte의 데이터를 모두 성공적으로 다운로드하는데 소요되는 시간과 각 단말의 전송률 그리고 모든 단말의 전송률의 합을 <Figure 2> ~ <Figure 4>와 같이 얻을 수 있었다. 1에서 10가지 단말의 개수를 늘려가며 성능을 측정할 때 각각 5번의 실험을 하여 평균값을 구하였다.



**Figure 2.** Mean transmission time versus number of mobiles



**Figure 3.** Mean transmission rate per mobile versus number of mobiles



**Figure 4.** Mean total transmission rate versus number of mobiles

<Figure 2> ~ <Figure 4>로부터 알 수 있듯이 동시에 전송하는 단말의 개수가 커질수록 각 단말이 1 Mbyte의 데이터를 성공적으로 다운로드하는데 소요되는 시간은 거의 선형적으로 증가하며 각 단말에 할당되는 데이터 전송률은 감소하며 모든 단말의 전송률의 합은 증가하는 추세를 가진다. <Figure 4>로부터 알 수 있듯이 동시에 전송하는 단말의 개수가 커지면서 모든 단말의 전송률의 합이 일정한 값을 가지지 않고 점점 커지는 추세를 가진다. 이와 같은 현상은 물리계층만을 고려할 경우 발견하기 힘든 현상으로써 물리계층 뿐만 아니라 상위 모든 계층을 고려할 경우에만 파악할 수 있는 현상이다. 다만, <Figure 4>에서 단말의 개수가 증가함에 따라서 전송률의 합이 단조 증가하지 않는 것은 실험시에 발생한 신호간섭 때문으로 판단되며 실험 횟수를 늘리면 단조 증가 현상이 뚜렷해질 것으로 기대된다.

<Figure 2> ~ <Figure 4>의 성능 측정을 위하여 모든 단말은 기지국으로부터 약 100m의 거리에 있도록 하였다. 따라서 <Figure 2> ~ <Figure 4>의 성능 결과는 가입자가 일반적으로 경험할 수 있는 성능의 최대치에 가깝다고 할 수 있다.

### 3. 성능분석 모델

이론적인 성능분석을 위하여 새로운 데이터 호는 CDMA2000 1X EV-DO 이동통신 시스템에 도착률  $\lambda$ (/second)를 가지는 포아송 과정을 따라서 도착한다고 한다. 각 데이터 호는 길이가 M bits 인 데이터 버스트를 다운로드하기 위하여 시도하는데 이 때 M 은 평균이  $1/\mu$ 인 지수분포를 따른다고 한다. 그리고 데이터 호의 손실은 없으며 자신의 데이터 버스트를 다운로드 할 때까지 계속적으로 기다린다고 한다. 그러면 CDMA2000 1X EV-DO 이동통신 시스템에서 동시에 서비스 중인 데이터 호의 개수  $i$ 의 변화 과정은 <Figure 5>와 같은 마코브 체인으로 모델링될 수 있다.

<Figure 5>에서  $R_i$ (bps)는  $i$ 개의 데이터 호가 동시에 서비스 중일 때 모든 단말의 전송률의 합으로써 <Figure 4>의 실측치로부터 얻을 수 있다. 단,  $i$ 가 10보다 클 경우의  $R_i$ 는  $R_{10}$ 과 같은 값을 가진다고 가정한다. 이는 <Figure 4>에서  $i$ 가 10보다 커지

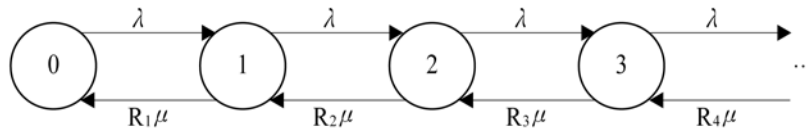


Figure 5. Markov chain

면서  $R_i$ 도 커질 것으로 예측되므로 어느 정도 보수적으로 근사화한 것이라고 할 수 있다.

CDMA2000 1X EV-DO 이동통신 시스템에서 동시에 서비스 중인 데이터 호의 개수가  $i$ 가 될 확률을  $P_i$ 라 할 때 <Figure 5>의 마코브 체인을 위한 평형 방정식을 time reversibility에 의하여 다음과 같이 유도할 수 있다.

$$\lambda P_i = R_{i+1} \mu P_{i+1}, i = 0, 1, 2, \dots \quad (1)$$

따라서  $\sum_{i=0}^{\infty} P_i = 1$ 을 이용하면  $P_i$ 는 다음과 같이 유도될 수 있다.

$$P_0 = \left( 1 + \frac{\lambda}{R_1 \mu} + \frac{\lambda^2}{R_1 R_2 \mu^2} + \frac{\lambda^3}{R_1 R_2 R_3 \mu^3} + \dots \right)^{-1} \quad (2)$$

$$P_i = P_0 \frac{\lambda^i}{R_1 R_2 \dots R_i \mu^i}, i = 1, 2, 3, \dots \quad (3)$$

식 (2)의 괄호 내에 무한개의 항이 있지만 충분히 많은 항에 대해 계산을 하면 수치적으로 충분히 정확하게  $P_i$ 를 구할 수 있다.

CDMA2000 1X EV-DO 이동통신 시스템에서 동시에 서비스 중인 데이터 호의 평균 개수  $\bar{N}$ 는  $P_i$ 를 이용하여 다음과 같이 유도될 수 있다.

$$\bar{N} = \sum_{i=0}^{\infty} i \cdot P_i \quad (4)$$

그리고 최종적으로 CDMA2000 1X EV-DO 이동통신 시스템에서 평균 전송 지연시간  $\bar{T}$ (seconds)는 Little의 공식에 의하여 다음과 같이 유도될 수 있다.

$$\bar{T} = \frac{\bar{N}}{\lambda} \quad (5)$$

식 (1) ~ 식 (5)로부터 데이터 버스트의 평균 길이( $1/\mu$  bits)와 도착률( $\lambda$ /second)이 주어지면 이러한 각 데이터 호를 서비스 하는데 소요되는 평균 지연시간을 유도할 수 있다. 따라서 데이터 버스트의 평균 길이가 주어질 때 주어진 평균 지연시간을 만족하는 데이터 호의 도착률의 최대값을 유도할 수 있다. 그리고 가입자 당 데이터 호의 BHCA(Busy Hour Call Attempts)

가 주어지면 각 기지국에서 서비스 가능한 가입자의 수를 유도할 수 있다.

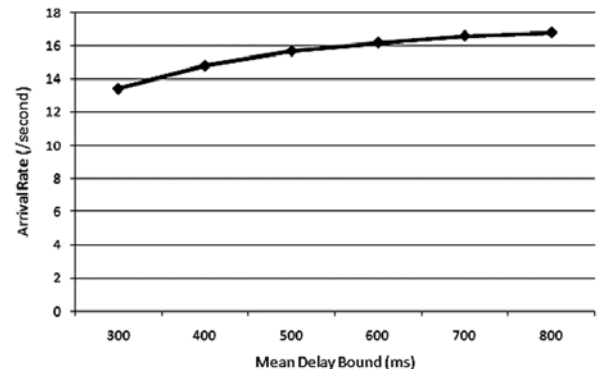


Figure 6. Numerical results when mean burst length is 100,000 bits

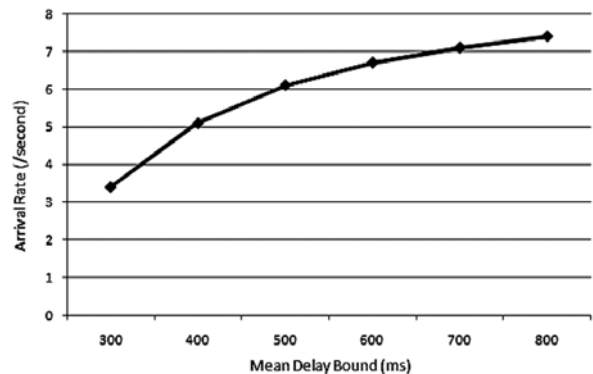


Figure 7. Numerical results when mean burst length is 200,000 bits

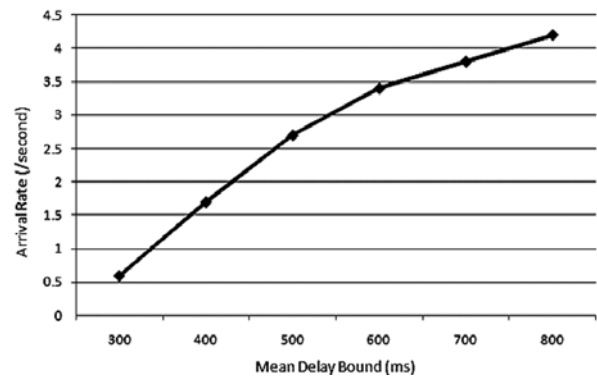


Figure 8. Numerical results when mean burst length is 300,000 bits

#### 4. 계산 결과

본 절에서는 데이터 버스트의 평균 길이( $1/\mu$  bits)가 주어질 때 요구되는 평균 지연시간이 허용 가능한 데이터 호의 도착률( $\lambda$  (/second))에 미치는 영향을 계산 결과로써 분석하고자 한다. 이를 위하여 데이터 버스트의 평균 길이는 100,000bits, 200,000 bits, 300,000bits의 3가지 경우를 고려하고자 하며 요구되는 평균 지연시간은 300ms, 400ms, 500ms, 600ms, 700ms, 800ms의 6가지를 고려하여 각 데이터 버스트의 평균 길이에 대하여 요구되는 평균 지연시간을 만족하는 데이터 호의 도착률을 유도하고자 한다.

<Figure 6> ~ <Figure 8>은 데이터 버스트의 평균 길이의 3가지 각 경우에 대하여 요구되는 각 평균 지연시간에 따른 허용되는 데이터 호의 도착률의 계산 결과를 나타낸 것이다.

<Figure 6> ~ <Figure 8>을 살펴보면 데이터 버스트의 모든 3가지 평균 길이에 대하여 요구되는 평균 지연시간이 커질수록 허용되는 데이터 호의 도착률은 증가한다는 것을 알 수 있다. 하지만 요구되는 평균 지연시간이 커지면서 허용되는 데이터 호의 도착률의 증가폭이 평균 지연시간이 커질수록 점점 감소한다는 것을 알 수 있다. 이는 서비스 품질(평균 지연시간)의 희생으로 가입자의 증가와 같은 이익은 현재의 서비스 품질이 나빠질수록 점점 한계를 가지게 됨을 의미한다. 따라서 CDMA2000 1X EV-DO의 현재의 서비스 품질이 좋지 않은 경우 추가적인 가입자의 모집은 매우 신중하게 이루어져야 한다고 할 수 있다.

#### 5. 결론

본 논문에서는 CDMA2000 1X EV-DO 이동통신 시스템에서 best effort 서비스가 이루어질 경우 데이터 서비스의 용량을 물

리계층뿐만 아니라 상위의 모든 계층을 고려하여 정확하게 분석하기 위하여 동시에 서비스 중인 데이터 호의 개수에 따른 데이터 전송률의 변화를 실제 실험을 통하여 파악하고 데이터 호의 도착률과 데이터 버스트의 평균 길이에 따른 평균 지연시간의 유도는 이론적인 분석을 사용하였다. 그리고 데이터 버스트의 평균 길이가 주어질 때 요구되는 평균 지연시간이 허용 가능한 데이터 호의 도착률에 미치는 영향을 계산 결과를 통하여 분석하였다.

#### 참고문헌

- Bi, Q. and Vitebsky, S. (2002), Performance Analysis of 3G-1X EVDO High Rate System, *Proc. IEEE WCNC*, 389-395.
- Choi, W. and Kim J. Y. (2001), Forward-Link Capacity of a DS/CDMA System with Mixed Multirate Sources, *IEEE Trans, Vehicular Technology*, **50**, 737-749.
- EIA/TIA-95 Rev A. (1995), Mobile Station-Base Station Compatibility Standard for Dual-Mode Wideband Spread Spectrum Cellular System.
- EIA/TIA-95 Rev B. (1997), Mobile Station-Base Station Compatibility Standard for Dual-Mode Wideband Spread Spectrum Cellular System.
- EIA/TIA/IS-856. (2000), CDMA2000, High Rate Packet Data Air Interface Specification.
- Esteves, E. (2002), On the Reverse Link Capacity of CDMA2000 High Rate Packet Data Systems, *Proc. IEEE ICC*, 1823-1828.
- Knisely, D. N., Kumar, S., Laha, S., and Nanda, S. (1998), Evolution of Wireless Data Services : IS-95 to CDMA2000, *IEEE Communications Magazine*, **36**, 140-149.
- Mohanty, B., Rezaifar, R., and Pankaj, R. (2002), Application Layer Capacity of the CDMA2000 1xEV Wireless Internet Access System, *Proc. World Wireless Congress*.
- Park, K.-I. and Lee, C. Y. (2002), Modeling and Analysis of Burst Switching for Wireless Packet Data, *Journal of Korean Institute of Industrial Engineers*, **28**, 139-146.