

# CDMA 1X EV-DO 시스템에서 무선 환경과 TCP 효율 분석

이근용, 김영용  
연세대학교 전기전자 공학부  
e-mail : tros07@win.yonsei.ac.kr

## Analysis of TCP throughput and wireless channel condition in CDMA 1x EV-DO system

Keun-Yong Lee, Young-Yong Kim  
Dep. of Electrical & Electronics Engineering, Yonsei University

### 요 약

유선에서와는 달리 무선망에서는 채널의 대역폭이 이동 단말기의 위치와 시간에 따라 변하는 특성을 가지고 있다. 유선 망의 대역폭과 TCP의 RTT와의 관계에 대한 논문은 이미 많이 발표되어 있다[1]. 하지만 고정된 대역폭에서 최적화 되어있는 TCP의 혼잡 제어 알고리즘이 다양한 변화를 가지는 무선 환경에서도 좋은 성능을 내는 지에 대해 발표된 연구 결과는 많지 않다. 이 논문에서는 RTT에 영향을 받는 TCP의 throughput이 무선 채널의 변화와는 어떤 관계가 있는지를 살펴보고자 한다[2]. 오랫동안 지속되는 TCP 연결에 의해 생성되는 CDMA 1X EV-DO 시스템에서 사용되는 비례 공정 스케줄링과 기존의 스케줄링을 이용하여 packet을 전송하였을 경우 무선 채널의 변화와 RTT의 관계에 의해 나타나는 결과를 살펴보겠다.

### 1. 서론

무선 통신의 가입자가 폭발적으로 증가하면서 많은 사람들이 무선 단말기를 통한 통신에 많이 익숙해져 있다. 현재 무선 통신 기술은 2세대에서 3세대로 진화를 하고 있는 중이다. 3GPP(Third Generation Partnership Project)진영의 EDGE(Enhanced Data rates for Global Evolution)와 HSDPA(High Speed Data Packet Access)나 3GPP2 진영의 CDMA 2000 1X EV-DO(Evolution - Data Only)와 EV-DV(Evolution - Data and Voice)가 제안되고 있다. 새로 제안되는 방법은 모두 무선 환경이라는 특수성을 고려한 packet 전송 방법이기에 때문에 데이터 서비스의 속도는 최적화되고 지속적으로 발전하고 있지만 TCP의 특성은 충분히 고려되지 않았다.

TCP는 Slow Start and Congestion Avoidance와 RTO 알고리즘을 통해 흐름 제어를 한다[3]. 이 방법은 유선 망에서 TCP의 전송 효율과 네트워크의 안정성에 최적화 되어 있지만 무선 환경에서는 많은 문

제점을 나타내고 있다. 이 논문에서는 무선 환경에서 어떤 문제점이 나타나는지를 분석해 보겠다.

본 논문은 2장에서 CDMA 1X EV-DO와 PF Scheduling에 대해 간략하게 알아보고, 3장에서는 시뮬레이션의 환경과 구성에 대해 언급하겠다. 4장에서는 도출된 결과를 분석하고 성능을 높이는 방법을 제안하고, 5장에서 논문의 전체적 결론 및 평가를 하겠다.

### 2. CDMA 1X EV-DO

#### 2.1 개요

IS-95에서 사용하고 있는 1.25Mhz 대역의 전송 주파수 채널을 사용하는 강한 이점을 가지고 있다. 이는 기존 무선 전화망 시스템의 변화 없이 EV-DO 장비를 장착하는 방법을 사용하여 EV-DO 서비스를 사용할 수 있게 된다. 특징을 간략하게 살펴보면,

- 순방향 링크 전송 속도: 최대 - 2.4576Mbps  
평균 - 600kbps

- 역방향 링크 전송 속도: 최대 - 307.2kbps  
평균 - 220kbps
- 기지국간 이동(hand-off)은 지원되지 않는다.
- CDM 과 TDM 을 같이 사용한다.
- 1.67ms 의 시간 slot 마다 데이터 전송이 이루어진다.
- Burst 한 특성을 갖고, 지연에 민감하지 않는 packet 전송에 최적화된 IP-Based 시스템이다.

2.2 시스템 구현

CDMA 1X EV-DO 시스템은 TDM(Time Division Multiplex)를 사용한다. 그림 1에서 보듯이 기지국에서는 packet 순방향 전송 링크에서 최대 전송 전력으로 시간 분할 방식으로 전송을 한다[4]. 하지만 각 시간 slot 마다의 데이터 전송 속도는 각 사용자의 채널 상태에 따라 변하게 된다. 각 시간 slot 마다 pilot 신호가 들어가는데 만약 기지국에 전송할 packet 이 하나도 없더라도 이 pilot 신호는 매 시간마다 주기적으로 전송된다.

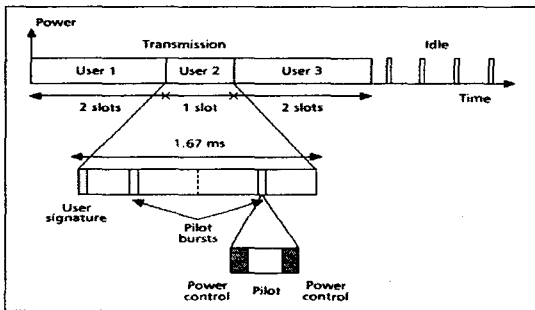


그림 1. 기지국에서의 전송 신호 [4]

Pilot 신호는 사용자들의 채널 상태를 정확하고 빠르게 측정하는 데 사용이 된다. 기지국으로부터 받은 신호의 세기를 기초로 하여 자신의 SNR(Signal to Noise Ratio)을 측정하고 사용자는 이 값에서부터 허용된 손실을 내에서 얻을 수 있는 최대 데이터 속도를 얻게 된다. MH(Mobile Host)는 채널 상태 정보를 DRC (data rate request channel)의 형태로 역방향 링크로 1.67ms 마다 기지국으로 전송을 해준다.

또한 EV-DO 시스템은 Forward Error Correcting (FEC) 방식도 사용하여 무선 채널에서 발생하는 packet 손실을 보정하여 전송 효율을 높인다. 각 time slot 마다 전송 속도가 다르기 때문에 전송 속도에 따른 FEC rate 도 정의되어있다[5].

2.3 비례 공정 (Proportional Fairness) 스케줄링

EV-DO 시스템에서는 비례 공정 스케줄링 방식을 사용하는데 이 방식은 EV-DO 시스템에서 처음으로 제안된 스케줄링 방식이다. 스케줄링의 기본 개념은 1.67ms 의 시간마다 스케줄러가 사용자를 선택할 때 사용자에게서 온 채널 정보를 기반으로 하여 가장 좋은 채널을 가진 사용자에게 우선권을 주는 것이다. 아

직 기술적으로 무선 채널의 용량에 한계가 있기 때문에 이 방법을 이용하면 부족한 자원을 가장 효율적으로 쓸 수 있다.

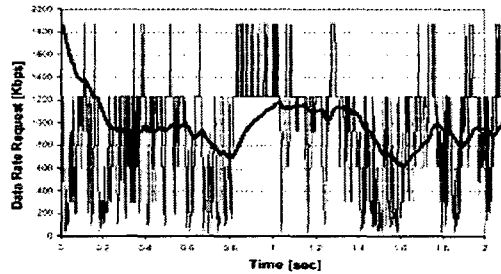


그림 2. 무선 환경에서 채널 변화[6]

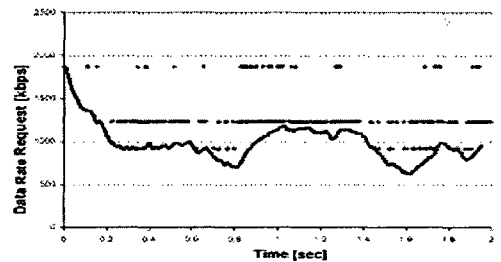


그림 3. 사용자 1의 good scheduling time [6]

채널의 상태가 가장 좋은 MH 에게만 우선권을 주면 전체 throughput 은 증가한다. 하지만 상대적으로 기지국에 가까이 위치한 사용자들이 무선 채널을 독점하는 결과를 초래할 수 있어 형평성의 문제가 발생한다. 이 문제를 보완하기 위해  $R_i(t)$ 라는 값을 수식 (2)와 같이 정의한다.  $R_i(t)$ 라는 값을 이용하여 수식 (1)을 정의하고 이를 기본 알고리즘으로 하여 스케줄링을 한다[7].

$$\cdot \text{Scheduling Function} = DRC_i(t) / R_i(t) \quad (1)$$

$$\cdot R_i(t+1) = (1 - 1/t_c) * R_i(t) + 1/t_c * (\text{Current Transmission Rate of User } i) \quad (2)$$

- $1/t_c$ : 시간 슬롯 길이(1.67ms)
- $R_i(t)$ : 시간  $t$ 에서 사용자  $i$ 의 평균속도
- $DRC_i(t)$ : 시간  $t$ 에서 사용자  $i$ 의 채널 상황

수식 (2)에 의해  $R_i(t)$ 는 moving average 값을 가지게 된다. 만약  $t$ 의 시간에  $i$  번째 사용자가 선택이 되었다면 해당  $i$  번째 사용자는 서비스 받은 속도도  $R_i(t)$ 가 갱신되고 서비스 받지 못한 사용자들은 Current Transmission Rate 값을 0 으로 하여  $R_i(t)$ 를 갱신한다. 만약 한 유저가 계속해서 서비스를 받을 경우 다른 사용자들에 비해  $R_i(t)$  값은 상대적으로 커지게 되어 Scheduling function 값이 작아지게 된다. 반대로 서비

스를 한동안 받지 못한 사용자의 경우에는  $Ri(t)$  값이 작아지게 되므로  $DRCi(t)$  값이 작더라도 선택될 가능성이 높아지게 된다. 비례 공정 스케줄링은 이런 방식으로 계산된 Scheduling function 값에 의해 시간  $t$ 에서 서비스 될 사용자를 선택하여 사용자 간의 형평성을 보장하게 된다. 그림 2 와 같은 채널 환경을 가지는 사용자의 경우 PF Scheduling 에 의해 선택된 순간은 그림 3 과 같다.

### 3. 시뮬레이션 구성

시뮬레이션은 GNU C 로 작성한 코드를 이용하여 Linux kernel 2.2.17 의 환경에서 실행되었다. 시뮬레이션 환경은 다음과 같다.

packet 크기	2000bit
스케줄링 방식	<ul style="list-style-type: none"> <li>• RR (Round Robin)</li> <li>• PF (Proportional Fairness)</li> </ul>
무선 채널 대역폭	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Good state : 1Mbps</li> <li>• Bad state : 100kbps</li> </ul>
유선 채널 대역폭	100Mbps
Propagation Delay	유선 구간: 10msec/hop
TCP version	TCP Reno
Slow Start Threshold	16
시뮬레이션 시간	1000 초

표 1. 시뮬레이션 환경

무선 채널 환경은 Good 과 Bad 만 존재하는 Two State Markov Model 을 가정하였다. 각 상태로 전이되는 속도에 따라 채널이 한 상태에 머무는 시간이 정해진다. 이 논문에서는 무선망의 변화에 의해 발생한 Congestion 손실과 TCP window size 의 변화에 중점적인 관심을 두고 있고 CDMA 1X EV-DO 에서는 FEC(Forward Error Correction)을 사용하기 때문에 무선 채널에서의 packet 손실은 없다고 가정한다.

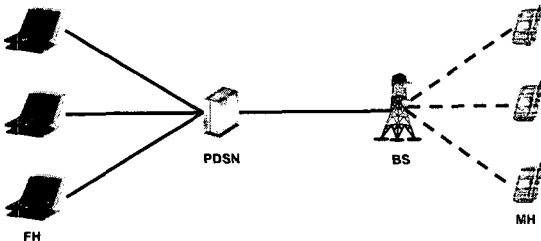


그림 4. 시뮬레이션 Topology

시뮬레이션 Topology 는 그림 4 와 같다. 3 개의 FH(Fixed Host)가 존재하고 중간에 PDSN(Packet Data Service Node)를 거쳐 BS(Base Station)에서 무선 링크로 각 MH(Mobile Host)로 전송된다. 각각의 FH 는 해당하는 하나의 MH 로 TCP 전송을 한다.

### 4. 결과 및 분석

표 2 와 표 3 에서 Round Robin 방식[8][9]의 스케줄링과 Proportional Fairness 스케줄링 방식에서의 TCP throughput 을 나타내었다.

PF Scheduling	Source1	Source2	Source3
Transition rate : 0.1 transition/sec	188.54 kbit/sec	184.92 kbit/sec	186.68 kbit/sec
Transition rate : 1 transition/sec	67.72 kbit/sec	70.4 kbit/sec	68.68 kbit/sec
Transition rate : 5 transition/sec	55.72 kbit/sec	55.68 kbit/sec	53.32 kbit/sec

표 2. TCP throughput (PF Scheduling)

RR Scheduling	Source1	Source2	Source3
Transition rate : 0.1 transition/sec	136.48 kbit/sec	138.94 kbit/sec	136.36 kbit/sec
Transition rate : 1 transition/sec	61.08 kbit/sec	59.36 kbit/sec	59.96 kbit/sec
Transition rate : 5 transition/sec	48.50 kbit/sec	51.52 kbit/sec	50.22 kbit/sec

표 3. TCP throughput (RR Scheduling)

두 가지 방법 모두 3 개의 source 는 공평하게 전송 기회를 가졌다. 하지만 PF scheduling 이 RR 방식보다 는 훨씬 효율적이라는 것을 알 수 있다. Round Robin 방식은 채널의 상태에 의존하는 것이 아니라 단순한 반복에 의해 우선권을 준다. 반면에 PF 방식은 자신의 채널 상태가 상대적으로 좋을 때 선택되고 자신이 좋지 않을 경우에는 채널 상태가 좋은 다른 유저에게 양보를 하게 되어 무선 채널의 효율을 높이면서 형평성을 유지한다.

각각의 채널 변이 속도에서 무선 채널이 천천히 변할 경우 TCP throughput 이 가장 좋은 것을 볼 수 있다. 그림 5 와 6 은 채널 변이 속도에 따른 window 크기의 그래프이다. 그림 5 에서 채널이 천천히 변할 경우에는 채널이 좋은 상태로 오랫동안 유지되어 TCP window 가 증가할 충분한 시간을 가지게 되고 좋을 때의 대역폭을 효율적으로 사용하게 된다. 특히 PF 스케줄링의 경우에는 자기 혼자만 채널 상태가 좋을 경우에는  $drc/r$  의 값을 적용하더라도 한동안 전송 기회를 독점하게 되어 전송 효율을 많이 올릴 수 있다. 반면에 그림 6 을 보면 window size 가 항상 10 이하로 존재하고 대역폭을 충분히 사용하지 못하는 것을 볼 수 있다. 채널이 매우 빨리 변할 경우 TCP window 가 증가할 충분한 시간을 가지지 못한다. 이 경우의 RTT 는 83ms 이고 채널이 한 상태에 머무는 시간은 250ms 이기 때문에 단지 3 번의 Round 만에 채널 상태가 바뀐다. 결국 소스에서는 채널 상태의 변이에 비해 RTT 가 크기 때문에 신속하게 채널 정보를 얻을 수

없고, 대역폭을 충분히 사용하지 못하게 된다. 채널이 좋을 때 증가하던 window size 도 금방 돌아오는 bad state 로 인하여 RTO 가 발생하여 1 로 수립하게 된다. 다시 채널 상태가 좋아지더라도 window size 는 1 에서 시작하므로 good state 로 전이가 된 순간 뒤 어느 일정 시간 동안은 대역폭의 손실을 본다.

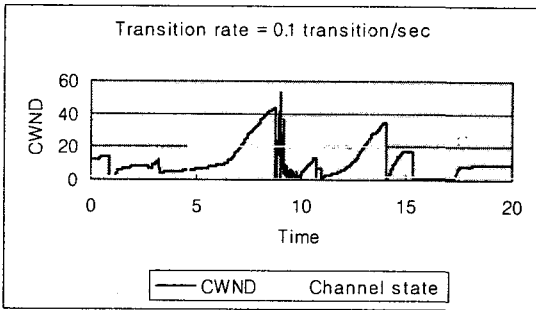


그림 5. Window 크기의 변화 (slow transition rate)

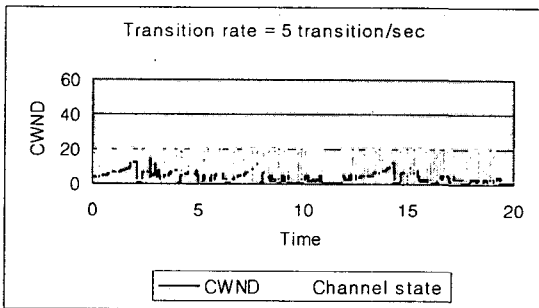


그림 6. Window 크기의 변화 (fast transition rate)

그림 7 은 PF 스케줄링과 RR 스케줄링일 때의 TCP throughput 을 그린 것이다. 채널의 전이 속도에 따라 얻어진 TCP throughput 의 크기를 비교하였다. 채널이 천천히 변할 경우에는 PF 스케줄링 방식과 RR 스케줄링 방식의 TCP throughput 이 차이가 많이 나지만, 무선 채널이 빈번하게 변할 경우에는 상대적으로 PF 와 RR 방식의 성능차이는 줄어들어 전이 속도가 초당 5 번 일어날 경우 스케줄링에 의한 성능 차이는 매우 적다.

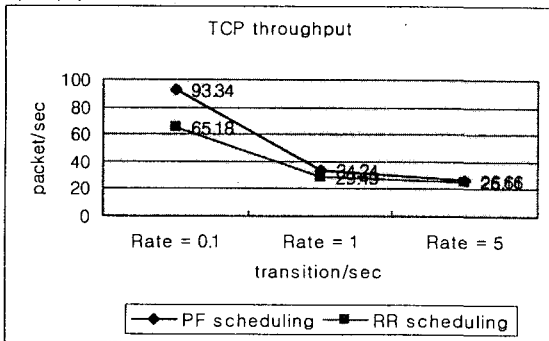


그림 7. TCP throughput

5. 결론

본 논문에서는 다양한 무선 환경 속에서 TCP 의 특성으로 인해 나타나는 throughput 의 결과에 대해 살펴 보았다. CDMA 1X EV\_DO 의 PF 스케줄링은 Round Robin 방식의 스케줄링보다 훨씬 좋은 성능을 나타냈다. PF 스케줄링은 좋은 성능을 가지는 방법임에도 불구하고 무선 환경에 따라 성능에서 많은 차이가 나는 결과를 얻을 수 있었다. 이 결과는 TCP 와 PF 방식의 특성이 결합된 결과라고 말할 수 있다. PF 스케줄링이 비록 좋은 성능을 보이고 있지만, TCP 의 전송 특성을 충분히 고려하는 방법은 아니다. 채널의 상태가 오랫동안 지속될 경우에는 좋은 성능을 보이겠지만, 도심지 같이 채널의 상태가 빨리 변하는 곳에서 TCP 데이터를 전송할 경우 어느 정도의 성능 감소가 있다. 채널의 상태가 빨리 변할 경우의 문제점을 확인할 수 있었다. 장기적으로 보면 같은 평균 대역폭을 가지는 무선 채널 일지라도 채널의 상태 변이에 따라 상당히 다른 결과가 나올 수 있음을 알 수 있다. 스케줄링 알고리즘에 문제가 있다기 보다는 TCP 의 특성과 무선 채널의 다양성이 결합된 결과이다. 그러므로 3 가지의 정보가 서로 교환되면서 대역폭의 손실을 막아 전송 효율을 높이는 연구가 지속적으로 이루어져야 할 것이다.

참고문헌

- [1] Chadi Barakat, Eitan Altman, and Walid Dabbous, "On TCP Performance in a Heterogeneous Network", IEEE Communications Magazine, January 2000
- [2] Patrick A. Hosein, "Capacity model for the CDMA-HDR high-speed wireless data service", ACM, 2001
- [3] Douglas E. Comer, "Internetworking with TCP/IP principles, protocols, and architectures", Fourth Edition, Prentice Hall.
- [4] Paul Bender, Peter Black, Matthew Grob, Roberto Padovani, Nagabhushana Sindhusayana, and Andrew Viterbi, "A bandwidth efficient high speed wireless data service for nomadic users", IEEE Communications Magazine, July 2000.
- [5] 1X EV-DO Air Interface Specification
- [6] QUALCOMM, Inc., "HDR Technical Air-link", August 09, 2000.
- [7] 1xEV-DO Inter-Operability Specification (IOS) for CDMA 2000 Access Network Interfaces
- [8] S. Keshav, "An Engineering Approach to Computer Networking", Addison Wesley.
- [9] Hui Zhang, "Service Disciplines for Guaranteed Performance Service In Packet switching Networks", Proceeding of the IEEE 1995.

※ 본 연구는 펠컴의 지원을 받아 QYCRL(Qualcomm Yonsei CDMA Research Lab.)에서 수행된 결과임.