

CDMA2000-1X 망에서 전송 계층 프로토콜의 특성 분석

정재규⁰⁺ 유혁⁺⁺ 천방훈⁺ 김영주⁺

+ 삼성전자 CTO 전략실 소프트웨어센터, ++ 고려대학교 컴퓨터학과

e-mail : pang@samsung.com

Analysis of the characteristics of Transport Layer Protocols in CDMA2000-1X

Jae Gyu Jung⁰⁺ Hyuck Yoo⁺⁺ Bang Hun Chun⁺ Young Joo Kim⁺

+ Software Center, Corporate Technology Oper., Samsung Electronics Co., LTD

++ Dept. of Computer Science and Engineering, Korea University

요 약

유선망에 최적화되도록 진화해온 TCP 는 GPRS, CDMA2000-1X 등의 무선망에서는 제 성능을 발휘하지 못한다는 것은 이미 널리 알려진 사실이며, 이를 극복하기 위한 방법들이 상당수 제안되었다. 하지만 제안된 연구들의 대부분은 이미 3 G 서비스의 링크 계층에서 상당부분 해결된 무선 링크에서의 손실을 혼잡으로 오해하는 TCP 의 문제점을 해결하기 위한 것이다. 본 논문에서는 무선 링크에서의 손실보다는 무선 링크로 인해 야기되는 길고 변화가 심한 전송시간으로 인해 발생하는 TCP 의 문제점을 제시하고, 이를 해결하기 위한 방법을 제안한다. 특히, 본 연구에서는 시뮬레이션이 아닌 실제 CDMA2000-1X 망에서 단말기를 통해 측정된 자료를 기반으로 문제점을 도출하여, 기존에 제안된 연구들과 차별화한다.

1. 서론

오늘날 인터넷은 이동통신 사업자의 서비스 확대와 이동통신 가입자 수의 증가에 힘입어 유선망과 무선망이 혼합되어지는 형태로 진화하고 있다. 무선망은 유선망에 비해 낮은 대역폭과 불안정한 링크를 제공하지만, 이동 중에도 통신이 가능하고, 위치 투명성을 제공한다는 특성에 의해 데이터 통신을 위한 망으로서 앞으로도 계속 발전될 전망이다[1, 2]. 3GPP 진영의 GPRS(General Packet Radio Service), 3GPP2 진영의 CDMA2000-1X 등 새롭게 제안되는 방법들은 모두 무선 환경이라는 특수성을 고려한 패킷 전송 방법이기 때문에 데이터 서비스의 속도는 지속적으로 발전하고 있지만, TCP 의 특성은 충분히 고려되지 않았다.

TCP 는 신뢰성 있는 데이터 전송, 효과적인 트래픽(traffic) 관리, IP 와의 효율적인 결합 등의 장점에 의해 대다수의 인터넷 응용 프로그램들의 전송 계층 프로토콜로서 사용되고 있다. 그러나, 유선망에 최적화되도록 진화해온 TCP 가 이러한 무선망에서 제 성능을 발휘하지 못한다는 것은 이미 널리 알려진 사실

이며, 이를 극복하기 위한 방법들이 상당수 제안되었다.

하지만, 제안된 연구들의 대부분은 무선망에서의 패킷 손실을 혼잡으로 오해하는 TCP 의 문제점을 해결하기 위한 것이다. 하지만, 3GPP 와 3GPP2 진영에서는 각각 RLC(Radio Link Control)[1], RLP(Radio Link Protocol)[2] 같은 링크 계층 프로토콜을 통해 지역 재전송 기법을 사용하여, 무선 링크에서의 손실을 유선망에서의 손실 정도로 줄여 무선 링크의 불안정함을 상위계층에 숨겼다. 이로 인해 길고 변화가 심한 무선 링크에서의 전송시간을 더욱 극심하게 변화하게 하는 문제점이 유발되었지만, 아직까지 이 부분에 대한 연구는 미흡한 실정이다.

또한 대부분의 기존 연구가 무선망의 특성을 가정한 상태에서 시뮬레이션을 통해 진행되었을 뿐, 단말기를 통한 실제 환경에서 분석된 결과는 거의 없는 것이 현실이다. 실제 환경에서 측정된 자료 또한 단말기를 PC 의 직렬포터에 연결된 모뎀으로 사용하여 측정된 결과들이 대부분이다.

본 논문은 길고 변화가 심한 무선 링크에서의 전송시간이 TCP 의 성능에 어떠한 영향을 끼치는지를

SKT 의 CDMA2000-1X 망에서 단말기에 구현된 Qualcomm 의 TCP 스택을 통해 직접 측정 및 분석하였으며, 분석결과 도출된 TCP 의 문제점을 제시하고, 이를 해결하기 위한 방법을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2 장에서는 기존에 제안되었던 무선망에서의 TCP 성능향상 기법들과 길고 변화가 심한 무선 링크에서의 전송시간이 TCP 에 어떠한 영향을 끼치는지 알아본다. 3 장에서는 본 연구에서 실험한 방법을 설명한 후, 4 장에서는 실험을 통해 얻어진 결과를 분석하고, 실제 무선 환경에서 TCP 의 문제점 및 해결책을 제시한다. 마지막으로 5 장에서 결론을 내린다.

2. 관련연구

무선망에서 TCP 의 성능을 향상시키기 위해 제안된 연구들은 대부분 무선 링크에서의 패킷 손실을 혼잡으로 오해하는 TCP 의 문제점을 해결하기 위한 것이었다. 링크 계층에서 ARQ(Automatic Repeat Request)를 이용한 지역적인 재전송이나, FEC(Forward Error Correction)를 이용한 에러 보정을 통해 무선링크의 불안정함을 전송계층에 숨기는 방법이 [3]에서 제안되었다. [4]에서 제안된 방법은 snoop agent 를 도입하여 무선망에서의 손실은 지역 재전송을 통해 복구하며, 복구가 완료될 때까지 발생한 duplicate ack 를 억제함으로써, 송신측에 패킷의 손실을 알리지 않도록 하는 것이다. [5]에서는 하나의 TCP 세션을 유선 구간과 무선 구간으로 분리하여 무선 링크의 존재와 무선 링크에서의 손실을 송신측에게 완전히 감추는 방법을 제안하였다. 중간 노드나 수신측에서 손실의 원인을 송신측에게 알리는 방법과 [6][7], 혼잡 제어 기법이 동작할 때 전송율을 무조건 절반으로 줄이는 대신 현재의 전송율을 바탕으로 결정하는 방법들도 제안되었다[8][9].

이러한 연구들은 무선 링크에서의 손실을 효율적으로 다루지만, 3G 환경에서는 큰 의미가 없는 연구가 되었다. 3G 환경에서는 오히려 길고 변화가 심한 무선 링크에서의 전송시간이 TCP 의 성능을 저하시키는 주요 요인으로 떠오르고 있다[8, 10, 11].

TCP 의 RTO(Retransmission Timeout) 값은 RTT(Round Trip Time) 값을 통해 산출된다. 3G 등의 유·무선 혼합환경에서 무선 링크의 전송시간은 전체 전송시간의 대부분을 차지할 만큼 길면서도 변화가 심하다. 이는 TCP 의 RTT 값에 그대로 반영되며, 길고 변화가 심한 RTT 는 RTO 의 값을 상당히 크게 만든다. 큰 RTO 값은 연속된(≥ 3) 패킷이 손실되었을 경우, 상당한 시간이 지연된 후 복구가 이루어짐을 의미한다. 또한, 변화가 심한 RTT 값은 불필요한 timeout 을 유발할 수도 있다. 마지막으로, 전송된 패킷에 대한 ack 가 한꺼번에 도착하는 ack compression 을 유발하여 다량의 패킷이 한번에 네트워크로 유입될 수도 있다. 이는 bottleneck 이 되는 BSC(Base Station Controller)의 버퍼 오버플로어를 유발할 수 있으며, BSC 에서의 queuing delay 를 증

가시킨다.

3. 실험 환경 및 방법

본 연구의 모든 실험은 SKT 의 CDMA2000-1X 망을 통해 이루어졌다. 실험에 사용된 단말기는 삼성 전자의 Sprint 향 모델인 SHP-A500 이며, 송신측으로 사용된 PC 는 Intel Pentium 4 1.4 GHz CPU 와 256M RAM 이 탑재된 모델이다. 기존의 연구들이 단말기를 PC 의 직렬 포트에 연결한 모델로 사용하여 측정된 결과인데 반해, 본 연구에서는 직접 단말기에 구현되어 있는 Qualcomm 의 TCP 스택을 접근하여 좀 더 실효성이 있는 결과를 얻어내었다. 송신측에서는 메모리의 특정영역을 반복해서 전송함으로써, 하드 디스크를 접근하는 등의 부가적인 작업에 의해 실험의 결과가 영향을 받는 일을 최소화 하였으며 windump 를 이용하여 송신측을 출입하는 모든 패킷들을 분석하였다.

실험은 대표적인 전송계층 프로토콜인 UDP 와 TCP 에 대해 이루어졌다. UDP 는 각각, 40000bps, 80000bps, 120000bps, 160000bps 의 전송율에 대해 패킷 크기와 송신 간격을 조절하면서 측정하였다. TCP 는 송신측과 수신측의 윈도우의 크기를 4000Byte, 16000Byte, 32000Byte 로 변화시키면서 측정하였다. MSS(Maximum Window Size)는 1000Byte 이다. 모든 실험은 10 시~20 시까지 다양한 시간대에 이루어졌으며, 각각의 경우에 대해 10 회씩 측정하여 평균값을 취하였다.

4. 실험 결과 및 분석

4.1 UDP 측정 결과

표 1. 40000bps

패킷 크기 (Bytes)	송신간격 (ms)	평균 송신간격 (ms)	수신간격(ms)			정확도 (%)
			Avg	Min	Max	
300	60	77.5	76.9	8.6	1432.2	100
500	100	115.9	115.3	11	1613.6	100
750	150	161.7	160.8	15.8	1513	100
1000	200	204	202.8	20.8	1268.4	100

표 2. 80000bps

패킷 크기 (Bytes)	송신간격 (ms)	평균 송신간격 (ms)	수신간격(ms)			정확도 (%)
			Avg	Min	Max	
300	30	40.6	41	8.6	1631.6	100
500	50	59.6	59.3	11	1139.6	100
750	75	81.4	81.1	16.2	1013.8	100
1000	100	117	117.2	20	979.2	100

표 3. 120000bps

패킷 크기 (Bytes)	송신간격 (ms)	평균 송신간격 (ms)	수신간격(ms)			정확도 (%)
			Avg	Min	Max	
300	20	39.4	39.6	8	1588.2	100
500	33.33	40.7	40.8	10.6	1052.6	100
750	50	60.0	59.8	16.2	1444.4	100
1000	66.66	80.2	80.1	20.4	1268.4	100

표 4. 160000bps

패킷 크기 (Bytes)	송신간격 (ms)	평균 송신간격 (ms)	수신간격(ms)			정확도 (%)
			Avg	Min	Max	
300	15	39.3	39.7	8.2	1894.6	100
500	25	40.3	40.5	10.4	1029.6	100
750	37.5	41.4	50.1	16	959.2	91.5
1000	50	59.5	66.0	20.6	1130.8	93.2

표 1, 2, 3, 4 는 각각 40000bps, 80000bps, 120000bps, 160000bps 에서의 UDP 패킷의 크기와 송신간격에 대한 수신측에서의 패킷간 수신 간격을 나타낸 것이다. 표에서 알 수 있듯이 응용 프로그램에서 CBR(constant bit rate)로 패킷을 전송하여도 시스템콜에 의해 실제 패킷이 네트워크에 진입하는 시간은 차이가 있으므로, 각각의 패킷은 명시된 전송율보다 약간씩 낮은 전송율로 전송된 것이다.

실험이 고정된 자리에서 수행되었으므로 전파의 페이딩 현상이 없었다는 것을 가정하더라도, CDMA2000-1X 의 통신 서비스는 기존의 연구들이 주요 문제점으로 제시했던 무선 링크에서의 손실을 완전히 제거하였다는 것을 알 수 있다.

표 4 에서 패킷 크기가 750, 1000Byte 일때 손실이 발생한 것은 BSC 의 버퍼 오버플로에 의한 손실이다. 같은 전송율에서 300, 500Byte 일때는 손실이 발생하지 않았는데, 이는 평균 송신간격에서 알 수 있듯이, 실제 네트워크에 주입된 전송율은 120000bps 에 미치지 못하기 때문이다. 이러한 사실로 유추해 볼때 BSC 의 버퍼 크기는 대략 120Kbyte 정도임을 알 수 있다.

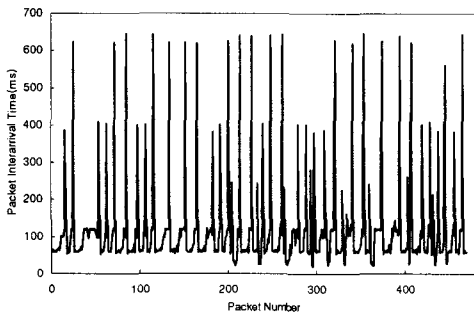


그림 1. packet interarrival time of UDP

그림 1 은 80000bps 에서 패킷 크기가 1000Byte 일 때 수신측에서 측정된 패킷의 수신 간격을 그래프로 표시한 것이다. 그래프에서 나타나는 대로 대부분의 패킷 수신 간격은 평균값 117.2ms 이하의 값을 보인다. 이는 BSC 에 버퍼링 되어있던 패킷이 이전 패킷이 단말기에 전송된 후 바로 전송되기 때문이다. 결국 패킷 수신 간격의 최소값은 통신 품질이 최상일 때, CDMA-1X 망이 보여줄 수 있는 최대의 전송 속도를 의미한다. 반면에, 그래프에서 바늘처럼 솟아있는 부분은 해당 패킷의 전송에 문제가 있어 ARQ 를 통해 회복작업을 수행한 후 패킷이 성공적으로 전송

되었을 때의 시간을 나타낸다. 이러한 급격한 전송시간의 변화는 TCP 의 RTT 에도 그대로 반영된다.

4.2 TCP 측정 결과

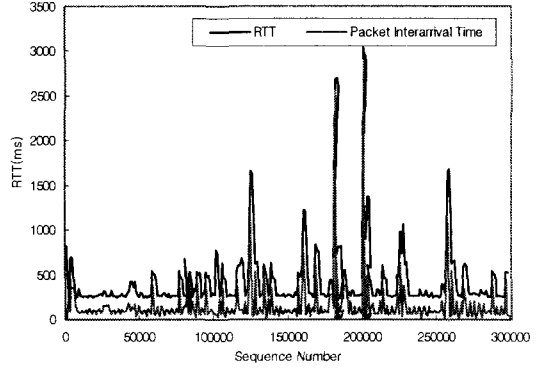


그림 2. RTT(Window = 4000Byte)

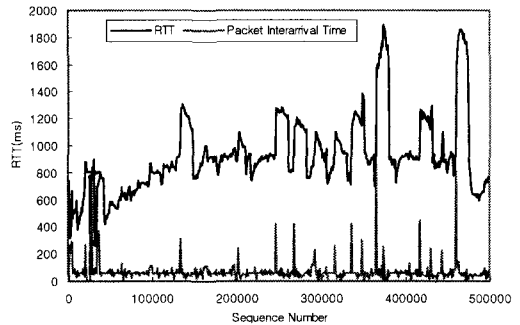


그림 3. RTT(Window = 16000Byte)

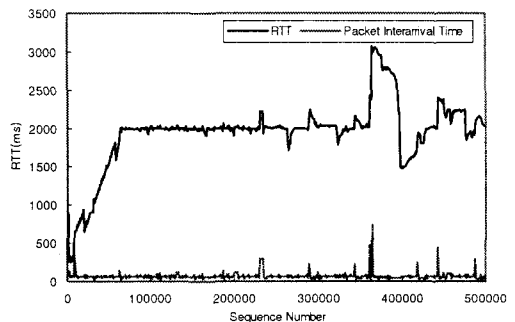


그림 4. RTT(Window = 32000Byte)

그림 2, 3, 4 는 각각 수신측의 윈도우 크기를 4000, 16000, 32000Byte 로 설정한 상태에서 송신측에서 측정된 RTT 와 수신측에서 측정된 패킷의 수신 간격을 그래프로 표시한 것이다. 윈도우 크기가 커질수록 RTT 와 패킷 수신 간격의 차이가 증가하는 이유는 BSC 의 버퍼에서 단말기로의 전송을 대기하는

queueing delay 때문이다. 즉, 윈도우 크기가 4000Byte 일 경우에는, 최대 전송 가능한 데이터 크기가 4000Byte 이므로 BSC 에서 대기하는 시간이 최소가 된다. 이러한 이유로 4000Byte 의 윈도우에서는 패킷 수신 간격이 RTT 에 그대로 반영된다. 윈도우 크기가 커져도 순간순간 변화하는 패킷 수신 간격이 RTT 에 반영은 되지만, RTT 변화의 큰 흐름은 queueing delay 를 따라 일정한 값으로 수렴하는 것을 알 수 있다.

4.3 CDMA2000-1X 에서 TCP 의 문제점

4.3.1 Spurious Timeout/Retransmission

실험결과에서 알 수 있듯이 CDMA2000-1X 에서 TCP 의 RTT 는 상당히 심한 변화를 보인다. 이로 인해 송신측에서는 불필요한 timeout 이 발생하여 이미 전송된 패킷들을 재전송하게 되며, 이 재전송된 패킷들로 인해 불필요한 Fast Retransmission 이 발생한다.

```

15:21:11.498117 IP jgjung.80 > 211.115.24.235.32768: P 181001:182001(1000)
15:21:11.623363 IP 211.115.24.235.32768 > jgjung.80: . ack 181001 win 3000
15:21:11.623468 IP jgjung.80 > 211.115.24.235.32768: P 182001:183001(1000)
15:21:11.623477 IP jgjung.80 > 211.115.24.235.32768: P 183001:184001(1000)
15:21:11.745361 IP 211.115.24.235.32768 > jgjung.80: . ack 182001 win 3000
15:21:11.745446 IP jgjung.80 > 211.115.24.235.32768: P 184001:185001(1000)
15:21:13.098204 IP jgjung.80 > 211.115.24.235.32768: P 182001:183001(1000)
15:21:14.309951 IP 211.115.24.235.32768 > jgjung.80: . ack 183001 win 3000
15:21:14.310036 IP jgjung.80 > 211.115.24.235.32768: P 183001:184001(1000)
15:21:14.310043 IP jgjung.80 > 211.115.24.235.32768: P 184001:185001(1000)
15:21:14.323111 IP 211.115.24.235.32768 > jgjung.80: . ack 184001 win 3000
15:21:14.323184 IP jgjung.80 > 211.115.24.235.32768: P 185001:186001(1000)
15:21:14.358545 IP 211.115.24.235.32768 > jgjung.80: . ack 185001 win 3000
15:21:14.358622 IP jgjung.80 > 211.115.24.235.32768: P 186001:187001(1000)
15:21:15.120702 IP 211.115.24.235.32768 > jgjung.80: . ack 185001 win 4000
15:21:15.040359 IP 211.115.24.235.32768 > jgjung.80: . ack 185001 win 4000
15:21:15.040431 IP jgjung.80 > 211.115.24.235.32768: P 187001:188001(1000)
15:21:15.120702 IP 211.115.24.235.32768 > jgjung.80: . ack 185001 win 4000
15:21:15.120760 IP jgjung.80 > 211.115.24.235.32768: P 185001:186001(1000)
15:21:15.138570 IP 211.115.24.235.32768 > jgjung.80: . ack 186001 win 3000
    
```

위의 박스는 윈도우 크기가 4000Byte 일 때, 송신측에서 windump 를 통해 얻어진 결과를 일부 캡처한 것이다. 182001 로 시작하는 패킷은 정확히 수신측에 전달되었으며 수신측에서 ack 도 제대로 생성되었지만, 무선 링크에서의 전송시간이 늘어남 관계로, 송신측에서는 timeout 이 발생하여 전송율을 1 로 줄이고, timeout 이 발생한 패킷부터 재전송한다. 또한, 중복 전송된 패킷에 대해 수신측에서는 duplicate ack 를 발생시키고, 이로 인해 송신측은 혼잡제어 메커니즘을 호출하여 또 한번 전송율을 절반으로 줄이는 오류를 범한다.

4.3.2 Buffering at BSC

본 연구에서 실험해본 결과, 무선 링크의 낮은 전송율 때문에 송신측에서 전송된 패킷은 대부분 BSC 의 버퍼에서 대기하면서 무선 링크로의 전송을 기다린다. 실험결과 관측된 문제점은, BSC 가 하나의 접속(connection)마다 버퍼를 할당하는 것이 아니라, 한 사용자 즉, 하나의 단말기에 대해 하나의 버퍼를 할당한다는 것이다. 결국, 사용자가 두개의 TCP 접속을 사용할 경우, 두 번째 TCP 접속은 첫번째 접속이

BSC 에서 차지하고 있는 버퍼영역으로 인해 공평한 대역폭을 할당 받을 수 없다.

5. 결론

본 논문에서는 단말기를 직접 접근하여 실제 CDMA2000-1X 환경에서 전송계층 프로토콜이 가지는 특성을 분석하고 문제점을 제시하였다. 실험 결과, 기존에 제안된 연구들에서 주요 문제점으로 다루어졌던 무선 링크에서의 손실은 전혀 발생하지 않는다는 것을 알 수 있었다. 또한, 변화가 심한 무선 링크에서의 전송 시간으로 인해 발생할 수 있는 문제점들을 실제 실험을 통해 도출하였다.

향후에는 하위계층과의 연계를 통해 도출된 문제점들을 수신측에서 해결할 수 있는 방법을 모색할 예정이다.

참고 문헌

- [1] <http://www.3gpp.org>
- [2] <http://www.3gpp2.org>
- [3] S. Paul, E. Ayanoglu, T. F. LaPorta, K. H. Chen, K. Sabnani, and R. D. Citlin, "An Asymmetric Link-Layer Protocol for Digital Cellular Communications," in Proc. INFOCOM 1995
- [4] H. Balakrishnan, V. Padmanabhan, S. Seshan, R. Katz, "Improving reliable transport and handoff performance in cellular wireless networks," ACM Wireless networks, Vol.1 December 1996
- [5] A. V. Bakre and B. R. Badrinath, "I-TCP : indirect TCP for mobile hosts," in Proc. IEEE ICDCS'95
- [6] K. Ramakrishnan, S. Floyd, "A Proposal to add Explicit Congestion Notification(ECN) to IP", RFC 2481, January 1999
- [7] T. Goff, J. Moronski, and D. S. Phatak, "Freeze-TCP: A true end-to-end TCP enhancement mechanism for mobile environments", in Proc. IEEE INFOCOM 2000, pp.1537-1549
- [8] P. Sinha, N. Venkitaranan, R. Sivakumar and V. Bharghavan, "WTCP: A Reliable Transport Protocol for Wireless Wide-Area Network," in Proc. ACM MOBICOMM '99, August 1999
- [9] Saverio Morris and Claudia Casetti, "TCP Westwood: Bandwidth Estimation for Enhanced Transport over Wireless Links," In Proc. ACM MOBICOM 2001, July 2001
- [10] R. Chakravorty, J. Cartwright, I. Pratt, "Practical Experience With TCP over GPRS," IEEE GLOBECOM 2002
- [11] M. C. Chan, R. Ramjee, "TCP/IP Performance over 3G Wireless Links with Rate and Delay Variation," In Proc. ACM MOBICOM 2002