

PPP 모니터링에 기반한 CDMA2000 망의 무선 품질 측정

권오근⁰ 차호정
연세대학교 컴퓨터과학과
(kok,hjcha)@cs.yonsei.ac.kr

Link Quality Assessment Based on PPP Monitoring in CDMA2000 Networks

Ohkeun Kwon⁰ Hojung Cha
Dept. of Computer Science, Yonsei University

요 약

본 논문은 CDMA2000 1x 망에서 무선 품질을 PPP에서의 측정으로 파악하는 방법을 기술한다. 무선 연결은 높은 오류율과 지연으로 인해 유선과는 다른 특징을 가지며, CDMA2000 1x의 경우 이런 무선 특성을 극복하기 위한 재전송 특징이 나타난다. 본 논문에서는 무선 연결에서의 상위 계층 성능 개선을 위하여, 무선 상태를 파악하는 지표로서 PPP 계층에서 측정된 무선 연결에서의 패킷 전송 시간과 PPP 오류 형태를 제시한다. 실제 CDMA2000 1x 망에서의 실험을 통해 제시한 측정값들이 무선 상태 변화를 반영하고 있음을 보인다.

1. 서론

최근 PDA나 스마트 폰 등 범용 운영체제와 프로토콜을 사용하는 여러 모바일 기기들이 CDMA2000 1x 데이터 서비스를 이용하고 있다. 반면에 기존의 프로토콜은 유선연결에 최적화되어 있기 때문에 유/무선 복합연결에서는 충분한 성능을 보장할 수 없다. 현재 이용되는 프로토콜들의 무선 성능 제한 원인을 분석하고 더 나아가 유무선 연결에 적합하도록 수정하기 위해서는 무선 연결 상태 변동 상황의 측정이 필요하다. 예를 들어, ELN[1] (Explicit Loss Notification)은 베이스 스테이션에서의 무선 패킷 손실 측정을 통해 TCP 전송 성능을 개선하기 위한 제안이다. Kumwilaisak[2]은 모바일 호스트에서 측정된 중단 연결간의 패킷 손실 정보를 이용하여 서버 측에서 무선 대역폭을 예측하고 적층적으로 데이터를 전송하는 방법을 제안하였다. 이러한 프로토콜 성능 개선, 혹은 무선 상황에 적응적 서비스를 위하여 패킷 손실 혹은 보다 세밀한 정보를 제공할 수 있다면 한정된 자원인 무선 연결의 대역폭을 효율적으로 사용할 수 있다.

본 논문에서는 CDMA2000 1x에서 무선 상황 변화 시, 링크 계층 전송에 사용되는 RLP (Radio Link Protocol)의 동작으로 인하여 PPP계층에서 나타나는 지표들을 제시한다. 이런 지표로서 RLP 프레임 전송 실패로 인한 PPP 에러 발생의 과정을 보이고 RLP 재전송으로 인한 전송 지연시간의 증가를 PPP에서 측정하는 방법을 제시한다. 또한 상용 서비스 중인 CDMA2000 1x 네트워크에서의 실험을 통해 제시한 PPP에서의 측정 방법에 의해 무선상태의 변화를 측정할 수 있음을 보인다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 CDMA 연결의 데이터 서비스의 구성요소를 설명하고 RLP, PPP의 동작을 기술한다. 3장에서 무선 상황 악화에 의해 하위 계층, 특히 RLP의 동작을 PPP에서 측정할 수 있음을 보인다. 4장에서 CDMA2000 1x 연결에서 전파상황에 따른 TCP전송시의 PPP 측정값을 제시하고, 5장에서 결론을 맺는다.

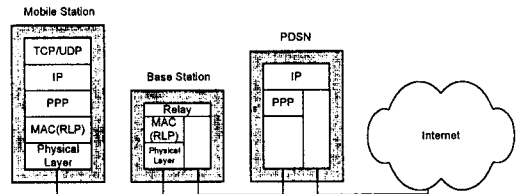


그림 1 CDMA2000 1x 패킷 데이터 서비스 모델

2. CDMA2000 1x 데이터 서비스

CDMA2000 1x을 이용한 인터넷 프로토콜 기반의 패킷 데이터 서비스를 제공하기 위한 프로토콜 구조는 그림 1과 같다 [3]. RLP는 CDMA2000 1x의 MAC 계층의 일부로서 CDMA2000 1x 물리 계층 위에서 옥텟 스트림의 best effort 전송을 위한 프로토콜이다. 무선 연결에서의 잦은 오류를 복구하기 위해서 RLP는 한정된 횟수의 재전송을 이용한다. 수신 측에서는 전송되는 RLP 프레임들의 순서를 조정하기 위한 버퍼, 기대되는 RLP 프레임의 위치, 완성된 옥텟 스트림의 위치를 유지한다. 수신해야 할 위치의 RLP 프레임이 도착하지 않을 경우, 수신 측에서는 NAK (Negative Acknowledgement)을 발생시켜서 송신 측에 오류 송신 측에 오류 프레임의 재전송을 요구한다. 재전송 요구 후 수신되는 RLP 프레임의 개수를 측정하여 RLP 연결 협상 시에 정의된 RTT 수치보다 클 경우 다시 NAK을 전송한다. 이런 재전송 요구 횟수와 RTT 값은 연결 설정 시의 인수에 따라 다르지만 일반적으로 재전송은 3회, RTT는 10으로 설정된다. 3회의 재전송 요구가 실패할 경우, 해당 RLP 프레임은 손실된 것으로 간주하고 손실 프레임을 제외한 스트림의 다음 부분을 상위 계층으로 전달한다. 재전송의 성공으로 오류가 일어났던 프레임부분이 완성되면 재구성된 스트림을 상위 계층으로 제공한다. RLP 송신 측에서는 송신 버퍼와 전송 대상 RLP 프레임의 위치를 유지한다. 수신 측에서 손실된 프레임을 요구하는 NAK을 보내는 경우, 송신 측에서는 NAK에서 요구하는 프레임으로 최우선으로 재전송하여 수신 측 재구성 버퍼의 미완성 부분을 복구한다.

⁰ 본 연구는 한국과학재단에서 지원하는 특정기초연구사업으로 수행하였다 (과제번호 : R01-2002-000-00141 0).

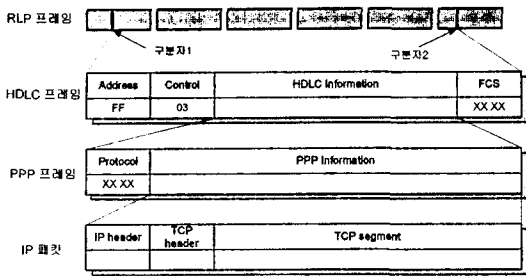


그림 2 PPP에서의 TCP 패킷 포장의 예

PPP (Point to Point Protocol) [4]는 IP나 IPX 등 여러 네트워크 계층 프로토콜의 데이터그램을 바이트 스트림을 이용하여 두 지점 사이에 전송하기 위한 프로토콜이다. 그림 2는 PPP 프레임으로 포장된 TCP 세그먼트의 예이다 [5]. 각 PPP 프레임은 하나의 IP 패킷을 포장한다. 포장된 IP 패킷의 내용 중 PPP가 이용하는 문자는 치환되어 포장되며 각 PPP 프레임은 PPP 구분자를 이용하여 구분된다. 프레임의 필드 중 FCS (Frame Check Sequence)는 PPP 프레임의 비트 오류를 검출하기 위한 필드이며, PPP 프레임의 헤더 부분은 일반적으로 고정된 값을 가지며 설정에 따라 생략 될 수 있다.

3. PPP 모니터링에 기반한 무선 품질 측정

무선 상황의 특성을 측정하기 위해서는 무선 연결을 공유하는 모바일 호스트와 베이스 스테이션에서의 측정이 바람직하다. 특히 모바일 호스트에서의 무선 특성 측정이 가능하면 베이스 스테이션에 부담을 주지 않고 모바일 호스트의 프로토콜 수정 혹은 종단간의 프로토콜 수정으로 무선 전송 효율을 높일 수 있다. PPP는 CDMA2000 1x의 프로토콜 스택 내에서 전송 성능에 큰 영향을 끼치지 않는다. 하지만 CDMA의 하위 계층이 음성 통신을 위해 설계되었기 때문에 CDMA의 MAC을 비롯한 하위 계층에서는 바이트 스트림의 전송만을 다루고 PPP 계층에서 상위 IP 계층에 제공될 패킷을 재조합한다. 따라서 PPP는 하위 계층 특히 RLP가 패킷 단위 전송에 미치는 영향을 직접 받게 되고 무선 상황 변화에 따른 RLP의 대응을 가장 적절하게 측정할 수 있다. 또 PPP는 하위 계층의 RLP NAK 횟수, 물리 계층의 Eb/No 값 등과 달리 사용되는 CDMA 디바이스와 관계없는 범용 프로토콜이기 때문에 상위 계층으로의 정보 제공이 쉬우며 실시간으로 변하는 무선 상태를 측정하고 대응할 수 있는 위치에 있다.

무선 상태가 악화됨에 따라 물리 계층에서는 비트 오류가 증가하게 된다. 이런 비트 오류 증가로 인하여 발생하는 RLP 프레임 오류를 복구하기 위해 RLP는 재전송을 요구한다. RLP 프레임 재전송 발생 시 그림 3과 같이 프레임 재전송으로 인한 지연, 오류 프레임 전송 대기로 인한 지연이 발생된다. 또한 프레임 재전송 시간 동안 이후 패킷을 구성하는 프레임들이 수신 측 RLP 버퍼에 저장되기 때문에 재전송이 일어난 패킷 직후의 패킷의 전송 시간은 줄어들게 된다. 이런 패킷 전송 지연을 측정하기 위해 네트워크 혹은 트랜스포트 계층에서의 패킷 간격을 이용할 수 있다. 하지만 상위 계층 측정의 경우 여러 연결이 혼재하는 상황에서 무선 연결 자체의 전송 속도

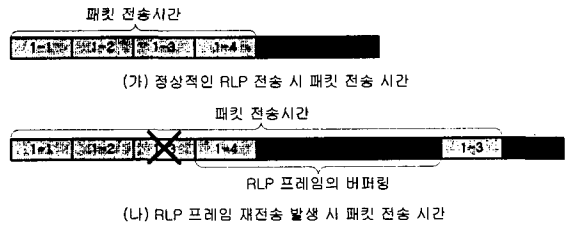


그림 3 RLP 프레임 재전송으로 인한 패킷 전송시간 증가

변화를 측정할 수 없고 패킷 전송 사이에 무선 연결이 이용되지 않는 시간을 측정할 수 없는 단점이 있다. PPP 계층에서 그림 2의 구분자 1과 구분자 2 사이의 시간 간격을 측정한다면 이런 RLP 프레임 재전송으로 인한 지연을 측정할 수 있다. PPP 프레임과 IP 패킷의 크기 차이는 PPP의 제어문자 치환과 헤더 부분의 크기 차이로 작은 값이기 때문에 PPP 프레임의 전송 시간을 IP 패킷 전송 시간의 근사 값으로 사용할 수 있다. 패킷 전송 시간에 대한 지표로서 패킷의 크기를 반영한 BTT (Byte Transfer Time) 값을 측정할 수 있다. BTT는 다음과 같이 정의된다.

$$BTT(\text{초/바이트}) = \frac{\text{PPP 프레임 전송 시간}}{\text{패킷 크기}}$$

패킷 전송 도중 RLP 프레임 재전송이 일어날 경우 해당 패킷에 대한 BTT 값은 증가하게 된다. BTT를 이용한 무선 연결 상태 평가를 위해서 BTT 값의 특이 값 횡수 혹은 BTT 값의 동적 평균, 편차를 이용할 수 있다.

RLP 프레임의 재전송이 연속적으로 실패하여 3번의 재전송 요구가 실패할 경우 PPP에서는 재전송에 실패한 RLP 프레임을 제외한 나머지 부분을 받게 된다. 이런 RLP 프레임 손실이 PPP 프레임의 일부에서 발생할 경우 PPP의 오류 검사 코드인 FCS 검사가 실패하게 된다. 또한 RLP 프레임 손실이 PPP 프레임 경계에 발생하여 PPP 프레임 구분자가 손실된 경우 손실 크기에 따라 MRU 초과 오류, FCS 오류가 발생된다. 이때 손실된 RLP 프레임을 제외한 부분은 이미 하위 계층 비트 에러 검사를 통과했기 때문에 정상적인 데이터를 가지고 있다. 따라서 PPP 오류가 일어난 IP 패킷의 경우에도 데이터의 일부, 특히 패킷 헤더 부분의 이용 가능성이 높다. TCP/IP의 경우 헤더 부분에 연결 정보를 저장하기 때문에 오류 패킷의 헤더 내용은 상위 계층 세션의 구분을 위해 중요하다.

4. 실험

무선 연결 상태에 따른 BTT 변화, 프레임 오류 횟수를 측정하기 위해서 상용 서비스 중인 CDMA2000 1x 네트워크에서 TCP 전송을 이용한 측정을 하였다. 모바일 호스트로는 리눅스를 설치한 노트북과 휴대전화를 사용하였다. 유선상의 서버는 인터넷을 통해 연결된 리눅스 PC와 CDMA2000 1x 사업자의 내부망에 위치한 유닉스 서버를 사용하였다. 무선 상황이 좋은 경우는 모바일 호스트를 일반 건물 내부에 고정된 채로 측정하였다. 무선 상황이 좋지 않은 경우의 실험을 위해서는 순간 / 지속적인 무선 상황 변화를 모델로 하여 휴대전화의 전파세기 안테나 표시가 3/6인 지점에서 6/6인 지점을 임의로 선정하여 두 지점 간의 이동을 반복하면서 측정하였다.

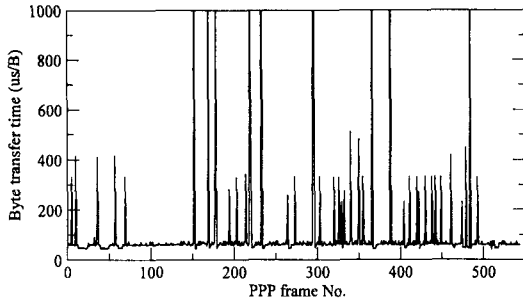


그림 4 BTT 측정값의 예

패킷 전송시간 측정 패킷 전송시간 측정은 리눅스 커널 내의 PPP 모듈을 수정하여 PPP 구분자 수신시간을 기록한 후 분석하였다. 패킷 크기에 따른 오류를 최소화하기 위해 100Byte이상의 PPP 프레임에 대해서만 BTT 값을 계산하였다. 그림 4는 측정된 BTT 값의 예이다. 대체적으로 각 패킷의 바이트 당 전송시간은 일정하지만 BTT 값이 눈에 띄게 증가하는 경우가 나타난다. 이런 '특이' 값은 비교적 일정한 크기를 가지며 특이 값이 나타난 후의 패킷 전송시간은 보통의 패킷 전송 시간보다 줄어드는 경향이 있다. 이것은 RLP 프레임 재전송으로 인한 패킷 전송시간 증가와 버퍼링으로 인한 전송시간 감소로 해석할 수 있다.

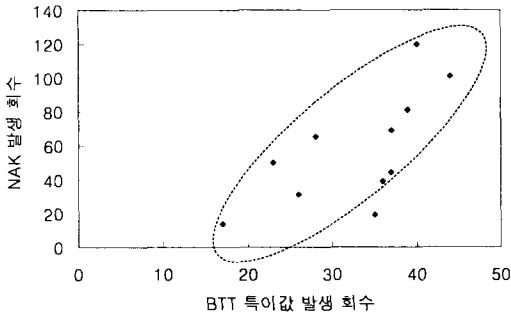


그림 5 RLP NAK과 BTT 특이 값의 관계

그림 5는 휴대전화에서 연결 종료 후 얻을 수 있는 RLP NAK 발생 횟수와 100us이상의 BTT 값이 나타나는 횟수를 비교한 그래프이다. PPP 프레임 내에서 전송 실패한 RLP 프레임의 위치와 한 프레임의 전송 실패 횟수에 따라 전송시간에 영향이 없을 수 있으므로 BTT 값의 특이 값 발생횟수와 RLP NAK 측정횟수가 1:1로 대응되지는 않는다. 하지만 그림에서 PPP에서 BTT 값을 측정하여 무선 품질 악화로 인한 RLP 프레임 재전송 발생이 비례하는 경향이 있음을 확인할 수 있다.

PPP 오류경향 측정 무선 상황과 기타 요인에 의한 PPP 오류 발생 횟수 측정을 위하여 모바일 호스트의 위치, 전송 서버의 위치, 전송 패킷의 크기를 바꾸면서 PPP 오류를 측정하였다. 표 1은 전송 서버의 위치, 무선 상황에 따른 패킷 손실과 PPP 오류 발생률이다. PC 서버는 일반적인 인터넷에 연결되어 있는 리눅스 호스트이고 망 내부 서버는 CDMA2000 1x

서버위치	무선 상태	패킷 손실율	PPP 에러 발생률
인터넷 (일반PC, 리눅스)	나쁜 곳	1.08%	0.38%
	좋은 곳	1.33%	0%
망 내부 (유닉스 서버)	나쁜 곳	0.26%	0.19%
	좋은 곳	0.16%	0%

표 1 유선의 영향 / 무선 상황에 따른 PPP 오류 발생률

사업자의 내부 망에 위치한 유닉스 서버이다. 실험 결과에 의하면 유선 연결의 상태가 좋은 망 내부 서버에서의 전송 시에 종단간의 패킷 손실이 적은 것을 확인하였고, 유선 연결의 상태와 관계없이 무선 연결의 상태에 따라 PPP 오류발생률이 증가하는 것을 확인할 수 있다. 패킷 크기에 따른 PPP 오류 발생률의 경우 특이한 경향을 찾을 수 없었다. PPP 오류가 발생된 PPP 프레임에 대하여 PPP 프로토콜 필드, IP 버전, 전송 측 주소, 수신 측 주소, IP 프로토콜 필드를 확인한 결과 약 88%가 이용 가능한 값을 가짐을 알 수 있었다.

5. 결론

CDMA2000 1x 무선 연결에서 무선상황이 나빠짐에 따라 RLP 재전송으로 인해 무선 연결에는 패킷 전송 시간이 증가되고 재전송 실패 시 패킷 손실이 나타나게 된다. 이런 재전송 동작을 이용하여 무선 품질을 범용 PPP에서 측정하기 위해 PPP에서의 패킷 전송 시간 측정과 PPP 오류를 제시하였다. 실험을 통하여 CDMA2000 1x 망에서 무선 상태 변화에 따라 제시한 값이 변화하는 것을 확인하였고, RLP 프레임 단위 재전송으로 인한 특징으로 패킷 헤더의 사용 가능성, 버퍼링으로 인한 순간적인 패킷 전송시간 증가 감소를 확인하였다. 이러한 측정방법은 패킷 보다 작은 크기의 링크 계층 프레임 재전송을 이용하는 무선 랜 등에서의 무선 상태 측정에도 적용될 수 있다. 이후의 연구 과제는 무선 상태 측정값을 상위 계층으로 제공하는 구조의 제시와 무선 상태 측정값을 이용한 상위 프로토콜의 개선이다.

참고문헌

- [1] Wenqing Ding, A. Jamalipour, "Delay performance of the new explicit loss notification TCP technique for wireless networks," *Global Telecommunications Conference*, 2001.
- [2] Wutipong Kumwilaisak, JongWon Kim, Robert Ku, and C.-C. Jay Kuo, "Dynamic Throughput Estimation for Wireless Video Communications," *International Symposium on Circuits and Systems*, May 2002.
- [3] 3GPP2, *Data Service Options for Spread Spectrum Systems Addendum 2*, C.S0017-0-2, Aug 2000.
- [4] W. Simpson, *The Point-to-Point Protocol (PPP)*, RFC 1548, Dec 1993.
- [5] W. Richard Stevens, *TCP/IP illustrated*, Addison Wesley, 1996.