

PCN 환경에서의 TCP 성능 개선을 위한 보조 시간 만료 및 선택적 패킷 폐기 기법

正會員 전 병 곤*, 이 병 기*

Auxiliary Timeout and Selective Packet Discard Techniques for Improved TCP Performances in PCN Environment

Byung Gon Chun*, Byeong Gi Lee* *Regular Members*

※본 연구는 정보통신 연구 관리단에서 주관하는 대학 기초 연구 지원 사업으로 수행되었습니다(과제번호 : 96064-CT-12).

요 약

PCN 환경에서 TCP는 무선 링크에서의 가변적인 지연에 의해 불필요한 재전송으로 망의 자원을 낭비하고, 오판한 폭주 제어를 수행하여 수율이 감소하는 문제점이 있다[1]. 이런 문제점을 해결하기 위한 방안으로서 본 논문에서는 보조 시간 만료와 선택적 패킷 폐기 기법을 제안한다. 보조 시간 만료는 기존의 유선망에서의 폭주 제어를 준수하면서 시간 만료가 발생한 후 보조 만료 시간 동안 지연된 ACK 패킷을 인식할 수 있도록 함으로써 불필요한 재전송과 오판으로 인한 폭주 제어를 탈피하도록 해준다. 선택적 패킷 폐기 방법은 이동국에서 인식되었거나 또는 곧 인식될 패킷이 무선 링크로 전달되는 것을 기지국에서 막음으로써 무선 대역폭의 낭비를 막도록 해준다. 이와 같은 보조 시간 만료와 선택적 패킷 폐기를 사용하게 되면 수율을 높일 수 있고 제한된 무선 대역폭의 낭비를 막을 수 있으며, 따라서 무선망에서의 TCP 성능을 향상시킬 수 있게 된다.

ABSTRACT

In PCN environment, when the fading frequency is low, TCP throughput decreases and spurious retransmissions occur due to the high variability of the delay in the wireless link[1]. In order to solve these problems we propose the auxiliary timeout and the selective packet discard techniques. The auxiliary timeout technique helps to keep normal congestion control of traditional networks and to avoid spurious retransmissions and misbehaved congestion controls by acknowledging the delayed ACKs until the auxiliary timeout. The selective packet discard technique

*서울대학교 전기공학부
論文番號:96356-1118
接受日字:1996年 11月 18日

prevents retransmission of data packets that the mobile station acknowledged or will acknowledge soon, thus saving the wireless bandwidth. Therefore the proposed two techniques can help to improve the TCP performance in wireless networks by increasing the throughput and reducing spurious retransmissions.

I. 서론

최근에 무선망은 이동 사용자에게 멀티미디어 서비스를 제공할 수 있는 PCN(Personal Communication Network)로 발전하여 왔다. 무선 데이터 통신을 위해 사용되는 대표적인 수송 프로토콜은 기존의 유선망에서 사용되던 TCP(Transmission Control Protocol)이다. 그러나, TCP는 낮은 오류의 유선망의 환경에 맞게 고안되었으므로, 매우 다른 오류 환경을 가진 무선 링크에서는 제대로 동작하지 않는다. 이를 보완하기 위해 무선 링크에서 오류 정정을 수행하는 데이터 링크 프로토콜을 사용한다.

이 경우 모의 실험을 통해 페이딩 주파수가 낮은 PCN 환경에서 TCP[2][3]는 가변적인 지연의 영향에 의해 불필요한 재전송과 오판으로 인한 폭주 제어가 빈번히 발생하게 됨을 알 수 있었다. 이러한 현상은 참고문헌 [1]에 자세히 기술되어 있으며, 그 결과로 TCP는 망의 자원을 낭비하고 수용이 감소하는 문제점을 갖게 되는 것을 확인 했다.

이러한 문제점을 해결하여 TCP 성능을 개선하기 위해 본 논문에서는 보조 시간 만료 기법과 선택적 패킷 폐기 기법을 제안하고자 한다. 보조 시간 만료는 시간 만료가 발생하면 보조 만료 시간을 추가로 설정하여 지연된 ACK 패킷을 인식할 수 있도록 하고 유선망에서 잘 동작하는 기존의 폭주 제어의 규칙을 준수함으로써 폭주에 안정적으로 대처할 수 있도록 해 주는 방법이다. 또 선택적 패킷 폐기 기법은 이동국에서 이미 인식되거나 곧 인식될 패킷이 다시 무선 링크로 전달되는 것을 기지국에서 막음으로써 무선 대역폭의 낭비를 없애주기 위한 방법이다. 이들 두 가지 기법을 사용하면 수용을 높이고 불필요한 재전송을 피함으로써 무선망에서의 TCP 성능을 개선할 수 있게 된다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 TCP 성능 개선을 위한 보조 시간 만료 기법과 선택적 패킷 폐기 기법을 각각 설명하도록 하겠다. 이어서 각각의 기법

에 대한 성능을 모의 실험 및 비교 분석하고, 끝으로 기타 고려사항들을 검토하도록 하겠다.

II. 보조 시간 만료 기법

일반화된 PCN 환경을 대표하는 간소화된 구조로서 그림 1에 도시한 것 같은 유무선 링크의 연결을 고려하자. 즉, 고정 호스트는 유선망을 통해서 기지국에 연결되고 이동국은 기지국에 무선 링크를 통해서 연결되어 있다. 무선 채널로는 페이딩 모델을 사용하고 기지국과 이동국 사이에는 선택적 반복(SR: Selective Repeat) ARQ를 사용한다고 가정했을 때, 고정 호스트로부터 이동국으로 데이터를 보내는 경우 무선 링크가 TCP에 주는 영향을 고찰해 본 결과 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다[1]. 페이딩 주파수가 작을 때 무선 링크의 영향으로 지연되는 ACK 패킷에 의해 TCP에서 시간 만료가 발생하여 필요없는 재전송과 오판된 폭주 제어를 수행하게 되고, 이것은 결국 망의 자원의 낭비와 수용의 감소를 가져 온다.

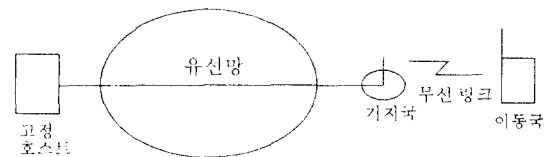


그림 1. PCN 환경에서의 유무선 링크의 연결

Fig. 1 End-to-end connection via wireless networks

이러한 불필요한 재전송과 비정상적인 폭주 제어 문제를 해결하기 위해서는 TCP가 무선 링크에서 가변적인 지연으로 인해 늦게 돌아오는 ACK 패킷을 고려해서 처리할 수 있어야 한다. 가장 간단하게 생각할 수 있는 것은 무선 링크에서의 지연에 의한 영향을 받지 않도록 만료 시간을 크게 잡는 것이다. 그러나 이것은 무선 링크에 의한 영향으로 시간 만료가

발생하는 것은 줄일 수 있지만 몇 가지 문제가 추가로 발생한다. 첫째, TCP가 만료 시간을 크게 잡으면 폭주 제어를 늦게 수행하게 되므로, 실제로 폭주가 발생했을 경우 유선망에서 잘 적용되어온 폭주 제어의 기본 원칙을 어기게 되므로 문제가 생긴다. 둘째, 시간 만료 값을 너무 크게 설정하면 망에서 손실된 패킷의 검출이 너무 늦어지게 되므로 통신을 다시 시작하는 것이 늦어져 전체적인 수율이 떨어지게 된다. 특히 망의 속도가 높아질수록 이러한 문제는 심각해진다. 그리고, 여러 가지 다양한 무선망 상황에서 빨리 대처하지 못하게 된다. 그러므로, 불필요한 재전송과 비정상적인 폭주 제어에 대한 해결책은 올바른 시점에 폭주 제어를 수행하고 망에서 손실된 패킷을 빨리 검출하는 것과, 여러 상황에서 무선 링크의 가변적인 지연에 대처하는 것에서 찾아야 한다.

위의 문제점들을 해결하는 방안으로서 다음과 같은 보조 시간 만료(ATO: Auxiliary Timeout) 기법을 도입해 보자. 보조 시간 만료는 시간 만료가 발생한 시점에서 새롭게 설정된 보조 만료 시간내에 지연된 ACK 패킷이 도착하면 폭주 윈도우를 이전 상태로 회복시키는 방식으로 폭주 제어를 수행한다. 이렇게 하면, 폭주 윈도우 회복을 위해 요구되는 시간을 감소시키는 것에 의해 수율을 향상시키고, 불필요한 재전송 없이 다음 패킷을 전송하므로 망 자원의 낭비를 막을 수 있게 된다.

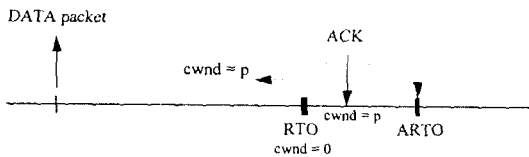


그림 2 보조 시간 만료 기법의 동작
Fig. 2 Operation of the auxiliary timeout technique

그림 2를 이용하여 보조 시간 만료 기법을 좀 더 자세히 살펴보고자 하자. TCP 시간 만료가 발생하면 TCP는 재전송 없이 폭주 윈도우(cwnd: congestion window)를 0로 하는 폭주 제어를 수행한다. 또 만료 시간을 보조 왕복 만료 시간(ARTO: Auxiliary Roundtrip Timeout)으로 설정하고, 지연의 변화에 따라 ARTO

를 적응적으로 설정하기 위해 만료 시간부터 ACK 패킷이 도착하는 때 까지의 시간 AM(Auxiliary Measurement)를 측정하기 시작한다. ACK 패킷이 ARTO 내에 도착하면 TCP는 만료 시간 이전의 상태로 복구하고, ARTO를 갱신하고, 이전의 RTO(Roundtrip TimeOut)을 사용하여 전송된 최대 순서 번호 다음 패킷을 전송한다. 그렇지 않으면 TCP는 cwnd를 1로 놓고 이전 RTO 값의 2배를 만료 시간으로 하여 인식되지 않은 첫 번째 패킷을 재전송한다.

패킷 손실 검출 시간을 최소화하면서 변하는 무선 환경에 적응하기 위해 AM을 측정하여 ARTO를 결정한다. 유선망에서의 TCP 시간 만료 알고리즘 자체가 유선망에서의 왕복 지연의 변화를 따라갈 수 있는 강인성이 있으므로, 다음과 같은 알고리즘을 써서 간단히 ARTO를 정할 수 있다.

$$ARTT[n] = ARTT[n-1] + \alpha \times (AM[n] - ARTT[n-1]) \quad (1)$$

$$ARTO[n] = \beta \times ARTT[n] \quad (2)$$

위 식에서 ARTT(Auxiliary RoundTrip Time)는 만료 시간 이후의 추가 지연의 평균이고, α 는 측정된 AM이 ARTT의 추정치에 얼마나 반영되는지를 나타내는 계수이고, β 는 ARTT 변화를 다루기 위한 상대적인 계수이다. 빠르고 효율적인 계산을 위해 α 와 β 는 2의 승수로 정하고, 여기에서는 $\alpha = 2^{-4}$, $\beta = 2$ 로 둔다.

이 방법을 사용할 때, 망에서 폭주에 의하여 패킷 손실이 발생하면 어떤 경우에는 한 패킷을 재전송하기 위해 TCP가 더 오래 기다릴 수도 있다. 그러나, 대부분의 경우에는 보조만료 시간까지 세 개의 중복된 ACK 패킷을 받게 되기 때문에 빠른 재전송(fast retransmission)과 빠른 회복(fast recovery) 알고리즘을 동작시키게 되어 이득을 얻을 수 있다. 이 두 가지 영향은 서로 상반되기 때문에, 보조 시간 만료 기법을 사용하지 않는 경우와 비교해 볼 때 망에서의 폭주에 의한 손실이 TCP 수율에 주는 영향은 무시할 만하게 된다.

보조 시간 만료 기법을 모든 TCP에서 사용할 필요는 없다. 유선망에서의 TCP 연결들은 기존의 알고리즘만으로 잘 동작하므로 보조 시간 만료를 사용하는 것은 부가적인 지연과 처리과정의 추가 부담이 될 뿐이다. 그러므로, 연결 설정시 보조 시간 만료 방법을

사용할 것인지 여부를 결정하여 무선 링크를 포함하는 연결에서만 사용하도록 하는 것이 바람직하다. 제안된 보조 시간 만료 기법은 무선 링크에서의 가변적인 지연에 적응적으로 대처할 수 있도록 해주며, 또한 망의 폭주에 대하여 강인하다. 그리고, 이 방법은 시간 만료가 발생할 때에만 수행되고, 원래의 TCP에 몇 줄의 코드만을 삽입함으로써 간단히 구현할 수 있으므로 추가 소요 비용이 매우 적다.

III. 선택적 패킷 폐기 기법

보조 시간 만료 기법과 독립적으로, 기지국에서 특별한 프로토콜을 수행함으로써 무선 대역폭의 낭비를 막는 것도 가능하다. 본 절에서는 무선 대역폭을 효과적으로 사용할 수 있도록 도와주는 선택적 패킷 폐기(SPD: Selective Packet Discard) 기법을 기술하고

록 하겠다. 기본적으로, 선택적 패킷 폐기는 순서 번호(SN: Sequence Number)와 인식 번호(AN: Acknowledgement Number)를 추적하여 이미 인식된, 또는 곧 인식될 데이터 패킷이 재전송되는 것을 막는 것을 의미한다.

선택적 패킷 폐기는 그림 3에 보인 것과 같이 SPD_data() 모듈과 SPD_ack() 모듈로 구성된다. 그림 3에서 AN_max는 이동국이 보낸 ACK 패킷 인식 번호의 최대값, SN_max는 기지국을 통과한 데이터 패킷 순서 번호의 최대값을 각각 의미한다. 그리고, L_SN은 망에서의 손실로 인해 기지국을 통과하지 않은 순서 번호의 집합이고, 국부 만료 시간(LRTO: Local Roundtrip TimeOut)은 L_SN에 속하지 않는 재전송된 데이터 패킷이 데이터 링크 계층에서 발생할 수 있는 오류에 대처하기 위해 지연된 ACK를 기다리는 시간이다. 기지국에서는 유선망 쪽에서 손실된 패킷과 지연된 ACK의 영향에 의해 재전송된 패킷을 명확히 구별할 수 있기 때문에 LRTO를 ARTO보다 크게 설정함으로써 무선 링크로의 재전송을 더 효과적으로 막는 것이 가능하다.

SPD_data()는 출발지로부터의 데이터 패킷을 처리한다. 데이터 패킷이 도착하면, SN이 AN_max보다 작은 경우에는 이동국에서 이미 인식한 패킷이라는 것을 나타내므로 SPD_data()는 데이터 패킷을 버리고 AN_max를 인식 번호로 하는 ACK 패킷을 출발지로 보낸다. SN이 AN_max보다 크거나 같으면, SPD_data()는 SN을 SN_max와 L_SN의 원소들과 비교한다. SN이 SN_max보다 크거나 L_SN에 속하면(즉, 새로운 패킷이거나 망에서 손실된 패킷이면) L_SN을 갱신하고 데이터 패킷을 무선 링크 쪽으로 보낸다. 위의 두 가지 비교가 모두 실패하는 경우에는, 무선 링크를 통해 아직 데이터를 전달하는 중으로서 기지국이 이동국으로부터 곧 ACK 패킷을 받을 것이 예상되기 때문에 SPD_data()는 데이터를 LRTO 시간까지 일단 버퍼에 저장하고 대기한다. 이 때 LRTO는 ARTO를 결정할 때에 사용된 알고리즘과 같은 알고리즘을 사용하여 국부 버퍼에서 기다려야 하는 시간을 결정한다. 즉, 식(1)과 식(2)에서 ARTO와 ARTT 대신 LRTO와 LRTT(Local RoundTrip Time)로 바뀌어서 마찬가지로 방법으로 LRTO를 결정하는데 적용한다. LRTT는 재전송된 패킷이 도착한 때부터 이동국에서 재전송된 패킷

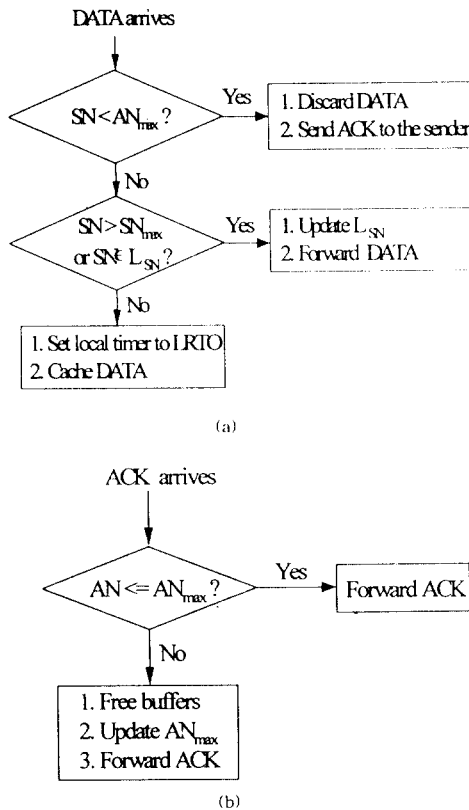


그림 3. 선택적 패킷 폐기: (a) SPD_data(), (b) SPD_ack()
Fig. 3 Selective packet discard procedures: (a) SPD_data(), (b) SPD_ack()

을 인식하는 ACK 패킷이 도착하는 때까지의 평균시간을 나타낸다. 데이터 패킷이 SPD_data()에서 폐기될 때, 연속적으로 ACK 패킷이 망의 폭주에 의해 손실되어 TCP는 재전송을 하고 SPD_data()는 재전송된 패킷을 계속해서 버리는 폐쇄(deadlock) 상황이 발생하는 것을 막기 위해 SPD_data()는 ACK 패킷을 고정 호스트로 보낸다.

SPD_ack()는 ACK 패킷이 도착했을 때 AN과 AN_{max}를 비교한다. 만일 AN이 AN_{max}보다 크면 SPD_ack()는 AN_{max}를 갱신하고, 국부 버퍼에 데이터 패킷이 있으면 AN_{max}보다 더 작은 데이터 순서 번호를 가진 데이터 패킷을 버리고 ACK 패킷을 보낸다. 만일 AN이 AN_{max}보다 작거나 같으면, SPD_ack()는 ACK 패킷을 그냥 보낸다.

선택적 패킷 폐기 기법의 SPD_data()와 SPD_ack()에서는 AN_{max}를 가진 ACK 패킷을 즉시 보냄으로써 이동국의 가장 최근의 상태를 알려주게 되어 전체적인 TCP의 성능 향상을 가져온다.

들이 고정 호스트에 보낸다. 이렇게 함으로써 무선 대역폭의 낭비를 막을 수 있게 된다. DATA 9는 AN_{max}값 이상이지만 SN_{max} 이하이므로 국부 타이머를 LRTO로 설정하고 버퍼에 저장한다. DATA 10과 DATA 11의 순서 번호는 SN_{max}보다 작으므로 무선 링크로 전송된다. 그 후 미리 설정된 LRTO내에 ACK 10이 도착할 때 국부 버퍼에 있는 DATA 9를 폐기함으로써 불필요한 재전송을 피한다.

이와 같이 선택적 패킷 폐기 방법을 사용함으로써 무선 링크로의 불필요한 재전송을 막고, 그리고 부가적으로 유선망에서의 ACK 패킷 손실에 의해 재전송되는 데이터 패킷들이 무선 링크로 재전송되지 않게 한다. 이 방법은 기존의 TCP에 영향을 주지 않고 종단간 인식의 의미(end-to-end acknowledgement semantics)를 유지하므로, 수정 없이 기존의 TCP와 함께 사용할 수 있다. 그리고, 중간의 기지국에만 추가 처리과정을 부담시키고, 종단의 TCP, 특히 이동국에 처리 부담을 주지 않는다.

IV. 제안 기법들의 성능 분석

무선 데이터 링크 오류 정정이 있을 경우 기존의 TCP만을 사용하는 경우와 기존의 TCP에 보조 시간 만료 또는 선택적 패킷 폐기 기법을 사용할 경우에 대한 수율과 재전송 비율을 모의 실험을 통해 비교 분석해 보도록 하자. 이 때 실험 변수들은 유선 용량은 140.848Mbps(155.520Mbps×48/53Mbps), 무선 용량은 차세대 이동 시스템에서 예상되는 2.16Mbps, 캐리어 주파수는 1.8GHz, 링크 패킷의 크기는 54바이트, 무선 링크에서의 왕복 시간(τ_r)은 80ms, 유선망에서의 지연은 100ms로 둔다[4][5][6]. 그 밖에, 페이딩 주파수(f_D), SNR, TCP 패킷 크기(L_p), TCP 윈도우 크기(S_w), TCP 클럭의 소밀도(t_g :granularity) 등을 변경시켜 가면서 실험을 수행하도록 한다. 그리고, ARTT와 LRTT의 초기값으로는 1초를 잡는다. 페이딩 주파수가 높을 때는 무선 링크에서의 지연의 변화에 대한 영향이 거의 없음이 [1]에서 확인되었으므로 페이딩 주파수 f_D 는 1.34Hz에 인 경우에 대해서만 살펴보도록 하겠다.

모의 실험 결과 얻은 TCP의 수율과 재전송 비율은 각각 그림 5와 6에 보인 것과 같다. 각 그림에서 (a)와

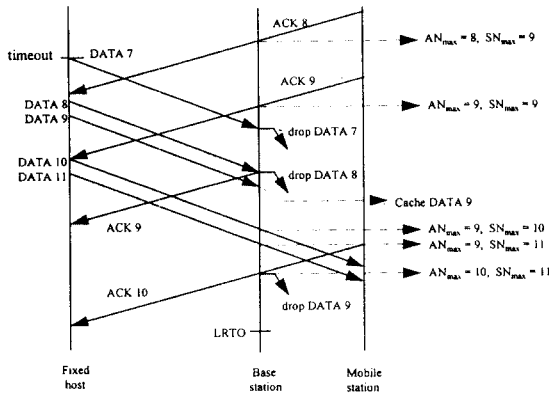
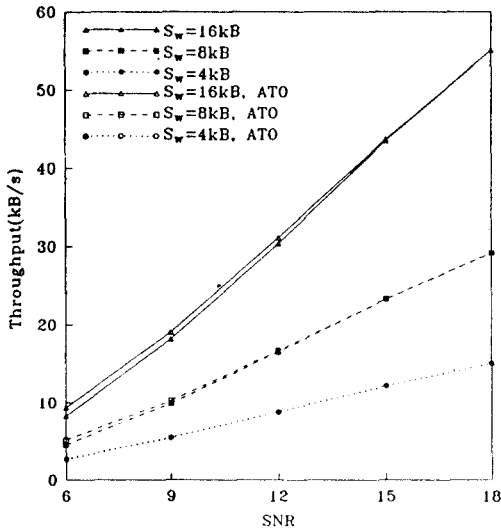
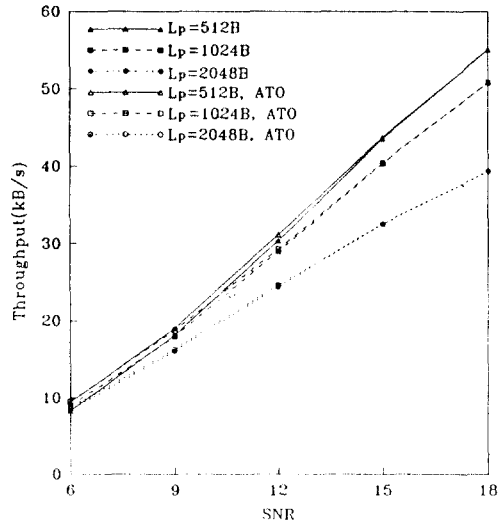


그림 4. 선택적 패킷 폐기 기법의 동작 예
Fig. 4 Illustration of the selective packet discard operation

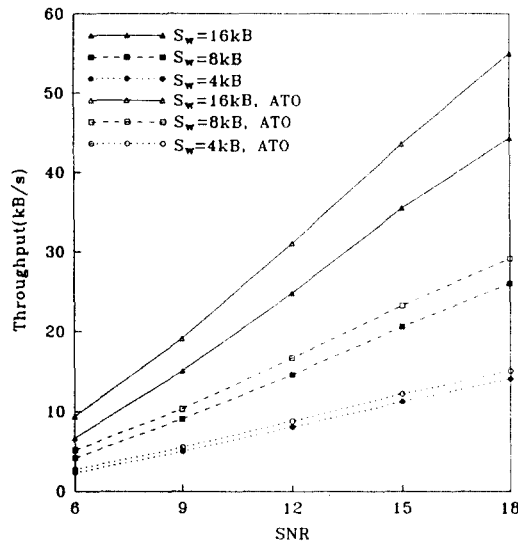
그림 4는 TCP에서 타임아웃이 발생했을 경우 선택적 패킷 폐기 방법이 어떻게 동작하는지를 예시한 것이다. 이동국에서 ACK 8과 9를 보냈을 때 기지국에서는 AN_{max}를 차례로 8과 9로 갱신한다. 고정 호스트로부터 온 데이터 패킷들 중 DATA 7과 DATA 8은 순서 번호가 AN_{max}보다 작으므로 폐기된다. 그리고, 기지국은 AN_{max}를 인식 번호로 하는 ACK 패킷을 만



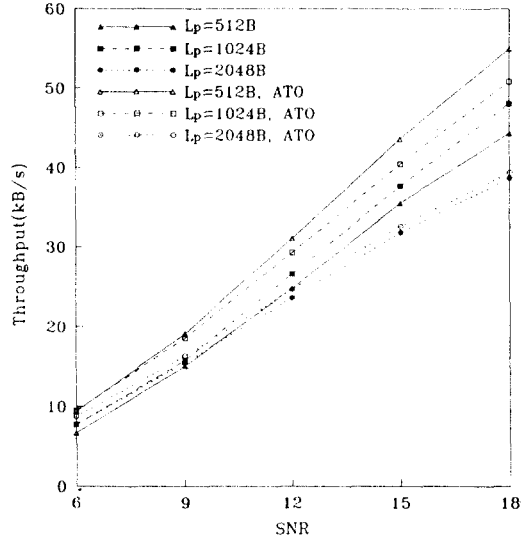
(a)



(b)



(c)



(d)

그림 5. 보조 시간 만료 기법 사용시 TCP(TCP/ATO)의 수율 : (a) $t_g = 500ms$, $L_p = 512B$, (b) $t_g = 500ms$, $S_w = 16kB$, (c) $t_g = 5ms$, $L_p = 512B$, (d) $t_g = 5ms$, $S_w = 16kB$.

Fig. 5 Throughput of the TCP with auxiliary timeout(TCP/ATO) technique : (a) $t_g = 500ms$, $L_p = 512B$, (b) $t_g = 500ms$, $S_w = 16kB$, (c) $t_g = 5ms$, $L_p = 512B$, (d) $t_g = 5ms$, $S_w = 16kB$.

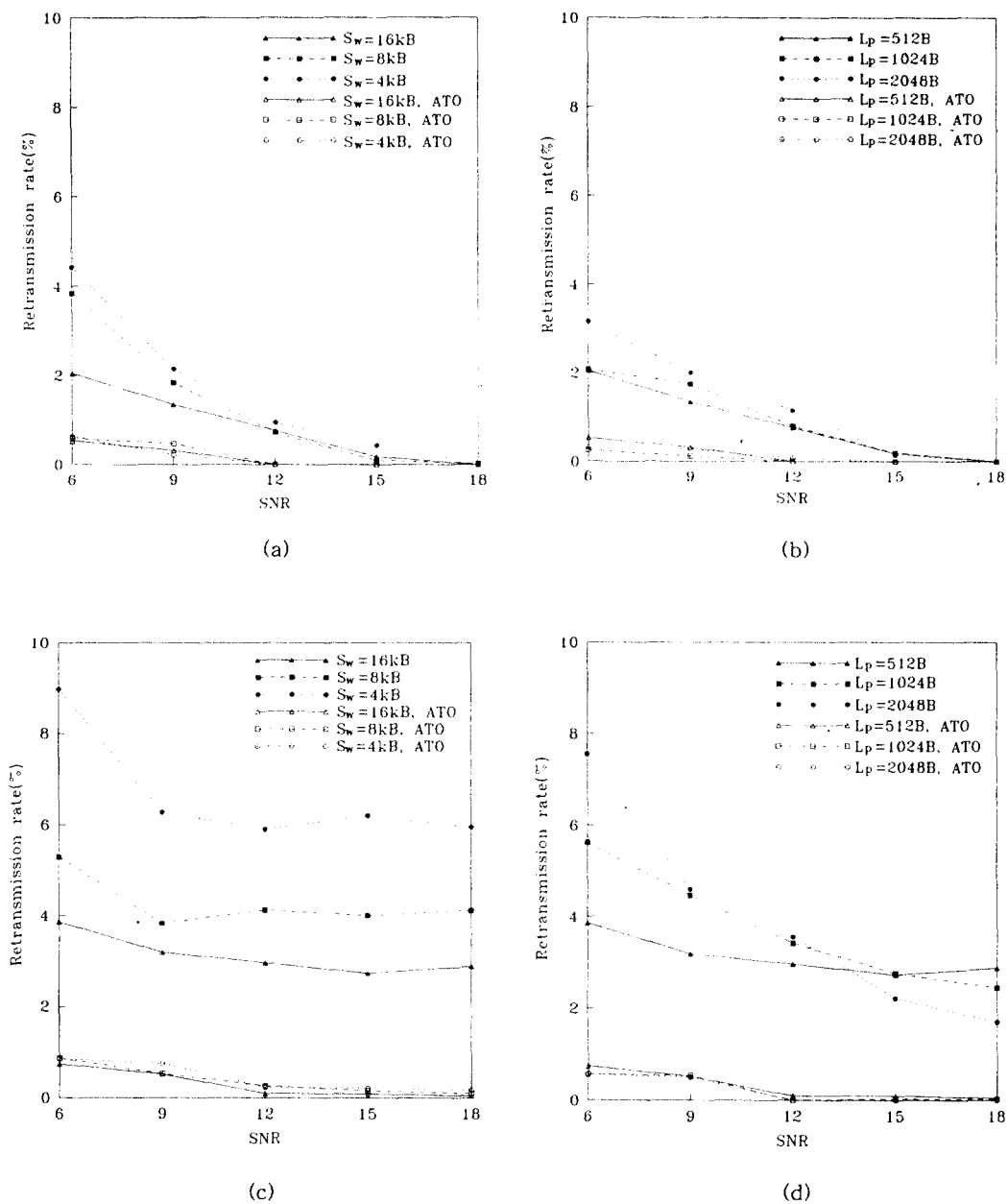
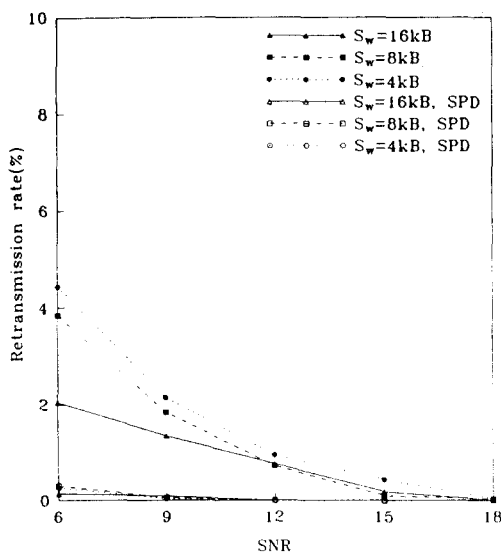
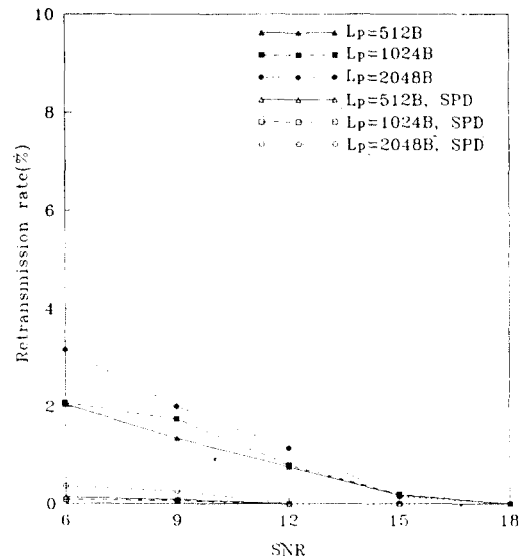


그림 6. 보조 시간 만료 기법 사용시 TCP(TCP/ATO)의 재전송 비율 : (a) $t_g = 500\text{ms}$, $L_p = 512\text{B}$, (b) $t_g = 500\text{ms}$, $S_w = 16\text{kB}$, (c) $t_g = 5\text{ms}$, $L_w = 512\text{B}$, (d) $t_g = 5\text{ms}$, $S_w = 16\text{kB}$.

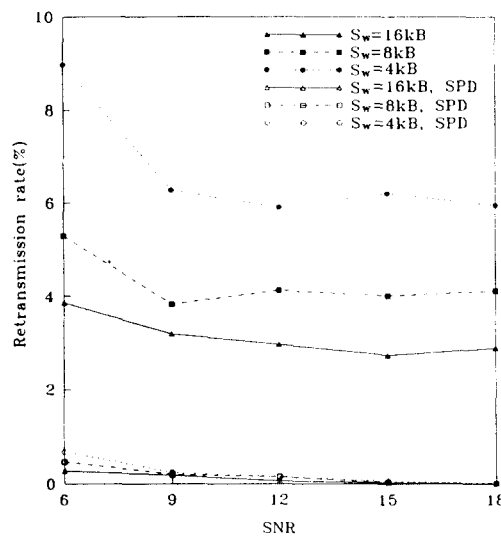
Fig. 6 Retransmission rate of the TCP with auxiliary timeout(TCP/ATO) technique : (a) $t_g = 500\text{ms}$, $L_p = 512\text{B}$, (b) $t_g = 500\text{ms}$, $S_w = 16\text{kB}$, (c) $t_g = 5\text{ms}$, $L_p = 512\text{B}$, (d) $t_g = 5\text{ms}$, $S_w = 16\text{kB}$.



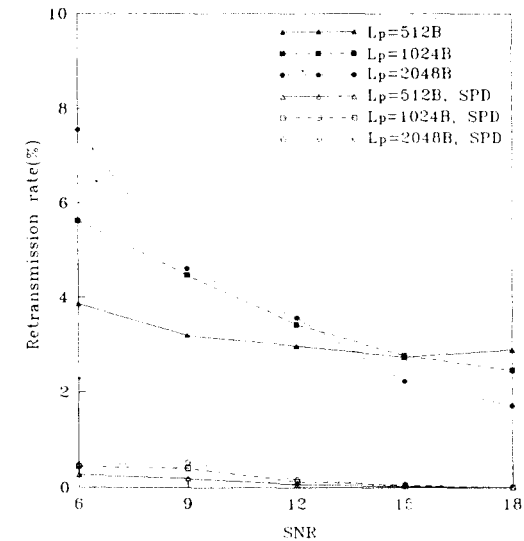
(a)



(b)



(c)



(d)

그림 7. 선택적 패킷 폐기 기법 사용시 TCP(TCP/SPD)의 재전송 비율: (a) $t_g = 500\text{ms}$, $L_p = 512\text{B}$, (b) $t_g = 500\text{ms}$, $S_w = 16\text{kB}$, (c) $t_g = 5\text{ms}$, $L_p = 512\text{B}$, (d) $t_g = 5\text{ms}$, $S_w = 16\text{kB}$.

Fig. 7 Retransmission rate of the TCP with selective packet discard(TCP/SPD) technique: (a) $t_g = 500\text{ms}$, $L_p = 512\text{B}$, (b) $t_g = 500\text{ms}$, $S_w = 16\text{kB}$, (c) $t_g = 5\text{ms}$, $L_p = 512\text{B}$, (d) $t_g = 5\text{ms}$, $S_w = 16\text{kB}$.

(b)는 TCP 클럭의 소밀도 값이 큰($t_g = 500ms$) 경우로서, 보조 시간 만료 기법이 효과적으로 작동하여 불필요한 재전송이 거의 발생하지 않음을 알 수 있다. 그러나 기존의 TCP에 대한 수율의 증가는 그렇게 크지 않다. 그 이유는 클럭의 큰 소밀도와 보조 시간 만료가 없는 TCP에서도, 만료 시간 후 지연된 ACK 패킷들이 돌아와 폭주 윈도우를 키우는 역할을 하기 때문이다.

그림 5와 6에서 (c)와 (d)는 TCP 클럭이 정밀한(즉, 소밀도가 작은) 경우에 대한 실험 결과인데, 보조 시간 만료 기법이 효과적으로 재전송을 줄이고 오판한 폭주 제어를 피함으로써 10kb/s 만큼의 수율 증가를 얻게 되는 것을 확인할 수 있다. 단, 채널의 상태가 나쁜 경우(즉, SNR이 낮은 경우)에는 보조 시간 만료를 사용하여 지연된 ACK 패킷을 인식하지 못하는 것이 약간 발생하기 때문에 재전송 비율이 0.8%까지 올라간다.

그림 7은 기지국에서 선택적 패킷 폐기 기법을 사용할 경우 TCP 재전송 비율을 모의 실험을 통해서 측정 한 것이다. 그림으로부터 선택적 패킷 폐기 기법이 보조 시간 만료 기법보다 더 효과적으로 불필요한 재전송을 막을 수 있다는 것을 관찰할 수 있다. 선택적 패킷 폐기 기법은 유선망에서의 손실된 패킷과 무선 링크에서 지연된 패킷을 확실히 알 수 있기 때문에, 재전송 비율을 더 줄일 수 있도록 LRTO를 크게 설정하는 것이 가능하다. 그러나 수율은 선택적 패킷 폐기 기법을 사용하여도 거의 비슷한데, 이것은 선택적 패킷 폐기 기법이 오판된 폭주 제어를 직접적으로 수정하지 못 하기 때문이다. 하지만 선택적 패킷 폐기 기법은 중복된 ACK를 보냄으로써 빠른 회복 알고리즘을 수행하도록 일깨움으로써 간접적인 수율 향상을 기대할 수 있다.

유선망에서의 왕복 지연이 1ms와 500ms일 경우에 대해서도 보조 시간 만료와 선택적 패킷 폐기는 비슷한 효과를 보이는 것을 확인하였다. 그리고 무선 링크의 용량이 1.08Mbps와 4.32Mbps인 경우에 대해서도 반복 실험한 결과, 비슷한 성능 향상을 볼 수 있었다. 한편, 핸드오버를 할 때 패킷을 다른 기지국으로 전송하는데 걸리는 지연에 의해 수 백 ms동안 통신이 정지되는 상황에 대해서도 제안된 방법들이 효과적으로 동작하는 것을 모의 실험을 통해 확인할 수 있었다.

V. 기타고려사항

1. 다른 무선 환경

PCN환경은 무선 용량이 현재에 보통 사용되는 시스템보다 큰 경우이다. 현재의 셀룰라 시스템에서 처럼 한 사용자에게 할당된 용량이 9.6kbps 또는 28.8kbps로 매우 낮은 무선 용량을 가질 때 TCP는 어떻게 동작하는지를 실험해 보았다. 그 결과, 이 경우에도 마찬가지로 지연된 ACK에 의한 불필요한 재전송과 오판한 폭주 제어가 발생하는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 수율의 감소는 PCN 환경보다 심각하지 않게 되는데 이것은 링크 용량이 작아서 설정할 수 있는 TCP 최대 윈도우 크기도 작아지기 때문이다. 이 경우에도 제안된 보조 시간 만료 기법이나 선택적 패킷 폐기 기법이 효과적으로 동작해 성능 향상을 가져오는 것을 확인 했다.

2. 핸드오버 문제

핸드오버(handover)는 ACK 지연이나 패킷 손실 문제를 야기시키므로, 무선 환경에서 TCP의 성능에 영향을 준다[7][8]. 매끄러운(smooth) 핸드오버를 수행하는 경우에는 제안한 방법들이 TCP의 오동작을 해결할 수 있다. 그러나, 핸드오버시 패킷이 손실되면 폭주에 의한 손실과 핸드오버에 의한 손실을 구별해서 대처할 필요가 있다. 그 해결책으로 다음과 같은 방법들을 고려할 수 있다. 예를 들어, 이동국의 IP 계층에서 TCP 계층에 핸드오버가 발생했다는 것을 알려주면 TCP가 빠른 재전송 알고리즘을 실행하도록 하거나[7], IP 계층의 정보를 저장하는 변수를 두어 현재 상태를 감지해 핸드오버 상태인 경우에는 슬로우 스타트(slow start) 상태로 동작하도록 할 수 있다[8]. 이러한 방법들은 본 논문에서 제시한 방법과 같이 사용하여 핸드오버로 인한 성능 감소 문제를 해결해 줄 수 있다.

3. 다른 TCP 버전

TCP Tahoe, Reno, Lite 등의 BSD 계열의 TCP 구현들은 그 기본 동작 원리가 같고, 약간의 차이가 있다. 그러므로, 이 TCP들은 지연 ACK에 의한 영향에 대해 비슷한 현상을 보인다. 최근들어, 기존의 TCP의 슬로우 스타트 알고리즘의 개선, 새로운 재전송, 폭주

회피 알고리즘을 구현하여 성능을 개선한 TCP Vegas가 발표되었다[9]. 그러나 TCP Vegas의 폭주 회피 알고리즘은 망에서 걸린 지연을 바탕으로 동작하기 때문에 무선망에서는 제대로 동작하지 않는다. TCP Vegas의 폭주 회피 알고리즘은 기대되는 수율에서 실제 수율을 뺀 값에 따라 다음 RTT동안 폭주 윈도우를 그대로 유지하거나, 증가시키거나 감소시킨다. 따라서 무선망에서 TCP Vegas는 지연을 폭주로 오판하여 폭주 윈도우를 줄일 수 있고, 망에서 폭주가 발생했음에도 불구하고 폭주 제어를 적절히 수행하지 못하게 될 수 있다. 이와 같이 TCP Vegas의 폭주 회피 알고리즘은 무선망에서 부적당하기 때문에, 이를 무선망에 사용하려면 수정이 요구된다.

4. 다른 접근 방식

무선망에서의 TCP 성능 문제를 해결하기 위해서는 본 논문에서 제시한 방법 이외에도 다른 접근 방식들이 있을 수 있다. 예를 들어, 데이터 링크 계층에서 수송 계층의 만료 시간을 고려하여 재전송을 수행하는 것을 고려할 수 있다. 데이터 링크 계층에서 재전송하는 것을 몇 번 시도하다가 어느 횟수에 다다르게 되면 재전송을 포기하는 것과 어느 횟수까지 재전송을 해도 하나의 수송 프로토콜 패킷이 다 전달되지 않으면 그 다음부터는 같은 링크 패킷을 복수개 보내는 방법이 있다. 이런 방법들은 무선 링크에서의 지연의 변화를 줄임으로써 지연 ACK의 영향을 줄일 수는 있지만, 반대로 링크 패킷이 중복 전송되어 무선 대역폭의 낭비가 심하게 된다. 또 다른 예로서, 세션(session) 계층에서 수송 계층 연결을 유선망과 무선 링크 사이에 분리하여 설정하는 방법이 있다[10][11][12]. 그러나 이 방법은 수송 계층의 연결을 분리하기 때문에 종단간 인식의 의미가 성립되지 않고, 중간점(예, 기지국)에서의 처리 부담이 증가하고 핸드오버시 지연이 커지게 된다.

VI. 결 론

본 논문에서는 PCN 환경에서 지연된 ACK로 인해 TCP 성능이 감소하는 문제점을 해결하기 위해서 TCP 시간 만료와 폭주 제어를 보완해 주는 보조 시간 만료 기법과, 기지국에서 무선 링크로 불필요하게 재전

송되는 패킷을 선별하여 폐기시키는 선택적 패킷 폐기 방법을 제안했다. 보조 시간 만료 기법은 시간 만료가 발생한 이후에 보조 만료 시간 이내에 들어오는 ACK를 인식하여 불필요한 재전송을 피하고 폭주 윈도우가 급격히 줄어드는 것을 막아 수율 감소를 방지해 준다. 그리고 선택적 패킷 폐기 기법은 기존 TCP의 수정없이 기지국에서 이동국이 이미 인식했거나 인식할 데이터 패킷이 무선 링크로 전달되지 않게 함으로써 무선 대역폭의 낭비를 막아준다. PCN 환경을 설정하여 모의 실험을 한 결과 제안된 보조 시간 만료 및 선택적 패킷 폐기 기법이 TCP 성능을 크게 개선하는 것을 확인할 수 있었다.

망에서의 폭주, 무선 링크에서의 매체 접속 제어 등을 고려하여 모의 실험을 수행하고, 또 다른 여러 접근 방식들과 성능 비교를 하는 것이 앞으로의 과제이다.

참 고 문 헌

1. 전병근, 이병기, "PCN 환경에서의 TCP 성능 분석", 한국통신학회 논문지, 제23권 2호, 1998, 2.
2. W. R. Stevens, TCP/IP Illustrated, Volume 1, Addison-Wesley, 1994.
3. W. R. Stevens, TCP/IP Illustrated, Volume 2, Addison-Wesley, 1995.
4. D. Raychaudhuri and N. D. Wilson, "ATM-based transport architecture for multiservices wireless personal communication networks," *IEEE J. Selected Areas Commun.*, vol. 12, no. 8, pp. 1401-1414, Oct. 1994.
5. S. Paul et al., "An asymmetric protocol for digital cellular communications," *IEEE INFOCOM '95*, pp. 1053-1062, 1995.
6. C. K. Siew and D. J. Goodman, "Packet data transmission over mobile radio channels," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 38, no. 2, pp. 95-101, May 1989.
7. R. Cáceres and L. Iftode, "Improving the performance of reliable transport protocols in mobile computing environments," *IEEE J. Selected Areas Commun.*, vol. 13, no. 5, pp. 850-857, June 1995.
8. P. Manzoni et al., "Impact of mobility on TCP/IP: An integrated performance study," *IEEE J. Selected*

- Areas Commun.*, vol. 13, no. 5, pp. 858-867, June 1995.
9. L. S. Brakmo et al., "TCP Vegas: New techniques for congestion detection and avoidance," in *Proc. of ACM SIGCOMM '94*, pp. 24-35, 1994.
 10. A. Bakre and B. R. Badrinath, "I-TCP: Indirect TCP for mobile hosts," Technical Report DCS-TR-314, Rutgers university, Oct. 1994.
 11. M. Kojo et al., "Connecting mobile workstations to the internet over a digital cellular telephone network," Technical Report C-1994-39, University of Helsinki, Sep. 1994.
 12. R. Yavatkar and N. Bhagwat, "Improving end-to-end performance of TCP over mobile internet-works," in *Mobile 94 Workshop on mobile computing systems and applications*, Dec. 1994.



전 병 곤(Byung Gon Chun) 정회원

1972년생

1994년 2월: 서울대학교 전자공학과 졸업

1996년 2월: 서울대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학 석사)

1996년 3월~현재: Cadland, Inc.

※주관심분야: 유무선망, 통신 프로토콜, 운영 체제, 분산 시스템

이 병 기(Byeong Gi Lee)

정회원

1951년생

한국통신학회논문지 제 23권 제 1호 참조

현재: 서울대학교 전기공학부 교수