
유·무선 혼합망에서 이동 호스트의 패킷 손실 예측을 통한 TCP 성능 향상

Performance Improvement of TCP over Wired-Wireless Networks by Predicting Packet Loss of Mobile Host

김진희, 권경희
단국대학교 컴퓨터과학부

Jin-Hee Kim(whitej2@dankook.ac.kr), Kyung-Hee Kwon(khkwon@dankook.ac.kr)

요약

유선망에서 패킷 손실은 대부분 혼잡에 의해 발생하며 TCP는 패킷이 손실되면 혼잡을 제어하기 위한 방법으로 윈도우 사이즈(Window Size)를 줄여서 네트워크 이용률을 감소시킨다. 반면에 무선망에서의 패킷 손실은 높은 비트 에러율과 핸드오프 그리고 노드의 이동성 등으로 인해 발생하고 TCP는 무선망에서의 패킷 손실시에도 혼잡 제어 메커니즘을 사용한다. 이는 불필요한 네트워크 이용률을 감소로 TCP 성능 저하의 원인이 된다.

본 논문에서는 무선상에서의 패킷 손실을 RSS(Received Signal Strengths:수신신호세기)를 이용하여 예측하고 ACK에 RSS 관련 flag bit 추가를 제안한다. RTO(Retransmit Time Out:재전송 타임아웃)가 발생하면 FH(Fixed Host:고정 호스트)는 수신된 RSS flag bit를 통해 혼잡 제어 메커니즘의 적용여부를 결정함으로써 처리율을 최대화하는 것이다. NS-2를 이용한 시뮬레이션 결과 송신량과 수신량이 최대 40% 증가 되었다.

■ 중심어 : | 무선 | 성능 | 수신신호세기 |

Abstract

In wired networks, packet losses mostly occur due to congestion. TCP reacts to the congestion by decreasing its congestion window, thus to reduce network utilization. In wireless networks, however, losses may occur due to the high bit-error rate of the transmission medium or due to fading and mobility. Nevertheless, TCP still reacts to packet losses according to its congestion control scheme, thus to reduce the network utilization unnecessarily. This reduction of network utilization causes the performance of TCP to decrease.

In this paper, we predict packet loss by using RSS(Received Signal Strengths) on the wireless and suggest adding RSS flag bit in ACK packet of MH. By using RSS flag bit in ACK, the FH(Fixed Host) decides whether it adopt congestion control scheme or not for the maximum throughput. The result of the simulation by NS-2 shows that the proposed mechanism significantly increases sending amount and receiving amount by 40% at maximum.

■ keyword : | Wireless | Performance | Received Signal Strengths |

1. 서론

무선망은 유선망에 비해 높은 BER(Bit Error Rate)과 낮은 대역폭, 그리고 노드의 이동성으로 인해 많은 패킷이 손실된다[1]. 이런 요인들로 인해 TCP에 의해 감지되는 상당 부분의 패킷 손실은 망의 혼잡과는 전혀 관계없이 발생 할 수 있다. 그러나 기존의TCP는 비트 에러로 인한 패킷 손실이 낮은 유선망에 적합하게 설계되었다. 패킷이 손실되고 재전송타입아웃이 발생하면 윈도우 사이즈를 1로 감소시켜서 패킷을 재전송하는 혼잡 제어(congestion control) 메커니즘을 호출한다. 그러나 비 혼잡(Non-congestion) 패킷 손실로 인해 재전송을 해야 하는 경우라면 윈도우 사이즈를 줄여서 재전송을 할 필요가 없다. 따라서 유무선 혼합망에 유선 중심으로 구현된 TCP의 적용은 네트워크 성능 저하의 원인이 된다 [1][2][9]. 송신원의 TCP 계층에서 감지된 패킷 손실이 망의 혼잡으로 인한 것인지 전송 오류로 인한 것인지를 구별하여 복구 메커니즘을 다르게 적용할 필요가 있는 것이다. 기존의 유선 중심의 TCP가 아닌 유무선 혼합망에 적합하게 개선된 TCP가 요구 되는 것이다. 새로운 TCP의 요구는 유무선 혼합 망의 특징을 고려한 개선된 TCP를 만들게 하였으며[1-5][7-11] 지금도 많은 연구가 진행되고 있다.

본 논문에서는 무선상에서의 패킷 손실을 RSS (Received Signal Strengths : 수신신호세기)를 이용하여 예측하고 ACK에 flag bit 추가를 제안한다. RTO 발생시 FH(Fixed Host:고정 호스트)는 수신된 ACK의 RSS flag bit를 이용해서 혼잡 제어 메커니즘의 적용여부를 결정한다. 즉 망의 혼잡으로 판단하여 윈도우 사이즈를 1로 줄여서 보낼 것인지 비 혼잡 패킷 손실로 판단하여 윈도우 사이즈를 줄이지 않고 전송할 것인지를 결정함으로써 TCP의 성능을 향상시키는 데 목적을 둔다.

II. 관련 연구

TCP는 흐름 제어(flow control)와 혼잡 제어라는 두 개의 제어 메커니즘을 이용하여 중단간의 신뢰성 있는

전송을 보장한다. 흐름 제어는 송신측이 수신측으로부터 advertised window 크기를 받은 후 그것보다는 적게 보냄으로써 네트워크상의 흐름을 조절하는 방법이고 혼잡 제어는 송신측에서 네트워크 상황을 보고 스스로 혼잡을 조절하는 방법이다.

혼잡 제어는 슬로우 스타트(Slow start), 혼잡 회피(Congestion Avoidance), 빠른 재전송(Fast Retransmission), 빠른 회복(Fast Recovery) 네 개의 메커니즘이 있다. 슬로우 스타트는 송신원이 다른 호스트와 연결 설정할 때 최대 세그먼트 크기를 cwnd(congestion window: 혼잡 윈도우)로 초기화 한 후 한 개의 세그먼트를 보내고 그것에 대한 ACK 가 도착하면 세그먼트 개수를 2개로 늘려서 전송하고 다시 ACK 가 도착하며 세그먼트를 4개로 전송하는 즉, cwnd를 지수적으로 증가시키는 방식이다. 혼잡 회피란 cwnd가 ssthresh(slow-start-threshold : 임계값) 값을 넘어서면 혼잡으로 인한 패킷 손실 확률이 높아짐으로 cwnd의 크기를 $1/cwnd$ 만큼 증가시키는 것이다. 슬로우 스타트에 비해 훨씬 느린 속도로 증가한다.

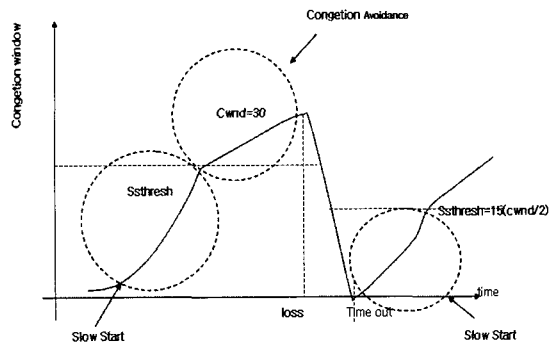


그림 1. 혼잡 제어

유선망에서의 패킷 손실이 대부분 혼잡에 의한 것이지만 무선망에서의 패킷 손실은 핸드오프 시 연결해제나 높은 전송 비트 오류율에 의한 것으로 설명된다[1]. 기존의 TCP 는 송신측에서 패킷 손실이 감지되고 재전송타입아웃이 발생하면 무조건 망의 혼잡으로 간주하여 슬로우 스타트를 통한 복구 메커니즘을 작동한다. 그러나 유선망의 혼잡이 아닌 무선망의 에러나 핸드오프 등으로

인한 패킷 손실이라면 혼잡 제어 메커니즘을 호출할 필요가 없다. 즉 윈도우 사이즈를 줄여서 전송할 필요가 없으며 이는 곧 처리량 증가로 이어질 수 있는 것이다.

무선망에서의 손실이 혼잡으로 인한 것인지 높은 에러율과 낮은 대역폭 등의 특징으로 인한 것인지를 구분하여 혼잡 제어 메커니즘의 호출 여부를 결정하는 것으로 많은 기법들이 다음과 같이 제안되었다.

무선망에서 연속적인 에러로 패킷이 손실될 경우 BS(Base Station : 기지국)의 버퍼크기를 체크해서 임계치 이상이 되면 FH에 window size zero acknowledge를 보냄으로써 빠른 복구를 가져오게 하는 기법[3]과 ACK 패킷에 무선망의 대역폭을 나타내는 flag를 설정함으로써 송신측의 윈도우 사이즈를 zero 로 만들게 하여 혼잡 제어 메커니즘 호출을 방지하는 기법[9]이 있다. 그리고 핸드오프시 패킷 손실의 원인을 RTT 기반으로 하여 정체인 확률과 무선상의 손실일 확률을 구하여 혼잡 제어 메커니즘을 호출하게 하는 방법[13]과 Knee point 지점에서 RTT를 측정하고 RTT 임계치를 계산하여 패킷 손실시 RTT 와 RTT 임계치를 비교하는 방법을 통해 혼잡 제어 메커니즘 호출여부를 결정하는 방법[14]등이 있다.

위 대부분의 연구가 TCP 자체의 수정을 통한 성능 개선보다는 핸드오프 소요시간이 TCP 에 미치는 영향을 분석하거나 BS의 Snoop 모듈 수정을 통한 성능 개선 등이다. 그러나 BS Snoop 모듈은 TCP 헤더를 열어서 패킷 송수신을 제어하는 메커니즘이다. 네트워크 보안이 이슈화 되는 시점에서 TCP가 암호화 되어 전송된다면 BS에서 Snoop 모듈의 적용은 의미가 없게 된다. 따라서 본 논문에서는 End-to-End 프로토콜 방식에서 TCP 자체의 수정을 통해 무선망에서의 패킷 손실시 혼잡 제어 메커니즘의 호출을 최소화 시키는 방법으로 TCP 성능을 향상시키려 한다.

III. 제안하는 메커니즘

무선망에서 패킷 손실의 원인은 BER과 핸드오프, 낮은 대역폭등의 원인을 들 수 있다.

본 논문에서는 FH와 MH(Mobile Host:이동호스트) 사

이에서 패킷 전송시 RSS를 이용해서 MH의 다음 패킷 수신 가능 여부를 예측하는 기법을 제안한다.

RSS는 MH가 BS로부터 받은 신호의 세기를 의미하는 것으로 이는 BS에서 MH의 위치와 식별을 제공하기 위해 정기적으로 전송되는 Beacon 통해 계산되며 장애물(건물, 산악 등)의 정도와 거리가 멀어지면서 약해진다. 이러한 RSS 값은 수신범위를 벗어나거나 페이딩으로 인해서 약해 질 수 있다. 따라서 수신 안테나는 송신 안테나로부터 멀어질수록 더 낮은 신호 전력이 수신된다. 무선통신에서 이것은 신호 손실의 주된 요인이다. 다른 감쇠요인이나 손상요인이 없다고 할지라도, 전송된 신호는 넓은 지역으로 분산되기 때문에 거리에 비례하여 감쇠된다[1].

다음은 RSS를 나타내는 수식이다. Two-ray Ground reflection 모델에서 안테나의 높이와 안테나의 이득, 송출 신호 전력 그리고 거리와의 관계를 식 (1)과 같이 표현한다[12].

$$RSS = \frac{P_t \times G_t \times G_r \times h_t^2 \times h_r^2}{d^4} \quad (1)$$

- RSS = 수신 안테나에서의 수신 신호
- P_t = 송신 안테나로부터의 송출 신호 전력
- h_t, h_r = 송수신 안테나의 높이
- G_t, G_r = 송수신 안테나의 이득(gain)
- d = 안테나 사이의 전파거리

즉 RSS는 송수신 안테나의 높이와 파장 그리고 거리의 관계로 설명이 되는 것이다. 안테나의 높이가 수시로 변하는 것이 아닌 이상 실제 RSS 변화에 가장 영향을 주는 것은 거리라고 볼 수 있다. 패킷 수신이 가능한 RSS의 임계치가 있고 MH가 임계치 이하의 RSS를 갖는다면 패킷 수신은 이루어지지 않는다. 그러나 MH의 RSS가 ACK 패킷을 전송할 당시 임계치 이하가 아니더라도 다음 패킷 전송이 실패하는 경우가 있다. MH의 이동으로 인해 BS으로부터 점점 멀어지면서 패킷 송수신이 이루어지는 경우와 페이딩으로 인해서 RSS 점점 약해지는 경우이다. 수신범위를 벗어나기 직전 전송한 ACK 패킷을 받은 FH는 다음 패킷을 MH로 전송하게

될 것이다. 그러나 이미 MH는 전송범위를 벗어난 상태이다. 전송된 패킷은 손실되고 재전송타입아웃이 발생하면 무선망에서 손실과 무관하게 혼잡 제어 메커니즘이 호출되게 되는 것이다.

따라서 본 논문에서는 MH가 전송하는 ACK 패킷에 RSS를 나타내는 flag bit 설정으로 FH에서 재전송타입아웃 발생시 슬로우 스타트 복구 메커니즘 적용 여부를 정하게 하였다. 설정되는 flag를 RSS_flag로 표기한다.

패킷 전송 여부를 결정하는 RSS_flag 값의 설정은 지수평활법(exponential smoothing)을 사용한다.

지수평활법은 최근의 자료에 더 큰 비중을 두고, 과거로 갈수록 가중 값을 지수적으로 줄여나가는 방법이다. 최근 자료를 이용하여 미래의 값을 예측하기 때문에 시스템의 변화가 있을 경우에 그 변화에 쉽게 대처가 가능하다. 또한 계산법이 쉽고 자료를 많이 저장할 필요가 없다는 장점이 있기 때문에 전력소모나 메모리를 고려해야 하는 MH에 적합하다고 할 수 있다. 그래서 MH에서 수신신호를 예측하기 위한 방법으로 지수평활법을 사용하였다.

다음은 Pre_RSS를 나타내는 수식이다. Pre_RSS란 MH의 다음 패킷 수신시 예측되어지는 RSS를 의미하며 식 (2)를 통해서 얻을 수 있다. $a(0 \leq a \leq 1)$ 는 최근 수신신호에 대한 가중 값을 의미한다. 가중 값 a 를 결정하는 방법은 0보다 크고 1보다 작은 임의의 a 를 적용해서 나온 예측 값과 실제 값과의 오차가 가장 적은 a 를 선택한다. RSS의 변동이 클 경우에는 큰 값이 적합하다. 초기 값 Pre_RSS₁는 첫번째로 관측되어진 MH의 RSS를 나타내며, 식 (2)를 이용하여 Pre_Rsst를 계산한다 [15][16].

$$(1-a)Pre_RSS_{t-1} + aZ_{t-1} \tag{2}$$

$$Pre_RSS_3 = (1-a)Pre_RSS_2 + aZ_2$$

Pre_RSS₁ = 첫번째로 관측된 MH의 RSS

a = 가중값 ($0 < a < 1$)

aZ_{t-1} = t-1 기의 원자료

[그림 2]와 [그림 3]은 제안된 기법을 FH와 MH 두 부분으로 나누어 나타낸 것이다. [그림 2]는 MH에서 ACK

패킷에 RSS_flag bit를 설정하는 흐름도이다.

수신 가능한 신호의 임계치를 Th로, 다음 패킷 수신시 예측되는 RSS는 Pre_RSS로 표기한다. MH의 RSS가 임계치에 가까워지고 다음 패킷 수신시 예측되어지는 Pre_RSS가 임계치 이하의 값일 경우 ACK 패킷의 RSS_flag bit는 '1'으로 설정된다.

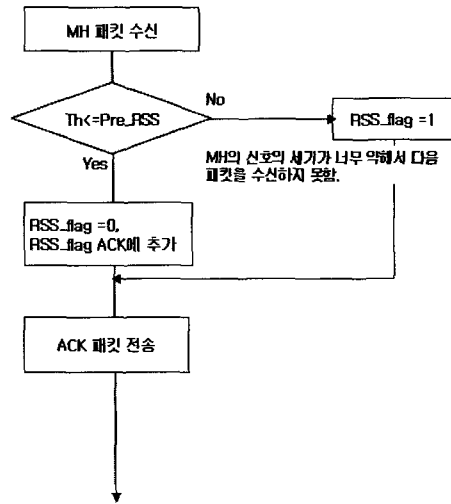


그림 2. MH에서 ACK 패킷에 RSS_flag bit 설정 흐름도

RSS_flag의 '1'은 다음 패킷은 수신 가능성이 희박하다는 것을 의미한다. RSS_flag의 '0'은 예측된 Pre_RSS가 임계치보다 크므로 패킷 손실 가능성이 적음을 의미한다.

[그림 3]은 FH에서의 패킷 전송여부를 결정하는 흐름도이다.

FH에서 패킷 손실이 감지되고 RTO가 발생하면 수신한 ACK 패킷의 RSS_flag를 통해 손실 복구 메커니즘인 슬로우 스타트 적용 여부를 결정한다. RSS_flag가 '1'이면 무선망의 비 혼잡 패킷 손실로 윈도우 사이즈를 줄이지 않고 패킷을 재전송한다. RSS_flag가 '0'일 경우 무선망에서의 혼잡으로 인한 것으로 간주하여 슬로우 스타트를 통한 복구 메커니즘을 호출한다.

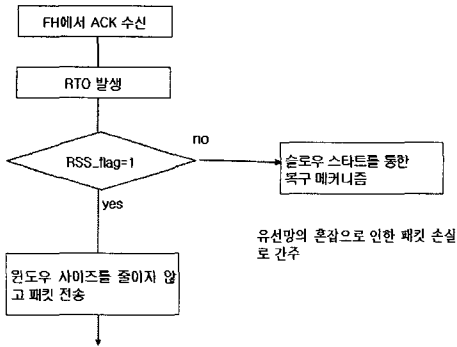


그림 3. FH에서 RTO 발생 후 재전송 복구 메커니즘

표 1. 무선망 시뮬레이션 환경

패킷 크기	1460 bytes		
트래픽 타입	FTP		
TCP 타입	TCP Reno		
물리 계층	Propagation 모델	Free space (r:거리)	$\frac{1}{r^2}$ (100m)
		Two-ray Ground reflection	$\frac{1}{r^4}$ (250m)
	전송방식	DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum)	
	채널 접근방식	CSMA/CA	
토폴로지, 이동성 모델	670 * 670 grid		
	1m/s(도보)~ 25m/s(자동차)		

IV. 시뮬레이션

1. 시뮬레이션 환경과 프로토콜

시뮬레이션은 네트워크 시뮬레이터인 NS-2를 이용하였으며, 유무선 혼합 환경으로 유선망과 무선망을 연결하는 BS으로 구성된다. 시뮬레이션 환경은 다음과 같은 가정 하에 연구를 진행하였다.

첫째, TCP 타입은 TCP Reno 이다. 이는 TCP의 여러 가지 구현 중 대표적이며 가장 많이 이용되는 것이 Reno 이기 때문이다.

둘째, 패킷 송수신 방법은 반이중(half-duplex) 으로 가정하였다.

셋째, MH의 이동은 BS를 중심으로 수신범위 밖으로 벗어났다가 다시 들어오는 경우로, MH 수신 가능한 범위의 선을 따라 이동하는 경우로 가정하였다.

넷째, MH의 최대 수신범위는 250m로 하였으며 식(1)을 적용해서 나온 수신 가능한 신호의 임계치는 $3.652e-10$ 이다.

거리에 따른 신호 세기 감소는 Free space 모델과 Two-ray Ground 모델로 구성되었다. Free space 모델은 MH가 100m 이내에 위치하면 거리에 따른 신호 세기는 $1/r^2$ 만큼 감소하며 250m 이내에 위치하면 $1/r^4$ 만큼 감소한다. 물리계층의 802.11에서 전송방식은 DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum)이며 채널 접근방식은 CSMA/CA 를 사용한다. 수신범위 식 (1)과 관련된 변수의 값과 [표 1]의 시뮬레이션과 관련된 파라미터는 NS-2에서 기본으로 설정된 것을 그대로 적용한 것이다.

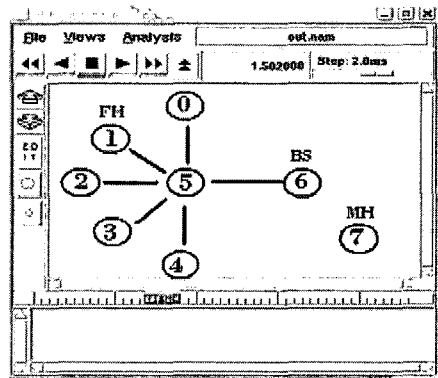


그림 4. 토폴로지

시뮬레이션은 다음과 같이 진행하였다.

송신측에 FH는 [그림 4]에서 0번부터 4번까지 다섯 개이며 수신측에 MH는 7번 하나인 경우로서 트래픽은 FH에서 MH번 노드로 발생한다. MH는 이동성을 갖는 노드로서 본 시뮬레이션에서는 이동속도를 도보(1m/s)로 하는 경우에서부터 차량(10m/s~25m/s)을 통한 이동까지 고려하였다. 시뮬레이션 시간은 50초로 하였으며 10초 동안은 혼잡을 만들기 위해 다섯 개의 FH에서 트래픽을 생성시킴으로써 BS에서 패킷 손실을 유도하였다. 10초 경과 후 MH가 수신 범위 밖으로 벗어났다가 다시 안으로 들어오는 상황을 반복하는 방법으로 신호의 세기를 조절하여 무선망에서의 패킷 손실을 유발 시켰다.

2. 시뮬레이션 결과

MH의 이동 속도가 빠를수록 MH에서의 수신량은 적어진다. 빠른 속도로 MH가 수신범위를 벗어나면 당연히

손실량은 많아지고 패킷 수신량은 적어진다. MH가 임계치에 가까워지면서 ACK 패킷을 보내고 FH가 다음 패킷을 MH로 전송할 경우 패킷이 손실될 확률이 커지게 된다.

본 논문에서는 이동 속도를 도보(1m/s)에서 차량인(25m/s) 경우로 다양하게 하였다. 이는 현재의 이동 통신이 802.11 WLAN에서 3G 이동 통신으로 발전하면서 통신 환경의 확대 등을 고려한 것이다. 좁은 구간에서의 도보 이동만이 아니라 넓은 구간에서의 차량 이동까지 고려하여 시뮬레이션 한 것이다.

성능평가를 위해 MH에서 패킷 송신량과 수신량을 체크해보았다.

[그림 5]와 [그림 6]은 패킷 송신량과 수신량을 나타낸 것이다. 그래프에서 Regular TCP 란 기존의 TCP를 그대로 적용했을 경우이며, MTCP(Modify TCP) 란 TCP에 제안하는 메커니즘을 적용했을 경우이다.

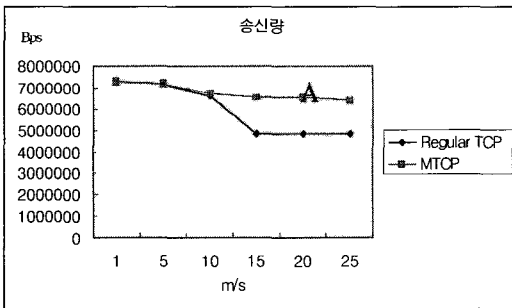


그림 5. MH의 이동 속도에 따른 패킷 송신량

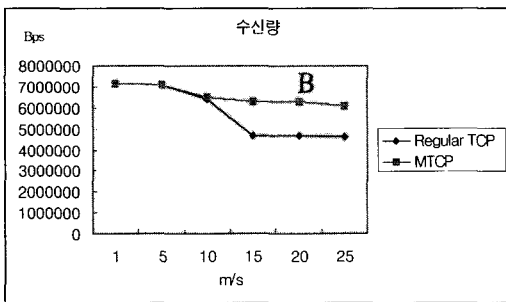


그림 6. MH의 이동 속도에 따른 패킷 수신량

[그림 5]는 패킷 송신량을 나타낸다. Regular TCP에 비해 제안한 알고리즘을 적용한 MTCP에서 송신량이

(그래프 A 부분) 많음을 확인 할 수 있다.

[그림 6]의 결과는 MH에서 패킷 손실량을 나타낸 것이다. 제안하는 알고리즘을 적용했을 경우가 그래프 B 부분으로 수신량이 많아진 것을 확인 할 수 있다.

이동속도가 빠르수록 FH에서 패킷 손실량이 많아지고 MH에서의 수신량은 적어진다. 기존의 TCP에서 패킷 손실은 무조건 혼잡제어 복구 메커니즘을 호출한다. MH에서 많은 패킷 손실은 잦은 복구 메커니즘 호출로 연결되고 혼잡이 아닌 무선망의 특성으로 인한 패킷 손실일 경우 혼잡제어 메커니즘은 패킷 송·수신량의 감소를 가져온다. [그림 5]와 [그림 6]의 결과를 통해 무선망에서 패킷 손실이 발생할 경우 윈도우 사이즈를 줄이지 않고 패킷을 전송하는 방법으로 패킷 송·수신량이 증가한 것을 확인했다.

V. 결론

무선망은 유선망에 비해 높은 비트 에러율과 낮은 대역폭 그리고 높은 지연 등으로 인한 패킷 손실 확률이 높다. 그러나 기존의 TCP는 비트 에러로 인한 패킷 손실이 낮은 유선망에 적합하게 설계되었으며 패킷 손실에 대해 혼잡제어 메커니즘을 적용한다. 따라서 유·무선 혼합망에 유선 중심으로 구현된 TCP의 적용은 네트워크 성능 저하의 원인이 된다. 유선과 무선구간내의 패킷 손실의 원인이 다르듯 손실 복구 메커니즘 또한 다르게 적용되어야 함을 의미한다.

본 논문에서는 무선망에서 패킷 손실의 원인을 RSS를 통해 예측하고 예측 되어진 RSS 값을 ACK_flag 설정하여 FH에 전송하는 메커니즘을 제안하였다. 제안된 메커니즘은 무선망에서 패킷 손실시 송신측에서 타임아웃이 발생하면 윈도우 사이즈를 '1'로 줄이는 복구 메커니즘이 아니고 윈도우 사이즈를 줄이지 않고 패킷을 재전송 하는 방법으로 네트워크 이용률을 높였다.

시뮬레이션 결과 기존의 TCP를 그대로 적용했을 때보다 FH에서 송신량이 MH에서 수신량이 증가한 것을 확인했다. 그리고 이러한 송·수신량의 증가는 MH의 이동속도가 빠를 경우 더 현저한 차이를 가져왔다. 15m/s

에서 25m/s로 이동할 경우에는 송신량과 수신량이 최대 40% 까지 증가했다. 이는 이동속도가 빠르면 패킷 손실이 많아지고 이로 인한 복구 메커니즘의 호출이 잦아지면서 가져온 결과로 볼 수 있다. 패킷 손실의 원인을 유선망과 무선망으로 구별하고 적합한 복구메커니즘의 적용으로 TCP 성능을 향상시킬 수 있음을 확인했다.

향후 연과 과제로는 본 논문에서는 고려되지 않은 사항으로 무선망에서의 RSS가 약해서 생기는 패킷 손실 외에 BER 로 인한 패킷 손실의 가능성에 대한 보완 방법을 찾는 것이다.

참 고 문 헌

[1] W. Stallings, "Wireless Communications & Networks," Prentice Hall, 2004.

[2] 김윤주, 이미정, 안재영, "무선 망에서의 TCP 성능 향상을 위한 제한적인 Indirect-ACK", 정보과학회 논문지 I, 제30권, 제2호, pp.233-243, 2003(4).

[3] 김용, 성호철, 현호재, 한선영, "Snoop 프로토콜에서 혼잡 제어 지연을 통한 무선망상에서의 TCP 성능향상 기법", 정보처리학회논문지 C, 제3-C권, 제3호, pp.351-358, 2001(6).

[4] 문영성, 강인석, "개선된 Snoop 기법을 이용한 무선 TCP 성능향상 방안", 한국정보과학회 논문지 I, 제32권, 제1호, pp.12-19, 2005(2).

[5] 진교홍, "유무선 복합망에서 Acknowledgement 패킷의 분할을 통한 TCP 프로토콜의 성능 향상 기법", 한국정보처리학회 논문지 C, 제9-C권, 제1호, pp.39-44, 2002(2).

[6] HALA ELAARAG, "Improving TCP Performance over Mobile Networks," ACM Computing Surveys, Vol.34, No.3, pp.357-374, Sept. 2002.

[7] V. Anantharaman and Sivakumar, "Atra : A Framework for Improving TCP Performance over Ad-hoc Networks," Technical Report, GNAN Research Group, March 2002.

[8] A. K. Singh and S. Iyer, "ATCP: Improving TCP Performance over Mobile Wireless Environments,"

In Fourth IEEE Conference on Mobile and Wireless Communications Networks, Stockholm, Sweden, Sept. 2002.

[9] S. J. Seok, S. B. Hoo, and C. H. Kang, "A-TCP: A Mechanism for Improving TCP Performance in Wireless Environments," in Proc. of IEEE Broadband Wireless Summit, May 2001.

[10] <http://www.it.iitb.ac.in/~sri/papers/clf-icpwc02.pdf>

[11] F. Liu, W. bo, and Y. An Liu, "A New Scheme to Improve TCP over Wireless Networks," WCNC 2004/IEEE, Vol.3, pp.1506-1509, March 2004.

[12] <http://ucesp.ws.binghamton.edu/~xli/eccc542/notes/lec07.ppt>

[13] W. J. Liao, C. J. Kao, and C. H. Chien, "Improving TCP Performance in Mobile Networks," IEEE TRANSACTIONS ON COMMUNICATIONS, Vol.53, No.4, April 2005.

[14] N. K. G. Samaraweera, "Non-congestion packet loss detection for TCP error recovery using wireless links," IEE Proceedings in Communications, Vol.146, No.4, pp.222-230, Aug. 1999.

[15] 이의숙, 임용빈, 성내경, 소병수, "통계학 입문", 경문사, 2000.

[16] <http://sppm.korcham.net>

저 자 소 개

김진희(Jin-Hee Kim)

정희원



- 1999년 : 한국방송통신대학교 전자계산학과(이학사)
- 2001년 : 단국대학교 전자계산학과 컴퓨터과학(이학석사)
- 2002년 ~ 단국대학교 : 전자계산학과 컴퓨터과학 박사수료

<관심분야> : 컴퓨터 네트워크, TCP/IP, 이동 컴퓨팅

권 경 희(Kyun-Hee Kwon)

정회원



- 1976년 : 고려대학교 물리학과
(이학사)
- 1986년 : Old Dominion Univ.
Dept. of Computer Science(M.S.)
- 1992년 : Louisiana State Uni
Dept. of Computer Science(Ph.D.)

- 1979년 ~ 1984년 : 산업연구원 연구원
- 1993년 ~ 현재 : 단국대학교 부교수

<관심분야> : 컴퓨터 네트워크, 알고리즘 분석 및 설계,
웹 공학, 이동 컴퓨팅