

연속적 에러가 발생한 WLAN 링크에서 SCTP의 부적절한 SACK 처리 영향 분석

준회원 박정서*, 김예나*, 종신회원 박태근**

Effects of Inappropriate SACK Handling of SCTP on a WLAN Link with High Burst Errors

Jeongseo Park*, Ye-Na Kim* Associate Members, Taekeun Park** Lifelong Member

요약

차세대 인터넷을 위한 전송계층 프로토콜로 많은 관심을 받고 있는 SCTP (Streaming Control Transmission Protocol)는 TCP나 UDP가 제공하지 않는 추가적인 기능들을 제공한다. 그 중에서 멀티호밍 (Multihoming)은 많은 연구에서 관심있게 다루고 있는 기능이다. 멀티호밍은 SCTP에서의 연결에 해당하는 두 단말 사이의 어소시에이션이 여러 경로를 사용할 수 있게 해 준다. 여러 경로 중, 주경로 (Primary Path)는 처음 전송되는 데이터를 송수신하기 위하여 사용되고, 대체경로 (Alternate Path)는 재전송되는 데이터를 송수신하기 위하여 사용된다. 그런데 무선 멀티호밍 환경에서 주경로가 수 초 동안 일시적으로 단절되었다가 복구될 경우, SCTP에서 부적절한 SACK 처리가 발생할 수 있음이 발견되었다. 본 논문에서는 그러한 부적절한 SACK 처리가 주경로의 일시적 단절이 아니라 연속적 에러에 의해서도 발생함과 그것이 성능에 미치는 영향이 어느 정도인지를 시뮬레이션을 통하여 분석한다.

Key Words : SCTP; SACK Handling; Multihoming; Burst Error; Transport Layer

ABSTRACT

The Stream Control Transmission Protocol (SCTP), which has gained significant attention as a candidate transport protocol for the next generation Internet, provides several features unlike other traditional protocols such as TCP and UDP. Multihoming is one of the features, which receives the most attention in discussions of SCTP. Multihoming allows an association, which is a SCTP's term for a connection, between two endpoints to use multiple paths. One of the paths, called a primary path, is used for initial data transmission and in the case of retransmission an alternate path is used. However, inappropriate SACK handling was introduced where the primary path in wireless multihomed environment is temporarily disconnected for few seconds and recovered. In this paper, we show that the inappropriate SACK handling may occur even where the primary path includes a WLAN link with high burst errors, and analyze the effects with simulation results.

I. 서론

최근 다양한 형태의 멀티미디어 서비스를 개발하면

서, 기존의 인터넷 전송 프로토콜인 UDP (User Datagram Protocol)나 TCP (Transmission Control Protocol)가 가지지 못한 기능을 제공하는 새로운 전

※ 이 논문은 문화체육관광부 및 한국콘텐츠진흥원의 2010년 문화콘텐츠산업기술지원사업의 연구결과로 수행되었음.

* 단국대학교 컴퓨터학과 ({blueizin, yenakim}@dankook.ac.kr), ** 단국대학교 멀티미디어공학과 (tkpark@dku.edu)

논문번호 : KICS2010-07-328, 접수일자 : 2010년 7월 27일, 최종논문접수일자 : 2010년 10월 5일

송 계층 프로토콜인 SCTP(Stream Control Transmission Protocol)^[1]가 많은 주목을 받고 있다^[2,3,4]. SCTP는 기본적으로 UDP의 메시지 지향 특성과 TCP의 혼잡 제어 및 흐름 제어 메커니즘과 같은 특성을 모두 포함하고 있어, UDP나 TCP의 장점을 모두 승계하도록 설계되었다. 이에 추가로 멀티스트리밍(Multistreaming) 및 멀티호밍(Multihoming)과 같이 UDP나 TCP에 의해 제공되지 않던 새로운 기능들도 제공할 수 있도록 설계되었다.

멀티스트리밍이란 두 개의 호스트 사이에 여러개의 메시지 스트림들에 대한 순서가 보장되는 전달을 제공하는 기능으로, TCP에서 제공되는 단일 바이트 스트림의 신뢰성있고 순차적인 전달과는 다른 기능이다. 이 멀티스트리밍 기법은 HOL (Head-of-Line) 블로킹을 막아줌으로써 서로 관계없는 여러 개의 데이터 스트림에 대한 신뢰성있는 전달을 요구하는 응용프로그램들이 안정적으로 동작하는 것을 가능하게 한다^[5].

멀티호밍은 SCTP가 제공하는 여러 기능 중에서 특히 많은 관심을 받고 있는 기술 중 하나이다^[2,5,6,7]. 멀티호밍은 하나의 SCTP 세션이 한 개 이상의 IP 주소를 사용할 수 있도록 해준다. SCTP에서는 여러 개의 IP 주소들 가운데 하나의 주소를 선택하여 주 목적지(Primary Destination) 주소로 사용할 수 있다. 이 때, 주 목적지로 데이터를 전달하기 위한 전송 경로를 주 경로(Primary Path)라 한다. 그 외의 IP 주소들을 목적지로 하는 경로들을 대체 경로(Alternate Path)라 부르는데, 이 경로들은 주 경로에서 손상 혹은 손실된 데이터의 재전송을 수행하기 위하여 사용된다.

그림 1은 무선랜과 이동통신 인터페이스를 가진 모바일 단말과 유선 망에서 두 개의 인터페이스를 가지는 고정 단말 사이의 멀티호밍 예를 보여준다. 만일 IP 주소 A₁과 B₁을 주 목적지로 지정할 경우, 경로 (A₁, B₁)는 주 경로가 되고, 경로 (A₂, B₂)는 대체 경로가 된다. 앞서 언급한 바와 같이, 주 경로에서 데이터가 손상 또는 손실된 경우 부 경로를 이용하여 데이터를 재전송한다. 이를 위하여 SCTP는 SACK (Selective Acknowledgement)을 사용하여 주경로와 대체경로로 전송되거나 재전송된 데이터에 대한 확인 응답을 제

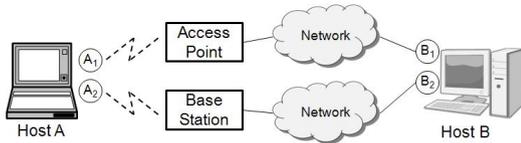


그림 1. SCTP 멀티호밍 토폴로지 예

공한다.

그러나 우리는 표준 SCTP에서의 SACK 처리가 무선 멀티호밍 환경에서 항상 적절하게 동작하지 않을 수 있다는 것을 발견하였다^[8]. 그러한 경우의 SACK 처리를 부적절한 SACK 처리라 이름 붙였는데, 이를 간단히 소개하면 다음과 같다. SCTP에서 SACK은 주경로나 대체경로로 전송된 모든 데이터의 수신을 확인하는데 사용된다. 따라서, SCTP에서는 주경로로 전송된 일부 데이터와 보조경로로 전송된 일부 데이터들이 하나의 SACK으로 확인 응답하는 것이 발생 가능하다. 이것이 의미하는 바는 주경로가 일시적으로 사용 불가능한 상태에 빠지더라도, SACK을 수신한 SCTP 송신자가 주경로의 혼잡제어 윈도우 크기를 증가시킬 수 있다는 것이다. 그러나, 이러한 형태의 SACK 처리는 처리시점으로부터 짧은 시간 내에 타임아웃이 발생하는 경우 상당 수준의 성능저하를 야기할 수 있는데, 이러한 경우의 SACK 처리를 부적절한 SACK 처리라 한다.

기존의 연구^[8]에서는 이상과 같은 부적절한 SACK 처리가 일시 단절되는 무선 링크를 가진 멀티호밍 환경에서 발생한다는 사실이 확인되었다. 그러나 본 논문에서는 무선 링크의 일시적인 단절 이외에, 높은 에러율이 발생하는 경우에도 부적절한 SACK 처리가 발생 가능함과 그것이 성능에 미치는 영향에 대하여 시뮬레이션을 통하여 분석하도록 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 SCTP에서의 혼잡 제어 방식에 대하여 기술하고, 3장에서는 SCTP에서 데이터 재전송 및 타이머 관리에 대한 RFC4960^[11]의 규칙들을 발췌하여 정리한다. 4장에서는 무선 멀티호밍 환경에서 부적절한 SACK 처리가 발생하는 경우에 이의 영향에 대하여 상세히 서술한 뒤, 해결책을 소개한다. 5장에서는 연속적 에러가 발생하는 무선 링크에서 SCTP의 부적절한 SACK 처리가 발생함과 그것이 성능에 미치는 영향을 분석한 시뮬레이션 결과에 대하여 서술한다. 마지막으로 6장에서는 결론을 맺는다.

II. SCTP에서의 혼잡 제어

SCTP에서의 혼잡 제어는 기본적으로 느린 시작(Slow-Start), 혼잡 회피(Congestion Avoidance) 및 빠른 재전송(Fast Retransmit)과 같은 TCP의 혼잡 제어 동작 원칙을 따르고 있다.

느린 시작은 SCTP 연결이 설정되어 데이터 송신을 시작하는 시점 혹은 타임아웃 이벤트가 발생하여 데

이터 송신을 다시 시작해야 하는 시점에 사용되는 동작 원칙이다. 느린 시작 단계에서 혼잡 윈도우 (*cwnd*)의 크기는 하나의 최대 전송 단위 (Maximum Transmission Unit: MTU)에서부터 시작되고, 확인 응답 (Selective Acknowledgement: SACK)을 수신할 때마다 *cwnd*는 하나의 MTU만큼 증가한다. 즉, 느린 시작 단계에서 *cwnd*는 네트워크의 사용 가능한 용량을 탐지하기 위하여 지속적으로 증가한다.

그러나, *cwnd*가 느린 시작 임계치 (Slow-Start Threshold: *ssthresh*)에 도달하면, 느린 시작 단계는 중지되고 혼잡 회피 단계가 시작된다. 혼잡 회피 단계에서는 전체 윈도우에 대한 SACK들이 모두 수신되어야 *cwnd*의 값이 하나의 MTU만큼 증가한다. 즉, 혼잡회피 단계에서 *cwnd*의 값은 선형적으로 증가한다.

만일 재전송 타이머 T3-rtx가 만료되면, SCTP는 *cwnd*와 *ssthresh* 값을 조정하면서 느린 시작 단계를 다시 시작한다. 타임 아웃이 발생한 경우, *ssthresh*는 $\max(cwnd/2, 2MTU)$ 로 조정되고, *cwnd*는 1MTU로 조정된다.

만일 특정 데이터 청크가 손실되었다는 사실을 알리는 네 개의 연속적인 SACK을 수신하면, 송신자는 타임 아웃이 발생하는 것을 방지하기 위하여, 손실된 데이터 청크를 즉각적으로 재전송한다. 이러한 동작을 빠른 재전송이라 하는데, 이 시점에 *ssthresh*는 $\max(cwnd/2, 2MTU)$ 로 조정되고, *cwnd*는 *ssthresh*로 조정된다.

III. SCTP에서의 재전송 및 타이머 규칙

본 장에서는 부적절한 SACK 처리를 이해하기 위하여 필요한 데이터 재전송 및 타이머 관리에 대한 규칙들을 RFC4960에서 발췌하여 정리한다.

[R1] RFC4960의 “6.1 Transmission of DATA Chunks”에서 발췌한 규칙

임의의 IP 주소에 대한 전송 또는 재전송이 일어날 때마다, 만일 그 주소에 대한 T3-rtx 타이머가 동작하고 있지 않다면, 송신자는 타이머를 구동시켜야 한다. 만일 해당 주소에 대한 타이머가 동작중이라면, 해당 주소로 보내질 가장 낮은 TSN (Transmission Sequence Number)을 가지는 데이터 청크가 재전송될 때만 타이머를 재시작시켜야 한다. 그렇지 않다면, 송신자는 타이머를 재시작하지 않아야 한다.

[R2] RFC4960의 “6.3.2 Retransmission Timer Rules”의 R1) 규칙

재전송을 포함하여 임의의 주소로 데이터 청크가

전송될 때마다, 만일 그 주소의 T3-rtx 타이머가 동작중이지 않다면, 해당 주소에 대하여 RTO (Retransmission Timeout) 이후에 타이머가 만료되도록 지정하여 T3-rtx 타이머를 구동시켜야 한다. 여기에서 사용되는 RTO는 해당 목적지 주소에서 이전에 T3-rtx 타이머가 만료됨에 따라 이전 값에서 배수로 증가된 값이다.

[R3] RFC4960의 “6.3.2 Retransmission Timer Rules”의 R2) 규칙

특정 주소로 전송중인 (Outstanding) 모든 데이터 청크가 확인응답되면, 그 주소에 대한 T3-rtx 타이머를 종료시켜야 한다.

[R4] RFC4960의 “6.3.2 Retransmission Timer Rules”의 R3) 규칙

특정 주소로 전송된 가장 낮은 TSN을 가지는 데이터 청크에 대한 확인응답을 포함하는 SACK이 수신된 경우, 그 주소로 전송되었지만 아직 확인 응답을 받지 못한 데이터 청크가 존재하면, 현재 RTO 값을 사용하여 해당 주소에 대한 T3-rtx 타이머를 재시작하여야 한다.

IV. 부적절한 SACK 처리 및 해결책

SCTP 패킷은 하나의 SCTP 헤더와 하나 이상의 SCTP 청크를 가질 수 있는데, 하나 이상의 SCTP 청크에는 데이터 청크와 SACK 청크 등이 포함된다. RFC4960^[1]에 따르면, SACK 청크는 다음과 같은 두 가지 조건이 만족되면 생성되고 전송되어야 한다. 첫째, 연속된 두 개의 패킷을 수신하면 SCTP 청크가 생성되어 전송되어야 한다. 둘째, 확인해지지 않은 데이터 청크를 수신한 이후 200ms가 지나면 SACK 청크를 생성하여 전송하여야 한다. 이러한 SACK 처리를 지연된 SACK 처리라고 하는데, 지연된 SACK 처리와 데이터 재전송 때문에, SCTP 송신자는 주경로로 일부 전송되고 보조경로로 일부 전송된 데이터 청크들의 성공적인 수신을 확인하는 한 개의 SACK 청크를 종종 받게 된다.

그림 2는 두 번의 타임아웃과 부적절한 SACK 처리를 보여준다. 그림 2에서 시간 t_1 에 주경로에 타임아웃이 발생한다. 타임아웃이 발생한 이유는 주경로가 일시적으로 끊어졌기 때문일 수도 있고 주경로에 연속적 에러가 발생했기 때문일 수도 있다. 이와 같은 타임아웃이 발생하면, SCTP 송신자는 손실된 데이터 청크들 중에서 일부를 모아서 하나의 패킷으로 만든 뒤, 보조경로로 재전송한다. 이 때, 주경로에서는 재전

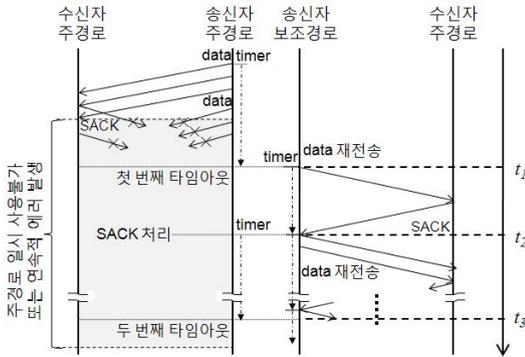


그림 2. 두 번의 타임아웃과 부적절한 SACK 처리

송 타이머인 T3-rtx는 재시작되지 않고, 재전송되는 시점에 보조경로를 위한 재전송 타이머만 동작을 시작하게 된다(3장의 [R1], [R2]에 근거). 이 시점에 SCTP 송신자는 2장에서 언급한 바와 같이 T3-rtx가 만료되었기 때문에 *cwnd*와 *ssthresh* 값을 조정한 뒤 느린 시작 단계를 다시 시작한다.

보조경로로 하나의 패킷이 전송(데이터 청크들의 재전송)된 이후, 일정 시간이 지나면 그림 2의 t_2 에서와 같이 보조경로로부터 SACK이 도착한다. 그런데, 이 SACK에는 시간 t_1 에 보조경로로 전송된 데이터 청크들에 대한 확인응답뿐만 아니라 시간 t_1 이전에 주경로로 전송된 데이터 청크들에 대한 확인응답이 포함될 수도 있다. 이런 경우, SCTP 송신자는 양쪽 경로로 전송된 데이터 청크들에 대한 확인 응답을 수신하였으므로 주경로와 보조경로의 *cwnd*를 모두 증가시킨다. 그런데, 시간 t_2 시점은 주경로가 일시적으로 끊어져있는 상태일 수도 있고 그렇지 않은 상태일 수도 있다. 만일, 시간 t_2 에 주경로가 일시적으로 끊어져 있거나 일시적으로 사용 불가능한 상태라면, 이상과 같은 SACK 수신 후, 주경로의 *cwnd*를 증가시키는 행위는 부적절할 수 있다. 우리는 이러한 경우의 SACK 처리를 부적절한 SACK 처리라 부른다.

이상과 같은 부적절한 SACK 처리가 발생한 이후에, 만일 주경로에 여전히 전송중인(Outstanding) 데이터 청크들이 존재한다면, 송신자는 주경로에 대하여 재전송 타이머인 T3-rtx를 재시작한다(3장의 [R4]에 근거). 보조경로에 대한 T3-rtx는 SACK을 통하여 전송한 모든 데이터 청크들에 대한 확인응답을 받은 경우 T3-rtx를 종료시킨 다음(3장의 [R3]에 근거), 새로운 데이터 청크들을 재전송할 때 다시 T3-rtx를 구동시킨다(3장의 [R1]에 근거).

그런데, 시간 t_1 이전에 주경로에서 손실된 모든 패

킷을 보조경로로 재전송하는데는 일정 이상의 시간이 소요될 수 있는데, 만일 그렇다면, SCTP 송신자는 일정 기간 동안 재전송된 데이터 청크들을 위한 SACK만 수신하게 된다. 이러한 상황은 보조경로에 대한 재전송 타이머 T3-rtx만 재시작하도록 하므로(3장의 [R1], [R2], [R3]에 근거), 시간 t_3 에 주경로에서 다시 타임아웃이 발생시킬 수 있다.

시간 t_3 에 주경로에서 타임아웃이 발생하면, SCTP 송신자는 *cwnd*의 값이 이전의 부적절한 SACK 처리에 의하여 1 MTU보다 커져 있음을 알게 된다. 그러면, SCTP 송신자는 앞 장에서 언급한 바와 같이 *cwnd*와 *ssthresh* 값을 조정한 뒤 느린 시작 단계를 다시 시작한다. 만일 시간 t_2 의 SACK 처리 이후 *cwnd*의 값이 2 MTU가 되었다면, t_3 의 느린 시작 시점에 *cwnd*와 *ssthresh* 값은 각각 1 MTU와 2 MTU가 된다.

그림 3은 이상에서 언급한 부적절한 SACK 처리와 연속된 타임아웃에 의한 *cwnd*와 *ssthresh* 값 변화를 보여준다. 시간 t_1 에 첫 번째 타임아웃이 발생함에 따라, 그림 3과 같이 *cwnd*의 값은 1 MTU로 조정되고 *ssthresh* 값은 타임아웃이 발생하기 전의 절반으로 감소한 뒤, 느린 시작 단계를 시작한다. 그런데, 시간 t_2 에 SACK을 수신하여 주경로의 *cwnd*의 값을 증가시키면 그림 3의 (a)에서와 같이 *cwnd*의 값이 2 MTU로 증가한다. 그리고, 시간 t_3 까지 주경로로 전송된 데이터 청크에 대한 확인응답이 도착하지 않다가 두 번째 타임아웃이 발생하면, 그림 3과 같이 *cwnd*의 값은 다시 1 MTU로 줄어들고 동시에, *ssthresh* 값은 2 MTU로 줄어든다.

앞서 2장에서 언급한 바와 같이, *ssthresh* 값은 혼잡 회피 단계가 시작되는 지점을 의미하는 것이므로, 그림 3의 (b)와 같이 *ssthresh* 값을 줄인 것은 혼잡 회피 단계가 더 빠른 시점에 시작됨을 의미하고, 그 결과 표준 SCTP의 성능 저하를 야기하게 된다.

이에 대한 해결책은 아주 간단하다. Karn /

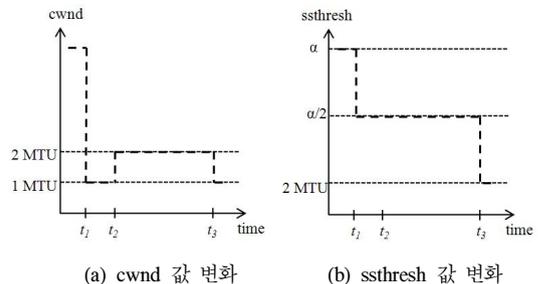


그림 3. 부적절한 SACK 처리에 따른 *cwnd* 및 *ssthresh* 값 변화

Partridge 알고리즘^[9]에서는 확인응답이 첫 번째 전송에 대한 것인지 아니면 재전송에 대한 것인지 모호할 때, RTT (Round Trip Time)의 값 계산에 그 확인응답을 활용하지 않도록 한다. 본 논문에서 소개하고 있는 부적절한 SACK 처리에 대한 해결책도 이와 유사하다. SCTP 송신자가 주경로로 전송된 일부 데이터 청크와 보조경로로 전송된 일부 데이터 청크에 대한 확인응답을 하는 SACK을 보조경로로 수신한 경우, 주경로의 가용성을 확인할 수 없는 상태이므로 SCTP 송신자는 이 때 보조경로의 *cwnd* 값만 증가시키고 주경로의 *cwnd* 값은 증가시키지 않도록 한다. 이와 같은 간단한 해결책은 그림 4와 같은 형태의 *cwnd* 및 *ssthresh* 값 변화를 막고, 그림 5와 같은 형태의 *cwnd* 및 *ssthresh* 값 변화를 이끌어 내어, 불필요하게 일찍 혼잡 제어 단계가 시작되지 않도록 한다.

그림 4와 5는 그림 2에서와 같이 시간 t_1 과 t_3 에 두 번의 타임아웃과 시간 t_2 에 SACK 처리가 일어난 다음, 주 경로가 다시 에러없이 사용가능해진 경우 *cwnd* 증가 형태를 보여준다.

그림 4를 살펴보면, 시간 t_3 까지는 그림 3의 (a)와 (b)에서와 같은 형태로 *cwnd*와 *ssthresh* 값이 변화한다. 그리고 시간 t_4 부터 SACK을 수신하여 *cwnd* 값이 증가하는 것을 보여준다. 그런데 그림 4에서는 *ssthresh* 값이 2 MTU이기 때문에 혼잡 제어 단계에 일찍 진입하게 되어, *cwnd* 값이 선형적으로 증가하는 것을 확인할 수 있다.

이에 반하여 그림 5에서는 시간 t_4 부터 SACK을 수신하면 일정기간동안 *cwnd* 값이 지수증가하는 것을 확인할 수 있다. 이는 앞서 언급한 부적절한 SACK 처리 해결책에 따라, 시간 t_2 에 주경로의 *cwnd* 값이 증가하지 않고, 그 결과, 시간 t_3 에 타임아웃이 발생하더라도 *ssthresh* 값이 감소하지 않기 때문이다.

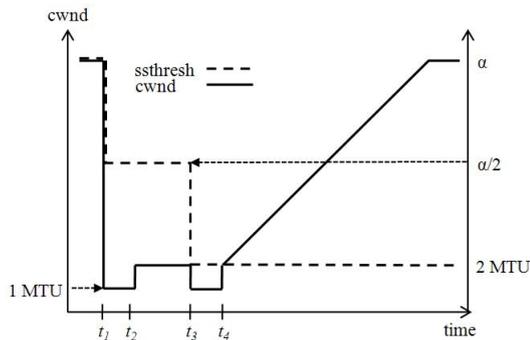


그림 4. 부적절한 SACK 처리 및 이후 cwnd 증가 형태

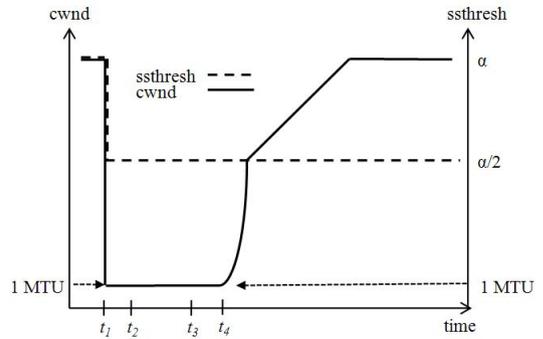


그림 5. 적절한 SACK 처리 및 이후 cwnd 증가 형태

V. 시뮬레이션 및 영향 분석

본 논문에서는 무선 링크의 일시적인 단절이 아니라 무선 링크에 연속적인 에러가 발생하는 환경에서도 부적절한 SACK 처리가 발생함을 시뮬레이션을 통하여 보이고, 주경로의 가용성이 모호하면 *cwnd*의 값을 증가시키지 않는 간단한 해결책이 어느 정도의 성능 향상을 가져올 수 있는지를 알아보하고자 한다. 네트워크 시뮬레이션은 ns-2 (Network Simulator version 2)를 사용하며, 시뮬레이션에 사용되는 토폴로지는 그림 6과 같다. 그림 6의 시뮬레이션 토폴로지 및 값들은 멀티홈드 세션에 대한 시뮬레이션을 수행한 논문^[11]을 참조하여 결정되었다.

모바일 단말은 두 개의 무선 인터페이스를 이용하여, 하나는 무선랜 AP (Access Point)와 연결되고 다른 하나는 3G 이동통신망의 BS (Base Station)과 연결된다. 무선 랜과 3G 무선 링크의 대역폭은 각각 2Mbps와 384Kbps으로 지정하고, 무선 구간의 지연 시간과 유선 구간의 지연시간을 각각 100ms으로 지정하였다.

그리고, 본 논문에서는 모바일 단말이 무선랜 서비스 영역 내에서 이동하다가 가구나 벽 등과 같은 장애물에 의하여 일시적으로 수 초 동안 연속되는 무선 링크 오류가 발생한다고 가정한다. 예를 들어, 무선랜 서비스 영역인 커피숍에서 멀티미디어 데이터를 다운

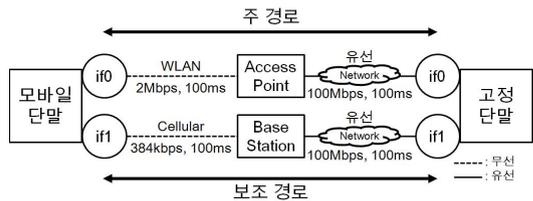


그림 6. 시뮬레이션 토폴로지

로드 받으면서, 커피 주문을 위하여 혹은 커피를 들고 다른 층으로 이동함에 따라 연속적인 무선 링크 오류가 발생한다고 가정한다. 이러한 상황 연출을 위하여, 본 시뮬레이션에서는 100초 동안 세 개의 구간에서만 연속적인 에러가 발생하고, 그 외의 구간에서는 에러가 발생하지 않는다고 지정한다. 에러가 발생하는 구간의 크기는 3, 4, 6, 8, 10초로 변화시키고, 에러율은 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100%로 변화시켰다. 예를 들어 에러가 발생하는 구간의 길이가 4초이고 에러율이 30%이면, 100초 동안의 시뮬레이션 시간 중에서, 1) 10초~14초 구간과, 2) 40~44초 구간 및 3) 70~74초 구간에서만 30%의 패킷에 오류가 발생하도록 지정한다. 시뮬레이션은 100회 실시되었으며, 그림 7, 그림 8, 그림 9, 그림 10은 시뮬레이션 결과의 평균 값으로 작성되었다.

그림 7은 부적절한 SACK 처리에 대한 해결책이 적용된 경우, 표준 SCTP에 대하여 어느 정도 성능이 향상되는지를 보여준다. 수 초 동안의 연속적인 패킷 에러율이 60% 이하에서는 표준 SCTP에 대하여 성능 향상을 보이지 않지만, 70% 이상에서는 급격한 성능 향상을 보이고 있다. 이러한 결과를 다르게 표현한다면, 70% 이상의 연속적 에러가 수 초 동안 존재하기만 하면 부적절한 SACK 처리가 상당 수준의 성능 저하를 야기한다고 말할 수 있다.

그림 7과 같은 성능 향상이 발생하는 요인을 분석하기 위하여 그림 8, 그림 9, 그림 10과 같이 부적절한 SACK 처리 발생 횟수와 부적절한 SACK 처리 후 두 번째 타임아웃 발생 횟수 및 부적절한 SACK 처리 시 *ssthresh* 크기에 대하여 조사하였다.

그림 8은 부적절한 SACK 처리가 발생하는 횟수를 보여준다. 앞서 설명한 바와 같이, 본 시뮬레이션에서는 3, 4, 6, 8, 혹은 10초 동안의 연속적인 에러를 3번

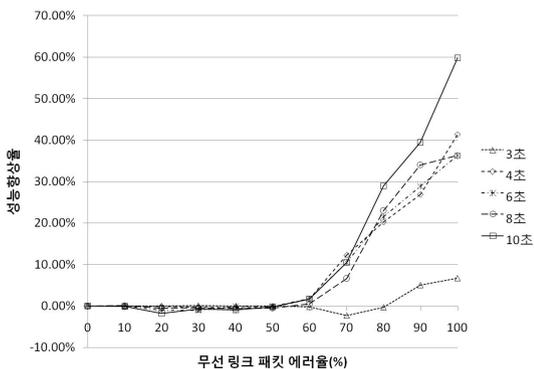


그림 7. 성능 향상 비율

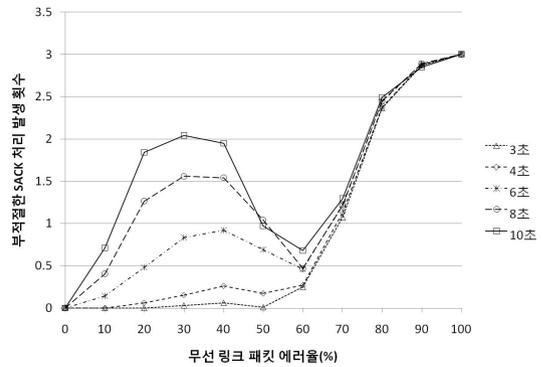


그림 8. 부적절한 SACK 처리 발생 횟수

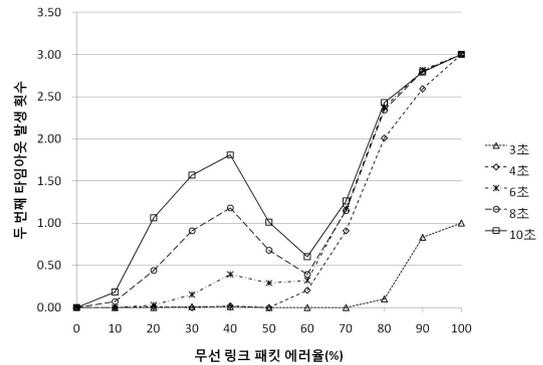


그림 9. 부적절한 SACK 처리 후, 두 번째 타임아웃 발생 횟수

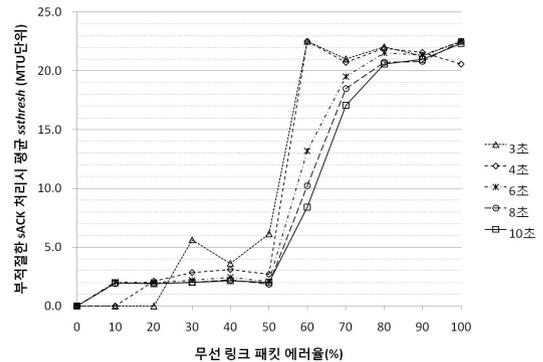


그림 10. 부적절한 SACK 처리시 ssthresh 크기

씩 발생시킨다. 그림 8에서는 주 경로의 무선 링크 패킷 에러율이 80%에서 100% 사이인 경우 연속적인 오류가 발생하는 시간에 관계없이 대체경로로 SACK을 수신하고도 주경로의 *cwnd* 값을 증가시키는 부적절한 SACK 처리가 2.5회 이상 발생하였다. 그런데, 20%에서 50% 사이의 연속적인 오류에서도 부적절한 SACK 처리가 1회 정도 발생하였음에도 불구하고, 그림 7을 살펴보면, 부적절한 SACK 처리가 성능저하

요인으로 작용하고 있지 않음을 확인할 수 있다. 또한, 3초의 경우를 살펴보면, 80%에서 100% 사이의 연속적인 오류에서 부적절한 SACK 처리가 2.5회 이상 발생하였음에도 그림 7에서 성능 향상율이 미약함을 확인할 수 있다. 이러한 결과를 설명하기 위해서는 그림 9와 그림 10을 분석할 필요가 있다.

그림 9는 부적절한 SACK 처리 후, 두 번째 타임아웃이 발생하는 횟수를 보여준다. 그림 9에서 3초의 경우를 살펴보면, 연속적인 에러율이 90% 이상이 아닌 경우에는 두 번째 타임아웃이 발생하는 횟수가 0에 가까움을 알 수 있다. 따라서 3초 동안 연속적인 에러가 발생한 경우에는 부적절한 SACK 처리가 SCTP의 성능에 미치는 영향이 미약하다고 볼 수 있다. 그러나 4초 이상 연속적인 에러가 발생하는 경우에는 부적절한 SACK 처리가 발생하면 반드시 두 번째 타임아웃이 연속적으로 발생함을 확인할 수 있다. 이 때문에 70% 이상의 에러율에서 그림 7과 같은 성능향상이 나타난다. 그러나, 이상의 분석으로는 50% 이하의 에러율에서 성능향상이 확인되지 않는 그림 7의 결과를 완전히 설명할 수는 없다. 따라서, 부적절한 SACK 처리가 발생하였을 때의 *ssthresh* 값을 분석한 그림 10을 살펴볼 필요가 있다.

그림 10을 살펴보면, 50%이하의 에러율에서 부적절한 SACK 처리가 발생한 경우 *ssthresh*의 값이 MTU의 5배 이하이다. 2장에서 언급한 바와 같이 *ssthresh*의 최소 값은 MTU의 2배임을 고려하면 부적절한 SACK 처리가 발생하기 이전에, *ssthresh* 값은 빠른 재전송 절차에 의하여 상당 수준 축소되어 있음을 알 수 있다. 그림 10에서 *ssthresh* 값이 0인 경우는 실제 *ssthresh*의 값이 MTU의 0배라는 것이 아니라, 부적절한 SACK 처리가 발생하지 않았음을 의미한다. 따라서 50% 이하의 에러에서는 부적절한 SACK 처리가 발생하더라도 이미 *ssthresh*의 값이 최소에 근접하게 축소되어 있으므로 성능 저하의 요인이 되지 못함을 알 수 있다.

이상의 결과를 종합하면, 부적절한 SACK 처리는 무선 링크가 단절되지 않더라도 연속적인 에러가 존재하기만 하면 발생하지만, 70% 이상의 높은 에러가 4초 이상 지속되는 경우에서만 부적절한 SACK 처리가 SCTP의 성능에 10%에서 60%정도 상당부분 영향을 미침을 확인할 수 있다.

VI. 결론 및 향후 연구 방향

SCTP의 멀티호밍 기능은 주경로가 단절되거나 높

은 에러율에 의해 데이터 전송이 어려워지는 경우가 자주 발생할 수 있는 무선 통신 환경에서 안정적인 통신을 제공할 수 있도록 해준다. 그러나 무선 링크의 단절이나 에러 발생이 일시적인 경우 멀티호밍 기능은 오히려 성능 저하의 요인으로 작용할 수도 있다. 본 논문에서는 그러한 성능 저하 요인으로 부적절한 SACK 처리 및 그에 대한 간단한 해결책을 소개하고, 부적절한 SACK 처리가 SCTP의 성능에 미치는 영향을 시뮬레이션을 통해 분석하였다. 본 논문의 분석 결과는 WLAN과 이동통신 서비스를 모두 지원하는 스마트폰이 수 초간의 일시적 단절이나 연속적 에러에 노출될 수 있는 환경에서의 인터넷 서비스 성능 향상에 도움이 될 것으로 생각된다. 향후에는 인터넷에 연결된 움직이는 Ad-hoc 네트워크에서 멀티호밍 기능이 사용될 때, 노드 밀도와 이동성과 관련하여 부적절한 SACK 처리가 미치는 영향에 대하여 분석할 예정이다.

참 고 문 헌

- [1] R. Stewart et al., "Stream Control Transmission Protocol," *IETF RFC 4960*, Sept. 2007; www.ietf.org/rfc/rfc4960.txt
- [2] Randall Stewart and Chris Metz, "SCTP: New Transport Protocol for TCP/IP," *IEEE Internet Computing*, Vol.5, No.6, pp. 64-69, Nov. 2001.
- [3] Li Ma and F. Richard Yu, "Performance Improvements of Mobile SCTP in Integrated Heterogeneous Wireless Networks," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, Vol.6, No.10, Oct. 2007.
- [4] Sang Tae Kim, Seok Joo Koh, Yong Jin Kim, and Modacom Incorporation, "Performance of SCTP for IPTV Applications," *ICACT2007*, Feb. 2007.
- [5] Dongkyun Kim, Jeomki Song, Jounsik Kim, Hongseok Yoo, Jungsoo Park, and Juan-Carlos Cano, "The Applicability of SCTP to Mobile Ad Hoc Networks," *ICACT2006*, Feb. 2006.
- [6] Ki-II Kim, "Establishing Multiple Paths for Multihoming on SCTP in MANET," *IEICE TRANS. COMMUN.*, Vol. E91-B, No. 4, April 2008.
- [7] Janardhan R. Iyengar, Paul D. Amer, and Randall Stewart, "Concurrent Multipath

Transfer Using SCTP Multihoming Over Independent End-to-End Paths,” *IEEE/ACM Transactions on Networking*, Vol. 14, No. 5, Oct. 2006.

- [8] Ye Na Kim, Tai-Wan Kim, Taekeun Park, “Appropriate SACK Handling for Temporary Disconnections in Wireless Multi-homed Environment,” *IEEE Communications Letters*, Vol.14, Oct. 2010.
- [9] P. Karn and C. Partridge, “Improving Round-Trip Time Estimates in Reliable Transport Protocols,” in *Proc. The ACM Workshop on Frontiers in Computer Communications Technology*, Vol.17, No.5, pp.2-7, Stowe, Vermont, United States, Aug. 11-13, 1987.
- [10] UC Berkeley, “LBL, USC/ISI, and Xerox Parc,” *ns-2 documentation and software*, Version 2.31, 2001. <http://www.isi.edu/nsnam/ns>
- [11] H. Rutagemwa, S. Pack, X. Shen, and J. W. Mark, “Robust Cross-Layer Design of Wireless-Profiled TCP Mobile Receiver for Vertical Handover,” *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol.56, No.6, pp.3899-3911, Nov. 2007.

김 예 나 (Ye-Na Kim)

준회원



2008년 2월 단국대학교 멀티미디어학과 학사
2010년 단국대학교 컴퓨터학과 석사
<관심분야> SCTP, 이동 통신

박 태 근 (Taekeun Park)

중신회원



1991년 포항공과대학교 컴퓨터공학과 학사
1994년 포항공과대학교 컴퓨터공학과 석사
2004년 포항공과대학교 컴퓨터공학과 박사
1996년~2000년 SK Telecom

중앙연구원 선임 연구원
2000년~2001년 3Com Korea 과장
2001년~2002년 Ericsson Korea 차장
2004년~현재 단국대학교 멀티미디어공학과 부교수
<관심분야> 이동 통신, QoS, 센서 네트워크, 멀티미디어 통신망

박 정 서 (JeongSeo Park)

준회원



2009년 2월 단국대학교 멀티미디어학과 학사
2009년 3월~현재 단국대학교 컴퓨터학과 석사과정
<관심분야> 차량 네트워크, 이동 통신