
링크다운 시간에 따른 TCP와 SCTP의 웹 트래픽 분석

Web Traffic Analysis according to the Link-down Duration of TCP and SCTP

최용운*, 조광문**, 이용진*

한국교원대학교 기술교육과*, 목포대학교 전자상거래전공**

Yong-Woon Choi(habangmo@yonsei.ac.kr)*, Kwang-Moon Cho(ckmoon@mokpo.ac.kr)**,
Yong-Jin Lee(lj@knue.ac.kr)*

요약

인터넷에서 가장 많이 사용하고 있는 월드 와이드 웹(world wide web) 트래픽은 전송계층 프로토콜로 TCP를 사용하고 있다. TCP는 단일 경로를 사용하므로 경로상의 링크가 다운(down)된 후 다시 업(up)될 때까지의 시간동안 통신할 수 없다. 이에 비해 SCTP는 다중 경로를 사용하므로 1차 경로가 다운되어도 대체 경로를 이용하여 통신이 가능하다. TCP와 SCTP의 성능을 비교하는 기존 연구들은 주로 파일 전송을 사용하여 수행되었고, 링크다운 환경에서 웹 트래픽을 다룬 연구는 없었다. 자기-유사성의 특징을 갖는 웹 트래픽은 웹 파일의 크기에 영향을 주는 파레토 분포의 형태(shape) 파라미터와 평균 도착 시간간격에 의해 특징지어지므로 이 두 개의 파라미터에 따른 성능 비교가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 링크다운 환경에서 웹 트래픽의 특성을 반영하는 두 개의 파라미터를 변화시키면서 TCP와 SCTP의 처리율을 비교하였다. NS-2 시뮬레이션을 사용한 웹 트래픽의 실험 결과는 멀티호밍을 사용한 SCTP의 처리율이 TCP의 처리율보다 우수함을 보여주었다. 특히 웹 트래픽의 특성과 관련해서는 TCP가 SCTP에 비해 평균 도착시간 간격과 형태 파라미터에 더 많은 영향을 받았다. 이 연구의 결과는 링크의 다운 시간에 따른 웹 트래픽의 성능변화를 예측하는 데 이용될 수 있다.

■ 중심어 : | 링크다운 | 웹 트래픽 | SCTP | TCP | 파레토분포 |

Abstract

The most popular world wide web traffic in the Internet uses TCP as the transport layer protocol. Since TCP utilizes the single path, it can not communicate with the correspondent host during the link-down. On the other hand, SCTP can still communicate with the other SCTP entity by using alternate path even while the primary path is down. Most of previous studies have conducted the performance comparison research between TCP and SCTP by using typical file transfer. Since web traffic with self-similarity is characterized by the packet inter-arrival times and shape parameter affecting the size of web file in the Pareto distribution, it is necessary to perform the experiments considering these parameters. This paper aims to compare the throughput between TCP and SCTP while varying parameters reflecting the web traffic characteristics in link-down environment. Experimental results for web traffic using NS-2 simulator show that the throughput of SCTP using multi-homing is better than that of TCP. Simulation also shows that TCP is more affected than SCTP by mean inter-arrival and shape parameters with regard to the web traffic. These results can be applied to estimate the performance variation of web traffic due to the duration of link-down.

■ keyword : | Link-down | Web Traffic | SCTP | TCP | Pareto Distribution |

I. 서론

현재 널리 사용 중인 인터넷의 응용계층 프로토콜로는 FTP(file transfer protocol), TELNET, HTTP(hypertext transfer protocol) 등이 있고 트랜스포트 계층 프로토콜로는 TCP(transmission control protocol)가 있다. TCP는 단일 경로 상에서 단일 스트림을 사용하는 프로토콜로 경로상의 일부 링크가 다운되는 경우 응용 계층 프로그램의 통신이 중단된다. SCTP(stream control transmission protocol)[1][2]는 TCP의 두 가지 문제점인 단일 경로와 단일 스트림을 해결해주는 다중 경로와 다중 스트림을 제공하는 프로토콜이다. 다중 경로는 멀티호밍(multi-homing)으로 제공하는 데, 멀티호밍은 종단 호스트에 두 개 이상의 인터페이스를 장착하여 두 개 이상의 IP 주소를 바인딩하므로써 구현된다. 이 방식은 평상시에는 하나의 인터페이스로 통신하다가 링크 다운이 발생하면 다른 인터페이스를 사용하여 대체 경로로 통신하는 방식이다. 다중 스트림은 멀티 스트리밍(multi-streaming)으로 제공된다. 멀티 스트리밍을 사용하면 하나의 파일을 하나의 스트림을 이용하여 송수신하는 대신에 여러 개의 파일을 여러 개의 스트림을 이용하여 동시에 전송할 수 있다. 이 기법을 이용하면 어떤 특정 패킷이 손실되는 경우 발생하는 헤드-오브-라인 블로킹을 감소시킴으로써 종단 사용자의 대기 시간을 줄일 수 있게 된다. 한편 SCTP의 혼잡 제어 기법은 TCP가 사용하는 윈도우 기반의 혼잡 제어 기법을 대부분 수용하고 있다. 그러나 SCTP는 TCP에 비해 4-way-handshake를 통해 보안 기능을 향상시킨다.

TCP와 SCTP의 성능을 비교한 연구로는 [3-5] 등이 있는데, 모두 단순한 파일 전송을 이용하였고, [5]에서는 링크다운 환경에서 FTP over SCTP와 FTP over TCP를 비교하였다. 그러나 현재 인터넷의 대부분을 차지하고 있는 웹 트래픽을 사용하는 경우 링크다운 기간이 TCP와 SCTP의 처리율에 어떻게 영향을 미치는지에 대한 비교 연구는 수행된 바 없다.

웹 트래픽은 전송되는 웹 파일의 크기와 전송 시간 간격 등의 확률 특성에 의해 영향을 받는다. 일반적인

성능 평가 모델에서 데이터 트래픽의 확률 분포는 포아송 분포(Poisson distribution)로 가정되는 데 비해, 웹 트래픽은 포아송 분포가 아닌 파레토 분포(Pareto distribution)를 따른다. 따라서 본 연구에서는 이러한 웹 트래픽의 특성을 실험에서 고려하고, 임의의 시간 동안 링크가 다운된 환경에서 단일 경로를 갖는 TCP와 대체 경로(alternate path)를 갖는 SCTP의 처리율을 비교하고자 한다. 그러나 실제 인터넷에서 링크다운 환경을 구현할 수는 없으므로 본 연구에서는 NS-2(Network Simulator 2) 시뮬레이터를 사용하여 링크다운 환경을 시뮬레이션 한다. 또한 웹 트래픽은 웹 파일의 크기에 영향을 주는 파레토 분포의 형태 파라미터와 평균 도착 시간간격에 의해 영향을 받으므로, 이 두 개의 파라미터를 변화시켜 처리율을 측정한다. SCTP는 멀티호밍과 싱글호밍(single-homing) 두 가지를 모두 지원하므로 멀티호밍일 때의 처리율과 싱글호밍일 때의 처리율의 두 가지로 나누어 TCP의 처리율과 비교한다.

전체 5장으로 구성되는 본 연구는 2장에서 웹 트래픽의 특성 및 링크다운 환경에서 TCP와 SCTP의 동작과정을, 3장에서 시뮬레이션 환경과 방법을, 4장에서 실험 결과 및 해석을, 마지막으로 5장에서 결론과 추후 연구 과제에 대해 기술한다.

II. 웹 트래픽과 링크다운 환경에서의 TCP와 SCTP의 동작과정

시뮬레이션을 이용하여 데이터 트래픽을 생성하는 경우 주로 큐잉(queueing) 이론이 사용되는 데, 이 때 결과의 유효성은 데이터 트래픽이 포아송 분포를 하느냐에 달려있다. Telnet이나 FTP 트래픽의 연결 설정을 위한 도착은 포아송 분포를 사용하여 훌륭하게 모델링된다[6]. 그러나 인터넷 환경에서 웹 문서에 대한 요청을 포함한 웹 트래픽의 실제 분석 결과는 웹 브라우저가 생성하는 트래픽 패턴이 자기-유사성을 가짐을 보여주었다[7]. 포아송 분포에서는 이러한 자기-유사성을 갖는 트래픽의 성능을 정확하게 예측하기 어렵다. 자기

-유사성을 갖는 확률 프로세스는 heavy-tailed 분포로 정의하는 데, 이 분포의 분산은 무한대이거나 매우 큰 값으로 알려져 있다.

Heavy-tailed 분포는 패킷의 도착 시간 간격과 버스트 길이에 영향을 받는 분포로 식 (1)과 같고[6], 가장 대표적인 heavy-tailed 분포는 파레토 분포이다.

$$1 - F(x) = \Pr[X > x] \sim \frac{1}{x^\beta} \quad \beta > 0 \quad (1)$$

웹 트래픽은 TCP 위에서 연동되고 그 시간 간격에 대한 분포는 평균 도착 시간 간격이 α 인 지수 분포(exponential distribution)를 따르므로 식 (2)로 표현된다.

$$f(t) = \frac{1}{\alpha} e^{-\frac{t}{\alpha}} \quad (t > 0) \quad (2)$$

앞에서 설명한 바와 같이 웹 트래픽은 자기-유사 특성을 갖고, 파일의 크기가 평균 10 KB인 파레토 분포를 따르며, 그 일반식은 식 (3)과 같다[7].

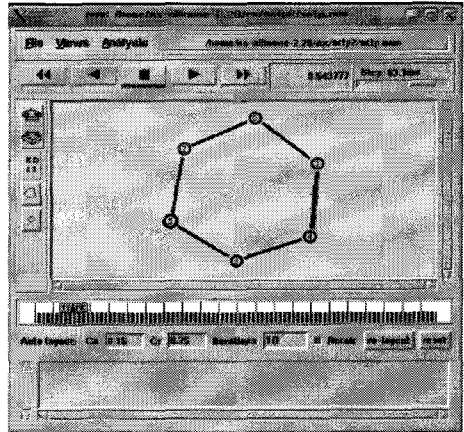
$$f(x) = \frac{\beta}{k} \left(\frac{k}{x}\right)^{\beta+1} \quad (x > k; \beta > 0) \quad (3)$$

파라미터 k 는 랜덤 변수가 취하는 최소값이고 파라미터 β 는 랜덤 변수의 평균과 분산을 결정하는 형태(shape) 파라미터이다. 웹 브라우저를 ON/OFF 로 스스 모델링한 결과, 웹 트래픽은 β 의 범위가 1.16에서 1.5 사이의 파레토 분포를 따름이 발견되었다[8].

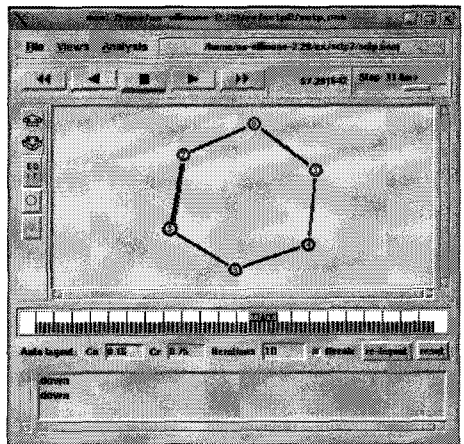
TCP는 신뢰성 있는 서비스를 제공하기 위해 순서 번호와 윈도우를 기반으로 하는 흐름 제어 및 혼잡 제어를 사용한다. 그러나 TCP는 단일 경로 상에서 단일 스트림을 이용하여 통신하기 때문에 링크가 다운되는 상황이 발생하면 다른 경로를 찾을 수 없다. 따라서 TCP는 재전송 타이머 값을 증가시키는 동시에 혼잡 윈도우(congestion window)를 1로 하여 재전송을 시도한다. 그러나 링크다운 환경에서는 액노리지먼트(acknowledgement)를 수신할 수 없으므로 결국 위의 과정을 중단하고 링크가 업(up)될 때 까지 기다릴 수밖에 없게 된다.

SCTP는 멀티호밍 특성을 사용하여 종단 호스트의 두 개 이상의 인터페이스에 여러 개의 IP 주소를 할당할 수 있다. SCTP는 이러한 인터페이스 중에서 하나를 1차 경로(primary path)로 선택하여 데이터를 전송한다. 전송 도중에 1차 경로가 다운되면, 다른 인터페이스를 1차 경로로 설정한 후 데이터를 재전송하게 된다.

[그림 1]은 NS-2 시뮬레이션에서 SCTP의 링크다운 전후의 모습을 나타내고 있다. [그림 1] (a)와 같이 링크다운 전에는 1번과 4번 호스트를 1차 경로로 하여 패킷이 전송되고, 링크다운 후에는 [그림 2] (b)와 같이 2번과 5번 호스트로 1차 경로가 변경되어 데이터가 전송된다.



(a) SCTP 링크다운 전의 모습



(b) SCTP 링크다운 후의 모습

그림 1. SCTP 링크다운과 NS-2의 동작

한편 SCTP는 TCP처럼 단일 경로를 갖는 싱글호밍으로도 사용할 수 있으므로 SCTP를 싱글호밍(SCTP-싱글호밍)과 멀티호밍(SCTP-멀티호밍)으로 나누어 분석하기로 한다.

III. 시뮬레이션 환경

시뮬레이션은 스탠드얼론(stand alone) 컴퓨터에서 수행되었고, 윈도우 상에서 구동되는 cygwin 버전 1.3.22를 운영체제로 사용하였다. 사용된 NS-2 시뮬레이터는 NS-allinone-2.29이다[9]. 시뮬레이션을 위한 시스템의 사양은 [표 1]과 같다.

표 1. 시뮬레이션을 위한 시스템 사양

구분	시스템 사양
하드웨어	DualCore Intel Core 2 Duo E4500, 2200Mhz RAM 2G HDD 250G
운영체제	cygwin 1.3.22
NS 버전	NS-allinone-2.29

시뮬레이션 시간은 성능에 영향을 주기 때문에 공정한 시간을 설정하는 것이 중요하다. 따라서 링크가 다운되지 않은 이상적인 환경에서 동일한 SCTP와 TCP의 처리율을 얻는 시간을 구하기 위해 초기 실험 시간으로 5초, 100초, 500 초를 사용하였다.

SCTP와 TCP의 초기 변수의 하나인 패킷의 크기는 1500 바이트로 하였다. 이 경우, 헤더의 크기를 제외한 SCTP와 TCP의 실제 데이터 크기는 각각 1452 바이트와 1460 바이트이다. MTU(Maximum Transfer Unit)는 1500 바이트로 설정하고, 혼잡제어의 슬로우-스타트 한계 값인 ssthresh(slow-start threshold)는 TCP의 경우 65,700 바이트(45 * 1460), SCTP는 65,340 바이트(45 * 1452)로 설정하여 두 경우 모두 45 개의 패킷이 최대 개수가 되도록 설정하였다.

웹 트래픽은 NS-2 시뮬레이터에서 직접 제공하는 파라미터를 변경하여 시뮬레이션 하였다. 2 장에서 설명한 바와 같이, 패킷의 도착시간 간격(α)은 0.045, 0.1, 0.15, 0.2, 0.25, 0.3, 0.35까지 변화시키고, 형태 파라미터

(β)는 1.16, 1.2, 1.25, 1.35, 1.4, 1.45, 1.5로 변경하여 실험을 진행하였다. [표 2]는 시뮬레이션에 사용된 변수를 나타낸다.

표 2. 시뮬레이션 변수

구분	값
시뮬레이션 시간	5 초, 100 초, 500 초
패킷의 전체 크기	1500 바이트(byte)
헤더를 제외한 데이터의 크기	TCP(1460 바이트), SCTP(1452 바이트)
MTU	1500 바이트
ssthresh	TCP(65,700 바이트), SCTP(65,340 바이트)
평균 도착 시간 간격(α)	0.045, 0.1, 0.15, 0.2, 0.25, 0.3, 0.35
형태 파라미터(β)	1.16, 1.2, 1.25, 1.3, 1.35, 1.4, 1.45, 1.5

시뮬레이션의 측정 요소는 처리율(ρ)로 식(4)와 같이 정의된다[10].

$$\rho = \frac{S}{\tau} \quad (4)$$

식 (4)에서 데이터 전송량은 S (바이트)이고 데이터 전송시간은 τ (초)이다. 데이터 전송 시간에는 연결 설정 시간이 포함되지 않으므로 [표 2]의 시뮬레이션 시간에서 TCP의 경우에는 3-way-handshake, SCTP의 경우에는 4-way-handshake를 제외한 값이 τ 가 된다.

IV. 시뮬레이션 결과 및 해석

1. 링크다운이 없는 경우

시뮬레이션 시간을 5 초, 100 초, 500 초로 하고, 대역 폭과 RTT를 0.5 Mbps와 200 ms로 설정한 후 처리율을 측정하였다.

시뮬레이션 시간을 5초로 설정한 경우, TCP의 처리율은 46,778 바이트이고 SCTP의 처리율은 33,000 바이트이다. 그 이유는 SCTP가 4-way-handshake로 연결 설정을 하는 데 비해, TCP는 3-way-handshake로 연결 설정을 하기 때문이다. 즉 TCP의 초기 연결 설정

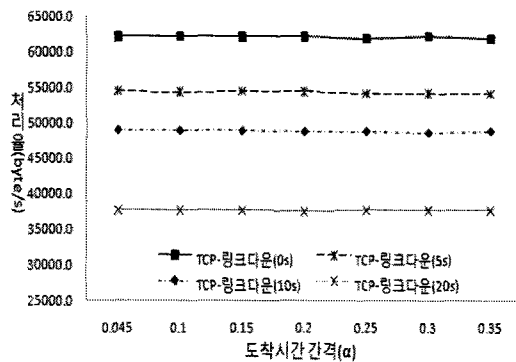
시간이 SCTP의 그것보다 짧기 때문에 전체 시뮬레이션 시간에서 연결 설정 시간을 빼 데이터 전송 시간이 TCP가 SCTP보다 크기 때문에 TCP의 처리율이 SCTP의 그것보다 높게 나타난다. 따라서 이 경우의 처리율 비교는 공정하지 않으므로 5 초의 시뮬레이션 시간은 적절하지 않다.

시뮬레이션 시간이 100 초인 경우 TCP와 SCTP의 처리율은 약 61 KB로 동일하게 나오고, 시뮬레이션 시간이 500 초인 경우에도 TCP와 SCTP 모두 약 62 KB의 처리율이 나온다. 따라서 본 연구에서는 TCP와 SCTP의 처리율이 동일하게 얻어지는 시간인 100 초를 시뮬레이션 시간으로 설정하였다[5].

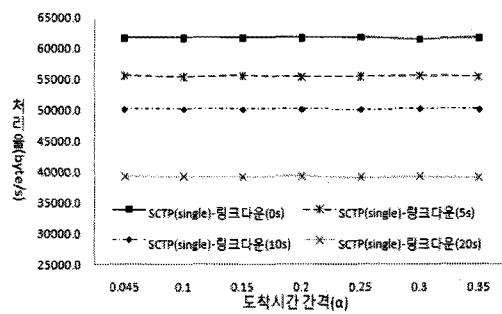
2. 도착 시간 간격에 따른 처리율

프로토콜에 따른 웹 트래픽의 처리율을 알아보기 위해 시뮬레이션 시간을 100 초로 하고, 그 구간 내에서 5 초, 10 초, 20 초를 링크다운 시간으로 하였다. 도착시간 간격(α)은 0.045와 0.35 사이에서 [표 2]에서와 같이 변경하고, 형태 파라미터(β)는 1.5, 대역폭과 RTT는 각각 0.5 Mbps와 200 ms로 설정하였다.

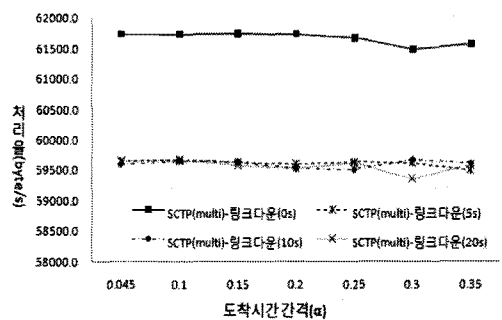
도착시간 간격에 따른 TCP, SCTP-싱글호밍, 그리고 SCTP-멀티호밍의 처리율 결과가 [그림 2]에 나타나 있다.



(a) TCP의 처리율



(b) SCTP-싱글호밍의 처리율



(c) SCTP-멀티호밍의 처리율

그림 2. 도착 시간 간격(α)에 따른 처리율

[그림 2]에서 SCTP(single)은 SCTP-싱글호밍을 나타내고, SCTP(multi)는 SCTP-멀티호밍을 나타내는데, 이 표기의 의미는 [그림 3]에서도 동일하다.

[그림 2] (a)에서 보듯이 웹 트래픽에 대한 TCP의 처리율은 도착시간간격(α)에 관계없이 유사하다. 모든 α 구간에서 링크다운 시간이 0 초인 경우(TCP-링크다운(0s))의 처리율은 약 61 KB, 링크다운 시간이 5 초인 경우(TCP-링크다운(5s))의 처리율은 54 KB, 링크다운 시간이 10 초인 경우(TCP-링크다운(10s))의 처리율은 48 KB, 그리고 링크다운 시간이 20 초인 경우(TCP-링크다운(20s))의 처리율은 37 KB로 나타나고 있다. 즉 링크다운 시간이 증가할수록 처리율은 반대로 감소한다. 따라서 웹 트래픽에 대한 TCP의 처리율은 도착시간간격(α)과는 관계없이 링크다운 시간에만 영향을 받는다는 것을 알 수 있다.

[그림 2] (b)의 SCTP-싱글호밍의 경우에도 TCP의 경우와 마찬가지로 모든 도착시간간격에서 유사한 처

리율을 보인다. 모든 α 구간에서 링크다운 시간이 0 초인 경우(SCTP(single)-링크다운(0s))의 처리율은 약 61 KB, 5 초인 경우(SCTP(single)-링크다운(5s))의 처리율은 55 KB, 10 초인 경우(SCTP(single)-링크다운(10s))의 처리율은 50 KB, 20 초인 경우(SCTP(single)-링크다운(20s))의 처리율은 39 KB로 나타나고 있다. 따라서 웹 트래픽에 대한 SCTP-싱글호밍의 처리율은 TCP와 유사한 특성을 보인다.

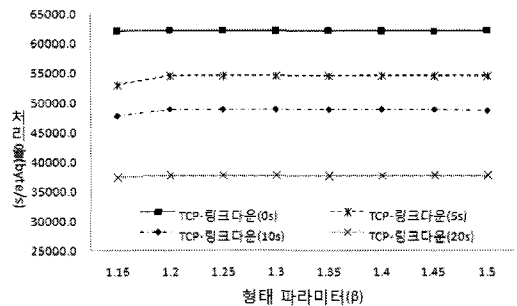
[그림 2] (c)의 SCTP-멀티호밍의 처리율은 TCP와 SCTP 싱글호밍과는 다른 결과를 보여준다. α 가 0.3일 때 링크다운 0초(SCTP(multi)-링크다운(0s))와 20초(SCTP(multi)-링크다운(20s))의 결과가 다르다. α 가 0.3이고 링크다운 시간이 0 초인 경우의 처리율이 61.4 KB인 데 비해, α 가 0.3이 아닌 경우의 처리율은 TCP와 SCTP 싱글호밍과 유사하게 약 61.7 KB 이다. 링크다운 시간이 5 초인 경우(SCTP(multi)-링크다운(5s))와 10 초인 경우(SCTP(multi)-링크다운(10s))의 처리율은 모든 α 구간에서 약 59 KB로 동일하게 나타난다. 링크다운 시간이 20 초인 경우(SCTP(multi)-링크다운(20s))의 처리율은 링크다운이 0 초인 경우와 마찬가지로 α 가 0.3이 아닌 모든 구간에서 약 59,500 바이트로 나오고, α 가 0.3인 경우에는 59,360 바이트로 나온다. 이러한 결과로부터 SCTP 멀티호밍을 사용하는 웹 트래픽은 도착시간간격(α)에 영향을 받음을 알 수 있다.

[그림 2]의 (a),(b),(c)를 비교하면 링크다운 시간이 0 초인 경우에는 TCP, SCTP-싱글호밍, SCTP-멀티호밍의 처리율이 동일하다. 그러나 SCTP-멀티호밍의 처리율은 TCP나 SCTP-싱글호밍에 비해 링크다운 시간이 5 초인 경우에는 약 4 KB, 10 초인 경우에는 9 KB 그리고 20 초인 경우에는 20 KB 정도 우수하게 나타나고 있다. 다만, SCTP-멀티호밍의 경우에는 TCP나 SCTP-싱글호밍에 비해 도착시간간격(α)에 영향을 받음을 알 수 있다. 이렇게 웹 트래픽에 대해 SCTP-멀티호밍의 처리율이 TCP의 처리율보다 우수하게 나온 이유는 혼잡 제어 윈도우의 변화에서 찾을 수 있다. TCP의 경우 초기 윈도우는 RTT마다 지수적으로 증가하다가 ssthresh에서 멈추고 선형으로 증가하다가 50초에서 시작하여 10 초간 링크가 다운되면 윈도우는 초기

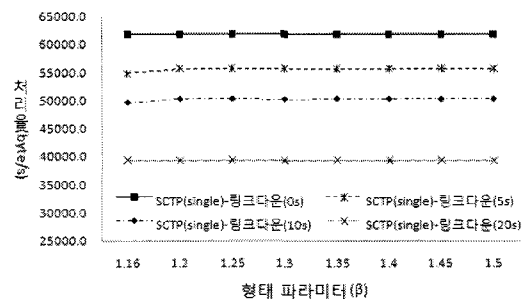
윈도우로 줄어든다. 이것은 60 초에서 링크가 업(up)될 때까지 10초간 지속된다. 그러나 SCTP-멀티호밍의 혼잡 윈도우의 변화는 링크다운 이전까지는 TCP와 동일하지만 링크가 다운된 이후에는 TCP와 달라진다. 즉, 1차 경로의 윈도우 크기는 TCP처럼 초기 윈도우의 크기로 줄어들지만, 대체 경로의 윈도우는 10 초간 지수적으로 늘어나게 된다. 바로 이런 차이가 처리율의 차이로 나타나게 된 것이다.

3. 형태 파라미터에 따른 처리율

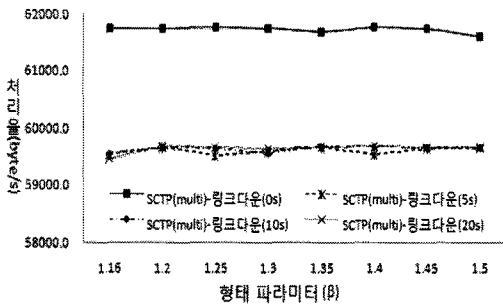
이 실험에서는 웹 트래픽의 크기에 대한 처리율의 차이를 알아보기 위해 시뮬레이션 시간을 100 초로 하고 링크다운 시간을 5 초, 10 초, 20 초로 하였다. 웹 파일의 크기는 파레토 분포를 하고, 형태 파라미터인 β 의 범위는 1.16 ~ 1.5로 알려져 있으므로, 이 범위 내에서 β 를 변경해가면서 실험을 하였다. 도착시간 간격(α)은 0.045, 대역폭과 RTT는 각각 0.5 Mbps와 200 ms로 하였다. [그림 3]은 형태 파라미터에 따른 처리율을 나타낸다.



(a) TCP의 처리율



(b) SCTP-싱글호밍의 처리율



(c) SCTP-멀티호밍의 처리율

그림 3. 형태 파라미터(β)에 따른 처리율

[그림 3] (a)에서 보듯이 TCP의 처리율은 링크가 다운되고 β 가 1.16인 경우를 제외하고는 모두 유사하다. 링크다운 시간이 0초인 경우(TCP-링크다운(0s))의 처리율은 약 62 KB, 링크다운 시간이 5초인 경우(TCP-링크다운(5s))의 처리율은 β 가 1.16에서는 52,912 바이트이고, 나머지 구간에서는 약 54 KB로 차이를 보였다. 링크다운 시간이 10초인 경우(TCP-링크다운(10s))의 처리율 역시 β 가 1.16에서 47,777 바이트인데 비해 나머지 구간에서는 약 48,800 바이트로 차이를 보였다. 링크다운 시간이 20초(TCP-링크다운(20s))인 경우의 처리율은 β 가 1.16일 때 37,393 바이트인데 비해 나머지 구간에서는 약 37,600 바이트로 약간의 차이를 보였다. 이러한 결과로부터 TCP의 처리율은 링크가 다운되는 경우 형태 파라미터(β)에 영향을 받는 것을 알 수 있다.

[그림 3] (b)는 SCTP-싱글호밍을 이용하여 웹 트래픽을 전송할 때 형태 파라미터의 변화에 따른 처리율의 변화를 보여준다. 이 경우의 처리율 역시 TCP와 마찬가지로 β 가 1.16인 경우를 제외하고는 모든 β 에서 거의 동일하다.

링크다운 시간이 0초인 경우(SCTP(single)-링크다운(0s))의 처리율은 약 61 KB, 5초인 경우(SCTP(single)-링크다운(5s))의 처리율은 β 가 1.16에서 54,746 바이트인데 비해 나머지 구간에서는 약 55,500 바이트로 많은 차이를 나타내고 있다. 마찬가지로 링크다운 시간이 10초인 경우(SCTP(single)-링크다운(10s))의 처리율은 β 가 1.16에서 49,553 바이트인데 비해 나머지 구간에서는 약 50 KB로 차이를 보였

다. 하지만 링크다운 시간이 20초인 경우(SCTP(single)-링크다운(20s))의 처리율은 β 와 관계없이 약 39,200 바이트로 나타나고 있다. 따라서 웹 트래픽에 대한 SCTP-싱글호밍의 처리율은 TCP와 유사하게 형태 파라미터(β)에 영향을 받는 것을 알 수 있다.

[그림 3] (c)는 SCTP-멀티호밍을 사용하여 웹 트래픽을 전송할 때, 형태 파라미터와 처리율의 관계를 보여준다. 링크다운 시간이 0초의 경우(SCTP(multi)-링크다운(0s))의 처리율은 β 가 1.35와 1.5일 때, 61,690 바이트와 61,599 바이트이고, 나머지 구간에서는 약 61,700 바이트이다. 링크가 다운된 경우의 처리율은 β 의 변화에 따라 상승과 하강을 반복하며 평균 59 KB가 나온다. 다만 링크가 다운된 경우 β 가 1.16에서 처리율이 모두 확연히 떨어졌음이 확인되었다.

이상의 결과로부터 링크가 다운된 경우, TCP, SCTP-싱글호밍, 그리고 SCTP-멀티호밍의 처리율은 β 가 1.16인 경우에 모두 작아지고 있음을 확인할 수 있다. 이것은 웹 파일의 크기를 나타내는 파레토 분포의 형태 파라미터(β)의 값을 1.2~1.5 사이에서 적절히 선택함으로써 보다 좋은 처리율을 얻을 수 있음을 의미한다.

4. 결과 해석

웹 트래픽의 통계적 분포를 결정하는 도착시간 간격(a)과 형태 파라미터(β)를 중심으로 [그림 2]와 [그림 3]의 결과를 평균 처리율로 요약하면 [표 3]과 같다.

표 3. 웹 트래픽에 대한 TCP와 SCTP의 평균 처리율

프로토콜	실험변수	도착시간간격(a)	형태 파라미터(β)
TCP		50,710 B	50,700 B
SCTP-싱글호밍		51,618 B	51,632 B
SCTP-멀티호밍		60,117 B	60,150 B

표에서 보듯이 도착시간간격에 따른 SCTP-멀티호밍의 평균 처리율은 TCP의 그것보다 우수하고, SCTP-싱글호밍의 처리율과 TCP의 처리율은 큰 차이가 없다. 형태 파라미터에 따른 SCTP-멀티호밍의 처리율 역시 TCP와 SCTP-싱글호밍의 그것보다 우수하지만 SCTP-싱글호밍의 처리율과 TCP의 처리율은 거

의 유사하다.

또한 도착시간간격과 형태 파라미터의 변화에 따른 처리율의 최대값과 최소값의 편차를 구하면 [표 4]와 같다.

표 4. 처리율 편차 (단위: 바이트)

프로토콜	편 차	도착시간간격(α)	형태파라미터(β)
TCP	링크다운(0s)	303	106
	링크다운(5s)	318	1592
	링크다운(10s)	333	1137
	링크다운(20s)	197	288
SCTP- 싱글호밍	링크다운(0s)	274	76
	링크다운(5s)	182	852
	링크다운(10s)	167	609
	링크다운(20s)	228	60
SCTP- 멀티호밍	링크다운(5s)	274	167
	링크다운(10s)	167	152
	링크다운(15s)	167	121
	링크다운(20s)	319	213

도착시간간격의 처리율 편차를 살펴보면, 링크다운 0초, 5초, 10초에서 TCP의 처리율의 편차가 SCTP에 비해 크게 나타났다. SCTP의 경우에는 SCTP-멀티호밍의 처리율 편차가 319로 가장 크다.

형태 파라미터의 처리율 편차를 살펴보면, 도착시간 간격과 마찬가지로 TCP의 링크다운(5s)과 TCP의 링크다운(10s)에서 1,592 B와 1,137 B로 가장 큰 편차를 보인다. 그 이유는 링크다운 5초에서 형태 파라미터의 값이 1.16에서 52,912 B인 데 비해, 나머지 구간에서는 약 54 KB로 1,592 B 만큼의 차이가 나기 때문이다. 그 다음으로 처리율 편차가 큰 것은 SCTP-싱글호밍의 링크다운 5초에서 852 B이다.

위의 결과를 종합해 보면 SCTP에 비해 TCP가 도착 시간간격과 형태 파라미터에 더 많은 영향을 받고 있음을 알 수 있다.

V. 결론

본 연구에서는 링크가 다운된 환경에서 웹 트래픽을

서비스하기 위한 전송프로토콜인 TCP와 SCTP(싱글호밍과 멀티호밍)의 성능을 비교하였다. 자기-유사적인 웹 트래픽을 정확히 묘사하기 위해 평균 도착시간 간격 파라미터와 파레토 분포의 형태(shape) 파라미터를 변화시키면서 처리율을 측정하였다. 실험은 NS-2 시뮬레이터를 이용하여 개인용 컴퓨터에서 수행되었다. 적절한 시뮬레이션 시간을 얻기 위해 먼저 링크를 다운하지 않는 실험을 수행하여 SCTP와 TCP의 처리율이 동일하게 나온 시간을 시뮬레이션 시간으로 설정하였다. 링크다운 시간을 변화시키면서, 평균 도착시간 간격 파라미터를 0.045와 0.35 사이에서 변화시킨 실험의 평균 처리율은 SCTP-멀티호밍이 TCP보다 우수하였다. 또한 링크다운 시간을 변화시키면서 형태 파라미터를 1.16과 1.5사이에서 변화시킨 실험의 평균 처리율 역시 SCTP-멀티호밍이 TCP보다 우수하였다. 모든 실험에서 SCTP-싱글호밍의 처리율과 TCP 처리율은 비슷하였다. 한편 TCP의 처리율 편차는 SCTP보다 크게 나타났는데, 이것은 TCP가 SCTP에 비해 도착시간 간격과 형태 파라미터에 영향을 더 많이 받음을 의미한다. 본 연구의 결과는 웹 트래픽을 서비스하기 위해 현재 사용 중인 TCP에 대한 대안을 검토할 때 유용하다. 앞으로의 연구에서는 다중 사용자를 고려하면서 최근의 TCP 성능향상 기법과 비교하는 연구가 기대된다.

참고 문헌

- [1] R. Stewart and Q. Xie, *Stream Control Transmission Protocol*, IETF RFC 2960, 2000.
- [2] R. Stewart and Q. Xie, *Stream Control Transmission Protocol(SCTP) : A Reference Guide*, Addison Wesley, 2001.
- [3] 송정화, 이미정, 고석주, "SCTP의 멀티호밍 특성에 대한 성능 평가", 정보처리학회논문지, 제11-C권, 제2호 통권 제91호, pp.245-252, 2004.
- [4] 박재성, 고석주, "리눅스 환경에서 SCTP와 TCP 프로토콜의 성능 비교", 한국통신학회지, 제33권,

제8호, pp.699-706, 2008.

- [5] 최용운, 이용진, "링크다운 환경에서 TCP에 대한 SCTP의 멀티호밍 효과", 한국콘텐츠학회 논문지, 제9권, 제8호, pp.73-83, 2009.
- [6] W. Stallings, *High-speed Network : TCP/IP and ATM Design Principles*, prentice hall, pp.181-207, 1998.
- [7] M. Crovella and A. Bestavros, "Self-similarity in world-wide-web traffic: evidence and possible causes," *Proceedings of ACM sigmetrics conference on measurement and modeling of computer systems*, 1996(5).
- [8] K. Park and W. Willinger, *Self-similar Network Traffic and Performance Evaluation*, John Wiley and Sons, 2000.
- [9] <http://www.isi.edu/nsnam/ns>
- [10] F. Nadei, Mir, *Computer and Communication Networks*, Pearson Education, 2007.
- [11] E. Altman, Tania Jimenez, *NS Simulation for beginners*, Univ. de Los Andes, 2004.

조 광 문(Kwang-Moon Cho)

종신회원



- 1995년 8월 : 고려대학교 컴퓨터학과(이학박사)
- 1995년 9월 ~ 2000년 2월 : 삼성전자 통신연구소 선임연구원
- 2000년 3월 ~ 2005년 2월 : 백석대학교 정보통신학부 조교수
- 2005년 3월 ~ 현재 : 목포대학교 전자상거래학 전공 조교수

<관심분야> : 통신 네트워크, 전자상거래

이 용 진(Yong-Jin Lee)

정회원



- 1995년 2월 : 고려대학교 컴퓨터학과(이학박사)
- 2003년 8월 ~ 2004년 8월 : 미국 Oklahoma 주립대학 컴퓨터학과 방문연구원
- 2005년 9월 ~ 현재 : 한국교원대학교 기술교육과 부교수

<관심분야> : 무선 및 이동 네트워크, 인터넷 QoS, 정보통신기술 교육

저 자 소 개

최 용 운(Yong-Woon Choi)

정회원



- 2004년 2월 : 연세대학교 물리학 과(이학사)
- 2006년 8월 : 연세대학교 대학원 컴퓨터교육과(교육학석사)
- 2010년 2월 : 한국교원대 기술교육과(교육학석사)

<관심분야> : 네트워크 시뮬레이션, 컴퓨터 교육