

TCP 재전송이 종단간 데이터 전송 에너지 소모량에 미치는 영향 분석

석우진*, 최원준*, 광재승**, 이만희^o

Analysis on Effect of TCP Retransmission to Energy Consumption on End-to-End Data Transfer

Woojin Seok*, Wonjun Choi*,
 Jaiseung Kwak**, Manhee Lee^o

요약

하나의 패킷 손실은 TCP 세그먼트 손실과 재전송을 유발시키며, 여러 홉의 전송경로에서 전달된 해당 세그먼트를 구성하는 여러 패킷의 전송에 소모된 에너지 사용이 무의미해진다. 본 논문에서는, 종단간 TCP 재전송율이 데이터 전송에 소모되는 에너지량에 어떤 영향을 미치는지 분석하고자 하며, 특히 기존의 TCP 전송 방식과 Store-and-Forward TCP 전송 방식을 비교 분석하였으며, 전송손실의 증가에 대한 에너지 효율성의 산출 방안을 분석하였다. 다양한 상황에서의 데이터 전송시, 에너지 절감 결정이나 새로운 방안 연구에 공헌을 할 것으로 기대한다.

Key Words : TCP, Energy, E2E Transfer, Retransmission, Network

ABSTRACT

A packet loss caused TCP segment drop and retransmission. This makes the energy useless, which is consumed to deliver the whole packets of the

dropped segment over many hops. In this paper, end-to-end TCP retransmission will be analyzed for the effect to energy consumed for delivering data. Especially, this paper will compare and analyze the legacy TCP method and Store-and-Forward method, and the method of computing the energy efficiency to transmission loss. This paper expects that the proposed method can contribute to new energy saving decision or algorithm on diverse data transmission situation.

1. 서론

TCP는 HTTP, FTP, SMTP, P2P 등 대부분의 인터넷 프로토콜이 공히 사용하는 데이터 전송 프로토콜이다. TCP는 송신자와 수신자 간의 흐름제어와 혼잡제어를 통하여, 손실 없는 데이터 전송을 추구하고 있다. 그래서 TCP의 전송성능은 송신자와 수신자간 전송경로의 가용 대역폭, 거리, 혼잡상태 등 기반 전송 네트워크의 상태에 많은 영향을 받는다[1].

기존의 유선 네트워크가 주류를 이루었던 90년대 이후, 기반 네트워크는 무선, 모바일, 애드혹 네트워크 등 다양한 형태로 발전하게 되었다. TCP는 이러한 다양한 기반 네트워크의 출현으로 인하여 발생하는 여러 가지 성능 저하 문제점을 극복하는 방향으로 연구가 이루어져왔다[2]. 이어서, TCP 전송 성능과 더불어, 한정된 에너지 자원을 사용하는 단말에서의 에너지 효율성 및 사용분석에 대한 연구[5]가 TCP에서의 에너지 연구로 이어졌다[6].

본 논문에서는, 무선, 모바일, 애드혹 네트워크와 같이 패킷손실로 많이 발생할 수 있는 경우에서, TCP 프로토콜의 특성으로 인하여 발생하는 재전송이 에너지 효율성에 어떤 영향을 미치는지 분석하고자 한다. TCP 프로토콜 수행에 필요한 단말 시스템에서의 에너지 소모량을 분석하는 기존연구와 달리 TCP 프로토콜을 수행하는데 필요한 종단간의 에너지 총소모량을 수식화하는 연구로써, 다양한 환경에서의 데이터 전송에서의 에너지 절감에 기반이 될 것으로 기대한다. 성능평가 방식으로, 종단간의 전송방식인 기존의

※ 본 연구는 미래부 ICT R&D 과제 "서비스/단말/네트워크 다양성지원을 위한 미래형 네트워크 시스템 아키텍처 연구(N-16-NM-CA05-S01)" 지원으로 수행되었습니다.

♦ First Author : Korea Institute of Science and Technology Information, wjseok@kisti.re.kr, 정회원

° Corresponding Author : Hannam University Department of Computer Science, manheelee@hnu.kr, 정회원

* UST(University of Science and Technology), wonjunchoi001@gmail.com, 학생회원

** Korea Institute of Science and Technology Information, jskwak@kisti.re.kr, 정회원

논문번호 : KICS2015-11-368, Received November 16, 2015; Revised May 27, 2016; Accepted June 8, 2016

TCP 전송방식(legacy TCP)과 Store-and-Forward TCP(SF TCP) 전송방식을 비교 분석하고자 한다.

II. 에너지 측면에서의 TCP 분석

TCP 전송의 단위는 세그먼트는 IP 계층 패킷 단위로 분할 및 재조립되어 전송된다. 패킷은 전송 경로상의 여러 가지 상황으로 인하여 손실이 발생하게 되며, 이러한 손실은 TCP 세그먼트의 재전송을 유발시킨다. 기반 네트워크 전송 품질이 떨어질수록 재전송의 횟수는 늘어나며, 이는 전송 시도된 세그먼트의 개수가 더 많아져서^[1], 전송 에너지가 많이 소요되는 결과를 가져온다.

본 논문은 데이터 전송 시 발생하는 TCP 세그먼트의 재전송이 에너지 효율성에 미치는 영향을 분석하고자한다. 또한, TCP 전송 방식 중 기존의 종단간 전송방식과 SF TCP의 에너지 효율성에 대해서 비교분석하고자 한다.

SF TCP는, 송신자와 수신자의 연결을 분할하여 전송하는 방식이다. 이는, 송수신 종단간의 경로를 이루는 기반 네트워크가 무선, 모바일 네트워크 등으로 다양해짐에 따라 전송 경로를 이루는 홉간의 대역폭, 전송지연시간, 혼잡도의 차이가 커지는 환경에서의 좋은 성능을 보여준다. 유선 네트워크 환경에서는 PEP[9] 등의 연구가 그것이며, 무선 네트워크 환경에서는 I-TCP[10] 등의 연구가 그것이다.

2.1 에너지 분석

그림 1처럼, TCP 전송측에서 TCP 수신측까지 데이터 전송을 하기위해서 거쳐야 할 경로가 H 홉만큼 구성되어 있다고 할 때, 하나의 TCP 세그먼트를 한 홉 전송하기 위한 에너지 단위 비용을 e 라고 가정하면, 하나의 세그먼트가 TCP 수신측에 도착하기까지 소용되는 총 에너지 비용은 다음과 같다.

$$E_{aSegment}^{legacyTCP} = e \times H$$

전송 중에 재전송이 발생하지 않을 경우, $E_{aSegment}^{legacyTCP}$ 만큼의 에너지가 발생하지만, 재전송이 발생하면 그 횟수만큼 곱해진다. 발생하는 재전송의 횟수를 N 이라고 하면, 확률분포와 평균값은 다음과 같이 정의된다.

확률 값 q 는 재전송이 일어날 확률 값으로 가정하며, 성공적으로 전송이 이루어질 확률 값 p 는 1 - q 가 된다. 재전송 횟수 N에 대한 평균값(Avg(N))은

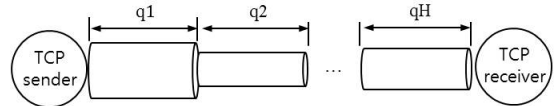


그림 1. 종단간 경로
Fig. 1. End-to-End Path

전송 성공확률($P(N)$)에 의해서 다음과 같이 구해진다. 이때, k는 데이터를 구성하는 세그먼트 개수이다.

$$P(N) = p \times q^{N-1}$$

$$Avg(N) = \sum_{i=1}^{\infty} kpq^{i-1} = p \frac{1}{(1-q)^2} = \frac{1}{1-q}$$

재전송 횟수의 평균값을 바탕으로, 하나의 세그먼트를 전송하는데 소요되는 에너지 비용은,

$$E_{aSegment}^{legacyTCP} = e \times H \times \frac{1}{1-q}$$

그래서 k 개로 구성된 전체의 세그먼트를 전송하기 위하여 소요되는 에너지 비용은 다음과 같이 된다.

$$E_{allSegment}^{legacyTCP} = e \times H \times \frac{1}{1-q} \times k$$

그런데, TCP 전송에 있어 경로상 구성은 그림 1에서 보듯이 전송 품질이 각각 다른 구간들의 조합으로 구성되어 있으며, 각 구간별 전송매체 오류, 버퍼 오버플로우 등의 전송 품질로 인하여 패킷 손실이 발생할 수 있다. 이러한 패킷 손실에 대해서, 각 구간별 발생하는 손실확률을 각각 q_1, q_2, \dots, q_H 라고 하면, 재전송 확률 q 는 다음과 같이 구해진다.

$$q = 1 - (1 - q_1) \times (1 - q_2) \times \dots \times (1 - q_H)$$

그러므로 legacy TCP 방식으로 H 홉으로 구성된 종단 간에 데이터를 전송할 경우 발생하는 에너지는 결국 다음과 같이 된다.

$$E_{allSegment}^{legacyTCP} = \frac{e \times H \times k}{(1 - q_1) \times (1 - q_2) \times \dots \times (1 - q_H)}$$

같은 방법으로 SF TCP은 다음과 같다. 홉 간 하나의 세그먼트를 전송하는 에너지를 e' 이라 하고, k개 세그먼트를 전송하고자하며, H 홉 수만큼의 전송이 필요하다고 할 때, 소요되는 에너지는 각 홉에서 소요되는 에너지, $(e' \times k) / (1 - q_x)$ 의 H홉 만큼의 합이 된다.

$$E_{allSegment}^{sfTCP} = e' \times k \times \frac{1}{1 - q_1} + e' \times k \times \frac{1}{1 - q_2} + \dots$$

$$\dots + e' \times k \times \frac{1}{1 - q_H}$$

$$= e' \times k \times \left(\frac{1}{1 - q_1} + \frac{1}{1 - q_2} + \dots + \frac{1}{1 - q_H} \right).$$

이상에서 구해진 legacy TCP와 SF TCP의 에너지 소모량으로, SF TCP가 가지는 에너지 효율성, EE(Energy Efficiency)는 다음과 같이 구해진다.

$$EE = \frac{E_{allSegment}^{legacyTCP}}{E_{allSegment}^{sfTCP}} = \frac{e}{e'} \times \frac{H}{Q},$$

$$Q = (1 - q_2)(1 - q_3) \dots (1 - q_H) + (1 - q_1)(1 - q_3) \dots (1 - q_H) + \dots + (1 - q_1)(1 - q_2) \dots (1 - q_{H-1}).$$

하나의 세그먼트를 전송하기 위하여 소요되는 에너지 e 와 e' 은 그림 2와 같이 구성된다. Legacy TCP에서의 e 는 TCP processing은 중간과정에서 발생하지 않고 단지 양 종단에서만 소요되므로 무시된다. 물리계층에서 전송에 필요한 에너지 양을 t 라고 하고, user-to-kernel 등 일련의 메모리 복사 동작으로 발생하는 에너지 양을 m 이라고 한다면 다음과 같은 관계가 될 것이다. 특히 m 은 TCP 처리를 위한 메모리 copy와 체크섬 계산, TCP 타임아웃계산, Triple DupACK 처리 계산 등이 포함된다.

$$e = c \times m + t, e' = m + t.$$

기존연구 [6]의 결과에서 보듯이, 전체 TCP 에너지 소모량의 60-70%의 에너지가 'Kernel to NIC' copy에 사용되며, 또한, User-to-Kernel copy와 TCP processing이 각 15% 내외라는 결과를 바탕으로 본 논문에서는 c 상수 값을 0.8로 가정한다.

그림 2에서의 Routing Processing은 대략적으로 User-to-Kernel의 에너지 소모량과 유사하다고 가정한다면, 다음과 같은 에너지 효율성이 도출된다.

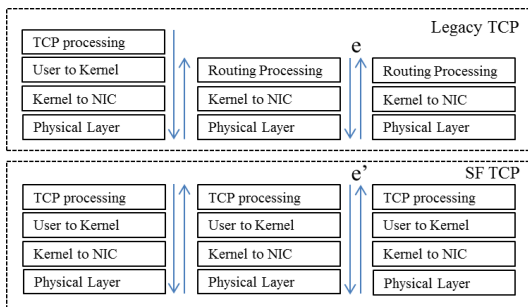


그림 2. 한 홉에서의 에너지 소모량 : e 와 e'
Fig. 2. Energy Consumption on a Hop: e 와 e'

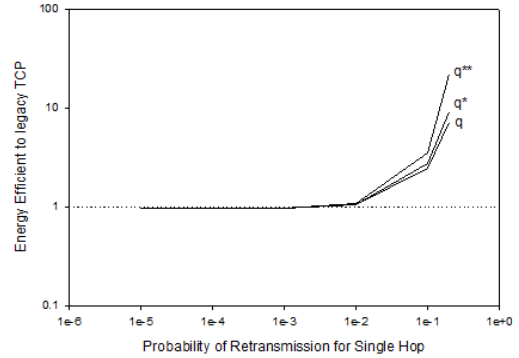


그림 3. 재전송 확률 추이에 따른 에너지 효율성
Fig. 3. Energy Efficiency on Retransmission Prob.

$$EE = \frac{cm + t}{m + t} \times \frac{H}{Q}.$$

2.2. 결과토의

네트워크 전송시 필요한 에너지가 메모리 복사의 대략 3배임을 감안하여, $m=1, t=3$ 으로 가정한다[11]. 그림 3은, 재전송 확률 값에 따른 EE 추이를 보여준다. 재전송 확률 q 값이 전 구간으로 같은 경우(그림3의 q)와 특정 구간이 2배(q^*), 3배(q^{**})일 경우에 EE 값을 보여준다.

광네트워크처럼 패킷 손실이 거의 발생하지 않은 환경에서는 EE 값이, 오히려 1보다 작아지는 경우가 발생한다(그림3의 왼쪽 부분). 즉, 패킷 손실이 거의 발생하지 않아서 재전송이 일어나지 않는 경우는, SF TCP 전송이 각 홉에서 발생하는 TCP processing에 소요되는 에너지 소모량으로 인하여 오히려 더 좋지 않은 에너지 효율성을 보여준다 (0.95-1.00). 하지만 무선 네트워크 기반의 에드혹 네트워크 처럼 전송 상에서 손실이 많이 발생하는 경우는 EE 값이 7 이상 증가하는 모습을 보여준다(그림3의 오른쪽 부분). 특히 구간별로 특정 한 구간에 대해서 2배, 4배의 전송 손실을 보여주는 q^* , q^{**} 곡선의 경우, 9배, 21배의 에너지 효율성을 보여준다.

III. 결론

본 논문은, 재전송 확률에 기반한 TCP 에너지 소모량을 분석하였다. 전송 경로상의 전송 품질의 차이가 심해지는 최근의 네트워크 발전 추세에 맞추어, SF TCP는 이러한 에너지 소모 관점에서 좋은 성능을 줄 수 있을 것이라 판단된다. 또한 성능향상을 수식화함으로써, 다양한 환경에서의 데이터 전송에서의 에너지

를 절감하는 결정이나 새로운 방안 연구에 공헌을 할 것으로 기대한다.

References

- [1] V. Jacobson, et. al., "Congestion avoidance and control," *ACM Computer Commun. Rev.*, vol. 18, no. 4, pp. 314-329, Aug. 1988.
- [2] A. Gurtoy, et. al., "Effect of vertical handovers on performance of TCP-friendly rate control," *ACM SIGMOBILE Mob. Comput. Commun. Rev.*, vol. 8, Jul. 2004.
- [3] A. Carroll, et. al., "An analysis of power consumption in a smartphone," in *Proc. USENIX*, pp. 21-21, USA, Mar. 2010.
- [4] B. Wang, et. al., "Computational energy cost of TCP," in *Proc. IEEE INFOCOM*, pp. 785-795, Hong Kong, Mar. 2004.
- [5] J. Border, et. al., *Performance enhancing proxies intended to mitigate link-related degradations*, RFC 3135, Jun. 2001.
- [6] A. Bakre, et. al., "I-tcp: indirect tcp for mobile hosts," in *Proc. IEEE Int. Conf. on Distrib. Comput. Syst.*, p. 136, Piscataway, NJ, USA, 1995.
- [7] D. Qiao, et. al., "Energy efficient video transmission over fast fading channels," *EURASIP J. Wirel. Commun. Netw.*, pp. 940-948, 2010.