DBpia

논문 12-37B-11-02 한국통신학회논문지 '12-11 Vol.37B No.11
http://dx.doi.org/10.7840/kics.2012.37B.11.975

이종망에서 MPTCP를 위한 패킷 스케줄링 방법과 수신단 기반의 손실 복구 방법

오 봉 환◆, 김 한 아*, 이 재 용°,

Packet Scheduling Scheme and Receiver-Based Recovery Scheme for MPTCP in Heterogeneous Networks

Bong-Hwan Oh◆, Hanah Kim*, Jaiyong Lee°

요 약

하나의 단말이 WiFi, 3G, LTE 등 다양한 통신 인터페이스들을 가지고 있는 것이 점점 일반화 되면서, 단말 간의 통신에서 다수의 네트워크 경로를 동시에 이용하여 전송 효율을 높이고자 하는 연구들이 진행되고 있다. MPTCP는 IETF에서 표준화가 진행되고 있는 transport layer protocol로서 서로 다른 IP 주소를 가지고 있는 여러 통신 인터페이스를 동시에 사용한 데이터 전송을 가능하게 한다. 하지만 현재의 MPTCP는 서로 다른 성질의 네트워크의 인터페이스를 동시에 사용하면 reordering 문제로 오히려 하나의 네트워크를 사용하는 것보다 성능이 저하되는 문제점을 가지고 있다. 따라서 본 논문은 MPTCP에서 통신 인터페이스의 네트워크 상태에 따른 패킷 스케줄링 방법과 수신단 기반의 패킷 손실 복구 방법을 제안함으로써 MPTCP에서 reordering 문제로 발생하는 성능 저하를 감소시켰다. 또한 제안된 방법은 기존의 방법보다 더 나은 throughput과 더 빠른 재전송을 수행 할 수 있음을 시뮬레이션을 통해 확인하였다.

Key Words : MPTCP, packet scheduling, packet recovery

ABSTRACT

Multi network interface has become common phenomenon for mobile devices such as smart phone which has 3G, LTE-advanced, WiFi. Consequently, there are researches for a transmission strategies using multiple paths below on end-to-end connection. MPTCP which is proposed and being standardized by the IETF as a new transport protocol can perform concurrent multipath transfer using multiple network interfaces. However, current MPTCP has performance degradation when it use heterogeneous networks which have quite different network characteristics. Therefore, this paper proposes the packet scheduling scheme and receiver-based recovery scheme to reduce the performance degradation due to reordering problem. Also, simulation results show that the proposed scheme can improve throughput and retransmission performance.

Ⅰ. 서 론

네트워크 기술과 무선 단말 기술들이 발달함에 따라, 무선 단말에 요구 되는 서비스들은 점점 늘어나고 있다. 이제는 단순한 서비스를 넘어서, 화상전화, HD보이스 등 더 좋은 QoS를 보장하는 서비스

※ 본 연구는 Seoul R&BD Program(WR080951)의 지원을 받아 연구되었음.
◆ 주저자 : 연세대학교 전기전자공학과 유비쿼터스 네트워크 연구실, crusader27@yonsei.ac.kr, 준회원
° 교신저자 : 연세대학교 전기전자공학과 유비쿼터스 네트워크 연구실, jyl@yonsei.ac.kr, 종신회원
* 연세대학교 전기전자공학과 유비쿼터스 네트워크 연구실, hanah-h@hotmail.com
논문번호 : KICS2012-09-435, 접수일자 : 2012년 9월 17일, 최종논문접수일자 : 2012년 11월 1일

www.dbpia.co.kr

들이 등장하고 있고 앞으로 이러한 추세가 계속 될 것으로 예상되어 진다. 하지만 아직까지 무선 네트워크는 유선 네트워크에 비해 한정된 자원을 가지고 있기 때문에 결국 서비스를 제공하는데 있어서 무선 네트워크를 효율적으로 사용하거나 성능을 향상시키는 것이 서비스를 제공하는데 중요한 요소가 될 것이다.

현재의 무선 네트워크는 WiFi, 3G, WiMAX, LTE-advanced 등과 같이 여러 무선 네트워크들이 서로 중첩되어 있고, 이러한 네트워크들의 사용을 위해 스마트 폰 같은 최근의 무선 단말들은 여러 네트워크 인터페이스들을 가지고 있다. 따라서 이러한 중첩된 네트워크들을 동시에 사용한다면 무선 자원을 효율적으로 사용할 수 있고 또한 하나의 단말에서의 네트워크 성능을 향상 시킬 수 있을 것이다.

Multi-Path TCP(MPTCP)는 IETF에서 표준화가 진행되고 있는 transport layer protocol로서 서로 다른 IP 주소를 가지고 있는 여러 통신 인터페이스를 동시에 사용한 데이터 전송을 가능하게 한다[1]. 이러한 동작은 application에서도 가능하나 application 에서의 load balancing은 code redundancy와 구현의 어려움이 있기 때문에 네트워크와 application 사이에 위치된 transport layer에서 동작하는 것이 적합하다[2]. MPTCP를 사용하여 여러 네트워크들을 동시에 이용한다면, 혼잡된 네트워크를 피해 다른 네트워크를 사용하여 네트워크의 효율성을 높일 수 있고, 또 무선 단말에게 더 많은 무선 자원을 할당하여 무선 단말에의 throughput 성능을 향상 시킬 수 있다. 현재의 MPTCP의 경우에는 각각의 전송 경로의 congestion control window size에 의해서 전송 데이터가 각각의 전송 경로에 분배 되어 진다. 이러한 방법은 각각의 전송 경로의 성능이 비슷한 경우에는 전송 이득을 얻을 수 있지만, 전송 경로의 성능 차이가 발생하는 경우에는 패킷들의 도착순서가 바뀌어 도착하는 경우가 발생하게 되고 이 때문에 수신단에서 추가적인 delay가 발생한다. 또한 현재의 MPTCP에서는 각각의 전송 경로마다 독립적으로 동작하기 때문에 성능이 안 좋은 경로에서 패킷 손실이 발생한 경우 복구하는데 상대적으로 긴 시간이 소요 되고 이로 인한 성능저하가 발생한다. 이러한 성능저하는 다중 경로을 이용한 전송이 오히려 하나의 전송 경로만을 사용하는 것 보다 성능이 저하되게 만들게 된다[3]. 현재 다양한 네트워크 망들이 서로 중첩되어 존재하고 또 앞으로 계속해서 새로운 네트워크망들이 늘어난다면 다양한 성능을 가진 네트워크를 사용하는 일은 자주 일어 날 수 있는 일이기 때문에 이러한 성능 저하 문제는 계속해서 일어날 것이다. 또한 동일한 네트워크를 사용한다고 할지라도 한 전송 경로의 성능이 저하되면, 역시 같은 문제가 발생될 수 있다. 따라서 앞으로 MPTCP를 이용하여 동시에 다중 경로를 통한 전송을 효율적으로 진행하기 위해서는 각각의 네트워크의 상태에 맞춰서 전송을 효율적으로 수행할 수 있는 방법이 필요하다.

이와 같은 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 MPTCP에서 네트워크의 상태에 따라 전송 경로에 데이터를 할당하는 패킷 스케줄링 방법과 네트워크 상태를 고려한 수신단 기반의 패킷 손실 복구 방법을 제안하였다. 제안된 스케줄링 방법은 네트워크의 delay를 예측하고 이를 고려하여 패킷 전송을 수행하여 reordering으로 인한 성능 저하를 줄일 수 있고 수신단 기반의 재전송을 통해 재전송 성능을 향상시켜 재전송으로 인한 성능 저하를 줄 일 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 Ⅱ장에서는 MPTCP에 대한 소개와 동작을 설명하고 제 Ⅲ장에서는 제안된 스케줄링 방법과 재전송 방법에 대해서 설명한다. 제 Ⅳ장에서는 시뮬레이션을 통해서 제안된 방법의 성능을 평가하고 마지막으로 제 Ⅴ장에서는 본 논문의 결론을 맺는다.

Ⅱ. 관련 연구

2.1. Multi-Path TCP (MPTCP)

Multi-Path TCP (MPTCP)는 다중 전송 경로를 동시에 사용한 데이터를 전송을 위해 현재 IETF에서 표준화가 진행되고 있는 transport layer protocols이다[1]. MPTCP는 하나의 connection에서 여러 네트워크를 동시에 사용함으로써 네트워크 자원을 효율적으로 사용할 수 있고 하나의 단말에서 사용할 수 있는 네트워크의 자원의 양을 향상 시킬 수 있다. 또한 여러 네트워크를 동시에 연결 하고 있기 때문에 network connectivity를 향상 시킬 수 있다. 기본적으로 MPTCP는 TCP의 수정된 버전이기 때문에 TCP를 사용하는 모든 application은 별도의 변경 없이 MPTCP를 사용할 수 있도록 표준화가 진행되고 있다.

www.dbpia.co.kr

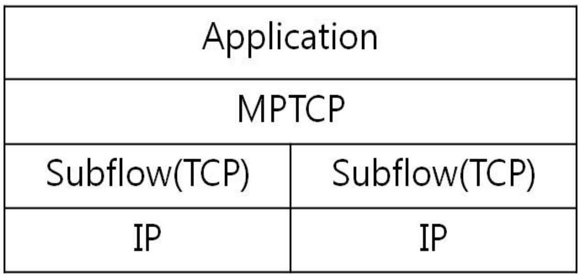

그림 1. MPTCP 구조
Fig. 1. MPTCP structure

2.1.1. MPTCP의 구조

MPTCP의 기본 구조는 그림 1 과 같이 구성되어 있다. MPTCP는 기본적으로 2개의 sub-layer로 구성되는데, 먼저 MPTCP layer가 존재 하고 그 밑에 하나 이상의 subflow 존재하는 구조로 되어 있다. MPTCP layer는 connection관리와 application packet ordering을 통해 application layer을 보조하는 역할을 수행한다. Subflow layer의 경우 IP 위에서 기존의 TCP를 동작시킴으로써 신뢰성 있는 packet segment 전송과 congestion control 역할을 수행한다.

2.1.2. MPTCP 설계 고려사항

하나의 connection에는 하나의 전송 경로만 가지고 있던 TCP와는 달리, MPTCP는 기본적으로 하나의 connection에 하나 이상의 전송 경로를 가지고 있기 때문에 기존의 TCP의 동작 외의 추가적인 동작들이 필요하다. 필요한 동작들은 크게 다음과 같이 분류 될 수 있다.

- · 전송 경로 관리 : 패킷을 전송할 수 있는 경로가 한 개 이상일 수 있으므로 다중의 전송 경로를 찾아내고 다중의 전송 경로의 사용 여부의 결정을 위한 추가적인 동작이 필요하게 된다.
- · 패킷 전송 스케줄링 : MPTCP는 다중의 전송 경로가 존재 할 수 있기 때문에 실제로 패킷이 어느 경로로 전송이 되어야 할지가 결정되어야 한다. 현재 MPTCP는 각각의 전송 경로의 congesction window의 상태에 따라서 데이터를 배정하게 된다.
- · subflow 동작 관리 : 패킷 전송 스케줄링으로부터 받은 segment을 전송하기 위한 동작 관리가 필요하다. 현재는 기존의 TCP를 가지고 전송을 수행하고 있다.
- · congestion control 방법 : 여러 전송 경로에 대한 congestion control 동작과 또 이를 종합한 부분의 congestion control에 대한 고려가 있어야 한다. 또한 각각의 전송 경로는 그 전송 경로를 통하여 전송되는 TCP에 대해서 TCP fairness를 만족시켜야 한다.

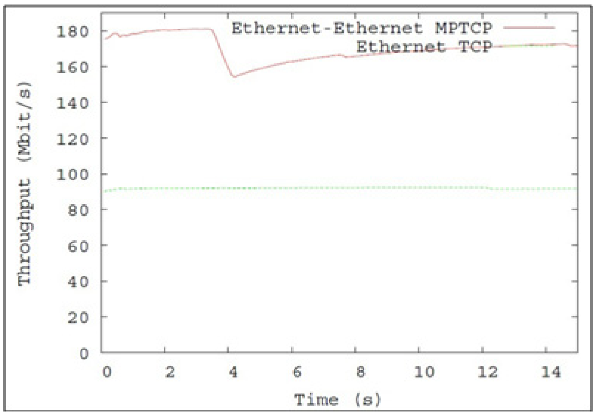

그림 2. 동일망에서의 MPTCP throughput 성능[3]
Fig. 2. MPTCP throughput performance in homogeneous networks[3]

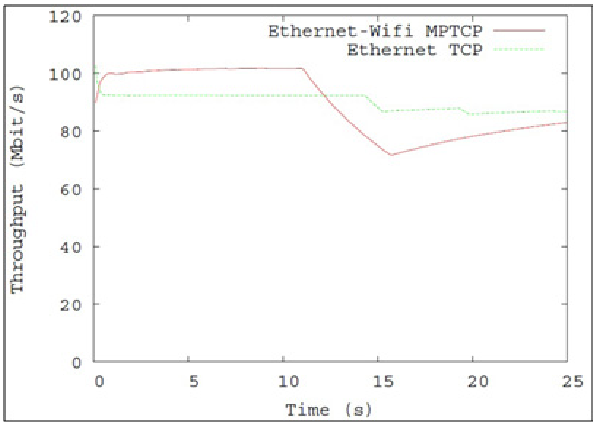

그림 3. 이종망에서의 MPTCP throughput 성능[3]
Fig. 3. MPTCP throughput performance in heterogeneous networks[3]

2.2. 이종망에서의 MPTCP 성능 평가

앞서 설명한 것과 같이 MPTCP는 여러 네트워크를 동시에 사용하여 데이터를 전송할 수 있기 때문에 더 많은 네트워크 capacity를 가질 수 있어 무선단말의 throughput 성능을 향상 시킬 수 있을 것으로 예상되어 진다. 하지만 네트워크의 성능의 차이가 나는 경로들을 통해 전송을 수행한 경우에는 오히려 성능저하의 문제가 발생되어 진다[3].

그림 2에서 보는 바와 같이 성능이 동일한 네트워크를 동시에 이용하는 경우(Ethernet-Ethernet MPTCP)에는 두 네트워크의 성능을 충분히 이용할

www.dbpia.co.kr

수 있다. 하지만 그림3과 같이 성능이 다른 네트워크를 동시에 이용하는 경우(Ethernet-Wifi MPTCP)에는 하나의 ethernet을 이용한 TCP와 throughput 성능이 비슷하거나 성능이 저하되는 결과를 얻게 되었다.

이러한 문제가 발생되는 이유로는 크게 2가지로 볼 수 있다. 하나는 현재 MPTCP의 스케줄링 방법에 있고 나머지는 비효율적인 재전송 방법에 있다. 먼저 기존의 MPTCP는 각각의 subflow에 데이터를 할당 할 때 단순히 각각의 congestion window size에 비례하여 데이터를 할당한다. 이러한 방법은 성능이 비슷한 경우에는 크게 문제가 되지 않지만 성능이 차이가 나는 경로들을 통해 전송되는 경우에는 문제가 생긴다. 먼저 성능이 나쁜 경로로 전송되는 패킷들은 상대적으로 오랜시간이 걸려 수신단에 도착하게 된다. 이로 인해 수신단에서는 패킷들의 순서가 바뀌어 도착하게 된다. MPTCP는 기존의 TCP와 같이 패킷을 순서대로 application에게 제공해야 하기 때문에 결국 패킷의 순서를 맞추기 위해서는 늦게 도착하는 패킷들을 기다려야 한다. 또한 이러한 대기 시간 동안 성능이 좋은 경로로 인해 데이터들이 수신단에 쌓이게 되고 그로 인해서 receiver window size의 크기가 점점 줄어들게 된다. 이렇게 줄어든 버퍼의 크기는 실제 송신단의 congestion window size에 영향을 미치게 되어 congestion window size를 감소시킨다. 재전송의 경우에도 비슷한 현상이 발생한다. 기본적으로 MPTCP는 subflow 별로 독립적으로 데이터를 전송한다. 따라서 성능이 나쁜 경로에서 패킷 손실이 발생하게 되면, 그 성능이 나쁜 경로로 패킷 복구를 수행한다. 이러한 경우 역시 복구하는데 상대적으로 많은 시간이 걸리기 때문에 복구 시간으로 인한 receiver window size가 줄어들게 되어 같은 문제가 발생되어 진다.

경로의 성능차이로 발생하는 문제를 해결하기 위한 기존에 연구는 다음과 같다. 먼저 각각의 경로마다 수신단 버퍼를 두어서 성능차이의 문제를 해결하려는 연구[4]가 있었으나 MPTCP는 결국 MPTCP layer에서 하나의 버퍼를 통해 데이터를 전송함으로 이러한 방법은 적합하지 않다. 또한 패킷 손실 복구로 인한 성능저하를 위해서 데이터 전송을 위한 경로와 재전송을 위한 경로를 분리하여 문제를 해결하는 연구[5]와 패킷의 순서를 고려하지 않은 패킷 손실 검출 방법[7]이 제안되었지만 재전송을 위한 경로의 성능이 좋지 않은 경우에는 이러한 문제는 위의 문제를 해결하지 못하고 또한 MPTCP는 TCP와 같이 ordering을 지원해야 하기 때문에 이러한 해결 방법은 적합하지 않다. 앞서 언급한 문제는 기존의 TCP에서 발생하는 spurious 타임 아웃 문제도 발생시킬 수 있기에 이에 대한 연구[6]도 진행되었지만 이러한 해결방법은 reordering문제를 해결할 수 없다. 따라서 MPTCP의 구조를 고려한 새로운 해결 방안이 필요하다.

Ⅲ. 제안하는 방법

본 장에서는 2.2절에서 언급한 기존 MPTCP의 문제점을 해결하기 위한 패킷 스케줄링 방법과 그에 따른 손실 복구 방법을 제안한다. 그림 4에서 보는 바와 같이 MPTCP의 전체적인 구조도 속에서 제안된 방법은 다음과 같은 역할로 동작한다. 제안된 스케줄링 방법은 송신단에 위치하여 실제로 패킷들을 전송 경로로 배정하는데 사용되어지고, 패킷 손실 복구 방법은 수신단에서 위치하여 동작되어 진다.

3.1. 패킷 순서에 기반한 MPTCP 스케줄링 방법

제안하는 스케줄링의 목적은 각각의 전송 경로의 딜레이를 고려하여 패킷을 전송 경로에 할당하여 여러 경로를 통해서 패킷이 전송되어도 수신단에서 패킷을 받았을 때는 순서에 맡게 도착하도록 스케줄링을 수행하는 것이다. 먼저 스케줄링을 위하여 각각의 전송 경로의 전송 딜레이를 예측하고 이를 이용하여 스케줄링을 수행한다. 수행되는 방법은 다음과 같다.

전송 경로 i에서 송신단에서 수신단까지 걸리는 딜레이 T_i는 식 1와 같이 Round-trip-time 시간의 반으로 가정한다. 제안된 방법은 RTT를 기반으로 도착할 시간을 예측하기 때문에, RTT의 변화가 심할 경우에는 예측이 정확하게 되지 않을 수도 있다. 하지만 정확하게 데이터의 도착을 예측하지 못할지라도 전송 경로의 delay를 고려한 스케줄링을 수행하였기 때문에 기존의 방법보다 ordering으로 인한 대기 시간을 줄일 수 있을 것이다.

$$T_i = \frac{RTT_i}{2} \tag{1}$$

RTT_i는 각 전송 경로 i에 대한 round-trip-time이다. 이후 위의 T_i의 정보를 이용하여 특정 전송 경로 i를 이용해서 전송될 패킷들이 수신단에 도착할 시간 $T_{i,n}$을 예측한다.

www.dbpia.co.kr

표 1. 기존의 연구 방법 요약.
Table 1. of the presented solutions for multiple paths problem.

scheme	advantage	disadvantage
Buffer splitting method [4]	solve the HOL problem in sender	need multiple buffers in MPTCP
path selection for retransmission [5]	improve efficiency of the retransmission	only have effect on the retransmission
packet loss detection in multiple path [7]	improve accuracy of packet loss detection in multiple path.	packet ordering is not considered
solutions of spurious time-out problem in MPTCP [6]	solve the spurious time out problem	there is not a solution for difference of the path performance

$$T_{i,n} = (n-1)^* D_t + \frac{RTT_i}{2} \quad (2)$$

$T_{i,n}$는 현재 n번째 패킷이 전송경로 i를 통해 전송될 경우 송신단에 도착할 예정시간이다. D_t는 전송 딜레이(transmission delay)이다. 이후 각각의 path에서의 $T_{i,n}$ 정보를 모아서 수신단에 빨리 도착하는 순서로 정렬시킨다. 이렇게 정렬된 순서는 전송 될 패킷 순서와 매칭되고, 전송 될 패킷은 매칭된 전송 경로의 전송 버퍼에 들어가서 전송이 수행되어 진다. 제안된 방법은 congestion control 이전에 스케줄링을 수행하기 때문에 기존의 congestion control 동작에는 영향을 미치지는 않는다. 제안된 방법을 사용하면 네트워크의 환경에 따라서 congestion window는 충분하지만 스케줄링으로 인해 데이터가 할당되지 않아 전송 될 수 있는 데이터가 전송되지 않을 수도 있지만, 이러한 제한은 오히려 congestion window에 따른 전송으로 인해 오히려 추후에 congestion window를 감소시키는 영향을 방지하게 된다. 그림 5는 두 개의 전송 경로를 사용한 예시가 되겠다. 두 개의 전송 경로에서 측정된 $T_{i,n}$을 빨리 수신단에 도착하는 순서로 정렬을 시킨 후 이를 패킷 순서와 매칭을 시키면 그림과 같이 1번부터 3번 패킷은 1번 전송 경로와 매칭이 되고 4번 패킷은 2번 전송 경로와 매칭이 되고 다시 5번부터 1번 전송 경로와 매칭이 된다. 이후 각각의 패킷은 매칭된 전송 경로의 전송 버퍼로 들어가게 되고 각각의 전송 버퍼는 들어온 순서대로 전송을 수행하게 된다. 이렇게 스케줄링을 수행을 하면 수신단에서는 여러 전송 경로로 데이터를 전송함에도 불구하고 패킷 순서대로 패킷을 전송 받을 수 있다.

3.2. 수신단 기반의 손실 복구 방법

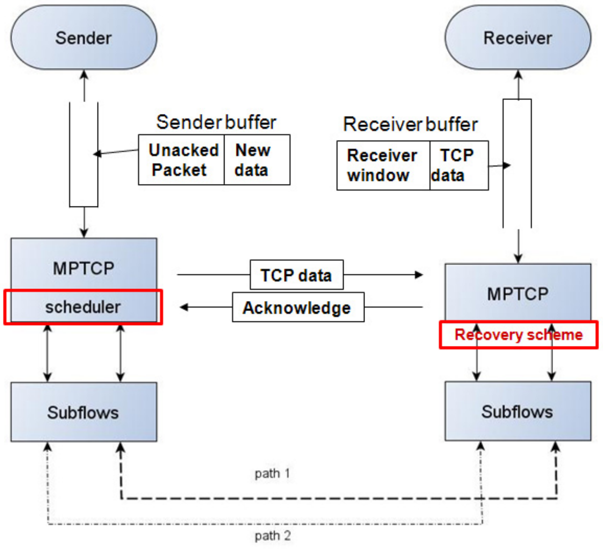

그림 4. 제안된 MPTCP 구조
Fig. 4. proposed MPTCP architecture

제안하는 손실 복구 방법은 성능이 좋지 않은 경로에서 발생되는 패킷 손실이 더 성능이 좋은 경로를 통해 복구함으로써 복구 성능을 향상시키는 것에 있다. 제안된 패킷 복구 방법은 제안된 스케줄링 방법과 같이 전송되는 패킷이 subflow level sequence 뿐만 아니라 MPTCP level sequence도 in-order sequence를 보장하는 경우를 가정한다. 먼저 MPTCP는 MPTCP level의 패킷 sequence와 전송 경로에서의 sequence가 존재한다. 현재 MPTCP는 전송 경로에서의 독립성을 보장하기 위해서 전송 경로의 sequence를 통해 패킷 손실을 측정한다. 하지만 제안하는 스케줄링 방법을 이용하면 단순히 전송 경로에서의 seuqence뿐만 아니라 전체 MPTCP level의 sequence가 순서대로 도착한다고 예상할 수 있기 때문에 이러한 정보를 이용하면 더 빠르게 패킷 손실을 복구 할 수 있다. 따라서 제안

www.dbpia.co.kr

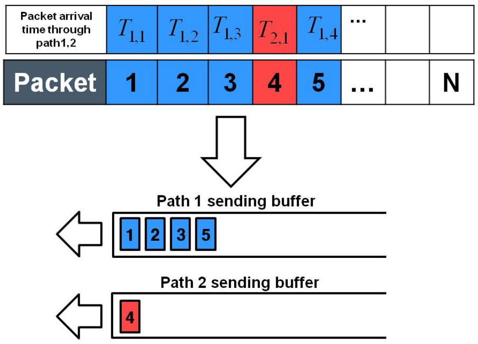

그림 5. 제안된 스케줄링 방법
Fig. 5. proposed scheduling scheme

하는 손실 복구 방법은 두 sequence를 모두 고려한다. 먼저 수신단에서 각각의 전송 경로에서의 전송 경로 sequence를 확인하고 만약 패킷에서 기대하는 전송 경로 sequence보다 더 높은 sequence가 도착하게 되면 MPTCP level의 sequence를 확인한다. 이후 수신단에서 MPTCP level에서의 sequence가 기대되는 MPTCP level sequence보다 더 높은 sequence를 가진 패킷 2개가 도착하게 되면 MPTCP level에서 기대 되는 패킷 sequence보다 더 높은 sequence를 가진 패킷이 3개가 도착하게 된 것이므로 그 패킷은 loss가 된 것으로 판단하고 전송 경로 중에서 가장 좋은 성능을 가진 경로로 재전송을 요청하고 그에 따라서 재전송을 수행함으로써 손실된 패킷을 빠르게 복구 할 수 있다.

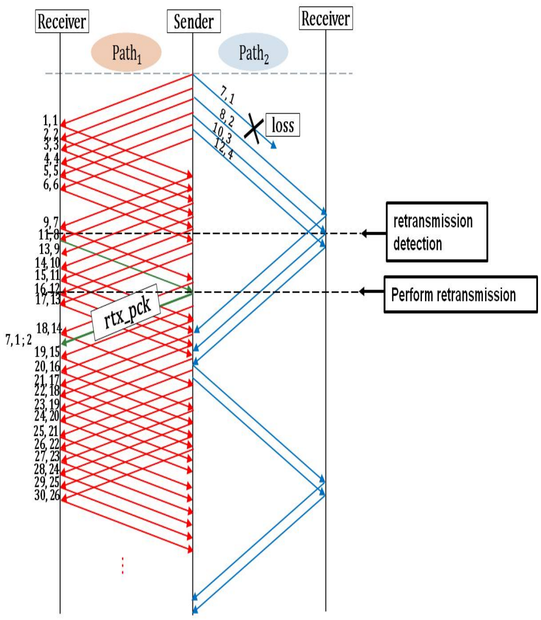

그림 6. 제안된 복구 방법 예제
Fig. 6. an example of proposed recovery scheme

표 2. 시뮬레이션 파라미터
Table 2. simulation parameters

parameters	Value
packet size	1500byte
receiver buffer size	500 packet (750KB)
link speed (path 1) link speed (path 2)	100Mbps 50Mbps
link delay (path 1) link delay (path 2)	3ms 15ms
loss late	1%

그림 6는 제안된 손실 복구 방법의 예시이다. 먼저 그림에서 첫 번째 숫자는 MPTCP level의 패킷 sequence이고 그 뒤의 숫자는 각각의 전송 경로에서의 패킷sequence이다. 그림의 예시에서는 1번 전송경로가 2번 전송경로보다 더 좋은 성능을 가진다. 먼저 그림에서 보는 것과 같이 제안된 스케줄링 방법을 이용해서 1번 전송 경로와 2번 전송 경로로 데이터 패킷이 전송 된다. 이후 2번 전송경로에서 1번 패킷 (MPTCP level sequence = 7)가 손실이 되고 이후 2번 패킷 (MPTCP level sequence =8)이 도착하게 되면 수신단은 그때부터 MPTCP level의 sequence를 확인한다. 손실된 패킷의 MPTCP level sequence 가 7임을 확인하고 이후부터 1번 전송 경로와 2번 전송경로에서 도착한 패킷의 MPTCP level의 sequence를 확인하게 된다. 이후 1번 전송 경로에서 7번 패킷 (MPTCP level sequence =9)와 2번 전송경로에서의 3번 패킷 (MPTCP level sequence =10)을 통해 패킷 손실을 확인하고 전송 성능이 빠른 1번 전송 경로로 MPTCP level sequence =7번 패킷에 대해서 재전송을 요청하고 1번 전송 경로를 통해 재전송이 수행된다.

Ⅳ. 성능 평가

4.1. 시뮬레이션 환경

본 장에서는 제안된 스케줄링 방법과 패킷 손실 복구 방법의 성능을 평가하기 위한 시뮬레이션 환경을 설명하고 그 결과를 분석한다. 대조군으로 사용된 MPTCP protocol은 [1] 표준 문서에 기반한 버전이고 그림 4에서 처럼 송신단을 수정하여 제안된 스케줄링 방법을 적용하였고, 송신단 부분의 수정을 통해 재전송 방법을 적용하여서 시뮬레이션을 수행하였다. 그림 7과 같이 기본적으로 송신단 수신단은 2개의 전송 경로(path1, path2)를 가지고 있고

www.dbpia.co.kr

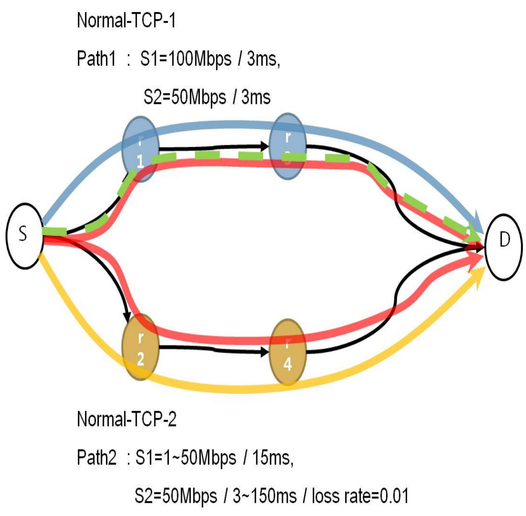

그림 7. 시뮬레이션 환경
Fig. 7. simulation environment

각각의 전송 경로에 라우터들을 두어 네트워크의 성능을 변화시켜가면서 시뮬레이션을 수행하였다. 각각의 스케줄링 성능과 손실 복구 성능을 평가하기 위해서 2가지의 시뮬레이션 시나리오를 이용하였다. 첫 번째 시나리오는 제안된 스케줄링의 성능의 평가를 하기 위해서 path1의 성능을 고정시키고(link speed=100Mbps, delay=3ms), path2에 대해서 대역폭을 조절해가면서(link speed=1~50bps, delay=15ms) 얻어지는 throughput의 성능 및 수신단의 버퍼 사이즈를 통해 기존의 방법과 제안된 스케줄링을 사용했을 때의 성능을 비교하였다. 두 번째 시나리오는 제안된 손실 복구 방법의 성능을 평가하기 위해서 path1의 성능을 고정시키고(link speed=50Mbps, delay=3ms), path2의 딜레이를 변화시켜가면서(link speed=50bps, delay=1~150ms, loss rate=0.01) 손실 복구 시간과 수신단의 버퍼 사이즈를 통해서 성능을 비교하였다. 성능이 나쁜 경로에서의 손실에 대한 성능분석을 위해서 path2에서만 loss rate를 설정하였다.

그림 8은 첫 번째 시나리오를 통해 구한 결과로써 path2의 대역폭 성능의 변함에 따른 단말의 end-to-end throughput 성능이다. 파란 실선은 path1만을 가지고 TCP를 통해 데이터를 전송했을 때 얻을 수 있는 throughput 성능 결과 이다. 현재의 MPTCP를 사용했을 때는 두 전송 경로의 성능차이가 크게 되면 throughput 성능이 저하되어 하나기존의 TCP통해 하나의 전송 경로로 보내는 것이 더 좋은 성능을 가지게 된다. 제안된 방법은 두 path간의 성능 차이가 크게 발생된 경우에는 여전히 성능

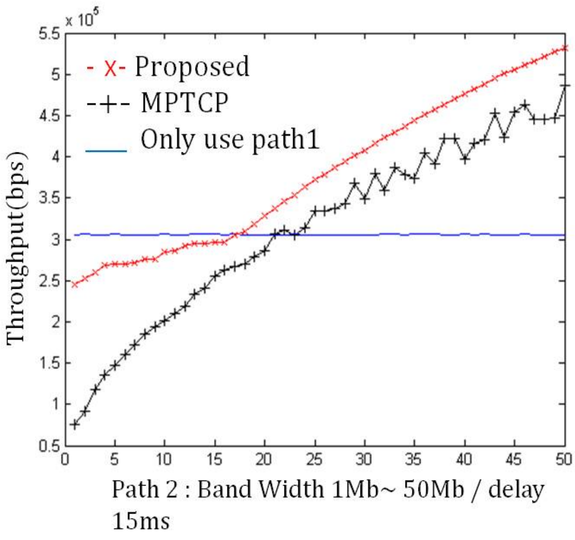

그림 8. path2의 대역폭 성능의 변화에 따른 throughput 성능
Fig. 8. throughput performance according to path2's BW

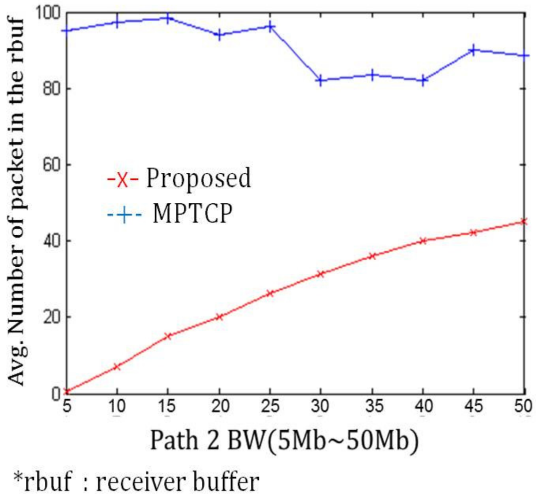

그림 9. path2의 대역폭 성능의 변화에 따른 수신단에 대기하고 있는 패킷의 수
Fig. 9. number of packets in the rbuf according to path2's BW

저하를 겪지만 기존의 MPTCP보다는 성능 저하를 줄이는 것을 확인 할 수 있다. 이렇게 성능 저하를 줄일 수 있는 이유는 그림9의 결과로 확인 할 수 있다.

그림 9은 path2의 대역폭 성능 변화에 따른 수신단에서 대기하고 있는 패킷의 수의 결과를 나타낸다. 그림 9에서 보면 제안된 방법이 기존의 방법보다 수신단에 대기하고 있는 패킷의 양을 줄일 수 있는 것을 확인할 수 있다. 이러한 결과는 제안된 스케줄링 방법을 통해서 수신단에서 발생되는

www.dbpia.co.kr

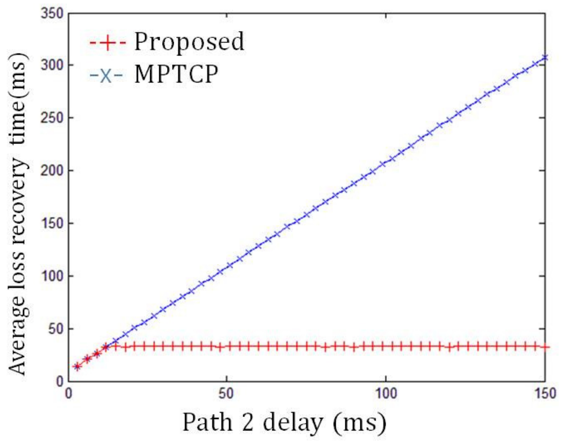

그림 10. path2의 대역폭 성능의 변화에 따른 수신단에 대기하고 있는 패킷의 수
Fig. 10. number of packets in the rbuf according to path2's BW

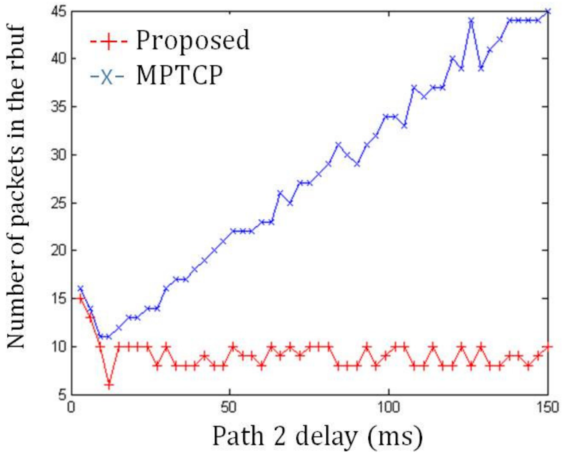

그림 11. path2의 대역폭 성능의 변화에 따른 수신단에 대기하고 있는 패킷의 수
Fig. 11. number of packets in the rbuf according to path2's BW

reordering 현상을 줄임으로써 수신단에서 발생하는 대기 패킷 수를 줄인 것으로 볼 수 있다. 따라서 위의 두 결과를 종합해 보면 제안된 스케줄링 방법을 사용하면 기존의 MPTCP에서 발생 될 수 있는 reordering으로 인해 발생하는 수신단에서 대기하고 있는 데이터의 양을 줄임으로써 기존의 end-to-end throughput 성능저하를 줄일 수 있다.

그림 10는 두 번째 시나리오를 통한 결과로써 path2의 딜레이가 증가함에 따른 평균 패킷 손실 복구 시간이다. 그림에서 보는 바와 같이 제안된 방법을 사용하면 실제로 path2 딜레이의 변화에 상관없이 패킷 손실의 복구 시간을 일정하게 가져갈 수 있다. 이러한 결과는 제안된 패키 손실 복구 방법이 단순히 전송 경로에 독립적으로 동작하는 것이 아닌 MPTCP level sequence를 이용하기 때문에 일정한 데이터가 들어오면 그에 따라 패킷 손실 복구 동작 될 수 있기 때문이다.

그림 11은 이러한 패킷 손실 동작으로 인한 수신단에서 대기하고 있는 패킷의 수이다. 결과에서 보는 바와 같이 제안된 패킷 손실 복구 방법은 패킷 손실을 복구하는데 일정한 시간을 소요하기 때문에 path2의 딜레이가 증가함에도 불구하고 일정한 수의 대기 패킷만이 존재하는 것을 확인 할 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 이종망에서 MPTCP가 동작할 때 경로들의 성능차이로 발생하는 문제점을 해결하기 위해서 MPTCP를 위한 패킷 전송 스케줄링 방법과 패킷 손실 복구 방법을 제안하였다. 제안된 스케줄링 방법은 각각의 네트워크의 전송 딜레이를 측정하고 이를 근거로 전송되는 패킷들이 수신단에 순서대로 도착하도록 스케줄링을 수행함으로써 reordering 문제를 줄였다. 또한 제안된 패킷 손실 복구 방법은 송신단에서 MPTCP level sequence를 이용함으로써 더 빠르게 패킷 손실을 찾아내고 성능이 좋은 경로를 이용하여 패킷 손실을 복구함으로써 손실 복구 시간을 줄였다. 시뮬레이션을 통해서 제안된 스케줄링 방법이 기존의 MPTCP 방법보다 더 나은 throughput 성능과 수신단에서의 패킷 대기 시간을 줄일 수 있는 것을 확인 할 수 있었다. 또한 제안된 패킷 손실 방법은 네트워크의 변화에 관계 없이 일정한 손실 복구 시간을 가지는 것을 확인할 수 있었다. 추후 연구에는 좀 더 다양한 환경에서의 성능 분석과 네트워크의 변화에 따른 성능 평가도 추가적으로 수행할 예정이다.

References

[1] TCP Extensions for Multipath Operation with Multiple Addresses draft-ietf-mptcp-multiaddressed -05, Jan 2012

[2] Coupled Congestion Control for Multipath Transport Protocols RFC 6356, Oct 2011.

[3] S. C. Nguyen and T. M. Nguyen, "Evaluation of Multipath TCP Load Sharing with Coupled Congestion Control Option in Heterogeneous Networks", *Global Information Infrastructure Symposium (GIIS)*,

www.dbpia.co.kr

pp.1-5, Aug. 2011.

[4] T. Dreibholz, M. Becke, E. P. Rathgeb, and M. T¨uxen, "On the Use of Concurrent Multipath Transfer over Asymmetric Paths," *in Proceedings of the IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM)*, Miami, Florida/U.S.A., pp.1-6, Dec 2010.

[5] X. Guo and J. Liu, "Path diversified retransmission for TCP over wireless mesh networks", *2010 18th International Workshop on Quality of Service (IWQoS)*, pp. June 2010.

[6] B. Chihani and D. Collange, "A Multipath TCP model for ns-3 simulator", *Workshop on ns-3 held in conjunction with SIMUTools 2011*, Barcelona/Spain, pp.1-9, Dec 2011.

[7] P. Natarajan, N. Ekiz, E. Yilmaz, P. D. Amer, and J. Iyengar, "Non-Renegable Selective Acknowledgments (NR-SACKs) for SCTP," *in Proceedings of the 16th IEEE International Conference on Network Protocols (ICNP)*, Orlando, Florida/U.S.A., pp.187-196, Oct 2008.

[8] Y. Dong, D. Wang, N. Pissinou and J.Wang, "Multi-path load balancing in Transport layer", *3rd EuroNGI Conference*, pp.135-142, May 2007.

[9] R. Dunaytsev, Y. Koucheryavy, and J. Harju, "Refined PFTK-Model of TCP Reno Throughput in the Presence of Correlated Losses", *in Proc.* WWIC, May, 2005, pp. 42-53.

[10] Hanah Kim, Bong-Hwan Oh, Jaiyong Lee, "Improvement of MPTCP Performance in heterogeneous network using packet scheduling mechanism", *The 18th Asia-Pacific conference on Communications*, Jeju Island, Korea, P-1.19, October, 2012

오 봉 환 (Bong-Hwan Oh)

2009년 2월 연세대학교 전기 전자공학부
2011년 2월 연세대학교 전기 전자공학부 석사
2011년 3월~현재 연세대학교 전기 전자공학부 박사과정
<관심분야> Transport layer protocols, wireless multihop Networks

김 한 아 (Hanah Kim)

2010년 8월 연세대학교 전기 전자 공학부
2012년 8월 연세대학교 전기 전자 공학부 석사
<관심분야> Multi-Path TCP,

이 재 용 (Jaiyong Lee)

1977년 2월 연세대학교 전자 공학과
1984년 5월 IOWA State University 공학석사
1987년 5월 IOWA State University 공학박사
1987년 6월~1994년 8월 포항 공과대학 교수
1994년 5월~현재 연세대학교 전자공학과 교수
<관심분야> Protocol Design for Wired/Wireless QoS Management, Ubiquitous Sensor Network, Wireless Multihop Network

www.dbpia.co.kr