논문 2006-43TC-8-9

이기종 무선 망간 vertical handoff시 대역폭 측정을 통한 TCP 성능향상 혼잡제어 알고리즘

(Congestion Control Algorithm for TCP Performance Enhancement by Bandwidth Measurement in Vertical Handoffs between Heterogeneous Wireless Networks)

황 안 규*, 이 재 용**, 정 회 진*, 김 병 철**

(An Kyu Hwang, Jae Yong Lee, Whoi Jin Jung, and Byung Chul Kim)

요 약

최근 무선 인터넷 및 WLAN이 활성화 되면서 3G 이동 통신망과 WLAN망의 연동으로 보다 넓은 서비스 영역에서 높은 데이터 전송 속도를 제공하기 위한 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 3G와 WLAN 연동망에서 이동 단말이 서로 다른 망으로 이동할 경우 높은 데이터 전송을 제공하기 위해서 끊김 없는 vertical handoff를 수행한다. 이동 단말이 TCP 연결 상태에서 vertical handoff를 수행하여 대역폭이 다른 망으로 이동할 경우 기존의 TCP 정보를 그대로 이용하면 3G와 WLAN 망간의 서로 다른 대역폭으로 인하여 패킷 손실이 발생하고 이로 인하여 TCP 성능이 낮아지게 된다. 본 논문은 vertical handoff를 통해 새로운 망으로 이동하였을 경우 사용가능한 대역폭을 측정하여 TCP에 적용함으로써 TCP의 성능향상을 위한 새로운 혼잡제어 알고리즘을 제안하였고, ns-2 시뮬레이션을 통해 기존에 제안되었던 알고리즘보다 vertical handoff 시 TCP 성능이 향상됨을 보였다.

Abstract

With the widespread of the wireless Internet and wireless LAN, different wireless technologies such as 3G cellular networks and WLAN will cooperate to support more users and applications with higher data rate over wider areas. When a mobile node moves around in the hybrid networks, it needs to perform seamless vertical handoffs between different wireless networks to provide high performance data transmission. When an application with TCP connection in a mobile node performs a vertical handoff, TCP performance is degraded due to packet losses even though it maintains the previous TCP state information during handoff, because 3G and WLAN have different available bandwidth. In this paper, we propose a new congestion control algorithm for vertical handoff to improve the TCP performance by measuring the rough end-to-end available bandwidth and calculating the slow-start threshold. By ns-2 simulation, we show that the proposed algorithm enhances the TCP performance during vertical handoffs compared to the previous algorithms.

Keywords: Wireless LAN, Vertical handoff, TCP performance, BW measurement

I. 서 론

최근 이동 단말의 급격한 증가와 함께 일반 음성 서비스 이외에 방송, 멀티미디어 영상, e-mail, 멀티미디어 메시지 등 다양한 서비스를 제공하고 있다. 따라서 이동 노드는 점차 높은 대역폭이 필요로 하게 되었으며 WLAN(Wireless Local Area Network)의 높은 데이터 전송 속도를 사용하고자 하는 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 3G 이동 통신망은 넓은 영역의 서비스 영역을 제공하지만 낮은 데이터 전송 속도와 가격이 비싸다는 단점을 가진다. WLAN은 높은 데이터 전송 속도를

* 학생회원, 충남대학교 정보통신공학과
(Department of Information and Communications Engineering, Chungnam National University)
** 종신회원, 충남대학교 전기정보통신공학부
(Division of Electrical and Computer Engineering, Chungnam National University)
접수일자: 2006년2월3일, 수정완료일: 2006년8월18일

제공하며 가격도 저렴하다는 장점을 가지지만 서비스 영역이 좁다는 단점을 가지고 있다. WLAN[1]은 IEEE 802.11이 1999년에 처음 발표되었고 현재 2.4GHz대와 5GHz대의 무선 주파수를 사용하여 11Mbps와 54Mbps의 속도를 지원하고 있다[2][3]. 이중 DS(Direct Sequence) 대역 확산 기법을 이용하여 최대 11Mbps를 지원하는 IEEE 802.11b 표준이 가장 많은 시장을 구축하고 있다. 이러한 WLAN 서비스는 높은 데이터 전송율에도 불구하고, 제한된 서비스 영역으로 인해 호텔, 극장, 공항 및 기업과 가정 내 일부 지역에서만 서비스가 제공되어 사용자가 언제 어디서나 인터넷 접속등 데이터 서비스를 제공받는 데 한계점을 가지고 있다. 따라서 이동 단말이 WLAN의 서비스를 받을 수 없는 환경에서는 3G 이동 통신망을 이용하고 WLAN의 영역으로 이동할 경우 높은 대역폭의 WLAN 서비스를 받고자 하는 연구가 진행되고 있다.

TCP 프로토콜은 현제 인터넷에서 광범위하게 사용되고 있으며 인터넷 트래픽의 90%을 차지하고 있다[4]. TCP는 slow-start와 AIMD(additive increase and multiplicative decrease)라는 혼잡제어를 통해 최적의 가용대역폭을 찾기 위해서 노력하며 사용가능한 대역폭에 적절한 데이터를 송신하기 위해서 혼잡윈도우(congestion windows: CWND)와 윈도우 임계값(ssthresh)의 정보를 계속적으로 갱신한다. 하지만 TCP는 유선망에서 디자인되었으며 무선네트워크나 이동노드를 지원하는 환경에서 많은 문제점을 가지고 있다. TCP는 패킷이 손실되었을 경우 네트워크의 혼잡으로 인식하고 CWND를 감소하게 되지만 무선네트워크에서의 경우 높은 비트에러율과 이동노드의 이동으로 인하여 패킷 손실이 발생하며 이로 인하여 불필요하게 TCP CWND 값이 감소하게 된다. 이는 무선네트워크에서 TCP성능이 감소하는 주요 원인이 되며 이를 해결하기 위해 기존의 많은 연구가 진행되었다[5][6][7].

본 논문은 이기종 망간에 이동노드가 이동을 할 경우 TCP 성능향상을 향상하기 위해서 새로운 알고리즘을 제안한다. 3G와 WLAN과 같이 대역폭이 서로 다른 망간의 노드가 이동할 경우 TCP의 기존 상태를 유지할 경우 TCP 성능이 떨어지게 된다. 이는 노드가 WLAN에서 3G로 이동할 경우 3G의 작은 대역폭에 의해서 많은 패킷의 손실이 발생하게 되며 3G에서 WLAN으로 이동할 경우 TCP는 WLAN의 큰 대역폭에 빠르게 적용하지 못하는 문제점으로 인해서 TCP 성능을 떨어뜨리게 된다. 본 논문에서 제안한 알고리즘은 이동 노드가 새로운 망으로 이동할 경우 새로운 망에서 사용가능한 대역폭을 측정하여 이 값을 TCP 윈도우 임계값으로 적용한다. 이는 이동노드가 WLAN에서 3G로 이동할 경우 "cwnd=1"로 시작하고 측정된 값까지 slow start함으로써 패킷이 다량으로 손실되는 문제점을 해결할 수 있으며, 3G에서 WLAN으로 이동할 경우 이전 3G망에서 사용한 CWND를 유지한 상태에서 측정된 값까지 slow start 함으로써 WLAN의 큰 대역폭에 빠르게 적용함으로써 TCP성능을 향상시킬 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 Ⅱ장에서는 수직적 핸드오프를 위한 개념과 단말의 요구사항을 알아보고 기존에 TCP 성능향상을 위해 제안된 알고리즘에 대해서 알아본다. 제 Ⅲ장에서는 본 논문에서 수직적 핸드오프 시에 TCP 성능 향상을 위해 제안한 알고리즘에 대해서 설명한다. 제 Ⅳ장에서는 제안된 알고리즘과 기존에 제안되었던 알고리즘을 시뮬레이션을 통해 성능을 비교 분석하였으며 제 Ⅴ장에서는 결론을 맺는다.

Ⅱ. 수직적 핸드오프 개요 및 기존 연구

본 장에서는 핸드오프의 종류에 대해서 알아보고, WLAN과 3G 망간의 연동 서비스에 필요한 단말기에 대한 요구사항을 알아본다. 또한 기존에 수직적 핸드오프에서 TCP 성능 향상을 위해 제안되었던 알고리즘에 대해서 살펴본다.

1. 수직적 핸드오프 및 단말기 요구사항

핸드오프는 크게 수평적 핸드오프(horizontal handoff)와 수직적 핸드오프(vertical handoff)로 나눈다. 수평적인 핸드오프는 같은 형태의 망간의 이동을 말하며 WLAN과 WLAN 사이의 이동이나 3G 망에서 기지국 사이의 이동을 나타낸다. 수직적인 핸드오버는 WLAN과 3G와 같이 서로 다른 망으로의 이동을 나타낸다. 또한 수직적 핸드오프를 상향 수직적인 핸드오프(upward vertical handoff)와 하향 수직적인 핸드오프(downward vertical handoff)로 구분한다[8]. 상향 수직적인 핸드오버는 WLAN에서 3G 망으로의 이동과 같이 커버리지가 좁고 높은 대역폭을 지원하는 망에서 커버리지가 넓고 낮은 대역폭을 지원하는 망으로의 이동을 말한다. 반대로 하향 수직적인 핸드오버는 커버리지가 넓고 낮은 대역폭을 지원하는 망에서 커버리지는 좁지만 높은 대역을 지원하는 망으로의 이동을 말한다.

WLAN과 3G 망간의 연동 서비스에 필요한 이동 단

말기는 WLAN과 3G 망 인터페이스와 각각을 위한 프로토콜이 모두 탑재되어야 한다. 또한, WLAN의 주파수와 이동통신의 주파수가 다르기 때문에 각각의 모듈에 대하여 안테나 및 RF 부분이 구현되어야 하며, 이동 노드가 새로운 망으로 이동할 경우 기존의 연결된 서비스를 끊짐 없이 제공받기 위해서 이동성 프로토콜이 지원되어야 한다. mobile IP(MIP) 프로토콜[9]이 대표적이며 이는 세션 계층에서 연결을 유지한 상태에서 물리계층의 이동을 제공함으로써 이기종간망간의 연동 서비스를 쉽게 지원할 수 있는 방법이다. MIP 및 이동성 프로토콜로 인하여 핸드오프 중에 패킷 손실을 줄일 수 있지만 패킷 순서 뒤바뀜이나 TCP timeout과 같은 문제점으로 인하여 TCP성능이 떨어지게 된다. 이를 해결하기 위해서 많은 연구가 진행되었으며 다음절에서는 본 논문에서 제안된 알고리즘과 관련된 연구에 대해서 알아본다.

2. 기존 연구

WLAN에서 핸드오프시에 TCP 성능이 저하되는 문제를 해결하기 위한 방법으로서 Freeze-TCP가 제안되었다[5]. 이동 단말은 무선 안테나의 신호 강도를 정확히 모니터 할 수 있고, 핸드오프가 일어날 것을 감지할 수 있으며 심지어 일시적 연결 중단을 예상할 수 있다. 이 경우 이동 단말은 윈도우 크기를 0으로 송신측에 광고함으로써 송신자가 ZWP(Zero Window Probes) 모드로 동작하게 하고, 핸드오프가 끝난 후 수신 가능한 윈도우 사이즈를 중복된 ACK과 함께 송신측에 알리게 된다. 이를 수신한 송신자 측에서는 기존의 혼잡윈도우 값과 윈도우 임계값을 그대로 사용하고 타이머가 정상적으로 동작하게 된다. 따라서 핸드오프로 인해 송신자의 TCP가 타임 아웃이 발생하거나 패킷 손실로 인해 혼잡 윈도우가 감소하는 것을 방지함으로써 TCP의 성능이 저하되는 것을 방지할 수 있다. 하지만 freeze-TCP의 경우 수평적 핸드오프에 대해서 성능향상을 보이지만 수직적 핸드오프 시 문제점을 가지게 된다. 하향 수직적인 핸드오프에서는 낮은 대역에서 사용되었던 TCP의 혼잡윈도우와 윈도우 임계값을 그대로 사용함으로써 높은 대역의 자원을 사용하는데 오랜 시간이 소요된다. 또한, 상향 수직적인 핸드오프에서는 높은 대역의 혼잡윈도우와 윈도우 임계값을 그대로 사용할 경우 많은 패킷이 손실되어 TCP의 성능이 급격하게 나빠지는 것을 볼 수 있다.

수직적 핸드오프 시에 물리적 계층의 정보를 TCP에서 사용하여 TCP 성능을 개선하려는 알고리즘이[10] 제안되었으며 본 논문에서는 이 알고리즘을 SS-TCP로 나타낸다. SS-TCP에서 제안한 이동단말의 프로토콜 스택은 그림 1과 같다. 이동 단말은 3G와 WLAN 두 개의 네트워크 인터페이스 카드가 설정되어 있어야 하며 수신신호강도를 측정하고 이들의 정보를 TCP에 알려주는 RRC(Radio Resource Control) 모듈을 추가한다. 이동 단말은 핸드오프가 이루어질 경우 수신신호강도를 통해서 미리 감지할 수 있으며 이를 TCP 계층에 알려주게 된다. 이동단말의 TCP는 핸드오프 정보를 모든 TCP 송신자에게 전달하게 되고, 이를 수신한 TCP 송신자는 freeze-TCP에서의 ZWP 모드로 동작함으로써 핸드오프 동안 타임아웃 발생을 방지하게 된다. 핸드오프 이후 TCP 헤더 옵션 필드 2bit를 사용하여 핸드오프의 유무와 수직적 핸드오프 및 수평적 핸드오프에 대한 정보를 알려준다. 송신자는 수평적 핸드오프일 경우 freeze-TCP와 동일하게 동작하고, 수직적 핸드오프일 경우 TCP의 윈도우 임계값을 최대 윈도우 값 (65535 bytes)으로 설정하고 혼잡 윈도우를 1로 함으로써 TCP의 기본적인 slow-start 구간으로 동작한다.

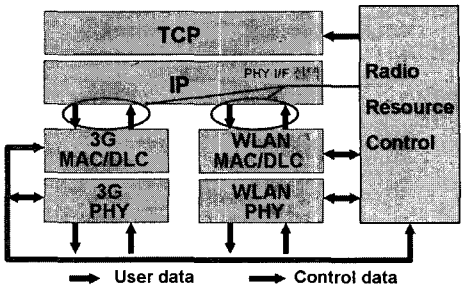


그림 1. SS-TCP에서 이동단말의 프로토콜 스택
Fig. 1. Protocol stack of mobile station in SS-TCP.

SS-TCP는 이동단말이 수직적 핸드오프를 수행하였을 경우 slow-start로 동작함으로써 freeze-TCP에서 서로 다른 망에서 사용되었던 TCP의 정보를 그대로 사용함으로서 발생하는 문제점을 해결하였다. 하지만 상향 수직적 핸드오프에서 TCP가 윈도우 임계값을 최대 윈도우 값으로 설정하고 slow-start를 수행하게 되면 CWND가 급격하게 증가하게 되어 많은 패킷이 손실되는 문제점이 발생한다. 또한, 하향 수직적 핸드오프의 경우 새로운 망에서 대역폭이 증가했음에도 불구하고 새로운 망의 상태를 모른 채 기존 TCP의 상태를 유지하고 slow-start를 수행하게 되면 CWND가 급격하게 증가하게 되어 이로 인해 패킷 손실 후 적정한 대역을 찾기 위해 많은 시간이 필요로 하게 된다.

Ⅲ. Vertical handoff시 TCP 성능향상을 위한 대역폭 측정 기반 혼잡제어 알고리즘

이번 장에서는 본 논문에서 제안한 수직적 핸드오프에서 TCP 성능향상을 위한 새로운 혼잡제어 알고리즘에 대해서 설명한다. 본 논문에서 제안하는 알고리즘은 SS-TCP와 같이 RRC 모듈을 사용한다. 이동 단말은 수직적 핸드오프가 발생하였을 경우 하향 수직적인 핸드오프와 상향 수직적인 핸드오프를 구분하고 서로 다른 혼잡 제어를 수행한다. 하향 수직적 핸드오프의 경우 TCP는 3G에서 사용한 CWND 값을 유지하며 slow start를 수행한다. 이는 TCP가 WLAN의 큰 대역폭에 빠르게 적응하지 못하는 문제점을 해결하기 위한 것이다. 또한, 적절한 ssthresh 값을 알지 못해서 CWND가 증가되고 패킷이 손실되는 문제를 해결하기 위해 새로운 경로에서 사용가능한 대역폭을 측정한 후 slow-start 임계점(ssthresh)으로 설정한다. 상향 수직적 핸드오프의 경우 cwnd를 1로 설정하고 slow start를 수행한다. 이는 TCP가 핸드오프 이전에 높은 대역폭을 가진 환경에서의 cwnd를 그대로 적용할 경우 낮은 대역폭을 가진 새로운 망에서 다량의 패킷 손실이 발생하는 문제점을 해결할 수 있다. 또한, 가용대역폭을 측정하여 ssthresh에 설정함으로써 TCP가 가용대역폭을 초과하는 것을 방지할 수 있다. 본 논문에서 제안한 알고리즘을 Measurement-based slow-start TCP (MSS-TCP)로 나타낸다.

1. 대역폭 측정 방법

대역폭 측정은 기존에 제안된 방법으로 <그림 2>와 같이 TCP 송신자 측에서 수신한 ACK을 통해 계산되어진다[11]. 임의의 $k-1$번째 ACK에 의해서 계산되어진 대역폭을 $BW_{E,k-1}$라 하면, k 번째 ACK이 수신되었을 때 대역폭 $BW_{E,new}$ 측정은 식 (1)과 같다. T_k 는 $k-1$ 번째 ACK과 k 번째 ACK 이 수신된 시간 차이를 나타내며, $Packetsize_k$는 $k-1$번째 ACK과 k 번째 ACK 사이에 확인 응답된 패킷의 총 크기를 나타낸다. 식 (2)는 $BW_{E,k}$를 EWMA(Exponentially Weighted Moving Average) 방법으로 계산하는데 파라미터 α를 사용하여 새롭게 측정한 대역폭의 적용 비율을 조절할 수 있다.

$$BW_{E,new} = \frac{BW_{E,k-1} * RTT + PacketSize_k}{RTT + T_k} \quad (1)$$

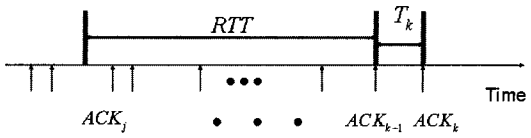


그림 2. 대역폭 측정 방법
Fig. 2. Bandwidth measurement in MSS-TCP.

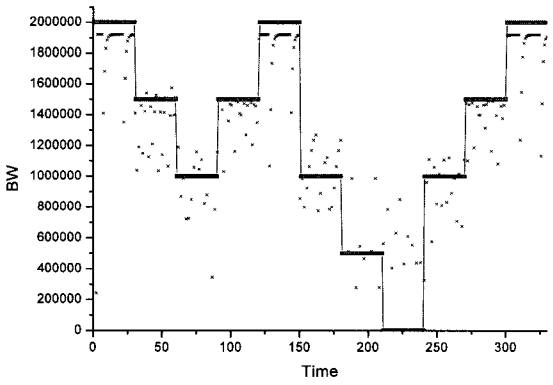


그림 3. 대역폭 측정 결과
Fig. 3. Bandwidth measurement result in MSS-TCP.

$$BW_{E,k} = BW_{E,k-1} * \alpha + BW_{E,new}(1-\alpha) \quad (2)$$

그림 3은 시뮬레이션을 통해 측정된 가용 대역폭을 나타낸다. UDP 백그라운드 트래픽 양을 통해 가용 대역폭을 변경하면서 TCP 송신자에서 ACK이 수신되었을 때마다 식 (1)(2)에 의해서 측정한(α=0.75) 가용 대역폭을 나타낸다.

2. MSS-TCP 알고리즘

SS-TCP는 2bit의 TCP 헤더 옵션 필드를 사용하며 3개의 옵션을 사용하지만, MSS-TCP는 4개의 옵션을 모두 사용한다. SS-TCP와 MSS-TCP에서 사용되는 옵션에 대한 자세한 내용은 표 1과 같다. MSS-TCP는 핸드오프가 아닐 경우와 수평적 핸드오프일 경우 SS-TCP와 동일하게 동작하지만, 수직적 핸드오프일 경우 상향과 하향으로 나누어 구분한다.

첫째로 하향 수직적인 핸드오프의 경우 freeze-TCP와 같이 이전 망에서의 혼잡윈도우와 윈도우 임계값을 그대로 유지하면서 짧은 시간 동안 대역폭을 측정하여 새로운 윈도우 임계값을 구한다. 임계값을 구하는 식은 식 (3)과 같다.

$$ssthresh = \frac{BW_E \times RTT}{AveragePacketSize} \quad (3)$$

표 1. 옵션별 처리 절차
Table 1. Processing rules for each option.

SS-TCP		MSS-TCP	
Option field	CWND	Option field	CWND
00(No HO)	Same to TCP Reno	00(No HO)	Same to TCP Reno
01		01(3G->WLAN)	Modified Freeze TCP
10(Horizontal)	Freeze TCP	10(WLAN->3G)	Modified Slow Start
11(vertical)	Slow Start	11(Horizontal)	Freeze TCP

만약 새롭게 구해진 윈도우 임계값이 혼잡 윈도우보다 높을 경우 새로운 윈도우 임계값까지 변형된 대역폭 측정기반 slow-start를 수행함으로서 사용가능한 높은 대역폭을 사용하게 된다. 또한, 기존의 TCP는 slow-start 구간에서 혼잡 윈도우 크기가 ACK을 수신할 때마다 1씩 증가하지만 변형된 slow-start에서는 식 (4)와 같이 계산된다. *old_cwnd*는 대역폭을 측정한 후 다시 slow-start를 시작하는 시점의 혼잡윈도우 값을 나타낸다.

$$cwnd \mathrel{+}= (cwnd - old_cwnd + 1)/cwnd \qquad (4)$$

둘째로 상향 수직적인 핸드오프의 경우 혼잡윈도우의 크기를 1로하고 기존의 TCP의 slow-start처럼 동작하면서 대역폭을 측정한다. 측정된 대역폭을 이용하여 윈도우 임계값을 수정함으로써 윈도우 임계값이 이전 망의 특성에 맞게 설정된 윈도우 크기를 그대로 사용함으로써 많은 패킷이 손실되는 문제점을 해결하여 TCP 성능향상을 가져올 수 있다.

Ⅳ. 시뮬레이션 및 성능 평가

본 장에서는 기존의 TCP 및 SS-TCP와 본 논문에서 제안한 MSS-TCP에 대해서 ns-2 시뮬레이터를[12] 통해서 비교 및 성능 평가를 수행하였다. 시뮬레이션 환경은 3G 망에서의 데이터 속도와 end-to-end RTT를 각각 0.144Mbps, 300ms로 하였으며, WLAN에서는 각각 5.5Mbps, 100ms로 가정하였다. 또한, 패킷 크기는 1000byte로 하였으며 MSS-TCP에서 대역폭 측정 파라미터는 0.75로 하였다. 이동 단말이 FTP 서버와 연결한 후 파일을 수신하면서 3G와 WLAN을 이동하는 환경을 고려하여 TCP 전송량을 비교 분석 하였다. 시뮬레이션의 전체적인 네트워크 구성도는 그림 4와 같다.

그림 5은 하향 수직적인 핸드오프에서 시간에 따른 혼잡윈도우와 패킷 전송량을 나타낸 그래프이다. 그림 5(a)는 혼잡윈도우의 변화를 나타낸 그림으로서 freeze-TCP의 경우 이동 단말이 핸드오프 이전의 혼잡윈도우

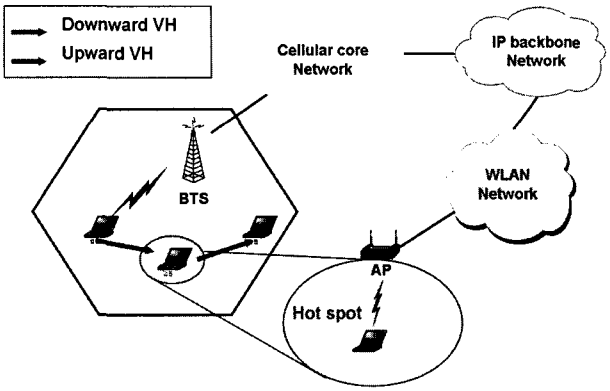
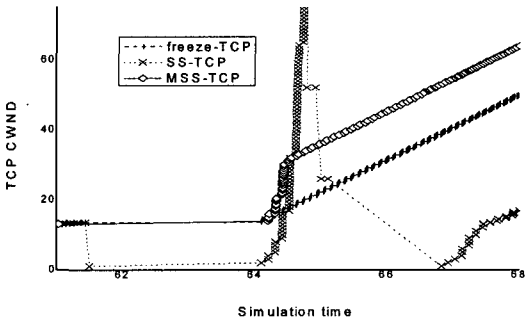
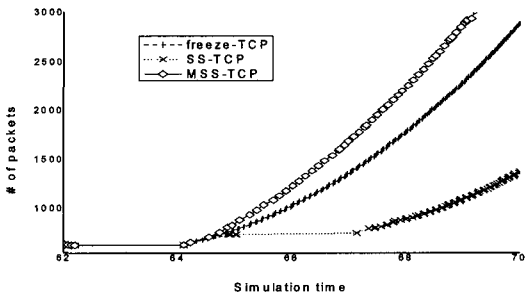


그림 4. 시뮬레이션 네트워크 구성도
Fig. 4. Simulation topology.



(a) Congestion window



(b) Number of packets transmitted after handoff

그림 5. 하향 수직적인 핸드오프에서의 성능
Fig. 5. Performance in downward vertical handoff.

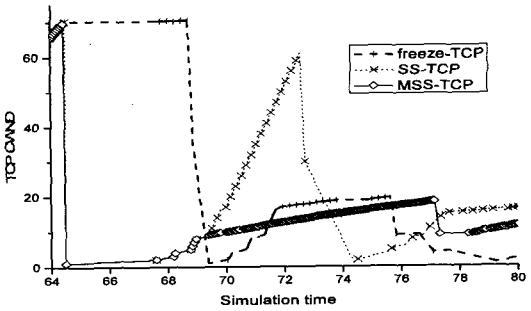
의 값과 윈도우 임계값을 그대로 사용한 채 혼잡회피를 수행하므로 대역폭이 높은 망으로 이동하였을 때 완만하게 증가하는 것을 볼 수 있다. SS-TCP의 경우 핸드오프 이후에 윈도우 임계값과 혼잡윈도우의 값을 각각 최대 윈도우 값과 1로 설정하고 slow-start로 동작하기 때문에 윈도우가 급격하게 증가되는 것을 볼 수 있다. 그 후 혼잡 윈도우가 급격하게 증가되어 패킷이 손실되고 혼잡윈도우가 다시 낮아지는 것을 볼 수 있다. 본 논문에서 제안한 MSS-TCP의 경우 핸드오프 이후에 기

존에 혼잡윈도우를 그대로 사용하면서 대역폭 측정을 통해서 윈도우 임계값을 수정하게 된다. 혼잡윈도우는 새로운 망에 적합한 윈도우 임계값에 도달할 때까지 변형된 slow-start로 동작하고 그 이후에는 TCP와 동일하게 동작하게 된다. 그림 (b)는 핸드오프 이후에 전송되는 패킷의 양을 나타낸 그래프이다. MSS-TCP는 초기에 freeze-TCP와 동일하게 동작하지만 대역폭 측정을 통해 변형된 slow-start로 동작하면서 freeze-TCP보다 높은 성능을 보인다. 반면에 SS-TCP의 경우 혼잡윈도우가 급격하게 증가하고 이로 인해 패킷 손실이 발생함으로서 전체적으로 전송되는 패킷의 수가 감소하는 것을 볼 수 있다.

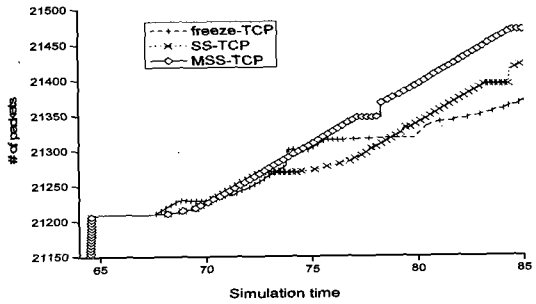
그림 6는 상향 수직적인 핸드오프에서의 시간에 따른 혼잡윈도우와 전송량을 비교한 그래프이다. 그림 (a)에서 freeze-TCP는 이동단말이 낮은 대역의 망으로 이동한 후에 핸드오프 이전의 높은 망에서 사용하던 혼잡윈도우를 그대로 사용함으로써 패킷 손실이 발생하고 혼잡윈도우가 급격하게 감소하는 것을 볼 수 있다. SS-TCP의 경우 새로운 망에서 slow-start를 통해 혼잡윈도우가 빠르게 증가한 후에 패킷 손실이 발생하고, 그 이후에 혼잡윈도우가 망에 적합하게 설정되는 것을 볼 수 있다. MSS-TCP의 경우 slow-start로 동작하지만 대역 측정을 통해 새로운 망에 적합한 윈도우 임계값을 설정함으로써 혼잡윈도우 값이 윈도우임계 값까지 빠르게 증가한 후에 천천히 새로운 망에 적합하게 설정되는 것을 볼 수 있다. 그림 (b)에서 전송되는 패킷의 양을 보면 freeze-TCP는 핸드오프 이후 많은 양의 패킷을 보내게 되지만 많은 패킷이 중간에 손실되게 된다. 혼잡윈도우가 급격하게 떨어진 이후에도 기존의 패킷과 재전송되는 패킷에 의해 패킷 전송이 늦어지는 결과를 볼 수 있다. SS-TCP는 혼잡윈도우의 급격한 증가로 인해 발생하는 패킷 손실에 의해 전송되는 패킷의 양이 증가되지 않는 것을 볼 수 있다. MSS-TCP의 경우 핸드오프에 의해 패킷 손실이 발생하지 않기 때문에 정상적으로 패킷 전송이 이루어지는 것을 볼 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 이동단말이 3G와 WLAN과 같이 서로 다른 망간의 이동을 할 경우 끊김 없는 데이터 서비스를 제공하기 위한 알고리즘을 제안하였다. 이동 단말이 핸드오프에 대한 물리 계층의 정보를 TCP 계층에 알려주고 TCP가 헤더 옵션 필드를 이용하여 TCP 송



(a) Congestion window



(b) Number of packets transmitted after handoff

그림 6. 상향 수직적인 핸드오프에서의 성능
Fig. 6. Performance in upward vertical handoff.

신자에게 핸드오프의 정보를 알려주게 된다. TCP 송신자는 옵션을 수신한 후에 단말이 수평적 핸드오프, 상향 수직적인 핸드오프 및 하향 수직적인 핸드오프를 수행하는지 확인하고 이에 따라 TCP 혼잡제어를 다르게 한다. 본 논문에서 제안한 알고리즘은 새로운 망으로 이동한 후에 대역폭 측정을 통해서 불필요하게 패킷 손실이 발생하는 문제점과 높은 대역폭을 사용하기 위해 많은 시간이 소요되는 문제점을 해결함으로써 수직적인 핸드오프 시에 TCP의 성능이 향상되는 것을 시뮬레이션을 통해 확인하였다.

향후 연구 계획으로는 대역폭 측정 방법을 개선하여 새로운 망으로 이동하였을 경우 가용 대역폭을 정확히 측정하고 또한, 이동 단말에서 핸드오프 감지 방법을 개선함으로써 핸드오프 시에 TCP 지연을 줄임으로써 TCP 성능 향상을 위한 연구를 진행할 것이다.

참 고 문 헌

[1] The Editors of IEEE 802.11. IEEE Standard for Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications,

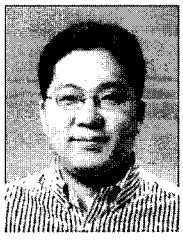
Nov. 1997.
[2] Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) Specifications, ANSI/IEEE Std 802.11, Vol.1, 1999.
[3] Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) Specifications, ANSI/IEEE Std 802.11, Vol.2, 1999.
[4] K. Thompson, G. J. Miller, R. Wilder, "Wide-Area Internet Traffic Patterns and Characteristics", IEEE Network, vol. 11, no. 6, pp. 10-23, Nov. 1997.
[5] G. Tim, M. James, Phatak. DS, G. Vipul, "Freeze-TCP: A true end-to-end TCP enhancement-mechanism for mobile environments.", State University of New York, Sun Microsystem, INFOCOM 2000. vol 3, pp. 1537-1545, Mar. 2003.
[6] H. Balakrishnan, S. Seshan, and R.H. Katz, "Improving reliable transport and handoff performance in cellual wireless networks." ACM Wireless Networks, vol. 1., pp 469-481, Dec. 1995.
[7] K. Brown, S. Singh, "M-TCP : TCP for mobile cellular networks", ACM Computer Communications Review, vol 27., pp 19-43, 1997.
[8] M. Stemm, R. H. Katz, "Vertical handoffs in wireless overlay networks," ACM Mobile Networking and Applications (MONET), vol. 3, no. 4, pp. 335-350, 1998.
[9] C. Perkins, "IP Mobility Support for IPv4", IETF RFC 3220 (2002)
[10] S. Kim, J. Copeland, "TCP for seamless vertical handoff in hybrid mobile data networks", in Proc. of IEEE GLOBECOM, San Francisco, vol. 2, pp. 661-665, Dec. 2003.
[11] K. Xu, Y. Tian, and N. Ansari, "TCP-Jersey for Wireless IP Communications, " IEEE JSAC, vol. 22, no. 4, pp. 747-756, May. 2004.
[12] The Network Simulator ns-2, http://www.isi.edu/nsnam/ns.

저 자 소 개

황 안 규(학생회원)
1999년 한남대학교 물리학과 학사
2004년 충남대학교 정보통신공학과 석사
2005년~현재 충남대학교 정보통신공학과 박사과정
<주관심분야 : 이동통신 네트워크, 데이터 통신, 초고속 통신>

정 회 진(학생회원)
2005년 충남대학교 전기정보통신공학부 학사
2005년~현재 충남대학교 정보통신공학과 석사과정
<주관심 분야 : 이동인터넷, 이동통신 네트워크, 데이터통신>

이 재 용(종신회원-교신저자)
1988년 서울대학교 전자공학과 학사
1990년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사
1995년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사
1990년~1995년 디지콤 정보통신 연구소 선임연구원
1995년~현재 충남대학교 정보통신공학부 부교수
<주관심분야 : 초고속통신, 인터넷, 네트워크 성능분석>



김 병 철(종신회원)
1988년 서울대학교 전자공학과 학사
1990년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사
1996년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사
1993년~1999년 삼성전자 CDMA 개발팀
1999년~현재 충남대학교 정보통신공학부 부교수
<주관심 분야 : 이동인터넷, 이동통신 네트워크, 데이터통신>