

# 이기종 무선 네트워크에서 다중연결을 이용한 전송률 제어

정 현 진\*, 최 승 식°

## Transmission Rate Control in Heterogeneous Wireless Networks Using Multiple Connections

Hyeon-jin Jeong\*, Seung-sik Choi°

### 요 약

본 논문에서는 무선 이동 단말이 이기종 망의 다중 연결을 통해 높은 대역폭을 이용하고 또한 이기종 망의 동시사용을 통해 손실 패킷을 감소시킬 수 있는 기법을 제안한다. 현재의 이동 단말은 하나의 네트워크를 통해 데이터를 전송한다. 하지만 제안하는 기법은 이동 단말이 WLAN과 3G망 등 다수의 망이 존재하는 환경에서 하나의 망을 사용하는 것이 아니라 이기종 망의 동시 사용을 통해 대역폭을 넓게 사용한다. 이기종 망을 동시에 사용할 수 있는 지역으로 이동 단말이 이동하게 되면 이를 인지한 이동 단말은 서버에 이기종 무선망 동시사용 허용 요청을 하게 되고, 이를 수신한 서버는 다수의 프로토콜 연결을 통해 데이터를 전송하게 된다. 또한 제안하는 기법은 이동 단말이 다른 네트워크로 이동할 때 기존의 망을 끊지 않기 때문에 핸드오버 구간에서 발생하는 패킷 손실이 감소하게 된다. 제안하는 기법을 네트워크 시뮬레이션(NS-2)을 통해 실험하였고, 처리량이 향상되었음을 확인하였다.

**Key Words** : TCP, TFRC, Multiple Connection, Heterogeneous, 이기종, 다중연결, 무선 네트워크

### ABSTRACT

In this paper, we propose a method that wireless mobile nodes can obtain high throughput in heterogeneous wireless networks using multiple connections and it has low packet losses under handover situation. Currently, a mobile node exchanges data with server for one network connection. The proposed method can use high throughput because it doesn't only use one network(WLAN, 3G, etc.) but also use multiple wireless networks. When mobile nodes move to area to use multiple connection, mobile nodes request heterogeneous wireless networks using multiple connections message from the server and the server transmit packets using multiple connections. Also, this method doesn't disconnect previous networks, so packets losses are decreased. Using the NS-2 simulation, we verify that the propose method enhances throughput.

### I. 서 론

과거 음성 통신 서비스를 제공하는데 초점이 맞추어진 이동 단말은 최근의 전반적인 무선 네트워크 기술의 향상을 통해 음성서비스뿐만이 아니라 동영상, 온라

인 게임, 대용량 데이터의 전송 등 다양한 고품질의 서비스를 제공하고 있다. 이러한 고품질의 서비스는 과거의 기존 통신망과 이동 단말이 제공하는 대역폭보다 훨씬 큰 대역폭을 요구하고 있으며 이를 위해서 기존의 통신망인 3G망과 WLAN(Wireless Local Area

※이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초 연구사업(2010-0024926)

♦ 주저자 : 인천대학교 컴퓨터공학과 무선정보네트워크 연구실, oasishjj@incheon.ac.kr, 준회원

° 교신저자 : 인천대학교 컴퓨터공학과, 무선정보네트워크 연구실, sschoi@incheon.ac.kr, 중신회원

논문번호 : KICS2012-04-221, 접수일자 : 2012년 4월 27일, 최종논문접수일자 : 2012년 11월 12일

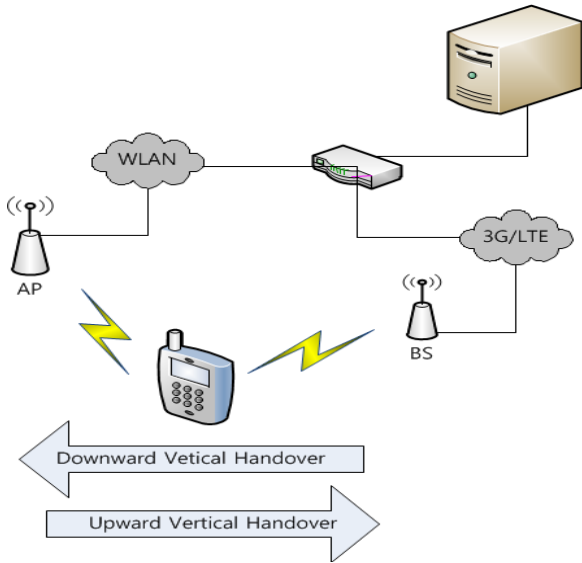


그림 1. 이기종 네트워크 환경과 핸드오버  
Fig. 1. Heterogeneous wireless networks and Handover

Network) 등 이기종 망을 이용하여 충분한 대역폭을 사용하려는 연구가 활발하게 진행되고 있다. 하지만 무선 네트워크는 기존의 유선망 네트워크와 다르게 이동 단말 사용자가 계속 이동을 하기 때문에 네트워크 상태가 급격히 변하게 된다. 하지만 이동 단말과 무선 네트워크는 이러한 환경에 재빠르게 적응하지 못하게 되어 유선망보다 상대적으로 낮은 대역폭으로 데이터를 송·수신 하게 된다. 이러한 문제점은 무선 네트워크 환경에서 사용자가 안정적인 서비스를 제공받는 것을 저해하는 요인이다<sup>1,2</sup>.

핸드오버(Handover)란 이동 단말(Mobile Node)이 하나 이상의 무선 네트워크를 거쳐 이동할 때 현재의 접속 상태가 끊어지지 않고 유지되는 것을 말한다. 핸드오버는 크게 두 가지로 나누어지는데 수평적 핸드오버(Horizontal Handover)는 같은 형태의 망 사이의 이동이며, (그림 1)과 같은 수직적 핸드오버(Vertical Handover)는 이기종망간의 이동을 나타낸다. (그림 1)에서와 같이 수직적 핸드오버는 다시 두 가지로 나누어지는데, 대역폭이 넓고, 전송범위가 좁은 네트워크로 이동하는 하향식 핸드오버(Downward Vertical Handover)와 대역폭이 좁고 전송 범위가 넓은 네트워크로 이동하는 상향식 핸드오버(Upward Vertical Handover)이다. 하향식 핸드오버의 경우에는 링크 대역폭이 급격하게 늘어나게 되고 이에 빠르게 적응하지 못해 사용할 수 있는 대역폭을 사용하는데 오랜 시간이 걸리게 된다. 반대의 경우인 상향식 핸드오버의 경우에는 급격히 줄어드는 대역폭 때문에 빠르게 낮은

대역폭에 적응하지 못하여 많은 패킷 손실이 발생하게 되어 성능이 저하되게 된다<sup>2-4</sup>.

본 논문에서는 이기종 무선 네트워크 동시사용을 통해서 기존의 대역폭보다 더 많은 대역폭을 활용할 수 있게 하며, 수직적 핸드오버가 발생할 경우 나타나는 패킷 손실로 인한 대역폭 적응 문제를 해결하기 위하여 새로운 기법을 제안한다. 본 논문에서 제안하는 기법은 이기종 망의 이용이 가능한 지역에서 이기종 망의 대역폭을 동시에 사용하여 더 높은 대역폭을 이용하게 할 수 있게 한다. 또한 기존의 핸드오버 구간에서 발생하는 패킷 손실을 최소화하고 이를 통해 빠른 시간 내에 망의 대역폭을 점유하게 되어 사용자에게 더 나은 서비스 품질을 제공할 수 있게 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 핸드오버를 지원하기 위해 관련된 기존 연구사항을 알아본다. III장에서는 제안된 이기종 무선 네트워크에서 다중연결을 이용한 전송률 제어에 대해서 기술하였다. IV장에서는 기존의 연구와 함께 본 논문 내용을 시뮬레이터를 통해 성능을 검증하고 결론을 맺는다.

## II. 관련 연구

TCP(Transmission control protocol)는 기본적으로 유선망에 적합하도록 설계 되었으며 slow-start와 AIMD(Additive Increase and Multiplicative Decrease) 알고리즘을 통해 혼잡제어를 수행한다<sup>5</sup>. 하지만 TCP를 무선 네트워크 상황에 적용을 했을 경우 높은 유선망에 비해 높은 에러율과 이동 단말의 이동 때문에 불필요하게 혼잡제어를 수행하여 TCP성능이 감소하게 된다. 또한 대역폭이 낮은 망으로의 핸드오버에서는 급격히 감소하는 대역폭에 적응하지 못해 많은 패킷손실이 발생하게 되고 이는 TCP의 성능이 저하되는 현상이 발생한다. 반대의 경우인 하향식 핸드오버의 경우에는 급격히 넓어진 대역폭에 적응하지 못해 더 큰 대역폭을 쓸 수 있음에도 불구하고 가용 대역폭을 사용하는데 오랜 시간이 걸리게 된다. 이는 고품질의 서비스를 이용하기에는 적합하지 않다.

TFRC(TCP Friendly Rate Control)<sup>6</sup>는 스트리밍 미디어와 같은 멀티미디어 애플리케이션에 적합한 프로토콜로, TCP Reno의 혼잡제어를 바탕으로 구축된 프로토콜로써 TCP와 유사하게 동작한다. 송신측은 수신측으로부터의 피드백 되는 정보를 이용하여 전송률을 조절하게 된다<sup>7,8</sup>. 하지만 TFRC 역시 이기종 무선 네트워크 환경에서 사용되면 핸드오버 시 네트워크 대역폭에 빠르게 적응하지 못하게 되고, 이는 서비스 품질에 악

영향을 미치게 된다<sup>[2,9]</sup>.

Freeze - TCP<sup>[10]</sup>는 핸드오버 시 TCP의 성능이 저하되는 것을 개선하기 위한 기법이다. 이동 단말이 핸드오버가 일어날 것을 감지하는 상태에서 핸드오버의 발생 시 이동 단말이 서버 측에 윈도우크기를 0으로 보내어 데이터 전송을 중단할 것을 알리며, 이를 받은 서버측은 데이터 전송을 중지시킨다. 이동 단말이 핸드오버가 끝났을 경우 다시 이동 단말은 수신 가능한 윈도우를 서버 측에 알리며, 이를 받은 서버측은 데이터 전송을 재개하게 된다. Freeze - TCP는 기존 TCP가 가지는 문제를 해결한 듯 보이나, 핸드오버 직전의 혼잡윈도우와 윈도우 임계값을 그대로 사용함으로써 높은 대역폭을 지원하는 네트워크로의 핸드오버의 경우에는 대역폭 점유시간이 오래 걸린다. 반대로 낮은 대역폭을 지원하는 네트워크로의 핸드오버는 중단되기 직전의 혼잡윈도우와, 윈도우 임계값을 이용함으로써 역시 손실이 발생하게 되고, 이는 TCP의 성능 하락으로 이어진다<sup>[4]</sup>.

FLA(Fast Link Adaptation) 기법<sup>[11]</sup>은 버티컬 핸드오버 환경에서 변동하는 RTT(Round Trip Time) 정보를 바탕으로 TFRC 처리율을 계산하는 기법으로 데이터의 전송률을 조절하는 TFRC 네트워크 환경에서 사용하는 기법이다. 하지만 FLA기법은 핸드오버가 발생할 경우 RTT만 변동한다는 가정 하에 세워진 기법으로 버티컬 핸드오버로 인해 급격하게 대역폭이 변화한 이후에는 혼잡 회피모드로 전송률을 증가시켜 결국 가용대역폭을 점유하는데 오랜 시간이 걸리게 되고 이는 고품질의 애플리케이션에는 적당하지 않다<sup>[12]</sup>.

IEEE 802.21 MIB 표준<sup>[19]</sup>은 이기종 네트워크의 핸드오버 상황에서 데이터를 끊김 없이 지원하기 위한 기술을 정의하고 있다. 사용자의 개입이 필요 없이 자동적으로 최선의 네트워크를 선택하여 데이터를 전송하는 방법으로, 하위 계층으로부터 수집된 정보를 바탕으로 상위 계층은 핸드오버 결정을 하게 된다. 하지만 트랜스포트 계층에 핸드오버에 대한 고려가 포함되어 있지 않기 때문에, 여전히 패킷 손실 위험에 노출되어 있다<sup>[20]</sup>.

MPTCP<sup>[21]</sup>는 최근에 표준화가 완료된 기술로, 하나의 TCP 연결이 멀티패스(Multi Path)를 통해 이루어지게 되고 이를 통해 데이터를 전송하는 기술을 말한다. 기존 TCP기반으로 설계된 이 방법은 단일 TCP중에서 가장 좋은 경로의 성능만큼 성능을 지원하게 되고, 이를 통해 TCP 성능 향상에 초점을 맞추고 있다. 하지만 TCP가 무선 상황에서 적용될 때에 발생하는 문제점에 대해서 고려하고 있지 않다<sup>[22]</sup>. 또한 본 논문과는 다르게 MTCP는 이기종 망의 사용과, 핸드오버 상황에서

발생하는 문제에 대해 고려를 하고 있지 않다.

본 연구는 기존 연구가 하나의 프로토콜의 연결을 전제로 연구된 것과는 다르게 이기종 무선망의 동시 사용을 통해 처리량을 향상시킨다. 또한 이기종 망의 연결 구간에서 발생하는 손실 패킷을, 제안된 기법을 통해 최소화 할 수 있다.

### III. 이기종 무선 네트워크에서 다중연결을 이용한 전송률 제어

현재 사용되고 있는 대부분의 이동 단말인 휴대전화, 태블릿 PC등은 (그림 2)와 같이 WLAN과 3G/LTE망 중 단 하나의 망만을 이용하여 데이터를 전송하고 있다. (그림 2)은 3G/LTE망 하나만을 쓰는 경우이다. (그림 2)의 ①번의 경우에는 WLAN망의 전송범위 내에 이동 단말이 위치하고 있지만 사용자의 요청에 의해 3G망이나 LTE망을 이용하는 경우이다. (그림 2)의 ②의 경우에는 이동 단말이 WLAN의 전송범위에 위치하지 않는 경우로 3G/LTE망만을 이용한다. (그림 3)의 경우는 이동 단말이 WLAN의 전송범위 내에 위치하게 되고, 사용자의 요청에 의해서 AP(Access point)를 통한 WLAN 망을 사용하는 경우이다. 이때 BS(Base station)으로 부터의 3G/LTE망의 연결은 해제되고 WLAN망만을 이용하여 데이터를 송·수신하게 된다. 하지만 본 논문에서 제안하는 기법인 MTCP(Multiple TCP)와 MTFRC(Multiple TFRC)은 (그림 2)의 B지역과 같이 3G/4G만 이용 가능한 지역에서는 기존의 방법과 동일하게 하나의 연결을 통해 데이터를 송·수신한다. 하지만 이동 단말이 (그림 4)의 이기종 망이 존재하는 A 지

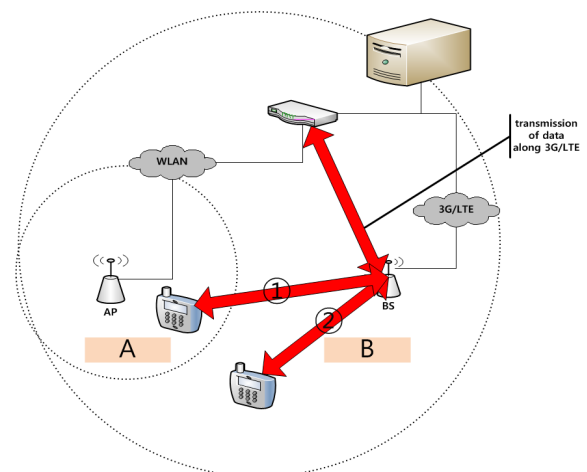


그림 2. 3G/4G를 사용하는 이동 단말  
Fig. 2. mobile node using 3G or LTE

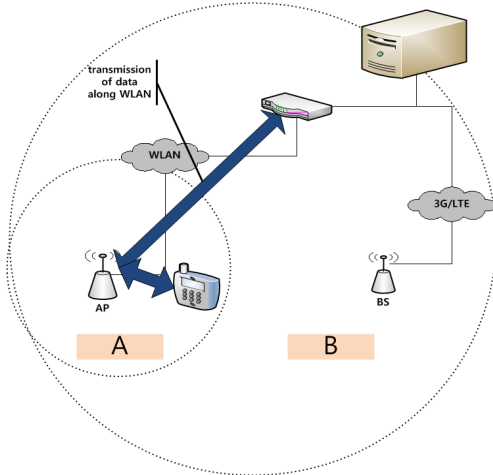


그림 3. WLAN을 사용하는 이동 단말  
Fig. 3. mobile node using WLAN

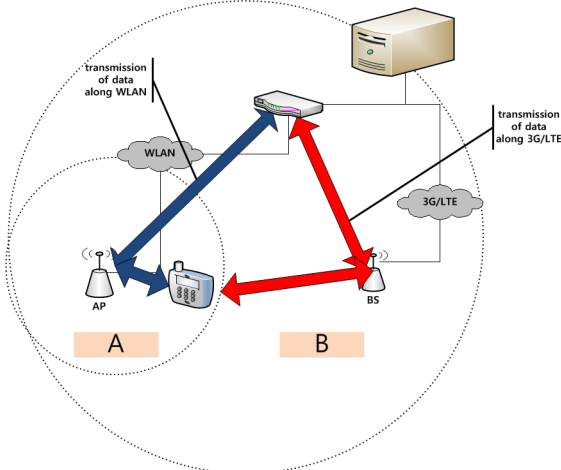


그림 4. 이기종 무선망 동시사용 기법  
Fig. 4. Heterogeneous wireless Network using multiple connections

역으로 이동 단말이 이동하게 되면 기존의 방법처럼 하나의 연결을 유지하는 것이 아니라 이기종 망을 동시에 사용하여 데이터를 송·수신한다. 3G망만을 이용할 수 있는 지역에서 이기종 망으로 이동 단말이 이동하게 되면, 이동 단말은 스스로 관련 파라미터(AP의 수신신호 세기 등)등을 이용하여 사용 가능한 네트워크가 있음을 사용자에게 알리게 된다. 이를 인지한 사용자는 이기종 무선망 동시사용 여부를 선택하게 된다. 반대의 경우인 WLAN망만을 이용하여 데이터를 송·수신하고 있던 이동 단말이 사용자의 요청에 의해서 3G망을 동시 사용을 요청하는 경우에도 위에서 기술한 것과 같이 이기종 망을 동시에 사용하게 된다. 이는 3G

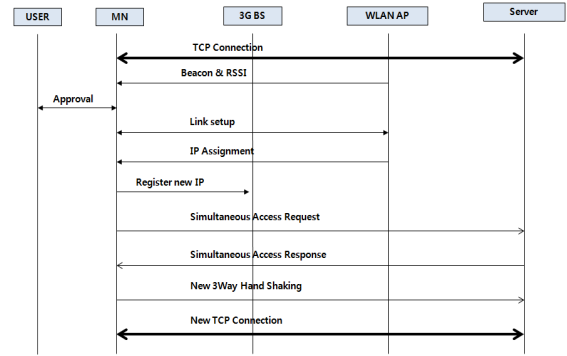


그림 5. 이기종 무선망 동시 사용 기법의 메시지 흐름  
Fig. 5. Message Flow of Heterogeneous wireless Network using multiple connections

망의 전송범위가 WLAN망의 범위보다 훨씬 넓기 때문에 WLAN의 접속이 가능한 지역에서는 언제나 3G망의 접속이 가능하다는 가정을 전제하고 있다. 이기종 무선망 동시사용의 종료는 두 가지 상황에서 발생하게 된다. 첫 번째는 사용자가 더 이상 이기종 망의 접속을 원하지 않을 때이고, 두 번째는 이동 단말 노드가 WLAN의 전송 범위를 벗어나 더 이상 데이터를 WLAN을 통해 송·수신 할 수 없을 때 이기종 동시 사용이 종료하게 된다.

(그림 5)는 이동 단말이 (그림 4)의 이기종 망이 동시에 존재하는 A지역으로 이동하게 되었을 때 새로운 망의 연결을 위한 메시지 흐름도이다. 이기종망을 동시에 사용할 수 있는 환경이 구축되면 이동 단말(Mobile Node)은 단말은 동시 사용에 관한 정보를 수집하게 된다. 이때 기지국이나 AP로부터 비콘(Beacon) 정보를 수집하거나 프로브 패킷을 보내어 근처의 이기종 망을 탐색하게 된다<sup>13,14</sup>. 이렇게 수집된 정보를 통해 사용 가능한 이기종 망이 존재함을 알게 되면 사용자의 승인에 의해 WLAN AP와 링크연결(Link connection)을 하게 된다. 링크연결이 이루어지게 되면, 이동 단말은 새로운 IP를 할당받게 되고, 이를 BS에 등록하게 된다. 2, 3계층의 일련의 절차가 끝나게 되면, 이동 단말은 서버에 동시사용요청(Simultaneous Access Request)을 송신한다. 이 메시지를 받은 서버측은 동시사용이 가능하다면 동시사용응답(Simultaneous Access Response)을 보내게 되고 이를 수신한 이동 단말은 새로운 TCP연결을 시도한다. 이 후에 새로운 망이 연결되면 서버는 이중망을 동시에 사용하여 데이터를 송신하게 된다.

(그림 6)은 이기종 망의 동시사용을 종료하는 시점의 메시지 흐름을 나타낸 그림이다. 이기종 무선망 동시사용의 해제는 두 가지의 경우가 존재한다. 첫 번째

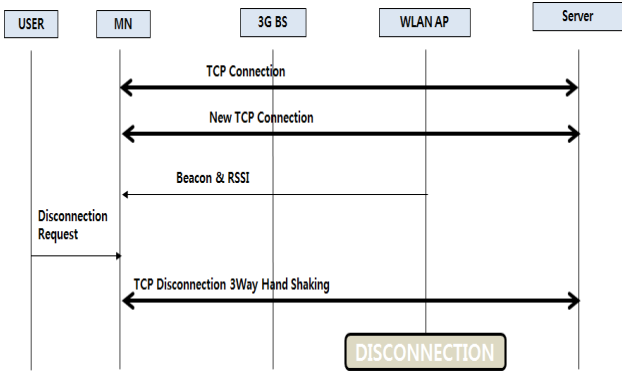


그림 6. 이기종 무선망 동시사용 해제를 위한 메시지 흐름  
Fig. 6. Message Flow for disconnection of Heterogeneous wireless Network using multiple connections

는 사용자가 3G망 과 WLAN을 동시에 사용을 하지 않겠다고 메시지를 전달하는 경우로 사용자가 연결 해제 요청(Disconnection Request)을 하는 즉시 연결해제가 이루어진다. 두 번째의 경우에는 이기종 무선망이 모두 접속되어 있을 때 지속적으로 Beacon 메시지와 RSSI등을 모니터링 하고 있는 이동 단말이 망의 접속을 해제를 판단하게 되고, 해제가 결정이 되면 망의 해제 절차(TCP Disconnection 3Way Hand Shaking)을 진행한다. 위의 절차를 통해 WLAN 망의 연결이 종료된다.

(그림 7)은 제안하는 기법의 이동 단말과 Server 사이에서 순서도이다. 이 순서도는 새로운 프로토콜의 연결을 위한 절차를 보여준다. 이동 단말은 지속적으로 관련 파라미터를 모니터링 하고 있다. 모니터링을 하다가 이기종 사용 여부 판단에서 사용 가능하다고 판단이 되면 서버 측에 동시사용 허가요청을 하게 된다. 이 요청을 받은 서버는 동시 사용 허용을 판단하게 되고 만약 사용이 요청되지 않으면 이동 단말에게 허용 불가 메시지를 송신하게 된다. 이를 송신하게 되면 이동 단말은 다시 파라미터를 모니터 하게 된다. 만약 동시 사용 허용 판단이 된다면 서버는 이동 단말 측에 동시사용 허용 메시지를 송신하게 된다. 이를 수신한 이동 단말 측은 새로운 프로토콜을 연결하게 되고 이 새로운 연결을 통해 메시지를 송·수신하게 된다.

무선망에서 이기종 망이 존재할 때의 다른 문제점은 하나의 망에서 다른 하나의 망으로 연결을 하는 동안 발생하는 패킷 중복과 손실 문제이다<sup>21</sup>. TCP는 새로운 네트워크의 연결이 시작되면 slow - start 를 통해 혼잡 윈도우를 1에서 1 ACK당 1씩 즉 1 RTT당 2배로 혼잡 윈도우의 크기를 증가 시킨다. 손실이 발생할 때 이를 혼잡 손실로 판단하여 혼잡윈도우(Congwin)을 조절한다.

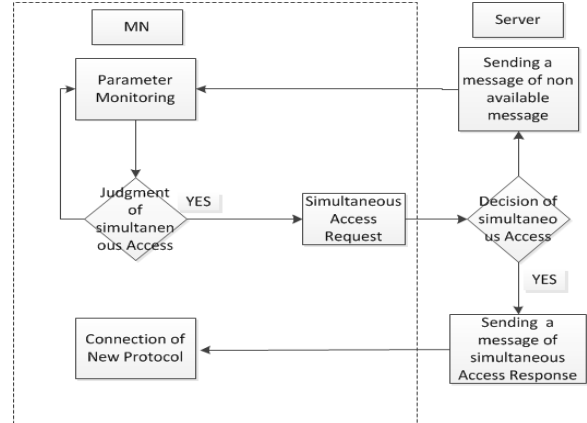


그림 7. 이기종 무선망 동시사용을 위한 이동 단말 - 서버 흐름도  
Fig. 7. Mobile node to Server Flow chart for Heterogeneous wireless Network using multiple connections

$$cwnd = \frac{1}{2} cwnd \quad (1)$$

송신측이 3개의 중복 확인 응답(ACK)를 수신하게 되면 혼잡윈도우를 기존의 크기에서 식 (1)과 같이 절반으로 줄이게 된다. 이렇게 절반으로 줄인 이후에는 혼잡윈도우의 크기를 1만큼 늘리게 된다. 무선 환경에서의 TCP는 무선 구간에서 발생하는 손실을 혼잡 손실로 판단하기 때문에 망의 이동구간에서 발생하는 손실 패킷 또한 혼잡 손실로 인지하고 혼잡윈도우를 조절하게 된다<sup>15</sup>. 하나의 망만을 사용하는 경우에서 대역폭이 좁은 망에서 대역폭이 넓은 망으로의 연결은 망이 변경되는 구간에서 기존의 망을 끊기 때문에 이를 통해 발생하는 패킷 손실 등으로 인해 혼잡윈도우가 매우 낮아진다. 또한 망의 이동에서 발생한 손실 패킷은 식 (1)과 같이 혼잡윈도우의 크기를 감소시키는데 이 낮은 혼잡윈도우로 인해 새로운 망의 가용 대역폭을 점유하는데 오랜 시간이 걸리게 된다.

$$cwnd_{mtcp} = cwnd_{WLAN} + cwnd_{3G} \quad (2)$$

본 논문에서 제안하는 기법은 (그림 3)과 같이 기존의 망의 연결을 끊지 않고 사용 가능한 새로운 망을 연결하기 때문에 새로운 망의 혼잡윈도우의 초기값이 아니라 식 (2)와 같이 기존의 망의 혼잡윈도우는 그대로 유지한다. 이 유지된 혼잡윈도우는 새로운 망이 추가되더라도 변하지 않고 새로운 프로토콜의 혼잡윈도우만 slow-start를 통해 대역폭에 적응하게 된다. 이는 기존의 하나의 망만을 사용하는 경우에서의 혼잡윈도

우보다 매우 큰 값이므로 하나의 망만을 사용하는 경우보다 안정적으로 데이터를 송·수신 할 수 있게 한다.

$$X = \frac{S}{RTT\sqrt{\frac{2p}{3}} + RTO(3\sqrt{\frac{3p}{8}})p(1+32p^2)} \quad (3)$$

$$t_{RTO} = 4RTT \quad (4)$$

TFRC는 식 (3)과 같이 수신측에서 최초 손실패킷이 발생하면 1 RTT 후의 패킷에서 발생한 손실 패킷과 처음의 손실 패킷 사이의 패킷 수를 통해 패킷 손실률을 계산하고 8 RTT 동안의 계산 정보를 유지하여, 이 정보를 통해 손실 이벤트 비율(loss event rate, p)과 평균 손실률 송신측에 송신한다. 이를 받은 송신측은 RTT와 재전송 타이머의 타임아웃 정보인 RTO를 통해서 전송률(X)을 조절하게 된다. RTO값은 식 (4)과 같이 RTT값의 평균에 4를 곱해서 구한다. 그리고 손실 이벤트 비율인 p를 통해 전송률을 조절한다<sup>[6,16]</sup>.

$$X_{mtfrc} = X_{WLAN} + X_{3G} \quad (5)$$

$$X_{WLAN} = \frac{S}{RTT_{WLAN}\sqrt{\frac{2p}{3}} + RTO_{WLAN}(3\sqrt{\frac{3p}{8}})p(1+32p^2)} \quad (6)$$

$$X_{3G} = \frac{S}{j*RTT_{WLAN}\sqrt{\frac{2p}{3}} + j*RTO_{WLAN}(3\sqrt{\frac{3p}{8}})p(1+32p^2)} \quad (7)$$

RTT와 RTT의 평균값이 동일하고, 패킷크기인 S가 일정하다고 가정할 경우, 제안하는 기법을 이기종 망의 접속이 완료된 후의 TFRC에 적용했을 경우의 전송률 X는 WLAN의 전송률과 3G의 전송률을 더한 값이므로 식 (5)와 같다. WLAN의 전송률을 식 (6)이라고 했을 때, 3G의 전송률의 계산은 WLAN의 전송률에서 RTT와 RTO에 일정한 WLAN RTT값에 대한 3G의 RTT 비율인 상수 j를 분모에 곱한 식 (7)의 값이다. 이 두 개의 전송률을 식 (5)에 넣어서 계산하게 되면 제안하는 기법의 전송률은 식(8)과 같다.

$$X_{MTFRc} = \frac{S}{RTT_{WLAN}\sqrt{\frac{2p}{3}} + RTO_{WLAN}(3\sqrt{\frac{3p}{8}})p(1+32p^2)} * \frac{1+j}{j} \quad (8)$$

식 (8)에서  $0 < j < 1$ 이므로  $(1+j)/j$ 의 값은 항상 1보다 크게 된다. 이를 통해 기존의 하나의 망을 사용할 때보다 이 기종 망을 동시에 사용 했을 때 더 높은 전송률을 보장함을 알 수 있다.

제안하는 기법을 이용하게 되면 가용 대역폭은 확대되어 더 많은 데이터를 송·수신하게 될 수 있지만 패킷, 혹은 데이터를 어떠한 망에 얼마나 보내야 하는가에 대한 문제가 발생할 수 있다. 또한 이 부분은 추가적인 오버헤드가 발생하는 부분이므로, 중요하게 고려해야 한다. 이는 각 패킷의 도착 예정 시간(Estimated packet arrival time)의 계산을 통해 해결될 수 있다.  $t_{3G}$ 와  $t_{WLAN}$ 을 각각 패킷이 목적지 까지 도착할 계산된 도착 예정시간이라고 하자.  $d_{queue}$ 는 서버의 큐에서 링크로 전송되기 기다리는 큐잉 지연(queuing delay)이다.  $\alpha$ 와  $\beta$ 는 각각의 큐에 저장된 패킷의 개수이고  $B_{3G}$ 와  $B_{WLAN}$ 은 3G와 WLAN의 대역폭이다. 패킷 사이즈는 S로 동일하다고 가정한다. 이때 한 패킷의 도착 예정시간은 한 패킷이 처리되는 동안 걸리는 시간인  $d_{queue}$ 와 큐에 대기 하고 있는 패킷의 곱과 패킷의 크기를 대역폭으로 나눈 값의 합으로 이루어지게 된다.

$$t_{3G} = \alpha \times d_{queue} + \frac{S}{B_{3G}} \quad (9)$$

$$t_{WLAN} = \beta \times d_{queue} + \frac{S}{B_{WLAN}} \quad (10)$$

식 (9)는 3G망을 이용 했을 때의 패킷 도착 예정 시간이며 식 (10)은 WLAN을 이용했을 때의 경우이다. 이 패킷 도착 예정 시간이 짧으면 목적지 까지 더 빨리 도착한다는 것을 의미하므로  $t_{3G}$ 가  $t_{WLAN}$ 보다 큰 경우에는 WLAN망을 이용하여 데이터를 전송하게 된다. 반대의 경우에는 3G망을 이용하여 데이터를 송신하게 된다.

#### IV. 실험

본 논문에서 제안한 이기종 무선망 동시 사용을 통한 성능향상 기법을 실험하기 위해서 NS-2(Network Simulator)을 이용하였다<sup>[17]</sup>.

실험환경은 (그림 8)과 같이 하나의 서버에서 TCP, TFRC, 그리고 제안한 기법을 통해 데이터를 전송한다. 이 전송된 데이터는 라우터를 거쳐 AP와 BS를 통해 데이터를 전송하게 된다. 실험은 AP와 BS가 동시에 존재하는 극단적인 환경에서 이동 단말이 이동할 때

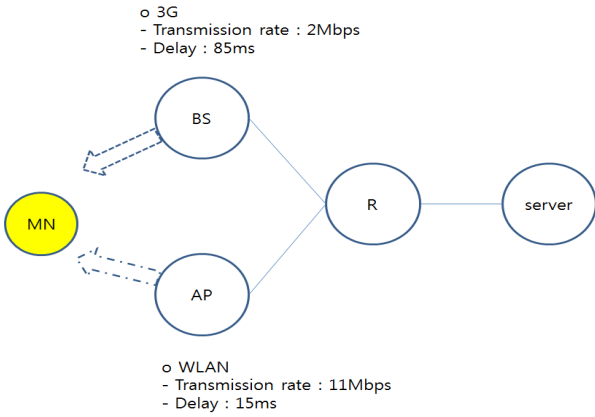


그림 8. 시뮬레이션을 위한 네트워크 구조  
Fig. 8. architecture of networks for the simulation

대역폭을 측정하였다. 두 개의 이기종 망이 중첩되는 지역에서는 제안한 기법과 같이 기존의 연결을 유지한 채 데이터를 송·수신하게 된다. 3G의 대역폭은 2Mbps의 가용대역폭과 85ms의 지연시간을 설정하였고 WLAN은 가용대역폭 11Mbps와 15ms의 지연시간을 가진다. 패킷 사이즈는 1000Byte로 CBR(constant bit rate) 트래픽을 이용하였다. 이 파라미터들은 관련연구에서 사용된 값을 참고하여 적용 하였다<sup>12,12,18</sup>. 새로운 네트워크에 접속하는 핸드오버 상황을 구현하기 위해 네트워크 접속 처리 구간을 설정하였다. 처리구간은 22~25초로 설정하였으며 망의 이동이 구간에서는 모든 패킷이 손실된다고 가정하였다. 그리고 무선 에러가 발생하는 환경과 발생하지 않는 환경(에러율 1%)을 각각 실험하였다.

4.1. 무선 에러가 발생하지 않는 환경에서의 실험  
(그림 9)와 (그림 10)는 이동 단말이 낮은 대역폭의

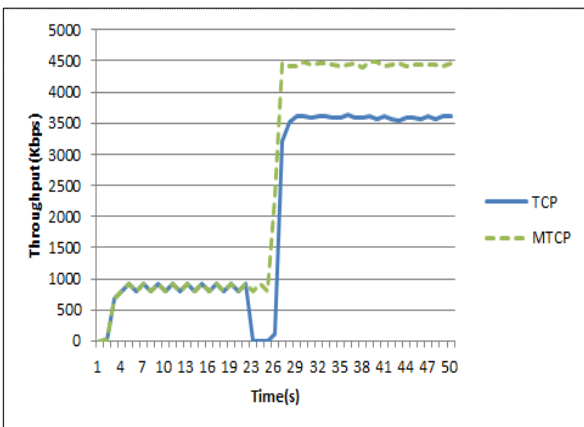


그림 9. 대역폭이 넓어지는 환경에서 TCP와 다중 연결 TCP와의 처리량 비교  
Fig. 9. Throughput comparison between TCP and MTCP on movement for wide bandwidth environment

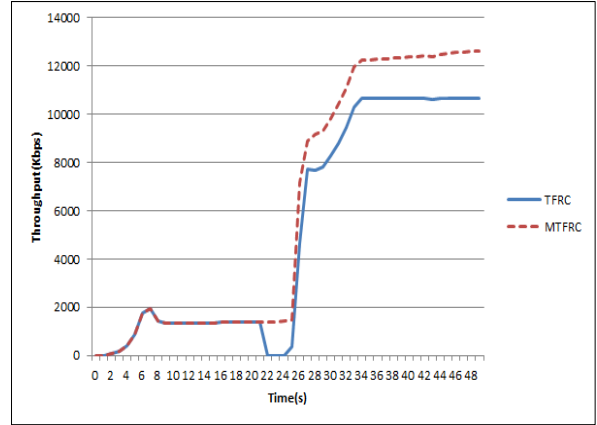


그림 10. 대역폭이 넓어지는 환경에서 TFRC와 다중 연결 TFRC와의 처리량 비교  
Fig. 10. Throughput comparison between TFRC and MTFRC on movement for wide bandwidth environment

환경에서 높은 대역폭으로 이동하는 환경에서 에러가 발생하지 않을 때 처리량을 측정 한 결과이다. 기존의 TCP와 TFRC는 22~25초 사이의 망의 이동 구간에서 패킷손실이 발생한다. 또한 망의 이동 이후의 전송률이 가용 대역폭은 높음에도 불구하고 낮은 대역폭으로부터 전송 속도를 서서히 올리며 대역폭에 적응하게 때문에 가용 대역폭 모두를 이용하는 시간이 제안하는 기법보다 시간이 오래 걸리는 것을 확인 할 수 있다.

제안하는 기법은 기존의 연결을 해제하지 않기 때문에 기존에 연결된 프로토콜의 대역폭과 새로 접속된 프로토콜의 대역폭 모두를 사용한다. 제안하는 기법을 통해 가용대역폭이 늘어나 처리량이 개선되는 것을 (그림 9)과 (그림 10)의 26초 이후의 구간에서 확인 할 수 있다. TCP와 MTCP가 각각 TFRC와 MTFRC 보다 대역폭이 낮게 나오는 이유는 본 실험에서 TCP와 MTCP가 혼잡제어를 수행하기 때문이다. TCP와 MTCP는 최대 대역폭까지 점유하고 난 후에도 계속해서 혼잡원도우를 늘리게 된다. 이로 인해 혼잡이 발생하게 되고, 프로토콜은 혼잡제어를 시작하게 된다. 이로 인해 전송률은 최댓값과 절반이 된 값의 평균으로 표현이 되고, 결국 TFRC와 MTFRC보다 TCP와 MTCP의 전송률이 낮게 나오게 된다.

(그림 11)과 (그림 12)은 대역폭이 넓은 환경에서 낮은 환경으로의 이동하는 상황에서의 시뮬레이션 결과이다. 결과의 1~3초 구간에서 수정된 기법인 MTCP와 MTFRC가 기존의 프로토콜인 TCP와 TFRC 보다 처리량이 늦게 적응하는 모습을 볼 수 있다. 이는 이기종 망이 모두 처음 시작하는 환경일 때 발생하는 것으로 갑자기 다량의 데이터가 몰리면서 발생하는 문제이다. 이는 하나의 망이 지속적으로 연결되어 있다면 발생하지

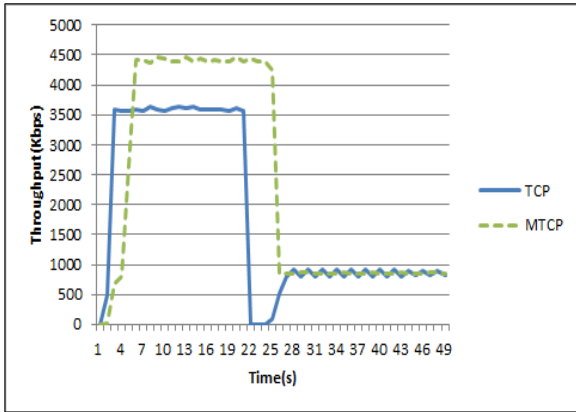


그림 11. 대역폭이 좁아지는 환경에서 TCP와 다중 연결 TCP와의 처리량 비교  
Fig. 11. Throughput comparison between TCP and MTCP on movement for narrow bandwidth environment

않는 문제이다. 22 ~ 25 초 사이에서 망의 이동이 수행된다. 이 망간의 이동이 수행되면서 손실 패킷이 발생하게 되고 또한 급격히 줄어드는 대역폭으로 인하여 대역폭에 빠르게 적응하지 못하는 것을 볼 수 있다. 제안하는 기법은 사용할 수 있는 두 가지 모두의 프로토콜이 연결되어 있기 때문에 WLAN의 전송범위를 벗어나게 되더라도 3G의 연결은 계속 유지되고 있다. 이를 통해 기존의 하나의 프로토콜만 사용하는 기법의 망의 이동 구간에서 일어나는 패킷 손실이 감소한다. 또한 앞에서 언급한 것과 같이 제안하는 기법은 이용할 수 있는 두 가지의 모든 프로토콜을 이용해서 데이터를 송·수신하기 때문에 기존의 프로토콜의 연결 보다 높은 처리량을 보여주고 있다.

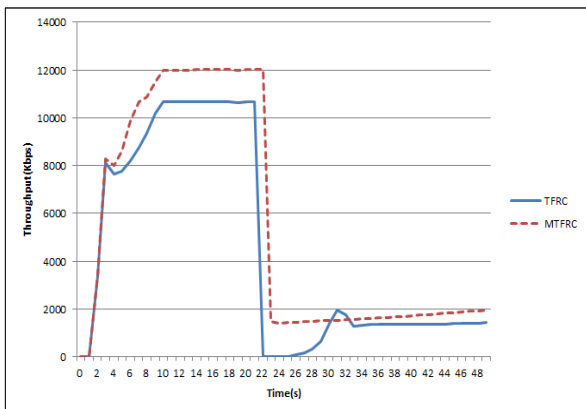


그림 12. 대역폭이 좁아지는 환경에서 TFRC와 다중 연결 TFRC와의 처리량 비교  
Fig. 12. Throughput comparison between TFRC and MTFRC on movement for narrow bandwidth environment

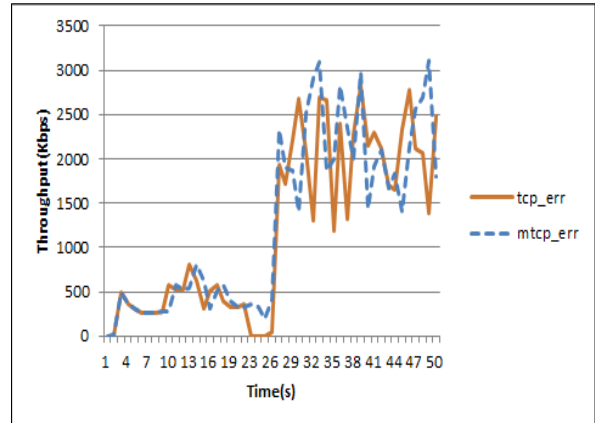


그림 13. 대역폭이 넓어지는 환경에서 무선 패킷 손실이 발생할 때의 TCP와 다중 연결 TCP와의 처리량 비교  
Fig. 13. Throughput comparison between TCP and MTCP on movement for wide bandwidth environment when errors occur

#### 4.2. 무선 에러가 발생하는 환경

실제 환경에서 무선 이동 단말은 잦은 무선 에러를 경험하게 된다. 이는 패킷의 타임아웃과 재전송으로 인해 처리율이 급감하게 된다. 시뮬레이션 상에서 1%의 에러를 발생시켜 실험을 진행하였다.

(그림 13)과 (그림 14)는 대역폭이 증가하는 환경에서 에러를 발생시킬 경우의 실험이다. (그림 13)와 (그림 14)를 보게 되면 TCP보다는 TFRC가 안정적임을 확인할 수 있다. 하지만 두 가지 모두 망의 이동구간에서 많은 패킷들이 손실되고 망의 이동 이후에도 대역폭을 점유하기 위해 시간이 걸리는 것을 확인할 수 있다. MTFRC와 MTFRC를 보면 전송량의 변동 폭은 기존의 프로토콜과 비슷한 결과를 보인다. 하지만 망의 이동이

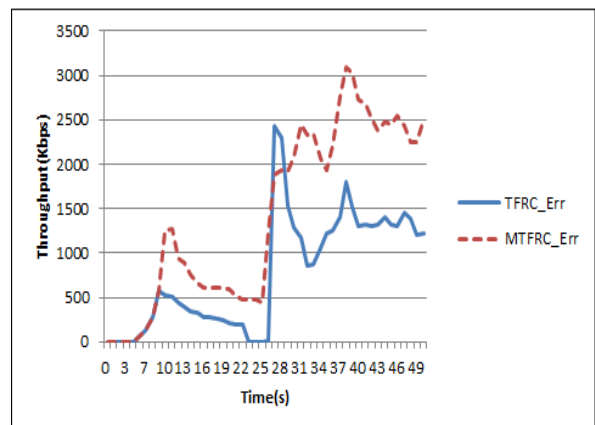


그림 14. 대역폭이 넓어지는 환경에서 무선 패킷 손실이 발생할 때의 TFRC와 다중 연결 TFRC와의 처리량 비교  
Fig. 14. Throughput comparison between TFRC and MTFRC on movement for wide bandwidth environment when errors occur



일어나는 구간에서의 기존의 기법에서는 손실패킷 발생한다. 하지만, 제안하는 기법에서는 손실되는 패킷이 감소함을 볼 수 있다. 또한 망의 이동 이후에도 제안하는 기법은 이기종 망의 대역폭을 모두 활용함으로써 더 높은 처리량을 볼 수 있다. 이는 앞에서 실험한 것과 같은 결과이다. 에러가 발생하는 경우에도 제안하는 기법이 처리량 개선 효과와 패킷 손실이 감소함을 보이고 있다.

(그림 15)와 (그림 16)는 대역폭이 감소하는 환경에서 에러가 발생하는 경우의 대역폭 측정이다. TCP, TFRC 그리고 제안한 기법 모두 에러가 발생하여 대역폭이 급격히 변하고 있는 모습을 볼 수 있다. 실험 결과를 보

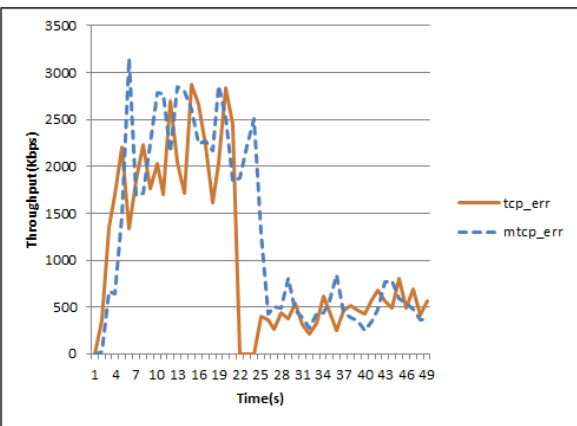


그림 15. 대역폭이 넓어지는 환경에서 무선 패킷 손실이 발생할 때의 TCP와 다중 연결 TCP와의 처리량 비교  
Fig. 15. Throughput comparison between TCP and MTCP on movement for wide bandwidth environment when errors occur

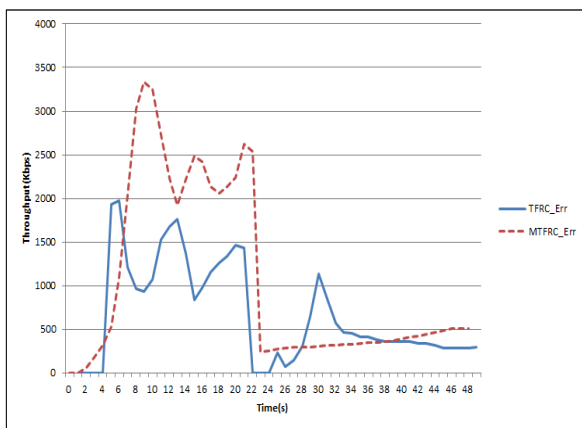


그림 16. 대역폭이 넓어지는 환경에서 무선 패킷 손실이 발생할 때의 TFRC와 다중 연결 TFRC와의 처리량 비교  
Fig. 16. Throughput comparison between TFRC and MFRC on movement for wide bandwidth environment when errors occur

면 TFRC 와 수정된 MFRC가 TCP와 TFRC보다 안정적인 모습을 보인다. 제안된 기법은 망의 연결을 해제하기 전 이기종의 망을 동시에 사용하고 있었고, 또한 WLAN을 이용하지 못한다고 하더라도 지속적으로 3G 망은 연결되어 있기 때문에 TFRC와 TCP 보다 더 높은 대역폭을 지원하고 있는 것을 확인할 수 있다. 에러가 발생하는 환경에서 대역폭이 감소하는 경우에도 제안하는 기법이 처리량을 개선하는 것을 확인할 수 있다.

### 4.3. 다수의 이동 단말이 존재하는 환경

(그림 17)은 다수의 이동 단말이 존재 할 때 제안하는 기법의 실험을 위한 네트워크 구조이다. (그림 8)과 같이 지연시간과 대역폭등의 실험 환경은 동일하게 구성되었고, TFRC 기법을 기반으로 실험을 하였다. 또한 3G가 접속되어 있는 상태에서, WLAN 망이 추가되는 경우에 대해 실험을 진행하였고, 이동 단말이 1개, 3개, 5개일 때로 나누어 이동 단말의 수가 증가할 때 이동 단말의 처리량이 어떻게 변화하는지를 측정하였다.

(그림 18)은 제안하는 기법에서 이동 단말의 평균 처리량을 나타낸 것이다. 3G 만을 사용하는 경우인 0~22초 사이를 구간 A라 하였고, 망의 교환이 발생하는 부분인 22~25초 사이를 구간 B, 그리고 3G와 WLAN을 동시에 사용하는 구간을 구간 C로 정의 하였다. 3G 만을 사용하는 구간 A와 구간 B의 경우에는 노드수가 증가하더라도 처리량은 비슷한 결과를 가지게 된다. 3G는 접속자 수가 증가한다고 하더라도 일정한 대역폭이 유지되기 때문에 처리량의 감소가 없기 때문이다. 하지만 3G와 WLAN를 동시에 사용하는 구간 C에서는

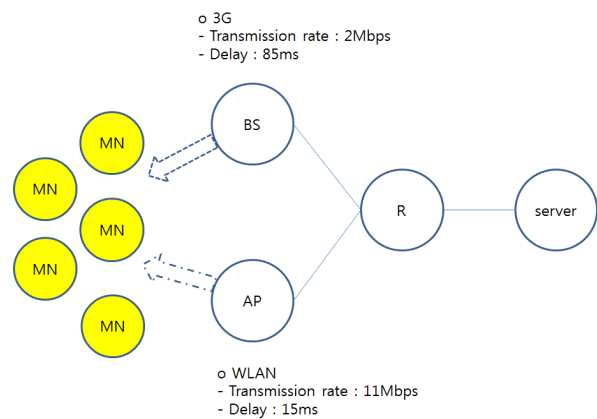


그림 17. 이동 단말의 수의 변화에 따른 처리량 측정을 위한 시뮬레이션 네트워크 구조  
Fig. 17. architecture of networks for the simulation for measure of throughput according to change of the number of node

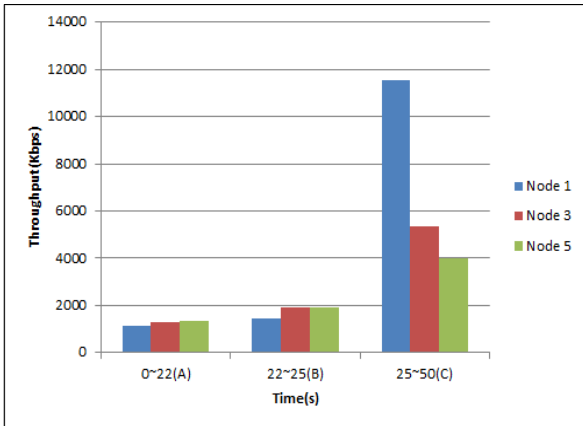


그림 18. 이동 단말의 수의 변화에 따른 평균 처리량  
Fig. 18. average throughput according to change of the number of node

구간 A와 B의 경우와는 다른 결과가 도출된다. WLAN 망의 경우에는 3G와는 다르게 이동 단말의 수에 따라 대역폭을 나누어 사용하기 때문이다. 이동 단말이 하나 일 때는 WLAN망의 대역폭을 모두 사용하여 데이터를 전송하지만 이동 단말의 수가 늘어나게 되면, 노드 하나가 사용할 수 있는 WLAN의 가용 대역폭은 감소하게 된다. 이로 인해서 이동 단말의 처리량은 이동 단말 개수의 증가에 따라 감소하게 된다. 하지만 기존의 방법인 망 하나만을 사용하는 방법보다는 더 높은 처리량을 보여주고 있다.

### V. 결 론

본 논문에서는 이기종 망의 무선 네트워크 상황에서 기존의 기법보다 더 넓은 대역폭을 확보하고, 또한 이기종 망의 무선 네트워크의 변경 시 발생하는 손실 패킷을 줄여 처리량을 개선하는 기법을 제안하였다. 현재의 무선 이동 단말은 3G 망과 WLAN 망을 연결할 수 있는데 기존의 기법처럼 하나의 연결만 유지해 데이터를 전송하는 것이 아니라 이기종 망을 모두 이용하게 하여 각각이 가지고 있는 대역폭을 활용하여 더 높은 처리량을 갖게 되고, 개선된 처리량으로 인해 가용 대역폭에 적응하는 시간을 줄이는 것을 시뮬레이션을 통해 확인하였다.

### References

[1] C.T. Lin and J. W. Ding, "CAR: a low latency video-on-demand broadcasting scheme for heterogeneous receive", *IEEE*

*Trans. on Broadcasting*, vol. 52, Issue 3, pp. 336-349, Sep. 2006.

[2] S. Ko and K. Chung, "Quality adaptation scheme for video streaming service in heterogeneous wireless networks", *Proc. of the KIISE Korea Computer Congress 2011*, vol. 38, no. 1(A), pp. 385-387, Jun. 2011.

[3] M. Stemm and R. H. Katz, "Vertical handoffs in wireless overlay networks", *Mobile Networks and Applications*, vol. 3, no. 4, pp. 335 - 350, Dec, 1998

[4] A. Hwang, J. Lee, W. Jung, and B. Kim, "Congestion Control Algorithm for TCP Performance Enhancement by Bandwidth Measurement in Vertical Handoffs between Heterogeneous Wireless Networks", *Journal of the institute of electronics engineers of Korea*, vol. 43, no. 8, pp. 84-90, Aug. 2006

[5] S. Pack, Y. Choi, "TCP-Friendly Rate Control for Vertical Handover over Wireless Heterogeneous Network", *Journal of KISS : Information networking*, vol. 32, no. 1, pp. 20-28, Feb. 2005

[6] M. Handley, S.Floyd, j Padhye, and J.Widmer, "TCP friendly rate control (TFRC): protocol specification", *RFC 3448* pp.1-23, Jan. 2003

[7] E. Blanton, M. Allman, K. Fall, and L. Wang, "A Conservative Selective Acknowledgement (SACK)-Based Loss Recovery Algorithms for TCP", *RFC 3517* pp.1-11, Apr. 2003

[8] E. Kohler, M. Handley, and S. Floyd, "Datagram Congestion Control Protocol (DCCP) Congestion Control ID 2: TCP-like Congestion Control", *RFC 4340* pp.1-128, Mar. 2006

[9] A. Gurtov and J. Korhonen, "Effect of vertical handovers on performance of TCP-friendly rate control", *ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review*, vol. 8, no. 3, pp. 73-87, Jul. 2004.

[10] G. Tim, M. James, Phatak. DS, G. Vipul, "Freeze - TCP: A true end-to-end TCP

enhancement mechanism for mobile environments”, in *Proc. IEEE INFOCOM 2000*. pp. 1537-1545, Israel, Mar. 2000.

[11] D. Li, K. Sleurs, E. Lil, and A. Capelle, “Fast link adaptation for TFRC after a handover”, *Proc. of the IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*, pp. 1-5, Sep. 2008.

[12] S. Ko and K. Chung, “Rate Adaptation Scheme for Video Streaming Service in Vertical Handover Environments”, *Journal of KIISE : Information Networking*, vol. 38, no. 6, pp. 439-449, Dec. 2011.

[13] M.Kassar. N. Kervella. and G. Pujolle. “An overview of vertical handover decision strategies in heterogeneous wireless networks”, *Computer Communications*, vol. 31, No. 10, pp. 2607-2620, Jun. 2008.

[14] D. Kang, J. Choi, S. Yoo, “An Efficient Scanning Group and Order Decision Method Using Neighbor Network Information in Wireless LAN”, *Journal of the Korean institute of communication sciences*, vol. 35 no. 2, pp. 142-152, Sept. 2010.

[15] Allman M.et al, “TCP Congestion Control”, *RFC 2581*, pp. 1- 14, Apr. 1999

[16] S.Floyd, M. Handley, j Padhye, and J.Widmer, “TCP Friendly Rate control (TFRC): Protocol Specification”, *RFC 5348*, pp. 1-57 Sep. 2008.

[17] The Network Simulator NS-2, [www.isi.edu/nsnam/ns](http://www.isi.edu/nsnam/ns)

[18] W. Seo, K. Lee, Y. Cho, “A Soft Handover Scheme Between UMTS and WLAN”, *Journal of the Korean institute of communication sciences*”, vol. 33 no. 5B, pp. 268-274, Dec. 2008

[19] IEEE, “IEEE Standard for Local and metropolitan area network-Part 21: Media independent Handover Services”, *IEEE std 802.21-2008*, pp.1-90 Jan, 2009

[20] C. Lim, J. Jang, “A New Scheme to Improve Overall TCP Throughput with Vertical Handover between 3G Cellular Packet Networks and Wireless LANs”,

*EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking archive*, Volume 2009, Jan, 2009

[21] C. Raiciu, M. Handley and D. Wischik, “Coupled multipath-aware congestion control”, *IETF RFC 6356*, pp.1-12 October 2011

[22] H. K. Kang, T. A. Le, C. S. Hong, “Multi-path TCP Congestion Control for Streaming Services in Wireless Network”, *Journal of KISS : Information networking*, vol. 39 no. 2 [2012], 2012

정 현 진 (Hyeon-jin Jeong)



2012년 2월 인천대학교 경영학부, 컴퓨터공학과 학사  
2012년 3월~현재 인천대학교 컴퓨터공학과 석사과정  
<관심분야> 무선 인터넷 프로토콜, 라우팅 프로토콜

최 승 식 (Seung-sik Choi)



1988년 2월 연세대학교 전자공학과 학사  
1990년 2월 KAIST 전기 및 전자공학과 석사  
2002년 2월 KAIST 전기 및 전자공학과 박사  
1990년~2004년 KT서비스개발 연구소 선임연구원  
2004년~현재 인천대학교 컴퓨터공학과 부교수  
<관심분야> 무선 액세스제어, 무선자원관리, 무선 인터넷 프로토콜