

모바일 IP 네트워크에서 패킷 버퍼링 방식의 TCP 성능 분석

정회원 허경*, 노재성**, 조성준***, 엄두섭*, 차균현*

TCP Performance Analysis of Packet Buffering in Mobile IP based Networks

Kyeong Hur*, Jae-Sung Roh**, Sung-Joon Cho***, Doo-Seop Eom*,
Kyun-Hyon Tchah* *Regular Members*

요 약

모바일 IP 프로토콜에서 핸드오프 동안에 발생하는 패킷 손실 때문에 초래되는 TCP의 성능저하를 방지하기 위해서는 모바일 IP 경로 최적화 확장의 스무스 핸드오프 방식에서 이전 기지국이 핸드오프 동안 손실되는 패킷들을 버퍼에 저장하고 저장된 패킷들이 이동한 단말에게 전달되어야 한다. 그러나 무선링크가 병목인 일반적인 경우에서 이동단말이 새로운 서브 네트워크의 혼잡한 기지국으로 이동한 경우에는, 이전 기지국이 포워딩하는 패킷들은 손실되고 또한 이전 기지국이 포워딩하는 패킷들의 버스트한 도착 특성으로 인해 심화된 혼잡으로 기지국 내 이동단말 플로들의 TCP 전송 성능이 저하되게 된다. 본 논문에서는 기지국 패킷 버퍼링 방식이 결합된 스무스 핸드오프 방식으로 이동단말이 새로운 서브네트워크의 혼잡한 기지국으로 이동한 경우, 기지국 패킷 버퍼링 방식이 혼잡한 기지국을 통과하는 TCP 플로들에게 미치는 영향을 혼잡한 기지국에서의 핸드오프 도착분포에 따라 Drop-Tail과 RED 버퍼관리방식에 대하여 분석하였다. 시뮬레이션 결과는 RED 방식이 Drop-Tail 방식보다 기지국 패킷 버퍼링 방식이 혼잡한 기지국을 통과하는 TCP 플로들에게 가하는 혼잡을 완화할 수 있으나, 이전 기지국이 포워딩하는 패킷들의 버스트한 도착특성으로 인한 Global Synchronization은 피할 수 없고, 모바일 IP 네트워크에서 이를 해결하기 위해서는 새로운 버퍼관리방식이 요구됨을 보인다.

ABSTRACT

To prevent performance degradation of TCP due to packet losses in the smooth handoff by the route optimization extension of Mobile IP protocol, a buffering of packets at a base station is needed. A buffering of packets at a base station recovers those packets dropped during handoff by forwarding buffered packets at the old base station to the mobile user. But, when the mobile user moves to a congested base station in a new foreign subnetwork, those buffered packets forwarded by the old base station are dropped and TCP transmission performance of a mobile user in the congested base station degrades due to increased congestion by those forwarded burst packets. In this paper, considering the general case that a mobile user moves to a congested base station, we analyze the influence of packet buffering on TCP performance according to handoff arrival distribution for Drop-tail and RED (Random Early Detection) buffer management schemes. Simulation results show that RED scheme can reduce the congestion increased by those forwarded burst packets comparing Drop-Tail, but RED scheme cannot avoid Global Synchronization due to forwarded burst packets by the old base station and new buffer management scheme to avoid it is needed in Mobile IP based networks.

* 고려대학교 전자공학과(hkyeong@korea.ac.kr), ** 서일대학 정보통신시스템 전공, *** 한국항공대학교 전자정보통신 컴퓨터공학부 (논문번호 : 030111-0317, 접수일자: 2003년 3월 17일)

"This research was supported by Internet Information Retrieval Research Center in Hankuk Aviation University."

I. 서론

최근 수년간에 걸친 무선기술의 급속한 발전 및 이동 단말의 폭발적 증가로 말미암아 사용자가 자유롭게 이동하면서 통신하는 것이 가능하게 되었다. 인터넷 환경에서도 이러한 사용자의 이동성을 지원하기 위하여, IETF (Internet Engineering Task Force)에서는 Mobile IP 프로토콜을 설계하였다. 모바일 IP 프로토콜에는 기존의 라우터 및 단말의 수정 없이 이동성을 지원하는 베이스 모바일 IP (Base Mobile IP) [1]와 베이스 모바일 IP를 사용하는 경우 발생하는 라우팅의 비효율성, 이른바 삼각 라우팅 문제 (Triangle Routing Problem) [2][3]를 해결하기 위한 경로 최적화 확장 (Route Optimization Extension)이 있다 [4]. 베이스 모바일 IP에서는 이동단말의 홈 네트워크에 있는 HA (Home Agent)가 항상 이동단말 (Mobile Host : MH)과 통신 중인 단말 (Correspondent Host : CH)이 보내오는 패킷들을 가로채어 이동단말이 이동한 위치로 보낸다. 따라서, 기존의 라우터 및 단말의 수정 없이 이동성을 지원할 수 있다는 장점이 있으나, 패킷이 항상 HA를 경유하여 이동단말에 도착하기 때문에 경로가 길어지는 문제가 발생한다. 베이스 모바일 IP에서는 이동단말이 현재의 서브네트워크 (Subnetwork)에서 다른 서브네트워크로 이동할 경우, HA는 이동단말의 이동한 위치를 이동단말이 보내오는 메시지를 통하여 알기 전까지는 패킷들을 이동단말이 있던 이전 위치로 보낸다. 따라서, 이동단말이 자신의 홈 네트워크로부터 멀리 떨어져 있는 경우에는 상당수의 패킷들이 핸드오프로 인하여 손실되는 문제가 발생한다. 그리고 사용자의 이동성으로 인하여 패킷 손실이 발생할 경우에는 모바일 IP의 상위 계층 프로토콜인 TCP는 심각한 영향을 받게 된다 [5]. 즉, 이동 네트워크 환경에서 패킷 손실을 네트워크 혼잡의 신호로 해석하면 사용자의 이동성으로 인하여 패킷 손실이 발생하는 경우, 불필요하게 TCP 송신자의 패킷 전송 레이트를 줄이는 혼잡제어 (Congestion Control)을 수행하게 됨으로써 TCP의 수율 (Throughput)이 감소하는 문제가 발생한다. 특히, 이동단말의 사용자가 통신 중에 다수의 서브네트워크를 경유하게 될 경우에는 TCP의 성능이 심각하게 저하되는 문제가 발생한다.

한편, 베이스 모바일 IP가 내재하고 있는 라우팅의 비효율성 문제를 해결하기 위해 제안된 모바일 IP의 경로 최적화 확장에서는 핸드오프에 의한 패킷 손실 때문에 발생하는 TCP의 성능 저하 문제를 해결하기 위하여 스무스 핸드오프 (Smooth Handoff) 메커니즘을 채택하고 있다. 스무스 핸드오프에서는 이동단말이

새로운 서브네트워크로 이동할 경우, 이동단말이 이동 후 위치한 서브네트워크에 있는 현재의 FA (Foreign Agent)를 통하여 이동 전에 머물던 서브네트워크에 있는 이전의 FA에게 알림으로써, 이동단말의 현재 위치를 모르는 통신 중인 단말 (CH)이 보내오는 패킷들을 이전의 FA가 현재의 FA에게 포워딩할 수 있도록 한다. 따라서, 현재의 FA는 이전의 FA와 항상 인접해 있기 때문에 스무스 핸드오프를 사용하면 베이스 모바일 IP경우와 비교하여 핸드오프에 의해 손실되는 패킷의 수는 감소하게 된다.

그러나 모바일 IP 표준의 경로 최적화 확장에 의한 스무스 핸드오프는 핸드오프 동안에 발생하는 패킷 손실을 줄이기 위하여 설계되었음에도 불구하고, 대부분의 경우 핸드오프 동안 발생하는 패킷 손실 패턴에 따른 TCP의 성능저하를 막지 못한다. 또한 RTT가 동일한 경우, 경로 최적화 확장의 스무스 핸드오프에서 오히려 패킷 손실이 많이 발생하는 베이스 모바일 IP를 사용한 경우보다 낮은 TCP 수율을 나타내었다 [6]. 이러한 경로 최적화 확장의 스무스 핸드오프에서 발생하는 TCP 성능 저하를 방지하기 위해서는 핸드오프 동안 4개 이상의 연속적인 패킷 손실을 방지하고 송신 중인 단말 (CH)에게 중복된 TCP ACK 패킷이 3개 이상 연속적으로 수신되지 않도록 핸드오프 동안에 발생하는 패킷 손실을 복구하여 핸드오프가 TCP 전송계층프로토콜에 영향을 미치지 않게 하는 패킷버퍼링방식이 요구된다 [6][10].

모바일 IP 네트워크에서의 패킷 버퍼링 방식은 확장성 (Scalability)을 지원하고 이미 이동단말이 수신한 패킷의 버퍼링을 방지하기 위해 ARQ (Automatic Repeat reQuest) 방식이 지원되는 기지국 (Base Station : BS)에서 수행되어야 한다 [6-8]. 즉, 모바일 IP 프로토콜에서 핸드오프 동안에 발생하는 패킷 손실 때문에 초래되는 TCP의 성능 저하를 방지하기 위해서는 경로 최적화 확장의 스무스 핸드오프 메커니즘을 사용하고 이전 기지국에서 핸드오프 동안 손실되는 패킷들을 버퍼에 저장하고 버퍼링된 패킷들이 이동단말에게 전달되어야 한다. 그러나 이동단말이 새로운 서브네트워크의 혼잡한 기지국으로 이동한 경우에는, 이전 기지국이 포워딩하는 패킷들은 손실되고 또한 이전 기지국이 포워딩하는 패킷들의 버스트한 도착 특성으로 인해 심화된 혼잡으로 기지국 내 이동단말 흐름들의 TCP 전송 성능이 저하되게 된다. 한편, RED (Random Early Detection) 버퍼관리방식은 버퍼가 가득 차기 전에 큐에 도착하는 패킷들을 확률적으로 폐기함으로써 Drop-Tail 방식에서 많은 수의 흐름들에서 패킷들이 동시에 폐기되어 네트워크의 링크 대역폭에 대한 이용효율을 감소시키는 Global Synchronization의 문제점을 보완하여 수율

(Throughput) 및 링크이용률을 향상시킬수 있다 [9]. 이러한 RED 버퍼관리방식은 대규모 플로들이 경유하는 라우터에 적용되고 있다.

본 논문에서는 무선링크가 병목인 일반적인 혼잡 상황을 고려하여 기지국 패킷 버퍼링 방식이 결합된 스무스 핸드오프 방식으로 이동단말이 새로운 서브 네트워크의 혼잡한 기지국으로 이동한 경우, 기지국 패킷 버퍼링 방식이 혼잡한 기지국을 통과하는 TCP 플로들에게 미치는 영향을 혼잡한 기지국에서의 핸드오프 도착 분포에 따라 Drop-Tail과 RED 버퍼관리방식에 대하여 분석하였다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2 절에서는 기지국 패킷 버퍼링 방식이 결합된 모바일 IP 경로 최적화 확장의 스무스 핸드오프 방식을 소개하고 제 3 절의 시뮬레이션 결과는 RED 방식이 Drop-Tail 방식보다 기지국 패킷 버퍼링 방식이 혼잡한 기지국을 통과하는 TCP 플로들에게 가하는 혼잡을 완화할 수 있으나, 이전 기지국이 포워딩하는 패킷들의 버스트한 도착 특성으로 인한 Global Synchronization은 피할 수 없고, 모바일 IP 네트워크에서 이를 해결하기 위해서는 새로운 버퍼관리 방식이 요구됨을 보인다. 끝으로 제 4 절에서 결론을 맺는다.

II. 모바일 IP 경로최적화확장에서 기지국 패킷 버퍼링 방식

본 논문에서는 그림1과 같이 모바일 IP를 기반으로 하는 네트워크의 구성을 고려한다. 그림1에서 각 서브네트워크에 있는 라우터가 또한 FA (Foreign Agent)의 역할을 수행한다고 가정한다. 그리고 모바일 IP 규격에서 사용되는 용어 및 기능 실체에 관한 설명 없이 논의를 진행한다 [1][3].

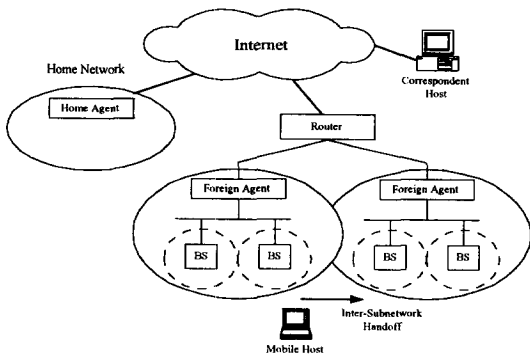


그림 1. 모바일 IP를 기반으로 하는 네트워크 구성

Fig. 1. Network Configuration of Mobile IP based Networks

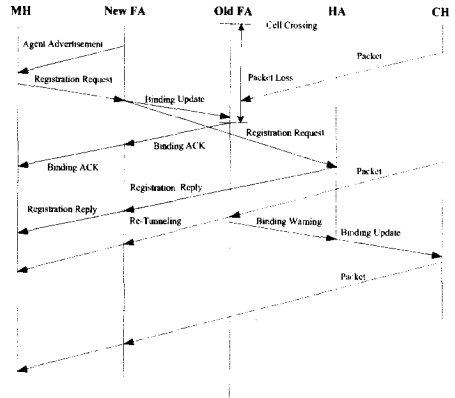


그림 2. 경로 최적화 확장을 갖는 모바일 IP 프로토콜

Fig. 2. Mobile IP Protocol with Route Optimization Extension

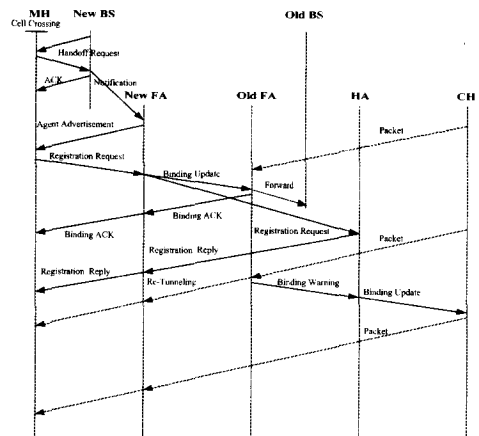


그림 3. 기지국 패킷 버퍼링 방식을 지원하는 모바일 IP 프로토콜의 경로 최적화 확장

Fig. 3. Route Optimization Extension of Mobile IP Protocol with BS Packet Buffering

그림2의 모바일IP 경로 최적화 확장에서는, 새로운 FA가 이동단말로부터 등록요청메시지 (Registration Request Message)를 수신할 경우, 새로운 FA는 등록 요청 메시지를 HA로 중계하는 것과 더불어 이전 FA에게 바인딩 갱신 메시지 (Binding Update Message)를 보내어 새로운 Care-of Address (즉 새로운 FA의 IP 주소)를 통지한다 [4]. 따라서, 이전 FA는 아직 새로운 Care-of Address를 알지 못하는 대응단말 (Correspondent Host : CH) 즉, 이동단말과 통신 중인 단말로부터 패킷을 수신할 때마다, 수신된 패킷을 새로운 FA에게 전달한다. 또한, 이전 FA는 바인딩 경고 메시지 (Binding Warning Message)를 HA에게 보내어, HA가 대응단말에게 새로운 Care-of Address를 통지할 수 있도록 한다.

HA가 바인딩 경고 메시지를 수신할 경우, HA는 바인딩 갱신 메시지를 대응단말에게 보내어 새로운 Care-of Address를 통지한다. 대응단말은 바인딩 갱신 메시지를 수신한 후에는 이전 FA 대신에 새로운 FA에게 패킷을 보낼 수 있게 된다. 일반적으로 새로운 FA와 이전 FA간의 거리가 새로운 FA와 HA간의 거리에 비해 훨씬 짧기 때문에, 새로운 Care-of Address를 이전 FA에게 통지함으로써 핸드오프 동안에 손실되는 패킷의 수를 줄일 수 있다. 모바일 IP에서는 이를 스무스 핸드오프라 부른다.

모바일 IP 표준은 에이전트 광고 메시지 (Agent Advertisement Message)에 의해 발생하는 네트워크의 부하를 줄이기 위하여 에이전트 광고 메시지의 최대 송신 레이트를 초당 1 회로 제한할 것을 권고한다 [1]. 따라서 에이전트 광고 메시지가 새로운 FA에 의하여 최대한의 송신 레이트로 방송 혹은 멀티캐스팅 된다 할지라도, 이동단말은 새로운 외부 네트워크에 이동한 후에 최악의 경우 1 초 동안 에이전트 광고 메시지를 수신할 수 없다. 이동단말은 에이전트 광고 메시지를 수신하기 전에는 등록 요청 메시지를 송신할 수 없기 때문에, 이는 최악의 경우 1 초 이상 이동단말을 향하여 전달되고 있는 패킷들이 손실될 수 있음을 의미한다. 이러한 문제 때문에 참고문헌 [6]에서는 그림3의 프로토콜을 제안하였고, 그림3에서는 동일 서브네트워크 안에 존재하는 기지국 (BS: Base Station)간의 핸드오프를 수행하는 로컬 핸드오프 프로토콜 (Local Handoff Protocol)을 모바일 IP의 경로 최적화 확장에 결합하였다. 이동단말은 에이전트 광고 메시지와 비슷한 역할을 하는 비이콘 메시지 (Beacon Message)를 새로운 기지국으로부터 수신한 후에 핸드오프 요청 메시지 (Handoff Request Message)를 새로운 기지국에 보낸다. 새로운 기지국은 그후에 통보 메시지 (Notification Message)를 새로운 FA에게 보내어 에이전트 광고 메시지를 요청한다. 새로운 FA는 통보 메시지를 받자마자 새로운 기지국에게 에이전트 광고 메시지를 보낸다. 이러한 방법은 서브네트워크에 존재하는 모든 기지국에게 주기적으로 에이전트 광고 메시지를 방송하는 방법에 비하여 훨씬 빠르게, 이동단말이 에이전트 광고 메시지를 수신할 수 있도록 하여 패킷 손실 시간을 비이콘 메시지 주기로 감소시킬 수 있다. 왜냐하면, 일반적으로 로컬 핸드오프 프로토콜에서 사용되는 비이콘 메시지는 에이전트 광고 메시지에 비하여 훨씬 짧고 비이콘 메시지의 송신 레이트 또한 에이전트 광고 메시지의 송신 레이트에 비하여 훨씬 높기 때문이다. 모바일 IP 표준은 이러한 로컬 핸드오프 프로토콜과의 협력을 허용한다는 것을 주목하기 바란다 [1]. 또한 그림3

의 프로토콜은 기지국 패킷 버퍼링 방식을 지원한다. 이를 위해 이전 FA가 바인딩 갱신 메시지를 수신하는 시점에서 이전 기지국이 핸드오프 동안 버퍼링한 패킷들을 새로운 FA로 포워딩하도록 지시하는 Forward 메시지가 추가되어 모바일 IP 프로토콜이 수정되었다 [6][10].

로컬 핸드오프 프로토콜이 결합된 베이스 모바일 IP 프로토콜과 모바일 IP 경로 최적화 확장에 대한 패킷 손실 시간 T_{loss} 및 연결 왕복시간(Round Trip Time) T_{RTT} 와 전체 핸드오프 소요시간 T_h 에 대해 정리하면 식(1)과 같다 [6]. 전체 핸드오프 소요시간은 베이스 모바일 IP 프로토콜의 경우 이동단말의 이동 시점에서 HA가 새로운 FA로부터 등록 요청 메시지를 수신하는 시점까지이고, 경로 최적화 확장의 경우에는 이동단말의 이동시점에서 대응단말(CH)이 HA로부터 바인딩 갱신 메시지를 받는 시점까지이다. 즉, 전체 핸드오프 소요시간 동안 베이스 모바일 IP 프로토콜에서는 패킷 손실이 발생하게 되고, 경로 최적화 확장의 경우에는 전체 핸드오프 소요시간 동안 대응단말이 송신한 패킷들이 이전 FA를 경유하여 새로운 FA로 전달되게 된다. 한편 이동단말은 TCP의 ACK 패킷들을 대응단말에게 직접 송신한다. 식(1)로부터 T_{loss} 는 경로 최적화 확장의 경우보다 베이스 모바일 IP의 경우에서 훨씬 커짐을 알 수 있다. 왜냐하면, 이전 FA는 항상 새로운 FA에 인접해 있음으로 T_o 의 값이 매우 작아지기 때문이다. 따라서, 두경우에 있어서 T_{loss} 의 차는 대략 HA와 이전혹은 새로운 FA간 지연시간의 두배와 같다.

$$\begin{aligned}
 T_{loss-Base} &= T_B + T_N + T_{HA} + D_{HA-FA} \\
 T_{loss-Route} &= T_B + T_N + T_o \\
 T_{h-Base} &= T_B + T_N + T_{HA} \\
 T_{h-Route} &= T_B + T_N + T_{HA} + T_{CH} \\
 T_{RTT-Base} &= D_{CH-HA} + D_{HA-FA} + D_{CH-FA} + \alpha \\
 T_{RTT-Route} &= 2 \cdot D_{CH-FA} + \alpha
 \end{aligned}$$

- D_{HA-FA} : HA와 이전 FA 간의 지연 ($\cong T_{HA}$: HA와 새로운 FA 간의 지연)
- D_{CH-HA} : CH와 HA간의 지연, D_{CH-HA} : CH와 FA간의 지연
- T_B : 이동단말이 새로운 외부 네트워크에 진입한 시점부터 새로운 BS로부터 비이콘 메시지를 수신하는 시점까지의 시간
- T_N : 이동단말이 비이콘 메시지를 수신한 시점부터 새로운 FA가 등록 요청 메시지를 송신하는 시점까지의 시간 (벨이 걸치지 않는 경우, 최대 비이콘 메시지의 주기)
- T_{HA} : 새로운 FA가 등록 요청 메시지를 송신하는 시점부터 HA가 이를 수신하는 시점까지의 시간
- T_o : 새로운 FA가 바인딩 메시지를 송신하는 시점부터 이전 FA가 이를 수신하는 시점까지의 시간
- T_{CH} : HA가 바인딩 갱신 메시지를 송신하는 시점부터 CH가 이를 수신하는 시점까지의 시간
- α : FA와 이동단말 간의 왕복시간 (1)

참고문헌[6]에서는 모바일 IP 프로토콜의 경로 최적화 확장을 사용하는 이동 네트워크에서 핸드오프 시 발생하는 TCP의 성능저하 문제를 근본적으로 해결하기 위해 그림3과 같이 핸드오프 동안에 손실되는 패킷들을 이전 기지국에서 저장하여 이를 이동단말에게 패킷 손실 없이 포워딩하는 패킷 버퍼링 방식을 제안하였다. 기지국 패킷 버퍼링 방식은 다수의 TCP 플로우들을 관리해야 하는 FA 패킷 버퍼링 방식과 달리 확장성의 문제없이 모바일 IP 네트워크에 적용될 수 있다. 또한, 기지국 패킷 버퍼링 방식은 ARQ 기법을 사용하여 이미 이동단말이 수신한 패킷의 버퍼링을 방지할 수 있다. 참고문헌 [10]에서는 경로 최적화 확장 방식에서 아직 새로운 Care-of Address를 알지 못하는 대응단말로부터 이전 FA가 수신한 패킷들과 이전 기지국에서 버퍼링한 패킷들이 새로운 FA로 포워딩되는 경우를 고려하였다. 그리고 이 경우 이동단말이 수신할 때 발생할 수 있는 패킷 순서의 재배열 문제 (Packet Reordering)는 TCP 성능저하 패킷 손실 패턴과 동일한 현상을 야기할 수 있고, 이를 해결하기 위해 그림4와 같이 아직 새로운 Care-of Address를 알지 못하는 대응단말로부터 이전 FA가 수신한 패킷들은 반드시 이전 기지국을 경유하여 새로운 FA로 포워딩되도록 제안하였다. 본 논문에서는 기지국 패킷 버퍼링 방식을 사용하고 ARQ 방식을 이용하여 이미 이동단말이 수신한 패킷을 버퍼링하는 것은 방지되었다고 가정하였으며, 그림4와 같이 이전 FA가 수신한 패킷들은 반드시 이전 기지국을 경유하여 새로운 FA로 포워딩 되도록 설정하였다.

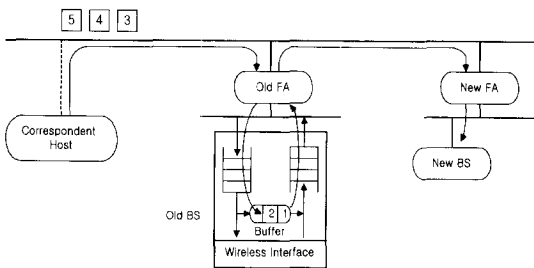


그림 4. 패킷재배열 문제를 해결하기 위한 패킷포워딩 순서

Fig. 4. Packet Delivery Sequence for avoiding re-ordering of packets

III. 시뮬레이션 모델 및 성능 평가

본 논문에서는 무선링크가 병목인 일반적인 혼잡 상황을 고려하여 기지국 패킷 버퍼링 방식이 결합된 스무스 핸드오프 방식으로 이동단말이 새로운

서브 네트워크의 혼잡한 기지국으로 이동한 경우, 기지국 패킷 버퍼링 방식이 혼잡한 기지국을 통과하는 TCP 플로우들에게 가하는 혼잡을 혼잡한 기지국에서의 핸드오프 도착 분포에 따라 Drop-Tail과 RED 버퍼관리방식에 대하여 분석한다. 이를 위해 그림7과 표1의 시뮬레이션 모델을 사용하였다. 그림 8과 식(2)는 RED 버퍼관리방식을 설명한 것으로 RED 알고리즘을 구성하는 제어 변수로는 TH_{min} , TH_{max} 와 P_{max} , W_q 가 있고, 참고 문헌[9]에서는 P_{max} 와 W_q 의 값으로 각각 0.02와 0.002를 제시하였다. RED 버퍼관리방식은 TH_{min} 과 TH_{max} 라는 2개의 임계치를 설정하여 평균 큐의 길이를 나타내는 $avg-q$ 변수 값이 TH_{min} 을 초과하게 되면 계산된 확률 P 값에 따라 도착하는 패킷들을 폐기하고 TH_{max} 에 이르면 무조건 도착하는 패킷들을 폐기한다. 이러한 RED 버퍼관리방식은 버퍼가 가득 차기 전에 큐에 도착하는 패킷들을 확률적으로 폐기하여 Drop-Tail 방식에서 많은 수의 플로우들로부터 발생한 패킷들이 동시에 폐기되어 네트워크의 링크 대역폭에 대한 이용효율을 감소시키는 Global Synchronization 현상을 방지할 수 있다.

그림5는 그림3의 기지국 패킷 버퍼링 방식이 결합된 모바일 IP 경로 최적화 확장의 스무스 핸드오프 방식으로 이동단말이 새로운 서브네트워크의 혼잡한 기지국으로 이동한 경우에 대해 모바일 IP 시그널링과 패킷의 흐름을 설명한 것이다. 그림6은 기지국 패킷 버퍼링 방식이 결합된 모바일 IP 경로 최적화 확장에서 필요한 기지국 구조를 나타낸다. 그림7은 그림6의 기지국 구조를 그림5의 경우에 적용한 시뮬레이션 환경을 나타낸 것으로 2Mbps 무선링크를 갖는 기지국은 10Mbps Ethernet과 연결되어 있다. 그리고 각 이동단말 (MH)에 대한 대응단말 (CH)은 10Mbps Ethernet에 연결되어 있다고 가정하였고, FA간의 패킷전송 지연시간은 10Mbps Ethernet을 고려하여 1ms로 설정되었으며 동일한 방식으로 FA와 기지국간의 지연시간도 1ms로 설정되었다. 또한 그림7에서 이동단말의 핸드오프 소요시간 및 RTT를 구성하는 각 노드 간의 지연 시간은 표1에 나타내었다. 표1에서 기지국과 이동단말 간 무선 링크 상에서의 비이콘 메시지 주기, T_B 는 50msec로 고정하였다 [6][7]. 그림7에서 혼잡한 기지국에서 통신 중인 3개 이동단말 간의 RTT는 2ms씩 차이가 나며 86ms에서 90ms까지의 값을 갖는다. 또한 모든 이동단말의 TCP 연결에 있어서 TCP Reno에서 채택된 혼잡 제어 알고리즘을

고려하였고 TCP 연결의 패킷 크기, *packet-size* 및 최대 윈도우 크기, *ms*는 각각 512 바이트 및 64 패킷으로 설정하였다. 그리고 전송 에러로 인한 패킷 손실은 없다고 가정하였고, 혼잡한 무선 링크를 관리하는 기지국의 Drop-Tail 및 RED 큐 버퍼길이, *buff-size*는 120 패킷으로, TH_{min} 과 TH_{max} 는 각각 40과 80으로 설정하였고 P_{max} 와 W_q 의 값은 각각 0.02와 0.002로 설정하였다 [9]. 본 논문에서는 ns-2시뮬레이터를 사용하여 시뮬레이션을 수행하였다 [11].

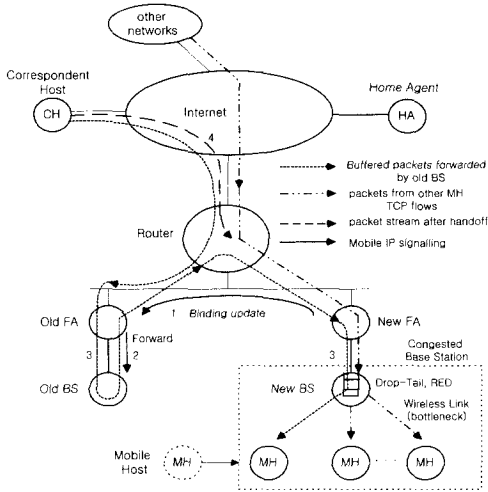


그림 5. 혼잡한 기지국으로 버퍼링된 패킷들의 포워딩
Fig. 5. Forwarding buffered packets to a congested BS.

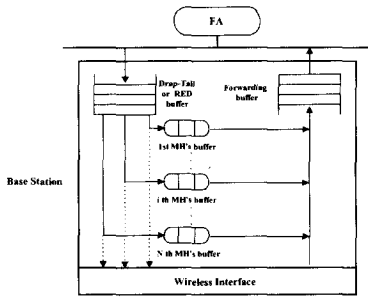


그림 6. 기지국 패킷 버퍼링 방식을 위한 기지국 구조
Fig. 6. Base station structure for BS packet buffering
표 1. 핸드오프 지연시간을 구성하는 각 노드간 지연시간

Table 1. Delays between nodes constructing handoff processing delay

| 변수 | T_B | T_N | T_{HA} | T_{CH} | T_o |
|----|-------------|----------|---------------|------------------|-----------------|
| 값 | 50ms | 12ms | 60ms | 60ms | 1ms |
| 변수 | D_{CH-FA} | α | $T_{h-Route}$ | $T_{loss-Route}$ | $T_{RTT-Route}$ |
| 값 | 40ms | 8ms | 182ms | 63ms | 88ms |

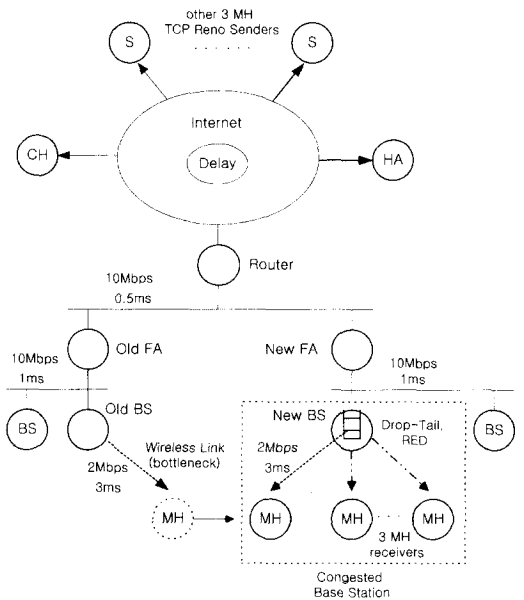


그림 7. 그림5의 경우에 대한 시뮬레이션 모델
Fig. 7. Simulation model for the case of Figure 5

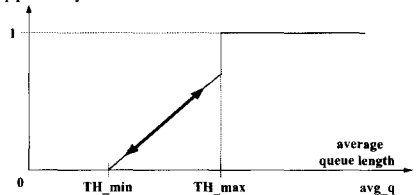


그림 8. RED 버퍼 관리 방식
Fig. 8. RED Buffer Management Scheme

calculate the average queue size avg_q

```

if  $avg\_q < TH_{min}$ 
    queue packet
else if  $TH_{min} \leq avg\_q \leq TH_{max}$ 
    calculate probability  $P$ 
    with probability  $P$ 
    discard packet
    else with probability  $1-P$ 
    queue packet
else if  $avg\_q \geq TH_{max}$ 
    discard packet
    
```

(2)

그림9와 10은 그림7의 기지국 패킷 버퍼링 방식을 결합한 모바일 IP 경로 최적화 확장 방식에서, 이전 기지국이 포워딩하는 패킷들의 버스트한 도착 특성이 혼잡한 기지국에 가하는 혼잡을 무선링크를 관리하는 기지국의 Drop-Tail 큐와 RED 큐 상태 변화 측면에서 분석한 결과이다. 즉, 그림9와 10은 88ms의 RTT를 갖는 새로운 연결된 이동단말 플로우 (Mobile New Connection)로부터 발생된 패킷들이

10초에서부터 기지국의 혼잡한 무선링크에 도착하는 경우와 핸드오프하는 이동단말 (Mobile Handoff Connection)이 이동하여 이전 기지국이 버퍼링한 최대 mus , 64개 패킷들이 10초에서부터 182ms의 핸드오프 소요시간, $T_{h \sim Route}$ 동안 10.182초까지 기지국의 혼잡한 무선링크에 도착한 경우를 혼잡한 무선링크를 관리하는 Drop-Tail 큐와 RED 큐의 큐 길이 및 $avg-q$ 측면에서 분석한 결과이다. 그림7의 실험 환경에서 새로이 연결된 이동단말 플로 (Mobile New Connection)로부터 발생된 패킷들이 혼잡한 기지국에 도착하는 것은 88ms의 RTT에 따른 TCP Reno의 전송 메커니즘을 따르나, 하나의 이동단말이 혼잡한 기지국으로 핸드오프할 경우에는 이전 기지국이 포워딩하는 패킷량의 최대값은 mus 로서 64패킷이고 이전 FA와 새로운 FA가 가까운 거리에 있어 64개의 패킷들이 10Mbps의 링크에서 최소 약 26ms의 상대적으로 짧은 시간 동안 혼잡한 기지국에 버스트하게 포워딩된다.

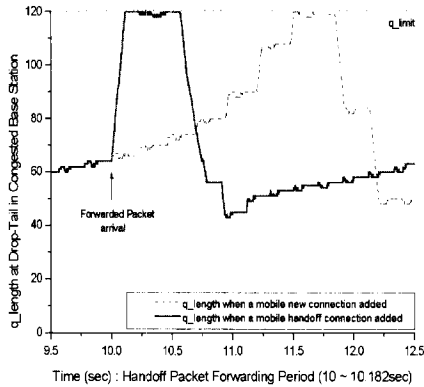


그림 9. DT큐에서 포워딩된 패킷들의 도착특성
Fig. 9. Arrival property of forwarded packets at DT

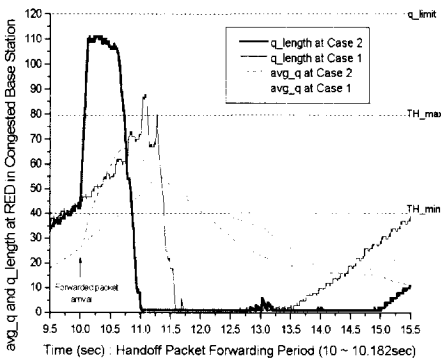


그림 10-(a)

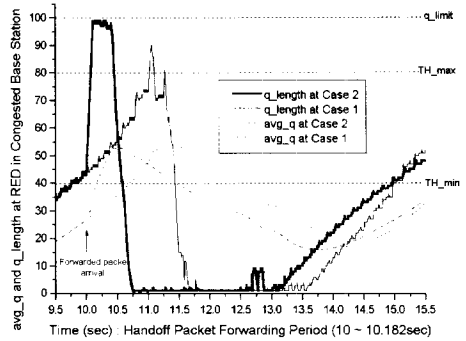


그림 10-(b)

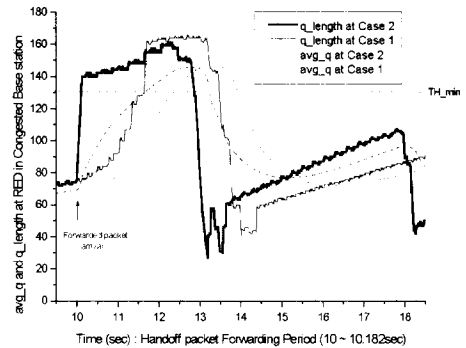


그림 10-(c)

그림 10. RED큐에서 포워딩된 패킷들의 도착특성
Fig. 10. Arrival property of forwarded packets at RED
Case1: a Mobile New Connection added at 10sec
Case2: a Mobile Handoff Connection added at 10sec

이러한 특성으로 인해 그림9의 결과에서 기지국 내 기존 3개의 이동단말 플로들에게 새로이 연결된 이동단말 플로 (Mobile New Connection) 하나가 추가되는 경우에는 Drop-Tail 큐의 큐 길이가 점진적으로 증가하고 그후 혼잡의 증가로 Buffer Overflow Drop에 의한 Global Synchronization 현상이 발생함을 볼 수 있으나, 핸드오프하는 이동단말 (Mobile Handoff Connection) 플로 하나가 추가되는 경우에는 큐 길이가 급격하게 증가하는 것을 볼 수 있고 이로 인해 도착하는 패킷들의 Buffer Overflow Drop이 발생하고, 이에 따른 도착하는 패킷들에 대한 버스트한 폐기로 인해 큐 길이가 급격하게 감소하는 Global Synchronization의 현상이 발생함을 알 수 있다. 한편 그림10-(a) 결과는 RED 큐의 각 $buff-size$ 와 TH_{min} , TH_{max} 의 변수값으로 120과 40, 80을 설정한 경우로서, $avg-q$ 변수값이 40 ($= TH_{min}$)미만으로, 즉 Random Drop 없이 안정적으로 제어되는 상황에서 기지국 내 기존 3개의

이동단말 플로들에게 새로이 연결된 이동단말 플로 (Mobile New Connection) 하나가 추가되는 경우에는 RED 큐의 큐 길이와 $avg-q$ 가 점진적으로 증가하는 것을 볼 수 있다. 그러나 핸드오프하는 이동단말 (Mobile Handoff Connection) 플로 하나가 추가되는 경우에는 큐 길이가 10초에서부터 10.182초까지의 패킷 포워딩 기간 동안 mus , 64만큼 급격하게 증가하는 것을 볼 수 있다. 이로 인해 TH_{max} 을 초과하여 급격하게 증가한 $avg-q$ 로 인한 확률적인 패킷 폐기의 증가로 핸드오프 후 큐 길이가 0이 되는 TCP 플로들의 Global Synchronization의 현상이 발생함을 알 수 있다.

여기서 주목해야 할 점은 RED 버퍼관리방식을 대규모의 플로들이 경유하는 라우터에 사용할 경우에는 $avg-q$ 가 TH_{min} 을 초과하여 발생하는 식(2)의 확률적인 폐기가 다수의 플로들 중에 일부 플로들에게 적용되어 $avg-q$ 가 TH_{min} 주변의 값을 갖고 유지되며, 또한 큐 길이가 0이 되는 Global Synchronization 현상이 거의 발생하지 않으나, 그림10-(a), (b)의 결과와 같이 기지국 패킷 버퍼링 방식이 결합된 모바일 IP 기반 네트워크에서 소규모의 플로들이 경유하는 기지국에 RED 버퍼관리방식이 사용될 경우에는 RED의 확률적인 폐기가 경유하는 플로들의 대부분에 적용되어 전체 TCP 전송률의 감소로 $avg-q$ 가 TH_{min} 미만의 값을 갖고 유지되며, 또한 새로이 연결된 이동단말 플로 (Mobile New Connection) 하나가 추가되는 경우에도 핸드오프하는 이동단말 (Mobile Handoff Connection) 플로 하나가 추가되는 경우보다 매우 짧지만 큐 길이가 0이 되는 Global Synchronization의 현상이 발생할 수 있음을 알 수 있다. 그리고 이전 기지국이 포워딩하는 패킷들의 버스트한 도착 특성으로 인해 TH_{min} 을 초과하여 급격하게 증가한 $avg-q$ 로 인한 확률적인 패킷 폐기의 증가는 핸드오프 후, TCP 플로들의 상대적으로 긴 기간의 Global Synchronization 현상을 발생시킴을 알 수 있다. 이는 라우터에 Drop-Tail 방식을 적용할 때 많은 수의 플로들에서 패킷들이 동시에 폐기되어 네트워크의 링크 대역폭에 대한 이용효율을 감소시키는 Global Synchronization의 문제점을 보완하여 수율 및 링크 이용률을 향상시키기 위해 제안된 RED 방식도 기지국 패킷 버퍼링 방식이 결합된 모바일 IP 기반 네트워크에서의 Global Synchronization 현상은 피할 수 없음을 나타낸다.

한편 그림10 실험에 있어서 RED 큐의 각

$buff-size$ 와 TH_{min} , TH_{max} 의 변수 값으로 100과 40, 80을 설정한 그림10-(b)의 결과를 살펴보면 그림 10-(a)의 결과와 유사하나, 핸드오프하는 이동단말 (Mobile Handoff Connection) 플로 하나가 추가되는 경우, 10초에서부터 10.182초까지 이전 기지국으로부터 mus , 64개 패킷들이 포워딩되어 $buff-size$, 100을 초과하는 Buffer Overflow Drop이 발생함을 알 수 있고, 이로 인한 버스트한 폐기로 Global Synchronization 현상이 그림10-(a)의 결과보다 일찍 발생한다. 그러나 Buffer Overflow Drop으로 인해 $avg-q$ 에 가하는 혼잡은 그림10-(a)의 결과보다 작아 $avg-q$ 의 증가량이 그림10-(a)의 결과보다 작음을 알 수 있고 이로 인한 RED의 Random Drop의 감소로 Global Synchronization 현상 시간이 그림 10-(a)의 결과보다 짧음을 알 수 있다. 그리고 그림 10 실험에 있어서 RED 큐의 각 $buff-size$ 와 TH_{min} , TH_{max} 의 변수값으로 300과 130, 260을 설정한 그림10-(c)의 결과를 살펴보면, $avg-q$ 변수 값이 130 (= TH_{min})보다 작은 70으로 그림10-(a)와 (b)의 경우보다 혼잡이 적고 더욱 안정적으로 제어되는 상황으로 기지국 내 기존 3개의 이동단말 플로들에게 새로이 연결된 이동단말 플로 (Mobile New Connection) 하나가 추가되는 경우 점진적으로 mus , 64 패킷 만큼 도착하는 것을 볼 수 있고, 핸드오프하는 이동단말 (Mobile Handoff Connection) 플로 하나가 추가되는 경우 상대적으로 짧은 시간동안 버스트하게 mus , 64패킷만큼 포워딩되는 것을 관찰할 수 있다. 그리고 두 경우 모두 130 (= TH_{min})보다 증가한 $avg-q$ 에 의한 Random Drop으로 인해 큐 길이가 감소하였으나, 그림10-(a)와 (b)의 경우보다 TH_{min} 과 TH_{max} 의 간격이 크고 TH_{min} 과 증가한 $avg-q$ 의 차가 작아 이로 인한 확률적인 폐기량의 감소[9]로 큐 길이의 감소량은 상대적으로 적은 것을 볼 수 있다. 그림10-(c)의 결과에서 전체적으로 두 경우에 대한 RED 큐 길이와 $avg-q$ 변화는 마치 시간 지연만 추가된 것처럼 유사하다. 즉, 핸드오프 시 이전 기지국이 포워딩하는 패킷들의 버스트한 도착 특성은 새로이 연결된 이동단말 플로 (Mobile New Connection) 하나가 추가되는 경우보다 $avg-q$ 의 증가 속도를 높여 $avg-q$ 에 의한 Random Drop을 앞당기는 것을 알 수 있다. 그리고 그림10-(c)에서 기지국을 경유하는 플로 수가 증가하여 혼잡이 가중되면 그림10-(a)와 (b)의 현상이 발생하는 것으로 사료된다.

그림11과 12는 그림9와 10의 실험에서 혼잡한 기지국 내 기존 통신 중인 이동단말과 핸드오프하는 이동단말의 TCP 수율 변화를 관찰한 결과이다. 그

림11과 12의 결과로부터 RED 방식에서 Drop-Tail 방식보다 큰 TCP 수율을 나타냄을 알 수 있다. 이는 그림9와 10에서 볼 수 있듯이 RED 방식이 큐에 쌓인 패킷 수를 더 적게, 즉 혼잡이 적게 관리할 수 있기 때문이다. 그리고 그림11의 결과로부터 Drop-Tail 방식과 RED 방식을 적용한 두 경우 모두, 핸드오프하는 이동단말 (Mobile Handoff Connection) 플로 하나가 추가되는 경우가 통신 중인 이동단말의 TCP 수율을 더욱 감소 시킴을 알 수 있다. 그리고 RED 방식의 경우 그림10-(a)에서 핸드오프하는 이동단말 플로 하나가 추가될 때 11초에 발생한 Global Synchronization의 영향으로 11초부터 TCP 수율증가가 멈추는 것을 확인할 수 있다.

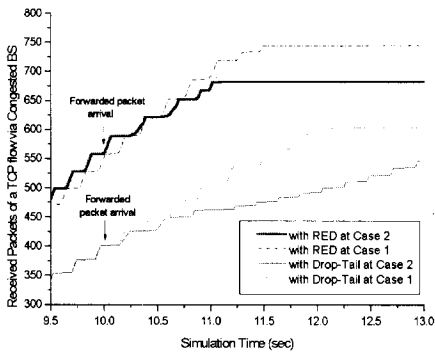


그림 11. 통신중인 이동단말의 TCP 수율 변화
Fig. 11. Throughput of a TCP flow in congested BS

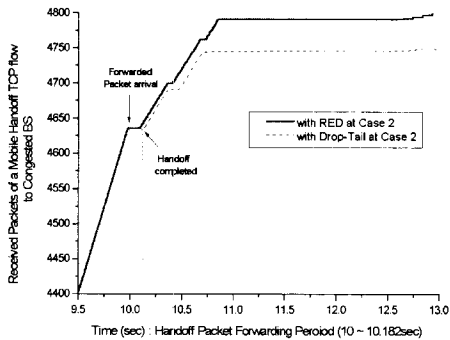


그림 12. 핸드오프하는 이동단말의 TCP 수율 변화
Fig. 12. Throughput of a handoff TCP flow to the BS

그림9에서 그림12의 실험 결과는 핸드오프하는 이동단말 (Mobile Handoff Connection) 플로 하나가 추가되는 경우에서 기지국 패킷 버퍼링 방식이 혼잡한 기지국을 통과하는 TCP 플로들에게 가하는 혼잡을 분석한 결과이다. 그리고 다수의 핸드오프 플로들이 혼잡한 기지국에 추가되는 경우에 대한

혼잡 영향을 분석하기 위해 그림13의 핸드오프 도착 분포를 고려하였다. 그림13에서 Case 1과 Case 2는 300초간 혼잡한 기지국으로 비교적 균일한 핸드오프 도착 분포를 나타내고 Case 3에서 Case 8까지는 300초간 버스트한 핸드오프 도착 분포를 나타낸다. 즉 그림13은 4개의 이동단말들이 그림7의 Old BS들과 New BS를 이동하며 각 이동단말이 300초간 혼잡한 New BS로 3회 핸드오프하는 실험 환경에서의 핸드오프 시나리오이다. 본 논문에서 고려한 핸드오프 도착 간격은 20초, 5초, 4초, 3초, 2초, 1초, 0인 경우이다. 따라서 핸드오프 도착 간격이 20초인 경우는 100초간 4회 핸드오프 도착이 균일하게 발생하는 경우가 된다. 반면 핸드오프 도착 간격이 5초에서 0인 경우는 전체 100초 중 핸드오프가 도착하지 않는 기간이 핸드오프가 버스트하게 도착하는 기간보다 큰 On-Off Handoff Arrival Model로서 100초간 4회 핸드오프 도착들이 버스트하게 발생하는 경우이다.

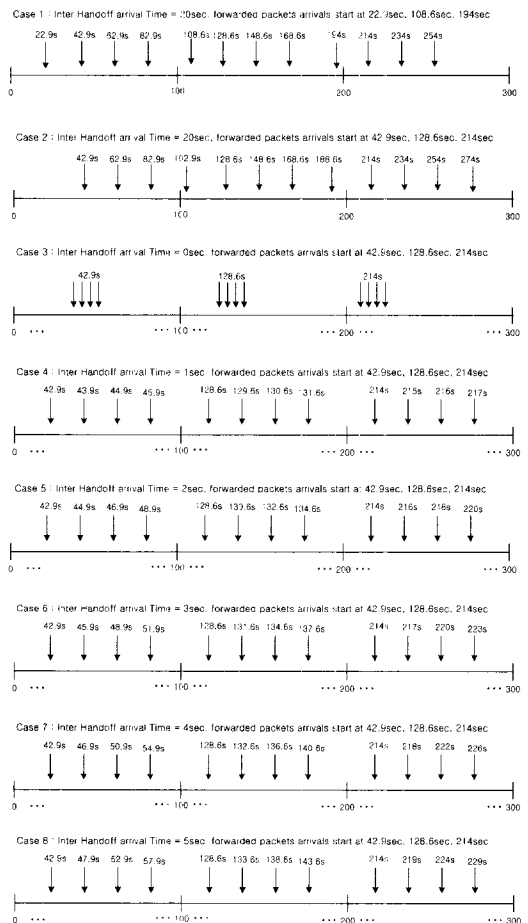


그림 13. 그림 14~17 실험에서 고려한 핸드오프 도착분포
Fig. 13. Handoff arrival distributions at Figs.14~17

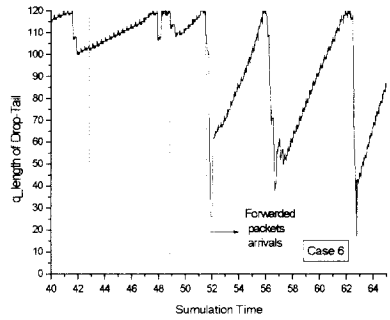
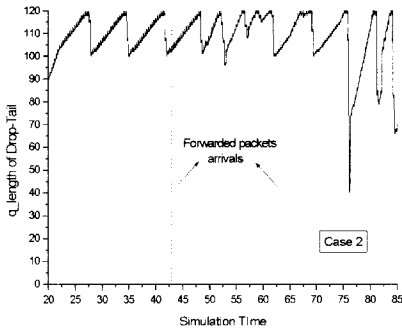
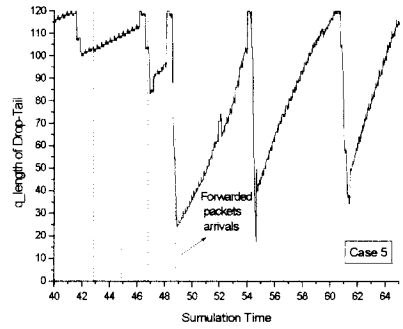
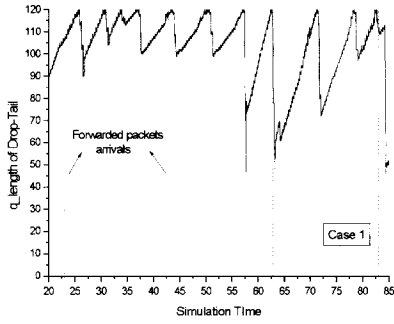


그림 14-case4~6

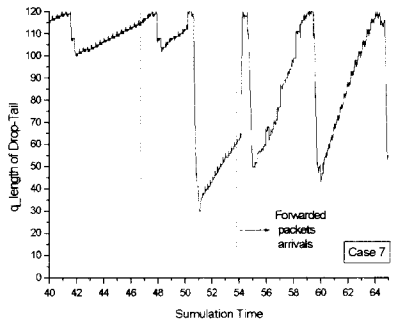
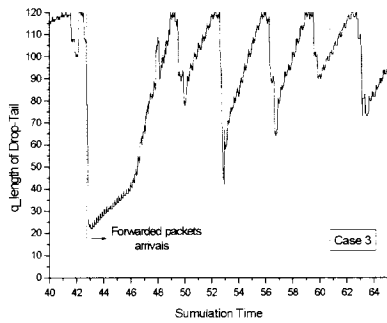


그림 14-case1~3

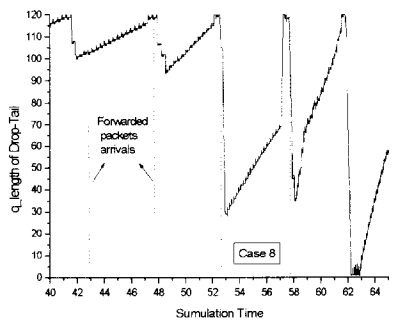
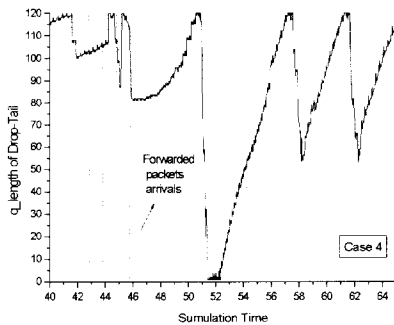


그림 14-case7~8

그림 14. 핸드오프 도착분포에 따른 DT 큐길이 변화
Fig. 14. DT queue length variations at congested BS

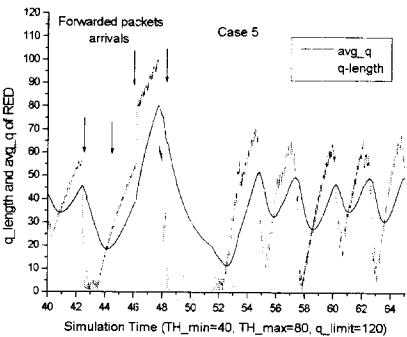
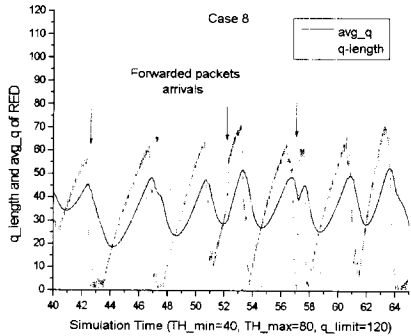
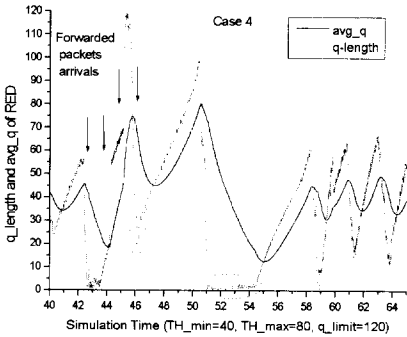
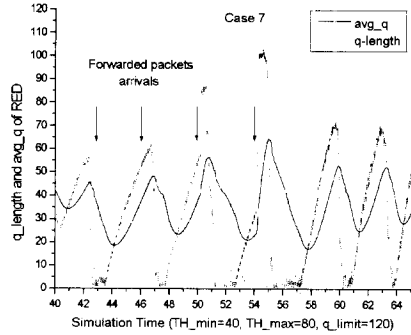
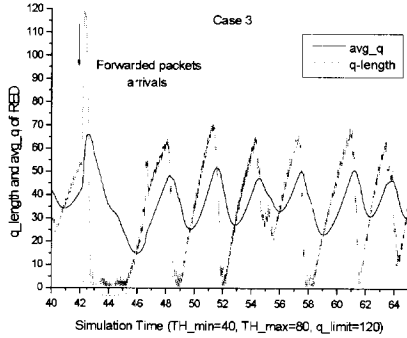


그림 15-case3~5

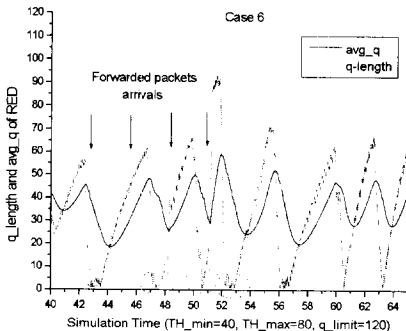


그림 15-case6~8

그림 15. 핸드오프 도착분포에 따른 RED 큐길이 변화
Fig. 15. RED queue length variations at congested BS

그림14와 15는 이동단말 3개가 통신 중인 혼잡한 기지국에서 그림13의 첫번째 100초 구간동안 4개 핸드오프 이동단말들의 핸드오프 도착 간격 (Inter Handoff Arrival Time) 변화에 따라 Drop-Tail 큐와 RED 큐의 큐 길이 및 avg-q를 관찰한 결과이다. 균일한 핸드오프 도착 분포로서 그림14의 Case 1과 Case 2의 결과를 보면 핸드오프가 20초 일찍 발생한 Case 1의 결과는 Case 2의 결과 그래프를 20초 앞당긴 것과 유사한 것을 볼 수 있다. 이는 Drop-Tail 큐에서 기지국 패킷 버퍼링 방식을 적용한 핸드오프의 혼잡 영향은 어느 시간에서나 동일한 영향을 가한다는 것을 보여주는 결과로 사료된다. 그리고 Case 3부터 Case 6의 결과들을 관찰하면 핸드오프 도착간격이 Case 3의 0초에서 Case 6의 3초까지는 연속되는 핸드오프 도착이 Drop-Tail 큐 내의 패킷 수를 증가 시켜 혼잡을 가중시키는 기간을 연장하고 있음을 알 수 있고, 핸드오프 도착 간격이 4초인 Case 7과 핸드오프 도착간격이 5초인 Case 8의 결과를 보면 기지국 패킷 버퍼링 방식을 적용한 핸드오프가 Buffer Overflow Drop을 유발하는 혼잡 영향을 가하고 있음을 알 수 있다. 그리고

핸드오프 도착 간격이 0초인 Case 3에서 핸드오프 도착 시 가장 큐 길이 감소가 크나, 이후 Drop-Tail 큐의 혼잡은 다른 경우들 보다 작은 것을 볼 수 있다.

한편 그림15의 RED 큐의 큐 길이 및 avg-q를 관찰한 결과에서는 핸드오프 도착간격이 0초인 Case 3의 경우도 큐 길이 및 avg-q를 급격하게 증가시키나, 그보다 핸드오프 도착간격이 1초인 Case 4와 핸드오프 도착간격이 2초인 Case 5에서 더욱 avg-q를 급격하게 증가시키는 것을 확인할 수 있고, 핸드오프 도착간격이 더 큰 분산적인 경우로서 Case 6에서 Case 8의 경우에는 급격한 avg-q의 증가를 띄지 않음을 알 수 있다. 결과적으로 그림 14와 15의 결과로부터 Drop-Tail 큐의 경우는 핸드오프 도착간격이 증가하더라도, 즉 관찰 구간에 대해 균일한 핸드오프 도착 분포가 되더라도 기지국 패킷 버퍼링 방식을 적용한 핸드오프가 혼잡을 비교적 가중시키나, RED 큐의 경우는 핸드오프 도착 간격이 증가하면 기지국 패킷 버퍼링 방식을 적용한 핸드오프가 가하는 혼잡이 감소함을 알 수 있다.

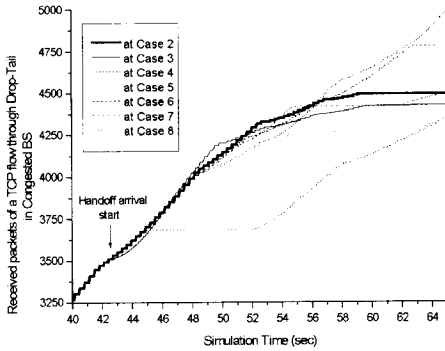


그림 16-(a)

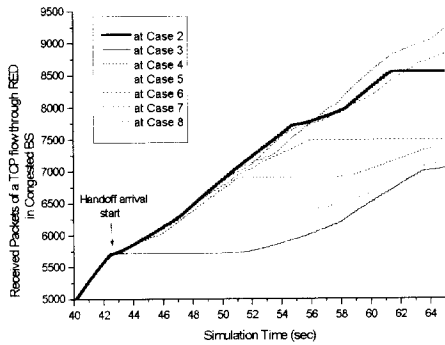


그림 16-(b)

그림 16. 단일구간 핸드오프 도착시 통신중인 이동단말의 TCP 수율 변화

Fig. 16. TCP throughputs at a handoff arrivals

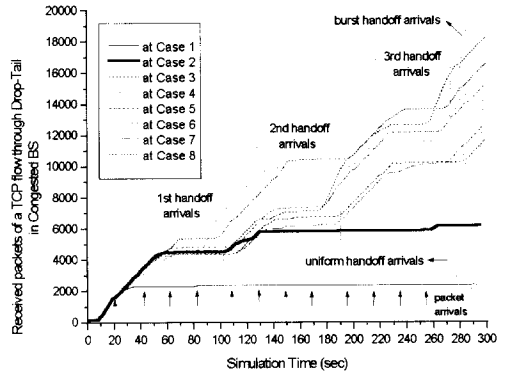


그림 17-(a)

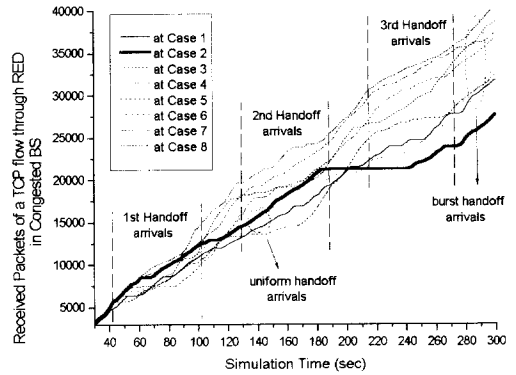


그림 17-(b)

그림 17. 다중구간 핸드오프 도착시 통신중인 이동단말의 TCP 수율 변화

Fig. 17. TCP throughputs at multiple handoff arrivals

그림16은 전체 300초 중 100초의 단일 핸드오프 도착 구간을 관찰한 그림14와 그림15의 실험에서 혼잡한 기지국 내 기존 통신 중인 이동단말의 TCP 수율 변화를 관찰한 결과이다. 그림16-(a)의 Drop-Tail 큐 경우는 그림14의 결과 분석과 같이 핸드오프 도착간격이 0초인 Case 3의 경우보다 핸드오프 도착간격이 1초와 2초인 Case 4와 Case 5의 경우에서 TCP 수율이 더 감소하였으며, 그림 16-(b)의 RED 큐 경우는 그림15의 결과 분석과 같이 핸드오프 도착간격이 더 분산적인 4초, 5초인 Case 7과 Case 8의 경우보다 핸드오프 도착간격이 0초와 1, 2, 3초인 Case 3에서 Case 6의 경우에서 TCP 수율이 더 감소하였다. 그림17은 전체 300초의 다중 핸드오프 도착 구간 동안 혼잡한 기지국 내 기존 통신 중인 이동단말의 TCP 수율 변화를

관찰한 결과이다. 그림17-(a)의 결과로부터 Drop-Tail 큐의 경우는 기지국 패킷 버퍼링 방식을 적용한 핸드오프 도착 구간마다 겪는 Global Synchronization의 영향으로 핸드오프 도착 구간마다 수율 증가가 멈추는 것을 확인할 수 있고, 또한 버스트한 핸드오프 도착분포의 경우보다 핸드오프 도착간격이 큰 균일한 핸드오프 도착분포로서 Case 1과 Case 2의 일반적인 경우에서 더욱 TCP 수율 감소가 심화되고 핸드오프가 20초 일찍 시작된 Case 1과 Case 2의 결과가 거의 동일한 형태를 나타냄을 확인할 수 있다. 한편 그림17-(b)의 RED 큐의 경우는 핸드오프 도착구간 마다 겪는 TCP 수율의 감소 현상이 Drop-Tail 큐의 경우보다 완화되었으며, 또한 Case 3에서 Case 8의 버스트한 핸드오프 도착 분포와 Case 1과 Case 2의 균일한 핸드오프 도착 분포간의 TCP 수율차도 Drop-Tail 큐의 경우보다 완화됨을 알 수 있다.

한편 그림14에서 그림17의 실험에 있어서 관찰 구간 100초간 혼잡한 기지국으로 이동단말(MH)들이 핸드오프하는 회수가 4회보다 큰 경우와 혼잡한 기지국 내 통신 중인 이동단말의 수가 3개보다 커 혼잡이 더욱 증가한 경우에는 패킷 버퍼링 방식이 혼잡한 기지국에 가하는 혼잡이 더욱 증가할 것이다. 그림9에서 그림17의 시뮬레이션 결과들로부터 RED 방식이 Drop-Tail 방식보다 큐 내의 패킷 수, 큐 길이를 더 작게 제어하여 혼잡을 완화할 수 있고, 또한 기지국 패킷 버퍼링 방식이 혼잡한 기지국을 통과하는 TCP 플로들에게 가하는 혼잡을 Drop-Tail 방식보다 완화할 수 있음을 알 수 있다. 이로부터 RED 버퍼관리방식이 현재에는 대규모의 플로들이 경유하는 라우터(Router)에 사용되고 있으나, 모바일 IP 기반 네트워크에서 기지국 패킷 버퍼링 방식이 적용되는 경우 소규모의 플로들이 경유하는 기지국에도 사용되어야 할 필요성이 있음을 알 수 있다. 그러나, 시뮬레이션 결과들로부터 RED 방식에서도 이전 기지국이 포워딩하는 패킷들의 버스트한 도착 특성으로 인한 Global Synchronization은 피할 수 없고, 이로 인한 그림11과 그림17의 통신중인 이동단말의 TCP 수율감소를 피할수 없음을 확인하였다. 따라서 모바일 IP 네트워크에서 이를 해결하기 위해서는 새로운 버퍼관리방식이 요구되며, 아울러 그림12에서 고려한 핸드오프하는 이동단말의 TCP 수율도 향상시킬 수 있는 방안이 요구된다고 사료된다.

IV. 결론

본 논문은 무선링크가 병목인 일반적인 혼잡 상황

을 고려하여 기지국 패킷 버퍼링 방식이 결합된 스무스 핸드오프 방식으로 이동단말이 새로운 서버 네트워크의 혼잡한 기지국으로 이동한 경우, 기지국 패킷 버퍼링 방식이 혼잡한 기지국을 통과하는 TCP 플로들에게 가하는 혼잡을 혼잡한 기지국에서의 핸드오프 도착 분포에 따라 Drop-Tail과 RED 버퍼관리방식에 대하여 분석하였다. 시뮬레이션 결과로부터 RED 방식이 Drop-Tail 방식보다 기지국 패킷 버퍼링 방식이 혼잡한 기지국을 통과하는 TCP 플로들에게 가하는 혼잡을 완화할 수 있음을 확인하였다. 이로부터 RED 버퍼관리방식이 모바일 IP 기반 네트워크에서 기지국 패킷 버퍼링 방식이 적용되는 경우 소규모의 플로들이 경유하는 기지국에도 사용되어야 할 필요성이 있음을 제시하였다. 그러나, RED 방식에서도 이전 기지국이 포워딩하는 패킷들의 버스트한 도착 특성으로 인한 Global Synchronization 및 TCP 수율 감소를 피할 수 없음을 시뮬레이션 결과로부터 확인하였고, 이를 해결하기 위해서는 새로운 버퍼관리방식이 요구된다고 사료된다.

참고 문헌

- [1] C. E. Perkins, "IP Mobility Support for IPv4," *revised draft-ietf-mobileip-rfc2002-bis-03.txt*, 2000.
- [2] C. E. Perkins, "Mobile IP," *International Journal of Communication Systems*, pp.3-20, 1998.
- [3] C. E. Perkins, "Mobile IP," *IEEE Communications Magazine*, pp. 84-99, May 1997.
- [4] C. E. Perkins and D. E. Johnson, "Route Optimization in Mobile IP," *draft-ietf-mobileip-optim-10.txt*, 2000.
- [5] R. Caceres and L. Iftode, "Improving the Performance of Reliable Transport Protocols in Mobile Computing Environments," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 13, no. 5, pp. 100-109, Nov. 1995.
- [6] Doo Seop Eom, and et. al., Performance Improvement by Packet Buffering in Mobile IP Based Networks, *IEICE Transactions on communications*, vol. E83-B, no. 11, pp. 2501-2512, Nov. 2000.
- [7] R. Caceres and V. Padmanabhan, "Fast and Scalable Handoffs for Wireless Networks," *Proceedings of the ACM Mobicom '96*, pp.56-66, Nov. 1996.
- [8] H. Balakrishnan, and et. al., A Comparison of Mechanisms for Improving TCP Performance over Wireless Links, *IEEE/ACM Trans. Networking*, vol.5, no.6, pp.756-769, Dec. 1997.

- [9] S. Floyd, V. Jacobson, Random Early Detection gateways for Congestion Avoidance, *IEEE/ACM Transactions on Networking*, vol. 1, no.4, pp. 397-413, August 1993.
- [10] Doo Seop Eom, and et. al., Improving TCP Handoff Performance in Mobile IP Based Networks, *Computer Communications*, vol. 25/7, pp. 635-646, April 2002.
- [11] ns-2 SIMULATOR : <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>, 2001

허 경(Kyeong Hur)

정회원



1998년 2월: 고려대학교
전자공학과 학사
2000년 2월: 고려대학교
전자공학과 석사
2000년 3월~현재: 고려대학교
전자공학과 박사과정 재학 중

<주관심분야> 통신네트워크 설계 및 성능분석, IP 네트워크, 이동 멀티미디어 시스템

노 재 성(Jae-Sung Roh)

정회원



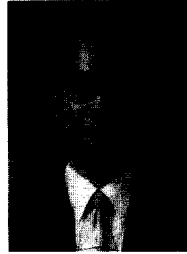
1990년 2월: 한국항공대학교
항공통신정보공학과 학사
1992년 2월: 한국항공대학교
항공통신정보공학과 석사
2000년 8월: 한국항공대학교
항공통신정보공학과 박사
1992년 3월~1997년 5월: 한화
정보통신(주)무선가입자망 연구원
1997년 3월~1999년 2월: 세영

통신(주) 전파기술연구소 연구원
1999년 3월~2000년 8월: 도립 강원전문대학정보통신과 전임강사
2000년 9월~현재: 서일대학 정보통신시스템전공 전임강사

<주관심분야> 이동통신망 성능분석, 모바일 인터넷, 멀티미디어 컨텐츠 정보보호

조 성 준(Sung-Joon Cho)

정회원



1969년 2월: 한국항공대학교
항공통신정보공학과 학사
1975년 2월: 한양대학교
대학원 공학석사
1981년 3월: 일본오사카대학
통신공학과 박사
1969년 4월~1972년 7월:
해군기술장교(중위)

1972년 8월~현재: 한국항공대학교 전자·정보통신·컴퓨터공학부 교수

<주관심분야> 무선통신, 이동통신, 환경전자공학

엄 두 섭(Doo-Seop Eom)

정회원



1987년 2월: 고려대학교
전자공학과 학사
1989년 2월: 고려대학교
전자공학과 석사
1999년 3월: 일본오사카대학
정보통신공학과 박사
1989년 2월~1999년 8월:
한국전자통신연구소 연구원

1999년 9월~2000년 8월: 원광대학교 전임강사
2000년 9월~현재: 고려대학교 전자공학과 교수

<주관심분야> 통신네트워크 설계 및 성능분석, 무선 ATM, IP 네트워크

차 균 현(Kyun-Hyon Tchah)

정회원



1965년 2월: 서울대학교
전기공학과 학사
1967년 6월: 미국 일리노이
공과대학 석사
1976년 6월: 서울대학교
전자공학과 박사
1977년 3월~현재: 고려대학교
전자공학과 교수

1998년 1월~1998년 12월: 한국통신학회 회장
1998년 4월~현재: 한국전자통신연구원 부이사장

<주관심분야> 통신 이론, 이동 통신, 위성 통신, 이동 멀티미디어 시스템