

모바일 IP 패킷 버퍼링 방식에서 TCP 성능향상을 위한 패킷 포워딩 우선권 보장 방안

정희원 허 경*, 노영섭*, 엄두섭*, 차균현*

A Priority Packet Forwarding for TCP Performance Improvement in Mobile IP based Networks with Packet Buffering

Kyeong Hur*, Young-Sup Roh*, Doo-Seop Eom*, Kyun-Hyon Tchah* *Regular Members*

요 약

모바일 IP 프로토콜에서 핸드오프 동안에 발생하는 패킷 손실 때문에 초래되는 TCP 성능 저하를 방지하기 위해서는 모바일 IP 경로최적화확장의 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 패킷버퍼링방식이 결합된 스무스 핸드오프 방식으로 이동단말이 새로운 서브네트워크의 혼잡한 기지국으로 이동한 경우, 이동단말 플로들의 TCP 성능을 향상시키기 위해 이전 기지국에서 버퍼링된 패킷들에 대한 포워딩 트래픽 관리 방안으로서 패킷포워딩 우선권보장 방안을 제안하였다. 제안하는 패킷포워딩 우선권보장 방안에서는 모바일 IP 프로토콜의 수정 없이 이전 기지국이 핸드오프 동안 저장한 패킷들을 Priority 패킷으로 표기하고, 혼잡한 새로운 기지국에서는 Priority 패킷들을 Priority 큐로서 우선적으로 스케줄링한다. 시뮬레이션 결과는 제안하는 패킷 포워딩 우선권 보장 방안이 RED 방식 및 암시적인 패킷 포워딩 우선권 보장 방안보다 이동단말들의 TCP 전송성능을 향상시킬 수 있음을 보인다.

Keyword : Mobile IP, TCP, RED, Packet Buffering

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 propose a Priority Packet Forwarding to improve TCP performance in mobile networks. In the proposed scheme, without modification to Mobile IP protocol, the old base station marks a buffered packet as a priority packet during handoff. And priority queue at the new congested base station schedules the priority packet firstly. Simulation results show that proposed Priority Packet Forwarding can improve TCP transmission performance more than Implicit Priority Packet Forwarding and RED (Random Early Detection) schemes.

* 고려대학교 전자공학과 (hkyeong@korea.ac.kr), (논문번호 : 030125-0321, 접수일자: 2003년 3월 21일)

I. 서 론

최근 수년간에 걸친 무선기술의 급속한 발전 및 이동단말의 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][12]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]. 한편, 베이스 모바일 IP가 내재하고 있는 라우팅의 비효율성 문제를 해결하기 위해 제안된 모바일 IP의 경로최적화확장에서는 핸드오프에 의한 패킷 손실 때문에 발생하는 TCP의 성능저하문제[5][12]를 해결하기 위하여 스무스 핸드오프 (Smooth Handoff) 메커니즘을 채택하고 있다. 스무스 핸드오프에서는 이동단말이 새로운 서브네트워크 (Subnetwork)로 이동할 경우, 이동단말이 이동 후 위치한 서브네트워크에 있는 현재 FA (Foreign Agent)를 통하여 이동 전에 머물던 서브네트워크에 있는 이전의 FA에게 알림으로써, 이동단말의 현재 위치를 모르는 통신중인 단말 (Correspondent Host:CH)이 보내오는 패킷들을 이전 FA가 현재 FA에게 포워딩할 수 있도록 한다. 따라서, 현재 FA는 이전 FA와 항상 인접해 있기 때문에 스무스 핸드오프를 사용하면 베이스 모바일 IP경우와 비교하여 핸드오프에 의해 손실되는 패킷 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 TCP전송계층프로토콜에 영향을 미치지 않게 하는 패킷버퍼링방식이 요구된다 [6][10].

모바일 IP 네트워크에서의 패킷버퍼링 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 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. 한편 참고문헌[12]에서는 기지국 패킷 버퍼링 방식이 결합된 모바일 IP 경로 최적화 확장의 스무스 핸드오프 방식으로 이동단말이 혼잡한 새로운 서브네트워크로 이동한 경우에 대해 새로운 서브네트워크와 연결된 라우터가 사용하는 RED 버퍼 관리 방식[9]의 혼잡 상태 정보에 따라 이후의 혼잡상태를 추정하여 이전 기지국이 버퍼링한 패킷들을 포워딩하거나 폐기하는 패킷 포워딩 제어 방안을 제안하였다. 그러나 참고문헌[12]에서 제안된 패킷 포워딩 제어 방안과 같이, 이전 기지국에서 패킷 버퍼링 방식이 혼잡한 새로운 기지국에 가하는 혼잡을 완화하는 방안은 이동단말이 이동한 새로운 서브네트워크의 혼잡상태정보를 이전 기지국에 전달할 수 있도록 하는 모바일 IP 프로토콜의 수정 및 RED 버퍼관리방식에 대한 정확한 혼잡 상태 추정이 요구된다.

이에 본 논문에서는 무선링크가 병목인 일반적인 혼잡 상황을 고려하여 기지국 패킷 버퍼링 방식이 결합된 스무스 핸드오프 방식으로 이동단말이 새로운 서브네트워크의 혼잡한 기지국으로 이동한 경우, 이동단말 플로들의 TCP 성능을 향상시키기 위해 이전 기지국에서 버퍼링된 패킷들에 대한 포워딩 트래픽 관리 방안으로서 패킷 포워딩 우선권 보장 방안 (Priority Packet Forwarding)을 제안하였다. 제안하는 패킷 포워딩 우선권 보장 방안에서는 모바일 IP 프로토콜의 수정 없이 이전 기지국이 핸드오프 동안 저장한 패킷들을 Priority 패킷으로 표기하고 혼잡한 새로운 기지국에서는 Priority 패킷들을 RED 큐와 분리된 Priority 큐로서 우선적으로 스케줄링한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2 절에서는 기지국 패킷 버퍼링 방식이 결합된 모바일 IP 경로최적화확장의 스무스 핸드오프 방식에서 제안하는 패킷포워딩 우선권 보장 방안과 암시적인 패킷포워딩 우선권 보장 방안 (Implicit Priority Packet Forwarding)을 소개하고, 제 3 절에서는 시뮬레이션 결과를 통해 제안하는 패킷

포워딩 우선권 보장 방안이 RED 방식 및 암시적인 패킷 포워딩 우선권 보장 방안보다 이동단말들의 TCP 전송 성능을 향상시킬 수 있음을 보인다. 끝으로 제 4 절에서 결론을 맺는다.

II. 모바일 IP 패킷 버퍼링 방식에서 패킷 포워딩 우선권 보장 방안

2.1 모바일 IP에서 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].

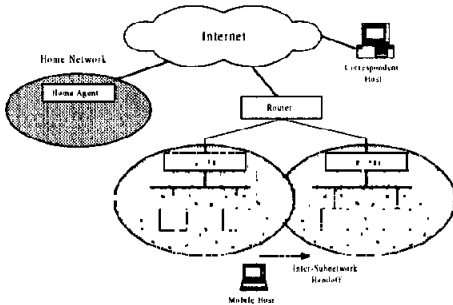


그림 1. 모바일 IP를 기반으로 하는 네트워크 구성
Fig. 1. Network Configuration of Mobile IP based Networks

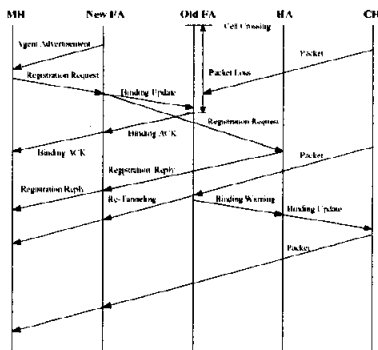


그림 2. 경로 최적화 확장을 갖는 모바일 IP 프로토콜
Fig. 2. Mobile IP Protocol with Route Optimization Extension

그림2의 모바일IP 경로 최적화 확장에서는, 새로운 FA가 이동단말로부터 등록요청메시지 (Registration Request Message)를 수신할 경우, 새로운 FA는 등록 요청 메시지를 HA (Home Agent)로 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. 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.

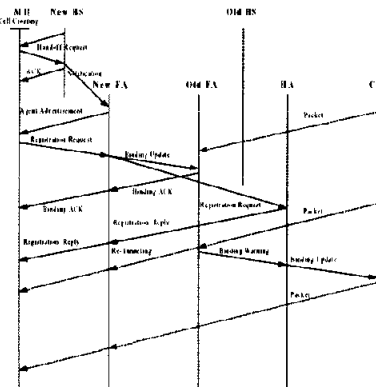


그림 3. 기지국 패킷 버퍼링 방식을 지원하는 모바일 IP 프로토콜의 경로 최적화 확장

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

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

결합된 모바일 IP 경로 최적화 확장의 스무스 핸드오프 방식으로 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 플로들의 TCP 전송 성능이 저하되게 된다. 이에 따라 본 절에서는 기지국 패킷 버퍼링 방식이 결합된 스무스 핸드오프 방식으로 이동단말이 새로운 서브 네트워크의 혼잡한 기지국으로 이동한 경우, 모바일 IP 프로토콜의 수정 없이 이동단말들의 TCP 성능을 향상시키기 위해 이전 기지국에서 버퍼링된 패킷들에 대한 포워딩 트래픽 관리 방안으로서 패킷 포워딩 우선권 보장 방안을 제안한다. 그림4와 같이 제안하는 패킷 포워딩 우선권 보장 방안에서는 모바일 IP 프로토콜의 수정 없이 이전 기지국이 핸드오프 동안 저장한 패킷들을 Priority 패킷으로 표기하고 혼잡한 새로운 기지국에서는 Priority 패킷들을 RED큐와 분리된 Priority 큐로서 우선적으로 스케줄링한다. 즉, 제안하는 패킷 포워딩 우선권 보장 방안을 적용하면 이동단말이 핸드오프시 이전 기지국으로부터 버퍼링되어 포워딩된 패킷들이 보호되어 Seamless Handoff가 보장되므로 핸드오프하는 이동단말의 TCP 성능이 향상되고, 또한 패킷 버퍼링 방식이 혼잡한 기지국을 통과하는 기존 이동 TCP플로들에게 가하는 혼잡도 완화될 수 있다. 그러나 핸드오프 시 포워딩되는 패킷들을 처리하기 위해 기지국에 Priority 패킷을 표기하기 위한 Marker와 Priority 큐 및 스케줄러가 추가적으로 요구되는 단점이 있다. 이러한 패킷 포워딩 우선권 보장 방안의 성능을 분석하기 위한 비교 대상으로는 혼잡한 기지국의 무선링크를 관리하는 RED 버퍼관리방식[9]과 본 논문에서 제시하는 암시적인 패킷 포워딩 우선권 보장 방안 (Implicit Priority Packet Forwarding)이 있다.

암시적인 패킷 포워딩 우선권 보장 방안은 기지국 패킷 버퍼링 방식을 결합한 모바일 IP 경로 최적화확장방식에서 TCP 성능을 향상시키기 위해, 이전 기지국이 포워딩하는 패킷들의 버스트한 도착 특성이 혼잡한 무선링크를 관리하는 RED큐에 가하는 혼잡을 최소화하는데 초점을 맞춘 방안으로서, 그림5와 같이 이전 기지국이 핸드오프동안 저장한 패킷들을 Priority 패킷으로 표기하고 혼잡한 새로운 기지국의 RED 버퍼관리방식에서는 Priority 패킷을 큐길이 및 $avg-q$ 와 혼잡도에 따른 확률적인 폐기의 대상에서 제외하는 방안이다. 즉 암시적인 패킷 포워딩 우선권 보장 방안에서는, 이전 기지국이 포워딩하는 핸드오프 동안 저장된 패킷들이, RED 큐

가 혼잡 제어하는 대상 트래픽에서 제외된다.

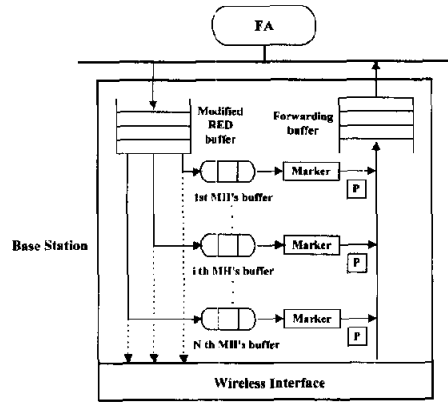


그림 5. 암시적인 패킷 포워딩을 위한 기지국 구조
Fig. 5. BS structure for Implicit Priority Forwarding

그림5는 암시적인 패킷 포워딩 우선권 보장 방안에서 제시된 기지국 구조를 나타낸 것으로, 각 이동단말 플로별로 핸드오프 시 손실되는 패킷들을 저장하기 위한 버퍼와 버퍼링된 패킷들을 Priority 패킷으로 표기하기 위한 Marker가 설정되어 있다. 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 버퍼관리 방식은 버퍼가 가득 차기 전에 큐에 도착하는 패킷들을 확률적으로 폐기하여 Drop-Tail 방식에서 많은 수의 플로들로부터 발생한 패킷들이 동시에 폐기되어 네트워크의 링크 대역폭에 대한 이용효율을 감소시키는 Global Synchronization 발생을 완화할 수 있다.

이러한 RED 방식에 대해 암시적인 패킷포워딩 우선권 보장방안에서 요구되는 Modified RED 방식은 식(2)와 같다. Modified RED 방식에서는 이전 기지국이 포워딩하는 Priority 패킷들은 RED 큐 길이, $avg-q$ 산정에 무관하고 또한 확률적인 폐기의 대상에서도 제외된다. 따라서 Priority 패킷이 아닌 패킷들을 대상으로 한 평균 큐 길이 $avg-q - np$ 에 따라 Priority 패킷이 아닌 패킷들을 확률적으로 폐기한다. 이와 같이 암시적인 패킷 포워딩 우선권 보장 방안에서는 핸드오프 시 발생하는 이전 기지국에서 버퍼링된 패킷들의 포워딩이 없을 경우 일반적인 RED 방식

을 기지국에서 사용하는 것과 동일하여 불필요한 시스템 Overhead가 없다는 것이 장점이다. 그러나 이동단말이 핸드오프 시 이전 기지국으로부터 버퍼링되어 포워딩된 패킷들이 Modified RED 큐에서 Buffer Overflow Drop될 수 있어 Seamless Handoff가 보장되지 못하고, 또한 혼잡한 기지국을 통과하는 기존 이동 TCP플로들의 패킷들도 Modified RED 큐에서 증가한 Priority 패킷들로 인해 Buffer Overflow Drop될 수 있어 Global Synchronization 현상이 발생할 수 있다.

*queue size is the number of only nonpriority packets in RED queue
calculate the average queue size of nonpriority packets avg_q_np*

*Case: priority packet arrival
queue priority packet*

*Case: nonpriority packet arrival
if $avg_q_np < TH_{min}$
queue nonpriority packet
else if $TH_{min} \leq avg_q_np \leq TH_{max}$
calculate probability P
with probability P
discard nonpriority packet
else with probability $1 - P$
queue nonpriority packet
else if $avg_q_np \geq TH_{max}$
discard nonpriority packet* (2)

III. 시뮬레이션 모델 및 성능 평가

본 논문에서는 무선링크가 병목인 일반적인 혼잡 상황을 고려하여 기지국 패킷 버퍼링 방식이 결합된 스무스 핸드오프 방식으로 이동단말이 새로운 서브네트워크의 혼잡한 기지국으로 이동한 경우, 이동단말 플로들의 TCP 성능을 향상시키기 위해 이전 기지국에서 버퍼링된 패킷들에 대한 포워딩트래픽 관리방안으로서 패킷포워딩우선권 보장방안 (Priority Packet Forwarding)을 제안하였다. 제안하는 패킷 포워딩 우선권 보장 방안에서는 모바일 IP 프로토콜의 수정 없이 이전 기지국이 핸드오프 동안 저장한 패킷들을 Priority 패킷으로 표기하고 혼잡한 새로운 기지국에서는 Priority 패킷들을 RED큐와 분리된 Priority 큐로서 우선적으로 스케줄링한다. 제안한 패킷 포워딩 우선권 보장 방안의 성능을 분석하기 위해 그림6과 표1의 시뮬레이션 모델을 사용하였다. 그림6은 그림4와 5의 기지국 구조를 적용한 시뮬레이션 환경을 나타낸 것으로 2Mbps 무선링크를 갖는 기지국은 10Mbps Ethernet과 연결되어 있다. 그리고 각 이동단말 (Mobile Host:MH)에 대한 대응단말 (CH)은

10Mbps Ethernet에 연결되어 있다고 가정하였고, FA간의 패킷전송 지연시간은 10Mbps Ethernet을 고려하여 1ms로 설정되었으며 동일한 방식으로 FA와 기지국간 지연시간도 1ms로 설정되었다.

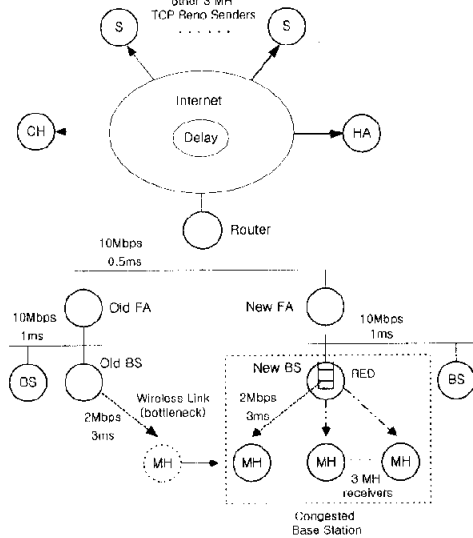


그림 6. 시뮬레이션 모델
Fig. 6. Simulation model

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

또한 그림6에서 이동단말의 핸드오프 소요시간 및 RTT를 구성하는 각 노드 간의 지연 시간은 표1에 나타내었다. 표1에서 기지국과 이동단말 간 무선 링크 상에서의 비콘 메시지 주기, T_B 는 50msec로 고정하였다 [6][7]. 그림6에서 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, *maxs*는 각각 512 바이트 및 64 패킷으로 설정하였다. 그리고 전송 에러로 인한 패킷 손실은 없다고 가정하였고, 혼잡한 무선링크를 관리하는 기지국의 RED 및 Modified 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].

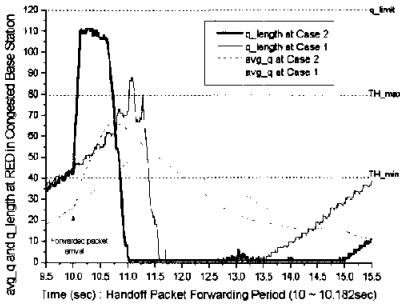


그림 7-(a)

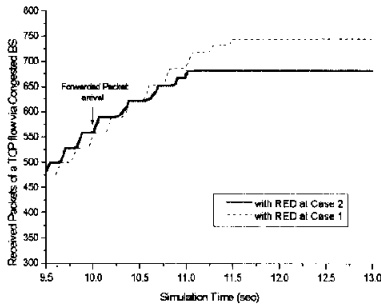


그림 7-(b)

그림 7. RED큐에서 포워딩된 패킷들의 도착특성
 Fig. 7. Arrival property of forwarded packets at RED
 Case1: a Mobile New Connection added at 10sec
 Case2: a Mobile Handoff Connection added at 10sec

그림7은 그림6의 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 RED 큐 상대 변화 측면에서 분석한 결과이다. 즉, 그림7은 88ms의 RTT를 갖는 새로이 연결된 이동단말 플로 (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_{k-Redo} 동안 10.182초까지 기지국의 혼잡한 무선링크에 도착한 경우를 혼잡한 무선링크를 관리하는 RED 큐의 큐 길이 및 $avg-q$ 측면에서 분석한 결과이다. 그림6의 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. 이러한 특성으로 인해 그림7-(a)의 결과에서 $avg-q$ 변수값이 40 ($= TH_{min}$)미만으로, Random Drop 없이 안정적으로 제어되는 상황에서 기지국 내 기존 3개의 이동단말 플로들에게 새로이 연결된 이동단말 플로 (Mobile New Connection) 하나가 추가되는 경우에는 RED 큐 길이와 $avg-q$ 가 점진적으로 증가하는 것을 볼 수 있다. 그러나 핸드오프하는 이동단말 (Mobile Handoff Connection) 플로 하나가 추가되는 경우에는 큐 길이가 10초에서부터 10.182초까지 패킷포워딩 기간동안 mus , 64만큼 급격하게 증가하는 것을 볼 수 있다. 이로 인해 TH_{min} 을 초과하여 급격하게 증가한 $avg-q$ 로 인한 확률적인 패킷 폐기의 증가로 핸드오프 후 큐 길이가 0이 되는 TCP 플로들의 Global Synchronization 현상이 발생함을 알 수 있다.

여기서 주목해야 할 점은 RED 버퍼관리방식을 대규모의 플로들이 점유하는 라우터에 사용할 경우에는 $avg-q$ 가 TH_{min} 을 초과하여 발생하는 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, 그림7-(a), (b)의 결과와 같이 기지국 패킷 버퍼링 방식이 결합된 모바일 IP 기반 네트워크에서 소규모의 플로들이 점유하는 기지국에 RED 버퍼관리방식이 사용될 경우에는 RED의 확률적인 폐기가 점유하는 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 순간적인 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 시간의 Global Synchronization 현상을 발생시킴을 알 수 있다. 한편 그림7-(b)는 혼잡한 기지국 내 기존 통신 중인 이동단말의 TCP 수율 변화를 관찰한 결과

로서 핸드오프하는 이동단말 (Mobile Handoff Connection) 플로 하나가 추가되는 경우가 통신 중인 이동단말의 TCP 수율을 더욱 감소시킬 수 있다. 그리고 그림7-(a)에서 핸드오프하는 이동단말 플로 하나가 추가될 때 11초에 발생한 Global Synchronization의 영향으로 11초부터 TCP 수율 증가가 멈추는 것을 확인할 수 있다.

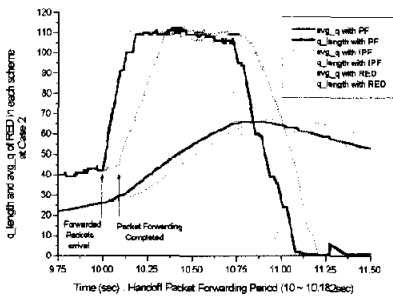


그림 8-(a)

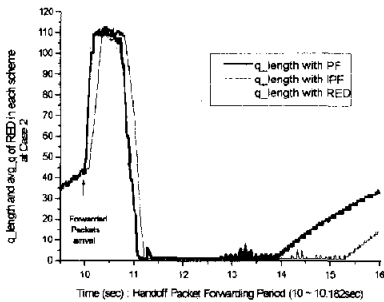


그림 8-(b)

그림 8. 각 방식에서 포워딩된 패킷들의 도착특성
Fig. 8. Forwarded packets arrival at each scheme

그림8은 그림7의 실험환경에서 핸드오프하는 이동단말 (Mobile Handoff Connection) 플로하나가 추가되는 경우, 패킷포워딩우선권 보장방안 (Priority Forwarding: 이하PF)과 암시적인 패킷포워딩우선권 보장방안(Implicit Priority Forwarding: 이하IPF), 그리고 아무런 제약이 없는 단순포워딩의 RED 방식을 적용하여 각 방식에서의 RED 큐 길이 및 $avg-q$ 변화를 분석한 결과이다. 그림8-(a), (b)의 결과에서 IPF 방식은 핸드오프 시 이전 기지국이 포워딩하는 패킷들의 버스트한 도착 특성을 상쇄하여 세가지 방식 중 $avg-q$ 및 큐 길이의 증가 속도가 가장 작으나, 단지 RED 방식의 큐 상태 변화를 시간 지연시켰을 뿐 큐 내 혼잡 즉, $avg-q$ 와 큐 길이의 증가를 감소시키지 못함을 확인할 수 있다. 그러나 제안한 PF 방식은 핸드오프 시 포워딩된 mus , 64

패킷의 Priority 패킷이 Priority 큐에서 우선 처리되는 동안만 큐 길이가 RED 방식과 동일하게 증가할 뿐, 핸드오프 시 큐 길이 및 $avg-q$ 변화에 있어서 그 증가량이 RED 방식과 IPF 방식의 중간 정도임을 확인할 수 있다. 그리고 이러한 PF 방식의 혼잡 완화 효과로 인해 그림8-(b)와 같이, 이전 기지국이 포워딩하는 패킷들의 버스트한 도착 특성으로 인한 Global Synchronization의 시간이 PF 방식에서 가장 짧다는 것을 확인할 수 있다. 또한 IPF 방식에서의 큐 길이 변화는 RED 방식의 큐 길이 변화를 시간 지연시킨 것과 유사함을 알 수 있다.

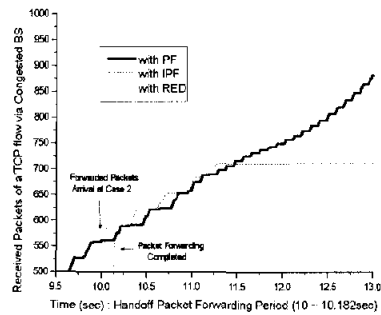


그림 9-(a)

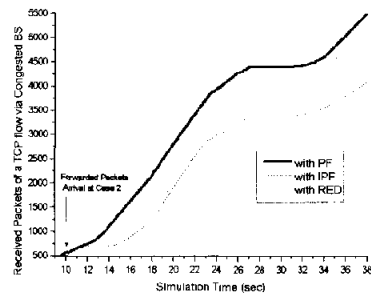


그림 9-(b)

그림 9. 통신 중인 이동 단말의 TCP 수율 변화
Fig. 9. Throughput of a TCP flow in the congested BS at Fig.8

그림9와 10은 그림8의 실험에서 혼잡한 기지국 내 통신 중이던 기존 이동단말의 수율 변화와 핸드오프한 이동단말의 수율 변화를 관찰한 결과이다. 그림9의 결과에서 제안한 PF 방식은 그림8에서 보인 혼잡 완화 효과로 세 방식 중 기존 이동단말의 TCP 수율을 가장 향상시킬 수 있음을 확인할 수 있고, IPF 방식은 RED 방식보다 기존 이동단말의 TCP 수율을 증가시키지 못하였음을 확인할 수 있다. 그림10은 핸드오프

한 이동단말의 수율 변화를 나타낸 결과로, 제안하는 PF 방식에서는 이동단말이 핸드오프 시 이전 기지국으로부터 포워딩된 패킷들이 보호되고 우선적으로 전송되어 Seamless Handoff가 보장되므로 핸드오프한 이동단말의 TCP 수율이 그림10-(a) 결과의 핸드오프 시점에서는 가장 크다는 것을 확인할 수 있다. 한편 IPF 방식에서는 이동단말이 핸드오프시 이전 기지국으로부터 포워딩된 패킷들이 Modified RED 큐에서 시간 지연을 겪고 Buffer Overflow Drop 될 수 있어, 그림10-(a)결과와 핸드오프 시점에서는 PF 방식보다 수율이 낮으나, 두 방식 모두 핸드오프 시 포워딩되는 패킷들이 RED 큐에서 확률적으로 폐기되지 않고 보호되어 핸드오프 시점 이후의 그림10-(b) 결과에서는 IPF 방식과 PF 방식에서의 핸드오프한 이동단말의 수율이 동등하다는 것을 확인할 수 있다.

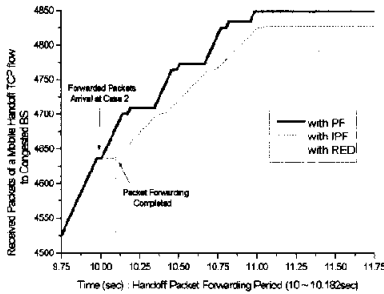


그림 10-(a)

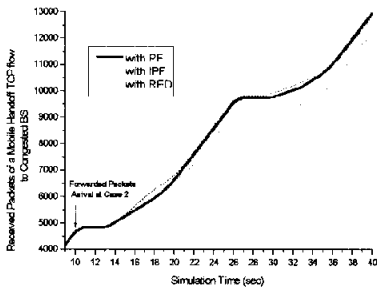


그림 10-(b)

그림 10. 핸드오프하는 이동 단말의 TCP 수율 변화 Fig. 10. Throughput of a Mobile Handoff TCP flow to the congested BS at Fig 8

그림8에서 그림10의 실험결과를 핸드오프하는 이동단말 (Mobile Handoff Connection) 플로 하나 가 혼잡한 기지국으로 추가되는 경우, 각 방식의 RED 큐에서 이전 기지국이 포워딩하는 패킷들의 버스트한 도착특성이 혼잡한 기지국에 가

하는 혼잡과 수율을 분석한 결과이다. 그리고 다수의 핸드오프플로들이 혼잡한 기지국에 추가 되는 경우대해 각 방식의 성능을 분석하기 위해 그림11의 핸드오프 도착분포를 고려하였다.

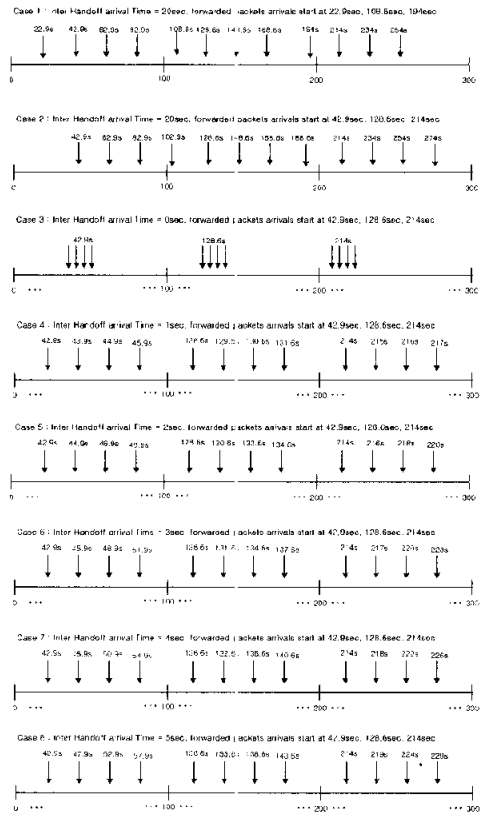


그림 11. 그림12-15의 실험에서 고려한 핸드오프분포 Fig. 11. Handoff arrival distribution at Fig.12-15

그림11에서 Case1은 혼잡한 기지국으로 300초간 비교적 균일한 핸드오프 도착분포를 나타내고 Case2에서 Case7까지는 300초간 버스트한 핸드오프 도착분포를 나타낸다. 즉 그림11은 4개의 이동단말들이 그림6의 Old BS들과 New BS를 이동하며 각 이동단말이 300초간 혼잡한 New BS로 3회 핸드오프하는 실험환경에서의 핸드오프시나리오이다. 본 논문에서 고려한 핸드오프 도착간격은 20초, 5초, 4초, 3초, 2초, 1초, 0인 경우이다. 따라서 핸드오프 도착간격이 20초인 경우는 100초간 4회 핸드오프 도착이 균일하게 발생하는 경우가 된다. 반면 핸드오프 도착간격이 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.

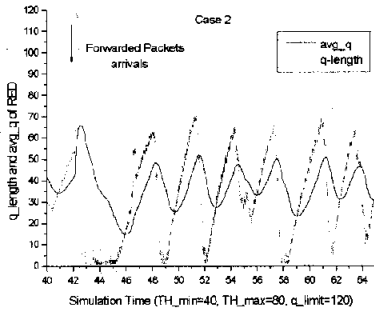


그림 12-(a)

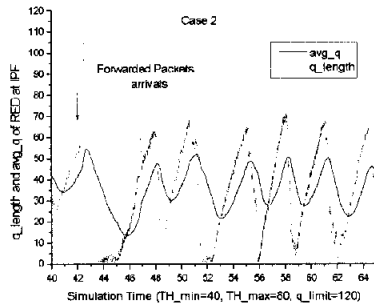


그림 12-(b)

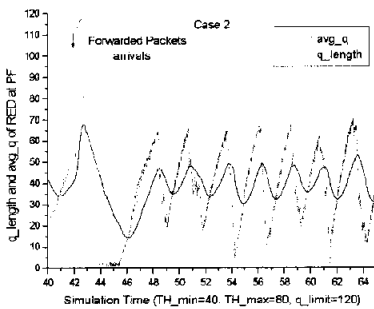


그림 12-(c)

그림 12. Case 2에서 각 방식의 큐 상태 변화
Fig. 12. Queue state variations of each scheme at Case2

그림 12에서 그림 14는 이동단말 3개가 통신 중인 혼잡한 기지국으로 그림 11의 각 Case 별로 핸드오프가 도착한 경우에 대해 각 방식을 적용하여 첫번째 100초 구간의 RED 큐 길이 및 $avg-q$ 변화를 관찰한 결과들이다. 그림 12-(a)에

서 그림 14-(a)의 RED 방식의 큐길이 및 $avg-q$ 를 관찰한 결과들(그림 12-(b) ~ 그림 14-(b) : IPF 결과, 그림 12-(c) ~ 그림 14-(c) : PF 결과)에서는 핸드오프 도착간격이 0초인 Case 2의 경우도 큐길이 및 $avg-q$ 를 급격하게 증가시키나, 그보다 핸드오프 도착간격이 1초인 Case 3와 핸드오프 도착간격이 2초인 Case 4에서 더욱 $avg-q$ 를 급격하게 증가시키는 것을 확인할 수 있고, 핸드오프 도착간격이 더 큰 분산적인 경우로서 Case 5에서 Case 7의 경우에는 급격한 $avg-q$ 의 증가를 띄지 않았다. 결과적으로 RED 방식의 경우는 핸드오프 도착간격이 증가하면 기지국 패킷 버퍼링 방식을 적용한 핸드오프가 가하는 혼잡이 감소함을 알 수 있다.

한편 Case 2의 그림 12에서 각 방식의 결과를 비교하면, RED 방식과 IPF 방식에서의 큐길이 및 $avg-q$ 의 변화는 큰 차이가 없으나, PF 방식에서는 다른 두 방식보다 핸드오프 이후 큐 길이가 0이 되는 Global Synchronization의 발생 회수가 적음을 확인할 수 있다. 그리고 Case 3의 그림 13에서는 IPF 방식과 PF 방식이 RED 방식보다 $avg-q$ 증가량을 줄여 혼잡을 완화하였으나, 핸드오프 이후 큐 길이 변화를 관찰하면 PF 방식이 IPF 방식보다 큐 상태를 안정적으로 제어하는 것을 볼 수 있다. 또한 Case 4의 그림 14의 결과로부터 PF 방식이 RED 큐의 확실적인 폐기를 결정짓는 $avg-q$ 증가를 완화할 수 있음을 확인할 수 있고, IPF 방식은 $avg-q$ 증가를 완화하지 못함을 알 수 있다.

한편 그림 15는 각 방식에 대해 전체 300초의 다중 핸드오프 도착 구간 동안 혼잡한 기지국 내 기존 통신 중인 이동단말의 TCP 수용 변화를 관찰한 결과이다. 그림 15의 결과로부터 다중 핸드오프 도착 구간에 대한 그림 11의 각 핸드오프 도착 분포 Case별 기존 통신 중인 이동단말의 TCP 수용 간의 차 및 분산 값은 RED 방식보다 IPF 방식이 작고, PF 방식에서 가장 작음을 알 수 있다. 결과적으로 핸드오프하는 이동단말 (Mobile Handoff Connection) 플로 하나가 혼잡한 기지국으로 추가되는 경우에 대한 그림 8에서 그림 10의 실험 결과들과 다수의 핸드오프 플로들이 다중 핸드오프 도착 구간 동안 혼잡한 기지국에 추가되는 경우에 대한 그림 12에서 15의 시뮬레이션 결과들로부터, 본 논문에서 제안한 PF 방식은 모바일 IP 수정 없이 기지국 패킷 버퍼링 방식이 결합된 모바일 IP 경로 최적화 확장 방식에서, 이전 기지국이 포워딩하는 패킷들의 버스트한 도착 특성으로 인해 RED 큐에 가해지는 혼잡을 완화할 수 있고, 또한 IPF 방식보다 핸드오프하는 이동단말의 TCP 성능을 향상시킬 수 있음을 확인하였다.

한편 모든 실험에 있어서 관찰구간 100초간 혼잡한 기지국으로 이동단말(MH)들이 핸드오프하는 회수가 4회보다 큰 경우와 혼잡한 기지국 내 통신 중인 이동단말의 수가 3개보다 커 혼잡이 더욱 증가한 경우에는 패킷버퍼링 방식이 혼잡한 기지국에 가하는 혼잡이 더욱 증가할 것이며, 제안한 PF 방식의 혼잡완화 및 이동단말의 수를 증가효과는 더욱 증대될 것으로 사료된다.

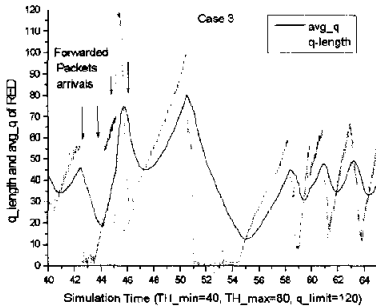


그림 13-(a)

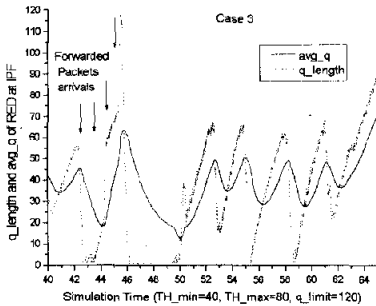


그림 13-(b)

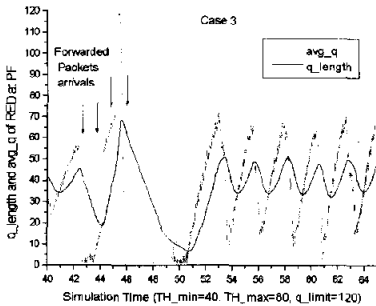


그림 13-(c)

그림 13. Case 3에서 각 방식의 큐 상태 변화
Fig. 13. Queue state variations of each scheme at Case3

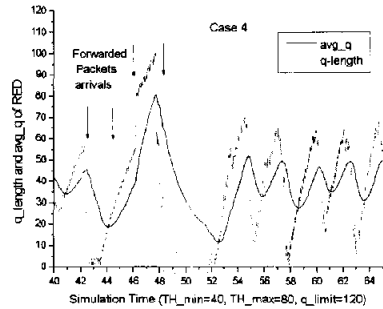


그림 14-(a)

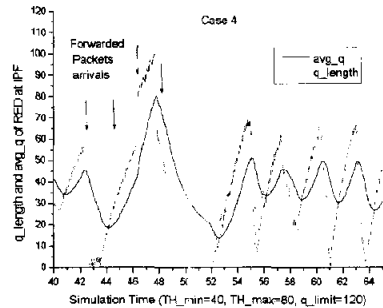


그림 14-(b)

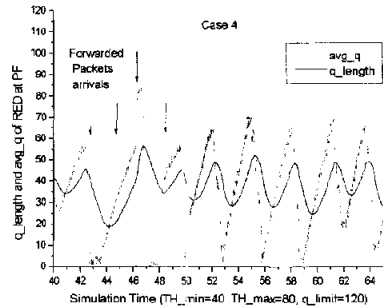


그림 14-(c)

그림 14. Case 4에서 각 방식의 큐 상태 변화
Fig. 14. Queue state variations of each scheme at Case4

한편 기지국패킷버퍼링방식이 결합된 모바일 IP 경로최적화확장에서 이전 기지국이 포워딩하는 패킷들의 버스트한 도착특성을 완화하기 위해, 이전 기지국에서 버퍼링된 패킷들을 포워딩할 때 강제적으로 지연을 삽입할 수 있다. 그러나 버퍼링된 패킷들의 포워딩이 핸드오프 소요 시간 이후에도 발생할 경우, 핸드오프 종료 후 새로운 FA로 전송되는 패킷들과 이전 기지국에

시 새로운 FA로 포워딩되는 패킷들 간에, 이동단말이 수신할 때 발생할 수 있는 패킷순서의 재배열문제가 발생할 수 있다[10]. 이에 따라 이전 기지국에서 패킷포워딩시 강제적으로 지연을 삽입하는 방안은 핸드오프하는 각 이동단말의 $T_{h-Route} \rightarrow T_{loss-Route} \rightarrow T_{RTT-Route}$ 정보를 관리 및 수집해야 하고, 이를 위한 모바일 IP 프로토콜의 수정이 요구되는 문제점이 있다.

IV. 결론

본 논문은 무선링크가 병목인 일반적인 혼잡 상황을 고려하여 기지국 패킷 버퍼링 방식이 결합된 스무스 핸드오프 방식으로 이동단말이 새로운 서브 네트워크의 혼잡한 기지국으로 이동한 경우, 이동단말 플로의 TCP 성능을 향상시키기 위해 이전 기지국에서 버퍼링된 패킷들에 대한 포워딩 트래픽 관리 방안으로서 패킷 포워딩 우선권 보장 방안 (Priority Packet Forwarding) 을 제안하였다. 시뮬레이션 결과로부터 제안한 PF 방식은 모바일 IP 수정 없이 기지국 패킷 버퍼링 방식이 결합된 모바일 IP 경로 최적화 확장 방식에서, 이전 기지국이 포워딩하는 패킷들의 버스트한 도착 특성으로 인해 RED 큐에 가해지는 혼잡을 완화할 수 있고, 또한 IPF 방식보다 핸드오프하는 이동단말의 TCP 성능을 향상시킬 수 있음을 확인하였다. 그러나 핸드오프시 포워딩되는 패킷들을 처리하기 위해 기지국에 Priority 패킷을 표기하기 위한 Marker와 Priority queue 및 스케줄러가 추가적으로 요구되는 단점이 있다. 따라서 본 논문에서 제안한 PF 방안을 추가적인 장치없이, RED 운영방안으로서 수용할 수 있는 연구가 필요하다고 사료된다.

참고문헌

- [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

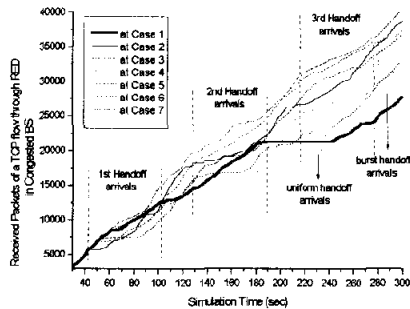


그림 15-(a)

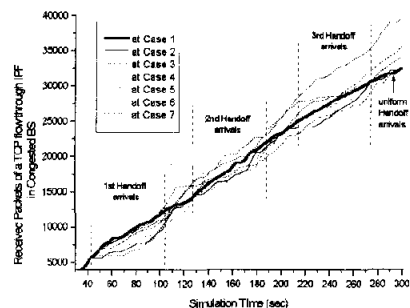


그림 15-(b)

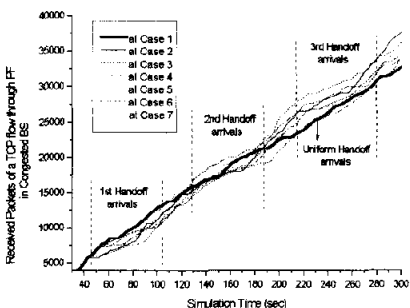


그림 15-(c)

그림 15. 다중구간 핸드오프 도착시 통신중인 이동단말의 TCP 수율 변화

Fig. 15. TCP throughputs at multiple handoff arrivals

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

[12] 허경, 엄두섭, 이승현, 차균현, 모바일 네트워크에서 TCP 성능 향상을 위한 패킷 포워딩 제어 방안, 한국통신학회논문지 27권, 4C호, pp. 353-364, 2002.

<주관심분야> Mobile Computing, 디지털 무선/이동통신, 시그널 프로세싱, IP 네트워크

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 부교수

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

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, 이동멀티미디어 시스템

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

노 영 섭(Young-Sup Roh)

정회원



1988년 2월 : 인하대학교
전자공학과 학사
1996년 8월 : 한국과학기술원
정보및통신공학과 석사
1999년 3월~현재: 고려대학교
전자공학과 박사과정 재학 중
1987년 11월 ~ 1998년 3월 :

LG 전자 선임연구원 1998년 3월 ~ 2001년 2월 :
청강문화산업대학교 이동통신과(조교수)
2001년 2월~현재: (주)사이버뱅크상무이사(CTO)