

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

정희원 허경\*, 이승범\*, 노재성\*\*, 조성준\*\*\*, 엄두섭\*, 차균현\*

## Improving TCP Performance by Implicit Priority Packet Forwarding in Mobile IP based Networks with Packet Buffering

Kyeong Hur\*, Seung-Beom Lee\*, 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 손실된 패킷들을 버퍼에 저장하고 저장된 패킷들이 이동한 단말에게 전달되어야 한다. 그러나 이동단말이 새로운 서브 네트워크의 혼잡한 기지국으로 이동한 경우에는, 이전 기지국이 포워딩하는 패킷들은 손실되고 또한 포워딩된 패킷들로 인해 심화된 혼잡으로 기지국 내 이동단말 TCP 플로우들의 무선링크이용률 성능이 저하되게 된다. 본 논문에서는 기지국 패킷 버퍼링 방식이 결합된 스무스 핸드오프 방식으로 이동단말이 새로운 서브 네트워크의 혼잡한 기지국으로 이동한 경우, 이전 기지국이 핸드오프 동안 저장한 패킷들을 Priority 패킷으로 표기하고 혼잡한 새로운 기지국의 RED 버퍼 관리 방식에서는 Priority 패킷을 큐 길이 및 혼잡도에 따른 확률적인 폐기의 대상에서 제외하는 암시적인 패킷 포워딩 우선권 보장 방안을 제안하였다. 시뮬레이션 결과는 제안하는 암시적인 패킷 포워딩 우선권 보장 방안을 적용하여 모바일 IP 프로토콜의 수정 없이 모바일 네트워크에서 이동단말들의 무선링크이용률 성능을 향상시킬 수 있음을 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 the wireless link utilization performance degrades due to increased congestion by those forwarded packets. In this paper, considering the case that a mobile user moves to a congested base station in a new foreign subnetwork, we propose an Implicit Priority Packet Forwarding to improve TCP performance in mobile networks. In the proposed scheme, the old base station marks a buffered packet as a priority packet during handoff. In addition, RED (Random Early Detection) at the new congested base station does not include priority packets in queue size and does not drop those packets randomly based on average queue size. Simulation results show that wireless link utilization performance of mobile hosts can be improved without modification to Mobile IP protocol by applying proposed Implicit Priority Packet Forwarding.

\* 고려대학교 전자공학과(hkyeong@korea.ac.kr), \*\* 서일대학 정보통신시스템 전공, \*\*\* 한국항공대학교 전자정보통신 컴퓨터공학부 (논문번호 : 020490-1111, 접수일자: 2002년 11월 11일)

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

## I. 서론

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]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)

메카니즘을 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 통신중인 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 IP 경우와 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 RIT가 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 전송 계층 프로토콜에 영향을 미치지 않게 하는 패킷 버퍼링 방식이 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 메카니즘을 사용하고 이전 기지국에서 핸드오프 동안 손실된 패킷들을 버퍼에 저장하고 버퍼링된 패킷들이 이동단말에게 전달되어야 한다. 그러나 이동단말이 새로운 서브네트워크의 혼잡한 기지국으로 이동한 경우에는, 이전 기지국이 포워딩하는 패킷들은 손실되고 또한 포워딩된 패킷들로 인해 심화된 혼잡으로 기지국 내 이동단말 TCP 플로들의 무선링크이용률 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 기지국 패킷 버퍼링 방식

이 결합된 모바일 IP 경로 최적화 확장이 미치는 영향을 분석하였고, 또한 새로운 서브네트워크와 연결된 라우터가 사용하는 RED 버퍼관리방식 [9]의 혼잡 상태 정보에 따라 이후의 혼잡상태를 추정하여 이전 기지국이 버퍼링한 패킷들을 포워딩하거나 폐기하는 패킷포워딩 제어 방안을 제안하였다. 그러나 참고문헌[12]에서 제안된 패킷 포워딩 제어 방안에서는 이동단말이 이동한 새로운 서브네트워크의 혼잡 상태 정보를 이전 기지국에 전달할 수 있도록 하는 모바일 IP 프로토콜의 수정 및 RED 버퍼관리 방식에 대한 정확한 혼잡상태 추정이 요구된다. 또한 무선링크가 병목인 일반적인 혼잡상황을 고려하지 못하였다.

이에 본 논문에서는 기지국 패킷 버퍼링 방식이 결합된 스무스 핸드오프 방식으로 이동단말이 새로운 서브 네트워크의 혼잡한 기지국으로 이동한 경우, 이전 기지국이 핸드오프 동안 저장한 패킷들을 Priority 패킷으로 표기하고 혼잡한 새로운 기지국의 RED 버퍼관리방식에서는 Priority 패킷을 큐 길이 및 혼잡정도에 따른 확률적인 폐기의 대상에서 제외하는 암시적인 패킷포워딩 우선권 보장 방안을 제안하였다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2 절에서는 기지국 패킷 버퍼링 방식이 결합된 모바일 IP 경로 최적화 확장의 스무스 핸드오프 방식에서 제안하는 암시적인 패킷 포워딩 우선권 보장 방안을 소개하고 제 3 절의 시뮬레이션 결과는 제안하는 암시적인 패킷 포워딩 우선권 보장 방안을 적용하여 모바일 IP 프로토콜의 수정 없이 모바일 네트워크에서 이동단말들의 무선링크이용률 성능을 향상시킬 수 있음을 보인다. 끝으로 제 4 절에서 결론을 맺는다.

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

### 2.1 모바일 IP 경로 최적화 확장에서 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]. 그림2의 모바일 IP 경로 최적화 확장에서는, 새로운 FA가 이동단말로부터 등록요청메시지 (Registration Request Message)를 수신할 경우, 새로운 FA는 등록 요청 메시지를 HA로 중계하는 것과 더불어 이전 FA에

게 바인딩 갱신 메시지 (Binding Update Message)를 보내어 새로운 Care-of Address (즉 새로운 FA의 IP 주소)를 통지한다 [4]. 따라서, 이전 FA는 아직

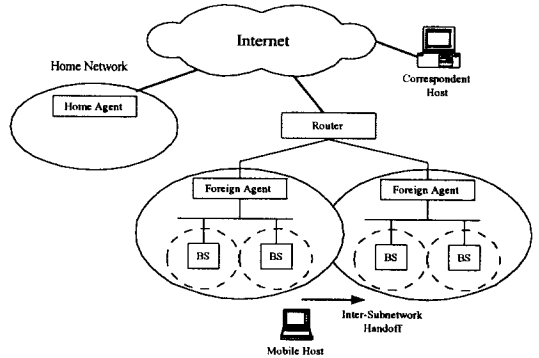
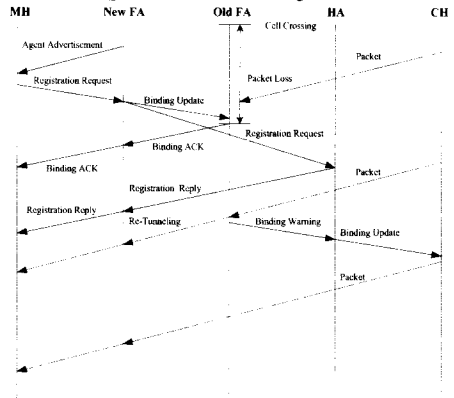
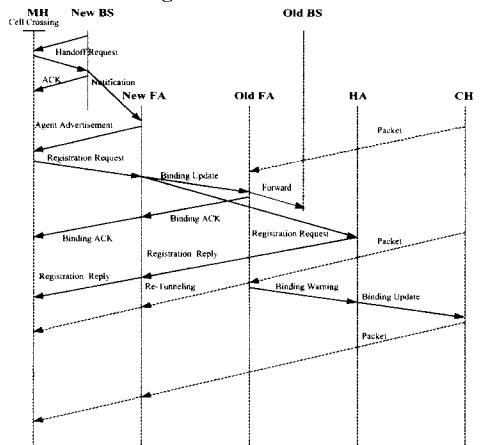


그림 1. 모바일 IP를 기반으로 하는 네트워크 구성  
Fig. 1. Network Configuration of



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

새로운 *Care-of Address*를 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 Address*를 통지할 수 있도록 한다. HA가 바인딩 경고 메시지를 수신할 경우, HA는 바인딩 갱신 메시지를 대응단말에게 보내어 새로운 *Care-of Address*를 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 Address*를 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 그림3의 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][12]. 전체 핸드오프 소요 시간은 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.

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

- $D_{HA-FA}$  : HA와 이전 FA 간의 지연 (≒  $T_{HA}$  : HA와 새로운 FA 간의 지연)
- $D_{CH-HA}$  : CH와 HA간의 지연,  $D_{CH-FA}$  : 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 (셀이 겹치지 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 이점 FA가 이를 수신하는 시점까지의 시간

$T_{CH}$  : HA가 바인딩 갱신 메시지를 송신하는 시점부터 CH가 이를 수신하는 시점까지의 시간

$a$  : 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 플로우를 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.

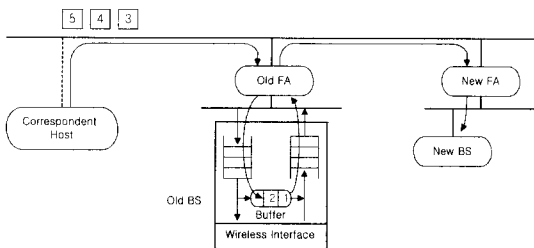


그림 4. 패킷재배열 문제를 해결하기 위한 패킷포워딩 순서  
Fig. 4. Packet Delivery Sequence for avoiding re-ordering of packets

## 2.1 암시적인 패킷 포워딩 우선권 보장방안

2.1절에서는 모바일 IP 경로 최적화 확장에서 핸드오프 시 발생하는 TCP 성능저하를 방지하기 위한 기지국 패킷 버퍼링 방식을 소개하였다. 그러나 무선링크가 병목인 일반적인 혼잡 상황을 고려하여, 기지국 패킷 버퍼링 방식이 결합된 모바일 IP 경로 최적화 확장의 스무스 핸드오프 방식으로 이동단말이 새로운 서브 네트워크의 혼잡한 기지국으로 이동한 경우에는, 이전 기지국이 포워딩하는 패킷들은 손실되고 또한 포워딩된 패킷들로 인해 심화된 혼잡으로 기지국 내 이동단말 TCP 플로우들의 무선링크이용률 성능이 저하되게 된다. 본 절에서는 기지국 패킷 버퍼링 방식이 결합된 스무스 핸드오프 방식으로 이동단말이 새로운 서브네트워크의 혼잡한 기지국으로 이동한 경우, 모바일 IP 프로토콜의 수정없이 이동단말들의 무선링크이용률 성능을 향상시키기 위해 암시적인 패킷포워딩 우선권 보장방안을 제안하였다.

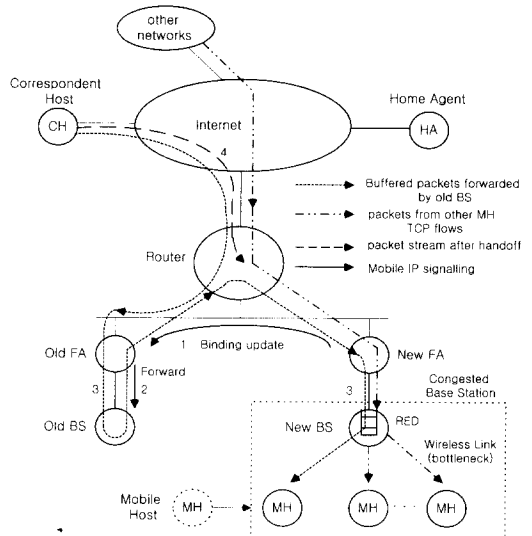


그림 5. 혼잡한 기지국으로 버퍼링된 패킷들의 포워딩  
Fig. 5. Forwarding buffered packets to a congested BS

그림5는 그림3의 기지국 패킷 버퍼링 방식이 결합된 모바일 IP 경로 최적화 확장의 스무스 핸드오프 방식으로 이동단말이 새로운 서브 네트워크의 혼잡한 기지국으로 이동한 경우에 대해 모바일 IP 시그널링과 패킷의 흐름을 설명한 것이다. 그림6은 그림5의 경우에 대한 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 설정

되었으며 동일한 방식으로 FA와 기지국간의 지연시간도 1ms로 설정되었다. 또한 그림6에서 이동단말의 핸드오프 소요시간 및 RTT를 구성하는 각 노드간의 지연 시간은 표1에 나타내었다. 표1에서 기지국과 이동단말 간 무선 링크 상에서의 비이콘 메시지 주기,  $T_B$ 는 50msec로 고정하였다 [6][7]. 그림6에서 각 이동단말 간의 RTT는 2ms씩 차이가 나며 86ms에서 102ms까지의 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, *msw*는 각각 512 바이트 및 64 패킷으로 설정하였다. 그리고 전송 에러로 인한 패킷 손실은 없다고 가정하였고 혼잡한 무선링크를 관리하는 기지국의 RED 큐 버퍼 길이, *buff-size*는 300 패킷으로,  $TH_{min}$ 과  $TH_{max}$ 는 각각 130과 260으로 설정하였고  $P_{max}$ 와  $W_0$ 는 각각 0.02와 0.002로 설정하였다 [9]. 본논문에서는 ns-2 시뮬레이터를 사용하여 시뮬레이션을 수행하였다 [11].

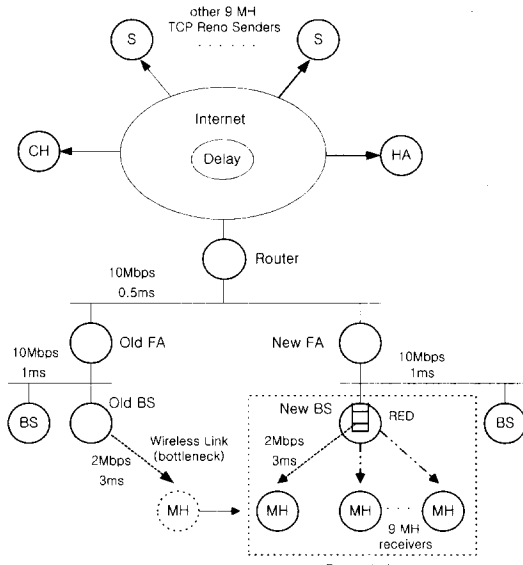


그림 6. 그림5의 경우에 대한 시뮬레이션 모델  
Fig. 6. Simulation model for the case of Figure 5

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	$D_{CH-FA}$	$\alpha$	$T_{h-Route}$	$T_{loss-Route}$	$T_{RTT-Route}$
값	40ms	8ms	182ms	63ms	88ms

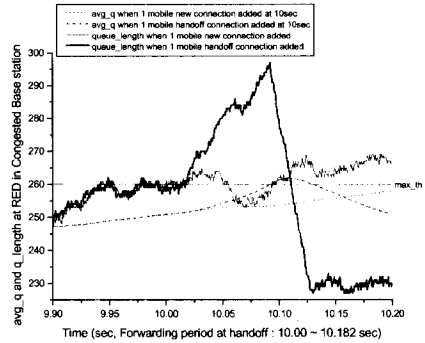


그림 7. 포워딩된 패킷들의 도착률  $TH_{max}$   
Fig. 7. Arrival property of forwarded packets

그림7은 그림5와 6의 기지국 패킷 버퍼링 방식을 결합한 모바일 IP 경로 최적화 확장 방식에서, 이전 기지국이 포워딩하는 패킷들의 버스트한 도착 특성이 혼잡한 기지국에 미치는 영향을 무선링크를 관리하는 기지국의 RED 큐 상태 변화 측면에서 분석한 결과이다. 그림6의 실험 환경에서 하나의 이동단말이 혼잡한 기지국으로 핸드오프할 경우, 이전 기지국이 포워딩하는 패킷량의 최대값은 *msw*로서 64 패킷이고 10Mbps의 링크에서 최소 약 26ms의 짧은 시간 동안 혼잡한 기지국에 버스트하게 포워딩된다. 이러한 특성으로 인해 그림7에서와 같이 혼잡한 기지국 내 기존 9개의 이동단말 플로들에게 새로이 연결된 이동단말 플로 (Mobile new connection) 하나가 추가되는 경우보다 핸드오프하는 이동단말 플로 (Mobile handoff connection) 하나가 추가되는 경우가 RED 큐 길이 및 평균 큐 길이를 *avg-q*를 더욱 급격하게 증가시켜 RED 큐의 혼잡을 증가시키고 혼잡한 무선링크를 통과하는 이동단말 플로들의 TCP 성능을 저하시키게 된다. 즉, 그림7은 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 *msw*, 64개 패킷들이 10초에서부터 182ms의 핸드오프 소요시간,  $T_{h-Route}$  동안 10.182초까지 기지국의 혼잡한 무선링크에 도착한 경우를 혼잡한 무선링크를 관리하는 RED 큐의 큐 길이 및 *avg-q* 측면에서 분석한 결과이다. 그림7의 결과에서 기지국 내 기존 9개의 이동단말 플로들에게 새로이 연결된 이동단말 플로 (Mobile new connection) 하나가 추가되는 경우에는 큐 길이와 *avg-q*가 점진적으로 증가하는 것을 볼 수 있으나, 핸드오프하는 이동단말 (Mobile handoff connection) 플로 하나가 추가되는 경우에

서는 큐 길이 및  $avg-q$ 가 급격하게 증가하여 10초에서부터 10.182초까지의 패킷포워딩 시간 동안  $avg-q$ 가  $TH_{max}$ 를 초과하게 되고 도착하는 패킷들에 대한 버스트한 폐기로 인해 큐길이가 급격하게 감소하는 Tail-Drop의 Global Synchronization현상이 발생함을 알 수 있다.

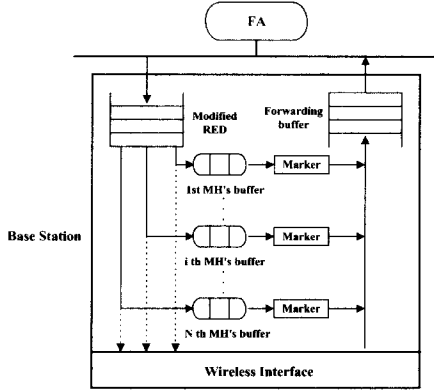


그림 8. 패킷 포워딩 우선권 보장을 위한 기지국 구조  
Fig. 8. Base station structure for Priority Forwarding

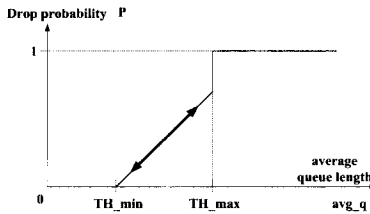


그림 9. RED 버퍼 관리 방식  
Fig. 9. RED Buffer Management Scheme

그림7의 결과로부터 기지국 패킷 버퍼링 방식을 결합한 모바일 IP 경로 최적화 확장 방식에서 이전 기지국이 포워딩하는 패킷들의 버스트한 도착 특성이 혼잡한 무선링크를 관리하는 기지국의 RED 큐 길이 및  $avg-q$ 를 더욱 급격하게 증가시켜 혼잡한 무선링크를 통과하는 이동단말 플로들의 TCP 성능을 저하시키게 된다는 것을 알 수 있다. 이러한 기지국 패킷 버퍼링 방식을 결합한 모바일 IP 경로 최적화 확장 방식에서 TCP 성능을 향상시키기 위해서는, 이전 기지국이 포워딩하는 패킷들의 버스트한 도착 특성이 혼잡한 무선링크를 관리하는 RED 큐에 가하는 혼잡도를 최소화해야 한다. 즉, 그림7에서 기지국 내 기존 이동단말 플로들에게 핸드오프하는 이동단말 플로 (Mobile handoff connection) 하나가 추가되는 경우에도 RED 큐 길이의 변화와  $avg-q$ 의 변화가 새로이 연결된 이동단말 플로 (Mobile new connection) 하나가 추가되는 경우와 같이 점진적으로 변화하게 하여 혼잡이 가중되는 것을 방지해야 한다. 이에 본 논문에서는 기지국 패

킷 버퍼링 방식이 결합된 스무스 핸드오프 방식에서 이동단말이 새로운 서브 네트워크의 혼잡한 기지국으로 이동한 경우, 이전 기지국이 핸드오프 동안 저장한 패킷들을 Priority 패킷으로 포기하고 혼잡한 새로운 기지국의 RED 버퍼 관리 방식에서는 Priority 패킷을 큐 길이 및 혼잡정도에 따른 확률적인 폐기의 대상에서 제외하는 암시적인 패킷 포워딩 우선권 보장 방안을 제안하였다. 즉 제안하는 암시적인 패킷 포워딩 우선권 보장 방안에서는, 이전 기지국이 포워딩하는 핸드오프 동안 저장된 패킷들이, 혼잡한 무선링크를 관리하는 기지국의 RED 큐가 혼잡 제어하는 대상 트래픽에서 제외된다.

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)

그림8은 제안하는 방안에서 제시된 기지국 구조를 나타낸 것으로 각 이동단말 플로별로 핸드오프 시 손실되는 패킷들을 저장하기위한 버퍼와 버퍼링된 패킷들을 Priority 패킷으로 포기하기위한 Marker가 설정되어 있다. 그리고 그림9와 식(2)는 RED 버퍼 관리방식을 설명한 것으로 RED 알고리즘을 구성하는 제어 변수로는  $TH_{min}$ ,  $TH_{max}$ 와  $avg-q$ ,  $P_{max}$ ,  $W_q$ 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  $P$ 에 따라 도착하는 패킷들을 폐기하고  $TH_{max}$ 에 이르면 무조건 도착하는 패킷들을 폐기한다. 이러한 RED 버퍼 관리방식은 버퍼가 가득 차기 전에 큐에 도착하는 패킷들을 확률적으로 폐기하여 평균 큐 길이 및 패킷들의 평균 지연시간을 제어할 수 있다. 또한 RED 방식은 Tail-Drop 방식에서 많은 수의 플로들로부터 발생한 패킷들이 동시에 폐기되어 네트워크의 링크 대역폭에 대한 이용효율을 감소시키는 Global Synchronization 현상의 문제점을 보완하여 수율 및 링크 이용률을 향상시킬 수 있다.

이러한 RED 방식에 대해 암시적인 패킷 포워딩 우선권 보장 방안에서 요구되는 Modified RED 방식은 식(3)과 같다. Modified RED 방식에서는 이전 기지국이 포워딩하는 Priority 패킷들은 RED 방식의 큐 길이,  $avg-q$  산정에 무관하고 또한 확률적인 폐기의 대상에서도 제외된다. 따라서 Priority 패킷이 아닌 패킷들을 대상으로 한 평균 큐길이  $avg-q-np$ 에 따라 Priority 패킷이 아닌 패킷들을 확률적으로 폐기한다. 이와 같이 제한한 암시적인 패킷 포워딩 우선권 보장 방안은 핸드오프 시 발생하는 이전 기지국에서 버퍼링된 패킷들의 포워딩이 없을 경우 일반적인 RED 방식을 기지국에서 사용하는 것과 동일하여 불필요한 시스템의 Overhead가 없다는 것이 장점이다.

queue size is the number of only nonpriority packets in RED queue  
 calculate the average queue size of nonpriority packets  $avg\_q\_np$

```

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
    
```

(3)

### III. 시뮬레이션 모델 및 성능 평가

본 논문에서는 기지국 패킷 버퍼링 방식이 결합된 스무스 핸드오프 방식으로 이동단말이 새로운 서브 네트워크의 혼잡한 기지국으로 이동한 경우, 모바일 IP 프로토콜의 수정 없이 이동단말들의 무선링크이용률 성능을 향상시키기 위해 이전 기지국이 핸드오프 동안 저장한 패킷들을 Priority 패킷으로 표기하고 혼잡한 새로운 기지국의 RED 버퍼 관리 방식에서는 Priority 패킷을 큐 길이 및 혼잡 정도에 따른 확률적인 폐기의 대상에서 제외하는 암시적인 패킷 포워딩 우선권 보장 방안을 제안하였다. 그리고 제안하는 암시적인 패킷 포워딩 우선권 보장 방안의 성능을 분석하기 위해 그림6과 표1의 실험환경에 그림8과 식(3)의 기지국 구조 및 Modified RED를 Old BS와 New BS에 각각 설정한 시뮬레이션 모델을 사용하였고, 6가지 시뮬레이션 시나리오 상에서 제안하는 방안의 무선링크이용률 성능을 분석하였다. 그림10은 7개의 이동단말들이 200초간 혼잡한 기지국 내에 머물고 RTT가 서로 다른 5개의 이동단말들이 200초간 그림6의

Old BS와 New BS로 이동하여 혼잡한 기지국 (New BS)으로 5회 핸드오프할 때, 혼잡한 기지국의 RED 큐 길이를 관찰한 결과이다. 그림10의 결과로부터 혼잡한 기지국으로 핸드오프가 발생할 때마다 이전 기지국이 포워딩하는 패킷들의 버스트한 도착 특성으로 인해 RED 큐 길이가 급격하게 증가하는 것을 알 수 있다.

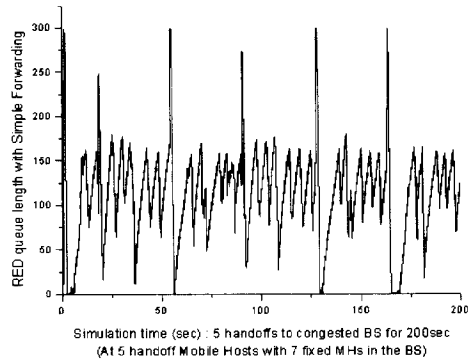


그림 10. 핸드오프에 따른 RED 큐길이 변화  
 Fig. 10. RED queue length variations at handoffs

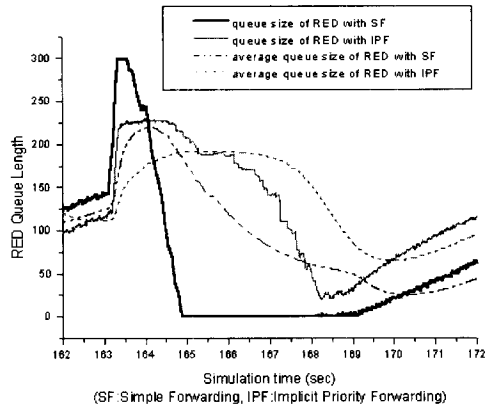


그림 11. 핸드오프에 따른 Modified RED 큐상태 변화  
 Fig. 11. Modified RED state variations at handoffs

그림11은 그림10의 실험환경에서 제한한 암시적인 패킷포워딩 우선권보장방안 (Implicit Priority Forwarding: 이하 IPF)을 적용한 경우와 아무런 제약이 없는 단순포워딩 (Simple Forwarding: 이하 SF)의 경우에 대해 핸드오프 발생시 RED 상태변화를 비교한 결과이다. 그림11의 결과에서 SF 방식의 경우, 핸드오프 발생시 이전 기지국이 포워딩하는 패킷들의 버스트한 도착 특성으로 RED 큐의 버퍼 크기 300을 초과하는 Buffer Overflow Drop 및 급격하게 증가한  $avg-q$ 에 의한 확률적인 패킷 폐기량의 증가로 인해 Global Synchronization 현상이 발생하는 것을 확인할 수 있으나, 제한한 IPF 방식에서는 핸드오프 시 이전 기지국이 포워딩하는 패



킷들의 버스트한 도착 특성이 상쇄되어  $avg-q$ 가 SF 방식의 경우보다 완만하게 증가하는 것을 볼 수 있다. 즉, 제안한 IPF 방식에서도 핸드오프 시 Buffer Overflow Drop은 발생하나 SF 방식의 경우보다 감소하는 RED 큐에서의 확률적인 패킷 폐기량으로 인해 Global Synchronization 현상이 발생하지 않음을 알 수 있다. 또한 핸드오프 후에 RED 큐 길이 및  $avg-q$ 변화와 Modified RED 큐길이 및  $avg-q$ 변화가 동일한 형태를 갖는 것을 확인할 수 있다.

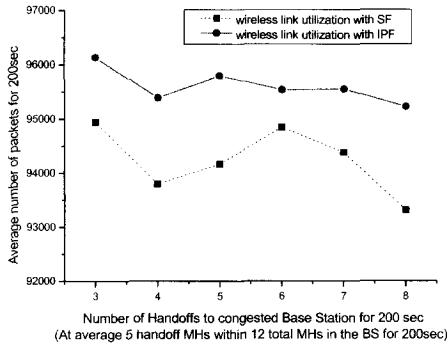


그림 12. 시나리오1에서 무선링크 이용률  
Fig. 12. Wireless link utilization at scenario1

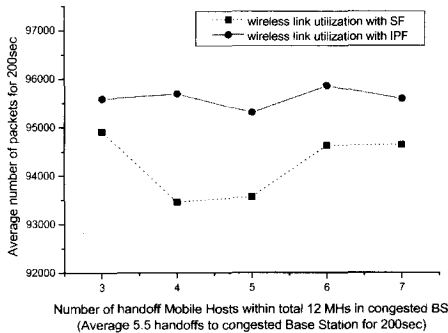


그림 13. 시나리오2에서 무선링크 이용률  
Fig. 13. Wireless link utilization at scenario2

그림12에서 그림17의 결과는 제안한 IPF방식의 성능을 분석하기 위한 6가지 시뮬레이션 시나리오에서 무선링크이용률 성능을 분석한 결과이다. 시뮬레이션 시나리오1에서는 혼잡한 기지국 (그림6의 New BS) 내 전체 이동단말의 수를 12개로 고정하고, 이들 중 핸드오프하는 이동단말들 (Handoff Mobile Host)의 수를 3개에서 7개까지 변화시켜 혼잡한 기지국 내 전체 12개 이동단말들 중 200초간 평균 5개의 이동단말들이 핸드오프하도록 하였다. 즉, 기지국 내 이동단말의 핸드오프율을 평균 42%로 설

정한 경우이다. 그림12는 시뮬레이션 시나리오1에서 전체 12개의 이동단말들 중 평균 5개의 이동단말이 200초간 혼잡한 기지국으로 핸드오프한 회수에 따라 200초간 혼잡한 기지국의 무선링크를 통과한 패킷 수, 즉 무선링크이용률을 SF방식과 제안한 IPF 방식에 대해 비교한 결과이다. 시뮬레이션 시나리오 2에서는 혼잡한 기지국 내 전체 12개의 이동단말들 중 핸드오프하는 이동단말들 (Handoff Mobile Host)이 혼잡한 기지국으로 핸드오프한 회수를 3회에서 8회까지 변화시켜 200초간 평균 5.5회 혼잡한 기지국으로 핸드오프하도록 하였다. 그리고 그림13은 시뮬레이션 시나리오2에서 혼잡한 기지국 내 전체 12개의 이동단말들 중 핸드오프하는 이동단말들의 수, 즉 기지국 내 이동단말의 핸드오프율에 따라 200초간 혼잡한 기지국의 무선링크를 통과한 패킷 수를 비교한 결과이다.

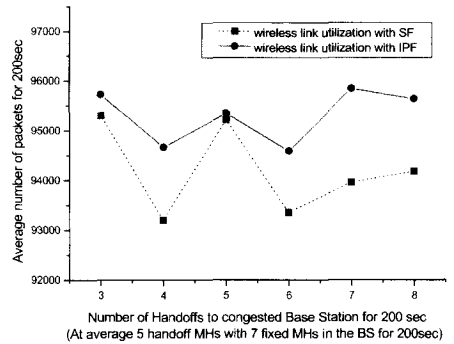


그림 14. 시나리오3에서 무선링크 이용률  
Fig. 14. Wireless link utilization at scenario3

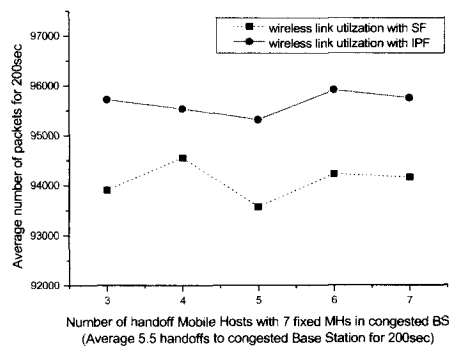


그림 15. 시나리오4에서 무선링크 이용률  
Fig. 15. Wireless link utilization at scenario4

시뮬레이션 시나리오3에서는 혼잡한 기지국 내에 머무는 이동단말들 (Fixed Mobile Host)의 수를 7개로 고정하고, 핸드오프하는 이동단말들 (Handoff Mobile Host)의 수를 3개에서 7개까지 변화시켜

200초간 평균 5개의 이동단말들이 핸드오프하도록 하였다. 그림14는 시뮬레이션 시나리오3에서 평균 5개의 이동단말이 200초간 혼잡한 기지국으로 핸드오프한 회수에 따라 200초간 혼잡한 기지국의 무선링크를 통과한 패킷 수, 즉 무선링크이용률을 비교한 결과이다. 시뮬레이션 시나리오4에서는 핸드오프하는 이동단말들 (Handoff Mobile Host)이 혼잡한 기지국으로 핸드오프한 회수를 3회에서 8회까지 변화시켜 200초간 평균 5.5회 혼잡한 기지국으로 핸드오프하도록 하였다. 그리고 혼잡한 기지국 내에 머무는 이동단말의 수를 7개로 고정하고, 핸드오프하는 이동단말들의 수, 즉 기지국 내 이동단말의 핸드오프율을 변화시켰다. 그림15는 이러한 시뮬레이션 시나리오4에서 두 방식에 대해 200초간 혼잡한 기지국의 무선링크를 통과한 패킷수를 비교한 결과이다.

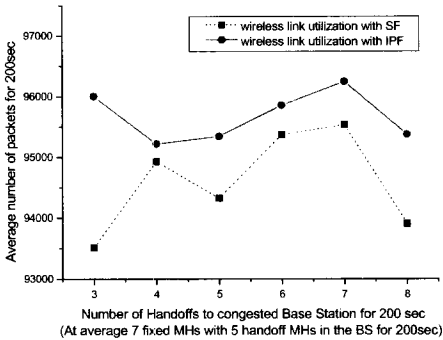


그림 16. 시나리오5에서 무선링크 이용률  
Fig. 16. Wireless link utilization at scenario3

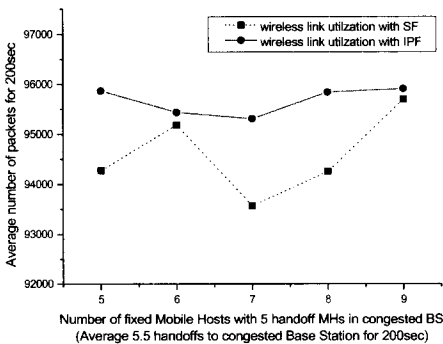


그림 17. 시나리오6에서 무선링크 이용률  
Fig. 17. Wireless link utilization at scenario4

시뮬레이션 시나리오5에서는 혼잡한 기지국 내 핸드오프하는 이동단말들 (Handoff Mobile Host)의 수를 5개로 고정하고, 혼잡한 기지국 내에 머무는 이동단말들 (Fixed Mobile Host)의 수를5개에서 9

개까지 변화시켜 평균 7개의 이동단말들이 혼잡한 기지국에 머물게 하였다. 그림16은 시뮬레이션 시나리오5에서 5개의 이동단말이 200초간 혼잡한 기지국으로 핸드오프한 회수에 따라 200초간 혼잡한 기지국의 무선링크를 통과한 패킷 수, 즉 무선링크이용률을 두 방식에 대해 비교한 결과이다. 시뮬레이션시나리오6에서는 핸드오프하는 이동단말들이 혼잡한 기지국으로 핸드오프한 회수를 3회에서 8회까지 변화시켜 200초간 평균 5.5회 혼잡한 기지국으로 핸드오프하도록 하였다. 그리고 혼잡한 기지국 내 핸드오프하는 이동단말들 (Handoff Mobile Host)의 수를 5개로 고정하고, 혼잡한 기지국 내에 머무는 이동단말들 (Fixed Mobile Host)의 수를5개에서 9개까지 변화시켰다. 그림17은 이러한 시뮬레이션 시나리오6에서 두 방식에 대해 기지국의 혼잡도에 따라 200초간 혼잡한 기지국의 무선링크를 통과한 패킷 수를 비교한 결과이다. 이와 같이 다양한 시뮬레이션 시나리오에서 실시한 그림12에서 그림17의 결과로부터, 기지국 패킷 버퍼링 방식을 결합한 모바일 IP 경로 최적화 확장 방식에서 제안한 IPF 방식을 적용하여 모바일 IP 프로토콜의 수정 없이 기지국의 혼잡한 무선링크에 대한 링크이용률 성능을 향상시킬 수 있음을 알 수 있다.

#### IV. 결론

본 논문은 무선링크가 병목인 일반적인 혼잡 상황을 고려하여, 기지국 패킷 버퍼링 방식이 결합된 모바일 IP 경로 최적화 확장의 스무스 핸드오프 방식으로 이동단말이 새로운 서브네트워크의 혼잡한 기지국으로 이동한 경우, 모바일 IP 프로토콜의 수정 없이 이동단말들의 무선링크이용률 성능을 향상시키기 위해 이전 기지국이 핸드오프 동안 저장한 패킷들을 Priority 패킷으로 표기하고 혼잡한 새로운 기지국의 RED 버퍼 관리 방식에서는 Priority 패킷을 큐 길이 및 혼잡정도에 따른 확률적인 폐기의 대상에서 제외하는 암시적인 패킷 포워딩 우선권 보장 방안 (Implicit Priority Forwarding : IPF)을 제안하였다. 다양한 시뮬레이션 시나리오에서 실시한 시뮬레이션 결과로부터 제안한 IPF 방식은 기지국의 혼잡한 무선링크에 대한 링크이용률 성능을 향상시킬 수 있음을 확인하였다. 제안한 IPF 방식은 핸드오프 시 발생하는 이전 기지국에서 버퍼링된 패킷들의 포워딩이 없을 경우 일반적인 RED 방식을 기지국에서 사용하는 것과 동일하여 불필요한 시스템의 Overhead가 없다는 것이 장점이다.

참 고 문 헌

[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

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

허 경(Kyeong Hur)

정회원



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

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

이 승 범(Seung-Beom Lee)

준회원



2002년 2월: 고려대학교 전자공학과 학사  
 2002년 3월~현재: 고려대학교 전자공학과 석사과정재학 중

<주관심분야> 통신네트워크 설계 및 성능분석

노 재 성(Jae-Sung Roh)

정회원



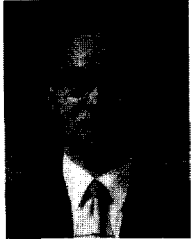
1990년 2월: 한국항공대학교 항공통신정보공학과 학사  
 1992년 2월: 한국항공대학교 항공통신정보공학과 석사  
 2000년 8월: 한국항공대학교 항공통신정보공학과 박사  
 1992년 3월~1997년 5월: 한화정보통신(주)무선가입자망 연구원  
 1997년 3월~1999년 2월: 세영

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

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

조 성 준(Sung-Joon Cho)

정회원

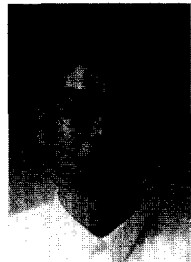


1969년 2월:한국항공대학교  
항공통신정보공학과 학사  
1975년 2월:한양대학교 대학  
원 공학석사  
1981년 3월:일본오사카대학  
통신공학과 박사  
1969년 4월~1972년 7월:  
해군기술장교(중위)  
1972년8월~현재: 한국항공대학교 전자·정보통  
신·컴퓨터공학부 교수

<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: 원광대

학교 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: 한국

통신학회 회장

1998년 4월~현재: 한국전자통신연구원 부이사장

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