

무선 셀에서의 혼잡 발생을 피하는 핸드오프 방안

(A Handoff Mechanism to Avoid Congestion in Wireless Cells)

변 해 선 ^{*} 이 미 정 ^{**}
(Haesun Byun) (Meejeong Lee)

요 약 이동노드에게 지속적인 통신서비스를 제공하기 위해서는 핸드오프 시 발생하는 패킷손실을 최소화하는 것이 매우 중요하다. 핸드오프가 발생했을 때 패킷손실과 이에 따른 TCP 성능 저하를 일으킬 수 있는 요인이 여러 가지가 있는데 그 중 하나가 이동해 간 노드에 의한 무선 셀에서의 혼잡발생이다. 이와 같은 혼잡은 이동하는 노드뿐만 아니라 이동해 간 셀에서 기존에 통신하고 있던 다른 이동노드들의 통신 성능에도 영향을 미친다. 이에 본 논문에서는 계층적 FA(Foreign Agent) 트리 구조를 기반으로 하는 무선 네트워크 도메인 환경에서 노드의 이동으로 인한 무선 셀에서의 혼잡 발생을 피하는 새로운 핸드오프 방안을 제안하고 이를 '패킷잠금제어'라 부르기로 한다. 패킷잠금제어에서는 노드 이동에 따라 트래픽 버스트가 새로운 셀로 한꺼번에 진입하는 것을 막기 위해 무선 네트워크 도메인에서 패킷 전달 경로에 해당하는 계층적 트리 브랜치 상의 FA들이 이동한 노드의 패킷들을 버퍼링 하면서 점진적으로 새로운 셀로 전달하는 패킷의 수를 늘려 가도록 한다. 시뮬레이션 결과, 이동노드가 가용대역폭이 상이한 셀간에 이동해 나갈 때 제안하는 패킷잠금제어가 기존의 지역적 등록보다 패킷 손실이 낮음을 보일 뿐 아니라 노드가 이동한 셀에서 이미 통신하고 있던 다른 이동노드들의 TCP 처리율도 향상시킬 수 있었다.

키워드 : 핸드오프, 무선 네트워크, 지역적 등록, 혼잡 제어

Abstract To provide mobile nodes with continuous communication services, it is important to reduce the packet losses during handoffs. The handoffs of mobile nodes cause packet losses and decrease of TCP throughput on account of a variety of factors. One of those is the congestion in the new cell. Due to the congestion, not only the node moving into the cell but also the already existing nodes that were successfully communicating in the cell suffer the performance degradation. In this paper we propose a new handoff mechanism called 'packet freeze control', which avoids the congestion caused by handoffs by regulating the influx of traffic burst into the new cell. Packet freeze control is applicable to a wireless network domain in which FAs(Foreign Agents) are connected hierarchically and constitute a logical tree. It gradually increases the number of packets transferred to the new cell by buffering packets in the FAs on the packet delivery path over the wireless network domain. The simulation results show that the proposed mechanism not only reduces the packet losses but also enhances the TCP throughput of other mobile nodes in the cell.

Key words : Handoff, Wireless Network, Regional Registration, Congestion Control

1. 서 론

인터넷의 급속한 성장과 함께 이동노드를 이용하여 인터넷에 접속하려는 사용자가 늘어남에 따라 이들 사용자에게 지속적인 통신서비스를 제공해야 하는 중요성이 부각되고 있다. 이동노드 사용자들은 고정된 위치에 있는 것이 아니라 이동하면서 통신하기 때문에 통신 중

인터넷 접속 지점이 바뀌게 된다. Mobile IPv4는 인터넷에서 이와 같은 노드의 이동성을 지원하기 위해 IETF(Internet Engineering Task Force)에서 제안한 프로토콜이다[1]. 그런데, Mobile IPv4는 기본적으로 이동한 새 위치로 데이터를 전달하는 것은 가능하게 해주지만, 이를 위한 시그널링 오버헤드와 새로운 위치로 데이터를 전달하기까지의 지연이 문제가 된다. 특히 이동노드의 홈 네트워크와 방문한 네트워크 간 거리가 먼 경우, 이와 같은 문제는 더 커지게 된다.

이에 이동노드의 위치 갱신을 위한 등록시간 단축 및 오버헤드 감소를 위한 방안들과[2, 3, 4, 5, 6], 위치 갱

^{*} 비 회 원 : 이화여자대학교 컴퓨터학과
ladybhs@ewha.ac.kr

^{**} 정 회 원 : 이화여자대학교 컴퓨터학과 교수
lmj@mm.ewha.ac.kr

논문접수 : 2003년 2월 3일

심사완료 : 2003년 6월 23일

신이 이루어지는 동안 잘못된 경로로 전달된 패킷 손실을 줄일 수 있는 방안에 관한 연구가 이루어졌다[7, 8, 9]. 잘못된 경로로 전달된 패킷의 손실을 줄이기 위한 가장 대표적인 방안은 패킷 버퍼링 기법을 이용한 Optimized Smooth Handoff이다[7]. 이 방안은 이동노드에게 전달되는 모든 패킷들을 FA(Foreign Agent)가 먼저 버퍼링 한 후 이동노드에게 전달하도록 한다. 이동노드가 다른 셀로 이동하면 이전의 FA가 버퍼링 되어 있는 패킷들과 이동한 노드를 향해 들어오는 새로운 패킷들을 새로운 FA에게 전달한다. 따라서 이동노드가 핸드오프 하는 동안에 노드의 이동 사실을 알지 못하는 송신자가 이전의 FA에게 전송해 버린 패킷의 손실을 없앨 수 있다.

이동노드의 핸드오프 시 위치 갱신을 위한 등록시간을 단축시키기 위한 대표적인 연구로는 지역적 등록과 멀티캐스트 기반 IP 핸드오프 등이 있다[2, 5]. 지역적 등록에서는 무선 네트워크 도메인의 FA들을 계층적 트리로 구성하고 트리의 최상위 FA를 GFA(Gateway Foreign Agent)로 지정한다. GFA는 무선 네트워크 도메인에 들어온 이동노드를 위해 HA(Home Agent)에게 자신의 주소를 이동노드의 COA(Care-of Address)로 등록한다. 따라서, 동일 GFA가 담당하는 무선 네트워크 도메인 내에서 이동노드가 이동하는 동안은 핸드오프 시에 HA에게 새로운 COA를 등록할 필요가 없고, 핸드오프 처리를 위한 시그널링 오버헤드와 지연을 줄일 수 있다[2].

멀티캐스트 기반 IP 핸드오프 방안 역시 핸드오프 처리를 위한 시그널링 오버헤드와 지연을 줄이는 것을 목적으로 한다[5]. 멀티캐스트 기반 IP 핸드오프에서는 이동노드 별로 멀티캐스트 그룹 주소를 하나씩 할당하고 이동노드가 방문하는 셀의 FA가 멀티캐스트 전달 트리에 가입하도록 한다. 이 트리는 이동노드의 필요에 따라 동적으로 브랜치가 활성화, 비활성화 또는 추가, 삭제된다. 이동노드의 핸드오프 시 멀티캐스트 그룹 JOIN 메시지가 HA까지 전달되기 전에 이미 설립된 트리의 브랜치를 만난다면 이동노드의 데이터 전달 트리 가입 프로세스가 완료되고, 멀티캐스트 그룹 주소로 전송되는 패킷을 전달받기 시작한다. 즉, 핸드오프 시 위치 갱신을 위한 메시지가 HA까지 전달되기 전에 데이터 수신을 시작할 수 있어 이동노드의 핸드오프 지연을 줄일 수 있다.

그런데, 이와 같은 방안들은 모두 핸드오프 시 발생하는 패킷손실을 줄이고 위치 갱신을 위한 등록시간을 단축시키는데는 효과적이지만 이동하는 노드가 새로이 방문하는 셀에서 기존에 통신하고 있던 다른 이동노드들의 통신성능에 미치는 영향을 고려하지 않고 있다. 지역

적 등록이나 멀티캐스트 기반 IP 핸드오프 모두 이동노드의 등록 요청 과정 중 이전 경로와 머지(merge)되는 지점을 만났을 때 그 머지 지점에서 전달 경로를 변화시켜 주기 때문에, 송신원은 노드의 이동사실을 알지 못한다. 그리고 송신원은 패킷전송률을 이동하기 전과 동일하게 유지시킨다. 만약 이동노드가 가용대역폭이 큰 셀에서 통신하고 있다가 가용 대역폭이 작은 셀로 이동한다면 이동한 노드를 향해 들어오는 트래픽 버스트가 새로운 셀로 진입함으로 인해 새로운 셀에서 혼잡이 발생하게 된다. 더욱이 Optimized Smooth Handoff와 같은 방안이 함께 사용된다면 이전의 FA에서 새로운 FA에게 전달되는 패킷들로 인해 새로운 셀에서의 혼잡은 더욱 가중된다.

이에 본 논문에서는 이와 같은 문제를 해결하기 위한 새로운 핸드오프 방안을 제안하고 이를 패킷잠금제어(Packet Freeze Control)라 부르기로 한다. 패킷잠금제어 기법은 새로운 셀에서 혼잡이 발생하는 것을 피하고 노드가 이동해 간 셀에서 기존에 통신하고 있던 다른 이동노드들의 통신성능에 핸드오프가 미치는 영향을 최소화하는 것을 목적으로 한다. 패킷잠금제어는 무선 네트워크 도메인의 FA들이 계층적 트리 구조로 연결된 환경을 대상으로 하며, 기존의 지역적 등록(Regional Registration) 방법을 기반으로 한다. 패킷잠금제어에서는 지역적 등록과 마찬가지로 하나의 GFA가 관리하는 무선 네트워크 도메인 내에서 이동노드가 이동하였을 때 HA에 위치 갱신을 위한 등록메시지를 보내지 않으며, 새로운 셀로의 패킷 전달을 위한 경로 변경은 무선 도메인 내에서 일어나므로 빠른 핸드오프 처리가 가능하다. 그러나, 지역적 등록과는 달리 핸드오프가 발생할 때마다 매번 송신원에게 이동한 노드에 대한 패킷 전송 속도를 줄여야 함을 알린다. 이미 송신원을 떠난 패킷들은 무선 네트워크 도메인의 계층적 FA 트리에서 패킷 전달 경로상에 있는 FA들이 패킷들을 버퍼링 하였다가 점진적으로 새로운 셀로 전달한다. 따라서 이동한 노드를 향해 전달되는 트래픽 버스트가 새로운 셀로 한꺼번에 진입하는 것을 피한다.

지역적 등록의 장점은 크게 두 가지로 볼 수 있는데 첫 번째는 HA에게 보내는 시그널링 메시지의 횟수를 줄이는 것이고, 두 번째는 도메인 내에서 이동노드의 핸드오프 시 빠른 등록 처리가 가능하다는 것이다. 제안하는 패킷잠금제어는 이동해 간 새로운 셀에서의 혼잡 발생을 피하기 위해 매 핸드오프마다 송신원에게 속도 감소를 요청하는 시그널링 메시지를 보내므로 위의 두 가지 장점 중 첫 번째 장점은 유지하지 못한다. 그러나 도메인 내 이동시 새로운 셀로의 패킷 전달이 지역적 등록과 마찬가지로 도메인 내에서 이루어지므로 지역적

등록의 두 번째 장점은 유지된다.

시뮬레이션을 통해 제안하는 패킷잡금제어 기법과 기존의 지역적 등록 기법의 성능을 비교한 결과, 이동노드가 가용 대역폭이 상이한 셀간에 이동해 나갈 때 제안하는 패킷잡금제어가 기존의 지역적 등록보다 낮은 패킷 손실을 보이고 노드가 이동해 간 셀에서 기존에 통신하고 있던 다른 이동노드들의 통신성능도 패킷잡금제어를 사용하는 경우가 더 높음을 볼 수 있었다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 1장의 서론에 이어 2장에서는 제안하는 패킷잡금제어에 대하여 자세히 설명한다. 3장에서는 시뮬레이션을 통하여 패킷잡금제어와 지역적 등록의 성능을 비교한다. 끝으로 4장에서는 본 논문의 결론을 맺는다.

2. 패킷잡금제어

본 장에서는 제안하는 핸드오프 방안의 동작과정을 설명한다. 우선 제안하는 핸드오프 방안이 기반으로 하는 네트워크 구조 및 엔티티들을 설명하고, 이동노드의 핸드오프 시 등록 과정과 함께 패킷잡금제어의 동작과정을 자세하게 설명한다.

제안하는 핸드오프 방안은 빠른 등록과 등록 오버헤드 감소를 위해 지역적 등록 메커니즘을 기반으로 하며 지역적 등록 메커니즘과 마찬가지로 그림 1과 같이 FA들이 논리적인 계층적 트리로 연결된 구조의 무선 네트워크 도메인을 기반으로 한다[2]. HRFA(Hierarchical Root Foreign Agent)는 지역적 등록의 GFA와 유사하게 계층적 트리의 루트가 되는 FA이며, 이동노드를 위한 등록요청 메시지를 HA에게 보내는 FA이다. HA에

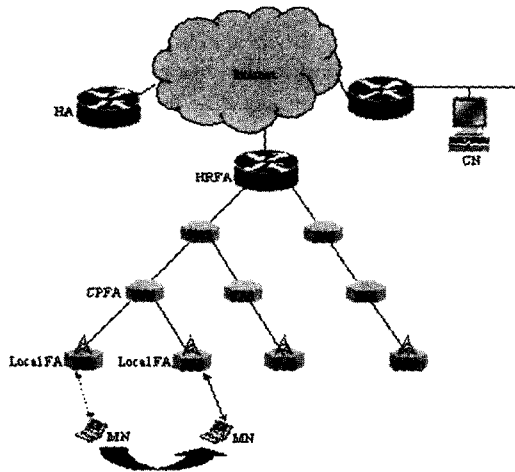


그림 1 제안하는 핸드오프 방안을 적용하기 위한 네트워크 구조

게는 HRFA 주소가 이동노드의 COA로 등록되며 HA 또는 CN은 이동노드에게 보낼 패킷을 HRFA에게 터널링한다. Local FA는 이동노드가 현재 위치한 셀의 FA로써 이동노드에게 직접 패킷을 전달한다. 그림 1과 같이 FA7의 셀에 이동노드가 들어와 있는 경우라면 FA7이 이동노드의 Local FA가 된다. CPFA(Common Point Foreign Agent)는 이동노드가 핸드오프로 인해 위치 갱신 등록을 할 때 등록요청 메시지가 HRFA에 전달되는 과정에서 이전 패킷 전달 경로상에 있는 FA 중 가장 먼저 만나게 되는 FA를 말한다. 이동노드가 FA7의 셀에 있다가 FA8의 셀로 이동했을 때 등록요청 메시지가 FA8을 통해 HRFA를 향해 올라가는 도중 이전 패킷 전달 경로상에 있었던 FA4를 만나게 되는데 이때 FA4가 CPFA가 된다. CPFA는 등록을 요청한 이동노드에 대한 정보를 이미 가지고 있다.

이동노드는 새로운 FA로부터 에이전트 광고 메시지를 받았을 때 핸드오프를 감지하고 새로운 셀에서의 등록 프로세스를 시작한다. 제안하는 방안에서는 이동노드가 보내는 등록요청 메시지에 추가적으로 H 플래그를 정의하였다. H 플래그는 이동노드가 새로운 셀에 들어온 후 처음으로 보내는 등록요청 메시지의 리프레시(refresh)를 위한 등록요청 메시지인지를 구분하기 위한 플래그이다. 이동노드는 새로운 셀에 들어왔을 때 등록요청 메시지의 H 플래그를 1로 설정하여 등록요청을 보내고, FA는 등록요청 메시지를 받았을 때 H 플래그를 보고 새로 이동해 온 노드의 등록요청임을 알게 된다. FA는 H 플래그가 1로 설정된 등록요청 메시지를 받으면 방문자 바인딩 테이블에 해당 이동노드에 대한 엔트리 존재하는지 검색한다. 방문자 바인딩 테이블은 지역적 등록을 위해 FA가 자신을 경유하여 등록된 이동노드에 대한 정보를 유지하고 있는 테이블이다. 만약, 방문자 바인딩 테이블에서 일치하는 이동노드의 주소가 검색되지 않으면 FA는 해당 이동노드에 대한 엔트리를 방문자 바인딩 테이블에 추가하고, 등록요청 메시지는 부모 FA에게 보낸다. 이 등록요청 메시지는 방문자 바인딩 테이블에 해당 이동노드의 엔트리가 이미 등록되어 있는 FA, 즉, CPFA를 만날 때까지 전달된다.

새로운 셀로 이동한 노드의 등록요청이 CPFA에 이르게 되면, CPFA부터 HRFA까지의 경로상에 있는 FA들이 패킷잡금제어에 참여한다. 그림 1에서 이동노드가 FA7의 셀에서 FA8의 셀로 이동한 경우를 예로 보면 CPFA인 FA4부터 HRFA인 FA1까지의 경로상에 있는 FA들이 패킷잡금제어에 참여하게 된다. 즉, 패킷잡금제어에 참여하는 FA들은 노드가 이동하기 전의 패킷 전달 경로상에 포함되는 FA들이다. 이들 FA는 이미 해당 이동노드로의 트래픽을 전달하고 있었으므로, 해당 이동

노드로의 트래픽을 위한 대역폭 확보가 안정되어 있는 상태이다. 반면, 새로운 Local FA부터 CPFA에 이르기까지 경로상에 있는 FA들은 노드의 이동으로 인해 새로이 이동노드로의 트래픽을 전달하기 시작한 경로이기 때문에, 이동노드로의 트래픽 버스트로 인해 혼잡이 발생할 수 있는 부분이다. 이에, 패킷잠금제어에서는 CPFA부터 HRFA까지의 경로상에 있는 FA들로 하여금 해당 이동노드로의 패킷을 버퍼링하는 역할을 담당하도록 한다. 패킷잠금제어에 참여하는 FA들은 이동한 노드를 향한 패킷들을 버퍼링 하면서 점진적으로 새로운 셀로 전달하는 패킷의 양을 늘려간다.

패킷잠금제어를 위해 FA에서는 지역적 등록을 위해 사용하는 방문자 바인딩 테이블의 각 이동노드 엔트리에 추가적으로 잠금 비트(Freeze bit)와 FP-Send 변수를 유지한다. 잠금 비트는 FA가 해당 이동노드에 대하여 패킷잠금제어에 참여하고 있는지의 여부를 나타내는 플래그이다. FP-Send 변수는 패킷잠금제어에 참여하고 있는 FA가 해당 이동노드를 향해 새로운 경로로 보낼 수 있도록 허락된 패킷의 수를 나타낸다.

H 플래그가 세트된 등록요청 메시지를 받은 CPFA는 방문자 바인딩 테이블의 해당 이동노드에 대한 잠금 비트를 1로 설정함으로써 패킷잠금제어를 시작한다. 또한 잠금 메시지를 만들어 부모 FA에게 보낸다. 잠금 메시지를 받은 부모 FA도 CPFA와 마찬가지로 잠금 비트를 1로 설정하고 패킷잠금제어에 참여하기 시작하며 잠금메시지를 그 부모 FA에게 보낸다. 이 잠금 메시지는 HRFA가 받게 될 때까지 전달되며 잠금 메시지를 받은 모든 FA는 해당 이동노드의 잠금 비트를 1로 설정하여 패킷잠금제어에 참여하게 된다. HRFA는 잠금 메시지를 받으면 CN에게 속도줄임 메시지를 보낸다. 속도줄임 메시지를 받은 CN은 이동한 노드의 TCP Congestion Window 크기를 1로 설정하고 슬로우 스타트를 시작하며, HRFA에게는 속도줄임 메시지에 대한 응답 메시지를 보낸다. 속도줄임 메시지에 대한 응답 메시지를 받은 HRFA는 이를 계층적 FA 트리의 하위 FA로 전달하고 이 응답 메시지를 전달받은 FA들은 해당 이동노드에 대한 잠금 비트를 오프스킵으로써 패킷잠금제어를 해제한다.

어떤 이동노드에 대하여 잠금 비트가 1로 설정된 FA가 해당 이동노드로의 패킷을 받으면 FA는 그 패킷들에 대하여 패킷잠금제어를 적용한다. 먼저, 방문자 바인딩 테이블에서 해당 이동노드에 대한 FP-Send 변수를 1로 설정한 후 새로운 셀로 향하는 패스로 하나의 패킷만을 전송하고 그 이후에 들어오는 패킷들은 더 이상 내보내지 않고 버퍼링을 한다. 패킷잠금제어에 참여하고 있는 FA들은 패킷을 전송할 때 패킷잠금제어를 적용하

여 전송하는 패킷임을 표시하기 위하여 항상 패킷의 MIP(Mobile IP) 헤더의 플래그 필드의 F 플래그를 세트하여 보낸다. 이동노드는 이 플래그가 세트된 패킷을 받으면, 새로운 셀에서 성공적으로 패킷을 전달받았음을 알리기 위하여 패킷포워딩 ACK을 생성하여 CPFA에게 전송한다. CPFA는 패킷포워딩 ACK을 받으면 해당 이동노드에 대한 FP-Send 변수의 값을 1만큼 증가시키고 그 변수의 값만큼 버퍼링 되어 있는 패킷을 이동노드에게 전송한다. 또한 패킷포워딩 ACK은 부모 FA에게 전달한다. 패킷포워딩 ACK을 받은 부모 FA도 CPFA와 마찬가지로 해당 이동노드에 대한 FP-Send 변수의 값을 1만큼 증가시킨 후 그 변수의 값만큼 버퍼링 되어 있는 패킷을 전송하며, 패킷포워딩 ACK은 그 부모 FA에게 전달한다. 패킷포워딩 ACK은 HRFA가 받게 될 때까지 전달되고 패킷잠금제어에 참여하고 있는 모든 FA는 해당 이동노드에 대한 패킷포워딩 ACK을 받을 때마다 FP-Send 변수의 값을 1씩 증가하여 보내기 때문에 새로운 셀로 들어가는 패킷의 양을 점진적으로 늘려 전송하게 된다. 이 동작은 해당 이동노드로의 패킷이 버퍼에서 모두 플래시되거나 속도줄임 메시지에 대한 응답 메시지를 받아서 잠금 비트가 오프될 때까지 계속한다.

그림 2는 그림 1의 경우를 예로 들어 FA에서 패킷잠금제어 기법을 수행하는 동작과정을 나타낸 것이다. CPFA로 지정된 FA4는 해당 이동노드에 대한 패킷을 받으면 새로운 셀로 향하는 패스로 하나의 패킷만을 전송하고 그 이후의 패킷들은 더 이상 내보내지 않고 버퍼링을 시작하며, 잠금 메시지를 만들어 FA2에게 보낸다. 그리고 이동노드로부터 패킷포워딩 ACK을 받았을 때에는 전송하는 패킷의 수를 하나씩 늘려서 보낸다. 잠금 메시지를 받은 FA2도 하나의 패킷만을 내보내고 그 이후의 패킷들은 내보내지 않고 버퍼링 한 후 패킷포워딩 ACK을 받을 때마다 전송하는 패킷의 수를 하나씩 늘려서 전송한다. 또한 잠금 메시지를 FA1에게 전달한다. 잠금 메시지를 받은 FA1(HRFA)도 동일한 작업을 수행한다. FA1은 HRFA이기 때문에 CN에게 속도줄임 메시지를 보낸다. 속도줄임 메시지를 받은 CN은 이동한 노드에 대하여 슬로우 스타트를 시작하며, HRFA에게는 속도줄임 메시지에 대한 응답 메시지를 보낸다. 속도줄임 메시지에 대한 응답 메시지를 받은 HRFA는 이를 계층적 FA 트리의 하위 FA로 전달한다.

패킷잠금제어에 참여하는 FA들은 계층적 FA 트리의 자식 FA로부터 잠금 메시지를 받는 순간부터 부모 FA에게 잠금 메시지가 전달될 때까지 부모 FA가 해당 이동노드를 향해 전송한 패킷을 버퍼링하게 된다. 단, HRFA만은 자식 FA로부터 잠금 메시지를 받는 순간부터

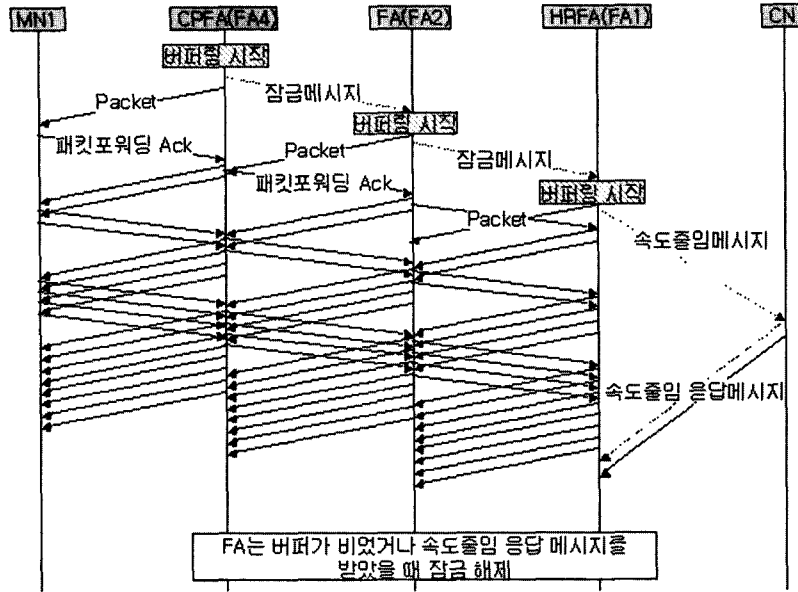


그림 2 FA에서 패킷잠금제어를 수행하는 과정

CN에게 속도줄임 메시지가 전달될 때까지 CN으로부터 전송되는 패킷을 버퍼링한다. 이와 같이 함으로써, CPFA로부터 HRFA에 이르는 FA들이 이동노드가 이동해 간 새로운 셀 및 경로로 유입되는 트래픽 버스트를 나누어서 버퍼링하는 효과를 가져온다. CPFA로부터 HRFA 이전 FA까지의 각 FA에서 버퍼링되는 패킷의 양은 계층적 트리 상에서 인접한 두 FA 간의 링크지연에 비례하고, HRFA에서 버퍼링되는 패킷의 양은 HRFA로부터 CN에 이르는 지연에 비례한다. 결과적으로 패킷잠금제어에 참여하고 있는 FA들 중 HRFA의 버퍼 오버헤드가 가장 크다. 단, Optimized Smooth Handoff가 적용되는 경우에는 이전의 FA로부터 새로운 FA에게 전달되는 패킷들이 모두 CPFA를 경유하게 되므로 CPFA에서 버퍼링되는 패킷의 양도 클 수 있다. 일반적으로 무선 네트워크 도메인 내에서의 링크지연이 인터넷을 경유하기 위한 지연 보다 훨씬 적기 때문에 새로운 셀에 충분한 대역폭이 있는 경우에는 잠금제어로 인해 CPFA로부터 HRFA에 걸쳐 버퍼링된 패킷들은 빠르게 이동노드로 싱크된다. 따라서, 본 연구에서 수행한 시뮬레이션 실험에 의하면 이와 같은 경우에는 CN이 속도줄임 메시지를 받고 슬로우 스타트를 시작한 이후의 패킷을 HRFA가 받을 때쯤이면 패킷잠금제어에 참여하는 FA는 이미 패킷잠금제어가 해제된 상태가 되었다.

3. 시뮬레이션 및 결과

제안하는 핸드오프 방안의 성능 평가를 위해 캘리포니아 버클리 대학에서 개발된 NS-2(Network Simulator-2)[10]를 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다. TCP 처리율, 패킷손실 정도와 버퍼사용 정도 등을 척도로 성능을 측정하였고, 제안하는 핸드오프 방안과 기존의 지역적 등록 기법의 성능을 비교하였다.

3.1 시뮬레이션 환경

표 1은 본 시뮬레이션에서 사용한 각 계층별 프로토콜을 보여준다.

그림 3은 시뮬레이션에서 사용된 네트워크 구조 및 링크 대역폭과 링크 지연을 보여주고 있다. 실험에 사용된 이동노드와 CN의 수는 각각 6개이다. HA와 GFA 간, FA와 FA간의 전송지연 시간은 각각 100ms, 100us

표 1 시뮬레이션에서 사용한 각 계층별 프로토콜

Layer	Model
Physical (Radio propagation)	Two-ray ground reflection model
Data link (MAC)	802.11 (Lucent Wave LAN)
Network (Routing)	NOAH
Transport	TCF/Reno
Application	FTP

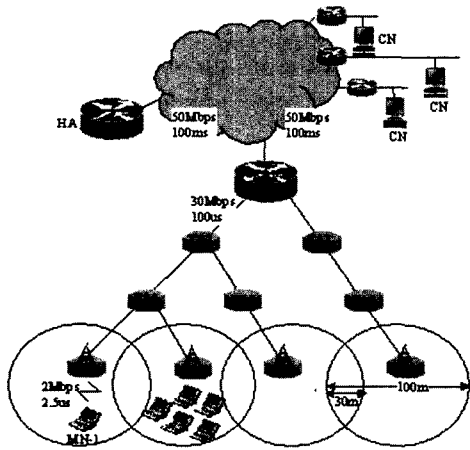


그림 3 시뮬레이션에서 사용된 네트워크 구조

로 실험하였고, CN과 GFA간의 전송지연 시간은 모든 CN에서의 CWND 동기화를 예방하기 위하여 100ms~130ms 사이의 임의의 값으로 선택하였다. HA와 GFA간, FA와 FA간, CN들과 GFA간의 대역폭은 각각 50Mbps, 30Mbps, 50Mbps로 가정하였다. 또한, 무선 셀에서의 전파지연 시간은 2.5us라 가정하였고 대역폭은 2Mbps로 설정하였다. FA7의 셀에는 이동노드 1번이 통신하도록 하고 FA8의 셀에는 2~5개의 이동노드들이 상주하며 통신하도록 하였다. 이러한 환경에서 FA7의 셀에 있던 이동노드 1번이 FA8의 셀로 이동하도록 함으로써 가용 대역폭이 더 높은 셀에서 가용 대역폭이 더 낮은 셀로 이동하는 상황을 시뮬레이트 하였다. 이동노드의 이동속도는 20m/s이고, 각 FA의 신호전송 범위는 100m이며 셀의 중첩 지역은 30m라 가정하였다. 또한 FA는 주기적으로 1초에 한번씩 에이전트광고 메시지를 브로드캐스팅한다고 가정하였다. CN으로부터 이동노드에게 패킷을 전송하는 응용으로 TCP/Reno ftp를 사용하였고, 패킷의 사이즈는 1000바이트라 가정하였다.

시뮬레이션 파라미터로서 노드가 이동하려는 셀에서 통신하고 있는 다른 이동노드들의 수를 변화시켜 보면서 TCP 처리율, 패킷이 손실되는 정도, 패킷들이 버퍼링되는 정도를 측정하였다.

3.2 핸드오프 시 TCP 처리율 변화

그림 3의 네트워크에서 FA7의 셀에는 이동노드 1번을 통신하게 하고 FA8의 셀에는 다른 이동노드 두 개를 통신하게 한 상태에서 이동노드 1번을 FA8의 셀로 이동시키면서 각 이동노드의 TCP 처리율을 측정하였다. TCP 처리율은 수신측에서 초 당 받은 패킷의 비트 수를 나타낸다. 패킷 수신에 인터벌은 0.25초 동안으로 계산하였고 따라서 0.25초 동안에 받은 패킷의 비트 수를

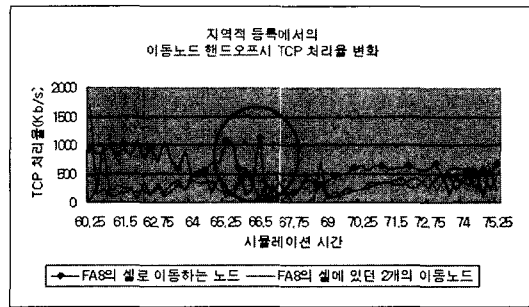


그림 4 지역적 등록에서의 이동노드의 핸드오프 시 TCP 처리율 변화

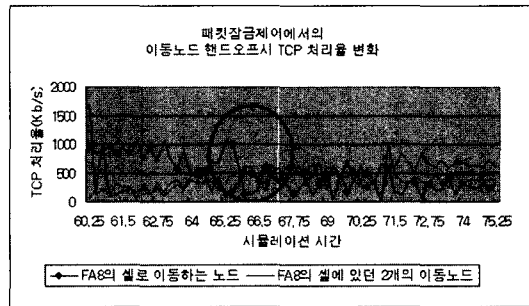


그림 5 패킷잠금제어에서의 이동노드의 핸드오프 시 TCP 처리율 변화

0.25로 나눈 값이다. 이동노드 1번의 이동시작 시점은 65s이며 약 66.5s에 FA8의 에이전트광고 메시지를 받고 핸드오프를 시작한다. 그림 4는 지역적 등록을 사용하였을 경우의 실험결과이다. FA7의 셀에서 통신하고 있던 이동노드 1번이 FA8의 셀로 이동하였을 때 FA8의 셀에서 통신하고 있던 이동노드들의 TCP 처리율이 떨어지는 것을 볼 수 있다(동그라미로 표시된 약 66.5s 부분). FA7의 셀에서 2Mbps의 대역폭을 모두 차지하고 있던 이동노드 1번이 상대적으로 가용 대역폭이 낮은 FA8의 셀로 이동함에 따라 FA8의 버퍼에서는 혼잡으로 인한 패킷손실과 지연이 발생하게 된다. 이러한 혼잡으로 인해 FA8의 셀에서 기존에 통신하고 있던 다른 이동노드들의 TCP 처리율이 하락하게 된 것이다.

그림 5는 제안하는 패킷잠금제어를 사용하였을 경우의 실험결과이다. 이동노드 1번이 FA8의 셀에 들어온 시점에도 FA8의 셀에서 통신하고 있던 다른 이동노드의 TCP 처리율은 그대로 유지됨을 볼 수 있다. 패킷잠금제어에서는 CPFA부터 HRFA까지의 FA들(FA4, FA2, FA1)이 이동노드 1번을 향해 들어오는 패킷들에 대하여 IP계층에서 버퍼링하면서 점진적으로 패킷들을 새로운 셀로 전달하기 때문에 FA8의 셀로 한꺼번에 트

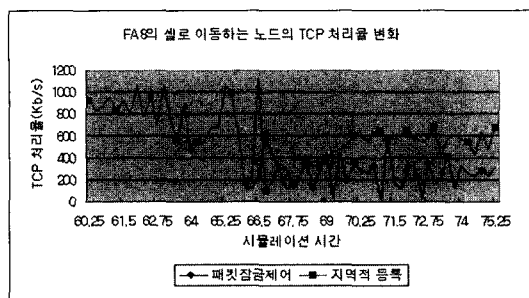


그림 6 FA8의 셀로 이동하는 노드의 TCP 처리율 변화

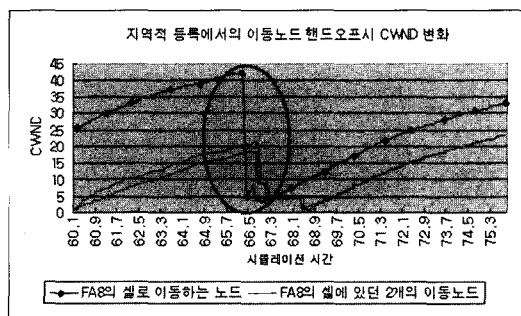


그림 8 지역적 등록에서의 이동노드의 핸드오프 시 CWND 변화

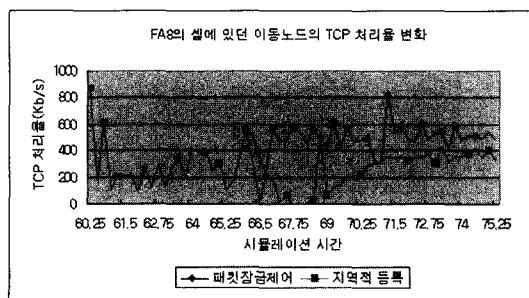


그림 7 FA8의 셀에 있던 이동노드의 TCP 처리율 변화

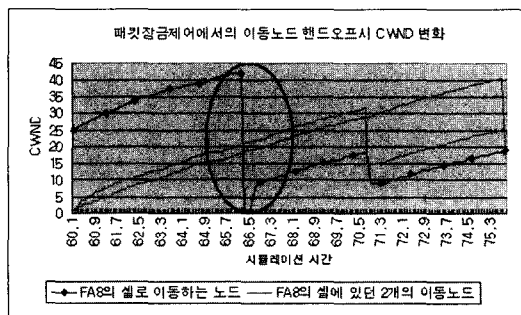


그림 9 패킷잠금제어에서의 이동노드의 핸드오프 시 CWND 변화

래픽 버스트가 유입되지 않는다. 따라서 핸드오프가 FA8의 셀에서 이미 통신하고 있던 이동노드들에게 미치는 영향이 지역적 등록보다 적다.

그림 6과 7은 FA8의 셀로 이동하는 노드 1번의 TCP 처리율의 변화와 FA8의 셀에서 통신하고 있던 이동노드들의 TCP 처리율을 변화를 스킴별로 비교한 것이다. 약 66s까지 두 스킴은 동일한 TCP 처리율을 보이다가 핸드오프 동안에 서로 다른 기법이 적용됨에 따라 TCP 처리율이 달라지게 된다. 이동하는 노드 1번의 TCP 처리율은 조심스런 트래픽 유입을 시도하는 패킷잠금제어의 경우가 지역적 등록보다 더 낮은 것을 볼 수 있다. 반면, 그림 7에서 FA8의 셀에서 기존에 통신하고 있던 두 개 이동노드의 평균 TCP 처리율은 제안하는 패킷잠금제어의 경우 더 높은 것을 볼 수 있다. 이것은 이동하는 노드 1번의 핸드오프로 인해 FA8의 셀에 있던 이동노드들이 받게 되는 영향을 줄였기 때문이다.

3.3 핸드오프 시 TCP Congestion Window 변화

그림 8과 9는 지역적 등록과 패킷잠금제어의 경우에 대해 FA8의 셀로 이동노드가 들어왔을 때 이동노드 1번과 FA8의 셀에서 통신하고 있던 다른 이동노드들의 CWND가 어떻게 변화하는지를 보인 것이다. 지역적 등록에 대한 결과인 그림 8에서는 이동노드 1번의 핸드오프 수행 후 FA8의 셀에서 기존에 통신하고 있던 두 이동노드의 CWND가 떨어지는 것을 볼 수 있다. 반면에,

패킷잠금제어를 적용한 경우에는 그림 9에서 보듯이 이동노드 1번의 이동이 FA8의 셀에서 기존에 통신하고 있던 두 이동노드의 CWND에 영향을 미치지 않는다.

3.4 평균 TCP 처리율 비교

이동하는 노드가 들어가려는 셀에서 통신하고 있는 다른 이동노드들의 수를 변화시켜 보면서 스킴 별 평균 TCP 처리율을 측정해 보았다. 이 실험에서는 FA7의 셀에 이동노드 1번이 통신하게 하고 FA8의 셀에서 통신하는 이동노드 개수를 한 개부터 다섯 개까지 변화시켜 보았다. 각 경우에 대해 이동노드 1번의 핸드오프 발생 시점을 달리한 다섯 번의 실험을 수행하여 평균 TCP 처리율을 구하였다. 핸드오프 시의 TCP 처리율을 파악하기 위해 TCP 처리율은 이동노드가 이동하기 시작한 시점부터 5초 동안 측정하였다.

그림 10에서 보는 바와 같이 이동하는 노드인 이동노드 1번의 평균 TCP 처리율은 지역적 등록의 경우가 약간 더 높게 나타났다. 한편, 그림 11에서 보면 FA8의 셀에서 통신하고 있던 모든 이동노드들의 평균 TCP 처리율은 패킷잠금제어의 경우가 더 높게 나타났다. 실험한 경우에 대하여 이동하는 노드인 이동노드 1번의 TCP 처리율은 두 스킴간 차이가 최대 5KB/s 미만인데

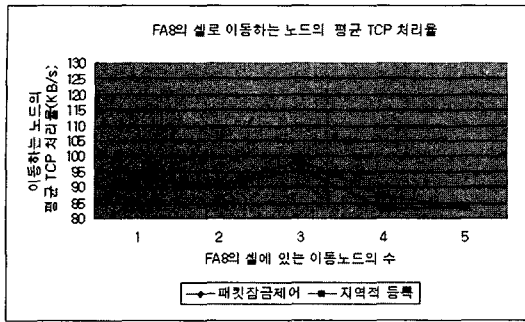


그림 10 FA8의 셀로 이동하는 노드의 평균 TCP 처리율

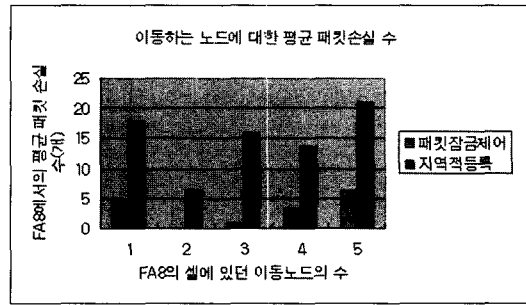


그림 12 이동하는 노드에 대한 평균 패킷손실 수

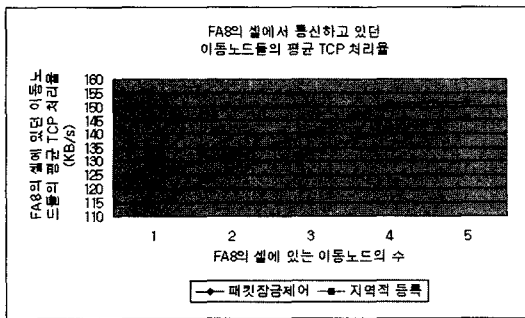


그림 11 FA8의 셀에서 통신하고 있던 이동노드들의 평균 TCP 처리율

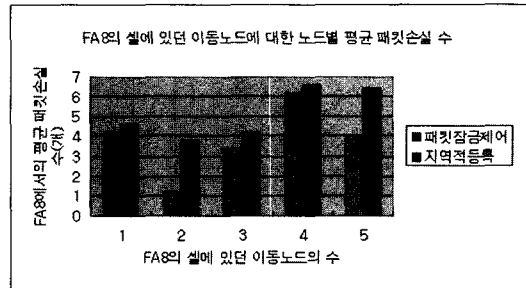


그림 13 FA8의 셀에 있던 이동노드에 대한 노드별 평균 패킷손실 수

반해 FA8의 셀에서 통신하고 있던 이동 노드들의 평균 TCP 처리율의 차이는 약 5KB/s~13KB/s 정도였다.

3.5 패킷손실 비교

그림 12와 13은 3.4절에서의 동일한 실험을 수행하면서 이동노드 1번이 이동하기 시작한 시점부터 5초 동안 FA8에서 버퍼 오버플로우로 인해 버퍼에서 손실되는 패킷의 수를 각 노드별로 측정된 결과를 보인 것이다. 이동노드 1번과 FA8의 셀에서 통신하던 이동노드 모두에 대해 패킷잠금제어는 지역적 등록보다 패킷 손실이 적음을 알 수 있다. 이 결과에 의하여 그림 10에서 패킷잠금제어를 사용한 이동노드 1번의 TCP 처리율이 지역적 등록보다 낮았던 이유는 패킷손실에 의한 것이 아니라 CN이 이동하는 노드의 TCP Congestion Window 크기를 1로 줄이고 CPFA부터 HRFA까지 각 FA에서 패킷들을 버퍼링을 하면서 점진적으로 전달함으로써 새로운 셀로 들어가는 패킷의 속도를 줄였기 때문임을 알 수 있다. 그림 13에서 FA8의 셀에서 통신하던 이동노드의 패킷 손실 정도가 패킷잠금제어의 경우 더 낮기는 하지만 두 스킴간 차이가 크지는 않은 것을 볼 수 있다. 그러나 이것은 패킷잠금제어의 처리율이 더 높게 유지되는 영향을 받은 결과이기 때문에(그림 11 참조), 핸드오프 시의 혼잡으로 인한 두 스킴간의 손실 차는 실제

로 더 크다고 추측할 수 있다.

3.6 패킷잠금제어 적용 시 버퍼링 되는 패킷의 양

그림 14는 3.4절에서 설명한 실험을 수행하면서 패킷잠금제어를 사용하였을 때 CPFA부터 HRFA까지의 각 FA에서 측정기간 중 최대 버퍼링되는 패킷 수를 보인 것인데, 이 값 역시 다섯 번의 서로 다른 핸드오프 시점을 실험한 결과의 평균 값이다. 그림 3의 네트워크에서 이동노드 1번이 FA7의 셀에서 FA8의 셀로 이동했을 때 FA4가 CPFA가 되고 FA1, FA2, FA4가 이동하는 노드 1번을 향해 들어오는 패킷을 버퍼링한다. CPFA인 FA4에서 버퍼링 되는 패킷 양이 가장 많은데 이것은 본 시뮬레이션에서 Optimized Smooth Handoff를 적용하는 경우를 실험하였기 때문이다. Optimized Smooth Handoff가 적용되면 CPFA인 FA4에는 이전의 FA가 새로운 FA에게 전달하는 패킷들이 모두 들어오게 된다. 한편, 2장에서 설명한 바와 같이 FA1은 속도 줄임 메시지가 인터넷을 경유해 CN에 도착할 때까지 CN을 이미 떠난 패킷들을 버퍼링해야 하는 반면 FA2의 경우에는 FA2로부터 FA1에 잠금 메시지가 전달되는 동안에 전송되는 패킷만을 버퍼링하면 되므로 상대적으로 FA2에 버퍼링되는 양은 FA1이나 FA4에서 버퍼링되는 양보다 훨씬 적다.

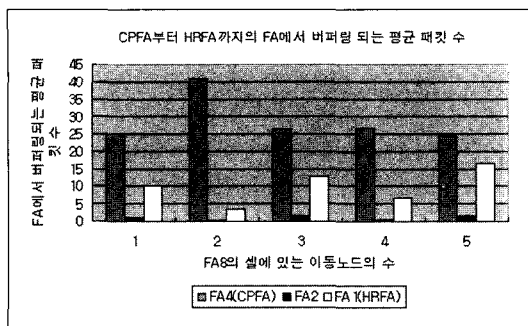


그림 14 CPFA부터 HRFA까지의 FA에서 버퍼링되는 평균 패킷 수

4. 결론

본 논문에서는 노드의 이동으로 인한 무선 셀에서의 혼잡 발생을 피할 수 있는 핸드오프 방안으로써 패킷잠금 제어 기법을 제안하였다. 이동노드가 상이한 가용 대역폭을 가진 셀간에 이동했을 때 이동한 노드를 따라 트래픽 버스트가 새로운 셀로 진입함으로써 인해 이동노드의 핸드오프 시 혼잡이 발생하기 쉽다. 혼잡 발생은 패킷손실의 원인이 되고 이로 인하여 이동하는 노드뿐만 아니라 노드가 이동해 간 셀에서 기존에 통신하고 있던 다른 이동노드들의 TCP 성능도 낮아질 수 있다.

이에 본 논문에서는 이동해 간 노드를 따라 트래픽 버스트가 새로운 셀로 한꺼번에 유입되는 것을 막기 위한 패킷잠금 제어 기법을 제안하였다. 시뮬레이션을 통해 패킷잠금제어를 적용함으로써 노드가 이동해 간 셀에서 통신하고 있던 다른 이동노드들의 TCP 처리율 저하를 줄일 수 있음을 확인하였다. 다만 이동해 간 노드의 TCP 처리율은 패킷잠금제어가 지역적 등록보다 더 낮았는데 그 이유는 패킷손실 때문이 아니라 패킷잠금제어로 인해 새로운 셀로 들어가는 패킷의 속도에 제한을 가했기 때문이다. 패킷손실 면에서는 이동하는 노드 및 기존 셀에서 통신하는 이동노드의 경우 모두 패킷잠금제어가 지역적 등록보다 나은 성능을 보였다.

시뮬레이션 결과 HRFA의 버퍼 오버헤드가 상대적으로 큰 것을 볼 수 있었는데, HRFA는 도메인 내의 모든 이동노드에 대하여 패킷잠금 제어 서비스를 제공해야 하는 것을 고려할 때, 제안하는 패킷잠금 제어 기법의 확장성을 위해서는 HRFA의 부하를 분산시킬 수 있는 방안이 필요함을 알 수 있다. 향후 연구로, 필요에 따라 무선 네트워크 도메인 내에서 HRFA를 동적으로 한 개 이상 선택하는 방안을 제시하고자 한다.

참고 문헌

[1] Charles E. Perkins, "IP Mobility Support," IETF

RFC 2002, 1996.
 [2] Eva Gustafsson, Annika Jonsson, Charles E. Perkins, "Mobile IPv4 Regional Registration," IETF Internet draft, 2001.
 [3] R. Ramjee, T. La Porta, S. Thuel, K. Varadhan, S.Y. Wang, "HAWAII : A Domain-based Approach for Supporting Mobility in Wide-area Wireless networks," Seventh Annual ICNP, pp. 283-292, 1999.
 [4] Cheng Lin Tan, Kin Mun Lye, "A Fast Handoff Scheme for Wireless Networks," in proceedings of the Second ACM International Workshop on Wireless Mobile Multimedia (WoW-MoM), 20 August 1999.
 [5] Ahmed Helmy, "A Multicast-based Protocol for IP Mobility Support," ACM Special Interest Group on Data Communication(SIGCOM), pp. 49-58, 2000.
 [6] Claude Castelluccia, Ludovic Bellier, "A Hierarchical Mobility Management Framework for the Internet," IEEE International Workshop on Mobile Multimedia Communications(MoMUC), pp. 149-154, 1999.
 [7] Charles E. Perkins, Kuang-Yeh Wang, "Optimized Smooth Handoffs in Mobile IP," Proceedings of IEEE Symposium on Computers and Communications, pp. 340-346, 1999.
 [8] Ramon Caceres, Venkata N. Padmanabhan, "Fast and Scalable Handoffs for Wireless Internet-networks," In Proceedings of ACM Conference on Mobile Computing and Networking (Mobicom), pp. 56-66, 1996.
 [9] Charles E. Perkins, "Route Optimization in Mobile IP," IETF Internet draft, 2000.
 [10] <http://www.isi.edu/nsnam/ns/index.html>



변 해 선

2001년 광주대학교 컴퓨터학과 졸업(학사) 2003년 이화여자대학교 과학기술대학원 컴퓨터학과 졸업(공학석사). 관심분야는 Mobile IP, Mobile Network, Handoff

이 미 정

정보과학회논문지 : 정보통신
 제 30 권 제 2 호 참조