

W-TCP 망에서 PRC 핸드오프 상태 머신의 성능 개선

석경휴, 송선희, 김철영, 김문환**, 윤찬호, 배철수*, 나상동

조선대학교 컴퓨터공학과

*관동대학교 정보통신공학부

**한국전파기지국

e-mail:sdna@mail.chosun.ac.kr

Performance of PRC Handoff State Machine in Wireless TCP

Sun-Hee Song, Kyung-Hyu Suk, Chul-Young Kim

Chan-Ho Yoon, Moon-Hwan Kim**, Chul-Soo Bae*, Sang-dong Ra

Dept of Computer Engineering, Chosun University

*Dept of Electronic Com. Kwandong University

**KRTnet Corporation Network Planning

요 약

W-TCP와 무선 이동 네트워크 환경에서 양질의 멀티미디어 서비스를 제공하기 위해서는 트래픽에 대한 QoS가 보장되도록 핸드오프 상태 머신에 대해 연구한다. 기존의 자원 예약 기법은 유선 네트워크를 위해 설계된 것이므로 무선 이동 네트워크에서의 QoS 보장 문제를 해결하지 못하고 빈번한 핸드오프로 인한 전송 지연 문제와 MN의 위치 이동을 신속하게 제어 등 고속 페이징의 문제 등이 발생하고 있다. TCP와 셀룰라 IP 간의 상호 운용을 지원하는 기존 기법들은 적은 지역의 마이크로 셀 환경에서 그대로 사용될 경우 한계점을 가지고 있다.

본 논문에서는 무선 마이크로 셀룰라 네트워크에서 QoS를 보장하기 위해 셀룰라 IP를 기반한 W-TCP에 핸드오프 상태 머신을 추가한 W-TCP/PRC 핸드오프 상태 머신을 제안한다. 제안된 상태 머신에 대한 특성을 고찰한 결과 액세스 네트워크 내에서 고속 페이징이 가능하고 트래픽 부하가 개선됨을 보인다.

I. 서론

W-TCP 환경과 무선 이동 네트워크 환경에서 양질의 멀티미디어 서비스를 제공하기 위해서는 멀티미디어 서비스를 위한 QoS(Quality of Service)가 보장되어야 한다.

무선 네트워크 구조는 글로벌 인터넷 서비스와 증가하는 무선 사용자를 수용하기 위해 작은 크기의 셀로 구성되는 셀룰러 인터넷이 될 것이고, 이 경우 대역폭과 주파수 이용률은 증대되나, 반면 사용자의 이동에 따른 핸드오프와 로밍이 빈번하게 발생하므로 네트워크 부하와 패킷 유실이 증가하게 된다[1,3]. 따라서 이동 호스트(MH : Mobile Host) 또는 (MN : Mobile Node)의 이동시 정확한 위치 정보가 필요하며, 네트워크에 영향을 주지 않고 IP 라우팅 변경이 용이한 이동성 관리 기법이 반드시 해결되어야 할 것이다. 유선 네트워크에서 사용된 자원 예약 프로토콜인 RSVP/TCP(Resource ReSerVation Protocol)는 유선 네트워크를 기반으로 설계되었기 때문에 무선 이동 네트워크에서의 QoS 보장 문제를 가지고 있다. 또한 유선 전송에 기반한 모빌 IP는 QoS를 고려하지 않기 때문에 무선 이동 네트워크에서의 QoS보장은 보다 복잡한 문제가 되고 있다. 그러나 모빌 IP에서는 기지국(BS : Base Station)에 IP 주소가 할당될 경우 셀 간을 이동할 때마다 새로운 의탁 주소(CoA : Care of Address)를 할당받아 이를 HA(Home Agent)에 등록해야 한다[2, 4]. 따라서 모빌 IP는 셀룰러 네트워크의 이동성을 관리하기 위해서는 적절하지 않기 때문에 IETF 등의 표준화 기관에서

HAWAII(Handoff Aware Wireless Access Internet Infrastructure) 및 셀룰라 IP 등을 연구하고 있다[3,4]. 이들 프로토콜들은 액세스 네트워크 내에서의 마이크로 이동성에는 비교적 우수하나, 페이징 영역 단위의 위치 추적 기능으로 인하여 각 MN에 대한 고속의 위치 추적을 수행하기에는 어려움이 있다.

본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 새로운 호 수락 방식과 보다 적은 범위 셀 환경에서 QoS를 보장하기 위해 통합된 페이징과 루프 정보 관리 캐시를 사용하는 셀룰라 IP 특성을 가진 W-TCP/PRC(Paging Router Cache) 핸드오프 상태 머신을 제안하였다.

II. 무선 이동 네트워크

셀룰라 IP는 마이크로 이동성을 제공하기 위해 제안된 상태 머신으로써, 마이크로 셀룰라 네트워크에서 MN의 위치 이동성을 제안한다. 셀룰라 IP는 핸드 오프 처리가 빠르며 MN의 위치 이동을 신속하게 제어한다. 또한, 매크로 이동성 지원을 위해 기존의 모빌 IP 네트워크와 연동한다. 셀룰라 IP 환경은 하나의 게이트웨이가 관리하는 셀룰라 IP 네트워크로 구성되며, 셀룰라 IP 게이트웨이는 모빌 IP 환경에서 FA(Foreign Agent)의 역할을 담당하고, W-TCP/PRC 망은 그림 1과 같이 구성된다[5, 6]. 셀룰라 IP를 지원하는 이동성을 위해 액세스 네트워크에 게이트웨이 또는 셀룰라 IP Node가 추가된다. 여기서 게이트웨이는 인터넷 백본과 셀룰라 IP 액세스 네트워크를 상호

연결하는 기능을 수행하고 셀룰라 IP Node는 액세스 네트워크 내에 위치하며 네트워크 레벨로 작동하는 라우터 또는 BS로서 생각할 수 있다. 셀룰라 IP는 글로벌 이동성인 경우에는 인터넷 백본을 경유하는 핸드오프 지원에 적합한 모바일 IP를 사용하며, 네트워크 내의 로컬 이동성을 지원하기 위해, 일반 IP 라우팅이 특정 테이블의 룩업을 통해 홉 단위로 대체된다.

III. W-TCP/PRC 네트워크

마이크로 셀룰라 네트워크에서 QoS를 보장하기 위한 새로운 프로토콜인 PRC 핸드오프 상태 머신을 제안한다. PRC 핸드오프 상태 머신은 마이크로 이동성을 제공하기 위해 셀룰라 IP환경을 기반으로 하고 있으며, QoS를 보장하기 위해 RSVP를 확장하였다. 셀룰라 IP 게이트웨이는 주기적으로 셀룰라 IP 네트워크 ID, 셀룰라 IP 게이트웨이의 주소, 페이징 영역의 ID등의 정보를 방송한다. 따라서 BS를 포함한 셀룰라 IP 네트워크 내의 모든 노드들은 자신이 속한 셀룰라 IP 네트워크 정보와 페이징 영역에 대한 정보를 알고 있다. Cell Advertisement 메시지를 받은 BS들은 자신의 셀룰라 IP 네트워크 정보와 페이징 영역에 대한 정보를 기반으로 어느 범위까지 대역폭을 미리 예약해야하는지를 결정한다.

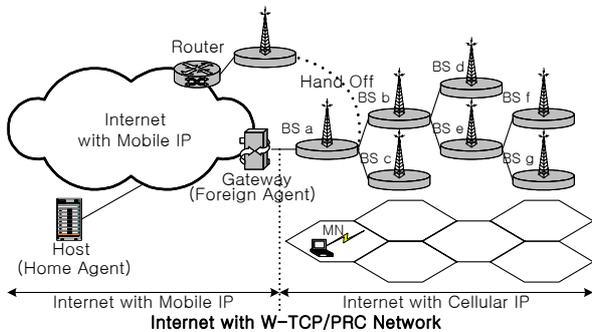


그림 1 W-TCP/PRC Network

1. 제어 메시지

W-TCP/PRC 핸드오프 상태 머신에 사용되는 제어 메시지에는 연결 요청 및 상태 요청에 사용되는 XID(Exchange identification)와 수신 준비 여부와 경로 설정 메시지는 RR(Receive Ready)와 ACK(acknowledgment)의 신호가 보내진다. 또 예약 자원 메시지는 시간 슬롯 예약을 위한 RESV(reservation) 메시지와 링크 자원을 예약하지 못할 경우 예약 실패 메시지는 D-NACK(destination negative acknowledgment)로 그 외에 수신 준비가 되어 있지 않은 경우 RNR(received not ready)와 중간 노드에서의 예약 실패의 경우 FAIL의 메시지가 동작된다. MN이 핸드오프한 후, passive reservation을 active reservation으로 전환하고 이전 셀에서 예약한 자원들을 해제하는 일련의 과정을 post-reservation이라 한다. BS b에 있던 MN이 인접 셀로 이동했을 때의 핸드오프에 따른 자원 예약 동작 과정을 살펴본다. 그림 1에서 MN이 각각 BS d와 BS g로 이동했을 경우를 보이며 그림 2는 이때의 메시지 흐름도를 나타낸다. ACK가 전송 중 손상되어 첫 번째 프레임이 전송되지 못하면, 다시 첫 번째 프레임을 재전송하게 되는데 수신측에서는 두 번씩 수신하게되는 오류가 발생한다. 이러한 문제점을 피하기 위해 프레임에 교대로 ACK0과 ACK1을 사용한다. 자원 예약 과정은 그림 2와 같이, 단말기 MN에서 해당 셀 BS으로부터 파이롯 채널을 통해 주기적으로 FOCC 신호를 받아 위치를 파악하고, 파악된 위치에 따라 인증 신호 XID에 MIN, ESN 정보를 업링크를 통해 해당 BS에 보내게 된다. 이렇게 업링크와 다운 링크를 통해 전송 제어가 이루어지며 발신 노드에서 요구하는 트래픽이 발생하면 데이터를 보내기 전에

경로 설정을 위한 XID 제어 메시지를 목적지 노드로 보내고, 제어 메시지에 의해 자원이 할당되면 터미널 MN은 RESD 메시지를 해당 기지국에 보냄으로써 IP를 할당받아 ACK1 메시지를 받으면 할당된 자원을 이용하여 업링크와 다운 링크를 이용하여 데이터를 주고 받으므로써 무선 대역폭을 예약한다. 목적지 노드에서 RESD 메시지가 해당 BS에 전달 될 때 자원을 할당할 수 없을 경우도 있다. 이렇게 자원을 할당할 수 없는 경우 연결 실패 메시지인 D-NACK 메시지를 발신 노드로 보내고, 목적지 노드로 FAIL 메시지를 보내므로 FAIL 메시지는 목적지 노드로 가면서 자원 예약을 해제할 수 있다.

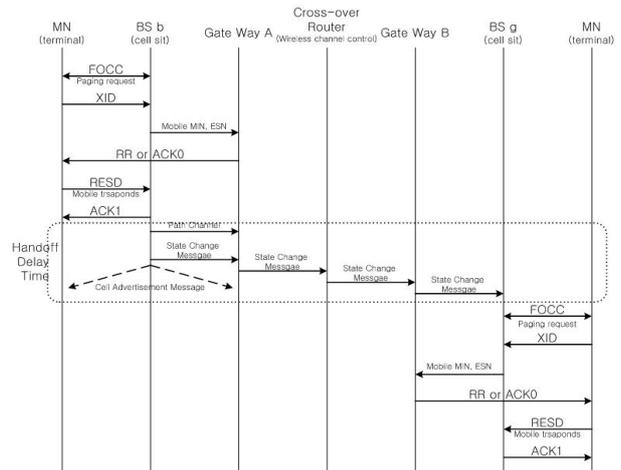


그림 2 핸드오프에 발생 PRC 자원 예약

MN이 기지국 BS b로부터 멀어져 전력이 약해지거나 예약한 자원을 해제하는 제어 메시지 FOCC를 받으면 핸드오프를 대비해 인접 셀에 제어 메시지를 보내고, 해당 기지국의 게이트웨이에 State Change 메시지를 보낸다. 이렇게 핸드오프가 발생되면 해당 BS가 포함된 게이트웨이는 IP와 자원 할당을 위한 다른 BS를 찾기 위해 Cross-Over Router에 State Change 메시지를 보내고 다시 인접 셀 제어 메시지를 다시 보내게 된다. 각각의 BS들은 파이롯 채널을 통해 FOCC 신호를 감지해서 핸드오프가 발생한 MN을 찾아내고 MN으로부터 XID 메시지를 받아 터미널 MN은 RESD 메시지를 해당 기지국에 보냄으로써 IP를 할당 받아 ACK1 메시지를 받으면 할당된 자원을 이용하여 업링크와 다운 링크를 이용하여 데이터를 주고 받으므로써 무선 대역폭을 예약한다

2. PRC

셀룰라 IP 액세스 네트워크의 노드는 RC를 보유하고 있으며, 노드를 지나갈 업링크 패킷들은 RC 내에 바인딩 엔트리를 생성 및 갱신한다. 엔트리는 노드에 패킷이 수신될 경우에 패킷이 입력된 노드의 인터페이스 포트와 패킷을 송신한 MN의 IP 어드레스를 매핑 한다. 하나의 MN에서 패킷들이 서로 다른 인터페이스를 통해 최근에 도착했다면, 이러한 엔트리의 다수가 함께 존재할 수 있다. 하나의 MN에 관련된 각 노드 내의 캐시된 매칭을 연결하면 최단 경로의 경로가 되며, 동일한 MN으로 어드레스 되는 다운 링크 패킷에 대해서는 이들 경로의 역 경로로 구성된다. MN이 이동함에 따라 MN의 업링크 패킷이 새로운 매핑을 생성하고 이전의 매핑은 타임아웃되기 때문에, 최신의 경로는 항상 MN의 현재 위치를 가리키며, MN이 이동한 후에 분리될 수 있다. MN의 매핑이 타임아웃 되지 않도록 주기적으로 제어 패킷을 전송한다. PRC에서 아이들 MN에 관련된 위치정보는 PC에 저장되며 RC와 비슷하게 작동한다. PRC에서 PC의 매핑이 생성된 후 제어 패킷에 의해 갱신되고, RC 매핑이 생성되기 전에 아이들 MN로

데이터 패킷을 라우팅하기 위해 사용한다. 인터넷 백본을 통해 IP 패킷이 셀룰라 IP 노드에 도착할 때, 최신의 RC 매핑을 이용할 수 없는 MN으로 어드레스될 경우 PC가 패킷을 라우팅하기 위해 사용된다. 그러나 PC를 가지고 있지 않다면, 노드 내의 모든 다운링크로 패킷을 브로드캐스팅 하게 되는데, 이로 인하여 액세스 네트워크 내에 중복된 트래픽 증대를 가져온다. 또한 PRC에서 PC를 가지고는 있지만 목적지 MN에 대한 매핑이 없다면 입력된 패킷이 폐기되는데, 이것은 패킷의 손실을 초래하게 된다.

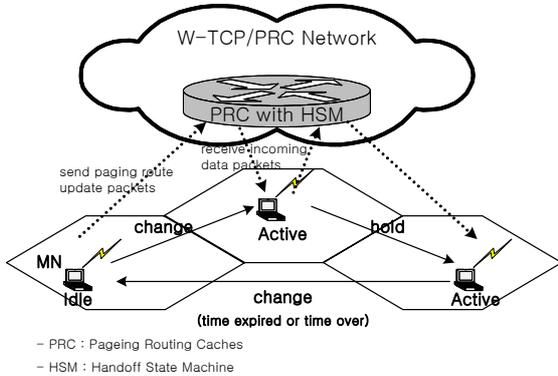


그림 3 핸드오프 상태머신이 포함된 PRC

셀룰라 IP에서는 액티브 MN에 대한 루트-갱신 시간의 크기에 따라 핸드오프 시에 데이터 패킷의 유실되거나 중복되어 트래픽 부하에 큰 영향을 미친다. 따라서 이 논문에서는 이를 개선하기 위해, MN의 핸드오프 상태머신을 하나 더 추가하고 액티브 상태에서는 긴 주기의 갱신 패킷을 그리고 핸드오프 상태에서 짧은 주기의 갱신 패킷을 전송토록 하였다. 또한 셀룰라 IP에서는 아이들 MN에 대한 페이징이 네트워크 내의 특정 노드에서만 관리되므로, 외부로부터 데이터 패킷을 수신시 추가 경로 설정을 위해 PC가 없는 노드에서 모든 다운링크로 패킷을 브로드캐스팅 한다. 이 결과 네트워크 내의 페이징 패킷 또는 데이터 패킷의 수가 폭증하게 되며, 네트워크 규모가 클 경우 시간이 길어지므로 실시간을 필요로 하는 트래픽 전송이 불가능해진다. 이를 개선하기 위해 이 논문에서는 네트워크 내 모든 노드에 PC 기능을 구성하였다. 그 결과 아이들 MN에 대해서도 위치추적(페이징)이 가능하게 되어 고속 페이징 및 라우팅이 실현될 수 있다. 이상의 2가지 특징을 고려하여 액티브 및 아이들 MN에 대한 페이징과 루트 정보관리를 위해 사용되었던 PC 및 RC 등 2개의 캐시 기능을 PRC 하나로 통합관리하여 네트워크 내 모든 노드에 구성하여 운영하는 W-TCP/PRC 핸드오프 상태머신을 제안하였다. 그림 3은 W-TCP/PRC에서 MN의 상태머신과 W-TCP/PRC 노드의 PRC와의 상호동작 관계를 나타낸 것이다. W-TCP/PRC에서는 모든 노드에 PRC 하나로만 구성되어 운영하고 있다. 따라서 PRC의 동작은 MN의 동작 상태에 따라 아이들 MN을 위해서는 고속 위치관리용으로 사용되고, 액티브 및 핸드오프 MN를 위해서는 라우팅 목적으로 사용된다

3. 핸드오프 상태 머신

핸드오프 상태 머신에서의 MN는 액티브 상태와 아이들 상태 이외에 그림 4와 같이 핸드오프 상태 등 3가지 상태를 갖는다. 아이들 상태 머신과 액티브 상태 머신에서의 기본적인 동작과정은 셀룰라 IP에서와 동일하다. 그러나 핸드오프 상태 머신에서 MN는 네트워크 내의 루트 정보를 제공하기 위해 액티브 상태 머신 및 아이들 상태 머신 모두에 대해서 '페이징-루트-갱신 패킷'을 '페이징-루트-갱신 시간' 주기로 전송한다 또한 핸드오프 상태 머신에서는 액티브 MN에 대한 핸드오프가 발생할 경우뿐만 아

니다. 아이들 MN에 대한 위치이동시 관련정보를 제공하기 위해 '핸드오프-상태 패킷'을 이동 즉시 발생시켜 짧은 간격의 '핸드오프-상태-갱신시간' 주기로 전송한다.

아이들 상태에서는 '페이징-루트-갱신 패킷'을 전달하고 데이터 패킷의 수신 여부를 기다린다. 액티브 상태가 되면, 데이터 패킷을 수신하고 '액티브-상태-타이머'를 리셋시킨 후, MN가 전송할 데이터 패킷이 있는가를 검사한다. 전송할 데이터 패킷이 있는 경우 해당 데이터 패킷을 전달하고, 새로운 비콘 신호의 수신여부를 확인하여 핸드오프 상태를 모니터링하며, 전송할 데이터 패킷이 없으면 '페이징-루트-갱신 패킷'을 전송한다. 한편 핸드오프 상태는 MN가 새로운 BS로 이동할 때마다 전환되며, MN가 핸드오프 상태로 전환되기 이전의 상태에 따라 동작 과정이 다르다. W-TCP/PRC 네트워크는 셀룰라 IP 노드에 배해서 구성과 운용방법이 간단하고, 또한 하나의 캐시만을 탐색함으로써 노드 내의 처리 시간이 단축되어 전송 지연이 감소된다.

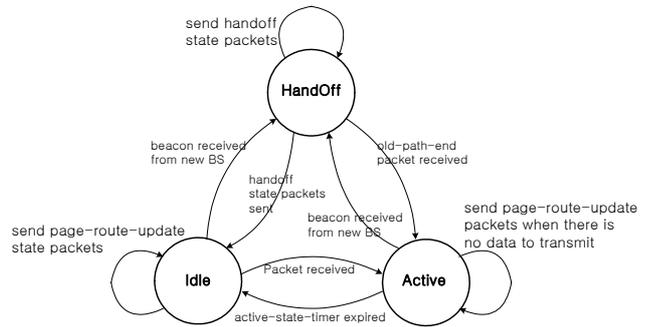


그림 4 핸드오프 상태머신의 동작

IV. 시뮬레이션 및 성능평가

PRC 핸드오프 상태 머신 방법을 사용하여 W-TCP 네트워크와 W-TCP/PRC 네트워크에서 QoS를 보장하기 위해 셀룰라 IP를 기반한 W-TCP에 핸드오프 상태 머신을 추가한 W-TCP/PRC 핸드오프 상태 머신에 대한 특성을 고찰한 결과 액세스 네트워크 내에서 고속 페이징이 가능하고 트래픽 부하가 개선됨을 비교하였다. W-TCP/PRC 네트워크에서 성능 평가를 위한 중한 변수인 핸드오프 계수는 기존의 회선을 먼저 해제한 후, 새로운 기지국으로 연결하는 방식인 하드 핸드오프를 지원하는 아날로그 방식과는 다르게 디지털 방식을 이용한 셀룰러 방식에서는 동시에 두 개의 기지국(또는 섹터)과 통화로를 유지할 수 있는 소프트 핸드오프를 발생 수로 정의한다. 소프트 핸드오프는 동일 주파수, 동일 프레임 율셋, 동일 교환기에 속해 있는 기지국 또는 섹터 간에 핸드오프를 할 경우, 기존의 통화로를 그대로 유지하면서 새로운 통화를 지원하는 방식이다.

시간 t에 대한 최상의 TCP 요소 중 연속적으로 수신된 계수에 대한 이용율을 Use(t)로 정의[3, 4]한다.

$$UseRate_T = \frac{Use(t_h + T) - Use(t_h)}{T} \dots\dots (1)$$

식 (1)에서 핸드오프가 발생한 시간과 대기시간 T이며 빠른 복원 증가는 UseRate 값에 의해 결정지어진다. 또 연속된 값은 핸드오프 바로 전에 새로운 경로를 통해 수신된다.

페이징 라우터 캐시를 이용한 채널 예약의 실제 출력 추정치 $\hat{d}(n)$ 은 핸드 오프 발생 계수 입력 벡터 $u(n)$ 과 가중치 벡터의 내적으로서 식(2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\hat{d}(n) = \sum_{j=1}^{M+1} w_j(n-1) u(n) \dots\dots\dots (2)$$

$$= \hat{w}^H(n - 1) u(n)$$

전방 에러 신호 $\xi(n)$ 은 원하는 응답 $d(n)$ 과 적응 채널 예약의 실제 출력 $\hat{d}(n)$ 사이의 차로써 채널 재전송 버퍼를 이용한 채널 예약 알고리즘을 이용함으로써 적응 가중치 조절 메카니즘을 통하여 조절된 가중치 벡터는 식(3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\hat{w}(n) = \hat{w}(n-1) + k(n) \sum_{i=1}^B \xi^*(n, i) \dots\dots\dots (3)$$

원하는 응답 $d(n)$ 을 제거함으로써 식(3)의 우변 항에서 나타난 전방 추정 에러 $\xi(n)$ 은 식(4)과 같다.

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^B \xi(n) &= e_0(n) - \sum_{i=1}^B [\hat{w}(n-1, i) - w_0]^H u(n-i) \dots\dots\dots (4) \\ &= e_0(n) - \sum_{i=1}^B \epsilon^H(n-1, i) u(n-i) \end{aligned}$$

위 식에서 $\epsilon(n-1, i)$ 은 재 순환 데이터 버퍼 수에 따른 $n-1$ 번째 가중치 에러 벡터이다.

고 300개의 샘플을 설정하였으며, y 축은 핸드오프 발생 계수(w)의 정도로서 0부터 4까지의 변화값을 주었으며 z 축은 평균 자승 에러에 로그를 취한 값으로 했다.

그림 5의 시뮬레이션에서 25개의 노드를 갖고 링크의 연결확률이 0.1인 것으로 가정할 때 랜덤 토폴로지를 발생하게 한다. 여기서 모든 링크는 대역폭 10Mbps, PRC일 경우 시간슬롯을 2개부터 32개로 가변하여 분석하였다.

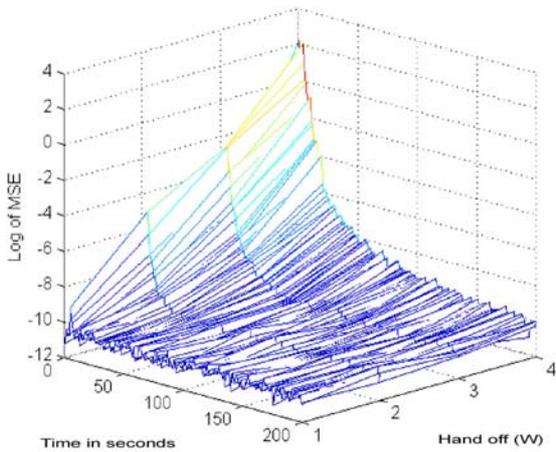
또한 링크의 지연은 매트랩으로 시뮬레이션한 결과 W-TCP 방식 보다 핸드오프 상태 머신을 적용하여 핸드오프 발생 계수를 증가시키기에 따라 블로킹 확률이 약 30% 정도 좋아졌고, 시간슬롯을 증가하였을 경우 블로킹 확률이 더 낮은 결과를 얻을 수 있다. 또한, 요구하는 트래픽이 약 0.25Mbps로 설정하였기 때문에 시간슬롯을 증가함에 따라 블로킹 확률의 수렴 값이 평준화 되었고 W-TCP방법보다 PRC 핸드오프 상태 머신이 더 성능이 개선됨을 보여주고 있다.

V. 결론

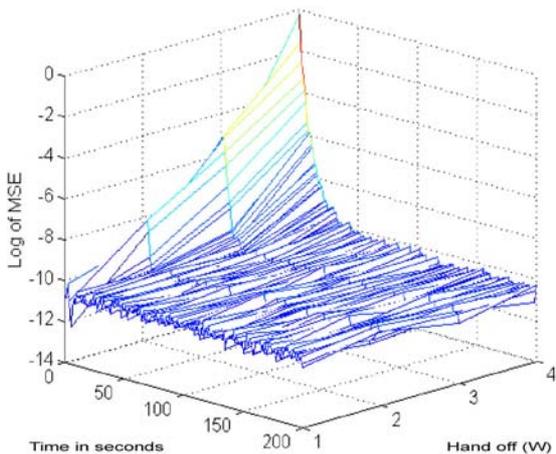
본 논문에서는 확장성과 안정성을 고려한 W-TCP 네트워크에서 PRC 방식을 적용한 핸드오프 상태 머신을 제안하였다. 핸드오프 상태 머신을 사용하여 W-TCP 네트워크에 PRC 방식을 적용하였을 경우 중앙 집중 방식에서와 같이 W-TCP 방식보다 블로킹 확률이 낮고 링크의 이용률이 향상되었다. 핸드오프에 따른 자원 예약을 용이하게 하기 위해 PRC 핸드오프 상태 머신 방식을 사용하였으며, 이 상태 머신에서 경로를 선택하고 핸드오프 발생에 따른 채널 재전송 버퍼에 각 제어 메시지 구조와 설정 방법을 제시하였다. 또한 예약 실패를 줄이기 위해 적용한 적응 채널 예약 방법은 예약 채널 수를 재전송하고 버퍼를 증가시키기에 따라 보다 성능이 향상되었다. PRC에서 예약 방법에서 트래픽의 부하가 적을 때에는 많은 채널을 캐쉬에 예약하는 것이 좋았으며, 트래픽의 부하가 높아졌을 때 오히려 적은 채널을 예약하는 것이 더 블로킹 확률이 적다는 것을 시뮬레이션을 통하여 나타내었다. 무선 마이크로 셀룰러 네트워크에서 QoS를 보장하기 위해 셀룰라 IP를 기반한 W-TCP에 핸드오프 상태 머신을 추가한 W-TCP/PRC 핸드오프 상태 머신을 제안한다. 제안된 상태 머신에 대한 특성을 고찰한 결과 액세스 네트워크 내에서 고속 페이징이 가능하고 트래픽 부하가 개선됨을 나타냈다.

[참고문헌]

[1] Stevens, W. Richard and Wright, Gary R., TCP/IP Illustrated, The Implementation. Addison Wesley, Vol. 2, 1995.
 [2] E.-S. Jung and N. H. Vaidya. An Energy Efficient MAC Protocol for Wireless LANs. In INFOCOM 2002, June 2002.
 [3] R. Wattenhofer, L. Li, P. Bahl, and Y.-M. Wang. Distributed Topology Control for Power Efficient Operation in Multihop Wireless Ad Hoc Networks. In INFOCOM 2001, Vol. 3, pp. 1388-1397, April 2001.
 [4] J. P. Monks, V. Bharghavan, and W. mei W. Hwu. A Power Controlled Multiple Access Protocol for Wireless Packet Networks. In INFOCOM 2001, April 2001.
 [5] N. Poojary, S. V. Krishnamurthy, and S. Dao. Medium Access Control in a Network of Ad Hoc Mobile Nodes with Heterogeneous Power Capabilities. In IEEE International Conference on Communications, Vol.3, pp.872-877, 2001.



(a) B=0



(b) B=4

그림 5. 탭 수 M=11, 표준 편차 $\sigma=0.01$, 핸드오프 w 에 따른 핸드오프 계수 B=0, 4를 가진 W-TCP/PRC 블로킹 확률 학습 곡선

그림 5에서는 핸드오프 발생 계수에 따른 평균 자승 에러 (MSE) 값을 50초 간격(T=50s) 나타내었다. 그림 4에서 제시한 평균 자승 에러의 경우 처음 100초 동안 핸드오프, 채널 재전송 등의 여러 가지 환경 변수에 의해 변동의 폭이 커서 성공 비율의 폭이 크지만 100초 이후에는 핸드오프 계수와는 상관없이 블로킹 확률의 배치가 약 30% 정도 낮은 실행을 나타내었다. x 축은 샘플의 반복 수를 의미하