

이동 컴퓨팅 환경에서 통합 이동성을 지원하는 QoS 보장형 I-MRSVP 프로토콜

정희원 박 상 윤*, 임 동 규**, 김 원 태***, 엄 영 익****

QoS guaranteed I-MRSVP Protocol for Supporting Integrated Mobility in Mobile Computing Environments

Sang Yun Park*, Dong Kyu Lim**, Won-Tae Kim***, Young Ik Eom**** *Regular Members*

요 약

유선 네트워크 환경에서 실시간 응용의 QoS 보장을 위한 자원 예약 프로토콜로서 RSVP가 발표된 바 있다. 한편, 무선 네트워크 환경에서의 응용 서비스가 대중화되면서 이동 컴퓨팅 환경에서의 QoS 보장이 이슈가 되고 있다. 이에 따라 RSVP와 이동 컴퓨팅 환경에서 이동성을 지원하는 Mobile IP간의 연동이 활기를 띠고 있다. 본 논문에서는 이동 컴퓨팅 환경에서 통합 이동성을 지원하는 QoS 보장형 자원 예약 프로토콜인 I-MRSVP(Integrated-Mobile RSVP)를 제안한다. I-MRSVP 프로토콜은 Mobile IP 기반의 광역 셀과 Cellular IP 기반의 협역 셀간의 상호운용성을 제공하는 통합 이동성을 지원하고 신호 세기 기반 예측 자원 예약 기법을 통해 효율적인 자원 예약 기능을 제공한다.

Key Words : RSVP, QoS, Mobile IP, Cellular IP, MRSVP

ABSTRACT

RSVP was published as a resource reservation protocol to guarantee QoS for realtime applications in wired network environments. As mobile application services in wireless network environments are more popular, QoS guaranteeing problem becomes an important issue in mobile computing environments. Therefore, the researches about cooperation between RSVP and Mobile IP supporting mobility in mobile computing environments are activating today. In this paper, we propose I-MRSVP(Integrated-Mobile RSVP), a QoS guaranteed resource reservation protocol supporting the integrated mobility in mobile computing environments. I-MRSVP protocol supports the integrated mobility providing interoperability between Mobile IP-based macro cells and Cellular IP-based micro cells. To minimize resource reservation overheads, it provides efficient resource reservation functions by using the signal strength based predictive resource reservation scheme.

I. 서 론

유선 네트워크 환경에서 실시간 응용의 QoS (Quality of Service) 보장을 위한 자원 예약 프로토콜로서 RSVP(Resource reSerVation Protocol)가 발표된 바 있다. RSVP는 IETF(Internet Enginee-

ring Task Force)의 QoS 보장 모델 중에서 IntServ 모델을 위한 네트워크 자원 예약 프로토콜로서 실시간 응용을 위해 동적인 네트워크 자원 예약 기능을 제공한다. 한편, 이동 컴퓨팅 환경이 대중화되면서 무선 이동 네트워크 환경에서의 QoS 보장이 이슈가 되고 있다. 그러나, 이동 컴퓨팅 환

* 대림대학 컴퓨터정보계열(sypark@daelim.ac.kr), ** 한국정보통신기술협회(dklim@tta.or.kr),
 *** (주)로스텍테크놀로지(wtkim@rostic.com), **** 성균관대학교 정보통신공학부(yieom@ece.skku.ac.kr)
 논문번호 : 020474-1029, 접수일자 : 2002년 10월 29일

경에서 QoS를 보장하기 위해서는 몇 가지 해결해야 할 문제점들이 있다. 실시간 응용의 QoS 매개변수들은 이동 노드의 이동성에 따라 유지되기 어려웠으며 best effort 전송에 기반 한 Mobile IP는 QoS 관한 고려를 포함하지 않고 있다. 이에 따라 이동 컴퓨팅 환경에서 이동 노드의 이동성을 지원하는 Mobile IP와 QoS 보장을 제공하는 RSVP의 연동이 활기를 띠고 있다.

본 논문에서는 이동 컴퓨팅 환경에서 통합 이동성 지원과 QoS 보장을 위해 Mobile IP/Cellular IP와 RSVP를 연동한 QoS 보장형 통합 이동성 지원 자원 예약 프로토콜인 I-MRSVP(Integrated-Mobile RSVP)를 제안한다. I-MRSVP 프로토콜은 광역 셀(macro cell)과 협역 셀(micro cell)을 연동하는 통합 이동성을 지원하고 기존 연구 등에서 공통적으로 지적되었던 과도한 자원 예약 등의 단점을 개선한다.

I-MRSVP는 광역 셀 환경에서 HA(Home Agent)를 중심으로 이동 노드의 위치 관리와 데이터 전달 기능을 제공하는 Mobile IP와 협역 셀 환경에서 라우팅 캐쉬와 페이징 캐쉬를 통해 이동 노드의 지역적 등록을 지원하는 Cellular IP를 하위 프로토콜로 사용하여 이동 노드의 핸드오프 및 위치 등록을 처리한다. 또한 광역 셀에서는 신호 세기 기반 예측 자원 예약 기법을 통해 신호 세기가 강한 인접 셀들을 예측 자원 예약 대상으로 선정하고 신호 세기의 모니터링을 통해 가장 적절한 예측 자원 예약 시점을 추정한다. 협역 셀에서는 라우팅 캐쉬/페이징 캐쉬에 저장된 인접 셀들에 대한 정보를 바탕으로 해당 셀들의 기지국간에 또는 기지국 상위의 게이트웨이간에 예측 자원 예약을 수행한다.

본 논문의 2장에서는 Mobile IP와 RSVP를 연동하는 이동성 지원 자원 예약 기술에 관한 관련 연구를 소개하고, 3장에서는 I-MRSVP 프로토콜의 네트워크 모델과 동작 원리 등을 제시한다. 4장에서는 I-MRSVP 프로토콜에서 사용된 라우팅 알고리즘과 신호 세기 기반 예측 자원 예약 알고리즘을 소개하고 5장에서는 시뮬레이션을 통하여 I-MRSVP와 기존 프로토콜을 비교/분석한 성능 평가 사항을 설명한다. 6장에서는 요약 및 향후 연구 과제에 관하여 제시한다.

II. 이동성 지원 자원 예약 기술

무선 이동 네트워크를 위한 RSVP의 확장 기술 부문에서 1997년 이후 활발한 연구가 진행되어 왔다. 특히 QoS 보장형 이동성 지원 기술은 Mobile IP 네트워크와 같은 광역 셀 환경을 지원하는 광역 이동성(macro mobility) 부문과 pico 셀 등과 같이 작은 지역의 이동성을 지원하는 협역 이동성(micro mobility) 부문에 대한 연구로 분류된다.

1. 광역 이동성 지원 자원 예약 기법

1997년, Talukdar은 DARPA에 의해 진행된 Dataman 프로젝트를 통하여 무선 네트워크 환경을 위해 설계된 RSVP의 확장 프로토콜인 Mobile RSVP(MRSVP)를 발표하였다^[1]. MRSVP의 핵심 아이디어인 passive 자원 예약 기법은 이동 노드의 이동에 대비하여 실제 데이터 전송이 발생하지 않는 passive 상태로 미리 인접 셀의 자원을 예약하는 특별한 RSVP 세션을 의미한다. 그러나, 이 기법은 경로 상의 중간 노드들이 passive 자원 예약에 관한 모든 상태 정보를 유지해야 하고 이동 노드가 네트워크 토폴로지와 셀 구조에 대한 정보를 인지해야 하는 단점이 있다.

Terzis는 미리 수립된 RSVP 터널들과 Mobile IPv4를 결합한 간단한 QoS 시그널링 프로토콜을 제안하였다^[2]. 이 기법은 HA로부터 FA(Foreign Agent)까지의 Mobile IP 터널링 구간의 자원을 예약하는 프로토콜로서 기존 인터넷 기술에 대한 최소한의 수정만으로 구현이 가능한 장점은 있지만 삼각 라우팅(triangle routing)의 문제를 유발한다.

Chiruvolu는 RSVP를 이용하여 CN(Correspondent Node)과 이동 노드간을 연결하는 직통 경로 상의 자원을 예약하는 Mobile IPv6와 RSVP의 연동 모델을 제안하였다^[3]. 이 모델에서 Mobile IPv6는 경로 최적화 기능을 제공하므로 CN과 이동 노드 사이에 교환되는 패킷들은 HA를 거치지 않고 직접 교환된다. 그러나 이 기법은 좁은 공간 내에서의 핸드오프가 자주 발생할 경우 자원 예약 지연이 길어지고 과도한 시그널링 부하가 발생하여 실시간 서비스의 경우 서비스 중단이 초래될 수 있다.

Chen은 IntServ 인터넷 환경에서의 자원 예약을 위한 시그널링 프로토콜을 제안하였다^[4]. 이 기법에서 RSVP 모델은 이동 노드를 지원하기 위하여 IP 멀티캐스트 기반으로 확장되었다. RSVP 메시지와 IP 데이터그램은 이동 노드에게 IP 멀티캐스트 라우팅을 사용하여 전송된다. 각 소스 노드를 루트

로 하는 멀티캐스트 트리는 이동 노드가 인접 셀로 핸드오프할 때마다 동적으로 변화한다. 이 기법은 핸드오프 과정에서 발생하는 데이터 경로의 재 설정에 따른 서비스 중단을 최소화 할 수는 있지만 동적으로 멀티캐스트 트리를 관리해야 하는 부담과 자원 예약이 비효율적인 단점을 가지고 있다.

2. 협력 이동성 지원 기법

Mahadevan은 상기한 MRSVP의 단점을 개선하기 위해 적은 수의 passive 자원 예약 라우터를 사용하는 새로운 기법을 제안하였다^[6]. 이 기법은 각 셀의 BS(Base Station)들간에 QoS 도메인을 정의하고 이동 노드가 동일한 QoS 도메인에 속한 셀간을 이동하는 경우에는 BS들간에 passive 자원 예약을 수행하고 다른 QoS 도메인간을 이동하는 경우에는 각 QoS 도메인의 게이트웨이간에 passive 자원 예약을 수립하는 방식을 제안하고 있다. 이 기법은 MRSVP의 주된 한계점을 극복하고는 있지만 동일한 QoS 도메인 내의 BS들간에 끝없는 자원 예약 경로의 확장이 발생할 수 있고 모든 게이트웨이가 passive 자원 예약 기능을 지원해야 하며, 이동 노드가 서로 다른 도메인간을 이동할 경우 기존 RSVP 세션을 유지하거나 확장할 수 없는 단점을 가지고 있다.

Tseng은 지역적 등록 기법(regional registration)을 사용하여 이동 컴퓨팅 환경에서 이동성에 독립적인 자원 예약 기능을 제공하는 HMRSVP(Hierarchical Mobile RSVP)를 제안하였다^[6]. 이 기법은 이동 노드가 지역 내에서 핸드오프할 경우 등록 범위를 지역 내로 한정시켜 핸드오프 시에 발생하는 지연을 감소시켰다.

III. I-MRSVP 프로토콜

Mobile IP와 RSVP를 연동하는 기존 연구들은 이동 노드에게 투명한 이동성의 제공을 위해 주로 passive 자원 예약 기법을 사용하였고 협력 이동성의 지원을 위해 협력 셀에 대한 지역 자원 예약 기법 등을 사용한 바 있다. 그러나 이러한 기법들은 몇 가지 공통적인 문제들을 유발하였다. 즉, 네트워크 상의 모든 노드들은 passive 자원 예약 기능을 지원해야 했으며 과도한 passive 자원 예약은 자원의 낭비를 초래했다. 이동 노드는 무선 네트워크 토폴로지 구조에 대한 사전 지식을 유지해야 했으며 이동 노드의 잦은 이동은 자원 낭비와 예약 지연을

수반하였다. 본 장에서는 통합 이동성 지원 자원 예약 프로토콜인 I-MRSVP(Integrated-Mobile RSVP)의 네트워크 모델과 주요 기능을 소개하고 상기한 문제점들을 개선하기 위한 알고리즘들을 제시한다.

1. I-MRSVP 개요

무선 네트워크 환경은 이동 노드와 무선 네트워크 단위 영역인 셀, 유선 네트워크 상에서 단위 셀을 관리하는 기지국 등으로 구성된다. 단위 셀은 기지국의 무선 신호가 미치는 범위에 따라 광역 셀과 협력 셀로 구분될 수 있는데, 광역 셀은 장애물이 적은 개방된 공간에서 신호가 일정 범위 이상 전파되는 경우를 의미하고 협력 셀은 건물 내부와 같은 공간에서 신호가 자주 차단되는 경우라고 할 수 있다. 실세계의 무선 네트워크 환경에서는 각종 지형지물이 뒤섞여 존재하는 만큼 이러한 네트워크 환경에서 이동 노드의 투명한 이동성 지원을 위해서는 무선 네트워크 구축 시에 광역 셀과 협력 셀을 효과적으로 구성하고 이들간의 유연한 연동을 지원하는 것이 바람직할 것이다. 그러나 기존 연구들에서는 광역 셀과 협력 셀을 모두 고려한 네트워크 모델을 찾기 힘든 실정이다. 본 논문에서 제안하는 I-MRSVP 프로토콜은 광역 셀과 협력 셀간의 상호운용성을 지원하고 기존 연구 등에서 공통적으로 지적되었던 과도한 자원 예약 등의 단점을 개선하여 이동 노드에게 효율적인 자원 예약 기능을 제공한다.

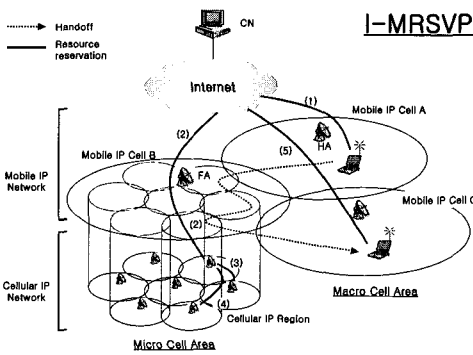
1) I-MRSVP 네트워크 모델

그림 1에서 예시하는 바와 같이 I-MRSVP의 네트워크 모델은 실세계와 유사하게 광역 셀과 협력 셀이 공존하는 무선 네트워크 환경이다. 광역 셀은 광역 이동성의 지원을 위하여 Mobile IP 네트워크 상에서 구축되고 협력 셀은 협력 이동성의 지원을 위하여 Cellular IP 네트워크 상에서 구축된다. 광역 셀은 하나 이상의 협력 셀을 포함할 수 있고, 협력 셀을 포함하는 광역 셀의 기지국은 협력 셀의 외부 게이트웨이 역할을 수행한다. 즉, Cellular IP 네트워크는 광역 셀의 기지국을 점점으로 하여 Mobile IP 네트워크와 연동한다.

그림 1에서 예측 자원 예약 과정은 다음과 같다.

(1) 광역 셀 A의 이동 노드는 핸드오프하기 전

- 에 HA를 통해 CN과 자원 예약을 수립한다.
- (2) CN과 이동 노드는 FA를 통해 예측 자원 예약을 수립하고 협역 셀들을 포함하고 있는 광역 셀 B로 핸드오프한다.
 - (3-4) 이동 노드는 기존 자원 예약을 유지한 채 협역 셀들과의 예측 자원 예약을 수립하고 B 영역 내의 협역 셀간을 핸드오프한다. 즉, 협역 셀간의 핸드오프에서 예측 자원 예약은 CN과 이동 노드 사이의 전체 구간에 대해서 재설정되지 않고 협역 셀의 기지국들 간에만 재설정된다.
 - (5) 이동 노드는 예측 자원 예약을 새로 수립한 후 광역 셀 C로 이동한다.



(그림 1) I-MRSVP 네트워크 모델

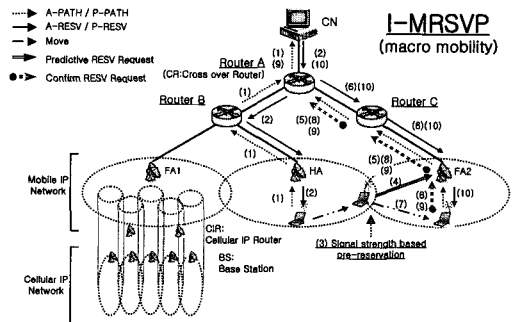
2) 통합 이동성 지원 자원 예약 구조

이동 노드가 광역 셀간을 핸드오프하는 경우 이동 노드는 인접 셀들에 대한 예측 자원 예약을 수행하여 자원 예약 지연을 감소시키고, 이동 노드가 협역 셀간을 핸드오프하는 경우 기존 광역 셀까지의 자원 예약을 유지한 채 지역 내 자원 예약 링크를 재설정하여 협역 셀 환경에서 빈번히 발생할 수 있는 핸드오프에 대한 자원 예약 지연을 감소시킨다. 이동 노드가 광역 셀에서 협역 셀로 핸드오프하는 경우, 상대 노드에서 협역 셀의 외부 게이트웨이 역할을 하는 광역 셀의 기지국까지의 자원 예약은 유지되고 추가 자원 예약 지연은 광역 셀의 기지국과 협역 셀의 기지국 사이에서만 발생함으로써 자원 예약 부하를 줄일 수 있다.

2. 프로토콜 설계

I-MRSVP에서 사용되는 메시지들에 대한 정의는 다음과 같다.

- ◇ A-PATH(Active-PATH) : 실질적인 자원 예약과 데이터 전송을 위해 송신자가 전송하는 메시지로서 경로 상의 자원 예약 정보를 수집하여 수신자에게 전달한다.
 - ◇ A-RESV(Active-RESV) : 실질적인 자원 예약과 데이터 전송을 위해 수신자가 전송하는 메시지로서 수집된 자원 예약 정보를 바탕으로 송신자까지 경로 상의 자원을 예약한다.
 - ◇ P-PATH(Passive-PATH) : passive 자원 예약을 위해 송신자가 전송하는 메시지로서 경로 상의 passive 상태의 자원 예약 정보를 수집하여 수신자에게 전달한다.
 - ◇ P-RESV(Passive-RESV) : passive 자원 예약을 위해 수신자가 전송하는 메시지로서 수집된 자원 예약 정보를 바탕으로 송신자까지 경로 상의 자원을 passive 상태로 예약한다.
 - ◇ Predictive RESV Request : 예측 자원 예약을 시발하기 위해 이동 노드가 인접 셀로 전송하는 메시지로서 인접 셀의 기지국 또는 교차 라우터는 이 메시지의 수신 후 예측 자원 예약을 시작한다.
 - ◇ Confirm RESV Request : 이동 노드의 핸드오프 이후 passive 상태의 자원 예약을 즉시 active로 전환하고 예측 자원 예약이 기 수행된 다른 인접 셀의 passive 자원 예약을 해제하기 위해 이동 노드가 핸드오프 직후 전송하는 메시지
- 1) 광역 이동성 지원 예측 자원 예약 과정
 - ◇ 이동 노드가 송신자일 경우
- 그림 2와 그림 3은 송신자인 이동 노드가 광역 셀간을 핸드오프하는 경우의 I-MRSVP의 예측 자원 예약 과정과 메시지 흐름도를 예시한다.

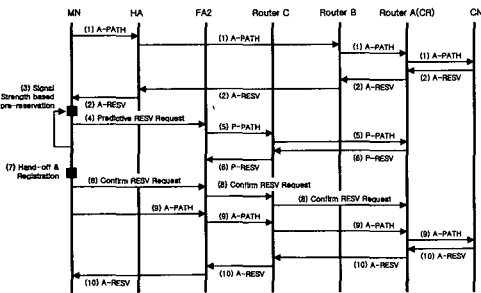


(그림 2) 광역 셀 예측 자원 예약 과정(송신자)

그림 3의 송신자 이동 노드의 광역 이동성

지원 예측 자원 예약 과정은 다음과 같다.

- (1),(2) 상대 노드와 이동 노드는 A-PATH / A-RESV 메시지를 라우터와 HA를 통해 교환하여 자원을 예약한다.
- (3) 이동 노드는 현재 셀과 FA2 셀의 중첩지역으로 이동한다.
- (4) 이동 노드는 FA2 셀로부터의 신호를 수신하고 Predictive RESV Request 메시지를 FA2에게 주기적으로 전송하여 신호 세기 기반 예측 자원 예약을 수행한다.
- (5) FA2는 P-PATH 메시지를 교차(cross over) 라우터까지 전송한다.
- (6) 교차 라우터는 P-PATH 메시지가 전달되어 온 경로의 역순으로 P-RESV 메시지를 전송하여 FA2까지의 자원을 예약한다.
- (7) 이동 노드는 FA2의 셀로 핸드오프한다. FA1은 이동 노드가 다시 복귀할 경우를 대비하여 active 자원 예약 상태를 passive로 전환하고 timeout 기간 동안 이를 유지한다.
- (8) 이동 노드는 교차 라우터까지 Confirm RESV Request 메시지를 전송하여 중간 노드들의 passive 자원 예약 상태를 active 상태로 전환시킨다.
- (9),(10) 상대 노드와 이동 노드는 A-PATH / A-RESV를 교환하여 active 상태의 자원 예약을 유지한다.



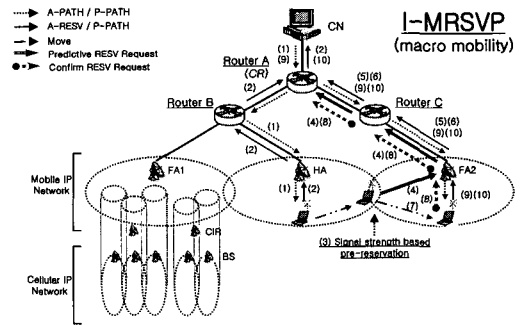
(그림 3) 광역 셀 예측 자원 예약 메시지 흐름도(송신자)

그림 3의 (3)과정에서 예시하는 바와 같이 광역 셀간의 핸드오프에서 인접 셀에 대한 예측 자원 예약은 이동 노드가 셀들의 중첩 지역에 도달한 후에 시작된다. 자원 예약은 신호 세기 기반 예측 자원 예약 알고리즘에 의해 중첩 지역의 셀 중 신호 세기가 강한 셀들을 대상으로 수행되므로 자원 예약 낭비를 줄일 수 있다. (4)과정에서 FA2는

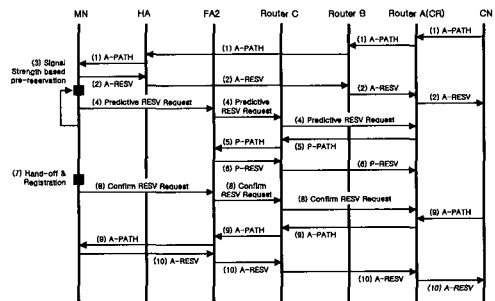
Predictive RESV Request 메시지를 주기적으로 수신하는데 주기가 지나도 이 메시지가 수신되지 않으면 기존에 수립한 passive 자원 예약을 자동적으로 해제하여 이동 노드가 다른 셀로 핸드오프하는 등의 예외 경우를 대비한다. 또한, 요구된 자원이 확보되지 않아서 passive 자원 예약을 할 수 없는 경우 3회까지만 예측 자원 예약 과정을 반복하고 이 후에는 예측 자원 예약이 실패한 것으로 간주한다. (5), (6)과정을 통하여 예측 자원 예약은 FA2에서 교차 라우터 사이에서만 발생하므로 핸드오프에 의한 예측 자원 예약 부하와 지연을 최소화할 수 있다.

◇ 이동 노드가 수신자일 경우

그림 4와 그림 5의 수신자 이동 노드의 광역 이동성 지원 예측 자원 예약 과정에서 송신자는 상대 노드이므로 상대노드는 A-PATH 메시지를 먼저 송신하고 예측 자원 예약 시에 교차 라우터는 P-PATH 메시지를 먼저 송신한다. 이동 노드는 교차 라우터의 P-PATH 송신을 유발시키기 위해 Predictive RESV Request 메시지를 FA2를 거쳐 교차 라우터까지 전송한다.



(그림 4) 광역 셀 예측 자원 예약 과정(수신자)

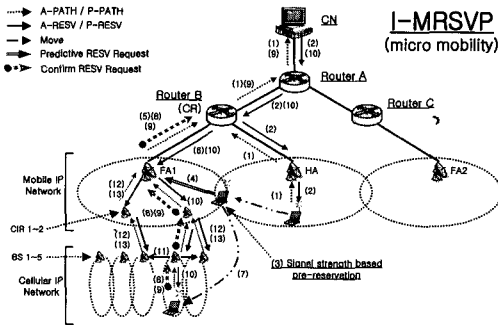


(그림 5) 광역 셀 예측 자원 예약 메시지 흐름도(수신자)

2) 협력 이동성 지원 예측 자원 예약 과정

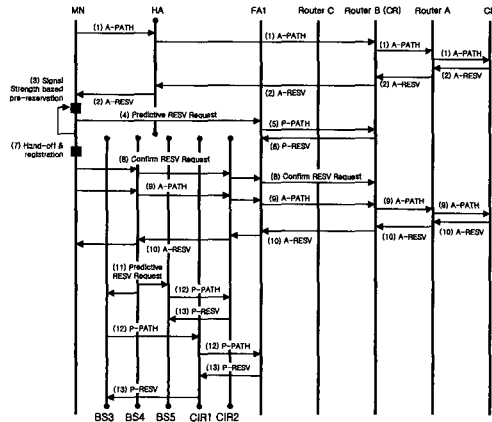
◇ 이동 노드가 송신자일 경우

그림 6과 그림 7은 송신자인 이동 노드가 광역 셀에서 협력 셀로 핸드오프하거나 협력 셀간을 핸드오프하는 경우의 I-MRSVP의 예측 자원 예약 과정과 메시지 흐름도를 예시한다.



(그림 6) 협력 셀 예측 자원 예약 과정(송신자)

그림 7의 송신자 이동 노드의 협력 이동성 지원 예측 자원 예약 과정은 다음과 같다.



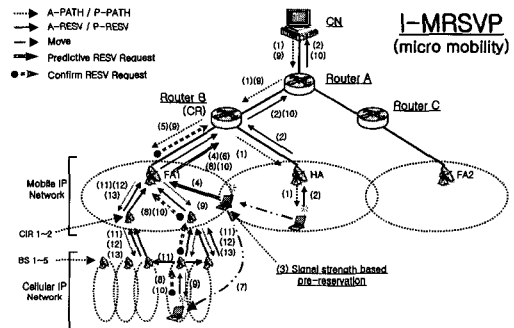
(그림 7) 협력 셀 예측 자원 예약 메시지 흐름도(송신자)

- (1)~(6) 이동 노드가 송신자인 경우의 광역 이동성 지원 예측 자원 예약 과정과 동일하다.
- (7) 이동 노드는 광역 FA1 셀이 포함하고 있는 협력 BS4 셀로 핸드오프한다.
- (8) 이동 노드는 교차 라우터까지 Confirm RESV Request 메시지를 전송하여 중간 노드들의 passive 자원 예약 상태를 active 상태로 전환시킨다.
- (9),(10) 상대 노드와 이동 노드는 A-PATH /

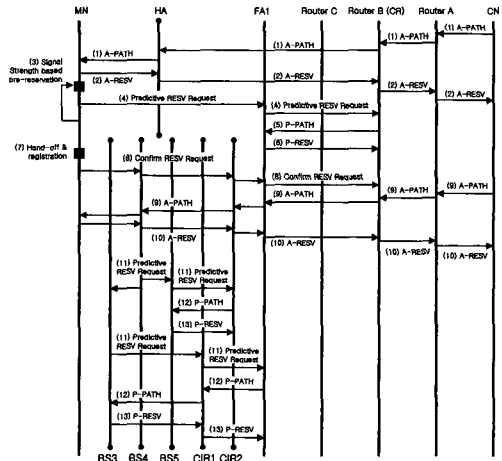
A-RESV를 교환하여 active 상태의 자원 예약을 유지한다.

- (11) BS4는 인접 셀들에 대한 예측 자원 예약을 위해 Predictive RESV Request를 BS3와 BS5에게 전송한다.
- (12),(13) BS3와 BS5는 교차 라우터까지 P-PATH를 전송하고 교차 라우터는 P-PATH 메시지가 전달되어온 경로의 역순으로 P-RESV 메시지를 전송하여 BS3와 BS4까지의 자원을 예약한다.

◇ 이동 노드가 수신자일 경우



(그림 8) 협력 셀 예측 자원 예약 과정(수신자)



(그림 9) 협력 셀 예측 자원 예약 메시지 흐름도(수신자)

그림 8과 그림 9의 수신자 이동 노드의 협력 이동성 지원 예측 자원 예약 과정은 송신자 이동 노드의 예측 자원 예약의 (10)과정까지 동일하다. 단, A-PATH와 P-PATH 메시지를 송신하는 주체는 반대가 된다. (11)과정에서 BS4의

Predictive RESV Request는 BS3와 BS5를 거쳐 교차 라우터들까지 전송된다. (12), (13)과정을 통해 교차 라우터는 BS3와 BS5까지 P-PATH를 전송하고 BS3와 BS5는 교차 라우터까지 P-PATH 메시지가 전달되어온 경로의 역순으로 P-RESV 메시지를 전송하여 교차 라우터까지의 자원을 예약한다.

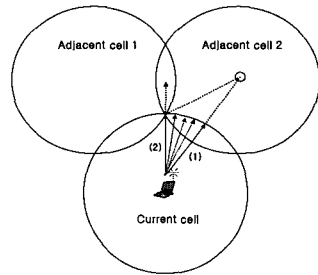
3. 신호 세기 기반 예측 자원 예약

이동 노드가 셀의 경계에 접근함에 따라 이동 노드가 현재 셀의 기지국으로부터 수신하는 신호의 세기는 점차 약해지고 인접 셀로부터 수신하는 신호의 세기는 점차 강해진다. 일반적인 핸드오프의 경우 이동 노드가 현재 셀로부터 수신하는 신호의 세기가 인접 셀로부터 수신하는 신호의 세기 보다 약할 때 인접 셀의 기지국에게 등록 메시지를 송신하여 등록을 요청한다. 등록 메시지는 FA를 거쳐 HA까지 전달되고 HA는 등록 결과 메시지를 FA를 거쳐 이동 노드에게 전송한다. 이러한 핸드오프 과정은 FA와 HA간의 거리가 멀리 떨어져 있을 경우 많은 지연을 수반하게 되는데 상대 노드와 이동 노드간의 자원 예약 과정이 수반된 경우 지연은 더욱 커지게 된다.

이러한 지연들을 예방하기 위하여 기존 연구에서는 이동 노드가 이동할 가능성이 있는 인접 셀에 미리 자원 예약을 수립하는 방법을 제안하고 있다. 현재 셀의 기지국은 이동 노드가 향후 이동할 대상 셀을 정확히 알 수 없기 때문에 여러 기법들에서 현재 셀의 모든 인접 셀들의 자원을 예약하는 방법을 제안하고 있다. 그러나 이 방법은 많은 자원의 낭비를 초래할 뿐 아니라 각 셀의 기지국이나 이동 노드는 네트워크 토폴로지 구성에 관한 정보를 유지해야만 한다.

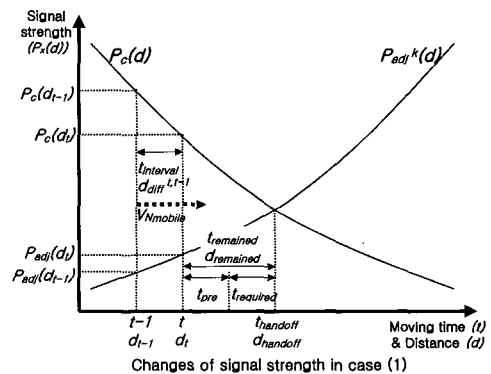
I-MRSVP에서 이동 노드는 셀들이 중첩된 지역에 진입한 후 인접 셀들로부터 수신되는 신호들의 세기에 대한 주기적인 모니터링을 수행한다. 모니터링을 통해 이동 노드는 신호 세기 변화의 패턴을 인지하고 이에 기초하여 이동의 방향성을 추정한다. 이동의 방향성은 예측 자원 예약 대상 셀 선정과 예측 자원 예약 시기 결정의 중요한 자료로 사용된다. 이 기법은 핸드오프 예상 셀을 비교적 정확하게 예측할 수 있고 이에 따라 불필요한 자원 예약을 감소시킬 수 있다.

그림 10은 2개의 셀이 중첩된 지역을 통과하는 이동 노드의 이론적인 방향성 모델을 예시한다. 이동 노드는 화살표 방향을 따라 현재 셀의 중심으로부터 인접 셀로 직선 이동을 하는 것으로 가정하였다. (1)의 경우 이동 노드는 중첩 지역에서 현재 셀과 인접 셀의 신호들을 모두 수신한다. (2)의 경우 이동 노드는 현재 셀의 경계에 도달할 때까지 인접 셀의 신호를 수신하지 못하다가 핸드오프 이후 두 인접 셀의 신호를 수신한다. 따라서 예측 자원 예약은 핸드오프 이후 인접한 두 셀간에 발생한다.



(그림 10) 2개의 셀이 중첩된 경우의 이동 노드의 방향성 모델

그림 11은 (1)경우에 중첩 지역에서 이동 노드가 수신하는 신호 세기의 변화를 시간과 거리에 따라 나타낸 것이다.

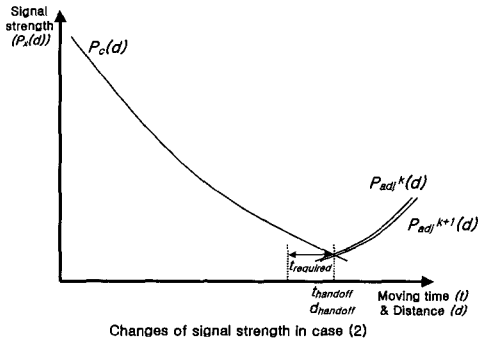


(그림 11) (1)경우의 신호 세기의 변화

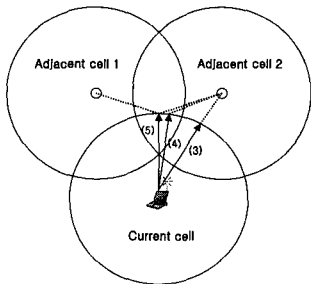
$t-1$ 시점의 현재 셀과 인접 셀의 신호세기 $P_c(d_{t-1})$, $P_{adj}(d_{t-1})$ 과 t 시점의 신호세기 $P_c(d_t)$, $P_{adj}(d_t)$ 의 측정을 통해 중첩 지역에서 이동 노드의 속도 $V_{Nmobile}$ 과 핸드오프 예상 시점 $t_{handoff}$ 를 추정할 수 있고 핸드오프까지 남은 시간

$t_{remained}$ 에서 예측 자원 예약에 필요한 시간 $t_{required}$ 를 빼면 예측 자원 예약의 시작까지 남은 시간 t_{pre} 를 구할 수 있다. 즉, (1)의 경우 t 시점에 예측 자원 예약 대상은 인접 셀2가 되고 예측 자원 예약 시작 시점은 t_{pre} 후가 된다.

그림 12는 방향성 모델 (2)의 경우에 중첩 지역에서 이동 노드가 수신하는 신호 세기의 변화를 시간과 거리에 따라 나타낸 것이다. (2)의 경우 이동 노드는 현재 셀의 경계에 도달할 때까지 인접 셀의 신호를 수신할 수 없고 핸드오프 이후에 두 인접 셀들의 신호를 동시에 수신하게 되므로 예측 자원 예약은 핸드오프 이후 두 인접 셀간에 발생한다. 핸드오프 이전에 예측 자원 예약을 하기 위해서는 이동 노드가 인접 셀에 대한 네트워크 토폴로지 정보를 유지하여 신호 세기와 관계없이 예측 자원 예약하는 방안도 있지만 실제로 이동 노드가 중첩 지역이 없는 세 개 셀의 경계 지점을 통과하여 핸드오프하는 경우는 매우 드문 일이므로 I-MRSVP에서는 이런 경우의 예측 자원 예약은 고려하지 않기로 한다.



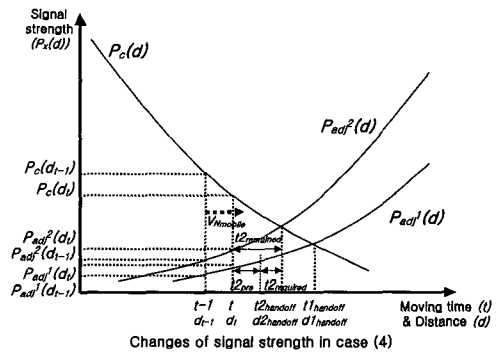
(그림 12) (2)경우의 신호 세기의 변화



(그림 13) 3개의 셀이 중첩된 경우의 이동 노드의 방향성 모델

그림 13은 3개의 셀이 중첩된 지역을 통과하는 이동 노드의 이론적인 방향성 모델을 예시한다. (3)의 경우 이동 노드는 그림 10의 (1)의 경우와 동일한 방향성을 갖고 (4)의 경우 인접 셀2에 약간 치우친 방향성을 갖는다. (5)의 경우 이동 노드가 수신하는 인접 셀1과 인접 셀2의 신호 세기는 유사하게 증가하는 특징을 나타낸다.

그림 14는 방향성 모델 (4)의 경우에 중첩 지역에서 이동 노드가 수신하는 신호 세기의 변화를 시간과 거리에 따라 나타낸 것이다.

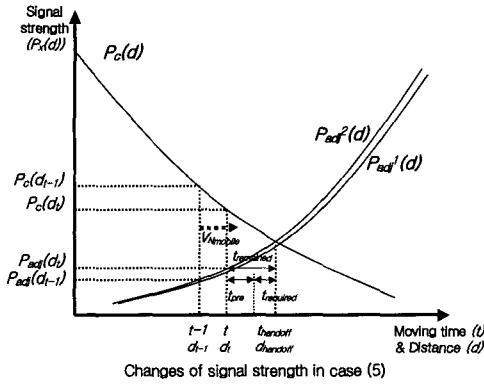


(그림 14) (4)경우의 신호 세기의 변화

$t-1$ 시점의 현재 셀과 인접 셀들의 신호세기 $P_c(d_{t-1})$, $P_{adj}^1(d_{t-1})$, $P_{adj}^2(d_{t-1})$ 과 t 시점의 신호세기 $P_c(d_t)$, $P_{adj}^1(d_t)$, $P_{adj}^2(d_t)$ 의 측정을 통해 (1)의 경우와 마찬가지로 중첩 지역에서 이동 노드의 속도 $V_{Nmobile}$ 과 인접 셀1으로의 핸드오프 가능 시점 $t_{handoff}^1$ 와 인접 셀2로의 핸드오프 가능 시점 $t_{handoff}^2$ 를 추정할 수 있다. 또한 인접 셀1로의 예측 자원 예약 가능 시점까지의 시간 t_{pre}^1 와 인접 셀2로의 예측 자원 예약 가능 시점까지의 시간 t_{pre}^2 를 계산할 수 있다. $t_{pre}^1 > t_{pre}^2$ 일 때, t_{pre}^1 와 t_{pre}^2 의 차가 임계값 Ω 보다 클 경우 이동 노드는 인접 셀2로 핸드오프할 가능성이 높은 만큼 예측 자원 예약은 t_{pre}^2 시간 후에 인접 셀2를 대상으로 발생한다. 반면, t_{pre}^1 와 t_{pre}^2 의 차가 Ω 보다 작을 경우 인접 셀1과 인접 셀 2에 대하여 모두 예측 자원 예약 실시한다.

그림 15는 방향성 모델 (5)의 경우에 중첩 지역에서 이동 노드가 수신하는 신호 세기의 변화를 시간과 거리에 따라 나타낸 것이다. 인접 셀1과 인접 셀2는 이동 노드의 이동에 따라 유사한 신호 세기 변화를 나타낸다. 이 경우는

(4)경우의 $t1_{pre}$ 와 $t2_{pre}$ 의 차가 매우 작은 경우에 해당하는 것으로서 인접 셀1과 인접 셀 2에 대하여 모두 예측 자원 예약 실시한다.



(그림 15) (5)경우의 신호 세기의 변화

IV. 알고리즘

표 1은 알고리즘 표현을 위한 상태 변수 정의를 예시한다. 알고리즘은 크게 네트워크 모델 상의 각 노드가 수행하는 라우팅 알고리즘과 신호 세기 기반 예측 자원 예약 알고리즘으로 구성된다.

(표 1) 알고리즘 표현을 위한 상태 변수 정의

Notation	Description
R_{cross}	cross over router
R_n	normal intermediate router
$N_{foreign}$	foreign agent node
N_{home}	home agent node
N_{mobile}	mobile node
N_n	general nth node
N_{sender}	RSVP sender node
$N_{receiver}$	RSVP receiver node
M_i	ith message
$PATH_{passive}$	passive PATH message
$RESV_{passive}$	passive RESV message
$RESV_{predictive}$	Predictive RESV Request message
$RESV_{confirm}$	Confirm RESV Request message
$ST_{passive}$	passive soft state
ST_{active}	active soft state
C_{adj}^k	adjacent cell k
$SET_{overlapped}$	set of cells in the overlapped area
SET_{pre}	set of selected cells for pre-reservation
d_t	distance between N_{mobile} & sender at t times
d_{diff}^{t-1}	distance difference between d_t and d_{t-1}
$d_{remained}$	distance to cell edge
$d_{handoff}$	distance from transmitter to handoff point
$t_{interval}$	time interval for measuring signal strengths
t_{pre}	time interval to pre-reservation
$t_{remained}$	time interval to handoff
$t_{required}$	time interval required for pre-reservation
α	path loss rate, exponent value
θ	threshold value for cell decision
V_{mobile}	velocity of mobile node
$P_{cur}(d)$	signal strength of current cell at t times
$P_{adj}(d)$	signal strength of adjacent cell k at t times

1. 라우팅 알고리즘

1) 임의의 노드 (N_n)가 메시지 (M_i)를 수신한 경우

◇ M_i 가 $RESV_{predictive}$ 인 경우

표 2는 임의의 노드 N_n 이 $RESV_{predictive}$ 메시지를 수신한 경우 노드의 처리 알고리즘을 예시한다. N_n 이 R_{cross} 인 경우 N_n 은 passive 상태 정보를 데이터베이스에 저장하고 다음 노드로 $PATH_{passive}$ 메시지를 전송한다. N_n 이 $N_{foreign}$ 이고 이동 노드가 송신자일 경우 N_n 은 passive 상태 정보를 저장하고 다음 노드로 $PATH_{passive}$ 메시지를 전송한다. N_n 이 $N_{foreign}$ 이고 이동 노드가 송신자가 아닐 경우 N_n 은 M_i 를 다음 노드에 전달한다.

(표 2) N_n 이 $RESV_{predictive}$ 를 수신한 경우의 처리 알고리즘

```

switch ( $N_n$ ) {
case  $R_{cross}$  :
     $N_n$  stores  $ST_{passive}$ ;
     $N_n$  sends  $PATH_{passive}$  to  $N_{n+1}$ ; break;
case  $N_{foreign}$  :
    if ( $N_{mobile} \in N_{sender}$ ) {
         $N_n$  stores  $ST_{passive}$ ;
         $N_n$  sends  $PATH_{passive}$  to  $N_{n+1}$ ;
    } else
         $N_n$  forwards  $M_i$  to  $N_{n+1}$ ;
        break;
}
    
```

◇ M_i 가 $RESV_{predictive}$ 인 경우

표 3은 임의의 노드 N_n 이 $RESV_{confirm}$ 메시지를 수신한 경우 노드의 처리 알고리즘을 예시한다. N_n 이 R_{cross} 인 경우 N_n 은 해당 passive 상태 정보를 데이터베이스에서 검색하여 active로 전환하고 기존 active 상태 정보를 삭제한다. N_n 이 기타 노드인 경우 N_n 은 해당 passive 상태 정보를 데이터베이스에서 검색하여 active로 전환하고 M_i 를 다음 노드에 전달한다.

(표 3) N_n 이 $RESV_{confirm}$ 를 수신한 경우의 처리 알고리즘

```

switch ( $N_n$ ) {
case  $R_{cross}$  :
     $N_n$  finds the correspondent  $ST_{active}$  and  $ST_{passive}$ ;
     $N_n$  changes  $ST_{passive}$  to  $ST_{active}$ ;
     $N_n$  removes old  $ST_{active}$ ; break;
default :
     $N_n$  finds the correspondent  $ST_{passive}$ ;
     $N_n$  changes  $ST_{passive}$  to  $ST_{active}$ ;
     $N_n$  forwards  $M_i$  to  $N_{n+1}$ ; break;
}
    
```

◇ M_i 가 $PATH_{passive}$ 인 경우

표 4는 임의의 노드 N_n 이 $PATH_{passive}$ 메시지를 수신한 경우 노드의 처리 알고리즘을 예시한다. N_n 이 R_{cross} 이거나 $N_{foreign}$ 인 경우 N_n 은 해당 passive 상태 정보를 데이터베이스에서 저장하고 이전 노드에게 $RESV_{passive}$ 를 전송한다. N_n 이 R_n 인 경우 N_n 은 passive 상태 정보를 저장하고 M_i 를 다음 노드에 전달한다.

(표 4) N_n 이 $PATH_{passive}$ 를 수신한 경우의 처리 알고리즘

```
switch ( $N_n$ ) {
case  $R_{cross} \vee N_{foreign}$  :
 $N_n$  stores  $ST_{passive}$ ;  $N_n$  sends  $RESV_{passive}$  to  $N_{n-1}$ ;
break;
case  $R_n$  :
 $N_n$  stores  $ST_{passive}$ ;  $N_n$  forwards  $M_i$  to  $N_{n+1}$ ;
break;
}
```

◇ M_i 가 $RESV_{passive}$ 인 경우

표 5는 임의의 노드 N_n 이 $RESV_{passive}$ 메시지를 수신한 경우 노드의 처리 알고리즘을 예시한다. N_n 이 R_{cross} 또는 R_n 이거나 $N_{foreign}$ 인 경우 N_n 은 해당 passive 상태 정보를 갱신하고 M_i 에서 요구한 대역폭을 예약한다. 특히 N_n 이 R_n 인 경우 N_n 은 M_i 를 다음 노드에 전달한다.

(표 5) N_n 이 $RESV_{passive}$ 를 수신한 경우의 처리 알고리즘

```
if ( $N_n \in R_{cross} \vee N_n \in R_n \vee N_n \in N_{foreign}$ ) {
 $N_n$  refreshes the correspondent  $ST_{passive}$ ;
 $N_n$  reserves the resources required in  $M_i$ ;
if ( $N_n \in R_n$ )
 $N_n$  forwards  $M_i$  to  $N_{n+1}$ ;
}
```

2) 이동 노드가 중첩 지역에 진입한 경우

(표 6) 이동 노드가 중첩 지역에 진입한 경우의 처리 알고리즘

```
/* Refer to the signal strength based pre-reservation
algorithms. MN decides one or more target cells for
pre-reservation */
 $N_{mobile}$  sends  $RESV_{predictive}$  to all  $N_{foreign}$  in  $SET_{pre}$ ;
/* Refer to the Mobile IP registration process, RFC
2002. After hand-off, MN performs Mobile IP
registration process */
 $N_{mobile}$  sends  $RESV_{confirm}$  to  $N_{foreign}$  in the entering cell;
```

표 6은 이동 노드가 중첩 지역에 진입한 경우 이동 노드의 처리 알고리즘을 예시한다. 이동 노드는 $RESV_{predictive}$ 를 SET_{pre} 상의 모든 $N_{foreign}$ 에게 전송한다. 핸드오프 이후 이동 노드는 진입한 셀의 $N_{foreign}$ 에게 $RESV_{confirm}$ 을 전송한다.

2. 예측 자원 예약 알고리즘

1) 예측 자원 예약 시작 시점의 추정

본 논문에서 기반으로 하고 있는 신호 세기 모델은 일반적인 이동 통신 시스템의 이론적인 모델로서 다음과 같은 수식으로 표현된다^[7-8].

t 시점에 수신된 신호 세기가 다음과 같을 때

$$P_c(d_t) = P_c(d_0) - 10\alpha \log(d_t) \quad (1)$$

t 시점과 t-1 시점의 현재 셀의 중심으로부터 이동 노드까지의 거리는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$d_t = 10^{\frac{P_c(d_0) - P_c(d_t)}{10\alpha}} \quad (2)$$

$$d_{t-1} = 10^{\frac{P_c(d_0) - P_c(d_{t-1})}{10\alpha}} \quad (3)$$

따라서 t-1 시점에서 t 시점까지 이동 노드가 이동한 거리가 다음과 같을 때,

$$d_{diff}^{t,t-1} = |d_t - d_{t-1}| \quad (4)$$

t 시점의 이동 노드의 속도는 다음과 같다.

$$V_{N_{mobile}} = \frac{d_{diff}^{t,t-1}}{t_{interval}} \quad (5)$$

t 시점에 인접 셀의 신호 세기와 인접 셀로부터의 거리가 다음과 같을 때,

$$P_k(d_t^{adj}) = P_k(d_0) - 10\alpha \log(d_t^{adj}) \quad (6)$$

$$d_t^{adj} = d_{ck} - d_t \quad (7)$$

따라서, 인접 셀의 신호 세기는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$P_k(d_t^{adj}) = P_k(d_0) - 10\alpha \log(d_{ck} - d_t) \quad (8)$$

핸드오프 시점에 현재 셀의 신호 세기와 인접 셀의 신호 세기는 다음과 같이 서로 교차하므로,

$$P_c(d_{handoff}) = P_k(d_{handoff}^{adj}) \quad (9)$$

현재 셀의 중심으로부터 핸드오프 발생 지점까지의 거리는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$P_c(d_0) - 10\alpha \log(d_{handoff}) = P_k(d_0) - 10\alpha \log(d_{ck} - d_{handoff}) \quad (10)$$

$$\frac{P_k(d_0) - P_c(d_0)}{10\alpha} = \log\left(\frac{d_{ck} - d_{handoff}}{d_{handoff}}\right) \quad (11)$$

$$10 \frac{P_k(d_0) - P_c(d_0)}{10\alpha} = \frac{d_{ck} - d_{handoff}}{d_{handoff}} \quad (12)$$

$$d_{handoff} = \frac{d_{ck}}{10 \frac{P_k(d_0) - P_c(d_0)}{10\alpha} + 1} \quad (13)$$

따라서 이동 노드의 t 시점의 위치 및 시간으로부터 핸드오프 지점 및 시점까지의 거리와 시간이 다음과 같을 때,

$$d_{remained} = d_{handoff} - d_t \quad (14)$$

$$t_{remained} = \frac{d_{remained}}{V_{N_{mobile}}} \quad (15)$$

예측 자원 예약 시작 시점은 다음과 같다.

$$t_{pre} = t_{remained} - t_{required} \quad (16)$$

2) 예측 자원 예약 대상 선정

이동 노드가 중첩 지역에서 i개 인접 셀의 신호를 수신했을 때, 이동 노드는 해당 셀의 이름 $C_{adj}^k \dots C_{adj}^{k+i}$ 를 인접 셀 집합 $SET_{overlapped}$ 에 등록한다. 이동 노드는 $SET_{overlapped}$ 으로부터 예측 자원 예약 대상 셀 집합 SET_{pre} 를 획득한다.

표 7은 3개 셀이 중첩된 경우의 이동 노드의 예측 자원 예약 대상 선정 알고리즘을 예시한다.

(표 7) 3개 셀이 중첩된 경우 이동 노드의 예측 자원 예약 대상 선정 알고리즘

```

if ( $P_{adj}^k(d_t) > P_{adj}^{k+1}(d_t)$  in  $SET_{overlapped}$ ) {
  if ( $P_{adj}^k(d_t) > P_c(d_t)$ )
     $N_{mobile}$  handoff to  $C_{adj}^k$ ;
  else {
    if ( $T_{pre}^k - T_{pre}^{k+1} > \Omega$ )
       $N_{mobile}$  inserts  $C_{adj}^k$  to  $SET_{pre}$ ;
    else
       $N_{mobile}$  inserts  $C_{adj}^k$  and  $C_{adj}^{k+1}$  to  $SET_{pre}$ ;
  }
}
    
```

$SET_{overlapped}$ 에 등록된 셀 중 신호 세기가 가장

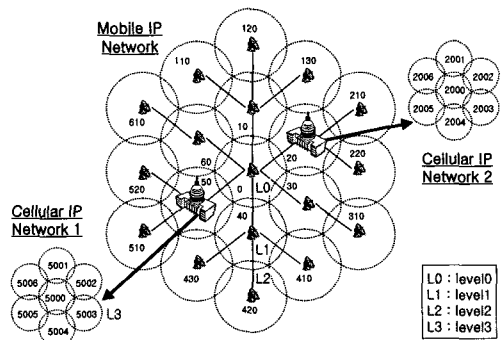
강한 셀의 신호 세기가 현재 셀의 신호 세기 보다 클 경우 이동 노드는 해당 인접 셀로 핸드오프한다. 현재 셀의 신호 세기 보다 작을 경우 두 인접 셀의 예측 자원 예약 시작 시점간의 차가 Ω 보다 클 경우 이동 노드는 신호 세기가 큰 인접 셀만 SET_{pre} 에 등록한다. 예측 자원 예약 시작 시점간의 차가 Ω 보다 크지 않을 경우 두 인접 셀을 모두 SET_{pre} 에 등록한다. 예측 자원 예약 시점에 도달하면 이동 노드는 SET_{pre} 에 등록된 인접 셀을 대상으로 예측 자원 예약을 수행한다.

V. 성능 평가

지금까지 이동 컴퓨팅 환경에서 통합 이동성을 지원하는 QoS 보장형 I-MRSVP 프로토콜에 관한 네트워크 모델, 동작 원리 및 알고리즘을 소개하였다. 본 장에서는 무선 네트워크 기반 시뮬레이션 모델을 정의하고 I-MRSVP와 2장에서 소개된 MRSVP 프로토콜을 대상으로 시뮬레이션 모델에서 각 노드의 대역폭이 제한되지 않은 경우의 총 예측 자원 예약 요구 대역폭과 각 노드의 대역폭이 제한된 경우의 평균 예측 자원 예약 시간을 측정함으로써 두 프로토콜을 비교/분석한다.

1. 시뮬레이션 모델

시뮬레이션 모델의 정의 및 시뮬레이션의 실행은 DEVS(Discrete Event Simulation)^[9] 기반의 이산 사건 시뮬레이터인 DEVS Scheme과 DEVSim++^[10] 이 사용되었다. 그림 16은 광역 셀과 협역 셀로 구성된 무선 네트워크 시뮬레이션 모델을 예시한다.



(그림 16) 무선 네트워크 시뮬레이션 모델

모델에 대한 구성 및 가정은 다음과 같다. 19개 광역 셀과 14개 협역 셀로 구성된다.

- 모든 셀의 기지국은 0번 셀을 중심으로 계층적으로 연결된다.
- 각 셀과 0번 셀간의 거리(링크 수)에 따라 단계가 L0에서 L3까지 할당된다(협역 셀-L3).
- 협역 셀들은 협역 셀을 포함하는 광역 셀의 기지국과 직접 연결되며, 광역 셀의 기지국은 포함하는 협역 셀의 외부 게이트웨이가 된다.
- 이동 노드는 시뮬레이션 모델 상의 19개 광역 셀 중 임의의 셀에 도착하여 임의의 시간 동안 각 셀에 머물면서 인접 셀의 자원을 예측 자원 예약한 후 핸드오프 하고 도착한 시간으로부터 임의의 시간이 지나면 시뮬레이션 모델 상의 셀을 떠난다.
- 시뮬레이션은 각 상태에 대해 5회 실시한 평균을 1회 결과로 한다.
- 시뮬레이션에 사용된 상태 변수의 정의는 표 8과 같다.

(표 8) 시뮬레이션 상태 변수의 정의

기호	정의	값/단위
D_w	링크 당 무선 전송 지연	0.2초
D_f	링크 당 유선 전송 지연	0.1초
σ	예측 자원 예약 당 요구 대역폭	256Kbps
B_{max}	제한 대역폭	50Mbps
$M_{arrival}$	이동 노드 도착 간격	지수분포
$M_{handoff}$	이동 노드 핸드오프 간격	지수분포
$M_{lifetime}$	이동 노드 네트워크 체류 시간	지수분포
T_{run}	시뮬레이션 시간	24시간
B_{total}	셀평균 총 예측자원예약요구대역폭	Mbps
N	총 셀의 갯수	
C_i^{pre}	i셀의 예측자원예약 횟수	
C_i^{msg}	i셀에서 필요한 예측자원예약 메시지 수	
PR_k^i	i셀에서의 k번째 예측자원예약	
E_i^{CR}	i셀에서 교차라우터까지의 링크 수	
E_i^{adj}	i셀에서 인접 셀까지의 링크 수	
M_k	k번째 예측자원예약 관련 메시지	
T_{MIP}	MIP 네트워크 예측자원예약지연	초
T_{CIP}	CIP 네트워크 예측자원예약지연	초
T_{CIP}	평균 예측자원예약지연	초

2. 시뮬레이션 결과

1) 평가 모델

◇ 셀 평균 총 예측 자원 예약 부하

셀 평균 총 예측 자원 예약 부하는 각 셀의 대역폭이 제한되지 않았을 경우 시뮬레이션 시간 동안 각 셀에 요구된 총 예측 자원 예약 부하의 셀 평균을 의미한다. 총 예측 자원 예약 부하는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$B_{total} = \frac{\sum_{i=0}^N \sum_{k=0}^{C_i^{pre}} (\sigma \times PR_k^i)}{N} \quad (17)$$

◇ 평균 예측 자원 예약 지연

평균 예측 자원 예약 지연은 각 셀의 대역폭이 제한되었을 경우 시뮬레이션 시간 동안 요구된 모든 예측 자원 예약 지연의 평균을 의미한다. 평균 예측 자원 예약 지연은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$T_{MIP} = \frac{\sum_{i=0}^N \sum_{k=0}^{C_i^{pre}} \left(D_w + D_f \times E_i^{CR} \times \sum_{k=0}^{C_i^{msg}} M_k \right)}{N \times C_i^{pre}} \quad (18)$$

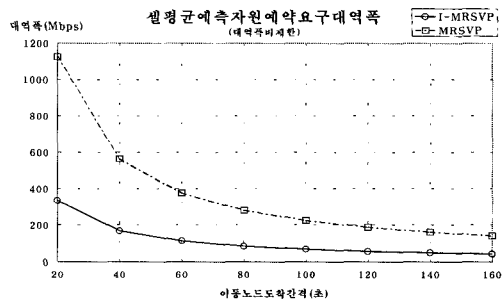
$$T_{CIP} = \frac{\sum_{i=0}^N \sum_{k=0}^{C_i^{pre}} \left(D_f \times E_i^{adj} + D_f \times E_i^{CR} \times \sum_{k=0}^{C_i^{msg}} M_k \right)}{N \times C_i^{pre}} \quad (19)$$

$$T_{avg} = T_{MIP} + T_{CIP} \quad (20)$$

2) 시뮬레이션 결과

◇ 이동 노드 도착 간격에 따른 평가

이동 노드의 도착 간격에 따른 평가는 시뮬레이션 시간 동안 요구된 셀 평균 예측 자원 예약 요구 대역폭, 이동 노드 평균 예측 자원 예약 요구 대역폭, 예측 자원 예약에 소요된 셀 평균 예측 자원 예약 시간, 이동 노드 평균 예측 자원 예약 시간 및 대역폭이 제한되었을 때의 예측 자원 실패율 등을 중심으로 수행되었다.

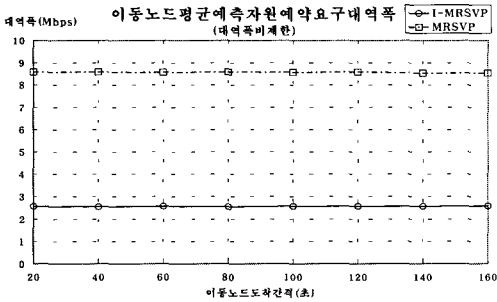


(그림 17) 이동 노드 도착 간격에 따른 셀 평균 예측 자원 예약 요구 대역폭

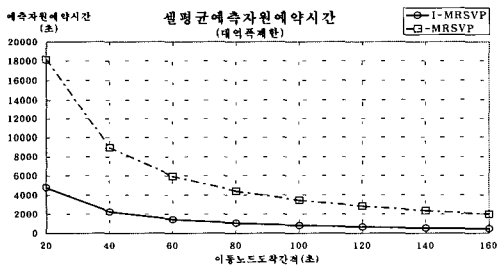
그림 17은 대역폭이 제한되지 않았을 때의 셀 평균 예측 자원 예약 요구 대역폭을 예시한다. 이동 노드의 도착 간격이 20초일 경우 I-MRSVP와 MRSVP에서 이동 노드들은 각각 334Mbps와 1125Mbps의 요구 대역폭을 필요로 하고 있고 이동 노드의 도착 간격이 길어짐에 따라 요구 대역폭도 빠르게 감소하다가 이동 노드의 도착 간격이 160초인 시점에서는 각각 40Mbps와 140Mbps의 요구 대역폭을 필요로 하고 있다.

그림 18은 대역폭이 제한되지 않았을 때의 이동 노드 평균 예측 자원 예약 요구 대역폭을

예시한다. 이동 노드의 도착 간격이 20초일 경우 I-MRSVP와 MRSVP에서 이동 노드는 각각 약 2.6Mbps와 8.6Mbps의 요구 대역폭을 필요로 하고 있고 이동 노드의 도착 간격이 길어짐에 따라 요구 대역폭은 거의 변화가 없는 것을 볼 수 있다. 즉, 이동 노드의 도착 간격은 이동 노드 평균 예측 자원 예약 요구 대역폭에 큰 영향을 주지 못하는 것을 알 수 있다.



(그림 18) 이동 노드 도착 간격에 따른 이동 노드 평균 예측 자원 예약 요구 대역폭

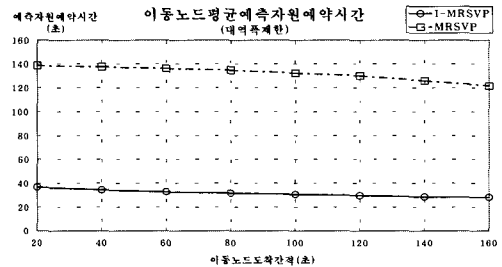


(그림 19) 이동 노드 도착 간격에 따른 셀 평균 예측 자원 예약 시간

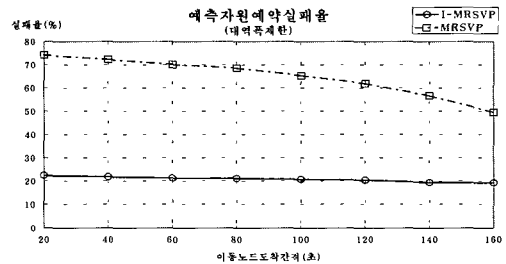
그림 19는 대역폭이 제한되었을 때의 셀 평균 예측 자원 예약 시간을 예시한다. 이동 노드의 도착 간격이 20초일 경우 I-MRSVP와 MRSVP에서 각 셀은 시뮬레이션 기간 24시간 동안 각각 약 4800초(1시간20분)와 18150초(5시간)의 시간이 예측 자원 예약에 소요되고 있고 이동 노드의 도착 간격이 길어짐에 따라 예측 자원 예약 소요 시간이 큰 폭으로 감소하다가 이동 노드의 도착 간격이 160초인 시점에서는 각각 4620초(7.7분)와 2000초(33분)의 시간이 소요되고 있다.

그림 20은 대역폭이 제한되었을 때의 이동 노드 평균 예측 자원 예약 시간을 예시한다. 이동 노드의 도착 간격이 20초일 경우 I-MRSVP

와 MRSVP에서 각 이동 노드는 시뮬레이션 기간 24시간 동안 각각 약 37초와 139초의 예측 자원 예약 시간을 요구하고 있고 이동 노드의 도착 간격이 길어짐에 따라 예측 자원 예약 시간은 매우 완만하게 감소하다가 이동 노드의 도착 간격이 160초인 시점에서는 각각 28초와 122초의 시간이 소요되고 있다. 각 이동 노드의 예측 자원 시간이 매우 완만하게 감소하는 이유는 대역폭 제한으로 인하여 예측 자원 예약을 위해 대기하고 있는 이동 노드들의 적체가 이동 노드의 도착 간격의 길어짐과 비례하여 해소되지 않기 때문이다. 따라서 이동 노드의 도착 간격이 상당히 길어지면 이러한 적체는 해소되고 예측 자원 예약 소요 시간은 급격히 감소할 것으로 추정된다.



(그림 20) 이동 노드 도착 간격에 따른 이동 노드 평균 예측 자원 예약 시간



(그림 21) 이동 노드 도착 간격에 따른 예측 자원 예약 실패율

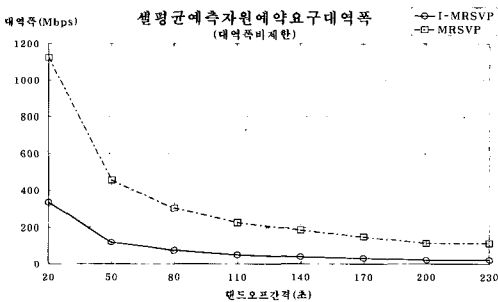
그림 21은 대역폭이 제한되었을 때의 예측 자원 예약 실패율을 예시한다. 이동 노드의 도착 간격이 20초일 경우 I-MRSVP와 MRSVP에서 약 22.4%와 74.2%의 예측 자원 예약 실패율을 보이고 있다. 이동 노드의 도착 간격이 길어짐에 따라 MRSVP의 예측 자원 예약 실패율은 빠른 감소세를 보이고 있고 I-MRSVP의 예측 자원 예약 실패율은 완만하게 감소하고 있

다. 이동 노드의 도착 간격이 160초일 경우 I-MRSVP와 MRSVP에서 약 19.1%와 49.5%의 예측 자원 예약 실패율을 보이고 있다.

◇ 이동 노드 핸드오프 간격에 따른 평가

이동 노드의 핸드오프 간격에 따른 평가는 도착 간격에 따른 평가와 마찬가지로 시뮬레이션 시간 동안 요구된 셀 평균 예측 자원 예약 요구 대역폭, 이동 노드 평균 예측 자원 예약 요구 대역폭, 예측 자원 예약에 소요된 셀 평균 예측 자원 예약 시간, 이동 노드 평균 예측 자원 예약 시간 및 대역폭이 제한되었을 때의 예측 자원 실패율 등을 중심으로 수행되었다.

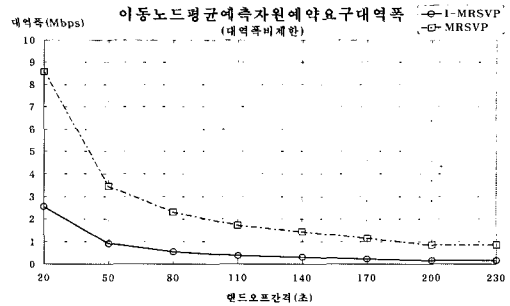
그림 22는 대역폭이 제한되지 않았을 때의 셀 평균 예측 자원 예약 요구 대역폭을 예시한다. 이동 노드의 핸드오프 간격이 20초일 경우 I-MRSVP와 MRSVP에서 이동 노드들은 각각 약 333Mbps와 1126Mbps의 요구 대역폭을 필요로 하고 있고 이동 노드의 핸드오프 간격이 길어짐에 따라 요구 대역폭도 빠르게 감소하다가 이동 노드의 핸드오프 간격이 230초인 시점에서는 각각 약 23Mbps와 113Mbps의 요구 대역폭을 필요로 하고 있다.



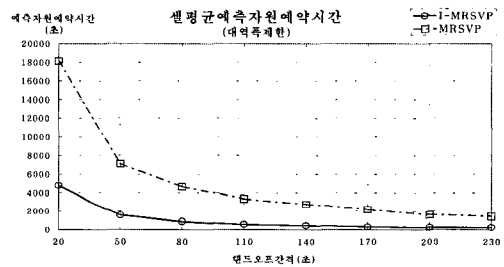
(그림 22) 이동 노드의 핸드오프 간격에 따른 셀 평균 예측 자원 예약 요구 대역폭

그림 23은 대역폭이 제한되지 않았을 때의 이동 노드 평균 예측 자원 예약 요구 대역폭을 예시한다. 이동 노드의 핸드오프 간격이 20초일 경우 I-MRSVP와 MRSVP에서 이동 노드는 각각 약 2.5Mbps와 8.5Mbps의 요구 대역폭을 필요로 하고 있고 이동 노드의 핸드오프 간격이 길어짐에 따라 요구 대역폭도 빠르게 감소하다가 이동 노드의 핸드오프 간격이 230초인 시점에서는 각각 약 0.18Mbps와 0.85Mbps의 요구 대역폭을 필요로 하고 있다. 즉, 이동 노드 평균 예측 자원 예약 요구 대역폭은 이동 노드의

도착 간격 보다 이동 노드의 핸드오프 간격에 민감한 영향을 받는 것을 확인할 수 있다.



(그림 23) 이동 노드 핸드오프 간격에 따른 이동 노드 평균 예측 자원 예약 요구 대역폭

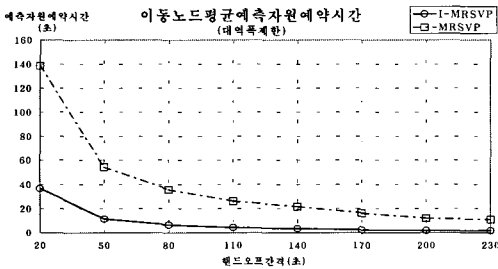


(그림 24) 이동 노드 핸드오프 간격에 따른 셀 평균 예측 자원 예약 시간

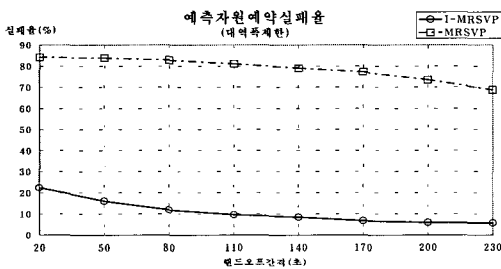
그림 24는 대역폭이 제한되었을 때의 셀 평균 예측 자원 예약 시간을 예시한다. 이동 노드의 핸드오프 간격이 20초일 경우 I-MRSVP와 MRSVP에서 각 셀은 시뮬레이션 기간 24시간 동안 각각 약 4,800초(1시간20분)와 18,000초(5시간)의 시간이 예측 자원 예약에 소요되고 있고 이동 노드의 핸드오프 간격이 길어짐에 따라 예측 자원 예약 소요 시간도 빠르게 감소하다가 이동 노드의 핸드오프 간격이 230초인 시점에서는 각각 236초(3.9분)와 1,458초(24.3분)의 시간이 소요되고 있다.

그림 25는 대역폭이 제한되었을 때의 이동 노드 평균 예측 자원 예약 시간을 예시한다. 이동 노드의 핸드오프 간격이 20초일 경우 I-MRSVP와 MRSVP에서 각 이동 노드는 시뮬레이션 기간 24시간 동안 각각 약 36.7초와 138초의 예측 자원 예약 시간을 요구하고 있고 이동 노드의 핸드오프 간격이 길어짐에 따라 예측 자원 예약 시간은 빠르게 감소하다가 이동 노드의 핸드오프 간격이 230초인 시점에서는

각각 1.8초와 11.1초의 시간이 소요되고 있다. 즉, 이동 노드 평균 예측 자원 예약 시간은 이동 노드의 도착 간격 보다 이동 노드의 핸드오프 간격에 민감한 영향을 받는 것을 확인할 수 있다.



(그림 25) 이동 노드 핸드오프 간격에 따른 이동 노드 평균 예측 자원 예약 시간



(그림 26) 이동 노드 핸드오프 간격에 따른 예측 자원 예약 실패율

그림 26은 대역폭이 제한되었을 때의 예측 자원 예약 실패율을 예시한다. 이동 노드의 핸드오프 간격이 20초일 경우 I-MRSVP와 MRSVP에서 약 22.4%와 84.2%의 예측 자원 예약 실패율을 보이고 있다. 이동 노드의 핸드오프 간격이 길어짐에 따라 예측 자원 예약 실패율은 완만하게 감소하다가 이동 노드의 핸드오프 간격이 230초일 경우 I-MRSVP와 MRSVP에서 약 5.73%와 68.8%의 예측 자원 예약 실패율을 보이고 있다.

상기 예시한 이동 노드 도착 간격 및 핸드오프 간격에 따른 예측 자원 예약 요구 대역폭과 예측 자원 예약 시간 및 예측 자원 예약 실패율 등에서 I-MRSVP는 MRSVP 보다 전반적으로 좋은 성능을 보임을 알 수 있다.

VI. 결론

본 논문에서는 이동 컴퓨팅 환경에서 통합 이동성을 지원하는 QoS 보장형 I-MRSVP 프로토콜의 주요 기능과 동작 원리를 제시하였다. I-MRSVP에서는 이동 컴퓨팅 환경에서의 광역/협역 이동성의 통합 지원과 QoS 보장을 위해 Mobile IP/Cellular IP와 RSVP를 연동하는 방안을 제시하였다. 또한, 신호 세기 기반 예측 자원 기법을 사용하여 I-MRSVP는 효율적인 예측 자원 예약 대상 선정과 예측 자원 예약 시점 추정을 제공할 수 있었다.

향 후 I-MRSVP를 통한 예측 자원 예약이 좀더 구체화되기 위해서는 실제 무선 네트워크 구조에 대한 세밀한 분석과 셀들의 중첩 지역에서 신호세기 변화에 대한 여러 실험들이 다각적으로 수행되어 예측 자원 예약에 필요한 실질적인 상태 정보들이 도출되어야 할 것으로 보인다.

참고 문헌

- [1] A. K. Talukdar, B. R. Badrinath, and A. Acharya, "MRSVP: A Reservation Protocol for an Integrated Services Packet Network with Mobile Hosts," *Dept. of Computer Science, Technical report TR-337, Rutgers Univ.*, 1997.
- [2] A. Terzis, M. Srivastava, and L. Zhang, "A Simple QoS Signaling Protocol for Mobile Hosts in the Integrated Service Internet," *IEEE INFOCOM '99*, Vol.3, pp.1011-1018, 1999.
- [3] G. Chiruvolu, A. Agrawal, and M. Vandenhouste, "Mobility and QoS support for IPv6-based Real-time Wireless Internet Traffic," *IEEE International Conference on Communication '99*, Vol.1, pp.334-338, 1999.
- [4] W. T. Chen and L. C. Huang, "RSVP Mobility Support: A Signaling Protocol for Integrated Services Internet with Mobile Hosts," *IEEE INFOCOM 2000*, Vol.3, pp.1283-1292, 2000.

