

모바일 핫스팟: 차량 내 WiFi 접속 기술 연구 동향

김영현, 백상헌
고려대학교

요약

본 고에서는 차량 내에서 WiFi 기기를 사용하여 사용자들에게 인터넷 접속 서비스를 제공하는 구조인 모바일 핫스팟(Mobile Hotspot)에 대한 연구 동향을 기술한다. 모바일 핫스팟과 관련된 연구 주제로는 1) 차량이 이동하더라도 인터넷 서비스를 끊임 없이 제공하는 이동성 관리 기술, 2) 사용자들의 향상된 서비스 품질을 보장하는 기술, 그리고 3) 모바일 핫스팟의 성능을 심도있게 분석하는 연구 등이 있다. 본 고에서는 이와 같은 연구 주제로 진행된 연구 결과를 정리하고 향후 연구 주제를 살펴본다.

I. 서론

지난 2009년에 자동차 IT 융합 기술발전을 위해 현대기아자동차와 정보통신연구진흥원, 마이크로 소프트사가 함께 차량 IT 혁신 센터(AIIC: Automotive IT Innovation Center)를 출범하였다. 차량 IT 혁신 센터는 IT 중소기업의 연구개발 지원은 물론 미래 차량 IT 신기술과 차량용 통신, 텔레매틱스(telematics), 위치 기반 서비스(location based service: LBS) 등의 최첨단 기술 개발을 목표로 한다. 이 외에도 첨단 교통 기술과 교통 정보를 활용한 지능적 교통체계의 운영을 위해, 미국과 유럽, 일본 등 세계적으로 ITS(Intelligent Transport System) 프로젝트를 십수 년 전부터 진행하고 있다 [1]. 이와 같은 경향은 미래의 네트워크 환경에서 차량을 통한 인터넷 서비스가 매우 큰 비중을 차지할 것을 보여준다.

차량 네트워크에서의 대표적인 인터넷 접속 아키텍처로는 모바일 핫스팟(Mobile Hotspot) 구조가 있다 [2]. 모바일 핫스팟은 <그림 1>과 같이 WLAN(Wireless Local Area Network)과 WWAN(Wireless Wide Area Network) 두 이질적인 네트워크가 결합된 구조로서, 빠르게 이동하는 차량 내의 승객들에게 인터넷 서비스를 제공하기 위해 제안된 구조이다. WLAN

과 WWAN을 위한 무선접속 기술로는 각각 Wi-Fi(Wireless Fidelity)와 cellular가 대표적으로 활용된다. 모바일 핫스팟은 두 개의 이질적인 네트워크가 결합된 구조이기 때문에, 두 네트워크 사이의 중계(relay) 역할을 하는 새로운 access point(AP)가 정의되어, 차량에 설치된 AP는 차량 내의 승객들과 외부의 기지국(base station: BS) 사이의 연결을 중계한다.

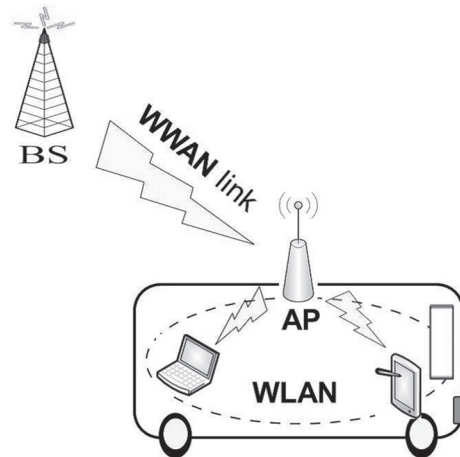


그림 1. 모바일 핫스팟 구조

모바일 핫스팟의 장점은 다음과 같다. 우선, 차량 내의 승객들은 외부의 기지국이 아닌 차량에 설치된 AP와 Wi-Fi를 통해 통신을 하기 때문에, 사용자 단말의 배터리를 절약할 수 있고 [3], 보다 나은 무선 채널 상태를 유지할 수 있다. 그리고 실질적으로 외부의 기지국과 연결되어 있는 것은 AP이기 때문에, 차량의 이동성에 따르는 시그널링 메시지 오버헤드를 줄일 수 있다. 또한 WWAN을 위한 무선 자원을 절약할 수 있는 장점을 취한다.

우리나라에서는 2008년부터 모바일 핫스팟 구조를 활용하여 KTX(Korea Train eXpress) 승객들에게 인터넷 서비스를 제공하고 있고, 최근에는 고속버스와 택시 내에서도 인터넷에 접속할 수 있다. 그러나 승객들이 느끼는 서비스 수준은 매우 낮은 상태이다. 실제로 모바일 핫스팟 내에서 진행한 성능측정 연구 결과, 불안정한 통신상태와 매우 낮은 uplink throughput

등으로 인해, VoIP (voice over IP)와 같은 실시간 멀티미디어 서비스를 사용하는 데에 제약이 있는 것을 확인하였다 [4]. 이는 모바일 핫스팟 구조에서의 효율적인 이동성 관리와 자원관리 기법 등의 부재로 인한 것으로, 이에 대한 연구의 필요성을 제시하였다.

모바일 핫스팟과 관련된 연구주제는 다음과 같이 크게 세 가지로 나눌 수 있다.

- 이동성 관리
- 서비스 품질 개선
- 성능 분석 연구

본 고에서는 모바일 핫스팟과 관련하여 발표된 기존 연구 결과들을 정리하고 향후 연구 이슈와 과제를 살펴본다.

II. 이동성 관리 연구

모바일 핫스팟의 이동성 관리는 차량이 서로 다른 cell area를 이동하더라도 차량 내의 승객들에게 인터넷 서비스를 끊임 없이 제공하도록 하는 것이 주요 과제이다. 모바일 핫스팟의 이동성을 제공하기 위한 대표적인 네트워크 계층의 프로토콜은 Internet engineering task force (IETF)에서 제안한 network mobility basic support (NEMO BS) 프로토콜이다 [5].

NEMO BS 프로토콜 상에서, 차량에 탑승한 이동 노드의 위치 등록 과정은 다음과 같다. 우선, 모바일 핫스팟, 즉 차량 내에 새로 들어온 이동 노드는 mobile router¹ (MR)의 mobile network prefix (MNP)를 이용하여 차량 내에서 임시로 사용할 주소인 care-of address (CoA)를 생성한다. 이후, 이동 노드는 자신의 고유한 주소인 home address (HoA)와 새로 생성한 CoA를 사용하여 이동 노드의 home agent (HA)에게 위치 등록 (location update)을 한다. 이렇게 각 이동 노드의 위치 등록이 완료된 후 차량이 서로 다른 서브넷으로 이동하더라도, 차량 내의 이동 노드들은 MR로부터 항상 같은 MNP 정보를 수신하기 때문에, 차량의 이동을 인지하지 못하고 위치 등록을 더 이상 하지 않는다. 그러나 MR은 새로운 서브넷에서의 prefix 정보를 사용하여 이에 맞는 IP 주소를 생성한 후, MR의 HA에게 위치 정보를 등록해야 한다.

MR의 위치등록 과정은 다음과 같다. 모바일 핫스팟이 외부 네트워크 (foreign network)로 이동하면, MR은 외부 네트워

크의 prefix를 사용하여 외부 네트워크에서 임시로 사용할 주소인, CoA를 새로 형성한다. 그리고 MR은 새롭게 구성한 CoA와 MR의 고유한 주소인 home address (HoA)를 사용하여 binding update (BU) 메시지를 생성한다. 마지막으로 MR이 BU 메시지를 MR의 HA에게 보냄으로서 모바일 핫스팟의 위치 등록은 완료된다.

위와 같이 MR과 이동 노드가 각각의 HA에게 위치등록을 완료한 후, 상대 노드 (correspondent node)로부터 이동 노드에게 패킷이 전달되는 과정은 <그림 2>와 같다. (1) 상대 노드는 이동 노드의 HoA로 패킷을 전송한다. (2) 이동 노드의 HA는 이동 노드의 HoA로 오는 패킷을 인터셉트한 후, 이동 노드의 HoA에 대응하는 CoA로 패킷을 전달한다. 이동 노드의 CoA는 MR의 prefix인 MNP를 이용하여 생성된 주소이기 때문에, 이동 노드의 CoA로 전송되는 패킷들은 MR의 홈 네트워크로 향하고, MR의 HA는 이 패킷을 인터셉트한다. (3) MR의 HA는 패킷을 MR의 CoA로 전달하고, 패킷을 받은 MR은 최종 목적지인 이동 노드의 CoA로 패킷을 전송한다. 위와 같은 과정을 거쳐, 모바일 핫스팟 내의 이동 노드는 상대 노드로부터 패킷을 수신할 수 있다. 이동 노드에서 상대 노드로 향하는 패킷은, mobile IPv6 (MIPv6)와 달리 NEMO BS 프로토콜에서는 home address option을 제공하지 않기 때문에, MR의 HA로 터널링된 후 전달된다.

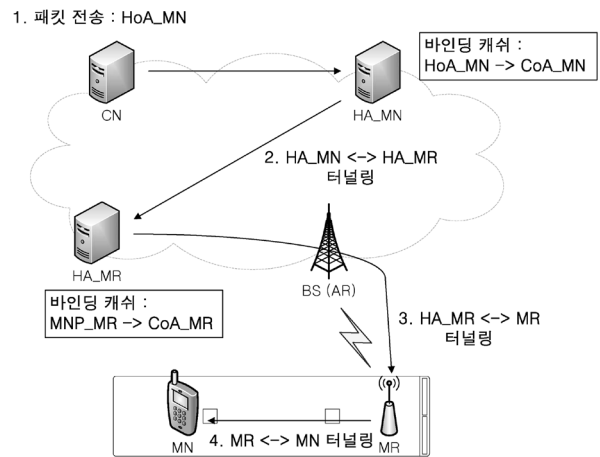


그림 2. 모바일 핫스팟의 패킷 전달 과정

비록 NEMO BS 프로토콜이 네트워크의 이동성을 제공하기 위해 잘 정의된 (well-defined) 표준이지만, 경로 최적화와 (route optimization) 관련하여 문제점을 지니고 있다 [6]. <그림 2>에서처럼 상대 노드에서 이동 노드로 향하는 패킷은 이동 노드의 HA와 MR의 HA, 그리고 MR의 HA와 MR 사이에서 터널링을 거쳐야 한다. 이동 노드와 마찬가지로 상대 노드 역시

¹ Mobile router (MR)는 NEMO BS 프로토콜에서 이동성 관리를 위해 정의한 네트워크 장비로서, <그림 1>의 AP처럼, 사용자들의 트래픽은 차량에 설치된 MR을 거쳐 인터넷으로 전달된다.

다른 모바일 핫스팟 내에 있다면, 상대 노드로 향하는 패킷도 여러 번의 터널링을 거쳐야 한다. 터널링에 대한 오버헤드로는 패킷 사이즈의 증가, 경로가 길어짐에 따르는 패킷 전송 지연(delay), 터널링을 위한 encapsulation, decapsulation의 처리 지연(processing delay), 홈 네트워크의 병목(bottleneck) 현상 등이 있다. 이 문제를 해결하기 위해, 모바일 핫스팟이 접속한 AR의 prefix를 이동 노드들에게 직접 알려주는 delegation 기법, 이동 노드와 MR의 CoA를 상대 노드에게 통보하여 경로 최적화를 이루는 source routing 등의 기법들이 제안되었다 [7]. 그러나 delegation과 source routing 기법 등은 차량이 다른 서브넷으로 이동할 때마다 차량 내의 노드들이 각각의 HA에게 위치 등록 메시지를 전달해야 하는, NEMO 철학에 위배되는 이슈가 여전히 존재한다.

NEMO BS 프로토콜은 호스트 기반의 중앙 집중형(centralized) 이동성 관리 기법이다. 호스트 기반의 이동성 관리 기법은 이를 위한 기능들을 사용자 단말에서 처리하기 때문에, 단말에서의 배터리 문제와 프로세싱 오버헤드 등의 문제가 존재한다. 또한 중앙 집중형 이동성 관리 기법에서는 단 하나의 이동성 관리 서버만이 정의되어 동작하기 때문에 서버의 병목 현상과 단일 고장점(single point of failure) 문제가 존재한다. 이러한 문제를 해결하기 위해, 분산(distributed) 이동성 관리 시스템 상에서의 NEMO 기법과 네트워크 기반의 이동성 관리 시스템(proxy mobile IPv6: PMIPv6)에서의 NEMO 기법이 각각 최근에 제안되었다.

[8]과 [9]에서는 각각 차량 내의 사용자들이 항상 차량 내에 있는 local fixed node(LFN)와 차량에 승차, 하차를 하는 mobile network node(MNN)로 가정한 후, PMIPv6 상에서의 NEMO 기법을 제안하였다. [8]에서는 PMIPv6 네트워크 상에서 NEMO를 구현하기 위한 시그널링 메시지들의 교환 과정을 제안한 후, 이 과정에 대한 수학적 모델을 개발하여 시그널링 비용과 핸드오프 지연 등을 분석하였다. 반면에 [9]에서는, 사용자들이 차량에 탑승하고 차량에서 하차하는 경우를 고려한 사용자들의 핸드오프와 차량의 이동에 따르는 핸드오프 과정을 제안하였다. [9]의 주요 아이디어는 이동성 관리 서버에 사용자가 차량의 MR에 접속되어 있는지, 혹은 외부의 AR에 연결되어 있는지를 판단할 수 있는 필드를 새롭게 추가하여 패킷의 포워딩과 핸드오프를 가능하게 한 것이다. 이 외에 [10]과 [11] 또한, PMIPv6 상에서 NEMO 기법을 제안하였다.

[12]에서는 모바일 핫스팟의 핸드오프 지연을 줄이기 위해, proxy-aided simultaneous handover(PASH) 기법을 제안하였다. PASH 기법에서는 local proxy인 session control manager(SCM)을 새롭게 정의한다. SCM은 SIP와 관련된 시

그널링 메시지들을 버퍼에 저장하고 URL-list 서비스를 제공하는 역할을 한다. URL-list란 차량 내의 사용자들과 통신하고 있는 상대 노드들의 집합으로서, 이것을 사용하여 차량이 다른 서브넷으로 이동하더라도 무선 상이 아닌 유선 상에서 상대 노드들과의 재접속을 요청할 수 있다. 즉, 각 서브넷에서 모바일 핫스팟의 효율적인 이동성 관리를 위해 SCM을 새롭게 제안한 것이 PASH 기법의 주요 아이디어이다. PASH 기법에 의해 차량이 핸드오프 시, 차량 내 승객들의 세션을 빠르게 재설정할 수 있고, 최적의 라우팅 경로를 재구성할 수 있음을 수학적 모델링을 통해 증명하였다.

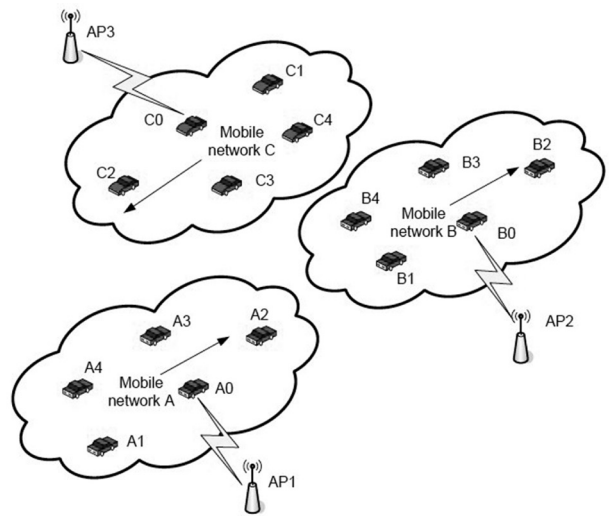


그림 3. 클러스터 차량 시스템 [13]

마지막으로 [13]에서는 지리적으로 가까운 여러 대의 차량들을 하나의 클러스터(cluster)로 정의한 후, 새로운 이동성 관리 기법을 제안하였다. 하나의 클러스터 내에는 클러스터 센터 노드(center node)와 클러스터 헤드 노드(head node), 클러스터 테일 노드(tail node), 일반(general) 클러스터 노드, 이렇게 네 종류의 노드들이 정의된다. <그림 3>에서처럼, 클러스터 센터 노드는 차량 외부의 AP와 직접 연결되어 있는 차량(e.g., A0, B0, C0)이고, 클러스터 헤드 노드와 클러스터 테일 노드는 클러스터 내의 진행방향에 따라 맨 앞과 맨 뒤에 위치해 있는 차량이다. 예를 들어, 이동 네트워크 A와 C에서 클러스터 헤드 노드와 테일 노드는 각각 (A2, A1)과 (C2, C1)이다. 나머지 차량들은 일반 클러스터 노드로 간주된다. 이 후, 클러스터 내의 노드들은 클러스터 센터 노드를 통해 인터넷 접속을 할 수 있다. 각 클러스터가 핸드오프 시, 클러스터 센터 노드는 미리 다음(next) 서브넷으로 이동하기 전에 클러스터 헤드 노드를 통해 핸드오프 요청을 다음 서브넷의 AP에게 전달한다. 이를 통해, 클러스터의 핸드오프 지연은 일반 NEMO BS 프로토콜에

비해 약 80%정도 줄어드는 것이 확인되었다.

III. 서비스 품질 개선 연구

QoS는 사용자가 느끼는 서비스 수준을 나타내는 것으로서 서비스의 종류마다 QoS를 결정하는 요소는 달라진다. FTP (File Transfer Protocol)와 HTTP (HyperText Transfer Protocol)와 같은 데이터 기반의 서비스는 데이터 전송 속도와 신뢰성 있는 데이터 교환이 QoS의 만족도를 결정하는 주요 요소이다. 반면, VoIP와 IPTV와 같은 실시간 스트리밍 서비스의 경우, 데이터 전송 속도가 아닌, 서비스를 끊이지 않고 지속적으로 유지시키는 것이 QoS를 결정짓는 척도가 된다. 모바일 핫스팟과 같은 이동 환경에서는 이동 단말에게 인터넷 서비스를 끊기지 않고 유사한 수준의 서비스를 제공하는 것에 주로 초점이 맞춰진다.

일정 수준의 인터넷 서비스를 사용자들에게 제공하기 위해, 서비스를 제공받는 사용자들의 수를 제한하는 것은 일반적으로 널리 알려진 방법이다. 다시 말해, 인터넷 사용자의 수가 미리 정의된 임계치 (threshold)를 넘어서면 더 이상 새로운 사용자들에게 인터넷 접속을 허용하지 않게 하는 것이다. 또한 대부분의 사용자들은 특정 서비스가 중간에 끊기는 상황을 최초로 서비스를 받기 위해 조금 기다리는 것보다 훨씬 좋지 않게 느끼기 때문에, 핸드오프 사용자들을 위해 얼마간의 무선 자원을 예약해 두는 방법 역시 널리 사용된다. 본 장에서는 모바일 핫스팟에서의 QoS 개선을 위해 제안된 세 가지 연구에 대해 서술한다. [14]는 모바일 핫스팟 내에서의 무선 자원을 효율적으로 활용하는 방안에 대한 것이고, [15]는 차량이 핸드오프 시, 필요로 하는 무선 자원을 미리 예약하는 기법을 제안한다. 마지막으로 [16]에서는 인터넷 상에서 차량이 필요로 하는 대역폭을 예약하기 위한 방안을 제시한다.

[14]는 차량이 멈춰있을 때에만 승객들이 차량에 승차 혹은 하차를 할 수 있는 특징에 착안하여, 차량이 멈추고 이동할 때에 따라 적응적으로 핸드오프 사용자들을 위한 guard channel을 설정하거나 해제하는 mobility-aware call admission control (MA-CAC) 기법을 제안한다. Guard channel은 핸드오프 사용자들을 위해 남겨둔 일정량의 무선 자원으로서, 이는 핸드오프 사용자가 차량에 탑승하더라도 인터넷 서비스를 끊이지 않고 지속적으로 가능하게 하기 위한 것이다. 차량이 이동 중에는 승객들이 승차, 하차를 하지 않기 때문에 핸드오프 사용자 발생하지 않는다. 따라서 차량이 이동 중에도 guard channel을 계속 남겨두는 것은 무선 자원을 낭비하는 결과를 초래하므로, 차량이 이동 중에는 guard channel을 해제하도록 하는 것이

MA-CAC의 주요 아이디어다. <그림 4>는 MA-CAC 기법에서 차량의 상태 (stop phase, moving phase)에 따라 무선 채널을 할당하는 것을 묘사한다. <그림 4>에서 모바일 핫스팟 내의 무선 자원은 C로 가정하고, C-S channel은 핸드오프 사용자들을 위해 예약해 둔 자원을 의미한다. 또한 K는 시스템 내의 무선 자원이 모두 사용될 때를 대비하여 핸드오프 사용자가 대기할 수 있는 큐 (queue)의 크기를 나타낸다.

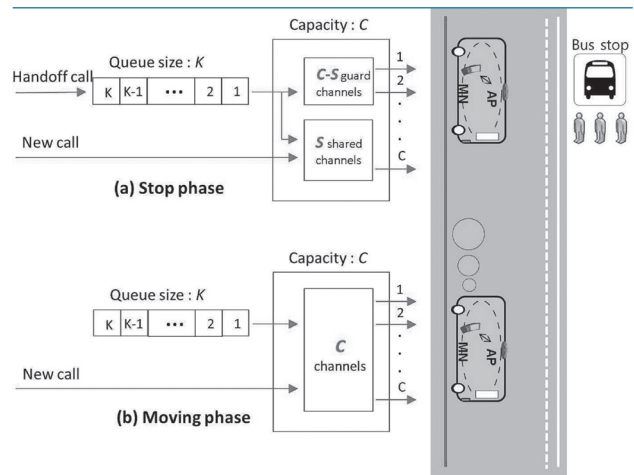


그림 4. MA-CAC의 채널 할당 [14]

<그림 5>는 제안된 MA-CAC 알고리즘을 보여준다. 새로운 call이 시스템 내로 들어오면, AP는 우선 이것이 new call 인지 handoff call 인지 판단한다. 이 때, new call은 차량 내의 승객에 의해 발생한 call을 의미한다. 새롭게 들어온 call이 handoff call 일 경우, 큐에 빈 공간이 없을 때에만 call이 봉쇄된다. 그렇지 않고, 시스템 내의 무선 자원이 남아 있을 때에는 handoff call은 바로 인터넷 서비스를 받고, 무선 자원이 모두 사용되고 있을 때에는 큐에 대기한다. 반면 새롭게 들어오는 call이 new call이면 차량의 상태가 moving phase인지 stop phase인지 판단한다. 차량이 stop phase일 경우, new call은 S개의 무선 자원만 사용할 수 있으므로 시스템 내의 call의 개수가 S보다 적을 때, AP는 new call을 받아들인다. 그러나 차량이 moving phase일 경우, handoff call을 위한 guard channel이 해제되므로, new call은 모든 자원이 사용되고 있지 않으면 인터넷 서비스를 받을 수 있다. 성능 분석 결과, MA-CAC 기법은 기존의 guard channel 기법에 비해 더 많은 handoff call과 new call을 수용함과 동시에 높은 무선 자원 이용률을 보장할 수 있음을 보였다.

[15]에서는 모바일 핫스팟이 핸드오프 시, 차량 내의 사용자들의 QoS 요구들을 모아 필요로 하는 무선자원을 새로운 BS로부터 획득하는 기법을 제안한다. 이를 위해, FMA (Foreign

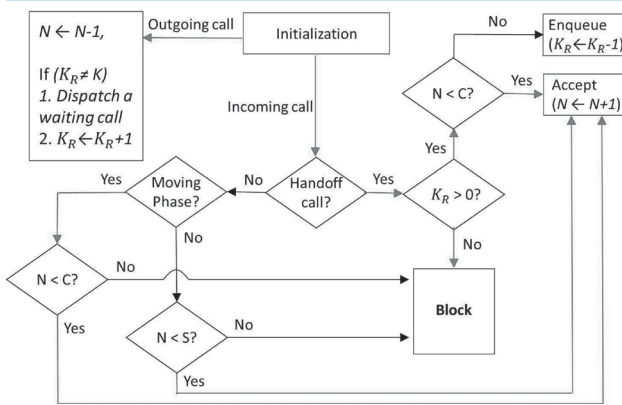


그림 5. MA-CAC 알고리즘 [14]

Mobility Agent)를 새롭게 정의하고 FMA는 각 차량의 QoS 요구들을 유지, 관리하는 역할을 가진다. 즉, 차량이 새로운 BS로 이동하기 전에, 차량과 현재 통신하고 있는 BS는 FMA에게 차량이 새로운 BS로 이동할 것을 알리고, FMA는 이동할 차량의 QoS 요구를 만족하는 무선자원을 할당하도록 새로운 BS에게 시그널링 메시지를 전송한다. 그 결과, 새로운 cell area로 이동하는 차량의 무선 자원을 미리 예약함으로써 data throughput 과 packet loss 측면에서 기존의 기법에 비해 더 효율적인 것을 확인하였다. 그러나 각 차량의 QoS 요구들을 어떻게 병합하고, 관리하는 지에 대한 구체적인 방안이 제시되고 있지 않는 것이 위 연구의 제한점이라 할 수 있다.

〈그림 6〉은 사용자와 상대 노드 간의 bandwidth를 예약하여 사용자의 QoS를 보장하는 자원 관리 기법을 묘사한다. 우선 RSVP (ReSource reservation Protocol)는 각 노드마다 양 단 간의 자원을 예약하는 기법이다. 그러나 모바일 핫스팟 내에서 노드들은 차량이 서로 다른 서브넷으로 이동하더라도, 그 사실을 인지할 수 없기 때문에 RSVP를 모바일 핫스팟에 직접적으로 적용시키는 데는 한계점이 있다. RSVP-TE (RSVP-Traffic Engineering)는 AR 내의 노드들이 예약된 경로 (e.g., R1 (->) R2 (->) AR1)를 공유하게 하는 기법이다. 따라서 각 AR은 새롭게 들어오는 세션을 남은 자원에 따라 받아들일지 거절할지 판단하는 admission control과 어느 정도의 bandwidth를 할당할 지에 대한 방법이 추가로 요구된다. 그러나 RSVP-TE 역시 이동성을 고려하지 않았기 때문에 모바일 핫스팟에 바로 적용시키기 어려운 점이 있다. 마지막으로 MRSVP (Mobile RSVP)는 RSVP 프로토콜에 이동성을 추가한 프로토콜이다. 하지만 RSVP와 마찬가지로 모바일 핫스팟 내의 노드들은 차량이 새로운 서브넷으로 이동하더라도 이 사실을 인지하지 못하기 때문에, MRSVP는 모바일 핫스팟에 적합하지 않다.

위의 문제들을 해결하기 위해, [16]은 모바일 핫스팟에

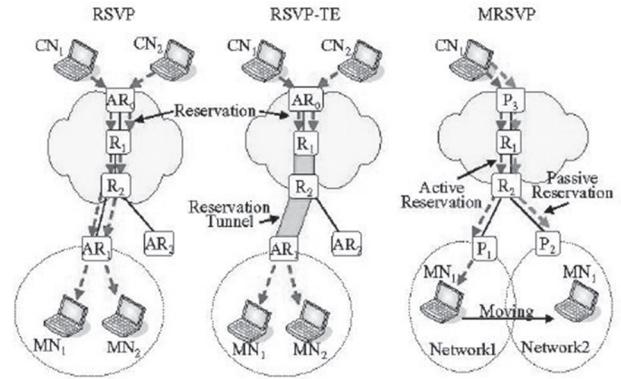


그림 6. 자원 예약 기법 [16]

서 양단간 자원 예약 기법인 BSR (Bandwidth-Sharing Reservation) 기법을 제안한다. 본 연구의 주요 아이디어는 자원 예약 관리 기능을 사용자 단말과 상대 노드에서 각각 모바일 핫스팟에 설치된 MR (Mobile Router)과 MR의 HA (Home Agent)로 이전시키는 것이다. 즉, 〈그림 7〉과 같이, 모바일 핫스팟 내의 사용자들의 QoS를 보장하기 위한 터널을 MR이 연결돼 있는 라우터와 MR의 HA 간에 생성한다. 이후, 차량이 서로 다른 서브넷으로 이동하면, active reservation 또는 passive reservation 방법을 통해, 새롭게 접속한 라우터와 MR의 HA간에 터널을 재형성한다. 그러나 [15]와 같이, 차량 내의 QoS 요구들을 어떻게 융합하고, 얼마만큼의 bandwidth를 예약할 지에 대한 고려는 추가로 연구해야 할 과제이다.

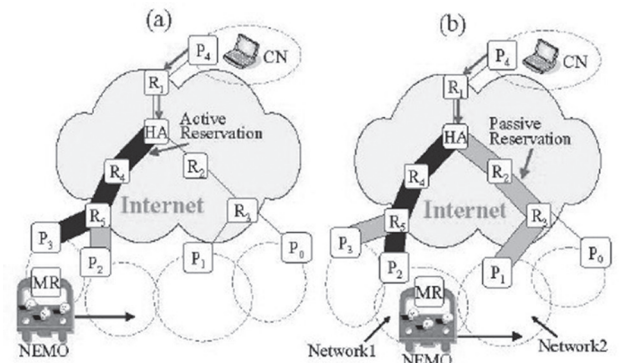


그림 7. Bandwidth-sharing reservation [16]

IV. 성능 분석 연구

본 장에서는 모바일 핫스팟에서의 성능 분석과 모델링과 관련된 연구에 대해 서술한다.

[4]에서는 우리나라에서 현재 모바일 핫스팟 구조를 이용하

여 인터넷 서비스를 제공하고 있는 KTX와 자동차, 지하철에서의 업링크와 다운링크에 대한 성능을 측정하였다. KTX의 모바일 핫스팟 구조는 WiFi와 HSDPA (High Speed Downlink Packet Access)가 결합된 구조인 반면, 지하철과 자동차에서는 WiBro-WiFi 구조인 포터블 (portable) AP를 활용한다. 성능 측정 결과는 <표 1>과 같다. 지하철과 자동차에서의 측정 결과를 비교할 때, 지하철에서의 다운로드/업로드 속도가 자동차 내에서보다 더 빠른 것을 볼 수 있다. 이는, 지하철에는 곳곳에 중계기 (relay station)가 설치되어 좀 더 안정적인 통신 상태를 유지할 수 있으나, 빠르게 이동하는 자동차 내에서는 주위의 건물들과 같은 장애물에 의해 무선 신호가 약해지는 것 때문이다. KTX의 경우, WWAN을 위한 무선 접속 기술로 HSDPA가 사용되기 때문에 WiBro를 활용한 포터블 AP보다 낮은 전송속도를 나타내는 것을 볼 수 있다. 그러나, KTX의 경우 매우 불안정한 통신 상태로 인해, 파일을 첨부한 이메일을 전송하는데 매우 큰 어려움을 있는 것을 확인할 수 있었다.

표 1. 모바일 핫스팟 성능 측정 결과 [4]

	지하철	자동차	KTX
Minimum downlink throughput (kbps)	1100	612	70.6
Maximum downlink throughput (kbps)	4100	3350	1030
Mean downlink throughput (kbps)	2799	1530	363.9
Minimum uplink throughput (kbps)	111	162	22.5
Maximum uplink throughput (kbps)	1080	269	97
Mean uplink throughput (kbps)	531.3	209.7	52.5

[17]에서는 앞 장에서 서술한 NEMO BS 프로토콜과 session initiation protocol² (SIP) 기반의 NEMO 프로토콜을 핸드오프 지연 (handoff delay) 관점에서 Rayleigh fading channel 모델과 Markov channel 모델을 사용하여 성능을 비교, 분석하였다. 그 결과, SIP 기반의 NEMO 프로토콜이 NEMO BS 프로토콜보다 터널링 오버헤드와 네트워크 전개 측면에서 강점을 가지지만, 보다 더 긴 SIP 메시지로 인해 SIP 기반의 NEMO 프로토콜의 핸드오프 지연이 NEMO BS 프로토콜보다 더 긴 것을 증명하였다.

[19]과 [20]에서는 모바일 핫스팟 구조를 실제로 구현한 후,

2 SIP [18]는 멀티미디어 세션을 제어하기 위해 제안된 프로토콜이나, 양 노드 간의 세션을 다시 설립할 수 있는 기능을 활용하여 이동성 관리에도 활용된다.

핸드오프 지연과 단말의 에너지 소비에 대해 각각 분석하였다. 구체적으로 [19]에서는, 모바일 핫스팟을 위한 NEMO BS 프로토콜에서 MR과 HA를 구현한 후, 차량이 각각 차량의 홈 네트워크에서 외부 네트워크로 이동할 때와 외부 네트워크에서 다른 외부 네트워크로 이동, 외부 네트워크에서 홈 네트워크로 이동할 때의 핸드오프 지연을 분석한다. 그 결과, 시그널링 메시지 교환을 위한 RTT (Round Trip Time)와, 새로 생성한 주소와 같은 주소를 쓰고 있는 사용자가 있는 지 확인하는 DAD (Duplicate Address Detection) 과정, L2 핸드오프 과정 중, DAD로 인한 지연이 전체의 핸드오프 지연에서 매우 큰 비중을 차지하는 것을 보였고, 이를 해결하기 위해 효율적인 DAD 방안에 대한 연구의 필요성을 제시하였다. [20]에서 제안한 기법은 다음과 같다. 특정 노드가 청크 (chunk) X의 수신을 원할 때, 주변 노드 중 가장 많은 에너지를 유지하고 있는 노드에게 청크 X를 요청한다. 청크 X의 요청을 받은 노드는, 3G 인터페이스를 통해 X를 수신한 후, WLAN 인터페이스 (WiFi)를 통해 X를 broadcast 한다. 이 과정을 통해, 각 노드의 에너지 소비율이 약 27% 감소하는 것을 보였다. 즉, 모바일 핫스팟 내에서 사용자들은 WiFi를 이용하여 인터넷에 접속하기 때문에, 모바일 핫스팟을 활용하면 사용자 단말의 배터리를 27% 정도 절약할 수 있음을 유추할 수 있는 연구 결과이다.

[21]에서는 패킷 레벨에서 TCP-friendly rate control (TFRC)의 모델링을 이산 시간 마코프 체인 (discrete-time Markov chain)을 사용하여 구한다. TFRC는 온라인 게임이나 멀티미디어 전송과 같은 UDP 기반의 응용들의 전송률을 TCP 기반의 어플리케이션의 전송률과 유사한 수준으로 맞추기 위해 제안된 개념이다. [21]에서 제안된 분석모델에 의해, 차량 내의 승객의 수, 차량에 설치된 AP와 외부 BS의 버퍼 크기, WWAN과 WLAN의 bandwidth 등의 영향에 따라 모바일 핫스팟에서의 패킷 전송률을 확인할 수 있다. 우선, 차량 내의 승객의 수가 증가하면, WLAN에서의 더 많은 채널 충돌 (channel collision)으로 인해 패킷 전송률이 감소하는 경향을 보였다. 반면에 AP의 버퍼 크기는 패킷 전송률에 크게 영향을 끼치지 않는 것을 확인했는데, 이는 WLAN의 대역폭이 WWAN의 대역폭보다 훨씬 더 크기 때문이다. 유사한 이유로, BS의 버퍼크기가 증가하면 패킷 전송률 역시 증가하는 것을 증명하였다.

[22]에서는 모바일 핫스팟에서의 세션 핸드오프 확률 (session handoff probability)을 사용자가 차량을 기다리는 시간과 세션의 길이, 차량이 정류장 사이를 이동하는 시간 등을 고려하여 구한다.

<그림 8>은 사용자가 차량에 탑승할 때, 외부의 BS로부터 차량의 MR으로의 핸드오프 확률을 구하기 위한 시간 도표이다.

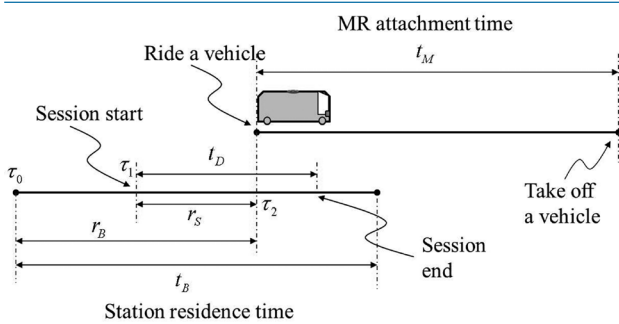


그림 8. BS에서 MR로의 핸드오프 [22]

사용자는 τ_0 부터 차량을 기다리다가 τ_1 시점에서 새로운 세션을 시작한다. 그리고 τ_2 때, 차량이 도착하여 차량에 탑승한다. 이 때, 사용자가 세션을 시작하여 차량에 탑승할 때까지의 시간 r_S 가 세션의 길이 t_D 보다 작으면, 사용자의 세션은 τ_2 시점에서 외부의 BS에서 차량의 MR로 핸드오프된다. 따라서 t_D 와 r_S 등과 같은 확률변수에 대한 PDF (probability density function)을 구하여 BS에서 MR로의 session handoff probability이 유도되었다.

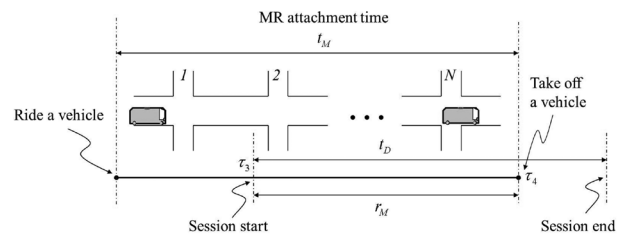


그림 9. MR에서 BS로의 핸드오프 [22]

〈그림 9〉는 사용자가 차량에 하차할 때 발생하는 MR에서 BS로의 session handoff probability를 구하기 위한 시간 도표를 나타낸다. 차량이 다음 정류장에 멈추기까지의 시간 t_M 의 PDF는 〈그림 8〉에서처럼 교차로의 수와 차량의 속도 등을 고려하여 유도된다. 그리고 〈그림 8〉과 유사하게 MR에서 BS로의 session handoff probability는 확률변수 t_D 와 r_M 의 PDF에 의해 유도된다. 〈그림 9〉에서 r_M 은 사용자가 차량에서 새로운 세션을 시작한 후, 차량에서 하차할 때까지 시간을 나타내는 확률변수이다.

[22]에서 제안된 분석모델에 의해, 사용자가 차량을 기다리는 시간과 세션의 길이, 교차로의 수, 교차로 사이의 도로 길이 등에 따르는 session handoff probability를 구할 수 있다. 그 결과, BS에서 MR로의 session handoff probability는 사용자가 차량을 기다리는 시간과 반비례인 것이 증명되었다. 또한 교차로의 수가 증가하면 사용자가 차량에서 하차할 때까지의 시간

이 길어지므로, MR에서 BS로의 session handoff probability가 감소하는 것이 확인되었다. 이와 유사하게 도로의 길이가 길어지면 사용자가 차량에 탑승하는 시간이 늘어나기 때문에 MR에서 BS로의 session handoff probability 또한 줄어드는 것을 보였다.

V. 결론

본고에서는 빠르게 이동하는 차량 내에서 WiFi를 사용하여 인터넷에 접속하게 할 수 있는 구조인 모바일 핫스팟에 대해 알아보았다. 모바일 핫스팟과 관련된 연구 주제로 차량의 이동성 관리와 서비스 품질 보장 (QoS), 모바일 핫스팟의 성능 분석 등과 관련된 연구를 살펴보았다. 모바일 핫스팟 구조는 현재 기차와 전철, 포터블 릴레이, 스마트 폰의 테더링 어플리케이션 등 다양한 장소와 기기 등에서 실질적으로 활용되고 있는 구조이며 앞으로도 차량 네트워크를 위해 활발히 사용될 것으로 예측된다. 그러나 상대적으로 낮은 WWAN에서의 데이터 처리율로 인해, 차량 내의 사용자의 수가 많아질 경우, QoS를 만족하지 못하는 이슈는 여전히 해결해야 할 과제이다. 최근 MIMO (multiple-input and multiple-output)와 OFDM (Orthogonal frequency-division multiplexing) 등의 기술로 인해 WWAN을 위한 데이터 처리율은 점차 증가하고 있는 추세이다. 따라서 본 고에서 서술한 연구들 외에, 현재 3세대 이동통신이 아닌 LTE Advanced 등과 같은 4세대 이동통신 기반의 모바일 핫스팟에 대한 연구 또한 필요할 것이다.

Acknowledgement

본 논문은 2012도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단 기초연구사업의 지원을 받아 수행된 연구임 (2012R1A1B4000894).

참고 문헌

[1] G. Karagiannis, O. Altintas, E. Ekici, G. Heijenk, B. Jarupan, K. Lin, and T. Weil, "Vehicular Networking: A Survey and Tutorial on Requirements, Architectures, Challenges, Standards and Solutions," IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 13, no. 4, pp. 584–616, 4th Quarter 2011.

- [2] A. Lera, A. Molinaro, S. Polito, and G. Ruggeri, "End-to-End QoS Provisioning in 4G with Mobile Hotspots," *IEEE Network*, vol. 19, no. 5, pp. 26–34, September/October 2005.
- [3] N. Balasubramanian, A. Balasubramanian, A. Venkataramani, "Energy Consumption in Mobile Phones: A Measurement Study and Implications for Network Applications," in *Proc. ACM IMC 2009*, November 2009.
- [4] Y. Kim, J. Ko, W. Kim, and S. Pack, "A Measurement Study on Internet Access in Vehicular Wi-Fi Networks," in *Proc. IEEE VTC 2010 Fall*, September 2010.
- [5] V. Devarapalli, R. Wakikawa, A. Petrescu, and P. Thubert, "Network Mobility (NEMO) Basic Support Protocol," *IETF RFC 3963*, January 2005.
- [6] C. Ng, P. Thubert, M. Watari, and F. Zhao, "Network Mobility Route Optimization Problem Statement," *IETF RFC 4888*, July 2007.
- [7] A. Shahriar, M. Atiquzzaman, and W. Ivancic, "Route Optimization in Network Mobility: Solutions, Classification, Comparison, and Future Research Directions," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 12, no. 1, pp. 24–38, 1st Quarter 2010.
- [8] J. Lee and T. Ernst, "Lightweight NETWORK MOBILITY Within PMIPv6 for Transportation Systems," *IEEE Systems Journal*, vol. 5, no. 3, pp. 352–361, September 2011.
- [9] S. Jeon and Y. Kim, "Cost-Efficient Network Mobility Scheme over Proxy Mobile IPv6 Network," *IET Communications*, vol. 5, no. 18, pp. 2656–2661, December 2011.
- [10] S. Pack, "Relay-Based Network Mobility Support in Proxy Mobile IPv6 Networks," in *Proc. IEEE CCNC 2008*, January 2008.
- [11] I. Soto, C. Bernardos, M. Calderon, A. Banchs, and A. Azcorra, "NEMO-Enabled Localized Mobility Support for Internet Access in Automotive Scenarios," *IEEE Communications Magazine*, vol. 47, no. 5, pp. 152–159, May 2009.
- [12] W. Chiang, W. Chang, and L. Liu, "Simultaneous Handover Support for Mobile Networks on Vehicles," in *Proc. IEEE WCNC 2008*, March 2008.
- [13] Z. Zhang, A. Boukerche, and R. Pazzi, "A Novel Network Mobility Management Scheme for Vehicular Networks," in *Proc. IEEE GLOBECOM 2010*, December 2010.
- [14] Y. Kim, H. Ko, S. Pack, W. Lee, and X. Shen, "Mobility-Aware Call Admission Control Algorithm with Handoff Queue in Mobile Hotspots," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, to appear.
- [15] C. Lee, Y. Sun, and M. Chen, "HiMIP-NEMO: Combining Cross-Layer Network Mobility Management and Resource Allocation for Fast QoS Handovers," in *Proc. IEEE VTC 2008 Spring*, May 2008.
- [16] J. Wang, Y. Hsu, and C. Tseng, "A Bandwidth-sharing Reservation Scheme to Support QoS for Network Mobility," in *Proc. IEEE ICC 2006*, June 2006.
- [17] S. Pack, X. Shen, J. Mark, and J. Pan, "Mobility Management in Mobile Hotspots with Heterogeneous Multihop Wireless Links," *IEEE Communications Magazine*, vol. 45, no. 9, pp. 106–112, September 2007.
- [18] J. Rosenberg, H. Schulzrinne, G. Camarillo, A. Johnston, J. Peterson, R. Sparks, M. Handley, and E. Schooler, "SIP: Session Initiation Protocol," *IETF RFC 3261*, June 2002.
- [19] E. Perera, H. Petander, K. Lan, and A. Seneviratne, "An Implementation and Evaluation of a Mobile Hotspot," in *Proc. WMASH 2005*, September 2005.
- [20] M. Chen, C. Yang, C. Chang, M. Hsu, K. Lee, and C. Chou, "Towards Energy-Efficient Streaming System for Mobile Hotspots," in *Proc. SIGCOMM 2011 (Poster)*, August 2011.
- [21] S. Pack, X. Shen, J. Mark, and L. Cai, "Throughput Analysis of TCP-Friendly Rate Control in Mobile Hotspots," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 7, no. 1, pp. 193–203, January 2008.
- [22] Y. Kim, K. Kim, S. Pack, and W. Lee, "Analysis of Session Handover Probability in NEMO-based Vehicular Networks," *Springer Wireless Personal*

Communications, Vol. 61, No. 4, pp. 697-710,
December 2011.

약 력



김 영 현

2005년 송실대학교 컴퓨터학부 학사
2007년 송실대학교 컴퓨터학부 석사
2013년 고려대학교 전기전자전파공학부 박사
관심분야: 차량 네트워크, 미래 인터넷



백 상 현

2000년 서울대학교 컴퓨터공학부 학사
2005년 서울대학교 전기컴퓨터공학부 박사
2007년~2011년 고려대학교 전기전자전파공학부
조교수
2011년~현재 고려대학교 전기전자전파공학부
부교수
관심분야: 미래 인터넷, 차량 네트워크,
멀티미디어 네트워킹