

Wi-Fi 기반의 차량과 기지국간 통신에서 효과적인 AP 선택에 관한 연구

황재룡[†] · 이화룡^{**} · 최재혁^{***} · 유준^{****} · 김종권^{*****}

요약

Wi-Fi 기반의 차량과 기지국간 (vehicle-to-infrastructure, V2I) 통신은 차량과 승객의 안전과 편의 및 교통 효율성을 향상시킬 수 있는 방법으로 관심을 받고 있다. 그러나 노변에 위치한 액세스 포인트 (access point, AP)는 이동차량에게 비용적인 측면에서 효과적인 인터넷 연결을 지원할 수 있지만, 차량의 빠른 이동과 AP의 제한된 전송거리는 빈번한 핸드오프를 유발한다. 그러한 문제점은 모바일 AP (mobile AP, MAP) 플랫폼을 사용하여 해결할 수 있다. MAP는 노변에 위치한 AP보다 적은 양의 대역폭을 제공하지만, 차량과 함께 이동함에 따라 더 오랜 시간 서비스를 제공할 수 있다. 이 논문은 이동차량이 노변의 고정된 AP 혹은 MAP 중에서 효과적으로 AP를 선택할 수 있는 하나의 새로운 AP 선택 기법을 제안한다. AP 선택기준을 위하여 AP의 접속 가용시간과 제공 가능 대역폭을 함께 고려하고, 그러한 기준을 바탕으로 AP 선택 기법을 제안한다. 실제 버스 트레이스 기반의 시뮬레이션을 통해 제안한 기법이 기존의 방법보다 좋은 성능을 제공하는 것을 보여준다.

키워드 : 차량 기지국간 통신, 모바일 AP, AP 선택 및 접속 가용시간과 제공 가능 대역폭 추정

An Efficient AP Selection Strategy in Wi-Fi based Vehicle-to-Infrastructure Communications

Jaeryong Hwang[†] · Hwaryong Lee^{**} · Jaehyuk Choi^{***} · Joon Yoo^{****} · Chong-kwon Kim^{*****}

ABSTRACT

Wi-Fi based vehicle-to-infrastructure (V2I) communication is an emerging solution to improve the safety, traffic efficiency, and comfort of passengers. However, due to the high mobility of vehicles and the limited coverage of Wi-Fi APs, the V2I system may suffer from frequent handoffs although roadside APs can support cost effective Internet connectivity. Such problem of V2I systems can be overcome with Mobile AP (MAP) platform. The MAPs yield longer service duration by moving along with vehicles, yet they provide a lower link capacities than the roadside APs. In this paper, we propose a new association control mechanism that effectively determines whether the vehicle will select a fixed roadside-AP or a nearby MAP in mobile vehicular network environments. We consider both the achievable link bandwidth and available connection duration as a selection criterion and provide their run-time estimation method. Extensive simulation using real traces show significant performance improvements.

Keywords : Vehicle-To-Infrastructure Communication, Mobile AP, AP Selection And Available Duration And Bandwidth Estimation

1. 서론

이동하는 차량 혹은 승객의 안전과 편의 및 교통 효율성

을 향상시키기 위한 요구가 커짐에 따라, 와이파이(Wi-Fi) 기반의 차량과 기지국간 통신(vehicle-to-infrastructure, V2I)은 많은 관심을 받고 있다 [1-5]. 많은 Wi-Fi 네트워크가 여러 도시에 설치 되어지고, 때때로 도시 전체 지역에서 네트워크 연결이 제공되기도 한다 [2]. 따라서 Wi-Fi 네트워크는 낮은 비용으로 높은 대역폭의 인터넷 연결을 요구하는 이동 차량에게 끊임 없는 서비스를 제공할 수 있다.

그러나 이러한 장점에도 불구하고 이동 차량에서 Wi-Fi 접속은 아직 해결해야할 과제가 남아 있다. 차량의 빠른 이동과 노변에 위치한 AP의 제한된 전송거리 때문에 Wi-Fi 기반의 차량 네트워크에서 AP와의 연결시간은 일반적으로

※ 이 논문은 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원 (NIPA-2010-(C1090-1011-0004)) 및 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원(No. 20100027410)을 받아 수행된 연구임.

† 준 회원 : 서울대학교 전기컴퓨터공학부 박사과정

** 준 회원 : 서울대학교 전기컴퓨터공학부 석사과정

*** 준 회원 : 미시간대학교 전기공학부 박사후연구원

**** 준 회원 : University of California, Los Angeles (UCLA) Postdoctoral Researcher

***** 정 회원 : 서울대학교 전기컴퓨터공학부 교수

논문접수: 2010년 9월 2일

수정일: 1차 2010년 10월 19일

심사완료: 2010년 10월 23일

짧은 특징을 보여준다. 더구나 차량의 빠른 이동에 의해 무선 채널의 상태는 급격하게 바뀌어 더욱더 통신을 어렵게 한다. 이에 따라 이동 차량은 높은 무선 링크 품질과 AP와의 연결을 유지하기 위하여 다른 AP들과 association을 해야 하고 빈번한 핸드오프를 수행하게 된다. 그러나 빈번한 핸드오프는 association 및 DHCP 지연과 같은 높은 오버헤드를 수반한다 [2, 3]. 그러므로 이동 차량에서 가용한 AP를 바탕으로 어떤 AP를 선택할 것인지는 중요한 과제이다.

여러가지 방법들이 이동 차량에서 AP를 선택하는 문제를 해결하기 위하여 제안되어 왔다. Giannoulis는 도시의 무선 메시 네트워크 구조에서 차량의 이동성을 지원할 수 있는 핸드오프 기법을 제안하였다 [4]. Giannoulis는 메시 네트워크의 특성을 반영하여 AP와의 채널상태 뿐만 아니라 AP로부터 게이트웨이까지의 거리를 고려하였다. Kim은 모바일 노드에서 발생하는 빈번한 핸드오프를 최소화 하기 위하여 AP와의 접속 가능 시간이 가장 큰 AP를 선택하는 방법을 제시하였다 [5]. 그러나 차량 네트워크에서 무선 AP의 제한된 전송범위에 의한 짧은 접속 시간은 여전히 문제가 되어 빈번한 핸드오프를 유발한다.

이 논문은 이동차량으로부터 네트워크 접근을 위하여 모바일 Wi-Fi 핫스팟 기술을 고려한다. 모바일 핫스팟은 모바일 AP (MAP)를 통해서 이동중에 인터넷 접속을 하여 V2I 통신의 연결지속성을 확장할 수 있다. MAP는 Wi-Fi뿐만 아니라 UMTS, 1xEV-DO, LTE 및 WiMAX와 같은 셀룰러 혹은 WiMAX 인터페이스를 장착하고 있고, 그것의 백홀 링크로서 3G/WiMAX 인터페이스를 사용하여 Wi-Fi 서비스를 제공한다. 따라서 Wi-Fi 인터페이스가 있는 이동차량은 MAP와 association을 하여 계속해서 인터넷에 접속할 수 있다. 이러한 잠재적 이득에 의해 최근 다양한MAP상품들이 발표되었다. 예를 들어, 미국의 Verizon은 Novatel MIFI 2200 MAP 모델을 가지고 모바일 핫스팟 서비스를 시작하였으며 [6], KT는 모바일 와이맥스인 Wibro를 장착한 KWI B2200 [7]를 이용하여 모바일 핫스팟 서비스를 제공하고 있다.

MAP사용의 주요한 이득은 차량들이 자신과 이동 패턴이 유사한 MAP와 association하는 것에 의해 더 오랫동안 인터넷 접속 서비스를 제공받을 수 있다는 것이다. 따라서 차량은 빈번한 핸드오프를 줄이고, 핸드오프에 의해 야기되는 상당한 시간지연을 줄이게 된다. 그러나 MAP의 사용에 있어 오랜 시간의 접속 가능성과 낮은 종단간 처리량 (end-to-end throughput)은 서로 상충 (trade-off) 관계이 있게 된다. 왜냐하면 MAP는 3G/WiMAX 인터페이스를 백홀링크로 사용하여 일반적으로 802.11 기반의 Wi-Fi 링크보다 더 낮은 링크 용량을 가지기 때문이다. 그러므로 높은 처리량과 핸드오프 오버헤드 사이에서 균형을 맞출 수 있는 효과적인 AP 선택 기법을 개발하기 위한 노력이 필요하다.

본 논문은 AP의 선택 기준으로서 제공가능 대역폭과 접속 가능시간 모두를 고려하여 MAP와 노변에 위치한 AP가 공존하는 V2I 시스템에서 이동하는 차량에 적합한 AP 선택 기법을 제안한다. 이를 위해서 먼저 스캔에 의해 발견된 AP

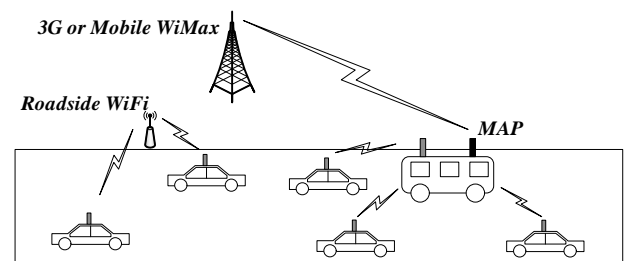
들을 바탕으로 분산된 기법에서 접속 가능 시간 및 제공 가능 대역폭을 예측하기 위한 기법을 개발한다. 이와 더불어 위의 예측된 내용에 기반하여 가용한 AP로부터 최적의 AP 선택순서를 제시한다. 마지막으로 실제 버스 트래이스 데이터 베이스[8]에 기반한 시뮬레이션을 통해 제안한 기법의 성능을 한다.

논문은 아래와 같이 구성되어 있다. 2장은 시스템 모델과 문제를 정의한다. 3장에서는 MAP와 접속 가능시간 및 대역폭을 예측하는 방법을 소개한다. 4장은 예측된 요소들을 바탕으로 효과적인 AP선택 기법을 소개한다. 5장은 실제 버스 트래이스에 기반한 시뮬레이션을 수행하여 제안한 방법에 대해 평가한다. 마지막으로 6장에서 앞으로의 연구방향과 함께 결론을 맺는다.

2. 시스템 모델 및 문제정의

본 논문에서는 (그림 1)과 같이 노변에 위치한 AP뿐만 아니라 MAP로 구성되는 V2I 시스템을 고려한다. MAP는 공공기관과 같은 서비스 공급자에 의해 제공되는 것으로 대중 버스가 MAP로 행동하는 시나리오를 가정한다. 버스는 Wi-Fi와 WiMAX 모델을 장착하고 자신의 노선을 따라 이동하며 모바일 핫스팟 서비스를 제공한다. 또한 GPS를 가지고 있어 자신의 위치, 속도 및 이동방향을 알 수 있고, 각 버스의 경로정보는 차량의 사용자들이 공공기관에서 제공되는 교통 시스템 서비스를 통해 알 수 있다고 가정한다. 실제로 UMass Transit [9]와 Seoul TOPIS [10]는 버스의 경로 뿐만 아니라 버스의 실시간 위치정보를 제공하고 있다. 차량은 도로를 따라 이동하면서 기회적으로 자신의 주위에 있는 AP를 이용하여 인터넷에 접근하며, 가용한 AP들 중에서 AP 선택 기준에 따라 하나의 AP에 접속한다. 만약 현재 association 되어 있는 AP와 연결이 끊어지게 되면, 다른 AP로 핸드오프를 수행한다.

MAP와 association하는 것의 이득을 취하기 위해, 차량의 이동 상태에 따라 순간적인 링크 대역폭과 핸드오프 비용 사이에서 균형을 맞추는 하나의 효율적인 AP선택 기법이 필요하다. 차량과 유사한 이동 패턴을 가지는 MAP는 기회적으로 오랫동안 접속 시간을 제공할 수 있지만, 3G/WiMAX 링크 용량이 일반적으로 Wi-Fi의 용량보다 작아 낮은 대역폭을 제공할 수 있다. 이와는 달리 노변에 위치한



(그림 1) 시스템 모델

고정 AP는 상대적으로 짧은 시간동안 사용할 수 있지만, 백홀링크가 유선으로 연결되어 있어 높은 대역폭을 제공할 수 있다. 따라서 제안하는 AP 선택 방법은 가용한 AP들로부터 접속 가용 시간과 대역폭 사이에서 균형을 맞추는 것이다. 다음 장에서 먼저 스캔에 의해 발견된 AP들의 접속 가용시간과 대역폭을 예측하는 방법을 제안한다. 이어서 효과적인 AP선택 방법에 대해 상세히 설명한다.

3. 접속 가용시간 및 대역폭 예측

3.1 차량과 AP간의 접속 가용시간 예측 방법

먼저 차량에서 GPS로부터 얻은 자신의 이동 정보를 통해 AP/MAP와 접속 가용시간을 예측하기 위한 하나의 방법을 제시한다. MANET(Mobile Ad-hoc Network)과 같은 임의 이동모델[11]과 달리 MAP를 포함하여 모든 차량은 도로를 따라 이동을 하며 앞 뒤 차량과 유사한 이동을 한다. 차량은 GPS로부터 자신의 이동정보를 알 수 있기 때문에 높은 정확성을 가지고 현재의 위치에서 앞으로의 이동에 관해 예측할 수 있다[12]. 따라서 노변의 고정된 AP와의 접속 사용시간은 차량 자신의 이동 정보를 이용하여 예측이 가능하다. 그러나 MAP는 자신의 이동패턴에 따라 이동하기 때문에 접속 가용 시간을 예측하는 것은 쉽지 않다.

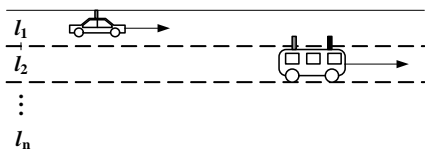
이를 위하여 MAP와 접속 가용시간을 예측하기 위한 한 가지 모델을 제시한다. [13]에서와 보여준 바와 같이 차량들은 도로의 각 차선에서 다른 속도로 이동한다. 따라서 MAP를 포함하는 모든 차량은 (그림 2)에서 보는 바와 같이 n 차선으로 구성된 도로를 따라 이동을 하며 자신의 이동 정보, H(t),를 업데이트 한다.

$$H(t) = \{r_m, v_m \mid 1 \leq m \leq n, T\} \quad (1)$$

where $r_m = \frac{t_m}{T}, v_m = \frac{\int_{t-T}^t v_m(t') dt'}{t_m}$

r_m 은 T시간동안 차량이 m번째 차선에서 머무르는 시간의 비율이고 v_m 은 m차선에서 평균속도이다. 따라서 특정 시간 τ 이후에 이동한 거리는 아래와 같이 표현 할 수 있다.

$$\sum_{m=1}^n v_m r_m \cdot \tau = (v_1 r_1 + v_2 r_2 + \dots + v_n r_n) \cdot \tau \quad (2)$$



(그림 2) n개의 차선을 가지는 도로 모델

따라서 차량과 MAP의 상대 이동거리는 (3)에서 보는 바와 같이 시간에 따른 함수 $D(\tau)$ 로서 얻을 수 있고, MAP와 접속 가용시간은 $D(\tau) > R$ 이 되는 시간이다. R은 무선의 전송거리이며, (3)에서 δ 는 현재 MAP와 차량의 거리이고, cv 와 MAP는 각각 차량과 MAP를 지칭한다.

$$D(\tau) = \delta + \left| \sum_{m=1}^n (v_m^{cv} r_m^{cv} - v_m^{MAP} r_m^{MAP}) \right| \cdot \tau \quad (3)$$

MAP로부터 접속 가용시간을 예측하기 위해서는 MAP로부터 이동정보를 요구한다. 이를 위해서 802.11의 Beacon 메시지를 활용할 수 있다 [14]. 이 메시지는 Reserved Field를 가지고 있고, 개발자에 특화된 정보가 포함될 수 있다. 따라서 MAP는 자신의 위치와 이동 정보를 Reserved Field를 사용하여 전송할 수 있다. Beacon 메시지를 받은 차량은 위의 식을 이용하여 접속 가용시간을 예측할 수 있다. 그러나 차량은 노변에 설치된 AP들에 의해 이동 정보가 포함되지 않은 Beacon 메시지를 받을 수 있다. 이러한 경우는 인터넷에서 AP의 위치 정보를 제공하는 서비스를 이용할 수 있다. 예를 들어 Wigle.net[15]은 AP들의 리스트와 그들의 지리 좌표 및 사용 채널과 같은 정보를 제공하고 있다.

3.2 AP의 가용 대역폭 예측 방법

이동차량으로부터 AP의 가용 대역폭을 예측하기 위하여 AP로부터 제공하는 정보에 기반한 대역폭 추정방법을 고려한다. 이동노드로부터 분산된 방법에 의한 AP의 부하(load) 측정은 이동노드가 채널을 일정시간 모니터링 하거나 AP로부터 혹은 AP로 전송하는 패킷으로부터 추정이 가능하다 [16]. 그러나 빠른 이동으로 인해 제한된 시간동안 AP를 사용할 수 있는 차량 네트워크 환경에서, 이동차량의 채널모니터는 효과적이지 않다. 따라서 차량 네트워크에서 AP가 현재 자신의 가용 대역폭을 추정할 수 있는 정보를 제공하는 것은 합리적인 방법이 될 수 있다.

일반적으로 AP는 자신의 부하정도와 사용하는 채널의 정보를 모니터링 할 수 있다. 이러한 정보를 AP의 Beacon 메시지에 포함하여 주기적으로 전송하게 되면, 이동차량은 제공 받은 정보를 이용하여 AP로부터 가용 대역폭을 추정할 수 있다. 802.11 Bbeacon 프레임은 BSS Load 정보를 포함하고 있고, AP와 association되어 있는 노드의 개수와 무선 채널 매체의 사용중인 시간의 비율(busy ratio)를 포함하고 있다 [14]. 따라서 802.11 표준에 위배되지 않고 AP는 이동차량에게 자신의 부하정도를 알려줄 수 있게 된다. 채널 에러비율과 AP로부터 받은 정보를 바탕으로 가용 대역폭을 추정하기 위하여 [5]에서 소개된 방법을 활용하며, 아래와 같이 표현 할 수 있다.

$$b_i = \frac{F \cdot p_s}{1 - \phi \left(\sum_{l=1}^L (1 - p_s)^{l-1} \cdot p_s \cdot \frac{CW_l \cdot t_{slot}}{2} \right) + T_o} \quad (4)$$

$$p_s = (1 - p_e) \cdot (1 - p_c),$$

where, $CW_i = \min[2^{i-1}(CW_{\min} + 1) - 1, CW_{\max}]$,

$$T_o = t_{Data} + t_{SIFS} + t_{ACK}.$$

(4)에서 분모의 첫번째 항은 채널 경쟁을 위해 기대되는 시간지연을 의미하고, T_o 는 데이터를 전송하고 ACK을 받기 위한 오버헤드이다. F 는 프레임 사이즈 이고, L 은 long-retry limit 및 P_s 는 하나의 단위 프레임 교환에서 데이터가 성공적으로 전송되는 확률이다. P_e 는 채널에러 확률이며, P_c 는 충돌확률로써, [17]에서 제안한 방법을 통해 구할 수 있다. CW_i 는 i 번째 전송시도에서 contention window 크기를 나타낸다. 802.11 backoff 프로세서는 한번의 전송이 실패했을 때, long-retry limit까지 CW 값을 (4)에서와 같이 업데이트를 한다.

그러나 MAP의 가용 대역폭을 측정하기 위해서는 MAP의 특성을 반영해야 한다. 앞에서 소개한 바와 같이 MAP는 또 다른 무선 링크를 백홀로서 사용한다. 일반적으로 3G/WiMAX의 용량은 Wi-Fi의 그것보다 작다. 결국 차량과 MAP간의 채널 상황이 좋아 전송 속도가 (transmission rate) 크다고 해도, 차량의 가용 대역폭은 가장 낮은 링크의 대역폭에 의해 제한된다. 예를 들어, [18]에서 보여준 바와 같이 WiMAX 액세스 네트워크의 성능 측정은 이동중인 버스에서 다운로드 goodput이 1Mbps에서 3Mbps로 변하는 것을 보여준다. 차량이 인터넷에 접속하기 위하여 위와 같은 성능을 가지는 MAP를 사용한다면, 차량이 54Mbps와 같은 높은 전송 속도를 가질 수 있다고 해도, 그것의 가용 대역폭은 WiMAX 링크의 최대 용량 즉, 3Mbps로 제한된다. MAP는 자신의 백홀링크의 처리량을 모니터링하며 알 수가 있게되고, n 개의 노드가 association되어 있는 MAP i 가 w_i 의 백홀링크 용량을 가지고 공정한 스케줄링에 의해 n 개의 노드에게 대역폭을 할당한다면, 각 노드에게 할당된 대역폭은 w_i/n 이다. 그러므로, MAP i 로부터 얻을 수 있는 대역폭은 다음과 같다.

$$\min [b_i, w_i / n], \tag{5}$$

b_i 는 (4)에서 주어진 차량과 MAP i 사이의 링크 대역폭이다.

(4)에 의해 MAP는 association된 노드를 위한 실제 가용 대역폭을 알 수 있기 때문에, 차량에게 실제 링크 대역폭을 제공하기 위해 Beacon 프레임에서 채널 매체의 사용 시간 비율을 나타내는 ChannelUtilization 필드를 사용한다.

4. 접속 가용시간과 대역폭에 기반한 AP 선택 방법

차량과 가용한 AP사이에서 추정된 접속 가용시간과 대역폭을 바탕으로 AP 선택의 이득을 높이기 위하여, 스캔을 통해 발견된 가용 AP들 중에서 최적의 association sequence

를 찾는다. 가용한 AP의 집합을 $A = \{AP_1, AP_2, \dots, AP_i, \dots, AP_k\}$ 로 정의하면, 최적의 association sequence는 A로부터 모든 가능한 AP association 조합을 만들고 비교를 통해 찾을 수 있다. 그러나 가용한 AP의 수가 많아지면 *combinational explosion*에 의해 최적의 해를 찾을 수 없다. 그러므로 먼저 최대한 조합의 수를 줄이기 위해 AP association에 유효한 AP만을 집합 A로부터 추출한다. 그때 새롭게 제안된 트리 기반의 탐색 알고리즘(tree-based search)을 통해 최고의 association sequence를 찾는다.

A의 원소로 구성된 하나의 association sequence는 $\Phi = (\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_k | \rho_i \in A \text{ and } d_1 \leq d_2 \leq \dots \leq d_k)$ 로서 정의한다. Φ 는 AP의 접속 가용시간(d_k)의 순서로 정렬되어 있다. 최고의 이득을 주는 association sequence를 찾기 위하여 Φ 의 이득을 평가하기 위한 메트릭이 필요하고, 링크의 대역폭과 접속 가용시간을 함께 고려하는 함수를 아래와 같이 정의한다.

$$f(\Phi) = \sum_{i=1}^k b_i \cdot (d_i - d_{i-1}) - b_i \cdot \omega \cdot g(i) \tag{6}$$

$$\text{where, } g(i) = \begin{cases} 0 & i=1 \text{ and } \rho_c = \rho_i, \\ 1 & \text{otherwise.} \end{cases}$$

여기에서 ω 는 핸드오프 비용이고, d_i 와 b_i 는 이전장에서 예측된 AP i 의 접속 가용시간 및 대역폭을 의미한다. ρ_c 는 현재 association 되어 있는 AP이다. $g(i)$ 는 핸드오프 비용을 계산하기 위해 사용되는 함수로써 Φ 의 첫번째 원소가 현재 association되어 있는 원소와 같으면 핸드오프 오버헤드를 고려하지 않는다.

알고리즘 1은 하나의 sequence Φ 를 만들기 위해 모든 가용한 AP의 집합 A로부터 유효하지 않은 AP를 제거하는 방법을 설명하고 있다. 유효하지 않은 AP는 A에서 임의의 AP_i 보다 낮은 대역폭과 접속 가용시간을 제공하는 AP들을

Algorithm 1 Extracting effective APs

-
- 1: **Input:** $A = \{ AP_i \mid 1 \leq i \leq N \}$
 - 2: **Initialize** effective APs set S
 - 3: **Sort** APs with its duration
 - 4: // $\hat{A} = \{ AP_i \mid 1 \leq i \leq N \text{ and } d_1 \leq d_2 \leq \dots \leq d_n \}$
 - 5: **repeat**
 - 6: **Step1.** Extract the AP_i which has the max duration in the set \hat{A} . If the AP_i is not same with current associated AP and d_i is shorter than handoff latency ω , then stop the process.
 - 7:
 - 8: **Step2.** For each AP_i ∈ \hat{A} , delete APs having lower bandwidth than the b_i in the \hat{A}
 - 9:
 - 10: **Step3.** Include the AP_i in effective AP set S
 - 11:
 - 12: **until** $\hat{A} = \{ \}$
 - 13:
 - 14: **return** $S = \{ a_i \mid 1 \leq i \leq n \text{ and } d_1 \leq d_2 \leq \dots \leq d_n \}$
-

Algorithm 2 Find Maximum association sequence

Input: $S = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ // $d_1 \leq d_2 \leq \dots \leq d_n$

```

1: Initialize  $\Phi^*$ , Max
2: // make association sequences of which the last element is  $a_i$ 
3: for  $i = 1$  to  $n$  do
4:    $U_i \leftarrow \{ \}$ 
5:   for  $k=1$  to  $i$  do
6:     if  $k \neq i$  then
7:       if  $(d_i - d_k) < \omega$  then
8:          $U_i \leftarrow U_i \cup \{ a_k \}$ 
9:         Continue
10:      Else
11:         $U_i \leftarrow U_i \cup \{ U_k * \{a_i\} \}$ 
12:      end if
13:    Else
14:       $U_i \leftarrow U_i \cup \{ a_i \}$ 
15:    end if
16:  end for
17:  //  $U_i = \{ \Phi_{i1}, \Phi_{i2}, \dots, \Phi_{ij} \}$ 
18:  // find maximum association sequence  $\Phi^*$ 
19:  for each  $\Phi_{ij} \in U_i$  do
20:    calculate  $f(\Phi_{ij})$  by equation (20)
21:    if  $f(\Phi_{ij}) > \text{Max}$  then
22:      Max =  $f(\Phi_{ij})$ 
23:       $\Phi^* = \Phi_{ij}$ 
24:    end if
25:  end for
26: end for

```

의미한다. 왜냐하면, 차량이 AP_i 보다 낮은 대역폭과 접속 가능시간을 제공하는 AP들을 선택하게 되면 AP_i 를 선택하는 것 보다 이득을 취할 수 없기 때문이다. 그러한 AP들을 제거한 뒤에 association에 유효한 집합, $S = \{a_i \mid 1 \leq i \leq n \text{ and } d_1 \leq d_2 \leq \dots \leq d_n\}$ 를 얻을 수 있다. S 는 집합 A 의 부분집합이다.

알고리즘 2는 유효한 AP집합 S 로부터 AP association sequence를 만들고 최고의 sequence를 찾는 과정을 설명하고 있다. 집합 S 가 시간의 순서에 의해 정렬되어 있고 a_i 를 사용한 이후에 a_{i-1} 을 사용할 수 없기 때문에, 원소 a_i 로 끝나는 sequence의 가능 조합은 이미 1부터 $a-1$ 까지 만들어진 sequence를 이용하여 만들 수 있고 이것을 $U_i * \{a_i\}$ 로 정의한다. 이때 l 은 $1 \leq l \leq i-1$ 이다. 이러한 프로세스에 의해 만들어진 U_i 의 원소를 Φ_{ij} 로 정의한다. 만들어진 각각의 sequence는 (6)에 의해 최고의 sequence Φ^* 를 찾는다. $d_i - d_{i-1} < \omega$ 인 경우에는 a_i 를 U_{i-1} 의 순서에 결합하는 것은 오히려 부정적인 영향을 미치므로 U_i 를 만들기 위해 U_{i-1} 의 원소를 이용하지 않는다. 따라서 이득이 없는 sequence를 만들지 않기 때문에 비교해야하는 sequence의 수는 더욱더 줄어들 수 있게 된다. 제안한 방법은 하나의 트리기반의 열거 방법이기 때문에 최대 association sequence를 찾기 위한 복잡도는 스캔에 의해 발견되는 AP의 개수에 의해 결정된다.

그러나 비효율적인 association sequence를 제외하고 유효한 association sequence만을 고려하기 때문에 경우의 수를 $O(n^2)$ 로 줄일 수 있다. 실제로 성능평가를 위한 시뮬레이션에서 17개의 AP를 찾은 경우에도 2^{17} 개의 가능 조합으로부터 단순히 370개의 association sequence만을 비교하였다.

5. 성능 평가

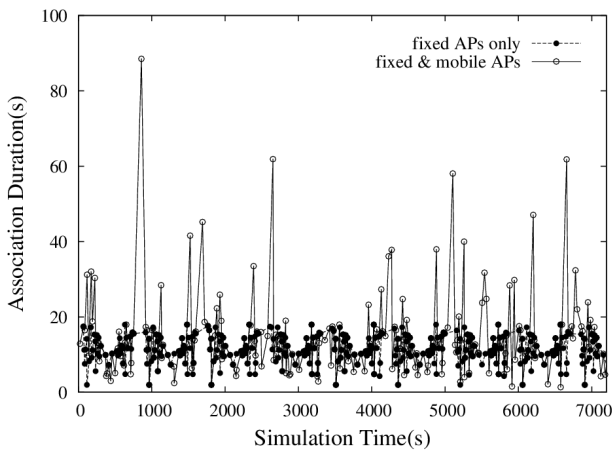
MAP가 있는 차량 네트워크 환경에서 제안한 AP선택 기법의 성능을 검증하기 위하여, 실제 버스 트레이스 기반의 시뮬레이션을 수행하였다. 이를 위하여, *UmassTransit*의 40대의 버스로부터 얻은 DieselNet 트레이스 [8]를 활용하였다. 시뮬레이션에서 MAP는 40대의 버스경로를 따라 이동하고, 차량은 버스들의 평균 속도로서 UMass 주위를 이동한다. 고정된 AP는 Wi-Fi 데이터 베이스 Wigle[15]로부터 200개의 고정 AP GPS 좌표를 샘플링하였다.

좀더 현실적인 실험을 수행하기 위하여 [3]과 [18]의 결과를 활용하였다. MAP는 그것의 백홀링크로서 WiMAX/IEEE 802.16e 모뎀을 장착한 것을 고려하였고, [18]의 다운링크 측정 결과로부터 WiMAX 링크 대역폭을 1-3Mbps로 할당하였다. 노변의 고정된 AP는 대역폭의 차이를 위하여 3-5Mbps를 할당하였다. 따라서 시뮬레이션에서 MAP는 고정된 AP보다 낮은 대역폭을 가진다. 핸드오프 시간 지연과 스캔 오버헤드를 위하여 [3]의 실험 결과에 따라 각각 3.88초, 0.32초를 할당하였다.

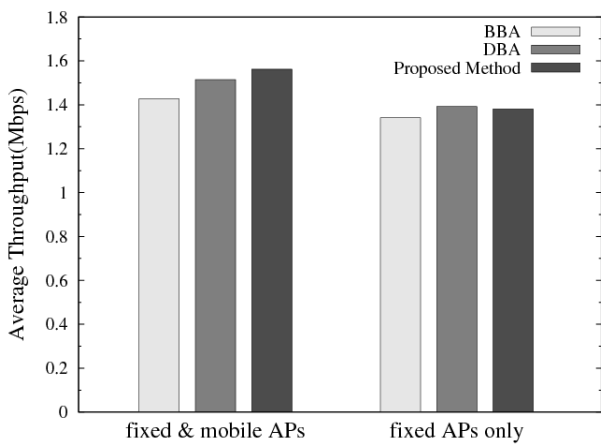
제안된 AP선택 기법의 성능을 검증하기 위하여 두가지의 AP 선택 방법을 비교하였다. 첫째는 대역폭에 기반한 AP 선택 방법(Bandwidth Based Association)으로서 차량은 스캔에 의해 발견된 AP중에서 가장 가용 대역폭이 높은 AP를 선택한다. 따라서 항상 높은 대역폭을 제공하는 AP를 선택하지만, 접속 가능시간을 고려하지 않아 빈번한 핸드오프를 수행할 수 있다. 둘째는 접속 가능시간에 기반한 AP선택 방법(Duration Based Association)으로서 차량은 접속 가능시간이 가장 긴 AP를 선택한다. 그러므로 핸드오프 횟수는 줄어들지만, 낮은 대역폭을 제공하는 AP를 선택할 수 있다.

먼저 2가지의 AP 배치 시나리오를 가지고 MAP를 사용하는 것의 효과를 평가하였다. 첫째는 200개의 고정 AP만 설치한 경우이고 두번째는 160개의 고정 AP와 40개의 MAP를 설치한 경우이다. (그림 3)은 차량의 AP association시간을 보여준다. 노변의 고정된 AP만 있는 경우에는 AP와의 association시간이 20초를 넘지 못하지만, MAP와 혼재되어 있는 AP 배치 환경에서는 차량이 기회적으로 MAP를 선택하여 association 시간이 더 긴 것을 볼 수 있다. 이에 따라 차량은 핸드오프 횟수를 줄여 더욱더 높은 성능을 가질 수 있다.

(그림 4)는 AP association 매트릭에 대한 평균 처리량을 보여준다. MAP가 혼재되어 있는 경우가 고정된 AP만 있는



(그림 3) 차량의 AP association 시간



(그림 4) AP배치에 따른 AP선택 메트릭의 처리량

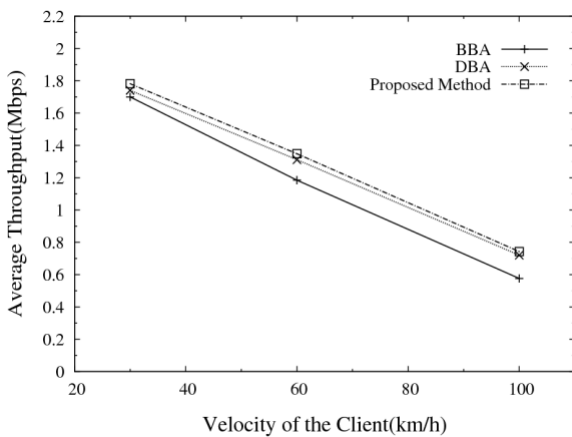
경우보다 약 15% 정도 좋은 성능을 보여주고 있다. 이것은 기회적으로 MAP를 사용하여 핸드오프의 시간 지연을 감소

하였기 때문이다. 이와 더불어 제안한 방법이 BBA와 DBA의 방법보다 더 좋은 성능을 보여줄 수 있다. 이것은 제안한 방법이 기회적으로 나타나는 MAP와 핸드오프 비용과 순간의 가용 대역폭 사이에서 균형을 맞추는 AP 선택을 하기 때문이다.

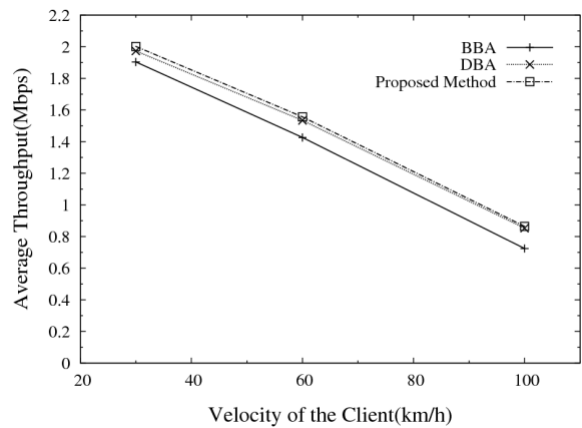
(그림 5)는 차량의 평균 속도에 따른 3가지의 AP 선택 방법의 성능 결과를 보여준다. (a)는 고정 AP와 MAP의 대역폭을 차별화 시켜 속도의 변화에 따른 AP선택 메트릭의 결과를 보여준다. 속도가 낮은 경우에 BBA와 DBA 그리고 제안한 방법에 있어 많은 차이를 보이지 않지만, 속도가 빨라짐에 따라 BBA의 방법보다 DBA와 제안한 방법이 약 30% 정도 더 좋아지는 것을 볼 수 있다. 이것은 BBA의 경우 빈번한 핸드오프로 인해 오히려 더 낮은 성능을 취하게 되기 때문이다. (b)는 고정 AP와 MAP의 대역폭을 동일하게 3-5Mbps로 부여한 결과를 보여주고 있다. MAP의 대역폭이 높아져 전체적으로 성능이 향상됨을 볼 수 있다. 다만 BBA의 경우에도 MAP가 가장 높은 대역폭을 가질 수 있어 경우에 따라 MAP를 선택함에 따라 제안한 방법과 BBA의 성능 차이가 (a)에서의 값보다 더 작게 된다.

6. 결론

본 논문에서 MAP와 노변의 AP가 혼재되어 있는 차량 네트워크를 고려하였다. 이러한 환경에서 AP로부터 취할 수 있는 접속 가용시간과 대역폭에 대한 예측 기법을 개발하고, 이 기법에 기반하여 차량 인근의 AP들과 효과적인 association을 위한 AP 선택 기법을 제안하였다. 실제 버스트 트레이스에 기반한 시뮬레이션을 통해서 제안한 AP선택 기법이 기존의 방법과 비교하여 더 좋은 성능을 나타내는 것을 보여주었다. 앞으로 AP가 스캔을 지능적으로 수행하여 더 좋은 AP를 찾을 수 있는 방법으로 제안한 방법을 확장할 계획이다.



(a) 고정AP: 3-5Mbps/MAP: 1-3Mbps



(b) 고정AP/MAP: 3-5Mbps

(그림 5) 차량 속도변화에 따른 처리량

참 고 문 헌

[1] J. Ott and D. Kutscher, "Drive-thru Internet: IEEE 802.11b for 'automobile' user," in *Proc. IEEE INFOCOM'04*, pp.362-373, 2004.

[2] V. Bychkovsky, B. Hull, A. K. Miu, H. Balakrishnan, and S. Madden, "A measurement study of vehicular Internet access using *in situ* Wi-Fi networks," in *Proc. ACM MobiCom'06*, pp.50-61, 2006.

[3] P. Deshpande, A. Kashyap, C. Sung, S. R. Das, "Predictive methods for improved vehicular Wi-Fi access," in *Proc. ACM MobiSys'09*, pp.263-279, 2009.

[4] A. Giannoulis, M. Fiore, E. W. Knightly, "Supporting vehicular mobility in urban multi-hop wireless networks," in *Proc. ACM MobiSys'08*, pp.54-66, 2008.

[5] M. Kim, Z. Liu, S. Parthasarathy, D. Pendarakis, H. Yang, "Association control in mobile wireless networks," in *Proc. IEEE INFOCOM'08*, pp.1256-1264, 2008.

[6] <http://www.novatelwireless.com/>

[7] <http://www.show.co.kr/index.asp?code=WAD0000>

[8] N. Banerjee, M.D. Corner, D. Towsley, and B.N. Levine, "Relays, base stations, and meshes: enhancing mobile networks with infrastructure," in *Proc. ACM MobiCom'08*, pp.81-91, 2008.

[9] UMass Transit. <http://www.umass.edu/transit/buses.html>

[10] TOPIS. <http://topis.seoul.go.kr/>

[11] W. Navidi and T. Camp, "Stationary distributions for the random waypoint mobility model," *IEEE Transactions on Mobile Computing*, Vol.3, No.1, pp.99-108, 2004.

[12] A. J. Nicholson and B. D. Noble, "BreadCrumbs: forecasting mobile connectivity," in *Proc. MobiCom'08*, pp.46-57, 2008.

[13] G.H. Mohimani, F. Ashtiani, A. Javanmard, M. Hamdi, "Mobility modeling, spatial traffic distribution, and probability of connectivity for sparse and dense vehicular ad hoc networks," *IEEE Trans. Vehicular Techno.*, Vol.58, No.4, pp.1998-2007, 2009.

[14] Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications. IEEE Std 802.11-2007.

[15] Wigle. <http://wigle.net>

[16] H. Lee, S. Kim, O. Lee, S. Choi, and S. Lee, "Available bandwidth-based association in IEEE 802.11 wireless LANs," in *Proc. ACM MSWiM'08*, pp.132-139, 2008.

[17] J. Choi, I. Na, Y. Lim, K. Park, and C. Kim, "Collision-aware design of rate adaptation for multi-rate 802.11 WLANs," *IEEE J. Select. Areas Commun*, Vol.26, No.8, pp.1366-1375, 2008.

[18] D. Kim, H. C., M. Na, and S. Choi, "Performance measurement over mobile WiMAX/IEEE 802.16e network," in *Proc. IEEE WoWMoM'08*, pp.1-8, 2008.



황 재 룡

e-mail : jrhwang@popeye.snu.ac.kr
 2002년 해군사관학교(학사)
 2006년 서울대학교 전기컴퓨터공학부(석사)
 2007년~현 재 서울대학교 전기컴퓨터공학부 박사과정
 관심분야: 무선 이동통신, 차량 네트워크 등



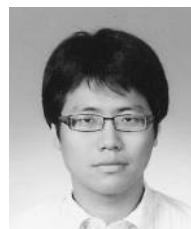
이 화 룡

e-mail : hrlee@popeye.snu.ac.kr
 2008년 서울대학교 전기컴퓨터공학부(학사)
 2009년~현 재 서울대학교 전기컴퓨터공학부 석사과정
 관심분야: 차량 이동통신, DTN 등



최 재 혁

e-mail : jaehchoi@umich.edu
 2003년 서울대학교 재료공학부(학사)
 2008년 서울대학교 전기컴퓨터공학부(공학 박사)
 2008년 서울대학교 정보기술사업단(BK-21) 박사후연구원
 2008년~현 재 미시간대학교 전기공학부 박사후연구원
 관심분야: 무선이동통신, 이종망통신융합, 그린IT통신기술 등



유 준

e-mail : joonyoo2@ucla.edu
 1997년 KAIST 기계공학과(학사)
 2009년 서울대학교 전기컴퓨터공학부(박사)
 2009년 서울시립대학교 컴퓨터과학부 연구 교수
 2009년~현 재 University of California, Los Angeles (UCLA) Postdoctoral Researcher
 관심분야: 무선 차량이동망, 무선랜 등



김 종 권

e-mail : ckim@snu.ac.kr

1981년 서울대학교 산업공학과(학사)

1982년 미국 조지아 공과대학교 산업공학과
(공학석사)

1987년 미국 일리노이 대학교 전산학과(공
학박사)

1984년~1987년 IBM 산호세 연구소 연구조원

1987년~1991년 미국 Belcore 통신연구소 연구원

1991년~현 재 서울대학교 전기컴퓨터공학부 교수

관심분야: 차세대 인터넷, 초고속 라우터, 이동통신 등