한국ITS학회논문지
제10권, 제1호 (2011년 2월)
pp.76~83

IEEE WAVE 기반의 무선 네트워크를 위한 핸드오버 프로토콜

A Handover Protocol for the IEEE WAVE-based Wireless Networks

최 정 욱* **이 혁 준**** **최 용 훈***** **정 영 욱******
(Jung-Wook Choi) (Hyukjoon Lee) (Yong-Hoon Choi) (Young-Uk Chung)

요 약

ITS(Intelligent Traffic System) 통신을 위한 국제표준인 IEEE WAVE(Wireless Access for Vehicular Environment) 규격은 핸드오버 기능을 제공하지 않는다. 본 논문에서는 IEEE WAVE 기반의 고속도로 통신 네트워크에서 웹 페이지, CCTV 동영상 비디오클립 등의 멀티미디어 기반 서비스를 제공하기 위한 능동적(proactive) 핸드오버 프로토콜을 제안한다. 제안하는 핸드오버 프로토콜은 핸드오버 시작 전에 기존의 RSU에게 범위 이탈을 알림으로써 OBU(On-Board Unit)로 향하는 데이터를 다음 RSU로 전달하여 사전캐싱을 하도록 한 후, OBU의 범위내 진입시 최종적으로 OBU에게 전송하여 핸드오버 과정을 완료한다. 시뮬레이션을 통해 본 핸드오버 프로토콜이 처리량과 전송성공률 그리고 핸드오버 지연시간 측면에서 우수함을 보인다.

Absrtact

The IEEE WAVE-based communication systems do not provide handover services since most of the application layer messages of a small amount containing text data that are related to safe driving. Multimedia data service such as web pages and CCTV video clips, however, require a seamless handover for continuation of a session via multiple RSUs. In this paper, we propose a new proactive handover protocol based on IEEE WAVE. According to the proposed handover protocol, the OBU notifies the old RSU of its departure from the coverage such that the old RSU forwards to the new RSU the data heading towards the OBU to be cached for the further delivery upon its entry into the new RSU's coverage. The simulation results are presented which shows the performance of the proposed protocol in terms of throughput, delivery ratio and handover delay.

Key words : IEEE 802.11p, handover, WLAN, MAC, V2I

† 이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(R01-2008-000-12233-0).
* 주저자 : 광운대학교 컴퓨터공학과 석사과정
** 공저자 및 교신저자 : 광운대학교 컴퓨터공학과 교수
*** 공저자 : 광운대학교 정보제어공학과 교수
**** 공저자 : 광운대학교 전자공학과 교수
† 논문접수일 : 2011년 2월 1일
† 논문심사일 : 2011년 2월 25일
† 게재확정일 : 2011년 2월 26일

Ⅰ. 서 론

IEEE WAVE는 ITS 통신을 위한 국제표준으로 차량에 탑재되는 On-Board Unit(OBU)과 노변에 설치되는 Road-Side Unit(RSU) 간의 빠른 링크 연결과 고속전송을 핵심 기술로 하고 있다. IEEE WAVE는 물리계층 및 MAC 계층 프로토콜인 IEEE 802.11p 표준은 IEEE 802.11a의 물리계층과 기존의 IEEE 802.11 MAC을 고속의 링크 연결이 가능하도록 수정한 프로토콜을 채택하고 있다[1]. IEEE WAVE 통신 규격은 최대 1,400 바이트 크기의 ITS 관련 텍스트 정보를 실시간 전송하는 것을 주 응용 서비스로 하여 개발되었기 때문에 OBU가 인접한 두 RSU 간을 이동하는 동안에도 지속적으로 데이터 전송이 가능한 핸드오버 기능을 지원하지 않는다. 그러나 향후 ITS서비스가 도로상의 CCTV 비디오 스트림 영상이나 WWW 기반의 첨단 서비스를 제공하게 될 것으로 예측되고 있어, RSU 간 고속 L2 핸드오버 기능의 필요성이 대두되고 있다. IEEE WAVE의 MAC 프로토콜이 기반을 두고 있는 IEEE 802.11 무선랜 규격은 효율적이지는 않지만 AP(Access Point) 간 핸드오버를 지원하고 있으며, 핸드오버 처리과정 중의 접속 및 인증과정에서의 지연시간을 감소시키기 위한 확장 프로토콜인 IEEE 802.11f/r과 다수의 관련연구 논문이 존재하지만 접속 및 인증절차를 생략한 IEEE 802.11p MAC에는 이러한 기술들을 적용하는 것이 불가능하다.

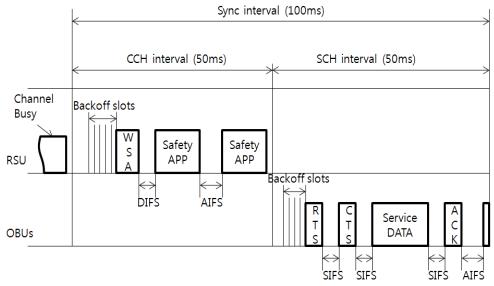
IEEE 802.11 환경에서의 핸드오버 지연시간을 줄이기 위한 연구에서 이웃 노드 그래프를 이용하여 최소한의 타깃 AP를 선정하도록 함으로써 스캐닝으로 인한 지연시간을 감소시키거나 타깃 AP에게 MS의 문맥(context)정보를 사전에 능동적으로 전달(proactive caching)함으로써 결합/인증 과정의 지연시간을 감소시키는 방법들이 제안되었으며[2-11], IEEE 802.11f/r 규격들이 재결합과정이나 재인증 과정으로 인한 지연시간을 감소시키기 위한 핸드오버 기능을 추가 했지만[12,13], 재결합/재인증 과정이 제외된 IEEE 802.11p 시스템에서는 이러한 방법들이 적용될 수 없다.

IEEE 802.11p 기반의 네트워크에서의 고속 L2 핸드오버를 지원하기 위한 기술에 대한 연구 사례는 매우 드물며, 새로운 RSU(nRSU) 영역 진입시 OBU가 폴 메시지를 전송하도록 하여 핸드오버 발생 사실을 알림으로써 nRSU를 통한 지속적인 데이터 전송이 가능하도록 하는 방식이 주로 사용되고 있다[14,15]. 그러나 폴링 기반의 핸드오버 방법들은 OBU의 nRSU 전송영역 진입 사실을 알려주게 되어 접속절차를 생략한 IEEE 802.11 MAC 규격의 기본 취지에 역행하는 결과를 초래하게 되며, 폴 메시지를 전송하기에 앞서 필요한 WSA(WAVE Service Announcement) 메시지의 수신이 최대 100ms 까지 지연될 수 있어 과도한 핸드오버 지연시간이 발생할 수 있고(2절 참조), nRSU가 폴 메시지를 수신하기 전까지 이전 RSU(oRSU)가 반복되는 재전송을 시도하므로 무선자원의 낭비를 초래하는 문제를 안고 있다.

본 논문에서는 OBU가 oRSU와 연결을 해제하기 이전에 핸드오버를 할 것을 알려주어 자신에게 전송되는 데이터를 nRSU로 전송하는 방법으로 데이터 손실을 방지하고 핸드오버로 인한 RSU의 성능 저하를 줄일 수 있는 새로운 핸드오버 기법을 제안한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 제2절에서는 IEEE 802.11p MAC 프로토콜 중 본 연구와 관련된 내용을 중심으로 소개하고, 제3절에서는 제안하는 핸드오버 프로토콜을 설명한다. 제4절에서는 시뮬레이션을 기반으로 한 성능분석을 다루며, 제5절에서는 결론을 맺는다.

Ⅱ. The IEEE 802.11p MAC

IEEE 802.11p는 차량 간 통신을 위한 표준이며 다중 채널에서 동작하는 차량의 무선 접속을 허용하기 위한 동작을 정의하는 IEEE 1609 표준 계열과 상호 연동하여 동작한다. IEEE 802.11p는 한 개의 제어 채널(CCH : Control Channel)과 여섯 개의 서비스 채널(SCH : Service Channel)을 사용한다. IEEE 802.11p의 제어 채널은 시스템 제어와 안전 관련 메시지 전용이며, 서비스 채널은 안전



〈그림 1〉 IEEE 802.11p의 채널 접근 프로세스
〈Fig 1〉 Channel access process of IEEE 802.11p

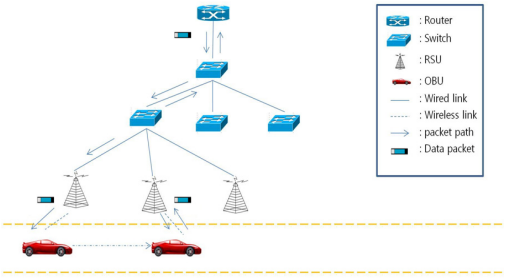
과 관련되지 않은 데이터 패킷을 교환하기 위해 사용한다. 제어채널 구간(CCH Interval)과 서비스 채널 구간(SCH Interval)은 각각 50ms로 정의되어 있다<그림 1>. WAVE의 차량탑재(OBU)는 매 제어 채널 구간 동안에는 제어채널에 머물러 있으면서 WAVE 제어 패킷 및 안전 관련 메시지들을 수신하고, 서비스채널 구간 동안에는 안전과 관련되지 않은 데이터를 서비스 채널에서 송신하거나 수신한다. 제어 채널과 서비스 채널의 채널 접속은 IEEE 802.11e의 우선순위 기반의 랜덤 백오프 채널 접속 과정을 따른다.

WAVE를 이용하여 통신하기 위해 구성되는 WBSS(WAVE Basic Service Set)는 WBSS를 시작하는 노드인 공급자와 WBSS에 가입하는 노드인 WBSS 사용자로 구성된다. 공급자는 제어채널에서 WAVE 응용을 식별하기 위한 정보와 WBSS에 가입하기 위해 필요한 WBSS 인식자, WBSS가 사용할 서비스 채널, 동기화를 위한 타이밍 정보 등의 네트워크 파라미터를 담고 있는 비콘 격인 WSA(WAVE Service Announcement)를 주기적으로 전송하고 사용자는 전송되는 WSA를 수신 한 후, 다음 SCH 간격에 WBSS에서 사용하는 서비스 채널로 채널을 전환함으로써 간단히 WBSS에 가입 할 수 있다. 이와 같이 사용자는 WSA를 수신하는 것으로 IEEE 802.11의 가입 및 인증 과정을 수행하지 않고 전송 준비를 마칠 수 있다.

Ⅲ. 제안하는 핸드오버

1. 네트워크 구조

제안하는 핸드오버 프로토콜은 고속도로 상에서의 ITS서비스를 위한 네트워크에 적용되는 것을 가정하고 있다. 즉, <그림 2>에서처럼 RSU가 노변을 따라 일정한 간격을 두고 분포되어 있으며 규칙적인 식별체계를 가지고 있어, 각 OBU는 항상 다음 접속대상 RSU를 인지할 수 있다. RSU들은 학습기반의 필터테이블 갱신 기능을 갖는 L2 스위치들에 의하여 트리구조를 형성하며, 이 트리구조의 루트에는 외부 네트워크와 연결되는 게이트웨이 라우터가 위치한다.



〈그림 2〉 네트워크 구조
〈Fig 2〉 Network infrastructure

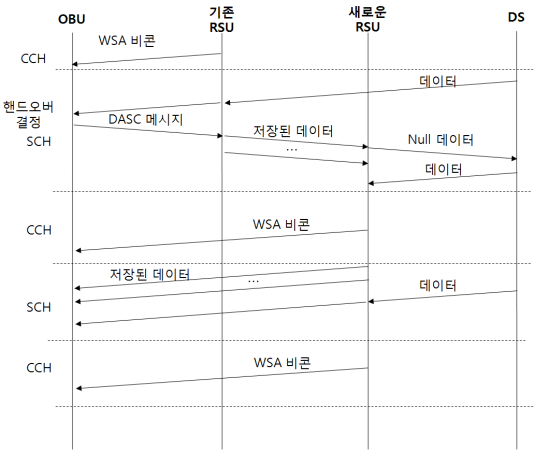
2. 핸드오버 절차

IEEE 802.11의 핸드오버 동작이 시작되면 MS는 기존 AP와의 연결을 끊기 위해 새로운 AP에게 재결합 메시지를 전송한다. MS로부터 재결합 메시지를 받은 AP는 기존의 AP에게 IEEE 802.11f Move-Notify 메시지를 송신하여 예전 AP에 임시로 저장 되어 있는 해당 MS로 전달되어야 할 데이터를 자신에게 전송해 줄 것을 요청하며 예전 AP가 해당 MS에게 할당한 자원을 해제하도록 한다. 새로운 AP로부터 Move-Notify 메시지를 받은 기존 AP는 요청받은 데이터를 새로운 AP로 전송하며 MS에게 할당한 자원을 회수 한다. 반면 IEEE 802.11p 기반의 시스템에서는 RSU가 CCH을 이용하여 주기적으로 WSA 메시지를 전송하여 채널 정보 등을 알려

주기 때문에 OBU가 스캐닝 동작을 수행할 필요가 없다. 또한 재결합/재인증 과정 또한 생략되었기 때문에 OBU가 새로운 RSU에 접속한 이후 자신의 정보를 RSU에게 알려줄 수 있는 수단이 존재하지 않는다.

반면 핸드오버 전에 능동적 사전 캐싱과 같은 핸드오버를 위한 선행 동작을 준비한다면 위에 언급한 문제들을 해결할 수 있다. 이 경우 oRSU가 OBU의 다음 접속 RSU를 알아야 한다는 제약 조건이 있다. 셀 기반의 일반적인 핸드오버 상황의 경우 해당 단말이 어느 기지국으로 이동할 것인지 정확히 예측하기 어렵지만 고속도로 환경인 경우는 비교적 쉽게 예측이 가능하다. 고속도로 환경에서 RSU는 도로를 따라 일정 순서에 따라 설치될 것이며 모든 OBU는 도로를 따라 상행, 또는 하행의 한 방향으로 이동한다. 따라서 RSU들의 배치 순열을 RSU0, RSU1, ... RSUn이라고 한다면, oRSU = RSUi 이면 nRSU = RSUi+1, i = 0, ..., n이 된다.

제안하는 핸드오버 프로토콜에서는 OBU가 핸드오버를 결정하면 SCH에서 oRSU에게 결합해제(disassociation) 메시지를 전송한다. 결합해제 메시지를 받은 oRSU는 해당 OBU로의 전송을 중단하여 재전송 등으로 인한 대역폭의 낭비를 막고 해당 OBU로 전송해야 할 패킷들을 OBU가 이동할 nRSU로 전송하여 OBU가 nRSU로부터 WSA 메시지를 수한한 후, SCH에서 패킷을 이어 받을 수 있도록 한다. oRSU는 포워드 패킷의 MAC 헤더 주소 필드 중 ToDS/FromDS를 1로 설정하고 Address1은 OBU의 주소, Address2는 nRSU의 주소(BSSID), Address3은 oRSU의 주소로 설정한다. nRSU가 oRSU로부터 패킷을 전달 받으면 MAC 헤더의 주소필드를 참조하여 해당 패킷이 oRSU로부터 전달되었으며 자신에게 핸드오버 할 OBU로 전송되어야 할 패킷임을 인식하게 된다. nRSU는 외부 IP 네트워크와 연결되어 있는 게이트웨이 라우터를 향해 Null 데이터 패킷을 전송(unicast)하여 모든 업스트림 L2 스위치들이 핸드오버를 완료한 OBU에 대한 필터 테이블 엔트리를 갱신하도록 한다. 즉, nRSU로부터 Null 데이터 패킷을 받은 스위치 및 라우터는 핸드오버를 완료한 OBU로 향하는 패킷을 oRSU로 전송하는 대신에 nRSU의 전송하여 최종적으로 해당 OBU로 끊김 없이 전달될 수 있도록 한다.



〈그림 3〉 제안하는 핸드오버 프로토콜에서의 메시지 교환 절차

〈Fig. 3〉 Message exchanging procedure for the proposed handover protocol

제안하는 방법의 단점으로는 결합해제 메시지가 손실될 경우에는 oRSU에서의 핸드오버 중인 OBU로의 패킷 식별이 불가능하다는 것이며, 이 경우에는 폴링방식을 적용하여 핸드오버를 시도한다. <그림 3>은 제안하는 핸드오버 프로토콜에서의 메시지 교환을 나타낸 것이다.

Ⅳ. 성능 비교분석

1. 실험 환경

제안하는 핸드오프 프로토콜의 동작을 검증하기 위해 NS-2.28의 IEEE 802.11e MAC의 추가모듈을 수정하여 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 시나리오는 고속도로에서 주행하는 차량(OBU)과 고속도로 주변의 노변장치(RSU), 노변장치와 유선으로 연결된 한 개의 스위치로 구성된다. 실험은 RSU간의 거리와 프레임에러율(FER)가 변화할 때 제안하는 핸드오버 방식(proactive)과 802.11p w/poll방식(reactive)의 핸드오버 프로토콜

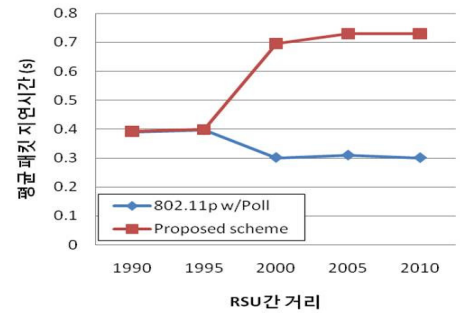
의 평균 패킷 전송지연, 처리량, 핸드오버 지연시간, 전송성공률을 측정하여 비교분석하는 방법으로 진행되었다.

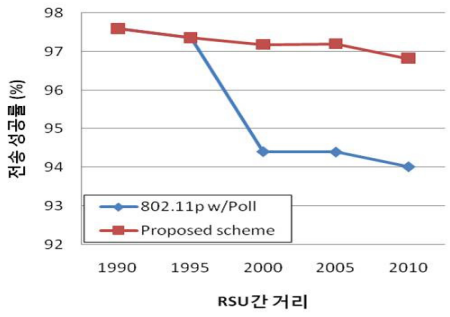
차량의 속도는 160Km/h를 기준으로 10%범위 내의 임의의 값으로 설정하고 각 차량의 거리는 해당 속도에 대한 안전거리인 160m를 기준으로 10m 범위 내의 임의의 값으로 설정하였다. 차량 탑재 장치와 노변 장치 모두 1,000m의 전송 범위를 가진다. 노변장치는 5대이며 차량은 1개의 노변장치의 범위 내에 2대씩 모두 10대가 위치한다. 실험 시간은 60초 이며 모든 차량은 실험 시작과 동시에 같은 방향으로 이동한다. 실험에서 발생하는 트래픽은 비디오 스트리밍을 위한 트래픽과 일반 범용 데이터 트래픽을 상정한 CBR트래픽 2가지의 다운링크 트래픽이다. 노변장치 사이의 거리를 변화하는 실험은 전송범위의 중첩이 일어나지 않는 임계 거리인 2000m를 기준으로 5m씩 중첩 범위를 조절하여 1,990m, 1,995m, 2,000m, 2,005m, 2,010m의 5가지 값을 적용하고 FER은 0~0.5사이의 확률을 적용한다.

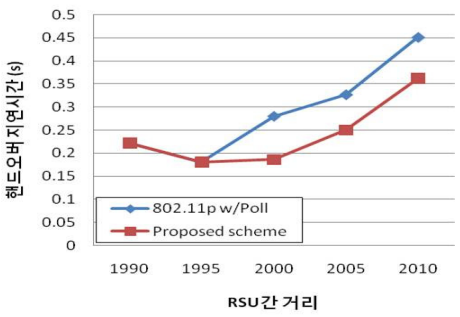
2. 실험 결과 및 분석

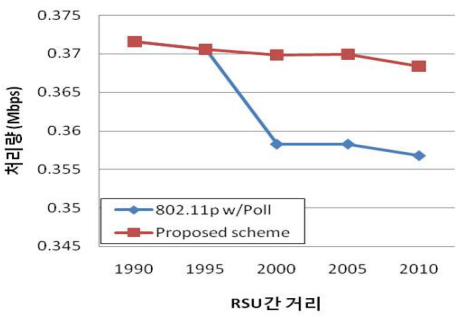
<그림 4>는 RSU간의 간격을 변화시키면서 프로토콜의 성능을 측정한 결과이다. 이 실험에서는 두 RSU간의 전송 중첩 범위의 변화가 두 프로토콜에 어떠한 영향을 끼치는지를 알 수 있다. <그림 4>를 보면 중첩되지 않는 2,000m 지점부터 제안하는 프로토콜이 처리량, 전송성공률 그리고 핸드오버지연 측면에서 더 우수한 성능을 가지는 것을 알 수 있다. 2000m 지점부터 제안하는 프로토콜의 평균 전송지연이 IEEE 802.11p w/poll 방식 보다 약 0.2초가량 증가하는 것을 볼 수 있는데 이는 OBU가 핸드오버 전의 oRSU로부터 버퍼링된 데이터를 전송받음으로써 발생되는 현상이다. 버퍼링 되었던 데이터를 nRSU로 포워딩 하여 전달 받는 방법을 이용하면 평균전송지연은 다소 증가될 수 있으나 oRSU에서 손실될 수 있는 패킷들을 nRSU를 통하여 수신할 수 있기 때문에 처리량이 증가하며 전송성공률 또한 증가하여 핸드오버 과정에서의 패킷 손실을 최소화 할 수 있음을 알 수 있다. 제안하는 프로토콜은 핸드오버지연 측면에서도 우수한 성능을 나타낸다. 2,010m 지점을 보면 RSU간의 거리가 10m 떨어져 있을 때 약 250ms의 핸드오버지연을 가지는 것을 알 수 있다. 이때 차량이 본 실험의 차량이동 속도인 [144. .... 176]Km/h로 이동할 경우 oRSU로부터 벗어나 nRSU의 전송범위로 들어가기 전까지의 이동시간이 약 200ms가량 소요되므로 이를 감안하면 제안하는 프로토콜은 전파범위에 진입한 뒤 약 50ms 이내에 패킷을 수신할 수 있다고 볼 수 있기 때문에 본 프로토콜은 핸드오버시의 끊김 없는 데이터 전송이 가능하다고 할 수 있다.

<그림 5>는 FER의 변화에 따른 두 프로토콜의 성능변화를 측정한 결과이다. FER의 증가는 두 프로토콜 모두의 성능에 영향을 미치게 되지만 <그림 5>를 보면 FER이 증가하더라도 제안하는 프로토콜의 핸드오버지연, 전송성공률, 처리량은 802.11p w/poll방식보다 우수한 성능을 보임을 알 수 있다. 또한 FER이 커질수록 두 프로토콜의 성능 차이가 커지는 것을 알 수 있는데 이는 802.11p w/poll방식이 WSA의 수신으로 시작되는 핸드오버 방식을 사용하기 때문에 WSA의 수신율에 더 민감하기 때문이다. 하지만 FER 0.4 이상에서는 제안하는 프로토콜의 성능도 급격히 감소한다. 그 이유는 OBU가 새로운 RSU로부터 WSA를 수신 하지 못하면 새로운 RSU와 통신 할 수 없는 802.11p 의 기본 메커니즘 때문이다. 결과적으로 제안하는 프로토콜은 802.11p w/poll방식보다 핸드오버 동작을 빠르게 수행하여 성능을 향상 시킬 수 있지만 802.11p 기본 메커니즘을 거스를 수는 없기 때문에 손실되는 WSA의 패킷의 수가 일정량 이상으로 증가하게 되면(FER 0.5) 성능이 급감한다. 그러나 이런 경우에도 802.11p w/poll 방식보다는 우수한 성능을 유지할 수 있음을 알 수 있다.

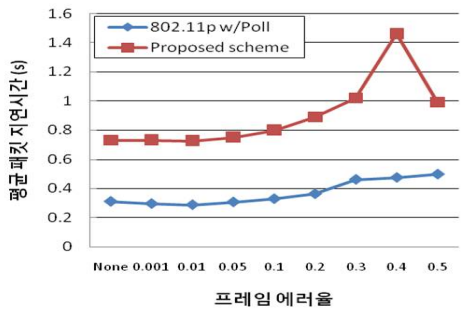


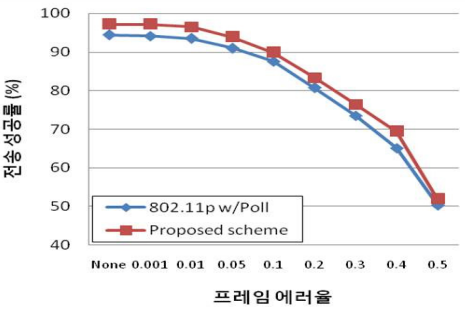


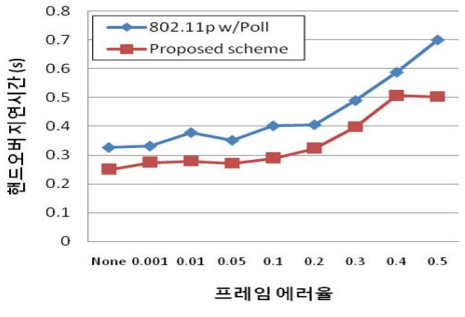


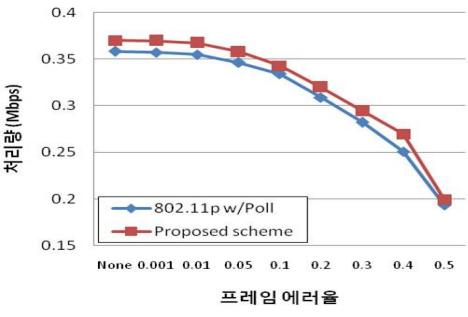


〈그림 4〉 RSU간 거리 변화에 따른 성능비교
〈Fig. 4〉 Performance analysis according to the distance differences between RSUs









〈그림 5〉 FER 변화에 따른 성능 비교
〈Fig. 5〉 Performance analysis according to FER differences

Ⅴ. 결 론

본 논문에서는 WAVE기반의 통신에서도 응용의 특성에 따라서는 핸드오버 기법이 필요할 수 있다는 것을 보였다. 핸드오버 기법을 제안하기 위한 사전 연구 조사에서 IEEE 802.11p 표준에 대하여 분석하였으며 이를 바탕으로 새로운 L2 고속핸드오버 기술을 제안하였다. 시뮬레이션을 통해 제안하는 프로토콜의 동작 및 유효성을 검증하였으며 시뮬레이션 결과 제안하는 핸드오버 프로토콜이 끊김 없는 서비스 제공이 가능한 핸드오버를 수행할 수 있다는 것을 확인하였다.

참 고 문 헌

[1] IEEE 802.11p/D10.0 Wireless LAN Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications Amendment 7: Wireless Access in Vehicular Environments, 2010.

[2] J. Montavont, N. Montavont and T.Noel, “Enhanced schemes for L2 handover in IEEE 802.11 networks and their evaluations”, *Proc. 16th IEEE Int. Symp. on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC ’05),* Berlin, Germany, vol.3, pp.429~1433, Sept. 2005.

[3] C. C. Tseng, K. H. Chi, M. D. Hsieh and H. H. Chang, “Location-based fast handoff for 802.11 networks”, *IEEE Communications Letters,* vol.9, pp.304~306.

[4] J. Montavont and T. Noel, “IEEE 802.11 handover assisted by GPS information”, *Proc. IEEE Int. Conf. on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob ’06),* Montreal, Québec, Canada, pp.166~172, June 2006.

[5] A. Shimizu, S. Fukuzawa, T. Osafune, M. Hayashi and S. Matsui, “Enhanced functions of 802.11 protocol for adaptation to communications between high speed vehicles and infrastructure”, *Proc. 7th IEEE Int. Conf. on ITS Telecommunications (ITST ’07),* Seattle, WA, USA, pp.1~3, Oct. 2007.

[6] E. Paik and Y. Choi, “Prediction-based fast handoff for mobile WLANs”, *Proc. 10th IEEE Int. Conf. on Telecommunications (ICT ’03),* Tahiti. vol.1, pp.748~753, Feb. 2003.

[7] M. Shin, A. Mishra and W. Arbaugh, “Improving the Latency of 802.11 Hand-offs using Neighbor Graphs,” *Proc. ACM MobiSys 2004,* June 2004.

[8] H. S. Kim, S. H. Park, C. S. Park, J. W. Kim and S. J. Ko, “Selective channel scanning for fast handoff in wireless LAN using neighbor graph,” *The 2004 International Technical Conference on Circuits/Systems,* Computers and Communications (ITC-CSCC2004), July 2004.

[9] A. Mishra, M. Shin and W. Arbaugh, “Context caching using neighbor graphs for fast handoffs in a wireless network,” *Proc. IEEE INFOCOM 2004*, Mar. 2004.

[10] S. Pack and Y. Choi, “Fast handoff scheme based on mobility prediction in public wireless LAN systems,” *IEEE Proc. Commun.,* Oct. 2004.

[11] S. Pack, H. Jung, T. Kwon and Y. Choi, “SNC: A selective neighbor caching scheme for fast handoff in IEEE 802.11 wireless networks,” ACM Mobile Computing and Comm. Review, Oct. 2005.

[12] IEEE 802.11f, “Recommended practice for multi -vendor access point interoperability via an inter-access point protocol across distribution systems supporting IEEEE 802.11 operation,” *IEEE Standard,* July 2003.

[13] IEEE 802.11r, “Wireless medium access control (MAC) and physical layer(PHY) specifications: fast basic service set(BSS) transition,” *IEEE 802.11r-2008,* 2008.

[14] N. Choi, S. Choi, Y. Seok, T. Kwon and Y. Choi, “A solicitation-based IEEE 802.11p MAC protocol for roadside to vehicle networks,” *2007 Mobile Networking for Vehicular Environments,* pp.91~96, May 2007.

[15] A. Böhm and M. Jonsson, “Handover in IEEE 802.11p-based delay-sensitive vehicle-to-infrastructure communication,” *Research Report IDE - 0924, School of Information Science*, Computer and Electrical Engineering (IDE), Halmstad University, Sweden, 2009.

저자소개

최 정 욱 (Choi, Jung-Wook)

2009년 3월 ~ 현 재 : 광운대학교 컴퓨터공학과 석사과정
2009년 2월 : 광운대학교 컴퓨터공학과 졸업(학사)

이 혁 준 (Lee, Hyukjoon)

1987년 : University of Michigan, Computer Science(학사)
1989년 : Syracuse University, Computer Science(석사)
1993년 : Syracuse University, Computer Science(박사)
1994년 ~ 1996년 : 삼성전자(주) 멀티미디어 연구소 선임연구원
1996년 ~ 현 재 : 광운대학교 컴퓨터공학과 교수

최 용 훈 (Choi, Yong-Hoon)

1991년 3월 ~ 1995년 2월 : 연세대학교 전자공학 학사
1995년 3월 ~ 1997년 2월 : 연세대학교 전자공학 석사
1997년 1월 ~ 2001년 2월 : 연세대학교 전기전자공학 박사
2001년 4월 ~ 2002년 3월 : University of Maryland, Postdoctoral Research Associate
2002년 6월 ~ 2005년 8월 : LG전자 책임연구원
2005년 9월 ~ 현 재 : 광운대학교 정보제어공학과 교수

정 영 욱 (Chung, Young-Uk)

1993년 3월 ~ 1997년 2월 : 한국과학기술원 전자전산학 학사
1997년 3월 ~ 1999년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학 석사
1999년 3월 ~ 2003년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학 박사
2003년 3월 ~ 2005년 8월 : 하이닉스 반도체 책임연구원
2005년 9월 ~ 현 재 : 광운대학교 전자공학과 조교수