한국ITS학회논문지
제12권, 제5호 (2013년 10월)

http://dx.doi.org/10.12815/kits.2013.12.5.052

pp.52~60

고속주행환경에서 IEEE802.11p 기반 통신 핸드오버 알고리즘 파라미터 값에 따른 핸드오버 성능 분석

Handover performance evaluation by a IEEE 802.11p based handover algorithm and its parameter under high-speed driving environments

송 유 승* **오 현 서****
(Yoo-seung Song) (Hyun-seo Oh)

요 약

세계 각국에서 연구개발 중인 ITS 기술은 기존 도로 인프라의 효율성 극대화, 복잡한 교통문제 해결 그리고 운전자 편의 서비스 제공 등을 해결하기 위한 방안으로 기대되고 있다. 이러한 ITS 기술의 핵심은 서버가 교통정보를 수집하고 수집된 정보를 빠르고 정확하게 필요한 사용자에게 제공하는데 있다. 실제 주행환경에서는 차량과 기지국 주변에 수많은 통신장애요소들이 혼재함으로 ITS관련 서비스를 끊김없이 보장하기 위해서는 정확하고 잡음신호에 강인한 핸드오버 기술이 필요하다. 본 논문에서는 실제 차량용 통신장치에 구현된 WAVE 핸드오버 알고리즘을 소개하고 성능에 영향을 미치는 5가지 주요 파라미터를 도출하였다. 본 논문에서는 고속주행 시험도로에서 도출된 파라미터들에 대해 여러 값을 대응하여 각각의 조건에서 핸드오버 성능 변화를 분석하였다. 본 논문의 시험결과는 빈번하게 발생하는 핸드오버 핑퐁 문제 해결을 위해 핸드오버 알고리즘에 사용되는 파라미터 값을 얼마나 잘 설정해야 하는지를 설명해준다.

핵심어 : WAVE, Handover, ITS, V2I, V2V, Wireless Communications

Abstract

ITS technologies are in the research and development around the world as a solution for maximizing the efficiency of the existing road infrastructure, solving the complex traffic problems and providing the convenient driving services. The core of these ITS technologies is to provide the information for the requesting users in fast and accurate way from the server. In real driving conditions, there are many communication barriers around the vehicles and the base stations so that an accurate and robust handover technology is needed in order to ensure seamless ITS services. This paper introduced an WAVE handover algorithm implemented in a real communication device and five parameters mainly affecting the handover performance are evaluated. The handover performance is measured by changing the parameter values at a highway testbed. The test results show that the handover algorithm parameter values should be configured carefully to remove the handover ping-pong problems.

Key words : WAVE, Handover, ITS, V2I, V2V, Wireless Communications

† 본 연구는 건설기술혁신사업 SMART 도로-IT 기반 교통운영기술 개발과제(07기술혁신A01) 지원으로 수행하였습니다.
* 주저자 : 한국전자통신연구원 선임연구원
** 공저자 및 교신저자 : 한국전자통신연구원 책임연구원
† 논문접수일 : 2013년 08월 23일
† 논문심사일 : 2013년 10월 10일
† 게재확정일 : 2013년 10월 14일

Ⅰ. 서 론

기존 도로 인프라에 대한 이용 효율성을 극대화하고 운전자 편의의 교통 정보제공 및 각종 교통 문제를 해결하고자 국내뿐만 아니라 해외에서도 경쟁적으로 ITS(Intelligent Transportation Systems) 기술을 도입하고 시제품들을 개발하고 있다[1-2]. 이러한 ITS 기술에서의 핵심은 빠르고 정확한 교통정보를 필요한 사용자에게 전달하는 것이다. 즉, 주행중인 차량이 다른 차량과 통신을 하거나 주변 인프라는 통해 인터넷 망에 실시간 접속할 수 있도록 기술을 지원함으로써 도로교통 정보, 응급서비스, 경로안내, 안전운전 지원, 자동요금징수, 각종 낙하물 검지 등의 다양한 텔레매틱스 관련 서비스 제공이 가능하다[3]. 이러한 서비스 제공을 위해서는 먼저 노변에 설치된 기지국 및 각종 센서들로부터 도로 교통상황과 정보를 실시간 수집하여 서버에 저장한다. 각종 교통 정보를 필요로 하는 운전자들은 주변 인프라를 통해 서버로부터 필요한 정보를 내려 받는다. 이러한 ITS 서비스를 위해서는 주행차량이 노변에 설치된 통신 인프라와 통신하는 V2I(Vehicle to Infra) 네트워킹 기술과 서비스를 끊김없이 유지하기 위한 핸드오버 기술이 매우 중요하다. V2I 통신으로 IEEE802.11p 기반의 WAVE (Wireless Access in Vehicular Environments) 통신 기술이 널리 사용된다[4]. 본 논문에서는 WAVE 통신 장치에 적용된 핸드오버 기술이 어떻게 연구되어 왔는지 살펴보고 추가적으로 필요한 연구 분야에 대해 시험한 결과를 제시한다.

대체로 현재까지 WAVE 통신환경에서의 핸드오버 관련 논문들은 핸드오버 지연시간을 최소화하기 위한 연구가 많이 진행되었다. 핸드오버 지연시간에 민감한 서비스들을 지원하기위해 빠른 핸드오버를 위한 메커니즘이 제안되었고[5], 주변 차량들로부터 핸드오버 정보를 취득하거나 기지국의 위치정보와 주행차량의 이동 방향정보 등을 이용하여 핸드오버 지연시간을 줄이는 방식과 애드 혹 통신을 통해 패킷 손실을 줄이는 방식도 연구되었다[6,7]. 제어채널과 서비스 채널을 운용하는 멀티채널 환경에서 L2 레벨에서의 핸드오버 성능을 실제 필드에서 측정하거나 기존 IEEE802.11 프로토콜에서 기지국 스캐닝 회수와 전송속도를 적응적으로 대처하여 신속하고 정확한 핸드오버를 구현하고 필드에서 측정한 연구한 결과도 발표되었다[8,9]. 핸드오버의 다양한 모델링을 통해 모의시험 통한 성능분석을 하거나 기존 방식보다 채널 사용에 대한 효율성을 증대시킨 WPCF(WAVE point coordination function) 방식을 제안하여 V2I 핸드오버를 모의실험 한 연구결과도 제시되었다[10,11]. 유럽에서 진행되고 있는 CVIS 프로젝트에서는 IPv6 ITS 네트워크 테스트베드를 구축하여 기지국의 신뢰도 메트릭(metric)을 이용한 ITS 기지국간 핸드오버 및 ITS 기지국과 2G/3G망과의 핸드오버를 시험하였다[12].

실제 환경에서 핸드오버 모델은 훨씬 복잡하며 핸드오버가 발생하는 경계지역에서는 양쪽 기지국으로부터 전송된 신호의 크기가 비슷하여 핸드오버 핑퐁 문제가 심각하게 발생한다. 고속주행 시 WAVE 통신환경에서 발생하는 핸드오버 핑퐁문제에 대한 연구와 실제 필드에서 검증한 연구가 현재까지 미진한 상태이다. 본 논문에서는 실제 구현 가능한 간단한 핸드오버 알고리즘에서 실제 필드에서 발생하는 핸드오버 핑퐁현상을 현저하게 줄이거나 없애기 위한 최적의 핸드오버 파라미터 값을 찾아내고 다양한 값에 따른 핸드오버 성능의 변화를 분석한다.

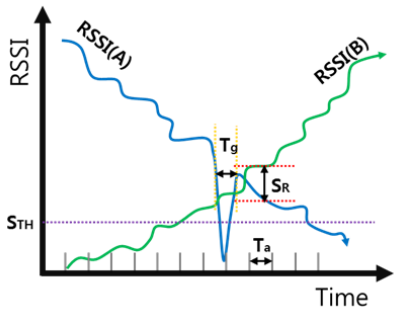
본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 임베디드 시스템에 탑재되는 핸드오버 알고리즘을 소개한다. 3장에서는 실제 필드의 시험 조건을 설명하고 다양한 조건에서 측정한 핸드오버 성능을 분석한다. 4장에서는 본 논문의 결론을 제시한다.

Ⅱ. WAVE 핸드오버 알고리즘

본 절에서는 실제 임베디드 시스템에 사용된 핸드오버 알고리즘, 관련 파라미터 그리고 동작을 설명한다.

1. 구현된 알고리즘에 사용된 파라미터 정의

본 논문에서 제시하는 핸드오버 알고리즘은 크게 <그림1>에서 설명되는 4가지의 파라미터와 입력신호의 고주파수 성분을 제거하기위해 사용되는 LPF의 계수를 포함하여 모두 5가지를 사용한다.



〈그림 1〉 구현된 핸드오버 알고리즘에 사용되는 파라미터 정의
〈Fig. 1〉 The definition for the handover algorithm parameters

<그림1>은 주행하는 차량이 기지국 (A)지점에서 기지국 (B)지점으로 옮겨갈 때 두 기지국의 경계선에서의 수신신호세기(RSSI)의 변화를 가정한 것이다. 기지국(A)의 수신신호세기 RSSI(A)는 시간에 따라 점진적으로 감소하며 전파 홀(hole)이나 전파 간섭에 의해 T_g 시간동안 전파의 세기가 급격히 감소할 수 있다. T_g는 전파세기의 급격한 감소 시간 동안 엔트리(entry)를 삭제하지 않고 유지하는 시간이며 T_g 시간 경과 후에도 신호가 들어오지 않으면 해당 기지국의 정보를 time-out 처리를 하고 엔트리에서 삭제한다. 기존의 감소하는 기지국 신호의 세기와 새롭게 증가하는 기지국 신호의 세기 차이를 S_R로 정의한다. 차량에 수신되는 기지국의 신호들 중에서 핸드오버를 위한 후보 엔트리로 등록되기 위해서는 최소 신호세기 값인 S_{TH}를 만족해야 한다. 마지막으로 핸드오버 결정은 T_a 시간 주기 마다 수행한다.

또 하나의 설계 파라미터로서 LPF(Low Pass Filter)의 계수 f가 있다. 차량 통신 장치로 수신되는 신호의 크기는 간섭신호와 주변 환경에 의해 급격하게 변화하는데 이러한 고주파수 성분을 제거하기위해 LPF를 사용한다. 이상 5가지의 파라미터는 아래 절에서 설명되는 핸드오버 알고리즘에 중요한 설계 요인으로 작용한다.

2. 구현된 알고리즘의 동작 원리

본 논문에서 구현된 핸드오버 알고리즘을 의사코드(pseudo coding) 형태로 <그림2>와 같이 설명한다.

```
// WSA reception from RSUs every 100ms

Rssi_Avg(RSU)_t = f·Rssi_Avg(RSU)_t-1 + (1-f)·Rssi(RSU)_t

if(every T_a)
  if(Rssi_Avg(RSU_new) > Rssi_Avg(RSU_current) + S_R)
    Handover to RSU_new

if(no_WSA_of_RSU during T_g)
  delete corresponding RSU entry

if(new_WSA_of_RSU > S_TH)
  register as a new RSU
```

〈그림 2〉 WAVE 통신장치의 핸드오버 알고리즘의 동작
〈Fig. 2〉 The operation of WAVE handover algorithm

주행차량은 주변 모든 기지국으로부터 100ms 주기마다 WSA 신호를 수신한다. 수신 신호의 세기는 주파수 특성, 주변 장애 환경 그리고 신호 간섭 등에 의해 다중경로 신호로 인한 고주파 성분을 갖게 되어 올바른 핸드오버 동작을 방해하게 된다. 따라서 입력신호는 <그림2>에 있는 평균 RSSI 수식처럼 LPF를 수행한다. 이때 LPF 계수인 f 값은 0보다 크고 1보다 작은 값을 가지며 값이 1에 가까울수록 아주 협착한 LPF의 특성을 갖는다. $Rssi(RSU)_t$는 현재 t 시간에 입력된 기지국(RSU)의 RSSI 값을 의미하며 $Rssi_{Avg}(RSU)_t$는 t 시간의 평균 RSSI값, 즉 LPF의 출력신호가 된다. 매 T_a 시간 주기 마다 새로운 기지국(RSU_{new})이 현재 통신하고 있는 기지국($RSU_{current}$)보다 S_R 만큼 큰지를 판단하고 새로운 기지국(RSU_{new})으로 핸드오버를 수행할 지를 결정한다. T_a 시간 주기를 길게 하면 최적의 시간에 핸드오버를 하지 못하는 핸드오버 지연시간이 커진다. 하지만 너무 짧게 하면 신호가 혼잡 구역에서는 핸드오버 핑퐁현상이 빈번히 발생함으로 오히려 시스템의 성능을 열화 시키게 된다. T_g 시간동안 기지국으로부터 신호가 입력되지 않으면 차량에 탑재된

통신장치는 해당 기지국의 엔트리(entry)를 삭제한다. T_g 시간을 길게 하면 전파 홀(hole)등의 문제를 잘 극복할 수 있는 장점이 있지만 너무 길게 시간을 설정 할 경우 통신장치가 관리하는 기지국 엔트리 수가 증가함으로 시스템의 메모리 사용이 급격히 늘어나는 단점이 존재한다. 마지막으로 새로운 기지국(RSU)로부터 입력되는 WSA의 신호세기가 S_{TH}보다 클 경우 통신장치는 새로운 기지국으로 등록하고 정보를 관리한다.

Ⅲ. 핸드오버 성능 분석

이 장에서는 앞 절에서 설명한 핸드오버 알고리즘을 임베디드 통신장치에 구현하여 실제 필드에서 시험한 결과를 설명한다. 먼저 시험 필드의 조건과 환경을 설명하고 실제 필드에서 측정한 결과를 분석한다.

1. WAVE 핸드오버 시험환경

핸드오버 시험은 실제 시험 고속도로에서 진행되었다. <그림3>에서처럼 기지국(RSU)들이 대략 1km의 간격으로 배치되어 있으며 각 기지국에 대한 통신영역이 중첩되도록 하였다. 따라서 통신영역 경계지역에서는 적어도 양쪽 기지국의 신호를 모두 수신할 수 있으므로 빠르고 정확한 핸드오버를 통해 통신 서비스가 끊어지지 않도록 알고리즘을 설계해야 한다.

〈그림 3〉 시험 고속도로에 배치된 기지국의 위치 및 주변 지형물
〈Fig. 3〉 Location of RSUs and structures on the test highway

시험고속도로에는 여러 인공 구조물과 주변 주행차량들이 존재하여 전파간섭을 일으키고 전파음영지역을 초래한다. 기지국 1번과 2번 사이 그리고 3번과 4번 사이에 각각 설치된 갠트리(gantry)와 육교는 주행도로의 특정구간에서 주행차량과 기지국 간의 LOS(Line of Sight) 환경을 방해한다. 기지국 2번과 3번 사이에는 철 방음벽이 존재하여 많은 반사파들을 발생시킨다. 시험 고속도로 양 끝이 S자 형태의 곡선이며 동시에 전 구간에 걸쳐 내리막과 오르막이 존재한다. 따라서 기지국 별로 전파가 도달하는 거리는 수백 미터에서 수 킬로미터까지 다양하게 존재함으로 이러한 도로지형의 특성은 올바른 핸드오버 동작에 방해요소로 작용한다. 시험차량의 주행 속도는 80km/h의 속도로 전 구간동안 일정하게 운행하며 시험하였다. 시험고속도로 왼쪽이 북쪽(상행)이고 오른쪽이 남쪽(하행) 방면이다. 기타 자세한 시험환경 및 조건은 참고문헌에 상세하게 설명되어 있다[13].

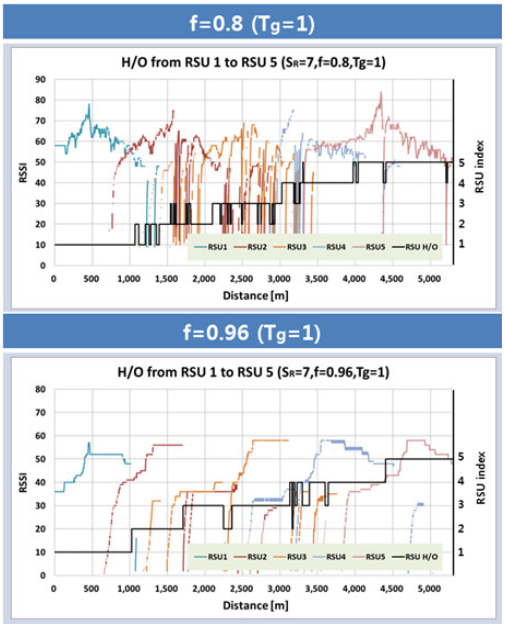
2. 핸드오버 시험 및 분석

이 장에서는 앞 절에서 설명된 주요 핸드오버 파라미터 값을 변경하며 시험한 결과를 소개한다. 도출된 시험 파라미터는 f, S_R, T_g, S_{TH} 그리고 T_a이다. 본 논문에서는 S_{TH} 값을 48로 고정하였다. 통신 장치를 탑재한 차량은 기지국(RSU) 1번에서 5번까지 주행하며 각 기지국들로부터 WSA 신호를 수신하여 RSSI값을 계산한다. 차량통신장치는 입력된 핸드오버 알고리즘 파라미터 값에 의한 조건에 따라 언제 그리고 어느 기지국으로 핸드오버를 할 것인지를 결정한다.

1) LPF계수(f)에 따른 핸드오버 성능

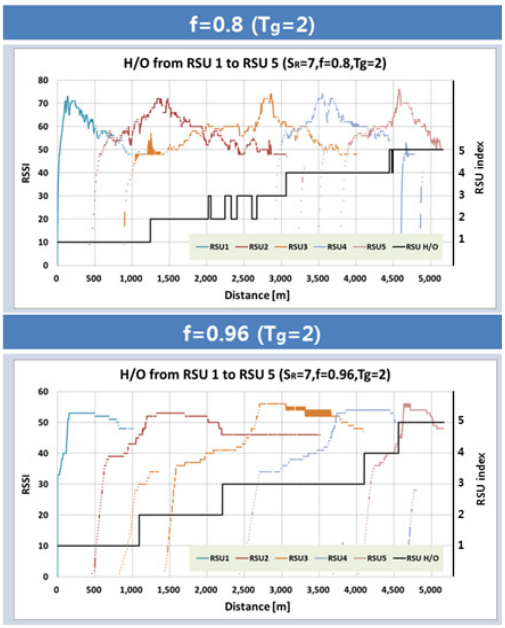
본 절에서는 동일 조건에서 LPF 계수의 값 변화에 따른 핸드오버 성능을 분석한다. 시험에서는 LPF 계수 값으로 0.8과 0.96을 사용하여 성능을 비교하였다. 먼저 <그림4>에서는 T_g값을 동일하게 1로 한 조건에서 f값에 따른 성능 차이를 보여준다. f값이 0.96일 때 핸드오버 핑퐁 현상이 0.8일 때에 비해 현저히 감소하는 것을 알 수 있다. 이는 좀 더

좁은 LPF를 적용함으로써 RSSI값의 변화가 적으므로 안정된 핸드오버가 가능하기 때문이다. <그림5>에서는 동일조건의 값으로 T_g를 2로 변경하고 f값이 0.8과 0.96일 때 각각의 핸드오버 비교 성능을 보여준다. 측정 결과에서 보듯이 f 값이 0.96일 때 핸드오버 핑퐁 문제가 완전히 제거됨을 알 수 있다. <그림5>의 결과에서는 기지국 4번으로의 핸드오버 시점이 f값이 0.8일 때에 비해 늦게 발생하는 현상이 있음을 알 수 있다. f값이 1에 가까울수록 RSSI 값의 고주파 성분이 감쇄되어 핸드오버 핑퐁 현상은 줄어드는 이점이 있으나 LPF의 출력 값(평균 RSSI)에 지연이 발생함으로 저속주행 시 핸드오버 시점이 수 미터, 고속주행의 경우 수십 미터 까지 늦어질 수 있다.



〈그림 4〉 동일 조건에서 LPF 계수 값 변경 시 핸드오버 성능 측정(T_g=1)

〈Fig. 4〉 Handover performance comparison with the different value of f under T_g=1



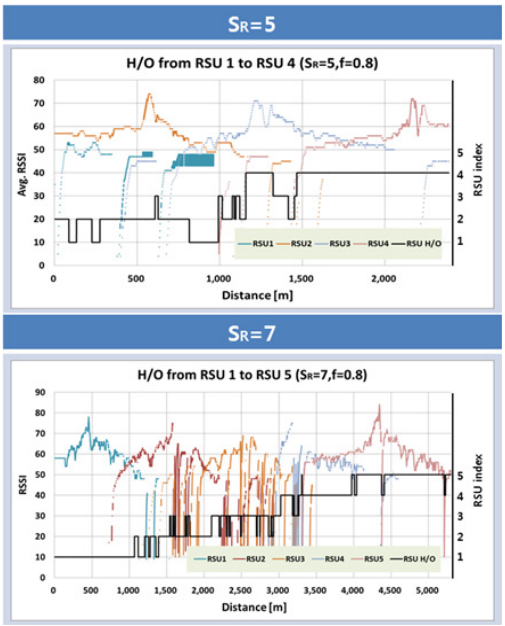
〈그림 5〉 동일 조건에서 LPF 계수 값 변경 시 핸드오버 성능 측정(T_g=2)

〈Fig. 5〉 Handover performance comparison with the different value of f under T_g=2

2) 신호크기의 차(S_R)에 따른 핸드오버 성능

본 절에서는 동일조건에서 핸드오버 판단 시 참조하는 두 신호세기의 차이 값 변화에 대한 핸드오버 성능을 분석하였다. 시험에서 사용한 S_R 값은 5와 7이다. <그림6>에서 S_R 값이 5일 때 핸드오버 핑퐁의 빈도가 7일 때에 비해 적음을 알 수 있다. 그러나 핸드오버 경계지역에서 올바른 핸드오버가 이뤄지지 않고 있음을 알 수 있다. 반면, S_R 값이 7인 경우 비록 핸드오버 핑퐁의 횟수는 증가하나 각 기지국의 통신 경계선에서 핸드오버가 발생하며 차량이 이동함에 따라 해당 기지국으로 핸드오버를 하는 계단 형태의 그래프를 보여준다.

일반적으로 S_R 값을 크게 설계할 경우 두 신호의 차가 큰 시점에 핸드오버가 이뤄짐으로 핸드오버 지연이 초래되나 핸드오버 핑퐁 횟수는 줄어드는 장점이 있다.

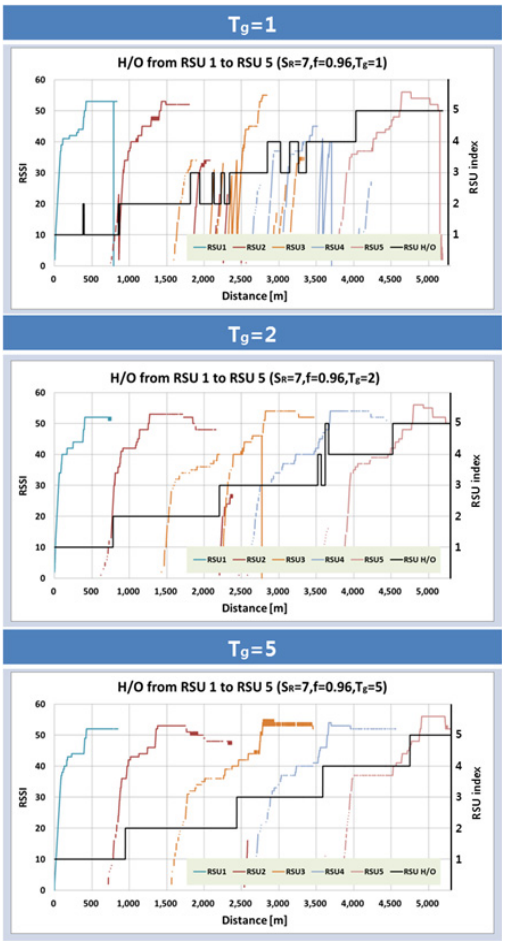


〈그림 6〉 동일 조건에서 신호크기의 차 값을 변경 시 핸드오버 성능 측정

〈Fig. 6〉 Handover performance comparison with the different value of SR

3) Time-out(T_g)에 따른 핸드오버 성능

본 절에서는 동일 조건에서 time-out 값 변화에 따른 핸드오버 성능을 분석한다. 시험에서는 비교할 파라미터 값으로 1, 2, 그리고 5를 사용하였다. <그림7>의 결과를 통해서 T_g 값이 1, 2, 5(초)로 증가할수록 핸드오버 핑퐁현상이 현저히 감소하며 안정적인 핸드오버가 진행됨을 알 수 있다. 이는 전파홀(hole)과 같은 갑작스런 전파세기의 감쇄현상을 완충함으로써 안정적인 RSSI관리 및 기지국 엔트리(entry) 확보가 가능함으로써 전파간섭에 강인한 핸드오버를 수행 할 수 있도록 한다. 임베디드 시스템으로 구현 시 T_g 값을 크게 설정할 경우 차량통신 장치가 관리하는 기지국 엔트리(entry)가 급격히 증가하고, 구현의 복잡성과 제품의 가격이 상승이 동반됨으로 적당한 값으로 설정이 중요하다.



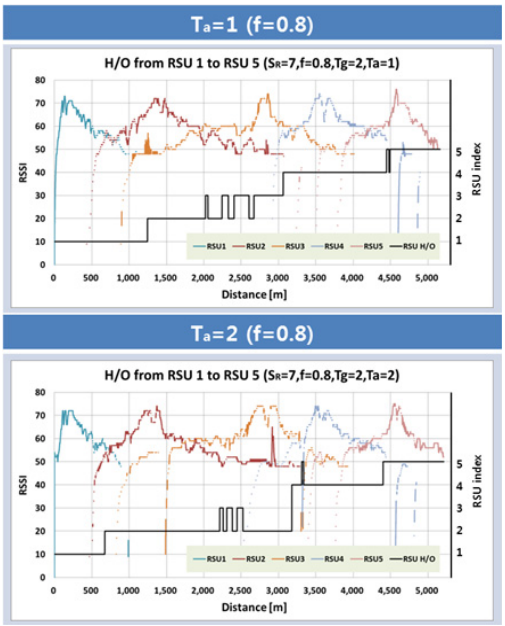
〈그림 7〉 동일 조건에서 time-out 값을 변경 시 핸드오버 성능 측정

〈Fig. 7〉 Handover performance comparison with the different value of T_g

4) Decision time(T_a)에 따른 핸드오버 성능

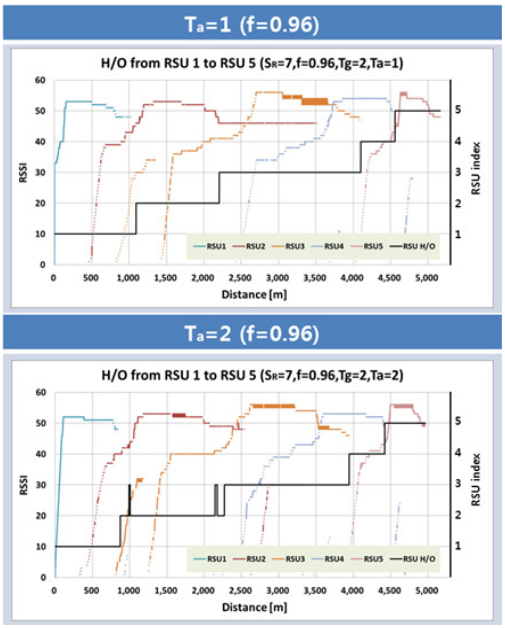
본 절에서는 동일조건에서 핸드오버 결정시간 값 변화에 따른 핸드오버 성능을 분석한다. 시험에는 비교 할 파라미터 값으로 1과 2(초)를 사용한다. 먼저 <그림 8>에서는 동일조건으로 f 값을 0.8로 한 경우, T_a 값에 따른 성능 비교를 보여준다. T_a값이 2인 경우 1일 때에 비해 핸드오버의 핑퐁 횟수는 감소했지만 기지국 3번에서의 핸드오버가 제대로 이뤄지지 않음을 알 수 있다. 또한 <그림 9>에서는 동일조건으로 f 값을 0.96으로 변경 시, T_a값에 따른

성능 비교를 보여준다. 두 값 모두 해당 핸드오버 시점과 경향이 비슷한 성능을 보여준다. 그러나 T_a 값이 2인 경우 핸드오버 핑퐁 현상이 기지국 2번 통신 영역 경계 지점에서 발생함을 알 수 있다. 즉, 핸드오버 경계영역에서 RSSI 값이 혼잡한 상황에서는 T_a값이 클수록 핸드오버 핑퐁 현상을 줄일 수 있으며 반대로 비교적 RSSI 값이 완만한 교차를 이루는 환경에서는 T_a값이 작을수록 보다 정확한 시점에서 핸드오버를 할 수 있다는 것을 알 수 있다.



〈그림 8〉 동일 조건에서 핸드오버 결정 시간 주기 값을 변경 시 핸드오버 성능 측정(f=0.8)
〈Fig. 8〉 Handover performance comparison with the different value of T_a under f=0.8

이상에서 살펴본 5가지의 파라미터들은 상호간의 영향을 줄 수 있다. f 값이 작아지면 신호의 변화가 크게 발생함으로 핸드오버 핑퐁을 줄이기 위해서는 S_{TH}, S_R그리고 T_a의 값을 증가 시킬 필요가 있으며 T_g는 상대적으로 조금 더 긴 시간의 효과를 갖게 된다.



〈그림 9〉 동일 조건에서 핸드오버 결정 시간 주기 값을 변경 시 핸드오버 성능 측정(f=0.96)
〈Fig. 9〉 Handover performance comparison with the different value of T_a under f=0.96

Ⅳ. 결 론

본 논문에서는 고속주행환경에서 WAVE 통신 장치를 탑재한 차량이 여러 기지국을 거쳐 주행할 경우 필요한 핸드오버에 대한 성능을 분석하였다. 논문에서는 핸드오버 성능에 크게 영향을 미치는 5가지 파라미터를 도출하고 각각의 값이 핸드오버에 미치는 영향을 필드에서 검증하고 성능을 분석하였다. LPF 계수(f)의 경우 1에 가까울수록 RSSI값의 고주파 성분을 제거함으로 안정적인 핸드오버를 할 수 있다. 그러나 LPF의 출력(평균 RSSI) 값의 지연으로 차량의 주행 속도에 따라 핸드오버 시점이 수 미터에서 수십 미터까지 지연 될 수 있다. 두 신호 세기의 차(S_R)의 경우 클수록 안정적인 핸드오버가 가능하나 그 시간만큼 핸드오버가 늦어지는 문제가 있다. Time-out(T_g)의 경우 값을 크게 설정할수록 전파 홀(hole)등의 문제를 해결할 수 있어 핸드오버

핑퐁을 현저히 줄일 수 있다. 하지만 너무 크게 설정할 경우 하드웨어의 메모리 증가나 비용 증가의 문제가 발생한다. 마지막으로 핸드오버를 결정하는 시간 주기(T_a)의 값이 클수록 신호 크기가 급격히 변화하는 구간에서 핑퐁현상을 줄일 수 있으나 단위 시간 만큼 핸드오버 시간도 지연된다. 그러나 신호크기의 변화 정도가 낮은 경우 T_a의 값을 작게 설계하여 핸드오버의 시간을 단축시킬 필요가 있다. 본 논문에서 5가지의 파라미터에 대한 최적의 조건과 값들을 통해 빈번히 발생하는 핸드오버 핑퐁 문제를 해결함으로써 핸드오버 영역에서도 안정된 ITS 서비스를 보장할 수 있게 된다. 본 논문에서 제시한 파라미터 값들은 해당 시험고속도로에서의 최적 값이다. 상기의 핸드오버 파라미터 값들을 환경에 맞게 동적으로 값을 적용시키기 위해서는 차량의 속도, 주행차량의 밀집도, 기지국의 위치, 주행차량의 도심지 정보 등의 값을 인프라나 차량의 센서로부터 획득하여 해당 환경조건에 최적인 파라미터 값들이 자동적으로 적용되도록 해야 할 것이다.

참고문헌

[1] J. B. Kennery, “Comparing communication performance of DSRC OBEs from multiple suppliers,” 19th ITS World Congress, Vienna, Austria, October 2012.

[2] S. Kim, “An Evaluation of the Performance of Wireless Network in Vehicle Communication Environment”, Journal on the Korean Institute of Communications and Information Sciences, vol. 36, no. 10, pp.816-822, 2011.

[3] P. Papadimitratos, “Vehicular communication systems: enabling technologies, applications, and future outlook on intelligent transportation,” *IEEE Communications Magazine,* pp.84-95, November, 2009.

[4] IEEE Std 802.11p, IEEE standard for information technology telecommunications and information exchanges between systems, Part 11, Amendment 6, July 2010.

[5] A. Bohm and M. Jonsson, “Handover in IEEE 802.11p based delay sensitive vehicle to infrastructure communication,” *Research Report* IDE-0924, Halmstad University, Sweden, 2009.

[6] A. Prakash, “A cross layer seamless handover scheme in ieee802.11p based vehicular networks,” Contemporary computing communications in computer and information science, vol. 95, pp84-95, 2010.

[7] J. Choi and H. Lee, “Supporting handover in an ieee 802.11p based wireless access system,” *Proc. of the Vehicular internetworking*, pp.75-80, September 2010.

[8] A. Shimizu, S. Fukuzawa, T. Osafune, M. Hayashi, and S. Matsui, “Enhanced functions of 802.11 protocol for adaptation to communications between high sped vehicles and infrastructures,” *Proc. ITS Telecommunications*, pp.1-3, October 2007.

[9] W. Choi, M. Kim, S. Lee, and H. Oh, “Implementation of handover under multichannel operation in ieee802.11p based communication systems,” International conference on ICT Convergence(ICTC), 2011.

[10] B. Gukhool and S. Cherkaoui, “Handoff in IEEE802.11p based vehicular networks,” Proc. of IFIP Wireless and optical communications networks, pp.1-5, April 2009.

[11] J. Chung, M. Kim, Y. Park, M. Choi, and H. Oh, “Time coordinated V2I communications and handover for wave networks,” *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol.29, no.3, pp.545-558, March 2011.

[12] Marie Moe, Vilmos Nebehaj, and Thierry Ernst, “CVIS performance test results: fast handovers in an 802.11p network” in Proceedings of Conference on Telecommunications for ITS,

Kyoto, Japan, 2010

[13] Y. Song, W. Lee, and H. Oh, “Performance evaluation of wave communication systems under a high speed driving condition in a highway,” *The Journal of the Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, vol.12, no.3, pp.96-101, 2013.

저자소개

송 유 승 (Song, Yoo-Seung)
2001년 Wichita State University 박사과정 수료(이동통신전공)
2005년 5월 ~ 현 재 : 한국전자통신연구원 선임연구원
2011년 1월 ~ 현 재 : 과학기술연합대학원대학교 겸임교수
2001년 10월 ~ 2005년 4월 : 삼성전자 통신연구소 책임 연구원
e-mail : yssong00@etri.re.kr
연락처 : 042) 860-1802

오 현 서 (Oh, Hyun-Seo)
1998년 연세대학교 박사과정 수료(이동통신전공)
1982년 ~ 현 재 : 한국전자통신연구원 근무
e-mail : hsoh5@etri.re.kr
연락처 : 042) 860-5659