

# 사이버-물리 교차로 시스템에서 보행자를 위한 스마트폰 앱의 연결성 관리

정 한 유<sup>\*,°</sup>, 수라마다 토미 앳히야사<sup>\*</sup>, 응웬 호아 흥<sup>\*</sup>

## Connectivity Management of a Pedestrian Smartphone App in the Cyber-Physical Intersection Systems (CPIS)

Han-You Jeong<sup>\*,°</sup>, Tommy Adhyasa Suramardhana<sup>\*</sup>, Hoa-Hung Nguyen<sup>\*</sup>

### 요 약

본 논문에서는 교차로 주변 고정된 위치에 있는 노변기지국과 자동차통신단말, 그리고 스마트폰 앱의 긴밀한 상호 연동을 통해 교차로에서의 안전성을 제고하고 이동 효율성을 향상하기 위한 사이버-물리 교차로 시스템(CPIS)을 소개한다. CPIS에서 자동으로 보행자/운전자 모드를 결정하고, GPS 수신기로부터 위치와 속도 정보를 수집하며, 보행자와 운전자에게 CPIS 서비스 인터페이스를 제공하는 스마트폰 앱인 Smartphone Agent (SA)를 제안한다. SA의 보행자 모드에서 스마트폰의 배터리 소모를 최적화하고 CPIS 서비스들을 효과적으로 제공하기 위한 연결성 관리 기법으로 적응적 위치 갱신 및 핸드오버 제어 알고리즘을 제안한다. CPIS 시제품 제작에 필요한 임베디드 시스템 기반의 노변기지국과 자동차통신단말, 그리고 안드로이드 앱 SA를 실제로 개발한다. 부산대학교 캠퍼스 주변에서 다양한 교통수단을 활용하여 이동하면서 수집한 데이터를 기반으로 본 논문에서 제안하는 SA의 연결성 관리 기법들이 우수한 성능을 얻을 수 있음을 보인다.

**Key Words** : Cyber-physical intersection systems, smartphone, pedestrian, connectivity management, location update, handover control

### ABSTRACT

In this paper, we introduce the concept of cyber-physical intersection systems (CPIS) which interconnects roadside units (RSU) located at the intersection, on-board units (OBU) of moving vehicles, and the smartphone apps, named the Smartphone Agent (SA). At the pedestrian mode of the SA, the connectivity management schemes, such as a location update and a handover control algorithm, are proposed to better support the CPIS services while minimizing the power consumption of the pedestrian's smartphone. We develop a real prototype of the CPIS, including RSU, OBU, and the SA. Based on the numerical results collected from a pedestrian moving around the Pusan National University campus, we validate that the proposed connectivity management schemes can improve not only the power efficiency of the pedestrian's smartphone, but also the quality of the CPIS services.

※ 이 논문은 부산대학교 자유과제 학술연구비(2년)에 의하여 연구되었음

♦° First and Corresponding Author : Department of Electrical Engineering, Pusan National University, hyjeong@pusan.ac.kr, 중신회원

\* Department of Electrical, Electronic and Computer Engineering, Pusan National University, tommy.adhyasa@gmail.com, nguyenhoahungit@gmail.com, 학생회원

논문번호 : KICS2014-04-133, Received April 15, 2014; Revised June 3, 2014; Accepted September 23, 2014

## I. 서 론

세계보건기구 보고서에 따르면 매년 세계 교통사고 사망자 수는 약 120만 명, 부상자 수는 약 5 천만 명에 이른다<sup>1)</sup>. 도로교통공단의 통계자료에 의하면, 2012년 국내 교통사고로 인한 사회적 환산 비용이 23조 5,900억 원으로 GDP의 약 1.9 퍼센트, 국가예산의 약 10.6 퍼센트에 해당한다. 특히, 국내 교통사고 수의 약 43퍼센트, 부상자의 약 45 퍼센트가 교차로에서 발생하기 때문에, **교차로 교통안전과 효율을 향상하기 위한 방안이 필요하다.**

기존 연구에서 이러한 문제를 해결하기 위한 방안으로 **교차로 구조설계 기술과 수동형/능동형 자동차 안전 기술이 제안되었다**<sup>2-5)</sup>. 또한, Vehicle-to-Everything (V2X) 통신 기반의 교차로 안전 시스템을 위한 다양한 응용 서비스들을 제시하였다<sup>6)</sup>. 그러나, 위의 접근 방법들은 교통사고의 당사자인 **보행자들이 교통사고 위험을 인지하지 못하는 문제점을 가지고 있다.** 이러한 문제점을 해결하기 위해, 논문 [7]은 보행자의 휴대단말과 자동차 단말을 연동하기 위해 이동통신망과 애드 혹 네트워크를 고려하고, 기초적인 실험 결과를 제시하였다. 그러나, 실제 교차로 환경에서 보행자와 자동차, 노변기지국을 상호 연결한 **지능형 교통 시스템**에 관한 연구는 알려진 바가 없다.

본 논문에서는 교차로 주변의 **보행자와 자동차 통신 단말을 상호 연동하여 안전하고 효율적인 지능형 교차로 교통 서비스**를 제공하기 위한 **사이버-물리 교차로 시스템(Cyber-Physical Intersection System, CPIS)**을 제안하고 그 시작품을 개발한다. 사이버-물리 교차로 시스템의 주요 특징은 다음과 같다. 첫째, CPIS는 **스마트폰을 활용하여 교차로 교통 서비스를 효과적으로 제공하기 위해 필요한 보행자/운전자의 위치 및 속도 정보수집과 서비스 인터페이스**를 제공한다. 둘째, CPIS의 장치들을 상호 연동하기 위해 **V2X 자동차 통신과 Wi-Fi, 블루투스 등의 다양한 통신 인터페이스를 활용한다.** 셋째, CPIS는 다양한 통신 기술들을 활용하여 **보행자와 운전자의 교차로 안전성을 제고하고 이동 효율성을 향상하기 위한 다양한 서비스들을 제공한다.**

본 논문에서는 CPIS를 위한 **안드로이드 플랫폼 기반 스마트폰 앱인 Smartphone Agent(SA)의 연**

**결성 관리 기법을 제안한다. SA는 Wi-Fi, 블루투스 인터페이스의 연결 상황과 교차로와의 거리, 이동방향, 속도 등의 이동 상태에 따라 운전자/보행자 모드 전환과 CPIS 서비스 제공 여부를 자동으로 결정한다.** 운전자 모드에서는 항상 Wireless Access in Vehicular Environment (WAVE) 기반 자동차 애드 혹 네트워크에 연결되어 현재 이동상태 정보를 비컨(Beacon) 메시지에 담아 주기적으로 방송한다.<sup>2)</sup> 반면, 보행자 모드에서는 **교차로 주변의 CPIS 서비스 지역 내·외부를 도보 또는 교통수단을 활용하여 이동하는 보행자에게 안정적인 연결성을 제공하기 위한 기술이 필요하다.** 본 논문에서는 이를 위해 CPIS 서비스 지역 외부에서 자유롭게 이동하는 보행자 스마트폰의 에너지 낭비를 최소화하기 위한 **위치 갱신 알고리즘**과 인접한 두 교차로 사이에서 이동하는 보행자의 이동 방향에 따라 효율적으로 연결성을 재설정하는 **핸드오버 제어 알고리즘**을 제시한다. 제안하는 두 연결성 관리 기법들은 **보행자와 접근하는 교차로의 연결을 조기에 설정하여 교차로 교통 서비스의 효과를 향상하는** 특징이 있다. 본 논문의 주요 기여 사항은 다음과 같다.

- 1) 리눅스 임베디드 시스템인 **자동차통신단말과 노변기지국, 안드로이드 스마트폰 앱 Smartphone Agent (SA)의 설계**를 통해 **사이버-물리 교차로 시스템의 시작품**을 개발한다.
- 2) **GPS/Wi-Fi/블루투스 상태를 기반으로 보행자 및 운전자 모드를 자동으로 결정하는 최초의 스마트폰 앱 SA**를 제안하고, 보행자 모드에서 **노변기지국과의 연결성을 관리하기 위한 위치 갱신 및 핸드오버 제어 알고리즘**을 제시한다.
- 3) 부산대학교 내·외의 교차로 주변을 이동하며 수집한 실험 결과를 통해 **제안하는 SA 연결성 관리 기법이 스마트폰의 전력 소모를 줄이고 향상된 CPIS 서비스를 제공할 수 있음**을 보인다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2 장에서 제안하는 CPIS의 개요와 특징을 소개하고, 3 장에서는 스마트폰 앱 SA의 내부 구조와 보행자/운전자 모드 전환 설계에 관해 논의한다. 4장에서는 보행자의 연결성 관리를 위한 위치 갱신 및 핸드오버 제어 알고리즘을 제안하고, 5장에서는 CPIS 시작품을 활용하여 수집한 실험 결과를 논의한다. 마지막으로 6장에서 본 논문의 결론을 제시한다.

1) 2003년부터 2006년 간 이라크 전쟁에서 발생한 전체 사상자의 수가 약 10만~15만 명임을 감안할 때, 매년 교통사고로 인한 사상자의 수가 천문학적으로 크다는 것을 인지할 수 있다.

2) SA의 운전자 모드의 동작은 논문 [12]에서 다룬다.

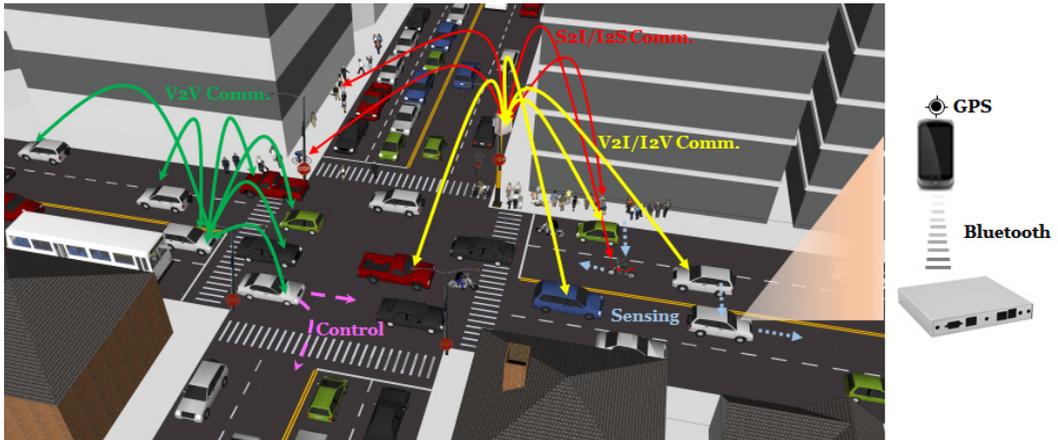


그림 1. 사이버-물리 교차로 시스템의 모형  
Fig. 1. The concept of cyber-physical intersection systems.

## II. 사이버-물리 교차로 시스템 (CPIS)

사이버-물리 시스템(Cyber-Physical System)은 실제 존재하는 특정 물리 시스템에 관한 다양한 센서 정보들을 유·무선 통신 기술을 활용하여 상호 교환하고, 이들의 연산을 통해 다시 물리 시스템을 조율·제어하는 전체 시스템을 말한다. CPIS는 교차로에 위치한 **노변기지국**과 자동차 내부에 장착된 **자동차통신단말**, 그리고 보행자와 운전자를 모두 지원하는 스마트폰 앱인 **SA**가 상호 연동하여 교차로 주변에서 보행자와 운전자의 교통 안전성과 효율성을 향상하는 서비스를 제공한다. CPIS가 제공하는 서비스들은 다음과 같다.

- 1) 무선통신을 통해 교차로 교통신호의 상태와 잔여 시간을 보행자/운전자에게 전달하는 **원격 교차로 교통신호 정보제공 서비스**
- 2) 교차로 주변에 위치한 보행자/자동차들의 위치를 추적하는 **교차로 위치 추적 (Tracking) 서비스**<sup>3)</sup>
- 3) 교통신호정보, 사용자의 이동 상태, 교차로와의 거리를 기반으로 적절한 속도 정보를 제공하는 **이동 조언 (Mobility Advisory) 서비스**

CPIS 서비스들의 최종 목표는 **운전자(보행자)가 교통 안전성과 효율성을 제고하기 위해 필요한 자동차(보행자)의 주행(보행)을 결정하는데 있어 유용한 정보를 제공하는데 있다.** 본 장에서는 이를 달성하기 위한 CPIS의 모형을 소개한다.

3) 교차로 위치 추적 서비스를 기반으로 보행자와 자동차에 대한 교차로 충돌경고 및 교통신호 위반경고 서비스 등의 다양한 교차로 안전 서비스들을 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

### 2.1 CPIS의 개요

그림 1에서는 CPIS의 모형을 도시하였다. 그림에서 노변기지국은 향상된 통신을 위해 교차로와 연결된 모든 도로 구간들에 대한 가시성이 확보 (Line-of-Sight, LOS)되는 위치에 설치된다. 노변기지국은 교차로의 교통신호제어기가 생성하는 현재 교통신호상태와 잔여시간 정보를 수집하여 신호상태 및 시간(Signal Phase and Timing, SPAT) 메시지를 생성한다<sup>11)</sup>. 이를 기반으로 교차로에 접근하는 보행자와 자동차들에게 각각 Wi-Fi 통신과 WAVE 기반 V2X 통신을 통해 SPAT 메시지를 주기적으로 방송함으로써 원격 교차로 교통신호 정보제공 서비스를 제공한다. 또한, 각각의 자동차와 보행자들이 전달하는 실시간 이동상태(위치/속도/이동방향) 정보들을 수집하여 이들의 위치를 추적하는 교차로 위치 추적 서비스도 함께 제공한다.

그림 1의 오른쪽에 나타난 바와 같이 CPIS에서 자동차들은 내부에 장착된 자동차통신단말과 운전자의 스마트폰을 블루투스 통신을 통해 연결한다. 블루투스 페어링을 통해 운전자가 시동을 켜면 (**운전자 모드**) SA와 자동차통신단말의 블루투스 연결이 자동으로 설정된다. 스마트폰 GPS 수신기가 제공하는 위치/속도/진행방향 정보를 블루투스 연결을 통해 수신하면, 자동차통신단말은 **비콘 (Beacon) 메시지**를 생성하여 노변기지국과 주변 자동차들에게 WAVE 기반 V2X 통신을 통해 주기적으로 방송하는 기능을 담당한다. 또한, 노변기지국으로부터 SPAT 메시지를 V2X 통신을 통해 수신하면, 교차로 교통신호 상태를 기반으로 자동차의 교차로 대기시간을 최소화하는 **녹색신호최적화 주행속도 조언 서비스**를 제공한다<sup>12)</sup>.

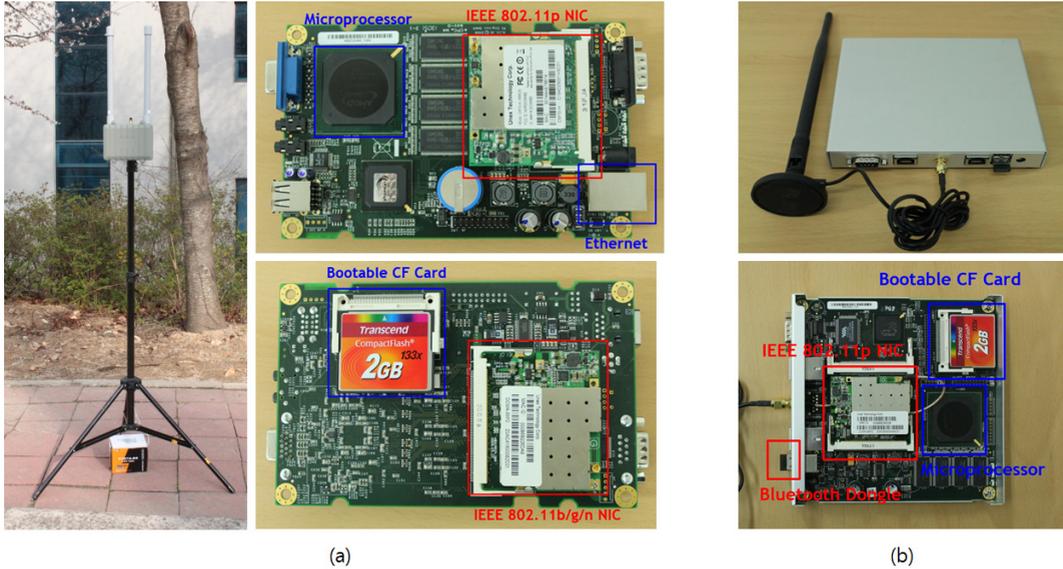


그림 2. CPIS 사이버 시스템 장비들: (a) 노변기지국, (b) 자동차통신장비  
 Fig. 2. CPIS entities: (a) Roadside unit (RSU) and (b) on-board unit (OBU)

CPIS의 주요 특징은 **노변기지국과의 Wi-Fi 연결을 통해 보행자들에게 지능형 교통 시스템 서비스를 제공하는 점**이다. 이를 위해 (보행자 모드)의 SA는 GPS 수신기의 위치/속도/진행방향 정보를 기반으로 적절한 노변기지국과 Wi-Fi 연결을 설정하고, 주기적으로 이동상태 정보를 UDP 소켓 통신을 통해 노변기지국에 전달한다. 뿐만 아니라, 교차로까지 거리와 보행 속도, 그리고 SPAT 메시지의 정보를 기반으로 교차로 대기시간을 최소화하는 **녹색신호최적화 보행 속도 조인 서비스**를 제공한다.

### 2.2 노변기지국과 자동차통신단말의 구현 기술

그림 2는 자동차통신단말과 노변기지국의 하드웨어 구성을 나타낸다. CPIS가 요구하는 실시간 교통/안전 서비스의 제공을 위해 고성능 범용 임베디드 메인보드인 ALIX 보드를 사용하여 노변기지국과 자동차통신단말을 구성한다. CF 카드에 리눅스 기반 OpenWRT 운영체제를 이식한다. WAVE 기반 V2X 통신과 Wi-Fi 통신을 위해 그림 2에서 보인 mini-PCI 인터페이스 기반 네트워크 카드를 장착한다. 자동차 통신을 위한 모듈인 Grand Cooperating Driving Challenge (GCDC) 통신 스택을 기반으로 네트워크 카드를 제어하고 CPIS 서비스가 요구하는 센싱 및 통신 기능을 구현한다. 한편, 스마트폰과의 연결을 위해 자동차통신단말에 USB 기반 블루투스 dongle을 장착하

고, BlueZ 기반 RFCOMM 소켓 API를 활용하여 블루투스 연결 기능을 구현한다.

## III. SA의 설계

CPIS는 노변기지국과 보행자의 스마트폰을 Wi-Fi 통신으로 상호 연결함으로써, 기존 WAVE 기반 지능형 교통 서비스의 대상을 자동차 운전자에서 스마트폰을 소지한 보행자와 이륜자동차 운전자까지로 확장하는데 있다. 본 장에서는 CPIS를 위한 스마트폰의 주요 특징을 소개하고, 보행자와 운전자를 위한 안드로이드 플랫폼 기반 SA 앱의 소프트웨어 설계에 관해 설명한다.

### 3.1 CPIS를 위한 스마트폰의 특징

CPIS에서 보행자와 자동차는 교차로 주변에서 동적으로 움직인다. 그런데, CPIS 서비스들을 효과적으로 제공하기 위해서는 보행자와 자동차의 이동성을 모니터링하고, 수집된 센싱 정보들을 주변의 CPIS 객체들과 상호 교환하며, 이를 통해 보행자/운전자에게 적절한 정보를 제공하기 위한 통합 단말이 필요하다. 본 논문에서는 이를 위해 모든 보행자와 운전자들이 스마트폰을 소지하고 있음을 가정한다. 스마트폰은 다음과 같은 장점들 때문에 보행자와 자동차를 위한 최적의 통합 단말이 될 수 있다.

첫째, 미래창조과학부 무선통신 통계에 따르면 2014년 2월 국내 스마트폰 가입자 수는 이미 3,800만 명을 초과할 정도로 그 보급률이 매우 높다<sup>18)</sup>. 대부분의 보행자/운전자들이 항상 스마트폰을 휴대하기 때문에 단말의 가용성 또한 매우 높은 장점이 있다. 본 논문에서는 가장 보급률이 높은 **안드로이드 플랫폼을 기반으로 보행자와 운전자를 모두 지원하는 스마트폰 앱인 SA를 개발한다.**

둘째, 스마트폰은 GPS 수신기와 다양한 관성 센서들(속도계, 가속도계, 지자기 센서 등)을 가지고 있어 보행자와 자동차의 이동상태 정보를 수집하는데 용이하다. 그런데, 관성 센서들은 이동 중인 보행자의 팔·다리 움직임에 영향을 크게 받기 때문에, 본 논문에서는 보행자와 자동차의 이동상태 정보를 감지하기 위해 **스마트폰 GPS 수신기의 위치/속도/진행방향을 활용한다.**

셋째, 스마트폰은 주변의 CPIS 객체들과 정보를 교환하기 위한 다양한 통신 인터페이스들(3G/4G, Wi-Fi, 블루투스, NFC 등)을 가지고 있기 때문에 우수한 연결성을 제공한다. 본 논문에서는 보행자와 노변기지국의 통신을 위해서는 IEEE 802.11g 표준 기반 Wi-Fi 연결을 사용하고, 자동차 내부에서 운전자에게 정보를 제공하기 위해 블루투스 연결을 사용해 자동차통신단말과 통신한다.

넷째, 스마트폰은 멀티코어 마이크로프로세서를 활용하여 강력한 연산 및 처리 기능을 제공한다. 이와 함께, 멀티스레딩, 이벤트 기반 메시지 처리, 멀티미디어 지원 등의 사용자 친화적 프로그래밍 구현이 용이한 특징이 있다. SA는 이러한 스마트폰의 특징을 활용하여 보행자/운전자에게 구글맵 기반의 GUI 인터페이스와 녹색신호최적화 속도조언을 음성으로 안내하는 기능을 제공한다.

3.2 SA 보행자 모드 설계 문제 정의

3.1절에서 설명한 스마트폰의 장점들을 활용하기 위해 도출한 SA의 보행자 모드 설계에 관한 요구 사항들은 다음과 같다.

- [R-1] SA는 GPS/Wi-Fi/블루투스 모듈들의 연결 상태에 따라 **운전자 모드와 보행자 모드의 전이를 자동으로 수행할 수 있어야 한다.**
- [R-2] SA는 CPIS 영역 내에서 보행자 이동 상태를 추적할 수 있어야 하고, 영역 외부에서 스마트폰 전력 소모를 최소화할 수 있어야 한다.
- [R-3] CPIS 영역 경계에서 움직이는 보행자에게 안정적인 Wi-Fi 연결을 제공할 수 있어야 한다.

[R-4] 효과적인 보행 속도조언을 위해 보행자 이동 방향과 주변 노변기지국들과의 거리를 기반으로 Wi-Fi 핸드오버를 제어할 수 있어야 한다.

[R-5] 안드로이드 GoogleMap API를 활용하여 보행자의 현재 위치와 CPIS 영역, 보행자의 이동경로를 표시할 수 있어야 한다<sup>16)</sup>.

위의 요구사항들을 만족하는 SA의 설계 문제는 스마트폰의 GPS 센서로 수집하는 위치/속도/진행방향 정보와 블루투스/Wi-Fi 연결 상태 및 송·수신 메시지의 내용에 따라 실시간으로 앱의 동작을 결정해야 하는 복잡한 문제이다. 본 논문에서는 위의 요구사항들을 충족하기 위한 SA의 소프트웨어 구조를 설계하고, 연결성 관리 기법들을 제시한다.

3.3 SA의 소프트웨어 구조 및 상태전이

그림 3에서는 SA의 소프트웨어 구조를 도시하였다. CPIS의 서비스들을 보다 효과적으로 구현하기 위해 SA는 4계층의 블록들이 상호 연동하는 형태로 설계한다. 인터페이스 계층에서는 블루투스와 Wi-Fi 연결을 관리하고, 자동차통신단말과 노변기지국과의 메시지의 송·수신 기능을 담당한다. 운영체제 계층에서는 SA의 주요 기능을 구성할 수 있도록 안드로이드 플랫폼과 API들을 제공한다<sup>13)</sup>.

SA의 주요 연산 기능들은 미들웨어 계층과 어플리케이션 계층에서 이루어진다. 미들웨어 계층은 다양한 어플리케이션 모듈에서 공통으로 사용하는 GPS 수신부와 네트워크 인터페이스의 기능들을 추상화하기 위해 설계한 모듈들이다. 로깅 모듈은 SA의 테스트 및 디버깅을 위한 로그 정보를 파일에 저장하는 기능을 담당한다. 어플리케이션 계층은 스마트폰 앱 관

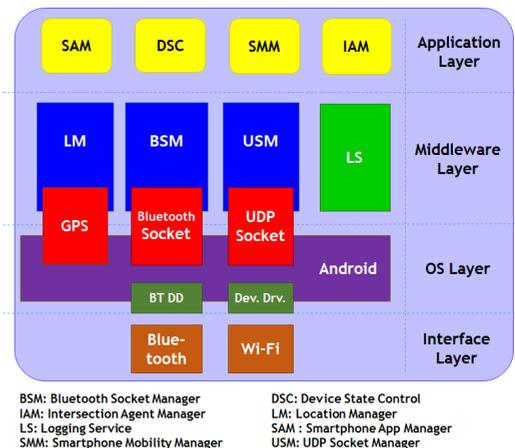


그림 3. SA의 소프트웨어 구조  
Fig. 3. Software architecture of the SA

표 1. SA의 상태 정의  
Table 1. State definition of the SA

상태	동작모드	설명
INIT_SA	초기화	SA 앱을 실행하고 변수를 초기화하는 상태
INIT_GPS		GPS 사용 옵션에 대한 사용자 설정을 대기하는 상태
EXIT_SA		사용자가 GPS 수신기 사용을 허용하지 않아서 종료하는 상태
INIT_BLTH		블루투스 연결을 초기화하고 자동차통신단말의 존재 여부를 확인하는 상태
DA_WAIT_GPS	운전자	블루투스 연결이 설정된 후 운전자 모드에서 위성신호 수신을 대기하는 상태
DA_IN_IA		자동차가 노변기지국의 통신영역에서 CPIS 서비스의 제공이 가능한 상태
DA_OUT_OF_IA		자동차가 노변기지국의 통신영역 외부에 있어 CPIS 서비스 제공이 불가능한 상태
PA_WAIT_GPS	보행자	블루투스 연결이 실패한 후 보행자 모드에서 위성신호 수신을 대기하는 상태
PA_CONN_IA		보행자와 노변기지국과의 Wi-Fi 연결이 완료되어 CPIS 서비스 제공이 가능한 상태
PA_IN_SVC		보행자가 노변기지국의 통신영역 내부에 있으나 Wi-Fi 연결을 하지 않은 상태
PA_OUT_OF_SVC		보행자가 노변기지국의 통신영역 외부에 있는 상태

리 (SAM) 모듈, SA 이동성 관리(SMM) 모듈, 노변기 지국 관리 (IAM) 모듈, 그리고 SA의 상태 제어 (DSC) 모듈로 구성된다. SAM 모듈은 GUI 기반 사용자 멀티미디어 인터페이스 기능을 담당하고, SMM 모듈은 SA의 위치 갱신에 따른 노변기지국과의 연결 관리를 담당한다. IAM 모듈은 주변에 위치한 교차로 들과 SA와의 거리 및 진행 방향에 따라 연결을 설정 할 목표 노변기지국(Target IA)를 선정하는 기능을 담 당한다. 마지막으로 DSC 모듈은 GPS/블루투스/Wi-Fi 연결 상태에 따라 자동으로 SA 상태전이를 관리하는 모듈이다.

표 1에서 나타낸 상태 정의를 기반으로 그림 4에서 는 SA의 상태전이도를 나타낸다. SA의 상태는 GPS 및 통신 인터페이스 초기 연결을 관리하는 초기화 모 드(INIT\_X)와 도로로 움직이는 보행자를 위한 보행 자 모드(PA\_X\_X), 그리고 자동차를 운전하는 운전자 모드(DA\_X\_X)로 분류된다. SA 실행 초기 상태에서 스마트폰의 GPS 인터페이스를 켜는데 성공하면 블루 투스 초기화 상태로 전이하고, 실패할 경우에는 SA의 정확한 위치 파악이 힘들기 때문에 SA의 실행을 완료 한다. INIT\_BLTH 상태에서 블루투스 초기화를 수행 한 이후 자동차통신단말과의 연결이 설정되면 운전자 모드로 전환하고, 그렇지 않으면 보행자 모드로 전환 한다.

요구사항 [R-1]을 만족하기 위해 블루투스 연결 유 ·무에 따라 운전자 모드와 보행자 모드를 전환한다. 파란색 호(Arc)로 표시한 것처럼 보행자가 자신의 승 용차에 탑승하여 자동차통신단말과의 블루투스 연결 이 설정되면 바로 운전자 모드로 전환하고, 빨간색호 로 표시한 것처럼 시동을 꺼서 운전을 종료하면 블루

투스 연결이 해제되면서 보행자 모드로 되돌아가는 동작을 자동으로 수행한다. 따라서, 스마트폰 사용자 는 별도의 조작 없이 상황에 따라 적절한 CPIS 서비 스를 자동으로 제공받을 수 있다.

SA는 노변기지국들의 위치와 통신설정 정보에 관 한 데이터베이스를 가지고 있음을 가정한다. SA는 요 구사항 [R-3]를 만족하기 위해 SA는 두 개의 서로 다 른 경계거리( $D_{IN}$ ,  $D_{OUT}$ )를 기반으로 히스테리시스

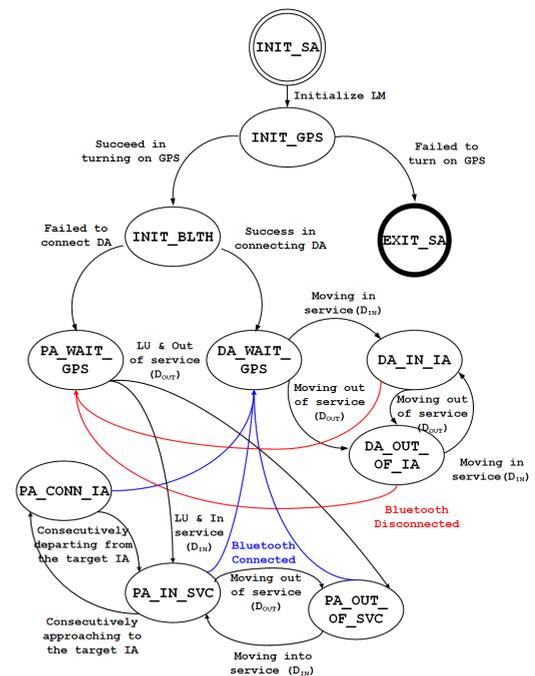


그림 4. SA의 상태전이도  
Fig. 4. State transition diagram of the SA

(hysteresis) 특성을 활용한다. 즉, 보행자가 CPIS 영역 외부에서 내부로 들어갈 때의 경계거리  $D_{IN}$ 이 CPIS 영역 내부에서 외부로 나갈 때의 경계거리  $D_{OUT}$ 보다 작도록 설정하여( $D_{IN} < D_{OUT}$ ), 보행자가 경계 거리 주변을 반복적으로 움직이더라도 Wi-Fi 연결의 재설정 횟수를 줄일 수 있다.

보행자 모드에서 GPS 수신기의 초기화를 진행하는 동안 SA는 PA\_WAIT\_GPS 상태에서 어떠한 동작도 수행하지 않는다. GPS 수신기가 위성신호를 수신하여 보행자의 현재 (위도, 경도) 좌표가 주어지면, 가장 가까운 거리에 있는 교차로와의 거리가  $D_{IN}$  보다 작으면 SA는 PA\_IN\_SVC 상태로 전이한다. 만약, 보행자와 교차로 간의 거리가  $D_{IN}$ 보다 큰 경우, SA는 PA\_OUT\_OF\_SVC 상태로 전이하여 요구사항 [R-2]를 만족하기 위해 적응적으로 위치 갱신을 수행한다. PA\_IN\_SVC 상태에서 노변기지국과의 Wi-Fi 연결이 설정되면 PA\_CONN\_IA 상태로 전이하고 요구사항 [R-2]의 보행자 이동상태 추적을 수행한다.

#### IV. SA의 연결성 관리 기법

3장에서 제시한 SA의 소프트웨어 구조를 기반으로 본 장에서는 스마트폰의 배터리 소모를 최소화하는 위치갱신 (Location Update, LU) 알고리즘과 인접한 두 교차로 사이를 이동하는 보행자의 SA가 효율적으로 핸드오버(Handover)를 수행하기 위한 핸드오버 제어 알고리즘을 제시한다.

##### 4.1 위치갱신 알고리즘

GPS를 장착한 스마트폰의 보급률이 높아짐에 따라 위치기반서비스(Location-Based Services, LBS) 앱에 대한 관심이 증가하고 있다. 그런데, 대부분의 LBS 앱들이 사용자의 수동 입력을 통해 실행하기 때문에 접근성과 가용성이 낮은 문제점이 있다.

이러한 문제점을 인지하고 자동으로 위치갱신을 수행하는 LBS 앱에 관한 연구가 활발히 진행 중이다<sup>[14,15]</sup>. 이러한 연구들의 핵심은 서비스 지역에서 정상적으로 동작하면서, 그 외 지역에서 GPS 수신으로 인한 스마트폰의 배터리 소모를 최소화하는 알고리즘의 개발에 있다. 논문 [14]에서는 핫스팟(Hotspot) 지역으로부터의 거리와 사용자의 현재 이동방향을 고려하여 GPS 수신기의 위치갱신 주기를 결정하는 알고리즘을 제시하였다. 그런데, 이 논문에서는 사용자의 이동 속도를 5 ~ 15 Km/h로 제한함으로써, 사용자가 교통수단을 이용해서 이동할 경우 핫스팟 영역을

그냥 지나치게 되는 문제점이 발생한다. 논문 [15]에서는 이동통신망에서 도로 교통상황을 지능형교통시스템 (ITS) 센터에 효율적으로 전달하기 위한 알고리즘을 제시한다. 하지만, GPS 수신기의 위치갱신 주기가 4초로 고정되어 있어 스마트폰 배터리 소모를 줄이는데 한계가 있다.

안드로이드 플랫폼 스마트폰에서 위치 갱신 주기를 결정하는 API의 함수 원형은 다음과 같다<sup>[16]</sup>.

```
void requestLocationUpdates(String provider, long minTime, float minDist, LocationListener listener);
```

위의 함수 원형에서 provider는 위치 갱신을 등록하기 위한 위치제공자를, minTime은 위치 갱신을 위한 최소 시간간격을, minDist는 위치 갱신을 위한 최소 이동거리를, listener는 위치 갱신 이벤트 발생 시 호출될 콜백 (Callback) 함수를 정의한 리스너이다. 안드로이드 플랫폼 requestLocationUpdates() API 함수는 minTime과 minDist 조건을 동시에 만족할 때만 위치 갱신을 수행한다<sup>[16]</sup>. 따라서, 매개변수 minTime과 minDist의 값을 크게 설정하면 CPIS 경계에서 위치 갱신이 일어나지 않는 문제점이 발생한다. 반면, 매개변수의 값을 작게 설정하면 CPIS 영역 외부에서 배터리 소모가 크게 발생한다. 결론적으로, CPIS 영역 내·외부에서 적응적으로 매개변수의 값을 결정하는 것이 CPIS 서비스 품질을 높이고 스마트폰 배터리의 소모를 줄이는데 핵심적인 역할을 담당한다. 본 논문에서는 CPIS 영역 내부에서 교차로 위치추적 서비스를 원활하게 제공하기 위해 매개변수들을 최소값으로 설정한다. 반면, CPIS 영역 외부에서는 가장 가까운 CPIS 영역과의 거리에 따라 적응적으로 매개변수의 값을 설정하는 알고리즘을 제시한다.

그림 5는 CPIS 영역 외부에서 SA의 상태(state)와 두 경계거리( $D_{IN}$ ,  $D_{OUT}$ ), 그리고 SA의 이동속도를 기반으로 최소 위치갱신 거리(minDist)와 주기(minTime)를 결정하는 위치갱신 알고리즘을 나타낸다. 입력부에서  $x_{last}$ 와  $t_{last}$ 는 각각 가장 최근 위치갱신이 일어난 위도/경도 좌표와 시각을 나타낸다. 또한,  $x_{cur}$ 와  $t_{cur}$ 는 현재 위치갱신이 발생한 위도/경도 좌표와 시각을 나타낸다. 제안하는 위치갱신 알고리즘은 SA의 현재 위치를 기준으로 가장 가까운 노변기지국과의 거리( $D_{min}$ )를 계산하고, SA의 현재 상태에 따라 (3.3절에서 기술한) 히스테리시스 특성을 지원하기 위한 CPIS 영역 경계거리( $D_{th}$ )를 설정한다 (1-2). 만약

**적응형 위치갱신 알고리즘**

```

INPUT: state,  $X_{last}$ ,  $X_{cur}$ ,  $t_{last}$ ,  $t_{cur}$ ,  $D_{th}$ 
OUTPUT: minTime, minDist
PROCEDURE:
1 Calculate the distance  $D_{min}$  to the closest IA.
2  $D_{th} = (state == PA\_OUT\_OF\_SVC) ? D_{IN} : D_{OUT}$ ;
3 if ( $D_{min} < D_{th}$ )
4     minTime = minDist = 0;
5 else {
6     minDist = ( $D_{min} - D_{IN}$ )/2;
7     minTime =  $\frac{t_{cur} - t_{last}}{X_{cur} - X_{last}} \cdot minDist$ ;
8 }
9 requestLocationUpdates(provider, minTime,
                           minDist, listener);
    
```

그림 5. 적응형 위치갱신 알고리즘  
Fig. 5. Pseudocode of adaptive LU algorithm

SA가 CPIS 영역 내에 있는 경우, 위치갱신의 주기와 거리를 최소화하여 최대한 자주 위치갱신을 수행한다 (3~4). 반면, SA가 CPIS 영역 외부에 있는 경우, 보행자 이동 속도의 다양성을 고려하여 위치갱신을 위한 minDist와 minTime의 값을 결정한다. minDist 값의 크기와 위치갱신 빈도 사이에 다음의 경향성을 가진다. minDist의 값이 작고 향후 보행자의 이동속도가 (현재보다) 늦어지면, CPIS 영역 외부에서 불필요하게 잦은 위치갱신이 발생한다. 반면, minDist의 값이 크고 향후 보행자의 이동속도가 (현재보다) 빨라지면, 보행자가 CPIS 경계거리( $D_{IN}$ )를 통과한 후 위치갱신이 발생하게 되어 CPIS 서비스를 효과적으로 제공하는데 문제가 있다. 따라서, 제안하는 위치갱신 알고리즘에서는 현재 위치와 CPIS 영역 경계위치( $D_{IN}$ )와의 중간에서 위치갱신이 일어나도록 minDist를 설정하고 위치갱신 주기 minTime은 minDist를 가장 최근의 두 위치갱신 간 평균 이동속도로 나누어 계산한다 (5~8). 마지막으로 최소 위치갱신 거리와 주기를 매개변수로 안드로이드 API 호출하여 다음 위치갱신 조건을 설정한다 (9).

**4.2 핸드오버 제어 알고리즘**

도심에서 다수의 CPIS 영역에 속한 보행자가 교차로 간을 이동할 때 (그림 7 (b)), 최적의 CPIS 서비스를 제공받을 수 있도록 노변기지국들 간 Wi-Fi 핸드오버를 제어하기 위한 알고리즘을 제시한다. 제안하는 핸드오버 제어 알고리즘의 목표는 현재 교차로를 통과한 보행자가 다음 교차로 노변기지국과의

Wi-Fi 연결을 최대한 빨리 설정하여 보다 효과적인 녹색신호 최적화 보행 속도조언을 제공하는데 있다 (요구조건 [R-4]). 이를 위해 제시하는 알고리즘은 보행자의 진행 방향과 주변의 모든 노변기지국들과의 거리를 기반으로 Wi-Fi 핸드오버를 수행할 목적 노변기지국을 결정한다.

보행자의 SA가 교차로를 통과한 후 위치를 갱신할 때마다 그림 6의 핸드오버 제어 알고리즘을 수행한다. 입력부는 현재 연결이 설정된 노변기지국( $IA_{cur}$ )과 연결을 설정하고자 하는 목적 노변기지국( $IA_{tgt}$ ), 그리고 핸드오버 카운터(ctr)로 구성한다.  $IA_{tgt}$ 의 값은 보행자가 교차로를 통과할 때마다 null로 재설정한다. 참고로 Wi-Fi 연결의 핸드오버 시, 보행자는 두 교차로의 영역 내에 있으므로 SA의 상태는 항상 PA\_CONN\_IA이다. 보행자가 현재 교차로를 통과하고 일정한 거리( $D_{IA}$ )를 보행한 이후, SA가 접근하는 가장 가까운 노변기지국인 IA( $IA_{approch}$ )를 계산한다 (1~2). 만약  $IA_{approch}$ 가 직전 위치 갱신의 목적 노변기지국  $IA_{tgt}$ 와 동일한 경우, GPS 측위의 임의오차로 인한 오류를 완화하기 위해 핸드오버 카운터(ctr)에 대한 임계값(C)을 사용하여 Wi-Fi 연결의 안정성

**핸드오버 제어 알고리즘**

```

INPUT:  $IA_{cur}$ ,  $IA_{tgt}$ , ctr
OUTPUT:  $IA_{tgt}$ 
PROCEDURE:
1 if (distance to  $IA_{cur} > D_{IA}$ ) {
2     Find the closest approaching IA,  $IA_{approch}$ 
3     if ( $IA_{approch} != null$ ) {
4         if ( $IA_{approch} == IA_{tgt}$ ) {
5             if ( $++ctr == C$ ) {
6                 ctr = 0;
7                 return  $IA_{tgt}$ ;
8             }
9         }
10    }
11    else {
12        ctr = 1;
13        return  $IA_{tgt} = IA_{approch}$ ;
14    }
15    else
16        ctr = 0;
17 }
18 return null;
    
```

그림 6. 핸드오버 제어 알고리즘  
Fig. 6. Pseudocode of handover control algorithm

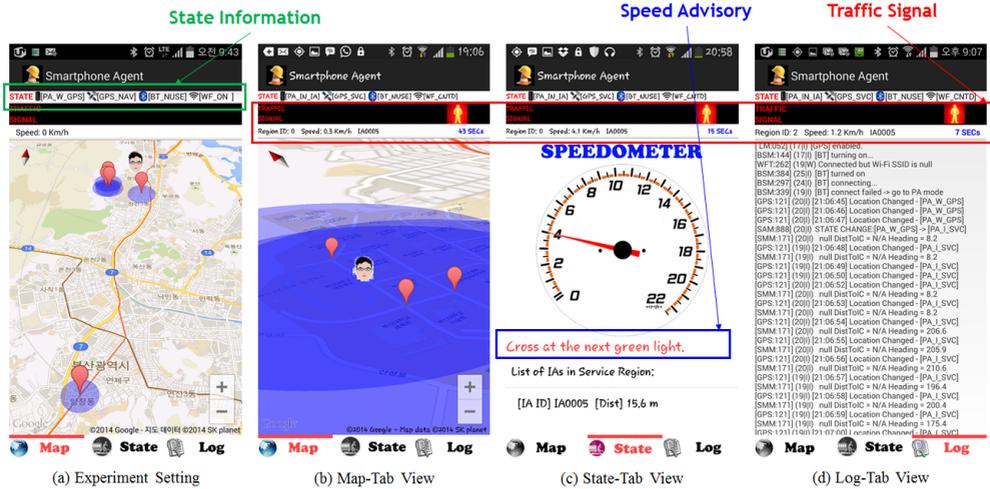


그림 7. 실험 환경 및 SA의 실행화면  
 Fig. 7. Experiment setting and screen shots of the SA

(Stability)을 제공한다. 즉, 위치 갱신 시 새롭게 계산하는  $IA_{approch}$ 가  $IA_{tgt}$ 와 연속해서  $C$  번 일치하면,  $IA_{cur}$ 와  $IA_{tgt}$  간의 Wi-Fi 핸드오버를 수행한다(4-9). 반면,  $IA_{approch}$ 와  $IA_{tgt}$ 가 다르면, 핸드오버 카운터를 1로 재설정하고, 목적 노변기지국  $IA_{tgt}$ 를  $IA_{approch}$ 로 갱신한다(10~13). 만약,  $IA_{approch}$ 가 존재하지 않는 경우, 핸드오버 카운터를 0으로 재설정하고, null을 리턴한다(15~18).

### V. 실험 결과

안드로이드 앱 프로그래밍을 통해 개발한 스마트폰 앱 SA와 임베디드 C 프로그래밍을 통해 개발한 노변기지국을 부산대학교 캠퍼스 내외의 실제 교차로에 설치하고 실험을 수행하였다. 그림 7 (a)는 실험을 위해 설치한 노변기지국의 위치를 나타낸다. 그림에서 부산대학교 캠퍼스 내 3곳과 정문 앞 교차로 1곳 그리고 양정역 교차로 1곳에 노변기지국을 설치하였다. 각 교차로에서 파란색 원은 각 교차로의 CPIS 영역을 나타낸다. CPIS 두 경계거리 값은 가시성이 확보되는 Wi-Fi 신호의 최대 전송거리 부근에서 각각  $D_{IN}=200\text{ m}$ ,  $D_{OUT}=250\text{ m}$ 로 설정한다. 본 절에서는 자동차, 대중교통, 보행을 통해 이동하는 보행자의 SA에서 수집한 실제 데이터를 기반으로 SA의 위치갱신 및 핸드오버 제어 알고리즘의 성능을 검증한다.

그림 7의 (b) ~ (d)는 실험 도중에 캡처한 SA의 화면을 나타낸다. 그림에서 SA 화면은 1) SA와 통신 인

터페이스의 상태를 나타내는 부분과 2) 노변기지국으로부터 수신한 SPAT 메시지 내용을 표시하는 부분, 그리고 3) 지도 탭, 상태 탭, 로그 탭으로 구성된 주 화면으로 구성된다. 요구사항 [R-5]를 만족하기 위해 지도 탭에서는 GoogleMap API를 활용하여 노변기지국의 위치를 표시(Marker)으로 나타내고, 사용자의 위치를 아바타를 이용해 나타낸다. 상태 탭에서는 보행자의 이동속도를 표시하는 속도계와 속도조언 메시지, 그리고 목적 노변기지국과의 거리를 실시간으로 표시한다. 마지막으로 로그 탭에서는 SA의 상태 및 디버깅 정보들을 차등적으로(VERBOSE/DEBUG/INFO/WARNING/ERROR)로 구분하여 표시한다.

그림 8은 부산대학교 과학기술연구동에서 양정역 주변으로 이동하면서 수집한 위치갱신 결과를 표시한 SA 화면을 나타낸다. 다양한 보행자 이동 상태를 모형화하기 위해 다음의 이동모형을 고려하였다.

[M-1] 출발지에서 목적지까지 자동차를 운전하면서 이동하는 모형

[M-2] 출발지에서 부산대역까지 도보를, 부산대역에서 시청역까지 지하철을, 그리고 시청역에서 목적지까지 다시 도보로 이동하는 모형

성능 비교를 위해 논문 [15]에서 제시한 고정주기 위치갱신 알고리즘의 결과도 함께 도시하였다 ( $minDist = 0$ ,  $minTime = 8\text{ sec}$ ). 그림 8 (a)와 (c)에서 보인 CPIS의 위치갱신 알고리즘은 교차로 영역 내에서 최고 빈도로 위치갱신을 수행하지만, 교차로 영역 외부에서는 낮은 빈도로 위치 갱신이 이루어짐을 확인할 수 있다. 또한, 그림 8 (c)와 (d)에서 지하철이

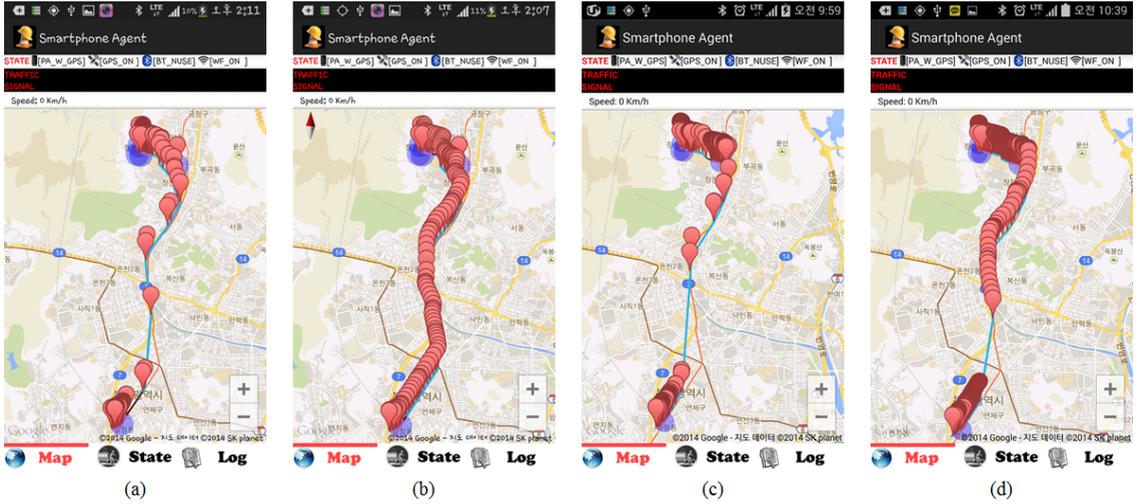


그림 8. SA 위치갱신 화면: (a) [M-1] CPIS LU (b) [M-1] 고정주기 LU (c) [M-2] CPIS LU (d) [M-2] 고정주기 LU  
 Fig. 8. LU screenshot of SA: (a) [M-1] CPIS LU (b) [M-1] Fixed LU (c) [M-2] CPIS LU and (d) [M-2] Fixed LU.

지하구간을 주행하는 경우에 위성 신호를 수신할 수 없기 때문에 위치 갱신이 일어나지 않는 것을 확인할 수 있다.4) 제안하는 CPIS의 위치갱신 알고리즘은 자동차, 대중교통(지하철), 도보 등 다양한 패턴으로 움직이는 보행자에 대하여 위치 갱신을 적응적으로 수행하여 배터리 소모를 줄임과 동시에 CPIS 서비스를 원활히 제공할 수 있다.

그림 9에서는 그림 8의 실험에서 수집한 데이터를 기반으로 SA의 상태별 위치갱신 주기를 나타내었다. 그림에서 'In CPIS'는 PA\_CONN\_IA와 PA\_IN\_SVC

상태를 나타내고 'Out of CPIS'는 PA\_OUT\_OF\_SVC 상태를 의미한다. 그림에서 제안하는 적응형 위치갱신 알고리즘은 CPIS 영역 내에서 평균 1.29 초의 짧은 주기로 위치갱신을 수행하여 보행자의 교차로 위치 추적 서비스를 제공하는데 보다 용이하다. 반면, CPIS 영역 외부에서는 평균 34.7 초의 큰 주기로 위치갱신을 수행하기 때문에 위치갱신으로 인한 스마트폰 배터리의 불필요한 소모를 줄일 수 있다. 반면, 고정주기 위치갱신 알고리즘은 SA의 위치와는 무관하게 일정한 빈도로 위치갱신을 수행하기 때문에 CPIS 서비스의 품질과 스마트폰 배터리 효율성 측면에서 문제가 있다.

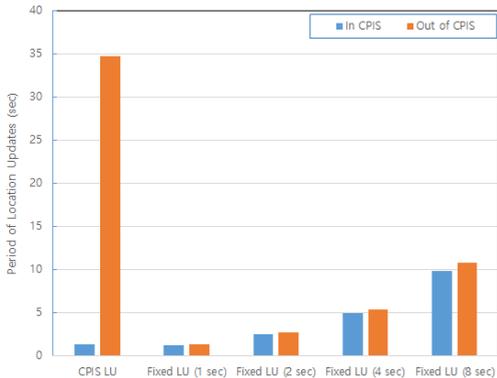


그림 9. CPIS 영역 내·외에서 위치갱신 주기  
 Fig. 9. Period of location updates

4) [M-2]의 지하철 탑승 구간에서 부산대역부터 교대역 진입까지는 지하철이 지상구간을 이동하므로 위성신호 수신이 가능하다.

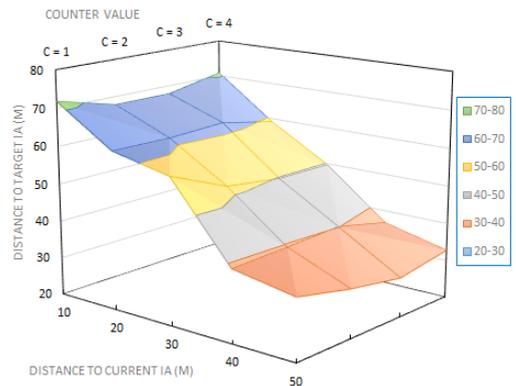


그림 10. 핸드오버 시, 목적 교차로까지의 거리  
 Fig. 10. Distance to target intersection at handover time.

마지막으로 핸드오버 제어 알고리즘의 성능을 검증하기 위해서 그림 7 (a)에서 부산대학교 캠퍼스 내 두 개의 교차로 간을 도보로 왕복하면서 실험을 수행하였다. 그림 10에서는 핸드오버 발생 시, 새롭게 연결하는 교차로와의 거리를 도시하였다. 그림에서 두 교차로 간의 거리는 약 88.5 미이고, 그림 10의 각 실험 값은 50번의 반복 실험을 통해 수집한 데이터의 평균을 나타낸다. 그림에서 현재 교차로를 통과한 뒤 다음 교차로를 찾기 시작하는 거리( $D_{LA}$ )가 증가함에 따라 목적지 교차로와의 연결설정 거리가 감소함을 확인할 수 있다. 보행자 속도조언 서비스 관점에서 볼 때, 교차로를 통과한 후 최대한 가까운 거리에서 핸드오버를 트리거링(Triggering)하는 것이 요구조건 [R-4]와 부합한다. 반면, 그림에서 카운터( $C$ )에 따른 성능의 차이는 크지 않은 점으로 볼 때, 안드로이드 스마트폰 GPS 측위 오차의 산포도(Dispersion)가 낮음을 알 수 있다.

## VI. 결 론

본 논문에서는 임베디드 시스템 기반의 노변기지구과 자동차통신단말, 그리고 안드로이드 스마트폰 앱 SA를 상호 긴밀히 연동하여 교차로의 안전성을 제고하고 보행자와 자동차의 이동 효율성을 향상하는 사이버-물리 교차로 시스템의 시작품을 소개하였다. 대부분의 사용자들이 휴대하는 스마트폰 기반의 사용자 단말 앱인 SA를 제안하고 그 내부 구조를 설명하였다. 스마트폰의 배터리를 효율적으로 사용하면서 CPIS의 교통신호표시, 위치추적, 보행자 속도조언 서비스를 사용자들에게 원활하게 제공하기 위한 SA의 연결성 관리 방안으로 위치갱신 및 핸드오버 제어 알고리즘도 제안하였다. 본 논문에서 제안하는 사이버 물리 교차로 시스템은 향후 교차로 충돌방지, 교통 신호 위반경고 등의 다양한 응용 서비스 개발을 위한 토대가 될 것으로 기대한다.

## References

[1] World Health Organization (WHO), *World report on road traffic injury prevention*, 2004, online available: <http://whqlibdoc.who.int/publications/2004/9241562609.pdf>

[2] KoROAD, *Traffic accident analysis system*, online available: <http://taas.koroad.or.kr>

[3] T. Gandhi and M. M. Trivedi, "Pedestrian

protection system: Issues, survey, and challenges," *IEEE Trans. ITS*, vol. 8, no. 3, Sept. 2007.

[4] C. G. Keller, T. Dang, H. Fritz, A. Joos, C. Rabe, and D. M. Gavrilu, "Active pedestrian safety by automatic braking and evasive steering," *IEEE Trans. ITS*, vol. 12, no. 4, pp. 1292-1304, Dec. 2011.

[5] F. Garcia, D. Olmeda, A. de la Escalera, and J. M. Armingol, "Fusion scheme for pedestrian safety in urban roads," *13th Conf. Inf. Fusion 2010*, pp. 1-8, Edinburgh, Jul. 2010.

[6] L. Le, A. Festag, R. Baldessari, and W. Zhang, "Vehicular wireless short-range communication for improving intersection safety," *IEEE Comm. Mag.*, vol. 47, no. 11, pp. 104-110, Nov. 2009.

[7] K. David and A. Flach, "Car-2-X pedestrian safety," *IEEE Veh. Technol. Mag.*, vol. 5, no. 1, pp. 70-76, Mar. 2010.

[8] Ministry of Science, ICT and Future Planning, *Statistics of wireless Communication Services (Feb. 2014)*, online available: [http://www.msi.go.kr/www/brd/m\\_220/list.do](http://www.msi.go.kr/www/brd/m_220/list.do)

[9] IEEE Computer Society, *IEEE standard for information technology-Telecommunications and information exchange between systems-Local and metropolitan area networks-Specific requirements, Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications, Amendment 6: Wireless access in vehicular environments, IEEE Std 802.11p-2010*, 2010.

[10] IEEE Vehicular Technology Society, "IEEE standard for wireless access in vehicular environments (WAVE). Multi-channel operation," *IEEE Std. 1609.4-2010*, 2010.

[11] SAE International, "Dedicated Short Range Communications (DSRC) Message Set Dictionary," *SAE J2735 Std.*, Nov. 2009.

[12] H.-Y. Jeong, T. A. Suramadhana, and H.-H. Nguyen, "Design and implementation of green light optimal speed advisory based on reference mobility models (GLOSA-RMM) in

cyber-physical intersection systems (CPIS),” *J. KICS*, vol. 39B, no. 8, pp. 544-554, Oct. 2014.

- [13] Google Inc., *Android developer web site*, online available: <http://developer.android.com>
- [14] Y. Man and Y. Liu, “Towards an energy-efficient framework for location-triggered mobile application,” *ATNAC’12*, pp. 1-6, Brisbane, Australia, Nov. 2012.
- [15] S. Barbeau, M. A. Labrador, A. Perez, P. Winters, N. Georggi, D. Aguilar, and R. Perez, “Dynamic management of real-time location data on GPS-enabled mobile phones,” *UBICOMM’08*, pp. 343-348, Valencia, Spain, Sept. 2008.
- [16] Android developers, online available: <http://developers.android.com>

**정 한 유 (Han-You Jeong)**



1998년 2월 : 서울대학교 전기공학부  
 2000년 2월 : 서울대학교 전기컴퓨터공학부 석사  
 2005년 2월 : 서울대학교 전기컴퓨터공학부 박사  
 2005년 3월~2007년 7월 : 삼성

전자 정보통신총괄 책임연구원

2008년 1월~8월 : 미네소타대학교 박사후연구원

2008년 9월~2014년 8월 : 부산대학교 차세대물류IT 기술연구사업단 조교수/부교수

2014년 9월~현재 : 부산대학교 전기공학과 부교수

<관심분야> 자동차 네트워크, 무선 메쉬 네트워크, 광통신망

**수리마다토미앗하야사 (Tommy Adhyasa Suramardharan)**



2011년 8월 : 인도네시아 ITS대학 정보공학과 학사

2013년 9월~현재 : 부산대학교 전기전자컴퓨터공학과 석사과정

<관심분야> 자동차 통신 및 네트워크

**응웬 호아 흥 (Hoa-Hung Nguyen)**



2009년 4월 : 베트남 호치민공과대학(HCMUT) 컴퓨터공학과 학사

2013년 8월 : 부산대학교 빅데이터학과 석사

2013년 9월~현재 : 부산대학교 전기전자컴퓨터공학과 박사과정

<관심분야> 자동차 통신 및 네트워크