

딜레마구간 의사결정 지원 서비스를 위한 로봇카 기반의 개념검증 모형 시스템

A Robotcar-based Proof of Concept Model System for Dilemma Zone Decision Support Service

이 혁 준**
(Hyukjoon Lee)

정 영 욱***
(Young-uk Chung)

이 형 근**
(Hyungkeun Lee)

요 약

최근 들어 DSRC(Dedicated Short Range Communication), WAVE(Wireless Access for Vehicular Environment) 등의 무선 네트워크 기술을 기반으로 고속 이동 중인 차량의 운전자에게 안전 정보를 제공하기 위한 연구개발이 활발히 진행 중이다. 본 논문에서는 무선랜 기술을 기반으로 하는 딜레마구간 의사결정 지원 서비스를 위한 로봇카 기반의 개념검증 모형시스템의 설계 및 구현에 대하여 소개한다. 제안하는 모델 시스템은 무선랜 인터페이스를 탑재한 임베디드 리눅스 기반의 로봇카 및 차량탑재장치 에뮬레이터, 운전자의 동작을 모사하기 위한 안드로이드 기반의 원격조종기, 신호제어기와 신호시스템을 모사하기 위한 노트북 PC, 노변기지국을 모사하기 위한 무선랜 AP(Access Point)로 구성된다.

핵심어 : 안전운전, 프로토콜, 에뮬레이터, WAVE, 딜레마존

ABSTRACT

Recently, research activities to develop services for providing safety information to the drivers in fast moving vehicles based on various wireless network technologies such as DSRC (Dedicated Short Range Communication), IEEE 802.11p WAVE (Wireless Access for Vehicular Environment) are widely being carried out. This paper presents a proof-of-concept model based on a robot-car for Dilemma Zone Decision Assistant Service using the wireless LAN technology. The proposed model system consists of a robot-car based on an embedded Linux OS equipped with a WiFi interface and an on-board unit emulator, an Android-based remote controller to model a human driver interface, a laptop computer to run a model traffic signal controller and signal lights, and a WiFi access point to model a road-side unit.

Key words : Public Safety, Protocol, Emulator, WAVE, Dilemma Zone

† 본 논문은 광운대학교 2012년도 교내학술연구비와 한국연구재단의 지원을 받아 일반연구지원사업(기본연구)로 수행된 연구임. (No. NRF-2013R1A1A2065928)

* 주저자 : 광운대학교 컴퓨터공학과 교수

** 교신저자 : 광운대학교 전자공학과 교수

* 공저자 : 광운대학교 컴퓨터공학과 교수

† 논문접수일 : 2014년 08월 11일

† 논문심사일 : 2014년 08월 22일

† 게재확정일 : 2014년 08월 25일

I. 서론

최근 들어, 사고 방지 및 차량 안전운행을 지원하는 지능형 교통 시스템(ITS: Intelligent Transport System) 관련 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히 IEEE 802.11p/IEEE 1609를 기반으로 하는 WAVE와 ISO TC204의 CALM(Communications Access for Land Mobiles) 등의 국제표준이 제정되면서 이들을 기반으로 하는 새로운 안전운전 서비스의 구현과 실용성 검증에 대한 관심이 높아지고 있다[1-8].

특히, 도로상의 공사 정보를 주위 차량에게 알려주는 공사구간 안내 서비스, 차량 사고가 발생했을 경우 자동으로 구조신고를 발송하고 주변차량에게 사고정보 알려주는 사고차량 신고 서비스, 응급차량의 접근정보를 발송하고 교통신호 우선부여 기능을 지원하는 응급차량 알림 서비스, 황색 신호등 점멸시 교차로 딜레마구간에서 운전자의 교차로통과 여부에 대한 의사결정을 지원하는 서비스 등은 ITS 통신의 대표적인 안전운전 지원 서비스의 예로 거론되고 있다.

일반적으로 새로운 응용 서비스 모델에 대한 개념이 수용되기 위해서는 본격적인 실제 서비스 시스템의 연구개발이 시작되기 이전에 POC(Proof of Concept) 수준의 시스템 개발을 목표로 사전연구가 이루어진다. 그러나 실물 크기의 모델 시스템은 일반적으로 구현 비용이 많이 소요될 뿐만 아니라, 테스트베드 구축, 실제 상황 시나리오 구현, 테스트의 위험성 등의 문제가 있어, 우선적으로 실험실 내에서 테스트가 가능한 크기의 축소모형 시스템을 구현하여 성능실험을 수행한다. 이 경우 축소 모형 시스템의 구성요소는 모사하고자 하는 실제 시스템의 핵심기능을 탑재해야 하며 축소된 적용 환경에서 목표 성능의 검증이 가능해야 한다.

딜레마구간 의사 결정 지원 서비스는 WAVE와 같은 ITS 통신을 기반으로 교차로의 현재 교통신호 등 색 및 점멸 잔여시간 정보를 제공받아 차량의 속도, 교차로와 차량 간 거리, 도로면의 마찰계수, 등의 데이터를 기반으로 적색신호 점멸시의 차량의 정지 가능 위치 또는 현재 속도로 진행시의 차량

위치를 예측하여 교차로에서의 안전운행을 위한 운전자 의사 결정 지원 서비스이다. 딜레마구간 의사 결정 지원 서비스는 실제상황에서의 기능검증의 고비용, 고위험인 특성으로 인하여 특히 모형 시스템에 의한 기능 검증이 필요한 서비스이다. 본 논문에서는 딜레마구간 의사결정 지원 서비스의 개념을 구체적으로 모사하기 위하여 IEEE 802.11p의 물리계층 성능이 유사한 IEEE 802.11g WiFi 시스템, 리눅스 기반의 신호제어 및 신호등 정보제공 시스템, 임베디드 리눅스 기반의 차량탐재장치, 안드로이드 기반의 차량제어시스템을 구성요소로 하는 로봇카 기반의 모형 시스템에 대하여 소개한다.

II. 딜레마구간 의사결정 지원 서비스

딜레마구간 의사 결정 지원 서비스를 위해 교차로에 설치된 노변장치는 교차로 신호 관련 데이터를 포함하는 광고(broadcast) 메시지를 주기적으로 전송하며, 차량탐재장치는 노변장치로부터 받은 정보와 교차로 및 차량 진행 관련 정보를 이용하여 차량이 평균 감속도로 정지할 경우의 예상위치 및 현재 속도를 유지하며 계속 주행할 경우 교통신호가 다음 신호로 변경되는 시점에 차량의 위치를 계산하여 교차로 통과 또는 정지 권고 메시지를 차량탐재 디스플레이에 표출한다.

노변장치의 신호등 관련 정보 전송 메시지에는 현재 교통신호등의 색(녹색, 황색, 적색)과 현 시점을 기준으로 교통신호가 다음 신호로 변경되기까지의 잔여 시간을 포함한다. <표 1>은 본 논문에서 제안하는 딜레마구간 의사결정 지원 서비스 프로토콜의 노변장치 광고 메시지 규격이다.

차량 탐재장치는 수신된 신호등 관련 메시지 정보를 기반으로, 녹색통과거리, 황색 통과거리, 정지거리, 제동거리, 정지선으로부터의 차량까지의 거리의 관계를 유추해내고, 이를 기반으로 신호교차로 통과 가능여부를 결정하여 디스플레이에 표출한다. 본 논문에서는 참고문헌 [9]에서 제안된 교차로 딜레마구간에서의 <표 2>에 요약된 거리 값들에 대한 계산 결과를 기반으로, 교차로 통과 여부를 결정하

<표 1> 딜레마구간 의사결정 지원 서비스 프로토콜 노변장차 광고 메시지

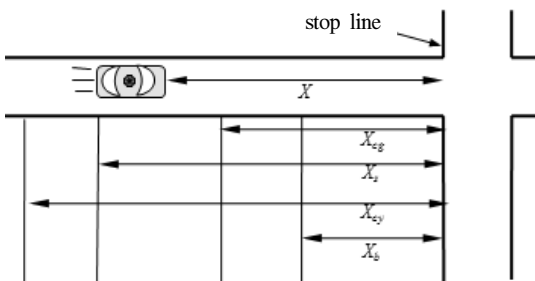
<Table 1> The RSU broadcast message format of the dilemma zone decision support service protocol

Fields	Meanings	Data Type
Signal	Signal Color 1: Red 2: Orange 3: Green	char(1 byte)
Time	Remaining Time of Current Signal	unsigned int (2 bytes)

는 알고리즘을 제안한다.

정지선과 차량사이의 거리가 녹색 통과거리보다 작다면($X_{cg} > X$) 녹색 잔여시간 이내에 차량의 교차로 진입이 가능하다는 것을 의미하므로 통과 판정을 내리고, 그렇지 않은 경우, 정지선과 차량과의 거리가 정지거리 보다 작다면($X_{cg} < X < X_s$) 평균적인 차량정지 감속으로는 정지선 이전에 차량 정지가 불가능한 상황을 의미한다. 이 경우에 운전자는 차량을 계속 진행하여 황색 신호 기간 내에 교차로를 빠져 나갈 것인지 아니면 급격한 제동으로 정지선 이전 정지를 시도할 것인지 결정해야 한다.

이 경우, 교차로신호가 적색신호로 변경되기 전에 차량이 교차로를 빠져나갈 수 있는 경우, 즉 차량으로부터 정지선까지의 거리 및 교차로 통과 거리의 합이 황색 통과거리보다 작을 때($X_{cy} > X$)는 계속 진행으로 결정한다. 그렇지 않은 경우, 차량으로부터 정지선까지의 거리가 제동거리보다 큰 경우



<그림 1> 각 거리 값의 개념도

<Fig. 1> Conceptual diagram of various distance metrics

<표 2> 각 거리값의 정의 및 계산식

<Table 2> Definition and formula of each distance metric

Dist. metric	Definition	Formula
Clearance Distance Green(X_{cg})	Distance to be traveled by a vehicle in green light until yellow light is up	$X_{cg} = v \times T_{RA} - L$ L : length of a vehicle(m) v : speed of a vehicle T_{RA} : remaining time of green light(sec)
Clearance Distance Yellow (X_{cy})	Distance to be traveled by a vehicle in yellow light until red light is up	$X_{cy} = v \times (T_{RA} + y) - (W_I + L)$ $W_I = \text{distance}(L_s, L_T)$ L_s : stopping location L_T : end of intersection y : remaining time of yellow light(sec)
Stopping Distance (X_s)	Distance to be traveled by a vehicle taking into account the stopping deceleration of 3.05m/s^2 proposed by ITE and cognitive response time	$X_s = t_{PRT} \times v + \frac{v^2}{2(d + G \cdot g)}$ t_{PRT} : cognitive response time(sec) d : stopping deceleration (3.05m/s^2) G : longitudinal slope g : gravity
Breaking Distance (X_b):	Distance traveled by a vehicle until a complete stop after a driver applies an emergency break	$X_b = t_{PRT} \times v + \frac{v^2}{2\mu g}$ μ : average friction coefficient on a dry surface(0.8)

($X_b > X$), 급격한 제동에도 정지선 이전에 정지할 수 없으므로 가속을 통해 교차로를 통과할 것을 결정하고, 반대의 경우에는 정지할 것을 권고한다.

녹색잔여시간 내에 교차로 진입이 불가능하지만, 평균 감속도로 정지선 내에 정지할 수 있는 경우($X_s < X$)에도, 운전자에게 정지 권고 메시지를 전달한다. <그림 1>는 교차로통과 판단을 위한 각 거리 값의 개념도이며, <그림 2>는 제안하는 알고리즘이다.

```

if  $X_{cg} > X$  then Go (clear intersection)
else if  $X_s > X$  then
    if  $X_{cy} > X$  then Go
    else if  $X_b > X$  then Stop
    else Go (with slight acceleration)
else Stop
    
```

〈그림 2〉 교차로통과여부 판단 알고리즘
 〈Fig. 2〉 Intersection clearance decision algorithm

III. 모델 시스템의 설계 및 구현

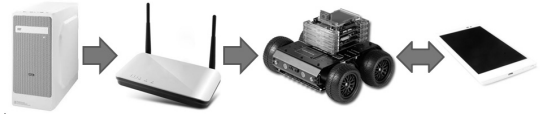
본 논문에서 제안하는 로봇카 기반의 딜레마구간 의사결정 지원 서비스의 개념을 구체적으로 묘사하기 위한 모델 시스템은 리눅스 기반의 신호제어 및 신호등 정보제공 응용 SW, 임베디드 리눅스 기반의 차량탐재장치 에뮬레이터, IEEE 802.11g WiFi AP 기반의 노변장치, 안드로이드 기반의 차량제어 앱의 4개부로 구성된다(〈그림 3〉, 〈그림 4〉 참조). 각 기능모듈은 앞서 언급한 모사를 위한 최소한의 기능에 한해 설계 및 구현되었으며 이에 대한 구체적인 내용은 다음과 같다.

1. 신호제어 및 신호등 정보제공 응용 SW

신호제어 및 신호등 정보제공 응용은 노트북 PC 상의 리눅스 Ubuntu 버전 11.10 OS 기반의 C 언어 응용 프로그램으로, 주기적으로 신호 데이터를 생성하고 현재 신호의 잔여시간 데이터와 함께 UDP 소켓 인터페이스를 이용하여 노변장치(IEEE 802.11g AP)를 거쳐 차량탐재장치로 전송한다. 디스플레이 서버 모듈은 현재 신호를 화면에 표출한다.

2. 차량탐재장치 에뮬레이터

임베디드 리눅스 기반의 차량탐재장치 에뮬레이터는 HBE-로봇카에 장착된 스택커블 임베디드 리눅스 플랫폼 상에서 구현되었으며 수신 메시지 파싱, 거리 계산 및 갱신, 교차로 통과여부 결정 및 운전자 안내 메시지 표출 등의 기능을 수행한다. 수



〈그림 3〉 로봇카 기반의 딜레마구간 의사결정 모델 시스템의 구성요소
 〈Fig. 3〉 Components of the dilemma zone decision support model system based on a Robotcar

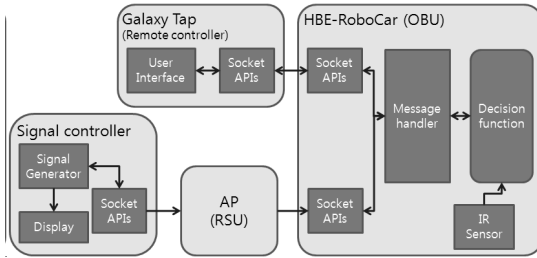
신 메시지 파싱 기능은 노변장치를 통해 신호제어 및 신호등 정보제공 응용 SW로부터 전달받은 딜레마구간 의사결정 지원 서비스 프로토콜 노변장치 광고 메시지(〈표 1〉 참조) 내의 정보들을 추출한 후, 교차로 통과여부 결정 기능에 의해 활용된다. 거리 계산 및 갱신 기능은 차량의 위치와 정지선 위치 등 교차로 폭 등의 지리적 정보와 수신된 신호등 정보 등을 이용하여 정지선과 차량 간 거리, 녹색 통과거리, 황색 통과거리, 정지거리, 제동거리 등을 계산한다. 교차로 통과여부 결정 기능은 제2절에서 설명한 알고리즘을 기반으로 구현된다. 운전자 안내 메시지 표출 기능은 차량탐재장치와 연결된 디스플레이에 교차로 통과여부 결정 결과를 표출한다. 개발환경은 리눅스 Ubuntu 11.10 OS 이며 타겟 보드는 HBE-SMIII-SV210, 탑재 OS는 HBE EMBOS-2 임베디드 리눅스이다. 개발언어는 C 언어이다.

3. IEEE 802.11g 기반 노변장치

IEEE 802.11g 기반 노변장치는 IEEE WAVE와 같은 ITS 무선통신 표준 기반의 노변장치를 모사하기 위한 것으로 본 논문에서 제안하는 모델 시스템에서는 신호정보제공 응용 SW가 전송하는 신호등 관련 정보를 차량탐재장치로 무선 전송할 수 있도록 하기위해 IEEE 802.11g 기반의 무선랜 AP를 사용한다.

4. 안드로이드 기반 차량제어 앱

교차로 통과여부 도출 결과는 실제 차량 내에서는 디스플레이에 표출되고 그 내용에 따라 운전자



〈그림 4〉 딜레마구간 의사결정 지원 모델 시스템의 구조
 〈Fig. 4〉 Architecture of the dilemma zone decision support model system

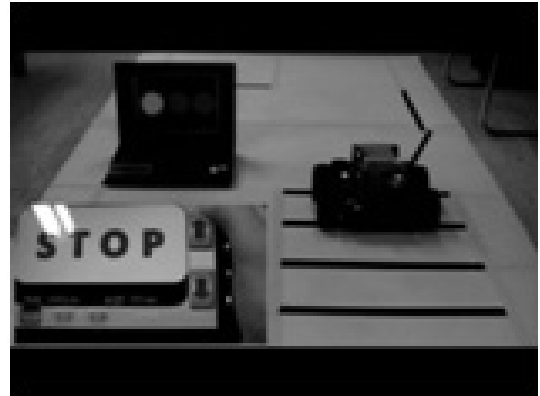
가 차량을 가속, 계속진행 또는 정지시킬 것으로 기대할 수 있으나, 로봇카의 경우 원격제어 시스템을 통해서만 이러한 운전자의 반응을 모사할 수 있다.

안드로이드 기반 차량제어 앱은 WiFi 연결을 통해서 로봇카를 제어하기 위한 것으로 로봇카에 탑재된 디스플레이의 내용을 안드로이드 단말(갤럭시 탭 7.0 젤리빈)에도 동기화하여 표출함으로써 로봇카 운전자가 차량을 제어할 수 있도록 한다. 로봇카 제어는 전용 제어 명령어를 텍스트 데이터 형태의 메시지로 구성하여 로봇카 제어 모듈로 송신함으로써 이루어지며, 로봇카의 속도와 회전을 조절한다. 안드로이드 차량제어 앱은 Java언어로 구현되었다. 제어 메시지에 대한 구체적인 내용은 본 논문의 핵심 내용이 아니므로 생략한다.

〈그림 5〉는 구현된 로봇카 기반 딜레마구간 의사결정 지원 모델 시스템의 시연장면의 사진으로 로봇카의 현재 위치는 실내 GPS 시스템의 부재로 인하여 바닥의 거리 표시선을 광센서를 통해 파악하는 방식을 적용하였다. 사진에서 볼 수 있듯이 차량탑재장치의 디스플레이에 표출된 (본 시연에서는 차량원격제어 단말에 표출됨) 교차로 통과여부 정보에 따라 운전자가 차량을 제어함으로써 딜레마구간에서의 안전운행이 가능함을 보일 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 IEEE WAVE 기술을 기반으로 하는 딜레마구간 의사결정 지원 서비스의 개념을 검



〈그림 5〉 딜레마구간 의사결정 지원 모델 시스템의 시연 장면(왼쪽상단 부분부터 시계방향으로 리눅스 노트북 기반 신호등제어 응용SW, HBE-로봇카, 안드로이드 기반 차량제어앱)

〈Fig. 5〉 Demonstration of the dilemma zone decision support model system (clockwise from the upper left corner the signal control application SW based on a Linux laptop computer, the HBE-Botocar, the Adroid-based Robotcar controller application)

증하기 위한 로봇카 기반의 모형시스템의 설계 및 구현에 대하여 소개했다. 제안하는 모델 시스템은 무선랜 인터페이스를 탑재한 임베디드 리눅스 기반의 로봇카 및 차량탑재장치 에뮬레이터, 신호제어기와 신호시스템을 모사하기 위한 노트북 PC, 노변기 지국을 모사하기 위한 무선랜 AP운전자의 동작을 모사하기 위한 안드로이드 기반의 원격제어 응용 SW로 구성된다. 로봇카와 신호제어기 간의 신호제어정보 교환을 위해 [1]에서 제안된 응용 프로토콜과 차량 통과여부 판단 알고리즘을 사용하였다.

로봇카의 운행속도 및 제동장치의 세밀한 모사에 있어 실제 상황과는 많은 차이가 있을 수 있으나, 딜레마구간 의사결정 지원 서비스의 개념을 정립하는 목적으로 활용이 가능할 것으로 판단되며, 향후 연구로는 운행 속도가 높은 로봇카를 이용한 모델 시스템을 구현하여 딜레마구간 의사결정 지원 시스템의 효과를 좀 더 명확하게 보이는 것과 교차로 충돌 방지 서비스 등의 교통안전 관련 기능을 추가로 구현하는 것을 들 수 있다[10].

REFERENCES

- [1] Han-Joon Kwon, Jae-Jun Lee, Seung-Hwan Lee, Jin-Kweon Lee, Yong-Teak Kim "A Study on the Traffic Information System Development Using DSRC", *The journal of the Korea institute of intelligent transport systems*, vol. 8, no. 6, pp.13-22, 2009. 12.
- [2] ISO TC204 Working Group 16 : Continuous Air interfaces - Long and Medium Range (CALM), <http://www.isotc204wg16.org>
- [3] Soon-Ho Lee, Woo-Sup Byun, "Standardization Trends of DSRC systems for ITS", *The magazine of IEIE*, vol. 28, no. 5, pp.34-39, 2001, 5.
- [4] D. Jiang, L. Delgrossi, "IEEE 802.11p: Towards an International Standard for Wireless Access in Vehicular Environments," *Proc. IEEE VTC-Spring*, May 2008.
- [5] "IEEE 1609.1-2006 Resource Manager Services" 2006.
- [6] "IEEE 1609.2-2006 Security Services for Applications and Management Messages" 2006.
- [7] "IEEE 1609.3-2007 WAVE Networking Services", 2007.
- [8] "IEEE 1609.4-2007 WAVE Multi-Channel Operation", 2007.
- [9] Young-Jun Moon, Joo-II Lee, "In-vehicle Dilemma Zone Warning System at Signalized Intersections", *The Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, vol. 2, no. 1, pp.54-62, 2003.6.
- [10] Michael Maile, "Cooperative Systems for Intersection Crash Avoidance", *MBRD*, January 2008.

저자소개



이 혁 준 (Lee, Hyukjoon)

1985년 9월 ~ 1987년 8월 : University of Michigan, Ann Arbor (전산학 학사)
 1987년 9월 ~ 1989년 6월 : 시라큐스대학교 전산학 석사
 1990년 1월 ~ 1993년 12월 : 시라큐스대학교 전산학 박사
 1994년 3월 ~ 1996년 2월 : (주) 삼성전자 멀티미디어연구소 선임연구원
 1996년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 컴퓨터공학과 교수
 e-mail : hlee@kw.ac.kr



정 영 옥 (Chung, Young-uk)

1997년 2월 : KAIST 전기 및 전자공학 학사
 1999년 2월 : KAIST 전기 및 전자공학 석사
 2003년 2월 : KAIST 전자전산학 박사
 2005년 9월 ~ 현재 : 광운대학교 전자공학과 부교수



이 형 근 (Lee, Hyungkeun)

1987년 2월 : 연세대학교 학사과정 수료(전자공학전공)
 1996년 12월 : Syracuse University 공학석사 (컴퓨터공학전공)
 2002년 12월 : Syracuse University 공학박사 (컴퓨터공학전공)
 1987년 1월 ~ 1993년 9월 : 삼성전자 하드웨어개발 선임연구원
 2003년 1월 ~ 2003년 6월 : Syracuse University 무선네트워크 연구 Research Fellow
 2003년 9월 ~ 현재 : 광운대학교 컴퓨터공학과 교수