

■ 論 文 ■

V2V기반 교통정보수집체계 설계 및 요구사항분석

Designing A V2V based Traffic Surveillance System and Its Functional Requirements

홍 승 표
(유신코퍼레이션 건설기술연구소 ITS 연구실)
오 철
(한양대학교 교통시스템공학과 교수)

김 원 규
(한국항공대학교 항공교통물류학부 교수)
김 현 미
(한국교통연구원 위축연구원)
김 태 형
(한국교통연구원 책임연구원)

목 차

- I. 서론
- II. 기존문헌고찰
- III. V2V를 이용한 교통정보수집 방법론
 - 1. 교통정보 수집 Case
- IV. 시뮬레이션 요구사항 분석
 - 1. 자료수집
 - 2. 분석방법
 - 3. 분석결과
- V. 적용 및 결과분석
 - 1. 실험환경구축
 - 2. 자료수집 및 분석
- VI. 결론 및 향후연구과제
 - 1. 연구결과 종합
 - 2. 향후연구과제
- 참고문헌

Key Words : 교통정보수집체계, 개별차량 주행궤적, 차량간 무선통신, 미시적 교통시뮬레이터, 통행시간
 Traffic surveillance systems, Individual vehicle trajectory, Vehicle-to-Vehicle Communication, Microscopic traffic simulator, Travel time

요 약

정확하고 신뢰성 있는 실시간 교통자료의 수집은 다양한 교통운영관리 전략의 구현 및 교통정보제공을 위한 필수요소이다. 본 연구에서는 보다 seamless한 고급 교통정보제공을 위해 차량 간 무선통신기술(Vehicle-To-Vehicle Communication: V2V)을 활용한 새로운 교통정보수집체계를 제안하였다. GPS를 이용하여 개별차량의 주행궤적을 추출하고 V2V를 이용한 교통정보수집 방안을 제시하였다. 본 연구에서 제안한 교통정보수집체계의 기술적 요구사항분석을 위해 몬테카를로 시뮬레이션 기반의 평가체계를 개발하였다. 미시적 교통시뮬레이터 AIMSUN으로부터 개별차량의 주행궤적을 추출하고, 이를 이용한 구간통행시간 산출기법을 몬테카를로 시뮬레이션 기반 평가체계에 결합하여 기술적 요구사항을 도출하였다. 구간통행시간 정확도에 영향을 미치는 요인으로서 V2V 및 개별차량 주행궤적 추출이 가능한 equipped vehicle의 market penetration rate, V2V 통신반경, 통행시간 산출주기를 분석하였다. 또한, 제안된 시스템의 기술적 타당성 확인을 위해 prototypical implementation을 수행하였다. 본 연구의 결과물은 보다 seamless하고 정확한 교통정보제공을 위한 차세대 수집시스템 개발 및 구현을 위한 유용한 기초자료로 활용될 것으로 기대된다.

One of the crucial elements to fully facilitate the various benefits of intelligent transportation systems (ITS) is to obtain more reliable traffic monitoring in real time. To date, point and section-based traffic measurements have been available through existing surveillance technologies, such as loops and automatic vehicle identification (AVI) systems. However, seamless and more reliable traffic data are required for more effective traffic information provision and operations. Technology advancements including vehicle tracking and wireless communication enable the acceleration of the availability of individual vehicle travel information. This study presents a Ubiquitous PRObe vehicle Surveillance System (UBIPROSS) using vehicle-to-vehicle (V2V) wireless communications. Seamless vehicle travel information, including origin-destination information, speed, travel times, and other data, can be obtained by the proposed UBIPROSS. A set of parameters associated with functional requirements of the UBIPROSS, which include the market penetration rate (MPR) of equipped vehicles, V2V communication range, and travel time update interval, are investigated by a Monte Carlo simulation- (MCS) based evaluation framework. In addition, this paper describes prototypical implementation. Field test results and identified technical issues are also discussed. It is expected that the proposed system would be an invaluable precursor to develop a next-generation traffic surveillance system.

본 연구는 국토해양부 교통체계효율화사업의 연구비지원(O6-교통핵심-A01-01)에 의해 수행되었습니다.

I. 서론

지능형 교통체계(ITS: Intelligent Transportation Systems)의 발전으로 도로이용자들은 보다 편리한 교통시설 이용이 가능하게 되었다. 특히, 여행자정보제공시스템(ATIS: Advanced Traveler Information System)의 발달은 도로를 이용하는 운전자에게 다양한 형태의 정보를 실시간으로 제공하는 단계에까지 이르고 있으며, 이러한 정보제공 서비스를 가능하게 하기 위하여 정밀한 검지체계와 신뢰성 있는 통행시간 산출에 대한 관심이 증가되고 있다.

그러나 기존의 교통정보 수집체계는 지점검지기의 경우, 수집되는 정보가 검지기 설치지점의 지점속도(Spot Speed)이므로 해당링크를 주행한 통행속도(통행시간)의 대표값으로 사용하기에는 문제가 있으며 검지 스테이션간의 과도한 이격거리로 인해 구간 내 발생한 돌발 상황에 대한 신속한 검지 및 대응에 한계가 있다. 구간기반 검지체계의 경우, 일반적으로 교통사고발생 시 대기행렬 검지가 지연되는 단점이 있다. 또한, 전술한 수집체계는 교통정보센터와의 통신을 통해 교통정보가 수집/처리/가공/제공되는 중앙정보집중시스템(centralized system)으로 통신두절로 인한 결측자료, 현장의 돌발 상황에 대한 신속한 대처 미흡 등의 공통된 문제점을 갖고 있다.

전술한 기존 교통정보 수집체계의 한계를 극복하기 위한 방안으로 최근 이동 중인 차량 간의 무선통신을 이용한 정보수집에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 차량 간 통신은 지능형 교통정보시스템의 구성을 위한 기본적인 부분이며 교통정보 수집과 교통안전 증진을 목적으로 하고 있다. 차량 간의 통신은 직접 통신이 가장 확실한 방법으로 무선 네트워크를 조성하여 주행 중 주변 차량들에 관한 정보를 노변의 기지국이나 차량 간의 통신을 통해 구현할 수 있으며 이러한 경우 오탐지(False Alarm)나 탐지 실패(Miss Detection) 확률이 기준 한계치 이하로 보장되어야 한다.

기존의 연구에서는 대부분 통신 환경 분야 및 충돌 회피(collision avoidance)와 같은 교통안전증진 서비스 제공을 위한 기술 개발에 초점이 맞추어져 왔다. 하지만 본 연구에서는 기존 연구들과는 달리 차량 간 통신을 교통 분야에 접목하여 신뢰성 있는 구간교통정보의 생산을

위한 V2V(Vehicle to Vehicle Communication)기반 교통정보시스템 요구사항(Parameter Requirement) 분석을 수행하였다. 이를 위해 V2V기반 교통정보수집체계 설계를 위한 각 영향요소 간의 관계 및 영향력을 알아보기 위해 최근 가장 각광 받고 있는 미시적 교통시물레이터 중의 하나인 AIMSUN을 이용하였다. AIMSUN의 API(Advanced Programming Interface)를 통하여 개별차량의 통행 자료를 추출하였으며, Monte Carlo Simulation을 이용하여 다양한 입력변수의 변화에 따른 교통정보의 정확도를 분석하였다.

본 연구의 장별 구성은 다음과 같다. 2장에서는 기존 문헌고찰을, 3장에서는 V2V기반 교통정보수집시스템에 대하여 알아보고, 4장에서는 시물레이션을 통한 요구사항 분석을 수행하였다. 5장에서는 실험환경 구축 및 현장실험을 통한 기술적 타당성을 조사하였다. 마지막으로 본 연구의 결과 및 향후 연구과제에 대한 토의로 논문을 마무리한다.

II. 기존문헌고찰

본 연구와 관련된 기존 연구는 차량 간 무선통신과 통행시간 추정에 관한 연구로 구분할 수 있다. 전자는 기존 교통정보 수집체계(지점, 구간검지기)의 한계를 극복하기 위한 방안으로 최근 선진국들을 필두로 이동 중인 차량 간의 무선통신을 이용한 정보수집에 관한 연구이고, 후자는 기존 교통정보 수집체계에서의 구간통행시간 산출 알고리즘 개발에 관한 연구이다.

1. 차량 간 무선통신 관련 문헌

차량 간 무선 통신에 관한 연구는 안전 분야[30][32-33][39-40]와 통신 환경 분야[16][20-23][26-29][31-32][43]로 분류 하였으며 <표 1>과 같다.

2. 통행시간 추정 관련 문헌

통행시간 추정에 관한 연구[1-8][9-12][15][17-19][24-25]는 이용 자료에 따라 크게 6가지로 분류 하였으며 <표 2>와 같다.

〈표 1〉 차량간 통신 관련문헌 고찰

연구영역	연구분류	내용	
차량간 통신	안전 분야	Kato(2001)	Laser Radar를 이용한 자동차량제어
		Omae(1999)	DGPS를 이용한 자동차량제어
		Kato(2003)	Driver Assistance System 연구
		Biswas(2006) 및 Chen(2005)	충동회피경고를 위한 요구사항분석
	통신 환경 분야	Hao(2004)	정보 전파(전송) 모형 제시
		Jin(2006)	몬테카를로 시뮬레이션을 이용하여 정보 전송률 분석
		Tanikella(2007)	AIMSUN의 API를 이용한 V2V Simulation
		Kim(2007)	Paramics를 이용한 V2V Simulation
		Yang(2005)	교통상황 및 통신반경 등에 따른 정보 전송률 분석
		Krajizwicz(2008)	수집정보 저장 주기 및 교통상황, 장착 차량비율의 영향에 관한 연구
		Artimiy(2007)	교통류 모형을 기반으로 하는 통신 범위 모형
		Wischhof(2003~2005) 및 Ebner(2003)	교통상황에 따른 실시간 통신반경 연구

〈표 2〉 통행시간 추정 관련문헌 고찰

연구영역	이용자료	연구분류	내용
통행시간 추정 통행시간 추정	Loop Data	Hobeika et. al (2004)	루프검지기 data를 이용해 돌발 상황, 혼잡시의 통행시간 알고리즘 개발
		PETTY et. al (1998)	루프검지기의 flow와 occupancy 만을 이용하여 통행시간을 산출함
		Lint et. al (2003)	trajectory method를 통해 통행시간을 산출함
		Cortes et. al (2001)	aggregated 검지기 데이터와 individual 차량지점속도 데이터를 이용하여 통행시간을 산출함
		Smith et. al (2003)	탐색적 예측수법인 Extrapolation 방법을 이용하여 통행시간을 산출함
		Charles et. al (2000)	STM, BTM, 시계열 분석을 통하여 통행시간을 산출함
	AVI	임형석 외(2005)	적정 집락간격 결정 방법론 개발
		문학룡 외(2003)	검지율과 인식율, 차량 매칭율을 통한 구간 통행시간 산출함
	TCS	장진환 외(2004)	AVI자료의 이상치 제거후 칼만필터링 알고리즘을 이용하여 통행시간을 산출함
		김재진 외(2006)	베이지안 추론을 이용하여 출발시각기준의 On-Line 링크통행시간 추정 알고리즘 개발
	Probe Vehicle	김재진 외(2007)	동적특성을 반영한 출발시각기준 실시간 통행시간 제공방법을 제시
		최기주 외(2004)	시계열 모형의 신뢰구간 추정 부분을 이상치 제거 모듈과 결합하여 이상치 제거 알고리즘 개발
	Data Fusion	최기주 외(2006)	Taxi GPS 교통정보의 이상치 검지 및 제거 알고리즘 개발
		심상우 외(2006)	대기행령소멸길이와 신호 현시 등을 고려한 링크통행시간 추정 기법 개발
	블레이드 센서	정연식 외(1999)	voting technique, 퍼지회귀, 베이지안 기법을 이용한 퓨전알고리즘 개발
		김성현 외(2005)	지점검지기와 AVI 융합을 위해 최적화융합모형과 비례화 융합모형 개발
		오철 (2005)	차량재인식기법을 활용하여 구간통행시간을 산출

III. V2V를 이용한 교통정보수집 방법론

V2V기반 교통정보수집시스템은 교통이용자 입장에서 필요로 하는 교통정보서비스의 수집 및 생성, 처리과정, 제공이 센서네트워크 기반에서 능동적, 자율적으로 이루어지게 하는 교통서비스 인프라로써, 교통체계 구성요소인 여행자, 교통수단 및 각종 시설물이 유/무선으로 연결되는 네트워크 공간을 의미한다. 이러한 시스템에서는 교통 센터에서 가공된 다양한 정보가 교통체계 구성요소에 전달(one-to-many)될 뿐만 아니라, 구성요소

들 간의 Ad-hoc 네트워크¹⁾ 구성을 통한 실시간 정보교환(many-to-many)이 가능하다.

1. 교통정보 수집 Case

V2V 및 V2I(Vehicle to Infra Communication)를 통한 정보 수집은 크게 3개의 Case로 구성 될 수 있으며 〈그림 1〉과 같다.

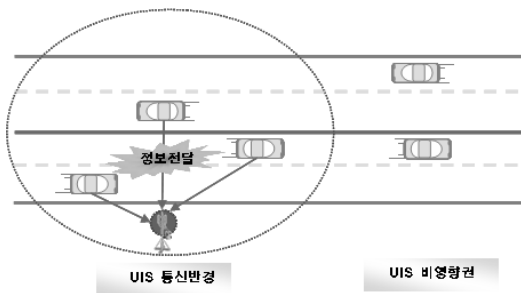
첫째, 〈그림 1(a)〉처럼 인프라 통신반경 내에 장착차량이 존재하는 경우 정상교통류에서는 인프라의 통신반

1) Ad-hoc 네트워크 기술은 시스템의 구성요소들이 데이터 통신을 하는 주체가 되어, 다른 장치로부터 받은 정보를 다른 장치로 전달해주고, 구성요소들 간에 네트워크를 구성하는 기능을 갖는 최첨단 기술이다. 따라서 기반망에 관계없이 대규모의 무선 네트워킹을 가능하게 하는 차세대 무선 네트워크의 핵심적인 기술이다.

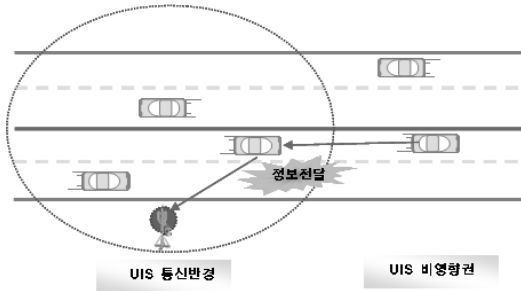
경내의 차량들은 주행자료(위치, 시간 등)를 인프라로 직접 전달하며 이를 V2I라 한다.

둘째, 와 같이 인프라 통신반경 외에 위치한 차량들의 경우 인프라의 통신반경 외에 있는 차량들은 인프라 통신반경 내에 있는 차량에게 정보 전달(V2V)을 통해서 인프라로 주행 자료를 전달한다.

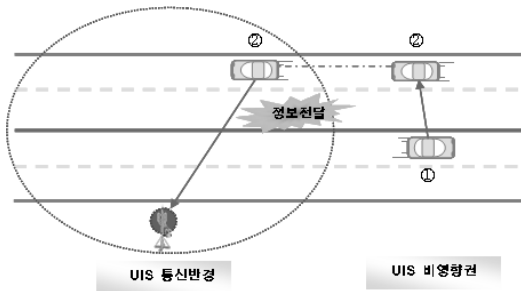
마지막으로 <c>는 인프라 통신반경 외에서 동일 방향의 주행차량이 없는 경우 ①차량이 반대 방향의 ②차량에게 정보를 전달하고, ②차량은 ①차량으로부터 전달받은 주행 자료를 인프라의 통신반경에 진입하면 자신의 주행 자료와 함께 전달한다.



<a> 인프라 통신반경 내



 인프라 통신반경 외 Case 1



<c> 인프라 통신반경 외 Case 2

<그림 1> 교통정보 수집 Case

IV. 시뮬레이션 요구사항분석

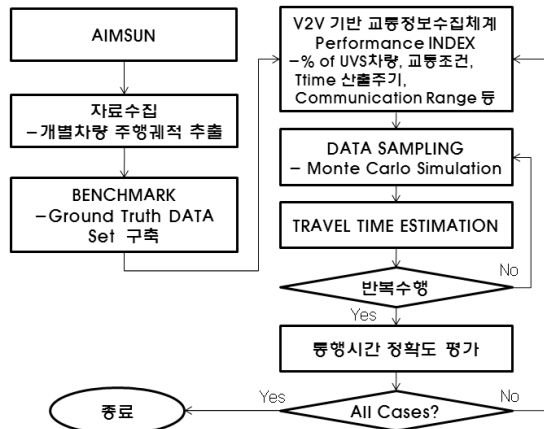
본 연구에서는 대표적인 미시적 시뮬레이션 모델의 하나인 AIMSUN을 시뮬레이션 도구로 사용하여 개별 차량의 주행궤적 자료를 추출하였고, V2V기반 교통정보 수집시스템 요구사항 분석을 위하여 몬테카를로 시뮬레이션기법을 활용하였다. 몬테카를로 시뮬레이션은 불확실성추정기법으로 입력변수를 확률변수로 간주하고 확률밀도 함수를 가정하여 다양한 입력변수의 변화에 따른 결과 값을 통계적으로 분석할 수 있는 도구로서, 본 연구의 주요 관심사인 다양한 변수에 따른 교통정보의 정확도를 분석하는데 효과적으로 사용될 수 있으며 <그림 2>에 분석절차를 도식화하였다.

1. 자료수집

1) 미시적 교통류 시뮬레이션

본 연구에서는 대표적인 미시적 시뮬레이션 모델의 하나인 AIMSUN을 시뮬레이션 도구로 사용하였다. AIMSUN은 미시적 교통류 시뮬레이션으로 단위 시간 별로 네트워크 내 개별 차량의 행동을 연속적으로 파악하여 분석한다. 여기에는 차량추종, 차선변경 이론이 적용되어 있으며, HLA(High Level Architecture) 개념의 통합 시뮬레이션을 가능하게 하는 API (Advanced Programing Interface) 기능이 포함되어 있다.

시뮬레이션 시나리오는 고속도로 3km 구간에 LOS D를 가정하였으며, 교통상황에 따라 정상교통류와 혼잡



<그림 2> 분석절차

〈표 3〉 시뮬레이션 시나리오

		교통상황	
		정상교통류	혼잡교통류
네트 워크	도로유형	고속도로	고속도로
	연장	3km	3km
	차로수	편도 2차로	편도 2차로
	용량	4200 대/시	4200 대/시
수요	승용차	2100 대/시	2100 대/시
	트럭	1000 대/시	1000 대/시
	서비스 수준	D v/c(0.61~0.8)	D v/c(0.61~0.8)
사고 발생	-	* 1차로 1.5km 지점에서 발생 * 시뮬레이션이 시작하고 30분 후 발생 * 사고 10분간 지속	

〈표 4〉 수집 데이터

수집 data	내용
ID	the vehicle identifier
Type	the vehicle type
Lane	the lane number in the segment
Current Position	distance from the beginning of the section (m)
X Current Position	X coordinates of the middle point of the front bumper of the vehicle
Y Current Position	Y coordinates of the middle point of the front bumper of the vehicle
Current Speed	the current speed (km/h)
Total Distance	the total distance travelled by the vehicle (m)
System Time	the absolute entrance time of the vehicle into the system (s)

time	ID	Type	Lane	CurrentPos	X_CurrentPos	Y_CurrentPos	CurrentSpeed	TotalDistance	SystemTime
3.000	1	승용차	1	10.000000	10.000000	10.000000	30.000000	10.000000	2.000000
4.000	1	승용차	1	15.111150	15.111150	15.111150	30.000000	15.111150	2.000000
4.000	2	승용차	1	10.000000	10.000000	10.000000	122.000000	10.000000	2.000000
4.000	3	승용차	1	40.145547	40.145547	40.145547	30.000000	40.145547	2.000000
4.000	4	승용차	1	40.145547	40.145547	40.145547	30.000000	40.145547	2.000000
4.000	5	승용차	1	22.770648	22.770648	22.770648	30.000000	22.770648	2.000000
4.000	6	승용차	1	22.770648	22.770648	22.770648	30.000000	22.770648	2.000000
7.000	1	승용차	1	120.400000	120.400000	120.400000	30.000000	120.400000	2.000000
7.000	2	승용차	1	114.114111	114.114111	114.114111	30.000000	114.114111	2.000000
7.000	3	승용차	1	60.000000	60.000000	60.000000	30.000000	60.000000	2.000000
7.000	4	승용차	1	24.000000	24.000000	24.000000	30.000000	24.000000	2.000000
7.000	5	승용차	1	140.000000	140.000000	140.000000	30.000000	140.000000	2.000000
7.000	6	승용차	1	140.000000	140.000000	140.000000	30.000000	140.000000	2.000000
7.000	7	승용차	1	15.111150	15.111150	15.111150	30.000000	15.111150	2.000000
7.000	8	승용차	1	15.111150	15.111150	15.111150	30.000000	15.111150	2.000000
7.000	9	승용차	1	15.111150	15.111150	15.111150	30.000000	15.111150	2.000000
7.000	10	승용차	1	15.111150	15.111150	15.111150	30.000000	15.111150	2.000000
7.000	11	승용차	1	15.111150	15.111150	15.111150	30.000000	15.111150	2.000000
7.000	12	승용차	1	15.111150	15.111150	15.111150	30.000000	15.111150	2.000000
7.000	13	승용차	1	15.111150	15.111150	15.111150	30.000000	15.111150	2.000000
7.000	14	승용차	1	15.111150	15.111150	15.111150	30.000000	15.111150	2.000000
7.000	15	승용차	1	15.111150	15.111150	15.111150	30.000000	15.111150	2.000000
7.000	16	승용차	1	15.111150	15.111150	15.111150	30.000000	15.111150	2.000000
7.000	17	승용차	1	15.111150	15.111150	15.111150	30.000000	15.111150	2.000000
7.000	18	승용차	1	15.111150	15.111150	15.111150	30.000000	15.111150	2.000000
7.000	19	승용차	1	15.111150	15.111150	15.111150	30.000000	15.111150	2.000000
7.000	20	승용차	1	15.111150	15.111150	15.111150	30.000000	15.111150	2.000000
7.000	21	승용차	1	15.111150	15.111150	15.111150	30.000000	15.111150	2.000000
7.000	22	승용차	1	15.111150	15.111150	15.111150	30.000000	15.111150	2.000000
7.000	23	승용차	1	15.111150	15.111150	15.111150	30.000000	15.111150	2.000000
7.000	24	승용차	1	15.111150	15.111150	15.111150	30.000000	15.111150	2.000000
7.000	25	승용차	1	15.111150	15.111150	15.111150	30.000000	15.111150	2.000000
7.000	26	승용차	1	15.111150	15.111150	15.111150	30.000000	15.111150	2.000000
7.000	27	승용차	1	15.111150	15.111150	15.111150	30.000000	15.111150	2.000000
7.000	28	승용차	1	15.111150	15.111150	15.111150	30.000000	15.111150	2.000000
7.000	29	승용차	1	15.111150	15.111150	15.111150	30.000000	15.111150	2.000000
7.000	30	승용차	1	15.111150	15.111150	15.111150	30.000000	15.111150	2.000000

〈그림 3〉 수집데이터 예

교통류 두 가지로 분류하였다. 혼잡교통류의 Incident는 시뮬레이션 시작 후 1800(s)~2400(s)동안 출발점으로 부터 1.5km지점 1차선에서 발생하는 것으로 설정하였으며 Run Time은 3600(s)로 하였다. 자료를 수집하기 위하여 외부에서 개발한 프로그램을 시뮬레이터에 plug-in하는 API를 사용하였으며 API에 사용된 함수와 시뮬레이션 시나리오 및 상황, 수집데이터를 〈표 3〉, 〈표 4〉와 〈그림 3〉에 제시하였다.

2. 분석방법

AIMSUN을 통해 개별차량의 주행궤적 자료를 추출하여 평가를 위한 벤치마크 참값을 구성하는데 활용하였다. 여기서, 개별차량의 주행 자료는 Equipped Vehicle 이 시뮬레이터 내부에서 차량 발생 시 부여되는 고유 ID를 가지고 매초간격으로 검지된다. 차량 간 통신 성능 척도는 몬테카를로 시뮬레이션 수행을 통해 추출된 차량들을 대상으로 한다. 추출된 차량들을 이용하여 추정통행시간을 시나리오별로 산출한 후, 벤치마크자료의 구간통행시간²⁾과 비교하여 추정된 통행시간의 정확도를 MAPE(Mean Absolute Percent Error)를 이용하여 평가하였다.

1) 분석 시나리오 구성

시뮬레이션을 통해 추출된 자료를 이용하여 통행시간 추정에 영향을 줄 것으로 예상되는 변수들을 설정하였다. 우선 장착차량의 비율에 따라 표본자료의 수가 달라지므로 장착차량 비율의 변화에 따른 통행시간의 정확도를 측정하였고, 교통 상황, 통행시간 산출주기의 변화, 차량 간 통신반경 및 통행시간산출 모형에 따른 추정통행시간의 정확도를 측정하였다. 이를 정리하면 〈표 5〉와 같다.

〈표 5〉 분석 시나리오

구분	교통상황				정상교통류
	혼잡교통류				
UVS장착차량비율(%)	5,10,20,30,50				5,10,20,30,50
통행시간 산출을 위한 계개간격(s)	10,30,60,120, 180,240,300				10,30,60
UIS 통신반경(m)	500				500
UVS 통신반경(m)	200,500,1000				200,500,1000
추정통행시간	Scenario 1,2				Scenario 1,2
Test	MAPE				MAPE

2) 통행시간을 사용한 이유는 여러 가지 교통변수들 중 실시간 교통정보로서 현재 가장 널리 사용되고 있기 때문이다.

2) V2V 및 V2I 통신반경

V2V 및 V2I의 통신반경에 따른 정보전달은 두 가지 경우로 구분할 수 있다. 먼저 V2I 영향권 내의 차량들은 주행 자료를 인프라로 직접 전달하며, V2I 영향권 외의 차량들은 V2I 영향권 내의 차량에게 정보전달(V2V)을 통해서 인프라로 주행 자료를 전달한다. 두 번째로 V2I 영향권 외의 차량 중 통신 반경 내에 Equipped Vehicle이 존재하지 않으면 주행 자료를 전달하지 못하며 통행시간 산출 자료로 사용하지 못한다.

3) 통행시간 추정

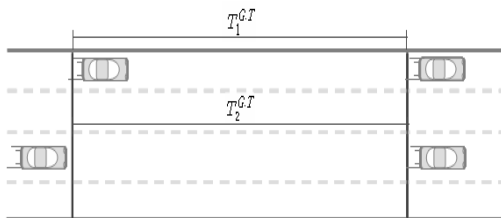
분석구간의 구간통행시간이란, 구간통행에 영향을 미치는 모든 요소(혼잡에 의한 영향, 도로기하구조에 의한 영향, 운전자의 운전 형태에 의한 영향 등)를 반영한 구간을 통행하는 차량의 실제 통행시간이다. 구간 통행시간 정보는 수집된 자료를 일정집계간격으로 집계 대표치를 제공하기 때문에 이러한 구간의 통행시간을 필요로 하는 차량은 집계간격동안 구간에 새로 진입한 차량이라 할 수 있다. 즉, 집계 간격동안 수집된 자료를 이용하여 제공되는 통행시간은 구간의 추정통행시간이고, Ground Truth는 집계 간격동안 분석대상구간에 새로 진입한 차량이 구간을 주행하는데 실제 소요되는 시간이라 할 수 있으며 본 연구에서는 이를 대표통행시간으로 정의하였다.

(1) 대표통행시간

대표통행시간은 통행시간 산출주기(T) 동안 분석대상 구간에 새로 진입한 차량이 구간을 주행하는데 실제 소요되는 통행시간으로 정의할 수 있으며 식(1)과 같다.

$$T^{GT} = \frac{\sum_{i=1}^n (T_{out} - T_{ent})_i}{n} \quad (1)$$

T^{GT} : 대표통행시간
 T_{out} : 진출시간 T_{ent} : 진입시간
 i : 차량ID n : T동안 진입한 차량 수



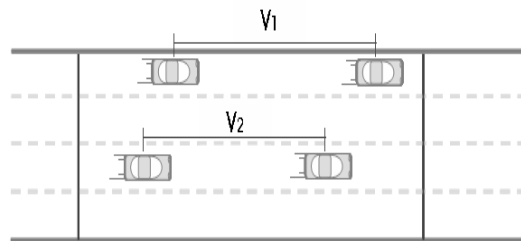
(그림 4) 대표통행시간 산출

(2) 추정통행시간 - 시나리오 1

통행시간 산출주기 T 동안 구간에 존재하는 Equipped Vehicle에 대하여 매초 수집된 속도 자료를 이용하여 추정통행시간을 산출하며 식(2)와 같다.

$$V_i = \frac{V_{t+1} - V_t}{T_{t+1} - T_t} \quad V_m = \frac{\sum_{i=1}^n V_i}{n} \quad T^{est} = \frac{L}{V_m} \quad (2)$$

V : 차량 ID가 i 인 차량의 $T_{t+1} - T_t$ 동안의 속도
 V_t : 매초 차량의 속도
 V_m : T동안 구간의 평균 통행속도
 n : T동안 선택된 차량들의 통행속도 샘플 수
 T^{est} : T동안 추정된 통행시간
 L : 분석구간(km)



(그림 5) 추정통행시간 산출 시나리오1

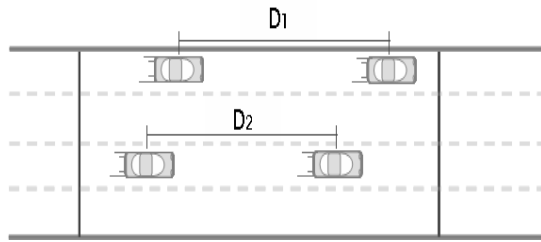
(3) 추정통행시간 - 시나리오 2

통행시간 산출주기 T 동안 구간에 존재하는 Equipped Vehicle에 대하여 매초 수집된 위치 자료를 이용하여 추정통행시간을 산출하며 식(3)과 같다.

$$V_i = \frac{(D_{t+1} - D_t)}{T_{t+1} - T_t} * 3.6 \quad (3)$$

$$V_m = \frac{\sum_{i=1}^n V_i}{n} \quad T^{est} = \frac{L}{V_m}$$

V_i : 차량 ID가 i 인 차량의 $T_{t+1} - T_t$ 동안의 속도
 D_t : 차량의 현재위치
 V_m : T동안 구간의 평균 통행속도
 n : T동안 선택된 차량들의 통행속도 샘플 수
 T^{est} : T동안 추정된 통행시간
 L : 분석구간(km)



〈그림 6〉 추정통행시간 산출 시나리오2

(4) 정확도 평가

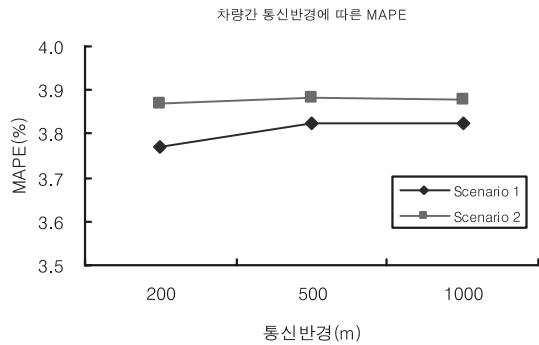
오차의 크기를 측정하기 위해서는 일정기간동안에 발생하는 모든 예측오차의 합계를 고려해야 하는데, $\sum y_t - \hat{y}_t$ 는 오차의 크기에 관계없이 합계가 거의 0의 값을 갖기 때문에 이용할 수 없으므로 예측오차의 절대값을 검토하여 평가지표로 사용하며 본 연구에서는 추정통행시간의 정확도를 나타내는 척도로 평균절대비율 오차(MAPE: Mean Absolute Percentage Error)를 사용하였다. MAPE가 0%에 가까울수록 이 모델은 비교적 정확한 모델이라고 평가할 수 있으며 식(4)와 같다.

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{T_i^{est} - T_i^{G.T}}{T_i^{G.T}} \right| * 100 \quad (4)$$

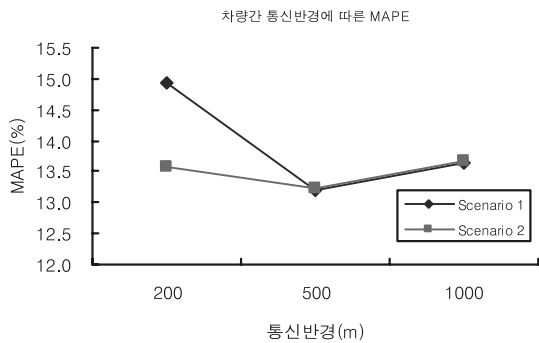
- T_i^{est} : 추정통행시간
- $T_i^{G.T}$: 대표통행시간
- n : 관측수

3. 분석 결과

V2V기반 교통정보수집시스템 요구사항 분석을 위하여 Monte Carlo Simulation을 통해 다양한 변수에 대한 stochastic variation을 고려하였다. 분석결과 정상교통류에서는 추정통행시간의 오차가 추정통행시간 시나리오 모두 5%미만으로 나타났으며 혼잡교통류에서는 다소 오차가 큰 것으로 분석되었다. 〈그림 7(a)〉는 정상교통류의 통행시간 산출주기 10초 이고 장차차량 20%일 때, 〈b)〉는 혼잡교통류의 통행시간 산출주기 240초 이고 장차차량 10%일 때의 차량 간 통신반경에 따른 통행시간 추정 시나리오 1,2에 대한 MAPE의 변화를 제시하였다.



〈a〉정상교통류 주기(10s), 차량(20%)



〈b〉혼잡교통류 주기(240s), 차량(10%)

〈그림 7〉 통신반경에 따른 MAPE

정상교통류에서는 장차차량비율과 통행시간 산출주기, 추정통행시간 시나리오에 영향을 받는 것으로 분석되었다.

우선, 장차차량비율이 높을수록 추정통행시간이 정확한 것으로 분석되었다. 특히, 장차차량의 비율이 5%에서도 추정통행시간의 오차가 5%미만으로 분석되어 낮은 Penetration Rate에서도 시스템이 운영될 수 있음을 보여주었다. 둘째, 통행시간 산출주기는 간격이 길어질수록 추정통행시간이 정확한 것으로 분석되었으며 통행시간산출주기가 10초 일 때도 추정통행시간의 오차가 5%미만으로 분석되었다.

혼잡교통류에서는 장차차량비율, 통행시간 산출주기, 통신반경, 추정통행시간 시나리오에 따라 많은 차이가 있는 것으로 나타났다. 첫째, 장차차량비율이 높을수록 추정통행시간의 오차가 줄어드는 것으로 분석되었다. 둘째, 통행시간 산출주기는 300(s)일 때 오차가 다시 증가하는 것으로 나타났으며 240(s)일 때 오차가 가장 작은 것으로 분석되었다. 셋째, 통신반경은 500m일 때의 오차가 가장 작은 것으로 나타났다. 마지막으로, 추정통행

시간 시나리오의 경우 정상교통류보다 오차가 큰 것으로 분석되었다. 이러한 오차는 사고 발생 시점, 사고 처리 시간, 대기행렬 생성 및 소멸 시간 등을 복합적으로 고려한 알고리즘 개발을 통해 오차를 줄일 수 있을 것으로 판단된다. 시뮬레이션 결과를 통해 분석된 Parameter의

조합에 따른 통행시간의 정확도를 <표 6>, <표 7>에 정리하였다. 음영부분은 추정통행시간 시나리오에 따른 달성하고자 하는 구간교통정보의 정확도를 만족하는 차량차량 및 통행시간 산출주기의 값을 의미한다.

<표 6> 차량 간 통신반경 500m 일 때 통행시간 정확도에 따른 Parameter 조합(정상교통류)

MAPE (%)		3%이내					4%이내					5%이내					6%이내					
장착차량비율(%)		5	10	20	30	50	5	10	20	30	50	5	10	20	30	50	5	10	20	30	50	
시나리오 1	통행시간	10																				
	산출주기 (s)	30																				
		60																				
시나리오 2	통행시간	10																				
	산출주기 (s)	30																				
		60																				

<표 7> 차량 간 통신반경 500m 일 때 통행시간 정확도에 따른 Parameter 조합(혼잡교통류)

MAPE (%)		14%이내					15%이내					16%이내					17%이내					18%이내					
장착차량비율(%)		5	10	20	30	50	5	10	20	30	50	5	10	20	30	50	5	10	20	30	50	5	10	20	30	50	
시나리오 1	통행시간 산출주기 (s)	10																									
		30																									
		60																									
		120																									
		180																									
		240																									
시나리오 2	통행시간 산출주기 (s)	10																									
		30																									
		60																									
		120																									
		180																									
		240																									

V. 적용 및 결과분석

본 연구에서 설정한 변수들에 대해 현장 실험을 통한 기술적 타당성을 확인하기 위해 다양한 도로 및 교통, 통신환경 특성을 고려한 mini/sub testbed 구축을 하였다. 이를 통해 시스템 개발 초기단계의 차량 간 통신의 기능 구현 및 GPS기반의 차량위치 추적을 통한 개별차량 주행패적 자료 수집·분석 환경 구현을 위한 현장테스트를 2007년 11월 22일, 12월 5일, 6일에 수행하였다.

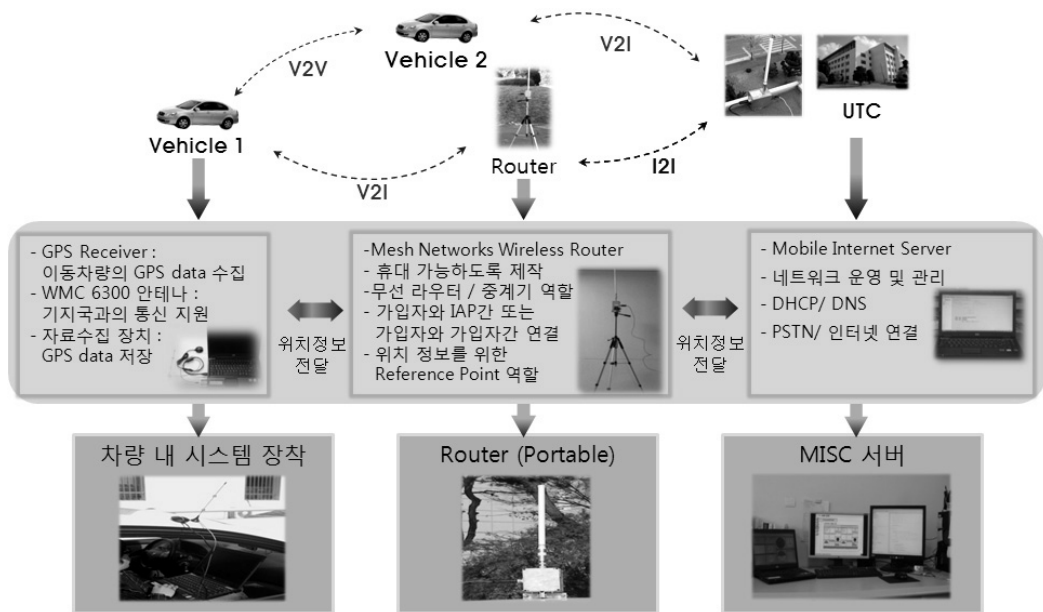
1. 실험환경구축

V2V기반 교통정보수집시스템은 ad-hoc network

기술을 통해 고속이동 중에도 네트워크 구성원 간 무선 통신이 가능하도록 지원하고 있다. 본 시스템은 크게 인

<표 8> 실험장비의 특징

기본기술	메시 네트워크/ 애드혹 P-P 멀티 호핑
무선기술	QDMA
사용주파수	2.4GHz 비 면허 주파수 대역
주파수채널	3개 데이터 채널/1개 콘트롤채널
전송속도	Throughput : 1.6 Mbps
핸드오프	끊김없는 소프트 핸드오프 (휴대폰방식의 로밍 지원)
이동속도	약 시속 400km
출력	16~25dBm(40~300mW)
안테나	정통부기준 6dBi 적용
위치정보	자체내장, GPS 필요 없는 DTOA (Differential Time of Arrival) 방식



〈그림 8〉 실험환경 구성 요소

프라장비와 차량 내 장비로 분류된다. 인프라장비에는 네트워크를 운영하고 관리하는 서버, 기지국역할을 하는 무선통신기지국, 무선통신기지국의 음영지역이나 통신환경을 벗어난 지역을 위한 중계기로 구성되어 있다.

차량 내 장비는 차량 간 통신을 지원하는 무선통신장비, 위치 및 속도 등의 정보를 수집하는 GPS, 자신의 정보 및 다른 차량의 정보를 수집하는 자료 수집 장치로 구성되어 있으며 실험장비의 특징을 <표 8>에 실험환경 구성 요소를 <그림 8>에 제시하였다.

2. 자료수집 및 분석

1) 통신반경 분석

(1) 자료수집 및 분석

차량 간 통신반경을 분석하기 위하여 차량 내 자료수집 장치간의 통신반경을 조사하였다. 통신반경을 조사하기 위해 2대의 실험차량의 무선통신이 연결된 상태에서 직선구간에서의 통신가능 거리를 조사하였다.

실험구간은 한양대학교 안산캠퍼스 내의 왕복 2차로 약 600m구간과 주변 환경의 영향을 분석하기 위해 주변 건물이 거의 없는 해안로(사리4R~준공업단지4R)와 시가지인 중앙로를 설정하였으며 현장조사는 2007년 11월 22일, 12월 5일에 실시하였다. 교내 실험을 통해 사전

Test를 수행하였고, 교외 실험을 통해 주변 환경 변화에 따른 Test를 수행하였다.

(2) 분석결과

차량 간 통신 반경 분석은 교내실험과 교외실험을 수행하였다. 교내 실험을 통해 차량 간 통신에 있어 주변 건물의 영향을 받는 것을 알 수 있었다. 또한 직선 구간 600m정도에서 차량 간 통신이 가능한 것으로 조사되었다. 교내에서 사전 실험을 통해 교외 실험을 계획 및 실시하였다. 그 결과 주변의 건물이 없고 주변교통상황이 한적한 해안로(사리4R~준공업단지4R)에서는 차량 간 통신이 잘 되었으며 차량 간 거리가 1km정도에서 통신이 가능 한 것으로 나타났다. 하지만 주변에 건물이 많고 차량이 혼잡한 중앙로에서의 실험에서는 직선구간에서는 건물의 영향으로 인한 통신의 끊김 현상이 없었지만, 한 차량이 우회전 혹은 좌회전을 하여 방향을 변경할 경우 신호가 미약하거나 끊기는 것으로 조사되었다.

2) 대향차량과의 통신 분석

(1) 자료수집 및 분석

동일방향의 교통류내의 차량 간 통신뿐 아니라 대향 차량과의 통신 가능 여부를 조사하기 위하여 서로 반대 방향으로 이동 중인 차량 간의 통신 환경에 대한 분석을

수행하였다. 이를 위해 대향차량의 상대속도에 따른 차량 간 통신 가능 여부를 조사하였다. 실험구간은 편도 4차로의 약 800m 구간으로 반대방향으로 주행 중인 두 차량 간의 통신가능여부를 분석하였다.

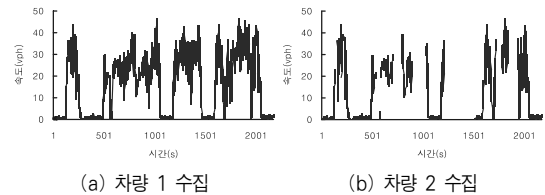
(2) 분석결과

대향차량과의 통신 분석을 위해 실험구간으로 설정한 해안로(사리4R~테크노파크입구)구간을 두 대의 실험차량으로 반복하여 주행하였다. 그 결과 주행속도80kph에서도 두 차량 간의 통신이 가능한 것으로 분석되었다. 하지만 실험 구간의 제한속도 관계로 80kph이상의 속도에서는 실험을 하지 못해 향후 고속도로나 자동차전용도로에서 80kph이상의 속도에 대한 실험을 수행해야 할 것으로 판단된다.

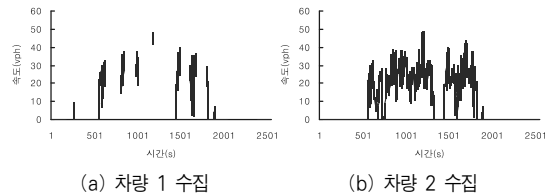
3) 차량 간 통신 오차 분석

차량 간 통신을 통해 수집되는 자료에 대한 오차 분석을 실시하였다. 그 결과 차량 간 통신 성공률에 따라 수집 정보의 오차가 발생하는 것으로 나타났다. 즉, 주변 환경에 의하여 차량 간 통신이 실패할 경우 상대 차량으

로부터 주행 자료를 전달받지 못하여 결측치가 발생하고 이로 인해 통행시간 산출시 오차가 발생하는 것으로 나타났다. 또한 기준차량 자체의 GPS 수신 실패에 의해 발생하는 결측치에 의한 오차도 존재하는 것으로 조사되었다. <표 9>, <그림 9>~<그림 14>에 차량 간 통신을 통한 수집정보의 오차 분석내용을 제시하였다.

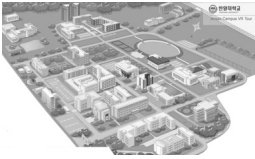
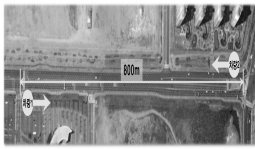



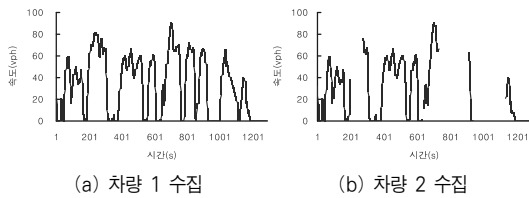
(a) 차량 1 수집 (b) 차량 2 수집
<그림 9>교내 실험 차량 간 통신 오차(차량1정보)



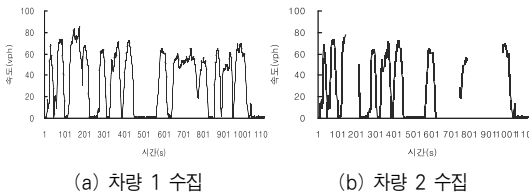
(a) 차량 1 수집 (b) 차량 2 수집
<그림 10>교내 실험 차량 간 통신 오차(차량2정보)

<표 9> 차량 간 통신을 통한 수집정보 오차 분석

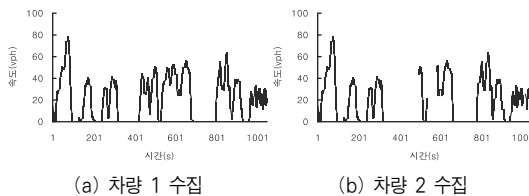
실험 장소	실험 내용	data	저장 위치	시·종점 시간	# of sample	수신율(%)
	한양대학교 안산캠퍼스내 기지국과의 통신 음영지역 및 차량 간 통신 반경, GPS 위치오차 조사	차량 1	차량 1	02:54:54~03:36:42 (2509s)	2176	86.7
			차량 2	02:54:54~03:36:42 (2509s)	1392	55.5
		차량 2	차량 1	02:54:32~03:36:53 (2542s)	1144	45
			차량 2	02:54:32~03:36:53 (2542s)	2542	100
	해안로(사리4R~한양대학 교서문) 구간에서 대향차량과의 통신 가능 속도 조사	차량 1	차량 1	04:11:11~04:32:37 (1287s)	1287	100
			차량 2	04:11:11~04:32:37 (1287s)	830	64.5
		차량 2	차량 1	04:11:12~04:32:34 (1283s)	717	55.9
			차량 2	04:11:12~04:32:34 (1283s)	1107	86.3
	중상로 구간에서 주변 환경에 따른 차량 간 통신 가능 여부 조사	차량 1	차량 1	04:35:30~04:52:56 (1047s)	1047	100
			차량 2	04:35:30~04:52:56 (1047s)	849	81.1
		차량 2	차량 1	04:35:53~ 04:52:52 (1020s)	691	67.7
			차량 2	04:35:53~04:52:52 (1020s)	845	82.8



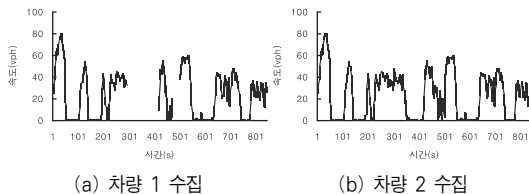
(a) 차량 1 수집 (b) 차량 2 수집
 <그림 11>해안로 실험 차량 간 통신 오차(차량1정보)



(a) 차량 1 수집 (b) 차량 2 수집
 <그림 12>해안로 실험 차량 간 통신 오차(차량2정보)



(a) 차량 1 수집 (b) 차량 2 수집
 <그림 13>중안로 실험 차량 간 통신 오차(차량1정보)



(a) 차량 1 수집 (b) 차량 2 수집
 <그림 14>중안로 실험 차량 간 통신 오차(차량2정보)

VI. 결론 및 향후 연구과제

1. 연구결과 종합

본 연구에서는 실시간 교통상황을 신속하고 정확하게 모니터링 할 수 있는 V2V기반 교통정보수집시스템 설계를 위한 요구사항을 분석하였다. 이를 위해 최근 가장 각광 받고 있는 미시적 교통시뮬레이터 중의 하나인 AIMSUN을 이용하였다. AIMSUN의 API(Advanced Programming Interface)를 통하여 개별차량의 통행 자료를 추출하고, Monte Carlo Simulation기반의 V2V 교통정보수집시

스템 요구사항 분석을 수행하였다. 또한 Mesh Network를 통한 현장실험을 통하여 시뮬레이션에서 설정한 변수들에 대한 Test 및 GPS에 대한 위치 및 시간오차에 대하여 분석하였다. 분석 결과를 정리하면 다음과 같다.

첫째, 본 연구에서 수행한 2가지의 통행시간 추정방법들은 정상교통류에서 약3~5%정도의 낮은 오차를 갖는 것으로 분석되어 V2V 기반의 교통정보수집시스템이 교통상황을 정확하게 모니터링 할 수 있을 것으로 기대된다. 하지만 혼잡교통류에서는 다소 높은 오차를 갖는 것으로 분석되었다. 이는 사고 발생 지점, 사고 처리 시간, 대기행렬 생성 및 소멸 시간 등을 복합적으로 고려하지 않은 결과로 생각되며 추후 전술한 내용을 고려한 통행시간 추정알고리즘 개발을 통해 정확도를 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다.

둘째, 낮은 Equipped Vehicle Percentage에서 활용될 수 있는 것으로 분석되었다. 앞에서 언급한 바와 같이 장착차량이 5%일 때, 통행시간 오차가 약3.7%정도로 분석되어 낮은 Penetration Rate에서도 시스템을 효과적으로 운영할 수 있을 것으로 기대된다.

셋째, 짧은 통행시간 산출주기에서도 추정통행시간의 정확도가 높은 것으로 분석되었다. 기존의 교통정보수집시스템에서는 5분의 수집주기를 통해 통행시간을 산출하여 unavoidable time lag이 존재하였지만, 본 연구에서는 10초의 수집주기를 통해 산출된 통행시간의 정확도가 4%미만으로 분석되어 기존의 시스템보다 실시간으로 교통상황을 모니터링 할 수 있을 것으로 판단된다.

넷째, 통신반경의 경우 정상교통류에서는 큰 영향을 주지 않는 것으로 나타났고, 혼잡교통류에서만 차량 간 통신반경에 따라 통행시간의 정확도에 영향을 주는 것으로 나타났다. 특히, 혼잡교통류에서 500m일 때 통행시간의 정확도가 높았으며, 1000m에서 정확도가 낮아져 보다 신뢰성 있는 통행시간 추정을 위해 교통상황별로 다른 통신반경을 적용하는 것이 바람직 할 수 있다.

다섯째, 시뮬레이션을 통해 분석한 변수들에 대해 현장실험을 통한 구현 가능성 여부를 조사하였다. 두 대의 실험차량을 이용하여 차량 간 통신반경 및 주변 환경의 영향 등에 대하여 조사하였다. 그 결과 차량 간 통신에 있어 주변 장비를 장착하지 않은 일반차량에 의한 영향은 없는 것으로 조사되었지만, 주변 건물의 영향은 상당히 큰 것으로 조사되었다. 또한 대향차량과의 통신이 주행속도80kph에서 가능한 것으로 나타났다.

전술한 결과는 보다 현실적인 모의실험을 위한 기초 자료로 유용하게 사용 될 것으로 기대된다.

2. 향후연구과제

본 연구에서 다양한 변수에 대하여 분석하였지만 여러 가지 한계점을 지니고 있으며 향후 다음과 같은 사항에 대하여 깊이 있는 연구가 수행되어야 할 것이다.

첫째, 본 연구에서는 개별차량주행체적 자료를 수집하기 위해 실제 도로구간이 아닌 가상의 도로3km를 설정하여 자료를 수집하였다. 그러나 보다 효과적인 분석을 위해서는 실제 도로의 data를 이용하여 도로 기하 구조, 교통 환경 등의 외부 환경요인을 반영한 연구가 수행되어야 할 것이다.

둘째, V2V기반 교통정보수집시스템 요구사항 분석을 위해 구간의 교통특성을 가장 효과적으로 전달해 줄 수 있는 구간통행시간을 효과적으로 사용하였다. 하지만 효과적도의 특성에 따라 다른 결과를 얻을 수 있기 때문에 향후 다양한 효과적도의 비교를 통해 최적의 효과적도를 찾을 필요성이 있다.

셋째, 전술한 바와 같이 교통상황에 따라 추정통행시간의 정확도에 다소 차이가 있는 것으로 분석되었다. 이는 Incident발생으로 인한 요인들을 반영하지 못한 것에 기인한 것으로 향후 사고 발생 시점, 사고 처리 시간, 대기행렬 생성 및 소멸 시간 등을 복합적으로 고려한 통행시간추정 알고리즘의 개발에 관한 연구가 수행되어야 할 것이다.

넷째, 낮은 Penetration Rate 에서도 통행시간의 정확도가 높은 것으로 분석되었지만, 본 연구에서는 일 방향 통신만을 고려하였기 때문에 향 후 양방향 통신을 고려한다면 좀 더 낮은 Penetration Rate에서도 시스템을 효과적으로 운영할 수 있을 것으로 기대된다. 따라서 향후 차량 간 통신에 있어 일 방향 통신이 아닌 양방향 통신을 고려한 연구의 필요성이 있다.

다섯째, 본 연구에서는 통행시간 산출주기를 임의로 설정하여 추정통행시간의 정확도를 분석하였다. 하지만 통행시간 산출주기가 정확도에 민감한 영향을 주는 것으로 분석되어 향후 적정집락간격 결정을 위한 통계적 방법의 연구가 수행되어야 한다.

참고문헌

1. 한국교통연구원(2007), "u-Transportation 자료 수집통합기술개발, 1차년도 연구보고서", 건설교통부 국가교통핵심기술개발사업.
2. 김성현 · 임강원 · 이영인(2005), "일반국도의 지점 및 구간검지기 자료의 융합을 통한 통행시간 추정 알고리즘 개발", 대한교통학회지, 제23권 제5호, 대한교통학회, pp.135~146.
3. 김재진 · 노정현 · 박동주(2006), "구간검지체계를 이용한 On-Line 출발시각기준 링크 통행시간 추정 (연속류를 중심으로)", 대한교통학회지, 제24권 제2호, 대한교통학회, pp.157~168.
4. 김재진 · 노정현 · 박동주 · 남궁성(2007), "출발시각기준 링크통행시간 정보의 공간적 설계 (연속류를 중심으로)", 대한교통학회지, 제25권 제2호, 대한교통학회, pp.145~155.
5. 문학룡, 류승기, 김성현, 박현석(2003), "주행차량 자동인식시스템을 이용한 구간통행시간 산출", 한국ITS학회 논문지 제2권 제2호 pp.23~29.
6. 심상우 · 최기주(2006), "혼잡상황에서 링크미통과 GPS 프로브데이터를 활용한 링크통행시간 추정기법 개발", 대한교통학회지, 제24권 제5호, 대한교통학회, pp.7~18.
7. 오철(2005), "개별차량의 고유특성을 이용한 구간 통행시간 산출기법 개발", 대한교통학회지, 제23권 제1호, 대한교통학회, pp.83~91.
8. 임형석 · 이승환 · 이현재(2005), "단속류 통행시간 추정을 위한 적정 집락간격 결정에 관한 통계적 방법론 비교 연구", 대한교통학회지, 제23권 제3호, 대한교통학회, pp.109~123.
9. 장진환 · 백남철 · 김성현 · 변상철(2004), "AVI 자료를 이용한 동적 통행시간 예측", 대한교통학회지, 제22권 제7호, 대한교통학회, pp.169~175.
10. 정연식 · 최기주(1999), "GPS probe 및 루프 검지기 자료의 융합을 통한 통행시간추정 알고리즘 개발", 대한교통학회지, 제17권 제3호, 대한교통학회, pp.97~116.
11. 최기주 · 장정아(2004), "시계열기반의 GPS 프로브 자료의 이상치 제거 알고리즘 개발", 대한교통학회지, 제22권 제6호, 대한교통학회, pp.67~77.
12. 최기주, 최윤혁(2006), "링크통행시간 생성을 위한 이상치 제거 알고리즘 개발", 대한토목학회 논문집 Vol.26 No.5 pp.731~738.
13. 홍승표 · 오철 · 김태형(2007), "V2V기반 교통정보수집시스템(u-TSN)설계 기초연구", 제56회 학술발표회, 대한교통학회, pp.424~433.
14. 모토로라 무선통신 솔루션 사업부(2007), "ITS를

- 위한 메쉬 네트워크 솔루션”, 모토로라.
15. Antoine Hobeika et al(2004), “Estimation of Travel Times on Urban Freeways Under Incident Conditions”, Journal of the Transportation Research Board, No.1867, National Research Council, Washington D.C. pp97~106.
 16. Andre Ebner et al(2003), “Performance of UTRA TDD Ad Hoc and IEEE 802.11b in Vehicular Environments”, Vehicular Technology Conference, The 57th IEEE Semiannual, Volume: 2, pp.960~964.
 17. Brian L. Smith et a(2004), “Travel Time Estimation for Urban Freeway Performance Measurement: Understanding and Improving Upon the Extrapolation Method”, 83rd Transportation Research Board Annual Meeting.
 18. Charles D.R. et al(2000), “Evaluation of Online Travel Time Estimators and Predictors”, In Transportation Research Record 1719, TRB, National Research Council, Washington, D.C pp.45~53.
 19. Cristian Cortes et al(2001), “A General Purpose Methodology for Link Travel Time Estimation Using Multiple Point Detection of Traffic”, 80th Annual Meeting Transportation Research Board January, Washington D.C
 20. Daniel Krajzewicz et al(2008), “Evaluation of The Performance of City-Wide Autonomous Route Choice Based on Vehicle to Vehicle Communication”, 87th Annual Meeting Transportation Research Board January, Washington D.C.
 21. Hao Wu et al(2004), “Analytical Models for Information Propagation in Vehicle- to-Vehicle Networks”, Vehicular Technology Conference, IEEE 60th, Vol 6, pp.4548~4552.
 22. Hema Tanikella et al(2007), “Simulating VII - Enabled Operations Applications Traffic Monitoring Case Study”, 86th Annual Meeting Transportation Research Board January, Washington D.C
 23. Hyoung soo KIM et al(2007), “An Application to Traffic Information System in Vehicular Ad hoc Networks : a Simulation Experiment”, University of Maryland, Consulting Report.
 24. J.W.C. van Lint et al(2003), “Improving a Travel Time Estimation Algorithm by Using Dual loop Detectors”, In Transportation Research Record 1510, TRB, National Research Council, Washington, D.C pp.41~48.
 25. KARL F. PETTY et al(1998), “Accurate Estimation of Travel Times from Single-loop Detectors”, Transportation Research, Part A (Policy and Practice), vol 32A, pp1~17.
 26. Lars Wischhof et al(2003), “Adaptive Broadcast for Travel and Traffic Information Distribution Based on Inter-Vehicle Communications”, Intelligent Vehicle Symposium, 2003. Proceedings. pp.6~11.
 27. Lars Wischhof et al(2004), “Self-Organizing Traffic Information System based on Car-to-Car Communication : Prototype Implementation”, Proceedings 1st International Workshop on Intelligent Transportation (WIT2004), Hamburg, Germany.
 28. Lars Wischhof et al(2004), “SOTIS-A Self - Organizing Traffic Information System”, Proceedings 1st International Workshop on Intelligent Transportation (WIT2004), Hamburg, Germany.
 29. Lars Wischhof et al(2005), “Information Dissemination in Self-Organizing Intervehicle Networks”, Intelligent Transportation Systems, IEEE Transactions on, Vol 6, Issue: 1, pp.90~101.
 30. Mababu Omae et al(1999), “Relative position measurement of neighboring vehicle using DGPS and inter-vehicle communication”, Proceedings, JSAE Annual Congress, NO. 78-99 pp.17~20.
 31. Maen Artimy(2007), “Local Density Estimation and Dynamic Transmission- Range Assignment in Vehicular Ad Hoc Networks”, Intelligent Transportation Systems, IEEE Transactions on, Vol 8, Issue: 3, pp.400~412.

32. Shin Kato(2003), "Applications of inter - vehicle communications to driver assistance system", Transaction of Society of Automotive Engineers of Japan, Vol 34 No3, pp.105~110.
33. Shin Kato et al(2001), "Cooperative driving of autonomous vehicles based on localization inter-vehicle communications and vision systems", JSAE Review, Vol 22 No4, pp.503~509.
39. Subir Biswas et al(2006), "Vehicle-to- Vehicle Wireless Communication Protocols for Enhancing Highway Traffic Safety", Communications Magazine, IEEE, Vol 44 pp.74~82.
40. Wai Chen et al(2005), "Ad Hoc Peer-to- Peer Network Architecture for Vehicle Safety Communications", Communications Magazine, IEEE, Vol43 pp.100~107.
41. Wen-Long Jin et al(2006), "Instantaneous information propagation in a traffic stream through inter-vehicle communication", Transportation Research Part B: Methodological, Vol 40, Issue:3 pp.230~250.
42. Wen-Long Jin et al(2007), "A Monte Carlo Simulation Model of Inter-Vehicle Communication", Journal of the Transportation Research Board, No.2000, National Academies, Washington D.C pp.8~15.
43. Xu Yang et al(2005), "Simulation studies of information propagation in a self-organizing distributed traffic information system", Transportation Research Part C: Emerging Technologies, Vol 13, Issues 5-6, pp.370~390.
44. IEEE(2007), "3th International Workshop on Vehicle-to-Vehicle Communications 2007 V2V COM 2007 Proceedings", Istanbul, Turkey.

✉ 주 작 성 자 : 홍승표

✉ 교 신 저 자 : 오 철

✉ 논문투고일 : 2008. 2. 23

✉ 논문심사일 : 2008. 5. 17 (1차)

2008. 7. 17 (2차)

✉ 심사판정일 : 2008. 7. 17

✉ 반론접수기한 : 2008. 12. 31

✉ 3인 익명 심사필

✉ 1인 abstract 교정필