

■ 論 文 ■

VANET 환경에서 자율적 자가추정(Self-Estimation) 통행시간정보 산출기법 개발

Autonomous Self-Estimation of Vehicle Travel Times in VANET Environment

임 희 섭

(한양대학교 교통공학과 석사과정)

오 철

(한양대학교 교통공학과 교수)

강 경 표

(한국교통연구원 도로교통안전연구본부
부연구위원)

목 차

- I. 서론
- II. 기존문헌 고찰
- III. VANET 환경에서 자료처리 시나리오
 - 1. 자료수집
 - 2. 정보생성 및 제공
- IV. 통행시간 산출 방법론
 - 1. 자차(Subject Vehicle)자료 이용
 - 2. 선행차량(Leading Vehicles)자료 이용
- V. 평가 및 분석
 - 1. 분석 시나리오
 - 2. 입력자료 가공 및 분석방법
 - 3. 결과분석
- VI. 결론
참고문헌

Key Words : 통행시간, 자가추정, 무선통신, 유비쿼터스, 교통정보
VANET, Autonomous Self-Estimation, Travel Time, Ubiquitous Transportation, Traffic Information

요 약

본 연구에서는 VANET환경을 기반으로 하여 통행시간정보를 자율적으로 자가추정하는 기법을 제안하였다. 최근 무선통신기술은 주행 중인 차량들 간의 통신이 가능한 수준으로 발전되었다. 교통분야에서는 무선통신 기술을 기반으로 하여 자료를 수집하고 정보를 생성하는 연구가 활발히 진행되고 있다. 본 연구에서는 개별차량(Agent)을 기반으로 하여 자차(Subject Vehicle)에서 필요한 자료를 수집하고, 정보를 생성하는 시스템을 구상 하였다. 개별차량 내에서 운전자에게 정보제공을 하기위해 수행되는 과정을 자료수집, 정보생성, 정보제공 단계로 구분하였으며, 각 단계에서의 자료처리 과정을 제시하였다. 본 연구에서 제안한 통행시간 산출 방법론은 자차에서 수집된 자료를 이용하는 방법과 선행차량에서 수집된 자료를 이용하는 방법으로 구분되며, 두 방법론을 이용하여 추정된 통행시간을 통합하여 현장에 적용 시 보다 정확한 정보를 제공할 수 있는 방법론을 제시하였다. 개별차량(Agent)기반 정보생성 방법론은 운전자가 필요로 하는 정보의 생성 및 제공을 개별적으로 수행하기 때문에 보다 운전자 중심적인 접근이 가능하다. 또한, 교통관제센터, RSE를 이용한 방법론보다 정보의 생성 및 갱신이 자유롭기 때문에 교통상황의 급격한 변화에 대응하기 수월할 것으로 판단된다. 본 연구에서 제시한 자율적 자가추정 통행시간 산출방법론은 도래하는 유비쿼터스 교통시스템에서 보다 정확하고 교통상황의 변화에 신속한 대처가 가능한 통행시간 추정기법으로 활용 가능할 것으로 판단된다.

Wireless communication technologies including vehicle-to-vehicle (V2V) and vehicle-to-infrastructure (V2I) enable the development of more sophisticated and effective traffic information systems. This study presents a method to estimate vehicular travel times in a vehicular ad hoc network (VANET) environment. A novel feature of the proposed method is estimating individual vehicle travel times through advanced on-board units in each vehicle, referred to as self-estimated travel time in this study. The method uses travel information including vehicle position and speed at each given time step transmitted through the V2V and V2I communications. Vehicle trajectory data obtained from the VISSIM simulator is used for evaluating the accuracy of estimated travel times. Relevant technical issues for successful field implementation are also discussed.

본 연구는 국토해양부 교통체계효율화사업의 연구비 지원(06-교통핵심-A01-01)에 의해 수행되었습니다.

I. 서론

최근 무선통신기술은 주행 중인 차량들 간의 통신이 가능한 수준으로 발전되었다. 무선통신기술을 이용하여 개별차량 주행정보 공유를 통한 새로운 개념의 자료처리 및 정보생성이 가능하게 되었다. 현재 교통분야에서는 통신기술을 기반으로 하여 효과적인 교통정보 생성 및 제공이 가능한 유비쿼터스 교통체계 구축을 위한 기반기술들이 개발되고 있다.

기존에 연구되었던 대다수의 교통정보 생성 방법론은 교통관제 센터, 혹은 RSE(Roadside Equipment)를 중심으로 하여 자료처리를 하였다. 본 연구에서는 보다 운전자(Agent) 중심적인 정보생성을 위해 VANET(Vehicular Ad Hoc Networks)환경에서 개별차량 내에 장착된 단말기(Advanced Onboard Unit: AOBU)를 기반으로 하여 자료수집, 자료처리, 정보제공을 하는 시스템을 구상하였다. VANET 환경은 Ad Hoc Networks를 교통에 적용한 환경으로 유선통신망이 구축되지 않은 환경에서도 주변 차량들과 무선통신을 통해 자료 및 정보의 공유가 가능한 환경이다. 본 연구에서 제안한 통행시간 산출방법론은 각 개별차량에서 운전자의 요구에 의해 독립적으로 정보를 산출하는 자가추정(Self-Estimation) 방법론이다. 자가추정 기법이란 센터를 거치지 않고 자차(Subject Vehicle)에서 필요한 정보를 자율적으로 각 개별차량 내부에서 생성하는 기법이다.

에이전트를 기반으로 하는 자가추정 교통정보 생성방법론의 장점은 다음과 같다. 에이전트기반 교통정보 생성 프로세스는 도로의 일정구간 또는 링크의 대표통행시간과 같은 불특정 다수를 대상으로 하는 교통정보 생성을 고려하지 않기 때문에 각 개별 운전자의 요구를 보다 능동적으로 반영하기에 용이하다. 또한, 자료수집 및 정보생성주기에 대한 제약이 비교적 자유롭기 때문에 교통사고 발생과 같은 돌발상황 발생 시 정보를 생성하는데 용이하다. 돌발상황이 발생하였을 경우에는 교통상황이 급변하므로 이에 신속하게 대처할 수 있는 방법론이 필요하다. 또한, 운전자의 입장에서는 돌발상황 발생구간을 통과하는데 소요되는 시간과 돌발상황 발생위치, 사고심각도 정보 등을 추가적으로 요구하게 된다. 따라서, 신속한 정보의 업데이트, 운전자의 요구에 신속한 대응이 가능한 에이전트 기반 자료처리 시스템을 평가하기 위해 본 연구에서는 정상 교통상황, 돌발상황 발생 시 구간통행시간 산출을 중심으로 하여 연구를 수행하였다.

본 연구에서는 개별 차량의 주행특성을 반영하기 위해

선행차량에서 수집한 자료를 이용하여 통행시간을 산출하는 방법론과 정보를 생성하는 각 개별차량의 주행이력자료를 이용하여 통행시간을 산출하는 방법을 결합하여 통행시간을 산출하는 방법론을 제시하였다.

본 연구에서 제안한 시스템은 보다 운전자 중심적인 정보를 생성하고 제공한다는데 의의가 있으며, 에이전트 기반으로 자가추정을 수행하기 때문에 개별적인 운전자 입장에서는 보다 정확한 정보를 제공받아 운전자가 체감하는 교통정보의 정확도 향상에 기여하며, 교통정보의 신뢰도 향상에 도움이 된다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 통행시간 산출방법과 VANET환경과 관련된 연구에 대한 문헌고찰을 하였다. 3장에서는 본 연구에서 제안하는 VANET 환경에서 에이전트기반 자료처리 시나리오를 제시하였다. 4장에서는 통행시간 산출방법론을 제시하였고, 5장에서는 시뮬레이션 자료를 이용하여 제안한 통행시간 산출방법론을 평가하였다. 6장에 결론을 제시하였다.

II. 기존문헌 고찰

한광희(2009)는 유비쿼터스 환경에서 각 개별차량이 링크를 통과 시 산출된 통행시간을 입력 자료로 하는 Exponential Decay를 이용한 알고리즘, Polynomial Decay Function을 이용한 알고리즘, Time Weighted Decay를 이용한 알고리즘을 제안하였고, AIMSUN을 이용하여 구간통행시간 산출방법론을 평가하였다. 임희섭(2009)은 RSE를 기반으로 하여 동적 노드-링크 기법을 적용한 차로별 구간대표통행시간 산출 방법론을 제안하였고, VISSIM을 이용하여 방법론을 평가하였다. 홍승표(2008)는 차량 간 무선통신(V2V)을 활용한 새로운 교통정보수집체계를 제시하였으며, equipped vehicles의 비율, 통신반경, 통행시간 산출주기를 고려하여 평가하였다. 박준형(2009)은 프로브차량 비율, 정보 산출주기를 주요변수로 하여 유비쿼터스 교통정보 시스템을 구성하는 인프라(RSE)의 적정 설치간격을 도출하였다. 김형수(2008)는 VANET 환경에서 차량 간 통신에 의해 정보가 전달되는 범위 및 소요시간을 혼잡시, 비 혼잡시로 구분하여 산출하였다. 김형수(2008)는 교통과 통신이 통합된 환경을 미시적 교통 모의실험 모형과 통신 모의실험모형을 시·공간적으로 동기화한 모의실험환경으로 제시하였으며, 실제 교통자료를 이용하여 모의실험환경을 평가하였다. Artimy(2006)는 교통정체에 의한 차량의 비균등 분포와 균등분포, 단일

차로도로와 다차로도로를 고려하여 최소 통신범위를 산출하였다. Artimy(2007)는 VANET 환경에서 차량들의 이동패턴을 활용하여 밀도를 추정하고, Dynamic Transmission-Range-Assignment(DTRA) 알고리즘을 이용하여 실시간으로 통신범위를 설정하는 기법을 제안하였다. Wischhof(2005)는 차량 간 무선통신을 이용하여 넓은 범위에 효율적으로 정보를 전송하는 방법인 SODAD(Segment-Oriented Data Abstraction and Dissemination)를 제안하였고, 이 기법을 적용시킨 시스템인 SOTIS(Self-Organizing Traffic-Information System)를 이용하여 평가하였다. Bechler(2005)는 VANET 환경에서 멀티홉 방식을 이용한 통신 프로토콜(MMIP6)을 제안하였다. Schönhof(2007)은 차량 간 무선통신 환경이 구축된 환경에서 혼잡이 시작되는 지점을 검지하는 알고리즘을 개발하였다. Shladover(2007)는 구간 내에 무선통신이 가능한 단말기를 장착한 차량의 비율을 고려하여 차량 간 통신을 평가하였다. Xu(2006)는 차량 간 무선통신을 기반으로 하여 Decentralized system에서 자료수집 및 통행시간 정보를 생성하는 방법론을 제안하였다. Yang(2005)은 미시적 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 Decentralized system에서 차량 간 무선통신을 이용한 정보전달의 성능을 평가하였다. Shladover(2008)는 VII(Vehicle-infrastructure integration)환경에서 프로브 차량의 자료를 수집하고 정보를 가공하는 방법론을 제안하였으며, 날씨정보, 사고정보, 실시간 신호제어에 적용하였다. Dion(2009)은 미시적 시뮬레이션 프로그램인 Paramics를 이용하여 VII환경에서 자료처리과정을 평가하였으며, 통신반경, 프로브차량의 비율, RSE 설치간격이 시스템의 성능에 영향을 주는 것으로 분석되었다.

기존의 연구에서는 V2V, V2I 통신을 이용한 정보전달에 관한 연구와 통행시간 정보를 생성하는 방법론에 관한 다양한 연구를 수행하였다. 본 연구에서는 개별차량(Agent)에서 필요한 정보를 생성하기 위해 자료를 수집하고 자차(Subject Vehicle)에서 자가추정하는 방법론을 제시하였다. 본 연구에서 제시한 방법론은 정보를 자율적으로 자가생성한다는 점에서 교통관제센터, RSE를 중심으로 정보를 생성하는 기존 연구와 차별성을 가진다.

III. VANET(Vehicular Ad Hoc Networks) 환경에서 자료처리 시나리오

본 연구에서는 AOBU(Advanced Onboard Unit)

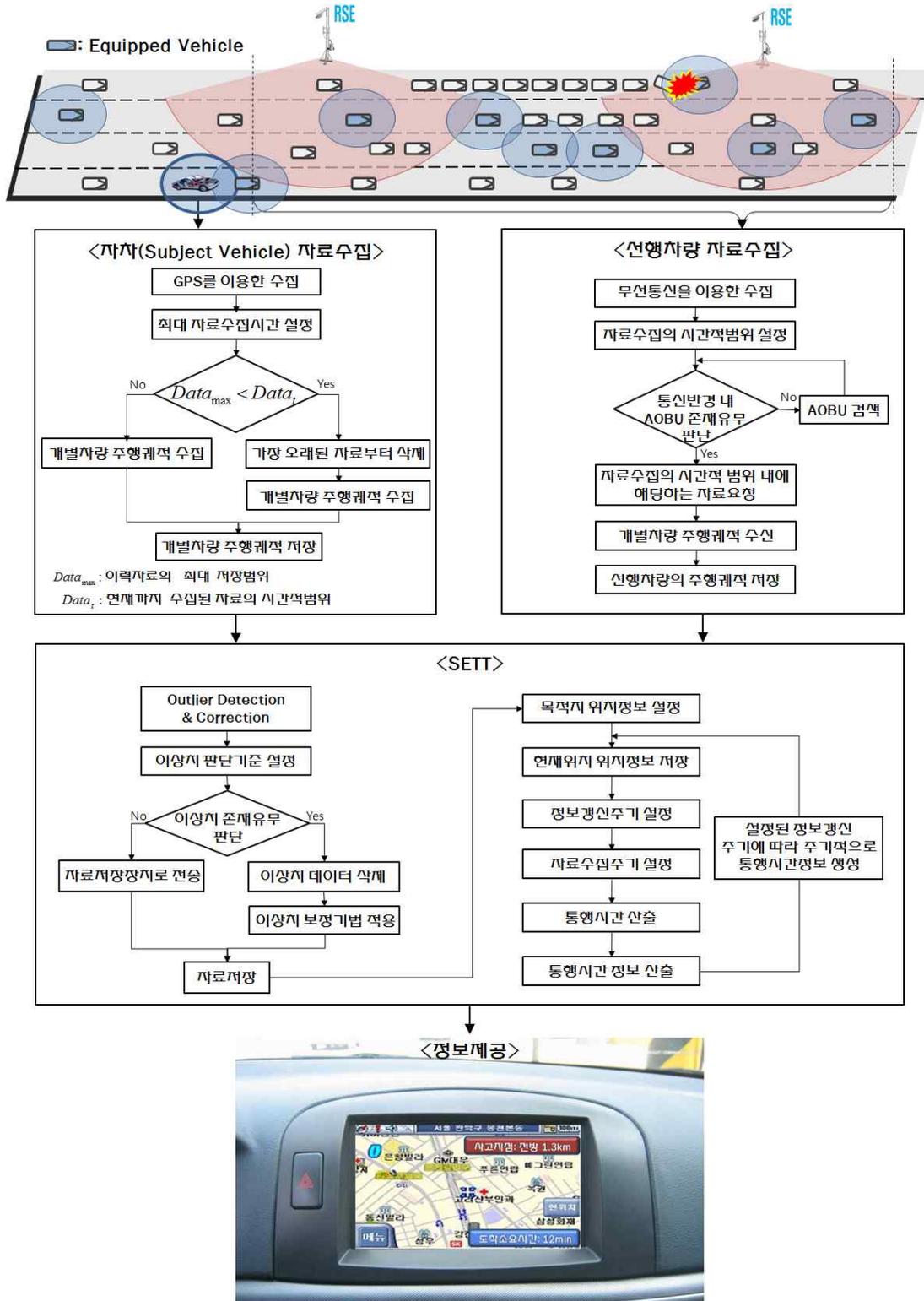
에서 자료수집 및 정보생성, 정보제공을 하는 시스템을 구상하였다. AOBU는 차량 내에 설치된 단말기로 차량 간, 혹은 인프라와 무선통신이 가능하며, 수집된 자료를 가공할 수 있는 단말기이다. AOBU 내 자료처리 시나리오를 <그림 1>에 제시하였다. 향후 완벽한 유비쿼터스 교통체계가 구현될 경우 모든 차량이 AOBU를 장착하고 도로를 주행하겠지만 도입단계에서는 일부 차량만이 개별차량 정보를 수집하고, 무선통신을 이용해 정보를 공유하게 된다. Equipped Vehicle은 AOBU가 장착된 차량을 의미한다. <그림 1>과 같이 AOBU에서 수행하는 자료처리는 크게 3가지로 구분된다. 자료수집과정에서는 GPS를 이용한 자차 주행궤적자료 수집과 무선통신을 통해 선행차량들의 주행궤적자료 수집이 이루어진다. 정보생성과정에서는 1차 가공과정으로 수집된 자료의 이상치를 검지 및 보정하는 과정이 이루어지고, 1차 가공된 자료를 이용하여 운전자에게 필요한 정보로 가공한다. 정보제공단계에서는 영상 및 음성을 통해 효과적으로 운전자에게 정보를 제공한다.

1. 자료수집

자료수집의 흐름도를 <그림 1>의 자료수집 단계에 제시하였다. 자료수집 단계에서는 크게 두 가지 자료를 수집한다. 자차(Subject Vehicle)자료수집과 선행차량 자료수집으로 구분된다. 자차 자료수집은 GPS를 이용해 이루어지며, 자신의 주행궤적자료를 수집하고 저장한다. 선행차량의 자료수집은 무선통신을 이용해 이루어진다. 정보생성에 필요한 자료만 수집 및 저장하여 자료처리의 효율을 높이기 위해 두 경우 모두 자료수집의 시간적 범위를 설정해야 한다. GPS를 이용해 자료를 수집할 경우 현재까지 수집된 자료의 시간적 범위가 미리 설정된 최대자료수집의 시간범위보다 커질 경우 가장 오래된 자료부터 삭제하여 최근자료로 갱신하게 된다. 따라서 저장장치에는 일정 시간범위내의 주행궤적자료가 저장된다. 무선통신을 이용한 선행차량의 자료수집 경우에는 가장 먼저 자료수집의 시간적 범위를 설정한다. 다음으로 통신반경 내에 다른 AOBU가 장착된 차량이 존재하는지 검색하여 AOBU 간 통신이 가능할 경우 자료수집의 시간적 범위 내에 해당하는 자료를 요청하여, 선행차량들의 주행궤적자료를 전송받게 된다.

2. 정보생성 및 제공

AOBU에서 생성하는 정보는 통행시간정보, 안전운

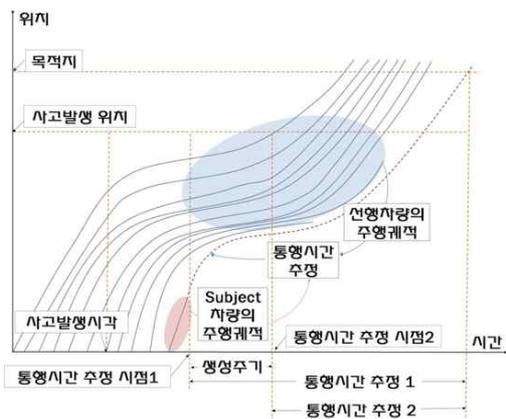


<그림 1> Agent기반 자료처리 시나리오

전을 위한 경고정보, 현재위치를 기반으로 한 주변 시설 정보 등이 있다. 본 연구에서는 통행시간정보 생성을 중심으로 하여 연구를 수행하였다. 정보생성의 흐름도를 <그림 1>의 정보생성 단계(SETT)에 제시하였다. 정보를 생성하기에 앞서 현장에서 수집된 자료는 1차 가공과정을 거쳐야 한다. 1차 가공의 핵심은 이상치를 제거하고 보정하는 과정이다. 본 연구에서는 시뮬레이션을 이용하여 수집한 자료를 입력자료로 사용하였기 때문에 이상치는 존재하지 않는 것으로 가정하고 이상치 제거 및 보정과정을 생략하고, 정보생성과정을 수행하였다. 본 연구에서 제시한 통행시간 산출 방법론은 운전자가 설정한 목적지까지 도착하는데 소요되는 통행시간을 추정하는 기법이다. 목적지를 설정한 다음 정보갱신주기와 자료수집주기를 설정한다. 정보갱신주기는 운전자에게 제공하는 통행시간 정보를 다시 산출하고 갱신하는 주기이며, 자료수집주기는 통행시간을 산출하기 위해 수집하는 선행차량 주행궤적 자료의 시간적 범위를 의미한다. 본 연구에서 제시한 통행시간 산출 방법론은 차량 내에 장착된 단말기(AOBU)를 이용하여 주기적인 현재위치 갱신을 통해 지속적으로 통행시간정보가 업데이트 되는 기법이다.

IV. 통행시간 산출 방법론

통행시간 산출을 위해 사용되는 자료는 자차(Subject Vehicle)에서 수집한 개별차량의 주행이력자료와 선행차량에서 전송된 링크 하류부의 개별차량의 위치와 속도자료이다. 자차 및 선행차량의 주행궤적 자료를 이용하여 대상구간의 종점까지 주행하는데 소요될 통행시간을



<그림 2> 주행궤적자료를 이용한 통행시간 추정 개념도

추정하는 개념을 <그림 2>에 시공도를 활용하여 제시하였다.

1. 자차(Subject Vehicle)자료 이용

자차에서 수집된 주행이력자료를 이용하여 통행시간을 추정하는 방법론을 제안하였다. 정보산출주기 내에 수집된 속도자료의 평균을 이용하여 통행시간을 추정하는 방법과 속도자료가 수집된 시간에 따른 가중치를 부여하여 가중평균값을 이용한 방법, 통행시간 산출시점의 속도값을 이용하는 방법, 지수평활법을 이용하는 방법을 제안하였다. 4가지 방법 중 지수평활법을 이용한 결과 오차를 약 10%로 가장 높은 정확도를 보였다.

지수평활법을 이용하여 통행시간을 추정하는 방법론을 식(1)~식(3)에 제시하였다. 식(1)은 매초 마다 수집된 속도자료를 이용하여 지수평활법을 적용하는 과정을 보여준다. 평활화 계수는 0.1을 사용하였다. 식(2)는 통행시간 추정 시점에서 구간통과 시까지 남은 거리를 산출하는 식이고, 식(3)은 자차자료를 이용하여 산출한 통행시간을 나타낸다.

$$V(\tau+1) = \alpha \times X(\tau) + (1-\alpha) \times V(\tau) \quad (1)$$

- $V(\tau+1)$: τ 시점에 예측한 $\tau+1$ 시점의 속도
- $X(\tau)$: τ 시점에 수집한 실제 속도
- $V(\tau)$: $\tau-1$ 시점에 예측한 τ 시점의 속도
- α : 평활화 계수

$$D(t) = P_E - P_C \quad (2)$$

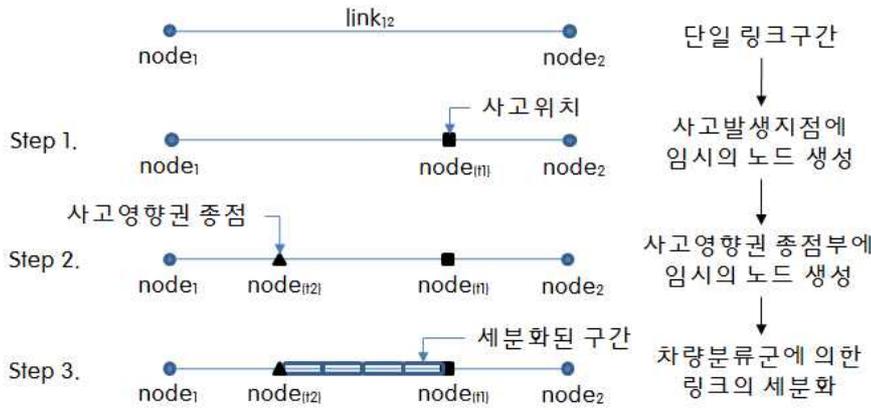
- $D(t)$: 시점 t 에서 구간통과 시 까지 남은 거리
- P_E : 구간종점의 위치
- P_C : 시점 t 에서 위치
- t : 정보생성주기

$$TT_s(t) = D(t) / V(t) \quad (3)$$

- $TT_s(t)$: 시점 t 에서 Subject Vehicle 자료를 이용하여 산출한 통행시간
- $V(t)$: 지수평활화에 의해 예측된 시점 t 에서의 속도

2. 선행차량(Leading Vehicles)자료 이용

선행차량의 자료를 효과적으로 활용하기 위해 본 연구에서 적용한 통행시간 산출 방법론은 동적 노드-링크(Dynamic Node-Link: DNL)기법을 활용한 구간통행



<그림 3> 동적 노드-링크(DNL)기법 개념도

시간 산출방법론이다. DNL 기법은 평상시 하나의 링크로 구분되어있는 도로를 사고발생 시 사고영향권 상류부, 사고영향권, 사고영향권 하류부로 링크를 분류하여 통행시간을 산출하는 방법이다. <그림 3>에 동적노드링크 기법의 개념도를 제시하였다. 평상시 node1과 node2에 의해 단일링크(link₁₂)로 구분되는 구간에 사고가 발생 시 사고발생 지점에 일시적인 노드(node_(i1))를 생성하고 사고영향권의 중점부에 일시적인 노드(node_(i2))를 생성한다. 3개로 분류된 각 링크를 차량분류군을 이용하여 세분화하는 기법이다. 통행시간 계산과정을 식(4)~식(7)에 제시하였다.

식(4)는 <그림 3>의 Step 2와 같이 사고발생 시 생성된 사고영향권과 비영향권의 통행시간을 독립적으로 산출하고, 두 통행시간을 합산하여 최종적으로 예상되는 구간 통행시간을 산출하는 과정을 의미한다. 식(5)와 식(6)은 <그림 3>의 Step 1.과 Step 2.에 의해 구분된 사고영향권과 비영향권의 통행시간을 산출하는 식으로 <그림 3>의 Step 3.과 같이 미리 설정된 차량분류군에 의해 링크를 세분화하여 통행시간을 산출하는 식이다. 식(7)는 식(5), 식(6)에서 사용되는 대표속도를 계산하는 식이다. 차량분류군에 의해 링크를 세분화 할 경우 차량분류군이 공존하는 구간이 존재한다. 공존구간에서 대표속도를 구하기 위해서 각 차량분류군 별 가중치를 적용하여 대표속도를 산출한다.

$$TT_L(t) = TT_{inc}(t) + TT_{Ninc}(t) \tag{4}$$

$$TT_{inc}(t) = \sum_{j=1}^n \left(\frac{L_j}{\widehat{V}_j} \right) \tag{5}$$

$$TT_{Ninc}(t) = \sum_{p=1}^q \left(\frac{L_p}{\widehat{V}_p} \right) \tag{6}$$

$TT_L(t)$: 시점 t 에서 선행차량에서 수집된 자료를 이용하여 추정된 통행시간

$TT_{inc}(t)$: 시점 t 에서 사고영향권의 통행시간

$TT_{Ninc}(t)$: 시점 t 에서 비영향권의 통행시간

L_j : 사고영향권의 차량분류군에 의해 세분화된 $Link_j$ 의 길이

\widehat{V}_j : 사고영향권의 차량분류군에 의해 세분화된 $Link_j$ 를 대표하는 속도

n : 사고영향권의 차량분류군에 의해 세분화된 링크의 개수

L_p : 비영향권의 차량분류군에 의해 세분화된 $Link_p$ 의 길이

\widehat{V}_p : 비영향권의 차량분류군에 의해 세분화된 $Link_p$ 를 대표하는 속도

q : 비영향권의 차량분류군에 의해 세분화된 링크의 개수

$$\widehat{V} = \frac{\sum_{k=1}^r \left[\sum_{i=1}^m u_i^k / m \right] \times w_k}{\sum_{k=1}^r w_k} \tag{7}$$

\widehat{V} : 사고영향권과 비영향권의 차량분류군에 의해 세분화된 $Link_j, Link_p$ 를 대표하는 속도

r : 차량분류단위의 개수

m : 차량분류단위 k 에 속하는 개별차량 i 의 속도자료의 개수

w_i^k : 차량분류단위 k 에 속하는 개별차량 i 의 속도자료
 w_k : 차량분류단위 k 에 적용되는 가중치

V. 평가 및 분석

1. 분석 시나리오

본 연구에서는 각 개별차량이 구간을 통과하면서 경험할 수 있는 교통류 상태를 3가지 경우로 설정하였다.

- Case 1 : 대상구간 내에 사고가 발생하지 않아 정상 교통류가 지속되는 경우
- Case 2 : 대상구간을 진입 시부터 완전히 통과할 때까지 사고가 지속되는 경우
- Case 3 : 링크 진입 시 대상구간 내에 사고가 존재하나 구간을 통과 중 사고처리가 완료되는 경우

3가지 경우에 대해 자차자료를 이용한 통행시간추정 방법론과 선행차량자료를 이용통행시간추정 방법론을 각각 분석하였다. 또한, 단순선형회귀분석을 이용하여 자차자료를 이용한 방법론과 선행차량 자료를 이용한 방법론의 관계를 분석하였다.

본 연구에서 제안한 방법론의 성능을 평가하기 위하여 미시적 교통 시뮬레이션 프로그램인 VISSIM을 이용하여 개별차량 주행궤적자료를 수집하였다. 시뮬레이션 시나리오를 <표 1>에 제시하였다. 편도 4차로 도로이며, 제한속도는 80kph이다. 전체 교통량은 LOS C수준으로 설정하였다. PPV(Percentage of Probe Vehicles)는 장

<표 1> 시뮬레이션 수행 시나리오

도로유형		연속류 도로
도로길이		7421m
차로수		편도 4차로
제한속도		80kph
교통량	승용차	80%
	버스	10%
	트럭	10%
	전체	1400 veh/h/ln
PPV		1%, 3%, 5%, 7%, 9%
LOS		C
전체 시뮬레이션 시간		7200초
사고발생시각		1800초
사고처리완료시각		4500초
사고발생위치		4088m
사고발생차로		1차로

비를 장착한 차량의 비율로 PPV에 따라 수집되는 자료의 양이 변하기 때문에 정보생성의 정확도에 영향을 미친다. 따라서 본 연구에서는 PPV를 5단계로 구분하여 방법론에 적용하였다. 또한, 다양한 교통류상태가 반영된 개별차량 주행궤적자료를 수집하기 위해 일정시간동안 사고를 발생시켰다. 사고발생은 시뮬레이션 시작 후 1800초가 경과된 시점부터 4500초가 경과된 시점까지로 설정하였다.

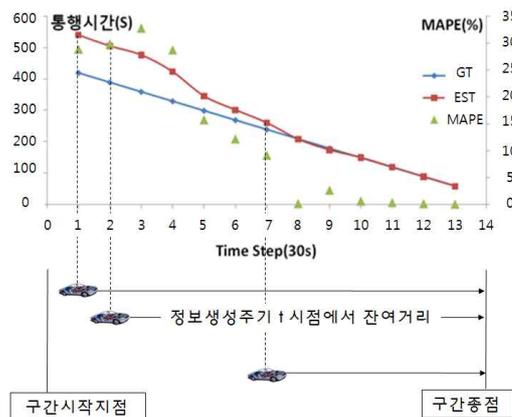
2. 입력자료 가공 및 분석방법

VISSIM을 이용하여 수집된 개별차량 주행궤적 자료에는 매초마다의 속도, X좌표, Y좌표가 존재한다. 수집된 X좌표와 Y좌표는 GPS를 이용해 수집된 자료에서 위도와 경도에 대응된다. 따라서 본 연구에서는 X좌표와 Y좌표를 이용하여 위치를 추적하고, 각 위치별 속도자료를 이용하여 제안된 방법론을 평가하였다. 수집된 개별차량들의 데이터 처리 및 방법론 적용은 수치해석 및 프로그래밍 환경을 제공하는 소프트웨어인 MATLAB를 이용하였다.

3. 결과분석

1) 통행시간 정확도 평가

방법론의 평가를 위해 각 개별차량의 실제 통행시간을 GT(Ground Truth)로 설정하였다. GT값은 정보갱신주기마다 새로 산출된다. 예를 들어 한 차량의 구간통행시간이 300초이고, 정보갱신주기가 30초로 설정하였을 경우 첫 번째 GT값은 300초가 되고, 두 번째 GT값은 270초가 된다. 차량이 구간을 통과할 때까지 GT값은 지속적



<그림 4> GT값과 추정된 개별차량 통행시간 비교 예시

<표 2> 자차 자료이용 통행시간의 오차율

Case 1	Case 2	Case 3
2.9082(%)	31.348(%)	24.906(%)

<표 3> 선행차량 자료이용 통행시간의 오차율

PPV	Case 1	Case 2	Case 3
1%	1.129(%)	17.495(%)	9.768(%)
3%	0.978(%)	8.801(%)	8.958(%)
5%	0.959(%)	6.553(%)	8.967(%)
7%	0.888(%)	6.112(%)	8.889(%)
9%	0.844(%)	5.997(%)	8.820(%)

으로 갱신된다. 추정된 통행시간의 정확도 분석을 위해 MAPE(Mean Absolute Percentage Error)를 이용하여 GT값과의 오차율을 계산하여 평가하였다. 본 연구에서는 정보생성주기와 자료수집주기를 30초로 설정하였다.

한 개별차량이 구간을 통과하기까지 주기적으로 통행시간을 추정하는 것을 보여주는 예를 <그림 4>에 제시하였다. 원형으로 표시된 그래프는 GT값이고, 사각형으로 표시된 그래프는 추정된 통행시간 그래프이다. 그리고 삼각형 표시는 각 주기별로 산출된 MAPE를 나타낸다. Time Step 1~3의 경우 GT값과 추정된 구간통행시간의 절대적 차이는 유사하나 MAPE의 경우 증가하게 된다. 이와 같은 결과가 나온 원인은 MAPE의 경우 실제값과 오차의 비율을 이용하여 계산하기 때문이다. 예를 들어 실제 값이 300이고, 추정된 값과 실제 값의 오차가 10일 경우 MAPE는 3.33%가 되고, 실제 값이 30이고 오차가 10일 경우에는 MAPE가 33.33%가 되기 때문이다. 구간 진입 시 추정된 링크통행시간은 약 550초로 GT값과 비교하였을 때 약 100초 이상 차이가 나게 된다. 이러한 결과가 나타나는 이유는 링크진입 시에는 사고처리가 완료되지 않아 사고영향권 내에 정체상태가 존재하지만 실제 차량이 사고영향권에 도착하였을 때에는 사고처리가 완료되어 정체가 일어나지 않기 때문이다. 따라서 지속적인 통행시간 정보 갱신을 통해 링크내의 교통상태 변화를 반영해야 한다. <그림 4>의 예와 같이 정보가 갱신되면서 추정된 통행시간과 GT값의 오차율이 감소함을 관찰할 수 있다.

자차 자료를 이용하여 추정한 통행시간과 GT값의 오차율을 분석한 결과를 <표 2>에 제시하였다. Case 1의 경우 약 3%의 오차율을 가지며, Case 2의 경우에는 약 31%의 오차율을 가지고 Case 3의 경우에는 약 24%의 오차율을 가지는 것으로 분석되었다. 정상교통류인 Case 1을 제외한 Case 2와 Case 3은 비교적 높은 오차율을

<표 4> 회귀분석에 사용된 변수

변수 명	변수설명
종속변수	GT 실제 통행시간
독립변수	TT_S 자차 자료를 이용하여 추정한 통행시간
	TT_L 선행차량 자료를 이용하여 추정한 통행시간
	D 링크의 종점까지의 거리
	D_{inc} 사고지점까지의 거리

가지는 것으로 분석되었다. 사고와 같은 돌발상황이 발생하였을 경우에는 정확도가 급격히 떨어지는 것을 관찰할 수 있다.

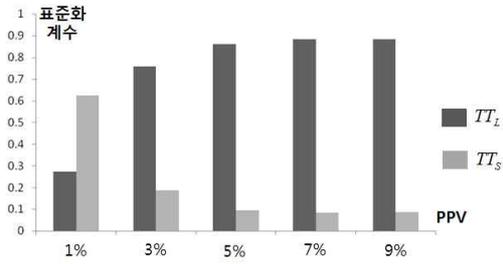
선행차량 자료를 이용하여 추정한 통행시간과 GT값의 오차율을 분석한 결과를 <표 3>에 제시하였다. Case 1의 경우에는 약 1%미만의 오차율을 가지며, Case 2의 경우에는 PPV 1%를 제외하고는 5%~8%의 오차율을 보이는 것으로 분석되었다. Case 3의 경우에는 8%~9%의 오차율을 보였다. 선행차량자료를 이용하여 통행시간을 추정한 결과 정상교통류에 비해 사고발생 시 오차율의 증가가 PPV 1%를 제외하고는 약 8% 미만으로 분석되었다.

교통상태 및 PPV에 따라 자차자료를 이용하여 추정한 통행시간과 선행차량자료를 이용하여 추정한 통행시간의 정확도가 변화하므로 본 연구에서는 자차자료와 선행차량자료를 체계적으로 통합하여 현장 적용 시 보다 신뢰성 있는 정보를 생성하기 위한 방안을 제시하였다.

2) 자차 및 선행차량자료 통합 활용방안

통행시간 추정의 정확도에 영향을 미치는 변수로는 사고발생 유무, 단말기 장착차량 비율(PPV)이 있다. 정상교통상황과 사고발생 시 교통상황에서 자차자료를 이용하여 추정한 통행시간과 선행차량 자료를 이용하여 추정한 통행시간이 실제 통행시간에 미치는 영향의 정도와 PPV 변화에 따라 변화하는 영향의 정도를 분석하고, 현장적용 시 최적 모형을 도출하기 위해 회귀분석을 수행하였다.

회귀분석에 사용된 변수를 <표 4>에 제시하였다. 종속변수에는 GT값을 적용하였고, 독립변수로는 자차자료를 이용하여 추정한 통행시간, 선행차량자료를 이용하여 추정한 통행시간, 링크 종점까지의 거리, 사고지점까지의 거리를 적용하였다. 분석방법은 단계선택법을 이용하였으며, TT_S 와 TT_L 이 교통류 상태, PPV별로 실제 통행시간에 미치는 영향을 분석하기 위하여 표준화계수를 비교하였다. 회귀계수의 경우 독립변수의 단위에 의



<그림 5> 표준화계수 비교(Case 2)

한 영향을 받아 각 독립변수가 종속변수에 미치는 영향의 정도를 분석하지 못한다. 따라서 본 연구에서는 독립변수의 단위에 의한 영향을 소거시킨 표준화계수를 이용하여 각 독립변수가 종속변수에 미치는 영향을 분석하였다. 비교결과 Case 2의 경우 유의한 분석결과가 나왔으며, 결과 값을 <그림 5>에 제시하였다. PPV가 낮아질수록 TT_S 의 표준화계수는 높아지고, TT_L 의 표준화계수가 낮아지는 것으로 분석되었다. PPV 1%일 경우에는 TT_L 보다 TT_S 가 영향력이 더 높은 것으로 분석되었다. 각 Case와 PPV 별로 모형을 도출하였으며 결과 값을 <표 5>에 제시하였다.

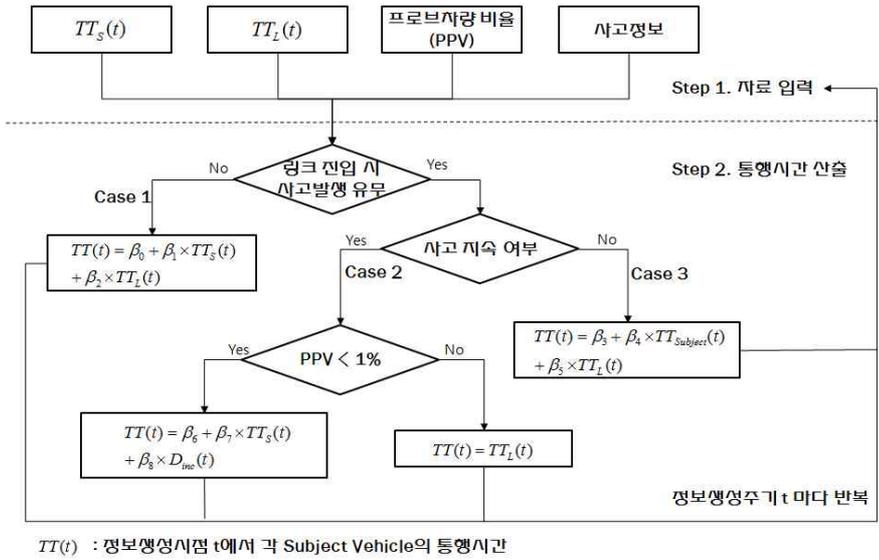
자차자료를 이용하여 통행시간을 추정한 결과와 선행차량자료를 이용하여 통행시간을 추정한 결과, 회귀분석 결과를 종합하여 오차율이 최소화 되는 현장적용 방안을

<그림 6>에 제시하였다. Case 1의 경우는 TT_S 와 TT_L 을 이용한 모형을 사용할 경우 모든 PPV 범위 내에서 가장 높은 정확도를 가지는 것으로 분석되었다. Case 2의 경우 PPV가 1% 이하일 경우에는 TT_S 와 D_{inc} 를 이용한 모형을 사용하였을 경우가 오차율이 가장 낮게 나타났으며, PPV가 3% 이상일 경우에는 TT_L 만 이용하여 통행시간을 추정한 결과가 가장 정확도가 높았다. Case 3의 경우에는 TT_S 와 TT_L 을 이용한 모형을 사용할 경우 모든 PPV 범위 내에서 가장 낮은 오차율을 가지는 것으로 분석되었다.

자가추정 통행시간 산출기법을 적용한 결과를 <그림 7>에 제시하였다. 자차자료를 이용하여 산출한 통행시간 (TT_S)과 선행차량자료를 이용하여 산출한 통행시간 (TT_L), 자가추정 통행시간 산출기법(SETT)을 적용하여 추정한 통행시간 (TT)의 오차율을 비교하였다. SETT 처리과정에 의해 Case 1과 Case 3의 경우는 도출된 모형을 이용하게 되고 Case 2는 선행차량자료를 이용하여 산출한 통행시간을 이용하게 된다. Case 2의 경우에는 자차자료를 이용하여 산출한 통행시간의 오차율이 31%로 선행차량 자료를 이용하여 산출한 통행시간의 오차율 5.9%에 비해 비교적 큰 차이로 높기 때문에 자차자료를 이용한 통행시간을 고려할 경우 오히려 정확도가 낮아지는 것으로 분석되었다. 따라서 Case 2의 PPV 1% 초과

<표 5> 회귀분석 결과

Case	PPV	TT_S			TT_L			D_{inc}			상수	
		계수	표준화 계수	유의 확률	계수	표준화 계수	유의 확률	계수	표준화 계수	유의 확률	계수	유의 확률
1	1%	0.032	0.034	0.346	0.972	0.963	0.000	-	-	-	2.453	0.177
	3%	0.804	0.794	0.000	0.206	0.206	0.000	-	-	-	1.003	0.000
	5%	0.005	0.009	0.148	0.974	0.986	0.000	-	-	-	9.557	0.000
	7%	0.347	0.344	0.000	0.657	0.655	0.000	-	-	-	1.887	0.000
	9%	0.052	0.054	0.000	0.947	0.946	0.000	-	-	-	2.613	0.000
2	1%	-0.364	-0.178	0.000	-	-	-	0.099	1.098	0.000	260.863	0.000
	3%	0.124	0.496	0.000	0.472	0.380	0.000	0.047	0.064	0.001	91.609	0.000
	5%	0.179	0.094	0.000	0.995	0.862	0.000	-	-	-	-9.120	0.003
	7%	0.110	0.076	0.000	0.911	0.815	0.000	0.006	0.076	0.019	-12.703	0.000
	9%	0.156	0.087	0.000	0.958	0.884	0.000	-	-	-	-12.934	0.000
3	1%	0.066	0.125	0.005	0.959	0.895	0.000	-	-	-	4.082	0.724
	3%	0.129	0.093	0.000	0.794	0.907	0.000	-	-	-	5.927	0.110
	5%	0.252	0.189	0.000	0.640	0.831	0.000	-	-	-	8.466	0.000
	7%	0.200	0.142	0.000	0.685	0.867	0.000	-	-	-	8.589	0.000
	9%	0.263	0.191	0.000	0.626	0.823	0.000	-	-	-	8.566	0.000



<그림 6> 자기추정 통행시간산출 방법론의 현장적용 방안

경우 선형차량자료를 이용하여 산출한 통행시간만을 사용하는 것이 최적으로 분석되었다.

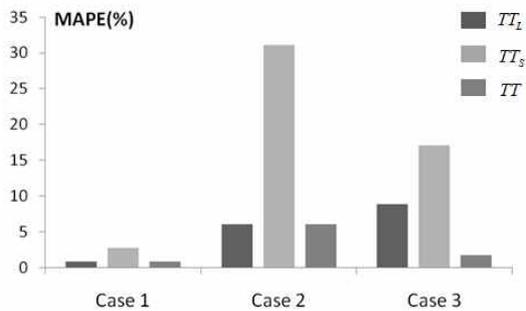
VI. 결론

본 연구에서는 VANET 환경에서 개별차량(Agent)을 기반으로 하여 자료를 수집하고 정보를 생성, 운전자에게 제공하는 시스템을 구상하였으며, 운전자에게 필요한 정보를 개별차량 내에서 자율적으로 생성하는 자기추정 통행시간 산출방법론을 제안하였다. 본 연구에서 제안한 방법론은 자차(Subject Vehicle)의 자료수집과 선형차량의 자료수집으로 구분하여 각 개별차량에서 자료를 수집하고 자료수집 경로별 통행시간을 추정하여 현장적용 시 최적의 통행시간을 추정할 수 있는 방법을 제시하였다.

제안된 시스템을 평가하기 위해 VISSIM을 이용하여 수집된 개별차량 주행궤적자료를 제안된 방법론에 적용하여 평가하였다. 다양한 교통류상태의 개별차량 주행궤적 자료를 수집하기 위해 일정시간동안 사고를 발생시켜 수집하였다. 분석결과 PPV가 3% 이상이고 구간진입부터 진출까지 사고가 지속되는(Case 2) 경우에는 선형차량 자료를 이용하여 추정한 통행시간만을 사용하는 것이 적합하고 나머지의 경우에는 도출된 모형식을 이용하는 것이 보다 정확한 통행시간을 추정할 수 있는 것으로 분석되었다.

본 연구에서 나타난 한계점을 보완하고 보다 신뢰성 있는 통행시간 추정하여 현장에 적용하기 위해서는 자차자료를 이용한 통행시간 추정방법 보완, PPV에 따른 최적 자료 수집 주기 연구, 통신실패로 인한 선형차량자료 미확보 시 대응방안 연구, 보다 다양한 교통 환경에서의 방법론 검증이 필요하다. 자차자료를 이용한 통행시간 추정방법의 경우 사고와 같이 돌발상황이 발생하게 되면 오차율이 20~30% 이상 증가하기 때문에 선형차량의 자료를 이용한 기법과 통합 시 정확도가 떨어지게 되어 자차의 주행특성을 반영하기 어렵게 되기 때문에 보완이 필요하다.

AOBU 단말기를 장착한 차량의 비율이 낮을수록 선형 차량의 자료를 수집하기 어렵게 된다. 따라서 통행시간 추정을 위해 충분한 자료를 수집하기 위한 자료수집의 시간적 범위에 관한 연구도 필요하다. PPV가 높을 경우에는 자료수가 충분하기 때문에 실시간성을 높일 수 있는 가장 최근 자료만 이용하는 것이 적합지만 PPV가 낮을 경우에



<그림 7> 자기추정 통행시간 산출기법의 MAPE 비교(PPV 9%)

는 자료 수 확보를 위해 이전 자료까지 이용하는 방법이 적합할 것으로 판단된다.

본 연구의 수행은 이상적인 무선통신 환경을 가정하고 수행하였다. 통신 실패로 인해 현장에서 일어날 수 있는 다양한 변수를 고려한 분석도 향후에 진행되어야 한다. 또한, 도로기하구조, 교통량, 제한속도, 사고유형 등 다양한 도로 및 교통환경에서도 본 연구에서 제안한 방법론을 검증해야 한다.

에이전트 기반 자료처리 및 정보생성 방법론은 보다 운전자 중심적인 접근이 가능하다. 정보생성 및 제공을 개별적으로 수행하기 때문에 운전자의 요구를 반영하기 수월하다. 또한 교통관제 센터, RSE를 이용한 방법론보다 정보의 갱신이 자유롭기 때문에 교통상황의 급격한 변화에 대응하기 수월할 것으로 판단된다. 또한 각 개별차량별로 필요한 자료를 생성하기 때문에 각 개별차량들의 특성이 반영된 정보의 생성이 가능하다는 장점이 있다.

알림 : 본 논문은 대한교통학회 제62회 학술발표회 (2010.2.20)에서 발표된 내용을 수정·보완하여 작성된 것입니다.

참고문헌

1. 김형수·신민호·남범석·David J. Lovell(2008), "Vehicular ad hoc network 기반 교통 정보 시스템에서 차량간 통신에 의한 정보 전달 범위 측정", 한국ITS학회논문지, 제7권 제6호, 한국ITS학회, pp.12~20.
2. 김형수·신민호·남범석·David J. Lovell(2008), "애드혹 네트워크 기반 교통 시스템을 위한 컴퓨터 모의실험 환경 설계", 대한교통학회지, 제26권 제6호, 대한교통학회, pp.93~101.
3. 박준형·오철·임희섭·강경표(2009), "차량-인프라 연계(VII) 기반 교통정보시스템의 RSE 설치간격 결정 방법론(연속류를 중심으로)", 대한교통학회지, 제27권 제6호, 대한교통학회, pp.29~44.
4. 임희섭·오철·강경표(2009), "개별차량 주행정보를 이용한 차로별 구간대표통행시간 산출기법", 한국ITS학회논문지, 제8권 제6호, 한국ITS학회, pp.23~35.
5. 한광희·김원규·김병중·강연수·강경표(2009), "유비쿼터스 교통체계를 위한 에이전트 기반 실시간 통행시간 산정 알고리즘 개발", 제60회 학술발표회,

대한교통학회, pp.835~840.

6. 홍승표·오철·김원규·김현미·김태형(2008), "V2V 기반 교통정보수집체계 설계 및 요구사항분석", 대한교통학회지, 제26권 제4호, 대한교통학회, pp.251~264
7. F. Dion, J. Oh and R. Robinson(2009), "VII Testbed Simulation Framework for Assessing Probe Vehicle Snapshot Data Generation", TRB 88th Annual Meeting, TRB, Washington D.C.
8. Huaying Xu and Matthew Barth(2006), "Travel time estimation techniques for traffic information systems based on intervehicle communications", Transportation Research Record 1944, TRB, National Research Council, Washington, D.C., pp.72~81.
9. Lars Wischhof, André Ebner, Hermann Rohling (2005), "Information Dissemination in Self-Organizing Intervehicle Networks", IEEE Transactions on ITS, Vol. 6, No.1, IEEE, pp.90~101.
10. Maen M. Artimy(2007), "Local Density Estimation and Dynamic Transmission-Range Assignment in Vehicular Ad Hoc Networks", IEEE Transactions on ITS, Vol. 8, No.2, IEEE, pp.400~412.
11. Maen M. Artimy, William Robertson, William J. Phillips(2006), "Minimum Transmission Range in Vehicular Ad Hoc Networks over Uninterrupted Highways", IEEE Intelligent Transportation Systems Conference.
12. Marc Bechler, Lars Wolf(2005), "Mobility Management for Vehicular Ad Hoc Networks", IEEE Vehicular Technology Conference.
13. Martin Schönhof, Martin Treiber, Arne Kesting, and Dirk Helbing(2007), "Autonomous detection and anticipation of jam fronts from messages propagated by intervehicle communication", Transportation Research Record 1999, TRB, National Research Council, Washington, D.C., pp.3~12.
14. Steven E. Shladover, Gungor Polatkan, Raja Sengupta, Joel VanderWerf, Mustafa Ergen

- and Benedicte Bougler(2007), "Dependence of cooperative vehicle system performance on market penetration", Transportation Research Record 2000, TRB, National Research Council, Washington, D.C., pp.121~127.
15. Steven E. Shladover and Thomas M. Kuhn (2008), "Traffic Probe Data Processing for Full Scale Deployment of Vehicle-Infrastructure Integration" Transportation Research Record 2086, TRB, National Research Council, Washington, D.C., pp.115~123.
16. Xu Yang and Will Recker(2005), "Simulation studies of information propagation in a self-organizing distributed traffic information system", Transportation Research Part C Vol.13, pp.370~390.

☞ 주 작 성 자 : 임희섭

☞ 교 신 저 자 : 오 철

☞ 논문투고일 : 2010. 2. 26

☞ 논문심사일 : 2010. 4. 13 (1차)

2010. 6. 29 (2차)

☞ 심사판정일 : 2010. 6. 29

☞ 반론접수기한 : 2010. 12. 31

☞ 3인 익명 심사필

☞ 1인 abstract 교정필