

■ 論 文 ■

무선통신기반 교통정보수집체계하에서의 차량주행궤적정보 결측치 보정방안

A Comprehensive Method to Impute Vehicle Trajectory Data Collected in Wireless Traffic Surveillance Environments

연 지 윤

(한국교통연구원 첨단교통연구실 책임연구원)

김 현 미

(한국교통연구원 첨단교통연구실 연구원)

오 철

(한양대학교 교통시스템공학과 교수)

김 원 규

(한국항공대학교 항공교통물류우주법학부 교수)

목 차

- I. 서론
- II. 본론
 - 1. 참고문헌 고찰
 - 2. 무선통신기반 교통정보수집체계 구현
 - 3. 결측자료 보정방법 개발
- III. 결론 및 향후연구과제
- 참고문헌

Key Words : 차량주행궤적정보, 결측치 보정, 무선통신기반 교통정보수집, 참조 차량, 패턴 인식
Vehicle Trajectory, Data Imputation, Wireless Communication Traffic Surveillance Environment, Reference Vehicle, Pattern Recognition

요 약

지능형교통체계(ITS: Intelligent Transportation Systems)는 도로이용자들로 하여금 다양한 교통환경에서 도로를 좀 더 효율적으로 이용하게 해 주었다. 기존의 지점검지체계 기반의 교통정보 수집 및 제공시스템에서 오는 한계점을 극복하기 위해 최근 들어서는 차량-차량간 및 차량-인프라간 통신기술을 바탕으로 하는 교통자료 수집 및 제공에 관한 연구가 다양하게 진행되고 있다. 그러나 차량간 및 차량과 인프라간 통신은 무선으로 이루어지기 때문에 주변 환경의 영향(건물, 날씨, 대형차량 등)으로 인해 통신 실패가 빈번히 발생하여 교통정보수집의 신뢰성을 저하시키고 있다. 본 연구에서는 무선통신기반 교통정보수집시 통신 실패로 인한 차량의 주행궤적정보가 결측되었을 경우 이를 보정할 수 있는 방법론을 개발하였다. 먼저 차량의 주행궤적자료 결측 보정을 위한 기존의 방법들 및 무선통신기반 교통자료 수집을 위한 요구조건들을 검토하였다. 다음으로 AIMSUN을 이용하여 차량의 주행궤적자료를 수집하였고, 이를 바탕으로 임의의 결측치를 생성하였다. 결측된 자료는 기존의 교통자료 결측치 보정 방법과 본 연구에서 수정된 방법을 적용하여 보정한 후 비교·분석해 보았다. 분석결과 무선통신기반 교통수집체계하에서 통신 단절로 인한 결측치는 기존의 방법보다는 차량의 주행궤적 특성을 고려해서 수정된 방법으로 보정했을 경우 좀 더 정확한 교통정보를 수집할 수 있었다.

Intelligent Transportation Systems(ITS) enables road users to enhance efficiency of their trips in a variety of traffic conditions. As a significant part of ITS, information communication technology among vehicles and between vehicles and infrastructure has been being developed to upgrade current traffic data collection technology through location-based traffic surveillance systems. A wider and detailed range of traffic data can be acquired with ease by the technology. However, its performance level falls with environmental impediments such as large vehicles, buildings, harsh weather, which often bring about wireless communication failure. For imputation of vehicle trajectory data discontinued by the failure, several potential existing methods were reviewed and a new method to complement them was devised. AIMSUN API(Application Programming Interface) software was utilized to simulate vehicle trajectories data and missing vehicle trajectories data was randomly generated for the verification of the method. The method was proven to yield more accurate and reliable traffic data than the existing ones.

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

I. 서론

지능형교통체계(ITS: Intelligent Transportation Systems)의 발전은 도로이용자들로 하여금 다양한 교통환경에서 도로를 좀 더 효율적으로 이용하게 해 주었다. 이는 정보통신 기술의 급격한 발전에 힘입은 것으로 도로이용자들은 기존 지점검지기 기반 ITS 체계하에서 제공하는 다양한 서비스를 경험하는 것에 그치지 않고 좀 더 정확하고 신뢰성 있는 교통정보를 제공 받기를 원하였다. 이러한 요구에 부응하기 위해 최근 들어서는 차량-차량(Vehicle-Vehicle)간 및 차량-인프라(Vehicle-Infrastructure)간 통신기술을 이용하여 교통자료를 수집 및 제공하기 위한 다양한 연구가 진행되고 있다(8,9,10). 그러나 차량간 및 차량과 인프라간의 정보 전달은 무선 통신을 기반으로 하기 때문에 주행 환경의 영향(건물, 날씨, 대형차량 등)으로 인한 통신 실패의 경우가 빈번히 발생하여 교통정보수집의 단절로 인해 신뢰성을 저해시키는 요인으로 지적되고 있다. 따라서 본 연구에서는 다양한 주행환경에서 통신 장애로 인한 교통정보의 결측치 보정 방법론을 개발하여 좀 더 신뢰성 있는 교통정보 수집의 기초 자료로 활용하고자 한다.

본 연구에서는 먼저 시·공간상에서 수집되는 자료의 결측치 보정 방법론 및 무선통신환경에서의 교통정보 수집체계 설계에 대한 기존 연구들을 살펴보았다. 다음으로, 다양한 교통상황에서 무선통신기반 교통자료를 수집함으로써 발생할 수 있는 문제점 및 요구사항에 대해 검토해 보았다. 고찰된 요구조건을 만족시키는 상황은 AIMSUN이라는 교통류 시뮬레이션을 통해 구현하였고, 이를 기존의 교통자료 결측치 보정 방법과 본 연구에서 제시하는 방법론을 적용하여 임의의 결측치 자료를 생성하여 비교·분석해 보았다. 마지막으로 결론 및 향후 연구과제에 대해 고찰하였다.

II. 본론

1. 참고문헌 고찰

무선통신을 기반으로 수집할 수 있는 가장 대표적인 교통자료로는 차량의 주행궤적 자료를 들 수 있다. 이에 본 연구에서는 시·공간상에서 수집되는 차량의 주행궤적 자료의 결측치를 보정하기 위한 기존의 방법론을 먼

저 살펴보았다. 차량의 주행궤적 자료의 결측치 보정 방법은 크게 대상차량의 주행궤적을 이용하여 보정하는 방법과 주변차량의 주행궤적 자료를 이용하여 보정하는 방법으로 구분할 수 있다. 이 중 대상차량의 주행궤적을 이용하여 결측치를 보정하는 대표적인 방법에는 Kernel Regression(2)과 Locally Weighted Regression(3, 6,7)이 있고, 주변 차량의 주행궤적 자료를 이용하여 결측치를 보정하는 방법에는 공간상관성을 이용한 선형보간법(1)과 Varied-window Similarity Measure(4)로 나눌 수 있다.

1) 결측치 보정 방법

(1) 대상차량의 주행궤적 이용

① Kernel Regression

Kernel Regression은 결측치로 예상이 되는 시·공간상의 한 점(t_0, x)에 대한 국부적 평균 smoother의 형태로 표현된다. 이 방법은 관측치들 중에서 예측 대상으로 선택된 한 점의 이웃 데이터들의 가중된 평균을 추정하는데, 이웃 데이터는 선택된 고정변수 d 를 기준으로 ($t_0 - d, t_0 + d$)로 대상 구간을 정의하며, 시간 t_0 에 결측된 차량의 위치 x 를 예측하는 방법이다. 즉, 대상차량의 결측치 전·후의 주행궤적에 대하여 시간에 따른 가중치를 부여하여 이를 평균한 값으로 결측된 값을 보정한다(Faouzi, 1996).

② Locally Weighted Regression

Locally Weighted Regression은 이산적으로 관측된 차량의 위치로부터 시간연속적인 차량주행이력함수를 예측할 경우 사용할 수 있으며, 결측이 발생한 시간 t_0 주변의 차량주행이력함수는 대상차량의 결측치를 포함하는 시간 t_0 전·후 n 개의 관측치에 대하여 가중치를 적용하여 최소자승법을 이용해 회귀계수를 예측하는 방법을 사용한다. 가중치는 결측이 발생한 시간 t_0 와 결측치 주변 관측치 t 의 시간차이($|t_0 - t|$)로 결정된다. 즉, Locally Weighted Regression은 대상차량의 결측치 전·후의 주행궤적을 이용하여 시간에 따른 가중치를 적용한 이력함수를 산출하고, 이 함수를 통해 결측된 값을 예측하여 보정한다. 본 방법은 Kernel Regression과 결측치 주변의 시간차에 따른 가중치를 부여하는 점에서는 유사하지만, 가중치를 부여하는 함수에 차이가 있음을 알 수 있다(William S., 1979, Tomer T. et al., 2007).

(2) 주변차량의 주행궤적 이용

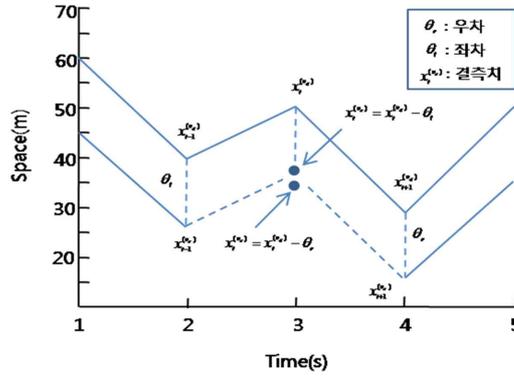
① 공간상관성을 이용한 선형보간법

공간상관성을 이용한 선형보간법은 공간분석의 관점에서 첫 번째 이웃 데이터들의 평균값을 이용하여 결측된 자료를 보정하는 방법으로, 평균값을 계산할 때 이웃 데이터들의 상대적 가중치를 고려하지 않고 동일한 가중치를 사용하게 되어 결측치 대체시 과소 대체되거나, 과대 대체될 수 있다는 단점을 가지고 있다. 이를 보완하기 위하여 통계적으로 공간자기상관계수인 Moran Index를 이용하여 시간의 공간 상관과 전·후 차량의 공간 상관을 가중평균하여 결측치를 보정하는 방법이다. 공간상관성을 나타내는 지수로 적용되는 공간자기상관계수(spatial autocorrelation index)는 어떤 공간현상이 이웃지역과 유사한 정도를 정량적으로 표현하는 지수를 의미하며, 이러한 공간자기상관 지수를 얻기 위해서는 단위지역들간의 공간적 이웃관계에 대해 정의하는 공간가중치행렬의 구성이 선행되어야 한다. 공간 가중치 행렬은 단위지역의 수를 차원으로 하는 정방형 행렬로서 단위지역 i 와 j 간의 이웃정보를 나타내는 행렬이다. 즉, 공간상관성을 이용한 선형보간법은 보정대상차량의 결측치 전·후 주행궤적과 결측시점에서 보정대상차량의 전·후를 주행하는 차량의 주행궤적에 가중치를 부여하여 결측치를 보정한다(허영태 외, 2007).

② Varied-window Similarity Measure

Varied-window Similarity Measure 기법은 결측치를 갖는 차량의 주행이력자료를 보정함에 있어 유사한 주행 패턴을 갖는 주변의 다른 차량의 주행이력자료를 이용하여 보정하는 방법이다. 혼잡 교통류에서 차로변경이 없는 한 유사한 주행패턴을 갖는 차량은 예측 대상이 되는 차량의 앞에서 주행하는 차량으로 간주할 수 있으며, 본 연구에서는 이를 참조 차량이라고 하기로 한다. 본 방법에서는 시간 t 일 때 차량 $i(v_i)$ 의 결측된 위치데이터(x_t^i)를 예측하기 위하여 동일한 시간 t 일 때 참조차량 $j(v_j)$ 의 위치데이터(x_t^j)와 시간 $t-1, t+1$ 일 때의 대상차량(v_i)과 참조차량(v_j)의 위치데이터($x_{t-1}^i, x_{t-1}^j, x_{t+1}^i, x_{t+1}^j$)를 이용하는데, x_{t-1}^i 와 x_{t-1}^j 의 차이를 좌차(θ_l)라 하고 x_{t+1}^i 와 x_{t+1}^j 의 차이를 우차(θ_r)라 하며 다음 식(1), 식(2)와 같이 표현할 수 있다(Sirapat C. et al., 2007, Sun H. et al., 2003).

$$\theta_l = x_{t-1}^i - x_{t-1}^j \quad (1)$$



<그림 1> Varied-window Similarity Measure

$$\theta_r = x_{t+1}^j - x_{t+1}^i \quad (2)$$

즉, x_t^i 의 데이터가 결측되었을 때 좌차(θ_l)와 우차(θ_r)를 이용하여 예측하며, 이 때 결측치 x_t^i 의 예측치를 \hat{x}_t^i 라 하며 결측치와 예측치의 관계는 다음 식(3)과 같이 표현할 수 있다.

$$\hat{x}_t^i = 2x_t^j - \theta_l - \theta_r \quad (3)$$

앞의 식(1), 식(2), 식(3)을 통해, 예측치 \hat{x}_t^i 는 다음 식(4)와 같이 정리될 수 있다(<그림 1> 참조).

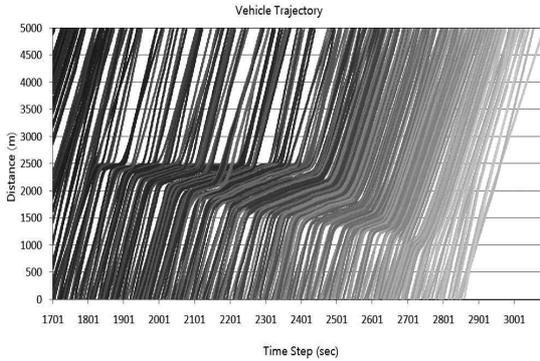
$$\hat{x}_t^i = x_t^j - \frac{1}{2}(x_{t-1}^j - x_{t-1}^i) - \frac{1}{2}(x_{t+1}^j - x_{t+1}^i) \quad (4)$$

보통의 경우 결측치 보정시 참조데이터가 많으면 보정치의 정확도가 높아지지만, Varied-window Similarity Measure 기법은 결측보정 대상차량과 참조차량의 주행패턴이 얼마나 유사한지로 보정치의 정확도가 결정된다. 즉, Varied-window Similarity Measure 기법은 결측치 보정 대상차량과 유사한 주행패턴을 갖는 참조차량의 결측치 발생 전후시점에서 위치차이를 결측치가 발생한 시점에서의 참조차량 위치에서 고려하여 대상차량의 결측치를 보정하는 방법이라 할 수 있다.

2. 무선통신기반 교통정보수집체계 구현

1) 무선통신기반 교통정보수집체계 구현

교통자료수집체계 상황을 구현하기 위해서 본 연구에



<그림 2> 시뮬레이션을 이용한 개별차량의 주행궤적 (혼잡상황 발생 포함)

서는 미시적 교통류 시뮬레이션인 AIMSUN을 이용하여 개별 차량의 위치데이터를 수집할 수 있는 API (Application Programming Interface)를 이용하여 네트워크에 존재하는 개별 차량의 주행이력자료를 추출하였다. <그림 2>는 AIMSUN을 이용하여 혼잡상황이 포함된 고속도로 기본구간(전체 5km, 사고발생 2.5km 지점 부근)에서 차량의 주행궤적자료를 시공도 상에 나타낸 것으로, 통신 방해로 인한 결측치 발생 가능성은 고려되지 않았다.

하지만, 실제 무선통신기반 교통정보수집 체계하에서는 통신 실패로 인한 결측치가 무작위로 발생하므로 이를 보정해야 구간 혹은 네트워크상에서의 의미있는 정보로 가공/처리할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 차량 및 인프라 센서의 통신반경, 차량 센서의 장착비율, 수집주기 등 기술이 발전함으로써 해결될 수 있는 물리적 통신 환경에 의한 결측치 보다는 교통류 상태 변화를 반영할 수 있는 개별차량의 주행궤적자료에 결측치가 발생되었을 때 이를 보정할 수 있는 방법에 초점을 맞추고자 한다. 즉, 무선통신기반 교통자료 수집을 위한 물리적 환경은 이상적인 조건에 있다는 가정하에 교통류의 상태 변화로 인한 결측치가 발생했을 때 이를 보정방법을 모색하였다.

2) 개별차량 주행 자료 수집

개별차량의 주행궤적 자료는 시뮬레이션을 이용하여 수집하였는데, 본 연구에서는 편도 2차로 고속도로 기본구간에서(총 연장 5km) LOS C 수준의 교통수요가 발생할 때 시뮬레이션 시작 20분 후, 고속도로 중간지점 1차로에서 교통사고가 발생하여 10분간 지속되는 현상을

구현하여 정상교통류 상태와 혼잡교통류 상태의 교통상황을 분석하였다. 총 분석시간을 1시간으로 설정하고 (warm up period는 10분) simulation step은 1초로 설정하여 개별차량의 위치데이터를 매 초 간격으로 수집하였다. 추가로 유고 가 발생하지 않는 상황에서의 LOS C 및 LOS E 상황도 시뮬레이션으로 구현하였다.

3) 임의의 결측자료 생성

실제 상황에서 차량의 주행이력자료는 무선통신을 통해 수집되며, 주행 중 통신 단절로 인한 차량 주행이력자료의 결측치가 발생하게 된다. 이에 본 연구에서는 시뮬레이션을 통해 추출된 개별차량의 주행이력자료를 바탕으로 차량 간 통신에러를 고려하여 개별 차량의 주행이력자료 중 일부를 무작위로 제거하는 방법으로 통신 에러로 인한 결측치 발생확률을 구현하였다. 통신 에러는 통신실패 횟수와 통신이 다시 연결될 때까지의 시간을 고려하여 적용시켰다. 분석시간동안 네트워크에서 차량이 주행한 시간을 고려하여 차량당 최소 1번에서 최대 3번까지 무작위(random)로 통신 실패가 발생하도록 하였고, 통신이 단절되어 다시 연결되기까지의 통신단절시간은 총 분석시간의 1~3(%)로 설정하였다. 이는 차량 간 통신에러를 고려한 통신환경 구현을 통해 결측치를 포함한 차량 주행이력자료 수집 시나리오를 좀 더 현장감 있게 구성하기 위함이다.

3. 결측자료 보정 방법 개발

1) 결측치 보정 방법 개발의 필요성

<표 1>은 앞 절에서 살펴본 방법론들의 특징 및 적용 가능성에 대해 정리한 것으로, 앞의 두 방법은 대상차량의 이력자료만을 바탕으로 결측치를 보정하기 때문에 교통류 상황이 비혼잡에서 혼잡으로 전이될 때 발생하는 결측치는 과소 보정하고 반대로, 혼잡에서 비혼잡으로 전이될 때 발생하는 결측치에 대해서는 과대 보정하는 양상을 보일 수 있다. 또한, 뒤의 두 방법은 대상차량 및 참조차량의 이력자료를 바탕으로 결측치를 보정하지만 연속적으로 발생하는 결측치에 대해서는 적용이 곤란하다는 단점이 있다. 따라서 본 연구에서는 대상차량 및 참조차량의 이력자료를 이용하여 다양한 교통류 상태에서 연속적인 결측치 발생시 보정할 수 있는 방법을 개발하였다.

<표 1> 결측치 보정 방법간 비교

방법	특징	적용가능성
Kernel Regression	- 대상차량의 결측치 전·후의 주행궤적에 대하여 시간에 따른 가중치를 부여 - 대상차량 이력자료 기준	혼잡/비혼잡 상황 혼재시 적용 곤란
Locally Weighted Regression	- 대상차량의 결측치 전·후의 주행궤적에 대하여 시간에 따른 가중치를 부여하는 Kernel Regression과 유사하나 가중치 부여 함수가 다름 - 대상차량 이력자료 기준	혼잡/비혼잡 상황 혼재시 적용 곤란
공간상관성을 이용한 선형보간법	- 대상차량의 결측치 전·후 주행궤적과 결측시점에서 대상차량의 전·후를 주행하는 차량의 주행궤적에 가중치를 부여 - 선으로 표현되는 자료보다는 면으로 표현되는 자료의 결측에 이용가능	연속적인 결측치 보정 곤란
Varied-window Similarity Measure	- 대상차량과 유사한 주행패턴을 갖는 참조차량의 결측치 발생 전·후시점에서 위치 차이를 결측치가 발생한 시점에서의 참조차량 위치에서 고려하여 대상차량의 결측치를 보정 - 참조차량의 주행패턴 고려	연속적인 결측치 보정 곤란

2) 새로운 결측치 보정방법

본 연구에서는 무선통신환경하에서 교통자료 수집시 발생할 수 있는 결측치를 보정하기 위해 대상차량 및 참조차량의 이력자료를 기반으로 하되 연속적인 결측치가 발생할 경우에도 적용이 가능하도록 하기 위해 위에서 소개한 결측보정 방법들의 이점을 결합하여 새로운 결측 보정방법을 개발하였다. 즉, Varied-window Similarity Measure의 특성을 반영하여 대상차량의 결측치는 선행 차량인 참조차량의 이력자료를 기반으로 대상차량의 결측치를 보정하고, Locally Weighted Regression의 특성인 시간차에 대한 가중치를 반영하여 결측치 발생 전 후 참조차량과 대상차량의 차두거리(θ_l, θ_r)에 대하여 시간차에 따른 가중치를 부여하였다. 무선통신환경에 적합한 새롭게 제안된 결측치 보정 방법은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\hat{x}_t^i = x_t^j - (W_{\theta_l}(t)\theta_l + W_{\theta_r}(t)\theta_r) \quad (5)$$

$$W_{\theta_l}(t) = \begin{cases} \frac{2}{(d+1)^2} \left(t - \frac{(d+1)}{2} \right)^2 + \frac{1}{2}, & t_0 < t \leq \frac{d+1}{2} \\ 1 - \left(\frac{2}{(d+1)^2} \left(t - \frac{(d+1)}{2} \right)^2 + \frac{1}{2} \right), & \frac{d+1}{2} < t \leq d \end{cases} \quad (6)$$

$$W_{\theta_r}(t) = 1 - W_{\theta_l}(t) \quad (7)$$

여기서, \hat{x}_t^i : 결측 시 t일 때 대상차량의 보정 위치
 x_t^j : 결측 시 t일 때 참조차량의 위치
 t_0 : 결측 발생 시간
 d : 총 결측 시간

$$\theta_l = x_{t_0-1}^j - x_{t_0-1}^i$$

$$\theta_r = x_{t_0+1}^j - x_{t_0+1}^i$$

식(5)에서 보는 바와 같이 대상차량(i)의 이력자료 결측치(\hat{x}_t^i)는 결측시점(t)에 선행하는 차량(j)의 이력자료(x_t^j)를 기준으로 결측치 발생 전 후 두 차량의 차두거리를 고려하여 보정된다. 결측 발생 초기에는 결측발생 시작 전의 차두거리에 가중치를 더 주고, 결측 발생 후기에는 결측발생 종료 후의 차두거리에 가중치를 더 주며 두 가중치의 합은 1로 한다(식(6), 식(7)).

3) 프로그래밍 작업

앞 절에서 제시한 새로운 결측치 보정방법은 C 언어를 이용하여 프로그래밍 하였는데, 이 과정에서 발생할 수 있는 주요 이슈들에 대해서는 다음과 같이 정리하였다.

<표 2> 프로그래밍시 주요 이슈

주요 이슈	정리
대상차량이 선두차량일 때 결측치가 발생한 경우	참조차량이 없으므로 보정 대상에서 제외
분석시간 시작시점에서부터 결측치가 발생한 경우	좌차(θ_l)가 없으므로 보정 대상에서 제외
분석시간 끝지점까지 결측치가 발생한 경우	우차(θ_r)가 없으므로 보정 대상에서 제외
대상차량의 결측치 보정시 필요한 참조차량의 이력자료가 결측되었을 경우	- 참조차량의 보정된 이력자료를 적용하여 대상차량의 결측 이력자료 보정 - 선행차량부터 결측치 보정

4) 정확성 검증

본 연구에서 개발된 결측치 보정방법의 정확성을 검증하기 위해 AIMSUN 시뮬레이션을 통해 발생시킨 임

의의 결측치 생성 자료를 바탕으로 기존의 결측보정방법과 결측 추정치에 대한 MAPE(Mean Absolute Percentage Error)와 RMSE(Root Mean Square Error)를 비교분석 하였다(식(8),식(9) 참조). 비교대상은 참조차량의 이력자료를 이용하는 Varied-window Similarity Measure이며 결과는 다음 <표 3>과 같다. 단, 정확성 검증은 대상구간에 진입한 모든 차량의 이력자료를 기준으로 하였다. 또한, <표 2>의 가정에서처럼 보정대상에서 제외된 차량의 이력자료는 정확성 검증에 사용하지 않았다.

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{A_t - F_t}{A_t} \right| \quad (8)$$

$$SE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (A_t - F_t)^2}{n}} \quad (9)$$

여기서, A_t : 시간 t에서 실측치
 F_t : 시간 t에서 추정치
 n : 총 데이터 수

식(8), 식(9)에서 보는 것과 같이 정확도 검증을 위한 MAPE와 RMSE는 실측치와 보정치에 차이가 작을수록 그 값이 작아지는 것을 알 수 있다. <표 3>에서 보는 것과 같이 새로운 결측치 보정방법은 위의 세 시나리오 모두에서 Varied-window Similarity Measure에 비해 MAPE와 RMSE 모두 작게 나와 결측치 보정의 정확성이 향상되었음을 알 수 있다.

<표 3> 차량의 주행이력자료 결측치 보정 결과

방법		MAPE	RMSE
LOS C + 유고발생	Varied-window Similarity Measure	0.023	29.361
	새로운 결측치 보정방법	0.001	2.593
LOS C	Varied-window Similarity Measure	0.0119	18.6682
	새로운 결측치 보정방법	0.0006	0.9346
LOS E	Varied-window Similarity Measure	0.0056	13.3100
	새로운 결측치 보정방법	0.0001	0.2430

III. 결론 및 향후연구과제

본 연구는 무선통신환경에서 통신단절로 인해 대상차량의 이력자료가 결측되었을 경우, 이를 보정할 수 있는 방법에 대하여 고찰하였다. 제안된 새로운 결측치 보정 방법은 pattern recognition 분야에서 널리 사용하고 있는 Varied-window Similarity Measure라는 보정방법을 무선통신환경에서 차량의 이력자료 수집에 사용할 수 있도록 수정한 것이다. 수정된 방법은 다양한 교통환경에서 기존의 Varied-window Similarity Measure에 비해 결측치 보정의 정확성이 향상되었음을 알 수 있다.

본 연구의 한계 및 향후 고려되어야 할 부분은 다음과 같다.

첫째, 제안된 결측치 보정방법의 정확성을 검증하기 위해 사용한 실측치는 AIMSUN이라는 시뮬레이션을 통해 생성된 자료로, 실제 무선통신환경에서 수집된 차량의 이력자료 실제값(ground-truth)과의 차이를 비교할 수 없다는 단점이 있다.

둘째, 실제 무선통신환경에서의 발생하는 통신 에러를 반영하기 위한 가정이 적절하지에 대한 기준이 없어서 임의적으로 생성된 결측치를 사용하였다. 통신 에러가 달라지면 결측치 보정 방법의 정확성이 달라질 수 있다.

셋째, 본 연구에서 제안한 결측치 보정 방법은 단순한 결측치 보정 방법(예: 단순 보간법을 이용한 평균값)에 비해 자료처리 프로세스에 엄청난 수고를 들이는 것으로, 단순 보정 방법에 비해 결측치 보정의 정확성 향상을 기대할 수 없다. 다시 말해, 처리해야 할 자료의 양이 많지 않을 경우에는 오히려 단순 보정 방법이 더 정확하고 경제적인 수 있다는 것이다.

마지막으로, 새로운 방법론은 Varied-window Similarity Measure를 바탕으로 하였기 때문에 어떤 참조차량을 선택하느냐에 따라 결측치 보정의 정확성이 달라질 수 있다. 따라서 본 연구의 정확성을 높이기 위해서는 단순히 선행차량을 참조차량으로 간주하기 보다는 참조차량 선택의 기준을 마련할 필요가 있다. 이 부분은 정확성 검증시 혼잡류 상태뿐만 아니라, 자유류 상태에서 발생하는 결측치를 보정하기 위해서도 필요하다.

알림 : 본 논문은 대한교통학회 제60회 학술발표회 (2009. 2.21)에서 발표된 내용을 수정·보완하여 작성된 것입니다.

참고문헌

1. 허태영, 오주삼(2007), 시간자료의 공간화를 통한 일교통량 결측대체 방법론 연구, 한국도로학회 제 9권3호, pp.21~28.
2. Faouzi, E.(1996), Nonparametric Traffic Flow Prediction Using Kernel Estimation, Transportation and Traffic Theory : Proceedings of the 13th International Symposium on Transportation and Traffic Theory, Lyon, france, pp.24~26.
3. Hongyu Sun, Henry X. Liu, Heng Xiao, Rachel R. He, and Bin Ran(2003), Use of Local Linear Regression Method for Short-Term Traffic Forecasting, Transportation Research Record 1836, pp.143~150.
4. Sirapat Chiewchanwattana, Chidchanok Lursinsap, and Chee-Hung Henry Chu(2007), Imputing incomplete time-series data based on Varied-Window Similarity measure of data Sequences, Pattern Recognition Letters 28, pp.1091~1013.
5. Sun, H., Liu, H., Xiao, H., He, R., Ran, B.(2003), Short term traffic forecasting using the local linear regression model, the 82nd Transportation Research Board Annual Meeting, Washington DC.
6. Tomer Toledo, Haris N. Koustopoulos, and Kazi I. Ahmed(2007), Estimation of Vehicle Trajectories with Locally Weighted Regression, Transportation Research Record 1999, pp.161~169.
7. William S. Cleveland(1979), Robust Locally Weighted Regression and Smoothing Scatterplots, Journal of the American Statistical Association, Vo..74, No. 368, pp.829~836.
8. www.cvisproject.org
9. www.its.dot.gov/vii.htm
10. www.vics.or.jp/english/index.html

✉ 주 작성자 : 연지윤
 ✉ 교신저자 : 연지윤
 ✉ 논문투고일 : 2009. 3. 21
 ✉ 논문심사일 : 2009. 4. 21 (1차)
 2009. 6. 3 (2차)
 2009. 6. 8 (3차)
 ✉ 심사판정일 : 2009. 6. 8
 ✉ 반론접수기한 : 2009. 12. 31
 ✉ 3인 익명 심사필
 ✉ 1인 abstract 교정필