

■ 論 文 ■

## 차량 결측속도정보 추정에 관한 연구

Missing Data Estimation for Link Travel Time

**윤 원 식**

(아주대학교 전자공학과 교수)

**정 희 철**

(아주대학교 전자공학과 석사과정)

### 목 차

- |   |  |
|---|--|
| <p>I. 서론</p> <p>1. 연구의 필요성</p> <p>2. 연구의 목적</p> <p>II. 결측자료 추정방법</p> <p>1. 유사도로 선정 방법</p> | <p>2. 속도정보 추정 기법</p> <p>III. 최적의 추정 알고리즘 선정기법</p> <p>IV. 성능평가</p> <p>V. 결론</p> <p>참고문헌</p> |
|---|--|

Key Words : 결측자료 추정, 지능형 교통시스템, 인접도로, 차량검지기, 신호처리 알고리즘

Missing data estimation, ITS, Neighbor link, Dual-loop detector, Signal processing

### 요 약

실시간의 차량 검지 자료 수집시 검지기 고장이나 네트워크의 지연 등의 문제로 인하여 교통정보가 결측되는 현상이 발생한다. 이는 결과적으로 사용자에게 제공되는 구간별 속도정보의 결측으로 이어진다. 본 논문에서는 이와 같이 결측된 속도정보를 보정하여 신뢰성 있는 속도정보 제공을 목적으로 한다. 본 연구는 유사도로의 속도정보를 기반으로 한 여러 신호처리 알고리즘을 사용하였는데, 과거의 속도 정보를 이용하여 가장 좋은 결과를 도출하는 알고리즘을 선정한 후 결측자료를 추정하는 방법으로 결측자료를 도출한다. 서울 시내 간선도로 및 고속도로의 자료를 사용하여 제안된 추정기법의 성능을 보였다.

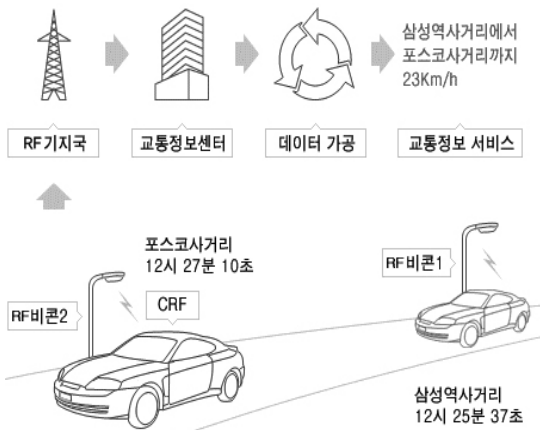
Traffic speed data may be missed due to detector malfunction or network problems. In this paper we have proposed effective methods to estimate the data which could not be collected through loop detectors. Our proposed algorithm has three steps. First step is to find the most similar neighbor data record by coefficient of correlation. Second step is to make some data records which is calculated by the 5 kinds of estimation methods. Third step is to compare the data records with history data record of observation link and thus the best method is selected. The proposed method is useful for estimating travel time.

# 1. 서론

## 1. 연구의 필요성

교통정보는 여러 가지 방법을 통하여 수집되고 목적에 따라 다양하게 가공되어 제공된다. 각 링크의 속도정보를 알기 위해 RF비콘을 이용한 자료 수집방법((주)로티스)과 GPS좌표를 이용한 수집방법(심상우, 2006)이 있다. 전자는 <그림 1>과 같이 각 도로마다 RF수신장비가 필요하므로 설치비용이 늘지만 정확도가 높고 GPS의 문제점인 이면도로나 비정상적인 통행을 한 경우가 발생하지 않는 장점이 있다. 이러한 수집방법을 통하여 각 구간 통행속도, 시간정보 등을 제공함으로써 도로의 상황 및 정보를 이용자들에게 제공하고 있으며, 이러한 정보들을 바탕으로 도로의 통행시간 예측에 관련된 연구들이 진행되고 있다(Ken'Ichiro, 2005), (Todd L, 2000), (Yanying Li, 2002).

그러나 실시간의 차량 검지자료 수집시 결측자료(missing data)<sup>1)</sup>가 발생할 수 있다. 이는 검지기의 오류나 네트워크 문제, Probe 차량의 이동이 없는 구간 등 다양한 원인으로 결측자료가 발생하게 된다. 결측자료는 0이나 임의의 숫자를 가지고 있어서 그대로 사용시 구간 통행속도 및 정보의 신뢰성이 저하된다. 본 연구는 이런 문제점을 해결하기 위하여 결측자료 보정처리 연구를 한다.

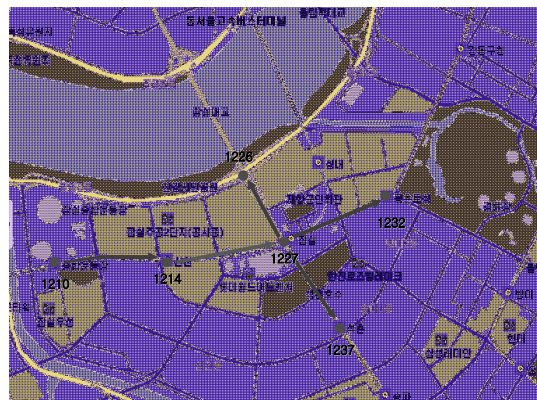


<그림 1> 교통정보 수집방법

## 2. 연구의 목적

본 연구에서는 결측자료 보정처리에 인접도로<sup>2)</sup>의 속도 자료를 사용하는 방법을 제안한다. 인접도로는 결측 자료를 포함한 도로와 속도의 차이는 있을 수 있으나 연속된 속도의 궤형이나 트렌드를 보면 서로 상관성을 가지고 있다는 것을 알 수 있었다. 과거DB정보(하루전의 같은 시간 또는 일주일전의 같은 시간)를 사용(김정현, 2006)해서 결측자료를 보정 하는 방법을 여러 논문들에서 연구되거나 발표되었다. 과거의 이력데이터 사용관련 연구들로는 ARIMA 모형, 신경망(Neural Network)(Lajos K, 2002), Kalman Filter(Steven, 2003)들과 신경망기법의 문제점인 과도적합문제(overfitting)와 지역 최소값(local minima)을 피하기 위한 초기화 작업등의 한계점을 보완한 SVR(Support Vector Regression)(Yanying Li, 2002)를 이용한 연구도 진행되었다. 그러나 과거의 추이만 가지고는 갑자기 발생하는 차량 사고나 도로공사 등으로 인한 교통흐름의 변화에는 적용하기 힘들다. 따라서 본 논문에서는 속도과형이 가장 비슷한 인접도로 선정을 전제로 신호처리 알고리즘을 사용하여 추정방법들을 제안하고 이들 추정방법들 중에 결측자료가 발생한 도로와 가장 비슷한 과형을 가지는 추정방법을 선정하여 결과를 도출한다. 제안된 방법의 성능평가를 위해 한국도로공사에서 제공된 고속도로 속도 자료와 (주)로티스에서 제공된 서울시내 및 주요간선도로의 속도정보 자료를 사용하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 모든 인접



<그림 2> 인접도로

1) 결측자료 : 검지기가 속도 정보를 수집하지 못 한 채 빈 값이 검지자료에 입력되는 경우  
 2) 인접도로 : 결측자료가 발생한다로의 가장 가까운 차량진출입도로들

노드간의 선형 상관성을 알아보고 결측자료를 포함한 도로와 가장 유사한 인접도로를 선정하고, 선정된 유사도로의 속도정보자료를 여러 신호처리 알고리즘을 기반으로 추정한다. III장에서는 제안된 방법들로 추정된 속도정보들과 결측자료를 가지고 있는 도로의 이력 속도정보와의 상관성을 통하여 최적의 추정방법을 선정하고 최종 추정값을 출력한다. IV장에서는 각 추정방법의 성능을 차량검지기를 통해 검지된 서울시내도로 및 주요간선도로와 고속도로에서 추정 오차를 측정함으로써 제안된 방법의 성능을 평가하며, V장에서 결론을 맺는다.

## II. 결측자료 추정방법

### 1. 유사도로 선정 방법

추정 방법을 설명하기에 앞서 선행되어야할 것은 유사도로<sup>3)</sup> 선정이다. 인접도로의 속도정보는 현재의 교통 상황을 담고 있을 수 있으므로 이를 이용하여 결측자료를 추정할 수 있다. 예로 차량사고나 도로공사 또는 출퇴근길 같은 속도변화가 높은 상황을 인접도로의 속도정보를 통하여 감지할 수 있다. 유사도로를 선정하는 방법은 아래와 같다.

$\chi$ 는 결측자료가 발생한 도로의 이력자료<sup>4)</sup> 이고,  $\psi$ 는 유사도로의 이력자료이다.

$$\text{이때 } \chi = [x_{n-1}, x_{n-2}, \dots, x_{n-t}] \text{ 이고,}$$

$$\psi = [y_{n-1}, y_{n-2}, \dots, y_{n-t}] \text{ 이다.}$$

여기서  $t$ 는 이력자료의 크기를 나타내는데 본 논문에서  $t$ 의 값은 24이며, 이는 5분 간격의 속도 자료로 2시간 분량의 속도 이력자료를 사용하였다. 인접도로중 결측자료가 발생한 도로와 가장 유사한 도로의 이력자료  $\psi$ 를 선정하기 위하여 각 인접도로들과 결측이 발생한 도로의 선형 상관성을 비교한다. 다시  $X_k = \chi$ 에 대입하고  $X_l$ 은 인접도로들의 이력자료가 대입되는데,  $l = 1, 2, \dots, m$ 으로 인접도로의 수만큼 대입된다. 여기서 두 이력자료  $X_k$ 와  $X_l$ 의 속도변화 파형의 상관계수는 다음 계산식으로 구한다.

$$r_{kl} = \frac{S_{xy}}{\sqrt{S_{xx}S_{yy}}} \quad (1)$$

이때

$$S_{xy} = \sum_{i=1}^t (x_{n-i} - \bar{x})(y_{n-i} - \bar{y}), \quad (2)$$

$$S_{xx} = \sum_{i=1}^t (x_{n-i} - \bar{x})^2, S_{yy} = \sum_{i=1}^t (y_{n-i} - \bar{y})^2$$

여기서  $\bar{x}, \bar{y}$ 는 각각  $X_k, Y_l$ 의 평균값이다.  $r_{kl}$ 은 1에 가까울수록 상관성이 높다. 위의 계산은 인접도로의 개수인  $m$ 번 반복되어 가장 1에 가까운 값을 가진  $r_{kl}$ 의  $X_l$ 이 유사도로의 이력자료  $\psi$ 가 된다. 그러나 모든  $r_{kl}$ 들의 상관계수가 0.5이하가 되면 인접도로를 사용하는 이점이 사라지기 때문에 하루전 결측이 발생한 도로의 속도자료를  $\psi$ 로 한다.

### 2. 속도 정보 추정 기법

본 절에서는 신호처리 알고리즘을 기반으로 하여 속도정보를 추정하는 방법으로 인접도로의 속도정보 및 자신의 이력 자료를 이용하여 결측값을 추정한다. 본 논문에서는 구현이 간단하면서도 실험적으로 정확한 예측을 할 수 있는 Exponential Window와 단순 선형 회귀모형(Linear regression Model)을 이용하였다.

#### 1) Exponential Window

Exponential 가중치를 이력자료 및 유사도로에 적용하는 방법으로 3가지 방법을 제안하였다. 먼저 기본구조와 가중치를 구하는 방법은 다음과 같다.

$$C_n = \sum_{i=1}^w B_i S_{n-i}, \quad (3)$$

$$B_i = \frac{\exp^{-\frac{i^2}{w}}}{\sum_{j=0}^{w-1} \exp^{-\frac{j^2}{w}}}. \quad (4)$$

이때  $B_i$ 은 Exponential Window를 이용한 가중치 값이고,  $w$ 는 Exponential Window의 크기이다.  $S_n$ 은 이력자료 또는 유사도로 자료 및 노이즈 보상처리가 된 유사도로의 값이다. 본 논문에서는  $S_n$ 의 값을 변화시켜 여러 가지 결과를 얻을 수 있다.

3) 유사도로 : 인접도로중 결측자료가 발생한 도로와 상관계수가 가장 높은 도로

4) 이력자료 : 가장 최근의 속도 정보를 담고 있는 data record이다. 본 논문에서는 현재부터 2시간 이전까지의 5분 단위 속도자료를 담고 있다.

(1) 결측자료 발생 도로의 이력자료 사용방법

$$C_n = \sum_{i=1}^w B_i x_{n-i} \tag{5}$$

(2) 유사도로 이력자료 및 결측자료 발생 도로의 이력자료 사용방법

$$C_n = \sum_{i=1}^{w-1} B_{i+1} x_{n-i} + B_1 y_n \tag{6}$$

(3) 유사도로 이력자료와 결측발생 도로의 이력자료의 평균치를 보성한 방법

$$C_n = \sum_{i=1}^{w-1} B_{i+1} x_{n-i} + B_1 (y_n + z) \tag{7}$$

이때  $z = \bar{x} - \bar{y}$ ,  $\bar{x}$ 와  $\bar{y}$ 는 각각  $\chi, \psi$ 의 평균값.

(4) 유사도로 이력자료를 그대로 사용하는 방법

$$C_n = y_n \tag{8}$$

2) 단순 선형 회귀 모형(Linear Regression Model)

회귀분석(Regression analysis)은 알려진 변수와 알려지지 않은 변수사이의 관계를 수리적인 식, 즉 예측 방정식으로 발전시킨 것으로 결측값 대체가 필요한 변수를 종속변수로 하여 일련의 연관 요인들을 설명변수로 하는 회귀모형을 만들어 결측값 대체에 활용하는 방법이다.

본 연구에서는 상관관계가 높은 유사도로를 독립변수로 하는 단순 선형 회귀모형을 이용했다. 단순 회귀식은 식(9)와 같다.

$$C_n = s y_n + i \tag{9}$$

이때

$$s = \frac{\sum_{j=1}^w (y_{n-j} - \bar{y})(x_{n-j} - \bar{x})}{\sum_{j=1}^w (y_{n-j} - \bar{y})^2} \tag{10}$$

$i = \bar{y} - s \bar{x}$ .

본 논문에서는 위와 같이 5가지의 추정방법을 제안하였다. 위의 방법을 통하여 결측자료가 발생한 도로의 이력자료와 추정한 5가지 결과들 중 가장 상관성이 높은 추정방법을 선정하는 기법은 다음 장에 설명하였다.

III. 최적의 추정 알고리즘 선정기법

본 연구에서는 최적의 결측자료 추정 알고리즘을 선정하기 위하여 다음의 지표를 이용하여 각 추정방법의 성능을 평가한다. 평가지표는 평균 절대 상대오차(MARE: Mean Absolute Relative Error)를 사용하였다. 즉 도출된 추정치가 참 값에 비해 평균적으로 어느 정도의 비율로 차이가 나는지 설명해 주는 지표이다.

$$MARE = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{|C_i - x_i|}{x_i} \tag{11}$$

최적의 결측자료 추정 알고리즘 선정방법은 다음과 같이 pseudo code로 명세하였다.

Given :

$$X_k = [x_{n-1}, x_{n-2}, \dots, x_{n-t}]$$

$$X_l(i) = [y_{n-1}(i), y_{n-2}(i), \dots, y_{n-t}(i)]$$

이때  $X_k$ 는 결측자료가 생긴 도로의 이력자료이며  $X_l(i)$ 는  $i$ 번째 인접도로의 이력자료이다.  $i = 1, 2, \dots, m$ 이다.

Algorithm :

\* comment : 최 유사 인접도로 선정방법

for  $i := 1$  to  $m$  do

begin

$$r_{kl}(i) := \text{correlation}(X_k, X_l(i));$$

if  $r_{kl}(i) > r_{\max}$  then

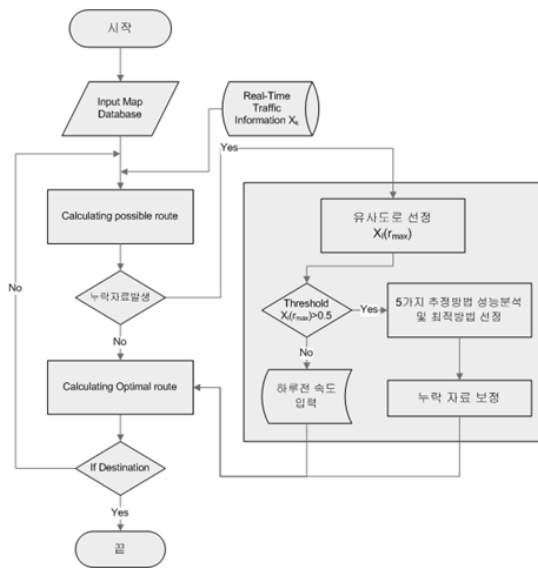
$$\{ p := i; r_{\max} := r_{kl}(i); \}$$

end;

$$\chi := [x_{n-1}, x_{n-2}, \dots, x_{n-t}];$$

$$\psi := [y_{n-1}(p), y_{n-2}(p), \dots, y_{n-t}(p)];$$

\* comment: 이력자료에서 추정방법이 우수한 방법 선정



〈그림 3〉 알고리즘 순서도

```

for j := 1 to 4 do
begin
for i := 1 to m do
begin
Ci := method(j)(x,ψ);
e := |Ci - xi|/xi;
E(j) := E(j) + e;
end;
end;
for i := 1 to m do
begin
Ci := linear regression(x,ψ);
e := |Ci - xi|/xi;
E(5) := E(5) + e;
end;
for i := 1 to 5 do
begin
if E(i) < Eopt then
{ p' := i; Eopt := E(i); }
end;
if p' > 5 then
f := method(p')(x,ψ);
else
f := linear regression(x,ψ);
return (f);

```

알고리즘과 같이 일정시간의 이력 자료인  $X_k$ 와 인접도로  $X_l(i)$  이력자료들 중에서 상관계수가 높은 유사도로  $\psi$ 를 구하고  $\psi$ 의 이력자료와  $x$ 의 이력자료를 각 추정기법을 사용하여 최근의 일정시간동안 속도파형이 가장 유사한 추정방법을 선정하여 최적의 추정방법을 선정하는 방식이다.

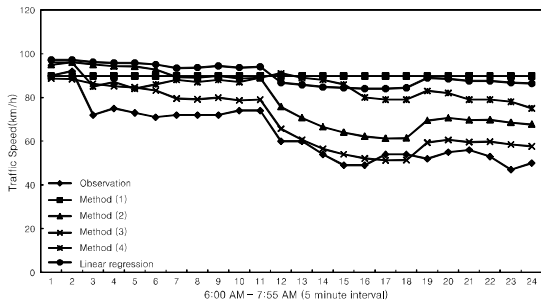
알고리즘 명세에서는 몇 가지 함수를 사용하였는데 상관계수를 구해주는 **correlation()** 함수와 exponential window를 이용한 추정방법 **method(1)~(4)** 함수, 선형회귀함수인 **linear regression()** 함수 등은 앞 장에서 설명하였던 수식 및 추정기법과 같이 이력자료 형식의 출력형식을 가지며, 최종적으로 결측자료를 보정한  $f$ 를 출력한다. 다음 장에서 위의 알고리즘에 대해 실제도로와 추정값의 비교 성능평가를 통하여 그 성능을 알아본다.

#### IV. 성능평가

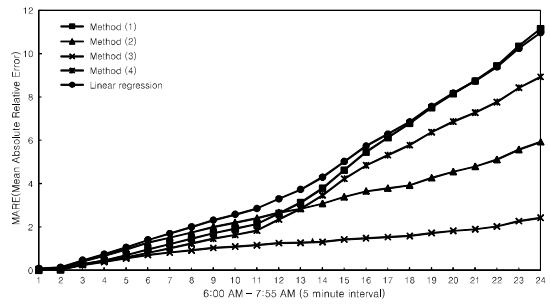
성능평가에 사용된 도로는 2006년 6월 12일 0시부터 23:55분까지의 서울 시내도로 및 주요 간선도로를 사용하였으며, 고속도로의 경우 2006년 4월 4일 0시부터 23:55분까지의 속도 자료를 사용하였다.

〈그림 4〉은 결측자료를 가정한 도로인 Observation 도로를 대상으로 인접도로들 중 가장 유사한 도로를 선정하여 각 추정 방법을 사용하여 결측자료를 추정하였다. Observation 도로의 특징은 오전 6:00시부터 7:55분을 결측자료가 연속 발생하는 경우를 가정하였다. 출근시간을 포함시켜 처음 측정시보다 차량이 늘어나고 차량들의 속도가 점점 줄어드는 경향을 보인다. 유사도로의 속도는 method(4)와 같다. 각 추정방법을 〈그림 4〉와 〈그림 5〉를 통하여 알아보자.

- **method(1)**은 Observation 도로의 가장 최근 이력자료 순으로 높은 가중치를 부여함으로 유사도로 속도자료의 영향을 받지 않아 결론적으로 속도변화가 없다. 장점은 유사도로와 상관계수가 낮거나 단기간 결측에 경우에 좋은 결과를 얻고 있다.
- **method(2)**는 유사도로의 최근 속도정보와 Observation 도로의 최근자료를 사용함으로 Observation 도로의 최근속도를 가지고 시간에 따라 변하는 유사도로의 최근 속도를 담고 있어 method(1)의 단점인 연속결측 문제를 보완한 방법이고 유사도로와 상관계수나 평균속도가 비슷할 수록 좋은 결과를 얻을 수 있었다.



〈그림 4〉 추정방법 성능 비교



〈그림 5〉 추정값과 실제값과의 상대오차비교

〈표 1〉 서울시내도로 및 주요간선도로대상 추정알고리즘 성능평가

횟수 \ 날짜	2006.4.17 (월)	2006.4.18 (화)	2006.4.19 (수)	2006.4.20 (목)	2006.4.21 (금)	2006.4.22 (토)	2006.4.23 (일)
1회	0.1849	0.1609	0.2231	0.1984	0.2226	0.2038	0.1933
2회	0.1821	0.2047	0.1894	0.2223	0.1819	0.2138	0.1653
3회	0.2262	0.1599	0.219	0.2262	0.2185	0.1821	0.1726
4회	0.2191	0.2344	0.189	0.1762	0.201	0.185	0.1648
5회	0.2173	0.1695	0.1816	0.1432	0.1815	0.1995	0.1589
6회	0.2002	0.1955	0.1668	0.2079	0.1991	0.1881	0.209
7회	0.2209	0.209	0.2012	0.2218	0.264	0.1921	0.2303
8회	0.1938	0.1949	0.211	0.2041	0.221	0.2778	0.1867
9회	0.1871	0.178	0.2143	0.1564	0.1608	0.2659	0.1801
10회	0.1738	0.1927	0.1913	0.1827	0.175	0.2567	0.2131
평균	0.2005	0.19	0.1987	0.1939	0.2025	0.2165	0.1874
총평균	0.1984						

〈표 2〉 고속도로 및 올림픽도로대상 추정알고리즘 성능평가

횟수 \ 날짜	2006.4.1 (토)	2006.4.2 (일)	2006.4.3 (월)	2006.4.4 (화)	2006.4.5 (수)	2006.4.6 (목)	2006.4.7 (금)
1회	0.0719	0.0512	0.0298	0.0113	0.0272	0.043	0.0272
2회	0.0474	0.0345	0.0593	0.0131	0.0422	0.0305	0.0232
3회	0.0473	0.0326	0.0478	0.018	0.0432	0.0282	0.025
4회	0.053	0.0398	0.0405	0.0144	0.0281	0.0348	0.0354
5회	0.054	0.0335	0.0306	0.0128	0.0418	0.0345	0.0254
6회	0.0318	0.0545	0.0376	0.0173	0.0389	0.0386	0.0269
7회	0.0395	0.0346	0.0395	0.0116	0.0309	0.03	0.0232
8회	0.0394	0.0442	0.0465	0.013	0.0379	0.0338	0.0262
9회	0.0441	0.0475	0.038	0.0103	0.0345	0.0485	0.0246
10회	0.0504	0.0478	0.039	0.0213	0.0328	0.035	0.0237
평균	0.04788	0.04202	0.04086	0.01431	0.03575	0.03569	0.02621
총평균	0.034662						

• **method(3)**은 유사도로의 최근 속도에 두 도로의 평균속도를 보상하는 방법을 사용하였다. 상관계수 계산에서 배제될 수 있는 두 도로의 평균속도차이를 보상하여 보다 observation 도로에 가까운 결과를 얻도록 하였다. 그 결과 〈그림 4〉와 같이 유사도로와 observation도로와 속도차이가 있음에도 좋은

결과를 얻을 수 있었다. 〈그림 5〉에서는 속도변화가 심한 2시간동안의 오차를 누적한 결과인데도 다른 추정방법보다 좋은 결과를 얻고 있음을 볼 수 있다.

• **linear regression** 방법은 2시간 이전 이력자료를 통하여 속도변화를 분석하게 됨으로 인하여 속도변화가 갑자기 일어나는 경우에는 〈그림 4〉와

(그림 5)와 같이 잘 적용하지 못하나 단기간의 결측이나 속도변화가 크지 않은 도로에서는 좋은 결과를 얻는 것을 볼 수 있었다.

다음은 본 알고리즘을 php언어를 사용하여 제작하여 서울시내도로와 고속도로의 속도정보DB를 대상으로 랜덤한 도로에 랜덤한 시간의 결측을 가정하고 추정오차를 측정한다. <표 1>과 <표 2>는 시내도로와 고속도로에서 각각 100개의 랜덤한 결측자료가 없는 도로를 선정하고 각 선출된 도로에서 하루 중 랜덤한 시간을 택하여 결측을 가정하고 속도 값을 추정하여 추정오차를 측정하였다. 측정은 일주일

에 대하여 각 요일 마다 10회씩 평균 오차를 산출하였다. 시내도로의 경우 평균속도가 낮아 평균상대오차가 높게 측정되었고, 고속도로와 다르게 여러 상황들이 발생할 수 있으므로 평균상대오차가 상대적으로 높게 측정된 것으로 보인다.

## V. 결론

본 논문은 교통정보 측정시 발생할 수 있는 결측자료를 보정하기 위하여 신호처리 알고리즘을 기반으로 5가지 추정방법을 제안하여 각 가능한 전제 상태에 따라 가장 유효한 추정기법 선정 모형을 정립하고 제안된 추정기법의 적합성을 알아보았다. 이는 결과적으로 사용자에게 정확한 속도 정보 또는 목적지까지의 여행시간을 파악하는데 도움을 주며 나아가 사고지역 회피 및 최적도로 선정이 용이하게 되므로 물류이동 비용을 절감할 수 있는 이점이 있다. 또한 본 연구의 장점은 최근의 자료만 사용하기 때문에 많은 저장공간에 드는 비용을 줄일 수 있고 네비게이션이나 PDA에서도 처리속도가 빨라 비용절감 및 처리속도 향상에 도움이 될 것이다. 향후 발전 방향으로는 threshold 발생시 과거 데이터를 그대로 사용하는 방법을 제안하였으나, 이는 차선의 방법으로 향후 신경망 등과 결합한 방법을 연구할 경우 신뢰성 있는 결과뿐만 아니라 기존 offline 단말에서 필요하였던 방대한 과거 속도 database를 크게 줄일 수 있을 것으로 기대된다.

## 참고문헌

1. "(주)로티스", ([http://www.rotis.com/business/business\\_6.asp](http://www.rotis.com/business/business_6.asp))
2. 김정연 · 이영인 · 백승걸 · 남궁성(2006), "차량 검지자료 결측 보정처리에 관한 연구 (이력자료 활용

방안을 중심으로)," 대한교통학회지, 제24권 제7호, 대한교통학회, pp.27~40.

3. 심상우 · 최기주(2006), "혼잡상황에서 링크미통과 GPS 프로브데이터를 활용한 링크통행시간 추정기법 개발," 대한교통학회지, 제24권 제5호, 대한교통학회, pp.7~18.
4. Chun-Hsin Wu, Jan-Ming Ho, Lee, D.T.(2004), "Travel-time prediction with support vector regression," Intelligent Transportation Systems, IEEE Trans., 5-4, pp.276~281.
5. Ken'Ichiro Yamane, Takayoshi Yokota, and Takumi Fushiki(2005), "Method of travel time estimation for wide-area traffic information service," Systems and Computers in Japan archive, 11-36, pp.82~92.
6. Lajos K., Laurence R.(2002), "Travel Time Prediction by Advanced Neural Network," Periodica Polytechnica SER. CIV. ENG. 46-1, Periodica Polytechnica, pp.15~32.
7. Steven I-Jy Chien, Chandra M. Kuchipudi(2003), "Dynamic Travel Time Prediction with Real-Time and Historic Data," Journal of Transportation Engineering, 129-6, ASCE, pp.608~616.
8. Todd L. Graves, Alan F. Karr, and Piyushimita Thakuriah(2000), "Variability of Travel Times on Arterial Links: Effects of Signals and Volume," NISS Technical Report.
9. Yanying Li and M. McDonald(2002), "Link travel time estimation using single GPS equipped probe vehicle," Intelligent Transportation Systems, IEEE International Conference, pp.932~937.

✉ 주 작 성 자 : 윤원식

✉ 교 신 저 자 : 윤원식

✉ 논문투고일 : 2007. 7. 31

✉ 논문심사일 : 2007. 11. 29 (1차)

2008. 2. 3 (2차)

2008. 3. 17 (3차)

✉ 심사판정일 : 2008. 3. 17

✉ 반론접수기한 : 2008. 8. 31

✉ 3인 익명 심사필

✉ 1인 abstract 교정필