

# 고속도로 통행료 수납자료의 특성을 반영한 통행시간 예측 모형 설계

김동근\*, 최진우\*, 김태민\*, 박진웅\*, 김효민\*, 양영규\*

\*경원대학교 전자계산학과

e-mail: cocacu@naver.com, ykyang@kyungwon.ac.kr

## Design of Travel Time Forecasting Model Based on TCS Data Characteristics

Dong-Keun Kim\*, Jin-Woo Choi\*, Tae-Min Kim\*, Jin-Woong Park\*,  
Hyo-Min Kim\*, Young-Kyu Yang\*

\*Dept of Computer Science, Kyung-Won University

### 요 약

과거에는 고속도로 상에 일정간격으로 설치하여 운영 중인 VDS(Vehicle Detection System)에서 주기적으로 검지되는 지점자료나 실제로 도로를 주행하면서 교통상황을 측정하는 프로브 차량(Probe Vehicle)들을 이용하여 통행시간을 추정해 왔으나 단순한 현시점에서의 통행시간을 나타내는 점이나 설치구간이 조밀하지 못한 곳에서의 정확성 등 많은 문제점이 있어왔다. 이에 본 연구에서는 고속도로 통행료 수납자료(Toll Collection System)를 출발시각 기준으로 정렬하고, 이를 Fuzzy c-means 클러스터링 기법을 사용하여 고속도로 통행료 수납자료의 특성에 따라 분류한 후 하나의 대푯값으로 추출하여 Kalman Filter 기법에 적용하는 고속도로 통행시간 예측 모형을 설계한다.

### 1. 서론

한국도로공사에서 발표한 2010년도 통계에 의하면 2009년도 고속도로 이용차량의 경우 6.2%의 증가율을 보였으며 이는 2005-2009년 평균증가율인 3.74%의 두 배 가까이 이르는 높은 증가율이다. 이러한 교통수요의 지속적인 증가는 효율적이고 정밀한 교통관리를 요구한다.

이러한 각종 ITS(Intelligent Transport System) 관련 연구들에서 신뢰성 있는 통행시간 추정은 매우 중요한 역할을 담당하여 왔다. 그러나 지금까지는 지점검지기를 이용한 방법만으로 통행시간을 추정하고 있다. 지점검지기를 이용한 통행시간 추정 방법은 조밀하지 않은 구간에서의 정확성이 떨어지는 현상, 단순히 현 시점에서의 도로상황을 나타내고 있다는 점 등 많은 문제점이 지적되어 왔고, 현재는 지점검지기의 문제점을 해결하기 위한 방법으로 구간검지기 자료를 이용하는 연구가 활발히 진행되고 있다[3]. 고속도로 통행시간 예측을 위한 구간검지기 자료 중 고속도로 통행료 수납자료(Toll Collection System)는 이용차량의 다양한 특성들이 반영되어 있고, 이미 전국 고속도로에 설치되어 있어 이를 수집하기 위하여 추가 비용이 필요하지 않다는 점 등 다양한 장점으로 인해 주목받고 있다. 고속도로 통행료 수납자료를 이용한 통행시간 추정 모형의 설계의 경우에는 크게 세 가지를 고려해야 한다.

첫 번째는 '고속도로 통행시간 원시 자료를 출발시각기준과 도착시간기준 중 어떤 것으로 정렬 하여 사용 할 것인가' 이다.

두 번째로는 '앞 단계에서 정렬된 통행시간 자료를 어떤 기준으로 클러스터링 할 것인가' 이다.

세 번째는 '클러스터링한 통행시간 자료의 대푯값을 어떤 방법으로 예측 할 것인가' 이다. 이에 본 연구에서는 각 단계별로 가장 효율적인 기준을 고려하여 예측모형을 설계하였다.

### 2. 관련연구

국내의 연구의 경우 김재진 외(2006)는 구간검지체계에서 수집되는 통행시간 자료의 출발 및 도착시각기준 통행시간의 차이에 대한 이유와 원인을 규명하였다. 또한 그 이외의 연구들에서 통행시간 자료가 가지고 있는 특성 때문에 발생하는 '시간차집현상' 문제를 해결하기 위해 고속도로 TCS 자료를 이용한 통행시간 예측모형의 예측력을 평가하였다[6]. 박원식 외(2008)는 주행자의 피로도나 주행 목적 등 고속도로의 다양한 특성을 고려하지 않던 기존의 단순한 통계학적인 클러스터링기법들은 고속도로 통행료 수납자료의 분포에 따라서 고속도로 주행시간에 오차가 커진다는 문제점에 주목하였다. 이러한 통행시간 분류방법의 문제점을 해결 할 수 있는 방안으로서 고속도로 주행 특성을 고려 할 수 있는 클러스터링 방법 중 Fuzzy c-means를 기존의 통계학적인 기법들과 K-means를 비교, 평가하여 우수함을 증명하였다[4]. 또, 다른 방법으로 Mobile 위치 정보를 이용한 통행시간 추정 방법도 고려되었다. 유병석(2005)은 택시에 장착된 GPS에서 검지되는

위치좌표와 휴대폰 기지국 정보를 이용하여 도시부 간선 도로의 통행시간을 추정하였다[7]. 또한, 칼만필터링은 무작위 변동을 발생시키는 동적 체계에 적용되는 최적상태 예측과정으로써 이동물체의 구간 속도와 같이 정상적이지만 불규칙성을 가지는 자료를 토대로 미래를 예측하는데 적합한 기법으로 고속도로 등 통행시간 예측에 성공적으로 적용되어져 왔다.

본 연구에서 고려한 출발시간 기준 정렬법과 Fuzzy c-means 알고리즘, 칼만필터링(Kalman Filtering)에 대하여 간단히 기술하면 다음과 같다.

2.1 출발시각기준 정렬

고속도로 통행료 수납시스템에 의해서 수집되는 자료는 도착시간 기준 구간별 통행시간 자료로서 고속도로 이용 차량들로부터 수집되어진다. 따라서 고속도로 통행료 수납 자료는 출발시각에 따른 통행시간 측면에서 볼 때, 해당구간을 이용한 가장 최근의 차량이 경험한 통행시간만큼 과거로 지연된 자료이다. 이를 ‘시간차집현상’ 이라 한다. 하지만 운전자에게 통행시간 정보를 제공 할 때에는 출발점에서부터의 통행시간을 제공해야 하므로 도착시간 기준의 원시 통행료 수납자료를 출발시각 기준으로 바꾸어 정렬해 줄 필요가 있다. 기존의 연구[6]를 통하여 출발시각기준 자료를 사용해야 할 필요성은 명확해져 왔으나, 출발시각기준 정렬 자료의 경우 실시간 통행시간 정보제공에 적용되기 어렵다는 이유 때문에 아직 많은 연구가 요구 된다.

2.2 Fuzzy c-means 클러스터링 기법

Fuzzy c-means 알고리즘은 먼저 초기화가 이루어지고 이로부터 클러스터의 중심을 계산하여 얻은 중심과 각 개체 사이의 유클라디안 거리를 구한 다음, 새로운 분할 행렬을 갱신한다. 이후 이와 같은 갱신 과정을 반복하면서, 데이터 특성에 맞는 중심점에 수렴하게 되는 방법이다.

Fuzzy c-means 알고리즘은 다음과 같이 요약된다.

STEP 1 : 초기값  $U=[u_{ij}]$  matrix,  $U(0)$

STEP 2 : 중심값 계산  $C(k)=[C_j]$  with  $U(k)$

$$c_i = \frac{\sum_{j=1}^N u_{ij}^m \cdot x_j}{\sum_{j=1}^N u_{ij}^m} \quad (식 1)$$

STEP 3 :  $U(k)$  업데이트,  $U(k+1)$

$$U_{ij} = \frac{1}{\sum_{k=1}^c \left\{ \frac{\|x_j - c_k\|}{\|x_i - c_k\|} \right\}^{\frac{2}{m-1}}} \quad (식 2)$$

STEP 4 : if  $\|U^{(k+1)} - U^{(k)}\| < \delta$  then STOP; 다른 경우엔 스텝2부터 다시 반복한다.

2.3 칼만필터링(Kalman Filtering)

칼만필터를 위한 상태방정식과 관측치에 대한 추정식은 다음과 같다.

상태방정식(state equation):

$$x_{k+1} = A x_k + w_k \quad (식 3)$$

관측방정식(observation equation):

$$z_k = H x_k + v_k \quad (식 4)$$

여기서,

$x_k$ 는  $k$  시점에서 시스템의 상태를 나타내고,

$z_k$ 는 관측치,

$w_k, v_k$ 는 random error,

$A, H$ 는 상수행렬을 나타낸다.

위의 상태 방정식 (식 3)에 의하면,  $k+1$ 시점에서의 예측치  $x_k$ 와 그 때의 오차항  $w_k$ 를 관련시켜 예측할 수 있다. 또한 현재시점  $k$ 에서 새로운 관측치  $z_k$ 는 현재에 대한 예측치  $x_k$ 와 현재의 오차항  $v_k$ 를 관련시켜 계산할 수 있다. 칼만 필터에서는 예측치  $x_k$ 와 오차항  $w_k$ 의 분산  $P_k$ 에 대한 초기치,  $x_{\bar{k}}, P_{\bar{k}}$ 가 주어진 상태(apriori estimate)에서 상태방정식으로  $x_k$ 의 예측치  $\hat{x}$ 를 구하고,  $\hat{x}$ 와 새로운 관측치  $z_k$ 를 이용해 더 나은  $x_k$ 를 다시 예측한다. 즉, 관측치를 포함시켜 새로운 예측치를 찾으므로 보다 현실에 가까워진 예측치를 구하게 된다. 새로운 예측치는 대개  $\hat{x}$ 와 관측치 추정오차의 선형조합 (linear combination)으로 이루어진다. 이때 칼만이득이라 불리는 ‘K’ 상수를 매개 상수로 이용하며, 이 매개상수는 예측 오차를 최소화시키는 방법으로 추정된다. 위에 기술한 방식으로 시점  $k$ 를 바꿔가면서 모든 시점에 대한 상태를 예측하면, 전체적인 시점에 대해 예측이 가능하다.

3. 모형설계

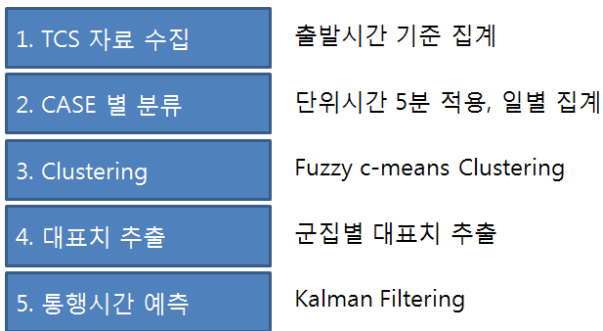
현재까지의 국내 고속도로의 경우 아직까지 기, 종점간의 통행시간 산출시 지점 정보를 이용하고 있다. 지점 검지기에 의한 통행시간 산출시의 문제점으로 크게 두 가지

를 지적 할 수 있다.

첫째, 검지기의 설치간격이 조밀하지 않은 구간에서 혹은 지정체가 심한 시각에는 정상상태와는 달리 구간속도를 제대로 산출하지 못하고 있다.

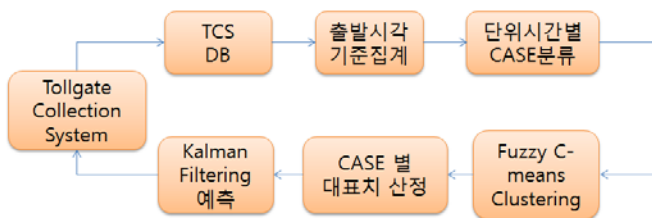
둘째, 고속도로 전 구간의 지점검지기를 대상으로 현 시점에서의 지점속도를 수집하여 도출한 순간 통행시간으로써 경로상의 통행시간이라기 보다는 단순히 현 시점에서 도로상황을 나타내는 값이라고 할 수 있다.

따라서, 본 연구에서는 위의 문제점들을 해결하기 위하여 고속도로 통행료 수납자료를 단위시간 별 케이스시간으로 분류하고 이를 해당 구간의 주행특성을 고려하기에 적합한 Fuzzy c-means 알고리즘을 적용한 뒤 대푯값을 추출하여 교통 분야에 성공적으로 적용되고 있는 시계열 예측기법인 칼만필터 기법에 적용하는 모형을 설계하였다. 다음 (그림 1)은 제안하는 모형 순서도 이다.



(그림 1) 제안 모형 순서도

본 연구에서는 고속도로 통행료 수납자료를 앞에서 살펴본 바와 같이 5단계의 기능을 수행하는 모형으로 설계하였다. 설계된 모형은 5가지 단계를 포함한 7개의 과정을 거치며 고속도로 통행료 수납 시스템 구조상 최소 5분마다 반복되는 구조로 이루어져 있다. 본 연구에서 설계한 고속도로 통행시간 예측 모형은 (그림 2)와 같다.



(그림 2) 고속도로 통행시간 예측 모형

설계 모형은 다음과 같이 요약된다.

STEP 1 : TCS 통행시간 수집

STEP 2 : 고속도로 통행료 수납시스템에 의하여 최소 5분마다 자동으로 DataBase에 통행시간 정보 저장

STEP 3 : 통행시간 정보를 출발시각 기준으로 정렬

STEP 4 : 최초 설정된 적정 단위시간(CASE)별 분류

STEP 5 : 고속주행차량, 평균속도주행차량, 저속주행차량 등 고속도로의 특성을 고려하여 Fuzzy c-means 알고리즘을 통한 클러스터링

STEP 6 : 클러스터링 된 데이터의 대푯값 추출

STEP 7 : 추출된 대푯값을 Kalman Filtering 기법에 적용하여 통행시간을 예측

#### 4. 결론 및 향후 연구

본 연구에서는 현재 고속도로 통행시간 산출에 이용되고 있는 지점검지기를 이용한 방법의 문제점을 극복하기 위하여 구간검지기 자료를 이용하여, 구간검지기 자료 중 고속도로의 특성을 잘 포함하고 있고 추가 설치비용이 없는 장점을 가지고 있는 고속도로 통행료 수납자료를 이용한 통행시간 예측 모형을 설계하였다. 제안하는 모형은 고속도로의 특성을 반영하여 통행시간을 예측함으로써 통행시간 예측의 신뢰성을 제고 할 것으로 기대된다.

향후, 모형의 평가를 통하여 모형의 신뢰성이 확보되고, 출발시간 기준 정렬 방법에 있어서 실시간성, On-Line성이 고려된다면 실제 현장에서 설계 모형이 적용 될 수 있을 것으로 기대된다.

#### 참고문헌

[1] 이영인, 김성현, 윤지현, “데이터 융합기술을 활용한 다주기 통행시간예측에 관한 연구”, 대한교통학회지 제 23권 제 4호, pp. 71-79, 2005.

[2] 강지혜, 김성주, “적응적인 초기치 설정을 이용한 Fast K-means 및 Fuzzy-c-means 알고리즘”, 한국정보과학회, 정보과학회연구지, 제 31권 제4호, pp. 516-524, 2004.

[3] 이현석, 남궁성, “통행시간 추정을 위한 TCS 데이터의 전처리 모형 개발”, 2009, 한국 ITS학회 논문지”, 제8권, 제 5호, pp.1~11, 2009. 10.

[4] 박원식, “Fuzzy c-means Clustering 알고리즘을 이용한 TCS 데이터 주행특성분류기법”, 경원대학교, 석사졸업논문, 2008.

[5] 김남선, 이승환, 오영태, “신경망을 이용한 고속도로 여행시간 추정 및 예측모형 개발”, 대한교통학회지, 제 18권 제 1호, 대한교통학회, pp.47~59, 2000.

[6] 김재진, “통행시간 정보 제공을 위한 구간 데이터 수집체계의 최적설계 및 운영 :연속류를 중심으로“, 한양대학교, 박사졸업논문, 2006.

[7] 유병석, “Mobile 위치정보를 이용한 통행시간 추정모형 개발”, 박사학위논문, 서울대학교., 2005.